

**AA6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN  
İŞLENEBİLİRLİĞE VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**Mahmut TUFAN**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Nisan 2011**

Mahmut TUFAN tarafından hazırlanan "AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN  
Tez Danışmanı, Makine Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/ 04/ 2011

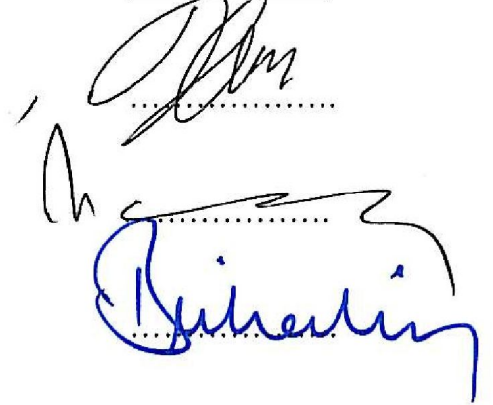
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç.Dr.Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)

Üye : Yrd.Doç.Dr. İsmail KARACAN (KBÜ)

Üye : Yrd.Doç.Dr. Birhan IŞIK (KBÜ)

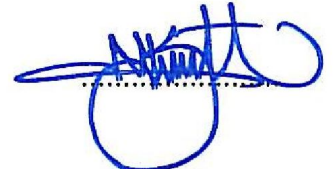
İmzası



...../...../2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Mahmut TUFAN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **AA 6082 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN İŞLENEBİLİRLİĞE VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Mahmut TUFAN**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN**

**Nisan 2011, 56 sayfa**

Bu çalışmada, kullanılan 6000 serisi (Al-Mg-Si) alüminyum alaşımları son yıllarda mimari ve inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Yüksek kaynak edilebilirliği, eloksal kaplama gibi yüzey işlemlerine uygun olduğu gibi, özellikleri ile yüksek gerilimli uygulamalarda, kriş, destek, gibi yüksek mukavemetin gerektiği alanlarda kullanılır. AA 6082 alaşımı son yıllarda makine parçalarında, kalıp ve takım üretiminde, alt plakalarda, prototip imalatında ve kalibratörlerde kullanılır.

6000 serisi alaşımlara uygulanan T6 ısıl işlemi ile yüksek dayanım elde edilirken, bu malzemelerin korozyon dayanımı düşüktür. Korozyon özelliklerinde iyileşme sağlayan T 65 ısıl işlemi sonucunda ise dayanım değerlerinde düşme meydana gelmektedir. Dayanım ve korozyon değerlerinin optimizasyonu için geliştirilen RRA (Retroggression and Reaging) işlemi malzemeyi düşük sıcaklıkta kısa bir süre

tutarak kısmen çözüldürülmesi ve ardından T6 işleme ait yaşlandırma koşullarında yeniden yaşlandırılması temeline dayanmaktadır.

Bu çalışma da AA 6082 alüminyum alaşımlarında uygulanan yaşlandırma ısı işleminin işlenebilirliğe ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi incelenmiştir. AA 6082 alüminyum alaşımları 520°C 'de solüsyona alınmıştır. Daha sonra ise oda sıcaklığında su verme işleminden sonra 180°C sabit sıcaklıkta ve iki farklı zaman aralığında (2 ve 24 saat) yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra yaşlandırma ısı işlemi uygulanan ve uygulanmayan numuneler Metalografik incelemesi yapılması için PRESİ MECAPOL P 262 Model Polisaj Cihazı ile 600, 800, 1000 ve 1200 tane iriliğindeki zımpara bezi ile yüzeyleri hazırlanmıştır. AFFRI SYSTEM VRSD 251 sertlik ölçüm cihazı ile numunelerin sertlikleri ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda, ikinci faz çökeltilerinin etkisiyle yaşlandırma ısı işlemi uygulanan numunelerin, yaşlandırma ısı işlemi uygulanmayan numunelere göre daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler :** AA 6082, ısı işlem, yaşlandırma, işlenebilirlik, yüzey pürüzlülüğü.

**Bilim Kodu :** 708.1.194

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **AA 6082 ALUMINUM ALLOYS AGEING HEAT TREATMENT AND SURFACE ROUGHNESS EFFECTS ON MACHINABILITY**

**Mahmut TUFAN**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Ismail KARACAN**

**April 2011, 56 pages**

In this study, we used the 6000 series (Al-Mg-Si) Aluminum alloys used in recent years, the architectural and construction industry high-welding availability and anodic oxidation surface coating operations as appropriate, the characteristics of high stress such as transportation, beams which need high-strength applications. In recent years, AA 6082 alloys used in production of machine parts such as molds and tool manufacturing, sub-plates, calibrators and manufacture of prototypes.

Having high strength by the help of T6 heating process which has been applied to 6000 series Aluminum alloys but getting low resisting of corrosion. For improve resisting of corrosion when we applied T65 heating process we get lower strength values. For improving and optimizing strength and resistance of corrosion we used RRA (Retrogression and Reaging) methods which is based on

the material is partly dissolved by keeping it hot for a short time and then reaging it in the condition that is about to T6 operation.

In this research, His investigated that the effects of heating process to the machinability and surface roughness of AA 6082 aluminium alloys. AA 6082 aluminium alloys were taken to solution at 520<sup>0</sup>C then it was cooled at room temperature, they were subjected to reaging heating process at the stable temperature (180<sup>0</sup>C ) and two different time interval (from 2 to 24 hours). Then the surfaces of normal unheated materials and heated materials were prepared with help of 600,800 and 1000 grit size emery cloths at the PRESI MECAPOL P 262 Model polish machine. Hardness of reaged and not reaged sample materials were measured with AFFRI SYSTEM VRSD 251. After all these experiments, it is seen that, the materials which were applied to reageing and heating operation was higher hardness values than the material which wasn't been applied reageing and heating operation by the effects of second phase.

**Keywords** : AA 6082, heat treatment, aging, machinability, surface roughness

**Science Code** : 708.1.194

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının her safhasında engin bilgi ve tecrubesini esirgemeyen, yardım ve katkılarıyla beni destekleyen ve yönlendiren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. İsmail KARACAN' a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Anabilim dalı hocalarımdan Doç. Dr. Halil DEMİR, Doç. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ ve Yrd. Doç. Dr. Birhan IŞIK' a teŐekkürü bir borç bilirim. Deneysel alıŐmalar sırasında yardımlarını esirgemeyen, Öğr. Gör. Ahmet MEYVECİ' ye teŐekkürü bir borç bilirim.

Sevgili aileme maddi ve manevi desteklerini esirgemedikleri için teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	3
2.1. ALÜMİNYUM .....	3
2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI .....	4
2.2.1. Alüminyum 1xxx serisi.....	5
2.2.2. Alüminyum 2xxx serisi.....	5
2.2.3. Alüminyum 3xxx serisi.....	5
2.2.4. Alüminyum 4xxx serisi.....	5
2.2.5. Alüminyum 5xxx serisi.....	6
2.2.6. Alüminyum 6xxx serisi.....	6
2.2.7. Alüminyum 7xxx serisi.....	6
2.3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ .....	6
2.3.1. Bakırın Etkisi .....	7
2.3.2. Silisyumun Etkisi .....	7
2.3.3. Magnezyumun Etkisi.....	8
2.3.4. Manganezin Etkisi.....	8
2.3.5. Çinkonun Etkisi.....	8

	<b><u>Sayfa</u></b>
2.3.6. Titanyumun Etkisi.....	9
2.3.7. Demirin Etkisi.....	9
2.3.8. Nikelin Etkisi .....	9
2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ .....	9
2.4.1. Yaşlandırma Isıl İşlemi Aşamaları .....	10
2.4.1.1. Solüsyona Alma İşlemi .....	10
2.4.1.2. Su Verme.....	10
2.4.1.3. Çökelme Sertleşmesi.....	11
2.4.2. Aşırı Yaşlanma .....	14
2.4.3. Isıl İşlem Uygulanmış Alt Bölümler .....	14
BÖLÜM 3 .....	16
İŞLENEBİLİRLİK.....	16
3.1. TALAŞLI ÜRETİMDE İŞLENEBİLİRLİK .....	16
3.2. İŞLEME KABİLİYETİ .....	17
3.2.1. İş Parçası Malzeme Özelliklerinin İşlenebilirliğe Etkisi .....	18
3.2.1.1. Sertlik ve Dayanım .....	18
3.2.1.2. Süneklik.....	18
3.2.1.3. Isıl İletkenlik.....	18
3.2.1.4. Pekleşme.....	19
3.2.1.5. Kalıntılar.....	19
3.2.1.6. Malzeme Yapısı.....	20
3.3. TAKIM ÖMRÜ .....	20
3.3.1. Takımda Meydana Gelen Aşınma Tipleri .....	21
3.3.2. Yan Yüzey Yanak Aşınması .....	21
3.3.3. Krater Aşınması.....	22
3.3.4. Çentik Oluşumu.....	23
3.3.5. Kesici Takımın Kırılması.....	24
3.3.6. Kesici Takımda Yığıntı Talaş .....	24

	<u>Sayfa</u>
3.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINDA İŞLENEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	26
3.4.1. İşleme Şartlarının İşlenebilirliğe Etkisi .....	26
 BÖLÜM 4 .....	 27
YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	27
4.1. TALAŞLI ÜRETİM İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ .....	27
4.1.1. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler .....	27
4.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu .....	28
4.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri .....	29
4.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİ .....	29
4.2.1. Örnekleme Uzunluğu Ve Örnekleme Sayısı .....	29
4.2.2. Ortalama Çizgi .....	29
4.2.3. Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü(Ra).....	30
 BÖLÜM 5 .....	 31
MALZEME VE METOT .....	31
5.1. GİRİŞ.....	31
5.2. YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ .....	31
5.3. METALOGRAFİK İŞLEMLER .....	32
5.4. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ .....	33
5.5. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU .....	35
5.6. TAKIM TEZGAHI .....	35
5.7. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ .....	37
 BÖLÜM 6 .....	 38
DENEYSEL SONUÇLAR.....	38
6.1. FARKLI SICAKLIKLARDA VE SÜRELERDE YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ YAPILAN AA 6082 ALAŞIMLARININ SERTLİK İNCELEMELERİ.....	38
6.2. FARLI SÜRELERDE YAPILAN YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN AA 6082 ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİK VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK İNCELEMELERİ.....	39

	<b><u>Sayfa</u></b>
6.3. KESİCİ TAKIMDA MEYDANA GELEN UÇ AŞINMALARININ İNCELENMESİ.....	47
BÖLÜM 7 .....	50
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ .....	56

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Ana alüminyum alaşımları.....	7
Şekil 2.2. Çökelme sertleşmesi faz diyagramı.....	10
Şekil 2.3. Çözünen atomun çözen atom içerisindeki dağılımı .....	11
Şekil 2.4. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti.....	12
Şekil 2.5. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti .....	12
Şekil 2.6. Çökelti arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar .....	13
Şekil 2.7. Aşırı büyük çökelti dislokasyonlar tarafından kesilmesi.....	13
Şekil 3.1. Süneklik ve ısı iletkenlik .....	19
Şekil 3.2. Kesici takımda meydana gelen yan yüzey aşınması .....	22
Şekil 3.3. Krater aşınması .....	22
Şekil 3.4. Takımda meydana gelen krater aşınması.....	23
Şekil 3.5. Kesici takımda meydana gelen çentik oluşumu.....	23
Şekil 3.6. Kesici takımda meydana gelen kırılmalar .....	24
Şekil 4.1. İlerleme hızı ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	28
Şekil 4.2. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu .....	29
Şekil 4.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi .....	30
Şekil 5.1. 180°C’ de Yaşlandırma ısı işlemi yapılan fırın.....	32
Şekil 5.2. PRESİ MECAPOL P 262 model polisaj cihazı .....	33
Şekil 5.3. Makro sertlik ölçümü için hazırlanmış numune .....	34
Şekil 5.4. AFFRI SYSTEM VRSD 251 sertlik ölçüm cihazı .....	34
Şekil 5.5. Deneiler için hazırlanan AA 6082 yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numuneler .....	36
Şekil 5.6. Ayna-punta arasına bağlanan parça.....	36
Şekil 6.1. AA 6082 Alaşım al. numunelerin ortalama sertlik değerleri.....	39
Şekil 6.2. AA 6082 Alaşım al. numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	40
Şekil 6.3. AA 6082 Alaşım al. numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri .....	40
Şekil 6.4. Kesici takım uç aşınması ölçüm yüzeyi.....	47

**Sayfa**

Şekil 6.5. Kesici uçta meydana gelen aşınma $f=0,05$ mm/dev .....	49
Şekil 6.6. Kesici uçta meydana gelen aşınma $f=0,1$ mm/dev .....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Saf alüminyumun özellikleri.....	3
Çizelge 2.2. Alüminyum alaşım çeşitleri ve ısıt işlemler durumları .....	4
Çizelge 5.1. AA 6082 Alaşımının kimyasal bileşimi .....	31
Çizelge 5.2. Deneylerde kullanılan yaşlandırma ısıt işlemler parametreleri .....	32
Çizelge 5.3. PRESİ MECAPOL P 262 Model polisaj cihazı genel özellikleri .....	33
Çizelge 5.4. AFFRI SYSTEM VRSD 251 Sertlik ölçüm cihazı genel özellikler .....	34
Çizelge 5.5. Taksan TTC-550 CNC Torna tezgahının genel özellikleri.....	35
Çizelge 5.6. Deneylerde kullanılan kesme parametreleri.....	37
Çizelge 6.1. Brinell sertlik değerleri.....	39
Çizelge 6.2. Yüzey pürüzlülük değerleri.....	41
Çizelge 6.3. Yaşlandırılmamış numune talaşları.....	43
Çizelge 6.4. 2 Saat Yaşlandırılmış numune talaşları .....	45
Çizelge 6.5. 24 Saat Yaşlandırılmış numune talaşları .....	46
Çizelge 6.6 Kesici takımında meydana gelen uç aşınmaları.....	48

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

AA	: Alüminyum alaşımı
Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
C	: Karbon
Mn	: Mangan
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	: Alüminyum oksit
To	: Solüsyona alma sıcaklığı
T1	: Su verme sıcaklığı
T2	: yaslandırma sıcaklığı
l	: Örnekleme uzunluğu
ls	: Kayma düzlemi uzunluğu
Ra	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü
R <sub>max</sub>	: Maksimum Yüzey Pürüzlülüğü
Rsk	: Genlik dağılım eğrisi
Rt	: Maksimum Yüzey Pürüzlülüğü
Vc	: Kesme hızı
YT	: Yığıntı talaş



## **KISALTMALAR**

- CNC : Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computer Numeric Control)  
GP : Guiner-Preston  
RRA : Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma (retrogression and reageing)  
HB : Brinell sertlik değeri (hard brinell)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Alüminyum, yeryüzünde en çok bulunan ikinci metal oluşu, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve kolay şekillenebilmesi nedeni ile gıda sektöründen yüksek gerilim-elektrik aktarım hatlarına, inşaat uygulamalarından çeşitli taşıtların (otomobil gövdeleri, motor parçaları, uçak gövdeleri vb.) yapısal parçalarına kadar çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Havacılık sanayi uygulamaları için genel alüminyum alaşımları ile birlikte, yüksek fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip özel alaşımlar havacılık sektöründeki araştırma ve geliştirme çalışmalarının başlangıcı ile birlikte kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde, alüminyumun mevcut özelliklerinin artırılması amacı ile alaşım özellikleri ısıl işlem ve şekillendirme teknolojileri üzerine çalışmalar yoğun olarak sürdürülmektedir.

AA 6xxx serisi alüminyum alaşımları, Magnezyum (Mg) ve Silisyum (Si) ihtiva ederler. Bu elementlerin ve içindeki diğer empürütlerin (Fe, Cu, Mn, Zn) belirli sınırlar içinde farklı değerlerde olmaları, alaşımın kullanım yerlerine göre farklı özelliklerde profil üretimini sağlarlar. Demir (Fe) miktarı % 20 veya daha düşük olan 6xxx serisi alaşımlarda profil polisaj yapıldığında parlak yüzey elde edilir. Demir miktarının bu değerden yüksek olması durumunda, profil grileşmeye başlar, parlaklık donuklaşır. Mat yüzey elde edilmesi içinse Demir en az % 18 olmalıdır. Demir yükseldikçe daha mat yüzey elde edilir.

Alüminyum alaşımlarının en yaygın olarak kullanılanları 2024, 7075, 5052 ve 6061 olarak tanımlanan alaşımlardır. Özellikle ilk ikisi çok yaygın olarak kullanılır. Kullanım yerlerine ve uygulanacak şekil verme işlemlerine göre farklı alaşımlar mevcuttur. Günümüzde kompozitler, termoplastikler gibi hızla gelişen malzemeler alüminyuma ve diğer metallere rakip olarak uçak yapımında yaygın olarak kullanılmasına karşın, gelişen bilgisayar kontrollü tasarım ve imalat metotları ve

yeni gelişen alaşımlar sayesinde alüminyum uçak yapımında hala ana malzeme olarak yerini korumaktadır. Özellikle yeni geliştirilen metal yapıştırma teknikleri ile perçinsiz parça grupları yapılabilmektedir (Şahin, 1999).

Alüminyum alaşımları, uçak ve helikopter gövdelerinde mukavemetli fakat alüminyuma göre korozyon direnci daha düşük olan çelik malzemelerin kaplanmasında kullanılırlar.

Al-Ti alaşımları türbin motorlarının orta sıcaklıktaki bölgelerinde (300-700°C) kullanıma uygundur. Alüminyumun titanyumla oluşturduğu  $Ti_3Al_5$  ara metal fazı ile yanma odasına yakın kompresör kapakçıklarının kaplanması yapılarak yüzeylerin sıcak çalışma gazı ortamında korozyona karşı korunması sağlanır.

Alüminyum, metal matrisli kompozitler de matris elemanı olarak da aranan bir malzemedir. Grafit/alüminyum kompozitleri güdümlü mermi ve helikopter pallerinde, bor/alüminyum kompozitleri, SiC kaplı alüminyum ve SiC/alüminyum kompozitler kompresör kanatlarında kullanılırlar (Kuşhan, 2003).

Bu çalışmada, AA 6082 malzemelerinde, yaşlandırma ısıl işlemiyle yapıda oluşturulan II. faz çökeltilerinin bu alaşımların işlenebilirlik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Farklı yaşlandırma sürelerinin yüzey pürüzlülüğüne ve talaş oluşumu üzerine etkilerinin incelenmesi ve uygun kesme parametrelerinin bulunması amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

#### 2.1. ALÜMİNYUM

Alüminyum uygulama alanı oldukça geniş bir mühendislik malzemesidir. Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, saf alüminyumun yoğunluğu, yaklaşık olarak çeliğin üçte biri kadardır. Magnezyumdan sonra, en hafif metaldir. Ayrıca mukavemeti 700 MPa’ a kadar ulaşabilen alüminyum alaşımları, düşük karbonlu çeliklerle rekabet edebilecek düzeydedir. Alüminyum, yüksek dayanım özelliğinin yanında, iyi elektrik ve ısı iletkenliğine de sahiptir. Alüminyumun dayanım/yoğunluk oranının yüksek olması, ayrıca, alüminyum alaşımlarının yapı çeliklerinden daha iyi ısıl işlem kabiliyetine sahip olması, alüminyumu önemli bir endüstriyel malzeme haline getirmiştir. Günümüzde, alüminyum alaşımları marina, uzay ve havacılık otomotiv ve savunma sanayi alanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır (Wessel, 2004).

Çizelge 2.1. Saf alüminyumun kimyasal ve fiziksel özellikleri (Sun, 1998).

Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,97 gr/mol
Kristal Yapı	Yüzey Merkezli Kübik (ymk)
Yoğunluk	2,7 gr/cm <sup>3</sup>
Eğrime Noktası	660°C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150-300°C
Buharlaşma Noktası	2450°C
Özgül Isı	0,224 cal/gr (100°C)
Elastisite Modülü	72x10 <sup>3</sup> MPa
Poisson Oranı	0,33
Kaynama Modülü	27x10 <sup>3</sup> MPa
Çekme Mukavemeti	40-90 MPa
Akma Mukavemeti	10-30 MPa
Kopma Uzaması	% 30-40

## 2.2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ SINIFLANDIRILMASI

Alüminyum alaşımları, üretim yöntemlerine göre işlem alaşımları ve döküm alaşımları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. İşlem alaşımları; yeniden eğritme ve döküm, yüzey uzaklaştırma, ön ısıtma veya homojenizasyon, sıcak haddeleme, soğuk haddeleme işlemlerinden geçerek üretilmektedir. Bu alüminyum alaşımları dört basamaklı bir kodlama yöntemi ile içerisinde yer alan ana alaşım elementlerine göre gruplandırılmaktadır. Döküm alaşımlarında da yine işlem alaşımlarına benzer, dört basamaklı bir kodlama yöntemi kullanılmaktadır. Fakat son sayısı nokta yada kesir işareti ile ayrılmıştır. Alüminyum alaşımları ve ısıtma işlem durumları Çizelge 2.2' de sunulmuştur ( Erdoğan, 2001).

Çizelge 2.2. Alüminyum alaşım çeşitleri ve ısıtma işlem durumları ( Erdoğan, 2001).

<b>İşlem (Dövme) Alüminyum Alaşımları</b>		
<b>Ana Alaşım Elementleri</b>	<b>Alaşım Türü</b>	<b>Isıl İşlem Durumu</b>
Arı Al (%99)	1XXX	Yaşlanmaz
Al – Bakır	2XXX	Yaşlanır
Al – Silisyum (Cu-Mg ilave edilmiş)	3XXX	Yaşlanmaz
Al – Silisyum	4XXX	Mg Eklenirse Yaşlanır
Al – Magnezyum	5XXX	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum ve Silisyum	6XXX	% 2 Mg İçerirse Yaşlanır
Al – Çinko	7XXX	Yaşlanmaz
Al – Kalay	8XXX	Yaşlanmaz
Al – Diğer elementler	9XXX	% 2 Cu, Mg İçerirse Yaşlanır
<b>Döküm Alüminyum Alaşımları</b>		
<b>Ana Alaşım Elementleri</b>	<b>Alaşım Türü</b>	<b>Isıl İşlem Durumu</b>
Arı Al (%99)	1XX.X	Yaşlanmaz
Al – Bakır	2XX.X	Yaşlanır
Al – Mangan	3XX.X	Yaşlanmaz
Al – Silisyum	4XX.X	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum	5XX.X	Yaşlanmaz
Al – Magnezyum ve Silisyum	6XX.X	Yaşlanır
Al – Çinko	7XX.X	Yaşlanmaz
Al – Diğer elementler (Sn - Li)	8XX.X	Yaşlanır
Kullanılmamış seriler	9XX.X	% 2 Cu, Mg İçerirse Yaşlanır

### **2.2.1. Alüminyum 1xxx Serisi**

Bu alaşımlar minimum %99,0 alüminyum, empürite olarak da silisyum ve demir içerirler. Dayanım artışı için %0.12 bakır ilavesi yapılabilir. Bu alaşımlar yüksek oranda haddelenerek levha veya folyo haline getirilerek kullanılırlar. 1100 alaşımının tavllanmış durumda çekme mukavemeti 90 MPa' dır (Wessel, 2004).

### **2.2.2. Alüminyum 2xxx Serisi**

Bu seri alaşımların bir çoğuna bakırın yanında magnezyum ve düşük miktarda diğer elementlerden eklenir. 2xxx serisi alaşımları birim ağırlık dayanımının yüksek olması gereken uçak sanayi gibi alanlarda kullanılır. Bu alaşımlar katı eriyik mukavemetlenmesi ve çökelti sertleşmesiyle dayanım kazanırlar. Endüstriyel uygulama alanı bulabilmiş en önemli alaşım 2024 alaşımıdır. 2024-T6 alaşımı % 4,5 bakır, % 1,5 magnezyum ve % 0,6 mangan bulundurur ve çekme dayanım 442 MPa' dır (Wessel, 2004).

### **2.2.3. Alüminyum 3xxx Serisi**

Bu serinin en önemli alaşımı 3003 tür. Bu alaşım 1100 alaşımına %1,25 mangan ilavesi ile oluşturulur. 3003 alaşımının tavllanmış durumda çekme dayanımı 110 MPa'dır. Bu da demek oluyor ki mangan ilavesi dayanım artışı sağlar. Bu serinin alaşımları iyi işlenebilirliğin gerektiği yerlerde kullanılabilen genel amaçlı alaşımlardır (Wessel, 2004).

### **2.2.4. Alüminyum 4xxx Serisi**

Bu serideki alaşımlara, silisyum ilave edilerek, kaynak ve lehimleme işlemlerinde ergime noktası düşürülmekte, böylece, alaşımın kaynak ve lehimleme kabiliyeti iyileştirilmektedir. Silisyum, alaşımın akıcılık özelliğini arttırması nedeni ile döküm teknolojisinde, geometrisi karmaşık şekillerin üretilmesine imkân vermektedir. 4043 alaşımı, yaygın olarak kaynak dolgu teli olarak kullanılmaktadır (Wessel, 2004).

### **2.2.5. Alüminyum 5xxx Serisi**

Bu serinin ana alaşım elementi olan magnezyum katı eriyik mukavemetlenmesi sağlar ve miktarı %5 e kadar çıkabilir. Bu serinin endüstride kullanılan en önemli alaşımı 5052 dir. Bu alaşım %2.5 Mg, %0,2 Cr içerir ve tavllanmış durumdaki çekme dayanımı 193 MPa' dır (Wessel, 2004).

### **2.2.6. Alüminyum 6xxx Serisi**

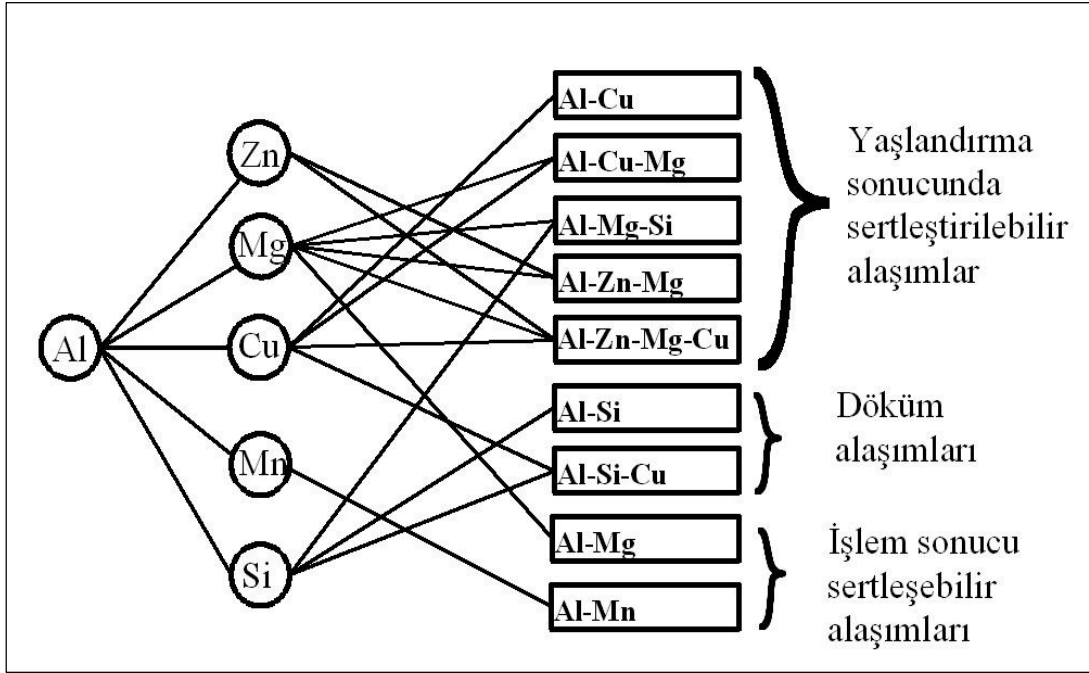
Mg<sub>2</sub>Si intermetalik bileşikleri, çökelti sertleştirilmesi ile dayanım artışı sağlar. En yaygın kullanılan alaşım 6061 alaşımıdır ve bu alaşım %1,0 magnezyum, %0,6 silisyum, %0,3 bakır içerir. 6061-T6 alaşımının çekme mukavemeti 290 MPa' dır. Bu seri, otomotiv sektöründe genel amaçlı yapı elemanı olarak kullanılır (Wessel, 2004).

### **2.2.7. Alüminyum 7xxx Serisi**

Bu serinin en önemli alaşım elementi çinkodur. 7xxx serisi, alüminyum-çinko-magnezyum alaşımları (örneğin 7005) ve alüminyum-çinko-magnezyum -bakır alaşımları (örneğin 7075 ve 7178) olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Minimum çekme dayanımı 580 MPa olan 7178 alaşımı, uçak yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bakır ile desteklenen 7xxx serisi alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, 1xxx, 3xxx, 5xxx veya 6xxx serisi alüminyum alaşımlarından daha düşüktür (Wessel, 2004).

## **2.3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA ETKİSİ**

Alüminyum alaşımlarında kullanılan alaşım elementleri, bakır, silisyum, magnezyum, demir, çinko, manganez, nikel, titanyum ve lityumdur ( Öz, 2007).



Şekil 2.1. Ana alüminyum alaşımları (Tekçi, 2008).

### 2.3.1. Bakırın (Cu) Etkisi

Genel olarak bakır, alüminyumun dayanımını, işlenebilirliğini ve sertliğini artırır. Bakır alaşımlarına %4-6 oranlarında ilave edilen Cu, alaşımın ısıl işlem kabiliyetini artırır. Bakır, korozyon direnci ile birlikte, dökülebilme ve sıcak yırtılma direncini azaltır (Brown, 1999).

### 2.3.2. Silisyumun (Si) Etkisi

Silisyum ilavesi, alaşımın, akıcılık, korozyon direnci, kaynak kabiliyeti özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca, tane boyutu küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilme özelliği sağlanır. Silisyumun mekanik özelliklere katkısı, alaşımın bileşimine ve mikro yapısına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak şekilli Al tanecikleri ve Al-Si ötektiği mukavemet artışı sağlar. İğnecik şeklindeki Al-Si ötektiği ise çekme mukavemetini arttırmakla beraber, sünekliğini, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür (Turhan, 2002).

### 2.3.3. Magnezyumun (Mg) Etkisi



Al-Si alaşımlarına, % 0.25-0.5 gibi kk miktarlarda magnezyum ilave edilmesi, alaşımın ısıl işlem kabiliyeti kazanmasına neden olmaktadır. Magnezyum, alaşıma yüksek mukavemet ve korozyon direnci kazandırır. Kaynak kabiliyetini artırır. Düşük silisyum alaşımlarında, %3-6 gibi yüksek oranlarda magnezyum kullanımı, oksitlenmeyi azaltan yönde etki yapar. Alaşımda yüksek oranda demirin bulunması, sünekliliği, islenebilirliği, ani yük değişimlerine direnci azaltır. Magnezyum, tektik altı Al-Si alaşımlarında, demirin mekanik özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderir ve mukavemet, korozyon direnci ve aşınma direncini artırır (Brown, 1999; Turhan, 2002).

#### **2.3.4. Manganezin (Mn) Etkisi**

Alaşıma, ağırlık olarak %1,2 oranında manganez katılması, alaşımın yapısında oluşan katı eriyik mukavemetlenmesi nedeni ile alaşımın mekanik özelliklerini artırır. Ayrıca, yeniden kristalleşme sıcaklığını, korozyon direncine zarar vermeksizin 50- 60 °C kadar yükseltir. Manganez, Al-Si alaşımlarında, demirin mekanik ve fiziksel özelliklere yaptığı olumsuz etkiyi giderir. Böylece mukavemet ve korozyon direnci artar. Alaşımda manganez bulunması, ince dağılımlı (Mn, Fe) Al6 intermetaliklerini oluşturarak, demirin kaba olarak knelmesini önler (Brown, 1999; Turhan, 2002).

#### **2.3.5. Çinkonun (Zn) Etkisi**

Çinko, bakır ve magnezyumla beraber alaşımın ısıl işlem kabiliyetini artırır. Alüminyum alaşımlarına çinko ilavesi alaşımın, çekme mukavemeti haddelenebilme, işlenebilme özelliklerini ve darbe mukavemetini artırır. Çinko, Al-Si alaşımlarında okelme sertleşmesine neden olduğu için, alaşımın aşınma direncini iyileştirecek Şekilde etki yapar (Brown, 1999; Turhan, 2002).

#### **2.3.6. Titanyumun (Ti) Etkisi**

Titanyum, bor ile birlikte kullanıldığında, alaşımın tane yapılarını kltr. Alüminyum alaşımlarında titanyum bulunması, alaşımın çekme mukavemeti ve

sünekliğini arttırır, ısı iletkenliğini düşürür (Brown, 1999; Turhan, 2002).

### **2.3.7. Demirin (Fe) Etkisi**

Demir, alüminyum alaşımlarında tane küçültücü etki yapar. Ayrıca bazı alüminyum alaşımlarında termal mukavemeti arttırır. Demir, Al-Si alaşımlarının mekanik özelliklerine olumsuz etki yapar. Demir, yüksek silisyum içeren alaşımlarda, kaba ve gevrek yapının ortaya çıkmasına neden olur. Bu nedenle bu tip alaşımlarda demir oranının minimum değerde olması istenir (Öz, 2007).

### **2.3.8. Nikelin (Ni) Etkisi**

Alaşımlarda bakır ile beraber kullanıldığında, yüksek sıcaklıklarda dayanımı ve sertliği arttırıcı yönde etki yapar (Brown, 1999).

## **2.4. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ**

Yaşlandırma ısıl işlemi, yumuşak ve sünek matriste; ince, sert ve matrisle uyumlu çökeltilerin oluşumunu sağlamak için uygulanır (Askeland, 1998). Matris içinde uygun şekilde dağılan çökeltiler, dislokasyon hareketlerini engelleyerek, alaşımların mukavemet değerlerinde artışa neden olurlar. Yaşlandırma ısıl işlemi ile bakır alaşımlarının, martenzitik paslanmaz çeliklerin ve ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının, sertleşmesi sağlanır ve dayanımları attırılır. Yaşlandırma ısıl işlemi, üç aşamadan meydana gelmektedir ( Öz, 2007).

### **2.4.1. Yaşlandırma Isıl İşlemi Aşamaları**

#### **2.4.1.1. Solüsyona Alma Isıl İşlemi**

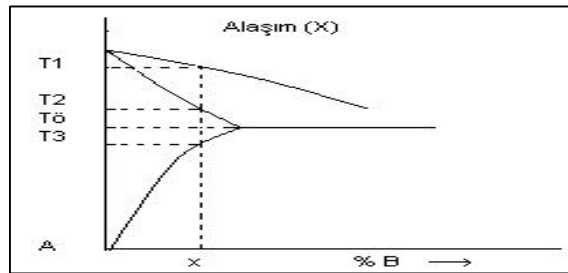
Sıvı durumda her oranda, katı durumda ise kısmen çözünen yapıya sahip bir alaşım (şekil 2.1), tek fazlı bir yapı ( $\alpha$ ) elde etmek amacıyla, alaşımın faz diyagramında belirtilen, solvüs sıcaklığının üzerinde, T1 sıcaklığına kadar (şekil 2.1) ısıtılır ve bu

sıcaklıkta alaşımdaki bütün fazların ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) tek faz içinde çözünmesi sağlanıncaya kadar bekletilir. Bekleme süresi, alaşımların yapısına göre değişiklik gösterir.

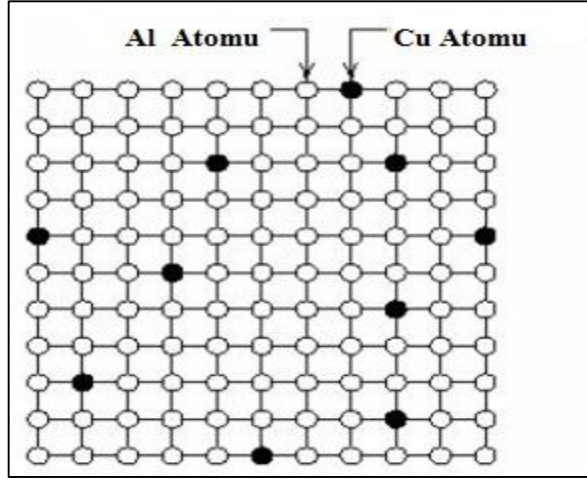
Alaşımlara uygulanan bu işleme çözündürme uygulaması veya solüsyona alma ısıl işlemi denir (Savaşkan, 1999).

#### 2.4.1.2. Su Verme

Su verme işlemi, solüsyona alma ısıl işlemi ile elde edilen tek fazlı ( $\alpha$ ) katı çözeltisini, çökeltilerin oluşmasına izin vermeyecek şekilde, T1 sıcaklığından süratle soğutmaktan ibarettir (şekil 2.2). T1 sıcaklığındaki malzemenin, ani olarak bir akışkan içerisinde soğutulması nedeni ile aşırı doymuş bir yapı elde edilir. Aşırı doymuş yapı, malzeme içinde bulunan çözenin (şekil 2.3) (örneğin alüminyum alaşımlarında alüminyum, magnezyum alaşımlarında magnezyum), denge koşullarında, alaşım elementinin çözebileceği miktardan daha fazla madde çözmesi anlamına gelir ve kararsız bir durumdur. Kararlı bir yapının oluşması, orta dereceli dayanıma ve önemli oranda sünekliğe sahip bu yapının yaşlandırılması ile mümkündür. Su verme işleminden sonra ısıtılarak gerçekleştirilen yaşlandırmaya yapay yaşlandırma, oda sıcaklığında kendiliğinden olan yaşlandırmaya ise doğal yaşlandırma adı verilir (Savaşkan, 1999).



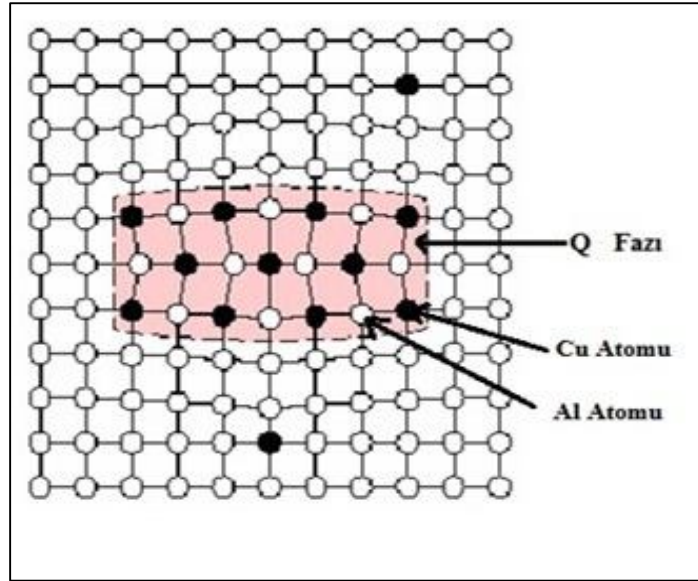
Şekil 2.2. Çökelme sertleşmesi faz diyagramı (Erol, 2001).



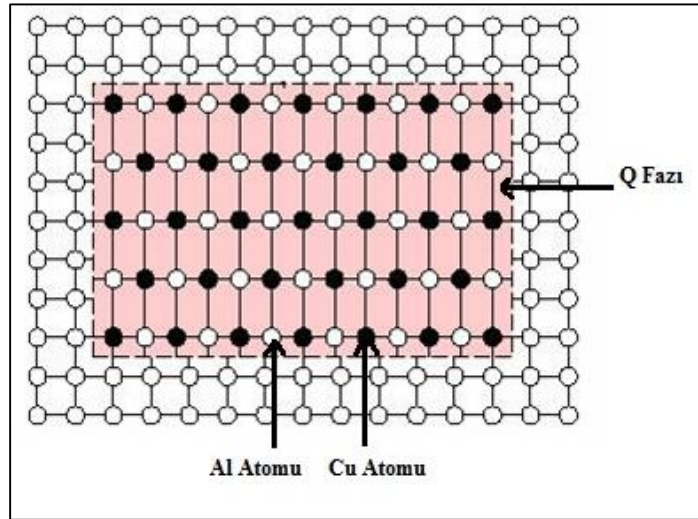
Şekil 2.3. Çözünen atomun çözen atom içerisindeki dağılımı (Askeland, 1998).

#### 2.4.1.3. Çökeltme Sertleşmesi

Çökeltme sertleşmesi, bazı alaşımlar için sertlik ve dayanımı arttırmak için geliştirilmiş temel sertleşme mekanizmasıdır ve çözünmenin temel karakteristiğine dayanır. Bu metodun prensibi genelleştirilmiş olarak şekil 2.2' deki şematik diyagramla ifade edilmiştir. Sıvı X alaşımı denge altında (hızlı) soğutulursa, T1 sıcaklığında katılaşmanın başladığı T2 sıcaklığında bittiği görülür. T3 sıcaklığına erişinceye kadar fazda herhangi bir değişiklik görülmez. Soğutmaya devam edildiğinde ikinci bir faz tane sınırları boyunca ve kayma düzlemlerinde çökeler. Bu çökelen faz, aslında, esas metal, eriyik metal veya bir faz olabilir (Erol, 2001). Çökeltme sertleşmesinin oluşumu, matris içinde, çözünen atomların meydana getirdiği uyumlu çökeltelerin oluşmasına bağlıdır (şekil 2.4). Uyumlu bir çökelti oluştuğunda, çökelti kafesinin atom düzlemleri ile matris kafesinin düzlemleri arasında süreklilik oluşur. Süreklilik oluşumu, çökelti etrafında geniş bir gerilme alanı oluşturur ve bu alan içerisinde geçen dislokasyonların hareketleri zorlaşır (Askeland, 1998). Alaşımın matris yapısı ile uyumlu çökelteler, dislokasyon hareketlerine engel olarak, alaşımın sertliğini ve mukavemetini önemli ölçüde arttırırlar. Ancak, aşırı yaşlandırma durumunda, çökelteler daha da büyüyerek, matristen bağımsız olarak kendi kristal yapılarını oluşturur ve kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz bir yapı meydana getirirler (şekil 2.5). Bu durumda malzemenin mukavemet değerlerinde düşüş görülür (Öz, 2007).

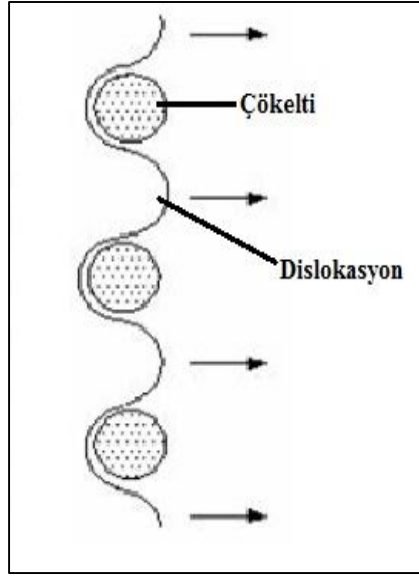


Şekil 2.4. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti (Askeland, 1998).

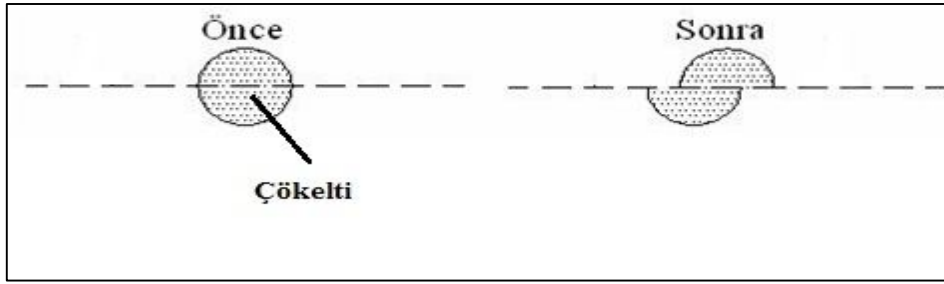


Şekil 2.5. Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti (Askeland, 998).

Buna ilave olarak, çökelme sertleşmesinde, alaşımın sertliğini ve dayanımı arttıran bir diğer etken ise, çökelti boyutlarıdır. Yaşlandırma zamanı arttırıldığında, çökelti boyutları büyüyerek aralarındaki mesafe azalır ve bu ise dislokasyon hareketlerini engelleyerek sertlikte artışa neden olurlar (şekil 2.6). Çökelti boyutları aşırı derecede artar ise, dislokasyonlar çökeltiyi kesebilir (şekil 2.7) ve bu durumda sertlikte düşüşe neden olur ( Öz, 2007).



Şekil 2.6. Çökeltiler arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar (Ashby and Janes, 1994).



Şekil 2.7. Aşırı büyük çökeltilerin dislokasyonlar tarafından kesilmesi ( Ashby and Janes, 1994).

#### 2.4.2. Aşırı Yaşlanma

Çökelen partiküllerin birbirleriyle birleşmeleri ve büyümeleri sonucu, dislokasyon hareketine engel olmazlar. Ancak mekanik özelliklerde düşme görülür. Buna aşırı yaşlanma denir. Bu durumda dislokasyonlar taneler arasından kıvrılarak geçerler. Bu kıvrılma esnasında eğrilik yarıçapı ne kadar büyük olursa elastisite limiti de o kadar küçük olur. Eritme ısıl işlemine tabi tutulmuş malzemeyi düşük sıcaklıklarda ( -6 ile -10°C arası) depolamak suretiyle yaşlanma sertleşmesi geciktirilebilir veya durdurulabilir. Bu özellik pratik yönden aşağıda bahsedilen şekilde istifade edilir. Yaşlanma sertleşmesi sürekliliği azaltır ve bu sebepten ötürü herhangi bir soğuk

işlemin tatbiki ile yürütülecek imalat metalin hala yumuşak olduğu bir zaman içinde yapılmalı ve 2 ila 3 saat zarfında (yaşlanma sertleşmesi önemli bir alana yayılmadan önce) tamamlanmalıdır. Böyle bir işlem mümkün olmayabilir. Bu şekilde alaşımın imalat safhasında dar boğazların (sıkışmaların) meydana gelmesine sebebiyet verebilir. Eritme ısı işlemine tabi tutulmuş alüminyum alaşımını, sıfırın altındaki sıcaklıklarda depolamak suretiyle, donmadan dolayı yaşlanmaya mani olmuş (geciktirilmiş) olur. Daha sonra malzeme ihtiyaç duyulduğu zaman depodan alınabilir ve kolaylıkla işlenebilme şartlarında imal edilebilir (Meyveci, 2007). Yaşlandırma ısı işleminin başlamasıyla birlikte yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla yapı içerisinde ve tane sınırlarında çökeltilerin oluştuğu fark edilmektedir. Yaşlandırma sıcaklığının ve süresinin artmasıyla beraber yapı içerisindeki çökeltilerin miktarının ve boyutunun biraz daha arttığı gözlenmektedir. Yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin artmasıyla beraber yapı içerisindeki çökeltilerin büyümesi neticesinde dislokasyonların etkisiyle malzemenin dayanımında azalma olup, aşırı yaşlanma sürecine girmesine sebep olmaktadır.

#### **2.4.3. Isıl İşlem Uygulanmış Alt Bölümler**

W, solüsyona alma ısı işlemi görmüş kararsız bir temper işlemdir. Yalnızca solüsyona alma ısı işleminden sonra oda sıcaklığında kendi kendilerine yaşlanabilen alaşımlar için kullanılır. T, kararlı bir temper elde etmek için alaşıma F, O veya H işleminden başka uygulanan temper işlemini gösterir. Kararlı temperi ifade eden T harfinden sonra 1’den 10’a kadar rakam kullanılır (Aydın, 2002; Ulucak, 2003);

1. T: T notasyonu, ısı işlem yapılarak elde edilen temperleri ifade eder. Isıl işlemlerin değişik türleri, aşağıdaki harf ve rakam gösterileriyle ifade edilmektedir.
2. T1: Sıcak işleminden sonra soğutulur ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
3. T2: Sıcak işleminden sonra soğutulur, soğuk işleminden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
4. T3: Solüsyona alma ısı işlemi uygulanır, soğuk işleminden geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
5. T4: Solüsyona alma ısı işleminden geçirilir, doğal yaşlanma ile kararlı

duruma getirilir.

6. T5: Sıcak işlemde sonra soğutulur ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir (Termik Isıl İşlemi).
7. T6: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve yapay yaşlandırma ile sertleştirilir (Termik Isıl İşlemi).
8. T7: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir ve yapay aşırı yaşlanma yapılır (Termik Isıl İşlemi).
9. T8: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, soğuk işlemde geçirilir ve yapay yaşlandırma yapılır (Termik Isıl İşlemi).
10. T9: Solüsyona alma ısıl işleminden geçirilir, yapay yaşlandırma yapılır (Termik Isıl İşlemi) ve soğuk işlemde geçirilir.
11. T10: Sıcak işlemde soğutulur, soğuk işlemde geçirilir ve yapay olarak yaşlandırılır.



## BÖLÜM 3

### İŞLENEBİLİRLİK

#### 3.1. TALAŞLI ÜRETİMDE İŞLENEBİLİRLİK

İşlenebilirlik, talaşlı üretimle şekillendirilmek üzere seçilen hammaddenin özelliklerinin (alaşım elementleri ve mikroyapı özellikleri ile sertlik, akma ve çekme dayanımı, ısıl iletkenlik, taneler arası bağ özellikleri, elastik modülü gibi parametreleri), seçilen talaşlı üretim yöntemindeki parametrelere (işleme şekli, tezgah gücü ve özellikleri, takım tutucu ve formu, kesici uç malzemesi ve formu, kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü, soğutma tipi ve yöntemi, vb.) bağlı olarak, hammaddenin ve talaşlı üretim 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 (Shaw, 1989).

Malzemeler için işlenebilirlik değerleri, en ideal durumlarda bile, daha ileri düzeyde en uygun şekle sokma için başlangıç değerlerine kılavuzluk eder. Sınırlı bir malzeme dizisindeki belli sayıda operasyonun gerçekleştirilmesinde bir atölye veya işletme, işleme sırasındaki zorluklar veya kolaylıklara göre kendi önceliklerini benimser. İşlenebilirliği geliştirmek için; döküm kalitesini iyileştirmek, malzemeyi kolay işlenebilir hale getirmek veya değiştirmek, takım malzemesini, takım geometrisini, bağlama şartlarını veya kesme sıvısı vb. değiştirmek gerekebilir. En geniş anlamda işlenebilirlik kesici takım–iş parçası çiftine ait aşağıda verilen kriterlerce tanımlanan bir özellik olarak aşağıdaki olduğu gibi gruplandırılabilir (Çakır, 2000) :

1. Takım ömrü
2. Talaş oluşumu

3. Yüzey kalitesi
4. Talaş Debisi
5. Kesme Kuvveti / Güç
6. Yığma Kenar Eğimi

İş parçası malzemesinin kullanılabilir verileri ve gerçekleştirilen işlenebilirlik deneylerinin sonucunda, özel işlemlerde olduğu kadar geniş üretim alanlarında da uygun olarak kullanılacak işlenebilirlik verilerinin belirlenmesi mümkündür. Ancak bir grup işlem için iyi olarak kabul edilen işleme koşulları bir başka grup işlem için uygun olmayabilir.

### **3.2. İŞLENME KABİLİYETİ**

İşlenme kabiliyeti terimi kesin olarak tarif edilmiş bir terim değildir. Bununla birlikte genel anlamı terimin isminden de anlaşılacağı gibi verilen bir iş parçası malzemesinin ne derece kolaylıkla işlenebildiğidir. İşlenme kabiliyeti farklı işleme değerlerine göre değişir, bununla beraber farklı malzemelerin aynı işleme koşulları altında karşılaştırmasını yapmak mümkündür. İşlenme kabiliyetini ölçmek için esas tutulacak en önemli noktalar şunlardır:

1. Muayyen kesme şartları altında kalem ömrünün veya muayyen kesme şartları altında kesme hızının büyüklüğü.  
Bu halde, kesme hızı veya takım ömrü ne derece büyükse, o malzemenin işlenme kabiliyetinin o derece iyi olduğu kabul edilir.
2. Kesme kuvvetlerinin büyüklüğü veya güç sarfiyatı. Muayyen kesme şartları altında, bir malzeme ne kadar az kesme kuvveti veya güç sarfiyatıyla işlenebiliyorsa, o malzemenin işlenme kabiliyetinin o derece iyi olduğu kabul edilir.
3. İş parçası üzerinde husule gelen yüzey düzgünlüğü derecesi.  
Bu halde de muayyen kesme şartları altında o malzemenin yüzey düzgünlüğüne derece iyi ise o malzemenin işlenme kabiliyetinin o derece iyi olduğu kabul edilir.

Bunlar arasında en önemlisi birinci maddedir, yani takım ömrü veya kesme hızıdır. Bununla beraber kesme kuvvetinin ve güç sarfiyatının derecesi de büyük rol oynar. Belirli bir malzeme işlendiği zaman elde edilen takım ömrü, güç sarfiyatı ve yüzey kalitesi talaş kaldırma parametrelerine göre değişir.

### **3.2.1. İş Parçası Malzeme Özelliklerinin İşlenebilirliğe Etkisi**

İşlenebilirliğin değerlendirilmesi ve işleme şartlarının optimizasyonu amacı ile yaygın olarak kullanılan iş parçası malzemeleri incelendiğinde öncelikle temel malzeme özellikleri ve bunların işlenebilirliği nasıl etkilediği dikkate alınmalıdır (Balcı, 2008).

#### **3.2.1.1. Sertlik Ve Dayanım**

Genellikle düşük sertlik ve dayanım değeri daha uygundur. Düşük yüzey kalitesine, çapak oluşmasına ve kısa takım ömrüne sebep olan BUE oluşmasından dolayı problemlere yol açan çok sünek malzemeler bu durumun dışındadır. Bu durumda soğuk çekme ile sertliğin arttırılması işleminin olumlu bir etkisi vardır (Sandvik Coromant, 1997).

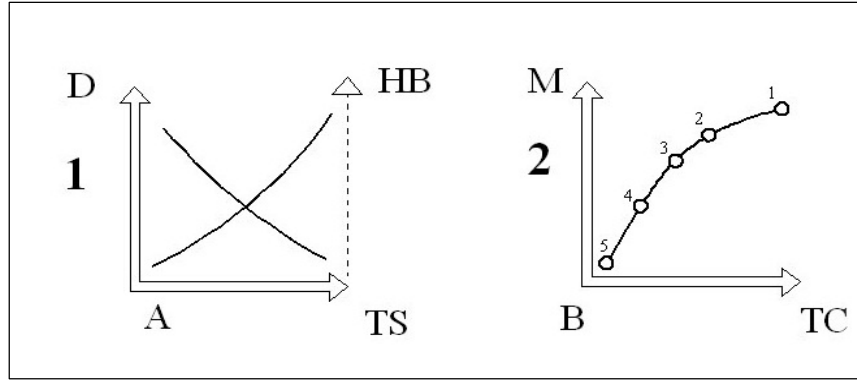
#### **3.2.1.2. Süneklik**

Düşük süneklik değerleri genellikle daha olumludur. Bu durumda Talaş oluşumu avantajlı ve kesme işlemi enerji açısından verimlidir. İyi işlenebilirlik genellikle sertlik ve süneklik arasındaki bir ayar noktasıdır. şekil 3.1' de (1) no lu diyagramda sünekliğin (D) ve sertliğin çekme mukavemetine (TS) göre değişimi gösterilmiştir (Balcı, 2008).

#### **3.2.1.3. Isıl İletkenlik**

Yüksek ısı iletkenlik kesme işlemi esnasında oluşan ısının derhal kesme bölgesinden uzaklaştırılması anlamına gelmektedir. Talaş kaldırma açısından bakıldığında yüksek bir ısı iletkenlik bu nedenle genellikle faydalıdır. şekil 3.1'de (2) nolu diyagramda

işlenebilirlik oranının (M) ısı iletkenliğe (TC) göre değişimi gösterilmiştir. Bu diyagramda 1-Alüminyum, 2-Alaşım sız çelik, 3-Alaşımlı çelik, 4-Paslanmaz çelik, 5-Isıl dirençli alaşımları temsil edilmektedir (Çakır, 2000).



Şekil 3.1. Süneklik ve ısı iletkenlik (Çakır, 2000).

#### 3.2.1.4. Pekleşme

Plastik deformasyon sonrasında, metallerin dayanımı, değişen değerlerde artar. Dayanımdaki artış, deformasyon yüzdesine ve malzemenin pekleşme kabiliyetine bağlıdır. Yüksek pekleşme oranının anlamı, deformasyon oranındaki artışa bağlı olarak hızlı bir dayanım artışıdır (Balcı, 2008).

#### 3.2.1.5. Kalıntılar

Malzemenin yapısı içerisinde makro ve mikro düzeyde iki tip kalıntıdan söz etmek mümkündür. Makro inklüzyonlar, boyutu 150 mm' den büyük olan inklüzyonlardır. Bunlar genellikle, çok sert ve aşındırıcı olup, inklüzyonlardan bağımsız bir malzemeyi kuşatma eğilimlerinden dolayı önemlidir. Düşük kaliteli çeliklerde bulunan inklüzyonlar, üst cüruf veya uygun olmayan cüruf alma vb. gibi fırınlama sırasındaki üretimden kaynaklanır. Pek çok ani takım kırılma problemleri muhtemelen bu tip inklüzyonlar ile açıklanabilir. Mikro inklüzyonlar, çelik içinde değişik miktarlarda daima mevcuttur (Balcı, 2008).

### 3.2.1.6. Malzeme Yapısı

Malzemenin yapısı işlenebilirliği etkiler. Bazı yapılar, aşındırıcı özelliktedir ve malzemenin dayanımı yapı tipiyle değişir. Çeliklerde ise aşındırıcı bileşen karbürlerdir. Bunların miktarı ve biçimi, malzeme özelliklerini doğrudan etkiler. Karbon ve diğer alaşım elementlerinin miktarı, yapıyı doğrudan etkiler. Karbon, karbonlu çeliklerdeki en önemli alaşım elementi olup, içeriğine bağlı olarak çok farklı yapılar elde edilebilir. Çelikte östenit'e ilave olarak üç tip fazdan söz etmek mümkündür ve bunlar işlenebilirliği doğrudan etkiler. Bu fazlar, ferrit, perlit, sementittir (Balcı, 2008).

### 3.3. TAKIM ÖMRÜ

Kesme işlemleri sırasında önemli olan takım ömrünün aşınma nedeniyle tamamlandığının belirlenmesidir. Kesme kuvvetleri ile takım ömrü arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır. Kesme kuvveti (ft) talaş kaldırma işlemleri sırasında takımın aşınma miktarı ile orantılı olacak şekilde lineer olarak artmakta, takımın ömrünü tamamlaması anında kesme kuvvetinde büyük bir artış görülmektedir. Genelde talaş kaldırma olayı; iş parçası, takım, tezgah ve süreç olmak üzere dört faktöre bağlıdır. Kesme işlemine etki eden ve uygun değer talaş kaldırma işlemi içinde değiştirilebilen faktörler kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarıdır. Yapılan deneyler sonucu bu faktörlerin takım ömrüne etkileri farklı oranlarda olmaktadır;

1. Talaş derinliğinin % 50 oranında artırılması takım ömrünün % 5 oranından azalmasına neden olmaktadır.
2. İlerleme miktarının % 50 oranında artırılması takım ömrünün % 60 oranında azalmasına neden olmaktadır.
3. Kesme hızının % 50 oranında artması takım ömrünün % 90 oranında azalmasına neden olmaktadır.

Uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi ile takım ömrünün artırılması mümkün olmaktadır. Kesme hızının düşük seçilmesi takım ucunda kopmalara ve bunun sonucu takımın değiştirilmesine, kesme hızının yüksek seçilmesi ise takımın kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. Optimum kesme hızının belirlenmesinde takım ömrü ile talaş oluşum oranı ve üretim hızı arasında denge kurulmalıdır. Maksimum üretim hızı için kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme arasında minimum takım değiştirmeyi sağlayacak bir denge kurulmalıdır. Üretim hızını etkileyen diğer faktörler :

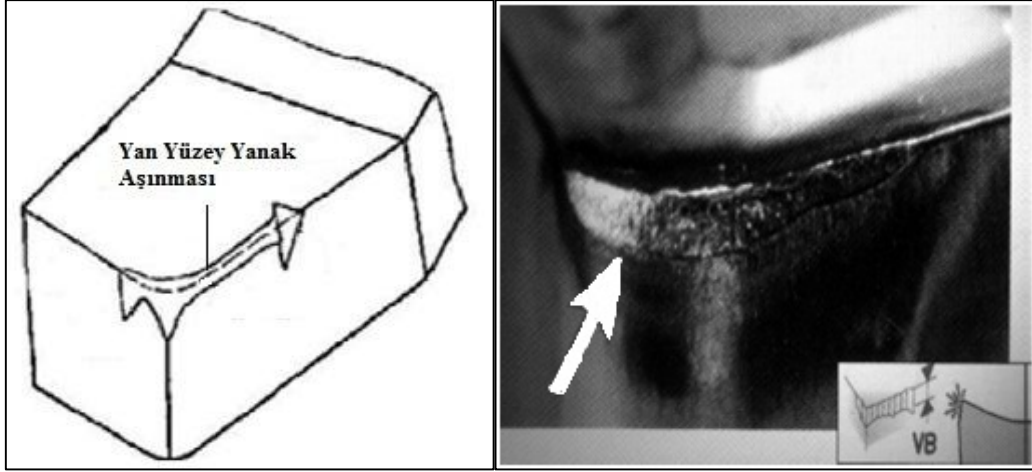
1. Tezgâh gücü,
2. Tezgâh rijitliği,
3. Talaş kaldırma rijitliği' dir.

### **3.3.1. Kesici Takımda Meydana Gelen Aşınma Tipleri**

Kesici takımda kesme esnasında aşınma mekanizmalarına bağlı olarak bir takım aşınmalar meydana gelmektedir. Bu aşınma türleri aşağıda açıklanmıştır (Ucun, 2007).

### **3.3.2. Yan Yüzey Yanak Aşınması**

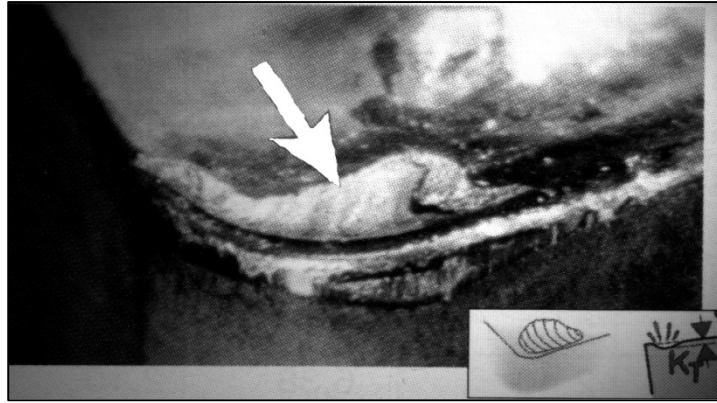
Takımın yan kenar yüzeyi ile işlenmiş iş parçası yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı meydana gelen aşınma türüdür (şekil 3.2). Abrasif bir aşınma mekanizmasından kaynaklanmaktadır. Aşınma bölgesinin alanı aşınma miktarının bir ölçümü olarak alınır. Optik mikroskoplar kullanılarak aşınma sınırları tayin edilebilir. Aşınma miktarı ISO3685 standardına göre genellikle 0.3 mm olduğunda takım ömrünü tamamladığı kabul edilir.



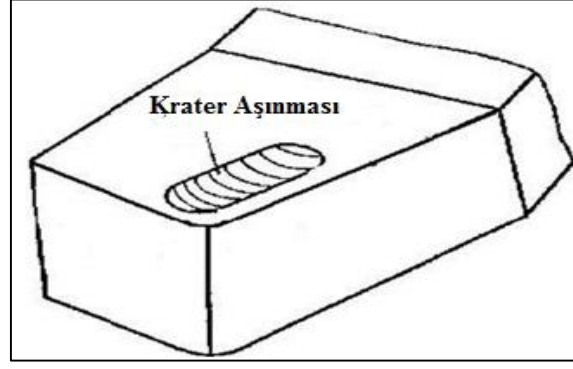
Şekil 3.2. Kesici takımında meydana gelen yan yüzey yanak aşınması (Ucun, 2007; Tool Wear and Tool Life)

### 3.3.3. Krater Aşınması

Talaş kaldırma esnasında takım-talaş temas boyunca aşırı sürtünme ve sıcaklığın etkisiyle meydana gelen aşınma türüdür. Talaş yüzeyinde abrasif ve difüzyon aşınma mekanizmaları nedeniyle oluşur. Krater, talaş kaldırma esnasında sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinde taşlama işlemine benzer bir işlem gerçekleştirmeleri sonucunda veya takım talaş malzemesi arasında talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Aşınma talaşın takım yüzeyinden akmasıyla ya sert partiküllerin kazıma etkileri sonucunda ya da talaş sıcaklığının yoğun olduğu kesimlerin difüzyon etkisi neticesinde meydana gelmektedir.



Şekil 3.3. Krater aşınması (Tool Wear and Tool Life)

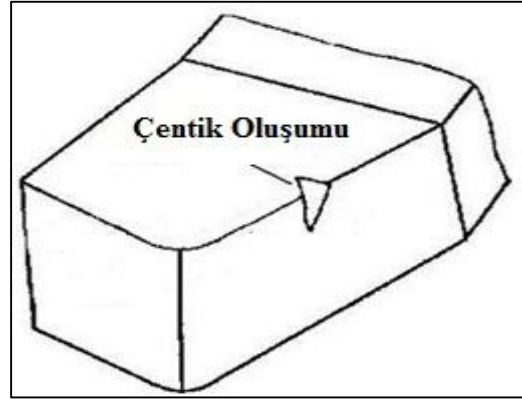


Şekil 3.4. Takımda meydana gelen krater aşınması.

### 3.3.4. Çentik Oluşumu

Esas kesici kenarın kestiği yerlerde önem kazanan özel bir aşınma tipidir ve bazen takımın değiştirilmesini gerektirebilir. Çentiğin profili ve uzunluğu  $VB_N$ , büyük ölçüde takımın yerleştirilmesindeki hassasiyete bağlıdır.(Özçatalbaş, 1996)

Çentik aşınmasının belirli bir değerin üstüne çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler ve kesici kenar zayıflar (Şekil 3.5).

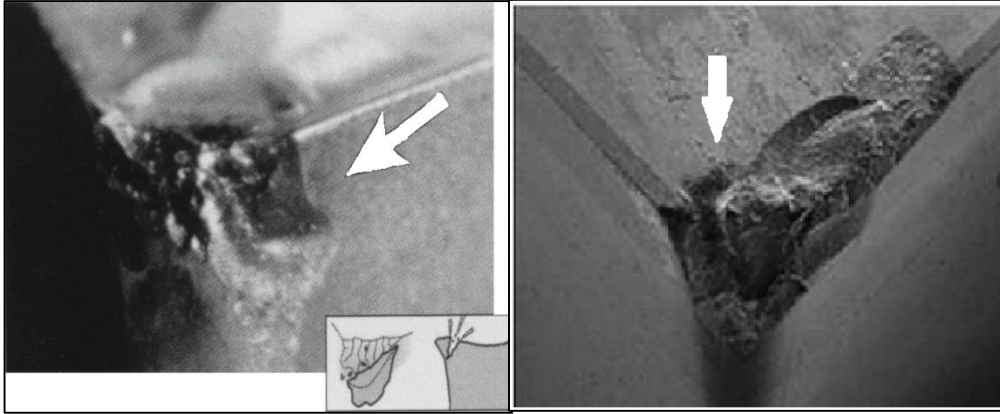


Şekil 3.5. Kesici takımda meydana gelen çentik oluşumu.



### 3.3.5. Kesici Takımın Kırılması

Kesici takımların kırılmasında en önemli unsur tokluktur. Sertlik değeri olan kesici takımlar daha yüksek tokluğa sahipken, seramik kesicilerin tokluk değeri oldukça düşüktür. Bu nedenle darbeli talaş kaldırma işlemlerinde seramik takımlar kullanılmaz. Takım uç dayanımını arttırmak için önemli bir parametre de burun uç yarıçapıdır. Kesiciye ait burun uç yarıçapının artırılması kesme esnasında titreşimlerin azalmasına ve daha iyi bir yüzey kalitesinin elde edilmesine yardımcı olur. Kesici takımlarda görülen en sık kırılma tipleri şekil 3.6' da görüldüğü gibi kabuk halinde kırılma, çatlama, kırıntı oluşma ve kesici kenardan parça ayrılması şeklinde meydana gelmektedir. Seramik kesici takımlar gibi tokluğu düşük olan takımlarla yapılan aralıklı kesme işlemlerinde ve kesme esnasında tekrarlı yüklerin olduğu kesme koşullarında bu tip kırılma olayları görülmektedir.



Şekil 3.6. Kesici takımında meydana gelen kırılmalar (Ucun, 2007; Tool Wear and Tool Life).

### 3.3.6. Kesici Takımda Yığılma Ağız Faktörü (Built-up Edge Faktör)

Talaşlı üretim işlemi esnasında işlenen malzemenin kesici takım üzerinde katmanlar şeklinde tedrici (kedemeli) olarak birikmesi ile oluşan yığıntı talaş (YT), talaş kaldırma işlemi esnasında kesici takım ucunda oluşabilir (Çiftçi, 2005).

YT kesici kenar geometrisinde olumsuz bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi YT biçimindeki kaynaklanmış malzemeye birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesi ile iş parçası malzemesi arasındaki yapı benzerliği de YT oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçlar, iş malzemesinin talaştan takımın talaş yüzeyine basınç kaynağı yapmasına sebep olur.

YT büyüdükçe kararsız hale gelir ve sonunda devam eden talaşlı üretim işlemi sonucu maruz kaldığı gerilmelere dayanamaz ve kırılarak kesici takımdan ayrılır. Çoğunlukla YT' nin bir kısmı, kesici takıma temas eden talaş yüzeyi ile uzaklaştırılır kalan kısım da iş parçası yüzeyinde kalır (Çiftçi, 2005). Yüzey pürüzlülüğü YT oluşumunda genellikle ilk zarar gören unsurdur, ancak; bu tip aşınmanın devam etmesine izin verilirse çok çabuk kesici kenar kırılması hatta takım kırılması riski vardır. Ancak bazı durumlarda kesici takım aşınmasının yerini kesici uçta hızlı kırılmalar alabilir. Deformasyon sertleşmesi ve katmanların sıra ile birikmesi sonucu oluşan YT' in sertliği iş parçası malzemesine göre önemli derecede yüksektir. YT çoğunlukla istenmemesine rağmen, kararlı ve ince bir YT takımın talaş yüzeyini koruyarak aşınmayı azalttığı için çoğunlukla faydalı kabul edilir.

Kesme hızı arttıkça YT küçülür ve oluşumu elimine edilir. YT oluşma eğilimi aşağıdakilerle de azaltılabilir:

1. Kesme derinliği azaltılarak,
2. Talaş açısı arttırılarak,
3. Keskin bir takım kullanılarak,
4. Etkin bir soğutma sıvısı kullanılarak.

Genelde, iş parçası ve kesici takımın birleşme eğilimi yüksek olursa YT oluşumu için eğilim de artar (Çiftçi, 2005).

### **3.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARINDA İŞLENEBİLİRLİĞİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Alüminyum alaşımlarının işlenebilirliğini etkileyen faktörler iki başlık altında incelenebilir. Bunlar, işleme şartları ve malzemenin metalürjik yapısı olarak sıralanabilir. İşleme şartları, kesici takım geometrisi, işlemede kullanılan tezgâhın rijitliği, işleme ortamı, kesme hızı, paso miktarı ve ilerleme miktarı gibi konuları kapsar (Aydın, 2002). Malzemenin metalürjik yapısı ise, malzemenin kimyasal bileşimi ve ısıl işlem geçmişi ve termo mekanik geçmişine bağlı oluşan fazlar ve mikro yapıdır.

#### **3.4.1. İşleme şartlarının İşlenebilirliğe Etkisi**

Alüminyum alaşımlarının işlenmesinde kesici takım geometrisinin önemi çok büyüktür. Bu alaşımların işlenmesinde pozitif talaş açılı takımlar kullanılmalıdır. Pozitif talaş açısının büyüklüğü malzemenin sertliği de göz önünde bulundurularak  $0^{\circ}$  ile  $30^{\circ}$  arasında değişmektedir. Dae ve Dong (Dae ve Dong, 1998) yaptıkları çalışmada  $5^{\circ}$  ve  $7,5^{\circ}$  pozitif talaş açılı kalem kullanmışlardır ve sertliği yüksek olan alüminyum parçalarda yüzey pürüzlülüğü düşük yüzeyler elde etmişlerdir.

Alüminyum alaşımlarının pürüzsüz işlenmesinde kesici takım malzemesinin etkisi de çok büyüktür. Kesici takım malzemesinin işlenen malzemeye duyarlılık derecesinin düşük olması veya duyarlı olmaması pürüzsüz işlemeye olanak sağlar (Dae; Dong, 1998).

## BÖLÜM 4

### YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

#### 4.1. TALAŞLI ÜRETİM İŞLEMİNDE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ

Talaşlı üretimde istenilen yüzey kalitesinin elde edilmesi her zaman önemli çıkış parametrelerinden birisidir. Yüzey hassasiyeti; yüzey pürüzlülüğü, yüzey çatlakları, kimyasal değişme, yanma, temperlenme gibi termal hasarlar ve kalıcı gerilme gibi birçok parametreyi içine alan terimdir. Bunlardan yüzey pürüzlülüğü talaş kaldırma işleminde önemli bir çıkış parametresi olmakta iken; diğerleri ise genelde taşlama işleminin birer çıkış parametresidir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) gereksinimi yaklaşık olarak 1,6 µm'yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 no' lu yayımla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6956 ve TS 930 standartları izlemiştir ( Kaderli, 2009-Özses, 2002).

##### 4.1.1. Yüzey Pürüzlülüğüne Etki Eden Faktörler

Talaşlı üretimde esnasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden parametreler şunlardır (Özses, 2002):

1. Takım tezgâhının rijitlik durumu,
2. Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
3. Takım tutucu rijitlik durumu
4. Takım aşınmasının etkileri,
5. Takım geometrisi,

6. Kesme parametreleri,
7. Malzemenin mekanik özellikleri,
8. Soğutma sıvısının etkileri.

#### 4.1.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Oluşumu

İdeal yüzey pürüzlülüğünün oluşumu şekil 4.1’de şematik olarak gösterilmektedir. Uygulamada, genellikle aşağıda tanımlanan ideal pürüzlülük şartlarına ulaşmak mümkün değildir. Normalde gerçek pürüzlülükte en etkili pürüzlülük tipi doğal yüzey pürüzlülüğüdür. Doğal yüzey pürüzlülüğüne sebep olan en önemli faktörlerden biri yığıntı talaş oluşumudur. İdeal yüzey pürüzlülüğü, geometrik hesaplamalarla elde edilen ve aşağıda verilen eşitlikle elde edilir (Shaw, 1985).

$$Ra = 0,064 \times f^2 / 8r \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. İlerleme hızı ve takım uç yarıçapının yüzey pürüzlülüğüne etkisi (Gadalmaz ve Koura, 2002).

Yığıntı talaş devamlı olarak birikir, dağılır ve dağılan sert parçalar iş parçasına sürtünür. Talaş takım sürtünmesini azaltan ve yığıntı oluşumunu azaltan takım geometrisi ve kesme parametreleri daha düzgün yüzey oluşmasını sağlar. Genelde yüzey pürüzlüğü değerleri olarak taşlama işlemi için 0,05-1,6 µm, finiş tornalama için 0,1 µm’ den 1,0 µm’ ye kadar, frezeleme ve kaba tornalama için ise 1,6 µm’ den daha yüksek olan Ra değerleri kabul edilebilir (Özses, 2002).

### 4.1.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçme Teknikleri

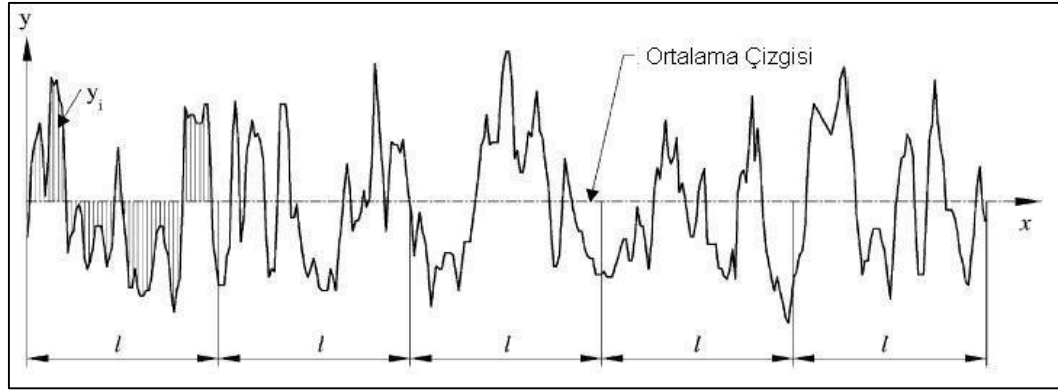
Çeşitli şekillendirme işlemleri sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerlerini belirlemek için farklı metotlar mevcuttur. Talaşlı üretim metotlarıyla elde edilen yüzeylerin pürüzlülük değerlerinin belirlenmesinde izleyici uca sahip cihazlar kullanılır.

## 4.2. YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK PARAMETRELERİ

### 4.2.1. Örnekleme Uzunluğu ve Örnekleme Sayısı

Şekil 4.2' de örnekleme uzunluğu (L) kesicinin ilerlemesini temsil edecek büyüklükte seçilmelidir. Profil üzerinde değerlendirilen bütün örnekleme uzunluklarının bir araya gelmesi ile ölçüm uzunluğu (ln) oluşur. ln,  $n \geq 5$  olmak üzere, L ile n'in çarpılması ile elde edilir (Gadelmavla and Koura, 2002).

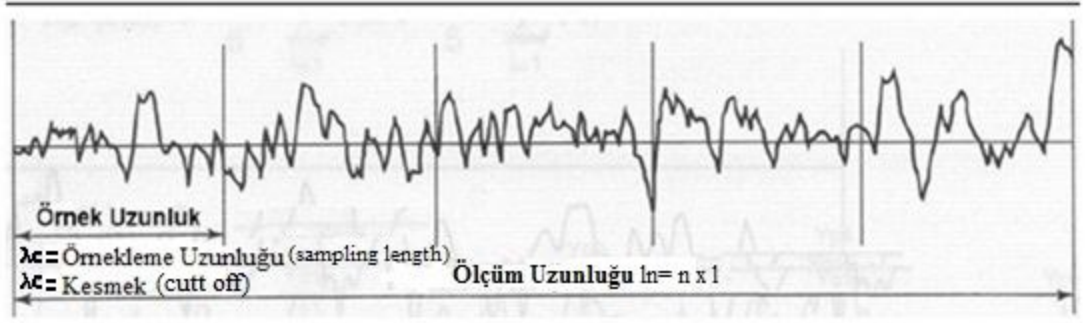
$$l_n = l \cdot n \quad (4.2)$$



Şekil 4.2. Örnekleme uzunluğu ve sayısı ile ölçüm uzunluğu (Gadelmavla and Koura, 2002).

### 4.2.2. Ortalama Çizgisi

Ölçme uzunluğu içinde profilin üstte ve altta kalan alanlarının eşit olduğu yerden geçen doğrudur. Şekil 4.3' de tipik yüzey pürüzlülüğü üzerinde ortalama çizgisi gösterilmiştir (Özses, 2002).



Şekil 4.3. Ortalama yüzey pürüzlülüğünün grafiksel ifadesi (Gadelmavla and Koura, 2002).

#### 4.2.3. Ortalama Yüzey Pürüzlüğü (Ra)

Şekil 4.3' de gösterildiği gibi ortalama çizgisinin altında ve üstünde oluşan mutlak yükseklik değerlerinin aritmetik ortalama değeridir. Kalite kontrolünde dünya çapında kabul görmüş bir yüzey pürüzlülük parametresidir. Bu parametrenin tanımlaması ve ölçmesi kolaydır. Yükseklik dağılımları hakkında genel bir tanımlama getirdiği için dalga boyu ve profildeki hassas değişimler hakkında yeterli bir bilgi vermez. Matematiksel tanımlaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Gadelmavla and Koura, 2002)

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad (4.3)$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (4.4)$$

## BÖLÜM 5

### MALZEME VE METOT

#### 5.1. GİRİŞ

Bu çalışmada AA 6082 malzemesinin yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Yaşlandırma ısıl işlemi 180°C sıcaklıkta 2 farklı sürede (2 ve 24) yapılmıştır. Daha sonra yaşlandırma işlemi yapılan numunelerin sertlikleri ölçülmüş metalografik incelemesi yapılmış ve yüzey pürüzlülüğüne bakılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan AA 6082 alaşımının kimyasal bileşimi malzemelerin temin edildiği üretici firma tarafından belirlenmiştir. Çizelge 5.1’de deney malzemesi olan AA 6082 alaşımının kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 5.1. AA 6082 Alaşımının kimyasal bileşimi (Ulucak, 2003).

Element	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Zn	Ti	Cr
Ağırlık Oranı (%)	0,7-1,3	0,50	0,10	0,6-1,2	0,40-1	0,20	0,10	0,25

#### 5.2. YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ

Yaşlandırma ısıl işleminin ilk aşamasında AA 6082 numuneler 520°C sıcaklıktaki fırında solüsyona alınmıştır. İkinci aşamada malzeme solüsyona alma sıcaklığında, beş saat bekletildikten sonra iki numune suda soğutulmuştur. Bir numune ise oda sıcaklığında soğutulmuş ve yaşlandırma yapılmamıştır. Üçüncü aşamada ise yaşlandırma ısıl işlemi yapılmıştır. Yaşlandırma işlemleri AA 6082 alüminyum alaşımları için 180°C sıcaklığında 2 ve 24 saat olmak üzere iki farklı zaman aralığında şekil 5.1’de görülen fırında yapılmıştır.



Yaşlandırma işlemi yapılan fırının 9 litre iç hacmi, 150\*330\*180 mm iç ölçülere, 5kW güç sahip ve 1600°C sıcaklığa kadar ısıtılabilen fırın kullanılmıştır. Yaşlandırma ısıtılabilen malzemeler, fırın ortamında oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Çizelge 5.2’de yaşlandırma ısıtılabilen malzemenin parametreleri verilmiştir.

Çizelge 5.2. Deneyde kullanılan yaşlandırma ısıtılabilen malzemenin parametreleri

Malzeme	Solüsyona Alma Sıcaklığı	Su Verme Sıcaklığı	Yaşlandırma Sıcaklığı	Yaşlandırma Süreleri
AA 6082	520°C	20°C	180°C	2 Saat
				24 Saat



Şekil 5.1. 180°C de Yaşlandırma ısıtılabilen malzemenin yapıldığı fırın.

### 5.3. METALOGRAFİK İŞLEMLER

AA 6082 alaşımının metalografik incelemesi için yaşlandırma işlemi uygulanmamış ve yaşlandırılmış numuneler (şekil 5.3) mikro yapı incelemeleri için soğuk gömme yöntemi ile polyestere alınmıştır. Zımparalama ve polisaj işlemlerinde şekil 5.2’ te resmi verilen PRESI MECAPOL P 262 modeli polisaj cihazı kullanılmıştır ve cihazın genel özellikleri Çizelge5.3’de verilmiştir. Metalografik incelemesi yapılacak numuneler sırasıyla 600, 800, 1000 ve 1200 grit zımparalar ile yüzeyleri hazırlanmıştır.



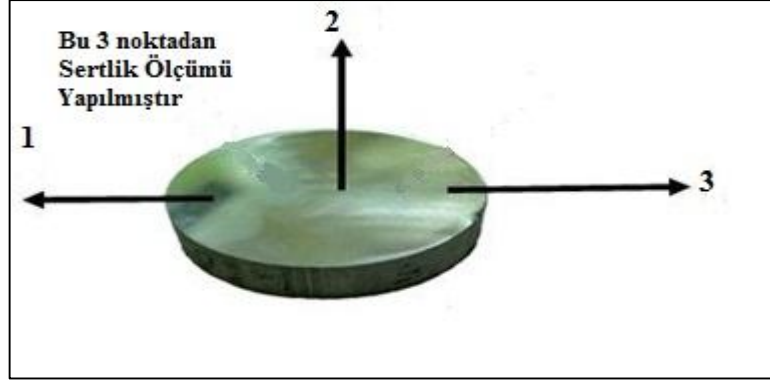
Şekil 5.2. PRESI MECAPOL P 262 model polisaj cihazı.

Çizelge 5.3. PRESI MECAPOL P 262 model polisaj cihazı genel özellikleri.

Kullanılabilen modeller	Mecapol P230 – P260 – P262
Dönüş Hızı	20 – 100 rpm
PEIU Modeli	Ø 20 – Ø 40 mm arasında aynı anda 4 adet numune hazırlama
PERU Modeli	Ø 20 – Ø 30 mm arasında aynı anda 6 adet numune hazırlama Ø 40 mm' de aynı anda 3 adet numune hazırlama
Baskı Yöntemi	Merkezi ve Bireysel

#### 5.4. SERTLİK ÖLÇÜMLERİ

Yaşlandırma ısı işlemi uygulanmamış ve uygulanmış numunelerin 2,5 bilya çapı olan Brinell sertlik değeri, şekil 5.4'de resmi verilen AFFRI SYSTEM VRSD 251 sertlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Malzeme üzerinden üç farklı noktadan sertlik ölçümü yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 5.3. Makro sertlik ölçümü için hazırlanmış numune.



Şekil 5.4. AFFRI SYSTEM VRSD 251 Sertlik ölçüm cihazı.

Çizelge 5.4. AFFRI SYSTEM VRSD 251 Sertlik ölçüm cihazı genel özellikleri.

Parçaya Yaklaşım	Otomatik Yaklaşım
İlk Kontrol	Etkili ve hatasız sonuç verme
Kafa Hareketi	Otomatik olarak yüzeye iner
Duyarlılık	50 mm' ye kadar duyarsız
Ölçüm Özelliği	Titreşim ve ısı değişimlerine rağmen ölçüm yapma

## 5.5. KESİCİ TAKIM VE TAKIM TUTUCU

İşlenebilirlik deneyleri için hazırlanan numuneler BÖHLER firmasından LC610M (HC-K10) kalitesinde mekanik sıkmalı tip olan TCGT 16T308-270 (0,8 radyüs) ISO kodlu uç seçilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kullanılacak ucu bağlamak için TAKIMSAŞ firmasından STGCL 2020K16 kodlu kater kullanılmıştır.

## 5.6. TORNA TEZGAHI

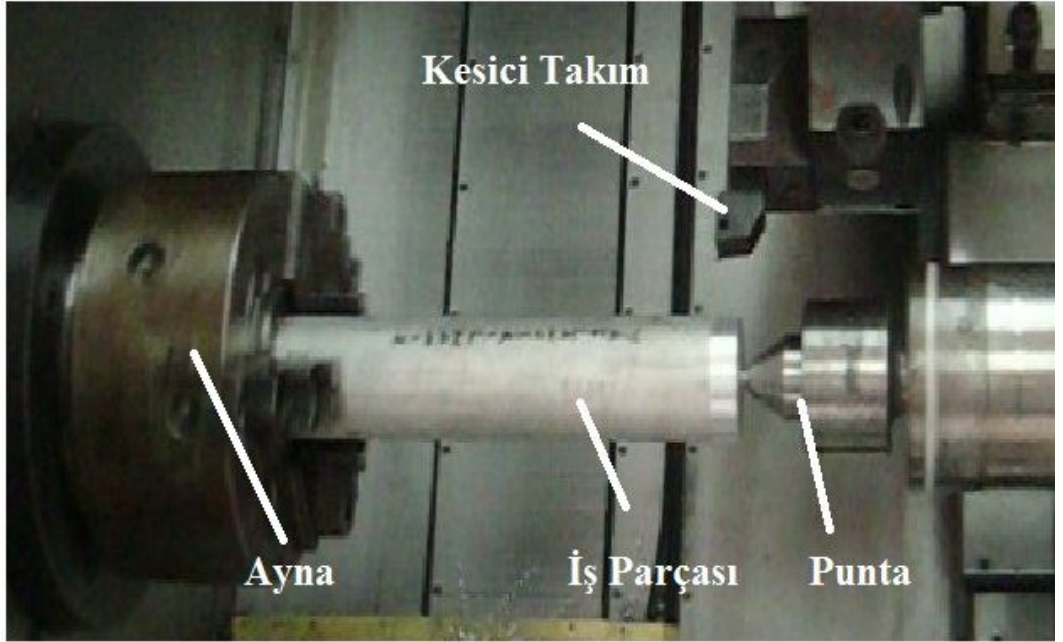
İşlenebilirlik deneyleri için hazırlanan malzemeler (şekil 5.5) ayna punta arasında (şekil 5.6) bağlanarak yapılmıştır. TAKSAN TTC-550 CNC torna tezgahının iş mili değişken kademesiz mile sahip olup 6000 dev/dak' ya çıkabilmektedir ve gücü de 10kW' tır.

Çizelge 5.5. Taksan TTC-550 CNC Torna tezgahının genel özellikleri.

İş mili devir aralığı	10 – 6000 dev/dak
Max. İş Parçası tornalama boyu	550 mm
İş mili motor gücü	10 kW
X-Ekseni Hareket-Hız	197 mm – 30 m/dak
Z-Ekseni Hareket-Hız	550 mm – 30 m/dak
Max. İş Parçası Çapı	500 mm
İki Punta Arası Tornalama Çapı	210 mm
Takım Bağlama İstasyonu	12 Adet



Şekil 5.5. Deneyler için hazırlanan AA 6082 yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numuneler



Şekil 5.6. Ayna-Punta arasına bağlanan parça

## 5.7. İŞLENEBİLİRLİK DENEYLERİ

Yaşlandırma ısı işlemleri yapılan AA 6082 alüminyum numuneler sabit (1 mm) kesme derinliğinde Çizelge 5.6’ de verilen kesme parametreleri kullanılarak işlenmiştir.

Çizelge 5.6. Deneilerde kullanılan kesme parametreleri

Deney No	İlerleme Miktarı $f$ [mm/dev]	Kesme Hızı $V_c$ [m/dak]
1	0,05	100
2		200
3		300
4		400
5		500
6	0,1	100
7		200
8		300
9		400
10		500
11	0,05	100
12		200
13		300
14		400
15		500
16	0,1	100
17		200
18		300
19		400
20		500
21	0,05	100
22		200
23		300
24		400
25		500
26	0,1	100
27		200
28		300
29		400
30		500

## BÖLÜM 6

### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 6.1. YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİ YAPILAN AA 6082 ALAŞIMLARININ SERTLİK İNCELEMELERİ

AA 6082 numunelerinin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlik değerleri Çizelge 6.1' de verilmiştir. Yaşlandırma işleminde artan süreye bağlı olarak sertlik değerleri artmaktadır.

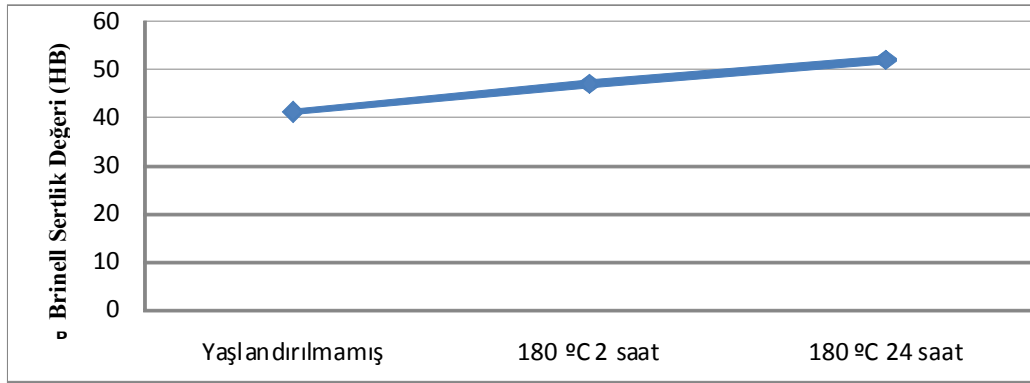
Yaşlandırılmamış numunenin ortalama Brinell sertliği, 41 Brinell sertlik değeri (HB)' dir. Yaşlandırma işlemi yapılan numunelerden en yüksek değer 24 saat yaşlandırma süresinde 52 HB olarak elde edilmiştir. Şekil 6.1' de elde edilen sertlik değerleri belirtilmiştir.

Yaşlandırma ısıl işlemi yapılan numunelerin sertlik değerlerinin artması yaşlandırma süresinin artışı ile kafes sistemi içerisinde bulunan boşluklar yardımı ile oluşan difüzyon etkisi ile gerçekleşmektedir. Bu boşlukların çözen atomların sayıca çok olmasından dolayı GP bölgelerinin oluşumu için önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir (Cavazos and Colas, 2001).

Bölgesel segregasyon, GP bölgesi içerisinde kafes düzlemlerinin distorsiyonuna yol açar ve matris içerisindeki birçok atom tabakalarının genişlemesine sebep olur. GP bölgelerin miktarının artmasıyla kafes sisteminin distorsiyonu artar. Yaşlandırma başlangıcı ve sertlik değeri artışının en tepe noktasındaki yaşlandırma koşullarındaki çökeltilerin oluşumuna bağlı olarak dislokasyon hareketinin engellenmesinin sonucu olarak dayanım artışı meydana gelmektedir. Dayanım artışıyla beraber sertlik değerinde de bir artış meydana gelmektedir (Cavazos and Colas, 2001).

Çizelge 6.1. AA 6082 Malzemesinin sertlik değerleri

Malzemenin Durumu	1.Deney Sonucu	2.Deney Sonucu	3.Deney Sonucu
Yaşlandırılmamış	42,5 HB	42,9 HB	40,6 HB
180 °C (2 saat)	44,4 HB	46,9 HB	47,2 HB
180 °C (24 saat)	52,1 HB	48,1 HB	51 HB

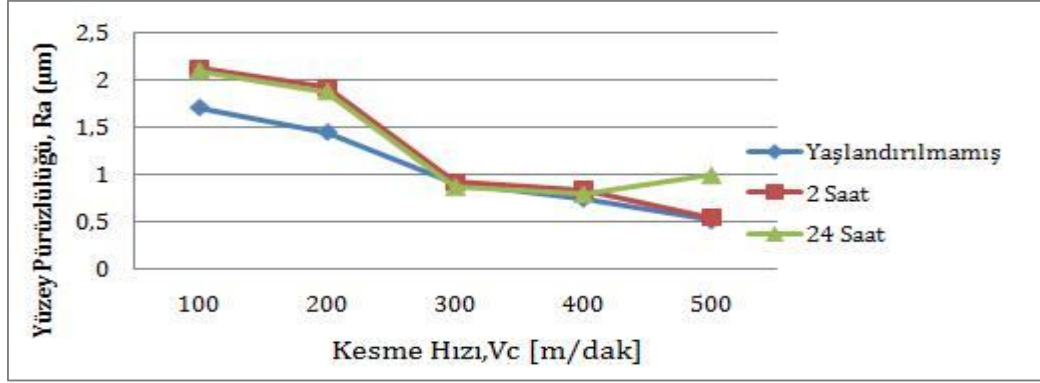


Şekil 6.1. AA 6082 Malzemesinin ortalama sertlik değerleri

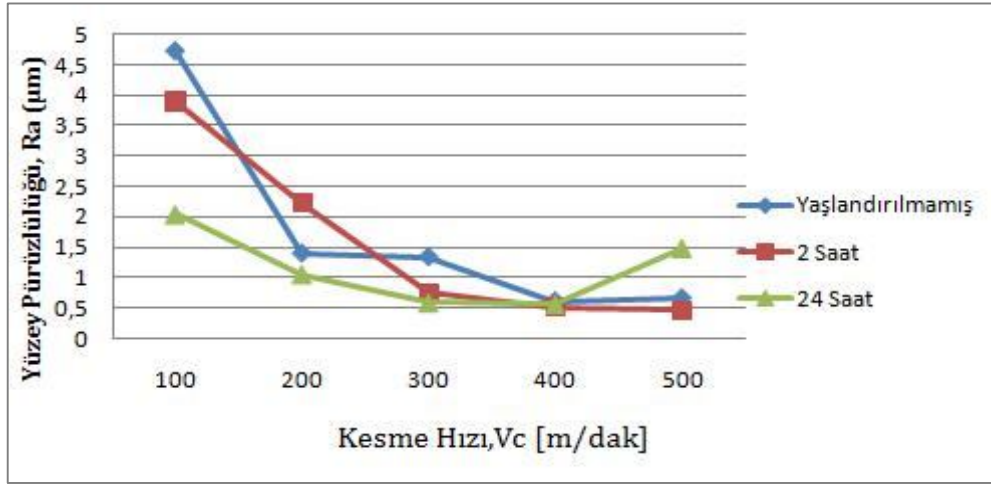
## 6.2. YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN AA 6082 ALAŞIMLARININ İŞLENEBİLİRLİK VE YÜZEY PÜRÜZLÜLÜK İNCELEMELERİ

Bu çalışmada, AA 6082 malzemesi tornalama yöntemi ile işlenmiştir. AA 6082 malzeme belirlenen kesme parametrelerinde sabit uç yarıçapına sahip kesici takımlarla işlenmesi sonucu elde edilen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) şekil 6.2' de ve şekil 6.3' de verilmektedir.





Şekil 6.2. AA 6082 Numunelerin kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması  $a = 1 \text{ mm}$  ve  $f = 0,05 \text{ mm/dev}$ ' de



Şekil 6.3. AA 6082 Numunelerin kesme hızı ve yüzey pürüzlülüğü kıyaslaması  $a = 1 \text{ mm}$  ve  $f = 0,1 \text{ mm/dev}$ ' de

Yapılan her bir tornalama işlemi ile elde edilen yüzeyler üzerinde üç yüzeyden pürüzlülük ölçümü yapılmıştır. Çizelge 6.2' de yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.2. AA 6082 Al. alaşımın yüzey pürüzlülük değerleri




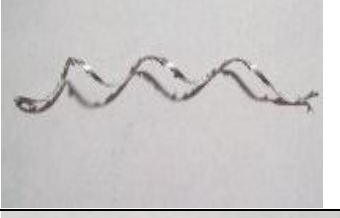

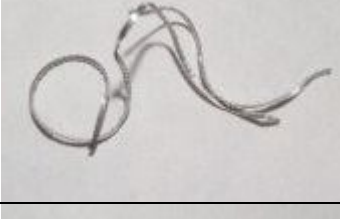
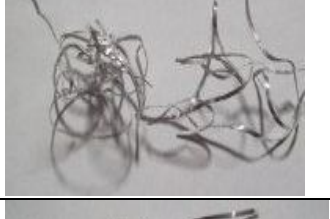
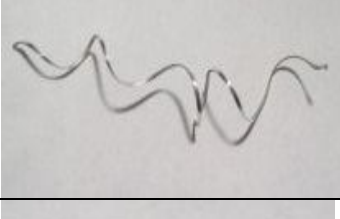


Yaşlandırılmamış	1. Vc=100m/dk n=636dev/dk	2. Vc=200m/dk n=1273dev/dk	3. Vc=300m/dk n=1909dev/dk	4. Vc=400m/dk n=2546dev/dk	5. Vc=500m/dk n=3183dev/dk
a=1mm	1,630	1,515	0,809	0,689	0,510
f=0,05 mm/dev	1,469	1,379	0,787	0,627	0,566
	1,361	1,380	0,723	0,571	0,562
	6.	7.	8.	9.	10.
a=1mm	4,946	1,496	1,393	0,658	0,692
f=0,1mm/dev	4,286	1,424	1,356	0,665	0,626
	4,932	1,257	1,254	0,501	0,659
2 saat yaşlandırılmış	11.	12.	13.	14.	15.
a=1mm	1,927	2,018	0,734	0,745	0,537
f=0,05mm/dev	2,212	2,374	0,675	0,796	0,451
	2,481	1,922	0,729	0,965	0,414
	16.	17.	18.	19.	20.
a=1mm	3,662	2,438	0,753	0,411	0,503
f=0,1mm/dev	3,714	2,151	0,778	0,583	0,440
	4,317	2,101	0,705	0,586	0,439
24 saat yaşlandırılmış	21.	22.	23.	24.	25.
a=1mm	2,032	1,857	0,693	0,656	1,257
f=0,05mm/dev	2,161	2,078	0,538	0,605	1,029
	2,225	1,974	0,832	0,410	1,016
	26.	27.	28.	29.	30.
a=1mm	1,867	1,071	0,565	0,449	1,543
f=0,1mm/dev	2,024	0,932	0,630	0,693	1,463
	2,240	1,163	0,578	0,548	1,461

En düşük Ra değeri 0,410  $\mu\text{m}$  iken en yüksek Ra değeri ise 4,946  $\mu\text{m}$ ' dir. Bu farklılıklar yaşlandırılmamış ve yaşlandırılmış AA 6082 alaşımlarının işlenmesi esnasında kesici takımda oluşan yığıntı talaşa ve bu oluşan yığıntı talaşın kesme hızına, ilerleme hızına ve malzemenin sünekliğine bağlı olarak değişmektedir. 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 bölgedeki kesici takım ve talaş arasındaki klasik sürtünme olduğu gibi kabul edilmiştir, fakat bu yaklaşımın genellikle uygun olmadığı görülmüştür. Kesici takım, talaş ve ani durdurma ile elde edilen numuneler üzerinde

yapılan metalurjik incelemelerde, bu bölgede çoğunlukla klasik sürtünmenin olmadığı ve yapışmanın olduğu sonucuna varılmıştır (Trent, 1989). Kesici uçta oluşan yığıntı talaş iş parçası malzemesinden çok sert olduğu için aktif olarak kesme işlemi yapar. Düzensiz bir yapıda olması nedeniyle de yüzey pürüzlülük değerini arttırır. İlave olarak kırılması durumunda kesici takımdan da bir parça koparır. Bu kopma sonucunda düzenli bir kesici uçtan ziyade düzensiz bir kesici uç oluşacağı için yüzey pürüzlülük değerini arttırır. Özellikle, bu kırılma da kesici takımın yeni işlenmiş yüzeyi ile temasta olan ikinci kesme kenarında gerçekleşirse yüzey pürüzlülük değerinde ciddi artış olabilir.

Çizelge 6.3, 6.4 ve 6.5’ de yaşlandırma işlemi yapılmamış ve yaşlandırma işlemi yapılmış numunelerin belirli kesme parametreleri kullanılarak işlenmesinden elde edilen talaşlarda yanma olmadığı görülmüştür.  $f = 0,05$  mm/dev’ de sürekli ve kıvrımlı talaşların sık çıktığı,  $f = 0,1$  mm/dev’ de ise sürekli ve kıvrımlı talaşın daha az çıktığı görülmüştür.

Çizelge 6.3. Yaşlandırılmamış numune talaşları

Yaşlandırılmamış Numune	İlerleme Hızı, $f=0,05$ mm/dev	İlerleme Hızı, $f=0,1$ mm/dev
Kesme Hızı, $V_c=100$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=200$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=300$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=400$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=500$ m/dak		

$V_c = 100$  m/dak ve  $f = 0,05$  mm/dev ve  $f = 0,1$  mm/ dev' de yapılan işlemlerde kıvrımlı talaş.







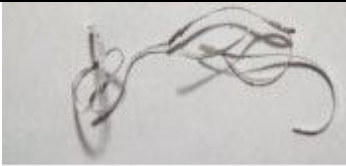



$V_c = 200$  m/dak ve  $f = 0,05$  mm/dev ve  $f = 0,1$  mm/ dev' de yapılan işlemlerde kesikli talaş.

$V_c = 300$  m/dak ve  $f = 0,05$  mm/dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş ve  $f = 0,1$  mm/ dev' de yapılan işlemlerde kesikli talaş.

$V_c = 400$  m/dak ve  $f = 0,05$  mm/dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş ve  $f = 0,1$  mm/ dev' de yapılan işlemlerde kıvrımlı talaş.

$V_c = 500$  m/dak  $f = 0,05$  mm/dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş ve  $f = 0,1$  mm/ dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş.

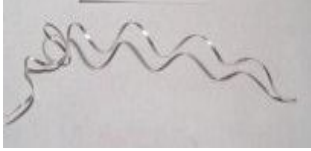



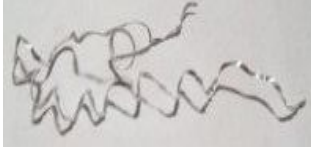




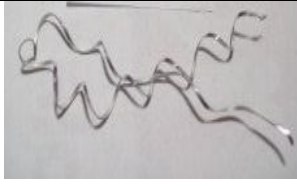
Çizelge 6.4. 2 Saat yaşlandırılmış numune talaşları

2 Saat Yaşlandırılmış Numune	İlerleme Hızı, $f=0,05$ mm/dev	İlerleme Hızı, $f=0,1$ mm/dev
Kesme Hızı, $V_c=100$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=200$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=300$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=400$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=500$ m/dak		

$V_c = 100$  m/dak ve  $V_c = 200$  m/dak  $f = 0,05$  mm/dev' ve  $f = 0,1$  mm/dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş.

$V_c = 300$  m/dak,  $V_c = 400$  m/dak ve  $V_c = 500$  m/dak  $f = 0,05$  mm/dev ve  $f = 0,1$  mm/dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş.

Çizelge 6.5. 24 Saat yaşlandırılmış numune talaşları

24 Saat Yaşlandırılmış Numune	İlerleme Hızı, $f=0,05$ mm/dev	İlerleme Hızı, $f=0,1$ mm/dev
Kesme Hızı, $V_c=100$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=200$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=300$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=400$ m/dak		
Kesme Hızı, $V_c=500$ m/dak		

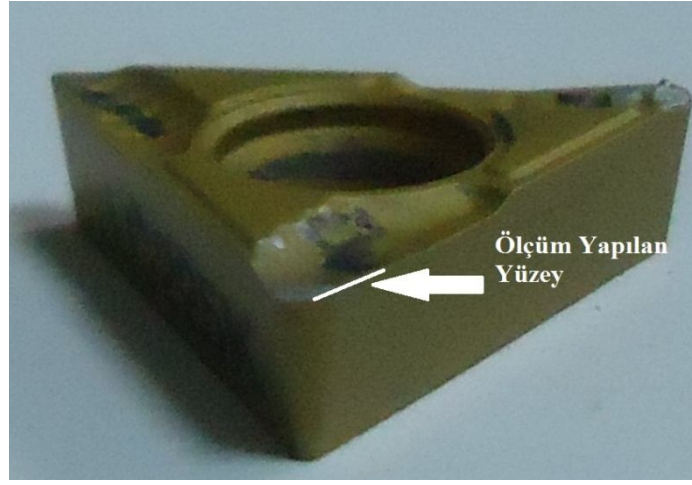
$V_c = 100$  m/dak ve  $V_c = 200$  m/dak  $f = 0,05$  mm/dev ve  $f = 0,1$  mm/dev' de yapılan işlemlerde kıvrımlı talaş.

$V_c = 300$  m/dak ve  $f = 0,05$  mm/dev' de yapılan işlemlerde kıvrımlı talaş  $f = 0,1$  mm/dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş.

$V_c = 400$  m/dak ve  $V_c = 500$  m/dak  $f = 0,05$  mm/dev' de yapılan işlemlerde sürekli talaş ve  $f = 0,1$  mm/dev' de yapılan işlemlerde kıvrımlı talaş.

### 6.3. KESİCİ TAKIMDA MEYDANA GELEN UÇ AŞINMALARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada tornalama işleminde kullanılan BÖHLER firmasından LC610M (HC-K10) kalitesinde mekanik sıkmalı tip olan TCGT 16T308-270 (0,8 radyüs) ISO kodlu uç kullanılmıştır. Şekil 6.4' de görülen kesici takımın 3 yüzeyi de ölçülmüştür. Kesme işlemi esnasında uçta aşınmalar meydana gelmiştir. Çizelge 6.6' da aşınma değerleri verilmiştir.



Şekil 6.4. Kesici takım uç aşınması ölçüm yüzeyi

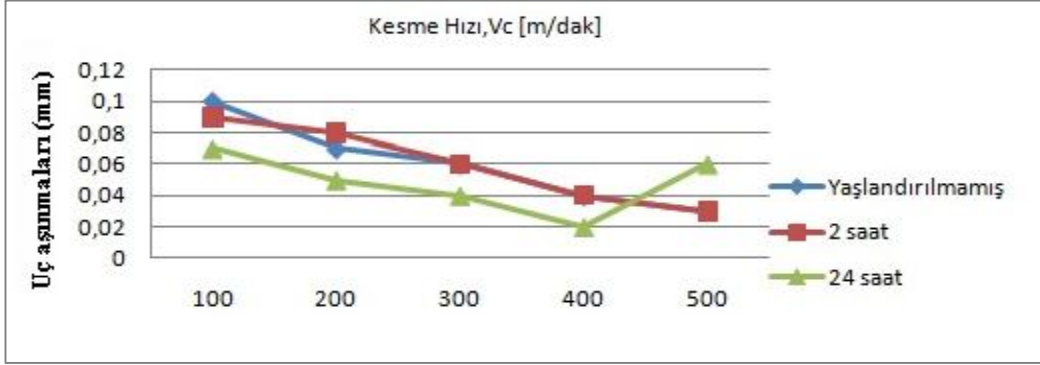


Çizelge 6.6. Kesici takımda meydana gelen uç aşınmaları

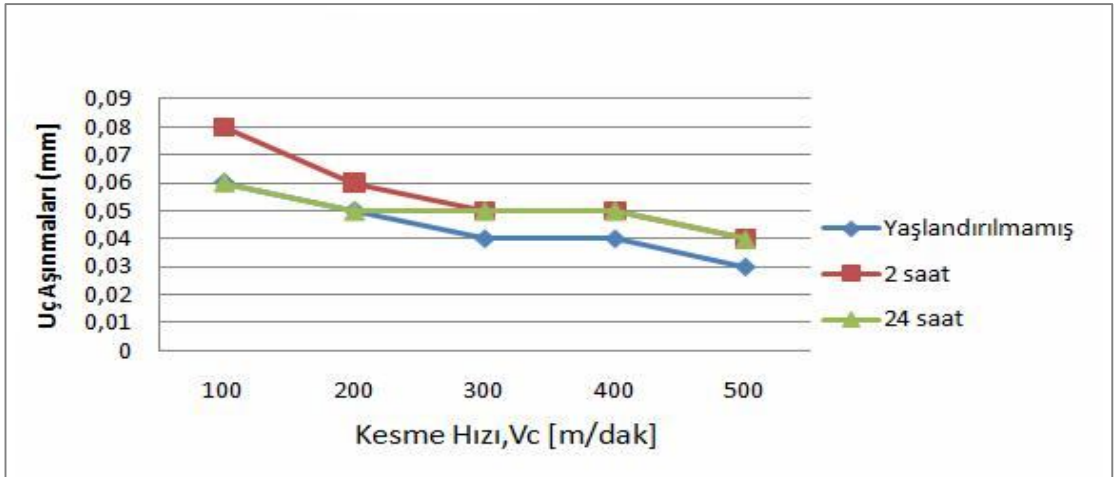
Yaşlandırılmamış	1. Vc=100m/dk	2. Vc=200m/dk	3. Vc=300m/dk	4. Vc=400m/dk	5. Vc=500m/dk
a=1 mm f= 0,05 mm/dev	0,1	0,07	0,06	0,04	0,03
	6.	7.	8.	9.	10.
a=1 mm f= 0,1 mm/dev	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03
2 Saat Yaşlandırılmış	11.	12.	13.	14.	15.
a=1 mm f= 0,05 mm/dev	0,09	0,08	0,06	0,04	0,03
	16.	17.	18.	19.	20.
a=1 mm f= 0,1 mm/dev	0,08	0,06	0,05	0,05	0,04
24 Saat Yaşlandırılmış	21.	22.	23.	24.	25.
a=1 mm f= 0,05 mm/dev	0,07	0,05	0,04	0,02	0,06
	26.	27.	28.	29.	30.
a=1 mm f= 0,1 mm/dev	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04

Kesici takım üzerinde meydana gelen aşınma (mm) olarak ölçülmüş olup değerleri alınmıştır. En yüksek aşınma Vc=100 m/dak ve f=0,05 mm/dev' de yaşlandırma işlemi yapılmamış numunede meydana gelmiştir. En düşük aşınma ise Vc=400 m/dak ve f=0,05 mm/dev' de 24 saat yaşlandırma işlemi yapılmış numunede meydana gelmiştir.

Kesici takımda meydana gelen aşınmalara ait değerler şekil 6.5 ve şekil 6.6' de verilmiştir.



Şekil 6.5. Kesici uçta meydana gelen aşınma  $f=0,05$  mm/dev



Şekil 6.6. Kesici uçta meydana gelen aşınma  $f=0,1$  mm/dev

## BÖLÜM 7

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada AA 6082 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işlemi sonunda işlenebilirlik ve yüzey pürüzlülüğüne yaşlandırmanın etkisi incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. AA 6082 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işleminden sonra alaşımın dayanımını arttırıcı çökelti olarak  $Mg_2Si$  ve  $AlFeSi$  olduğu tahmin edilmektedir.
2. AA 6082 alaşımlarının yaşlandırma ısıl işlemi sonrasında yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak yapı içerisinde dayanımı arttırıcı çökelti oluşumu meydana gelmiş ve sertlik değerlerinde önemli bir artış sağlanmıştır.
3. Farklı sürelerde yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan numunelerin kesme hızına bağlı olarak yüzey pürüzlülükleri değişiklik göstermiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri yaşlandırma işlemi uygulanmamış numuneden elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri ise 24 saat yaşlandırılmış numuneden elde edilmiştir.
4. 24 saat yaşlandırma işlemi yapılan AA 6082 malzemesi için 400 m/dak kritik noktadır. Aşırı yaşlanmadan dolayı çökelti boyutlarında artış meydana gelmiştir ve buna bağlı olarak dislokasyonlar çökeltiyi kestiği için yüzey pürüzlülüğü değişmiştir.
5. Farklı kesme hızlarına bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri değişiklik göstermiştir. En yüksek yüzey pürüzlülük değeri en düşük kesme hızı olan 100 m/dak' da ve 0,1 ilerleme hızında elde edilmiştir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 400 m/dak' da ve 0,05 ilerleme hızında elde edilmiştir. Bunun nedeni ise, büyük kesme hızlarında büyük boyutta yığıntı talaşın (YT) oluşması yüzey pürüzlülüğünün artmasına sebep olmaktadır.

Kesme hızının artması ile yığıntı talaş (YT) oluşumu engellenmiş ve yüzey pürüzlülüğü azalmıştır.

6. Sünekliği yüksek olan malzemelerde yığıntı talaş (YT) oluşum eğilimi daha yüksektir. Bununla beraber yığıntı talaş (YT) düşük kesme hızlarında geniş ve kararsız olduğunda yüzey pürüzlülük değeri artar. Kesme hızı arttırıldığı zaman yığıntı talaş (YT) oluşum eğilimi artan takım talaş ara yüzeyi sıcaklığına bağlı olarak azalır.

Bu çalışmada solüsyona alma sıcaklığı 520°C seçilerek, numuneler bu sıcaklıkta 5 saat süre ile bekletilmiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi 180°C sabit sıcaklıkta 2 farklı zaman aralığında (2 ve 24 saat) yapılmıştır. İleride yapılacak çalışmalar da solüsyona alma sıcaklığı ve solüsyona alma süreleri değişebilir. Yaşlandırma ısıl işlemi için, farklı sabit sıcaklıkta ve farklı zaman aralıkları kullanılarak, deneyler tekrar edilebilir.

## KAYNAKLAR

Ashby, M.F. and Jones, D.R.H. “Engineering materials 2”, *Pergamon*, Great Britain, 396 (1994).

Askeland, D.R. “Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri”, (Çeviren: Erdoğan, M.), *Nobel Kitapevi*, Ankara, 1: 364 (1998).

Aydın, B. “AA 2014 Alaşımında yaşlandırma ısıl işleminin işlenebilirlik üzerindeki etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 129 (2002).

Balcı, B. “AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemenin işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 15-16 (2008).

Brown, J.R. “Foseco Non-Ferrous foundryman’s handbook”, *Butterworth-Heinemann*, Oxford, 11: 340 (1999).

Çakır, M.C. “Modern talaşlı imalat yöntemleri”, *Vipaş Yayınevi*, Bursa, 536 (2000).

Çiftçi, İ. “Alüminyum esaslı kompozitlerde takviye oranı ve boyutunun mekanik özellikler ve işlenebilirlik üzerine etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-90 (2003).

Çiftçi, İ. “Kesici takımlar ve kesme teorisi ders notları”, *Z.K.Ü, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 3-15 (2005).

Dae, E.K. and Dong, H.H. “Experimental investigation of the contact sliding behavior of metals”, *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 120: 395-400 (1998).

Erdoğan, M. “Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri , demir dışı alaşımlar”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 2: 342-345 (2001).

Erol, E. “Çökeltme sertleşmesi”, Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Metal Eğitimi Bölünü*, Sakarya, 6 (2001).

Gadelmavla, E.S. and Koura, M.M. “Roughness parameter”, *Journal of Material Processing Technology*, 123: 133-145 (2002).

Kaya, I. “AA 7075 Alaşımının Şekillenme ve Isıl İşleme Özelliklerinin İyileştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 84 (2005).

Kushan, M.C. “Havacılık malzemeleri 1, ders notu”, *Osmangazi Üniversitesi Makine Eğitimi Bölümü*, Eskişehir, 58 (2003).

Meyveci, A. “Yaşlandırılmış 2xxx ve 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 87 (2007).

Öz, Ö. “Yaşlandırma ısıl işleminin AA 7075 malzemeli dikdörtgen plağın burkulma yükü üzerine etkisi”, Yüksek Mühendislik Tezi, *Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 54 (2007).

Özçatalbaş, Y. “1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin ısıl işleme değişen mikroyapı ve mekanik özelliklerine bağlı işlenebilirlikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 184 (1996).

Özses, B. “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 75 (2002).

Sahin, K. “Uçaklar ve helikopterler”, **İnkılap Kitapevi**, İstanbul, 319 (1999).

Sandvik Coromant, “Modern metal cutting - a practical handbook”, **Sandvik Coromant**, Sweden, 1-3: 434-574 (1997).

Shaw, M C. “Metal cutting principles”, **Oxford University Press**, London, 210-265 (1985).

Shaw, M. C. “Metal cutting principles”, **Oxford University Press**, London, 1 - 29 (1989).

Sun, Y. “Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 89 (1998).

Tekçi, E. “Alüminyum alaşımlarının genel özellikleri”, Proje Ödevi, **Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı**, Kocaeli, 16 (2008).

Kendall, L.A. , “Asm Handbook”, **ASM International**, U.S.A. , 16: 37-47 (1989).

Turhan, S. “Alüminyumun mekanik özelliklerine ve aşınma dayanımlarına magnezyumun ve silisyumun etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 64 (2002).

Ucun, İ. “Seramik kesici takımlar kullanarak östemperlenmiş küresel grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyonkarahisar, 72 (2007).

Wessel, J. K. “Handbook of advanced materials”, *Wiley-Interscience Publication*, USA, 656 (2004).

Internet: Ulucak, T. “Metalurji yüksek mühendisliği en genç metal”, Makale, <http://www.aluminyumsanayi.com/aluminyumprofilgenel.htm> (2003).



## ÖZGEÇMİŞ

Mahmut TUFAN, 1986 yılında Eskişehir’de doğdu. İlköğretimini Albay İbrahim Çolak İlköğretim okulunda, Ortaöğrenimini Bozüyük Endüstri Meslek Lisesi’nde, lisans eğitimini de Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Talaşlı Üretim Öğretmenliği Ana Bilim Dalı’nda tamamladı. 2008 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalında yüksek lisans çalışmalarına başladı.

### **İletişim Bilgileri:**

Cep Tel: 0542 767 34 10

E-İleti: M.Tufan\_11@hotmail.com