

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**Al12Si ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE MODİFİKASYON
İŞLEMİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KESER

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Ferit FIÇICI

Aralık 2015

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Al12Si ALAŞIMININ DÖKÜMÜNDE MODİFİKASYON
İŞLEMİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KESER

Enstitü Anabilim Dalı : İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16.12.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Yrd.Doç.Dr.
Ferit FIÇICI

Jüri Başkanı



Yrd.Doç.Dr.
Mesut DURAT

Üye



Yrd.Doç.Dr.
Murat ÇOLAK

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mustafa KESER

16.12.2015

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, danışmanın Yrd. Doç. Dr. Ferit FİÇİCI ve Yrd. Doç Dr. Murat ÇOLAK hocam ve eğitimim esnasında bilgilerinden yararlandığım diğer değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği ve Malzeme ve Metalurji Mühendisliği çalışanlarına teşekkür ederim. Özellikle eğitim hayatım boyunca beni destekleyen değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ ve AMAÇ	1
---------------------	---

BÖLÜM 2.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
2.1. Alüminyum	4
2.1.1. Alüminyumun özellikleri	6
2.1.2. Alüminyumun kullanım alanları	8
2.2. Alüminyum alaşımları	9
2.2.1. Alüminyum silisyum alaşımları	11
2.2.2. Alüminyum silisyum denge diyagramı	13
2.2.3. Alaşım elementlerinin alüminyuma etkileri	15
2.2.4. Alüminyum alaşımlarında tane inceltme	19
2.3. Alüminyum Döküm Yöntemleri	27
2.3.1. Kum kalıba döküm	27
2.3.2. Kokil kalıp	27
2.4. İşlenebilirlik	28

2.4.1. Talaşlı imalat mekaniği ve talaş oluşumu	29
2.4.2. Takım-talaş arayüzeyi	31
2.4.3. Talaş oluşum mekanizmaları	32
2.4.4. Talaşlı imalat işleminde kesme kuvvetleri	34
2.4.5. Talaşlı İmalat İşleminde Isı ve Sıcaklık	35
2.4.6. Kesici takım	37
2.4.7. Kesici takım geometrisi	37
2.4.8. Kesici takım malzemeleri	38
2.4.9. Takım aşınması	42
2.4.10. İşlenebilirlik	46

BÖLÜM 3.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
3.1. Çalışmanın Amacı	51
3.2. Deney Malzemesi	51
3.2.1. Kullanılan master alaşımlar	52
3.2.2. Numunelerin hazırlanması	52
3.2.3. Yoğunluk hesaplamaları	53
3.2.4. Sertlik ölçümü	54
3.2.5. Metalografik çalışma	55
3.3. Numunelerin İşlenebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi	55
3.3.1. Takım tezgahı ve kesici takımlar	55
3.3.2 Numunelerin bağlanması	58
3.3.3. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı	59
3.3.4. Deney listesi	61

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE İRDELENMESİ	62
4.1. Malzeme Özellikleri	62
4.1.1. Numunelerin metalografik incelemeleri	62
4.1.2. Yoğunluk sonuçlarının değerlendirilmesi	65
4.1.3. Sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi	66

4.2. İşlenebilirlik özellikleri	67
4.2.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi	68
4.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi	84
4.2.3. Talaş şekil incelemeleri	89
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Talaşkesit alanı, mm
a	: Kesme derinliği, mm
Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Aluminyum oksit
B	: Bor
BUE	: Built-up edge(Yığıntı kenar)
Ca	: Kalsiyum
Co	: Kobalt
Cu	: Bakır
CVD	: Chemical Vapour Deposition (Kimyasal buhar biriktirme)
d	: Yoğunluk, gr/cm ³
f	: İlerleme hızı, mm/rev
Fc	: Esas kesme kuvveti, N
Fe	: Demir
Ff	: İlerleme kuvveti, N
Fr	: Radyal kuvvet, N
HB	: Brinell
HSS	: High Speed Steel (Yüksek hız çeliği)
ls	: Kayma düzlemi uzunluğu, mm
N	: Newton
PVD	: Physical Vapour Deposition (Fiziksel buhar çökeltme)
r	: Kesici takım uç radyusu, mm
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
Sr	: Stronsiyum

T	: Titanyum
t	: Deforme olmamıştalaşkalınlığı, mm
tc	: Deforme olmuştalaşkalınlığı, mm
TDB	: Titanyum diborür
TiAlN	: Titanyum alüminyum nitrür
TiC	: Titanyum karbür
TiCN	: Titanyum karbon nitrür
TiN	: Titanyum nitrür
V	: Kesme hızı, m/min
w	: İşparçası genişliği, mm
WC	: Tungsten karbür
YK	: Yığıntı kenar
YMK	: Yüzey merkezli küpik
YMK	: Yüzey merkezli kübik
γ	: Kesici takım talaş açısı, (°)
ϕ	: Kayma düzlemi açısı, (°)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Al-Si denge diyagramı	13
Şekil 2.1. Alüminyum-silisyum ötektik modifikasyonun derecelerindeki değişimler	23
Şekil 2.3. Zamanın bir fonksiyonu olarak sodyum ve stronsiyum modifiye edicilerinin etkililiği	25
Şekil 2.4. Modiyesiz (A)'dan iyi modifiye edilmiş (F)'ye doğru alüminyum-silisyum ötektik modifikasyonunun değişik dereceleri	26
Şekil 2.5. Dik kesme modeli	30
Şekil 2.6. Plastik deformasyon bölgeleri	31
Şekil 2.7. Talaş derinliği ve ilerleme hızına göre talaş şekilleri	33
Şekil 2.8. Talaş oluşum mekanizmaları	34
Şekil 2.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri	35
Şekil 2.10. Kesme bölgesinde ısı oluşumu	36
Şekil 2.11. Tek noktadan kesme yapan bir kesici takımın geometrisi	37
Şekil 2.12. Temel aşınma mekanizmalarının şematik olarak gösterilmesi	42
Şekil 2.13. Kesici takımlardaki aşınma tipleri	45
Şekil 3.1. İşlenebilirlik test numunesinin teknik resim olarak gösterimi	53
Şekil 3.2. Arşimet terazisi	54
Şekil 3.3. Sakarya Üniversitesinde kullanılan sertlik ölçme test cihazı	54
Şekil 3.4. Metalografik incelemeler için kullanılan numunelerin kesim yerlerinin gösterimi	55
Şekil 3.5. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri	57
Şekil 3.6. Kesici takım geometrisi ve ölçülendirmesi	58
Şekil 3.7. Bağlama aparatına, test numunelerinin yerleştirilmesi	59
Şekil 3.8. Deney sisteminin şematik gösterimi	60

Şekil 4.1. Malzemelerin mastar alaşım türüne göre mikroyapı resimlerinin 100x ve 200x gösterimi	64
Şekil 4.2. Yoğunluk değerlerin alaşım gruplarına göre gösterimi	66
Şekil 4.3. Sertlik değerlerin alaşım gruplarına göre gösterimi	67
Şekil 4.4. Etial 140 grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve radyal kuvveti (c) değişimleri	70
Şekil 4.5. A grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri; (a) V=135 m/dk f=0,08 mm/devir, (b) V=135 m/dk f=0,16 mm/devir, (c) V=135 m/dk f=0,32	71
Şekil 4.6. Etial 140 CuSn5 (AIP) grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve (c) radyal kuvveti değişimleri	74
Şekil 4.7. B grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri	75
Şekil 4.8. Etial 140 Al10Sr grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve (c) radyal kuvveti değişimleri	77
Şekil 4.9. C grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri	78
Şekil 4.10. Etial 140 CuSn5+Al10Sr grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve radyal kuvveti (c) değişimleri.....	80
Şekil 4.11. D grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri	81
Şekil 4.12. VC=135 m/dk altında mastar alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin gösterimi	83
Şekil 4.13. VC=95 m/dk altında mastar alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin gösterimi	83
Şekil 4.14. VC=35 m/dk altında mastar alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin gösterimi	84
Şekil 4.15. Deney malzemelerinin işlenmesi esnasında ölçülen pürüzlülük değeri grafikleri. (a) V=35 m/dk kesme hızı altında pürüzlülük değerlerinin ilerleme miktarına göre çubuk grafik olarak gösterimi; (b) V=95 m/dk; (c) V=135 m/dk; (d) f=0,08 mm/devir altında kesme hızına göre pürüzlülük değerleri; (e) f=0,16 mm/devir; (f) f=0,32 mm/devir	87

Şekil 4.16. Malzeme türü, kesme hızı ve ilerleme hızına göre talaş şekillerinin
resimleri 91

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. % 99.5 saflık derecesine sahip alüminyumun genel özellikleri	7
Tablo 2.2. Dövme alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması	9
Tablo 3.1. Deney malzemelerinin modifiye grupları	51
Tablo 3.2. Test alaşımları listesi	52
Tablo 3.3. Geleneksel torna tezgahının teknik özellikleri	56
Tablo 3.4. Kesici takım özellikleri	57
Tablo 3.5. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri	58
Tablo 3.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri	59
Tablo 3.7. Deney listesi ve deney parametreleri	61
Tablo 4.1. Malzemelerin kimyasal analizleri	62
Tablo 4.2. Yüzey pürüzlülük değerleri	85

ÖZET

Anahtar kelimeler: İşlenebilirlik, alüminyum-silisyum alaşımı, modifikasyon, tane inceltme, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü

Bu araştırmada, Al-12Si döküm alaşımının Al10Sr, CuSn5 ve Al10Sr+CuSn5 mastır alaşımları ile modifikasyonlarının işlenebilirlik üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

Malzemelerin karakterizasyonu için mikroyapı, sertlik, yoğunluk ölçümü ve kimyasal analiz testleri yapılmıştır. Numuneler, titanyum diborür kaplamalı sementit karbür kesici takımlar kullanılarak tornalama metoduyla işlenebilirlik deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler, kuru kesme şartlarında geleneksel torna tezgahında üç farklı kesme hızı, üç farklı ilerleme ve sabit kesme derinliğinde yapılmıştır. Numunelerin işlenebilirliği talaş oluşumu, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü açısından araştırılmıştır.

En yüksek kesme kuvvetlerinin Al10Sr mastır alaşımında meydana geldiği tespit edilmiştir. Malzemelerin işlenmesi esnasında tüm kesme hızlarında kesici takımın YT katmanı meydana geldiği tespit edilmiştir. En kötü yüzey pürüzlülüğü, 135 m/dk'da ve 0,08 mm/devir altında CuSn5+Al10Sr mastır alaşım malzemesinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Mastır alaşımlar arasında pürüzlülük açısından en iyi sonucu Al10Sr mastır alaşımı ile elde edilmiştir. İşlenebilirlik açısından mastır alaşım alaşımların CuSn5, CuSn5+Al10Sr, Al10Sr sırasıyla kötüden iyiye doğru işlenebilirliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.

THE EFFECT OF MODIFICATION PROCESS ON MACHINABILITY IN CASTING Al12Si ALLOY

SUMMARY

Keywords: Machinability, aluminium-silicon alloy, modification, grain refinement, cutting forces, surface roughness

In this study, it was investigated the effect of modification between Al10Sr, CuSn5 and Al10Sr+CuSn5 master alloys on machinability for Al-12Si casting alloy. In order to characterize materials; metallography, hardness, density test and chemical analysis were made. Samples were subjected to machinability tests with turning method by using tools cutting titanium diborine-coated sementite carbide. Experiments were carried out on dry machining conditions and used in experiments three different cutting speed and three different feed rate speed with constant cut depth. The machinability of samples was investigated in terms of forming chip, cutting forces and surface roughness.

Highest cutting forces were determined on Al10Sr master alloy. It was determined that BUE occurred on cutting tools with all cutting speeds during processing of materials. Worst surface roughness was determined from 135 m/min and 0,08 mm/rev with CuSn5+Al10Sr master alloy. Among master alloys, best surface result was obtained by Al10Sr master alloy in terms of roughness. In point of machinability, it was determined that master-alloy alloys have machinability from bad one to good one in the order of CuSn5, CuSn5+Al10Sr, Al10Sr.

BÖLÜM 1. GİRİŞ ve AMAÇ

Günümüzde alüminyum, dayanım/ağırlık oranının yüksek olması, iyi ısı ve elektrik iletkenliği, üstün korozyon dayanımı, işlenebilme ve dökülebilme kolaylığı ve yaşlanma ile dayanımının artırılabilmesi gibi pek çok özellik dolayısıyla tercih edilmektedir. Çeşitli sektörlerdeki uygulama örnekleri olarak; konteyner ve paketleme (meşrubat kutuları, folyo, açılır kapanır tüpler), taşıma (otomotiv motor parçaları, uçak, tekne, demiryolu vagonları), yapı ve konstrüksiyon (pencere çerçeveleri, mimari paneller, çatı kaplamaları, köprüler), elektrik (tevzi çubukları, havai kablolar, kapasitörler), makine ve ekipmanlar (ısı değıştircileri, baskı plakaları, kimyasal ekipmanlar), dayanıklı tüketim malları (mutfak kapları, mobilya, buzdolabı) endüstrileri sayılabilir.

Endüstride kullanılan alüminyum ve alaşımları dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Döküm alaşımlar; genellikle kum döküm, baskı döküm ve sabit kalıp yöntemleri kullanılarak üretilirler.

Al-Si döküm alaşımlarının gerek iyi dökülebilirlik özelliği gerekse ağırlık başına yüksek mukavemet oranı sayesinde kullanım alanı oldukça geniştir. Bu özelliklerden dolayı Al-Si alaşımlarının büyük bir bölümü otomotiv endüstrisinde ve havacılık uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Bu nedenle bu alaşımlarla yapılan dökümlerin kalitesinin ve mekanik özelliklerinin sürekli iyileştirilmesi gerekmektedir [1].

Alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemi, mukavemet, sızdırmazlık, döküm kalitesi gibi birçok özellik kazanımı yanında iyi derecede beslenebilirlik sayesinde homojen ve porozitesiz yapı oluşumuna yardımcı olur [2]. Ötektik modifikasyon alüminyum silisyum temelli alaşımlarda doğası gereği kırılğan olan ötektik silisyum

fazının yapısını geliştirerek mekanik özelliklerinin, çekme uzamasının geliştirmek için döküm alüminyum alaşımlarında uygulanan yaygın bir işlemdir [3].

Alüminyum silisyum alaşımlı döküm işlemlerinde; ötektik silisyum morfoloji yapısının kalın pıhtı formundan mükemmel saflıkta çok iyi forma modifiye edilerek dökülmüş parçalarda geliştirilir, sağlamlık ve mekanik özelliklerle birlikte kısmen süneklik elde edilir. Stronsiyum alaşımının diğer modifiye alaşımlardan ayıran en önemli özellik sürekliliktir. Stronsiyum ile modifiye edilen metallerin tekrar ergitilmesine ihtiyaç duyulan durumlarda dahi içerisinde barındırdığı stronsiyum verimliliğini korur. Bakır Fosfor; demir, silisyum, arsenik, selenyum, nikel, kalay, çinko veya kurşun elementlerini içermeyen saf bakır ve saf fosfor alaşımlarından oluşmuştur. Bakır Oksit oluşumunu engellemek ve daha temiz bir döküm yüzeyi elde etmek için bakır banyolarında oksijeni uzaklaştırır. Alüminyum Silisyum alaşımlarında Silisyum oranının %11'den fazla olduğu durumlarda aşılacağı olarak kullanılmaktadır. Bakır Fosfor, Alüminyum Silisyum alaşımına eklendiğinde AlP formunu alarak, ürün tane yapısını uzun lamel formundan blok parça formuna getirir. Buna bağlı olarak malzemenin dayanıklılığı, aşınma direnci, dökülebilirliği ve işlenebilirliği geliştirilmiş olur [4].

İşlenebilirlik bir malzemenin işleme süreçleri açısından tasarlanan şekilde (yüzey kalitesi ve tolerans) kolaylıkla kesilebilmesini tanımlamak için kullanılan terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için talaşların biçiminin yanı sıra ulaşılan takım ömrü, talaş kaldırma oranı, kuvvet bileşenleri, güç tüketimi ve işlenmiş parçaların yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü kullanılabilir. İşlenebilirlik, seçilen kesme şartları, kesici takım geometrisi ve özellikleri, işlenen malzemenin özellikleri ile kesme ortamı, takım tezgahının rijitliği gibi muhtelif faktörlerden önemli derecede etkilenebilmektedir [5].

Bu çalışmada CuSn5, Al10Sr ve CuSn5+Al10Sr ile modifiye edilmiş Etial 140 alaşımı ve modifiyesiz Etial 140 alaşımın işlenebilirlik üzerine etkileri araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. Malzemelerin karakterizasyonu için mikroyapı, sertlik, yoğunluk ölçümü ve kimyasal analiz testleri yapılmıştır. Ayrıca malzemelerin işlenebilirlik

deneyleri ile talaş oluşumu, kesme kuvveti ve yüzey kalitesi belirlenmiştir. Bu sonuçlarla modifikasyon işleminin işlenebilirliğe etkileri değerlendirilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Alüminyum

Alüminyum, yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Yerkabuğunda bol miktarda (% 7,5 - % 8,1) bulunmasına rağmen saf halde çok nadir bulunmaktadır ve bu nedenle eski çağlarda altından bile daha değerli görülmüştür [6].

Kimyacı Louis Guyton de Morveau (1736–1816), aynı zamanda Antoine Laurent Lavoisier'nin (1743 – 1794) ark. alüm içindeki sülfatlar için “alümin” kelimesini kullanmıştır. “Alümin“ kelimesi Roma devrinde kullanılan potasyum alum $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ için kullanılan latince *alumen* kelimesinden gelmektedir. Alüminyum bileşikleri antik çağlarda çömlükleri boyar madde olarak ve tıpta kan durdurucu madde olarak kullanılmıştır [6].

Alüminyum, yumuşak ve hafif bir metal olup mat gümüşümsü renktedir. Bu renk, açık atmosferde üzerinde oluşan ince oksit tabakasından ileri gelmektedir. Alüminyum, ısıya ve yanmaya dirençlidir kıvılcım çıkarmaz, zehirleyici ve manyetik değildir. Yoğunluğu, çeliğin ve bakırın yaklaşık üçte biri kadardır. Kolaylıkla dövülebilir, şekil verilebilir, makinede işlenebilir ve dökülebilir. Çok üstün korozyon direncine sahip olması, üzerinde oluşan oksit tabakasının koruyucu özellikte olmasındandır. Alüminyum aynı zamanda bir süper iletkendir. Endüstrinin pek çok kolunda milyonlarca farklı ürünün yapımında kullanılmakta olup dünya ekonomisi içinde çok önemli bir yeri vardır [2].

Son yıllarda, alüminyum ve magnezyum alaşımları gibi yüksek mukavemetli ve düşük özgül ağırlıktaki metaller havacılık ve otomotiv endüstrisinin odağı haline gelmiştir.

Alüminyum alaşımlarının teknolojik uygulamalarda kullanımının artması bu metallerin üretim yöntemlerinde de gelişme ve değişimlere sebep olmuş ve daha az enerji, zaman ve son şekle yakın üretim yöntemleri araştırılmaya başlanmıştır [7].

Alüminyumdan üretilmiş yapısal bileşenler uzay ve havacılık sanayi için vazgeçilmezdir. Alüminyum ferro manyetik değildir, bu özellik elektrik ve elektronik endüstrisinde önemli bir rol oynar. Hafiflik ve yüksek dayanım özellikleri gerektiren taşımacılık ve inşaat sanayiinde geniş kullanım alanı bulunmaktadır. Hijyen, geri dönüşüm kolaylığı ve toksik özelliği açısından gıda sektöründe de yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünyadaki kullanımı, hem miktar hem de değer olarak demirden sonra gelmektedir [2].

Alüminyum hafif metaller gurubuna giren ve teknik olarak çok kullanılan bir metaldir. Hafif metal terimi, özgül ağırlığı $3,8 \text{ g/cm}^3$ 'den küçük olan metaller için kullanılmaktadır ve bu sınıfın içinde, alüminyum, magnezyum, potasyum, lityum ve berilyum bulunmaktadır. Bunlar arasında özellikle alüminyum ve magnezyum en yaygın kullanılan metallerdir. Alüminyum, düşük özgül ağırlığının ($2,7 \text{ g/cm}^3$) yanı sıra, yüksek elektrik ve ısı iletkenlik, atmosferik korozyona direnç, kolay üretilebilirlik ve diğer metallerle çekme dayanımı yüksek alaşım oluşturabilme gibi özelliklere sahiptir [8].

Alüminyuma çinko, magnezyum, silis, bakır, titanyum ve lityum gibi elementler eklenerek alaşım elde edilebilir. Makina elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona dayanımı ve işleme kolaylığı, alüminyumun üstün özellikleridir. Hafifliği nedeniyle, büyük ve tek parçaların üretimi mümkün olur. Hassas toleranslarda işleme kolaylığı sayesinde, standart birimlerden büyük parçaların yapılması mümkün olur [9].

Alüminyum alaşımları ise saflık derecelerine göre sınıflandırılırlar. Alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri içerisindeki Cu, Zn, Si, Mg, Fe ve Ti gibi alaşım elementlerinin etkisi ile yükselir. Alüminyuma çok az miktarda katılan bu alaşım elementleri alüminyumun yüzey merkezli kübik kristal kafes yapısında yer alıp katı

eriyik oluşturarak mukavemetini artırır. Alaşım elementinin yapı içerisinde miktarının artması ile mukavemet de artar fakat malzemenin şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Bunun yanında alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri uygulanan şekil verme işlemi ile de büyük ölçüde artırılabilir [8].

2.1.1. Alüminyumun özellikleri

Alüminyum periyodik cetvelin 3A grubunda bulunur. Atom numarası 13, atom ağırlığı ise 26,981538 g/mol 'dür. İyon çapı 0,86 Å olan alüminyumun, atom çapı ise 1,43 Å'dür. Alüminyum, yüzey merkezli kübik kristal kafeslerinden oluşmuştur ve -269 °C' den ergime noktası olan 658 °C' ye kadar kararlıdır, yani fiziksel dönüşüm göstermez. Yer kabuğunda %8 oranında bulunan alüminyum, esas olarak alüminyum hidroksitlerden (AlOOH ve Al(OH)₃) üretilen bir metaldir. Bayer yöntemiyle NaOH liçiyile zenginleştirilen boksitin kimyasal formülü Al₂O₃.2H₂O'dür. Diğer boksitlerden diyasporit (Al₂O₃.2H₂O) ve jipsit (Al₂O₃.3H₂O), hidrat suyu içeren, alüminyum üretiminde değer taşımayan, diğer alüminyum oksitlerdir. Alüminyum metali aktif olduğundan havadan kolay etkilenir ve üzerinde pasif bir Al₂O₃ filmi meydana gelir. Bu film ince olmakla beraber metali yüksek sıcaklıkta bile korozif etkilerden korur. Alüminyum tozu havada çabucak yanar, ayrıca NaOH ve KOH içinde kolayca erir. Bu metal kükürtlü oksitlere de dayanıklıdır. Alüminyumun saflık derecesi arttıkça ergime derecesi de yükselir. Katı halden sıvı hale geçerken metalin hacmi büyür. % 99,65 alüminyum içeren metalde bu büyüme % 6,25 civarında iken; % 99,75 alüminyum içeren metalde de % 6,60 büyüme gözlemlenir. Hem sıvı ve hem de katı alüminyumun yoğunluğu, artan saflık derecesiyle orantılı olarak düşer. % 99,25 Al içeren metalin yoğunluğu 2,727 g/cm iken % 99,40 Al içeren metalin yoğunluğu 2,706 g/cm³'dür [8].

Alüminyumun saflık derecesi büyüdükçe, ısı ve elektrik iletkenliği de buna paralel olarak artar. Yüksek saflıktaki alüminyum, teknik saflıktaki alüminyuma nazaran çok daha yumuşak ve plastiktir. Ayrıca mekanik mukavemeti de daha düşüktür. % 99,25 Alüminyum içeren bir metalin elastiklik modülü 71000 N/mm² iken, çok saf alüminyumun elastiklik modülü, ancak 67000 N/mm²'dir. Alüminyum metalinin saflığı arttıkça, sertliği düşer. Alüminyum oranı % 99,2 olan metalin sertliği 24-54 HB

ve %99,8 olan metalin sertliği de 19-41 HB arasında değişmektedir. Yapılan deneyler, alüminyumun çekme mukavemetinin artan saflık derecesi ile azaldığını göstermiştir. Kopma anındaki kesit yüzeyinin küçülmesi ise, yüksek saflıktaki alüminyumda (> %99,9) en fazladır (Tablo 2.1). Yani alüminyum yüzdesi arttıkça, alüminyum metalini daha sünek hale gelmektedir. Çok saf alüminyumun çekme dayanımı değeri, alüminyum soğuk haddeleme ile elde edilmişse, 110-130 N/mm²; tavlama işlemi görmüşse, 35-60 N/mm² aralığındadır. Bu değerlerin üzerine çıkılamaz. Uzama miktarı da % 5,5'den % 40-50 mertebelerine kadar değişebilir [8].

Tablo 2.1. % 99.5 saflık derecesine sahip alüminyumun genel özellikleri [8].

Sembol	Al
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,97 g/mol
Kristal Yapısı	YMK
Erime Noktası	660°C
Yoğunluğu (Oda sıcaklığında)	2,7 g/cm ³
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150-320°C
Buharlaşma Noktası	2450°C
Isıl Genleşme Katsayısı	23,5µm m ⁻¹ K ⁻¹
Özgöl Isısı	0,224 cal/g (100°C'de)
Gizli Ergime Isısı	94 cal/g
Çekme Mukavemeti	40-100 N/mm ²
Akma Mukavemeti	10-30 N/mm ²
Elastikiye Modülü	72 x 10 ³ N/cm ²
Kayma Modülü	27 x 10 ⁵ N/cm ²
% Uzama	45
% Kopma Uzaması	30-40
Sertlik	20 (HV)
Çentik Darbe Tokluğu	100 J/cm ²
Elektrik İletkenliği	% 59,5 IACS
Elektrik Direnci	2,65 x 10 ⁻⁸ ohm metre
Katılaşma Esnasında Kendini Çekme	% 6,7
Yansıtıcılık	Tungsten flamadan gelen beyaz ışık için %

2.1.2. Alüminyumun kullanım alanları

Alüminyum kolay soğuyup ısıyı emen bir metal olması nedeniyle soğutma sanayinde geniş bir yer bulur. Bakırdan daha ucuz olması ve daha çok bulunması, işlenmesinin kolay olması ve yumuşak olması nedeniyle birçok sektörde kullanılan bir metaldir. Alüminyum genel manada soğutucu yapımında, spot ışıklarda, mutfak gereçleri yapımında, hafiflik esas olan araçların yapımında (uçak, bisiklet, otomobil motorları, motosikletler vb.) kullanılır. Bunun yanında sanayide önemli bir madde olan alüminyum günlük hayatta her zaman karşımıza çıkan bir metaldir [8].

Alüminyumun hafiflik, yüksek dayanım ve korozyon direnci gibi benzersiz özellikleri bu malzemeyi geleneksel ve yenilikçi uygulamalarda ideal bir malzeme yapmaktadır. Alüminyum otomobillerin ve kamyonların yapımında, yiyecek ve içeceklerin paketlenmesinde, elektriğin aktarılmasında, taşıma sistemlerinin geliştirilmesinde, savunma sanayi ve havacılık ekipmanlarında, imalat makine ve takımlarında ve dayanıklı tüketici aletlerinde artan bir şekilde önemli bir hale gelmiştir. Teknolojik olarak karmaşık ürünler ve ekonomik olarak sürdürülebilir ürünler artıkça, alüminyum için fırsatlar genişlemeye devam edecektir [2].

Güçlü, hafif ve geri dönüşüm özellikleri ile alüminyum modern dünyanın devam ettirilmesinde önemli bir malzemedir. Hemen hemen herkes dünyanın büyük bir çoğunluğunda alüminyum her gün kullanmaktadır. Aslında, günümüzde insanlar alüminyum, bu malzemenin üretim tarihindeki herhangi bir zaman diliminden daha çok kullanmaktadır. Alüminyumun yenilikçi uygulamaları bizi çevrelemiş durumdadır. Alüminyum kaput ve diğer hafif parçalar ile arabalardaki yakıt tüketimini verimli bir hale getirir. Evinizde veya ofisinizde alüminyum pencere ve kapıları kullanarak veya belki bir soğuk tavan bile kullanarak yalıtımı geliştirebilir ve ısınma veya soğutma fatura maliyetlerini azaltabilirsiniz. Bir ana bileşen olarak hafif alüminyum olmaksızın yaz tatili için veya son yaptığımız iş gezisi için uçmak mümkün olmayabilirdi. Arkadaşlarımızla ve ailemizle görüşmek için kullandığımız yüksek teknoloji marifetli küçük araçların kapları ve kılıflarında giderek artan bir biçimde de kullanılmaktadır. Ayrıca, havacılık, alüminyum konserve kutuları, otomotiv, yapı ve

inşaat, elektrik, elektronik ve uygulamaları, paketleme ve daha birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır [11].

2.2. Alüminyum Alaşımları

Endüstride kullanılan alüminyum ve alaşımları dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Dövme alaşımları, isimlendirilmesinden de anlaşılacağı gibi; dövme, haddeleme ve ekstrüzyon gibi plastik şekil verme yöntemleriyle üretilmektedirler. Dört rakamlı sayısal simgenin ilk rakamı, hangi temel alaşım elementini içeren alüminyum alaşımı olduğunu belirtir. 1XXX dizisi saf alüminyumu (% 99,00) gösterir. Son iki rakam % 99 değerinin noktadan sonraki rakamlarını belirtir. Soldan ikinci rakam ise, özel olarak denetlenen katkı elementlerin sayısını belirtir ve 1'den 9'a kadar değişebilir. 2XXX'den 8XXX'e kadar olan alüminyum alaşımlarında ilk rakam alaşım türünü, ikinci rakam değişimleri (modifikasyon) simgeler, son iki rakamın özel bir anlamı yoktur. Alaşımı dizideki diğer alaşımlardan ayıran sıra numarası gibi kullanılır [8].

Tablo 2.2. Dövme alüminyum ve alaşımlarının sınıflandırılması [8].

Alaşımsız Alüminyum	1XXX	Yaşlandırılabilir.
Alüminyum Bakır Alaşımı	2XXX	Yaşlandırılabilir.
Alüminyum Manganez Alaşımı	3XXX	Yaşlandırılabilir.
Alüminyum Silisyum Alaşımı	4XXX	Yaşlandırılabilir.
Alüminyum Magnezyum Alaşımı	5XXX	Yaşlandırılmaz.
Alüminyum-Silisyum-Magnezyum Alaşımı	6XXX	Yaşlandırılabilir.
Alüminyum Çinko Alaşımı	7XXX	Yaşlandırılabilir.
Alüminyum ve diğer Elementler (Lityum vs.)	8XXX	Yaşlandırılabilir.
Kullanılmayan Seri	9XXX	Yaşlandırılabilir.

Tablo 2.2'de çeşitli alüminyum serileri, ısıtılma durumları ve oluşturdukları alaşım grupları verilmiştir. Genellikle dövme alüminyum alaşımların sınıflandırılması alaşım elementlerinin katkılarına göre yapılırken, aynı zamanda ısıtılma uygulanabilirliği (yaşlandırma) açısından da bu alaşımlar ele alınmaktadır [8].

Alüminyum alaşımlarına diğer metallerin ilave edilmesi, mekanik özelliklerin iyileşmesine olanak tanır. Örneğin, ticari vasıftaki alüminyumda mevcut küçük miktarlardaki yapı kirleticilerinin bile alüminyumun mukavemetini saf metale kıyasla % 50'ye kadar arttırmaya yeterli olduğu literatürlerde izah edilmektedir. Alüminyum alaşımlarının üretiminde en fazla kullanılan metaller bakır, silisyum, mangan, magnezyum ve çinkodur. Bu metaller, arzu edilen nitelikteki ürünü imal edebilmek için alüminyum alaşımına, tek veya bileşik halde ilave edilebilirler. Döküm alaşımlarında, alaşım yapıcı metaller daha yüksek miktarlarda kullanıldığı zaman hadde al aşımaları için bu metallerin toplam yüzdesi, nadiren % 10'un üstüne çıkar. Dökülmüş ve tavllanmış şartlardaki alüminyum alaşımlarının çekme mukavemeti bileşimlerine bağlı olarak ticari alüminyumunun iki misline kadar yükselir. Soğuk işlem, hadde alaşımlarının çekme mukavemetini daha da yükseltir. Alaşımlandırma sonucu alüminyum metalinin mukavemetinde elde edilen yükseliş, diğer özelliklerdeki değişimlerle birlikte meydana gelir. Bu değişimler farklı alaşımlarda nadiren aynı olur. Çünkü birçok alaşım, esas itibariyle aynı çekme mukavemetine sahip olmasına karşın; süneklik, elektrik ve ısı iletkenliği ile üretim kolaylığı bakımından birbiriyle önemli farklılıklar gösterir. Alaşımlandırmada bazı katkıları, malzemenin yoğunluğunu artırıcı etki gösterirken; bazı alaşımlar da daha hafif olurlar. Örneğin % 10-13 oranında silisyum içeren alaşımların yoğunluğu $2,65 \text{ g/cm}^3$ civarındadır [8].

Döküm alaşımlar; genellikle kum döküm, baskı döküm ve sabit kalıp yöntemleri kullanılarak üretilirler. Bu alaşımlar son derece yüksek fiziksel özellikler gösterir ve işlenmeye elverişlidirler. Döküm alaşımlar kaynak edilebilirler. Isıl işlem çok yaygın olarak dövme alüminyum alaşımlarına uygulanmakla birlikte, döküm alaşımların bir kısmına da başarıyla uygulanabilmektedir. Bu özelliklerin yanında, mukavemet ve korozyon özellikleri iyidir. Bu nedenle döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri dövme alaşımlarından oldukça farklı olup silisyum % 5-12 oranı ile en önemli alaşım elementidir. Silisyum ötektik reaksiyon veren bir element olduğundan ilavesiyle alaşımın akıcılığı ve besleme kabiliyeti artarken, aynı zamanda malzeme mukavemeti de artar. Magnezyum elementi % 0,3-1 arasında ısıl işlem uygulanabilir alaşımlara eklenir ve çökeltme (Mg_2Si) ile malzeme mukavemetinin artışı sağlanır. Bakır, yüksek sıcaklık direncini arttırmak amacıyla % 1-4 arasında kullanılır ve CuAl_2 bileşiği

şeklinde çökelme fazı oluşturur. Çinko elementi de aynı şekilde yaşlanma amaçlı olarak malzemeye ilave edilir ve $MgZn_2$ çökeltisi oluşturur. Bor (B) ve titanyum (Ti) döküm alüminyum alaşımlarına tane küçültücü olarak ilave edilirken, sodyum (Na) ve stronsiyum (Sr) elementleri ötektik yapıyı modifiye edici olarak eklenir. Diğer özellikleri de kontrol amacı ile kalay (Sn) ve krom (Cr) gibi elementler kullanılabilir [8].

2.2.1. Alüminyum silisyum alaşımları

Alüminyum-silisyum alaşımları hafiflik, iyi mekanik özellikleri, yüksek mukavemet, yüksek ısı iletkenliği ve düşük ısıl genleşme özelliklerinden dolayı ve en önemlisi yüksek silisyum oranından dolayı sıvı halde yüksek akışkanlıkları nedeniyle genellikle otomotiv parçalarının dökümünde kullanılmaktadır. Mekanik özellikleri etkileyen parametrelerden bir tanesi de mikro yapıdır. Mikro yapısal olarak Al-Si alaşımlarının, kabaca yumuşak ve sünek alüminyum fazı ile sert ve kırılğan iğnemsiz yapılı silisyum fazından meydana geldiği görülebilmektedir [2].

Al-Si döküm alaşımlarının gerek iyi dökülebilirlik özelliği gerekse ağırlık başına yüksek mukavemet oranı sayesinde kullanım alanı oldukça geniştir. Bu özelliklerden dolayı Al-Si alaşımlarının büyük bir bölümü otomotiv endüstrisinde ve havacılık uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Bu nedenle bu alaşımlarla yapılan dökümlerin kalitesinin ve mekanik özelliklerinin sürekli iyileştirilmesi gerekmektedir [1].

Bu serinin temel alaşım elemanı silisyumdur. Al-Si alaşımlarının en önemli özelliği düşük silisyum katkılarında ergime sıcaklığının düşük olmasıdır. Bu nedenle kaynak çubukları ve sert lehim levhalar için özellikle uygundur. Lehim teli, mimari uygulamalar ve radyatör dilimleri başlıca kullanım yerleridir. Şekil 2,5'de Al-Si iki bileşenli faz diyagramı görülmektedir. Alüminyumda silisyumun maksimum çözünme sınırı % 1,65'dir. Ancak 4XXX serisi alaşımlarda % 2,5'e kadar silisyumlu alaşım yapılır. Yüksek silisyumlu alaşımların düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci ve yüksek aşınma direnci vardır. Bu nedenle dövme motor pistonları

4032 alaşımlarından yapılır. Diğer taraftan bu alaşımlar ısıtılma işlemi ile sertleştirmeye elverişsizdirler. Önemli miktarlarda silisyum içeren alaşımlara anodik oksidasyon uygulandığında koyu gri renk alırlar, bu yüzden mimari uygulamalarda dekoratif amaçlı olarak kullanılırlar [8].

Alüminyum döküm alaşımları dövme alüminyum alaşımlarıyla aynı dayanım artırıcı mekanizmalarla güçlendirilirler ve ısıtılmalı ve ısıtılmısz olarak sınıflandırılırlar. Aralarındaki en büyük fark ise yüksek üretim hacimlerinde kullanılan döküm alaşımlarında alaşım elementi olarak silisyumun kullanılmasıdır. % 12 Si 'un altındaki alaşımlara ötektik altı, % 12 Si'a yakın alaşımlara ötektik ve %12 Si üstü alaşımlara ise ötektiküstü alaşımlar denilir. Al-Si döküm alaşımları toplam üretilen döküm parçalarının % 85-90'ını oluşturur [12].

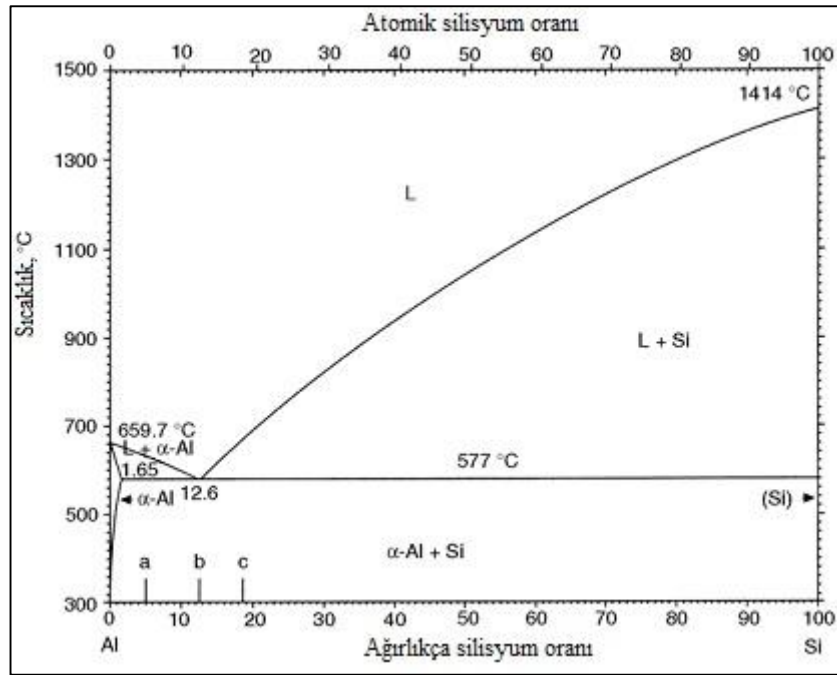
Mikroyapı içerisinde mekanik özelliklere diğeri bir etkiyi, yapı içerisinde dentrit kolları arasında bulunan sert ve kırılğan ötektik silisyum fazının boyutu, morfolojisi ve dağılımı yapmaktadır. Mikroyapı içerisindeki silisyumun boyutu, morfolojisi ve dağılımı alaşımın soğuma hızının değıştirilmesi ya da alaşım içerisinde silisyumun katılma mekanizmasını değıştiren element ya da bileşiklerin ilavesi ile gerçekleştirilebilmektedir ve bu elementler sodyum (Na) ve stronsiyumdur (Sr). Al-Si alaşımları içerisindeki silisyumun dağılımı, morfolojisi ve boyutu üzerinde yapılan değışiklikler Al-Si alaşımlarının modifikasyonu ya da sıvı-metal işlemleri olarak tanımlanmaktadır [2].

Modifikasyon kum dökümlerde kısmen avantajlıdır ve Na ve / veya Sr'un kontrollü ilavesi ile başarıyla sağlanır. Ca zayıf bir ötektik modifiye elementidir ve daha lamelli ötektik Sb ilavesi ile elde edilir. Yüksek katılma hızları daha ince modifiye olmamış ötektik mikro yapı oluşumunu teşvik eder. Ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında silisyum fazının P ilavesi ile rafine edilmesi döküm ve ürün performansı için gereklidir [12].

Genel olarak kum kalıba döküm ve hassas döküm gibi yavaş katılma şartları sağlayan döküm yöntemlerinde % 5–7, kokil dökümlerde % 7–9 ve basınçlı dökümlerde % 6–12 silisyum oranları kullanılmaktadır [2].

2.2.2. Alüminyum silisyum denge diyagramı

Ticari alüminyum silisyum alaşımları genellikle hipötektik ve ötektik bileşimde olup az bir miktarı hiperötektik bileşimdedir. Al-Si alaşımı basit bir ötektik sistem olup iki katı eriyik faz olan YMK (Yüzey merkezli kübik) alüminyum ve elmas kübik (özel yüzey merkezli kübik) yapıya sahip silisyumdan oluşmaktadır.



Şekil 2.1. Al-Si denge diyagramı [13].

Şekil 2.1'de Al-Si denge diyagramı gösterilmektedir. Denge koşullarında ötektik sıcaklığına $577 \pm 1^\circ\text{C}$ ve % 12,6 Si ötektik bileşimine sahiptir. Ötektik bileşimin altında silisyum içeren alüminyum alaşımları ötektikaltı (hipötektik) bu bileşimin üzerinde silisyum içerenler ise ötektiküstü (hiperötektik) alaşımlar olarak adlandırılmaktadır [2].

Ötektik sıcaklık genellikle 850°K (577°C) olarak kabul edilmiştir. Genel olarak, silisyum içeren alüminyum temelli katı eriyik fazı α , çok az alüminyum içeren silisyum temelli katı eriyik fazı da β olarak belirtilerek diyagramda gösterilmiştir. Buna rağmen denge diyagramında katı eriyikler Al ve Si olarak da belirtilmektedir [8].

Ötektik karışımı oluşturan fazlardan α fazı oda sıcaklığında %1 den daha az silisyum içeren alüminyum bazlı bir katı eriyiktir. Ötekiği oluşturan diğer faz β ise, hemen hemen saf silisyum olan, çok az alüminyum içeren silisyum bazlı bir katı eriyiktir [2].

Ötektik Al-Si alaşımlarında yavaş katılaşma, alüminyum matrisinde ötektik silisyumun geniş plaka şeklinde yerleştiği kaba bir mikroyapı üretir. Ötektik alaşımdaki silisyum partikülleri yaklaşık olarak birbirine paralel bir şekilde dizilmeye meyillidir. Ötektik Al-Si alaşımlarının hızlı soğuması ötektik sıcaklıkta ani düşme meydana getirtir ve sonuçta ötektik yapıda genel bir incelme görülür. Silisyum partiküllerinin şekli yavaş soğuyan alaşımlardaki şekil ile aynı, fakat daha küçük ölçülerdedir. Ötektik bileşime yakın alaşımın yapısı silisyum bileşiminden çok soğuma hızına bağlıdır. Hızlı soğuma birincil alüminyum oluşmasına yardımcı olur [8].

Ötektik altı Al-Si alaşımlarının yapısı, genellikle dentritik bir görünümde olan α birincil fazı ile bu dentrit kolları arasında kümeleşmiş ötektik karışımdan oluşur [2].

Yüksek katılaşma hızları daha ince modifiye olmamış ötektik mikro yapı oluşumunu teşvik eder. Ötektik üstü alüminyum silisyum alaşımlarında silisyum fazının P ilavesi ile rafine edilmesi döküm ve ürün performansı için gereklidir [15].

Ötektik altı alaşımın yapısı dentrit görünümünde olan birincil faz ile dentrit aralarında kümeleşmiş ötektik karışımdan oluşur. Ötektik üstü alaşımın yapısı ise, çökelti görünümdeki faz ile ötektik karışımdan meydana gelir [8].

Silisyum oluşumunun başlıca oluşumu alaşım kompozisyonunun bit fonksiyonu olmasına rağmen, alaşım içindeki silisyumun boyutu, şekli ve dağılımı çoğunlukla

soğutma oranı ve modifiye edici/inceltme tekniği gibi döküm parametrelerine bağlıdır [14].

Ötektik üstü Al-Si alaşımlarında ise yapı, ötektik karışımı ile kaba çökeltiler görünümündeki β fazından oluşmuştur [2].

2.2.3. Alaşım elementlerinin alüminyuma etkileri

2.2.3.1. Antimon

Antimon ağırlıkça % 0,10'un üzerinde ötektik silisyum alaşımını olumlu yönde gelişmesine yardımcı olur. Fakat aynı anda sodyum ve stronsiyum ile reaksiyona girerek intermetalik oluşturup yapıyı kötü yönde etkiler [15].

2.2.3.2. Bizmut

Bizmut 0,1% oranlarında dökme alüminyum alaşımlarının işlenebilirliklerini artırır [15].

2.2.3.3. Bor

Bor diğer metallerle birleşerek TiB_2 ve AlB_2 gibi borürleri oluşturur. Titanyum borür yapı içerisinde tane inceltme için $TiAl_3$ gibi tane inceltici fazlar oluşturarak heterojen çekirdeklenme bölgeleri oluşturur. Metalik borürlerin yapıda yüksek miktarda yer alması talaşlı imalat işlemlerinde takım ömrünü azaltır, mekanik özellikler ve süneklik üzerinde kalıcı etkileri olan büyük veya topaklaşmış kalıntılar oluşturur [15].

2.2.3.4. Kadmiyum

Kadmiyum 0,1% oranlarında dökme alüminyum alaşımlarının işlenebilirliklerini artırır. Kadmiyum 1413 °F (767 °C)'de buharlaştığından önlem almak gereklidir [15].

2.2.3.5. Kalsiyum

Kalsiyum zayıf bir alüminyum-silisyum ötektik modifiye edicidir. Bu element hidrojen çözünürlüğünü artırır ve genellikle döküm boşluklarına neden olur. Kalsiyum ayrıca yaklaşık olarak 0,005% oranından fazla olduğunda alüminyum-magnezyum alaşımlarında sünekliği ters yönde etkiler [15].

2.2.3.6. Bakır

Bakır sertlik ve mukavemeti arttırdığı gibi işlemeyi de kolaylaştırır. Bakır genellikle genel korozyona olan direnci azaltır, sıcak yırtılma dayanımını düşürür ve interdentritik çekintiyi yükseltir. Al_2Cu oluşturup akma mukavemetine ve sertliğe (çökeltme sertleşmesi) olumlu etki eder. Ağırlıkça % 4 ve üzeri Cu oranları korozyon dayanımını logaritmik olarak düşürür [2].

2.2.3.7. Fosfor

Fosfor ötektik üstü Al-Si alaşımlarında başlıca silisyum fazını çekirdekleştirir ve inceltir. Ötektik altı Al-Si alaşımlarında fosfor ötektik yapıyı kabalaştırır ve sodyum ve stronsiyum modifiye edicilerinin tesirini azaltır [15].

2.2.3.8. Demir

Demir iğneli doku biçiminde kristalleştiğinden mekanik mukavemeti düşürür. Basınçlı döküm açısından kalıba yapışma eğilimini azaltır. Demir aynı zamanda $FeAl_3$, $FeMnAl_6$ ve $\alpha AlFeSi$ gibi intermetalik fazlar oluşturur. Bu fazlar yüksek sıcaklıklarda dayanımı artırır ancak mikro yapının kırılgan hale gelmesine de yol açar. % 1,1 üzeri iğnesel Al_5FeSi - β beta fazı oluşturur ve yapı kırılganlık gösterdiğinden işleme problemi oluşturur. Bu özelliğinden dolayı Fe oranının en fazla % 0,8 - % 1 mertebesinde olması istenmektedir [2].

2.2.3.9. Magnezyum

Magnezyum genellikle ısıtılmalı alaşımlarda, bakır ve nikel içeren alüminyum-silisyum alaşımlarında dayanım ve sertlik gelişimi için kullanılır. Mg_2Si olarak çökeltme sertleşmesi oluşturur. Mukavemeti yükseltir. Alüminyum silisyum alaşımları için bilinen en ideal bileşim aralığı ise ağırlıkça % 0,05 - 0,45'dir [2].

2.2.3.10. Çinko

Çinko akma mukavemetine etki eden bir empüredir. Ağırlıkça % 0,50'nin üzerinde olduğu zaman korozyon direncini azaltır. Tek başına belirgin bir özellik kazandırmaz [2].

2.2.3.11. Nikel

Nikel genellikle bakır ile birlikte yüksek sıcaklık özelliklerini artırır. Aynı zamanda termal genişleme katsayısını düşürür. Korozyon dayanımını artırır ve kalıcı parlaklık verir [2].

2.2.3.12. Kurşun

Kurşun % 0,1'den büyük konsantrasyonlarda izlenebilirliği geliştirmek için kullanılır [15].

2.2.3.13. Kobalt

Kobalt alüminyum alaşımlarında sıkça kullanılan bir element değildir. Fakat yapılan araştırmalar göstermektedir ki; alüminyum-silisyum alaşımlarında alüminyum-demir-silisyum fazını daha yuvarlak alüminyum-kobalt-demir fazına çevirir, dayanımı ve uzamayı arttırmaktadır [2].

2.2.3.14. Sodyum

Sodyum ötektik sıcaklığı 12 °C kadar aşağı düşürmesinden hızlı soğumayla beraber hızlı çekirdekleşme meydana geleceğinden dolayı ince taneli bir mikroyapı oluşmasına yardım eder. Önemli özelliği alüminyum silisyum ötektiğini modifiye etmesidir. Sodyum ergimiş alüminyumda süratle kaybolur. Fosforun olmadığı durumlarda % 0,01 oranları etkilidir [2].

2.2.3.15. Stronsiyum

Stronsiyum alüminyum silisyum ötektiğini modifiye eder. Etkin modifikasyon çok düşük ilave seviyelerinde elde edilir. Genellikle % 0,008 ile % 0,04 oranları kullanılır. Düşük yoğunlaşma oranları yüksek katılma hızları ile birlikte etkilidir. Yüksek ilave oranları döküm porozitesine yol açar [15].

2.2.3.16. Titanyum

Titanyum bor ile birlikte tane inceltici olarak kullanılmaktadır. Titanyum özellikle alüminyum döküm alaşımlarının tane yapısının tekrar düzenlenmesinde küçük miktarda bor ile kullanılır [2,15].

2.2.3.17. Kalay

Kalay aşınma direncini iyileştirmesinden dolayı yataklama uygulamalarında kullanılabilir. Döküm alaşımlarında %25 oranlarında bulunabilirler ve ayrıca kalay işlenebilirliği iyileştirmektedir.

2.2.3.18. Silisyum

Silisyum en büyük etkisi akışkanlık kazandırmasıdır. Stronsiyum, fosfor, sodyum gibi elementlerle birleştiğinde iğnesel kırılmalı yapıdan küresele yakın küçük yapılara döner [2]. Akışkanlık, sıcak yırtılma dayanımı ve besleme gibi özellikleri iyileştirir. Yavaş

soğuma oranlı kum kalıp, plaster döküm ve hassas döküm gibi proseslerde genellikle ağırlıkça %5-7 silisyum oranında, kalıcı dökümde %7-9 oranlarında ve kalıba döküm (die casting) proseslerinde ağırlıkça %8-12 oranlarında tercih edilebilmektedir [15].

2.2.4. Alüminyum alaşımlarında tane inceltme

Alüminyum alaşımlarında tane inceltme işlemi, mukavemet, sızdırmazlık, döküm kalitesi gibi birçok özellik kazanımı yanında iyi derecede beslenebilirlik sayesinde homojen ve porozitesiz yapı oluşumuna yardımcı olur [2].

Al-Si alaşımlarına az oranda alkali metallerin (Na, K, Sr gibi) ilavesi yapı ve dağılımları önemli ölçüde etkilemektedir. İlaveler nedeniyle yapıda görülen bu değişimlere modifikasyon denir ve malzemenin mekanik özellikleri iyileşir. Hızlı katılaştırılan dökümlerde (kokil döküm) elde edilen yapıya da modifiye yapı denir. Türü ne olursa olsun modifikasyon yapısı liflidir ve modifikasyon olup olmaması yapının tümünün lifli olup olmaması ile eşanlamlıdır [8].

Ötektik modifikasyon alüminyum silisyum temelli alaşımlarda doğası gereği kırılgan olan ötektik silisyum fazının yapısını geliştirerek mekanik özelliklerinin, çekme uzamasının geliştirmek için döküm alüminyum alaşımlarında uygulanan yaygın bir işlemdir [3].

Ötektik çekirdeklenme büyük ölçüde değişimler gösterir ve büyüme dinamikleri modifiye edici olarak eklenen elementlerin miktarı ve tipinin fonksiyonu olarak Al-Si alaşımlarında değişiklikler meydana gelir [8].

Modifiye edici olarak stronsiyum, ötektiküstü Al-Si alaşımlarda ötektik morfolojisini kaba iğnemsî yapıdan fiberimsî yapıya dönüştürerek mekanik özelliklerin daha iyi olmasına sebep olur [16].

Mevcut araştırmalardan Al-Si alaşımlarında (silisyum morfoloji değişimi) ötektik modifikasyonun temel mekanizması hala tam olarak anlaşılamamıştır. Modifiyeli ve

modifiyesiz alaşımlar arasında ötektik çekirdeklenmeler de belirgin farklılıklar vardır ve bu farklılıklar soğuma eğrileri, EBSD ve mikro ve makroskobik incelemelerle yansıtılır. Kullanılan alaşımlarda modifiyesiz alaşıma göre Sr ve Sb bireysel eklemelerden sonra çekirdeklenme zorluklarının arttığı fark edilmiştir. Bu Sb modifiyeli alaşımlarda orta ve Sr modifiyeli alaşımlarda geniş olan ötektik taneler ile ötektik tane boyutlarını yansıtmıştır. Çekirdeklenme şekillerindeki farklılıkların modifikasyon ile ilişkili genel komplikasyonların çoğu için sebep olma ihtimali vardır. AIP alaşımını modifiye edilmemiş alaşımlarda ötektik Si için ortak bir çekirdektir, ancak modifiye alaşımlardan daha az aktif olarak görülmektedir. Bu geçiş için mekanizma belli değildir ama modifikasyon süreci ile başlayan intermetalik fosforun temizlenmesi ile ilgili olabilir. Ötektik tane boyutu ve silisyum morfolojisi bağlantılı olsalar da bunlar tamamen bağımlı değildir [8].

Tane inceltme ve modifikasyon küçük oranlarda Al-Ti-B ve Al-Sr master alaşımları kullanılmasıyla bu alaşımların mikroyapısının kontrolü için yaygın olarak kullanılan metottur. Tane inceltme birincil olarak tane boyutunu azaltır çünkü modifikasyon iğnemsiz yapıdaki ötektik Si fazını fiberimsiz morfolojiye dönüştürür. Bu tür morfolojik değişimler mekanik özelliklere önemli derecede yararlıdır. Ticari modifiye ediciler arasında, stronsiyum en çok kullanıma sahip olandır [17].

Ötektik damlacıkların çekirdeklenme hızları Sr'un soğumayı artırdığını göstermiştir. Bu Sr'un AIP fazından etkilenmesinden olabilir. Ötektik altı Al-Si alaşımlarında titanyum borür eklenmesinin birincil alüminyumu incelttiği ve Sr eklenmesinin ötektik silisyumu modifiye ettiği çok iyi bilinir. Sr modifiyeli örneklerde ötektik silisyum partiküllerinin sayısı Sr+Ti inceltme örnekleriyle karşılaştırıldığında daha yüksek seviyede olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Ti'un ötektik silisyum partiküllerinin boyutunu biraz etkilediği tespit edilmiştir [8].

Modifiyesiz ötektik Si döküm alaşımları genellikle kaba, iri tanelidir. Genellikle bu kötü mekanik özelliklere özellikle sünekliliğe. Al-Si döküm alaşımlarında Si morfolojisinin mekanik özelliklere etki ettiği uzun süreden beri bilinmektedir [18].

Sert kırılğan silisyum parçacıkları daha yumuşak olan alüminyum matrisinin akma dayanımını ve kopma dayanımını artırır fakat tabaka benzeri Si kötü süneklige neden olur. Bu sorunun üstesinden gelmek için sodyum (Na) ve stronsiyum (Sr) gibi elementlerle Si morfolojisini değiştirmek için Al-Si alaşımlarında modifikasyon uygulanır. Ek olarak bakır, Al-Si-Cu alaşımlarının yaşlandırarak sertleştirilmesini kuvvetli bir şekilde etkiler [19]. Sadece Sr eklenmesi Al-Si ötektiğini değil hatta morfolojik etkisini ve α - Al dentritlerinin yapısını da değiştirir. Sr α -Al dentritlerinin ve Al-Si ötektiklerinin büyüme sıcaklıklarını düşürür ve hatta dentritlerin büyüme mekanizmasını da etkiler. Daha fazla soğutma oranıyla önemli ölçüde etkilerin olduğu bulunmuştur [8].

Na ve Sr un birlikte eklenmesinde ekmeden kısa bir süre sonra bile ötektik mikroyapının modifikasyonunun iyileştirilmesinde bir sebep olmadığı görölmüştür. Na ilavesi modifiye edicilerin hızlı bir şekilde azalmasına yol ačan eritme boyunca modifikasyon etkisinde hızlı bir kayba sebep olarak Sr'un buharlaşması ve kinetik oksidasyonu olduğu katkısında bulunulabilir. Soęutma boyunca ötektik katılaşma sırasında Na ile modifiye edilmiş eriyik içine Sr'un ilavesi ötektik katılaşma davranışını değiştirmemektedir. Na'un etkisi ötektik katılaşmada hakimdir ve ötektik ısıl gradyentine önemli ölçüde bağımlı olarak gelişme göstermiştir. Na ve Sr'un birlikte eklenmeleri porozite ve döküm kusurları üzerinde yararlı etki ortaya koymuştur [8].

Alüminyum Silisyum alaşımlı döküm işlemlerinde; ötektik silisyum morfoloji yapısının kalın pıhtı formundan mükemmel saflıkta lamel forma modifiye edilerek dökölmüş parçalarda geliştirilmiş sağlamlık ve mekanik özelliklerle birlikte kısmen süneklilik elde edilir. Stronsiyum alaşımının diğer modifiye alaşımlardan ayıran en önemli özellik sürekliliktir. Stronsiyum ile modifiye edilen metallerin tekrar ergitilmesine ihtiyaç duyulan durumlarda dahi içerisinde barındırdığı stronsiyum verimliliğini korur [4].

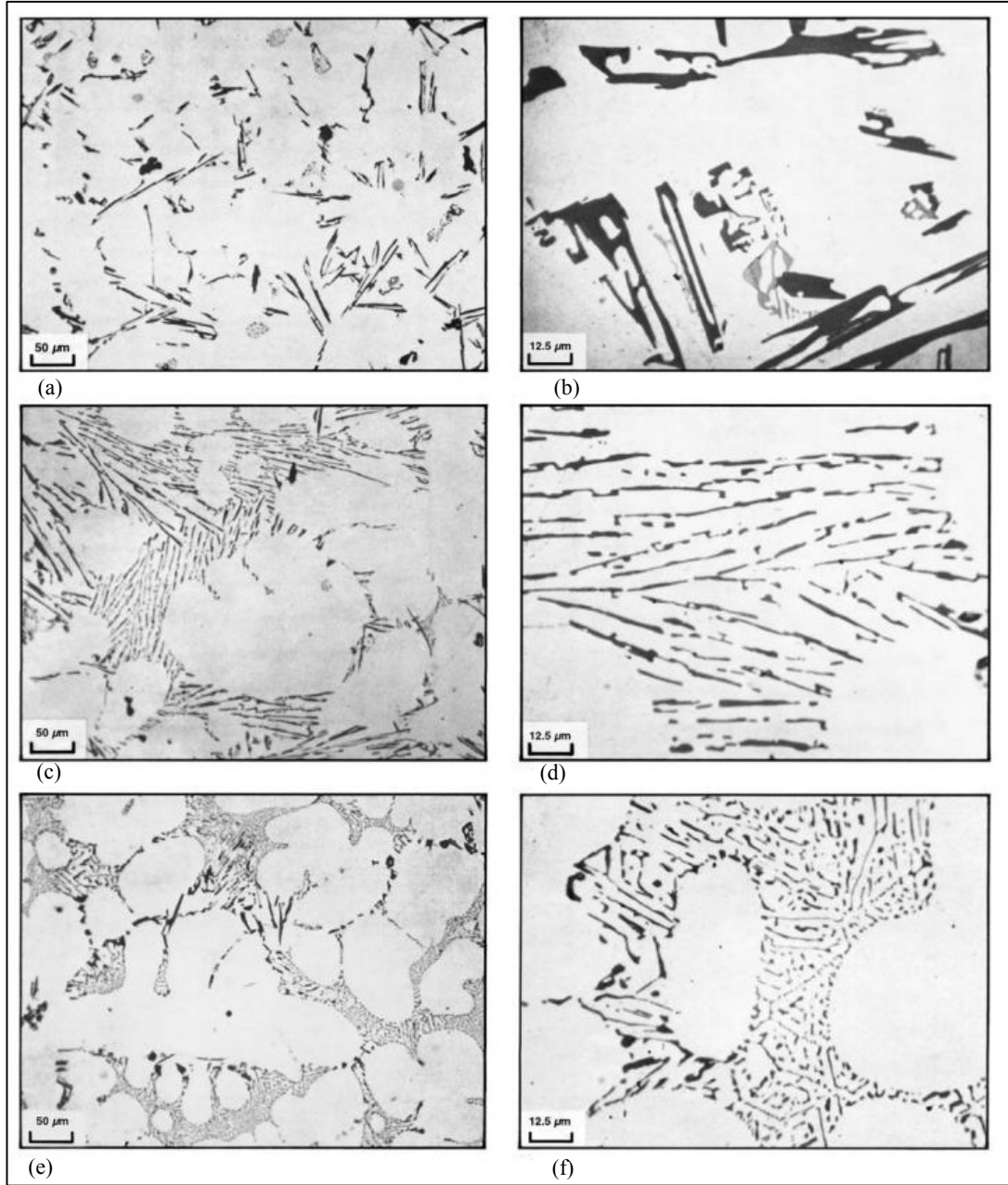
Bakır Fosfor; demir, silisyum, arsenik, selenyum, nikel, kalay, çinko veya kurşun elementlerini içermeyen saf bakır ve saf fosfor alaşımlarından oluşmuştur. Bakır Oksit

oluşumunu engellemek ve daha temiz bir döküm yüzeyi elde etmek için bakır banyolarında oksijeni uzaklaştırır. Ergimiş metali kaynatarak reaksiyona giren ürünü P_2O_5 oksijeni metalden uzaklaştırarak cüruf kalıntılarını minimuma indirir. Alüminyum Silisyum alaşımlarında Silisyum oranının %11'den fazla olduğu durumlarda aşılavıcı olarak kullanılmaktadır. Bakır Fosfor, Alüminyum Silisyum alaşımına eklendiğinde AIP formunu alarak, ürün tane yapısını uzun lamel formundan blok parça formuna getirir. Buna bağlı olarak malzemenin dayanıklılığı, aşınma direnci, dökülebilirliği ve işlenebilirliği geliştirilmiş olur [4].

Titanyum (Ti) ve bor (B) elementlerinin %0,01 gibi az bir oranda ilave edilmesi ile alüminyum alaşımlarında hızlı bir şekilde ve önemli derecede tane inceltme etkisi göstermektedir. Tane inceltme işlemi uygulanmış alüminyum dökümlerinde inceltme uygulanmamış olanlara göre daha iyi beslenebilirlik ve daha gözeneksiz bir yapı elde edilmektedir. Buna bağlı olarak ince taneli dökümler, düşük segregasyon dağılımı, yüksek mekanik özellikler ve sızdırmazlık direnci gibi üstün özelliklere sahiptirler. Titanyum ve borun birlikte katılması sonucu oluşan TiB_2 bileşiğinin iyi bir çekirdekleyici olduğu ve TiB_2 partiküllerinin sıvı alüminyum içerisinde neredeyse hiç çözünmeyerek düşük ilave oranlarında bile mükemmel tane inceltme sağlar [4].

2.2.4.1. Alüminyum ötektik modifikasyon

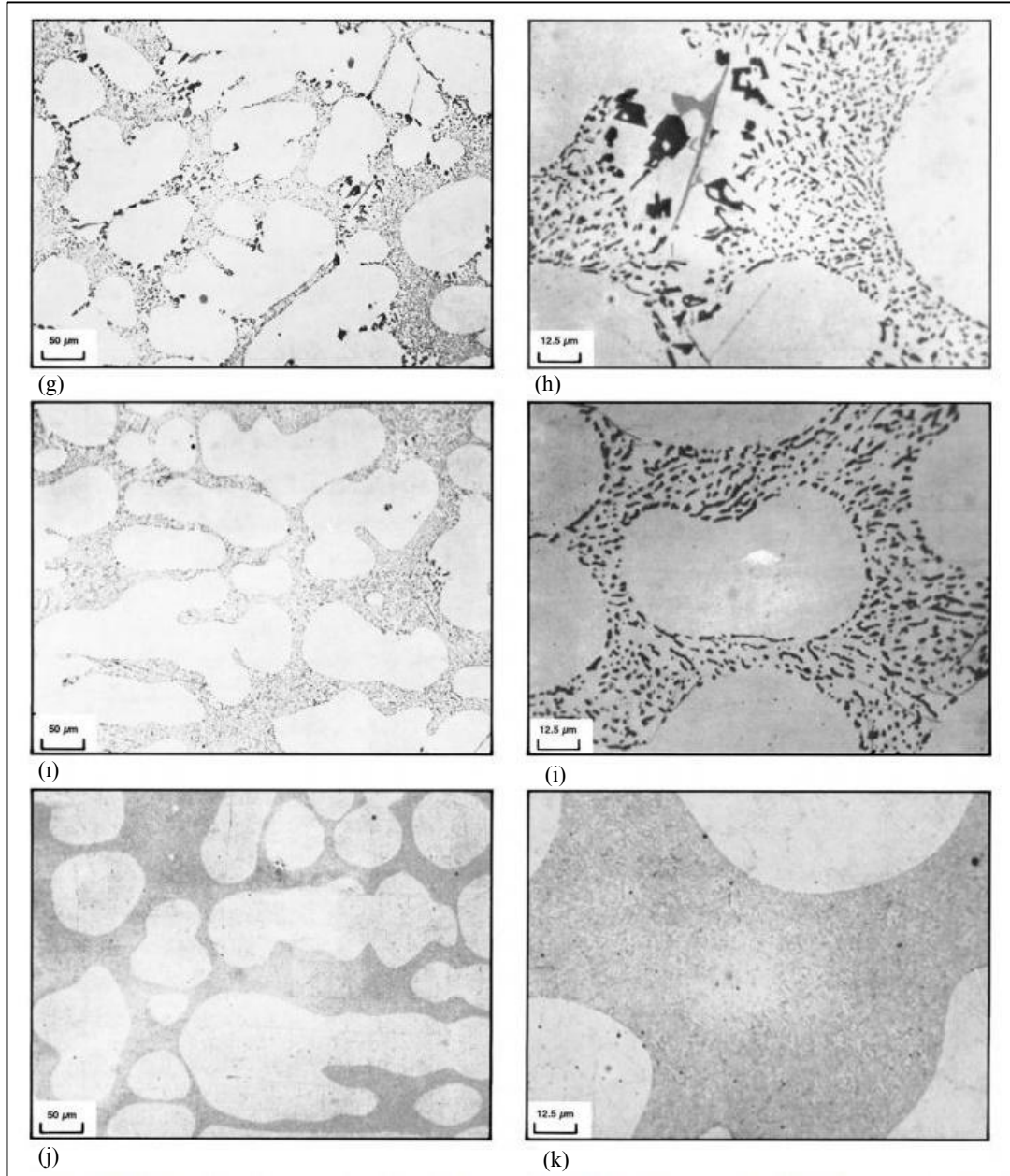
Ötektiküstü alüminyum-silisyum alaşımlarının özellikleri ötektik formunun modifiye edilmesinden etkilenebilmektedir. Daha iyi, daha fiberimsi ötektik yapılar, katılma oranının artırılması ve kimyasal modifiye edicilerin eklenmesi ile elde edilebilir. Kalsiyum, sodyum, stronsiyum ve antimoninin katılma esnasında ötektik modifikasyonunun derecelerine etki ettiği bilinmektedir. Şekil 2.2 modifiye edici katkıları ile elde edilen alüminyum-silisyum ötektik modifikasyonundaki dereceleri göstermektedir [15].



Şekil 2.2. Alüminyum-silyum ötektik modifikasyonun derecelerindeki değişimler; a). Derece 1, tamamiyla modifiyesiz yapı. 200x. b). (a) ile aynı fakat 800x gösterimi. c). Derece 2, lamelli yapı . 200x. d). (c) ile aynı fakat 800x gösterimi. e). Derece 3, kısmen modifikasyon. 200x. f). (e) ile aynı fakat 800x gösterimi [15].) g). Derece 4, lamelli yapının yok olması. 200x. h). (g) ile aynı fakat 800x gösterimi. i). Derece 5, Fiberimsi silisyum ötektik. 200x. j). (i) ile aynı fakat 800x gösterimi. j). Derece 6, çok iyi yapı. 200x. k). (j) ile aynı fakat 800x gösterimi [15].

Esas olarak 3 temel yapı bulunmaktadır. Bunlar; granüler yapı, lamelli yapı ve modifiye olmuş fiberimsi yapıdır.

- Granüler yapıda büyük eş eksenli (akikular) ötektik kısa, kalın silisyum lamellerinden oluşmuştur. İlk olarak katılaştan birincil (primer) kristaller olarak adlandırılan çok kenarlı ve büyük boyutlu partiküller içeren silisyumlar bulunmaktadır. Ötektik alüminyumdan zorlukla ayrılabilen alüminyum dendritleri vardır.



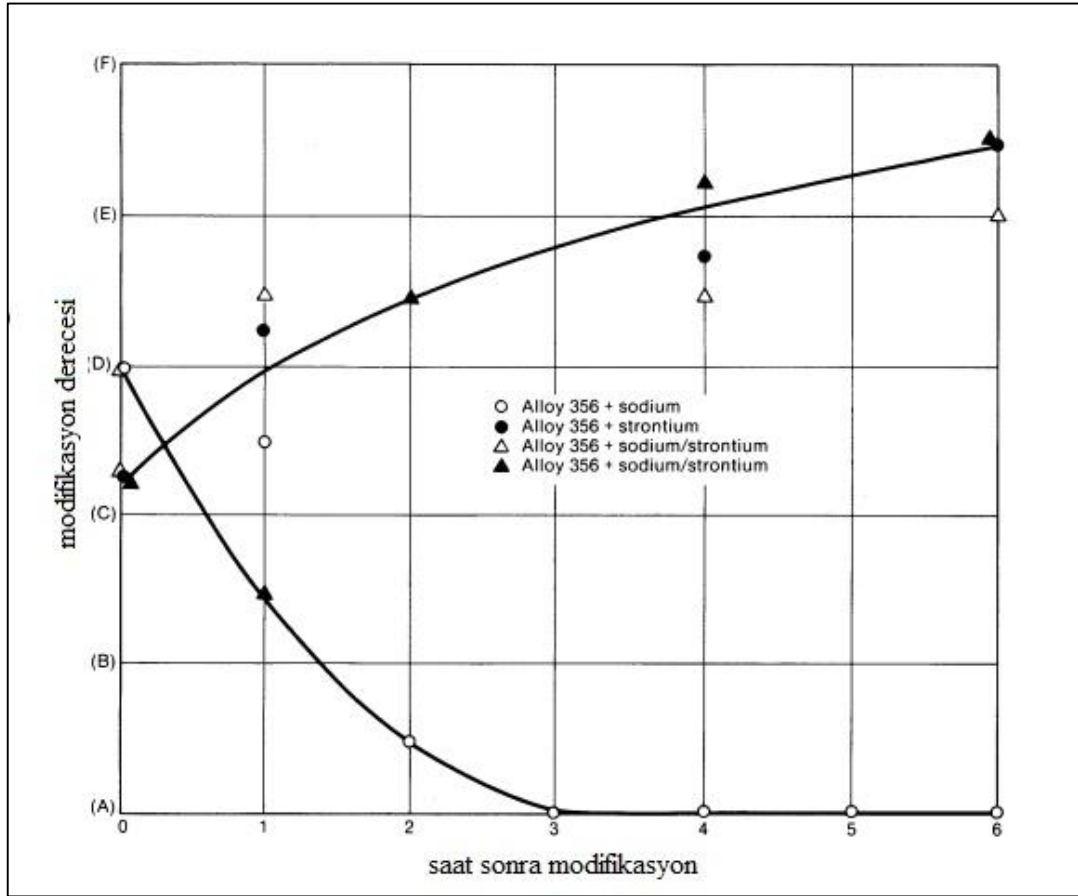
Şekil 2.2. (devamı)

- Lamelli yapıda ise ötektik yapı ince, uzun silisyum yapıdadır. Birincil (primer) kristaller ise yoktur ya da çok az sayıda bulunur. Ötektikten ayrılan göreceli

uzun dendritler bulunmaktadır. Lamelli yapılar fosfor oranı 5-10 ppm arasındaki alaşımlarda meydana gelir.

- Modifiyeli veya fiberimsi yapılar ise çok ince ötektik yani yuvarlak şekildeki fiberimsi ötektikten oluşmuşlardır. Birincil silisyum kristalleri yoktur, uzun alüminyum dendritler ötektik yapıda gözükürler [20].

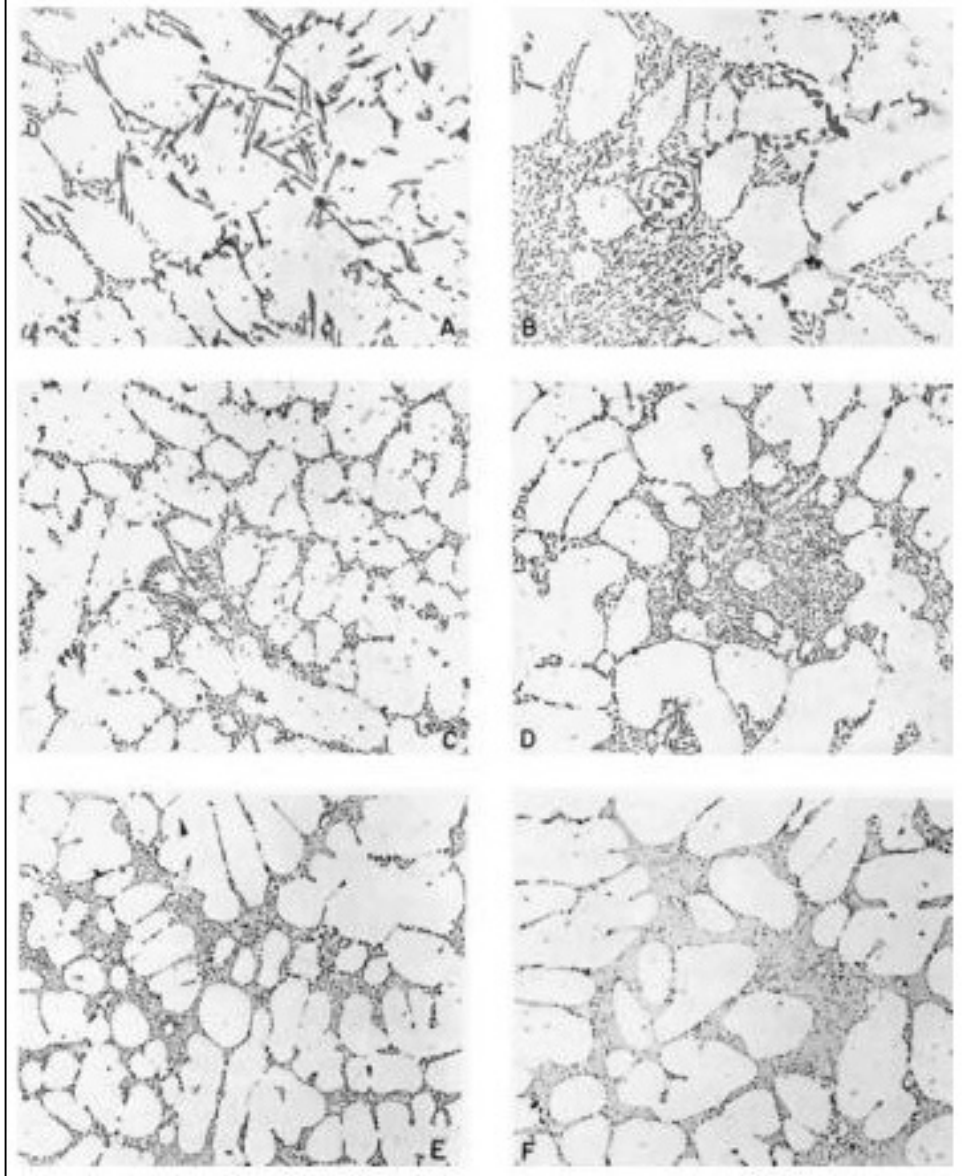
Sodyum ve stronsiyumun kombinasyonu modifikasyonun başlangıçtaki etkililiğine avantajlar sunmaktadır. Kalsiyum düşük ticari değeri ile zayıf bir modifiye edicidir. Fiberimsi yapıdan ziyade lamelli yapı ile sonuç bulmasına rağmen, antimoni sürdürülebilir bir etki sağlar. Sodyum (Na), stronsiyum (Sr) ve Na+Sr'nin modifikasyon üstündeki etkisi şekil 2.2 ve 2.3'te gösterilmektedir [15].



Şekil 2.3. Zamanın bir fonksiyonu olarak sodyum ve stronsiyum modifiye edicilerinin etkililiği[15].

Modifikasyon elementlerinin bu alaşımlara eklenmesi daha ince lamelli veya fiberimsi ötektik yapının oluşmasına sebep verir. Modifiye edici ilaveleri ötektik içindeki

silisyum kristallerinin büyümesini yavaşlatır veya silisyum-matris büyüme hızlarını dengeler ve ince bir lamelli yapı oluşturur [15].



Şekil 2.4. Modiyesiz (A)'dan iyi modifiye edilmiş (F)'ye doğru alüminyum-silisyum ötektik modifikasyonunun değişik dereceleri. Farklı modifiye edicilerin etkililiği için Şekil 2.2'ye bakınız [15].

Fosfor modifikasyon mekanizması ile karışır. Fosfor modifikasyon etkinliğini azaltır. Bu yüzden modifikasyon işlemlerinde düşük fosforlu metaller kullanılır [10].

2.3. Alüminyum Döküm Yöntemleri

Genel olarak alüminyum dökümler birden fazla proses ile üretilebilir. Kalite gereklilikleri, teknik sınırlamalar ve ekonomik etkenler döküm prosesinin seçiminde seçeneklerin oluşmasında önemli faktörlerdir.

Üç temel döküm prosesi sırasıyla:

- Kum döküm: Büyük döküm parçalar için (birkaç tona kadar), 1 adetten birkaç bin adete kadar olan üretim adetlerinde,
- Sürekli kalıba döküm (gravite ve alçak basınç): Orta boyutlu döküm parçalar için 100 kg'a kadar), büyük miktarlarda üretim adetlerinde (1000'den 100000 adede kadar),
- Yüksek basınçlı döküm: Küçük parçalar için (50 kg'a kadar), yüksek üretim adetlerinde (10000 adet ile 100000 adet arası) [21].

2.3.1. Kum kalıba döküm

Basınçlı döküm yöntemleri ve güvenli fakat pahalı vakum döküm yöntemlerindeki gelişmelerin yanında kum döküm de hızlı bir gelişme göstermiştir. Düşük sayıda veya ilk örnek üretiminde ve büyük karmaşık parçaların üretiminde harcanabilir kalıp kullanarak kısa sürede ekonomik parça üretmek bu yöntemle mümkündür. Kimyasal kum bağlayıcıların geliştirilmesi ile hızlı bir üretimin yanında düşük fiyat ve seri üretime uyulanabilme özellikleri bu yöntemin en önemli avantajlarıdır. Dezavantajları ise yüksek işleme masrafları, kötü yüzey ve ince kesit döküm için getirdiği sınırlamalardır [21].

2.3.2. Kokil kalıp

Uzun ömürlü metal kalıplar demir tehlikesine karşın alüminyum dökümde önemli bir imkândır. Kokil döküm Almanya'da 20. yüzyılın başında başlamıştır. İyi dökülebilirlik, düşük döküm sıcaklığı, hızlı kabuk oluşumu ve alüminyumun kalıba minimum zararı bu yöntemin produktivitesini arttırmaktadır. Büyük parça üretimi,

yüksek döküm verimi, uzun kokil ömrü ve döküm kalitesinin artırılması için yeni kalıp ve döküm yöntemleri geliştirilmektedir. 150kg'lık döküm parçaları 1-3 mm kesit kalınlığında gerçekleştirilebilmektedir [21].

2.4. İşlenebilirlik

Talaşlı imalat, 200 yılı aşkın bir süredir yoğun olarak araştırılmakta olup 1900'lü yılların ortalarına gelindiğinde, işlemenin fiziksel mekaniği analitik olarak çalışılmaya başlanmıştır. 1940-50 arasındaki zaman dilimi, işleme araştırmalarının "Altın Çağı" olarak bilinmektedir ve metal kesme mekaniği temelini talaş olduğu bilgisinin geliştiği dönemdir [22].

Döküm, dövme, haddeme ve diğer şekillendirme yöntemleriyle üretilmiş mühendislik malzemelerinin kullanıma hazır hale getirilmesi için çoğunlukla talaşlı imalat işlemine maruz kalmaları gerekir. Talaşlı imalat işleminde, iş parçasını istenilen geometriye getirmek için, parça üzerindeki fazlalıklar uygun takım tezgâhı ve kesici takım kullanılarak istenilen boyutlar ve yüzey kalitesi sağlanır [23].

Talaşlı imalat işleminin maliyeti, endüstriyel ürünlerin maliyetinde önemli bir orana sahip "olduğu için iş parçasının işlenebilirlikleri üzerine ve kesici takımların kesme performanslarını optimize etmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Maliyetin düşürülmesine yönelik yapılan çalışmaların sonucu olarak talaşlı imalat işlemini azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte bu yöntemler oldukça sınırlıdır ve ayrıca talaşlı imalat ile elde edilebilecek iyi bir yüzey kalitesi birçok parça için gereklidir [24].

İşleme, son zamanlarda net şekli oluşturma yöntemlerindeki gelişmelere rağmen halen büyük bir endüstriyel faaliyet olarak devam etmektedir. İşleme sistemi, büyük ölçüde kesici takım malzemelerine bağlı olarak verilen kesme hızı ile kesici takım, iş parçası ve takım tezgahının birleşimidir. Talaşlı üretim yapanlar sürekli olarak, çok hızlı kesme hızlarında büyük kesme derinlikleriyle kaba kesmeler için hızlı talaş kaldırma oranını sağlayacak ve bitirme pasolarıyla ilişkili olan gerekli ölçü tamlığı ve yüzey

kalitesini oluşturacak kesici takım-takım tezgahı-iş parçası kombinasyonu bulmaya çalışmaktadır. Bunu başarmak için kesici kenarlarda oluşan zor şartlara dayanabilen kesici takım malzemelerinin gelişmesi üzerine çalışmaktadırlar. Kesici takım malzemelerinin geliştirilmesini gerektiren diğer faktörler:

- Düşük imalat maliyeti ve yüksek verimlilik için artan talep,
- İşlenmesi zor olan yeni yapısal alaşımların sürekli gelişimi,
- Yüksek güvenilirlik ve tahmin edilebilirlik gerektiren sistemler ve otomatik ve sayısal kontrollü takım tezgahlarının kullanımının artmasıdır [5].

2.4.1. Talaşlı imalat mekaniği ve talaş oluşumu

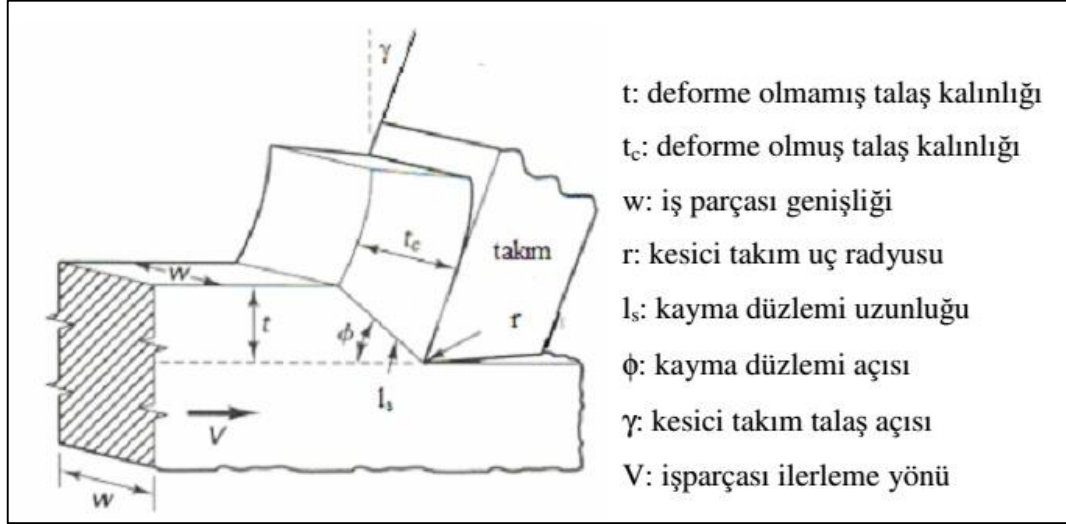
Metal kesme mekaniği şu ana kadar tam olarak anlaşılammış olup endüstri, üniversite ve laboratuvar araştırmalarının işleme sürecinin modellenmesi üzerindeki çalışmaları halen devam etmektedir. Talaşlı imalat işlemi gerçekte üç boyutlu ve oldukça karmaşık olduğu için metal kesme mekaniğinin tanımlanmasında genellikle iki boyutlu ortogonal (dik) kesme modeli kullanılır (Şekil 2.5). Bu model basit olmasının yanı sıra talaşlı imalat mekaniğini yeterli doğrulukta tanımlar [23].

Dik kesme işleminde, kesici takım kenarı iş parçası-takım hareket yönüne göre dik olarak hareket eder. Bu modele göre, iş parçasının kesici takımı zorlamasıyla kayma düzleminde iş parçasının akma gerilmesi değerinin aşılmasıyla talaş oluşumu gerçekleşir. Talaşlı imalat işleminin mekaniği ve talaş oluşumu üzerine yapılan analizlerde genellikle iş parçası olarak metaller dikkate alınmıştır. Bununla birlikte, metal dışı olan malzemelerin işlenmesinde de benzer kurallar uygulanabilir [24].

Gerçekte ise talaş oluşumu ince bir bölgede gerçekleşir. Talaş oluşumu plastik deformasyonun önemli derecede rol oynadığı bir işlemdir. Talaşlı imalat işleminde talaş oluşumu, iş parçasının kesici takım önündeki bölgesel deformasyonu ile gerçekleşir [25].

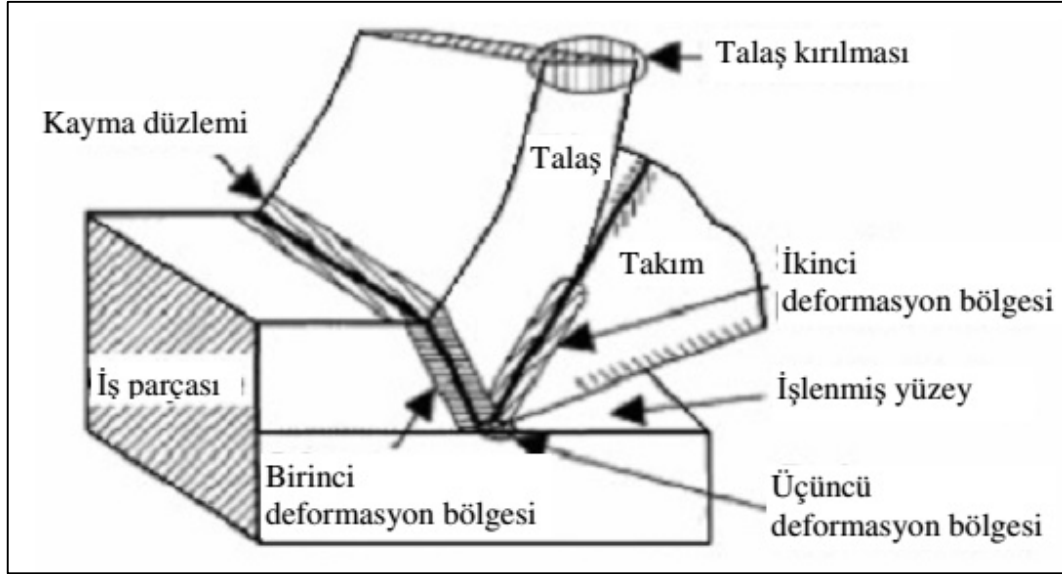
Dik kesme işlemi sırasında oluşan işleme sürecinde üç deformasyon bölgesi oluşmakta olup bunlar Şekil 2.6'da görülmektedir. Birincisi, iş parçasının kesici takım önünde

hareketiyle oluşan kayma düzleminde meydana gelen deformasyon yani birinci deformasyon bölgesidir [26].



Şekil 2.5. Dik kesme modeli[23].

İş parçası ve kesici takım arasındaki nispi hareket sonucu iş parçasında oluşan gerilme iş parçasını birinci deformasyon bölgesinde plastik deformasyona uğratarak talaş oluşumunu gerçekleştirir. Sürtünme kuvveti ve takım-talaş teması boyunca meydana gelen basınçtan kaynaklanan takım-talaş ara yüzeyindeki deformasyon, ikinci deformasyon bölgesidir. Birinci deformasyon bölgesinde oluşan talaş kesici takımın talaş yüzeyi üzerinden geçerken basınca bağlı oluşan yapışma sonucu ikinci defa deformasyona uğrar ve kesme bölgesinden atılır. İşleme sürecinin anlaşılmasında ikinci deformasyon bölgesinin önemi büyüktür. Takım-talaş ara yüzeyindeki bu bölgenin kalınlığı kesme işleminin analizinde önemli bir faktördür. Bu bölgenin kalınlığı gerilme, gerinim ve sıcaklıktan çok fazla etkilenir. Bu nedenle ikinci deformasyon bölgesi, maksimum kayma gerilmesi, maksimum kayma gerinim oranı ve talaştaki sıcaklığın en yüksek olduğu yer olarak varsayılmaktadır. Üçüncüsü, işlenen yüzeye kesici takım yan yüzeyinin teması sonucunda oluşan sürtünmenin etkisiyle meydana gelen deformasyondur ki bu da üçüncü deformasyon bölgesi olarak adlandırılır [27].



Şekil 2.6. Plastik deformasyon bölgeleri [26].

2.4.2. Takım-talaş arayüzeyi

Talaşlı imalat işlemi esnasında birinci deformasyon bölgesinden ayrılan talaş kesici takım-talaş yüzeyinden geçerek kesme bölgesinden atılır. Talaşın bu bölgeden geçerken kesici takım ile etkileşimi ve davranışı talaşlı imalat performansını önemli ölçüde etkiler. Çoğu analizlerde bu bölgede kesici takım ve talaş arasında klasik sürtünme olduğu kabul edilmiştir fakat bu yaklaşımın genellikle uygun olmadığı görülmüştür. Kesici takım, talaş ve ani durdurma ile elde edilen numuneler üzerinde yapılan metalürjik incelemelerde, bu bölgede çoğunlukla klasik sürtünmenin olmadığı ve yapışma olduğu sonucuna varılmıştır [28]. Bu bölgede yüksek basınç ve sıcaklıktan dolayı iki yüzey birleşerek metalin kayma hareketini durdurur fakat takım-talaş arasındaki hareket devam ettiği için dolayı ara yüzeyde akma bölgesi oluşur. Hareketin şekli çoğunlukla kesilen iş parçası malzemesinin özelliğine ve kesme parametrelerine bağlıdır. Bu bölge akma bölgesi veya ikinci deformasyon bölgesi olarak adlandırılır (Şekil 2.6).

Takım-talaş ara yüzeyinde yapışma sonucu akma bölgesi daima kesici takım yüzeyinde oluşmaz. Alternatif bir özellik olan yığıntı kenar, talaşlı imalat işlemlerinde sıkça görülür. Çoğunlukla orta seviyedeki kesme hızlarında görülen yığıntı kenar, yapılarında birden fazla faz bulunduran alaşımların işlenmesinde, pekleşen iş parçası

malzemesinin kesici takım talaş yüzeyinde ve kesici uç etrafında kümelenerek talaşın kesici takımla doğrudan temasını engeller. Yığıntı kenar oluşumu ile yoğun ve hızlı kayma deformasyonu takım yüzeyinden yığıntı kenar yüzeyine taşınır [29].

Yığıntı kenar oluşumunun gerçekleştiği sıcaklık iş parçasının yeniden kristalleşme sıcaklığının altındadır. Yığıntı kenarın yapısı yeniden kristalleşmeye maruz kalmış akma bölgesinin yapısından tamamen farklıdır. Yığıntı kenar dinamik bir yapıya sahiptir. Metal kesme işlemi esnasındaki zor şartlarda sertleşen katmanların kümelenmesiyle oluşur ve belirli bir yüksekliğe ulaştıktan sonra talaş akışının neden olduğu kayma kuvvetlerine daha fazla dayanmayacağı için talaş veya iş parçası vasıtasıyla kesici uçtan uzaklaşır. Yığıntı kenar, kesici uçtan uzaklaştırılması ile tekrar oluşmaya başlar ve bu şekilde periyodik olarak oluşumu ve kırılması devam eder. Yığıntı kenarın kesici takım yüzeyinden atılması esnasında bir kısım kesici takım malzemesi de yığıntı kenarla birlikte kopup gidebilir [30].

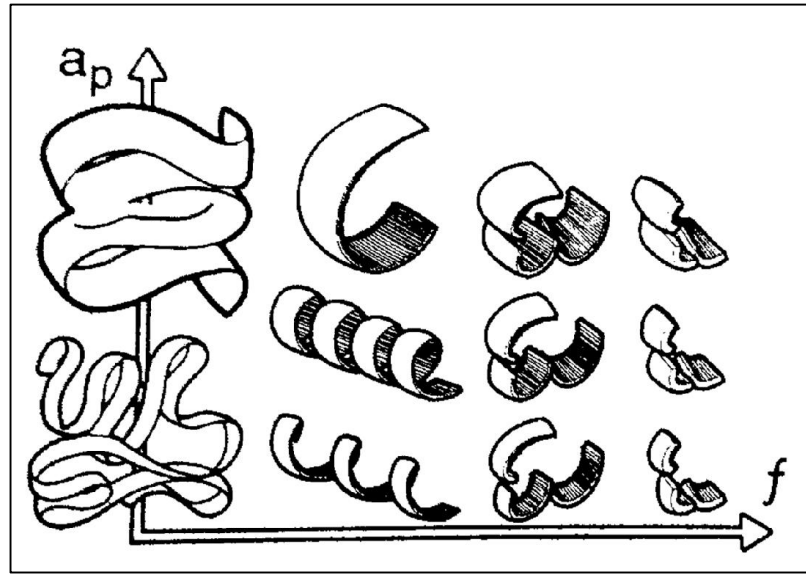
Bazı durumlarda yığıntı kenar kesici uç üzerinden iş parçası malzemesine doğru çıkıntı oluşturarak talaş derinliğini artırır. Bu çıkıntı düzensiz bir yapıya sahip olacağı için yüzey pürüzlülüğünü artıracaktır [31]. Yığıntı kenarın şekli, özellikle kesici takım talaş açısını ve talaş derinliğini etkiler. Yığıntı kenar, talaşlı imalat işleminde çeşitli durum ve biçimlerde görülen ve genelde olumsuz kabul edilen bir faktördür ve oluştuğu kesme şartları değiştirilerek çoğunlukla oluşumu engellenebilir [30].

2.4.3. Talaş oluşum mekanizmaları

İş parçası malzemesi ve kesme koşullarına bağlı olarak aşağıdaki talaş oluşum mekanizmalarından söz edilebilir(Şekil 2.7):

- Sürekli talaş oluşumu
- Lamelli talaş oluşumu
- Kesintili talaş oluşumu
- Kırık (süreksiz) talaş oluşumu [31].

Sürekli talaş oluşumunda talaş eğim yüzeyi üzerinde sabit bir hızla kayarak durağan bir akışla akar. Sürekli talaş oluşumu değişmeyen iyi taneli yapı ve yüksek iyi süneklığe sahip malzemelerde yüksek kesme hızlarında ve eğim yüzeyi üzerindeki düşük sürtünme ile pozitif eğim açıları ve bozulmamış talaş kalınlığı vasıtasıyla oluşur. Takımdaki keskin kesici kenar ve düşük kesici-takım sürtünmesi bu talaş oluşumunu olumlu kılar [25,31].



Şekil 2.7. Talaş derinliği ve ilerleme hızına göre talaş şekilleri[30].

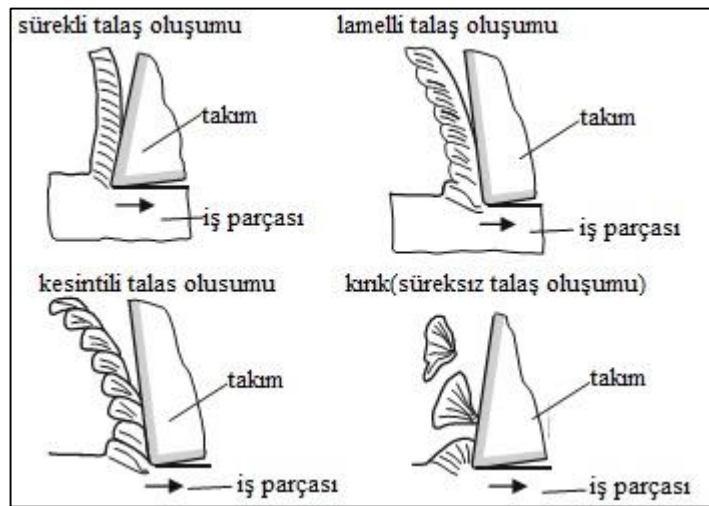
Lamelli talaş oluşumu sürekli, periyodik talaş oluşum işlemi saf sürekli talaş oluşumuna benzerdir. Ancak, deformasyon işleminde daha az yada daha fazla bölünmelere veya yoğun kayma şeritlerine neden olan değişkenler vardır. Lamelli talaşlar yüksekçe sünek malzemelerde, yüksek kuvvetler ve özellikle yüksek kesme ve ilerleme hızlarında meydana gelir.

Kesintili talaş oluşumu hala az veya çok birkaç bağlı talaşı bulunan süreksiz talaş oluşumudur ancak akış yolu boyunca deformasyonun derecelerinde önemli değişimler vardır. Başlıca negatif eğim açıları ve daha düşük kesme hızları ile daha yüksek kalınlıklarda meydana gelir [31].

Kırık (süreksiz) talaş oluşumu, iş malzemenin plastik süneklığı çok düşük olursa veya ön tanımlanmış kayma yolları yüksek homojensizlik nedeniyle oluşmuşsa meydana

gelir. İş parçasının parçaları önemli deformasyon olmaksızın malzemeden ayrılır. İş parçası yüzeyi takım izlerinden ziyade talaş oluşumunda ayrılma işlemi ile oluşur. Yüksek takım-talaş sürtünmesi ve yüksek ilerleme hızları ve kesme derinliği bu tip talaşı tetikler [25,31].

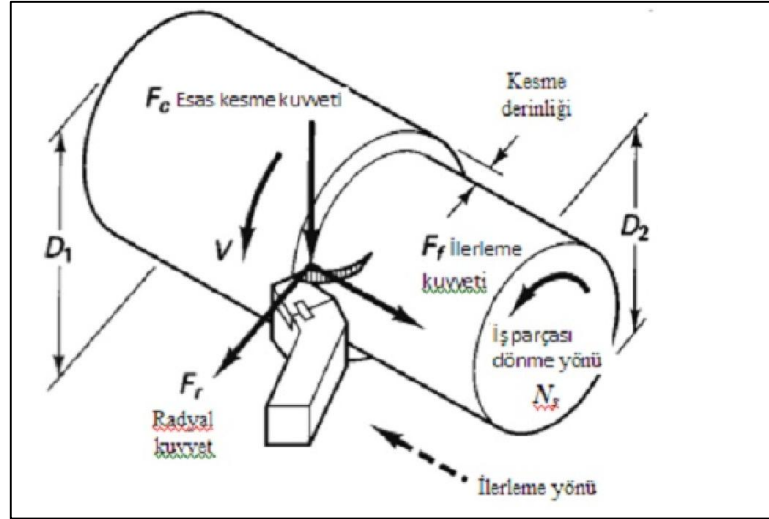
Bu dört tip talaşın şekilleri şekil 2.8'deki gibidir.



Şekil 2.8. Talaş oluşum mekanizmaları[31].

2.4.4. Talaşlı imalat işleminde kesme kuvvetleri

Talaş kaldırma işlemi esnasında oluşan kesme kuvvetleri, ısı oluşumu, takım ömrü, işlenen yüzeyin kalitesi ve iş parçasının boyutları üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Kesme kuvvetleri aynı zamanda takım tezgahlarının, kesici takımların ve gerekli bağlama kalıplarının tasarımında da kullanılır [32].



Şekil 2.9. Tornalama işleminde kesme kuvvetleri [33].

Tornalama işlemi esnasında oluşan kuvvetler Şekil 2.9’da şematik olarak gösterilmiştir.

Burada kesme kuvvetinin üç bileşeni mevcuttur.

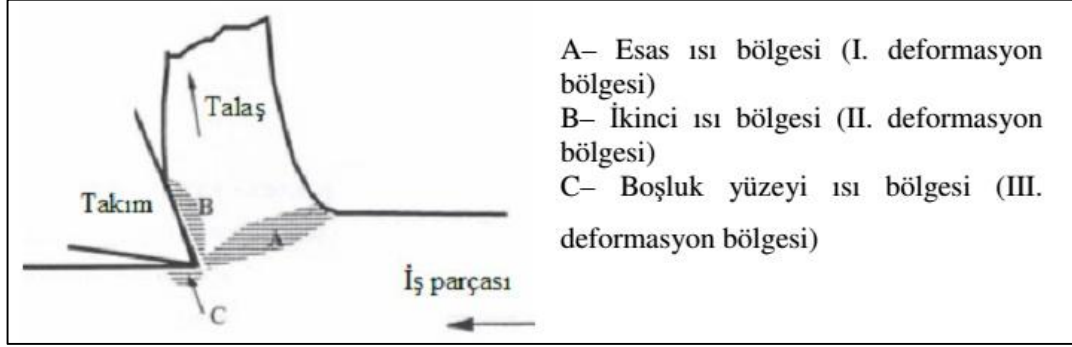
1. Esas kesme kuvveti (F_c): Kesme hızı yönünde etki eder. En büyük kuvvet olup metal kesme işleminde harcanan gücün genelde %99’una karşılık gelir.
2. İlerleme kuvveti (F_f): Kesici takımın ilerlemesi yönünde etkiyen kuvvettir. Genellikle esas kesme kuvvetinin yaklaşık %50’si kadardır.
3. Radyal (pasif) kuvvet (F_r): İşlenen yüzeye dik etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet ise genellikle ilerleme kuvvetinin yaklaşık %50’si kadardır [30]. Bileşke kuvvet bu üç kuvvetin vektörel olarak toplanması ile elde edilir ve Denklem 5.1 yardımıyla hesaplanır [34]:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_r^2} \quad (5.1)$$

2.4.5. Talaşlı İmalat İşleminde Isı ve Sıcaklık

Talaşlı imalat işleminde kullanılan güç genellikle ısıya dönüşerek talaşın, iş parçasının ve kesici takımın sıcaklığını artırır. Sıcaklık artışı, metal kesme işlemi esnasında oluşan ısı ve aynı zamanda bu ısının uzaklaştırılması durumuna bağlıdır [32]. Oluşan

ısı sonucu sıcaklık artışı kesici takım performansını ve iş parçası kalitesini etkiler [30]. Kesme bölgesinde ısı üretme kapasitesine göre ısı oluşturan üç bölge vardır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10. Kesme bölgesinde ısı oluşumu [33].

Bu bölgeler:

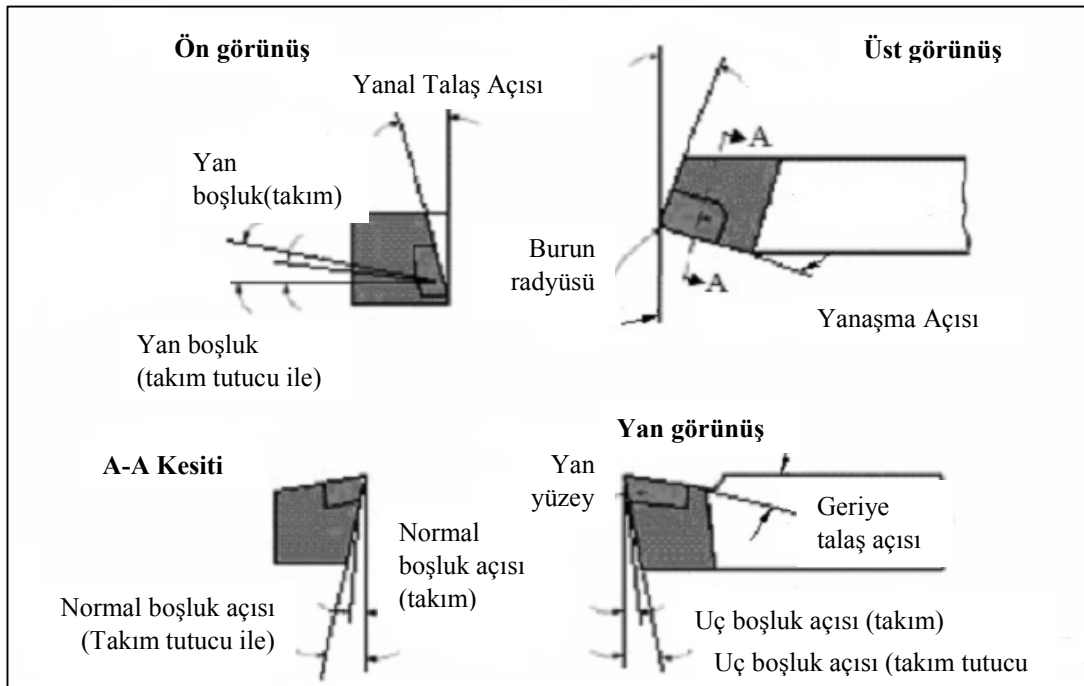
- Kayma düzlemi; buradaki plastik deformasyon önemli bir ısı kaynağı olup oluşan ısının çoğu talaşa aktarılır.
- Takım-talaş ara yüzeyi temas bölgesi; buradaki ilave plastik deformasyon olur ve kayma hareketinden dolayı ısı oluşumunda önemli derecede etkilidir.
- Takım yan yüzeyi, burada yeni oluşan iş parçası yüzeyinin takım yüzeyine sürtünmesiyle ısı oluşur. Özellikle bu sürtünme yan yüzey aşınması ile artar [33].

Isının takım aşınması ve takım ömrü üzerinde doğrudan bir etkisi vardır ve kesme hızının artışını sınırlandırır. Oluşan ısının çoğu kesme bölgesinden talaş, iş parçası, kesici takım ve ortam tarafından uzaklaştırılır, bunların her biri tarafından uzaklaştırılan ısının miktarı iş parçası malzemesi, kesme parametreleri, kesici takım malzemesi, takım geometrisi ve kesme şartlarıyla değişir. Kesme hızı, kesme sıcaklığı üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir. Kesme hızının artmasıyla metal kesme işlemindeki deformasyon ve sürtünme için kullanılan birim zamandaki enerji artar. Bu da ısıyı ve dolayısıyla sıcaklığı artırır [32].

2.4.6. Kesici takım

2.4.6.1. Kesici takım geometrisi

Talaşlı imalat işleminde etkin bir şekilde kesme işleminin yapılabilmesi için kesici takım uygun geometriye sahip olmalıdır. Çeşitli talaşlı imalat işlemleri için kesici takım geometrileri de farklılık gösterir. Kesici takımlar tek noktadan kesme işlemi yapan ve çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar olmak üzere genelde iki kategoriye ayrılır. Bütün talaşlı imalat işlemlerinde talaş oluşum mekanizması temelde aynı olduğu için tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar, genelde çok noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlara uygulanan kurallar ile aynıdır. Tornalama işleminde genelde tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takımlar kullanılır [34]. Şekil 2.11’de tek noktadan, sağ yönlü kesme işlemi yapan (sağ yan) bir kesici takımın geometrisi görülmektedir.



Şekil 2.11. Tek noktadan kesme yapan bir kesici takımın geometrisi [35].

2.4.6.2. Kesici takım malzemeleri

Talaşlı imalat işlemi esnasında yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takımların etkin bir şekilde uzun süre kesme işlemi yapabilmesi için kesici takım malzemeleri aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır [30]:

- Yüksek sertlik ve sıcak sertlik,
- Yüksek tokluk,
- İş parçasına karşı kimyasal olarak asallık,
- Oksidasyon ve kimyasal olarak çözünmeye karşı kararlılık,
- Isıl şoklara karşı direnç.

Endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılan kesici takım malzemeleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yüksek hız çeliği: Yüksek hız çeliği, karbon ve düşük alaşımlı çeliklere nazaran yüksek sıcaklıklarda sertliğini koruyabilen yüksek alaşımlı bir takım çeliğidir ve günümüzde kullanılan en önemli takım malzemelerinden biridir. Matkap, kılavuz, freze çakıları ve tığlar gibi karmaşık geometriye sahip kesici takımların üretiminde yaygın olarak kullanılırlar. Yüksek hız çeliği kesici takımlar, sementit karbür ve seramik gibi daha sert kesici takımlardan daha iyi tokluk özellikleri sergilerler. Taşlamayla istenilen geometriye kolayca getirilebildikleri için, imalatçılar tarafından tek noktadan kesme işlemi yapan kesici takım olarak da kullanılırlar. Yüksek hız çeliği takımlar, özellikle matkaplar, kesme performanslarının önemli ölçüde artırılması için TiN ile kaplanırlar [29].

Sementit karbürler: Sementit karbür kesici takımlar ilk olarak tungsten karbür (WC) ve kobalt (Co) parçacıklarından toz metalurjisi yöntemleriyle üretilmişlerdir. Sert WC parçacıklarından dolayı dökme demir ve çelik dışı metallerin işlenmesinde yüksek hız çeliğinden daha yüksek kesme hızlarında etkin bir şekilde kullanılmıştır [29].

Çelik ve WC-Co arasındaki güçlü bir kimyasal reaksiyondan dolayı takım-talaş ara yüzeyinde adhezyon ve difüzyon vasıtasıyla özellikle çeliklerin işlenmesi esnasında

hızlı krater aşınması olduğu için, WC-Co sementit karbür kesici takımlara TiC ve TaC ilave edilerek krater aşınma direnci önemli derecede iyileştirilmiştir. WC-TiCTaC-Co kesici takımlar çeliğin işlenmesinde kullanılabilir [25, 29].

İki tür sementit karbürün genel özellikleri benzer olup aşağıdaki gibidir:

- Yüksek basma dayanımı, düşük veya orta seviyede çekme dayanımı,
- Yüksek sertlik (90-95 HRA),
- Yüksek sıcak sertlik,
- İyi aşınma direnci,
- Yüksek ısı iletkenlik,
- Yüksek elastikiyet modülü,
- Yüksek hız çeliğinden düşük tokluk [29].

Çelik dışı malzemelerin işlenmesinde de kullanılan sementit karbür kesici takımlar alüminyum, pirinç, bakır, magnezyum, titanyum ve dökme demirin işlenmesinde kullanılır. Çelik türü malzemeler için olan sementit karbür ise düşük alaşımlı, paslanmaz ve diğer alaşımlı çeliklerin işlenmesinde kullanılır. Bu tür kesici takımlarda WC ile birlikte TiC ve/veya TaC'de kullanılır. Çoğunlukla %10-25 oranında TiC ve TaC aynı oranda WC azaltılarak ilave edilir. Bu yapı, bu tür kesici takımlarda çeliğin işlenmesinde krater aşınma direncini artırır fakat çelik dışı malzemelerin işlenmesinde hızlı yan yüzey aşınmasına sebep olur [29].

Kaplamalı sementit karbür: Sementit karbürlerin aşınmaya dirençli TiC, TiN ve/veya Al_2O_3 gibi malzemelerle kaplanması kesici takım alanındaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilir. Kimyasal (CVD) veya fiziksel (PVD) buhar çökeltme yöntemleriyle sementit karbür altlık üzerine birkaç mikron kalınlığında tek veya çoklu katman olarak kaplanan bu malzemeler, sementit karbür kesici takımın performansını önemli ölçüde artırır [25].

Kaplamalar, geliştirildikleri ilk zamanlarda tek katman olarak uygulanmıştır fakat son zamanlarda çok katlı kaplamalar geliştirilmiştir. WC-Co kesici takıma, adhesiv olarak

iyi birleşmelerinden ve birbirlerine yakın ısıl iletkenlik katsayılarından dolayı çoğunlukla TiN veya TiCN uygulanır. Bu ilk katmanın üzerine TiN, TiCN ve Al₂O₃ uygulanması yaygındır. Titanyum dibörür (TiB₂) PVD kaplamalı sementit karbürler TiN ve TiAlN kaplamalı karbürlerden daha serttir ve çok iyi derecede pürüzsüz yüzeye sahiptir. Bunun sonucu olarak yüzey sürtünmesini azaltarak hızlı talaş akışı ve aşınma direnci sağlar [25,36].

Sermet: Sermet ifadesi seramik ve metal kelimelerinden türetilmiştir ve sementit karbürlerin müşterek ismidir. Sermet kesici takımında sert parçacıklar WC'den ziyade TiC, TiCN ve/veya TiN esaslı seramik parçacıklardan oluşurken birleştirici faz da nikel ve/veya molibdenden oluşur. Sermet kesici takımlar da sementit karbür gibi toz metalurjisi yöntemleriyle üretilirler. Çelik, paslanmaz çelik ve dökme demirin bitirme ve yarı bitirme işlemlerinde yüksek kesme hızlarında kullanılırlar. Çeliklerin işlenmesinde kullanılan sementit karbür kesici takımlardan genellikle daha yüksek hızlarda kullanılırlar. Düşük ilerleme hızları kullanılarak iyi bir yüzey elde edilerek çoğunlukla taşlama işlemine gerek kalmaz [30,33].

2.4.7. Takım aşınması

Bütün talaşlı imalat işlemleri esnasında kesici takımlar belirli bir süre sonra etkin olarak kesme kabiliyetlerini kaybederler. Kesici takım geometrisindeki tedrici şekil değişikliği (aşınma), anlık yüksek kuvvetlerden dolayı kesici ucun kırılması ve yüksek sıcaklık ve gerilmeler nedeniyle kesici takım malzemesinin dayanımının azalarak plastik deformasyona uğraması kesici takımın kesme kabiliyetini kaybetmesinin nedenlerindendir [25, 29].

Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın aşınması aşağıdakilerden biri veya birkaçının aynı anda gözlemlenmesiyle anlaşılır:

- Kesme kuvvetlerindeki aşırı yükselme,
- Sıcaklık artışı,
- Aşırı titreşim,

- Yüksek gürültü,
- İşlenen malzeme boyutlarındaki değişim,
- İşlenen yüzeyin bozulması [30].

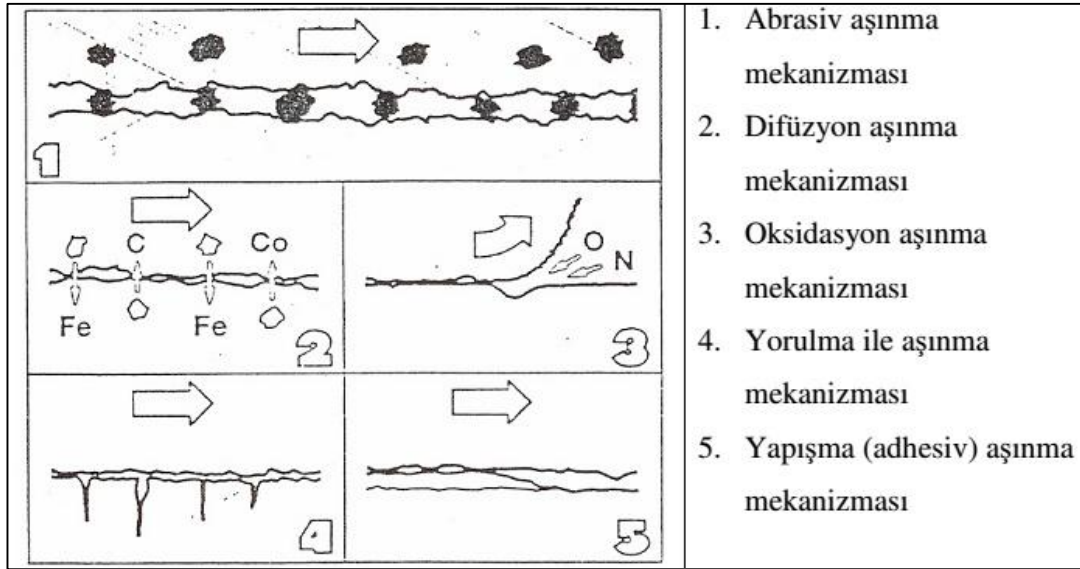
Talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takımın kesme kabiliyetini kaybettiği üç faktör mevcuttur:

Kırılma: Kesici takıma gelen anlık yüksek kuvvetler nedeniyle oluşan kırılmalar veya sürekli olmayan kesme işlemi (frezeleme işlemi gibi) esnasında mekanik ve ısı yorulmalar sonucu kırık oluşumundan dolayı kesici takımda kırılma ve pullanma soyulma şeklinde oluşan aşınmalardır.

Plastik deformasyon: Kesici takımda plastik deformasyon, yüksek basınç ve sıcaklık sonucu oluşur. Plastik deformasyona uğramış kesici takım geometrisi değiştiği için kesme işlemini etkin bir şekilde yapamaz, sıcaklık artar ve talaş akışı değişir. Plastik deformasyona direnç için kesici takımın sıcak sertlik özelliğinin iyi olması gerekir. Ayrıca, uç yuvarlatma ve kesme geometrisi iyileştirilerek plastik deformasyona direnç artırılabilir.

Tedrici takım aşınması: Kesici takım üzerinde tedrici aşınma talaş yüzeyi ve yan yüzey olmak üzere iki bölgede görülür. Talaş yüzeyindeki aşınma “krater aşınması” ve yan yüzeydeki aşınma da “yan yüzey (yanak) aşınması” olarak isimlendirilir[30].

Krater aşınması, kesici takım talaş yüzeyinde talaşın hareketiyle oluşan içbükey alandır. Krater aşınmasının büyüklüğü, bu alanın derinliği ve alanı ölçülerek belirlenir. Yan yüzey aşınması ise yeni oluşan iş parçası yüzeyi ile kesici takım yan yüzeyinin sürtünmesiyle oluşur. Yan yüzey aşınması bu aşınma bandının genişliği ile ölçülür. Kesici takımın iş parçası orijinal yüzeyi ile temasta olan yan yüzeyinde çoğunlukla daha fazla bir aşınma görülür. Çentik aşınması olarak adlandırılan bu aşınmanın sebebi iş parçası yüzeyinin soğuk haddeme veya önceki işlemlerden dolayı sertleşmiş olması, dökümden kalan sert malzemeler ve diğer nedenlerdir [25, 30].



Şekil 2.12. Temel aşınma mekanizmalarının şematik olarak gösterilmesi [30].

Takım aşınması, kesici kenar üzerine gelen çeşitli yüklerin etkisi ile meydana gelen malzeme kaybı ve kesicide ortaya çıkan geometrik değişikliktir. Aşınmaya neden olan yük faktörleri kesici kenar ömrünü ve kenar geometrisini değiştirmeye çalışır. Bu faktörler; mekanik, termal (ısı), kimyasal ve aşındırıcı faktörlerdir. Talaş kaldırma sırasında kesici kenar üzerinde etkili olan yük faktörlerinin etkisiyle bazı temel aşınma mekanizmaları talaş kaldırma işlemini etkilemektedir. Temel aşınma mekanizmalarının davranışları şekil 2.12’de verilmiştir.

2.4.7.1. Aşınma mekanizmaları

Abrasif aşınma mekanizması: En çok görülen aşınma mekanizmalarındandır. Genelde iş parçası içinde bulunan sert parçacıklar sebep olur. Sert parçacıklar iş parçası ile kesici kenar arasına geldiğinde taşlama benzeri bir durum olur ve kenarda aşınmalar başlar.

Difüzyon aşınma mekanizması: Takım ve talaş yüzeyi arasındaki temas yüzeyinde artan sıcaklık difüzyona sebep olur. Bu nedenle takım-talaş ara yüzeyinde her iki yöne gerçekleşen atomsal düzeydeki yayılım nedeni ile takım malzemesi mikro yapısal değişime uğrar. Çoğunlukla sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle yüksek kesme hızında daha

fazla görülür. Yayınım; çelikten takım içine demir transferi ve karbonun talaşa difüzyonu şeklinde olmaktadır.

Oksidasyon aşınma mekanizması: Genelde metal malzemeler için yüksek sıcaklık ve havanın varlığı oksidasyon arttırır. Oksidasyon, tungsten ve kobaltta talaş tarafından daha kolay kazanıp uzaklaştırılabilen gözenekli oksit filmi şeklinde oluşur. Kesici kenarla parçanın ara yüzeyinde, talaş genişliğinin bittiği yerde hava talaş sürecine katılma imkanı bulur ve bu bölgede tipik çentiklerin oluşmasına neden olur [32,37].

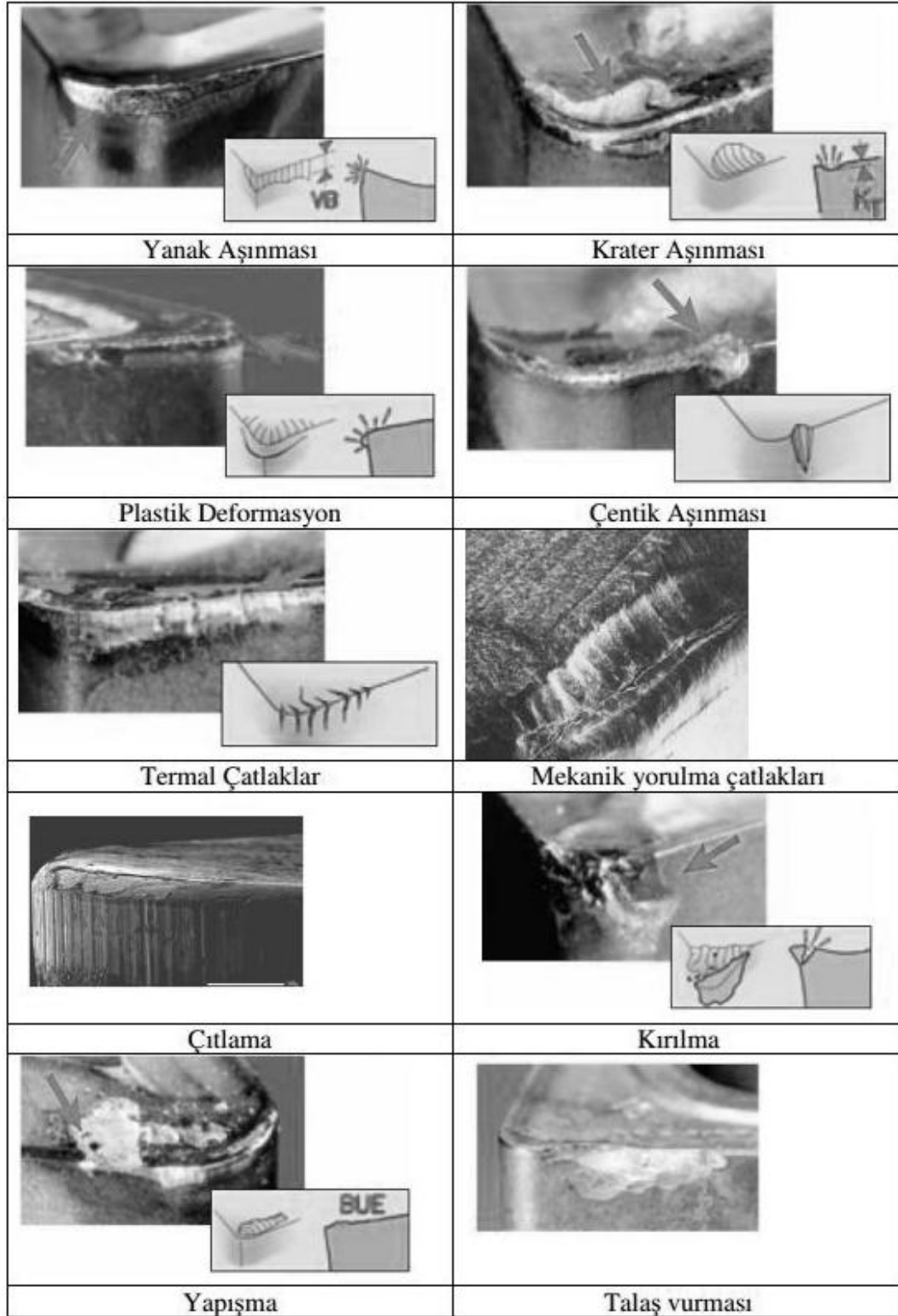
Yorulma ile aşınma mekanizması: Isıl-mekanik bir olaydır. Kesme bölgesinde sıcaklıktaki düzensiz değişimler ve kesme kuvvetlerindeki dinamik değişimler kesici kenarda çatlama ve kırılmalara neden olur. Yetersiz tokluk nedeni ile talaş kaldırma sırasında kesiciden küçük parçaların kopmasıyla oluşan bir aşınma mekanizmasıdır. Aralıklı kesme işlemi kesici ucun sürekli olarak ısınıp soğumasına ve kesme bölgesinde kesici kenarda şok etkilerine neden olur. Yapışık talaşın altında kaldığından tespiti zordur.

Yapışma (adhesiv) aşınma mekanizması: Takım-talaş ara yüzeyinde düşük sıcaklıklarda oluşur. Akma veya kısa talaş veren malzemelerin tamamında görülebilir. Bu mekanizma genellikle kesici kenar ile talaş arasında, kenar üzerinde yığılmış talaş YK oluşmasına neden olur. Dinamik bir yapısı vardır. Birbirini takip eden talaş katmanları talaş yüzeyine kaynaklanarak sertleşir ve kesici kenarın bir parçası haline alır. Oluşan YK tabakası yırtılıp kopar ve yenisi oluşur. Bu kopmalar sırasında kesici kenardan parçalarda kopmaya başlar. Yüksek sıcaklıklarda yapışma olayı önemli ölçüde ortadan kalkar. Yapışan tabaka takım geometrisini değiştirdiğinden kesme kuvvetlerini de değiştirir [29,32].

2.4.7.2. Aşınma tipleri

Belirtilen aşınma mekanizmaları nedeniyle meydana gelen aşınma tiplerinin sınıflandırılması, işleme tipi, malzeme için doğru işleme şartları ile takım sınıfının belirlenmesinde ve dolayısıyla kesme işleminin optimizasyonu için önemlidir [26,32]. Şekil 2.13'te kesici takımlarda görülebilen aşınma tipleri verilmiştir.

- Yanak aşınması: Abrasif aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Krater aşınması: Abrasif ve difüzyon aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Plastik deformasyon: Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Çentik aşınması: Oksidasyon ve yapışma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Termal çatlaklar: Isıl yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Mekanik yorulma çatlakları: Mekanik yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Çıtlama (Çentiklenme) : Yorulma aşınma mekanizmasıyla oluşur.
- Kırılma (Kesici uç kırılması) : Plastik deformasyondan sonra oluşur.
- Yığılma-sıvanma (BUE) : Adhesiv aşınma mekanizmasıyla oluşur.



Şekil 2.13. Kesici takımlardaki aşınma tipleri [38].

2.4.8. İşlenebilirlik

İşleme araştırmalarının genel amacı, en iyi ürün kalitesi ve en düşük işleme maliyetinin oluşmasını sağlayan uygun değer kesme şartları için iş parçası-kesici takım etkileşimini araştırmaktır. İşlenebilirlik bir malzemenin takımlama ve işleme süreçleri açısından tasarlanan şekilde (yüzey kalitesi ve tolerans) kolaylıkla kesilebilmesini tanımlamak için kullanılan terimdir. Bir işleme operasyonunda işlenebilirliği ölçmek için talaşların biçiminin yanı sıra ulaşılan takım ömrü, talaş kaldırma oranı, kuvvet bileşenleri, güç tüketimi ve işlenmiş parçaların yüzey kalitesi ve yüzey bütünlüğü kullanılabilir. İşlenebilirlik, seçilen kesme şartları, kesici takım geometrisi ve özellikleri, işlenen malzemenin özellikleri ile kesme ortamı, takım tezgahının rijitliği gibi muhtelif faktörlerden önemli derecede etkilenebilmektedir. İşleme verimliliği, işlenen parçaların toleranslar dahilinde ve bütünlüğünü bozmadan yüksek hızda işlenmesini sağlayacak kesici takım, kesme şartları ve takım tezgahı kombinasyonunun doğru seçilmesiyle önemli oranda iyileştirilebilir [5]. İşlenebilirlik, talaşlı imalatla şekillendirilmek üzere seçilen malzemenin özelliklerinin, seçilen talaşlı imalat yöntemindeki parametrelere bağlı olarak, malzemenin ve talaşlı imalat yönteminin değişkenlerinin ayrı ayrı ve bütün olarak sergiledikleri davranışlardır. İşlenebilirlik, ekseriyetle malzemenin özgül bir özelliği olarak algılansa da, sadece işlenen malzemeye bağlı olmayıp aynı zamanda işleme yöntemi ve işleme parametrelerini de kapsamaktadır [33].

Bir iş parçasının işlenebilirliğini etkileyen ana faktörler, işleme süresince plastik deformasyonun değerlendirilmesi açısından önemli olup aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- İşleme şartları; kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği,
- Takım yönünden; kesici takım malzemelerinin özellikleri ve mikroyapıları, takım geometrisi, takım kırılma direnci,
- İş parçası yönünden; mekanik, fiziksel ve ısıl özellikler, yüksek gerilme ve yüksek gerinim oranlarında mikroyapısal değişimler, kesme parametreleri kadar iş parçasının mikroyapısı ve özelliklerinden etkilenen kayma düzlemi açısı ve talaş kalınlığı, mekanik enerjinin dağılması süresince oluşan sıcaklık

artışıdır. Sıcaklığın artmasına neden olan ısı miktarı takım malzemeleri, iş parçasının mekanik ve fiziksel özelliklerinin yanı sıra işleme parametrelerine bağlıdır. Sıcaklık yalnızca takım kırılmasıyla değil iş parçasının plastik deformasyon davranışı ve talaş oluşumuna bağlı olarak da artmaktadır [39].

Malzemelerin işlenebilirliklerini etkileyen malzeme özellikleri sertlik, süneklik, ısı iletkenlik, pekleşme, malzeme içindeki kalıntılar ve malzemenin kimyasal bileşimidir. Örnek olarak, sertlik arttıkça kesici takımda abrasif aşınma artar ve dolayısıyla takım ömrü kısalır. Düşük sertlik ve dayanım genelde iyi işlenebilirlik anlamına gelmekle birlikte sertliği az olan çok sünek malzemelerde yığıntı kenar (YK) oluşumu gerçekleştiği için yüzey kalitesi kötüleşir ve takım ömrü kısalır. Çok düşük sertlik talaşlı imalat işleminin performansını kötü yönde etkileyebilir [40]. Örnek olarak, nispeten düşük sertliğe sahip düşük karbonlu çeliğin işlenmesinde kötü yüzey kalitesi oluşur ve talaş uzaklaştırılmasıyla ilgili problemlerle karşılaşılır. Bu nedenle, düşük karbonlu çeliklerde yüzey sertliğini artırmak ve talaş kırılmasını sağlamak için genellikle soğuk çekme işleme uygulanır. Düşük süneklik, metal kesme işleminde genelde olumlu bir etki yaparak iyi talaş oluşumuna katkıda bulunur ve metal kesme işlemi için daha az güç gerektirir. Artan iş parçası dayanımı da kesme kuvvetleri, özgül enerjive kesme sıcaklığını artıracığı için, artan dayanımla metal kesme işlemi zorlaşır. Bununla birlikte, yüksek ısı iletkenlik kesme bölgesinde oluşan ısının hızlı olarak uzaklaştırılması demektir. Bu nedenle, yüksek ısı iletkenlik işlenebilirlik yönünden genelde faydalıdır [29, 32].

2.4.8.1. Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliği ve mikroyapının etkisi

Alüminyum alaşımları takım ömrü, yüzey kalitesi ve talaş oluşumuna bağlı olarak işlenebilirlik genellikle iyidir. Kesme kuvvetleri düşüktür. Dövme ve döküm alaşımlar temperlenmiş halde tavlanmış hale göre daha iyi işlenirler. Bazı alaşımlarda yığıntı kenar çok yüksek hızlarda bile oluşabilir ve özellikle alüminyum işleme için tasarlanmamış uçların kullanılması halinde kötü yüzey kalitesinin elde edilmesine neden olabilir. Alüminyum işlemede dikkate alınması gereken en önemli problem talaş

kontrolüdür. Bazı durumlarda talaş kolay kırılmaz ve yüksek hızlarda talaşın kesme bölgesinden uzaklaştırılması özel önlemler gerektirir [30].

Ötektik ve ötektik üstü bileşimlere sahip bazı silisyum içeren alaşımlarda aşırı serbest yüzey aşınması dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Büyük, sert silisyum parçacıkları yüksek aşınma hızlarına neden olurlar. Bu alaşımların işlenmesi için elmas uçlu kesiciler geliştirilmiştir. Çok yüksek kesme hızları ve yüksek ana mil devir sayılarına sahip tezgahlarda yüksek talaş debileri bu alanda efektif olarak kullanılabilir. Kesme hızları genellikle tezgah ile sınırlıdır. Birçok alüminyum işleme uygulamasında özel olarak geliştirilmiş keskin, kaplamasız sinterlenmiş karbür kaliteleri mükemmel bir performans sağlarlar [30].

Taş ve ark. işlenebilirliğin sonucuna etki edebilen iş parçanın koşullarını belirleyen en önemli faktörler aşağıdaki gibi rapor etmiştir [41]:

- Kimyasal bileşen ve katkıları;
- Fazların morfolojisi ve büyüklüğü;
- Mikroyapı (tane inceltme ve modifikasyon);
- Porozite;
- Isıl işlemler ve
- Fiziksel mekanik özellikler.

Grum ve Kisin, tornalama sonrası işlenmiş yüzeyin etkililiğini tahmin etmek için iş malzemesinin işlenebilirliği ile alakalı olarak malzemenin mikroyapısını ve işleme koşullarının bilinmesi gerektiğini belirtmiştir [42].

Taş ve ark. bakır ve magnezyumun alaşım sertliğini arttırdığını, işlenmiş yüzeyin son yüzey kalitesini arttırdığını ve kesici takımında YK oluşumunu azalttığını bildirmiştir [41].

Barzani ve ark. [43] antimoni ve stronsiyum sadece sert silisyum fazını etkilediğini bildirmişlerdir. Bununla beraber işlenebilirlik parametrelerindeki değişim başlıca iş parçasındaki silisyum morfolojisinin değişmesi ile alakalı olduğu aktarılmıştır [43].

Al-12Si ve Al-12Si-3Cu döküm alaşımlarının işlenebilirliği ve yüzey özellikleri birincil olarak α -Al dendritlerinin ve dendritler arası Si morfolojisinin şekli, boyutu ve boyut dağılımlarına bağlıdır. Al-12Si mikroyapısı başlıca ötektik karışım (α -Al+Si) ile bazı uzanmış Al-dendritleri ve birkaç birincil silisyum partükülerinden oluşur. Modifiyesiz iğnemsiz silisyum yapısı mikroyapıdaki stresi yükseltir ve kırılmasını daha kolay hale getirir. Üç boyutlu kompleks şekillere ve çok kırılğan silisyum kristalleri α -Al matrikslerinin sınırlarını oluşturur [44].

Barzani ve ark. [45] kesme hızı düşük seviyeden orta seviyeye arttığında kesme kuvvetlerinin kesme kuvvetlerinin azaldığını ve kesme hızı en yüksek seviyede iken kayma açısı ve eğim açısının artmasından dolayı talaş kalınlığı ve talaş-eğim yüzeyi arasındaki sürtünmenin azaldığını ve kesme hızı arttığında bütün kesme kuvvetlerinin azaldığını rapor etmiştir [45].

Lin ve ark. yüzey pürüzlülüğünün beklendiği şekilde ilerleme hızını artmasıyla beraber azaldığını fakat en düşük ilerleme seviyesinde farklı bir durum olduğunu rapor etmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün işlenen parçalarda sabit kesme hızı ve yüksek ilerleme hızlarında arttığını belirtmiştir [46].

Roy ve ark. yaptıkları deneylerde metalik malzemeler içeren TiC, TiN, TiB₂, Al₂O₃ ve AlON kaplamalı WC temelli kaplama ve kaplamasız takımın, alüminyumun kuru işleme ile işlenmesi sırasında kesme takımının kesme kenarlarının yüz ve kenar bölgelerinde YK katmanı oluşturmasından dolayı başarı olmadığını rapor etmişlerdir. YK katmanı sadece kesme hızıyla ilgili olmadığını aynı zamanda iş parçasının son yüzeyini de olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir. Benzer durumun Al-12Si alaşımlarında da gözlemlendiğini belirtilmiştir. Ayrıca alüminyumun işlenmesi esnasında kesici takımda kanat aşınması vardır. Ancak Al-12Si oluşan formun değiştiği belirtilmiştir. Bunun silisyum parçacıklarının kaplamada abrasif etki etmesinden dolayı olduğu belirtilmiştir [47].

Barzani ve ark. [48] Al-12Si-Cu alaşımlarda pullanmış haldeki ötektik silikonun tekrar dñzenlenmiř lamelli yapıya değişmesi sonucu bu dñkñm alaşımlarının işlenebilirliğin azaldığı ve yñzey pñrñzlñlñęñnñn arttığını rapor etmiştirler [48].

Kishore ve ark. geręekleřtirdikleri işlenebilirlik deneylerinde kesme kuvvetlerinin kesme hızının artmasıyla beraber azaldığını rapor etmiştirler. Yñzey pñrñzlñlñęñnñn de kesme hızının artmasıyla beraber azaldığı rapor edilmiştir. Artan kesme hızı ile kanat aşınmasının arttığını ve bunun yñksek kesme hızlarında artan sıcaklığa atfederek kesme takımını zayıflattığı rapor edilmiştir. Kesme kuvvetleri, artan ilerleme hızları ve kesme derinlikleri ile artar. Yñzey pñrñzlñlñęñ değeri ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla arttığı rapor edilmiştir [49].

Kılıçkap ve ark. kesme hızının yñzey pñrñzlñlñęñnñn bñyñk oranda etkilediğini rapor etmiştirler. Yñksek kesme hızlarının daha iyi son yñzeyler oluşturduğu rapor edilmiştir [50].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada; Etial 140 alaşımının Al10Sr, CuSn5 ve Al10Sr+CuSn5 mastır alaşımları ile modifiye edilmiş alüminyum alaşım test parçalarının üzerinde talaşlı imalat işlenebilirlik deneyleri yapılmış olup sözü geçen mastır alaşımların işlenebilirliğe olan etkileri incelenmiştir.

Test parçaları üzerinde sertlik testi, mikroyapı inceleri, yoğunluk ölçümleri ve deney sonucunda test parçalarının yüzeylerinin pürüzlülük değerleri ölçülmüştür. İşlenebilirlik testi için klasik torna tezgahı kullanılmış olup kesme sonucu oluşacak kuvvetlerin ölçülmesi için dinamometre kullanılmıştır. İşlenebilirlik deneyleri 3 farklı devir ve ilerleme seçilmiş olup toplam 36 adet deney yapılmıştır.

3.2. Deney Malzemesi

Bu çalışmada deney malzemesi olarak 4 ana test malzemesi kullanılmıştır. Bunlardan birincisi modifiyesiz Etial 140 alaşımı olmak üzere diğerleri Al10Sr, CuSn5 ve Al10Sr+CuSn5 ile modifiye edilmiş alaşımlar kullanılmıştır. Deney malzemelerinin döküm tasarımları Tablo3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1 Deney malzemelerinin modifiye grupları.

Modifiye grubu	Ana alaşım	Si	Sr	Cu	Sn
A) Modifiyesiz	Etial 140	%~12	-	-	-
B) CuSn5	Etial 140	%~12	-	%1,054	%0,067
C) Al10Sr	Etial 140	%~12	%0,156	--	-
D) CuSn5+Al10Sr	Etial 140	%~12	%0,153	%1,054	%0,074

Ø20mm olan numuneler 50mm'lik boy olacak şekilde 36 tane toplam adet işlenebilirlik testi için numune hazırlanmış ve test yapılmıştır. Bunun yanı sıra mikroyapı incelemesi, sertlik testi ve yoğunluk ölçümü için Ø20x10mm boyutlarında mekanik test numuneleri hazırlanmıştır.

İşlenebilirlik numuneleri iki punta arasında işlenebilmesi her iki başına puntalamak için punta delikleri açılmıştır ve işlenebilirlik testi iki punta arasında boyuna tornalama yapılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Kullanılan mastır alaşımlar

Mastır alaşımlar Tablo 3.2'de verilmiştir. Malzemelerin modiye türüne göre deney malzemelerine A-D arasında harf verilmiştir. Modifiyesiz A, CuSn5 mastır alaşım B, Al10Sr mastır alaşım C, Al10Sr+CuSn5 mastır alaşım D olarak kodlanmıştır.

Tablo 3.2. Test alaşımları listesi.

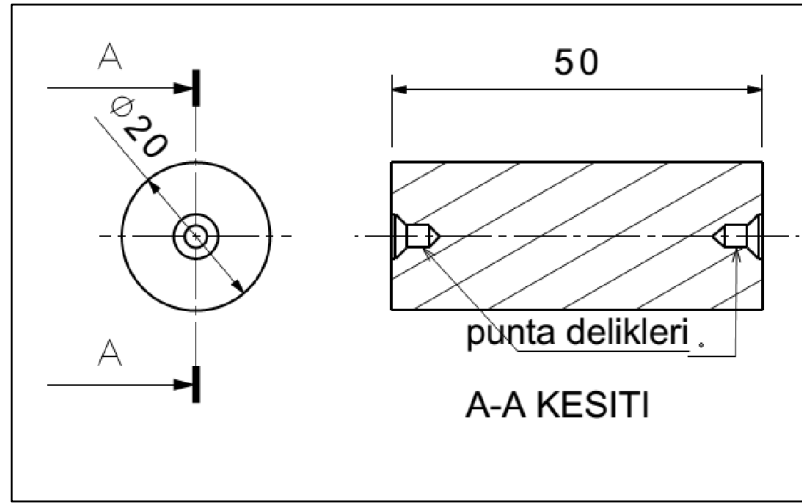
Grup no:	Ana Alaşım	Mastır Alaşımları
A	Etial 140	-
B	Etial 140	CuSn5
C	Etial 140	Al10Sr
D	Etial 140	Al10Sr+ CuSn5

3.2.2. Numunelerin hazırlanması

Numuneler Ø20mmx210mm ölçülerinde çubuklardan testere vasıtası ile kesilerek elde edilmiştir. Bir çubuktan toplamda 3 adet işlenebilirlik test numunesi ve 2 adet metalografi ve mekanik test numunesi elde edilmiştir. Toplam 36 adet işlenebilirlik testi numunesi ve 24 adet metalografi ve mekanik test numesi ile deney ve testler yapılmıştır.

İşlenebilirlik test numuneleri kesildikten sonra şekil 3.1’deki teknik çizimdeki gibi alın tornalama yapıp 50mm boya getirilmiş ve çift taraflı puntalayarak tornalama için punta delikleri açılmıştır.

Metalografi ve mekanik test numuneleri de kesildikten sonra 10mm boya getirilmek için alın tornalama yapılmıştır.



Şekil 3.1. İşlenebilirlik test numunesinin teknik resim olarak gösterimi.

3.2.3. Yoğunluk hesaplamaları

Yoğunluk hesaplamaları için A1, A2, A3 ve A4 grupları için 5 adet olmak üzere toplamda 20 adet test numunesi kullanılmıştır.

Yoğunluk hesaplamaları arşimet düzeneği kullanılarak numunelerin suda ve havada ağırlıkları ölçülüp (4.1) eşitliği kullanılarak numunelerin yoğunluğu bulunmuştur.

$$\text{Yoğunluk (d)} = \text{Kuru Ağırlık} / (\text{Kuru Ağırlık} - \text{Yaş Ağırlık}) \quad (4.1)$$



Şekil 3.2 Yoğunluk ölçüm düzeneği.

3.2.4. Sertlik ölçümü

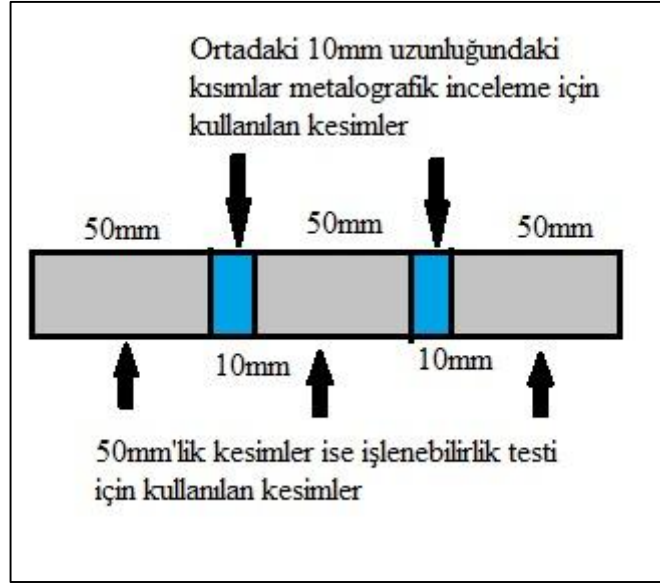
Sertlik testi Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Her bir numune için 4 ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bunların ortalamaları alınarak sertlik değerleri belirlenmiştir. Ölçme işlemi, kullanılan cihazda 10kg ön yük, 60 kg yük ve 3,175 mm çapında bilya uç kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Sertlik ölçme test cihazı fotoğraf görüntüsü.

3.2.5. Metalografik çalışma

Metalografik incelemeler için zımpara cihazında sırasıyla 120–1600 arası grid zımpara ve 3–1 μ elmas parlatma kademelerinden geçirilmiştir. Zımpara işleminde su kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Metalografik incelemeler için kullanılan numunelerin kesim yerlerinin gösterimi.

3.3. Numunelerin İşlenebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi

Test edilecek numunelerin ekonomik kullanımlarının belirlenmesi amacıyla işlenebilirlik özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Numunelerin işlenebilirlikleri; kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, talaş biçimleri ve kesici uç SEM görüntüleri açısından incelenmiştir.

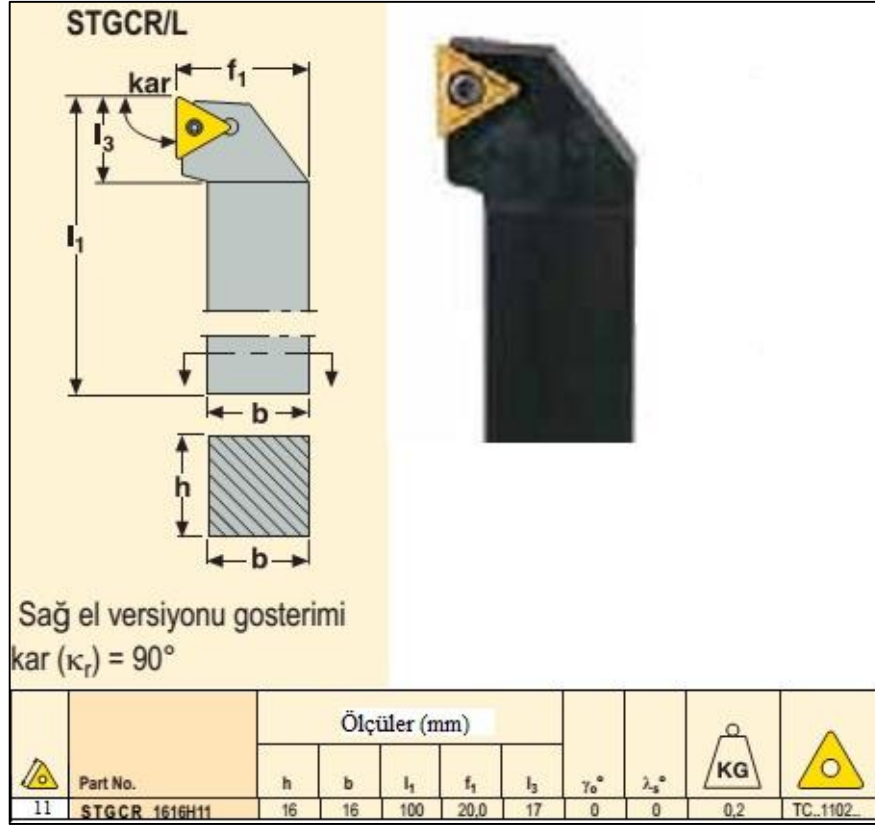
3.3.1. Takım tezgahı ve kesici takımlar

Takım tezgahı: İşlenebilirlik deneyleri Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Talaşlı Üretim Laboratuvarında yer alan Tos marka, geleneksel torna tezgahında yapılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Tablo 3,3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Geleneksel torna tezgahının teknik özellikleri.

Markası	TOS torna
İş mili en fazla döndürme çapı	500 mm.
En fazla parça bağlama boyu	1000, 1500, 2000 mm.
Sürekli dönme devir sayıları	22-2000 dev/dk.
Kesici bağlama hane sayısı	4
İş mili delik çapı	52 mm.
İş mili gücü	5,5 kW

Takım tutucu: İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucu ISO 3685'te [51] belirtilen özelliklere ve deneylerin yapılacağı klasik tezgahının kesici takım bağlama başlığı yuvasına ve dinamometre kesici takım bağlama yerine uygun olarak seçilmiştir. Bu kapsamda işleme deneylerinde kullanılmak üzere STGCR16161H11 kodlu takım tutucu SECO firmasından tedarik edilmiştir. Kesici takım tutucunun özellikleri Şekil 3.5'te gösterilmiştir.

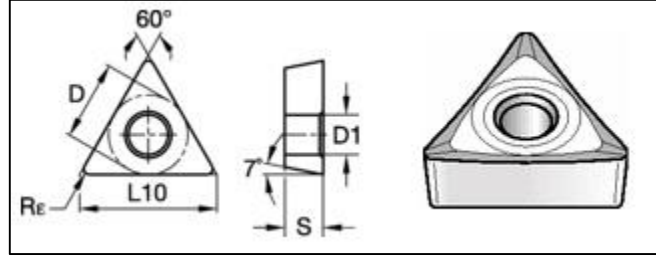


Şekil 3.5. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılan takım tutucu özellikleri[52].

Kesici takım: İşlenebilirlik deneylerinde, tek kaliteye sahip bir adet kaplamasız kesici uç kullanılmıştır. Bu kesici uç “Kennametal” firmasının titanyum diborür (TDB) kaplamalı “fiziksel buhar biriktirme (PVD)” kaplama yöntemi ile kaplanmış KC5410 kalitede kesici uçtur. KC5410 kalitesi çok iyi aşınmasa direnci sağlayan özellikte, yığılma kenara dayanıklı ve Al-Si alaşımları için uygun aşırı derecede sert TBD PVD kaplamalı kesici uç kalitesidir[51]. Kesici uçun ISO kodları, yapı ve geometrik özellikleri ile teknik bilgileri Tablo 3.4’te ve Şekil 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.4. Kesici takım özellikleri[36].

ISO katalog no	Kalite	D	L10	S	Rε	D1
TCGT110204HP	KC5410	6,35	11,00	2,38	0,4	2,80



Şekil 3.6. Kesici takım geometrisi ve ölçülendirmesi [36].

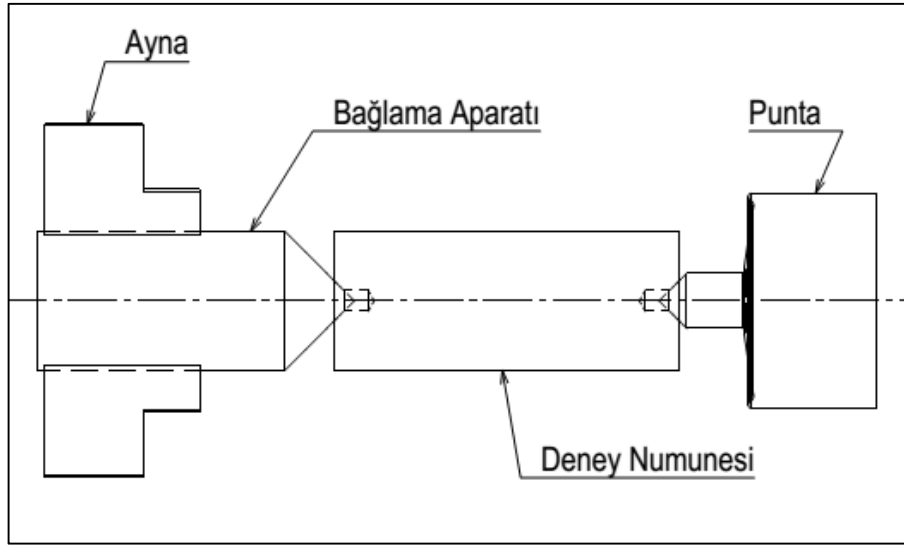
Kesme parametreleri: İşlenebilirlik deneyleri kuru işleme şartlarında, sabit kesme derinliği, üç farklı ilerleme hızı ile üç farklı kesme hızı seçilerek yapılmıştır. Kesme derinliği ve ilerleme hızları üretici firma önerilerinde belirtildiği üzere kesici takım uç kalitesine bağlı olarak, verilmesi gereken değer aralığında olacak şekilde seçilmiştir. Kesme hızları ise üretici firma önerileri ve örnek literatür çalışmalarına bağlı olarak tespit edilmiştir. Seçilen kesme parametreleri ve seviyeleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri ve seviyeleri[36].

Kesme derinliği (a), mm	İlerleme hızı (f), mm/devir	Kesme hızı (V), m/dk.
1	0,08; 0,16 ve 0,32	35, 95 ve 135

3.3.2. Numunelerin bağlanması

Silindir şeklindeki test numunelerin işlenmesinde, tezgaha bağlamada kolaylık ve ekonomik olarak işlememize imkan sağlayacak şekilde bir bağlama aparatı tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır.



Şekil 3.7. Bağlama aparatına, test numunelerinin yerleştirilmesi.

3.3.3. Kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Kesme kuvveti ölçümü: Kesme kuvvetlerinin ölçümünde “Tezsan Tos” marka geleneksel torna tezgâhına bağlanmış kesme kuvvetlerinin iki bileşenini (kesme kuvveti ve ilerleme kuvveti) aynı anda ölçebilen bir dinamometre kullanılmıştır. Sonuçların rakamsal olarak elde edilmesi için, bir bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla kesme kuvvetlerinin iki bileşeni için kesme süresince elde edilen kuvvet değerlerinin ortalama değerleri alınmıştır. Üçüncü bileşen olan radyal kuvvet kesme kuvvetinin yaklaşık olarak 0,75 katı alınarak matematiksel hesaplamalar sonucunda bulunmuştur [30, 34].

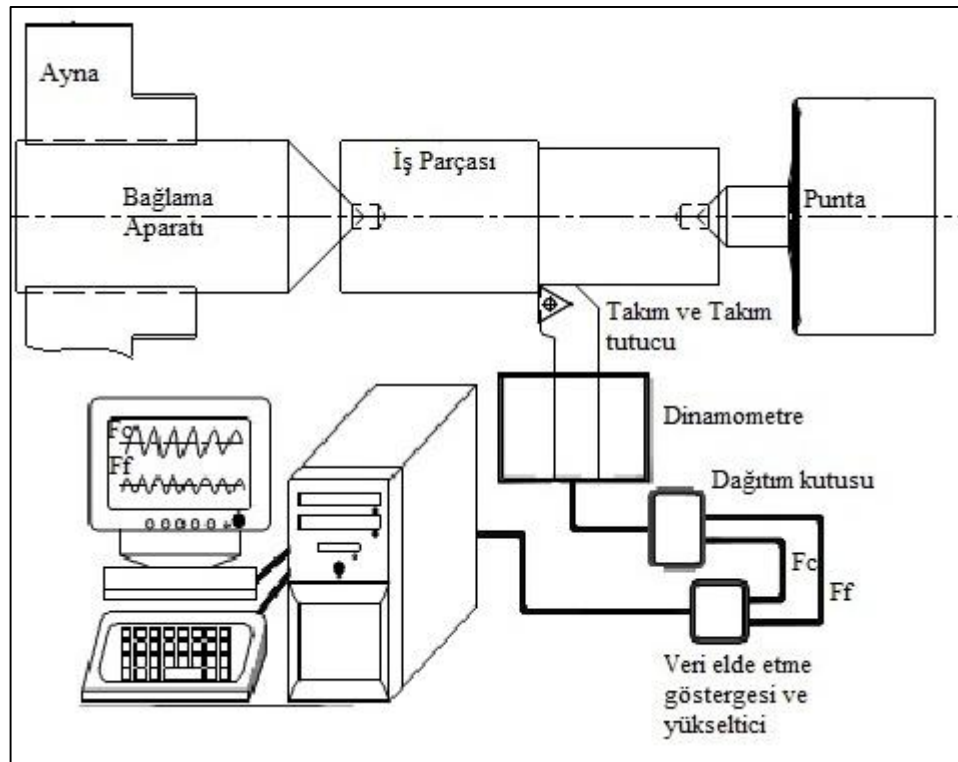
Yüzey pürüzlülüğü ölçümü: Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri portatif bir yüzey pürüzlülük cihazı olan Mahr Perthometer M1 cihazı yardımıyla yapılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. Yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	M1
Tarama hızı	0,5 m/sn.
Tarama kuvveti	0,75 mN
İğne uç yarıçapı	2 μ m
Ölçüm aralıkları	100-150 μ m

Tablo 3.6. (devamı)

Profil çözünürlüğü	12 mm
Filtre	Gaussian
Örnekleme uzunluğu (λ)	0,25 –0,8 –2,5 (mm)
Ölçme uzunluğu (L)	1,75 –5,6 –17,5 (mm)
Ölçülebilen parametreler	Ra, Rz, Rmax
Dil Seçilebilir	10 Avrupa, 3 Asya dili
Güç kaynağı Entegre,	NiCd şarj edilebilir pil
Boyutlar	190 x 170 x75 mm
Yaklaşık ağırlık	90 gr



Şekil 3.8. Deney sisteminin şematik gösterimi.

Ölçüm işlemleri ISO 4288'e uygun olarak, örnekleme uzunluğu (λ) ve ölçme uzunluğunun (L) tespitinde ilgili kurallara uyulmuştur [53]. Örnekleme uzunluğunun tespitinde ilerleme değerleri belirleyici olmuştur. Pürüzlülük ölçümünde örnekleme uzunluğu 0,25 mm ve ölçüm uzunluğu 1,75 mm seçilmiştir. İşlenen her bir bölgeden 3'er yüzey pürüzlülüğü ölçümü alınmış ve bunların aritmetik ortalaması alınarak ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri belirlenmiştir.

3.3.4. Deney listesi

Tablo 3.7. Deney listesi ve deney parametreleri.

DENEY NO	Grup No	Kesim	KESME	İLERLEME
		No	HIZI	
1		11	135	0,08
2		12	135	0,16
3		13	135	0,32
4	Etial 140 (modifiyesiz)	21	95	0,08
5		22	95	0,16
6		23	95	0,32
7		31	35	0,08
8		32	35	0,16
9		33	35	0,32
10		11	135	0,08
11		12	135	0,16
12		13	135	0,32
13		21	95	0,08
14	Etial 140 (CuSn5 (AIP))	22	95	0,16
15		23	95	0,32
16		31	35	0,08
17		32	35	0,16
18		33	35	0,32
19		11	135	0,08
20		12	135	0,16
21		13	135	0,32
22	Etial 140 (Al10Sr)	21	95	0,08
23		22	95	0,16
24		23	95	0,32
25		31	35	0,08
26		32	35	0,16
27		33	35	0,32
28		11	135	0,08
29		12	135	0,16
30		13	135	0,32
31	Etial 140 (Al10Sr+ CuSn5(AIP))	21	95	0,08
32		22	95	0,16
33		23	95	0,32
34		31	35	0,08
35		32	35	0,16
36		33	35	0,32

BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE İRDELENMESİ

4.1. Malzeme Özellikleri

Etial 140 ve mastır alaşımlı malzemelerin kimyasal analizleri Tablo 4.1'deki gibidir.

Tablo 4.1. Malzemelerin kimyasal analizleri

	Si	Fe	Sr	Cu	Sn	Ti	B	Na
A) Etial 140	%~12	%0,152	-	%0,1	-	%0,01	-	-
B) Etial 140 +CuSn5	%~12	%0,136	-	+%1,056	+%0,067	%0,01	-	-
C) Etial 140 +Al10Sr	%~12	%0,161	%0,156	%0,130	-	%0,01	-	-
D) Etial 140 +Al10Sr+CuSn5	%~12	%0,160	%0,156	+%1,053	+%0,074	%0,01	-	-

4.1.1. Numunelerin metalografik incelemeleri

Malzemelerin mikroyapı resimleri Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Modifiyesiz Etial 140 alaşımının mikroyapısı incelendiğinde Si fazları iğnemsî, uzun ve kaba olduğu görülmektedir. Modifiyeli yapılarla karşılaştırıldığında modifiyesiz iğnemsî ve kaba tane yapısı malzemenin sünekliğini azaltıp kırılabilirliğini arttırdığı ve çekme dayanımını düşürdüğü bilinmektedir [15].

Modifiyesiz ötektik Si döküm alaşımları genellikle kaba, iri tanelidir. Genellikle bu kötü mekanik özelliklere özellikle sünekliğe. Al-Si döküm alaşımlarında Si morfolojisinin mekanik özelliklere etki ettiği uzun süreden beri bilinmektedir [18].

CuSn5 Mastır alaşımlı alaşımların mikroyapısı incelendiğinde Si fazlarının, modifiyesiz olan alaşıma göre incelendiği ve kırıldığı görülmektedir. Ayrıca bakır elementinin mikroyapıya etki ederek sertliği önemli derecede artırdığı görülmüştür (Şekil 4.3). Bakır Fosfor, Alüminyum Silisyum alaşımına eklendiğinde AlP formunu alarak, ürün tane yapısını uzun lamel formundan blok parça formuna getirir [4]. Bu bağlamda Si fazlarında lamelli yapı oluştuğu görülmüştür. Bunun sonucunda malzemenin sertliğinin arttığı düşünülmektedir.

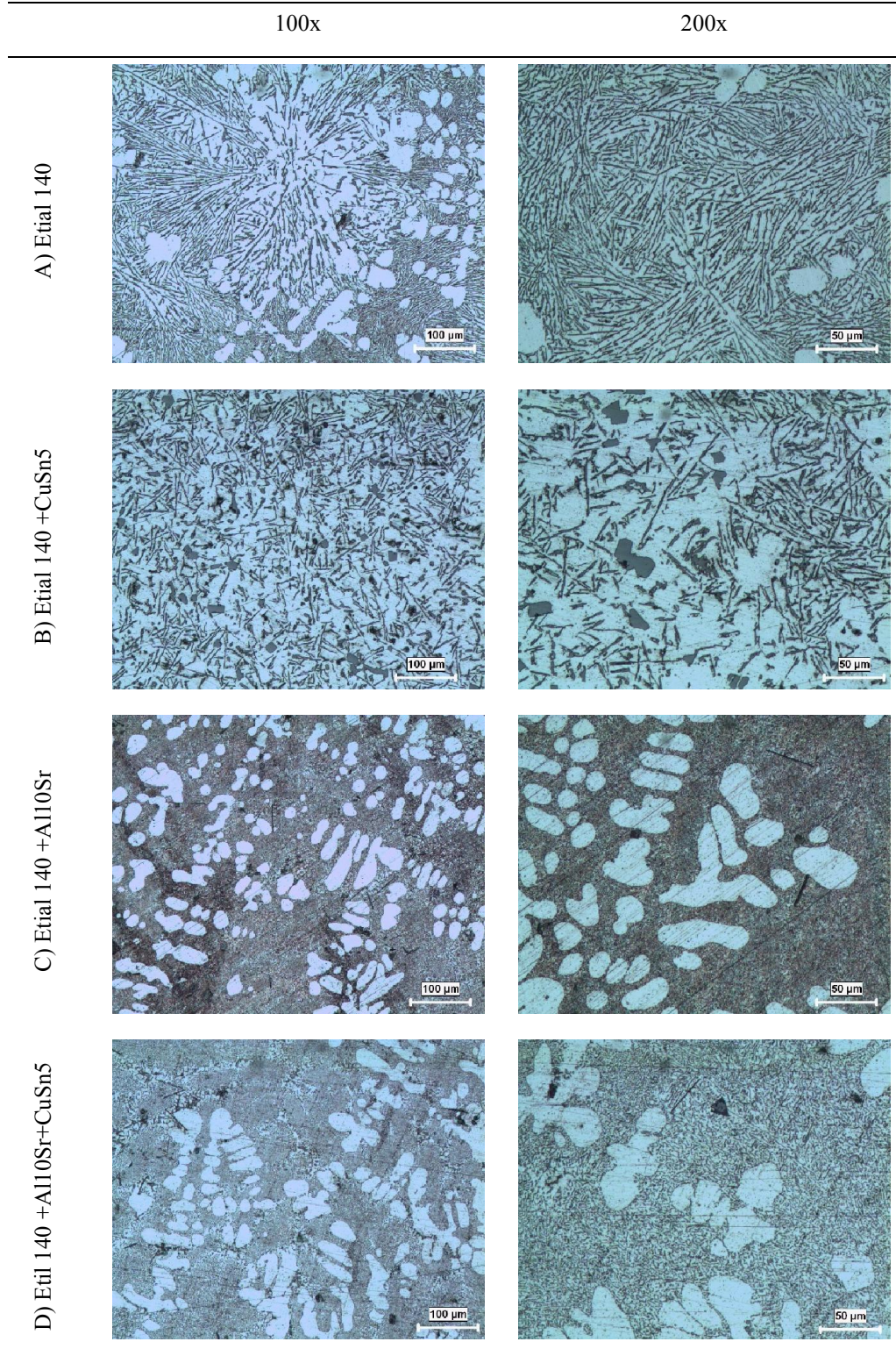
Uludağ ve ark. Sr ilaveli yapılan dökümlerin mikroyapıları incelendiğinde, soğuma hızı arttıkça birincil silislerin küçüldüğü veya parçalandığı, ikincil silislerin boyutlarının küçüldüğü ve kısmi olarak segregasyon oldukları söylemişlerdir [54].

Al10Sr Mastır alaşımlı alaşım incelendiğinde Si fazlarının Sr'un inceltici özelliğiyle beraber, bu dört alaşım arasında en ince halini alarak fiberimsi yapıya (Şekil 2.2 j-k) dönüştüğü ve çok iyi yapıya yaklaştığı görülmektedir (Şekil 4.1). Sr modifiye edicinin sertliğe çok az bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.3).

Modifiye edici olarak stronsiyum, Al-Si alaşımlarda ötektik morfolojisini kaba iğnemsiz yapıdan fiberimsiz yapıya dönüştürerek mekanik özelliklerin daha iyi olmasına sebep olur [16]. Alüminyum silisyum alaşımlı döküm işlemlerinde; ötektik silisyum morfoloji yapısının kalın pıhtı formundan mükemmel saflıkta çok iyi yapıya modifiye edilerek dökülmüş parçalarda geliştirilmiş sağlamlık ve mekanik özelliklerle birlikte kısmen süneklik elde edilir.

Al10Sr+CuSn5 mastır alaşımlı alaşımın mikroyapısı incelendiğinde Si fazlarının modifiyesiz ve CuSn5 modifiyeli alaşımlara göre önemli derecede kaba iğnemsiz yapıdan fiberimsiz yapıya dönüştürerek mikroyapının modifiye olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda malzeme sertliğinin önemli ölçüde artırıldığı düşünülmektedir (Şekil 4.3). Al10Sr+CuSn5 mastır alaşımlı alaşımın Si fazlarının Al10Sr mastır alaşımına göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin fosforun modifikasyon mekanizması ile karışarak modifikasyonun etkinliğini azalmasından dolayı olduğu

düşünülmektedir. Bu yüzden modifikasyon işlemlerinde düşük fosforlu metaller kullanılır [10].



Şekil 4.1. Malzemelerin mastır alaşım türüne göre mikroyapı resimlerinin 100x ve 200x gösterimi.

Genel olarak değerlendirildiğinde Al10Sr mastır alaşımının mikroyapıda modifikasyon etkisi göstererek mikroyapıyı değiştirdiği görülmüştür. CuSn5 mastır alaşımı ise inceltici etki yerine malzemenin sertliğinde kayda değer bir artış olduğu gözlemlenmiştir ve modifikasyon etkililiğini azalttığı tespit edilmiştir.

4.1.2. Yoğunluk sonuçlarının değerlendirilmesi

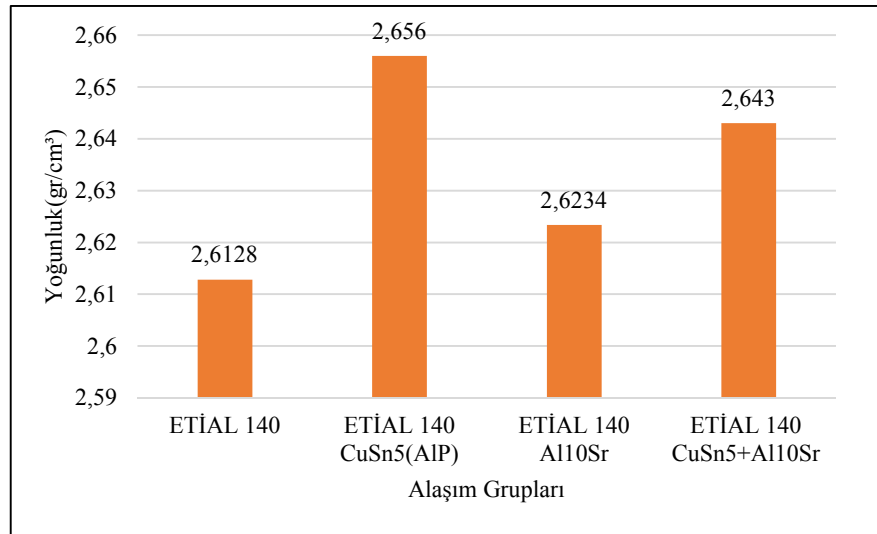
Dört farklı gruptan oluşan Al12Si alaşımlarının yoğunluk değerlerinin belirlenmesinde Arşimet prensibi uygulanmıştır. Her bir grup için 5 farklı numuneden yoğunluk ölçümü yapılmış olup bunların aritmetik ortalaması alınarak yoğunluk değerleri belirlenmiştir. Yoğunluk sonuçları şekil 4.2'deki gibidir.

En düşük yoğunluğu sahip olan grup modifiyesiz A (Etial 140) grubudur. Bunun sebebi modifikasyon olmadığından malzeme akıcılığının diğer katkı maddeli gruplara göre daha az olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.

C (Al10Sr modifiyeli) grubu A grubuna göre yoğunluğu daha iyidir. Sebebi Sr modifikasyonlu malzemenin ağırlıkça bileşim oranı olarak bakır elementinden yoğunluk olarak daha az oranda olmasındandır.

D (Al10Sr+CuSn5) grubu en iyi ikinci yoğunluğa sahip olan gruptur. Al10Sr+ CuSn5 mastır alaşımının Al10Sr'ye göre porozite açısından daha az ve yoğunluk olarak daha iyi olduğu söylenebilir.

En iyi yoğunluğa sahip olan grup B (CuSn5) grubudur. Bunun sebebi bakır elementinin özgül ağırlığının alüminyum elementinden fazla olmasından dolayı alaşımın yoğunluğunun artışında etkili olmuştur.



Şekil 4.2. Yoğunluk değerlerin alaşım gruplarına göre gösterimi.

4.1.3. Sertlik sonuçlarının değerlendirilmesi

Deney gruplarının sertlik sonuçları Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Yoğunluk ölçümleri ve grubun modifiye grubuna bağlı olarak sertlik sonuçları, yoğunluk sonuçları ile kısmen paralellik göstermektedir.

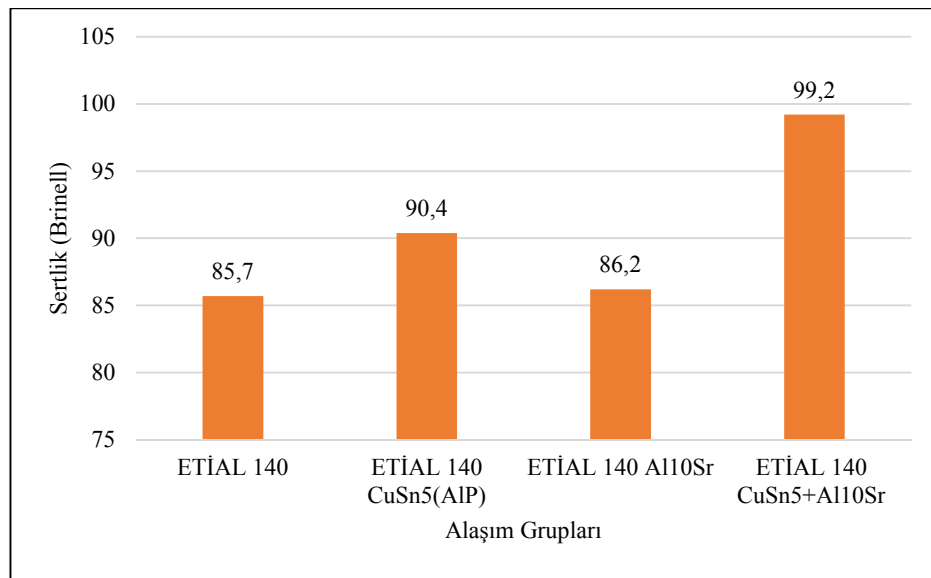
En düşük sertliğe sahip olan grup modifiyesiz A (Etial 140) grubudur. Bunun sebebi yoğunluğun düşük olmadığından diğer katkı maddeli gruplara göre katkı olmamasından olduğu düşünülmektedir.

Taş ve ark. bakır ve magnezyumun alaşım sertliğini arttırdığını, işlenmiş yüzeyin son yüzey kalitesini arttırdığını ve kesici takımında YK oluşumunu azalttığını bildirmiştir [41]. B (CuSn5 modifiyeli) grubu A ve C grubuna göre sertliği daha iyidir. Sebebi Cu elementinin malzemenin mekanik özelliklerini daha iyi etki yapmasından dolayı kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha önce bahsedildiği üzere bakır, akma mukavemetine ve sertliğe (çökeltme sertleşmesi) olumlu etki eder. Ağırlıkça % 4 ve üzeri Cu oranları korozyon dayanımını logaritmik olarak düşürür [2].

C grubu A grubuna göre sertliği daha iyidir. Fakat B (CuSn5(AIP)) grubuna göre daha düşüktür. Bunun sonucunda CuSn5 mastır alaşımının Al10Sr ye göre mekanik özellikleri daha iyileştirdiği söylenebilir. Stronsiyum alaşımının mekanik özelliklerini

iyileştirmekten ziyade alüminyum silisyum ötektiğini modifiye eder. Etkin modifikasyon çok düşük ilave seviyelerinde elde edilir. Genellikle % 0,008 ile % 0,04 oranları kullanılır [15]. Barzani ve ark. [43] antimoni ve stronsiyum sadece sert silisyum fazını etkilediğini bildirmişlerdir. Bununla beraber işlenebilirlik parametrelerindeki değişim başlıca iş parçasındaki silisyum morfolojisinin değişmesi ile alakalı olduğu aktarılmıştır [43].

E (Al10Sr+ CuSn5) grubu en iyi sertliğe sahip olan gruptur. Al10Sr+ CuSn5 mastır alaşımın Al10Sr'ye göre mekanik özellikleri iyileştirme açısından daha iyi sonuç verdiği söylenebilir.



Şekil 4.3. Sertlik değerlerin alaşım gruplarına göre gösterimi.

4.2. İşlenebilirlik Özellikleri

Üretiminde döküm yönteminin kullanılmış olan silindirik şeklindeki Al12Si alaşımların işlenebilirlik özellikleri, talaşlı imalatta çok sık kullanılan tornalama işlemiyle gerçekleştirilmiştir. Kesme deneyleri, ISO 3685 [51] dikkate alınarak belirlenmiş kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği) kullanılarak yapılmış olup deneylerin her biri için yeni kesici takım kullanılmıştır. Üretilen modifikasyonlu malzemelerin işlenebilirliği; kesme kuvvetleri, kesici takım

malzemesi, yüzey pürüzlülüğü, talaş biçimleri ve talaş şekli incelenmesi açısından değerlendirilmiştir.

4.2.1. Kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

Malzemenin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde temel kriterlerden birisi kesme kuvvetleri veya talaş kaldırmak için gerekli güçtür [29]. Bu amaçla, silindirik şeklindeki test numuneleri için yapılan kesme kuvveti ölçüm deneylerine başlamadan önce numuneler bağlama aparatına takılmış ve yüzeylerinden 1 mm derinlikte talaş kaldırılmıştır. Yapılan bu işlem ile numunelerin bağlanmasından kaynaklanan dönme eksantrikliği ile yüzeylerdeki olumsuzluklar giderilerek, ölçülecek kesme kuvvetlerinin güvenilirliği sağlanmıştır.

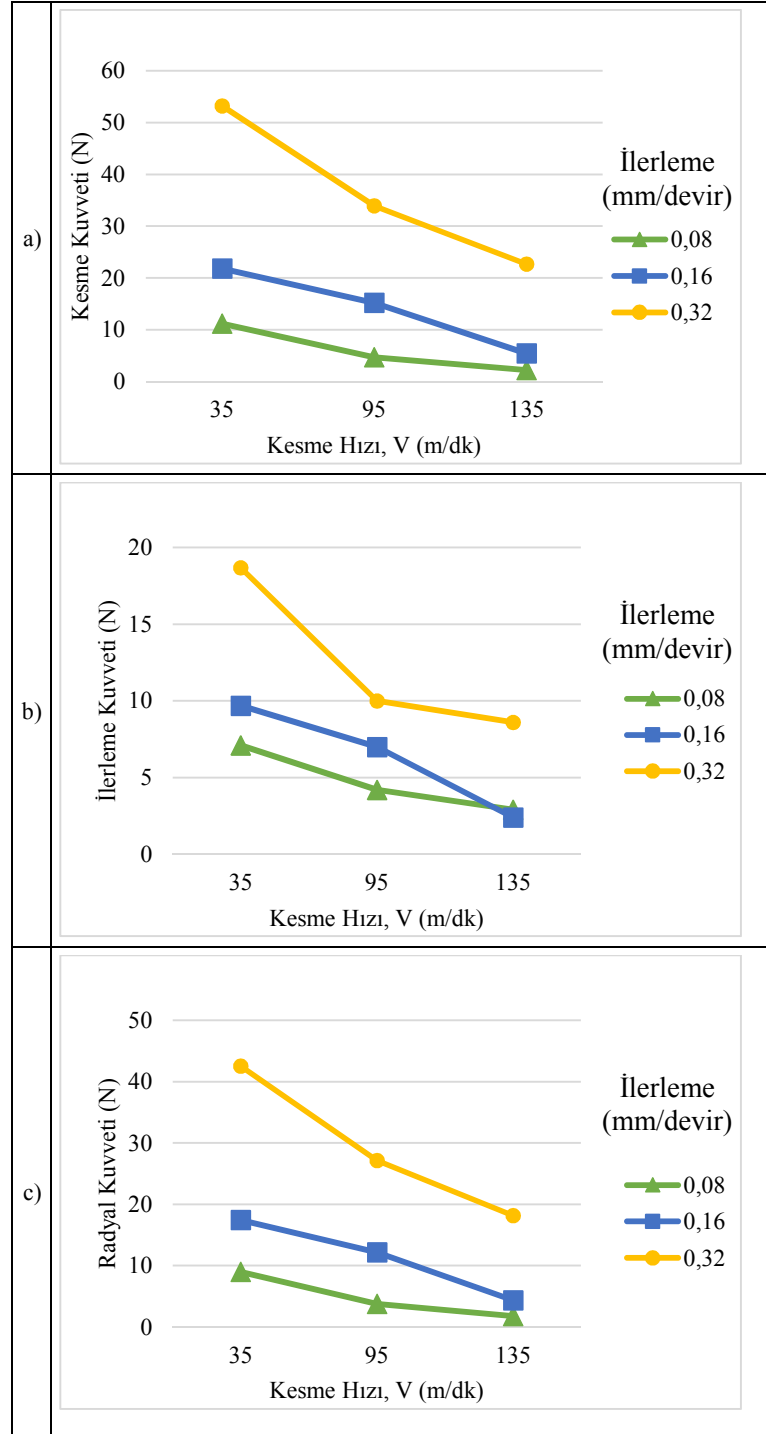
Kesme kuvvetlerinin ölçümü, belirlenen kesme parametrelerine bağlı olarak her bir numune için 50 mm boyda boyuna tornalama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Tornalama sırasında oluşan kesme kuvvetleri esas kesme kuvveti (F_c) ve ilerleme kuvveti (F_f) iki yönde ölçülmüş olup radyal kuvvet (F_r) hesaplamalar ile bulunmuştur. A, B, C ve D deney gruplarının işlenebilirliğinin kesme kuvvetleri açısından daha detaylı incelenebilmesi için kesme parametreleri ile kesme kuvvetleri arasındaki değişimleri gösteren grafikler oluşturulmuştur.

4.2.1.1 A (Etial 140) deney grubu alaşımının işlenebilirliğinde kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

A kodlu deney grubu için kesme hızı ve ilerleme miktarına göre oluşan esas kesme kuvvetinin değişimi, kesme hızı ve ilerleme açısından Şekil 4.4'te sunulmuştur.

Şekil 4.4 (a) incelenerek genel bir değerlendirme yapılırsa, kesici için kesme hızındaki artışla beraber F_c 'nin tersi yönde bir eğilim sergileyerek azaldığı görülmektedir. 0,08mm/devir ve 0,16mm/devir ilerleme hızlarındaki kesme hızına göre kesme kuvvetinde kayda değer bir düşüş olmazken, 0,32 mm/devir ilerleme hızında kesme kuvveti 53,2 N'den 22,7 N'ye düşmüştür. Kesme kuvveti değerlerini tamamında 95

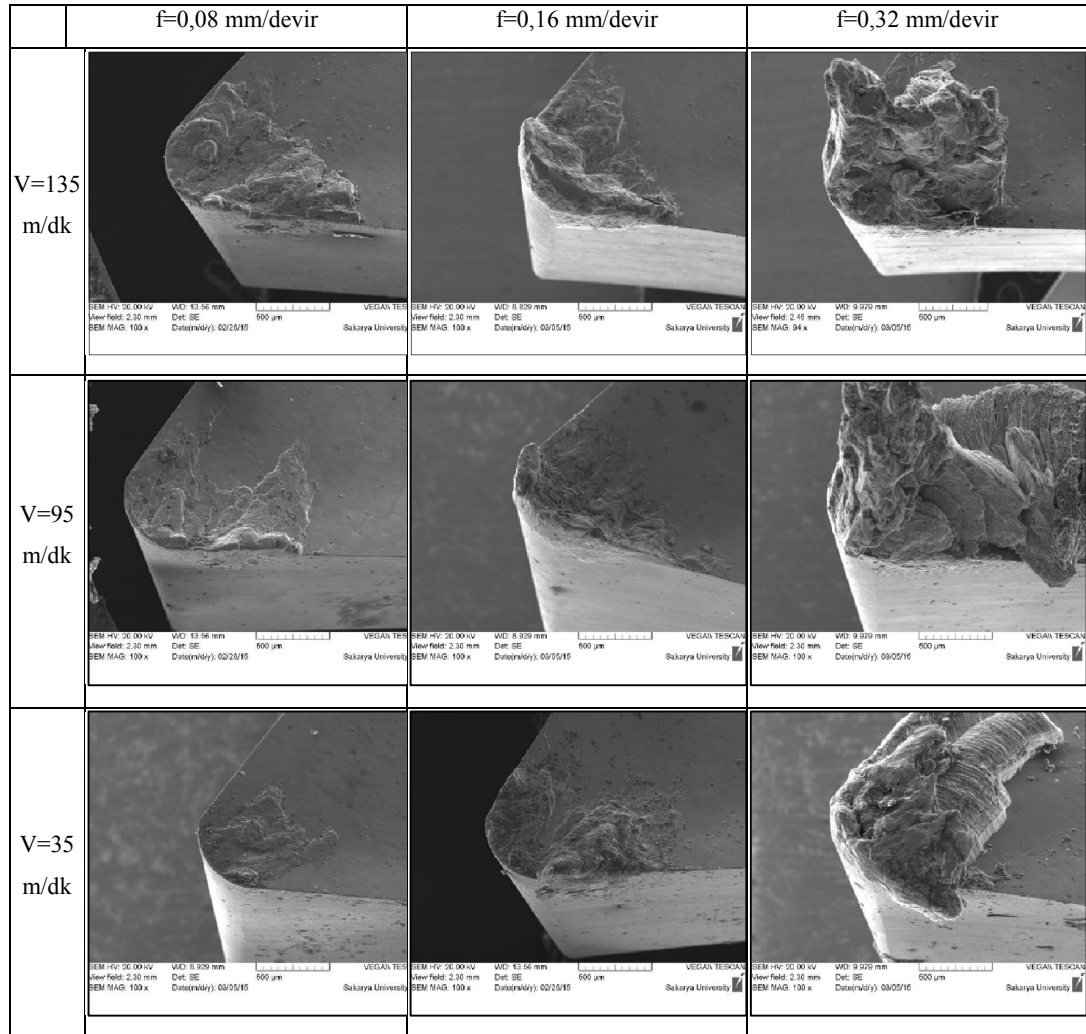
m/dk'da ve sonra kesme hızının düştüğü gözlemlenmiştir. Şekil 4.4 (b) incelenirse, kesici için kesme hızındaki artışla beraber 0,16 mm/devir ilerleme hızında kesme hızı 135m/dk. iken ilerleme kuvveti en düşük değeri olan 2,4N değerine düştüğü gözlemlenmiştir. Barzani ve ark. [45] kesme hızı düşük seviyeden orta seviyeye arttığında kesme kuvvetlerinin kesme kuvvetlerinin azaldığını ve kesme hızı en yüksek seviyede iken kayma açısı ve eğim açısının artmasından dolayı talaş kalınlığı ve talaş-eğim yüzeyi arasındaki sürtünmenin azaldığını ve kesme hızı arttığında bütün kesme kuvvetlerinin azaldığını rapor etmiştir [45].



Şekil 4.4. Etial 140 grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve radyal kuvveti (c) değişimleri.

0,32mm/devir için kesme hızı 35m/dk. olduğunda ilerleme kuvveti en yüksek değerini bulmuştur. Şekil 4.4 (c)'de kesme kuvvetine paralel olarak, kesici için kesme hızındaki artışla beraber F_c 'nin tersi yönde bir eğilim sergileyerek azaldığı görülmektedir. 0,08mm/devir ve 0,16mm/devir ilerleme hızlarındaki kesme hızına göre kesme

kuvvetinde kayda değer bir düşüş olmazken, 0,32 mm/devir ilerleme hızında 42,56 N'den 18,16N'ye düşmüştür. Kesme kuvveti değerlerinin tamamında 95 m/dk'da ve sonra kesme hızının düştüğü gözlemlenmiştir. Hem kesme parametreleri hem de malzemelerinin tamamında, radyal kuvvet ilerleme kuvvetinden daha büyük olmuştur.



Şekil 4.5. A grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB Uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri; (a) V=135 m/dk. $f=0,08$ mm/devir, (b) V=135 m/dk. $f=0,16$ mm/devir, (c) V=135 m/dk. $f=0,32$.

Şekil 4.5'te A grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB Uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri gösterilmektedir. 135 m/dk. $f=0,08$ mm/devir (şekil 4.4) ilerlemede meydana gelen YK (Yığılma Kenar) katmanının kesicide asıl kesici kenar, burun bölgesi ve yardımcı kesici kenar boyunca düşük yükseklikte

oluşmuştur. Sünek malzemelerin özellikle düşük kesme hızlarında işlenmesinde meydana gelen yığıntı kenar (YK), kesici takım radyüsünü büyüterek takımın malzemeye batmasını zorlaştıracığından, kesme kuvvetlerinin, özellikle F_r 'nin büyümesine yol açacaktır. İlerleme hızı $f=0,16$ mm/devir iken ise yine aynı bölgelerde oluşarak daha yüksek ilerleme hızından dolayı yüksekliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir. İlerleme değeri $f=0,32$ mm/devir'de YK katmanı ilerleme hızının artmasına bağlı olarak daha $f=0,16$ mm/devir ilerlemeye göre daha yüksek bir YK katmanı oluşmuştur.

95 m/dk. ilerlemede meydana gelen YK $V=135$ m/dk'da oluşan YK ile aynı bölgelerde oluşmuş fakat kesme hızının düşmesinden dolayı YK katmanının arttığı gözlemlenmiştir. İlerleme hızı $f=0,16$ mm/devir iken ise yine aynı bölgelerde oluşarak daha yüksek ilerleme hızından dolayı yüksekliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir. İlerleme değeri $f=0,32$ mm/devir'de YK katmanı ilerleme hızının artmasına bağlı olarak daha $f=0,16$ mm/devir ilerlemeye göre daha yüksek bir YK katmanı oluşmuştur.

Deney malzemelerinin $V=35$ m/dk'da TDB Uç ile işlenmesi sonucu oluşan SEM görüntüleri gösterilmektedir. İlerleme değeri $f=0,32$ mm/devir'de YK katmanı ilerleme hızının artmasına bağlı olarak daha $f=0,16$ mm/devir ilerlemeye göre daha yüksek bir YK katmanı oluşmuştur. Normal olarak kesme hızı düştükçe YK katmanının artması beklenirken, beklenenin aksine YK katmanı düşük çıkmıştır.

4.2.1.2 B (Etial 140 CuSn5(AIP)) deney grubu alaşımının işlenebilirliğinde kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

B kodlu deney grubu için kesme hızı ve ilerleme miktarına göre oluşan esas kesme kuvvetinin değişimi, kesme hızı ve ilerleme açısından Şekil 4.6'da sunulmuştur.

Şekil 4.6 (a), (b) ve (c) incelenerek genel bir değerlendirme yapılırsa, kesici için kesme hızındaki artışla beraber F_c , F_f ve F_r 'nin tersi yönde bir eğilim sergileyerek azaldığı görülmektedir fakat A grubu ile karşılaştırıldığında bütün kuvvetler kayda değer bir şekilde düşüş gözlemlenmiştir. Bunun sebebi CuSn5 mastır alaşımının bakır ve kalay

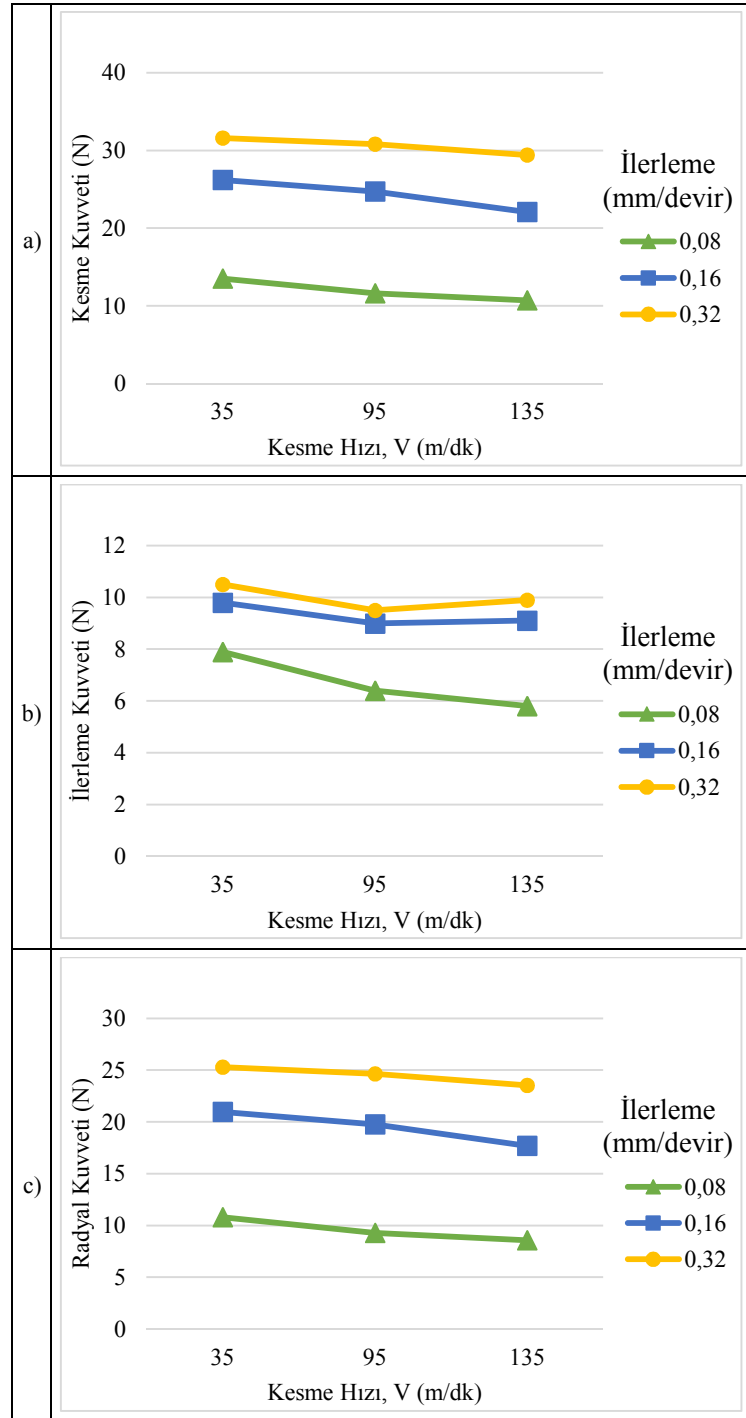
ihativa etmesinden dolayı sünekliği artırdığından dolayı kesme, ilerleme ve radyal kuvvetlerini düşüğü düşünölmektedir.

A grubuna benzer şekilde 0,08mm/devir, 0,16mm/devir ve 0,32 mm/devir ilerleme hızlarındaki kesme hızına göre kesme kuvvetinde kayda değer bir düşüş olmazken, ilerleme hızı artıkça kesme kuvveti de artmıştır.

Şekil 4.6'da B grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB Uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri gösterilmektedir.

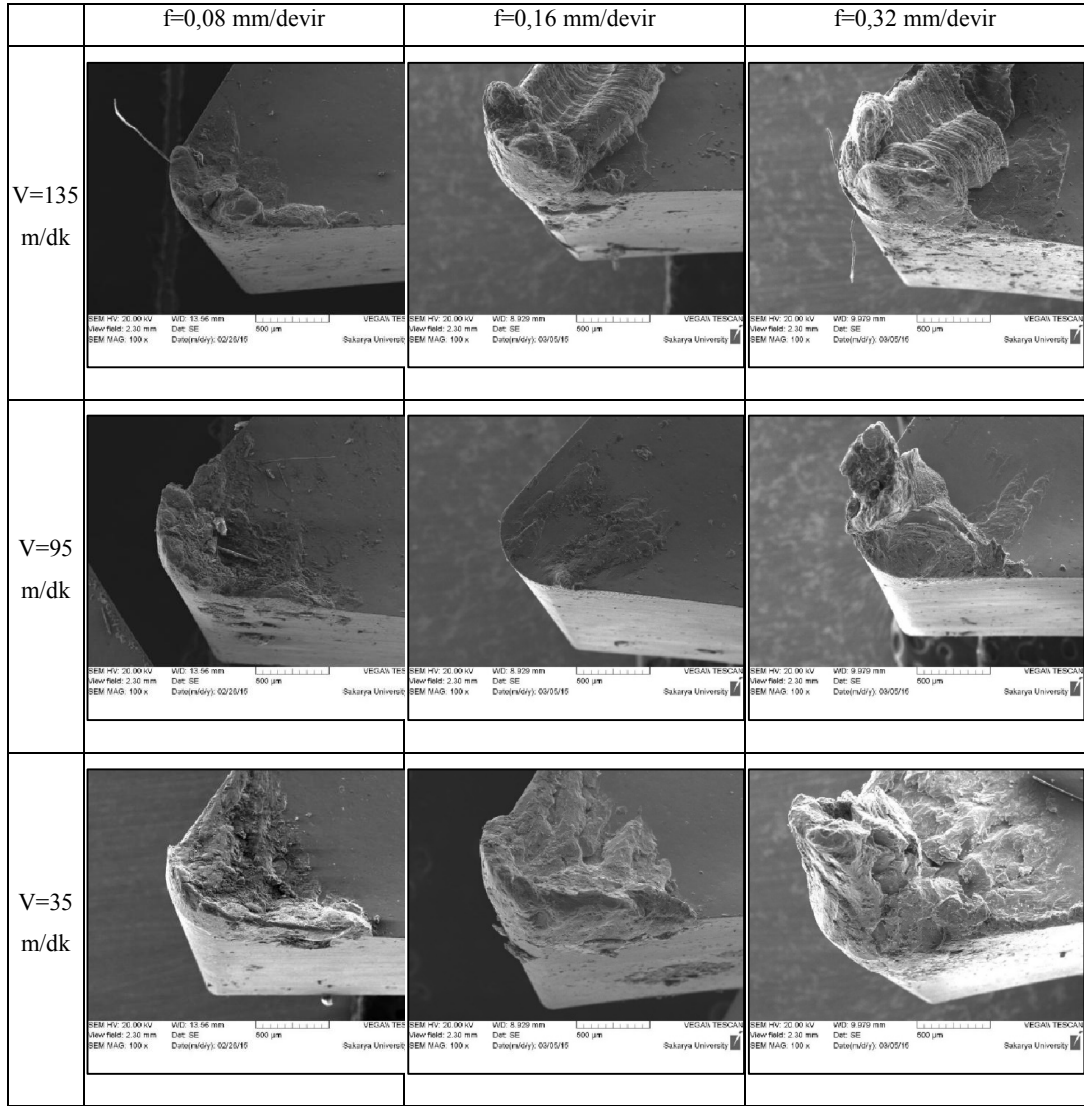
Bu gruptaki malzemelerdeki V=135m/dk. kesme hızı altında oluşan YK katmanı genel olarak A grubundakilere göre daha fazla olduğu görölmektedir. Bunun sebebinin B grubu malzemeleri ile kesici uç arasındaki sürtünme katsayısının fazla olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Şekil 4.6'da 0,08 ve 0,16 mm/devir ilerleme hızında asıl kesici kenarlarında malzemenin kesiciye yapıştığı görölmektedir. Bunun sebebi bakır elementinin alaşıma süneklik kazandırdığından dolayı olduğu düşünölmektedir. Malzemenin yapışma eğiliminin fazla olması nedeniyle, özellikle düşük kesme hızlarında yine talaş yüzeyi ve kesme kenarı hattı boyunca daha yoğun yığıntı kenar oluşumu gözlenmiştir.

Kesme hızı 95 ve 35 m/dk. iken YK katmanının alanında ve yüksekliğinde artış olduğu gözlemlenmektedir. V=95 m/dk. ve ilerleme hızı 0,16 mm/devir iken YK katmanı diğer kesme koşullarına nazaran daha az miktarda oluşmuştur.



Şekil 4.6. Etial 140 CuSn5 (AIP) grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve (c) radyal kuvveti değişimleri.

Barzani ve ark. [43] antimoni ve stronsiyum sadece sert silisyum fazını etkilediğini bildirmişlerdir. Bununla beraber işlenebilirlik parametrelerindeki değişim başlıca iş parçasındaki silisyum morfolojisinin değişmesi ile alakalı olduğu aktarılmıştır [43].



Şekil 4.7. B grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB Uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri;

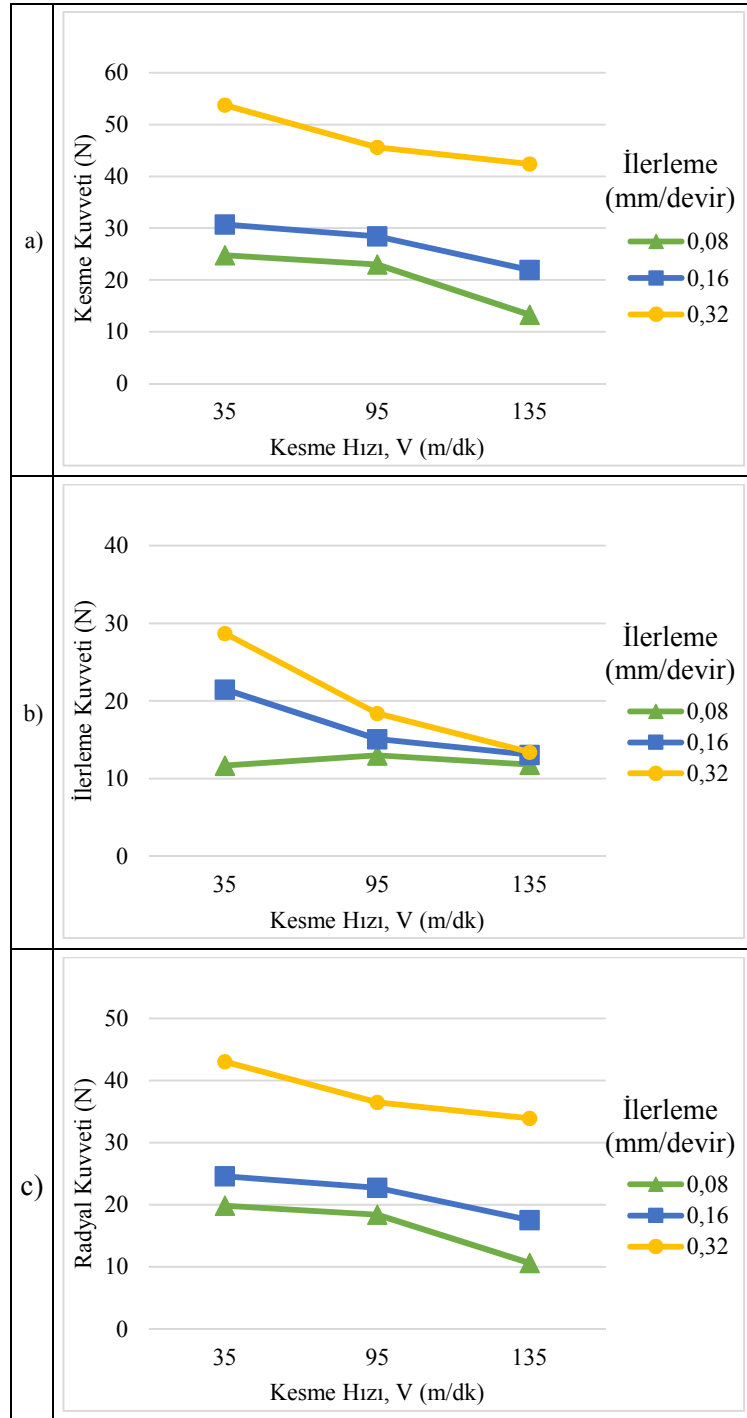
4.2.1.3 C (Etial 140 Al10Sr) kodlu deney grubu alaşımının işlenebilirliğinde kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

C kodlu deney grubu için kesme hızı ve ilerleme miktarına göre oluşan esas kesme kuvvetinin değişimi, kesme hızı ve ilerleme açısından Şekil 4.8'de sunulmuştur.

Roy ve ark. yaptıkları deneylerde metalik malzemeler içeren TiC, TiN, TiB₂, Al₂O₃ ve AlON kaplamalı WC temelli kaplama ve kaplamasız takımların, alüminyumun kuru işleme ile işlenmesi sırasında kesme takımının kesme kenarlarının yüz ve kenar bölgelerinde YK katmanı oluşturmasından dolayı başarı olmadığını rapor etmişlerdir.

YK katmanı sadece kesme hızıyla ilgili olmadığını aynı zamanda iş parçasının son yüzeyini de olumsuz etkilediğini rapor etmişlerdir. Benzer durumun Al-12Si alaşımlarında da gözlemlendiğini belirtilmiştir. Ayrıca alüminyumun işlenmesi esnasında kesici takımında kanat aşınması vardır. Ancak Al-12Si oluşan formun değiştiği belirtilmiştir. Bunun silisyum parçacıklarının kaplamada abrasif etki etmesinden dolayı olduğu belirtilmiştir [47].

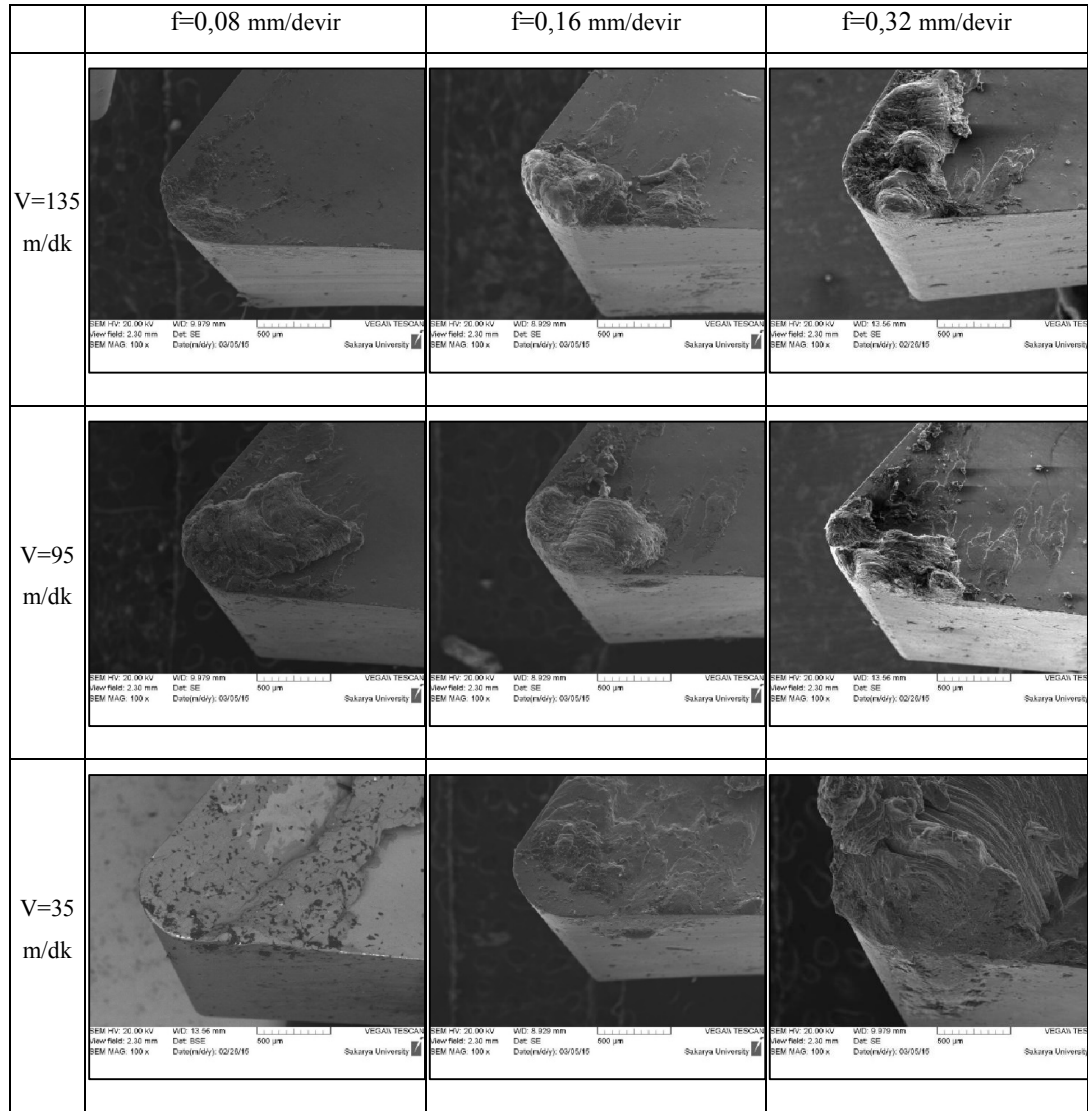
Şekil 4.8 (a), (b) ve (c) incelenerek genel bir değerlendirme yapılırsa, kesme, ilerleme kuvveti ve radyal kuvvetle A grubundaki sonuçlara benzerdir. Bununla ilgili olarak da stronsiyum elementinin kesme kuvvetlerine çok büyük bir etkisi olmadığını göstermektedir. Stronsiyum elementinin kesme kuvvetlerine etki etmekten ziyade tane inceltmede daha etkili bir element olduğu bu sonuçtan çıkarılabilir. Diğer iki grubun aksine ilerleme kuvveti 135m/dk. değerinde üç ilerleme hızı içinde yaklaşık olarak yakın değerlerde çıkmıştır.



Şekil 4.8. Etial 140 Al10Sr grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve (c) radyal kuvveti değişimleri.

Barzani ve ark. tarafından kırılğan ince tabaka halindeki silisyumlardan oluşan modifiyesiz alaşım stronsiyum mastır alaşımılı alaşımila karşılaştırıldığında farklı işleme koşullarında kesme kuvvetlerinin daha az olduğu rapor edilmiştir. Bu sonucun

fiberimsi silisyum fazına değişen silisyum fazından kaynaklanabileceği rapor edilmiştir [43].



şekil 4.9. C grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB U ile işlemesi sonucu oluşan SEM görüntüleri.

şekil 4.9'da TDB kaplamalı uç ile V=135, 95 ve 35 m/dk. kesme hızlarında TDB U ile işlemesi sonucu oluşan SEM görüntüleri gösterilmektedir.

Kesme hız 135 m/dk. ve $f=0,08$ ilerleme hızında C grubu deney malzemesinin işlenmesi sonrasında kesici takım kesme kenarında herhangi bir aşınma meydana gelmediği tespit edilmiştir. Fakat takım talaş yüzeyinde YK katmanının oluştuğu

görülmektedir. Kesme hızının arttırılmasıyla YK katmanının genişliğinin ve yüksekliğinin azaldığı görülmektedir.

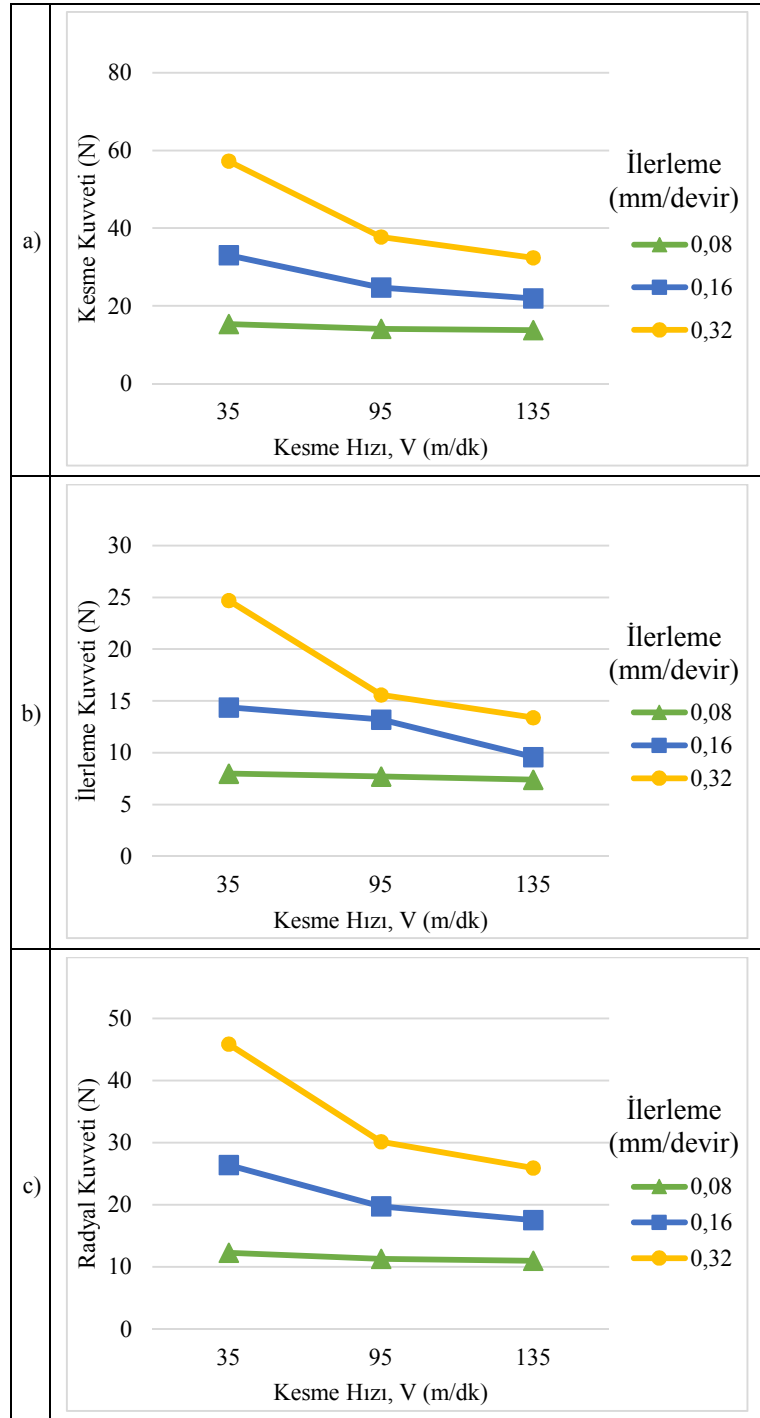
$V=35$ m/dk. kesme hızı ve $f=0,32$ ilerleme hızında YK katmanı en yüksek ve en geniş şekilde oluşmuştur. Burada düşük kesme hızının ve yüksek ilerleme hızının YK katmanına olumsuz etkisi görülmektedir.

4.2.1.4 D (Etial 140 Al10Sr) deney grubu alaşımının işlenebilirliğinde kesme kuvvetlerinin değerlendirilmesi

D kodlu deney grubu için kesme hızı ve ilerleme miktarına göre oluşan esas kesme kuvvetinin değişimi, kesme hızı ve ilerleme açısından Şekil 4.10'da sunulmuştur.

D kodlu deney grubunu kendi içerisinde incelersek, kesici için kesme hızındaki artışla beraber F_c 'nin azaldığı görülmektedir. 0,08mm/devir ve 0,16mm/devir ilerleme hızlarındaki kesme hızına göre kesme kuvvetinde kayda değer bir düşüş olmazken, 0,32 mm/devir ilerleme hızında kesme kuvveti yaklaşık 56N'den 33N'ye düşmüştür. Kesme kuvveti değerlerini tamamında 95 m/dk'da ve sonra kesme hızının düştüğü gözlemlenmiştir.

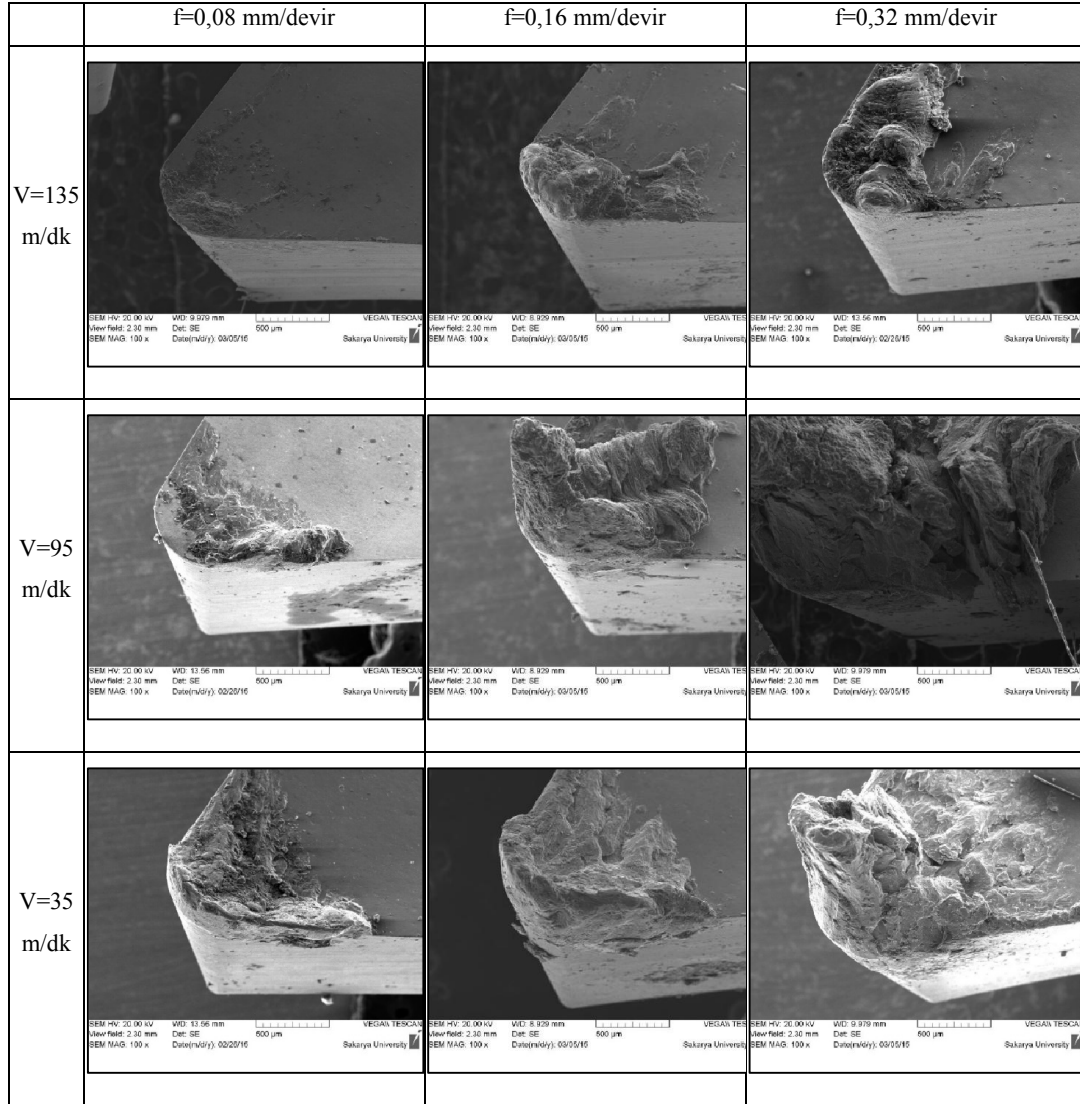
Şekil 4.10 (b) kesme hızındaki artışla beraber 0,08 mm/devir ilerleme hızında kesme hızı 135m/dk. iken ilerleme kuvveti en düşük değeri olan 6N dolaylarında olduğu gözlemlenmiştir. 0,32mm/devir için kesme hızı 35m/dk. olduğunda ilerleme kuvveti en yüksek değerini bulmuştur.



Şekil 4.10. Etial 140 CuSn5+Al10Sr grubu için kesme hızına göre kesme kuvveti (a), ilerleme kuvveti (b) ve radyal kuvveti (c) değişimleri.

Şekil 4.10 (c)'de kesme kuvvetine paralel olarak, kesici için kesme hızındaki artışla beraber F_c 'nin tersi yönde bir eğilim sergileyerek azaldığı görülmektedir. 0,08mm/devir ilerleme hızında kesme hızına göre kesme kuvvetinde kayda değer bir düşüş olmazken, 0,32 mm/devir ilerleme hızında 48N'den 28N'ye düşmüştür. Kesme

kuvveti değerlerini tamamında 95 m/dk'da ve sonra kesme hızının düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.11. D grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB Uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri.

Şekil 4.11 D grubu deney malzemelerinin V=135, 95 ve 35 m/dk'da TDB Uç ile işleme sonucu oluşan SEM görüntüleri sunulmuştur. V=35, 95 m/dk. iken ve ilerleme hızı $f=0,32$ altında talaş akışını engelleyecek tarzda bağımsız tepecik oluşturarak akan talaşla birlikte yapışma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Bu durum kesicinin adhesiv aşınma mekanizmasıyla zarar görmesine ve kesme kuvvetlerinin artmasına neden olabilir. 135 m/dk'da kesme hızının artması ile YK katmanının

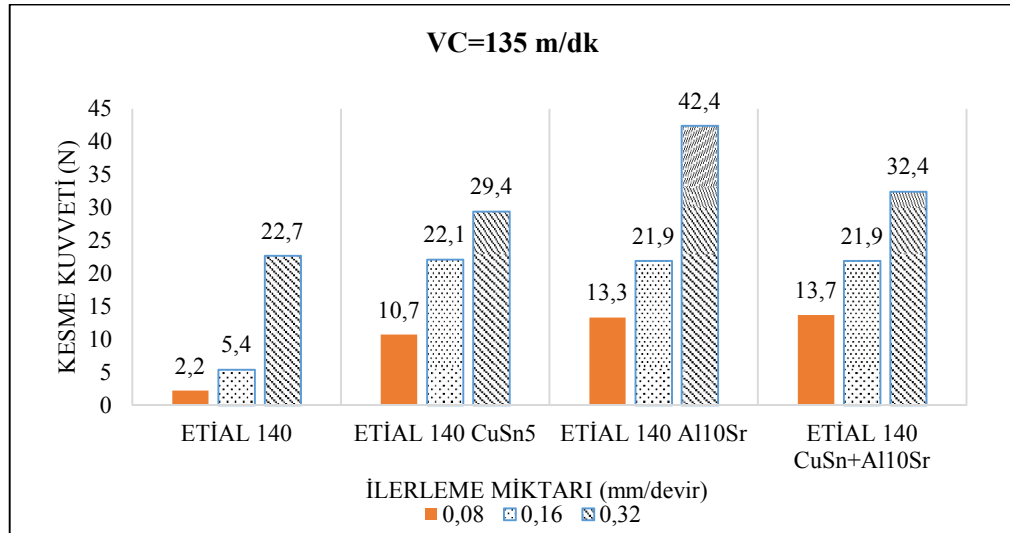
yüksekliği ve genişliğinde önemli derecede bir azalma görülmektedir. İlerleme hızı 0,16 iken YK katmanı bütün kesme hızlarında burun bölgesi ve asıl kesme kenarında meydana gelmiştir.

4.2.1.5 Kesme kuvvetlerinin mastır alaşım türüne göre değerlendirilmesi

Bu kısımda kesme kuvvetlerinin mastır alaşım türüne göre karşılaştırılmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 4.12, 5.13 ve 5.14'te VC=135, 95 ve 35 m/dk. altında mastır alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin değerleri sütun grafik olarak gösterilmektedir. 135 m/dk. altında Etial 140 en az kesme kuvveti değerlerine sahiptir. CuSn5 mastır alaşım malzeme, Al10Sr ve CuSn5+Al10Sr alaşım malzemelere göre daha düşük değerlere sahiptir. Burada bakırın kesme kuvvetlerinin azaltmada etkili olduğu söylenebilir. Kesme kuvvetinin en yüksek olduğu değer Al10Sr mastır alaşım malzemedir. Stronsiyumun modifikasyon esnasında mikro yapıda yaptığı olumlu değişim nedeniyle mekanik özelliklerdeki artıştan dolayı kesme kuvveti artmıştır. CuSn5+Al10Sr mastır alaşımı, CuSn5 alaşımına göre kesme kuvvetleri açısından daha yüksek değerlere sahip olduğu şekil 4.12'de görülebilir.

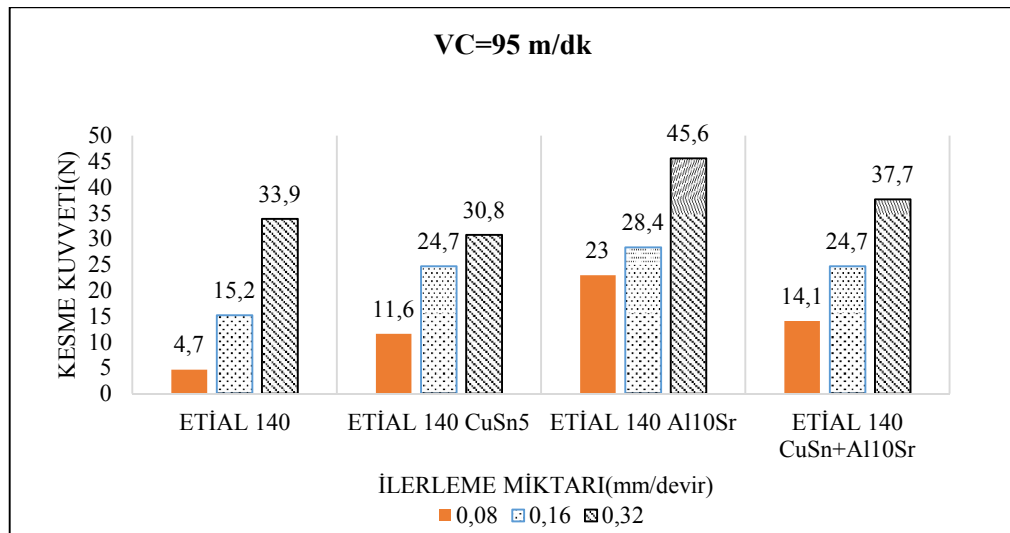
Şekil 4.13'de 95 m/dk. altında mastır alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin değerleri sütun grafik olarak gösterilmektedir. Kesme hızı 135 m/dk. altındaki değer aksine Etial 140 alaşımı, CuSn5 mastır alaşım malzemeye göre daha yüksek kesme değerlerine sahiptir. Bunun sebebi bakır elementinin işlenebilirlik üzerindeki kesme kuvvetleri azaltıcı etkisinden dolayıdır. Genel olarak kesme kuvvetlerinde kesme hızının 95 m/dk'ya düşmesinden dolayı artış görülmektedir. 135 m/dk. değerindeki sonuçlara benzer şekilde Al10Sr mastır alaşım malzeme en yüksek kesme kuvveti değerlerine sahiptir. CuSn5 ve Al10Sr+CuSn5 mastır alaşım malzemeler 0,16 ilerleme değeri altında eşit değere sahip iken Al10Sr+CuSn5 mastır alaşım malzeme

0,08 ve 0,32 ilerleme miktarları altında CuSn5 mastır alaşımlı malzemeden daha yüksek değerlere sahiptir.



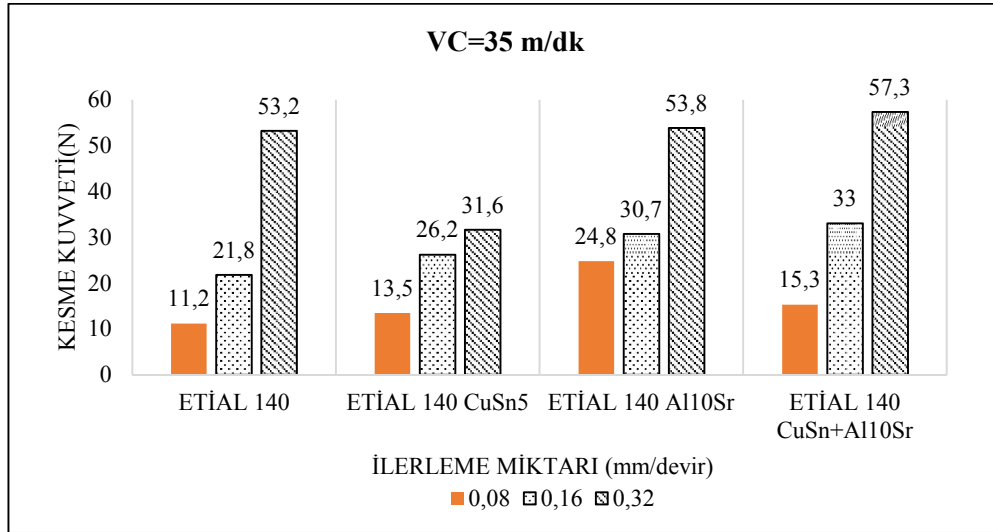
Şekil 4.12. VC=135 m/dk. altında mastır alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin gösterimi.

Burada yine stronsiyumun modifikasyondaki etkisinden dolayı mekanik özelliklerdeki iyileşmeden kaynaklı olabileceği söylenebilir. Ek olarak kesme hızındaki düşüşten dolayı meydana gelen YK katmanlarının oluşması da kesme kuvvetlerinin artmasında etkindir.



Şekil 4.13. VC=95 m/dk. altında mastır alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin gösterimi.

Şekil 4.14’de 35 m/dk. altında mastır alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin değerleri sütun grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.14. VC=35 m/dk. altında mastır alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin gösterimi.

Şekil 4.14’de 35 m/dk. altında mastır alaşım türüne göre kesme kuvvetlerinin değerleri sütun grafik olarak gösterilmektedir. Genel olarak 0,32 ilerleme hızları altındaki kesme kuvvetlerindeki bariz artış kesme hızının düşük olmasından dolayı oluşan YK katmanlarından dolayıdır. 35 m/dk. kesme hızı altında da bakır elementinin kesme kuvvetlerini düşürmede olumlu etkisi burada da görülmektedir. Fakat bakır elementi aynı zamanda malzemeyi sünekleştirmesinden dolayı kesici takıma yapışarak (şekil 5.10) yüzey pürüzlüğü kötü etkileyeceğinden ve bu süneklığın YK oluşumuna neden olmasından dolayı işlenebilirleğe kötü etkisi de bulunmaktadır.

4.2.2. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi

Malzemelerin işlenebilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli kriterlerden birisi de işlenen yüzeylerden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleridir [29]. Bu amaçla, işleme deneyleri sonrasında numunelerde elde edilen yüzeylerin her biri üzerinden üç adet pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. TBN kesici takım ile gerçekleştirilen kesme deneyleri sonrasında elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük (R_a) değerleri tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Yüzey pürüzlülük değerleri.

Malzeme	Vc (m/dk.)	f (mm/devir)	R _a µm				
			P1	P2	P3	P(ort)	
Etial 140	135	0,08	0,8	0,72	1,06	0,860	
		0,16	1,7	1,8	1,76	1,753	
		0,32	2,7	3,45	3,33	3,160	
	95	0,08	0,613	0,7	0,82	0,711	
		0,16	1,6	1,5	1,59	1,563	
		0,32	3,96	3,69	4,02	3,890	
		0,08	1,58	1,26	1,63	1,490	
		0,16	1,87	1,8	1,88	1,850	
		0,32	4,13	2,97	3,56	3,553	
	Etial 140 CuSn5	135	0,08	3,52	3,58	3,48	3,527
			0,16	3,68	2,47	3,53	3,227
			0,32	3,9	5,49	3,62	4,337
95		0,08	4	3,24	2,86	3,367	
		0,16	3,9	3,58	2,66	3,380	
		0,32	4,34	3,78	4,02	4,047	
		0,08	4,41	3,94	4,39	4,247	
		0,16	2,67	5,49	5,22	4,460	
		0,32	4,5	3,51	4,84	4,283	
Etial 140 Al10Sr		135	0,08	0,8	0,744	0,85	0,798
			0,16	1,68	1,72	1,73	1,710
			0,32	3,21	3,31	4,42	3,647
	95	0,08	0,97	1,05	0,86	0,960	
		0,16	2,05	1,75	1,71	1,837	
		0,32	3,93	4,03	3,6	3,853	
		0,08	2,03	3,044	2,06	2,378	
		0,16	1,996	2,83	1,97	2,265	
		0,32	3,67	2,65	2,6	2,973	
	Etial 140 Al10Sr+CuSn5	135	0,08	3,1	3,26	3,19	3,183
			0,16	2,84	2,61	3,01	2,820
			0,32	3,73	3,593	3,18	2,820
95		0,08	2,6	2,906	2,723	2,743	
		0,16	2,95	3,54	2,33	2,940	
		0,32	4,511	3,903	3,21	3,875	

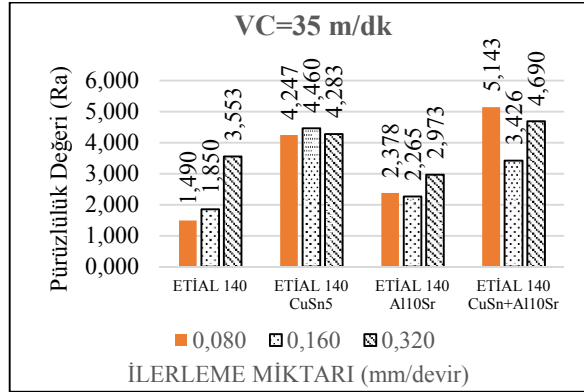
Tablo 4.2. (devamı)

	0,08	5,52	4,83	5,08	5,143
35	0,16	3,555	3,696	3,027	3,426
	0,32	3,87	5,37	4,83	4,690

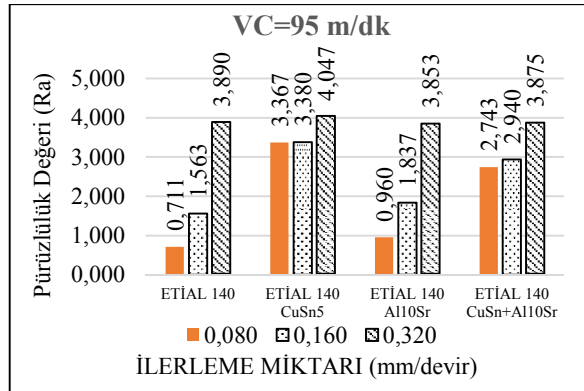
Üretilen dört farklı yapıdaki numune üzerinde gerçekleştirilen tornalama işlemi sonucunda meydana gelen ortalama yüzey pürüzlülüklerinin malzemelerin ve kesme parametreleri açısından daha detaylı değerlendirilmesi amacıyla Tablo 4,2'deki Ra değerlerinden yararlanılarak Şekil 4.15'deki grafikler oluşturulmuştur. Numunelerin işlenmesinde oluşan ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) için genel bir değerlendirme yapılacak olursa; bütün deney malzemelerinde kesme hızındaki artışla beraber Ra' nın azaldığı görülmektedir. Yine ilerleme miktarının 0,08 mm/devir'den 0,32 mm/devir'e doğru artmasıyla birlikte yüzey pürüzlülük değerlerinde bir artış meydana gelmiştir. Ancak kesme esnasında oluşan yığıntı kenarların kesici takıma yapışarak kesici gibi davranması sonucu 0,32 mm/devir ilerleme hızı altında, kesme hızı artsa da Al10Sr ve CuSn5 mastır alaşımli malzemeler için pürüzlük değeri azalmamıştır(Şekil 4.15 (f)).

Lin ve ark. yüzey pürüzlülüğünün beklendiği şekilde ilerleme hızını artmasıyla beraber azaldığını fakat en düşük ilerleme seviyesinde farklı bir durumun olduğunu rapor etmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün işlenen parçalarda sabit kesme hızı ve yüksek ilerleme hızlarında arttığını belirtmiştir[46]. Genel olarak en iyi yüzey pürüzlülük değerleri modifiyesiz Etial 140 deney malzemesi ve Al10Sr mastır alaşımli deney malzemesinde elde edilmiştir. En kötü pürüzlülük değerine sahip olan deney malzemesi ise CuSn5 mastır alaşımli modifikasyondadır. Bunun sebebi bakır-kalay mastır alaşımının malzemeyi daha da sünekleştirerek yığıntı kenar (YK) ve yığıntı kenar (YK) katmanı oluşumunu arttırmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi en iyi şekilde 0,32 mm/devir ilerleme hızı altında CuSn5+Al10Sr mastır alaşımli malzeme pürüzlük sonuçlarında görülebilmektedir(şekil 4.15 (f)). Beklenildiği ilerleme hızı sabitken kesme hızı artmasıyla yüzey pürüzlülüğü de 4,69 Ra değerinden 2,82 Ra'ya düşmüştür. Genel durumun aksi olarak 0,32 mm/devir sabit tutulduğunda kesme hızı 35 m/dk. değerinden 95 m/dk. değerine geldiğinde yüzey pürüzlülüğü azalması beklenirken artmıştır. Bunun sebebi malzemenin kesici takım

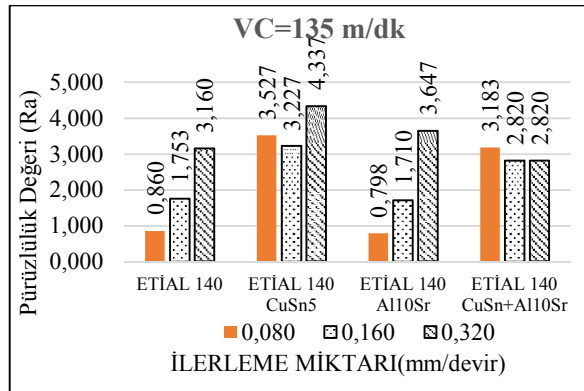
asıl kesme kenarı boyunca YK oluşturarak kesici gibi davranmasından ileri geldiği düşünülmektedir.



(a)

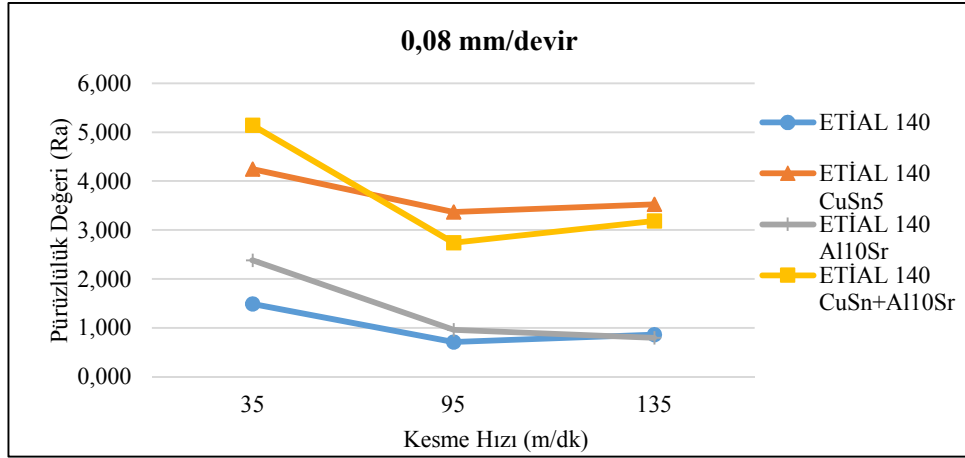


(b)

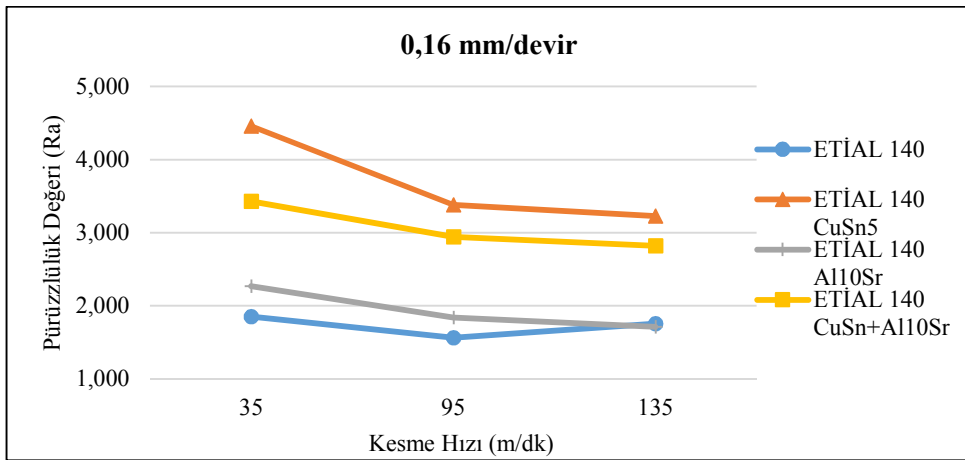


(c)

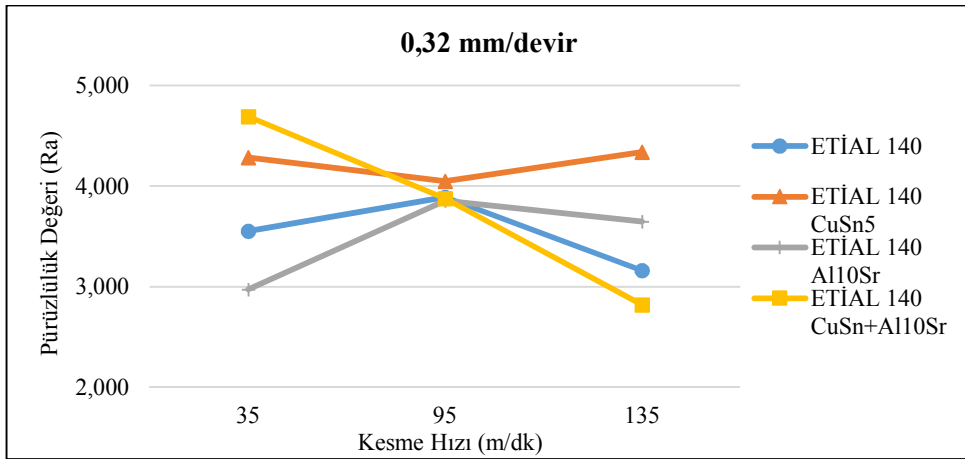
Şekil 4.15. Deney malzemelerinin işlenmesi esnasında ölçülen pürüzlülük değeri grafikleri. (a) V=35 m/dk. kesme hızı altında pürüzlülük değerlerinin ilerleme miktarına göre çubuk grafik olarak gösterimi; (b) V=95 m/dk.; (c) V=135 m/dk.; (d) f=0,08 mm/devir altında kesme hızına göre pürüzlülük değerleri; (e) f=0,16 mm/devir; (f) f=0,32 mm/devir.



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.15. (devamı)

4.2.3. Talaş şekil incelemeleri

Tablo 4.16’da malzeme türü, kesme hızı ve ilerleme hızına göre talaş şekillerinin resimleri gösterilmektedir.

Etial 140 deney malzemesinden elde edilen talaş resimleri değerlendirilecek olursa, genel olarak talaş tipi sürekli ve lamelli olmak üzere kesme hızı ve ilerleme hızına göre değişiklik göstermektedir.

Sürekli talaş oluşumunda talaş eğim yüzeyi üzerinde sabit bir hızla kayarak durağan bir akışla akar. Sürekli talaş oluşumu değişmeyen iyi taneli yapı ve yüksek iyi süneklığe sahip malzemelerde yüksek kesme hızlarında ve eğim yüzeyi üzerindeki düşük sürtünme ile pozitif eğim açıları ve bozulmamış talaş kalınlığı vasıtasıyla oluşur. Takımdaki keskin kesici kenar ve düşük kesici-takım sürtünmesi bu talaş oluşumunu olumlu kılar [25,31]. Bu bağlamda, 35, 95 ve 135 m/dk. kesme hızı altında 0,08 ve 0,16 mm/devir ilerleme hızları için sürekli talaş oluşumunu takım-talaş sürtünme direncinin az olması ve talaş akışının sürekli devam edebilmesinden dolayıdır. Üç kesme hızı içinde 0,32 mm/devir ilerleme hızında lamelli talaş oluşumu gözlenmiştir. Lamelli talaşlar yüksekçe sünek malzemelerde, yüksek kuvvetler ve özellikle yüksek kesme ve ilerleme hızlarında meydana gelir [28]. İlerleme hızının yüksek olması bu talaş tipinin oluşumunu mümkün kılmıştır.

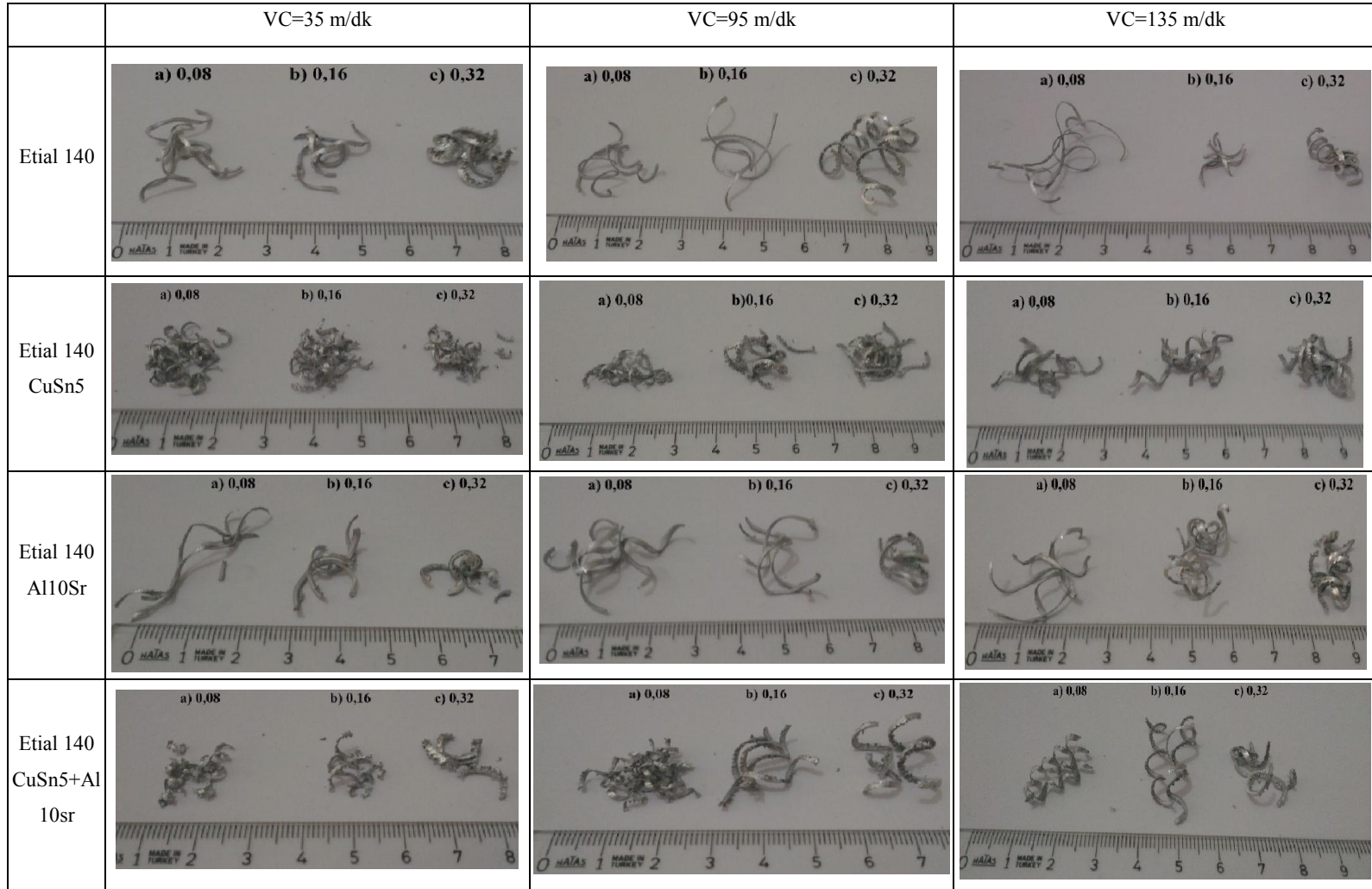
Etial 140 CuSn5 deney malzemesinden elde edilen talaş resimleri değerlendirilecek olursa, genel olarak talaş tipleri sürekli, lamelli ve süreksiz talaş tipi olarak oluştuğu gözlemlenmiştir. Sadece 135 m/dk. kesme hızında 0,08 ve 0,16 mm/devir ilerleme hızı altında sürekli talaş oluşmuştur. Bunun sebebinin kesme hızının yüksek olup ilerleme hızının düşük olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir. Kırık (süreksiz) talaş oluşumu, iş malzemenin plastik süneklığı çok düşük olursa veya ön tanımlanmış kayma yolları yüksek homojensizlik nedeniyle oluşmuşsa meydana gelir. İş parçasının parçaları önemli deformasyon olmaksızın malzemedan ayrılır. Yüksek takım-talaş sürtünmesi ve yüksek ilerleme hızları ve kesme derinliği bu tip talaşı tetikler [25,31]. 35 m/dk. kesme hızında 0,16 ve 0,32 mm/devir ilerleme hızlarında süreksiz talaş

oluşumu gözlemlenmiştir ve yüksek ilerleme hızının buna sebep olduğu düşünülmektedir.

Etial 140 Al10Sr deney malzemesinden elde edilen talaş resimleri değerlendirilecek olursa, genel olarak 0,32 mm/devir ilerleme hızı haricindeki talaş tipleri sürekli dir. Bu malzeme grubu için takım-talaş sürtünme miktarının düşük olduğu söylenebilir. 0,32 mm/devir ilerleme hızında bütün kesme hızları için talaş oluşumları lamelli talaş şeklindedir. Bunun ilerleme hızının yüksekliğinden ileri geldiği düşünülmektedir. Kılıçkap ve ark. kesme hızının yüzey pürüzlülüğünü büyük oranda etkilediğini rapor etmiş tirler. Yüksek kesme hızlarının daha iyi son yüzeyler oluşturduğu rapor edilmiştir [50].

Etial 140 CuSn5+Al10Sr deney malzemesinden elde edilen talaş resimleri değerlendirilecek olursa, genel olarak sürekli, lamelli ve süreksiz talaş oluşumları gözlenmiştir. 35 m/dk. kesme hızında 0,08 mm/devir ilerleme süreksiz talaş oluşmuştur. 135 m/dk. kesme hızında 0,08 ve 0,16 mm/devir ilerleme hızında sürekli talaş oluşumu gözlenmiştir. Bunlar dışındaki kesme parametreleri için lamelli talaş oluşumu gözlemlenmiştir. Kishore ve ark. gerçekleştirdikleri işlenebilirlik deneylerinde kesme kuvvetlerinin kesme hızının artmasıyla beraber azaldığını rapor etmiş tirler. Yüzey pürüzlülüğünün de kesme hızının artmasıyla beraber azaldığı rapor edilmiştir. Artan kesme hızı ile kanat aşınmasının arttığını ve bunun yüksek kesme hızlarında artan sıcaklığa atfederek kesme takımını zayıflattığı rapor edilmiştir. Kesme kuvvetleri, artan ilerleme hızları ve kesme derinlikleri ile artar. Yüzey pürüzlülüğü değeri ilerleme hızı ve kesme derinliğinin artmasıyla arttığı rapor edilmiştir [49].

Genel olarak deney malzeme grupları birbirleri aralarında değerlendirilirse en iyi talaş oluşumuna sahip olan grubun Al10Sr grubu olduğu söylenebilir. Bu bağlamda bu grup için takım-talaş aşınma direncinin düşük ve talaş akışının iyi olduğu söylenebilir. En kötü talaş oluşumuna sahip olan grup ise CuSn5 deney malzeme grubunun olduğu söylenebilir.



Şekil 4.16. Malzeme türü, kesme hızı ve ilerleme hızına göre talaş şekillerinin resimleri.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Al-12Si alaşımlarında Al10Sr, CuSn5 ve Al10Sr+CuSn5 mastır alaşımları ile işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiş modifikasyonlu olan malzemelerin mikroyapı, bazı mekanik özellikleri ve işlenebilirliklerinin incelendiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ve ileride yapılabilecek çalışmalar için bazı öneriler aşağıda özetlenmiştir:

- Mikroyapı incelemeleri sonucunda modifiyesiz alüminyum alaşımı olan Etial 140 alaşımının Si fazlarının lamelli, uzun ve kaba olduğu, CuSn5 mastır alaşımında ise bunların kırıldığı ve lamelli yapının incelendiği tespit edilmiştir. Al10Sr ve CuSn5 mastır alaşımları birlikte kullanıldığında Si fazlarının lamelli kaba yapıdan fiberimsi yapıya dönüştürerek mikroyapının modifiye olduğu tespit edilmiştir. Al10Sr mastır alaşımında stronsiyumun inceltici özelliğiyle beraber, bu dört alaşım arasında en ince halini alarak mükemmel saflıkta çok iyi yapıya(şekil 2.2 j-k) yaklaştığı tespit edilmiştir. Bunun sonucunda mikroyapıdaki sebep olduğu iyi değişime göre Al10Sr, Al10Sr+CuSn5, CuSn5 çok iyi yapıdan kaba yapıya doğru etki ettiği tespit edilmiştir.
- En yüksek yoğunluğa sahip olan CuSn5 (2,656 gr/cm³) mastır alaşımının, ikinci en iyinin Al10Sr + CuSn5 (2,643 gr/cm³) mastır alaşımlarının birlikte kullanılmasıyla, üçüncü en iyinin ise Al10Sr (2,623 gr/cm³) mastır alaşımı ile elde edildiği tespit edilmiştir. Modifiyesiz Etial 140 alaşımının yoğunluğu 2,612 gr/cm³ tespit edilmiş olup modifikasyon işleminin yoğunluğun artmasında olumlu etki ettiği tespit edilmiştir.

- Mastır alaşımların kullanıldığı alaşımlar arasında en yüksek sertliğe sahip olanın 99,2 HB sertlik değeri ile Al10Sr + CuSn5 mastır alaşımının olduğu tespit edilmiştir. İkinci olarak 90,4 HB sertlik değeri ile CuSn5 mastır alaşımı ve üçüncü olarak 86,2 HB değeri ile Al10Sr alaşımının olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçla modifikasyon işleminin sertlik üzerinde olumlu etkisi olduğu tespit edilmiştir. Al10Sr mastır alaşımının CuSn5 mastır alaşımına göre sertlikten ziyade mikroyapı üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Al10Sr mastır alaşımının mikroyapıda inceltici etki görerek mikroyapıyı değiştirdiği görülmüştür. CuSn5 mastır alaşımı ise inceltici etki yerine malzemenin sertliğinde kayda değer bir artış olduğu gözlemlenmiştir ve modifikasyon etkililiğini azalttığı tespit edilmiştir.
- Numunelerin işlenmesi sırasında ölçülen kesme kuvvetlerinde, genel olarak kesme hızının 35 m/dk'dan 135m/dk'ya artmasıyla kesme ve ilerleme kuvvetlerinde azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Al10Sr mastır alaşımlı malzemede 0,08 mm/devirde kesme hızının artmasıyla beraber kesme ve ilerleme kuvvetlerinde artma meydana geldiği tespit edilmiştir.
- En yüksek kesme kuvvetlerinin Al10Sr mastır alaşımında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bunun sebebinin mikroyapı olarak en iyi yapıya sahip olmasından dolayı olduğu düşünülmektedir.
- Malzemelerin işlenmesi esnasında tüm kesme hızlarında kesici takımın YK katmanı meydana geldiği tespit edilmiş olup kesme hızının artmasıyla beraber YK katmanı miktarında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.
- Numunelerin işlenmesi sırasında ölçülen kesme kuvveti bileşenlerinin büyükten küçüğe doğru sıralaması Fc, Ff şeklinde olduğu görülmüştür. Bütün numunelerin işlenmesinde ilerleme miktarının artmasıyla beraber Fc, Ff ve Fr kuvvetlerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

- Bütün kesici takım malzemelerinde kesme hızındaki artışla beraber Ra azalırken, ilerleme miktarının artmasıyla birlikte Ra değerleri de artmıştır.
- En kötü yüzey pürüzlülüğü, 135 m/dk'da ve 0,08 mm/devir altında CuSn5+Al10Sr mastır alaşımlı malzemede meydana geldiği tespit edilmiştir. Mastır alaşımlar arasında pürüzlülük açısından en iyi sonucu Al10Sr mastır alaşımı ile elde edilmiştir.
- İşlenebilirlik açısından mastır alaşımlı alaşımların CuSn5, CuSn5+Al10Sr, Al10Sr sırasıyla kötüden iyiye doğru işlenebilirliğe sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Talaş oluşumu genel olarak ilerleme miktarının artmasıyla beraber sürekli talaş oluşumundan lamelli talaş oluşumuna geçiş yaptığı tespit edilmiştir.

Elde edilen bu sonuçlara göre, bundan sonra yapılacak çalışmalar için şu öneriler yapılabilir:

- Modifikasyon işleminde soğutma oranına bağlı olarak farklı soğutma sürelerinde modifiye edilmiş malzemelerin işlenebilirliği değerlendirilebilir.
- Farklı kesici takımlarla birden fazla kesici takımın mastır alaşımlı alaşımların işlenebilirliği incelenebilir.
- Talaş kökü incelemeleri yapılarak alaşımlar ve takım arasındaki deformasyon bölgelerindeki ve kayma düzlemlerindeki değişimler ile takım-talaş temas uzunlukları incelenebilir.
- İşlenen malzemelerin yüzey bütünlüğünü değerlendirebilmek için işlenmiş yüzeylerin mikrosertlik ölçümleri yapılarak yüzeylerde oluşan hatalar daha detaylı araştırılabilir.
- Numunelerde delme, vida açma gibi bitirme işlemleri uygulanarak farklı işlenebilirlik özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Uludağ, M., Çetin R., Gemi, L., Aydoğuş, O., Çam, K., Dışpınar, D. Al-7Si-0,3Mg alaşımında soğuma hızının poroziteye etkisi”, ISITES2014, 2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 1515-1523, 2014.
- [2] Yapıcı, C. AlTi5B1 Master alaşımının alüminyum basınçlı döküm yönteminde tane inceltirilerek kullanımının incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- [3] Dahle, A. K., Nogita, K., McDonald, S. D., Dinnis, C., Lu, L. Eutectic modification and microstructure development in Al–Si alloys. *Materials Science and Engineering A.*, 413–414: 243–248, 2005.
- [4] <http://www.ptcmetalurji.com.tr/urun/1/7/master-alasimlar.html>, Erişim Tarihi, 05 Eylül 2015.
- [5] Ezugwu, E.O. Key improvements in the machining of difficult-to-cut aerospace superalloys, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 45: 1353-1367, 2005.
- [6] Vargel, C., Jacques, M., Schmidt, M.P. *Corrosion of Aluminium*. Elsevier Press, Part A:3-15, 2004.
- [7] Kasman, Ş., Gençalp, S., Saklakoğlu, N., Uçar, N. Döküm yönteminin etial 160 alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, Türkiye 13-15 Mayıs 2009.
- [8] Uludağ, M. Farklı şartlarda dökülmüş modifiyeli Al-12Si alaşımalarında yapı ve özellikler. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [9] Demir, E. Alüminyum alaşımlarda ısıl işlem etkilerinin incelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

- [10] Totten, G. E., MacKenzie, D. S. Handbook of Aluminum Volume 1 Physical Metallurgy and Processes. Marcel Dekker Inc, 1063-1103, 2003.
- [11] <http://www.aluminum.org/product-markets>, Erişim Tarihi, 05 Eylül 2015.
- [12] Gruzleski, J. E. and Closset, B. M. The treatment of liquid aluminum silicon alloys. The American Foundrymen's Society, Inc., USA, 1990.
- [13] Warzumeck, M. Aluminum-silicon casting alloys atlas of microfractographs, ASM International, USA, 2004.
- [14] Kocatepe, K. Al-Si12 alaşımının metalik sodyum ile modifikasyonu, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji Eğitimi Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 1988.
- [15] Kaufmann, J. G., Rooy, E. L. Aluminum Alloy Castings, Properties, Processes, and Applications, ASM International, American Foundry Society, USA. 1-54, 2005.
- [16] Faraji, M., Katgerman, L. Microstructural analysis of modification and grain refinement in a hypoeutectic Al-Si alloy. International Journal Of Cast Metals Research., 22:108-110, 2009.
- [17] Zhongwei, C., Ruijie, Z. Effect of strontium on primary dendrite and eutectic temperature of A357 aluminum alloy. Research and Development., China Foundry, 7(2):149-152, 2010.
- [18] Lu, L., Nogita, K., Dahle., A.K. Combining Sr and Na additions in hypoeutectic Al-Si foundry alloys, Materials Science and Engineering., 244-253, 2005.
- [19] Farahany, S., Ourdjini, A., Idrisi, M. H., Shabestari, S.G. Evaluation of the effect of Bi, Sb, Sr, and cooling condition on eutectic phases in an Al-Si-Cu alloy (ADC12) by in-situ thermal analysis. Thermochemica Acta., 559:59-68, 2013.
- [20] Centre Technique Des Industries De La Fonderie. Metallographic Atlas of Cast Aluminium Alloys, Centre Technique Des Industries De La Fonderie, France, 1989.
- [21] Büyükuncu, M. G. Ötektik altı al-si döküm alaşımlarında bileşimin optimizasyonu ile döküm kabiliyeti ve mekanik özelliklerin iyileştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2010.
- [22] Morehead, M.D. Machinability and Microstructure Stability during the Machining of Pure Copper and Titanium Processed By Equal Channel Angular Pressing. MSc, Thesis, Clemson University, Clemson, 10-140, 2007.

- [23] Shaw, M.C. Metal cutting principles, Oxford University Press, Oxford, 1-9, 1989.
- [24] Davim, J.P., Baptista, A.M. Relationship between cutting force and PCD cutting tool wear in machining silicon carbide reinforced aluminium. Journal of Materials Processing Technology, 103: 417-423, 2000.
- [25] Groover, M.P. Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems”, Prentice-Hall Inc., New Jersey, USA, 251-639 1996.
- [26] Sundaram, S., Senthilkumar, P., Kumaravel, A., Manoharan, N. Study of Flank Wear in Single Point Cutting Tool Using Acoustic Emission Sensor Techniques, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 4: 32-36, 2008.
- [27] A Lee, T.H. An Experimental and theoretical investigation for the machining of hardened alloy steels”, PhD. Thesis, The University of New South Wales, Sydney, Australia, 10-120, 2007.
- [28] Kopaci, J., Bahor, M. Interaction of the technological history of a workpiece material and the machining parameters on the desired quality of the surface roughness of a product. Journal of Materials Processing Technology, 92-92: 381-387, 1999.
- [29] Trent, E.M. Metal cutting, Butterworths Press, London, 1-171, 1989.
- [30] Çakır, C. Modern talaşlı imalatın esasları. Nobel yayınları 2. Basım, 55-200, 2006.
- [31] Toenshoff, H.K., Denkena, B. Basics of cutting and abrasive processes. Springer Inc., 21-36, 2013.
- [32] Zhang, J.H. Theory and technique of precision cutting. Pergamon Press, Oxford, 1-50, 1991.
- [33] DeGarmo, E.P., Black, J.T., Kohser, R.A. Materials and processes in Manufacturing. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 214-652, 1997.
- [34] E Jacobs, A.J., Kilduff, T.F. Engineering Materials Technology: Structure, Processing, Properties and Selection, 5. Edition, Prentice-Hall Inc., USA, 357-749, 2005.
- [35] Schneider, G. Cutting tool applications. ASM International, 10-140, 2002.
- [36] Kennametal. Lathe Catalog 1010. Kennametal Hertel, UK, 10-250, 2014.

- [37] Özçatalbaş, Y., Ercan, F. The effects of heat treatment on the machinability of mild steels. *Journal of Materials Processing Technology*, 6784: 1-12, 2003.
- [38] Sandvik Coromat. Turning catalog. Sandvik Coromant, Sweden 242-258, 2014.
- [39] Zhang, H. Plastic deformation and chip formation mechanics during machining of copper, aluminium and an aluminium matrix composite. PhD. Thesis, University of Windsor, Canada, 5-106, 2000.
- [40] M Griffin, R.D., Li, H.J., Eleftheriou, E., Bates, C.E. Machinability of Gray Cast Iron, American Foundry Society Report, Alabama, 1-20, 2008.
- [41] Tasha, M., Samuel, F.H., Mucciardi, F., Doty, H.W., Valtierra, S. Effect of metallurgical parameters on the machinability of heat treated 356 and 319 aluminum alloys. *Materials Science and Engineering A*, 434: 207-217, 2006.
- [42] Grum, J., Kisin, M. Influence of microstructure on surface integrity in turning par II the influence of a microstructure of the workpiece material on cutting forces. *International journal of machine tools & manufacture* 43:1545–1551, 2003.
- [43] Barzani, M., Farahany, S., Yusof, N.M., Ourdjini, A. The influence of bismuth, antimony, and strontium on microstructure, thermal, and machinability of aluminum-silicon alloy. *Materials and Manufacturing Processes*, 28:1184–1190, 2013.
- [44] Basavakumar, K.G., Mukunda, P.G., Chakraborty, M. Influence of melt treatments and turning inserts on cutting force and surface integrity in turning of Al–12Si and Al–12Si–3Cu cast alloys. *Surface & Coatings Technology* 201:4757–4766, 2007.
- [45] Barzani, M., Farahany, S., Yusof, N.M., Ourdjini, A. Effect of machining parameters on cutting force when turning untreated. *Applied Mechanics and Materials*, 234:74-77, 2012.
- [46] Lin, J.T., Bhattacharyya, D., Lane, C. Machinability of a silicon carbide reinforced aluminium metal matrix composite. Elsevier Science S.A, *Wear* 181-183:883-888, 1995.
- [47] Roy, P., Sarangi, S.K., Ghosh, A., Chattopadhyay, A.K. Machinability study of pure aluminium and Al–12% Si alloys against uncoated and coated carbide inserts. *Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, 27:535–544, 2009.
- [48] Barzania, M.M., Sarhan, A.D., Farahany, S., Ramesh, S., Maher, I. Investigating the machinability of al–si–cu cast alloy containing bismuth and antimony using coated carbide insert. *Measurement* 62:170–178, 2015.

- [49] Kishore, D.S.C., Rao, K.P., Mahamani, A. Investigation of cutting force surface roughness and flank wear in turning of in-situ al6061 TiC metal matrix composite. *Procedia Materials Science*, 6:1040–1050, 2014.
- [50] Kılıçkap, E., Çakır, O., Aksoy, A., Inan, A. Study of tool wear and surface roughness in machining of homogenised SiC-p reinforced aluminium metal matrix composite. *Journal of Materials Processing Technology*, 162-165: 862-867, 2005.
- [51] ISO 3685. Tool-life testing with single-point turning tools. 1-12, 1993.
- [52] SECO. Turning Catalogue and Technical Guide. 51-653, 2014.
- [53] ISO 4288. Geometrical product specifications (GPS)-surface texture: profile method-rules and procedures for the assessment of surface texture. 1-8, 1996.
- [54] Uludağ, M., Yavaş, Z., Öztürk, Ü., Ülvan, N.S., Dışpınar, D. LM28 Alaşımında tane inceltme ve sr modifikasyonun si morfolojisine etkisi. 2.Uluslararası Mühendislik Ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, KARABÜK, TÜRKİYE, 17-19 Haziran, 1603-1610, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Keser, 21.07.1987'de Adapazarında doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarında tamamladı. Gazi Üniversitesi Kalıpcılık Öğretmenliği Bölümü'nü 2011 yılında tamamladı. 2012 yılında kısa dönem olarak askerlik görevini yerine getirdi. 2014 yılında yüksek lisans eğitimine Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde başladı. Halen Sakarya Üniversitesi İmalat Mühendisliği Bölümü'nde eğitimine devam etmektedir.