

**CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMININ, TIG KAYNAK YÖNTEMİ  
KULLANILARAK, İKİ FARKLI ELEKTROT TELİ İLE  
KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Mühendisi Mehmet AYVAZ**

**Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği**

**Programı : Konstrüksiyon ve İmalat**

**MANİSA 2010**

**CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ FARKLI ALÜMİNYUM ALAŞIMININ, TIG KAYNAK YÖNTEMİ  
KULLANILARAK İKİ FARKLI ELEKTROT TELİ İLE  
KAYNATILMASI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Makina Mühendisi Mehmet AYVAZ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Nisan 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Mayıs 2010**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Hakan ÇETİNEL**  
**Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Enver ATİK**  
**Yrd.Doç.Dr. Bahadır UYULGAN**

**MANİSA 2010**

## İ Ç İ N D E K İ L E R

## S A Y F A N O

ŞEKİL LİSTESİ .....	VI
TABLO LİSTESİ .....	XI
TEŞEKKÜR.....	XIII
TÜRKÇE ÖZET .....	XIV
YABANCI DİLDE ÖZET(ABSTRACT) .....	XV
<b>BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. GİRİŞ VE AMAÇ.....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALİMÜNYUM ALAŞIMLARIN ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 ALÜMİNYUM ÜRETİMİ .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 KULLANIM ALANLARI.....</b>	<b>4</b>
2.2.1. MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI .....	5
<b>2.3. SAF ALÜMİNYUM ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>5</b>
2.3.1. MUKAVEMET ÖZELLİKLERİ .....	7
2.3.2. FİZİKSEL ÖZELLİKLER.....	8
2.3.3. SOĞUK VE SICAK ŞEKİL DEĞİŞTİRME .....	10
2.3.4. KİMYASAL ÖZELLİKLERİ .....	12
2.3.5. KOROZYON ÖZELLİKLERİ .....	13
<b>2.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI.....</b>	<b>13</b>
2.4.1. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ALÜMİNYUMA VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA ETKİLERİ [9] .....	14
2.4.1.1. BAKIR .....	14
2.4.1.2. SİLİSYUM.....	15
2.4.1.3. MAGNEZYUM .....	17
2.4.1.4 MANGANEZ .....	18
2.4.1.5. DEMİR .....	19
2.4.1.6. KROM .....	20
2.4.1.7. NİKEL.....	20
2.4.1.8. TİTANYUM .....	20
2.4.1.9. ZİRKONYUM.....	21
2.4.1.10 FOSFOR .....	21
2.4.1.11. SODYUM.....	21
2.4.1.12. KALAY .....	21

<b>2.4.2. DÖVME ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI</b> .....	<b>21</b>
2.4.2.1. TİCARİ SAF ALÜMİNYUM (1XXX GURUBU).....	23
2.4.2.2. BAKIR ALAŞIMLARI ( 2XXX GURUBU ).....	24
2.4.2.3. MANGAN ALAŞIMLAN ( 3XXX GURUBU ) .....	25
2.4.2.4 . SİLİSYUM ALAŞIMLARI (4XXX GURUBU).....	26
2.4.2.5. MAGNEZUM ALAŞIMLARI (5XXX GURUBU).....	26
2.4.2.6. SİLİSYUM–MAGNEZYUM ALAŞIMLARI (6XXX GURUBU).....	28
2.4.2.7. ÇİNKO ALAŞIMLARI ( 7XXX GURUBU ) .....	29
2.4.2.8. ALİMÜNYUM LİTYUM ALAŞIMLARI.....	30
<b>2.4.3. DÖKÜM ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI</b> .....	<b>30</b>
<b>2.5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ TEMPER GÖSTERGELERİ</b> .....	<b>32</b>
<b>BÖLÜM 3.</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1. DÖVME ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1.1. YAŞLANDIRILMAYAN DÖVME ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1.2. YAŞLANDIRILAN DÖVME ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1.2.1. TİCARİ SAF ALÜMİNYUM (1XXX GURUBU)</b> .....	<b>41</b>
<b>3.1.2.2. BAKIR ALAŞIMLARI ( 2XXX GURUBU )</b> .....	<b>43</b>
3.1.2.2.1. SU VERME ORTAMLARI VE SOĞUMA HIZI.....	45
3.1.2.2.2. KRİTİK SICAKLIK ARALIĞI .....	46
<b>3.1.2.3. ÇÖKELTME (YAŞLANDIRMA SAFHASI )</b> .....	<b>48</b>
3.1.2.3.1. 2 YAŞLANDIRMA İŞLEMİ.....	53
<b>3.1.2.4. YAŞLANMIŞ METALİN ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>56</b>
<b>3.2. . DÖKÜM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ</b> .....	<b>56</b>
<b>BÖLÜM 4.</b> .....	<b>58</b>
<b>4.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARIN KAYNAĞINA GENEL GİRİŞ</b> .....	<b>58</b>
<b>4.2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>59</b>
4.2.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ GAZ KAYNAĞI .....	59
4.2.2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ÖRTÜLÜ ELEKTROT KAYNAĞI .....	61
4.2.3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ MIG KAYNAĞI.....	62
4.2.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ TIG KAYNAĞI .....	64
4.2.5. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI .....	65
4.2.6. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ELEKROCÜRUF KAYNAĞI .....	66
4.2.7. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ELEKTROGAZ KAYNAĞI .....	67
4.2.8. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ PLAZMA KAYNAĞI.....	67

4.2.9. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ULTRASONİK KAYNAĞI.....	68
4.2.10. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ PATLAMA KAYNAĞI .....	39
4.2.11. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ ELEKTRON ISIN KAYNAĞI .....	70
4.2.12. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ DİFÜZYON KAYNAĞI .....	72
4.2.13. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ YAKMA KAYNAĞI .....	73
4.2.14. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ LAZER ISIN KAYNAĞI .....	74
4.2.15. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ MANYETİK PULS KAYNAĞI.....	77
4.2.16. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ SOĞUK BASINÇ KAYNAĞI .....	77
4.2.17. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ SÜRTÜNME KAYNAĞI .....	78
<b>4.3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI İÇİN İLAVE METALLERİ .....</b>	<b>88</b>
4.3.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI İÇİN KULLANILAN ELEKTRODLAR.....	80
4.3.2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI İÇİN DEKAPANLAR .....	82
4.3.3. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI İÇİN KORUYUCU GAZLAR.....	85
<b>4.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAK KABİLİYETİ .....</b>	<b>86</b>
<b>4.5. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....</b>	<b>93</b>
<b>4.6. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KONULAR .....</b>	<b>97</b>
<b>BÖLÜM 5. ....</b>	<b>98</b>
<b>5.1. MALZEME VE AMAÇ .....</b>	<b>98</b>
<b>5.2. DENEY MALZEMELERİNİN STANDART VE ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>99</b>
<b>5.3. NUMUNELERİN KAYNAK İŞLEMİ İÇİN HAZIRLANMASI VE KAYNAK PARAMETRELERİ .....</b>	<b>100</b>
<b>5.4. DENEY MALZEMESİNİN ÇÖKELTME SERTLEŞTİRME İŞLEMİ.....</b>	<b>101</b>
<b>5.5. MİKRO SERTLİK TESTİ.....</b>	<b>102</b>
<b>5.6. ÇEKME TESTİ.....</b>	<b>103</b>
<b>5.7. EĞME TESTİ .....</b>	<b>104</b>
<b>5.8. DARBE TOKLUK DENEYİ .....</b>	<b>106</b>
<b>BÖLÜM 6. ....</b>	<b>107</b>
<b>6.1. METALOGRAFİ DENEYİ SONUÇLARI.....</b>	<b>107</b>
6.1.1. ALSİ12 KAYNAKLI NUMUNELERİN METALOGRAFİ SONUÇLARI .....	107
6.1.2. ALSİ5 KAYNAKLI NUMUNELERİN METALOGRAFİ SONUÇLARI .....	110
<b>6.2. MİGRO SERTLİK SONUÇLARI.....</b>	<b>112</b>
6.2.1. KÖK BÖLGESİ MİKRO SERTLİK SONUÇLARI LARI .....	113
6.2.2. KEP BÖLGESİ MİKO SERTLİK SONUÇLARI .....	119

6.2. 3. KEP BÖLGESİ MİKRO SERTLİK SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI .....	123
6.3 .EĞME DENEYİ SONUÇLARI .....	128
6.4. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI.....	133
6.5. CHARPY DARBE DENEYİ SONUÇLARI .....	138
BÖLÜM 7. ....	142
7.1. DEĞERLENDİRME VE GENEL SONUÇLAR.....	142
KAYNAKLAR.....	144

# ŞEKİL LİSTESİ

## SAYFA NO

Şekil 2.1. Alüminyum ergitme elektrolizine ait tekne .....	4
Şekil 2.2 Yıllara Göre Dünya Birincil Alüminyum Üretimi .....	5
Şekil 2.3. Saf Alüminyumun, Mukavemet, Uzama ve Elektrik iletkenliğine Katkı Elemanlarının Etkisi .....	7
Şekil 2.4. Saf Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrik Öz Direncin Sıcaklık İle Değişmesi .....	10
Şekil 2.5. 5052-H32 Alüminyum Alaşımlarına Ait Bazı Özelliklerinin Sıcaklık İle Değişmesi .....	11
Şekil 2.6. Saf Alüminyumun Soğuk Pekleşmesi .....	12
Şekil 2.7. Saf Alüminyumun Sıcaklıkla, Çekme Mukavemeti ve Orantılılık Sınırının Değişimi	13
Şekil 2.8. Saf Alüminyumun ve Alaşımlarının, Özgül Şişirme Basıncının, Şişme Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi (AIAG) .....	13
Şekil 2.9. Alüminyum - Bakır Denge Diyagramı .....	17
Şekil 2.10- Alüminyum - Silisyum Denge Diyagramı .....	18
Şekil 2.11 - Alüminyum-Magnezyum Denge Diyagramı .....	19
Şekil 2.12- Alüminyum-Çinko Denge Diyagramı .....	20
Şekil 2.13 - Alüminyum-Manganez Denge Diyagramı .....	21
Şekil 2.14 Alüminyum-Demir Denge Diyagramı .....	23
Şekil 2.15. Temel Alüminyum Alaşımları .....	26
Şekil 2.16 Al-Cu Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi .....	27
Şekil 2.17. 2036 Alaşımında Çökelme Sertleşmesinin (Yaşlanmanın) Akma Mukavemeti ve Süneklik Üzerine Etkisi .....	28
Şekil 2.19. Al-Mn Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi .....	29
Şekil 2.20 Al-Si Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi .....	30
Şekil 2.21. Al-Mg Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi .....	30
Şekil 2.22. Ticari Magnezyum Alaşımlarında Akma Mukavemeti İle Uzama Oranının Metal Magnezyum Oranıyla Değişimi .....	31
Şekil 2.23. Al-Mg <sub>2</sub> Si Denge Diyagramı .....	32
Şekil 2.24. Al-Zn Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi .....	33
Şekil 3.1. Soğuk Şekil Vermenin 1100, 3003, 5050 ve 5052 Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Tesiri .....	39
Şekil 3.2. 6063-T4 ve 6063 T6 Saçlarında Soğuk Şekil Vermenin Mekanik Özelliklere Tesiri ...	40
Şekil 3.3. Alüminyum ve Al-Mg Alaşımlarında Alt Tane Boyutunun Sertliğe Tesiri .....	41
Şekil 3.4. %60 Soğuk Şekil Verilmiş ve 1 Saat Tavlanan Alüminyum Alaşımlarında Yeniden Kristalleşme Sıcaklıkları .....	42

Şekil 3.5. Al-%6 Mg Alaşımında Soğuk Şekil Vermeden Sonra Yapılan Tavlamanın Mekanik Özelliklere Tesiri .....	43
Şekil 3.6. Tavlama Sıcaklığının Yeniden Kristalleşmiş Tane Boyutu Üzerindeki Tesiri .....	44
Şekil 3.7. Tane Sınırı Hareketiyle Tane Büyümesi .....	44
Şekil 3.8. (a) Sabit Sürede Tavlanan Saf Alüminyumda Deformasyon Oranı-Sıcaklık-Tane Boyutu İlişkisi (b) 630 °C Tavlama Sıcaklığının Tane Boyutuna Tesiri .....	45
Şekil 3.9. Yaşlandırılan Al-Cu Alaşımlarının Çözeltiye Alma ve Çökeltme Isıl İşlem Aralıkları İle Tavlama Sıcaklığı Aralığı .....	46
Şekil 3.10. Saf Alüminyumda Noktasal Atom Boşluğunun Sıcaklık İle Değişimi .....	49
Şekil 3.11.Çözeltiye Alınan Alüminyum Alaşımı Levha ve Saçlara Su Verildiğinde Parça Merkez Hattında Ortalama Soğuma Hızı .....	50
Şekil 3.12. Çökeltme Hızını Tayin Eden Faktörler Üzerinde Sıcaklığın Etkisi .....	51
Şekil 3.13. Maksimum Çekme Mukavemetinin %95 Değerine Ulaşmak İçin Bazı Alüminyum Alaşımlarında Çökeltme Safhasında Zaman - Sıcaklık ilişkisi .....	52
Şekil 3.14. Su Verme Sırasında Soğuma Hızına Bağlı Olarak Yaşlandırılan Alaşımlarda Çekme Mukavemetinin Değişmesi .....	52
Şekil 3.15. (a) Tam Uyumlu, (b)Yarı Uyumlu, (c) Uyumsuz Partiküllerin Matris ile ilişkisi .....	53
Şekil 3.16. Farklı Çökelti Taneleri Gösteren A-B İkili Alaşım Sistemi .....	54
Şekil 3.17.Yaşlandırılan Aşırı Doymuş Matriste G.P. Bölgeleri. $\beta'$ ve $\beta$ Partiküllerinin Oluşumu Sıcaklık ve Süreleri .....	54
Şekil 3.18. Al- Cu Sisteminde Çökelen Partiküller .....	54
Şekil 3.19. Al-Cu Yaşlandırılan Alaşımlarda G.P: Zonu, $\theta''$ , $\theta'$ ve $\theta'$ Çökelti Oluşumu .....	56
Şekil 3.20. Al – 6.8 Cu Alaşımlarında Oda Sıcaklığında G.P. Bölge Yarıçapının Zaman ile Büyümesi .....	57
Şekil 3.21. Suni Yaşlanma Sırasında Zamanın Çökeltme Oluşumu ve Çökelen Partikül Boyutu Üzerindeki Tesiri .....	58
Şekil 3.22 Yaşlanma süresinin metal özelliklerine etkisi .....	59
Şekil 3.23. Kayan bir dislokasyonunun çökeltileri kesmesi .....	60
Şekil 3.24. Kayan Dislokasyonların Kesemediği Partikül Engelini Aşması .....	60
Şekil 4.1 Al ve alaşımlarının oksidasyonuyla kaynakta agız hazırlık sekilerli .....	66
Şekil 4.2 Alüminyum ve alaşımlarından kalın saçların oksidasyon kaynağı .....	67
Şekil 4.3. MIG yöntemindeki ark bölgesi .....	70
Şekil 4.4. Yüksek güç plazma birleştirme kaynağı prensibi ve kaynak dikişinin alternatif kaynak yöntemleriyle karşılaştırılması .....	75
Şekil 4.5. Ultrasonik kaynağın şematik olarak gösterilmesi .....	76
Şekil 4.6. Kaynak ısı maddesinin güç yoğunluğu .....	78
Şekil 4.7. Elektron ısını ile kaynak makinesinin şematik yapısı .....	78
Şekil 4.8. TIG, plazma ve elektron ısını ile yapılan kaynaklarda erime bölgesi formunun Karşılaştırılması .....	79
Şekil 4.9. Manyetik puls kaynağının şematik gösterimi .....	84



<b>Şekil 4.10. Boru tipi parçaların bindirme kaynağında çeşitli manyetik puls kaynağı uygulamalarının şematik olarak gösterilmesi</b> .....	<b>85</b>
<b>Şekil 4.11. Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı</b> .....	<b>87</b>
<b>Şekil 4.12. Akım türü ve akım şiddetine göre elektrod ucunun formu</b> .....	<b>92</b>
<b>Şekil 4.13./a Elektrod ucuna verilen form</b> .....	<b>92</b>
<b>Şekil 4.13/b</b> .....	<b>93</b>
<b>Şekil 4.14. Aynı akım şiddeti ile yapılan kaynakta elektrod ucu formunun dikiş formuna Tesiri</b> .....	<b>93</b>
<b>Şekil 4.15. Argon ve Ar-He karışımlarının nüfuziyet yönünden karşılaştırılmaları</b> .....	<b>95</b>
<b>Şekil 4.16. Argon ve % Ar- %He karışımlarının çalışma alanlarının karşılaştırılması</b> .....	<b>96</b>
<b>Şekil 4.17</b> .....	<b>97</b>
<b>Şekil 4.18. Kaynaklı birleştirmelerde, kaynak sonunda oluşan bölgeler</b> .....	<b>102</b>
<b>Şekil 4.19. Soğuk biçimlendirilmiş alaşımda mukavemet üzerine kaynağın etkisi</b> .....	<b>106</b>
<b>Şekil 4.20. Yaşlandırma ile sertleştirilmiş 6061-T6 alüminyum alaşımında kaynaklı durumda kaynak ısı girdisinin sertlik ve mukavemet üzerine etkisi</b> .....	<b>106</b>
<b>Şekil 5.1. Suni Yaşlandırma İşleminin Sıcaklık Zaman Grafiği</b> .....	<b>113</b>
<b>Şekil 5.2. Isıl İşlemden Kullanılan Fırın</b> .....	<b>113</b>
<b>Şekil 5.3. Yapılan Isıl İşlem Programının Sıcaklık-Zaman Grafiği</b> .....	<b>114</b>
<b>Şekil 5.4. Kullanılan Mikro Sertlik Ölçme Cihazı</b> .....	<b>115</b>
<b>Şekil 5.5. Çekme Deneyinde Kullanılan Çekme Cihazı</b> .....	<b>116</b>
<b>Şekil 5.6. Çekme Deney Numunelerinin Boyutları</b> .....	<b>116</b>
<b>Şekil 5.7. Eğme Deneyinde Kullanılan Eğme Deney Cihazı</b> .....	<b>117</b>
<b>Şekil 5.7. Eğme Deney Numunelerinin Boyutları</b> .....	<b>118</b>
<b>Şekil 5.8. Eğme Deneyinin Şematik Gösterimi</b> .....	<b>118</b>
<b>Şekil 5.9. Charpy Darbe Deneyi Numune Boyutları</b> .....	<b>119</b>
<b>Şekil 6.1. AlSi12 Kep bölgesinden kök bölgesine doğru geçiş</b> .....	<b>120</b>
<b>Şekil 6.2. Kaynağın kep Bölgesinden AA6013 esas metale geçiş</b> .....	<b>121</b>
<b>Şekil 6.3. AlSi12 Kaynak-Kök Bölgesi</b> .....	<b>121</b>
<b>Şekil 6.4. Kaynak-AA5083 Geçiş</b> .....	<b>122</b>
<b>Şekil 6.5. Kaynak Bölgesinden AA5083 Esas Metale Geçiş</b> .....	<b>122</b>
<b>Şekil 6.6. Kaynak Bölgesinden AA6013 Esas Metale Geçiş</b> .....	<b>123</b>
<b>Şekil 6.7. AlSi5 Kaynak Bölgesi – Kep</b> .....	<b>123</b>
<b>Şekil 6.8. AlSi5 Kaynak Bölgesi – Kök</b> .....	<b>124</b>
<b>Şekil 6.9. AlSi5 Kaynak Bölgesi</b> .....	<b>124</b>
<b>Şekil 6.10. Kaynak Bölgesinden AA5083 Esas Metale Geçiş</b> .....	<b>125</b>
<b>Şekil 6.11. Kaynak Bölgesinden 6013 Esas Metale Geçiş</b> .....	<b>125</b>
<b>Şekil 6.12. Mikro Sertlik Ölçümü Yapılan Numunenin Görünümü</b> .....	<b>126</b>
<b>Şekil 6.13. 5083-AlSi5 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı</b> .....	<b>126</b>
<b>Şekil 6.14. 5083-AlSi12 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı</b> .....	<b>127</b>
<b>Şekil 6.15. 6013-AlSi5 Kök Bölgesi Sertlik Dağılımı</b> .....	<b>127</b>

Şekil 6.16. 6013-AISi12 Kök Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	128
Şekil 6.17. 5083-AISi5-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	128
Şekil 6.18. 5083-AISi12-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	129
Şekil 6.19. Yaşlandırılmış 6013-AISi5 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	129
Şekil 6.20. Yaşlandırılmış 6013-AISi12 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	130
Şekil 6.21. Yaşlandırılmış 5083-AISi5-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	130
Şekil 6.22. Yaşlandırılmış 5083-AISi12-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	131
Şekil 6.23. 5083-AISi5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	132
Şekil 6.24. 5083-AISi12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	132
Şekil 6.25. 6013-AISi5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	133
Şekil 6.26. 6013-AISi12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	133
Şekil 6.27. 5083-AISi5-6013 Kep Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	134
Şekil 6.28. 5083-AISi12-6013 Kep Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	134
Şekil 6.29. Yaşlandırılmış 6013-AISi5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	135
Şekil 6.30. Yaşlandırılmış 6013-AISi12 Kep Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	135
Şekil 6.31. Yaşlandırılmış 5083-AISi5-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	136
Şekil 6.32. Yaşlandırılmış 5083-AISi12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı .....	136
Şekil 6.33. 5083-AISi5 ve 5083-AISi12 KEP bölgesi Sertlik Dağılımları .....	137
Şekil 6.34. 6013-AISi5 ve 6013-AISi12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları .....	138
Şekil 6.35. 5083-AISi5-6013 ve 5083-AISi12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları .....	138
Şekil 6.36. 6013-AISi5 ve Yaşlandırılmış 6013-AISi5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları .....	139
Şekil 6.37. 6013-AISi12 ve Yaşlandırılmış 6013-AISi12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları .....	139
Şekil 6.38. 5083-AISi5-6013 ve Yaşlandırılmış 5083-AISi5-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları .....	140
Şekil 6.39. 5083-AISi12-6013 ve Yaşlandırılmış 5083-AISi12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımlar .....	140
Şekil 6.40. Yaşlandırılmış 5083-AISi5-6013 ve Yaşlandırılmış 5083-AISi12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları .....	141
Şekil 6.41. Yaşlandırılmış 6013-AISi5 ve Yaşlandırılmış 6013-AISi12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları .....	141
Şekil 6.42. Eğme Numunelerinin Toplu Fotoğrafı .....	143
Şekil 5.43. 6013-AISi5 (5 numaralı) Numunede Çatlak .....	143
Şekil 6.44. 6013-AISi12 (7 Numaralı) Numunede Çatlak .....	144
Şekil 6.45. 5083-AISi5-6013 (9Numaralı) Numunede Çatlak .....	144
Şekil 6.46. 5083-AISi12-6013 (11 Numaralı) Numunede Çatlak .....	145
Şekil 6.48. Yaşlandırılmış 6013-AISi12 (14 Numaralı) Numunede Çatlak .....	145
Şekil 6.49. Yaşlandırılmış 5083-AISi5-6013 ( 15 Numaralı ) Numunede Çatlak .....	146
Şekil 6.50. 5083-AISi5 Çekme Numunesi 1 .....	147
Şekil 6.51. 5083-AISi5 Çekme Numunesi 2 .....	147
Şekil 6.52. 5083-AISi12 Çekme Numunesi 1 .....	148

Şekil 6.53. 5083-AISI12 Çekme Numunesi 1 .....	148
Şekil 6.54. 6013-AISI5 Çekme Numunesi 2 .....	148
Şekil 6.55. 6013-AISI12 Çekme Numunesi 1 .....	149
Şekil 6.56. 6013-AISI12 Çekme Numunesi 2 .....	149
Şekil 6.57. 5083-AISI5-6013 Çekme Numunesi 1 .....	149
Şekil 6.58. 5083-AISI5 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları .....	150
Şekil 6.59. 5083-AISI12 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları .....	151
Şekil 6.60. 6013-AISI5 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları .....	151
Şekil 6.61. 6013-AISI12 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları .....	152
Şekil 6.62. 5083-AISI5-6013 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları .....	152
Şekil 6.63. 5083-AISI12-6013 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları .....	153

# TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Alüminyum Safılık Tasnifi .....	6
Tablo 2.2 alüminyum alaşımlarının karşılaştırmalı özellikleri .....	8
Tablo 2. 3. Saf Alüminyumun Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri .....	8
Tablo 2.4. Saf Alüminyumda Termal Genleşme Katsayısının ( $\alpha$ ) Sıcaklık İle Değişmesi .....	9
Tablo 2.5. Saf Alüminyumda Isı İletim Katsayısının ( $k$ ) Sıcaklık İle Değişmesi .....	10
Tablo 2.6. Dövme Alüminyum ve Alaşımların ANSI 35.1 Standardına Göre Ana Gruplar .....	25
Tablo 2.7 ANSI Standartlarında Belirtilen Bazı Alüminyum Alaşımlarının ISO (International Organization For Standardization) Karşıtları .....	25
Tablo 2.8. Döküm Alüminyum Alaşımlarının ANSI 35.1 Standardına Göre Ana Grupları .....	34
Tablo 2.9. Bazı Döküm Alaşımlarının Tanıtımı .....	34
Tablo 2.10. Bazı Döküm Alaşımlarının Kimyasal Bileşimi .....	34
Tablo 2.11. Alüminyum Alaşımlarının Toplu Gösterimi .....	35
Tablo 2.12. TS 1321'e göre, hafif metal alaşımlarına uygulanan ısıl işlemlerin gösterilişi .....	36
Tablo 3.1. Bazı Yaşlandırılmayan Alüminyum Alaşımların Mekanik Özellikleri.....	40
Tablo 3.2. Bazı Ticari Yaşlanan Alaşımların Çözeltiye Alma ve Çökeltme Isıl İşlem Sıcaklıkları .....	47
Tablo 3.3. Çözeltiye Alma Sıcaklığının 2024-T4 Saçı Mukavemet Özelliklerine Tesiri .....	47
Tablo 3.4. Dövme Alüminyum Alaşımları İçin Önerilen Çözeltiye Alına Süresi ve Su Verme Öncesi Müsaade Edilen Maksimum Gecikme Süresi.....	48
Tablo 3.5. Bazı Yaşlandırılmayan Alüminyum Alaşımların Mekanik Özellikleri .....	61
Tablo 3.6. Yaşlandırılan Bazı Döküm Alaşımlarında Isıl İşlem Reçetesi.....	62
Tablo 3.7 Bazı Döküm Alaşımlarının Mekanik Özellikleri .....	62
Tablo 4.1. Çeşitli metaller için önerilen ilave metaller .....	89
Tablo 4.2. Bazı alüminyum alaşımları için uygun ilave metaller .....	90

<b>Tablo 4.3. Kaynak ilave metalleri ve bunların kullanımı için çeşitli kurallar ...</b>	<b>90</b>
<b>Tablo 4.4 Elektrodların kimyasal yapı ve renklerinin tanımı .....</b>	<b>91</b>
<b>Tablo 5.1. 6013 ve 5083 Alüminyum Alaşımlarının Bileşim Limitleri .....</b>	<b>110</b>
<b>Tablo 5.2. AA6013 ve AA5083 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri .</b>	<b>111</b>
<b>Tablo 5.3. Kaynak Parametreleri .....</b>	<b>111</b>
<b>Tablo 5.4. AlSi12 ve AlSi12 Kaynak Tellerinin Tipik Analizi (%) .....</b>	<b>112</b>
<b>Tablo 5.5. AlSi12 ve AlSi5 Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri .....</b>	<b>112</b>
<b>Tablo 6.1.Eğme Deneyi Sonuçları .....</b>	<b>142</b>
<b>Tablo 6.2. Çekme Deneyi Sonuçları .....</b>	<b>147</b>
<b>Tablo 6.3. Charpy Deneyi Sonuçları .....</b>	<b>153</b>

## TEŞEKKÜR

İki farklı alüminyum alaşımının, TIG kaynak yöntemi kullanılarak, iki farklı elektrot teli ile kaynatılması ve mekanik özelliklerinin incelenmesi konulu tez çalışmamda bana yol gösterip yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Hakan ÇETİNEL'e , lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca dersime giren bütün bölüm hocalarıma sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

## ÖZET

Günümüzde, dövme alüminyum alaşımları arasında AA5083 ve AA6013 alüminyum alaşımları, havacılık, gemi inşa sanayi ve otomotiv sanayilerinde geniş ölçüde kullanılmaktadırlar.

Yapılan literatür taramalarında 5083 alaşımının korozyon dayanımı ve mukavemet gerektiren kullanımlarda, 6013 alaşımının ise şekillendirme kabiliyeti ve kaynak kabiliyeti gerektiren kullanımlarda öne çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca 6013 alaşımının mukavemet özelliklerinin yaşlandırma ile yükseltilebildiği, 5083 alaşımınaysa ısıtılma işlemi uygulanmadığı ancak soğuk şekillendirme ile sertleştirilebildiği bilinmektedir.

Kaynak kabiliyeti, mukavemet özellikleri ve ısıtılma işlemi uygunluk bakımından farklılık gösteren bu iki alaşıma iki farklı elektrot teli (AlSi12 – AlSi5) kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile kaynak uygulaması yapılmış ve 5083-AlSi12-5083, 5083-AlSi5-5083, 6013-AlSi12-6013, 6013-AlSi5-6013, 5083-AlSi12-6013, 5083-AlSi5-6013 olarak altı farklı numune parametresi elde edilmiştir. Numunelerin mikro sertlik taramaları, çekme, charpy ve üç nokta eğme deneyi sonuçları incelenerek karşılaştırılmıştır.

Bunlara ek olarak 6013 alaşımının olduğu 6013-AlSi12-6013, 6013-AlSi5-6013, 5083-AlSi12-6013, 5083-AlSi5-6013 kaynak numunelerinin bir kısmı yaşlandırma ısıtılma işlemine tabi tutulmuş, sertlik taraması yapılmış, charpy ve üç nokta eğme deneyi sonuçları önceki sonuçlarla karşılaştırılarak incelenmiştir.

**Nisan 2010**

**Mehmet AYVAZ**

## **ABSTRACT**

Today, AA5083 and AA6013 aluminum alloys among wrought aluminum alloys are widely used in aerospace, shipbuilding and automotive industries.

As a result of literature search, it has been found that 5083 alloy comes to the fore in uses requiring resistance and corrosion endurance, whereas 6013 alloy comes to the fore in uses requiring shaping and welding abilities. Moreover, it is known that the endurance properties of 6013 alloy can be improved by means of ageing; in contrast 5083 alloy is not heat treatable and can be hardened by cold shaping.

These two alloys, which differ from each other from the point of view of weldability, endurance properties and being convenient for heat treatment, are welded by TIG welding method with two different electrodes (AlSi12 – AlSi5) and six different sample parameters have been obtained as 5083-AlSi12-5083, 5083-AlSi5-5083, 6013-AlSi12-6013, 6013-AlSi5-6013, 5083-AlSi12-6013, 5083-AlSi5-6013. The micro-hardness scans of the samples have been compared by analyzing the results of tension, Charpy and three point bending experiments.

In addition to these, a part of welding samples 6013-AlSi12-6013, 6013-AlSi5-6013, 5083-AlSi12-6013, 5083-AlSi5-6013 which consist of 6013 alloy have been exposed to ageing heat treatment, hardness scanned and Charpy and three point bending results have been analyzed by being compared to previous results.

**April 2010**

**Mehmet Ayvaz**



# BÖLÜM 1

## ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA GİRİŞ

### 1.1. GİRİŞ VE AMAÇ

Dünyada en fazla mevcut metaller sıralamasında alüminyum ikinci sırayı alır. Alüminyum metalinden muhtelif alaşımlama ve farklı ısıl işlem şartı ile çok farklı fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkün olmuştur. Endüstriyel uygulama amacı için dört yüze yakın sayıda alüminyum alaşımı geliştirilmiştir. Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluğu, kolay şekillendirilebilmesi, yüksek korozyon direnci, geliştirilebilen fiziksel ve mekanik özelliklerine sahip olması bu alaşımların kullanım alanını artırmaktadır. Alüminyumun yoğunluğu yaklaşık  $2,7 \text{ g/cm}^3$  olup çelik ( $7,83 \text{ g/cm}^3$ ) ve bakır ( $8,93 \text{ g/cm}^3$ ) yoğunluğunun yaklaşık üçte biri kadardır. Mukavemeti çelikten düşük olsa da, kesit artırılarak çeliğe eşdeğer mukavemet sağlanmaktadır. Birçok konstrüksiyonda alüminyum alaşımlarının kullanılması ağırlıkta düşme yaptığı için avantaj sağlamaktadır. Alüminyumun elastisite modülü çeliğin ancak üçte biri kadardır. Bu nedenle basma gerilmesine çalışan alüminyum bazlı elemanlarda çok kritik durumlar olabilir. Ancak alüminyum şok (darbe şeklindeki) yüklere direnci daha yüksektir. Doğru yapılan bir yapı tasarımında alaşımsız çelik yerine alüminyum kullanmak konstrüksiyon ağırlığında 50'nin üzerinde hafifleme sağlar. Elektrik iletkenliği bakırdan daha düşük olmasına rağmen aynı ağırlıktaki bakırdan iki misli daha fazla elektrik akımı sağlarlar. Eş ağırlıktaki tellerde alüminyum telin kesit alanı, bakır telden daha yüksek olduğu için alüminyum tel daha fazla elektrik iletir [1].

Alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafiflik, yüksek mukavemet, iyi korozyon dayanımı, kolay biçimlendirilebilirlik ve birçok kaynak yöntemiyle kaynak edilebilirlikleri açısından mühendislik malzemesi olarak yaygın kullanım alanına sahiptirler. Alüminyumun özgül ağırlığı; çeliğin yaklaşık 1/3'ü kadardır. Ayrıca alüminyum ve alaşımları; havada, su içinde, yağlarla temas halinde ve birçok kimyasal maddeye karşı oldukça iyi korozyon direncine sahiptir. Atmosfer ile temas sonucunda yüzeyde oluşan ince, ancak yoğun refrakter karakterli oksit tabakası korozif etkilere karşı direnç sağlar. Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağının çelikten farklı olmasını sağlayan bir dizi özellik vardır. Bunlar; yüzeyde buluna alüminyum oksit tabakası, yüksek ısıl iletkenlik, yüksek ısıl genleşme katsayısı, ergime sıcaklığına yaklaştıkça renk değişimi göstermemesi olarak sıralanabilir.

Bu özellikler; alüminyumun kaynağı açısından dikkat edilmesi gereken ve kaynak kalitesini etkileyen en önemli faktörlerdir. Alüminyum ve alaşımlarının geliştirilmeye başlanıldığı yıllarda, bu alaşımların uçak endüstrisinde kullanılması ve kaynakla birleştirilmesi gereksinimi, günümüzde gaz altı kaynak yöntemleri olarak biline TIG ve MIG kaynak yöntemlerinin bulunmasını ve geliştirilmesini sağlamış; kalın kesitli alüminyum alaşımlarının kesilebilmesi için plazma arkı ile kesmenin geliştirilmesi gerekmiş, uzay roketlerinin alüminyum parçalarının kaynağında, plazma ark kaynağı kullanılmış ve bu arayış diğer ileri kaynak yöntemlerinin de alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanımını teşvik etmiştir. Aslında alüminyum ve alüminyum alaşımları, ergitme kaynak yöntemlerinden olan gaz ergitme kaynağı ve örtülü elektrot ile ark kaynağı yöntemleri kullanıldığında sınırlı olarak kaynak edilebilirken, gaz altı kaynak yöntemlerinin ortaya çıkması daha kaliteli bağlantıları oluşturulmasına imkân tanımıştır [2].

Birçok alüminyum alaşımı yaşlandırma sertleşmesi ile sertleştirilir. Bu sertleşen alaşımlarda yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Ayrıca alüminyum hava, su, tuzlu su, petro-kimyasal ve birçok kimyasal sistem ortamlarında yüksek korozyon dirençleri gösterirler. Alüminyum oksijene karşı olan yüksek afinitesi nedeni ile yüzeyde hava ile teması sonucu ince fakat yoğun bir oksit tabakası ( $Al_2O_3$ ) teşekkür eder. Bu oksit tabakası alüminyumu diğer etkilerden korur. Ancak bazı asitler ve tuzlar bu oksit tabakasını çözer. Yani alüminyum bu maddelere karşı dayanıklı değildir. Yüzeydeki oksit tabakası suni olarak kuvvetlendirilir. Metal anot olarak galvanik bir banyo ya asılır. Devreden geçen elektrik akımı ile parça oksit tabakası kuvvetlendirilir. Bu işleme eloksal işlemi denir [1].

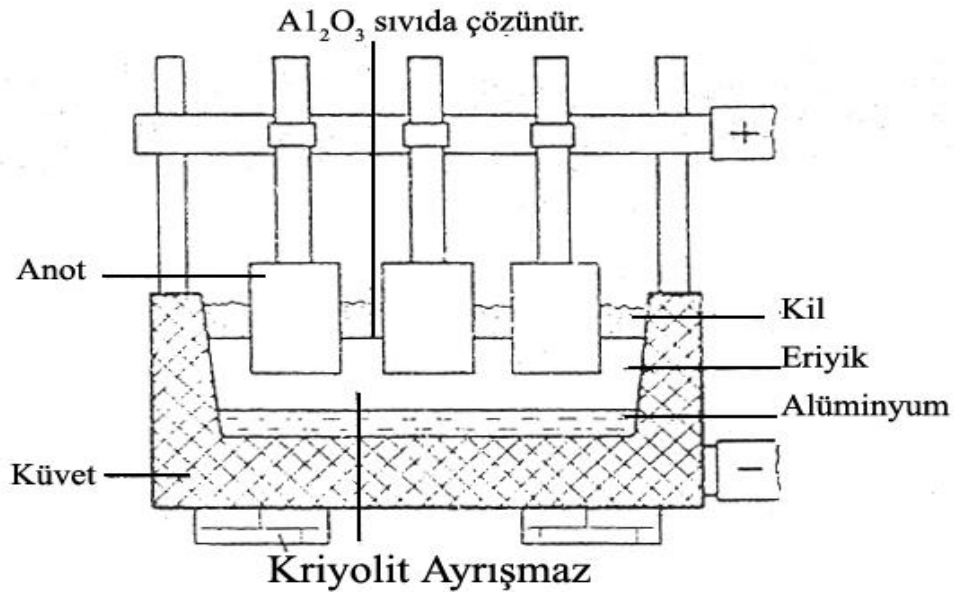
## **BÖLÜM 2**

# **ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÖZELLİKLERİ**

## 2.1. ALÜMİNYUMUN ÜRETİMİ

Alüminyum üretimi hem cevherden hem de hurdadan yapılır. Cevherden yapılan üretim ise toplam üretimin dörtte üçü kadardır. Hurda üretimi hem çevre kirlenmesini azaltmakta hem de ekonomik üretimin gerçekleşmesini sağlamaktadır [1]. Tüm dünyada aynı yöntemle cevherden saf alüminyum elde edilmektedir. Üretimde kullanılan en önemli cevher boksittir. Boksit yaklaşık olarak %55 – 65  $Al_2O_3$ , %28  $Fe_2O_3$ , %6  $SiO_2$ , %15  $H_2O$  ihtiva eder. Cevherin ilk önce yabancı maddelerden temizlenmesi için kızgın sodyum hidroksit ( $NaOH$ ) ile işleme tabi tutularak, alüminyum oksit, suda çözünebilir sodyumalüminat ( $NaAlO_2$ ) haline dönüştürülür. Filtrasyon ile diğer çözünmeyen maddeler demir oksit ( $Fe_2O_3$ ) ve silisyum ( $SiO_2$ ) ayrılabilir.

Demir ihtiva eden filtrasyon artığı kırmızı çamur olarak adlandırılır ve yüksek fırın işlemine gönderilir. Alüminat çözeltisi içerisinde alüminyum, alüminyum hidroksit ( $Al(OH)_3$ ) halinde kristalize edilir, yıkanır ve döner borusal fırınlarda tavlınır. Böylelikle yapıdaki su uzaklaştırılmış olur ve geriye saf alümina ( $Al_2O_3$ ) kalır. Bu madde ergitme elektrolizi usulünde kullanılan şarj malzemesidir. Ergitme elektrolizi için  $Al_2O_3$  kimyasal bileşiğinin ergitilmesi gereklidir. Böylece bu bileşik iyonlarına ayrılır. İkinci işlem olarak sisteme doğru akım uygulanırsa (+) yüklü metal iyonları katoda hareket ederler. Ve buradan elektron olarak metal halinde redüklenirler. Alüminyum oksitin çok yüksek bir erime noktasına sahip olması (  $2000^{\circ}C$ 'nin üzerinde ) nedeni ile yüksek sıcaklıkta eriyen oksit, ilk önce eritilmiş kriyolit içerisinde çözündürülmektedir. İşlem sırasında karışımı sıvı hale halde tutabilmek için  $950^{\circ}C$  civarındaki bir sıcaklık yeterli gelmektedir. Yaklaşık 5 V'luk bir doğru akım uygulanınca  $Al_2O_3$  parçalanır kenkriyolit değişime uğramaz. Kriyolit bir Na-Al-Fluor bileşiğidir. Bu usul karbon astarlı banyo fırınlarında uygulanır.(Şekil 2-1)

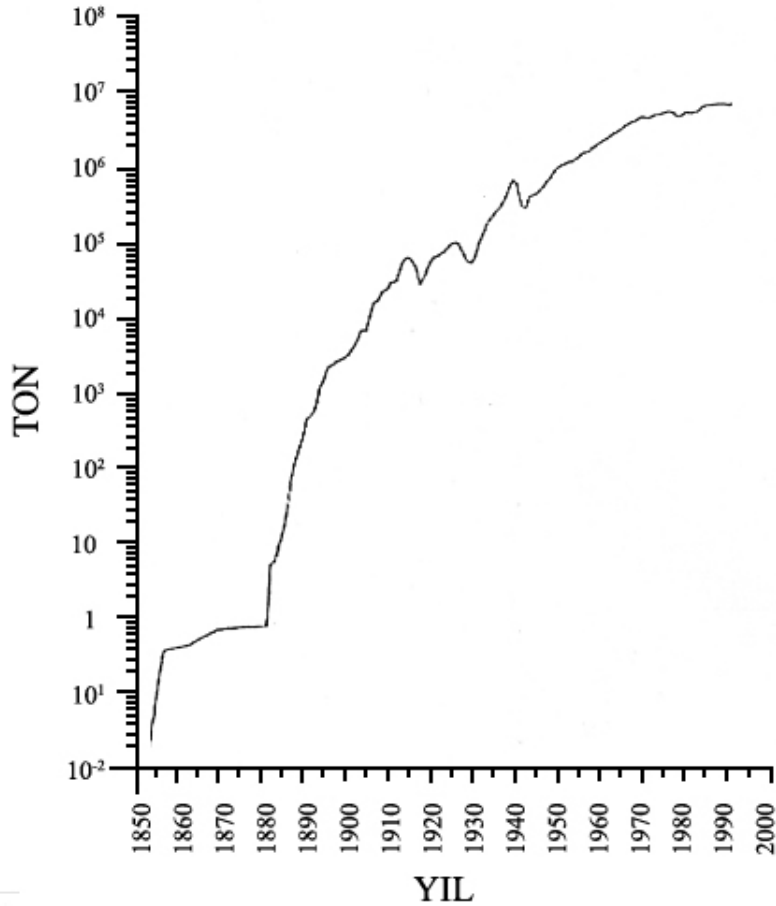


Şekil 2.1. Alüminyum ergitme elektrolizine ait tekne

Eriyiğin içerisinde anot olarak karbon bloklar daldırılır. Serbest kalan oksijen elektrotlardaki karbonu oksit halinde bağlar. Alüminyum banyonun dibinde toplanır ve periyodik olarak dışarıya pompalanır. Kullanılan alüminyumoksit yerinde periyodik olarak yenisi doldurulur. %99,8 safiyette elde edilen alüminyum çeşitli formlarda dökülmesi amacı ile dengeleme fırınlarına doldurulur [3]. Bu izabik metal ticari olarak iki ana gruba ayrılırlar: dövme alaşımları ve dökme alaşımları. Dövme alaşımları saç, folyo, çubuk, tel boru, profil gibi şekillerde olan malzemelerdir. Bunlar kütük, blok halinde döküldükten sonra sıcak şekillendirme (ekstrüzyonu, dövme, haddeme vb ) ve soğuk şekillendirme (hadde, çekme vb) yöntemleri ile bitmiş hale getirirler. Dökme alaşımları ise ergitme işleminden sonra kum, kokil, savurma, hasa vb. döküm yöntemlerinden biri ile bitmiş parça haline getirilen malzemelerdir [1].

## 2.2. KULLANIM ALANLARI

Alüminyum ve alaşımları bu gün imalat sanayinin hemen her dalında, tarım, enerji, ulaşım ve inşaat sektöründe giderek artan miktarlarda kullanılmaktadır. Özellikle demir ve bakır yerine alüminyum; imalat sanayinde, çeşitli konstrüksiyonlarda, elektrik endüstrisinde, iletkenlerde ve taşıt araçları imalinde ağırlıkların önemli ölçüde azaltılmasını sağlamıştır. Bu yüzden alüminyum ve alaşımları otomotivden inşaat sektörüne ve elektrik endüstrisine kadar çeşitli dallarda uygulama alanı bulmuştur.



## Şekil 2.2 Yıllara Göre Dünya Birincil Alüminyum Üretimi [4]

Şekil 2.2'de görülebileceği gibi dünya alüminyum üretiminde sürekli bir artış görülmektedir. Alüminyum talebini yönlendiren sektörler genellikle otomotiv, uçak uzay sektörleridir. Bu sektörlerin özellikle alüminyum döküm ve yassı mamul ihtiyaçları üst düzeydedir. Bu sebeple son yıllarda arz ve talep dengeleri değişmiştir [4].

### 2.2.1. Mühendislik Uygulamaları

Petrol, lastik, tekstil, kâğıt, kömür madeni gibi sanayi sektörüne ait makine ve teçhizatla alüminyum yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Makine elemanları uygulamalarında, yüksek dayanım/ağırlık oranı, korozyona dayanımı ve işleme kolaylığı alüminyumun Üstün özellikleridir. Hafifliği nedeniyle, büyük ve tek parçaların manipülasyonu mümkün olur. Hassas toleranslarda işleme kolaylığı sayesinde, standart birimlerden büyük parçaların yapılması mümkün olur. Karmaşık kesitli parçaların Üretiminde, alüminyum ekstrüzyonu büyük avantajlar sağlar. Vites kutuları, motor blokları ve silindir kafaları kolaylıkla alüminyum döküm ile yapılır. Son uygulamalarda krank mili yataklarında alüminyum kullanılması, bu parçaların uzun ömürlü olmasını sağlamıştır [5].

## 2. 3. SAF ALÜMİNYUMUN ÖZELLİKLERİ

Alüminyumun saflığı belirtilen kesin sınırları olmamasına rağmen Tablo 2.1'deki tasnif, kullanılmakta olan tasniftir [1].

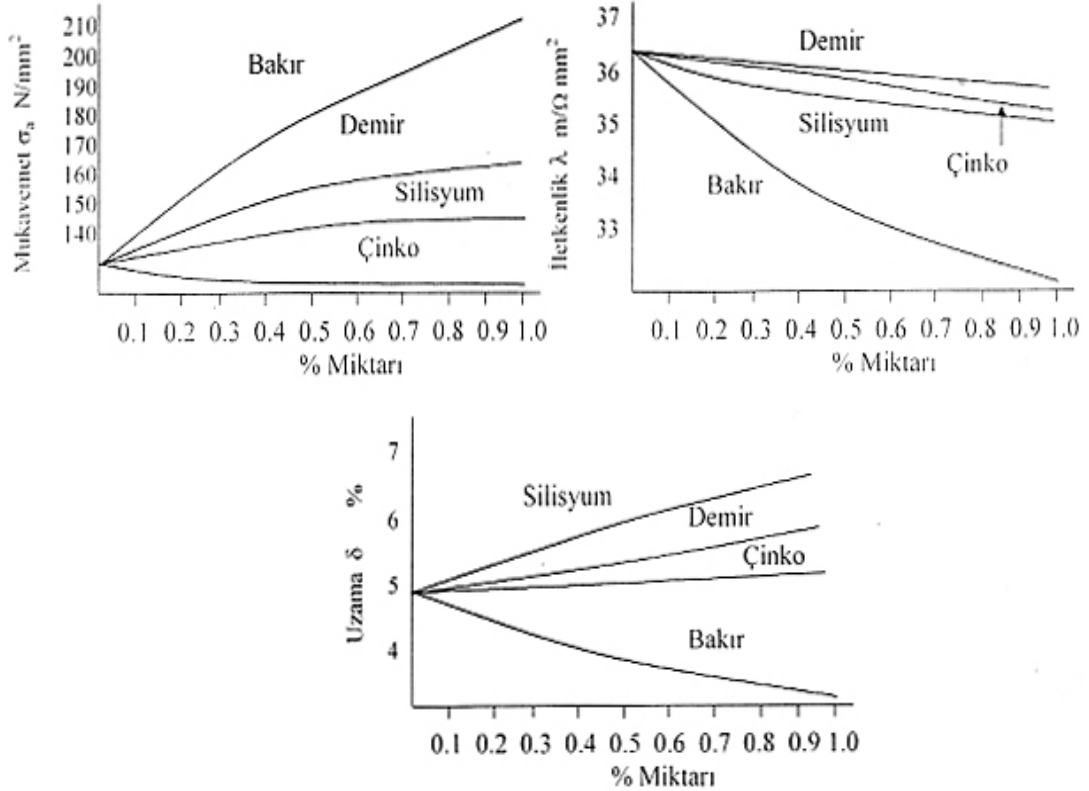
Tablo 2.1. Alüminyum Saflık Tasnifi [ 1]

<b>%Alüminyum</b>	<b>Verilen isim</b>
99.50 – 99.79	Ticari saflık
99.80 – 99.949	Yüksek saflık
99.950 – 99,9959	Süper saflık
99.9960 – 99,9990	Aşırı saflık
+ 99.9990	Ultra saflık

Alüminyumun genel özellikleri [ 6 ]

Sembol	Al
Atom No	13
Atom Ağırlığı	26.97 g/mol
Kristal Yapısı	YMK (a= 4.091 Å)
Yoğunluğu (25°C)	2.7 g/cm <sup>3</sup>
Ergime Noktası	660 °C
Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	150–300 °C
Buharlaştırma Noktası	2450 °C
Isıl Genleşme	23 .6 x 1 0.6 (20-100 °C)
Özgül ısı	0.224 cal/g (100 °C)
Ergime Gizli ısı	94.5 cal/g
Elastik Modül	7,2
Kayma Modülü	2,7
Çekme Dayanımı	4-9 kg/mm <sup>2</sup>
Akma Dayanımı	1-3 kg/mm <sup>2</sup>
% Uzama	60
Kopma Uzaması	%30 – 40
Çentik Darbe Tokluğu	10kg/cm2
Sertlik	17 (BHN)

Saf alüminyum özelliklerini, en fazla etkileyen katkı maddeleri; silisyum, demir, titan, bakır ve çinkodur. Saf alüminyumun çekme mukavemet, uzama ve elektrik iletkenliğine Fe, Si, Cu ve Zn elemanlarının etkisi Şekil 2.3'de gösterilmektedir [6].



Şekil 2.3. Saf Alüminyumun, Mukavemet, Uzama ve Elektrik iletkenliğine Katkı Elemanlarının Etkisi [7].

%99,50 ve daha saf olan alüminyumun özellikleri aşağıdadır.

### 2.3.1. Mukavemet Özellikleri

Mukavemet özellikleri malzemenin safiyet derecesine ve imal şekline bağlıdır.

**Tablo 2.2 alüminyum alaşımlarının karşılaştırmalı özellikleri [ 7 ].**

Özellikler	Döküm Al	Hadde Al	Isıl işlemlenmiş Al
Çekme Muk. (Kg/mm <sup>2</sup> )	9–12	18–28	7–11
Akma Muk. (Kg/mm <sup>2</sup> )	3–4	16–24	5–8
Uzama (%)	18–25	3–5	30–45
Büzülme(%)	40–55	60–85	80–95
Sertlik (Brinell)	24–32	45–60	15–25
Elastik Modül. (Kg/mm <sup>2</sup> )		6000–7000	

Saf alüminyumun dinamik mukavemeti, statik mukavemetinin yaklaşık 0,4 ila 0,45 katıdır. Soğuk şekil değiştirmiş alüminyum kaynak yapıldığı takdirde, geçiş bölgesinin mukavemeti düşer [8]. Tablo 2.3' de saf alüminyumun oda sıcaklığı çekme deney sonuçları görülmektedir. Metalin saflığı azaldıkça katı eriyik sertleşmesine bağlı olarak mukavemet artmakta ve süneklik azalmaktadır. Saf alüminyum ve alüminyum alaşımlarının elastisite modülü 70 Gpa ve Poison oranları 0,33 civarındadır. Metal sıcaklığı arttıkça saf alüminyumun akma mukavemeti ve elastisite modülü azalır [1].

**Tablo 2. 3. Saf Alüminyumun Oda Sıcaklığındaki Mekanik Özellikleri [1].**

% Saflık	Akma Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	%Uzama
99,99	10	45	50
99,8	20	60	45
99,6	30	70	43

Çeşitli alüminyum alaşımlarının ısı işlemler sonucu istenilen şekilde mukavemet, tokluk, sertlik ve diğer mekanik özellikleri geliştirilebilir. Mekanik özelliklerinin böyle değişebilir olması alüminyum alaşımlarının kullanım alanlarını genişletmektedir [6].

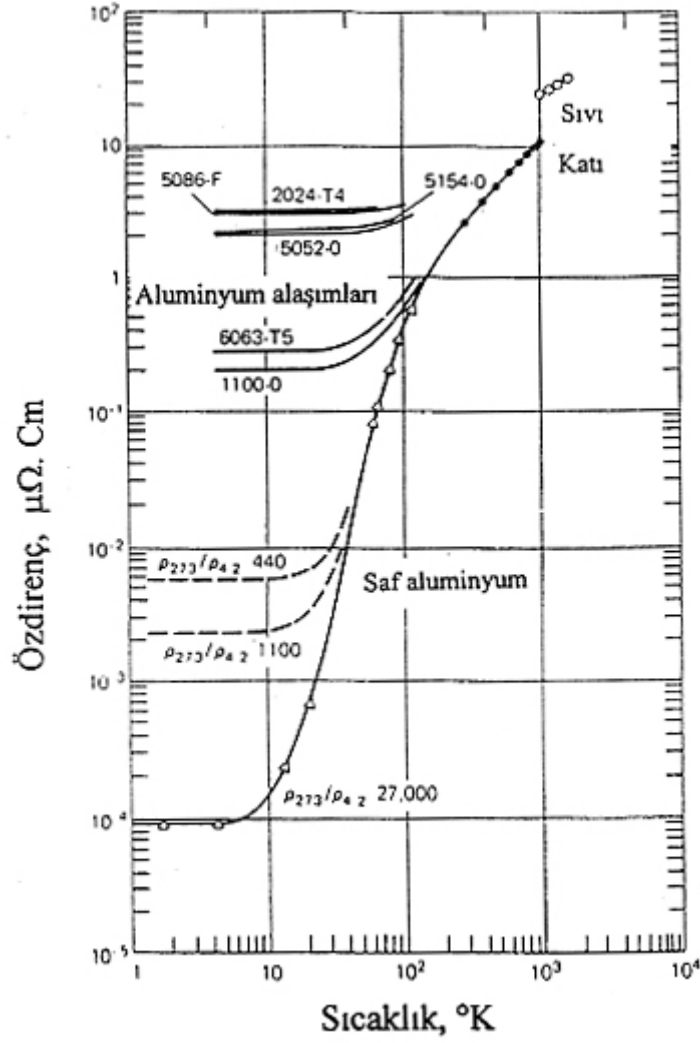
## 2.3.2. Fiziksel Özellikleri

Alüminyum kübik yüzey merkezli kafes yapısında katılaştır ve ergiyene kadar kafes yapısı değişmez. Bu KYM kafes yapısı metale yüksek süneklik kazandırır. Katı alüminyumun yoğunluğu oda sıcaklığında  $2,7 \text{ g/cm}^3$  değerindedir. Ergime sıcaklığı  $660^\circ\text{C}$  dır.  $660^\circ\text{C}$  deki sıvı alüminyum yoğunluğu  $2,37 \text{ g/cm}^3$  olur. Sıvı sıcaklığı arttıkça yoğunluk azalır.  $750^\circ\text{C}$  deki  $2,34 \text{ g/cm}^3$  olan sıvı yoğunluğu  $850^\circ\text{C}$  de  $2,32 \text{ g/cm}^3$  değerine düşer. Saf alüminyum sıcaklığı arttıkça termal genleşme katsayısı ve elektrik özdirenci artarken ısı iletim katsayısı azalır [1].

**Tablo 2.4. Saf Alüminyumda Termal Genleşme Katsayısının ( $\alpha$ ) Sıcaklık İle Değişmesi [ 1].**

Sıcaklık $^\circ\text{C}$	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Sıcaklık $^\circ\text{C}$	$\alpha$ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$
20	23.0	327	28.2
77	24.1	427	30.4
127	24.9	527	33.5
227	26.5	627	37.3



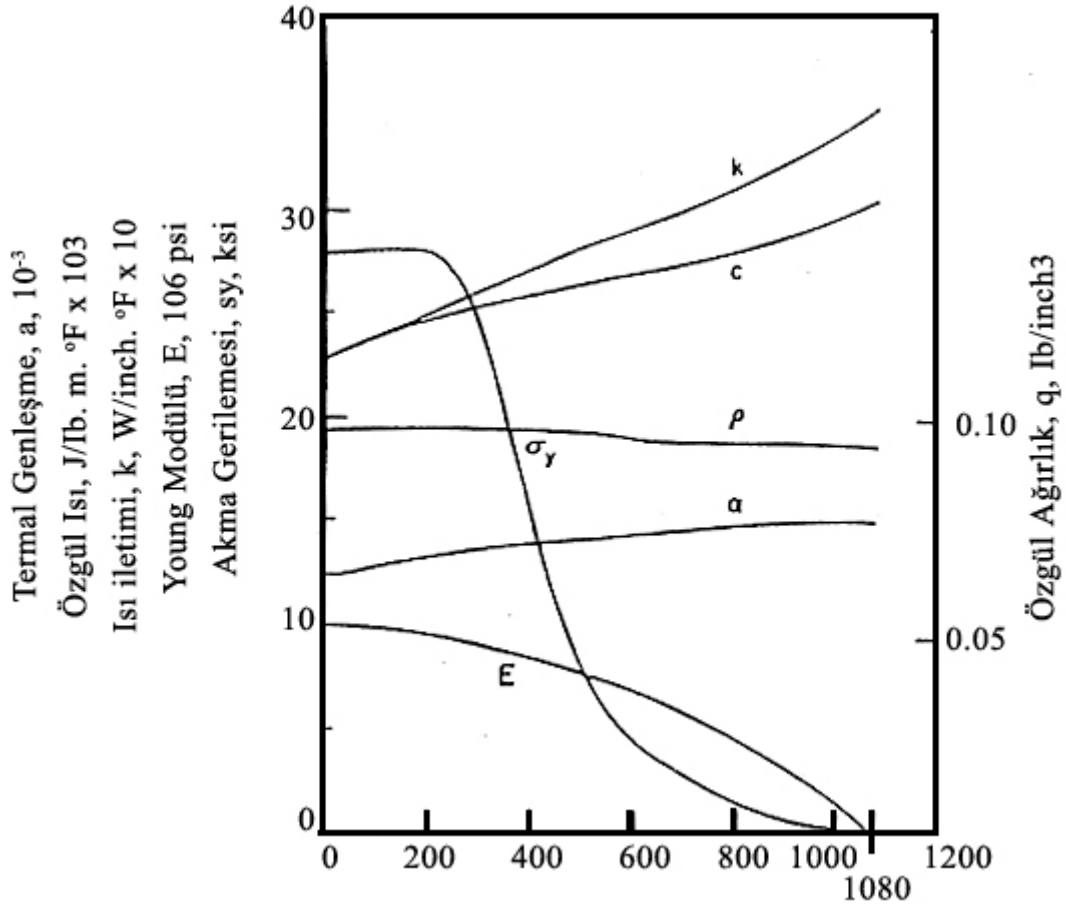


Şekil 2.4. Saf Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrik Öz Direncin Sıcaklık İle Değişmesi [ 1].

5052 – H32 alüminyum alaşımlarında metal sıcaklığının mekanik ve fiziksel özelliklere tesirini Şekil II.4da görmekteyiz. Katı haldeki yoğunluk hemen hemen hiç değişmemektedir. Mukavemet ve elastisite modülü azalırken ısı iletimi, termal genişleme ve özgül ısı artmaktadır [1].

Tablo 2.5. Saf Alüminyumda Isı İletim Katsayısının (k) Sıcaklık İle Değişmesi [ 1 ].

Sıcaklık °C	k W cm <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	Sıcaklık °C	k W cm <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
0	2,36	300	2,33
25	2,37	400	2,26
50	2,39	500	2,19
100	2,40	600	2,12
200	2,37	660	2,08

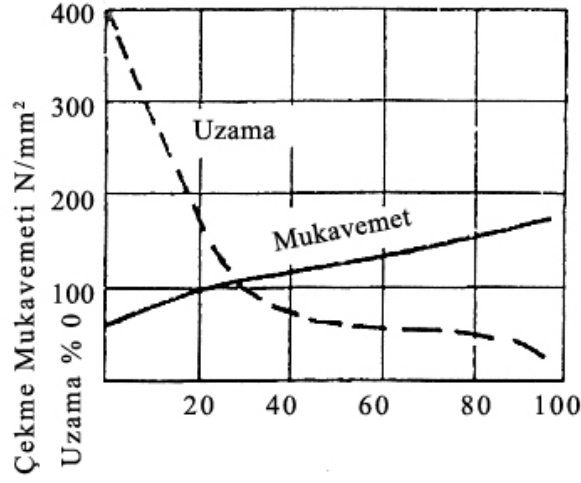


Şekil 2.5. 5052-H32 Alüminyum Alaşımlarına Ait Bazı Özelliklerinin Sıcaklık İle Değişmesi [1].

### 2.3.3. Soğuk Ve Sıcak Şekil Değişirme

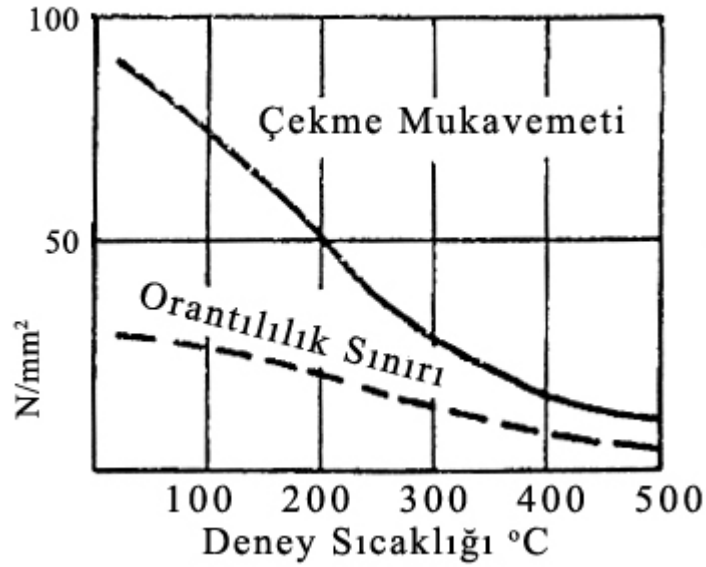
Alüminyum oda sıcaklığında soğuk şekil değiştirdiği takdirde, çekme ve akma mukavemeti yükselir. Buna karşılık uzama miktarı ve şekil değiştirme kabiliyeti azalır. Bu artma ve azalma, şekil değiştirme derecesine bağlıdır. Şekil değiştirme derecesine bağlı olarak da alüminyum yumuşak, 1/16 sert, 1/8 sert, 1/4 sert, 1/2 sert ve 1/1 sert olmak üzere kısımlara ayrılır. Sert yani şekil değiştirmiş alüminyum, yumuşak alüminyumdan daha az bir korozyon mukavemetine sahiptir. Mesela %99,5 saflık derecesinde bulunan bir alüminyum, 7kg/mm<sup>2</sup> çekme mukavemetine ve %35 uzama miktarına sahip olmasına rağmen; %20 derecesinde bir soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulursa, çekme mukavemeti 10 kg/mm<sup>2</sup> ye yükseldiği gibi uzama miktarı da %15'e düşer. Şekil değiştirme derecesi %40'a yükselirse, mukavemet 12 kg/mm<sup>2</sup> ve uzamada %12 değerini alır. Alüminyumun sıcak şekil değiştirmesi (boruların, profillerin ve sacların sıcak olarak bükülmesi) her zaman mümkündür. Daha önce soğuk şekil değiştirmiş bir alüminyum parça, sıcak şekil değiştirebilir. Fakat kaynak işleminde olduğu gibi mukavemet düşer. Sıcak şekil değiştirme sıcaklığı 300 – 450 °C arasındadır [7]. Saf alüminyumun, soğuk ve sıcakta şekil değiştirme kabiliyeti çok iyidir. Alüminyum ve alaşımları soğuk şekil verme sırasındaki pekleşme gösterir. Saf alüminyumun soğuk şekil değiştirme derecesine bağlı

olarak, çekme mukavemeti ve uzama miktarının değişimi Şekil 2.8'de verilmiştir [6]. Alaşımların özelliklerinin değişimi, alaşım elementlerinin cinsine ve miktarına bağlı olarak değişir.

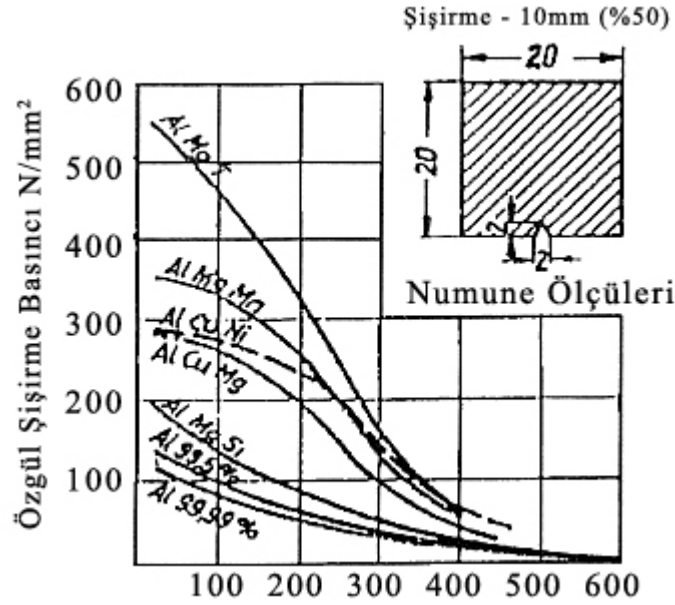


Şekil 2.6. Saf Alüminyumun Soğuk Pekleşmesi [6].

Alüminyumun sıcak zorlanmasında, orantılık sınırı ve çekme mukavemeti sıcaklık ile düzgün olarak azalmaktadır (Şekil 2.7) [7]. Bu azalma  $200^{\circ}C$  sıcaklığa kadar oldukça fazladır. Benzer durum saf alüminyumun şişirilmesi halinde de görülür (Şekil 2.8) [6].



Şekil 2.7. Saf Alüminyumun Sıcaklıkla, Çekme Mukavemeti ve Orantılılık Sınırının Değişimi [6].



Şekil 2.8. Saf Alüminyumun ve Alaşımlarının, Özgül Şişirme Basıncının, Şişme Sıcaklığına Bağlı Olarak Değişimi (AIAG) [1].

### 2.3.4. Kimyasal Özellikleri

Alüminyum yüksek bir kimyasal aktiviteye sahiptir. Oksijen, halojenler, kükürt ve karbon ile bileşiklerinin teşekkül enerjisi çok yüksektir. Elektromotif kuvvet serisinde en kuvvetli elektronegatif elementlere dâhildir. Alüminyum havada ince fakat çok sıkı bir alüminyum oksit tabakası ile kaplanır. Elektron mikroskobu ile yapılan araştırmalar bu örtünün çok sık ve gözeneksiz olduğunu göstermektedir. Bu örtü, metali oksitlenmenin devam etmesine karşı korur. Malzemeye yüksek bir korozyon direnci kazandırır. Metalik parlak alüminyum yüzeyindeki koruyucu oksit tabakası takriben 0.2 mm kalınlığındadır.

Alüminyum havada, ergime noktasının (650°C) hemen altına kadar ısıtılırsa oksitlenme devam eder. Alüminyum ergime noktası üzerindeki sıcaklıklarda daha hızlı oksitlenir. İnce taneli metal havada ısıtılınca çok kuvvetli oksitlenir. Alüminyumda magnezyum, kalsiyum, sodyum, silisyum ve bakırın mevcudiyeti oksidasyon eğilimini kuvvetlendirir. Bilhassa Al-Mg alaşımları ısıtılınca kolayca oksitlenir ve yüzeylerinde gevrek bir oksidasyon tabakası meydana gelir Alüminyum oksijen ile reaksiyonu kuvvetli bir ekzotermiktir ve birçok metalin oksitlenmesinden çok daha fazla ısı verir (400. kcal/g.mol). 100°C 'nin üzerindeki sıcaklıklar da alüminyum, klor ile 161.4 kcal/g.mol kıymetinde ısı vererek alüminyum klorür teşkil eder. Alüminyum hidrojen ile reaksiyona girmektedir. Fakat onu kolayca çözer. Hidrojenin ergimiş alüminyumda çözünürlüğü 1000°C'de her bir cm<sup>3</sup> Al için 0.2 cm<sup>3</sup> değerine ulaşmaktadır. Alüminyum hücrelerinde hidrojenin kaynağı, H Ayrışımı ile katotta elektrolitik olarak parçalanmış nemdir [6].

## 2.3.5. Korozyon Özellikleri

Alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok fazladır. Kısa bir zamanda oksijenle birleşerek alümin ( $Al_2O_3$ ) teşkil eder. Bunun içindir ki alüminyum havada bırakıldığı zaman oksijenle birleşerek bütün yüzeyi gri renkte alümin tabakasıyla örtülür. Alüminyumun bu özelliği, korozyona karşı mukavemetini yükseltir. Meydana gelen bu oksit tabakası su ile yıkama suretiyle çıkmaz. Alüminyumun bu özelliği kullanma sahasını genişletmiştir. Soğuk şekil değiştirme korozyon mukavemetini düşürür. Alüminyumun safiyet derecesi azaldığı takdirde de korozyon mukavemeti düşer. Yani yabancı elemanlar, korozyon mukavemetini azaltır [7].

## 2.4. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

Günümüze kadar ihtiyaç duyuldukça her dönemde çeşitli norm standartları üretilmiştir. TSE alüminyum standartlarıyla ilgili çeşitli örnekler aşağıda sunulmuştur [ 8 ];

- TS 209 / Mart 1965 Sert Çekilmiş Tel İletkenlerin Özdirenci.
- TS 935 / Nisan 1971 Dövme Alüminyum Alaşımları İçin Mekanik Özelliklerin Sınırı
- TS 996 / Nisan 1971 Alüminyum ve Alüminyum Alaşımı Ekstrüzyon Mamulleri İçin Mekanik Özellik Sınırları.
- TS 1321 / Nisan 1973 Hafif Metal ve Alaşımlarına Uygulanan İşlemlerin Kısa Gösterilişi
- TS 1628 / Nisan 1974 Alüminyum Külçeler( Alaşımsız) Sınıflandırma ve Kimyasal Bileşimleri (Eritmek İçin).
- TS 1540 / Mart 1974 Alüminyum Alaşımları Kuma Dökülmüş Deney Parçaları Mekanik Özellikler.
- TS 2307 / Nisan 1983 Alüminyum ve Alaşımları - Kokile Dökülen Örnek Parçası
- TS 2894 / Nisan 1983 Alüminyum ve Alaşımlarında Ekstrüzyondan Sonra Difenilkar Bazit Kullanılan Spektrofotometrik Metotla Krom Miktarı Tayini.
- TS 3978 / Nisan 1983 Alüminyum ve Alaşımları Zirkonyum Tayini Foto metrik Metotla [ 8].

Türk Standartları Enstitüsü' nün aşağıda belirtilen standartları; alüminyum alaşımları ve ürünleri hakkında detaylı bilgi vermektedir [8].

<b>Standart No</b>	<b>Konusu</b>
TS 412	Biçimlendirilebilir alüminyum alaşımları
TS 3188	Ekstrüzyon Borular
TS 1164	L – U – T – I profilleri

TS 4598	Oluklu levhalar
TS 4924, 4925, 4926	Ekstrüzyon Profilleri
TS 4922	Eloksal Kaplama

Aşağıda açıklanan alüminyum ve alaşımlarının adlandırma sistemi Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü (American National Standards Institute, ANSI) H 35-1 standardında verilen sistemdir. Bu sistemde alaşımlar ilk önce iki ana gruba ayrıldıktan sonra tasnif edilir. Dövme ve döküm alaşımları [1].

## **2.4.1.Alaşım Elementlerinin Alüminyuma ve Alüminyum Alaşımlarına Etkileri [9]**

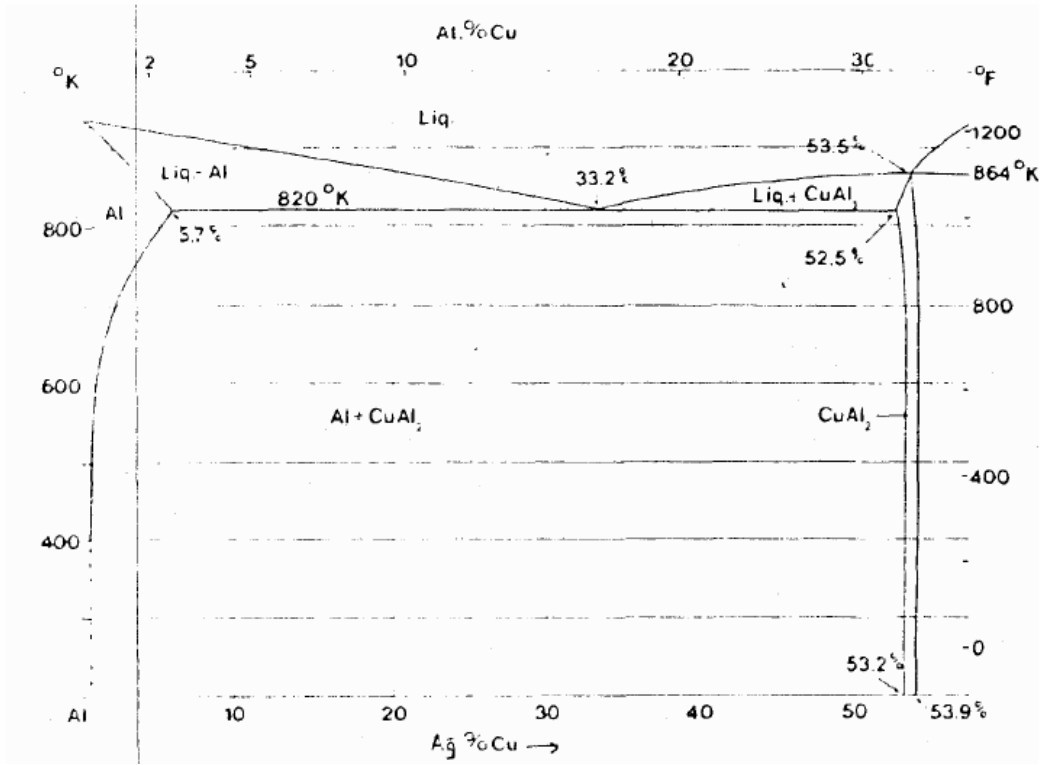
Ticari olarak sadece yüksek elektrik iletkenliğinin istendiği uygulamalarda kullanılan saf alüminyumun, mekanik ve döküm özelliklerini iyileştirmek için çeşitli alaşım elementleri kullanılır. Başlıca kullanılan alaşım elementleri, bakır, silisyum, magnezyum, çinko, krom, kalay, manganez, demir, nikel, titanyum, zirkonyum, fosfor, sodyum, lityumdur.

### **2.4.1.1. Bakır**

Alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan alaşım elementidir. Alüminyumun endüstride ilk kullanıldığı yıllarda döküm alaşımı olarak %8 Cu içeren Al -Cu alaşımı kullanılıyordu. Ticari saflıktaki alüminyuma bakır ilavesi ile yapılan bu kum kalıba döküm alaşımı uzun yıllar dökülebilirliğinin zorluğuna rağmen kullanılmıştır. Daha sonraları bakırın miktarı %5 civarına indirildi ve silisyum ilave edildi, bu şekilde kolay dökülebilir, iyi akışkanlığa sahip ve ısı ile sertleşebilen bir alaşım geliştirilmiş oldu ve de geniş kullanım sahası buldu. Bakır düşük sıcaklıklarda ısı ile sertleşen, yüksek sıcaklıklarda ise diğer alaşım elementleri ile oluşturduğu ara fazlar dolayısı ile malzemenin mukavemetini artırır. Al-Cu denge diyagramına göre, (Şekil 2.9) bakırın alüminyum içinde eririliği oda sıcaklığında %0.5, 548°C ötektik yatayında ise %5.65 ' dir. Yüksek süneklik istenen uygulama alanlarında %2-5 Cu, sıcak yırtılmanın önemli olduğu uygulamalarda ise % 4-12 Cu kullanılır.

Bakırın, alüminyum içinde katı fazda çözünürlüğü artan sıcaklıkla beraber artar. Böylece çökme sertleşmesi mümkün olur. Çökme için gerekli zamanla alaşımın bileşimine ve sıcaklığına bağlıdır. Çökmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökelen fazın miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır. Al-Cu sisteminde bakır miktarının %5.5 'e kadar artışı ile mukavemet artmakta, süneklik azalmaktadır. Daha yüksek değerdeki bakır mekanik özelliklerde düşmeye yol açar. En iyi özellik açısından tercih edilen bileşim %4.5 Cu içeren Al-Cu alaşımıdır. Bakır yanında Mg veya Mn olduğu

zaman süneklik azalır. Eğer alaşımda kalay yüksek oranda var ise sertlik azalır, korozyon direnci düşer. Yüksek miktarda demir ve silisyum da mekanik özelliklere kötü yönde etki yapar.

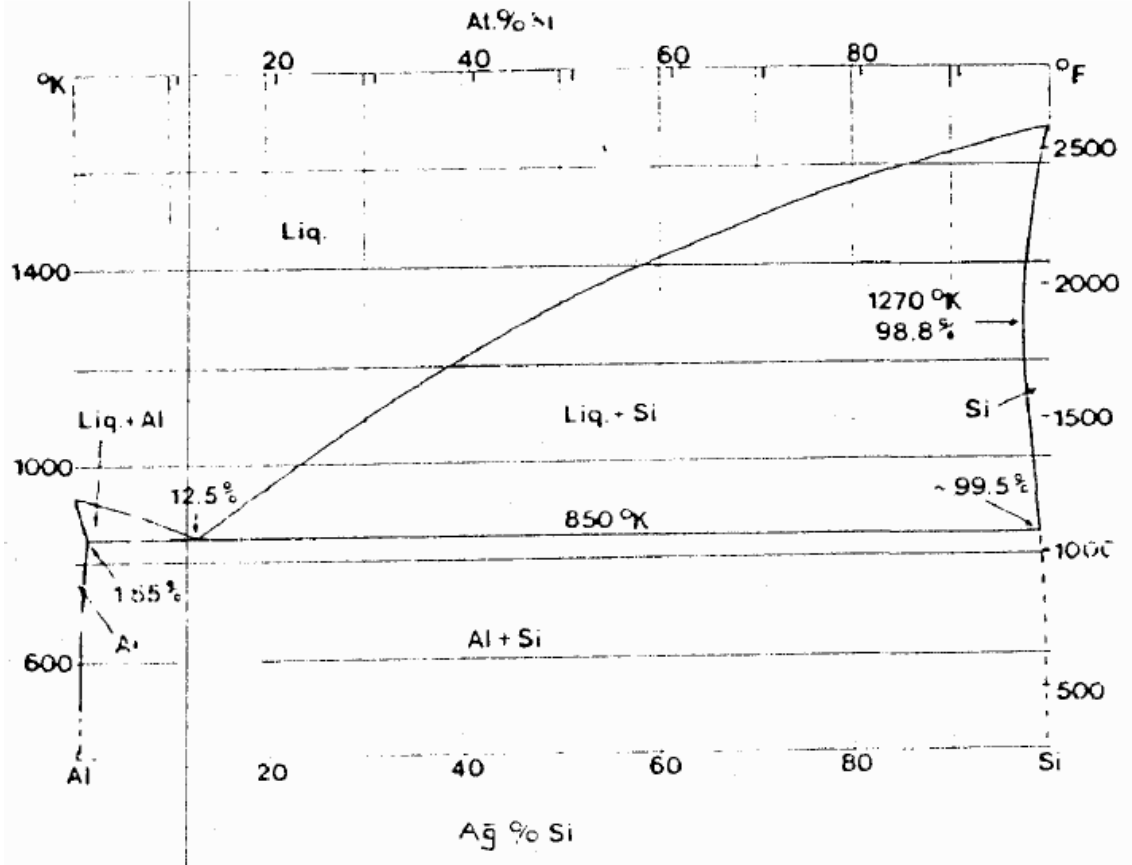


Şekil 2.9. Alüminyum - Bakır Denge Diyagramı.

Genel olarak bakır alüminyuma, sertlik, dayanım, dayanım özelliği ve işleme kolaylıkları gibi özellikler kazandırır. Bakır, alaşım hazırlamada Al %33-50 Cu ön alaşımı şeklinde ilave edilir.

## 2.4.1.2. Silisyum

Boksit cevherlerinde bulunan kuartz ve silis katlı kayalar nedeniyle silisyum, alüminyumda en çok bulunan ikinci empürite elementtir. Keza bakırdan sonra alüminyumda en yaygın kullanılan alaşım elementidir. Alüminyuma, akışkanlık, kaynak kabiliyeti ve yüksek mekanik özellikler kazandırıldığı gibi bazı elementleri ilavesi ile ısıl işleme uygun alaşımlar da yapmak mümkündür. Al-Si Sistemi basit bir ötektik içeren alüminyum ve silisyum fazlarına sahip bir denge diyagramı verir. (Şekil 2.10)



Şekil 2.10- Alüminyum - Silisyum Denge Diyagramı.

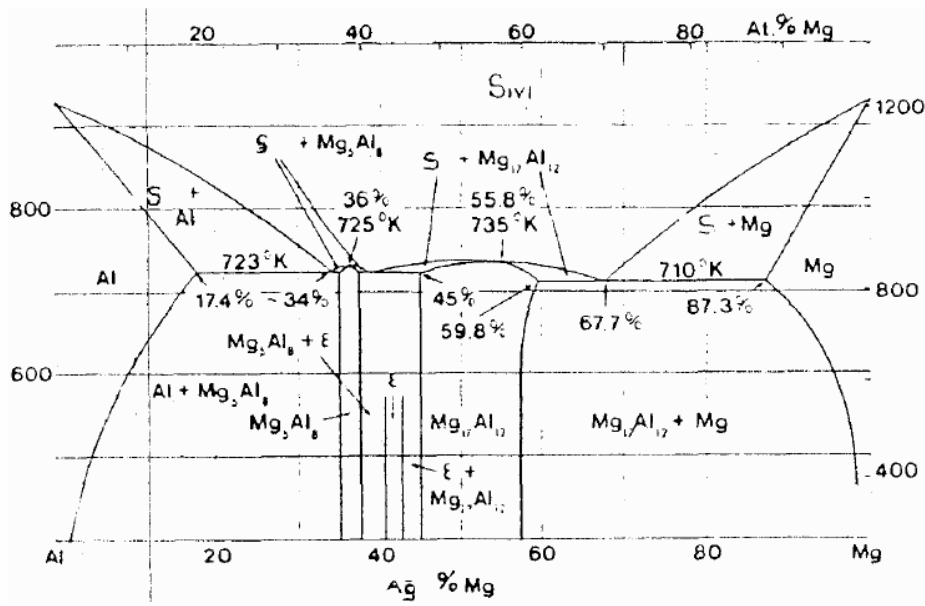
Oda sıcaklığında çok az silisyum, alüminyum erir. Ötektik sıcaklığında ise %12.59 erir, 577°C 'de ve % 12,6 noktasında ötektik ayrışması gösterir. "Al-Si" alaşımları, katı eriyik bölgesinin çok dar olması ve solüfus eğrisinin dik olması nedeniyle ısıtma işlemi ile sertleştirilmezler. Bu alaşımın ısıtma işlemi ile sertleştirilmesi için belirli oranda magnezyum ilavesi yapılır. Si miktarı %7–12 aralığında olan "Al-Si" alaşımları yüksek mukavemet gerektiren, yüksek sıcaklıkta aşınma direnci istenen uygulamalarda kullanılır.

Mekanik özellikler, alaşımın bileşiminden çok silisyum içeren fazın şekli ve dağılımına bağlıdır. Küçük ve yuvarlak primer faz (veya ötektik yapı) yüksek mukavemet ve süneklik verir, iğne şeklindeki silisyumla faz, çekme mukavemetini arttırmakla beraber süneklik, darbe ve yorulma mukavemetini düşürür. Si ilavesiyle akışkanlık ve korozyon direnci artar. Tane küçültme ve modifikasyon işlemleri ile iyi işlenebilirlik sağlanabilir. Ayrıca sıcak yırtılma da düşürülür. Silisyum ve bakır beraberce alaşımlarda amacı ile kullanılabilir. Bu amaçla geliştirilen (%6 Si, %5 Cu) alaşımının kaynak kabiliyeti iyidir. (%9 Si, %4 Cu) alaşımı ise sızdırmazlık isteyen yerlerde tercih edilirler. Al-Si alaşımlarında da "Fe" ve "Mg" varsa süneklik düşer. Bu alaşım sisteminde müsaade edilen empürite element yüzdeleri %0.5 Zn, %0.6 Cu, % 1.3 Fe, %0.3 Mg'dir. Silisyum, alaşım hazırlamada Al-%13–22 Si ön alaşım şeklinde ilave edilir. Özel bazı piston alaşımları %25'e varan silisyum içerirler.



### 2.4.1.3. Magnezyum

Magnezyum, "Al-Mg" grubu alaşımların en önemli bileşenidir. Alaşıma yüksek mukavemet, soğuk işlemlerde iyi şekil değiştirme ve mükemmel korozyona karşı direnç ile iyi kaynaklanabilme özelliği verir. "Al" döküm alaşımlarında % 4 ile 10 oranında "Mg" bulunur. %7–10 Mg içeren alaşımlara ısıl işlem uygulanır. %7–8 arasında korozyon uygulamalarında tercih edilir. "Mg", "Al-Cu" alaşımların daha iyi yaşlanma karakteristikleri, "Al-Mn" alaşımlarına korozyon direnci ve düktiliteyi azaltmadan mukavemeti artırma özelliği ve "Al-Si" alaşımlarına da ısıl işlem yapılabilme kabiliyetini kazandırmak amacıyla ilave edilir. Bileşimler de "Mg<sub>2</sub>Si" metaller arası bileşimini yapabilecek oranda Mg ve Si olan "Al-Mg-Si" alaşımları ısıl işleme tabii tutulabilen ve kolay işlenebilen alaşımlardır. Korozyon dirençleri de yüksek olan bu alaşımlarda, silisyum miktarı söz konusu orandan fazla olması durumunda alaşımın mukavemeti suni yaşlandırma ile artırılabilir. "Al-Zn-Mg" alaşımı iyi korozyon direnci iyi kaynaklanabilme kabiliyeti ve mükemmel yüksek mukavemet gösterir. "Mg" oda sıcaklığında %1.9, ötektik sıcaklığında (450°C) de 17.4 Al'da erir (Şekil 2.11). Yaklaşık %34 Mg bileşiminde Sıvı - Al-Mg<sub>5</sub>Al<sub>8</sub> reaksiyonu vererek ötektik ayrışma olur.

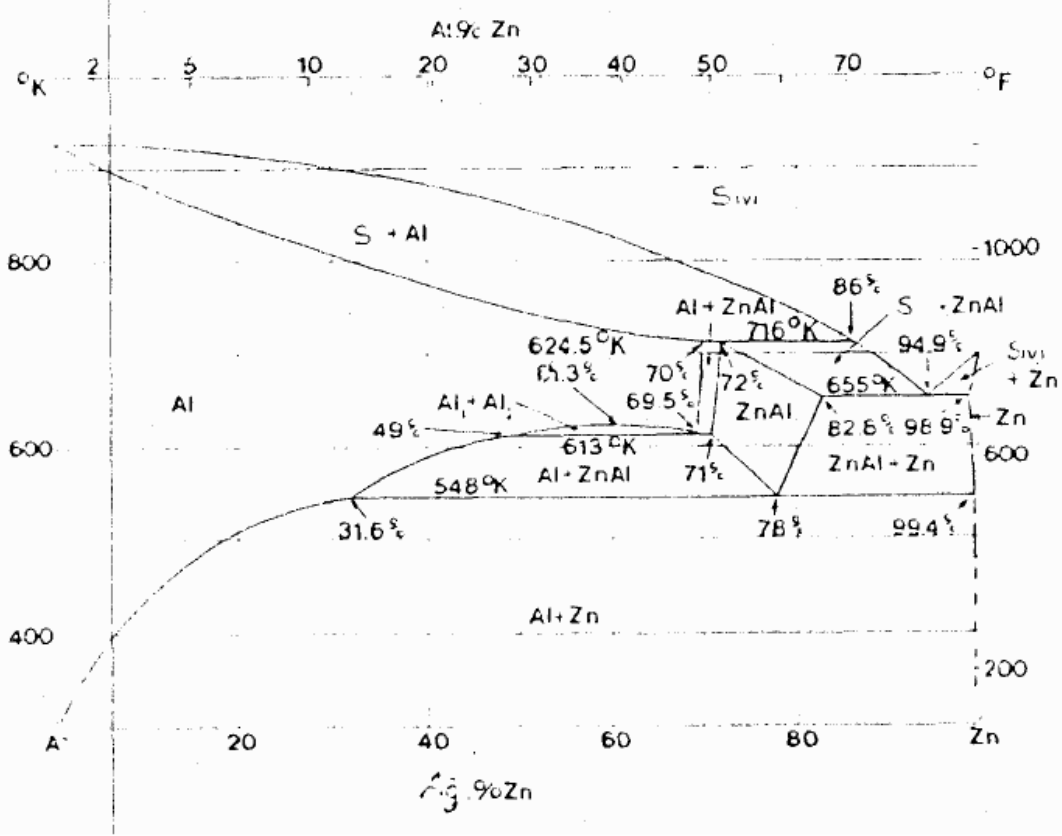


Şekil 2.11 - Alüminyum-Magnezyum Denge Diyagramı.

Sodyum, yüksek sıcaklıkta işlenen Al-Mg alaşımlarında çatlak hataların oluşumuna neden olur. Mg miktarı %2'den fazla ise gevreklik sorunu da ortaya çıkar. Sodyumun ortaya çıkardığı bu problemin nedeni, ara faz içinde çözünmeyip serbest kalarak Hidrojen absorpsiyonu ile "NaH" bileşiği yapmasıdır. Bu gevrek ve sıcak işlem sıcaklığında sıvı olan bir fazdır. Magnezyum, alaşım hazırlamada Al-%10 Mg ön alaşımı şeklinde ilave edildiği gibi saf halde de ilave edilebilir.

"Al-Zn" alaşımları genellikle en yüksek mukavemetli "Al" alaşımları olarak bilinir, ilk geliştirilen alüminyum döküm alaşımıdır. Fakat "Al-Cu" alaşımları ve bilhassa "Al-Si" alaşımları geliştirilince yerini

onlara bırakılmıştır. 1920'li yıllarda alüminyum-çinko-magnezyum alaşımları ve daha sonra yüksek çinkolu süper plastik alaşımların geliştirilmesi ile alüminyum alaşımlarında önemi tekrar artmıştır. Alüminyum -çinko denge diyagramı üzerinde en fazla durulan ve (80 yıldan fazla araştırma yapılan bir denge diyagramıdır, son birkaç yılı öncesin ise bu araştırmalar tamamlanmıştır (Şekil 2.12).



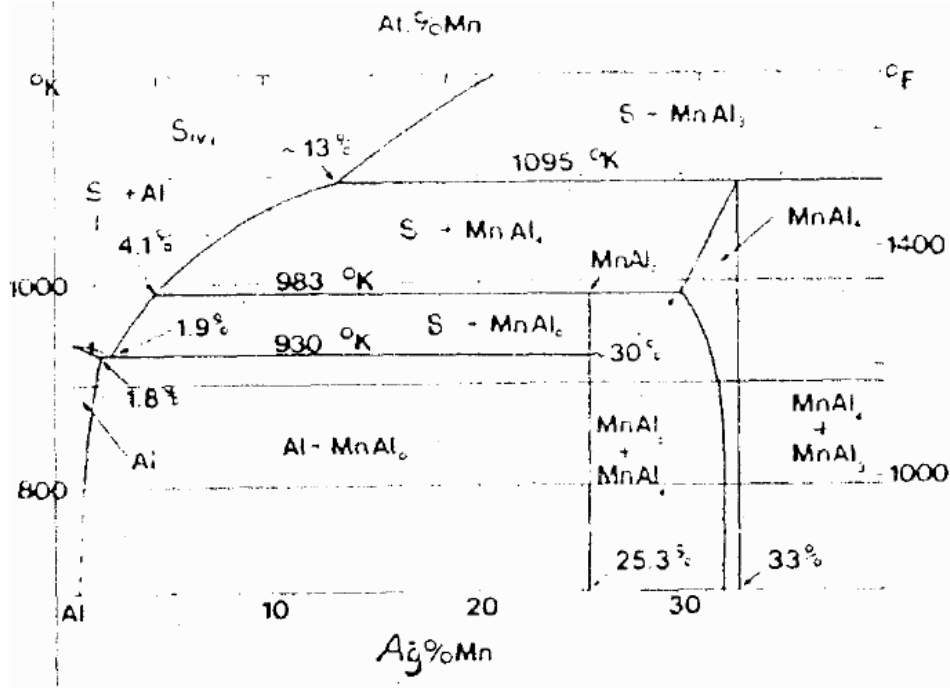
Şekil 2.12- Alüminyum-Çinko Denge Diyagramı

Yaklaşık %70 Zn bileşiminde Sıvı + Al  $\square$  Al + ZnAl peritektik reaksiyon %94.9 Zn bileşiminde Sıvı Al+ZnAl ötektik reaksiyon vardır. "Zn", alüminyum alaşımlarının işleme kabiliyetini artırır. Sıcak yırtılmaya sebep olmasına rağmen diğer alaşım elementleri ile bu kötü özellik giderilebilir. Örneğin bakır ilavesi sıcak yırtılmayı engeller. "Mg" ve "Zn" içeren alaşımlar ısı ile işleme tabi tutulabilen, genelde uçak sanayinde kullanılan Al+Mg+Zn+Cu alaşımlarıdır ve bu alaşımlarda çinko ve magnezyum oranı birden büyüktür. (Zn/Mg>1) Örneğin, %2-8 Zn, 0,5-4 Mg, 0-3 Cu gibi. Çinko alaşım hazırlamada, "Al- /%25 Zn" ön alaşımı şeklinde ilave edildiği gibi metalik halde de ilave edilebilir.

#### 2.4.1.4. Manganez

Mn daha ziyade dövme alaşımlarında kullanılır. "Al-Mn" alaşımlarında sertleştirici başlıca element olduğu gibi, "Al-Cu" "Al-Mg", "Al-Mg-Si", "Al-Zn- Mg" alaşımlardaki demirin kötü etkisini gidermek içinde kullanılır. Diğer taraftan bazı döküm alaşımlarında sınırlı olsa da bir miktar bulunur.

Alüminyumda manganezin max. Çözünürlüğü 657°C' de % 1.8 Mn olup, %1.9 Mn bileşiminde ötektik reaksiyon verir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 - Alüminyum-Manganez Denge Diyagramı.

Manganez, korozyon direncini düşürmeden mekanik özellikleri iyileştirir. %0.75'e kadar Mn ilavesi, döküm alaşımlarında sertliği artırır, sünekliliği ise azaltır. Mn içeren alaşımlarda manganez büyük oranda  $MnAl_6$  metaller arası bileşiği halinde çöker, mikro yapıda ince ve homojen halde dağılır ise malzemenin deformasyon kabiliyetini bozmadığı için bu nedenle deformasyon görecekte alaşımlarda manganez, mikro yapıda aşırı doymuş ana faz içinde mümkün olan en yüksek oranda çözünmüş halde elde edilmeye çalışılır. Özel tekniklerin gerektirdiği bu sistemler günümüz katılaşma konusu araştırmacıların üzerinde çokça durduğu bir konudur. Manganez alaşım hazırlamada Al-%10 Mn içeren ön alaşım halinde ilave edilir.

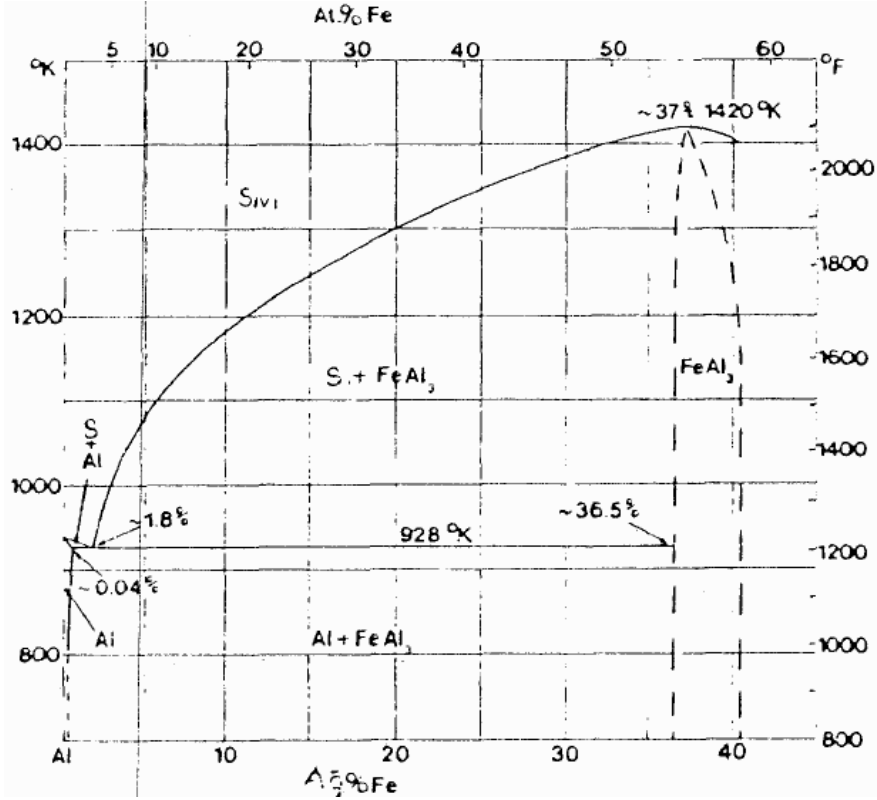
### 2.4.1.5. Demir

"Al" alaşımlarında genelde demire rastlanır, Ticari bileşimdeki alaşımlarda birinci empürite elementtir ve daha düşük yüzdelere indirilmeye çalışılmaktadır. Fakat demir "primer Al" eldesinde cevhere bağlı olarak çalışılmakta sıvı metale geçtiği gibi ergitme ve alaşımlandırma veya diğer işlemler esnasında kullanılan alet ve ekipmanlardan sıvıya geçebilir. Diğer taraftan bazı alaşımlarda örneğini "Al-Cu-Ni" alaşımlarına yüksek sıcaklıktaki mukavemet arttırmak amacıyla, "Al-Fe-Ni" alaşımlarına buhar sistemlerindeki çalışma sıcaklığındaki korozyonu azalttığı, yeni geliştirilen iletken malzemelerde iletkenlik özelliğini kaybetmeden mukavemet kazandırdığı için demir ilave edilmektedir. Bazı "Al-Mg" alaşımlarına tane küçültücü olarak demir ilave edildiği gibi katı fazdaki demirin çözünürlüğü "Mg"

ilavesi ile azalır. "Mg" aynı zamanda alüminyum– demir alaşımlarında oluşan primer "FeAl<sub>3</sub>" kimyasal bileşiğinin tane boyutunu da düşürür.

## 2.4.1.6. Krom

Krom, alüminyum içinde çözünürlüğü düşük olan "Cr-Al<sub>7</sub>", kimyasal bileşiğini oluşturur. "Cr-Al<sub>7</sub>" kaba metaller arası bileşiği titanyum, manganez veya demir ile inceltilebilir.



Şekil 2.14 Alüminyum-Demir Denge Diyagramı

Krom ahodizasyon işleminde altın sarısı renk verir. %0.15–0.25 arasında krom, "Al-Zn-Cu" alaşımlarında mukavemeti artırır. Ayrıca gerilmeli korozyon olasılığı da azalır. Krom, "Al- %2 Cr" ön alaşımı halinde ilave edilir.

## 2.4.1.7. Nikel

Nikel yüksek sıcaklıkta malzemeye mukavemet kazandırmak amacı ile ilave edilir. Nikel içeren "Al" alaşımlarında ısıl genleşme katsayısı düşüktür. Sıvı metale "Al-20 Ni" ön alaşımı şeklinde ilave edilir.

## 2.4.1.8. Titanyum

Titanyum, genellikle primer alüminyumda empürite halinde vardır ve cevherden gelir. Bunun dışında döküm alaşımlarında tane küçültücü olarak kullanılır. Titanyum, "Al-%5 Ti" ön alaşımı şeklinde ilave edilir

### **2.4.1.9. Zirkonyum**

Zirkonyum, alüminyumda tane küçültücü olarak kullanılır. Ayrıca korozyona engel olur ve yüksek sıcaklıklarda sürünme mukavemetini artırır. Sıvı metale "Al- %5 Zr" ön alaşımı halinde ilave edilir.

### **2.4.1.10. Fosfor**

Fosfor, primer alüminyumda fosfatlı cevherlerden gelir. Ötektik üstü "Al-Si" alaşımlarında, silisyumlu primer fazın daha küçük ve düzgün dağılmış olarak bulunması için ilave edilir. Fosforun alüminyumdaki çözünürlüğü ppm mertebesindedir.

### **2.4.1.11. Sodyum**

Sodyum, "Al-Si" alaşımlarında modifikasyon için kullanılır. Sodyum içeren alüminyum alaşımlarının sünelik ve darbe mukavemetin de yükselme görülür. Ayrıca sertlikte çok az bir artış olur. Ancak % 0.01 civarındaki "Na" sıcak yırtılmaya yol açabileceği gibi korozyona karşı direnci de azalır.

### **2.4.1.12. Kalay**

Kalay içeren alaşımlar, yataklar ve kovanlar için geliştirilmiş. Alüminyum döküm alaşımlarında sıcak yırtılmalar ve korozyon direnci üzerine olumsuz etkileri vardır.

## **2.4.2.Dövme Alüminyum ve Alaşımları**

Dövme alüminyum ve alaşımları dört basamaklı bir sayı ile tanımlanırlar. Binler hanesindeki rakam ana grubu gösterir (Tablo II.6). 2xxx serisinden 7xxx ana grubuna kadar her grup en büyük alaşım elementine göre adlandırılır. Mesela 3xxx gurubunda en önemli alaşım elementi mangandır. Bu adlandırmaya uymayan grup serisi 6xxx serisidir. Bu guruba giren alaşımlarda hem magnezyum hem de silisyum bulunur. Bu iki element birleşerek magnezyum silis (Mg<sub>2</sub> Si) oluşturur. Tablo 2.6'da bazı

dövme alaşımlarının tipik kimyasal bileşimleri verilmiştir. Bu alaşımlardan bazılarının ISO karşılıkları Tablo 2.7 de görülmektedir.

**Tablo 2.6. Dövme Alüminyum ve Alaşımların ANSI 35.1 Standardına Göre Ana Grupları [1].**

Alüminyum > % 99.00	1XXX
Bakır	2XXX
Mangan	3XXX
Silis	4XXX
Magnezyum	5XXX
Magnezyum-Silis	6XXX
Çinko	7XXX
Diğer elementler	8XXX
Kullanılmayan dizi	9XXX

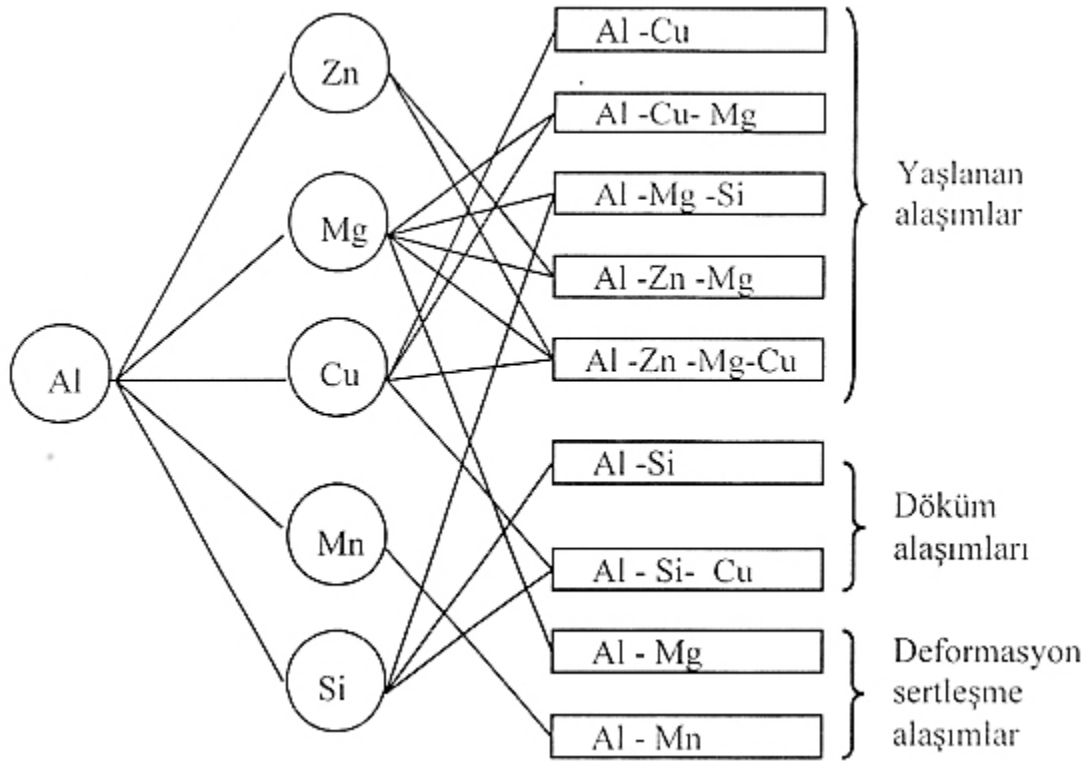
**Tablo 2.7 ANSI Standartlarında Belirtilen Bazı Alüminyum Alaşımlarının ISO (International Organization For Standardization) Karşılıkları [1].**

ANSI	ISO	ANSI	ISO
1060	Al99,6	5056	Al Mg 4,5 Cr
1350	E-Al 99,5	5083	Al Mg 4,5 Mn 0,7
1100	Al 99,0 Cu	5086	Al Mg4
		5154	Al Mg 3,5
2014	Al Cu4 Si Mg	5454	Al Mg 3 Mn
2017	Al Cu4 Si Mg		
2117	Al Cu2, 5 Si Mg	6061	Al Mg 1 Si Cu
2219	Al Cu 6 Mg	6063	Al Mg 0,7 Si
2024	Al Cu 4 Mg 1	6101	E-Al Mg Si
		6262	Al Mg 1 Si Pb
3003	Al Mg 1Cu	6351	Al Si 1 Mg 0,5 Mn
3105	Al Mn 0,5Mg 0,5		
		7005	Al Zn 4,5 Mg 1,5 Mn
4043	Al Si 5	7049	Al Zn 8 Mg Cu
4047	Al Si 12	7050	Al Zn 6 Cu Mg Zr
		7075	Al Zn 5.5 Mg Cu
5005	Al Mg 1	7475	Al Zn 5,5 Mg Cu
5050	Al Mg 1,5	7178	Al Zn 7 Mg Cu

Alüminyum için yüzden fazla alaşımlama elementi mevcuttur. Bu elementler ile milyondan fazla alaşım yapmak mümkündür. Ancak birkaç yüz tane alaşım ticari olarak geliştirilmiştir. Alaşım elementlerinin alüminyuma ilave edilmesi genellikle mukavemeti artırma amacı taşır. Diğer bazı özelliklerle de sağlanan iyileştirmelerde çok önemlidir. Alüminyuma ilave edilen alaşım elementleri mukavemeti 2 şekilde arttırlar [1].

- 1- Katı eriyik olarak çözünüp deformasyon ile sertlik artırılır. (deformasyon ile sertleşen alaşımlar)
- 2- Yüksek sıcaklıkta katı eriyik çözünüp ve düşük sıcaklıkta ince parçacık halinde çökerler (yaşlanma ile sertleşen alaşımlar).

Şekil 2.15'de ticari olarak Üretilen temel alüminyum alaşımları, bunlarda bulunan alaşım elementleri ve bunları sertleştirme yöntemleri görülmektedir. Bu alaşım grupları ile ilgili bilgiler aşağıda açıklanmıştır [1].



Şekil 2.15. Temel Alüminyum Alaşımları [1].

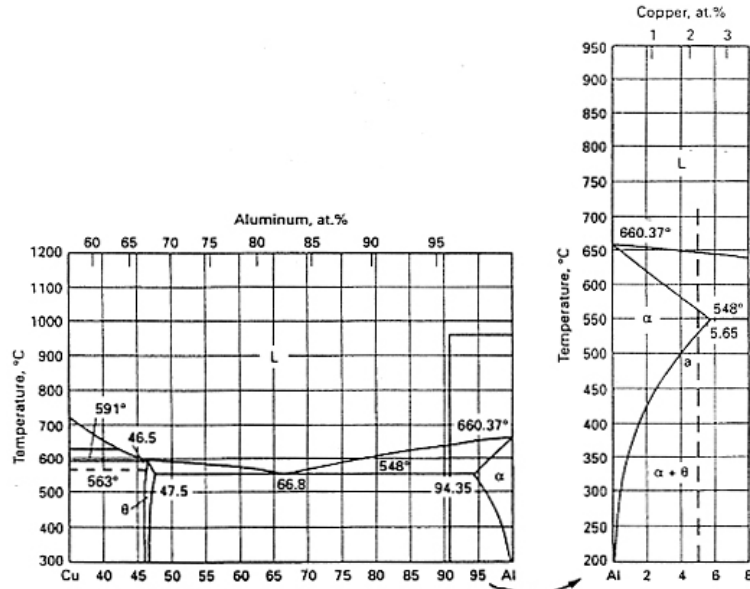
### 2.4.2.1. Ticari Saf Alüminyum (1xxx Gurubu)

Bu grup minimum %99 Alüminyum içerir. 1xxx gurubu içerisinde 10xx serisi alaşımsız gurubu ifade eder. Son iki rakam %99'dan sonraki virgülden itibaren minimum oranı gösterir. Mesela 1060 da alüminyum oranı en az %99,60 olmalıdır. 1xxx gurubunda 1 rakamını takip eden ikinci sayı empürite atomların oranını gösterir. Demir ve silisyum bu alaşımlarda bulunan temel empürite atomlarıdır. 1xxx

gurubu alaşımlar yaşlanma sertleşmesi gstermez ve sadece soğuk şekil verme ile sertleştirilir. Bu alaşımların yksek ısı ve elektrik dirençleri ile yksek korozyon ozellikleri vardır. şekillendirme kabiliyeti yksek ama mukavemetleri dűřktur. Bu alaşımlar kimyasal teçhizat, mimari uygulama refrakter, ısı eşanjoru, elektrik ileticisi, ambalajlama gibi yerlerde kullanılır [1].

## 2.4.2.2. Bakır Alaşımları ( 2xxx gurubu)

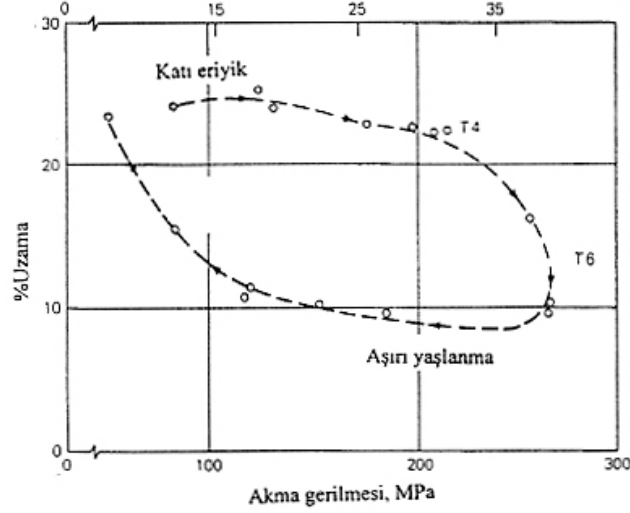
Bu alaşımlar genellikle yaşlanma ile sertleştirilirler. şekil II.16'da Al-Cu ikili denge diyagramı gcrmlenmektedir. Alüminyum içerisinde maksimum bakır çozünurluğu 548°C'de %5,65 değerindedir. Bilhassa %2,5-5 Cu içeren alaşımlar yaşlandırılarak sertleştirilir. Sertleştirilen alaşımlarda bir miktar silisyum, demir, magnezyum, mangan, krom ve çinko bulunabilir. İlk üretilen yaşlanan alaşım olan 2017 alaşımının diğer adı duralumindir. Yaşlanma ısıl işlemi sonunda bu alaşımlarda alaşımsız çelik mukavemetinin üzerinde mukavemet elde edilir [1].



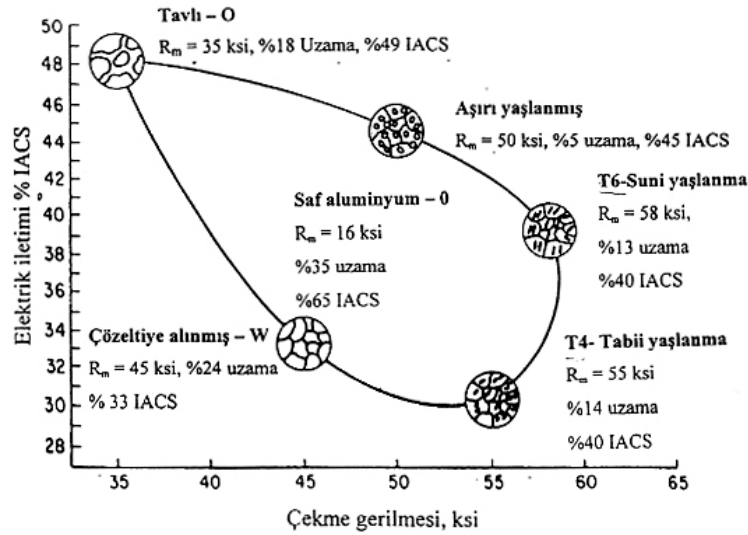
şekil 2.16 Al-Cu Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi [1].

Yařlanma sonunda mukavemet artarken suneklik azalır. Bu alaşımların sertleştirilmiş haldeki suneikliği saf alüminyumun %50'sinden bile daha az olur. Yařlanan alaşımlarda elektrik iletkenliği azalır. şekil II.18' de 2014 alaşımında uygulanan ısıl işleme bağlı olarak mukavemetin suneikliğin ve elektrik iletkenliğin nasıl değiştiğini gormekteyiz. Bu alaşımlarda korozyon direnci saf alüminyumdan oldukça dűřük olur. Bu alaşımlar yksek mukavemet ve hafif konstrüksiyon aranan yerlerde kullanılır [1].





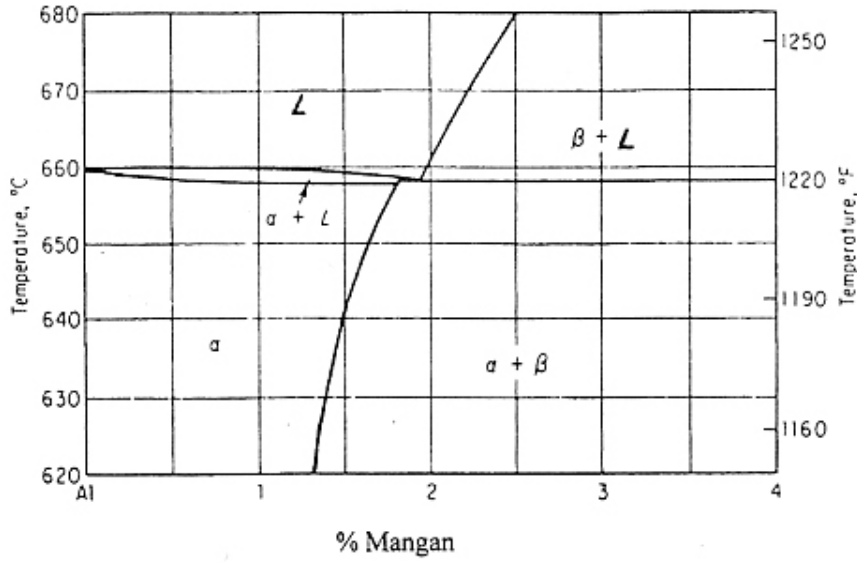
Şekil 2.17. 2036 Alaşımında Çökeltme Sertleşmesinin (Yaşlanmanın) Akma Mukavemeti ve Süneklik Üzerine Etkisi [1].



Şekil 2.18. 2014 Alaşımlarında Elektrik İletkenliği, Mukavemet v Sünekliğin Isıl İşlem Şartlarına Bağlı Olarak Değişmesi [1].

### 2.4.2.3. Mangane Alaşımları (3xxx gurubu)

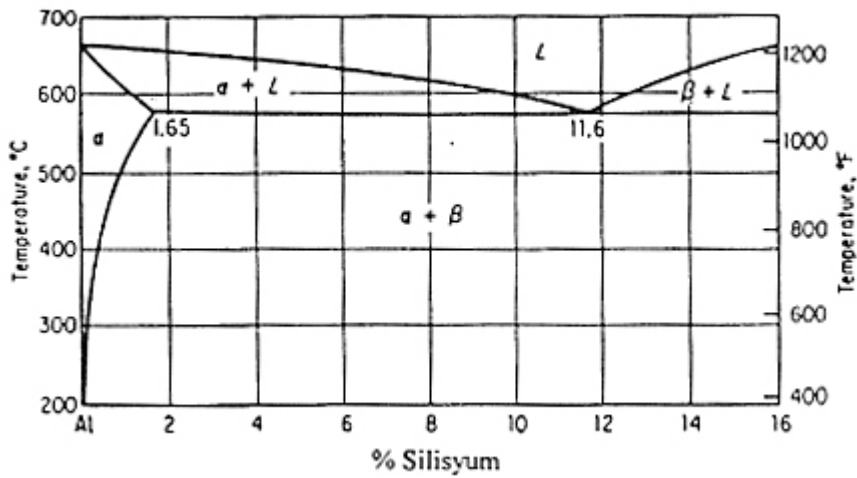
3xxx serisinde ana alaşım elementi mangandır. Şekil 2.19 'de Al-Mn ikili denge diyagramı görülmektedir. Alüminyum içerisinde maksimum mangan çözünürlüğü 658°C de % 1,82 kadardır. Sıcaklık düştükçe mangan çözünürlüğü düşük oranda azalır. Bu alaşımlar yaşlanma ile sertleştirilmezler. Mangan çözünürlüğü düşük olduğu için Üretilen alaşım sayısı çok azdır. Bu alaşımların mukavemeti 1xxx serisi alaşımlardan %20 daha fazla olur. En meşhur olan 3003 alaşımıdır. Bu alaşımın şekillenme kabiliyeti, korozyon direnci ve kaynak kabiliyeti yüksek olduğu ve mukavemeti vasatın üzerinde olduğundan boru gaz ve yağ tankı, gıda kutusu gibi amaçlar için kullanılmaktadır [1].



Şekil 2.19. Al-Mn Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi [1].

#### 2.4.2.4. Silisyum Alaşımları ( 4xxx gurubu)

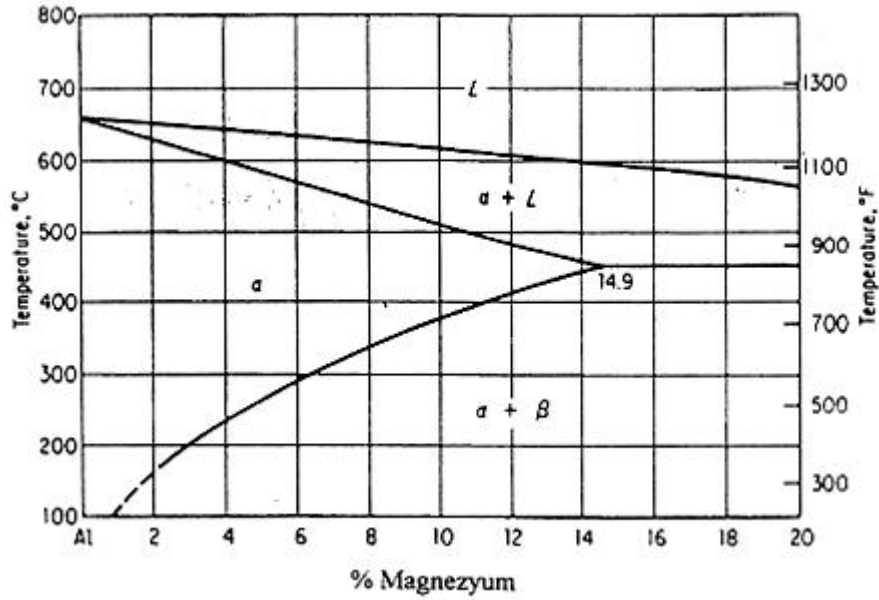
Şekil 2.20'de Al-Si ikili denge diyagramı görülmektedir. Alüminyumda silisyumun maksimum çözünme sınırı % 1.65' dir. Ancak 4xxx serisi alaşımlarda %2,5'e kadar silisyumlu alaşım yapılıır. Artan silisyum oranı ergime sıcaklık aralığını azaltır ve dökülebilme kabiliyetini artırır. Bu yüksek silisyumlu alaşımların düşük termal genleşme katsayısı, yüksek korozyon direnci ve yüksek aşınma direnci olur. Bu sebeple dövme motor pistonları 4032 alaşımlarından yapılır. Bu alaşım yaşlandırılırken diğer ticari 4xxx serisi alaşımlar yaşlandırma ile sertleştirilemez [1].



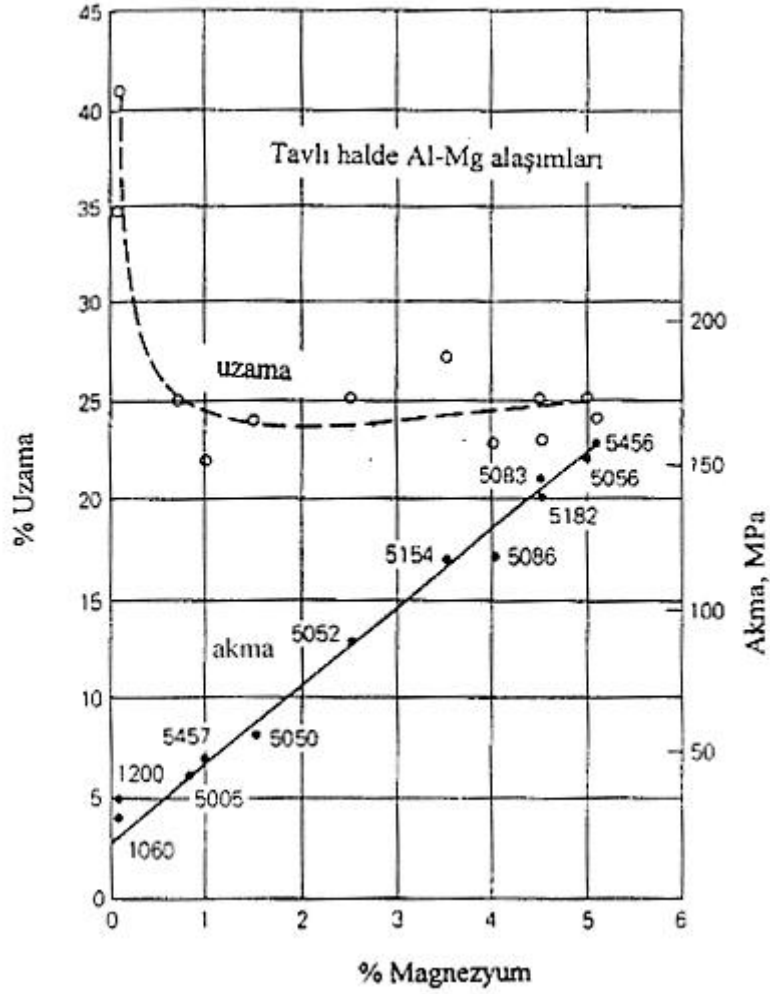
Şekil 2.20 Al-Si Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi [ 1].

#### 2.4.2.5. Magnezyum Alaşımları ( 5xxx gurubu)

Şekil 2.21'de Al-Mg ikili denge diyagramı görülmektedir. Katıda magnezyum çözünürlüğü azalan sıcaklık ile hızla düşer. Ancak %5'den az magnezyum ve yeteri kadar silisyumu olmayan alaşımlar yaşlandırma ile sertleştirilemez. Genellikle soğuk şekil verme ile sertleştirilebilir alaşımlar elde edilir. 5xxx serisi alaşımlarda magnezyum oranı arttıkça sertlik ve mukavemet artarken süneklik azalır . (Şekil.2.22). Bu alaşımların kaynak kabiliyeti ve deniz korozyonuna direnci yüksektir [1].



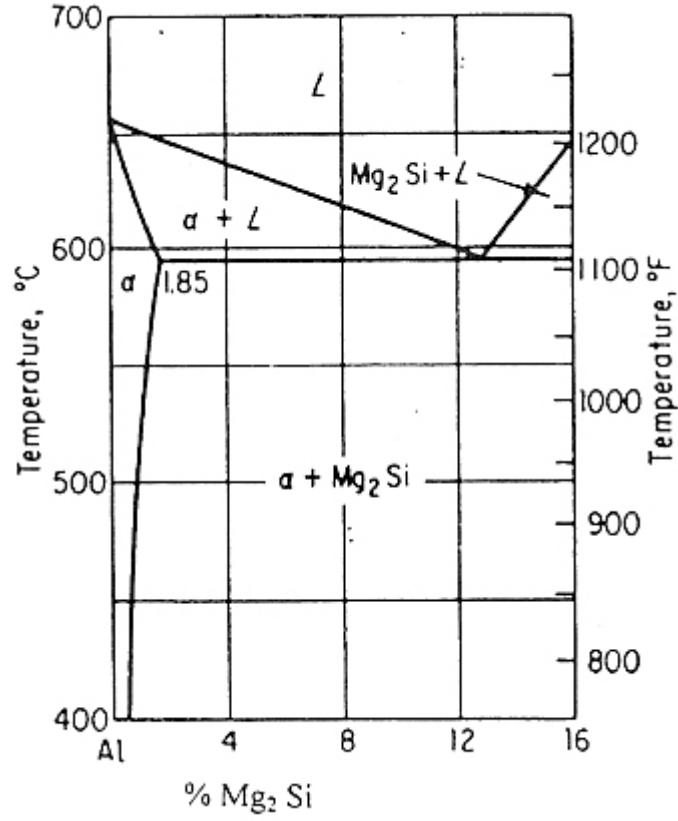
Şekil 2.21. Al-Mg Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi [1].



Şekil 2.22. Ticari Magnezyum Alaşımlarında Akma Mukavemeti İle Uzama Oranının Metal Magnezyum Oranıyla Değişimi [1].

## 2.4.2.6. Silisyum - Magnezyum Alaşımları ( 6xxx gurubu)

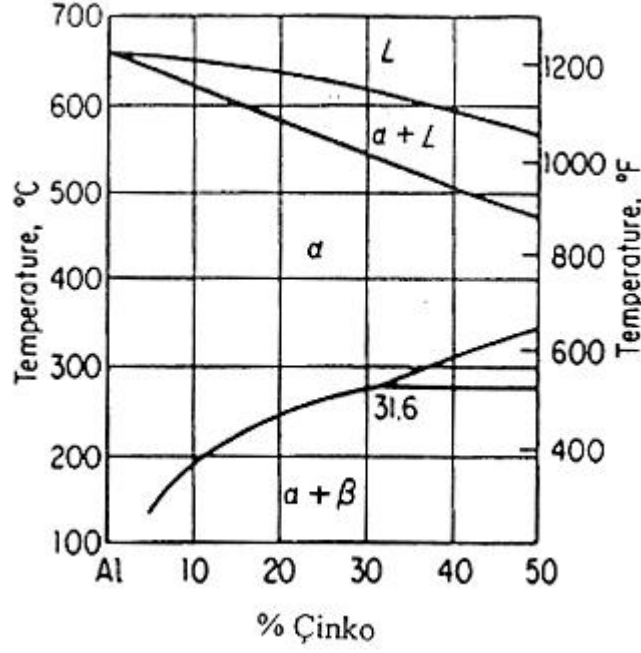
Magnezyum ve silisyum birleşerek  $Mg_2Si$  bileşiğini oluşturur. Bu bileşik alüminyum ile basit bir ötektik sistemi oluşturur (Şekil 2.23). 6xxx serisi alaşımlar çözeltiye alınır ve suni olarak yaşlandırılırsa alüminyum matrisi içinde  $Mg_2Si$  partikülleri çöker. Böylece orta seviyede mukavemet ve sertlik elde edilir. Ancak elde edilen mukavemet 2xxx ve 7xxx serisinde elde edilen değerlerden daha az olur. Bu alaşımların şekillendirme kabiliyeti, kaynak kabiliyeti, talaş kaldırma kabiliyeti ve korozyon direnci diğer yaşlandırılan alaşımlardan çok yüksek olur [1].



Şekil 2.23. Al-Mg<sub>2</sub>Si Denge Diyagramı [1 ]

### 2.4.2.7. Çinko Alaşımları (7xxx Gurubu)

Şekil 2.24'de Al-Zn denge diyagramı görülmektedir. Şekilden anlaşılacağı gibi 7xxx serisi alaşımları yaşlandırma ile sertleştirilir. Bu alaşıma biraz magnezyum ilavesi mukavemeti artırır. Ayrıca bakır ve krom ilaveli alaşımlar geliştirilmiştir. 7178 alaşımı en yüksek mukavemet elde edilen alüminyum alaşımıdır. Bu alaşımların gerilme korozyon direnci düşüktür. Bu tehlikenin olduğu yerlerde çalışacak parçalarda çatlama olmaması için parça biraz aşırı yaşlandırılır. Böylece geliştirilmiş mukavemet-kırılma tokluğu- korozyon direnci kombinasyonu elde edilir [1].



Şekil 2.24. Al-Zn Denge Diyagramının Alüminyum Köşesi [1].

### 2.4.2.8. Alüminyum Lityum Alaşımları

Özellikle uzay – uçak sanayinde düşük yoğunluklu, yüksek mukavemetli malzemeye duyulan talep Al-Li alaşımlarını son yıllarda ön plana çıkarmıştır. Al-Li alaşımları düşük yoğunluk yanında, yüksek elastisite modülü, yüksek yorulma direnci, düşük ve yüksek sıcaklıklarda tokluk özellikleri ile dikkatleri üzerine çekmektedir [1]. Lityumun alüminyum alaşımlarına ilavesinin başlıca sebebi yoğunlukta azalma buna karşın elastisite modülünde artış sağlamaktır. Alüminyum içersine her %1 Li ilavesi alaşımın yoğunluğunu %3 azaltırken elastisite modülünü de %6 oranında artırır. Lityum içeren alüminyum alaşımlarının konvansiyonel alüminyum alaşımlarına göre üç dört kat daha yüksek olan üretim maliyeti nedeniyle; alaşımlar geliştirilirken hem ekonomik hem de teknolojik açıdan daha aktif alaşımlar dizaynı amaçlanmaktadır [6].

### 2.4.3. Döküm Alüminyum Alaşımları

Döküm ile şekillendirilen alüminyum alaşımları ANSI tarafından Üç haneli bir sayı ile tasnif edilmiştir. İlk hane dövme alaşımlarında olduğu gibi alaşım element grubunu ifade etmektedir (Tablo. 2.8).

Tablo 2.8. Döküm Alüminyum Alaşımlarının ANSI 35.1 Standardına Göre Ana Grupları [1].

SERİ	Alaşım Ailesi
1xx	Min. %99,0 Al
2xx	Al-Cu
3xx	Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg
4xx	Al - Si
5xx	Al-Mg
7xx	Al - Zn
8xx	Al -Sn

1Xxx serisi minimum %99,0 alüminyum içeren alaşımdır. 3xx serisinde ise silisyum ana alaşım elementidir. Ayrıca bakır ve magnezyum gibi alaşım elementleri de alaşımda yer almaktadır. Üç haneli rakamdan sonra nokta konur ve noktayı takip eden sayı dökümü yoksa ingot mu olduğunu gösterir. "0" sayısı dökümü" 1 veya 2 ise ingotu ifade eder. Mesela 356,0 kum veya kokile dökülmüş parçayı ifade ederken 356,1 ve 356,2 ingotları ifade eder. Bu metallerin kimyasal bileşimi Tablo II.9'da detayla gösterilmiştir. Tablo 2.8 'de ise bazı döküm alaşımlarının kimyasal bileşimleri gösterilmiştir. Bu döküm alaşımlarından bazılarında yaşlandırma sertleştirilmesi uygulanarak mekanik özellikler değiştirilir. Bazı alaşımlar ise sadece tavlanarak sünekliliği artırılır [1] .

**Tablo 2.9. Bazı Döküm Alaşımlarının Tanıtımı [1].**

No	Form	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti
356.0	Döküm	6,5–7,5	0,601	0,25	0,35	0,20–0,45	0,35	0,25
356.1	İngot	6,5–7,5	0,50	0,25	0,25	0,25–0,45	0,35	0,25
356.2	İngot	6,5–7,5	0,20	0,10	0,05	0,30–0,45	0,05	0,20

**Tablo 2.10. Bazı Döküm Alaşımlarının Kimyasal Bileşimi [ 1].**

Bileşim	% Si	% Fe	% Cu	% Mg	% Zn	Diğerleri %
201.0	<0,10	<0,15	4,6	0,35	-	0,7 Ag, 0,35Mn
208.0	3,0	<1,2	4,0	<0,10	<	-
222.0	<2,0	<1,5	10,0	0,25	<	-
242.0	<0,7	<1,0	4,0	1,5	<	2,0 Ni
319.0	6,0	<1,0	3,5	<0,10	<	-
355.0	5,0	<0,6	1,25	0,5	<	-
357.0	7,0	<0,15	<0,05	0,55	<	-
444.0	7,0	<0,6	<0,25	<0,10	<	-
512.0	1,8	<0,6	<0,35	4,0	<	-
713.0	<0,25	<1,1	0,7	0,35	7,5	-
851.0	2,5	<0,7	1,0	<0,10	-	6,25 Sn, 0,5 Ni

**Tablo 2.11. Alüminyum Alaşımlarının Toplu Gösterimi [11]**

ÜTİBANK ETINORM	% Fe	% Si	% Cu	% Mn	% Mg	% Zn	% Ti	% Cr	% Ni	Digerleri her biri	Digerleri Toplam	ALMANYA DIN	ITALYA UNI	İNGİLTERE BS	ABD AA	0 ABD ASTM	ABD SAE	
Etial - 20	0.70	0.40	5.00-6.00			0.30				0.05	0.15	AlCuBiPb	P-ACS 5P P-AlCu5.5Pb	FC 1	2011	CB 60 A	202	
Etial - 21	0.70	0.50-1.00	3.90-5.00	0.40-1.20	0.20-0.80	0.25	0.15	0.10		0.05	0.15	AlCuSiMn	P-AlCu4.4Si MnMg	H15 L 37 L 151	2014	ER 2014	260	
Etial - 22	0.70	0.20-0.80	3.50-4.50	0.40-1.00	0.40-0.80	0.25	0.15	0.10		0.05	0.15	AlCuMgI	P-AlCu4MgMn 3579		2017	CB 41A	26	
Etial - 24	0.50	0.50	3.80-4.90	0.30-0.90	1.20-2.80	0.25	0.15	0.10		0.05	0.15	AlCuMg2 3.1324	P-AlCu4.5 MgMn	L 97 L 98	2024	CG 42A	24	
Etial - 30	0.70	0.60	0.05-0.20	1.00-1.50	0.10	0.10				0.05	0.15	AlMnCu	P-ADMn1.2Cu	M 3	3003		29	
Etial - 31	0.70	0.30	0.25	1.00-1.50	0.80-1.30	0.25				0.05	0.15	ADMnIMgI 3.0526	P-ADMn1.2Mg 6361		3004	Er 3004 Mg 11A	20	
Etial - 43	0.50	0.40	1.60-2.60	0.20	2.60-3.40	6.80-0.00	0.20	0.18-0.35		0.05	0.15							
Etial - 44	0.50	0.40	1.20-2.00	0.30	2.10-2.90	5.10-6.10	0.20	0.18-0.35		0.05	0.15	AlZnMgCuI.5	PAIZN5.8MgCu 3572	DDT 5074A	7075		215	
Etial - 50	0.70	0.30	0.20	0.20	0.10-1.10	0.25		0.10		0.05	0.15	AlMgI	P-ALMg0.8	N 41	5005	G1B		
Etial - 51	0.70	0.40	0.20	0.10	1.10-1.80	0.25		0.10		0.05	0.15		P-ALMg1.5		5050	ER 5050	207	
Etial - 52	0.30	0.20	0.10	0.10	2.20-2.80	0.10		0.15-0.35		0.05	0.15	AlMg2.5	P-ALMg2.5	N - 4	5052	ER 5052	201	
Etial - 53	0.40	0.30	0.5	0.20-0.60	2.70-3.70	0.20	0.20	0.30		0.05	0.15	AlMg3	P-ALMg3.5	N - 5	5154A	ER 5154 GR 40A	208	
Etial - 60	0.30	0.30-0.70	0.10	0.20	0.40-0.90	0.10	0.10	0.05		0.05	0.15	AlMgSi0.5	P-ALMgSi	H 9	6063	GS 10A	212	
Etial - 61	0.40	0.70-1.30	0.10	0.40-0.80	0.40-0.90	0.10	0.10	0.20		0.05	0.15	AlMgSiI	P-ALSiI1MgMn	H 30	6351			
Etial - 64	0.20	0.20-0.70	0.20	0.05	0.45-0.90	0.05	0.05	0.05		0.05	0.15	E-ALMgSiI	P-ALSi0.5Mg	91 E	6463		253	
Etial - 110	0.80	4.00-6.00	2.00-4.00	0.20-0.60	0.15	0.20	0.30		0.30	0.05	0.15			LM 4	A319 319.0	SC 64D	326	
Etial - 120	0.50	4.50-6.00	0.10	0.20	0.10	0.10	0.20		0.10	0.05	0.15	AlSi5	GD-ALSi5Fe	LM 18	443.2	B 443 443 243 55A		
Etial - 140	0.60	11.50-13.50	0.10	0.40	0.10	0.10	0.15		0.10	0.05	0.15	G-ALSi12	G-ALSi13	LM 6	A 413.2	A 13		
Etial - 141	1.10	11.50-13.50	0.20	0.30	0.20	0.10	0.15		0.10	0.05	0.15	GD-ALSi12		LM 20	413.2	13 S12C	305	
Etial - 145	0.60	11.00-13.00	1.20-1.50	0.20	0.80-1.30	0.20	0.10		0.80-1.30	0.05	0.15		G-ALSi12.7Ni MGCu	LM 13	A 332.1	A132 SL122A	321	
Etial - 150	1.00	11.00-13.00	1.75-2.50	0.50	0.40	0.70	0.15		0.30	0.05	0.15		GD-ALSi12Cu 2Fe					
Etial - 160	1.00	7.50-9.00	3.00-4.00	0.50	0.30	1.00	0.20		0.20	0.05	0.15	G-ALSi0Cu3	ALSi0.7CuFe 5075	LM 24	A 380.0 A 360.2	380 SC84B		
Etial - 171	0.50	9.00-10.00	0.10	0.40-0.60	0.30-0.45	0.10	0.15		0.10	0.05	0.15	G-ALSi10Mg	G-ALSi0MnMg		A 360.0 A 360.2	360 SG100B		
Etial - 175	0.60	9.00-10.50	2.50-3.50	0.30	0.70-1.20	0.50	0.15		0.30	0.05	0.15			LM 26	F 332	F 132 SC 103A	332	
Etial - 180	1.00	9.00-11.50	0.70-2.50	0.50	0.30	2.00	0.20		0.50	0.05	0.15			LM 2		A0 3831		
Etial - 195	0.60	17.00-19.00	0.80-1.50	0.20	0.80-1.30	0.20	0.10		0.80-1.30	0.05	0.15							
Etial - 220	0.30	0.35	4.00-5.00	0.10	0.10	0.10	0.10		0.10	0.05	0.15	G-ALCu4.5	G-ALCu4.5	L 91 L 92 LM		295.1 C4A		
Etial - 221	0.30	0.30	4.00	0.10	0.05	0.10	0.15		0.10	0.05	0.15	GK-ALCu4Ti G-ALCu4Ti						

## 2.5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ TEMPER GÖSTERGELERİ

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemleri gösteren bir takım göstergeler mevcuttur. Bu göstergeler aşağıda kısaca açıklanmıştır [11].

**Tablo 2.12. TS 1321'e göre, hafif metal alaşımlarına uygulanan ısıl işlemlerin gösterilişi.**



M	İmal edildiği şekilde
F	İşlendiği şekilde
O	Yumuşak tavllanmış
H	Soğuk biçimlendirme ile sertleşmiş - Yalnız biçimlenebilen mamuller -(H harfinden sonra daima, temel işlem tipini belirten bir rakam ve soğuk biçimlendirmenin son durumunu gösteren ikinci bir harf kullanılır.)
Temel işlem tipleri	
H1	Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş
H2	Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş ve kısmi tavllanmış
H3	Soğuk biçimlendirme ile sertleştirilmiş ve stabilize edilmiş
Soğuk biçimlendirme sertleşmesinin son durumu (x harfi, 1, 2 ve 3 'ten uygun olanını ifade eder. Ancak, bazı uygulamalarda bu rakamlar kullanılmadan belirtme yapıldığı da görülmektedir.)	
HxH	Tam sertleştirme işlemi
HxD	Çekme dayanımı yaklaşık -O- hali ile HxH değerleri arasında
HxB	Çekme dayanımı yaklaşık -O- hali ile HxD değerleri arasında
HxF	Çekme dayanımı yaklaşık HxD hali ile HxH değerleri arasında
HxJ	Çekme dayanımı HxH değerinden çok
T	M, F, O ve H 'dan başka ısı işlem görmüş
(T harfinden sonra daima, işlemlerin belirli sırasını gösteren ikinci bir harf kullanılır.) TAYüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış	
TB	Katı çözülme (Doyurma) ısı işlemi uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış
TC	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş, soğuk biçimlendirilmiş, doğal yaşlandırılmış

TD	Kati çözüme ısı işleme uygulanmış, soğuk biçimlendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış		
TE	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş ve kati çözüme işlemi uygulanmış		
TF	Kati çözüme ısı işleme ve kati çözüme işlemi uygulanmış		
TG	Yüksek sıcaklıkta biçimlendirmeden sonra, soğutulmuş, soğuk biçimlendirilmiş ve kati çözüme işlemi görmüş		
TH	Kati çözüme işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş ve kati çözüme işlemi uygulanmış		
TL	Kati çözüme ve kati çözüme işlemi uygulanmış, soğuk işlenmiş		
TM	Çözüme işlemi uygulanmış ve stabilize edilmiş (dengeleştirilmiş)		
TS 1321 'deki gösteriliş	Alternatif gösteriliş	TS13217deki gösteriliş	Alternatif gösteriliş
M	H112	TB	T4
F	F	TC	T2
O	O	TD	T3
H1B, H2B, H3B	H12, H22, H32	TE	T5
H1D, H2D, H3D	H14, H24, H34	TF	T6
H1F, H2F, H3F	H16, H26, H36	TG	T10
H1H, H2H, H3H	H18, H38, H38	TH	T8
H1J, H2J, H3J	H19, H29, H39	TL	T9
TA	T1	TM	T7

## BÖLÜM 3

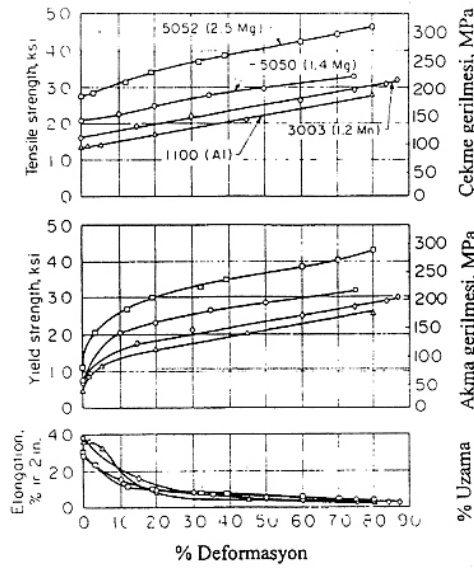
# ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ

## 3.1. DÖVME ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ

Alüminyum alaşımları, "ısıtılabilir" yani "yaşlandırılmayan" ve ısıtılabilir ile sertleştirilebilen" yani "yaşlandırılabilen" alaşımlar olarak iki gruba ayrılır. Isıtılabilir ile sertleştirilemeyen alaşımlar soğuk biçimlendirme yöntemleriyle sertleştirilirler.

### 3.1.1. Yaşlandırılmayan Dövme Alaşımlarının Özellikleri

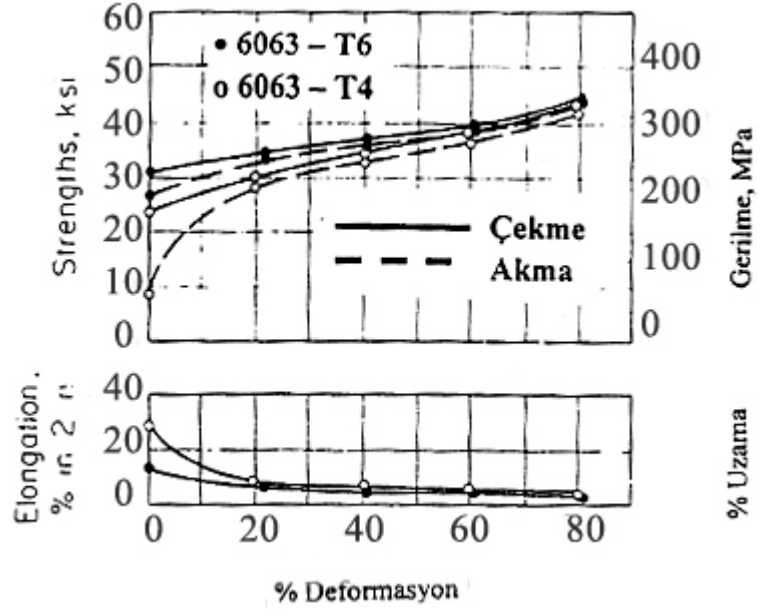
Yaşlandırma ile sertleştirilemeyen alüminyum ve alaşımlarına ısıtılabilir yapılmayan alaşımlar adı da verilmektedir. Bunlar genellikle yüksek sıcaklıkta ve oda sıcaklığında tek fazlı olan metallerdir. Bu alaşım elementlerinin yaptığı katı eriyik sertleşmesi ile mukavemet kazanırlar. Ayrıca bu metallere soğuk şekil verme ile deformasyon sertleşmesi ile sertlik kazanırlar.



**Şekil 3.1. Soğuk Şekil Vermenin 1100, 3003, 5050 ve 5052 Alaşımlarının Mekanik Özelliklerine Tesiri [1].**

Şekil 3.1'de 1100, 3003, 5050 ve 5052 alüminyum alaşımlarında soğuk şekil verme oranının mekanik özelliklere yaptığı tesirleri görmekteyiz. Bu malzemeler soğuk şekil verme öncesi tavlı halde (0 halinde) bulunmaktadır. 1100 alaşımının mukavemeti çok düşüktür. Mangan içeren 3003 alaşımının mukavemeti biraz daha fazladır. Magnezyumlu 5050 ve 5052 alaşımının mukavemeti daha yüksektir. Yani her alaşım elementi farklı katı eriyik sertleşmesi yaparak mukavemet artırır. Ayrıca element oranı da mukavemet ve süneklik üzerinde etkili olmaktadır. %2.5 Mg içeren 5052 alaşımı, %

1.4 Mg içeren 5050 alaşımından daha fazla mukavemet göstermektedir. Bütün bu metallere soğuk şekil verme uygulanınca akma ve çekme mukavemeti artarken süneklik azalmaktadır. Tablo 3.1' de yaşlandırılmayan bazı alaşımların mekanik özellikleri görülmektedir. Soğuk şekil vermenin tesiri ile akma mukavemeti, çekme mukavemeti oranı ile süneklik azalırken sertlik ve yorulma dayanımı artmaktadır. Yorulma mukavemeti metal sertliği ile birlikte artış gösterilmektedir [6]. Soğuk şekil verme, yaşlandırılmış malzemelerin mukavemetini arttırırken sünekliğini azaltır (Şekil 3.2). Bilhassa T4 halde olan alaşımlarda akma gerilmesi az oranda soğuk şekil verme ile arttırılabilir.

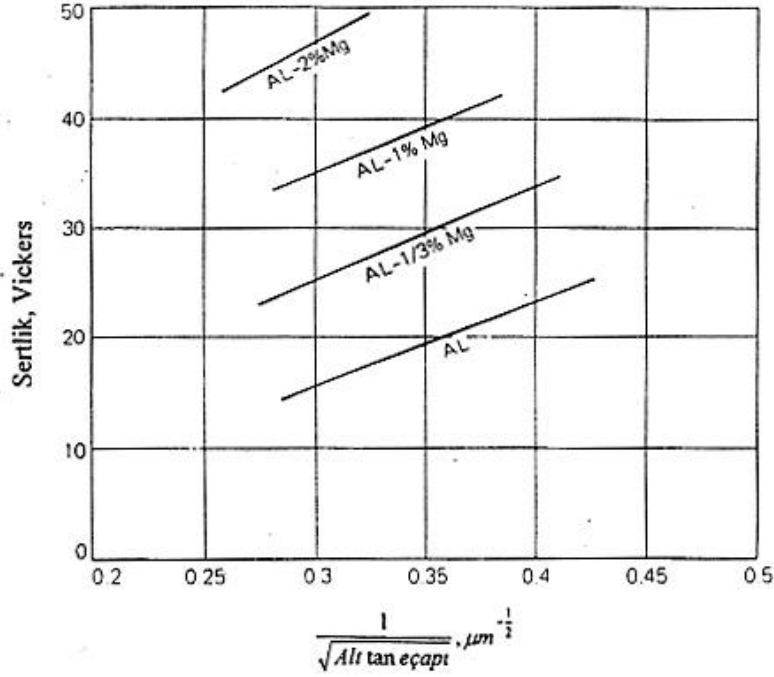


Şekil 3.2. 6063-T4 ve 6063 T6 Saçlarında Soğuk Şekil Vermenin Mekanik Özelliklere Tesiri [1].

Tablo 3.1. Bazı Yaşlandırılmayan Alüminyum Alaşımların Mekanik Özellikleri [1]

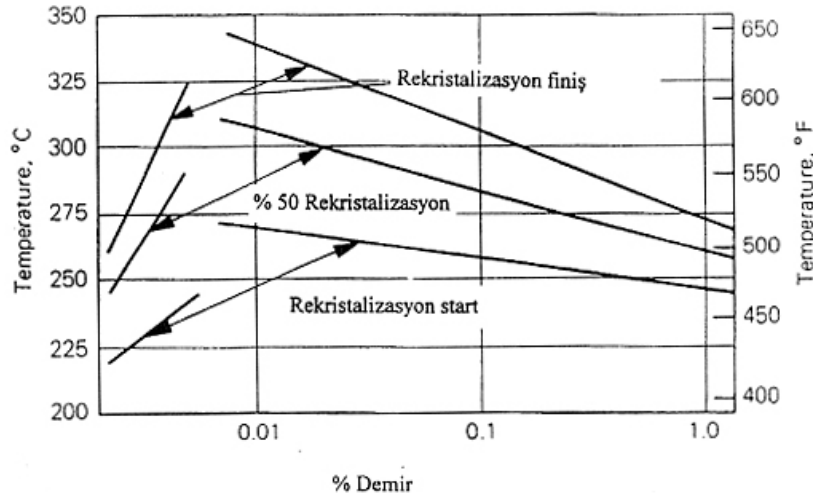
Alaşım	Çekme Mukavemeti MPa	Akma Mukavemeti MPa	Uzama %	Sertlik %	Yorulma Mukavemet MPa
1060-0	70	30	43	19	20
1060-H12	85	75	16	23	30
1060-H18	130	125	6	35	45
1100-0	90	35	35	23	35
1100-H14	125	115	9	32	50
1100-H18	165	150	5	44	60
3003-0	110	40	30	28	50
3003-H12	130	125	10	35	55
3003-H18	200	185	4	55	70
3004-0	180	70	20	45	95
3004-H32	215	170	10	52	105
3004-H38	285	250	5	77	110
5005-0	125	40	25	28	-
5005-H12	140	130	10	-	-
5005-H19	360	345	3	-	-
5005-32	140	115	11	36	-
5005-34	160	140	8	41	-
5083-0	290	146	22	-	-
5086-0	260	115	22	-	-
5086-H34	325	255	10	-	-
5454-0	250	115	22	62	-
5454-H32	275	205	10	73	-
5457-0	130	50	22	32	-
5457-H25	180	160	12	48	-
8001-0	110	40	30	-	-
8001-H18	200	185	4	-	-

Soğuk şekil verme sırasında taneler içerisinde bulunan dislokasyonların yoğunluğu deformasyon oranı ile artar. Bu kayan ve çoğalan dislokasyonlar alt tane sınırını oluşturur. Dislokasyonlar kayarak çoğalır ve birbirleriyle kesişip düğümler oluşturması kafes çarpılmalarına ve dislokasyonlar arası gerilmelerin artışına yol açar. Bu durum dislokasyon hareketinin devam etmesi için daha fazla dış kuvvet gerektirir. Yani deformasyon için gerekli kuvvetin artması malzemenin sertlik ve akma mukavemetinin arttığını (metal deformasyon sertleşmesine uğradığını) gösterir. Soğuk şekil verme oranı dislokasyon yoğunluğu artacağından alt tane sınırı artacak ve alt tane boyutu küçülecektir. Alt tane küçüldükçe malzeme mukavemeti ve sertliği artacaktır.



Şekil 3.3. Alüminyum ve Al-Mg Alaşımlarında Alt Tane Boyutunun Sertliğe Tesiri [1].

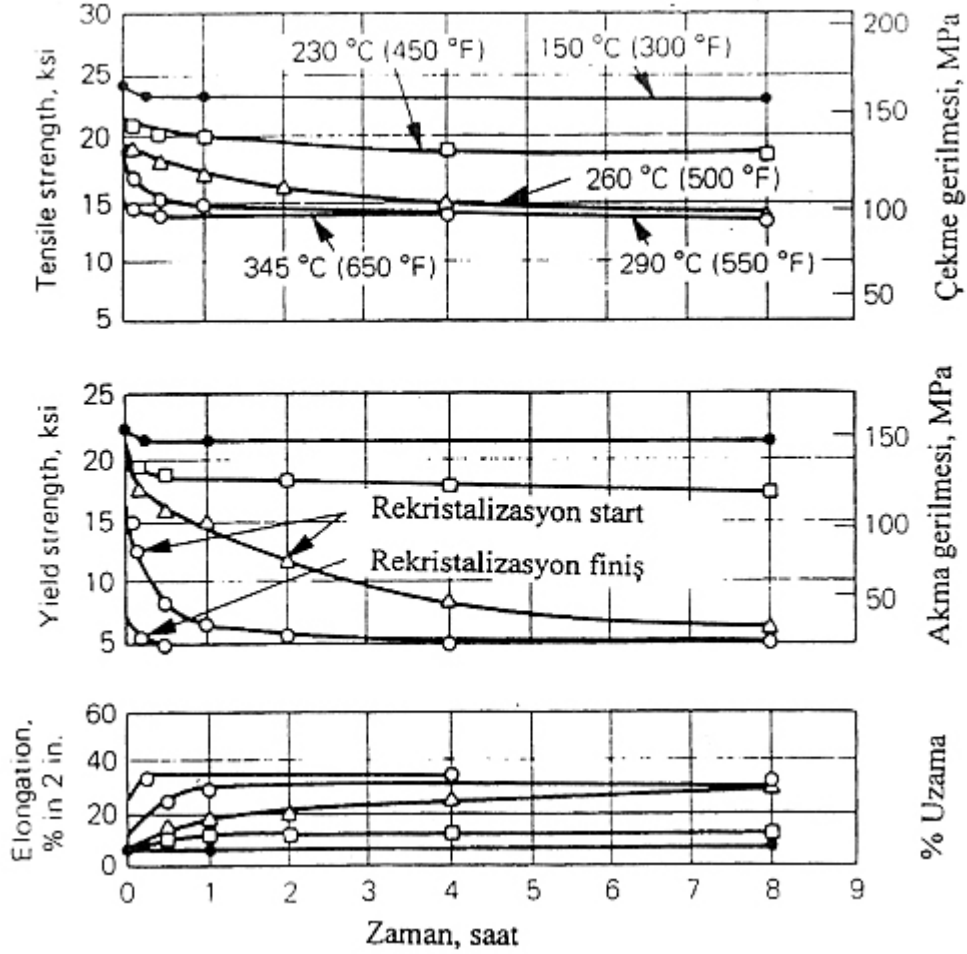
Soğuk şekil verilen alüminyumların dislokasyon yapısı ve mikro yapısı tavlı haline nazaran daha kararsız haldedir. Soğuk deforme olmuş, soğuk sertleştirilmiş metal tavlendiğinde tavlama sıcaklık ve süresine bağlı olarak mikro yapı ve dolayısıyla mekanik özellik değişimine uğrarlar. Yapılan ısıl işlemi kendine gelme ve yeniden kristalleşme diye iki grupta inceleyebiliriz [6].



Şekil 3.4. %60 Soğuk Şekil Verilmiş ve 1 Saat Tavlanan Alüminyum Alaşımlarında Yeniden Kristalleşme Sıcaklıkları [1].

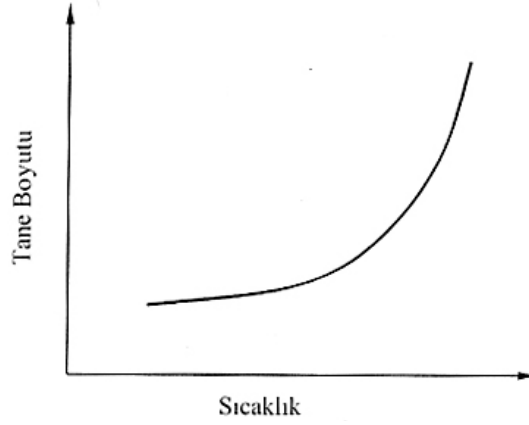
Düşük sıcaklıklarda tavlanan malzemelerde kendine gelme ve daha yüksek sıcaklıklarda tavlanan malzemelerde yeniden kristalleşme meydana gelir. Yeniden kristalleşmenin başlaması ile bitmesi arasında geçen süre tavlama sıcaklığına bağlıdır. Şekil 3.4'de yüksek saflığa sahip ve %60 deforme edilmiş alüminyum alaşımlarında demir miktarına bağlı olarak yeniden kristalleşmenin

meydana geldiği sıcaklık aralığı görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi alaşım elementleri ve empüriteler yeniden kristalleşme üzerinde etkili olmaktadır. Yeniden kristalleşme başlangıç sıcaklığı altında yapılan tavlamaya kendine gelme tavlaması denir. Şekil 3.5' de tavlama sıcaklığı ve süresinin mekanik özelliklere olan tesiri görülmektedir. Kendine gelme tavlaması ile (230°C) akma ve çekme mukavemeti biraz azalmakta ve süneklik değişmemektedir. Yeniden kristalleşme ise mukavemeti azaltırken sünekliliği arttırmaktadır [6].



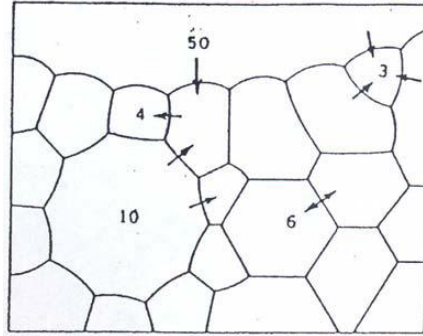
**Şekil 3.5. Al-%6 Mg Alaşımında Soğuk Şekil Vermeden Sonra Yapılan Tavlamanın Mekanik Özelliklere Tesiri [1].**

Tane sınırları kristal hata bölgeleridir. iri taneli yapı ince taneli yapıya nazaran tane sınır uzunluğu az, iç hataları az ve dolayısıyla içi enerjileri azdır. İdeal şartlarda bir metalde en az enerji tek kristalli haldir. Tavlama sıcaklığı yeniden kristalleşmenin Üzerine çıkarıldıkça (Şekil 3.6) ve bu sıcaklıkta ısıtma süresi uzadıkça taneler büyür. Tane büyümesi, komşu taneler arasındaki tane sınırının ilerlemesi ile gerçekleşir. Komşu tanelerden tane sınır sayısı fazla olan tanenin sınırı tane sınır sayısı daha az olan taneye doğru ilerler. Bunu sonucunda bir tane yok olurken, diğeri büyüme gösterir (Şekil 3.7) [6].

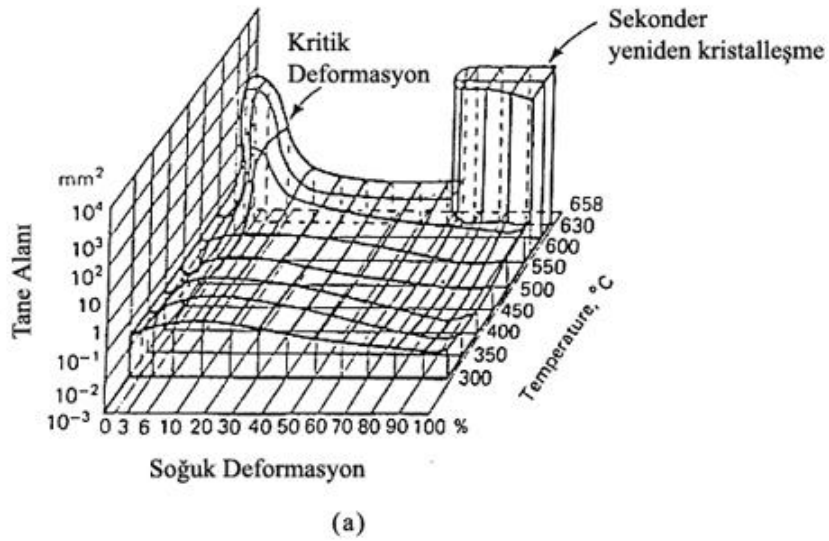


**Şekil 3.6. Tavlama Sıcaklığının Yeniden Kristalleşmiş Tane Boyutu Üzerindeki Tesiri [1].**

Yeniden kristalleşme ile çok iri tane iki şekilde elde edilir. (1) Kritik minimum deformasyon ile yüksek sıcaklıkta tavlama. (2) Yeniden kristalleşme sıcaklığının çok üzerindeki bir sıcaklıkta fazla deforme edilmiş malzemeyi tavlama. Saf alüminyumda tavlama sıcaklığı - soğuk şekil verme oranı - final tane boyutu arasındaki ilişki Şekil 3.8'de görülmektedir. % 6 civarındaki kritik deformasyon ve yüksek tavlama sıcaklığı ile yüksek deformasyon oranı çok iri tane teşekkülüne sebep olmaktadır.

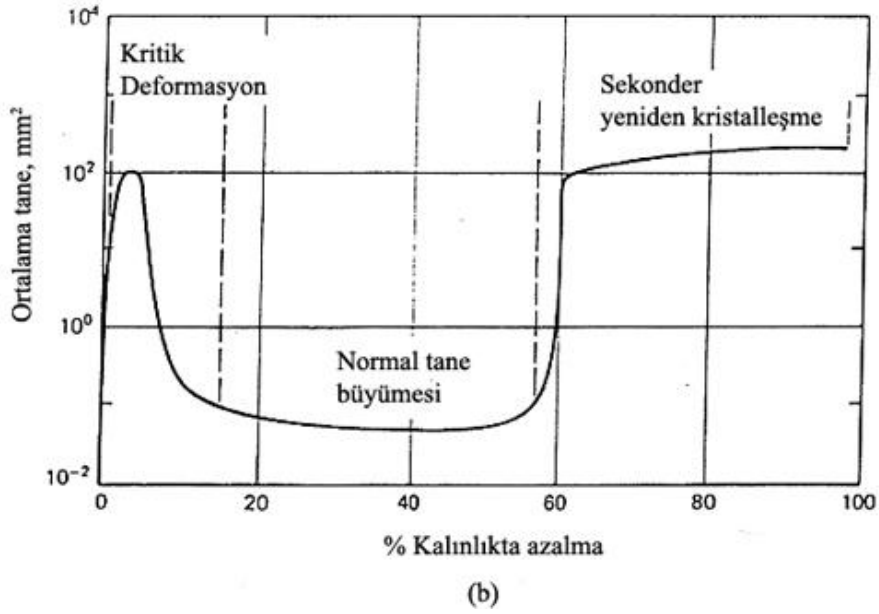


**Şekil 3.7. Tane Sınırı Hareketiyle Tane Büyümesi [1].**



(a)





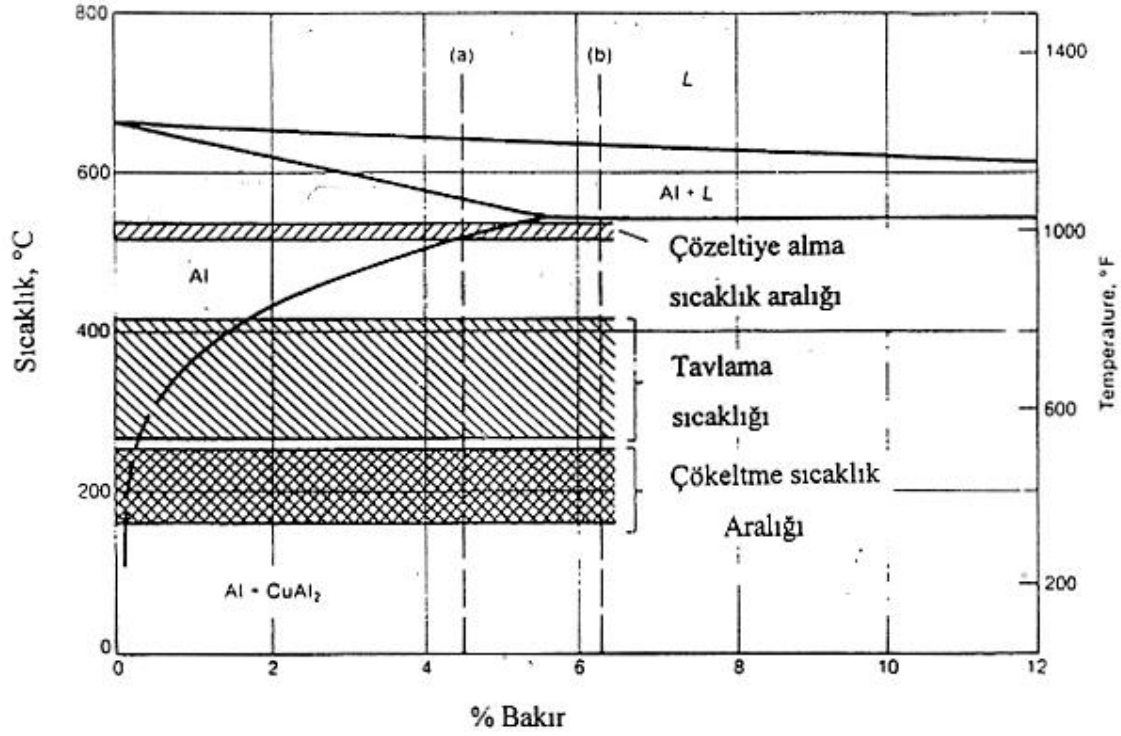
**Şekil 3.8. (a) Sabit Sürede Tavlanan Saf Alüminyumda Deformasyon Oranı-Sıcaklık-Tane Boyutu İlişkisi (b) 630 °C Tavlama Sıcaklığının Tane Boyutuna Tesiri [1].**

### 3.1.2. Yaşlandırılan Dövme Alaşımlarının Özellikleri

Yaşlandırma ısıl işlemi Üç safhada gerçekleştirilir. Çözeltiyi alma, su verme ve yaşlandırma safhası. Aşağıda bu safhalar detayla açıklanmıştır [6].

#### 3.1.2.1. Çözeltiyi Alma Safhası

Şekil 3.9'da Al-Cu alaşımlarında yaşlandırılan bileşimler ve bunlara uygulanan çözeltiyi alma ısıl işlem aralığı görülmektedir. Çözeltiyi alma ısıl işleminin amacı çözünebilir elementleri mümkün olduğu kadar ana metal içerisinde çözündürmek ve mümkün olduğu kadar kimyasal homojenlik elde etmektir. Bunun için metal uygun bir sıcaklığa ısıtılır ve bu sıcaklıkta uygun süre tutulur. Isıtma sıcaklığı metalin kimyasal bileşimine bağlı olarak değişir Tablo 3.2'de bazı alaşımların çözeltiyi alma sıcaklıklarını görmekteyiz. Ticari alaşımlar  $\pm 6^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığı ile ısıtılır. Bu ısıtma sırasında kısmi ergimenin meydana gelmemesine dikkat etmek gerekir. Kısmi ergime meydana gelirse metalin mukavemet, süneklik ve kırılma tokluk özellikleri düşer [6].



Şekil 3.9. Yaşlandırılan Al-Cu Alaşımlarının Çözültüye Alma ve Çökeltme Isıl İşlem Aralıkları İle Tavlama Sıcaklığı Aralığı [1].

Tablo 3.2. Bazı Ticari Yaşlanan Alaşımların Çözültüye Alma ve Çökeltme Isıl İşlem Sıcaklıkları [1].

Alaşım	Çözültüye alma sıcaklığı, °C	Temper göstergesi	Çökeltme	
			Sıcaklığı, °C	Süresi, saat
2011	525	T8	160	14
2219	535	T6	190	26
2024	495	T6	190	9
2014	500	T6	160	18
2090	540	T83	165	24
2091	530	T84	120	24
6061	530	T6	160	18
6262	540	T6	170	8
7001	465	T6	120	24
7075	480	T6	120	24

Şekil 3.9.'daki Al-Cu denge diyagramından faydalanarak çözültüye alma işleminin detayına girelim. Ötektik %5.65 Cu bileşimindedir. Bu işlemin altında kalan Al-Cu alaşımları tek fazlı bölgeye ısıtılarak çözültüye alınır. %5.65'den daha fazla bakır içeren alaşımlara da yaşlanma yapılmaktadır. Bu

alaşımlarda tek fazlı bölgeye ısıtma imkânı yoktur. Bu alaşımlar ötektik sıcaklığına yakın sıcaklıklara ısıtılır. Mesela Al-Cu ötektik sıcaklığı 548°C'de çözeltiye alınır. Tek fazlı bölgeye ısıtılan alaşımlarda da ısıtma aralığı çok dar olmaktadır. Çözeltiye alma sıcaklığı düşürülürse çözünen element miktarı azaldığından çökelme safhasında elde edilen sertlik düşük olur. Mesela 2024 alaşımı için tavsiye edilen çözeltiye alma sıcaklığı 495°C'dir. Farklı çözeltiye alma sıcaklığının mukavemete tesiri Tablo 3.3'de görülmektedir. Çözeltiye alma sıcaklığı düşükçe yaşlandırılmış metalin akma ve çekme mukavemetleri azalmaktadır [6].

**Tablo 3.3. Çözeltiye Alma Sıcaklığının 2024-T4 Saçı Mukavemet Özelliklerine Tesiri [ 1].**

Çözeltiye alma sıcaklığı, °C	Çekme mukavemeti, MPa	Akma mukavemeti, MPa
496	441	271
493	433	269
491	422	259
488	419	255

Çözeltiye alma sıcaklığı kadar çözültide tutma sıcaklığı da önemlidir. Çözültide tutma sıcaklığında çözünebilir partiküllerin çözünmesi ve atomların yayınarak kimyasal homojenliğin sağlanması için yeterli süre verilmelidir. Bu süre parça kalınlığı ve ısıtma ortamına bağlı olarak değişir. Tablo 3.4'de tavsiye edilen çözeltiye alma sıcaklıkları görülmektedir. Isıtma işlemi havalı fırınlarda ve tuz banyolarında yapılır [6].

**Tablo 3.4. Dövme Alüminyum Alaşımları İçin Önerilen Çözeltiye Alına Süresi ve Su Verme Öncesi Müsaade Edilen Maksimum Gecikme Süresi [1].**

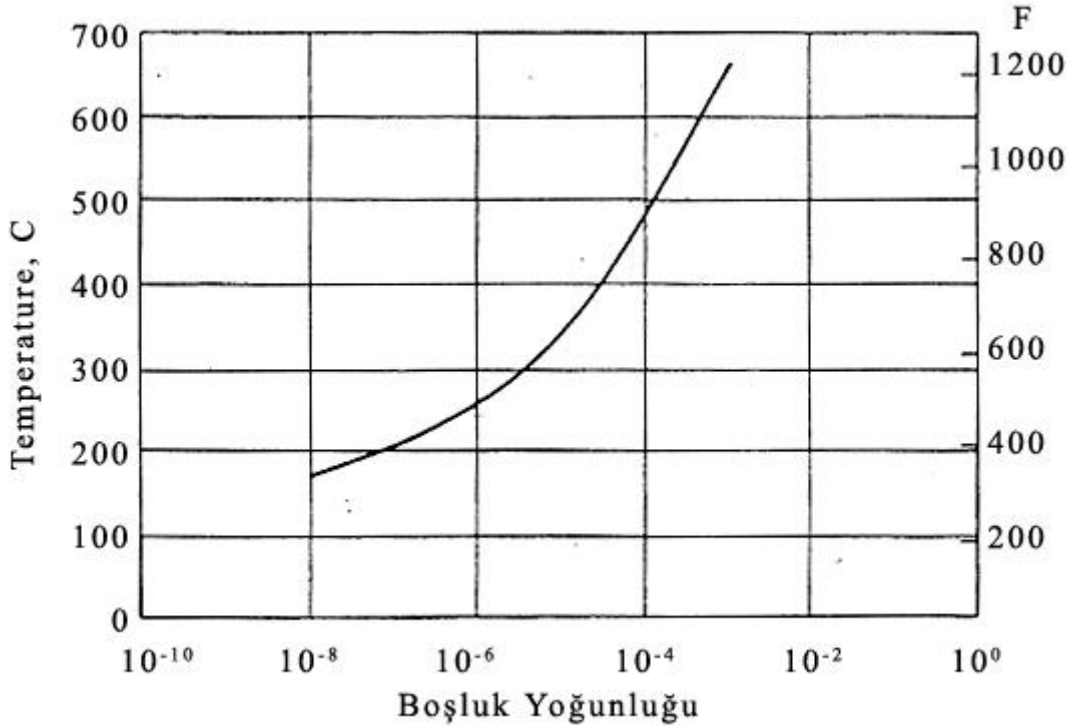
Parça kalınlığı Mm	Havah fırın Dakika		Tuz banyosu Dakika		Maksimum Gecikme Saniye
	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	
≤ 0,41	20	25	10	15	5
0,51	20	30	10	20	7
0,81	25	35	15	25	7
1,02	30	40	20	30	10
1,35	30	40	20	30	10
1,80	35	45	25	35	10
2,03	35	45	25	35	10
2,54	40	55	30	45	15
3,18	40	55	30	45	15
4,06	50	60	35	45	15
6,35	50	60	35	45	15
> 6,35–12,7 ilave 12,7mm için	+30	+30	+20	+20	15

Çözeltiye alma ısıl işleminden önce alaşıma uygulanan soğuk şekil verme oranı çözeltiye alma sırasında oluşan tane boyutu etkilidir. Genel olarak soğuk şekil yerine oranı arttıkça taneler küçük kalır. Düşük deformasyon oranlarında genellikle % 15'den az şekillendirmelerde, tane irileşmesi

meydana gelir. Bu durum yaşlandırma sonrası özellikleri etkiler. Bu nedenle sertleştirilecek parçaların soğuk şekil verilme oranları kontrol altında tutulmalıdır.

### 3.1.2.2. Su Verme Safhası

Su vermenin amacı çözeltiliye alma safhasında oluşan mikro yapının oda sıcaklığına aynen getirmektir. Bunun için çözeltiliye alma sıcaklığından oda sıcaklığına kadar parça hızla soğutulur, su verilir. Su verme sonucunda aşırı doymuş mikro yapı elde edilir. Mesela %4 Cu içeren Al-Cu alaşımı 550°C'de çözeltiliye alınınca mikroyapı tamamen  $\alpha$  olur (Şekil 3.2). Bu sıcaklıktan su verilince oda sıcaklığında da  $\alpha$  içerisinde bakır çözünürlüğü %0.1 civarındadır. Su verme ile %4 Cu içeren  $\alpha$  mikroyapısı elde edilmiştir. Bu mikro yapıda çözünürlük limitinin çok üzerinde bakır oranı mevcut olduğundan elde edilen yapı bakıra aşırı doymuş yani yarı kararlı bir mikroyapı olmuş olur. Su verme sonrasında noktasal kafes atom boşluk oranının yüksek olması sağlanır. Şekil 3.10'da saf alüminyumda kafes atom boşluğunun sıcaklık ile değişimi görülmektedir. Sıcaklık arttıkça atomsal hata yoğunluğu artmaktadır. Suverme sonucunda yüksek sıcaklıktaki noktasal hata oranı oda sıcaklığında da korunmuş olur [6].



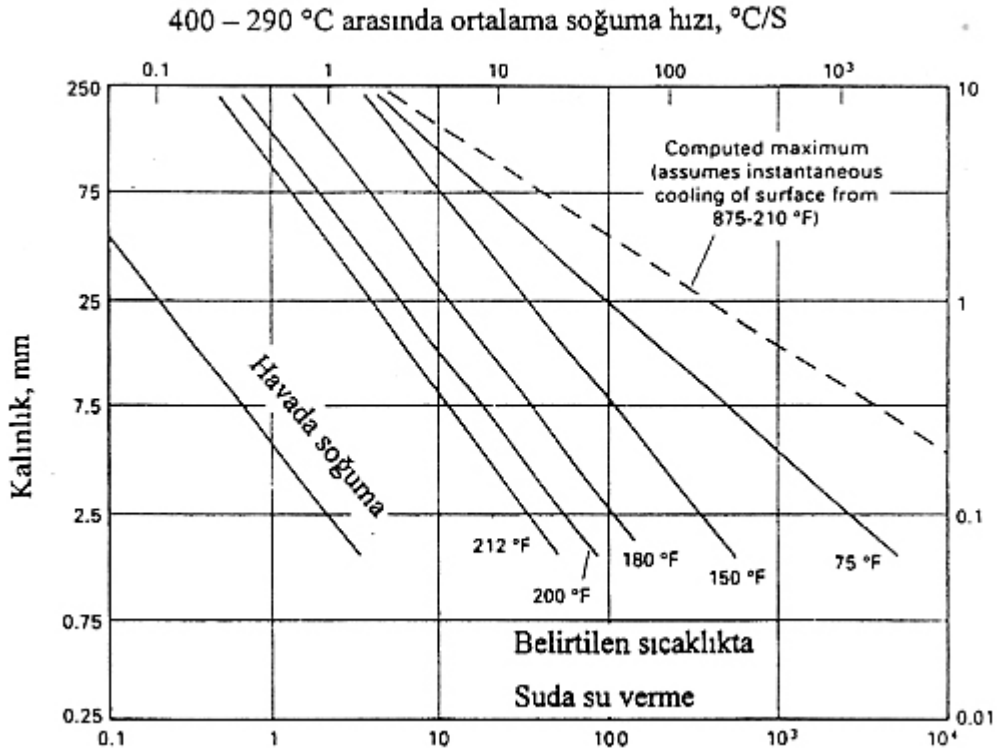
Şekil 3.10. Saf Alüminyumda Noktasal Atom Boşluğunun Sıcaklık İle Değişimi [1 ].

Su verme safhasında ne kadar yüksek hızda su verilirse çökeltme işlemleri sonucunda elde edilen mukavemet ve mukavemet ile tokluk kombinasyonu o oranda yüksek olur. Su verme şiddeti arttıkça parçanın korozyon direnci ve gerilmeli korozyon çatlama direnci o kadar yüksek olur. Su verme hızının

artması iş parçasında oluşan kalıntı gerilmeleri ve çarpılma riskini artırır. Ayrıca parça kalınlığı arttıkça su vermede elde edilebilen maksimum su verme şiddeti azalır. Bütün bu nedenlerden dolayı su verme ortamlarını ve bunların iş parçası özellikleri üzerindeki etkilerini iyi bilmemiz gerekir [6 ].

### 3.1.2.2.1. Su verme ortamları ve soğuma hızı

Su verme ortamı olarak genellikle su, hava ve su karışımı ortamlar kullanılır. Ya iş parçası su ortamına daldırılır veya iş parçası üzerine (su, hava vb.) püskürtülür. Ortamın cinsi, sıcaklığı ve hareket hızı su verme ortamını etkiler. Şekil 3.11'de su sıcaklığının ve parça kalınlığının soğuma hızı üzerindeki tesirini görmekteyiz. Hava en yavaş soğutma ortamı olmaktadır. Su sıcaklığı kaynama sıcaklığından (100°C) itibaren azaldıkça soğuma hızı artmaktadır. Parça kalınlığı arttıkça soğuma hızı yavaşlamaktadır [6 ].



**Şekil 3.11.Çözeltiye Alınan Alüminyum Alaşımı Levha ve Saçlara Su Verildiğinde Parça Merkez Hattında Ortalama Soğuma Hızı [1 ].**

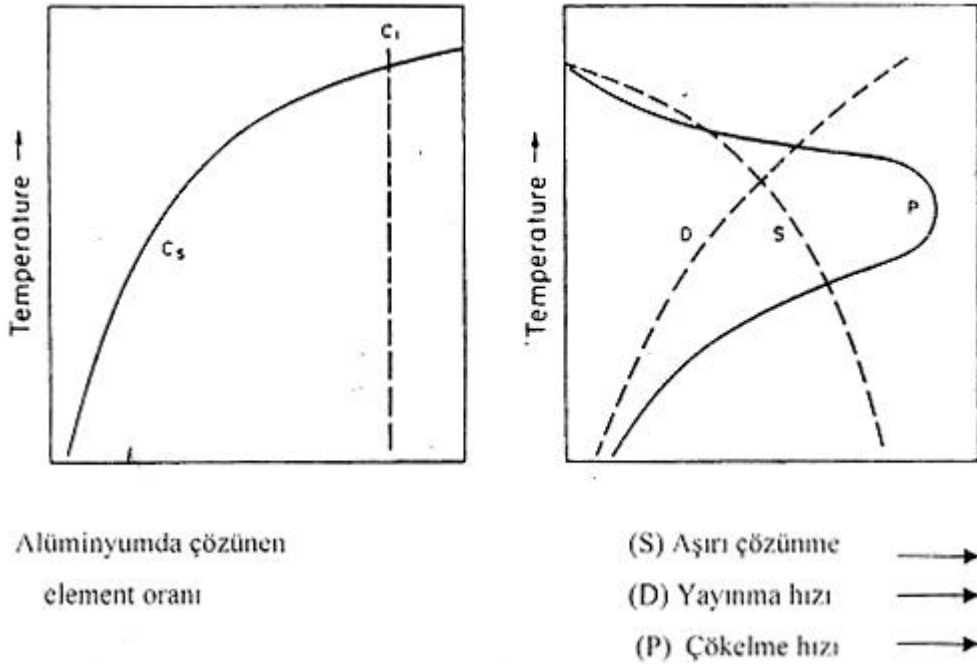
Su verilecek parçaları, çözelti ye alma fırınında ısıtılmasından sonra manuel veya mekanik olarak fırından alınır ve su verme sistemine taşınır. Bu transferde geçen sürenin maksimum sınırı Tablo 3.5'de görülmektedir. Parçanın fırından çıkarılıp, su vermenin başlamasına kadar geçen süre maksimum gecikme süresinden daha az olmalıdır. Su verilen parçaların yüzey özellikleri soğuma

hızını etkilemektedir. Yüzeyi temizlenmiş, kumlanmış parçalarda soğuma hızı çok düşüktür. Yüzeyde mevcut olan ince oksit tabakası soğuma hızını arttırmaktadır [ 7].

### 3.1.2.2.2. Kritik Sıcaklık Aralığı

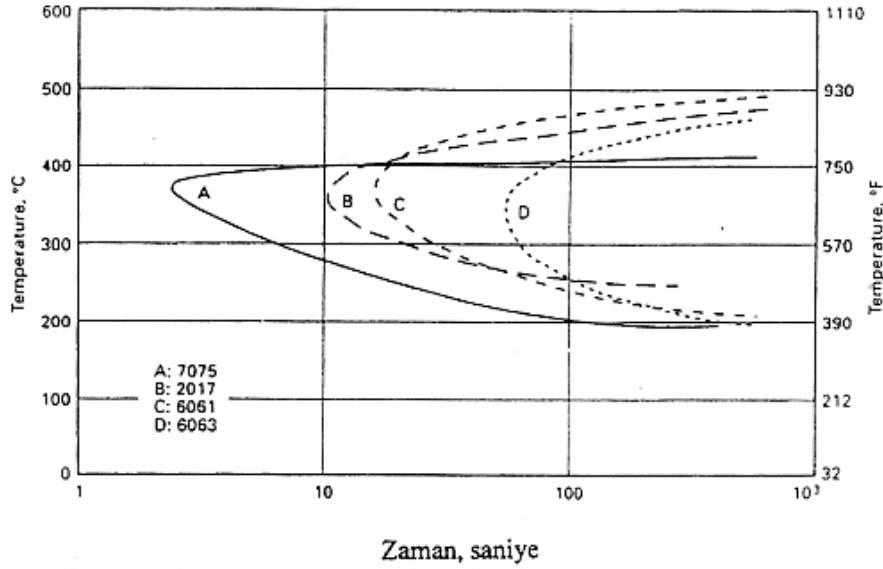
Çökeltme ile sertleştirilen alaşımlarda çökeltme yapılan mikro yapıdaki aşırı çözünürlük oranı ve difüzyon hızı çok önemlidir. Bu iki faktör sıcaklık ile değişir. Çökeltme sıcaklığı azaldıkça aşırı çözünürlük oranı ve difüzyon hızı azalır. Şekil 3.12'de C1 kimyasal bileşiminde ve CS solvüs eğrisi olan bir alüminyum alaşımı görmekteyiz. Çözeltiye alma işleminden sonra mikro yapıdaki aşırı çözünürlük oranı ( C1-CS) Şeklinde S eğrisi ile gösterilmiştir. Sıcaklık azaldıkça S artmaktadır. D harfi ise alaşım elementi atomlarının alüminyum matris içerisindeki difüzyon hareket hızını gösterir. Sıcaklık düştükçe atom yayınma hızı azalır. P harfi ise çökeltme hızını göstermektedir. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda çökeltme hızı düşüktür. Orta sıcaklıklarda ise etkin olma faktörler uygun hale geldiğinden çökeltme hızı artar. Yüksek sıcaklıklarda çökelti çekirdek oluşumu çok yavaştır. Bu sıcaklıklarda atomların yayınması fazla olsa da aşırı çözülmüş atom oranı çok az olur. Bu nedenle çökeltme hızı çok yavaştır.

Düşük sıcaklıklarda ise difüzyon hızı çok düşük olduğundan, yüksek aşırı çözünme oranına rağmen çökeltme hızı yavaş olur. Orta sıcaklıklarda etkin faktörler maksimum çökeltme hızını verir. Netice olarak eşit miktarda çökelti oluşturmak için gerekli sıcaklık ve süreler C şeklinde bir eğri oluşturur.



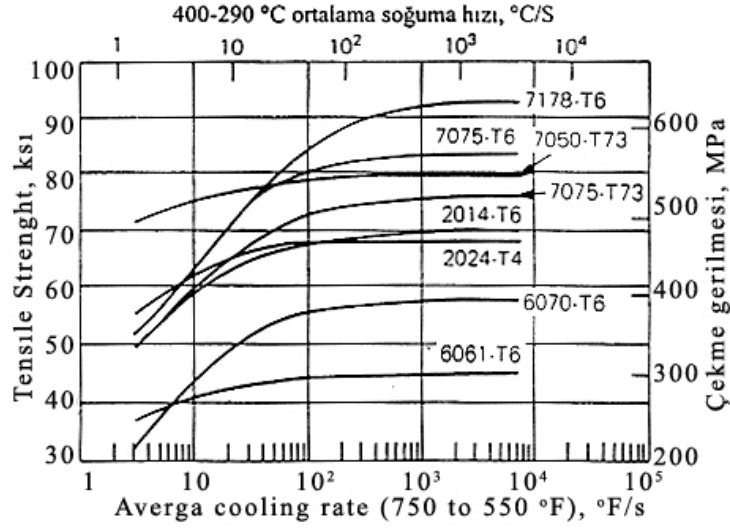
Şekil 3.12. Çökeltme Hızını Tayin Eden Faktörler Üzerinde Sıcaklığın Etkisi [1 ].

Birçok alüminyum alaşımlarında yaşlanma sonrası elde edilen mukavemet üzerinde su verme hızının etkisi ortaya çıkarılmıştır (Şekil 3.14). Bu eğrileri ortaya çıkarmak için farklı kalınlıktaki parçalara, farklı ortamlarda su verilerek kritik sıcaklık aralığından farklı soğuma hızları elde edilmiştir. 400–290 °C sıcaklıkları arası soğuma süresi alaşımların çekme mukavemeti değeri üzerinde etkili olmaktadır. Bu sıcaklıklar kritik sıcaklıklar arasındadır [ 6]. C eğrilerinin dirsek noktası en yüksek çökeltme hızının olduğu bölgeyi gösterir, yani bu bölge kritik sıcaklık aralığını gösterir.



**Şekil 3.13. Maksimum Çekme Mukavemetinin %95 Değerine Ulaşmak İçin Bazı Alüminyum Alaşımlarında Çökeltme Safhasında Zaman - Sıcaklık ilişkisi [1].**

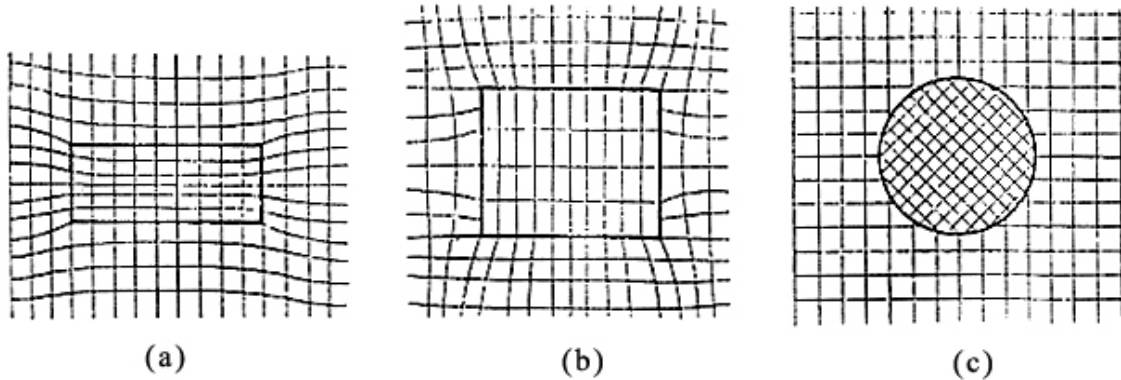
Birçok alüminyum alaşımlarında yaşlanma sonrası elde edilen mukavemet üzerinde su verme hızının etkisi ortaya çıkarılmıştır (Şekil 3.14). Bu eğrileri ortaya çıkarmak için farklı kalınlıktaki parçalara, farklı ortamlarda su verilerek kritik sıcaklık aralığından farklı soğuma hızları elde edilmiştir. 400–290 °C sıcaklıkları arası soğuma süresi alaşımların çekme mukavemeti değeri üzerinde etkili olmaktadır. Bu sıcaklıklar kritik sıcaklıklar arasındadır [ 6]. C eğrilerinin dirsek noktası en yüksek çökeltme hızının olduğu bölgeyi gösterir, yani bu bölge kritik sıcaklık aralığını gösterir.



**Şekil 3.14. Su Verme Sırasında Soğuma Hızına Bağlı Olarak Yaşlandırılan Alaşımlarda Çekme Mukavemetinin Değişmesi [1].**

### 3.1.2.3. Çökeltme (Yaşlandırma) Safhası

Aşırı doymuş ve yarı kararlı su verilmiş mikroyapı oda sıcaklığında bekletildiğinde veya daha yüksek sıcaklığa ısıtıldığında matris içerisinde çökelmeler meydana gelerek mikroyapı daha kararlı hale gelir. Çöken partiküller ile matrisin ara yüzey yapısına bağlı olarak partiküller tam uyumlu, yarı uyumlu ve uyumsuz olarak adlandırılırlar (Şekil 3.5). Uyumlu ve uyumsuz tabiri partikül atom diziliş sırasının matris atom diziliş sırası ile olan ilişkisine bağlıdır. Uyumlu durumda atomların dizilişi hem partikül hem de matriste aynı şekildedir. Uyumlu partiküller etrafındaki matris elastik olarak şekil değiştirmiştir. Yarı uyumlu partiküllerin bir sınırı matris ile uyumlu olurken diğer sınırlar yarı uyumlu ve hatta uyumsuz olabilir. Uyumsuz partiküllerin hiçbir tane sınırı ile matrisin atom dizilişi arasında benzerlik yoktur. Al- Cu alaşımlarında G.P zon (bölge),  $\theta''$ ,  $\theta'$  ve Cu Al<sub>2</sub> partikülleri çökertilir. Bu partiküllerden G.P. zonları ile  $\theta''$  tam uyumlu,  $\theta'$  yarı uyumlu ve Cu Al<sub>2</sub> uyumsuz karakterdedir.

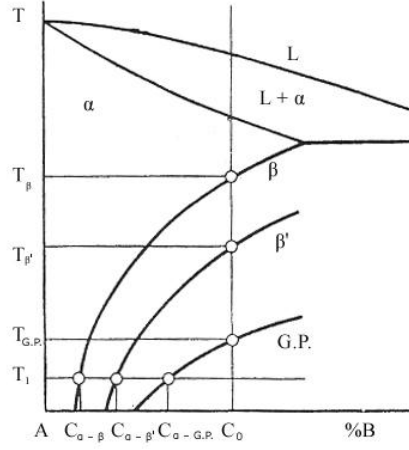


**Şekil 3.15. (a) Tam Uyumlu, (b)Yarı Uyumlu, (c) Uyumsuz Partiküllerin Matris ile ilişkisi [1].**

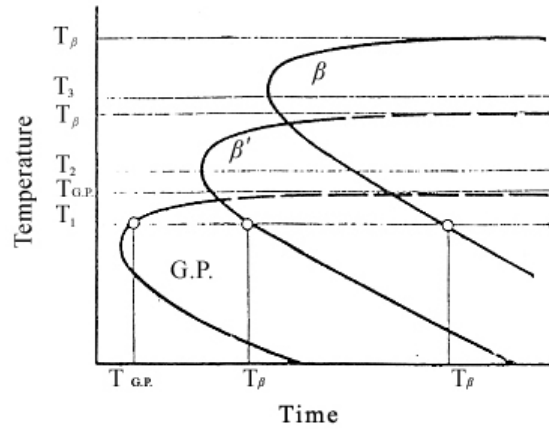
Şekil 3.16'da su vermeden sonra yaşlanma gösteren A-B ikili denge diyagramında çökelen partiküllerin türleri görülmektedir. Su verilerek oda sıcaklığında aşırı doymuş  $\alpha$  matrisi içerisine G.P. bölgeleri,  $\beta$  ve  $\beta'$  partikülleri çökeltmektedir. Bu partiküllerden,  $\beta$  taneleri kararlı olurken  $\beta'$  ve G.P.



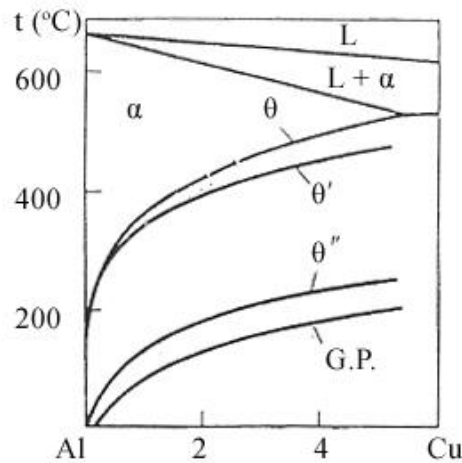
zonları yarı kararlı partiküllerdir. Bu partiküllerin oluşumunda sıcaklık ve tutma süresinin tesirini Şekil 3.17'de görmekteyiz. Düşük sıcaklıkta G.P. bölgeleri oluşmaktadır. Kararlı,  $\beta$  partikülleri ise yüksek sıcaklıkta oluşmaktadır. Şekil 3.18' de ise Al- Cu sisteminde çökelen partiküller görülmektedir.



Şekil 3.16. Farklı Çökelti Taneleri Gösteren A-B İkili Alaşım Sistemi [ 1].



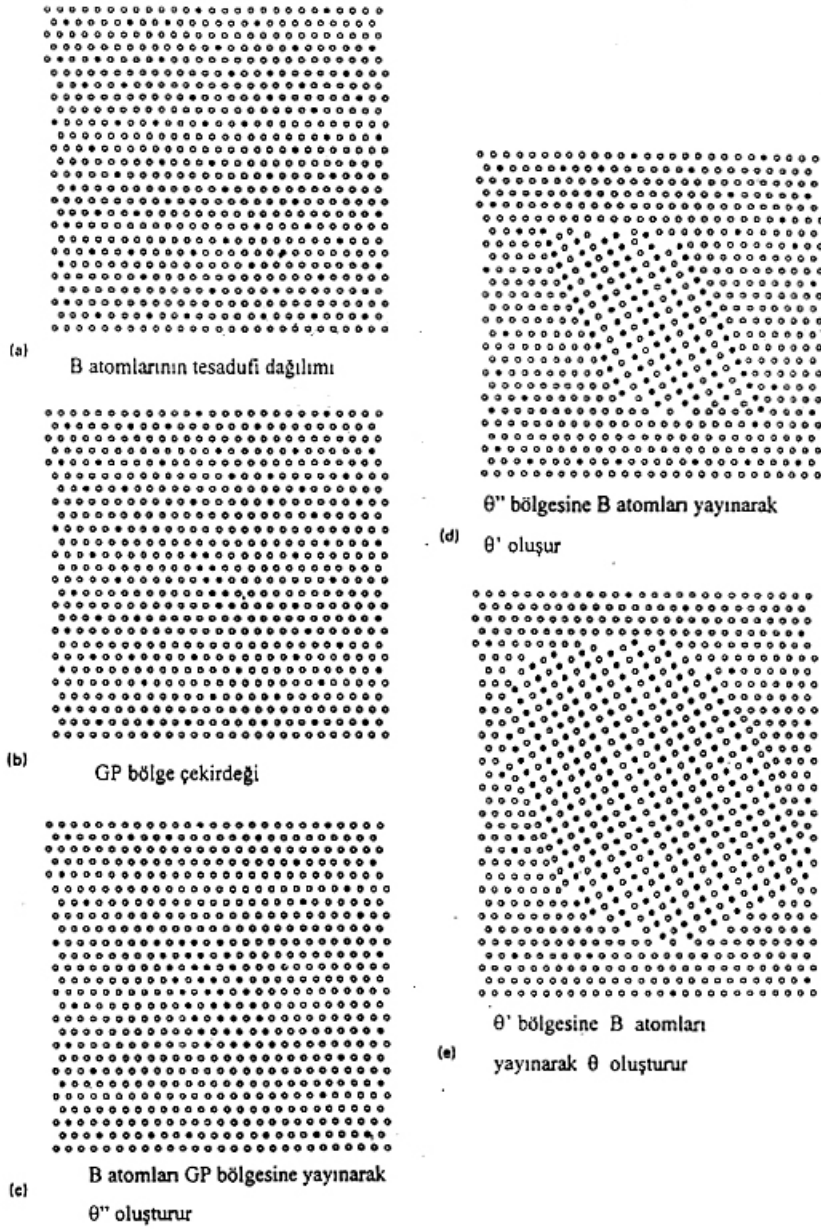
Şekil 3.17. Yaşlandırılan Aşırı Doymuş Matriste G.P. Bölgeleri,  $\beta'$  ve  $\beta$  Partiküllerinin Oluşumu Sıcaklık ve Süreleri [ 1].



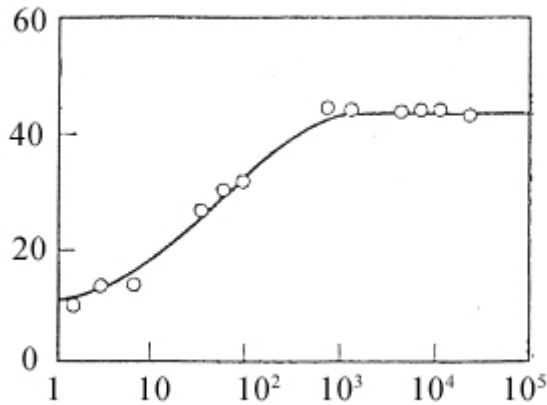
### **Şekil 3.18. Al- Cu Sisteminde Çökelen Partiküller [1 ].**

Su verilen aşırı doymuş mikro yapıdaki malzeme oda sıcaklığında veya biraz daha yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında çözünen atomlar kafes atom boşluklarından faydalanarak matrisin içerisinde dağılımlarını değiştirirler. Bu olay Şekil 3.19'da Al- Cu sisteminde şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.19'da siyah atomlar Cu ve içi boş atomlar Al atomlarını ifade etmektedir. Su verilmiş haldeki aşırı doymuş mikro yapıda Cu atomları, Al atomları içerisinde rast gele dağılmıştır.

Düşük sıcaklıkta ısıtma ile bakır atomları hareket ederek matriste bir ince şerit oluştururlar. Bu oluşan ince kümeye Guinier Preston (G.P.) zonu (bölgesi) adı verilir. G.P. zonunun kristal yapısı ile matrisin kristal yapısı aynıdır. Bu nedenle G.P. zonu matris ile tam uyumludur. Oluşan G.P. bölgesi çevresindeki matrisin birkaç atomluk kalınlığında, yani küçük bir alanda elastik şekil değişimi meydana gelir. G.P. zonları büyüklüğü ve şekli kimyasal bileşime ve çökeltme sıcaklık ve süresine bağlıdır. Al-Cu G.P. zonu ince lamel halinde iken Al-Zn alaşımlarında oluşan G.P. zonu küreseldir. Zonun boyutları 10–100 Å mertebesinde olur. Yaşlandırma, çökeltme süresi uzadıkça G.P. zonlarının boyutu artar (Şekil 3.20). G.P. zonu yarı kararlı bir fazdır. Yaşlandırma sıcaklığı ve süresi artırılınca (Şekil 3.17) bu çökeltiler çözünür veya yeni partiküller oluşur ( Şekil 3.19) [ 6].



Şekil 3.19. Al-Cu Yaşlandırılan Alaşımlarda G.P. Zonu,  $\theta''$ ,  $\theta'$  ve  $\theta'$  Çökelti Oluşumu [ 1 ].



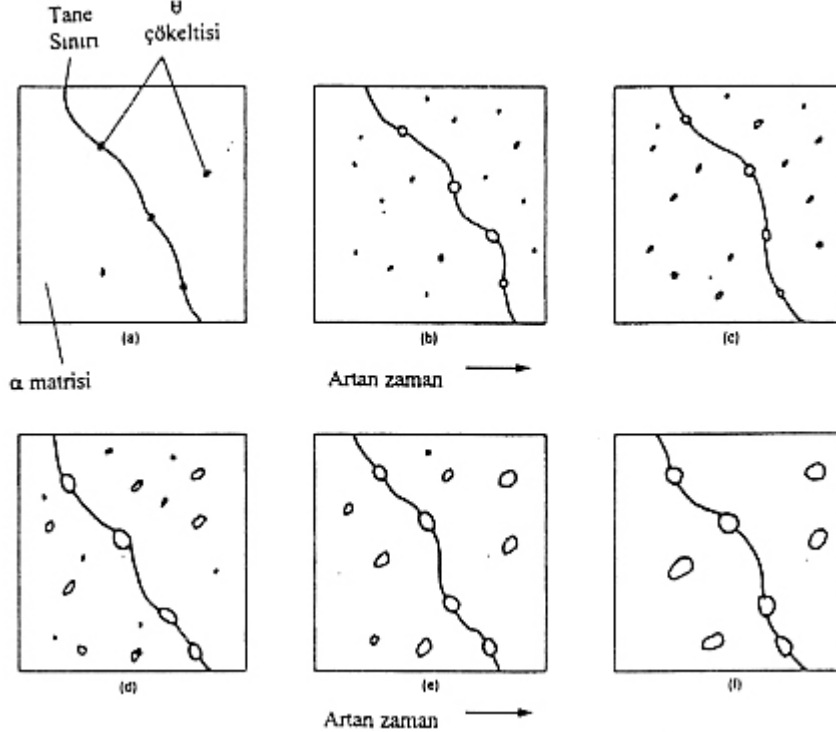
Şekil 13.20. Al – 6.8 Cu Alaşımlarında Oda Sıcaklığında G.P. Bölge Yarıçapının Zaman ile

## Büyümesi [ 1].

Çökeltme sıcaklığı yüksek olursa G.P. zonu oluşmadan yarı kararlı veya kararlı partiküller çöker. Şekil III.19'da Al-Cu alaşımında Cu atomlarının yayınması ile oluşan çökeltiler görülmektedir. Çökecek partikül miktarı levye kaidesi yardımı ile denge diyagramından hesaplanır. Alaşımın bileşimi ve denge diyagramının solvüs eğrilerinin şekli biliniyorsa çökecek partikül miktarı kolayca hesaplanır. Bütün partiküller çözünme bitene kadar çöker. Çökeltme işlemi bitince partiküllerin irileşmesi başlar. Partiküller büyüdükçe partikül- matris ara yüzeyi azalması büyümeyi teşvik eder. Herhangi bir çökeltme sıcaklığında küçük partiküller çözünür ve atomlar matriste yayınarak büyüdükçe partiküllerin daha fazla büyümesini sağlarlar. Bu olay Şekil II.40'da görülmektedir. Bu tane irileşmesine aşırı yaşlanma denir [ 6].

### 3.1.2.3.1. Yaşlandırma işlemi

Yaşlandırma işlemi yapılaş sistemine göre üç değişik şekilde tanımlanır. Bunlardan ilki, oda sıcaklığında yaşlandırma (tabii yaşlandırma); su verilen ve aşırı doymuş mikro yapı oda sıcaklığında tutulduğunda G.P. zonları oluşur. Bu zonların oluşumu için alaşım bileşimine göre belli bir süre gereklidir. 2xxx serisi alaşımlardan tabii yaşlananlar dört beş günde sertleşirken 7xxx alaşımları çok uzun süre içerisinde sertleşirler.



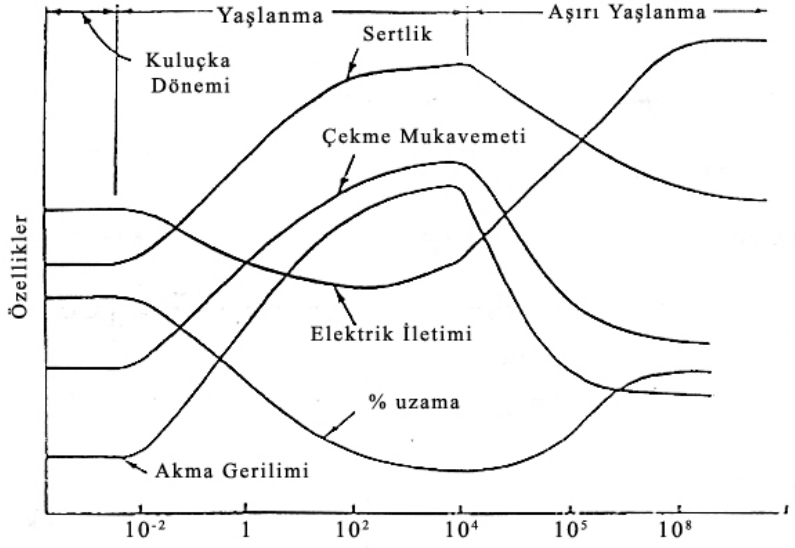
Şekil 3.21. Suni Yaşlanma Sırasında Zamanın Çökeltme Oluşumu ve Çökelen Partikül Boyutu Üzerindeki Tesiri [1].

Yaşlandırmanın ikinci şekli ise suni yaşlandırma dır. Suni yaşlandırma genellikle 115–190°C sıcaklık arasında 5–48 saat süre ile yapılan yaşlandırma işlemidir. Suni yaşlandırmada sıcaklık - süre kombinasyonunun çok dikkatli seçilmesi gerekir. Çökelen partiküllerin türü, boyutu ve dağılım yoğunluğu (partiküller arası mesafe) yaşlandırma ısıl işleminin parametrelerine bağlıdır. Oluşan mikroyapı mekanik özellikleri direkt olarak etkiler. Optimum parametreler, optimum partikül büyüklüğünü ve dağılım yoğunluğunu sağlar. Genellikle T6 ısıl işlemi metalin T4 haline nazaran daha mukavemetli ama daha az sünek özelliğe sahip bulunur. Aşırı yaşlanma ile akma ve çekme mukavemeti azalırken süneklikte cüzi artış meydana gelir.

Suni yaşlandırma sırasında metalin korozyon direnç özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bazı alaşımlarda biraz aşırı yaşlanmış mikroyapının korozyon direnci çok yüksek olur. Biraz aşırı yaşlanmış mikroyapı 7xxx alaşımlarının yorulma mukavemetini de artırır. Yaşlanmanın üçüncü şekli ise, termomekanik yaşlandırma dır. Burada, çözeltiye alınan metale soğuk veya ılık olarak şekil verme uygulanarak çökme olayı etkilenir. Plastik şekil verme yaşlandırma işleminin öncesinde, sonrasında veya sırasında uygulanarak T3, T8 ve T9 halleri elde edilir. Su verme sonrası yapılan plastik deformasyon bazı alaşımların çökme sertleşme hızını ve miktarını etkilerken bazı alaşımlarda etkili olmaz. 2xxx serisi alaşımlardan bilhassa 2014, 2124 ve 2219 alaşımları su verme sonrası uygulanan soğuk şekil vermeden etkilenirler. Bu metallerde soğuk şekil verme çökelti çekirdekleşmesini teşvik eder [6 ].

### **3. 1.2.4. Yaşlanmış Metalin Özellikleri**

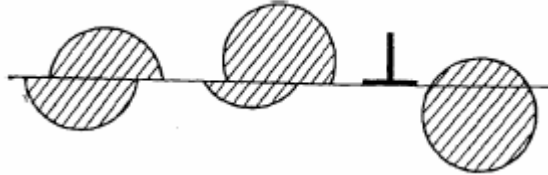
Yaşlanma sertleşmesi yapılan bir metalde ısıtma süresinin malzeme özellikleri üzerindeki etkisi Şekil 3.22' de görülmektedir. Su verilmiş haldeki metalin mukavemeti düşük ve sünekliği yüksektir. Yaşlanma ile mukavemet artarken süneklik düşmektedir. Aşırı yaşlanma ile mukavemet azalırken süneklik ve elektrik iletkenliği artmaktadır. Çökelen partikül cinsi ve çökelti boyutları ile dağılım tarzı mekanik Özellikleri Şekil 3.22'de gösterildiği gibi etkilemektedir. Şekil 3.23' de Al-4 Cu alaşımında yaşlanmanın sertlik üzerindeki tesirini görmekteyiz.



**Şekil 3.22 Yaşlanma süresinin metal özelliklerine etkisi**

Her ısıtma sıcaklığı ve ısıtma süresinde elde edilen en büyük sertlik için optimum nokta vardır. Mesela 240°C'de 2 saat ısıtma halinde 84 Vickers en büyük sertlik değerine ulaşır. 130°C'de gün ısıtma yaparsak, 123 Vickers en büyük sertlik değerine ulaşırız. Her yaşlanma ısıl işleminde en büyük sertlik değerinden sonra ısıtma devam ederse aşırı yaşlanma meydana gelir ve sertlik düşer. Isıtma sıcaklığı ne kadar düşük olursa elde edilen sertlik o kadar büyük olur ama ısıtma süresi uzun olur. Bu nedenle her metalde enerji sarfiyatı ve sertlik artışı beraber düşünülerek optimum yaşlanma sıcaklığı ve süresi seçilir [6]. Çökelti dislokasyonların hareketini engellemesi ile sertlik ve mukavemetin artmasına sebep olur. Bu sertleşme üç sebeple meydana gelir.

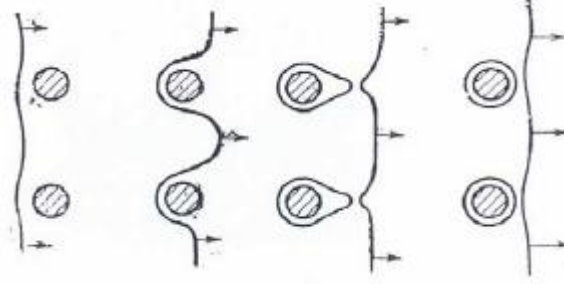
1. Elastik gerilme alan sertleşmesi: Partikül çevresindeki matrisde oluşan elastik şekil değişim bölgesi dislokasyonları engellemesi. Tam uyumlu ve yarı uyumlu partiküller komşu matrisde elastik şekil değişimi ve elastik gerilme alanı oluşturmaktadır. Bu alan içerisinde dislokasyonları ilerletmek için daha yüksek gerilmeye ihtiyaç vardır.
2. Kimyasal sertleşme: Kayan dislokasyonların G.P. zonları keserse partikül matris ara yüzeyi artar. Bu nedenle dislokasyon hareketi zorlaşır (Şekil 3.23 ).



**Şekil 3.23. Kayan bir dislokasyonunun çökelti kesmesi [1].**

3. Dislokasyon kuşatması: Dislokasyonların partikülleri kuşatması sonucu olan sertliktir. Sert ve kayma modülü yüksek olan partiküller kayan dislokasyonlar tarafından kesilmezler. Kayan dislokasyonlar bu partiküller tarafından engellenir. Bu engeli aşmak için dış kuvvet artırılır ve

partiküller arasında dislokasyon eğilme yapar. Dislokasyonlar kayarken partiküller etrafında bir dislokasyon halkası oluşturur (Şekil 3.24) [ 6].



**Şekil 3.24. Kayan Dislokasyonların Kesemediği Partikül Engelini Aşması [1 ].**

Çökelme işleminin metal sertleşmesi üzerindeki tesiri çökelti türüne, bunların şekil, biçim, dağılım yoğunluğu ve matris ile uyumuna bağlı olarak büyük farklılık gösterir.

**Tablo 3.5. Bazı Yaşlandırılmayan Alüminyum Alaşımların Mekanik Özellikleri [1 ].**

Alaşım	Çekme Mukavemeti MPa	Akma Mukavemeti MPa	Uzama %	Sertlik BHN	Yorulma Mukavemeti MPa
2014 – 0	185	95	18	45	90
T4	425	290	20	105	140
T6	485	415	13	135	125
2219 – 0	170	70	18	-	-
T42	360	185	20	-	-
T31	360	250	17	100	-
T37	395	315	11	117	-
T62	415	290	10	115	105
T81	455	350	10	130	105
T87	475	395	10	130	105
2024 – 0	185	75	20	47	90
T3	485	345	18	120	140
T361	495	395	13	130	125
T4	470	325	20	120	140
T851	485	450	6	128	125
T861	515	490	6	135	125
6063 – 0	90	50	-	25	55
T1	150	90	20	42	70
T4	179	90	22	-	70
T5	185	145	12	60	70
T6	240	215	12	73	70
T83	255	240	9	82	-
T831	205	185	10	70	-

### 3.2. DÖKÜM ALAŞIMLARININ ISIL İŞLEMİ

Döküm alaşımları da dövme alaşımları gibi yaşlandırılabilenler ve yaylandırılmayanlar diye iki guruba ayrılır. Yaşlandırılmayan alaşımlar ya döküldükleri halde (F halinde) veya tavlınmış (O halinde) kullanılır. Yaşlandırılabilen alaşımlar ya tavlınmış (O halinde) veya çözeltiye alınıp, suverilmiş ve çökertilmiş (T4, TS, T6 veya T7) halinde kullanılır. Yaşlanma mekanizması tamamen dövme alaşımları ile ayrılır. Tablo III.6'da bazı yaşlandırılabilen alaşımların ısıll işlem reçetesi verilmiş ve bazı döküm alaşımlarının mekanik özellikleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir [ 6].

**Tablo 3.6. Yaşlandırılan Bazı Döküm Alaşımlarında Isıl İŞlem Reçetesi [ 1]**



Alaşım Hal	Çözeltilme		Çökeltme	
	Sıcaklık °C	Süre-Saat	Sıcaklık °C	Süre-Saat
201.0 T4	525	16	23	5 gün
T6	525	16	155	20 "
T7	525	16	190	5 "
222.0 0	-	-	155	16 "
T61	510	12	155	11 "
319.0 T5	-	40	205	8 "
T6	505	12	155	4 "
355.0 T51	-	-	225	8 "
T6	525	12	155	4 "
T7	525	12	225	4 "
356.0 T51	-	-	225	8 "
T6	540	12	155	4 "
T7	540	12	205	4 "
T71	540	12	205	3 "
357.0 T6	540	8	175	6 "
444.0 T4	540	12	23	21 "
851.0 T5	-	-	220	8 "

Tablo 3.7 Bazı Döküm Alaşımının Mekanik Özellikleri [1 ]

Alaşım Hal	Çekme MPa	Akma MPa	Uzama %	BHN
201.0 T4	414	255	17	-
T6	448	379	8,0	130
T7	467	414	5,0	-
208.0 F	145	97	2,5	55
222.0 0	186	138	1,0	80
T61	283	276	0,5	115
242.0 F	214	207	0,5	-
0	186	124	1,0	70
T5	221	207	0,5	85
319.0 F	186	124	2,0	70
T5	207	179	1,5	80
T6	250	164	2,0	80
355.0 F	159	83	3,0	-
T51	193	159	1,5	65
T6	241	172	3,0	80
T7	264	250	0,5	85
356.0 F	164	124	6,0	-
T51	172	138	2,0	60
T6	228	164	3,5	70
T7	234	207	2,0	75
T71	193	145	3,5	60
357.0 F	172	90	5,0	-

## BÖLÜM 4

# ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

## 4.1. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARIN KAYNAĞINA GENEL GİRİŞ

Alüminyumun diğer metallerden özellikle çeliklerden farklı fiziksel ve kimyasal özellikleri kaynak kabiliyeti üzerinde oldukça etkilidir. Bunlar;

- Alüminyumun yüzeyindeki oksit tabakası,
- Yüksek ısı iletkenliği,
- Yüksek ısı genleşme katsayısı,
- Düşük ergime sıcaklığı,
- Ergime sıcaklığına yaklaştığında renk değişimi göstermemesi (kısaca tav rengi göstermemesi),

Alüminyum aktif bir metaldir ve havadaki oksijenle reaksiyona girerek yüzeyinde alüminyum oksit oluşur. Alüminyum oksit, alüminyum malzemenin yüzeyini kaplayan dirençli ve hızlı oluşan bir oksittir ve alüminyuma çok iyi korozyon direnci kazandırır. Alüminyum ve alüminyum alaşımları, içerdikleri alaşım elementleri miktarlarına bağlı olarak farklı ergime sıcaklıkları gösterebilir de genellikle saf metalin ergime sıcaklığı yaklaşık olarak 660°C dir. Buna karşın malzemenin yüzeyinde oluşan alüminyum oksit ergime sıcaklığı ise 2050°C dir. Bu oksit tabakası, havadaki nemi emerek daha kalın duruma geçebilir ve kaynak sırasında da ergimiş banyonun üzerinde yüzer. Nem içinde hidrojen olduğundan, hidrojenin kaynak metaline geçerek gözenek oluşturma tehlikesi ile karşılaşılır.

Alüminyum, kaynak edildiği zaman tav rengi vermediğinden, esas metalin ergime sıcaklığına gelip gelmediği, bu oksit filminin varlığından dolayı anlaşılabilir ve kaynakçı ısıtmaya devam ederken, esas metalin kendisi ergiyerek akmaya başlar ve kaynak dikişinin oluşması güçleşir. Aynı zamanda ergimiş metal damlaların kaynak ağzına nüfuz etmeden yapışarak kalması problemi ile karşılaşılır. Alüminyumun alaşım içeriğine bağlı olarak ısı iletmesi çelikten 3 ile 5 kat daha hızlıdır. Bu yüzden alüminyum ergitmek için çok fazla enerji gereksinimi vardır. Isı iletkenliği çok yüksek olduğundan kalın kesitlerin kaynağı durumunda ön tavlama gereksinimi duyulur. Eğer ön tav sıcaklığı çok yüksek ve uygulama süresi de çok uzun tutulursa, ısı işlemle yada soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilen her iki türde de kaynak bağlantısının mukavemetinde düşme ile karşılaşılır. Alüminyum ve alaşımlarında ön tav sıcaklığı 204°C'yi aşmamalıdır ve parçalar bu sıcaklıkta gerektiğinden daha uzun süre tutulmamalıdır. Yüksek ısı iletkenliğinden dolayı yüksek ısı girdisi kullanılan kaynak yöntemleri çok hızlı yapılacak şekilde bir kaynak prosedürü uygulanmalıdır. Alüminyum yüksek ısı iletkenliği, ısının kaynak bölgesinden hızlı transfer olmasıyla kaynak metalinin hızlı katılaşması gibi bir yararlı etkiyi de beraberinde getirir, bu sayede alüminyum parçaların her pozisyonda kaynak edilebilme olanağı doğar.

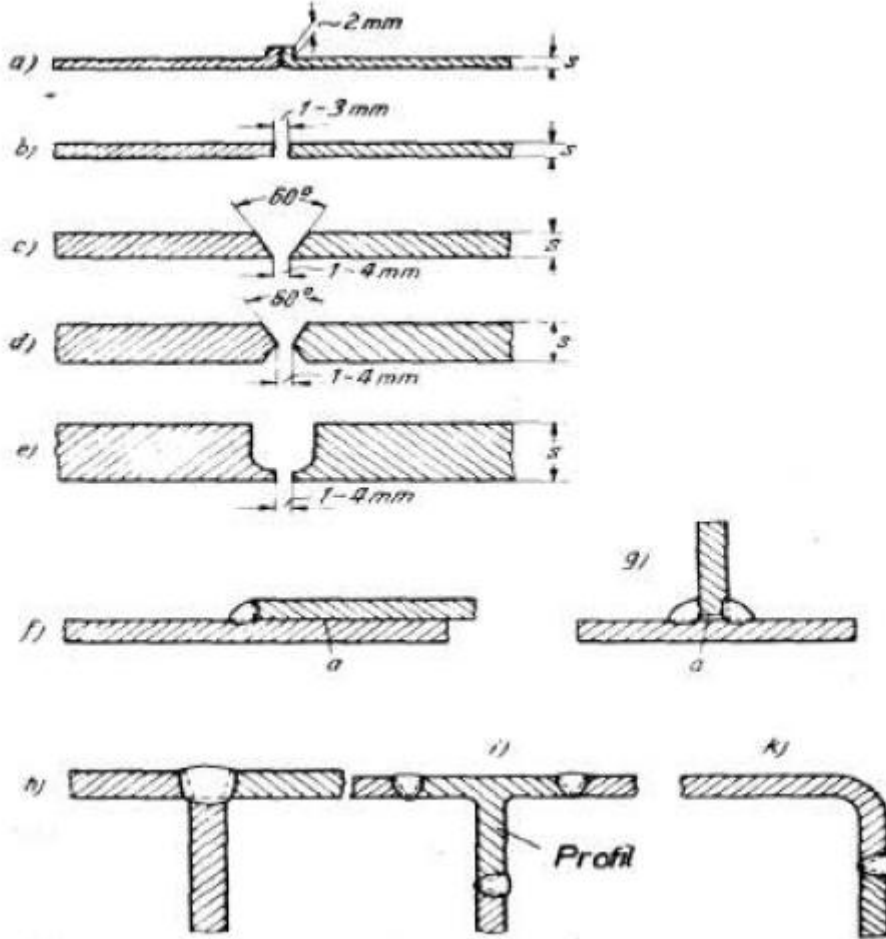
Alüminyumun ısıl genişmesi çeliğe göre iki kat daha fazladır. Buna ek olarak, ergimiş durumdan katılaşımla alüminyum kaynak metalinin kendini çekmesi hacimce %6 oranındadır. Bu da, boyutlardaki değişime ve bunun sonucunda da açılmal çarpılmaya ve çatlamaya neden olur. Kaynak ağız biçimi ve kaynak metalinin oluşturulmasında kullanılan pasoların sayısı çarpılmanın oluşumunda oldukça önemli bir etkidir. I-alın kaynak ağız açılmış bağlantılarda V- kaynak ağız açılmış çok pasolu kaynaklara göre daha az açılmal çarpılma ortaya çıkar. Kaynak hızı da açılmal çarpılmanın kontrol altında tutulmasında etkili bir etmendir. Yavaş kaynak hızları ısı girdisini artırmaktadır. Bu açıdan kaynak edilecek parçaların çok iyi sabitlenmeleri gerekmektedir; bu şekilde ağızlarda kayma olmadan kaynak yapılabilmesinin yanı sıra çarpılma da önlenmiş olacaktır. Eğer, parçalar bağlanamıyorsa, pumaların dikkatlice yapılması gerekir, zira bu sayede parçalar istenilen konumda tutulabilirler. Alüminyum çok iyi korozyon direncine sahiptir, kolay biçimlendirilir ve toksik değildir, bu özelliklerinden dolayı da gıda endüstrisinde kullanım alanı bulur. Manyetik olmadığından dolayı da kaynak sırasında ark üfleme problemi ile karşılaşmaz. Alüminyumun tav rengi göstermemesi, alüminyum ve alaşımlarının üflekle yumuşak ve sert lehimlemesini etkiler. Bu açıdan, bu yöntemlerin uygulanmasında dekapan kullanılır. Dekapan alüminyum alaşımlarının ergime sıcaklığının yaklaşık 50°C altında eriyerek çalışma sıcaklığına yaklaştığını göstermesinin yanı sıra yüzeydeki oksiti çözerek birleştirmenin sağlıklı yapılmasını sağlar.[12]

## **4.2. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Kullanılan Kaynak Yöntemleri**

### **4.2.1. Alüminyum ve Alaşımlarının Gaz Kaynağı**

Basit ekipmana ve düşük maliyete sahip olması nedeniyle, bazen saf alüminyum ve bazı alüminyum alaşımlarını kaynak yapmak için gaz (oksi-asetilen) kaynağı kullanılmaktadır [13]. Gaz ergitme kaynağı her tür hafif metale uygulanabilir; bunda oksii-asetilen alevi en iyi sonucu verir. Bununla birlikte hidrojen-oksijen alevi, havagazı oksijeninki gibi, daha düşük alev sıcaklığına haiz olmasıyla, 1 mm' den az kalınlıkta saçlarda saçların delinme tehlikesini azaltır. Ancak H-O alevi, Al-Mg gibi alaşımlarda gözeneğe yol açar, magnezyum alaşımlarında da ergime akısını engelleyen kuvvetli bir oksitlenme oluşturur. Oksii-asetilen alevinin bir başka avantajı da, çok hassas ayarlanabilme kabiliyetidir [8]. 6 mm ve daha kalın Al levhaların oksii-asetilen kaynağında tam nüfuziyeti sağlamakla çatlamaya karşı önlem olarak ön ısıtma avantajlı olmaktadır. Ön ısıtma sıcaklığı 150- 200°C arasında

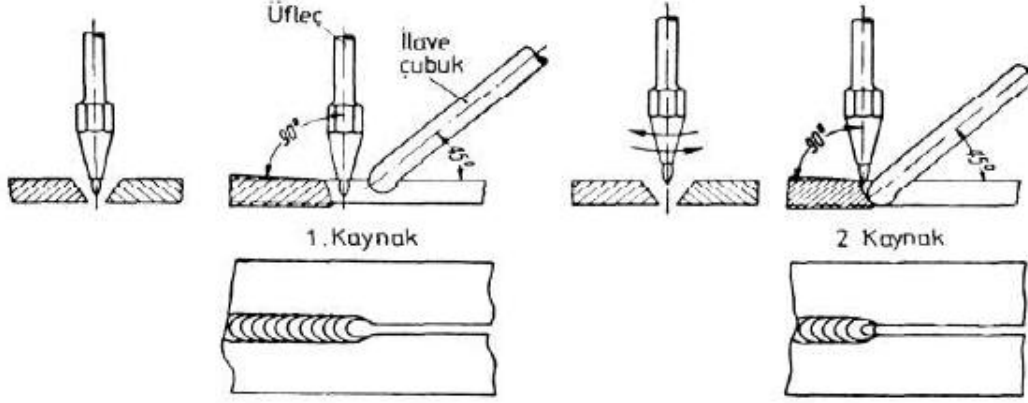
olup daha yüksek sıcaklıklar, arandian niteliklerin kaybina ve gereksiz yere genişlemis bir IEB' ye yol açar [8]. Çeşitli kalınlıklara göre ağız hazırlıkları, Sekil 4.1 'de gösterilmiştir. Hafif metallerin oksiasetilen kaynağında mümkün olduğu kadar küt alın şekillerine yer verilmelidir [8].



**Şekil 4.1 Al ve alâsımlarının oksiasetilen ile kaynağında ağız hazırlık şekilleri. a)  $s < 1.5$  mm, b)  $s = 1-3$  mm, c)  $s = 3-12$  mm, d)  $s > 8$  mm, e)  $s > 12$ mm [8].**

Oksiasetilen alevinin göreceli olarak düşük ısı yoğunluğu ve alüminyumun yüksek ısı iletkenliği kaynak hızını düşürür ve büyük çekmelere neden olur ki bu kaynaklı birleştirmede gerilimler ve deformasyon oluşturur. Isı etkili bölge çok geniştir, soğuk şekil değiştirme veya yaslandırarak sertleştirilen is parçalarında ana metal yumuşar ve mekanik mukavemetini kaybeder. Gaz kaynağı için gereken dekapan kaynak ağzının iki yüzeyine ve ilave metale fırça ile uygulanır [13]. Kalın saçlarda kökte emniyetli bir kaynak elde etmek için Griesheim yöntemi adı verilen sola kaynak süreci (Şekil 4.2) önerilir. Hafif salıntı ile ilerletilen üfleç bu yöntemde saçın üst yüzeyine dik tutulur, kaynak teli bu yüzeyle 45° yapar. Kaynak işlemi birbirini sürekli olarak tekrarlayan iki çalışma aşamasıyla olur. Birinci aşamada üfleç kaynak ağzının içinde tutulur, bu suretle ağız daire seklinde genişler; kaynak teli bu

sırada alev alanı içinde sıcak tutulur. Bundan sonra gelen ikinci aşamada üfleç biraz yukarı çekilir ve kaynak teli ergime banyosuna batırılır ve ergitilir [8].



Şekil 4.2 Alüminyum ve alaşımlarından kalın saçların oksii-asetilen kaynağı [8].

#### 4.2.2. Alüminyum ve Alaşımlarının Örtülü Elektrot Kaynağı

Bu yöntemle bütün alüminyum türleriyle ısıtım yoluyla sertleşmeyen alaşımları kaynak etmek mümkündür. Yapısal sertleşmeli alaşımlar arasında Al-Si-Mg ve Al-Mg-Si tipi alaşımlar uygun şekilde örtülü elektrotla birleştirilebilirler; ancak dikişe yakın bölgelerde mekanik karakteristikler düşer. Çinko ve magnezyumlu alaşımlar, kaynaktan sonra, herhangi bir işlemleri gerektirmeden, mekanik karakteristiklerinin az çok tümüne yeniden sahip olurlar [8].

Alüminyumun bu metal-ark kaynağında dikkate alınacak önemli etkenler nem, ön ısıtım, dekapan ve elektrotla is parçasının temizliğidir. Elektrot örtüsünde nemin varlığı, gözenekliğin başlıca nedenidir. Sağlam kaynaklar elde etmek için elektrotların kuru, temiz depolanma olanakları bulunacaktır. s parçasının ön ısıtılması, özellikle kalın parçalarda, gereklidir.

Elektrotu kaplayan örtü (dekapan) çok inatçı olup bunun dikiş içinde sıkışıp kalmaması için oldukça beceri gerekir. Kaynaktan sonra bu dekapanın (cürufun) temizlenmesinde gösterilecek özen de önemlidir [9]. Alüminyum üzerinde kaynaklı birleştirmelerin tasarımında önemli husus, ani kesit ve kaynak yönü değişmelerinden kaçınmaktır. Bunu sağlamak için bazen birleşecek parçalar arasında ara parçalar koymak kolaylık sağlayabilir. Aynı bağlamda, takviye plakaları, kesitleri düzenli olarak azalacak şekilde kesilirler [8]. Alüminyum parçaların 200° C' a ön ısıtılması istenir ve levha kaynağında bu işlem gereklidir. Ön ısıtım, oksii-asetilen üfleci ya da elektriksel dirençle yapılabilir; bu sonuncusu için, küçük parçalarda, bir tungsten elektrot, kaynak pensesinin ucuna gümüşle lehimlenir. Topraklama mungesi is parçasına bağlandıktan sonra tungsten elektrottan parçaya intikal edecek akım, onu ısıtacaktır. Yöntem, büyük parçalara uygulanmaz. Genellikle 5 mm' ye kadar saçlar ön ısıtılmaz. Dökümler, kural olarak ön ısıtılır [8].

Alüminyumun örtülü çubuk elektrotla kaynağında arkın tutuşturulması, çelikte olaninkinden farklıdır. Hem Al elektrot hem de ana metal az çok derhal ergiyip katılaştıklarından, elektrot yapışması bir sorun olabilmektedir. Bundan kaçınmak için ark, elektrotu ana metalin yüzeyi üzerinde bir fırçalama hareketi yaparak tutuşturulur [8].

### 4.2.3. Alüminyum ve Alasımlarının MIG Kaynağı

Günümüzde alüminyum konstrüksiyonunda en çok kullanılan kaynak metodu, ergiyen elektrodla bir koruyucu gaz veya gaz karışımı atmosferi altında yapılan MIG (Metal nert Gaz) kaynak tekniğidir. Ergiyen elektrod ile yapılan MIG gaz altı kaynağı çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. MIG kaynak yöntemi diğer kaynak yöntemlerine göre, mekanize edilebilme, daha hızlı çalışma, robot kullanma imkanı, çok karmaşık kaynak konstrüksiyonlarında kolay bir şekilde uygulanabilme, her pozisyonda kullanılabilme ve karbonlu çelik, paslanmaz çelik, alüminyum, bakır gibi bütün ticari metallerin kaynak edilebilmesi açılarından bir çok avantajlar sağlamaktadır [14].

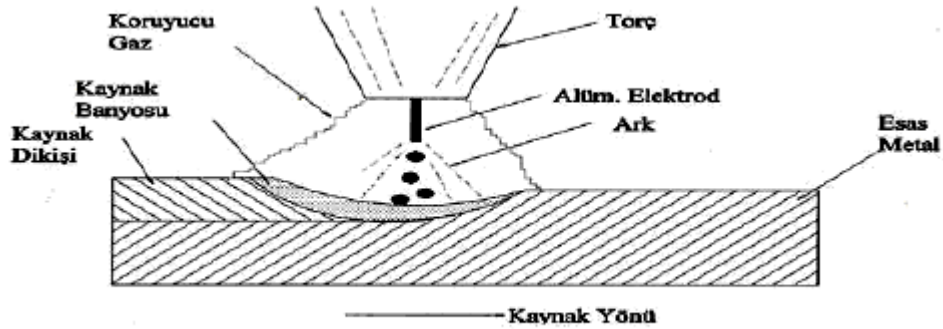
MIG yönteminin bir karakteristiği olan enerjinin verimli kullanılışı, çoğu kez ön ısıtmayı gereksiz kılar. Dolayısıyla süreç kalın Al kesitlerinin kaynağında geniş ölçüde uygulanır [8]. Bu teknik her kalınlıktaki alüminyum ve alaşımları için uygulanabilir olmasına rağmen genellikle 3 mm'den daha kalın alüminyum ve alaşımlarının kaynağında tercih edilen bir kaynak yöntemidir. Çünkü MIG kaynağında kaynak hızı ve ergime gücü diğer gazaltı kaynak yöntemi olan TIG (tungsten inert gaz) kaynağına göre daha yüksek olduğu için çok ince levhalar ancak darbeli akım yöntemi uygulanarak kaynak yapılır [14].

Alüminyum ve alaşımları 550–660 0C arasındaki sıcaklık aralığında ergimelerine rağmen ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeni ile kaynak için gerekli ısı girdisi es kalınlıktaki çeliğin kaynağından daha fazla olmak zorundadır. Alüminyum ve alaşımlarının ısı genleşme katsayılarının büyük olması, kaynak bölgesinde ısınma ve soğuma sonucu oluşan sıcaklık farkları şiddetli gerilmeler ve büyük çaplı çarpılmaların olmasına neden olur. Alüminyum üzerinde hava ile teması sonucunda oluşan refrakter alüminyum oksit tabakası, alüminyum ve alaşımlarının kaynağını büyük çapta güçleştirir. Doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılan kaynakta, banyo üzerinde yüzen oksit tabakası parçalanır ve ancak bu kutuplama ile kaynak gerçekleştirilebilir. Alüminyum ve alaşımlarının MIG kaynağında, malzemenin kalınlığı göz önüne alınmaksızın sprej ark ile kaynak yapmak daima tercih edilir. Sprej arkın yüksek ısı girdisine karşın alüminyumun yüksek ısı iletkenliği dolayısı ile kaynak banyosu oldukça çabuk katılaştığından her pozisyonda kaynak yapmak mümkün hale gelmektedir. Yalnız burada oksit tabakasının giderilebilmesi için sola kaynak yöntemi seçilmeli ve dikey pozisyonundaki kaynaklar aşağıdan yukarıya doğru yapılmalıdır. Böylece hem kaynak edilecek bölgelerdeki oksit tabakaları temizlenmiş olur hem de kaynak ağızları iyi bir şekilde ergiyerek uygun bir şekilde kaynak yapılmış olur. Sağa kaynak yöntemi uygulandığında ve dik kaynaklarda yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapıldığında gözenekli, kötü görünüşlü ve yetersiz ergimeden dolayı tam

kaynamamış bölgeler meydana gelir. Kaynak dikişi düz veya dar zikzaklarla çekilmelidir. Geniş zikzaklar kaynak dikişinin aşırı oksitlenmesine neden olduğundan kullanılmamalıdır. nce alüminyum levhaların gerek yarı otomatik gerekse de mekanize edilmiş

MIG kaynağında genellikle Argon gazı kullanılır. Kalın alüminyum levhaların otomatik kaynağında ise daha sıcak bir kaynak banyosu ve daha iyi nüfuziyet elde etmek için Helyum gazı veya Helyum-Argon gaz karışımı kullanılır. Alüminyum alaşımlarının ısı iletkenliğinin yüksek olması özellikle kalın parçalarda kaynak bölgesinin şiddetli soğumasına neden olur. Bu bakımdan kalın ve bilhassa döküm alüminyum parçalara kaynak öncesi ön tav uygulamak gerekir. Genellikle 15 mm'den daha kalın parçalara uygulanan ön tav sıcaklığı 200 OC' yi geçmemelidir. Dövme alüminyum alaşımlarında genel olarak ön tav yerine daha yüksek akım şiddeti ve ark gerilimi ile daha yüksek ısı girdisi sağlanır. Soğuk şekil değiştirme veya ısı iletkenliği ile sertleştirilmiş alüminyum parçaların kaynak bölgesinde, sonradan kazanılmış olan bu sertlikte bir azalma görülür, bu bakımdan ısı iletkenliği ile sertleştirilmiş alüminyum alaşımlarına kaynak öncesi, bir çözeltiye alma tavi uygulanır ve kaynak sonrası tekrar ısı iletkenliği uygulanarak sertleştirilir [14].

MIG kaynak yönteminin uygulanması çok basittir. Toprak kablosunu is parçasına veya kaynak masasına bağlayarak ve üfleç ucundaki tel elektrodu kaynak ağzına değdirerek ark oluşturulur. Makine telin ilerlemesini ve uygun ark boyunu otomatik olarak sağlar. MIG kaynağı, uygulama kolaylığı nedeniyle bütün demir dışı metal ve alaşımların kaynağında çok popüler ve aranan kaynak yöntemi haline gelmiştir. MIG yöntemindeki ark bölgesi şematik olarak Şekil 4.3'de gösterilmiştir [14].



Şekil 4.3. MIG yöntemindeki ark bölgesi [14].

Bu yöntemde kaynak arkı Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi is parçası ile aynı zamanda ilave metal olan, tükenen tel elektrot arasında oluşur. Alüminyumun MIG kaynağı doğru akım, ters kutuplama (elektrot pozitif kutupta) ile yapılır. Bu kutuplama sprey damla geçişi olarak adlandırılır ve asal gaz atmosferi (Ar veya He veya Ar/He karışımı) altında korunur. MIG kaynak yöntemi kalın çaplı tel elektrot kullanarak daha kararlı hale getirilebilir. Tel elektrodun düzgün olarak kaynak bölgesine iletilebilmesi için teflon spiral kullanılmalı, kılavuzlar ve tel sürme makaralarının yuvaları U biçimli olmalı, kontak meme daha uzun olmalı ve iç çap toleransının daha fazla olması gerekir. Çeliklere nazaran alüminyum

malzemeleri kaynak yaparken, bu malzemeye özgü bazı özellikler dikkate alınmalıdır. Alüminyum malzemeler, çeliklere göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan, kaynak nüfuziyeti daha düşük ve kaynak banyosunun gazlardan arınması daha geç olur.

Sonuç olarak, kaynak dikişinde yetersiz ergime ve gözenekler oluşabilir. İş parçasını ön tav yaparak ve kalın kesitli malzemeleri kaynak esnasında da tavluyarak, bu tür kaynak hataları önlenebilir. Kaynağa başlamadan önce, yüzeydeki alüminyum-oksit tabakası kaynak bölgesinden frezeleme yoluyla veya paslanmaz çelik fırça ile fırçalayarak tamamen temizlenmelidir. Kaynak ağzı yüzeyleri ve kaynağa yakın bölgeler (kaynak ağzının en az 50 mm yakını) temiz, yağsız ve kuru olmalıdır. Yi bir depolama ve mekanik işlemler sonrası kaynak yüzeylerinin özel bir yağ çözücü ile temizlenmesi, bu tür hazırlık işlerini kolaylaştırır.

Bunların yanında, alüminyum malzemelerin kaynağında kullanılan el aletleri yalnız bu malzemeler için kullanılmalıdır. MIG yöntemi ile 4 mm'den büyük kesit kalınlığına sahip malzemeleri alın kaynağını veya köse kaynağını tek pasoda yapmak mümkündür. Yüksek kaynak akımı ve güçlü bir nüfuziyet nedeniyle 6 mm'ye kadar kalınlığa sahip malzemelerde kaynak banyosunu desteklemek için kaynak altlığı kullanılır [14].

#### **4.2.4. Alüminyum ve Alaşımlarının TIG Kaynağı**

TIG sembolü, Tungsten Inert Gas kelimelerinin bas harflerinin alınmasıyla oluşturulmuştur[15]. TIG kaynak yöntemi; ergitme esaslı buna karşın dolgu oranı düşük bir kaynak yöntemi olmasına karşın ısı girdisi yerel olduğundan ısı iletimi yüksek olan alüminyum ve alaşımlarının kaynağında çarpılmaları en aza indirdiği için tercih edilen bir gazaltı kaynak yöntemidir

Bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi, bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında oluşturulan elektrik arkı tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesi de havanın olumsuz etkilerinden elektrod ile merkezlenmiş konumda bulunan bir nozülde gönderilen bir koruyucu gaz (He veya Ar veya He+ Ar karışımları) ile korunmaktadır.

TIG kaynağında, doğru ya da alternatif akım kullanılabilir. Fakat alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında alternatif akım kullanılması gerekir [15]. Dövme alüminyum ve alüminyum alaşımlarını kaynak kabiliyetlerine göre şöyle sıralamak mümkündür: çok saf ve saf alüminyum, Al-Mn alaşımları, Al-Mg-Mn alaşımları, Al-Mg alaşımları, Al-Mg-Si alaşımları, Al-Cu-Mg alaşımları, Al-Cu-Ni alaşımları .

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında sac kalınlığının 16 mm yi aştığı durumlarda, 150°C'lik bir ön tavlama faydalı olur. Ark önce başka bir parça üzerinde tutuşturulduktan sonra, esas kaynak edilecek



parçalar üzerine getirilmelidir. Parçalarda meydana gelebilecek distorsiyonları azaltmak için parçaların kaynaktan önce tespiti ya da aksi yönlerde tertiplenmesi gerek [15].

Alüminyumun TIG kaynağı DADK (doğru akım düz kutup (elektrod —)), DATK (doğru akım ters kutup (elektr. +)) veya alternatif akım (AA) ile yapılabilir. Genellikle DATK çok ince saçlar için, DADK göreceli kalın kesitler ve otomatik üfleç ilerlemesi ve kontrolleri için, AA da ince saç ve hafif levhalar için kullanılır [8].

DADK'ta akım, elektrottan is parçasına gider; ark ısıyı yoğunlaşması % 70 is parçasında, % 30 elektrotta olur. Bu yoğunlaşmanın etkileri, daha küçük elektrotlarla daha yüksek akım şiddetleri kullanma olanağı; ark ısısının ana metal içine dar ve derin nüfuziyeti; kaynak hızının dakikada 12.5 cm ile 36 m arasında olabilmesi şeklinde belirir. Ark stabil olur [8].

Ark ve/veya gazın hiçbir temizleme etkisi olmaz; bununla birlikte DADK' la helyum kullanarak memnuniyet verici kaynaklar yapılabilir (akım şiddeti azami 600 A). Otomatik DADK TIG kaynağında bazen argon kullanılır [8]. Yaslandırma ile sertleştirilmeyen alaşımlar her hangi bir ilave metal kullanmadan da kaynak yapılabilir. Alüminyum malzemelerin TIG kaynağı alternatif akımda ve argon koruyucu gazı kullanarak yapılır. Mekanize TIG kaynağı ilave metal kullanarak veya kullanmadan da yapılabilir [13].

TIG kaynağı ile 1 ila 4 mm arasındaki kalınlıklardaki malzemelerin tek pasolu alın kaynağı veya tek pasolu köse kaynağı; 12 mm'ye kadar et kalınlığına sahip malzemelerin çift operatör ile aynı anda yukarıdan aşağıya kaynağı yapılabilir. Daha fazla kesit kalınlıklarının TIG yöntemi ile kaynak yapılması, MIG yöntemine kıyasla düşük ısı yoğunluğu nedeniyle ekonomik değildir. Çünkü düşük kaynak hızına sahiptir ve çok pasolu kaynaklarda çok büyük ısı etkili bölge yaratır. TIG kaynağının çok iyi boşluk doldurma kabiliyeti ve gözenek oluşma riskinin daha düşük olması nedeniyle özellikle kaynağın arkasından kapatma pasosu yapılamayan kalın kesitli malzemelerde, kök pasoların kaynağında kullanılır (ör; boru hattı kaynaklarında), kaynaklı birleştirmedeki diğer pasolar MIG kaynak yöntemi ile yapılır [13].

#### **4.2.5. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrik Direnç Kaynağı**

Direnç kaynağı; is parçalarından geçen elektrik akımına karşı is parçalarının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda basıncın uygulanmasıyla yapılan bir kaynak yöntemidir. Malzemedan geçen elektrik akımının doğurduğu ısının dışında, herhangi bir ısı uygulanmamaktadır. Isı, kaynak edilecek kısımlarda oluşur ve basınç kaynak makinesindeki elektrotlar ya da çeneler aracılığıyla uygulanır. Elektrik direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim ve yüksek akım şiddetindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden, basınç ise hidrolik ya da mekanik donanımlarla sağlanır [15].

Bazı alüminyum alaşımlarının direnç kaynağı diğerlerine göre daha kolaydır. Genelde diğer kaynak prosesleri ile kaynaklanabilen döküm alaşımları direnç kaynağı ile de kaynaklanabilir. Sürekli döküm ve kum döküm alaşımları başarıyla nokta kaynağı yapılabilirken kalıp dökümlerin bu metotla birleştirilmeleri zordur. Döküm alaşımları kendi kendileriyle, diğer döküm alaşımlarıyla ve dövme alaşımlarla nokta kaynağı ile kaynaklanabilirler [16].

Bir alüminyum alaşımının temperi onun kaynaklanabilirliğini etkiler. Tavlanmış durumdaki alüminyum alaşımlarının direnç kaynağı derin çentikler, distorsiyon ve artan uç ilerlemesi yüzünden işlem sertleşmesi ve çözeltiye alma ısıl işlemi uygulananlardan zordur. Elektrot ömrü ve kaynak tutarlılığı daha sert temperler kaynaklandığında düzelir [16].

Nokta kaynağı elektrotlar tarafından bir arada tutulan is parçalarından geçen elektrik akımına karşı is parçalarının gösterdikleri dirençten elde edilen ısı ile parçaların bölgesel olarak ertilip basınç altında birleştirilmeleridir. Kaynak dikişinin boyut ve şekli elektrotların boyut ve şekline bağlıdır [15].

Alüminyum ve alüminyum alaşımları yüksek termal ve elektrik iletkenliğe sahiptirler. Nokta ve dikiş kaynağı yapabilmek için yüksek kaynak akımı değeri ve nispeten kısa kaynak süresi gereklidir. Alüminyum nokta kaynağında teçhizat seçimini etkileyen bir diğer faktör ise kaynak sıcaklığında malzemenin hızla yumuşamasıdır [16].

Alüminyum levha yapıların imalinde nokta kaynağı pratik bir birleştirme metodudur. Sürekli döküm ve kum döküm alaşımlarda olduğu kadar tüm dövme alaşımlarda da kullanılabilir [16].

Alüminyumun nokta kaynağı için gerekli olan prosedürler ve ekipman çelikler için kullanılanlarla aynıdır. Bununla beraber, alüminyum alaşımlarının yüksek termal ve elektrik iletkenliği teçhizat ve kaynak planında bazı değişiklikler yapılmasını gerektirir [16].

Alüminyum AC (alternatif akım) ve DC (doğru akım) kullanılarak kaynaklanabilir. Yüksek kaynak akımı alüminyumun yüksek elektrik iletkenliği yüzünden gereklidir. Sonuç olarak, çelikle aynı kalınlıkta bir malzeme kaynaklandığında gerekli olan birincil enerji miktarı çelik için gerekli olandan daha yüksektir. En yüksek kalite için sürekli veya kesintili DC güç üreten makineler tercih edilmelidir [16].

Genelde tabaka ayrımı eğilimi daha az ve kaynak mukavemeti sabitliği daha iyi olduğu için yüksek mukavemetli 2024 ve 7075 alaşımlarının kaynağı daha kolaydır. Bununla beraber çatlama ve poroziteye karşı düşük mukavemetli alaşımlara nazaran daha fazla eğilim gösterirler. Gerçekte kaynak metalindeki çekme çatlakları neredeyse tamamen bakır ve çinko bazlı alaşımlar ( 2024 ve 7075 gibi) ile sınırlıdır [16].

#### **4.2.6. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrocüruf Kaynağı**

Bu yöntemde kaynak yapılacak bölge, bir döküm kalıbı içine alınır. Ergitilerek dökülen sıvı metal, hem enerji taşıyıcı hem de ilave metal görevi yapar; bu sayede birleşme yüzeyleri gerekli kaynak sıcaklığına ulaşır. Dökülecek malzeme, ergitme ocaklarında veya alümino-termik reaksiyon yardımıyla ergitilir [17]. Elektrocüruf kaynağı taşıyıcı çubuklarda ve uygun duvar kalınlığındaki kazan ve tanklarda alüminyumun kaynağı için kullanılır [18].

Elektrocüruf prosesi ile yapılan kaynaklarda porozite yoktur ve tam bir ergime sağlanır. Halojen esaslı flaks kaynak süresince ergimiş metalden empürüteri (özellikle Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) temizleyen sürekli bir hareket üretir [18]. Kaynak; elektrocüruf kaynağında tipik olan dendiritik tane büyümesine sahiptir. Bununla beraber artan soğuma hızı sebebiyle taneler küçüktür [18].

#### **4.2.7. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektrogaz Kaynağı**

Elektrogaz kaynağında elektrocüruf kaynağında olduğu gibi, ergimiş metal banyosu hareketli (kayar) kalıplar (pabuçlar) tarafından yerinde tutulur. Elektrocürufda birleşme yerinin kenarları ve elektrot metali yüksek sıcaklığa getirilmiş bir elektriksel iletken cürufun teması ile ergirken, elektrogazda bu ergime (çeliklerde) CO<sub>2</sub> koruması altında, elektrotla banyo arasında tutuşan ark tarafından sağlanır [8].

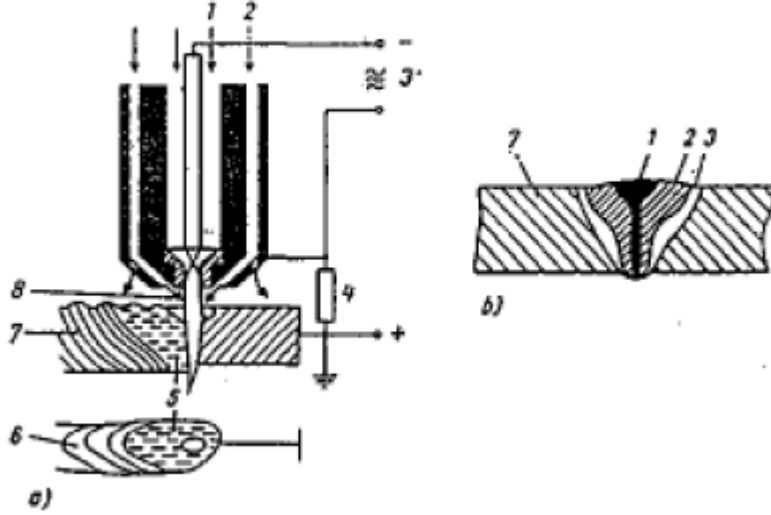
Elektrogaz yönteminin alüminyuma uygulanmasında ilk ve en önemli sorun yukarıda sözü edilen pabuçlar olmuştur. Elektrogaz kaynağının alüminyuma uygulanması, pabuçların katılaştırmış alüminyum üzerindeki kısmen sürükleyici etkisiyle kaynakta meydana gelen yırtılma nedeniyle uzun süre mümkün olamamıştır. Ancak bu engelin üstesinden gelinmiş olup 45 mm kalınlıkta 5083-O alüminyum levha üzerinde 1200 mm uzunlukta kaynaklar, 5356, 5556 ve 5183 ilave metal elektrotlarla gerçekleştirilmiştir [8].

#### **4.2.8. Alüminyum ve Alaşımlarının Plazma Kaynağı**

Bu kaynak metodunda direk kısa arklı bir plazma üflecinde sıkıştırılmış ve enerji yoğunluğu büyük bir plazma elde edilir. Şekil 4.5' de prensip seması verilen plazma üflecinde çift gaz kullanılmaktadır. (içten) verilen gaz, plazma gazı adını alır. Plazma gazı olarak asal gaz, genellikle argon kullanılır. kinci gaz koruma gazı olup, daha dıştan is parçası ile üfleç arasına, plazmayı çepeçevre sarar şekilde verilir. Bu gaz genelde Argon ve moleküler bir gaz (H<sub>2</sub> veya N<sub>2</sub>) karışımıdır. Burada şekilde görüldüğü gibi plazma is parçasını bir çivi gibi delip geçer. Kaynak yerinde ergiyen malzeme (kaynak banyosu) plazma ilerledikçe plazmanın arkasında yüzey gerilimi nedeniyle kolayca katılaştır ve böylece belirli kalınlıklarda (2.5-8.0 mm arası) parçaları hiç dolgu malzemesi kullanmadan, tek pasoda kaynatmak mümkün olur [19].

Plazma kaynağına alternatif olabilecek kaynak yöntemi MIG kaynağı olabilir. Sekil 4.4'de elektron ısını, MIG ve plazma kaynağı dikişleri karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi MIG

kaynağına göre, plazma kaynağına malzeme daha dar bir bölgede ergimeye uğramaktadır. Bu da gerek kaynakta sarf olunan enerji, gerekse kaynatılan malzemelere kaynak esnasında yapılan olumsuz etki yönünden avantajlıdır [19].



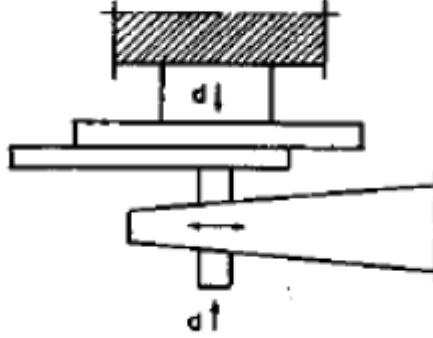
**Şekil 4.4. Yüksek güç plazma birleştirme kaynağı prensibi ve kaynak dikişinin alternatif kaynak yöntemleriyle karşılaştırılması a) Prensip (1 Plazma gazı, 2 Koruma gazı, 3 Ateşleme cihazı, 4 Ön direnç, 5 Sıvı metal, 6 Kaynak dikişi üstten görünüşü, 7 Kaynak dikişi enine kesiti, 8 Odaklama gazı) b) Plazma kaynağı dikişi ile elektron ısını ve MIG kaynağı dikişinin karşılaştırılması (1 Elektron ısını kaynağı, 2 Plazma kaynağı, 3 MIG kaynağı) [19]**

Plazma arkı, metallerin, metal olmayan malzemelerin ve kombinasyonlarının birleştirme ve doldurma kaynağında kullanılır. Plazma ark kaynağı ile alaşımsız, hafif ve yüksek alaşımlı çelikler, nikel ve nikel alaşımları, zirkonyum, bakır ve bakır alaşımları, alüminyum ve alüminyum alaşımları birleştirilebilir [20].

Plazma ark kaynağı ark boyutunun su soğutmalı nozül tarafından sınırlandırılması dışında gaz tungsten ark kaynağına benzer. Kaynaktan önce yüzey temizleme gereklidir. Nüfuziyet derinliğinin yüksek olması ve yüksek kaynak hızları plazma ark kaynağının gaz tungsten ark kaynağına üstün yönleridir. Kaynak öncesi ana metalin temizlenmesi, temiz dolgu teli ve kaynağın yeterli inert gaz ile korunması kaynak porozitesinin minimuma indirilmesi için gereklidir. 5XXX serisi ve Al-Li alaşımları için tüm kaynak yüzeylerinde inert gaz koruması gerekir [16].

#### **4.2.9. Alüminyum ve Alaşımlarının Ultrasonik Kaynağı**

Ultrasonik kaynakta birleştirilecek parçalar, hareketli ultrasonik frekansla titreşen sonotrot ile sabit duran bir altlık arasına konur ve az bir kuvvetle bastırılır (Şekil 4.5). Sonotrot tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olarak üstteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde yani alt ve üst kaynak yerinde bağıl bir harekete neden olur. Ultrasonik dikiş kaynağında bindirilen saclar dönen tekerlek şeklindeki sonotrotlar tarafından senkronize çalıştırılan altlık makaralarına bastırılır. Tekerlek şeklindeki sonotrotların levha titreşimleri üstteki is parçasına iletilir [15].



**Şekil 4.5. Ultrasonik kaynağın şematik olarak gösterilmesi [15].**

Ultrasonik kaynak yöntemi alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, plastik malzemeler, cam ve beton gibi malzemenin kaynağında kullanılmaktadır. Ayrıca, alüminyum ile seramik ya da camın kaynağı gibi farklı malzemelerin birleştirilmesinde başarı ile uygulanmaktadır [15].

s parçalarına düşük kenetlenme basıncı altında bir arada tutulduklarında yüksek frekanslı, düşük genlikli titreşimli hareketin bölgesel uygulanması ile yapılmaktadır. Proses folyo ve levha şeklindeki alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde ve de ince tellerin levha veya folyolara birleştirilmesinde kullanılır [16].

Tüm alüminyum alaşımları ultrasonik kaynakla kaynaklanabilir fakat kaynaklanabilirliğin derecesi alaşım ve temper durumuna göre değişir. Alüminyum alaşımları diğer metallerle bu proses ile birleştirilebilir [16].

Ultrasonik kaynak direnç kaynağının gerektirdiğinden daha az yüzey hazırlama gerektirir. Alüminyumun yağ giderilmesi normal olarak uygundur. Uniform bir kaynak elde etmek için ısıl işlem alaşımları ve yüksek oranda magnezyum içeren alaşımların kaynaktan önce yüzey oksitlerinin giderilmesi gerekmektedir [16].

#### **4.2.10. Alüminyum ve Alaşımlarının Patlama Kaynağı**

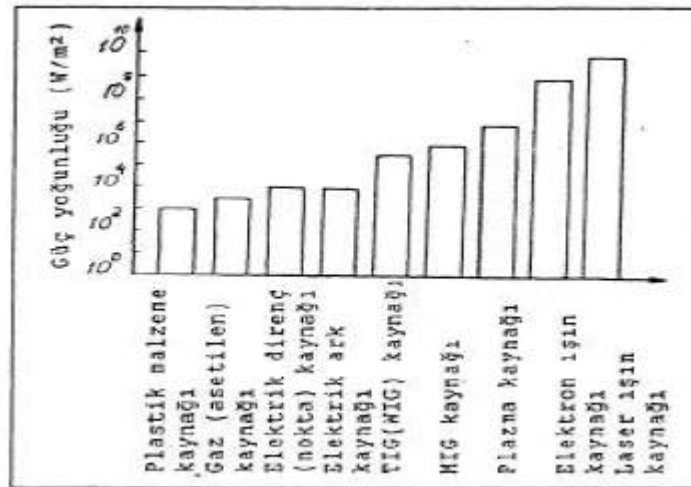
Prensip bakımından soğuk basınç kaynağına benzer. Her iki yöntemde de dikey bir basınç kuvveti, teğetsel bir yükleme ile kombine şekilde etki eder. Bu, yüzeydeki oksit tabakasının yırtılmasına ve yüzeyin büyümesine neden olur [15]. Gerekli yüksek basınç, işlem gören parçalardan patlayıcı madde ile yüklü birinin patlaması ile diğerine karşı 2° ile 25° lik bir açı altında ve 100 ile 1000 m/sn hıza kadar hızlanması koşuluyla ortaya çıkar. Bu sırada çarpma basıncı 10 ile 100 k bar a kadar çıkar [15].

Temizlenen yüzeyler bir kaç mm gibi yeterli bir aralık bırakılarak karşı karşıya (üst üste) getirilir. Aralıklar dalgalı metal şeritler ya da tellerle sağlanır. Bunlar sonra birlikte kaynak edilir. Birleştirilecek tabakaların üst yüzeyine ince bir koruyucu plastik tabakası ve bunun üzerine de patlayıcı madde yerleştirilir. Patlayıcı tutuşturulunca yüksek basınç ve hızla (1200 ile 7000 m/sn) patlama olur ve üstteki sac alttakine kaynak edilir [15].

Yaygın uygulaması paslanmaz çelik, bakır veya titanyum alaşımlarının alüminyum ile kaplanmasıdır. Patlama kaynağı uygulanmış bimetalik parçalar aslında geçiş parçaları olarak kullanılırlar. Alüminyumun patlama kaynağı için yüzey hazırlanması diğer kaynak proseslerine benzerdir. Temas yüzeyleri kaynaktan önce temizlenmelidir. Yüzey oksitleri kaynak süresince kırılıp dağılırlar [15].

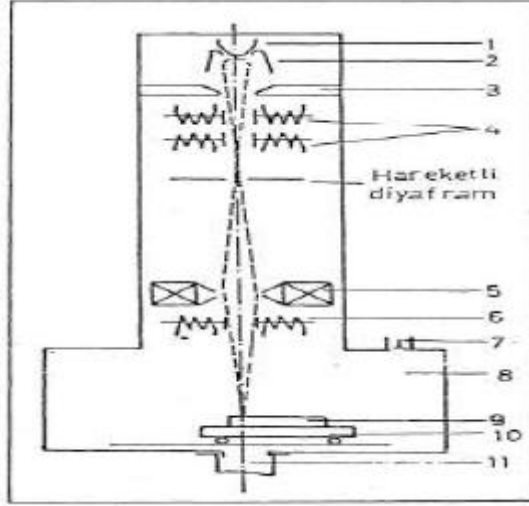
#### 4.2.11. Alüminyum ve Alaşımlarının Elektron Isın Kaynağı

Elektron ısını ile sağlanan ısının ya da gücün yoğunluğu, klasik kaynak yöntemlerinden yüksektir. Elektron ısınlarının güç yoğunluğu, yaklaşık 108 W/cm<sup>2</sup> dir. Bu güç yoğunluğu ile tabancadan 1 m uzaklıklara kadar çalışma mümkündür [16]. Isı membaı olarak elektron ısınının en önemli üstünlüğü, Şekil IV.6' den de görülebileceği gibi gaz alevi ve elektrik arkına karşılık, kaynak yerinde 10.000 misli daha yüksek bir ısı konsantrasyonunun elde edilmesidir [21].



Şekil 4.6. Kaynak ısı membaının güç yoğunluğu [22]

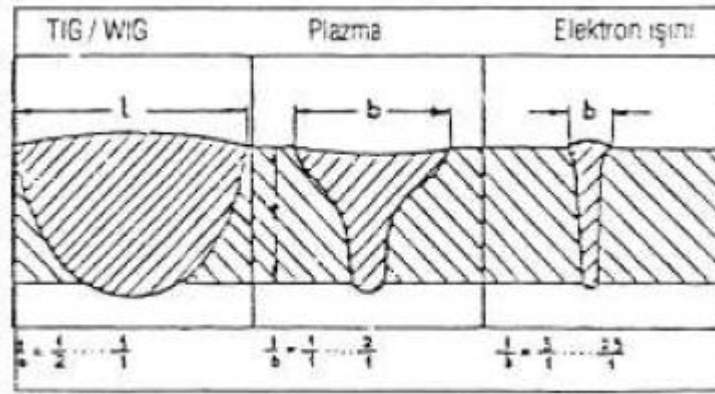
Elektrik ark kaynağında yüzeye bırakılan ısı, yarım daire şeklinde bir bölgeye yayılırken, elektron ısının yüksek ısı yoğunluğu nedeniyle parçanın derinliklerine giren kanal şeklinde bir ısı dağılımı ortaya çıkar. Elektron ısını ile kaynak makinesinin yapısı, şematik olarak Şekil 4. 7' de görülmektedir [21].



**Şekil 4.7. Elektron ısını ile kaynak makinesinin şematik yapısı 1-Katot, 2-Wehnelt silindiri, 3-Anod, 4-Ayar bobinleri, 5- Magnetik mercek, 6- Saptırma bobinleri, 7- Hava girişi, 8-Kaynak hücresi, 9- s parçası, 10- Hareketli masa, 11- Vakum flanşı [21].**

Arkın, plazma taneciklerinin enerjisi, yalnızca is parçasının yüzeyinde bıraktığı ve bununla birlikte iç bölgelerin ısıtılmasında her yönden gelişen bir ısı dağılımına ayrıldığı için yarım daire şeklinde bir erime bölgesi oluşur. Elektron bombardımanı altında, kaynak yerinin kuvvetli bir şekilde ısınmasıyla etkili olan yüksek buhar basma, eriyikte, elektronların enerjisini bırakmadan önce, is parçasının derinliklerine kadar nüfuz edebildikleri bir kanalın oluşumunu sağlar [21].

Oluşan ergime bölgesinin derinliğinin, ortalama genişliğe oranı: 25/1' e kadar olan bir kamanın sekline sahiptir (Şekil 4.8 ) [21].



#### **Şekil 4.8. TIG, plazma ve elektron ısını ile yapılan kaynaklarda erime bölgesi formunun karşılaştırılması [21].**

Elektron ısını ile yapılan kaynakta, birleştirilecek parçalar kalın ağız formunda hazırlanır ve ek metal kullanmadan kaynak yapılır. Derin giriş nedeniyle altlık kullanılmaz. Fakat akmayı ya da yetersiz birleşmeyi önlemek için kaynak parametreleri çok dikkatli olarak seçilir. Elektron ısınının birleşme yerlerini etkilemeden geçmemesi ve aralığın ergimiş hacimle tamamen doldurulabilmesi için, kaynaklanacak iki parça arasında aralığın 1/100 mm den fazla olmaması gereklidir. Bu dar tolerans, freze ya da taslama ile ağızların dikkatli bir şekilde hazırlanmasını gerektirir. Diğer kaynak yöntemlerinde bu kadar dar toleranslara gerek yoktur. Bazı durumlarda metalürjik nedenlerden dolayı, birleştirilecek parçaların arasına mekanik olarak ek bir tel ya da bant yerleştirilir. Araya konan bu ek metal elektron ısınının etkisiyle esas metal ile birlikte ergiyerek aralığın tam olarak doldurulmasını sağlar. Diğer yöntemlerde olduğu gibi, elektron ısını ile kaynakta kaynak yerinin kimyasal olarak saflığını bozacak hiçbir işlem oluşmaz. Bu nedenle kaynak metalinin bileşimi esas metalinkiyle aynıdır ve bir homojenlik sağlanmış olur [15].

Elektron ısını ile yapılan bağlantının metalürjik özellikleri üzerinde aşağıdaki faktörlerin etkisi vardır:

- a) Çok hızlı ısınma ve soğuma çevrimi,
- b) Metal, ergime bölgesinde kısmen buhar haline geçer,
- c) Ergimiş banyoda gaz absorpsiyonu ya da etkisi yoktur (oksidasyon gibi).

Elektron ısını ile kaynakta yüksek ısı konsantrasyonu nedeniyle, yüksek ergime noktalı malzemelerin (tungsten gibi) kaynağı kolayca yapılabilir. Hızlı soğuma edeniyle ergimiş metalde tane irileşmesi önlenmiş olur. Fakat bu durum, dönüşmeyle sertleşen malzemelerde sertleşmeye neden olur. Elektron ısını ile kaynakta derin bir giriş elde edilebildiğinden T-birleştirmelerde yatay levha tarafından kaynak yapmak mümkündür [15].

Birçok alüminyum alaşımı elektron ısını ile kaynaklanabilir, 2XXX, 6XXX ve XXX gibi bazı ısıl işlem görebilen alaşımlarda çatlama görülebilir. Dolgu metali ilavesi kaynak çatlaklarını önleyebilir. Alüminyum alaşımları düşük ya da yüksek voltajlı elektron ısın kaynağı teçhizatları ile kaynaklanabilir. Elektron ısın kaynağı makineleri 60 tan 175 kV' a ve 00 KW değerlerine kadar bulunmaktadır. Teçhizat seçimi ve prosedür alaşıma, malzeme kalınlığına, birleştirme geometrisine ve servis şartlarına bağlıdır [16].

Alaşım elementlerinin kaybı genellikle akma mukavemetinde önemli bir azalmayla sonuçlanmaz fakat bu her uygulama için belirlenmelidir. Isıl işleme tabi utulamayan alüminyum alaşımlarının ( 1XXX, 3XXX ve 5XXX ) elektron ısın kaynağı tüm gaz tungsten ark kaynaklarının özelliklerine eşit ya da daha iyidir ve birleşmenin akma mukavemeti verimliliği % 100 dür.

#### **4.2.12. Alüminyum ve Alaşımlarının Difüzyon Kaynağı**



Difüzyon kaynak mekanizması ile ilgili günümüze kadar birçok model sunulmakla beraber genelde üç aşamalı mekanizma kabul görmüştür. Birleştirilecek yüzeylerin birbirine teması sağlanıp kaynak için gerekli sıcaklık ve zamana ulaşılması ile yüzeyler arasında temas alanı artar. Kaynağın birinci aşamasında yüzeydeki pürüzlülüklerde akma ve sürünme mekanizmaları ile ara yüzeyde büyük bir alanda temas sağlanır. Bu aşamanın sonunda birleşme genelde tane sınırlarında oluşur. Basıncın etkisi ile yüzeydeki oksit kırılarak oksitlerin kırılmış olan noktalarından atom akışı başlar. İkinci aşamada difüzyon deformasyondan daha önemlidir. Birçok gözenek bu aşamada tane sınırı difüzyonu neticesinde kaybolur. Gözenekler tane sınırı göçü ile birleşme yerinden tane içine geçer ve tane içinde oluşur. Bunların tane sınırını hareketsiz hale getirme etkisi azdır. Başlangıçta düz olan birleşme çizgisi üçlü noktalarda bir malzemenin diğerine birkaç mikron kadar nüfuz etmesi ile eğrilir. Birleşme sınırı hareket ederken geride kalan gözenekler tanelerin içerisinde kalır ve burada tane sınırı ile temas alanını kaybederler. Difüzyon işlemleri bu gibi boşlukları küçülterek ortadan kaldırmaya yardımcı olur. Üçüncü aşama, birleşmenin ve birleştirilecek parçalar arasındaki atomik bağın tamamlandığı aşamadır. İkinci aşama sonunda tane sınırlarından yok edilemeyen tane içine taşınan gözenekler bu aşamada hacim difüzyonu ile büyük oranda yok edilir. Yok edilemeyen gözenek miktarının oranı kaynak sıcaklığı ile ilişkilidir [22].

Difüzyon kaynağı sıcaklık, basınç, yüzey pürüzlülüğü, kaynak atmosferi ve zamanın tesiri altındadır [22]. Kaynak genellikle, düşük basınç, yüksek sıcaklık ve diğer katı faz kaynak yöntemlerine göre daha uzun sürede yapılır. Yöntemi etkileyen bu üç ana değişkenin yanında, birleştirilecek parçaların yüzey temizliği, metalürjik etkenler ve bir ara tabakanın kullanılmasının da göz önünde tutulması gereklidir [15].

Katı hal birleştirme tekniklerinden biri olan difüzyon kaynağı bu özellikleri sağlamanın yanı sıra ergime sıcaklıkları farklı metallerin ve metal/metal olmayan malzemelerin (metal/seramik gibi) birleştirilmelerini mümkün kılan bir birleştirme tekniğidir. Ayrıca birleşme alanının zamandan bağımsızlığı ayrı bir avantajdır. Kaynak için uygun şartlar sağlandığında birleşme bölgesinin mukavemeti malzemenin mukavemetine yakın değer vermektedir [22].

Alüminyum alaşımlarının difüzyon kaynağında yüzey oksitlerinin dağıtılması ve çözünmesi sağlanmalıdır. Kaynak mukavemeti ve birleşme kolaylığı ( gümüş, bakır veya altın-bakır alaşımı gibi ) bir diğer metalden ince ara tabaka ile sağlanır. Sıcaklık, basınç ve zaman geniş aralıklarla kullanılabilir. Kaynak vakumda veya inert gaz atmosferinde gerçekleştirilmelidir [16].

#### **4.2.13. Alüminyum ve Alaşımlarının Yakma Kaynağı**

Yakma alın kaynağında kaynak edilecek parçalar, çeneler aracılığıyla sıkıştırılır. Bu çeneler kaynak makinesinin sekonderiyle bağlantılı olup kaynak akımının sürekliliğini sağlarlar. Kaynak işlemi aşağıdaki şekilde yapılır :

- Parçalar birbiri ile temas etmeden, çeneler arasına sıkıştırılır.
- Transformatöre, dolayısıyla parçalara akım uygulanır.
- Hareketli tabla yavaş yavaş hareket eder.
- Tabla hareketinin devamıyla parçalar birbiriyle temas eder ve sekonder elektrik devresi kapanır.
- Parçaların temas noktalarında kıvılcıklar çıkarak ergitme baslar. Böylece parçaların alınları kaynak sıcaklığına ulaşır.
- Tablanın ani hareketiyle birbirlerine temas eden alınlarda kaynama oluşur.

Tüm alüminyum alaşımları yakma kaynak prosesi ile birleştirilebilir. Bu proses özellikle benzer kesitli iki parçanın alın ve köse birleştirmelerinin yapılması için tasarlanmıştır. Yakma kaynağı alüminyumla bakırın birleştirilmesinde kullanılabilir [16]. Alüminyum alaşımı çubuk ve borular, bakır çubuk ve borular ile yakma kaynağı ile birleştirilebilirler [23]. Alüminyum alaşımlarının yakma kaynağında kullanılan kaynak makineleri çeliklerin yakma kaynağında kullanılanlara göre daha büyük transformatör kapasitesi gerektirir [23].

Yakma kaynaklı birleştirmelerden iyi mekanik özellikler elde edilir ve bağlantı verimliliğinin en az % 80 i kolayca elde edilebilir. Alaşımın sert temperlerinde mukavemet genellikle yüksektir. Yakma, kaynağından sonraki ısı işlem birleşme verimliliğinde önemsiz bir artış sağlayabilir [16].

#### **4.2.14. Alüminyum ve Alaşımlarının Lazer Isın Kaynağı**

Lazer sistemi esas olarak optik resonatör (lazer kafası) ve kumanda düzenli enerji kaynağından oluşur. Lazer kafasının içerisine gönderilen enerjinin bir bölümü, lazer aktif madde (ortam) tarafından hacim ve zamana bağlı olarak elektromanyetik bir ısına çevrilir. Aktif madde katı, sıvı ya da gaz şeklinde olabilir. Sıvı hal lazeri, malzeme işlemek üzere şimdiye kadar hiç kullanılmamıştır. Lazerler sürekli ya da darbeli olarak çalışırlar. Farklı lazerler, farklı dalga boylarında ısın ortaya çıkarırlar. Lazer ısını ile kaynak, bir ergitme kaynağıdır. Güç yoğunluğu, malzeme kuvvetle buharlaşmadan ergiyecek şekilde ayarlanmalıdır. Teorik olarak ek metal kullanılmadan kaynak yapıldığı için, parçalar birbirlerine tam olarak yaklaştırılmalıdır. Ağızlar arasındaki açıklık ergimiş banyo genişliğinin 1/5 i kadar olmalıdır. Ergimiş banyo genişliği ise, 100 mikron dolayındadır.

Enerji göndermenin ve zamana bağlı kumandanın basitliği nedeniyle hemen hemen bütün malzemelerin birbirleriyle kaynak edilebilmeleri, iyi bir şekilde otomatize edilebilir olusu, is parçasının üzerine hiçbir kuvvetin etkisinin olmayışı, atmosferde çalışma olanağı olusu, hiçbir takım aşınması olmayışı, büyük çalışma aralıkları olanağının varlığı, ısının etkisi altındaki bölgelerin darlığı ve zor ulaşılan yerlerde kaynak yapma olanağı lazer kaynağının üstünlükleridir [15].

Alüminyum alaşımlarının kaynağında toplam ısı girdisinin azalması yararlı etki yapmaktadır. Neredeyse tüm endüstriyel alüminyum alaşımları çökeltme sertleşmesi ya da deformasyon sertleşmesi

ile sertleştirilmektedir. Ark kaynağı süresince, IEB (ısı etkili bölge) da ulaşılan sıcaklık; çökeltme sertleşmeli alaşımlarda bölgesel aşırı yaslama veya deformasyon sertleşmeli alaşımlarda bölgesel yumuşama olması için yeterlidir. Bu aşırı yaslamanın veya yumuşamanın etkisiyle ana metal özelliklerine kıyasla IEB' in mekanik özelliklerinin bozulmasına sebep olur. Bu bozulma önemli olabilir. Ark kaynağı uygulanmış yüksek mukavemetli 2XXX serisi alaşımlarda mekanik özelliklerin % 50 ye kadar düşüşü sık görülür [16].

Ark kaynağıyla kıyaslandığında lazer ısın kaynağında görülen daha dar kaynak ve IEB daha az yaşlanmış ya da yumuşamış metal hacmiyle sonuçlanır. Bu aynı kalınlıktaki ark kaynağına göre lazer ısın kaynağının enine çekme testlerinde daha yüksek akma ve çekme mukavemeti göstermesiyle sonuçlanır. IEB' nin çok dar olması da bir dezavantajdır, mekanik özelliklerdeki uyumsuzluk (yani, kuvvetli ana metale kıyasla daha zayıf IEB) aşırı şekilde bölgeseldir. Sonuç olarak, lazer ısın kaynağının enine çekme testi tipik olarak kaynak veya IEB de sünekliliğin olmamasından değil ama tüm deformasyonların IEB de meydana gelmesinden dolayı düşük uzama gösterir. Bu; parçalar lazer ısın kaynağı ile birleştirildiğinde problem olur. Kopma IEB de meydana gelir. Lazer ısın kaynağının darbe ve yorulma özelliklerinde deformasyonun bölgeselleşmesi zıt bir etkiye sebep olur [16].

Alüminyum alaşımlarının lazer ısın kaynağında temel zorluk Nd:YAG ve CO lazerlerle sırasıyla 1,06µm veya 10,5µm dalga boyu ışık yayınımlarında alüminyumun iyi birleşmemesidir. Bir diğer deyişle lazer ısın enerjisi alüminyum tarafından emilmek yerine yansıtılmak eğilimindedir bu da metalin ergimesi için gerekli olan enerjiyi sağlamaz. Parlatılmış alüminyum yüzeylerde % 90 kadar çok lazer enerjisi yansıtılır.

Ek olarak bir kez kaynak havuzu ve anahtar deliği oluşturulduğunda yansıtıcılık çarpıcı biçimde düşer ve bu güç yoğunluğunun çok yükselmesi ile sonuçlanır. Daha önceki lazer ısın kaynağı kontrol sistemleri yansıtıcılıktaki bu değişimi sağlayamıyorlardı. Kontrol sistemlerinin daha fazla gelişimine ihtiyaç duyulmaktadır. Alüminyumun yansıtıcılığını azaltmanın bir diğer yolu; yüzeyi mekanik veya kimyasal pürüzlendirmeye değiştirmek, çeşitli emici boya kaplamaları ile kaplamak veya alüminyum yüzeyin anotlanması ve boyanmasıdır. Bu zorluklar alüminyumun diğer yapısal malzemelere göre lazer ısını ile kaynaklanmasını zorlaştırır. Bu zorluklara rağmen uzay endüstrisinde birçok uygulamada 2XXX ve 6XXX serisi alaşımlar başarıyla kaynaklanmaktadır. Otomotiv endüstrisinde de ince 2XXX ve 5XXX alaşım serisi levhalar başarıyla kaynaklanmaktadır. Alüminyum alaşımlarının lazer ısın kaynağı uygulamaları daha fazla ekipman ve proses gelişimi gerektirmesine rağmen lazer ısın kaynağının alüminyum alaşımları için kullanımı giderek artmaktadır [16].

## **2.2.15. Alüminyum ve Alaşımlarının Manyetik Puls Kaynağı**

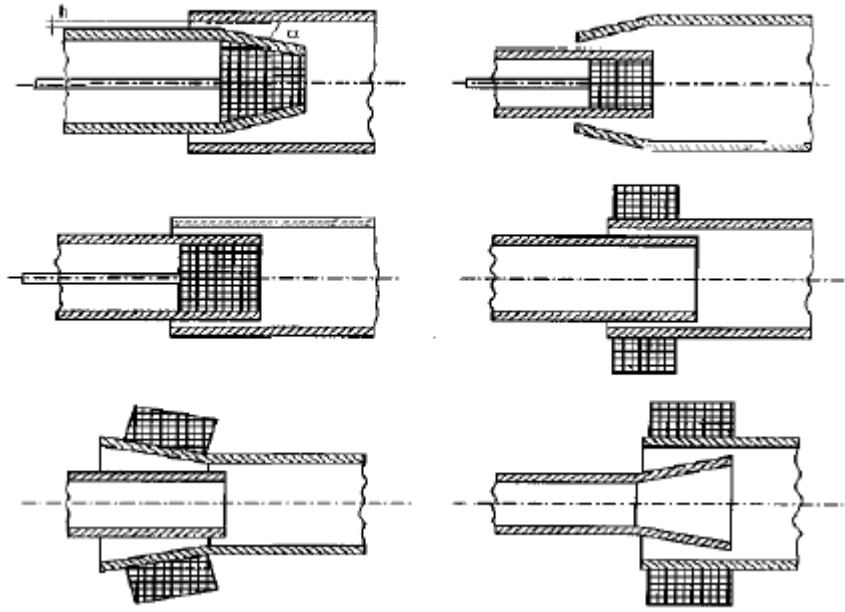
Kesikli manyetik alan metodunun kaynak konstrüksiyonda kullanılan diğer geleneksel yöntemlere avantajları oldukça uzun zamandır bilinmektedir. Fakat yakın zamana kadar bu kaynak cihazlarının ticari olarak üretilmeleri mümkün olmamıştır. Bir katı hal kaynak metodu olan bu yöntem patlamalı

kaynak yöntemine benzer bir yöntem olup, günümüzde bu yöntemi kullanan kaynak makineleri ticari olarak üretilmektedir. Bu yöntemde, paralel veya aralarında belli bir açı olan iki metal sac sargı arasına yerleştirilmektedir (Şekil 4.9).



**Şekil 4.9. Manyetik puls kaynağının şematik gösterimi [24]**

Sargıdan yüksek akım geçirilerek iki manyetik alan oluşturulmaktadır. ki manyetik alanın birbirini itme kuvvetinden dolayı saclar uygulanan akımın karesi ile orantılı yüksek bir hızda birbirlerine çarpmaktadır. Yüksek hızdaki bu çarpma dolayısıyla plastik deformasyona uğrayan saclar kaynak olmaktadır. Bu yöntem ile iki parçanın kaynak edilebilmesi için, iki parçanın iletken olması ve yüksek hızda birbirine çarpması ve bu çarpma esnasında iki yüzeyin atomik temasının sağlanması gerekmektedir. Bu kaynak yönteminde elde edilen çarpma hızı, manyetik basınca, hızlandırılan malzemenin kütlesine, malzeme özelliklerine ve kaynak yapılacak parçalar arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu yöntem ile boru tipi parçaların bindirme kaynağını yapmak mümkün olup, su anda birleştirilebilen boru geometrileri silindirik, eliptik ve kare kesitlidir. Şekil 4.10 bu yöntemin farklı uygulamalarını şematik olarak göstermektedir.



**Şekil 4.10. Boru tipi parçaların bindirme kaynağında çeşitli manyetik puls kaynağı uygulamalarının şematik olarak gösterilmesi. (h: kaynak yapılacak parçalar arası mesafe) [24].**

Bu yöntemin en önemli avantajı, diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri mümkün olmayan Al-alışı parçaların birbiri ile veya diğer malzemelerden imal edilmiş parçalar ile kaynak edilebilmesidir. Elde edilen kaynak kalitesi oldukça yüksek olup, bu yöntemle elde edilen kaynaklarda kaynak bölgesi kesitinin daha büyük olmasından dolayı hasar kaynak bölgesi dışında olmaktadır. Bu kaynak metodu ile birleştirilmesi mümkün malzeme kombinasyonlarına örnek olarak Al-Al, Al-Mg, Al-paslanmaz çelik, Al-çelik, Al-pirinç ve Al-Cu verilebilir. Bu kombinasyonlara ilaveten diğer bazı malzeme kombinasyonlarında da bu yöntem kullanılabilir. Bu yöntem ile birleştirilen parçalarda, patlamalı kaynaktakine benzer bir kaynak bölgesi elde edilmektedir [24].

Bu metodun diğer geleneksel kaynak yöntemlerine olan üstünlükleri şunlardır:

- i) kaynak hızı oldukça yüksektir,
- ii) kaynak edilen malzemelerin ısıdan etkilenmesi dolayısıyla mekanik özelliklerdeki kayıp minimumdur,
- iii) patlamalı kaynaktaki basınç seviyeleri bu yöntemde oldukça hafif ve küçük ekipman ile elde edilebilmektedir,
- iv) minimum yüzey hazırlama ve ilave tel kullanılmadan farklı malzemeleri kaynak yapmak mümkündür, ve
- v) temiz ve çevreci bir kaynak metodudur.

#### **4.2.16. Alüminyum ve Alaşımlarının Soğuk Basınç Kaynağı**

Soğuk basınç kaynağı oda sıcaklığında ya da hafif sıcaklık uygulayarak basınç altında katı halde parçaları birbirine birleştirmektir. Parçaların en düşük yeniden kristalleşme sıcaklığı, en yüksek sınır sıcaklık olarak alınır. Metallerin yüzeyi çevre koşullarında her zaman yağ, oksit, sülfür ya da gaz gibi bir tabaka ile kaplandığından, bu tabakanın kaynak işleminden önce temizlenmesi gerekir ve kaynak sırasında uygulanan basınçla şekil değiştirmelidir [15].

Soğuk kaynak ısı girdisi olmadan gerçekleşir. Kaynaklanacak iki parçaya önemli miktarda plastik deformasyonla sonuçlanan bir dış basınç uygulanır. Soğuk kaynak için temel gereksinim metallere en az birinin sünekliliğinin yüksek olması ve soğuk işlem sertleşmesinin önemli derecede olmamasıdır. Tüm alın ve bindirme birleştirmeler soğuk kaynakla kaynaklanabilir [16].

Yöntemin önemli değişkenleri, işlem öncesi yüzey hazırlama, deformasyon, kaynaklanacak malzeme veya malzeme çiftlerinin özellikleri ve basınçtır. Kaynak öncesi yüzey işlemleri çok önemlidir. Yaygın olarak kullanılan yöntem, metal yüzeylerinin yağdan temizlenmesi ve tel fırça ile fırçalanmasıdır. Bu mekanik yöntem olup ayrıca ısıl ve kimyasal işlemler de vardır [25].

Sayılanlar arasında deformasyon en önemli kaynak parametresidir. Her bir metalin soğuk basınç kaynağında bağ oluşumu için minimum bir deformasyon-yüzey yayılması veya redüksiyon değeri bulunmaktadır. Al-Al birleştirmelerinde bu esik deformasyon değeri %40-%55-60 kabul edilmekte, alüminyumun kaynak öncesi gördüğü işlem, kalınlık, birleştirmenin şekli ve yüzey hazırlanmasında bu esik değerini doğrudan etkilemektedir [25].

Isıdan etkili bölge olmadığı için alın birleştirme kaynak ana malzemeyle aynı ya da yakın derecede sağlamdır. Birçok alüminyum alaşımı çatlak hassasiyetleri yüzünden ark kaynağı ile kaynaklanamazken soğuk kaynak ile başarıyla kaynaklanabilir. Örneğin alın kaynaklı 2024 ve 7075 alaşımları başarıyla soğuk kaynak yapılabilir fakat bindirme kaynağı yapılamaz [16].

Alın ve köse birleştirmeler tel, çubuk, boru ve basit ekstrüzyon şekillerindeki alüminyum malzemelere yapılabilirken; bindirme birleştirmelerin kaynağı levha malzemelere yapılabilir. Bindirme birleştirmelerin kaynağında kaynak bölgesinde kalınlıkta yaklaşık %70 azalma gerektirir ve sadece düşük mukavemetli 1XXX ve 3XXX serisi alaşımlar için pratiktir. Bu kaynak iyi kayma mukavemeti sağlar fakat eğme tipi bir yüklemeye maruz kalındığında iyi bir performans göstermez [16].

#### **4.2.17. Alüminyum ve Alaşımlarının Sürtünme Kaynağı**

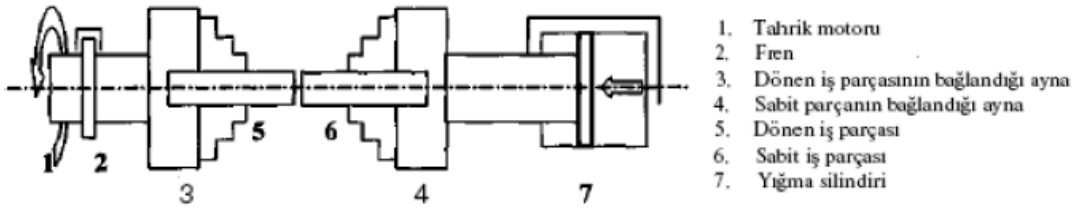
Sürtünme kaynak yöntemi, özellikle malzeme ve enerji tasarrufu sağlaması bakımından 1950 yılından sonra kendisine özel kaynak yöntemleri içerisinde yer bulmuştur. Sürtünme kaynağı, dışarıdan hiçbir mekanik enerji veya ısı kullanılmadan parçaların sürtünmeden oluşan mekanik

enerjiyi, termal enerjiye dönüştürmesiyle parçaların birleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Sürtünme kaynağında parametrelerin belirlenmesi büyük önem kazanmaktadır. Bu kaynak türündeki en önemli parametreler; sürtünme süresi, sürtünme basıncı, yığıma süresi, yığıma basıncı ve devir sayısı olarak sayılabilir. Parçalar kaynak edilirken birleştirilecek parçaların yüzeylerinin de yağ ve oksitten arındırılması kaynak yapılırken olumlu bir işlem olacaktır.

Sürtünme kaynak yöntemi genel olarak;

- Klasik (Sürekli Tahrikli) Sürtünme Kaynağı
- Volanlı (Atalet) Sürtünme Kaynağı şeklinde ikiye ayrılabilir.

Klasik (Sürekli Tahrikli) sürtünme kaynağında (Şekil 4.11); birleştirilecek parçalardan biri eksenine etrafında döndürülmekte diğeri ise aksel yönden hareketli olarak dönen parçaya belirli bir süre bastırılmaktadır. Sürtünen yüzeylerde yeterli sıcaklığa erişilince dönme işlemi ani olarak durdurulurken basınç artırılmakta ve yumuşak malzeme bu yüksek basınç altında soğumaya bırakılmaktadır. Açıklamadan da anlaşılacağı gibi basınç iki kademeli olarak uygulanmaktadır. Basıncın birinci kademesine "Isınma veya Sürtünme Basıncı" ve ikinci kademesine de "Yığıma veya Dövme Basıncı" denir [26].



**Şekil 4.11. Sürekli tahrikle sürtünme kaynağı [26].**

Volanlı (Atalet) sürtünme kaynağında; bir volandaki kinetik enerjiden yararlanır. Volan, işlemden önce belli bir devir sayısına getirilerek tahrik motoru devreden çıkarılır. Birleştirilecek parçaların birbirine bastırılmasıyla sürtünen yüzeyler ısınır ve kaynak edilir. Volan ise gittikçe artan bir şekilde yavaşlar ve durur. Ancak bundan sonra basınç ve sıcaklık azalmaya başlar ve moment ile devir sayısı birlikte sıfıra erişir. Boy kısalması ise eriştiği değerde kalır. Burada dövme zamanı yoktur. Bu nedenle volanlı sürtünme kaynağı işlemi daha kısa zamanda gerçekleşmektedir [26].

Birçok metalsel malzeme ve kombinasyonunun sürtünme kaynağı için, uygulamalar ve deneylerden elde edilmiş verileri mevcuttur. Sürtünme kaynağının özelliği, ergitme kaynağı yöntemlerinin uygulanamadığı malzeme ve malzeme kombinasyonlarında da başarıyla kullanılmasıdır. Diğer kaynak yöntemleri için kaynağa uygunluğu belirleyen kriterler, sürtünme kaynağı için her zaman kullanılamaz. Bunun nedeni, birleştirme sıcaklığının düşük, kaynak süresinin kısa ve birleştirmenin bir kuvvet altında yapılmasıdır. Buna örnek olarak çeliğin (alaşımli veya alaşımsız) alüminyum ve bakır ile, toz

metalürjisi ile üretilen parçaların ve seramiklerin ( $Al_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ) alüminyum ile, sert ve ağır metallerin diğer metallere sürtünme kaynağı gösterilebilir [25].

Çatlak hassasiyeti yüzünden ark kaynağı ile kaynaklanamayan 7XXX serisi alaşımlar da dahil olmak üzere neredeyse tüm alüminyum alaşımları sürtünme kaynağı ile kaynaklanabilir. Sürtünme ısı ile yumuşayan metal kaynak bölgesinden uzaklaştırılır ve yüksek mukavemetli ısı işlem görebilen alüminyum alaşımlarında bile birleşmenin mukavemeti esas metalinkine yaklaşır. Kontak yüzeyindeki alüminyum oksit kırılır ve birleşmeden uzaklaşır. Kaynak öncesi temizleme diğer kaynak proseslerinde olduğu kadar kritik değildir [16].

Tüm malzeme kombinasyonları için mümkün olmamasına rağmen alüminyum alaşımları birçok başka metal ile sürtünme kaynağı ile kolayca birleştirilebilir. Elektrik endüstrisinde kullanılan alüminyumun bakır alaşımları ile kaynağı ve boru sistemleri ve basınçlı kapların geçiş bağlantılarında kullanılan alüminyumun paslanmaz çeliklerle kaynağı en yaygın iki kaynak kombinasyonudur [16].

### **4.3. Alüminyum Ve Alaşımlarının Kaynağı İçin İlave Metalleri**

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılan kaynak çubukları esas metalle aynı bileşimde olduğu takdirde kaliteli bir kaynak bileşimi sağlanır. Ancak bunun yanında bazı istenen özellikler sebebiyle ilave metalin, esas metalden farklı olabilmesi söz konusudur. Örneğin bir metalin mukavemetinin sürekliliğinin, korozyona dayanıklılığının artırılması için kullanılan elektrotlar daha önceden laboratuvar şartlarında bulunmuş olup ve bunların kullanılması tavsiye edilebilmektedir. Bu yüzden, kaynatılacak esas metalin kimyasal bileşimi, mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak en uygun elektrot türü seçimi yapılır. Bazı durumlarda birden fazla tür kaynak elektrodu aynı malzeme için uygun neticeler verebilir. Çeşitli alüminyum alaşımları için önerilen ilave teller tablo IV.1.'de verilmiştir [27].

**Tablo 4.1. Çeşitli metaller için önerilen ilave metaller [8 ].**



Ana Metal	Önerilen ilave metal	
	Kaynaklı halde max. Mukavemet için	Max. Uzama için
EC	1100	EC, 1260
1100	1100, 4043	1100, 4043
2219	2319	(2)
3003	5183, 5356	1100, 4043
3004	5554, 5357	5183, 4043
5005	5183, 4043, 5356	5183, 4043
5050	5356	5183, 4043
5052	5356, 5183	5183, 4043, 356
5083	5183, 5356	5183, 5356
5086	5183, 5365	5183, 5356
5154	5356, 5183	5183, 5356, 5654
5357	5554, 5356	5356
5454	5356, 5554	5554, 5356
5456	5556	5183, 5356
6061	4043, 5183	5356
6063	4043, 5183	5356
7005	5039	5183, 5356
7039	5039	5183, 5356

Tablo 4.2 de çeşitli alüminyum alaşımları için önerilen, hem maksimum, mukavemet, hem de maksimum uzamayı sağlayacak ilave metalleri vermektedir. Burada, (1) öneriler, “o” kıvamında levha içindir. (2) Bu ana metallerin kaynağının sünekliliği ilave metal tarafından hissedilir ölçüde etkilenmez. Bu ana metallerin uzaması genellikle, listedeki öbür alaşımlarinkinden azdır. (3) 6061 ve 6063'de maksimum elektriksel iletkenliği gerektiren kaynaklı birleştirmeler için, 4043 ilave metali kullanılır. Bununla birlikte, hem mukavemet, hem de iletkenlik aynı zamanda arandığında, 5356 ilave metali kullanılıp, bunun daha düşük iletkenliğini telafi etmek için ilave metal takviyesi artırılır. Aşağıdaki tabloda bazı metallerin kaynağı için kullanılacak uygun ilave metaller gösterilmektedir.

**Tablo 4.2. Bazı alüminyum alaşımları için uygun ilave metaller [ 8].**

Kaynak edilen metal	Mukavemet	Süneklilik	Tuzlu Su Korozyonu Mukavemeti	En az çatlama eğilimi
1100	4043	1100	1100	4043
2219	2319	2319	2319	2319
6061	5356	5356	4043	4043
3003	4043	1100	4043	4043
5052	5356	5654	5554	5356
5086	5356	5356	5356	5356
5083	5183	5356	5183	5356
5454	5356	5554	5554	5356
5456	5556	5356	5556	5356
7005	5039	5356	5039	5356
7039	5039	5356	5039	5356

İyi bir kaynak metali kalitesi ancak ilave metalin temiz ve yüksek kalitede olması halinde elde edilir. Telin temiz olmaması halinde büyük ölçüde bulaştırıcı madde kaynak banyosunda, özellikle MIG

kaynağında, dâhil olur. İlave metal telinde bulaşıcı maddeler çoğu kez bir yağ yada hidrate oksittir. Kaynağın ısı bu maddelerden hidrojeni serbest bırakır, bu da kaynakta gözeneklilik meydana getirir [8].

**Tablo 4.3. Kaynak ilave metalleri ve bunların kullanımı için çeşitli kurallar [8 ].**

Kaynak Yöntemleri Değerlendirme (1) Önerilen (2) Uygun (3) Uygun Değil					
Kaynak Malzemesi	Oksi Asetilen	TiG	MiG	Örtülü el ile açık ark	DIN 1712 ve 1725'e ana. Met. için kulla.
S-Al 99, 98R	2	1	1	2	Al 99,98 R; Al 99,9
S-Al 99,8	1	1	1	1	Al 99,8; Al 99,7; Al 99,5; E-AlMgSi
S-Al 99,5	2	2	2	2	Al 99; Al 99,5; E-AlMgSi
S-Al 99,5 Ti	1	1	1	1	Al 99; Al 99,5
S-ALMn	1	1	2	1	AlMn; AlMg1; AlMg2; AlMg3; AlMgMn; AlMg5'in örtülü el. ile açık ark kay.
S-ALMgMn	1	1	1	1	AlMgMn
S-ALMg3	1	1	2	3	AlMg3, AlMgMn, AlMg2, AlMg1, AlMgSi 0,5; AlMg döküm alaşımları
S-ALMgSi	1	2	2	3	AlMg2Si, AlMg3
S-ALMg5	2	1	1	3	AlMg3, AlMg5, AlMgMn, AlMgSi 0,5; AlMgSi, AlMgZn1, AlMg döküm alaşımları
S-ALSi5	1	1	1	1	AlMgSiO, 5; AlMgSi1, AlZnMg1, AlZnMg3, AlCuMg başlıca alaşım elementi Si ile Al döküm alaşımı ve G- AlCuSi3
S-ALSi12	1	1	2	1	Başlıca alaşım elementi olarak Si ve Al döküm alaşımları özel durumlarda elverişsiz gerilme oran. şekillenir alaşımlar içinde kul.

### 4.3.1. Alüminyum Ve Alaşımlarının Kaynağı İçin Kullanılan Elektrodlar

TiG/WiG kaynağında DIN 32558 'e göre saf tungsten ya da "toryum ve zirkonyum" ile alaşımlandırılmış elektrodlar kullanılır. Tungsten elektrodlar toz halindeki tungstenin yüksek sıcaklıkta sinterlenmesi ile imal edilir. Toryum ile alaşımlandırılmış elektrodlarda ise sinterleme işlemi sırasında % 1 – 4 kadar toryum oksit katılır. Bu toryum oksit bütün elektrod kesitine homojen bir şekilde yayılır. Elektrodların kimyasal yapı ve özellikleri tablo IV.4'te verilmiştir.

**Tablo 4.4 Elektrodların kimyasal yapı ve renklerinin tanımı.**

Kısa İşareti	Malzeme Numarası	Oksit Katkı Miktarı Ağırlığın % si olarak	Tamıtım Rengi	Kullanım Alanı	
W	2.6005	Hiç yok	Yeşil	Kaynak	Kesme
WT 10	2.6022	0,9 ..... 1,2 Toryum oksit	Sarı		
WT 20	2.6026	1,9 ..... 2,1 Toryum oksit	Kırmızı		
WT 30	2.6030	2,8 ..... 3,2 Toryum oksit	Açık Mavi		
WT 40	2.6036	3,8 ..... 4,2 Toryum oksit	Turuncu		
WZ 4	2.6050	0,3 ..... 0,5 Zirkonyum oksit	Kahve		
WZ 8	2.6062	0,7 ..... 0,9 Zirkonyum oksit	Beyaz		
WL 10	2.6010	0,9 ..... 1,2 Lantanyumoksit	Siyah		

Alaşımlandırılmış tungsten elektrod şu üstünlükleri sağlar:

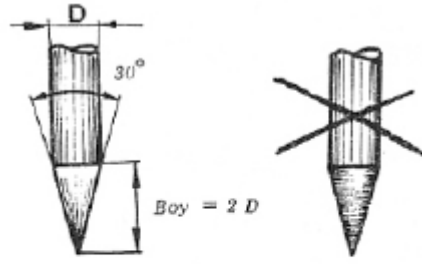
- İyi bir elektron akışı sağlar.
- Elektrodun ömrü daha uzun olur.
- Alaşımsız tungsten elektroda göre % 25 fazla akım şiddeti ile yüklenebilir.
- Elektrodun elde olmayan sebeple kaynak yeri ile temas etmesi halinde kaynak banyosunda meydana gelen sıçrama ve buharlaşma saf elektroda göre daha azdır.[28]

Akım cinsi	Wolfram Elektrodu	Kaynak Akımı Şiddeti		
		Düşük	Normal	Yüksek
1 Doğru Akım	Toryumlu			
2 Alternatif Akım	Saf			
	Toryumlu			

Akımın doğru ayarlanıp ayarlanmadığı kaynak sırasında elektrod ucunun biçimine bakılarak anlaşılabilir.

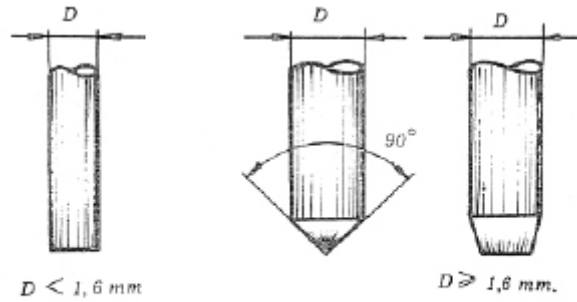
**Şekil 4.12. Akım türü ve akım şiddetine göre elektrod ucunun formu**

Elektrodlar imalatçısı firma tarafından çaplarına uygun olarak verilen akım şiddeti ile yüklenmelidir. Bir tungsten elektrodun uygun akım şiddeti ile yüklenip yüklenmediği elektrod ucunun şeklinden de anlaşılabilir. Şekil 4.1'de elektrod ucunun sıcaklığı, akım yoğunluğu, akımın cinsi, kutup durumu ve elektrodun çapma bağlı değişiklikler görülmektedir. Elektrodulara; çapları ve yüklenecekleri akım şiddetine göre taşlanarak Şekil: 4.13/a, b' deki gibi form verilebilir.[28]



Kural olarak elektrod taşlanarak sivriltilir.  
çok özel durumlarda taş izleri parlatılarak  
giderilir.

**Şekil 4.13/a Elektrod ucuna verilen form.**



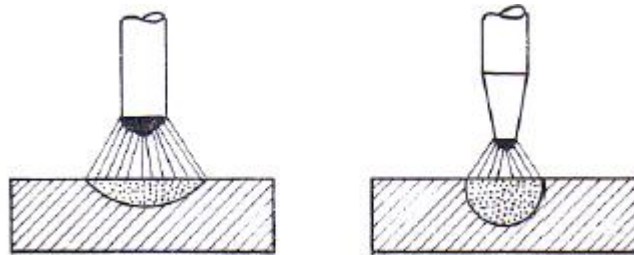
Daha büyük çaplardaki elektrodlar biraz taşlandıktan sonra  
kaynak sırasında ucunda küresel bombe teşekkül etmesi sağlanır.

**Şekil 4.13/b**

Elektrod ucunun formunda ark ve iş parçasına verilen ısıya tesir ederek kaynak dikiş formunu etkiler. Yağlı ve kirli elektrodlar kaynak dikişinin özelliğini bozduğundan bu gibi elektrodların temizlenmesi gerekir. Kaynak işlemi bitince Argon gazının akışı hemen kesilmez, bir süre daha akmaya devam ederek, elektrod ucunun oksitlenmesini önler. Eğer koruyucu gaz erken kesilir ise elektrod ucu oksitlenerek koyu kahverengini alır. Standart elektrodların çapları ve boyları mm. olarak aşağıda verilmiştir.

Elektrod çapları: (0,5),(1,0),(1,6),(2,0),(2,4),(3,0),(3,2),(4,0),(5,0),(6,0),(6,4),(8,0).

Elektrod boyları: 50, 75, 150, 175 [16]



**Şekil 4.14. Aynı akım şiddeti ile yapılan kaynaktaki elektrod ucu formunun dikiş formuna**

## 4.3.2. Alüminyum Ve Alaşımlarının Kaynağı İçin Dekapanlar

Alüminyum gerek sıvı ve gerekse de katı halde iken, hava ile teması neticesinde, yüzeyinde gayet ince, takriben bir mikron kalınlığında, sıkı bir alüminyum oksit tabakası oluşur. Bu oksitin özgül ağırlığı alüminyumdan küçük olduğundan, erimiş kaynak banyosunun üzerini örter ve kaynak çubuğundan eriyerek düşen damlaların içeri doğru nüfuziyetini önler. Saf alüminyum 568°C, alaşımları ise 575 – 650°C'de, alumin ise 2050°C'de erir. Dolayısı ile kaynakça kaynak esnasında alumin eritmeye çalışırken alüminyum erir ve akar. Kaynak esnasında oluşan alumin, kaynak metali içinde kalırsa bağlantının mukavemet ve korozyona olan dayanıklılığını zayıflatır. Bu nedenle kaynak yapılırken bu oksiti çözen bir dekapana ihtiyaç vardır. Dekapan kaynak, sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta eriyerek, oksitle kimyasal olarak birleşir, oksiti çözer ve cüruf oluşturarak banyonun yüzeyini oksidasyondan korur. Dekapan çeşitli maden klorür ve florürlerinin bir karışımıdır ve kül şeklindedir. Bunlar alevin ve ergimiş metalin etkisi ile kaynak banyosundan uzaklaştırılırlar. Dekapanların bazıları çok kullanışlıdır. Toz şeklinde olanlara alkol veya su ile karıştırılarak lapa yapılır, oldukça pratiktirler. Karıştırma işlemi bir cam veya seramik kapta veya bir alüminyum veya paslanmaz çelik kapta yapılabilir. Çelik kaplar, bakır veya pirinç kaynak tozunu kirletir bu nedenle kullanılmazlar.

Saf alüminyum kaynağında sadece kaynak çubuğu lapa ile örtülebilir. Alüminyum alaşımlarının kaynağında ise kaynak yüzeyleri de lapa ile örtülmelidir. Alüminyumun döküm kaynağında kaynak çubuğu ısıtılarak kuru kaynak tozuna batırılır böylece çubuğa toz yapışır. Toz ısıtılarak esas metale yavaşça uygulanır. Bu aşırı neme karşı bir çeşit sigortadır. Bu da ark sıçramasını, kaynak dikişinde boşlukların olmasını önler. Alüminyum kaynağında bazı kaynakçılar korumalı metal ark kaynağı için toz örtülü elektrotları tercih ederler. Bu tip elektrotlar kullanıldığı zaman esas metale toz uygulamak gerekmez. Eğer parçaya toz uygulanıyorsa düzgün bir dikiş elde edilir. Toz ve kaynak arasındaki periyot 45 dakikayı geçmemelidir.





Gaz altı kaynağı geleneksel olarak CO<sub>2</sub> ile yapıldığından paslanmaz çeliklere de uygulanmıştır. Ancak CO<sub>2</sub>'nin ayrışmasıyla kaynak dikişinde aşırı bir karbon yükselmesi olduğundan, paslanmazlık özellikleri kötü yönde etkilenmiştir. Bunun yanında krom karbür oluşumuna bağlı olarak taneler arası korozyon tehlikesi ortaya çıkmakta ve bu durum çeliğin krom içeriğini düşürmektedir. Krom içeriği %12'nin altına düşen çelik ise paslanmazlık özelliğini kaybetmektedir. Paslanmaz çeliklerin kaynağında aktif gaz kullanımının olumsuz sonuçları, soy gaz kullanımına yol açmıştır. Saf argon paslanmaz çelik kaynağında yaygın şekilde kullanılmaktadır; ancak arkın stabilitesi düşük olduğundan zorluklarla karşılaşılmaktadır.

Bu nedenle Argon-Oksijen karışımları denenmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Oksijenin arkı stabilize etme özelliğinden dolayı Argon-Oksijen karışımları paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilen en uygun karışımlardır. Yaklaşık %1 ve %2 O<sub>2</sub> içeren karışımlar paslanmaz çelik kaynaklarında güvenle kullanılabilir. Argon-Oksijen karışımları ile dikiş formunun daha da iyileştirilmesi, yüzeyde biriken oksit katmanlarının ve bunun yol açtığı soluk dikiş renginin giderilmesi için yapılan çalışmalar Ar-He- CO<sub>2</sub> - O<sub>2</sub> karışımlarını ortaya çıkarmıştır.[29]

### 4.3.3. Alüminyum Ve Alaşımlarının Kaynağı İçin Koruyucu Gazlar

Alüminyum ve alaşımlarının ergime sıcaklığı 550 – 600°C arasında olmasına rağmen ısı iletkenliğinin çok yüksek olması nedeniyle gerekli ısı girdisi eş kalınlıktaki çeliğe göre daha fazladır. Alüminyumun hava ile temas etmesi sonucu üzerinde bir alüminyum oksit tabakası oluşur. Bu tabakanın ergime derecesi 2050 C'dir. Bu tabaka alüminyumun kaynağını zorlaştırır; bu nedenle söz konusu tabaka uzaklaştırılmadan kaynak yapmak mümkün değildir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında malzeme kalınlığı göze alınmaksızın daima sprej ark ile çalışmak tercih edilir, ince parçaların kaynağında ise darbeli geçiş tercih edilmelidir. Alüminyumun oksijene karşı duyarlılığı nedeniyle, koruyucu gaz olarak sadece soy gazlar kullanılır. Saf Argon her türlü alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılabilir. Ancak bu gaz ile bazı uygulamalarda yeterli ölçüde yüksek plazma sıcaklığı elde edilememektedir. Bu durum Alüminyum ve alaşımlarının göreceli olarak yüksek ısı iletkenliği ile birleşince, kaynakta istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Düşük dayanımlı dikiş, düşük nüfuziyet ve gözeneklilik en sık karşılaşılan sorunlardır

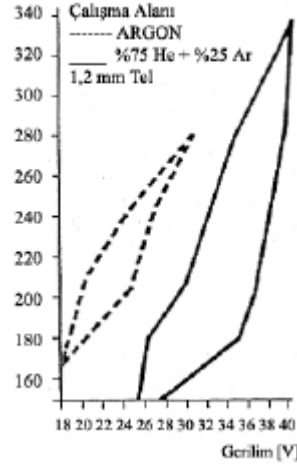
Bu sorunlar, Argon-Helyum karışımlarının kullanımıyla giderilmiştir. Bu gaz karışımları ile elde edilen yüksek ark plazma sıcaklıkları sayesinde, daha derin ve geniş bir nüfuziyet elde edilebilmektedir. (Şekil 4.15)

	200 A	260 A
SAF ARGON		
%25 Ar+%75 He		

Şekil 4.15. Argon ve Ar-He karışımlarının nüfuziyet yönünden karşılaştırılmaları.

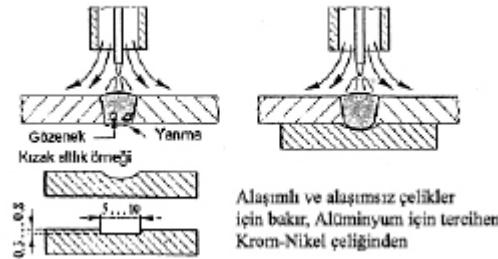
Daha kararlı ve yüksek sıcaklığa sahip ark oluşturma özelliği ile bu karışım, Argon oranla %85 daha yüksek kaynak hızı elde etmesini mümkün kılmaktadır. Bu tür karışımlar, arkın geniş bir akım – gerilim aralığında kararlı olmasını sağlar. Bu sayede şebekedeki gerilim değişiklikleri, torç-iş parçası

arasındaki mesafenin artma – azalması gibi durumların olumsuz etkileri en aza indirilir [30] (Şekil 4.16).



**Şekil 4.16. Argon ve % Ar- %He karışımlarının çalışma alanlarının karşılaştırılması.**

Tek taraftan kaynak edilen dikişlerde genellikle, kökün arka yüzünün ve sınırlı bir esas metal alanının koruyucu gaz ile atmosferden korunması gerekir. Kök aralığı verilerek kaynak edilen bağlantılarda, arka yüzden bir bakır kızak kullanılması genellikle yeterli olur. Ancak alüminyum ve bakırın kaynağında paslanmaz çelik kullanılması daha uygundur. İnce saçlarda ve içeriden temizlenemeyen boru hatlarında arka yüzden ilave koruyucu gaz verilmesi gerekir. Bunun için boru dikişin her iki tarafından kapatılır ve koruyucu gaz verilir. Saclarda aynı işlem için kendi gözenekleri yoluyla yeterli ve türbülansız bir koruyucu gaz miktarı sağlayan, bir sinter metal bloğun kullanılması daha uygundur. Koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılır. Şekillendirici gaz olarak örneğin Azot / Hidrojen karışımı da kullanılmaktadır. Arka yüzden verilen koruyucu gaz, kökün gaz çıkışının bozulmasını ve oksitlenmesini önler. Soğutma etkisiyle eriyiğin fazla sarkmasını da sınırlar ve dikiş alt yüzeyinin uygun bir şekil almasını sağlar [ 31] (şekil 4.17.).



**Şekil 4.17**

## 4.4. Alüminyum Ve Alaşımlarının Kaynak Kabiliyeti

Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyetine girmeden önce, alüminyumun neden alaşımlandırıldığı konusuna kısaca değinmemiz gerekir. Çünkü alüminyumun, alaşımlandırılmasıyla

birlikte yapısında çok önemli gelişmeler olabilmektedir. Bu yüzden alüminyumun alaşımlandırılmasıyla kazanılan bu özelliklerin, kaynaklı birleştirmeler sonucunda kaybedilmemesi gerekir. Bu da ancak alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyetinin, iyi bir şekilde araştırılmasıyla ve uygun çözümlerin uygulanmasıyla mümkün olur.

Saf alüminyum, düşük mukavemet özelliklerinden dolayı düşük kopma dayanımı ve akma sınırı nedeniyle yüksek dayanım aranan yerlerde kullanılmaz. Bu yüzden bu özelliklerin çeşitli alaşımlar vasıtasıyla iyileştirilmesi gerekir. Alüminyuma katılan alaşım elementleri, alüminyumun mekanik özelliklerini (kopma, akma, tokluk vb.) ve özellikle mukavemet değerlerini artırır. Fakat alüminyuma katılan bu alaşım elementleri, alüminyumun şekil değiştirme kabiliyetini ve korozyon dayanımını etkilemeden, mukavemet özelliklerini geliştirmesi istenir.

Alüminyuma katılan başlıca alaşım elementleri, magnezyum, bakır, silisyum, manganez, çinko ve bazı hallerde kalay, nikel ve titanyumdur. Alüminyum ve alaşımları, üretim şekillerine göre dövme ve dökme alüminyum alaşımları olarak iki ana gruba ayrılırlar. Dövme alüminyum alaşımları grubuna giren, alüminyum alaşımları, genellikle evvela sürekli döküm yöntemi ile blok halinde elde edildikten sonra, homojenleştirme tavına tabi tutulurlar ve sonra haddeleme veya ekstrüzyon ile şekillendirilirler. Günümüz endüstrisinde en çok kullanılan alüminyum ve alaşımları grubuna girerler.

Döküm alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğu silisyum içerir: %11,7 si içeren alaşım ötektik bileşimde olduğundan çok üstün döküm özelliklerine sahiptir. Bu alaşımlarında ihtiyaç duyulduğu yerlerde faydalı olduğu gerçektir. Korozyona karşı dirençli ve kaynak kabiliyeti oldukça iyidir. Alüminyum alaşımlarının özelliklerine kısaca değindikten sonra, şimdi alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyeti hakkında çeşitli bilgiler sunalım. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, bu metalin kendine has özelliklerinden dolayı, kaynak sırasında çeşitli güçlüklerle karşılaşmaktadır. Bu yüzden alüminyum ve alaşımlarının kaynatılması sırasında, bazı özel önlemlerin alınması gerekir. Eğer karşılaşacağımız güçlükler neden olan özellikler ve faktörler iyi bir şekilde bilinirse, alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kaliteli bir birleşme sağlanabilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler ve önleme çareleri:

1) Alüminyumun oksijene karşı ilgisi çok fazladır; hava ile teması neticesinde, çok kısa bir zaman içinde, alüminyumun yüzeyinde yaklaşık 1–3 mikron kalınlığında, gri renkli, sıkı, dayanıklı ve yüksek ergime (2050°C) noktalı bir oksit ( $Al_2O_3$ ) filmi oluşur. Bu oksit filmi alüminyum ve alaşımlarının kaynağını aşırı bir derecede zorlaştırır. Çünkü alüminyumun ergime derecesi 650°C civarındadır, oysaki yüzeyi kaplayan bu oksit filmi 2050°C civarında ergir. Bu yüzden kaynak sırasında ergimeyen bu tabaka kaynak dikişinin içine nüfus edebilir. Bu da kaynaklı birleştirmenin mukavemetini önemli derecede olumsuz bir şekilde etkiler. Bu yüzden bu oksit filminin kaynaktan önce, çeşitli yöntemlerle kaldırılması gerekir. Bu işlem için piyasada özel olarak üretilen dekapanlar kullanılabilir.



2) Alüminyum ve alaşımları yüksek ısı iletim katsayıları nedeniyle ısıyı çeliğe göre 3–5 defa daha hızlı iletirler. Bu nedenle bu malzemelerin kaynağında soğuk bölgelere doğru süratli ısı kaçışını dengelemek amacıyla parça kaynaktan önce en az 200°C de tavlansınarak ısıya doyrurulmalıdır ve sürekli kaynak yapılarak bu sıcaklık muhafaza edilmelidir.

3) Yüksek Si' lu (%12–13) dökme alüminyum alaşımları hariç, alüminyum ve alaşımlarında ısıl genişleme katsayısının yüksek oluşu ve sıvı fazdan katı faza geçişte %6,6 oranında hacimsel bir büzülme göstermesi, bu malzemelerin kaynağında büyük kendini çekme ve çarpılma (distorsiyon) problemlerine, iç gerilmelere bağlı çatlamalara yol açar. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında, yüksek ısıl genişleme katsayısı ve büzülme oranı etkisinden ileri gelebilecek distorsiyon ve çatlama önlemek üzere kaynak yerine verilecek ısı miktarının sınırlandırılması gerekir. Sınırlı kaynak ısı girdisi ile kaynak paso sayısının azaltılması, ince malzemelerde (1,5-3 mm) V kaynak ağızı yerine "I" kaynak ağızının tercih edilmesi, 1,5 mm den kalın parçalarda en çok 200°C lik ön tavlama uygulanması, kaynak hızının artırılması, MIG ve TIG yöntemlerinin kullanılması, mümkün ise uygun bağlama tertibatları kullanılarak punta kaynaklarından kaçınılması ile sağlanır. Kalın malzemelerde, paslanmaz çelik, bakır, seramik gibi malzemelerden geçici altlık veya ana malzemeye uygun bileşimde malzemedan kalıcı altlık, kullanılarak (sadece MIG kaynağında ve 3 mm den kalın parçalarda) hızlı kaynak yapmak mümkündür, aynı zamanda tam bir nüfuziyet de elde edilir.

4) Alüminyum ve alaşımları yüksek sıcaklığa ısıtıldığında alaşımları çelik ve bakır gibi ergime noktasına kadar tav rengi göstermediğinden kaynakçı renk değişimi beklememelidir. Ark kaynağı yöntemlerinde problem oluşturmayan bu özellik, oksii-asetilen kaynağında sorun olabilir. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kaynakçı önceden kullandığı dekapanın sulanmasını (ergiyen dekapan yüzeye yayılıp görevine başlamasını), sonra malzemenin ergimesini gözlemelidir. Kaynakçı için işleme başlama anı dekapanın sulanmasıdır, zaten ardından malzeme de ergime noktasına ulaşır. Geç kalındığı takdirde dekapan işlevini yitirir, kaynak hazırlığının tekrarlanması zorunluluğu ortaya çıkar.

5) Alüminyum ergidiği zaman, ortamdaki atomik hidrojeni, kolaylıkla absorbe eder. Kaynak olayında atomik hidrojen, yağdan ve gresten iyi temizlenmemiş veya nemli ana veya ilave metaldir. Bu şekilde ark ortamına giren H<sub>2</sub> gazı atomik hidrojen (H) haline geçer ve kaynak banyosu katılaşmaya başladığında ise hidrojen yayımı başlar. Fakat banyonun çok hızlı katılaşması sonucu yayımlanan gaz gözenek halinde kaynak dikişinde sıkışıp kalır. Kaynakta temizlik ve nem giderme işlemlerine gereken önem verildiğinde bu problem geniş ölçüde halledilmiş olur.

6) Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında en önemli noktalardan biri de ana malzemeye uygun kaynak ilave metali seçmektir. Her ne kadar ince cidarların oksii-asetilen ve TIG kaynağına ilave metal kullanmak gerekmiyorsa da kalın kesitlerin birleştirilmesinde ve köşe kaynaklarında ilave metal gerekir. Kaynak kullanılacak ilave metalin kimyasal bileşiminin kaynak yapılacak ana malzeme ile aynı olması birinci koşul olarak aranır. Fakat alüminyum alaşımları yelpazesinin oldukça geniş olduğu göz önüne alındığında ilave metal üreticilerinin her alüminyum alaşımı için özel bir kaynak ilave metali

geliştirmelerinin bu yöndeki çabalarına rağmen mümkün olmadığı malumdur. Bu durumda ilave metalin, ana metal ile birleştiğinde (kaynak metali olarak), parçanın maruz kalacağı korozyon koşullarında korozyon direncinin devam etmesi, çekme dayanımı, akma noktası, uzama değeri ve sertlik – darbe dayanımının bozulmaması, sıcak çatlamaya karşı hassaslaşmaması seçimde rol oynayan ana kriterlerdir. Ana metale uygun ilave metal seçimi için bu kriterlerin işığı altında hazırlanmış tablolardan faydalanabiliriz.

7) Yüzey Temizliği Kaynak yapılacak parçanın ve kullanılacak ilave metal çubukların yüzeylerin, oksit filmi haricinde boya, yağ, gres, kir gibi kirletici maddelerden de temizlenmesi gerekir. Temizleme işleminde orta dereceli bazik zeltiiler alkol aseton gibi kuvvetli fakat kaynak esnasında zehirli gaz vermeyen çözücüler kullanılmalıdır. Temizlik işlemine dikkat edilmediği takdirde, kaynak dikişinde gözenekler meydana gelir.

8) Alüminyum ve alaşımlarının kaynaklı birleştirmelerinde en önemli problemlerden biri de sıcak çatlaklardır. Sıcak çatlaklar genellikle solids (katılaşma) izgisinin, üzerinde ve katılaşma aralığında meydana gelir. Bu yüzden özellikle kullanılacak olan ilave metaller, katılaşma aralığı dar olan alaşımlardan seçilmelidir. Alüminyumun kaynağında ilave alaşımının seçimi, dikiş çatlamasını yok etmede önemli bir etken olmaktadır. Çatlama genellikle, ana metalden daha yüksek alaşımlı ilave metal kullanmakla asgariye indirilebilir. Örneğin 6061 alaşımı, 6061 ilave metalle kaynak edildiğinde çatlamaya, son derece duyarlı olur; ama %55'i içeren 4043 ilave metalle kolayca kaynak edilir. 4043'n avantajı, üzerinde kullanıldığı aynı ana metallere daha aşağı sıcaklıklarda ergiyip katılaşmasıdır. Bu nedenle ana metal bir miktar soğuduktan sonra plastik halde kalır ve çatlamayı gerektiren büzülme gerilmeleri, ilave metalin plastikliği sayesinde hafifletilir. Başka koşullar altında 5356, 5183 veya 5556 gibi yüksek magnezyumlu ilave metal, dikiş mukavemetini artırıp çatlama hassasiyetini azaltır. 4043 ilave metal, kendisinden daha yüksek magnezyum alaşımlı 5086, 5083 veya 5456 alaşımları üzerinde kullanılmayacaktır şöyle ki aşırı Mg-Si tektikleri kaynak metali içyapısının sünekliliğini azaltıp çatlama hassasiyetini artırır. Kaynaklı Al parçalarda sıcak çatlağı denetim altında tutmak için kaynak metali bileşimlerinin (ilave metal ve karışmanın ürünü), çatlamaya hassas türden olmasından kaçınılacaktır.

Birleştirme yerinin geometrisi, kaynak metali bileşimi ve kaynak teknikleriyle birleşerek, elementlerin karışımını bir kritik bileşim alanı içine dşrecekt olursa ciddi çatlama meydana gelir. Kaynak metali bileşimi bu kritik alanın altında veya üstünde olursa çatlama sorunları azalır. Silisyum için bu kritik alan yaklaşık %0.5 ile 1.2'dir. Örneğin 4043 ilave metal 1100 ana metaliyle %80 karışacak olursa (bir kt alın kaynağında olduğu gibi), oluşan silisyum oranı çatlamaya hassas alanın içine düşer. Kaynakta meydana gelen sıcak çatlak miktarını etkileyen diğer nedenler arasında alaşımın katılaşma sıcaklık aralığı, genleşme katsayısı, ısı gradyanı geri kalan sıvı hacminin katılaşmış malzeme hacmine oranı sayılabilir. Sıcak atlama birkaç yolla azaltılabilir:

a) Daha yüksek kaynak hızı uygulamak. Kaynak hızı arttıkça, kaynak bölgesine ısı girişi azalır. Böylece de sıcak metalle oda sıcaklığında olan metal arasındaki sıcaklık farkından oluşan gerilmeler daha az şiddetli olur. Zira yüksek kaynak hızlarında, herhangi bir anda sıcak çatlak aşamasında bulunan dikiş boyu kısalmış ve katılaştırmış bulunan metal sıcak çatlama eğiliminde olan metali zorlayacak olan yükün bir kısmını alır. Bu aynı etki, sıcak çatlak eğiliminde olmayan alüminyum alaşımlarının kaynağında da faydalı olmaktadır. Bunlara ek olarak da, daha yüksek kaynak hızlarında oluşan daha hızlı soğuma temposu, daha ince bir dendritik yapıya götürür, bu da çatlama daha az eğilimli olur.

b) Ön ısıtma uygulamak. Sıcaklık gradyanını azaltarak ve daha hızlı kaynağa olanak sağlayarak kaynak bölgesinde katılma sırasında oluşan gerilmeleri azaltan ön ısıtma, sadece tespit edilmemiş birleştirmelerde kullanılır. Aşırı ön ısıtma, malzemenin daha önceden tavllanmış koşula getirilmiş olması dışında, ana alaşımın mekanik özelliklerini düşürür. Bu, özellikle 6061 gibi ısı işlem kabul eden alaşımlar için doğrudur.

c) Birleşme yeri tasarımını değiştirmek. Bir alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi onun sıcak çatlama eğilimini etkiler. Kaynak metalinin kimyasal bileşimi, ana metalle ilave metal karışmasının ürünü olup bu karışım sıcak çatlama yüksek derecede yatkın olabilir. Bu yatkınlığı azaltmak için, birleşme yerinin tasarımı (dizaynı) nihai kaynak metalinde ana alaşım miktarını artıracak ya da azaltacak şekilde değiştirilebilir. Bu arada kaynak yöntemleri ve bu yöntemlerde kullanılan teknik kurallar da, kaynak kalitesini önemli ölçüde ve alaşımlarının kaynağında en çok, ince levhalarda TIG, kalın levhalarda ise MIG kaynak yöntemleri kullanılır. Çünkü kaynaklı birleştirmelerde en iyi sonucu veren yöntemlerdendirler. Bu kaynak yöntemlerinde, kaynak dikişlerinin görünüşü iyi olup, aynı zamanda yeterince temizdir [ 27].

MIG ve TIG kaynak yöntemleriyle, en iyi kaynak kabiliyetini gösteren alaşımlar şunlardır;

— Kolaylıkla kaynak edilebilen alüminyum ve alaşımları

Şekillendirilebilir alaşımlar:

Saf alüminyum, 1060,1100

2219

3003, 3004

5005, 5050, 5052, 5083, 5086, 5154, 5254, 5456, 5652

6061, 6063, 6101, 6151

7005,7039

— Çoğu uygulamalarda kaynatılabilen alüminyum ve alaşımları: (Bazı uygulamalarda özel tedbirler gerekir)

Şekillendirilebilir alaşımlar:

2014, 4032

Döküm alaşımları:

108,A108

214, A214, B214, F214  
319, 333, 355, C355, 356  
A612, C612, D612

— Sınırlı olarak kaynatılabilen alüminyum ve alaşımları: (özel teknikler gerekir)

Şekillendirilebilir alaşım:

2024

Döküm alaşımları:

138,195,B195

— Kaynağı tavsiye edilmeyen alüminyum ve alaşımları:

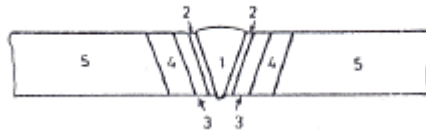
Şekillenebilir alaşımlar:

7075, 7079, 7178

Döküm alaşımları:

122, 142, 220

Şekillendirilebilir alaşımlar arasında gaz korumalı ark süreçleriyle en büyük kolaylıkla kaynak edilebilenler, işlem kabul etmez lxxx, 3xxx ve 5xxx serileridir. 6xxx serilerindeki ısı işlem kabul etmeyenler de kolayca kaynak edilebilirler. 4xxx ile yüksek mukavemetli serilerinin ve ısı işlem kabul eden 2xxx serilerinin alaşımları da arka kaynak edilebilirlerse de özel tekniklerin uygulanması gerekebilir ve biraz alçak süneklik elde edilebilir. Yüksek mukavemetli ısı işlem kabul eden 7xxx serilerinden 7075, 7079 ve 7078 alaşımları kaynak edilebilir ama bunların ITAB'ları gevrek olur; dolayısıyla da bunlara kaynak vurulması tavsiye edilmez. Buna karşılık 7005 ve 7039 alaşımları kaynak için özel olarak geliştirilmiş olup bunların kaynak kabiliyetleri iyidir. 7005 ile 7039 alaşımları, kaynakların yüksek mukavemetli olmalarının gerekli olduğu büyük konstrüksiyonlar için özellikle ilginçtir. Şöyle ki dikişler, kaynaktan 30 ile 90 gün sonra ısı işlem görmüş ana metal mukavemetinin (kaynak ilave metalinin kimyasal bileşimine göre) %70 ila 90'ına doğal olarak yaşlandırılacaklardır. Ayrıca kaynaklı halde ısı işlem kabul eden orta ve yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarının birleştirme niteliklerinin azalmasının nedeni, ana metalden başka, dört farklı bölgenin mevcut olması olup bunların etkilerini yok etmek zordur. (Şekil IV.18) Bölge 1 ve daha büyük ölçüde bölge 3, ısı işlemine cevap vereceklerdir; bununla birlikte fazla ısıtma etkisi Bölge 2' de kalacaktır. 6xxx ve 7xxx Serileri alaşımları kaynak edildiklerinde, sıcak çatlama olabilir. (özenle denetlenmiş kaynak süreçleri bunu asgariye indirebilir veya tamamen ortadan kaldırabilir.)



**Şekil 4.18. Kaynaklı birleştirmelerde, kaynak sonunda oluşan bölgeler.**

Tüm bunlarla birlikte, alüminyum ve alaşımlarının kaynağında atmosfer şartlarının da etkileri büyüktür. Örneğin imalatçılar yılın belli zamanlarında farklı kaynak problemleriyle karşılaşabilmektedirler. Aşırı nem (H<sub>2</sub>O) olan bir ortamda kaynak dikişine hidrojenin girmesi kolaylaşır. Buda kaynaklı birleştirmenin mukavemetinin aşırı olarak düşmesine sebep olur. Bu yüzden kaynaklı birleştirmelerin dış ortamdan etkilenmemeleri için çeşitli tedbirler almak zorundayız.

Bunlar:

— Esas metalin depoda saklanması, alüminyum levhaların yüzeylerinin suyla temasını önlemeliyiz, plakaları mümkün olduğu kadar kuru ortamda tutmalıyız. Plakalar üzerinde herhangi bir yoğunlaşma görüldüğünde çabucak temizlemeliyiz, plakalar arasına ince elemanlar konarak, plakalar birbirinden ayrılıp aralarından hava geçişi sağlamalıyız.

— İlave metaller ise, saklandıkları ambalajlardan ihtiyaç kadar çıkartılmalı, kalan paket tekrar korumaya alınmalı. Elektrotlar daha soğuk bir ortamdan kullanım bölgesine alındığı takdirde 24 saat sonra orijinal paketinden çıkarılmalıdır.

— Ayrıca kaynak hattında temizleme, daldırma tankları bölümlerin bulunması nispi nemin artmasına neden olur. Bu bölgelerde yeterli havalandırma sistemi kurularak nispi nemin yükselmesi önlenmelidir. Sonuç olarak, alüminyum ve alaşımlarının kaynağında iyi bir kaynak kabiliyetinin sağlanması, kaynak edilen malzemenin alaşım grubunun ve özelliklerinin iyi seçilmesi, iyi birer temizlenme işleminin uygulanması, uygun bir dizaynın yapılması, yerinde bir kaynak sırasının takip edilmesi, elverişli bir kaynak yönetiminin ve tekniğinin seçilmesi ile sağlanabilir. Aksi takdirde kaynak bağlantısından istenen özellikler elde edilemeyebilir [ 9].

## **4.5. Alüminyum Ve Alaşımlarının Kaynağında Mukavemet Özelliklerini Etkileyen Faktörler**

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında ve kaynak sonrasında birçok problemle karşılaşılır. Bu problemler:

- Gaz gözenekleri,
- Oksit kalıntıları ve oksit tabakası,
- Sıcak çatlak veya sıcak yırtılma,
- Kaynak metali ve IEB' de mukavemet düşmesi,
- Ergime eksikliği,
- Korozyon direncinde azalma,
- Elektrik direncinde azalma.

Özellikle, bu problemlerden ilk dördü olan; gözenek, oksit tabakası, sıcak çatlama ve mukavemet azalması ile bunların önlenme yolları aşağıda anlatılmaktadır. Gözenek, kaynak metalinde çözünen gaz nedeniyle oluşur ve katılaşma sırasında kaynak metalinde hapsolarak kalan gaz boşlukları oldukça önemli bir problemdir; bunların bulunması kesitin azalmasına, mekanik değerlerinin düşmesine ve zorlanmalar sırasında çentik etkisi yaratarak bağlantının kırılmasına neden olur.

Gözenekler, mikro gözenek biçiminde oluşabildiği gibi 3- 4 mm çaplarında balıkgözü olarak tanımlanan boyutlar da olabilmektedir. Burada, ergimiş alüminyumda yüksek miktarda çözünebilirliğe ancak katı durumda çok düşük çözünebilirliğe sahip olan hidrojen etkilidir (Şekil 19). Çünkü katılaşma o kadar hızlı olmaktadır ki hidrojen, katı çözelti içinde; gaz halinde hapsolarak kalmaktadır. Bu açıdan alüminyumun kaynağında, gözeneksiz kaynak dikişleri oluşturmak çok zordur. Kaynak teli kullanılmayan kaynak yöntemlerinde gözenek oluşma eğilimi oldukça düşüktür; ancak, ek kaynak metali kullanıldığında telden gelen kirlilikler dolayısı ile gözenek oluşma eğilimi artar. TIG kaynak yönteminde, MIG kaynak yöntemine göre, telin hidrojen oluşturan kirliliğine bağlı olarak daha düşük gözeneklilik oluşur. Kaynak akımının artırılması veya ilerleme hızının azaltılması, ark geriliminin yükseltilmesi gibi kaynak parametreleri ile oynanarak hidrojen nedenli gözeneklilik önenebilir. Alaşım elementi içeriği de gözenek oluşmamasında yararlı bir etki sağlayabilir. Özellikle magnezyumun bu problem azaltıcı etkisi olduğu varsayılmaktadır. Örtülü elektrod ve tozaltı kaynak yöntemlerinde örtü ve tozdan gelebilecek nem, gözenek oluşumu üzerinde başlıca etkiye sahiptir. Bu açıdan, kullanılmadan önce alüminyum ve alüminyum alaşımları için geliştirilmiş örtülü elektrod ve tozların kurutulmaları gerekir. Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan koruyucu gazın da oldukça saf olması ve gaz hortumlarının su emmez türden olması gözenekliliği önlemede etkilidir. Çünkü son araştırmalar göstermiştir ki özellikle su soğutmalı torçlar kullanılması durumunda su hortumlarından koruyucu gaz hortumlarına su geçişi olabileceğini; bu açıdan torç bağlantı paketi içinde kullanılan gaz hortumlarının malzemelerinin su emme özellikleri düşük olan plastiklerden yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

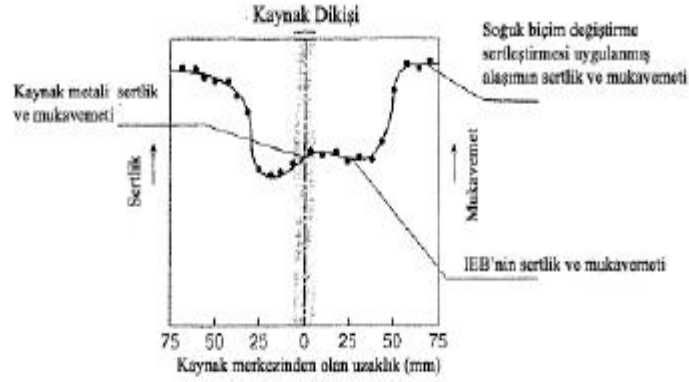
Kaynaktan önce oksit tabakasının temizlenmesi gereksinimi, gözenek oluşum tehlikesini azaltmak içindir. Bu tabakanın, kaynak sırasında kırılarak dağıtılmasının bir gereksinimi de eksik ergime ve oksit tutulmasından sakınmaktır. Daha önceden de bahsedildiği üzere, yüzeydeki oksit tabakası nem alma özeliğine sahiptir ve nem içinde bulunan hidrojen kaynak metaline geçebilmektedir. Oksit tabakasının çeşitli yöntemlerle temizlenmesi gereklidir. Bu amaçla, mekanik bir temizleme ya da çözücülerle kimyasal temizleme yapılabilir. Kaynak bölgesindeki oksitin yanısıra, yağ, gres veya diğer kirliliklerin yüzeyden özellikle kaynak ağızlarından uzaklaştırılması gerekir. Kaynak bölgesindeki oksit tabakası, daha önce çelik malzeme üzerinde kullanılmamış olan uygun taşlarla taşlanarak temizlenmesinin yanı sıra paslanmaz çelik fırçalarla temizlenir. Ağız bölgesinde oksitin yeniden oluşmasına izin verilmeden temizlik işlemi yapıldıktan en fazla 8 saat içinde kaynak işleminin tamamlanması gereklidir aksi takdirde yeniden oluşacak olan oksit tabakası kaynak kalitesini olumsuz etkiler. Şekil 20'de köşe kaynağında oksit tutulmasının bağlantının mukavemeti üzerindeki güçlü etkisi görülmektedir. Bu açıdan, kaynak öncesinde, oksit tabakasının çok iyi temizlenmesi ve temizleme ürünlerinin kaynak

ağız bölgesinden uzaklaştırılması gereklidir. Bu problem kaynak makinesi üreticileri tarafından bilindiğinden günümüzde, alüminyumun kaynağı için geliştirilmiş oksit kırma özeliğine sahip değışken kutuplamalı, alternatif akım ya da doğru akım kaynak makineleri da üretilmektedir.

Sıcak çatlama problemi, saf metallerde görülmeyen ancak alaşımlarda görülen bir kaynak problemidir ve yalnızca alüminyum alaşımlarında değıl aynı zamanda çelikler, nikel ve bakır alaşımlarında da ortaya çıkar. Kaynak metalinde katılma sırasında soğuk ağız cidarlarından başlayan ve metal orta eksenine doğru uzayan iğnemi tanelerin, alaşım içindeki katılma sıcaklığı daha yüksek olan katışkılarını ortaya doğru sürmesi ve bu bölgede katışkıcı zengin segregasyon bölgeleri ortaya çıkararak; bu bölgelerin soğuma sırasında oluşan gerilmelerden dolayı çatlama hassas duruma gelmesi sonucunda sıcak çatlaklar oluşur. Alüminyum ve alüminyum alaşımları durumunda özellikle ek kaynak metali bileşimi ile oynanarak ve de kaynak ağız aralıkları değıştirilerek bu sorunun önüne geçilmeye çalışılır.

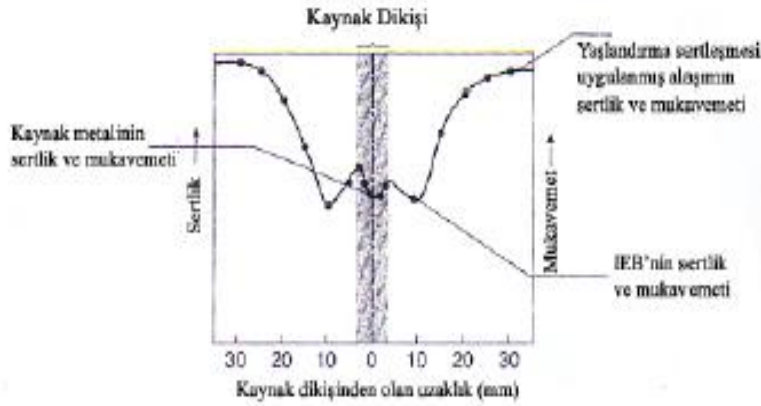
Kaynağına bağılı mukavemet azalması, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynak metallerinde ve IEB'lerinde ortaya çıkan bir durumdur. Bilindiğı üzere ergitme kaynak yöntemlerinde, kaynak metali, esas metal ve ek kaynak metalinin karışımından oluşmuş bir döküm yapısındadır. Kaynak metalinin özellikleri, ek kaynak metalinin tane boyutu, kalitesi ve bileşimine bağılı olarak değışir. Hızlı soğuma, çok ince tane yapıları veririrken yavaş soğuma, daha iyi mekanik özellikler kazandırır. Küçük boyutlu kaynak dikişleri, büyük boyutlu kaynak dikişlerinden daha iyi özelliklere ve daha yüksek sıcak çatlama direncine sahiptir. Kaynak metali mukavemet özelliklerini düzeltmek için uygun kaynak metalinin seçimi ve katı çözümlü mukavemetlendirmesi; yüksek kaynak metali mukavemeti sağlamada başlıca etkenlerdir. Bu açıdan, esas metalin mukavemetlendirme özellikleri ve uygun ek kaynak metali seçiminde titiz davranmak gerekmektedir. Örneğin; 6061 alüminyum alaşımında alternatif akım TIG kaynağı gerçekleştirilmesinde, 4043 alaşım tel kullanıldığında ve kaynaktan sonra kaynaklı parçalara yaşlandırma işlemi uygulandığında, maksimum çekme mukavemetlerinin 300 N/mm<sup>2</sup> olduğu; aynı alaşımın 4043 teli ile çok pasolu MIG kaynağında ise maksimum çekme mukavemetinin 230 N/mm<sup>2</sup> olduğu görülmüştür. 4043 teli yerine sadece % 0.2 Mg içeren 4643 teli kullanıldığında yaşlandırma ısı işlemi sonrasında MIG kaynaklı bağlantının da çekme mukavemetinin alternatif akım TIG kaynağı ile yapılmış olan ile aynı seviyeye çıktığı görülmüştür. Bu da alüminyum alaşımlarının kaynağı sırasında doğru ek kaynak metali seçiminin çok önemli olduğunun en önemli örneğidir.

Alüminyum ve alüminyum alaşımları; daha önceden de belirtildiğı gibi ya mekanik olarak (soğuk şekillendirme) ya da çökelme sertleştirilmesi (yaşlandırma) uygulanarak mukavemet özellikleri artırılan alaşımlardır. Bu özellikler, döküm durumunda veya tavlama durumunda ortadan kalkarak mukavemetin azalmasına neden olur. Soğuk şekillendirilmiş alaşımlarda ITAB'deki yeniden kristalleşmeye bağılı olarak mukavemet azalması ile karşılaşılır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı, ITAB'de 200°C ile 300°C arasındadır ve bu nedenden dolayı da tavlama ITAB yapısında da mukavemet azalır. Bu durum TIG kaynaklı 5xxx serisindeki bir alaşım için Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



**Şekil 4.19. Soğuk biçimlendirilmiş alaşımda mukavemet üzerine kaynağın etkisi.**

Benzer durum, ısıl işlem yapılabilir alaşımlarda da görülmektedir ve hatta soğuk şekillendirilerek sertleştirilmiş alaşımlardan daha karmaşık bir durumdur. Örneğin; 2xxx serisi alaşımlarda, çökteltelerin yeniden çözünmesi, mukavemet azalmasına; 6xxx ve 7xxx serisi alaşımlarda çökteltelerin aşırı yaşlanması veya irileşmesi, mukavemet azalmasına neden olmaktadır (Şekil 4.19.).



**Şekil 4.20. Yaşlandırma ile sertleştirilmiş 6061-T6 alüminyum alaşımında kaynaklı durumda kaynak ısı girdisinin sertlik ve mukavemet üzerine etkisi.**

Alaşım elementlerinin kaynak arkı içinde yanarak yani oksijen ile reaksiyona girerek azalması sonucunda da kaynak metallere mukavemet azalması bilinen bir gerçektir. Bu durum, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında da geçerlidir. Örneğin; lityumun oksijen ile reaksiyona girerek yanması ya da magnezyumun düşük kaynama sıcaklığı, magnezyum kaybına veya bazı alaşımlarda lityum kaybına neden olmakta ve böylece kaynak metallere mukavemetin azalması durumuyla karşılaşmaktadır ve uygulamada koruyucu gazın dikkatlice seçilerek bu problemleri minimuma indirilmesi gereklidir.[12]



## 4.6. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımlarının Kaynağında Dikkat Edilmesi Gereken Konular

Alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağı, az karbonlu çelikler ile karşılaştırıldığında bazı zorluklar göstermesine karşın, gerekli önlemler alınarak, uygun bir kaynak bağlantısı elde etmek olanağı vardır. Bu alaşımların kaynak kabiliyetini alüminyumun aşağıda belirtilen özellikleri sınırlamaktadır:

Alüminyum ve alaşımlarının yüzeyi çok yüksek sıcaklıkta (2050C) ergiyen refrakter karakterli bir oksit tabakası ile kaplıdır. Bu oksit tabakası çok sıkı bir şekilde yüzeyi sarar ve oksitlenmenin iç kısımlara doğru ilerlemesini önler. Kaynak sıcaklığında ergimeyen bu oksitin varlığı, kaynak dikişine elektrodun ergimesi ile geçer ve bağlantının sürekliliğini sağlayan damlacıkların bağ oluşturmaya engel olur; bunun yanı sıra kaynak banyosu içinde kalıp katılaştıran oksit tabakası, bağlantının mukavemetini azaltır.

Bu oksitin etkisini ortadan kaldırmak için alüminyum ve alüminyum alaşımlarının kaynağında özel yöntemler veya bu oksit ile bileşikler oluşturup curufa geçiren özel dekapanlar kullanmak gereklidir. Şiddetli bir şekilde korozif olan bu kaynak dekapanlarının kalıntıları, kaynak işleminden sonra, korozyonu önlemek açısından dikkatli bir temizlemeyi gerektirmektedir ve bu da hem zor olmakta ve hem de maliyeti artırmaktadır. Bazı alüminyum alaşımlarında, kaynak sırasında uygulanan ısı çevrim, ana katı çözültü içinde bulunan alaşım elementlerinin, ergimiş bölge veya esas metalde çökmesine neden olur ve bu olayda bağlantının mekanik ve kimyasal özelliklerinin esas metalden farklı olmasına yol açar. Alüminyumun düşük sıcaklıkta ergimesi ve ergiyen metalin tav rengi göstermemesi kaynak işlemini güçleştirmektedir; kaynak bölgesinin kaynak sıcaklığına erişip erişmediği ancak çok deneyimli kaynakçılar tarafından farkına varılabilmektedir.

Alüminyumun ısı iletkenliğinin yüksek olması, kaynak bölgesinde yerel sıcaklık yoğunlaştırmasını zorlaştırmakta ve birçok durumda ön tavı gerekli kılmaktadır. Alüminyumun ısı genleşme katsayısının yüksek olması, kaynak bölgesinde şiddetli şekil değişimlerine yol açmakta ve çarpılmaları artırmaktadır [12].

# BÖLÜM 5

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. MALZEME VE AMAÇ

Deney malzemeleri olarak AA5083 ve AA6013 serileri alüminyum alaşımları seçilmiştir. Yapılan literatür taramalarında 5083 alaşımının korozyon dayanımı ve mukavemet gerektiren kullanımlarda, 6013 alaşımının ise şekillendirme kabiliyeti ve kaynak kabiliyeti gerektiren kullanımlarda öne çıktığı tespit edilmiştir. Ayrıca 6013 alaşımının mukavemet özelliklerinin yaşlandırma ile yükseltilebildiği, 5083 alaşımına ise ısıtma işlemi uygulanmadığı ancak soğuk şekillendirme ile sertleştirilebildiği bilinmektedir.

Kaynak kabiliyeti, mukavemet özellikleri ve ısıtma işlemine uygunluk bakımından farklılık gösteren bu iki alaşıma iki farklı elektrot teli (AlSi12 – AlSi5) kullanılarak TIG kaynak yöntemi ile kaynak uygulaması yapılmıştır ve 5083-AlSi12-5083, 5083-AlSi5-5083, 6013-AlSi12-6013, 6013-AlSi5-6013, 5083-AlSi12-6013, 5083-AlSi5-6013 olarak altı farklı numune parametresi elde edilmiştir. Numunelerin mikro sertlik taramaları, çekme, Charpy ve üç nokta eğme deneyi sonuçları incelenerek karşılaştırılmıştır.

Değişken parametreleri olarak şunlar seçilmiştir:

- Esas metallerin ikisi de AA5083 olan ve AlSi5 elektrot teli ile kaynatılmış numuneler : 5083-AlSi5
- Esas metallerin ikisi de AA5083 olan ve AlSi12 elektrot teli ile kaynatılmış numuneler : 5083-AlSi12
- Esas metallerin ikisi de AA6013 olan ve AlSi5 elektrot teli ile kaynatılmış numuneler : 6013-AlSi5
- Esas metallerin ikisi de AA6013 olan ve AlSi12 elektrot teli ile kaynatılan numuneler : 6013-AlSi12
- Esas metallerin birisi AA5083, diğer AA6013 olan ve AlSi5 elektrot teli ile kaynatılan numuneler : 5083-AlSi5-6013
- Esas metallerin birisi AA5083, diğer AA6013 olan ve AlSi12 elektrot teli ile kaynatılan numuneler : 5083-AlSi12-6013

Bunlara ek olarak 6013 alaşımının olduğu 6013-ALSi12-6013, 6013-ALSi5-6013, 5083-ALSi12-6013, 5083-ALSi5-6013 kaynak numunelerinin bir kısmı yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulacak, sertlik taraması yapılacak, charpy ve üç nokta eğme sonuçları önceki sonuçlarla karşılaştırılarak incelenecektir.

## 5.2. DENEY MALZEMELERİNİN STANDART VE ÖZELLİKLERİ

Deneysel malzemeleri olarak AA5083 ve AA6013 alüminyum alaşımları kullanılmıştır, kaynak telleri olarak ALSi12 ve ALSi5 seçilmiştir. Aşağıdaki tablolarda kullanılan numune malzemelerinin kimyasal kompozisyonları ve mekanik özellikleri verilmektedir :

**Tablo 5.1. 6013 ve 5083 Alüminyum Alaşımlarının Bileşim Limitleri**

ABD AA	Almanya DIN	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Cr
6013	AlMg1Si0,8CuMn	0,5	0,6 – 1,00	0,6 – 1,10	0,2 – 0,8	0,8 – 1,2	0,25	0,10	0,10
5083	AlMg4,5	0,40	0,40	0,10	0,4 – 1,00	4,0 – 4,9	0,25	0,15	0,05 – 0,25

**Tablo 5.2. AA6013 ve AA5083 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri**

Alaşım	Temper -	Akma Mukavemeti (MPa) min - max	Çekme Mukavemeti (MPa) min - max	Uzama (%50) min - max	Sertlik (Brinel) min - max
AA6013	T651	359	379	5	Max130
AA5083	HX2	205-240	310-330	16	85-90

### 5.3. Numunelerin Kaynak İşlemi İçin Hazırlanması ve Kaynak Parametreleri

100x20x5 ve 100x10x5mm boyutlarındaki AA6013 ve AA5083 malzemeler hidrolik şerit testere yardımı ile kesilerek hazırlandı. Parçalara standartlara uygun olarak V kaynak ağızları açıldı. Yüzeydeki oksit tabakası tel fırça yardımıyla mekanik olarak temizlendi. Küt alın pozisyonunda kaynak işlemi yapıp ve ek kaynak teli olarak AISi12 ve AISi5 kullanıldı.

Kaynak işlemi sırasında torç soldan sağa doğru hareket ettirildi. Çatlak oluşumundan kaçınmak amacıyla dikeye parça kenarından değil, birkaç cm. bir ökçe üzerinden başlandı. Elektrod olarak tungsten elektrot, torç ucundan 3-5mm dışarıda, küt alın formunda kullanıldı. Koruyucu gaz olarak ise argon gazı kullanıldı. Kaynak parametreleri Tablo 5.3. da, kaynak tellerinin analizi ve mekanik özellikler Tablo 5.4. ve Tablo 5.5 te verilmiştir.

**Tablo 5.3. Kaynak Parametreleri**

<b>Kullanılan Akım</b> :	Alternatif Akım
<b>Gaz Akış Debisi</b> :	7 lt/dk
<b>Elektrod Tipi,Çapı</b> :	Tungsten 2,4 mm
<b>Balans Aralığı</b> :	4(alternatif akım)
<b>Kaynak Hızı</b> :	3 mm/sn
<b>Kaynak Akımı</b> :	70 Amper
<b>Koruyucu Gaz</b> :	Argon

**Tablo 5.4. AISi12 ve AISi5 Kaynak Tellerinin Tipik Analizi (%)**

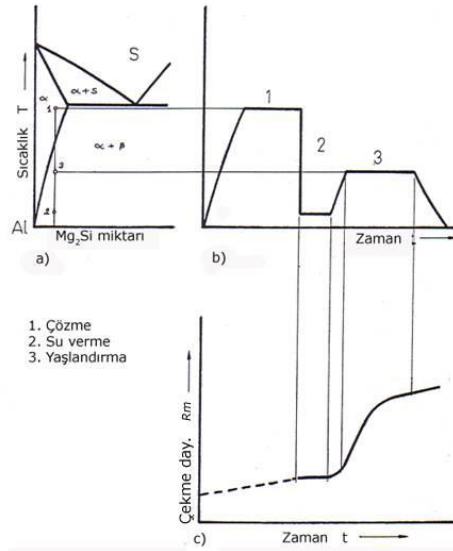
<b>Elektrot</b>	<b>Si</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Cu</b>	<b>Mg</b>	<b>Ti</b>	<b>Al</b>
AISi12	12	0,15	0-60	0,20	-	-	88
AISi5	5	0,05	0,40	-	0,05	0,15	88

**Tablo 5.5. AISi12 ve AISi5 Kaynak Tellerinin Mekanik Özellikleri**

<b>Elektrot</b>	<b>0.2 % Akma Mukavemeti [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Çekme dayanımı [N/mm<sup>2</sup>]</b>	<b>Uzama [%]</b>
AISi12	>60	>130	>5
AISi5	>40	>120	>8

## 5.4. DENEY MALZEMELERİNİN ÇÖKELTME SERTLEŞTİRME İŞLEMİ

TIG Kaynak Yöntemiyle kaynak edilerek hazırlanan AA5083 ve AA6013 deney numunelerinden her iki tarafında ve tek tarafında AA6013 alaşımını bulunduranlar ısıtım programına tabi tutularak çökeltme sertleşmesi programına tabi tutulmuştur. Suni yaşlandırma işleminin yapılışı aşağıdaki şematik grafikte izah edilmektedir (Şekil 5.1.)



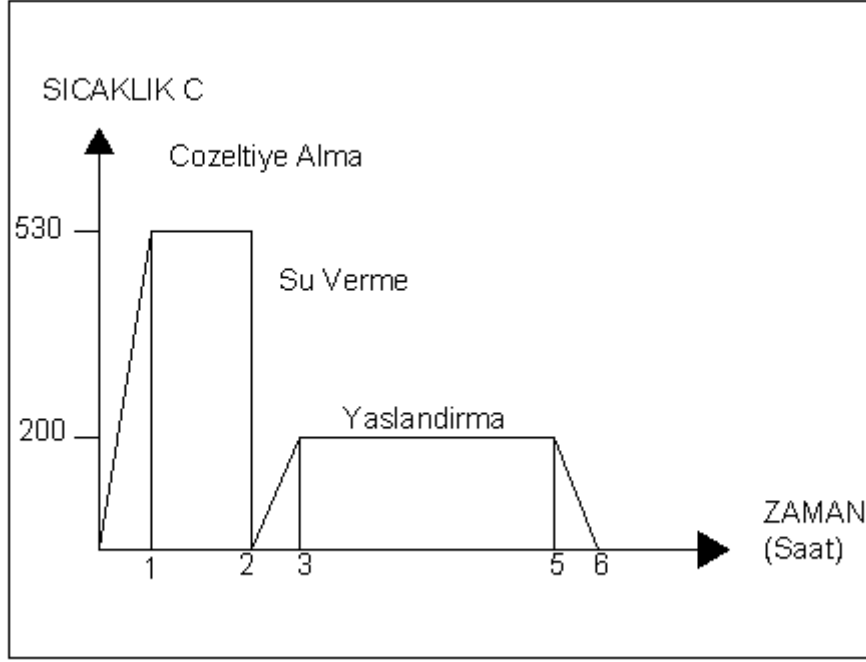
Şekil 5.1. Suni Yaşlandırma İşleminin Sıcaklık Zaman Grafiği



## Şekil 5.2. Isıl İşlemden Kullanılan Fırın

Aşağıdaki maddeler göz önüne alınarak deney numuneleri için işlem sıcaklıkları tespit edilmiş ve grafikleri çizilmiştir (Şekil 5.3)[32].

- İşleme tabi tutulacak deney numunelerinin kalınlığı
- Isıtma fırınının tipi, boyut ve kapasitesi
- İşlem görececek numunelerin kimyasal bileşimi



Şekil 5.3. Yapılan Isıl İşlem Programının Sıcaklık-Zaman Grafiği

## 5.5. Mikro Sertlik Testi

Sertlik bir malzemenin, kendisinden çok daha sert başka bir uç veya parçanın çizmesine, batmasına, genel olarak kalıcı şekil değiştirmesine karşı göstermiştir olduğu dirençtir. Malzeme yüzeyinde statik yükleme ile plastik deformasyon üreterek sertlik ölçülmesi, en yaygın ve hassasiyetle, sayısal sonuçları tekrarlanabilir bir şekilde ulaşılabilen sertlik ölçme yöntemlerinin temelini oluşturur. Geometrisi tarif edilen sert (genellikle elmas) uçlara düşük yüklemelerle (10 2N – 2N) üretilen çok küçük kalıcı izlerin değerlendirilmesiyle yapılan sertlik ölçme sistemleri mikrosertlik ölçümleri olarak tanımlanır.

Vickers sertlik ölçümleri öncesinde kaynaklı yüzeyler zımpara ve parlatma işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Her bir şarttaki numune için genel olarak 1mm aralıklarla ana metal, ITAB ve kaynak metalinden ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde 136° elmas piramit uç kullanıldı. 10 gram'dan 1000grama

kadar yük uygulanabiliyor. Cihaz 10–40 büyütme yapabiliyor.5 saniyeden 30 saniyeye kadar yük uygulayabiliyor (Şekil 5.4). Çalışmamızda 60gr yük, 10sn. kullanılmıştır.



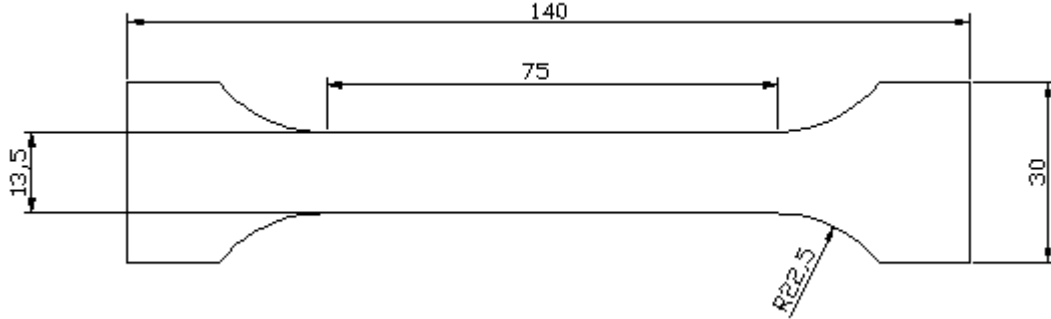
**Şekil 5.4. Kullanılan Mikro Sertlik Ölçme Cihazı**

## **5.6. Çekme Testi**

Çekme deneyi, bir malzemenin yük taşıma yeteneği ile yükleme sırasındaki şekil değiştirme (uzama) davranışlarının belirlendiği bir ölçme yöntemidir. Bu çalışmada kaynak numuneler ile ana malzemenin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan çekme testleri, çekme kapasitesi 100kN olan SHIMADZU AG-IS çekme cihazında (Şekil 5.5) 2 mm/dak hız ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler TS 138 EN 10002-1 standartlarına uygun olarak üretilmiştir.(Şekil 5.6.)



Şekil 5.5. Çekme Deneyinde Kullanılan Çekme Cihazı



Şekil 5.6. Çekme Deney Numunelerinin Boyutları

## 5.7. Eğme Testi

Kaynaklı birleştirmelerde, kaynak mukavemeti ve kalitesi yönünde hızlı ve pratik yorum yapabilmek için eğme testi yapılmaktadır. Konvansiyonel ergitme kaynağında kaynak kökü kaynak yüzeyine göre daha zayıf olduğu için eğme testleri kaynak kökü dışarı gelecek şekilde gerçekleştirilir .

Kaynak yönüne dik olarak hazırlanan eğme numuneleri (200x20 mm ölçülerinde), eksenler arası mesafesi 49,5 mm, basma silindir çapı 10 mm ve eğme hızı 3 mm/s, max kuvvet 90 kN olan eğme

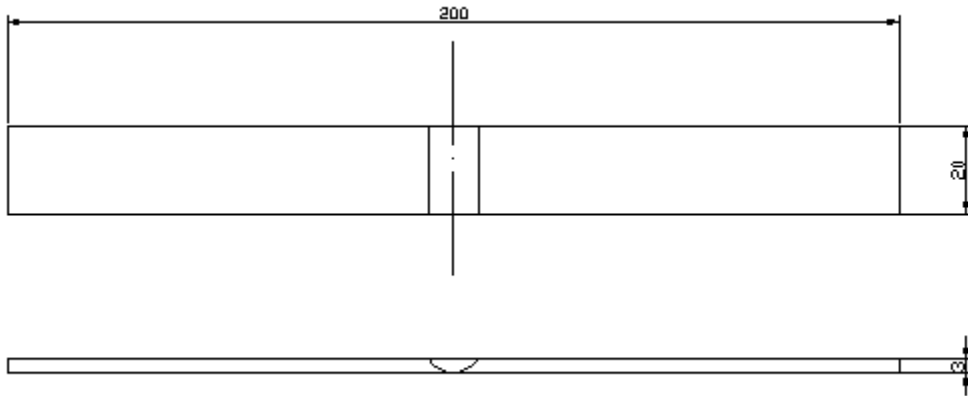


cihazında kaynak yüzeyi dışa gelecek şekilde bükülmüştür. Eğme testi numuneleri ve uygulaması şekil 5.8.'da gösterilmiştir.

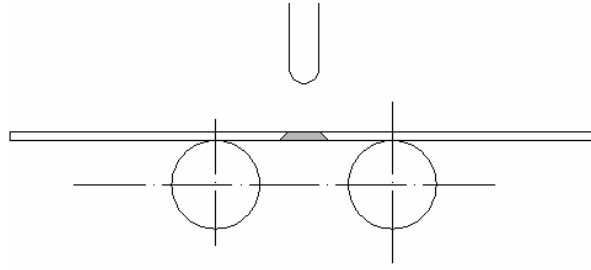
Numuneler TSE EN 910 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil 5.7.)



Şekil 5.7. Eğme Deneyinde Kullanılan Eğme Deney Cihazı



Şekil 5.7. Eğme Deney Numunelerinin Boyutları

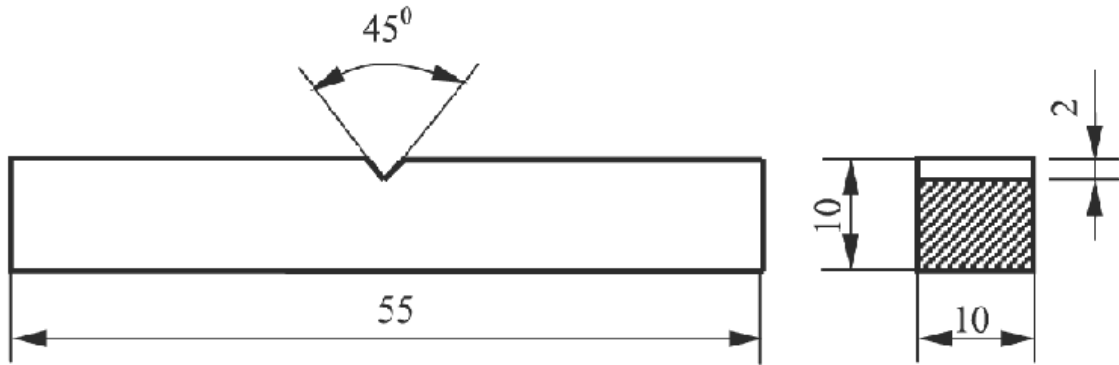


Şekil 5.8. Eğme Deneyinin Şematik Gösterimi

## 5.8. Darbe Tokluk Deneyi

Darbe deneyi metallerin özellikle gevrek kırılmaya müsait koşullardaki mekanik özellikleri hakkında sağlam bir fikir elde etmek amacıyla uygulanır. Darbe dinamik bir deneydir. Darbe enerjisini ölçmek için Charpy ve Izod testleri kullanılır. Malzemenin tokluğu gerilme-gerinim eğrisinden (statik yük altında) hesaplanabilmesine rağmen darbe deneyi ile malzemenin darbeli yük altında tokluk değeri elde edilir.

Yaptığımız çalışmada malzemeler charpy darbe deneyi standartlarına (TS EN 10045-1) uygun olarak hazırlanmış, çentikler kaynak bölgesine ve ana metale açılarak, ana metal ile kaynak bölgesinin tokluk değeri arasında karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 5.9. Charpy Darbe Deneyi Numune Boyutları

# BÖLÜM 6

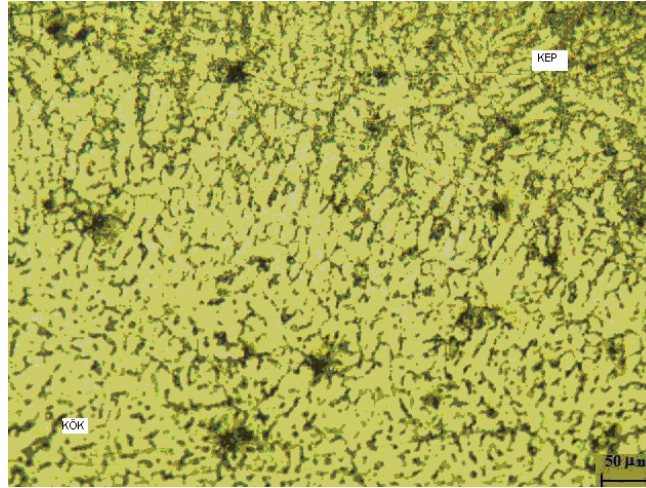
## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

### 6.1. METALOGRAFİ DENEYİ SONUÇLARI

#### 6.1.1. AISi12 KAYNAKLI NUMUNELERİN METALOGRAFİ SONUÇLARI

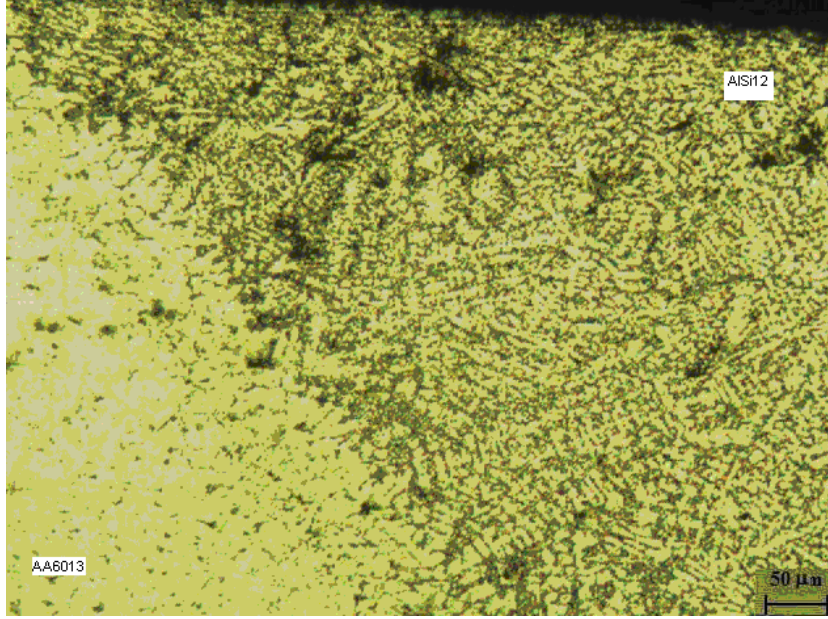
Dağlayıcı olarak 200mL H<sub>2</sub>O, 1mL HF kullanılmıştır ve numune 20 sn. süre ile dağlayıcıya tutulmuştur.

Şekil 6.1.'de Kaynak Kep bölgesinden Kök bölgesine geçerken dendrit olan tane şeklinin yuvarlaklaştığı görülmektedir. Bu Kep ile geçiş bölgesi arasında ekstra bir geçiş bölgesi oluşturmaktadır.



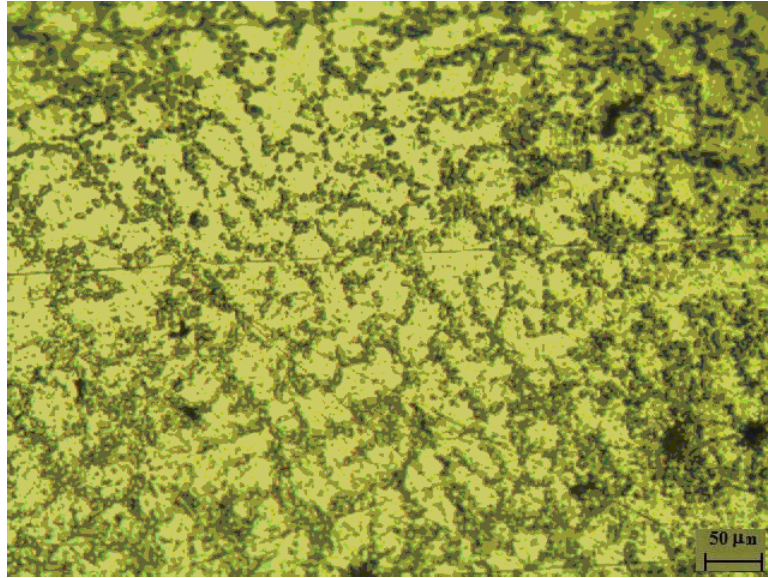
**Şekil 6.1. AISi12 Kep bölgesinden kök bölgesine doğru geçiş**

Şekil 6.2.'de AISi12 kaynaklı numunenin kaynak-kep bölgesinden AA6013 esas metale geçiş gösterilmiştir. Üst bölgelere gittikçe tane sayısının arttığı, dendritleşme olduğu görülmektedir



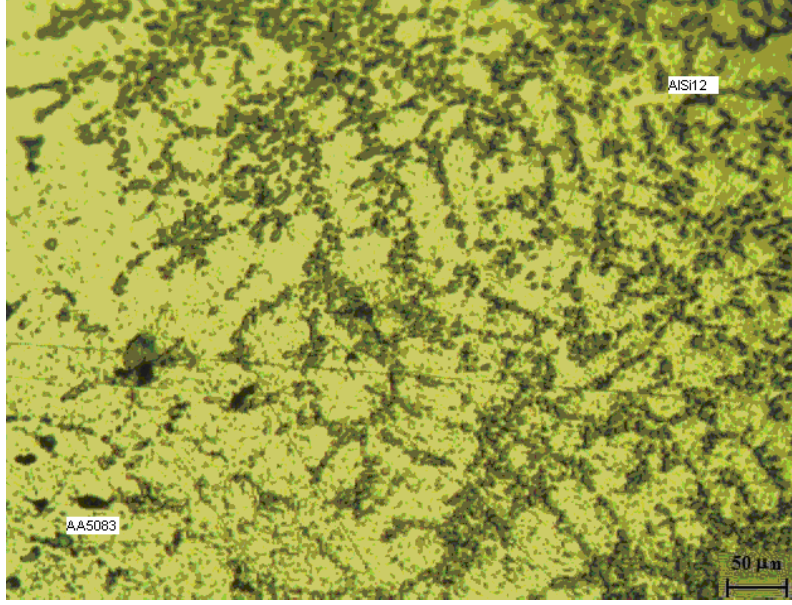
**Şekil 6.2. Kaynağın kep Bölgesinden AA6013 esas metale geçiş**

Şekil 6.3.'te kaynak-kök bölgesi gösterilmektedir. Kep bölgesinde dendrit olan taneler kök bölgesinde yuvarlaklaşmışlardır.

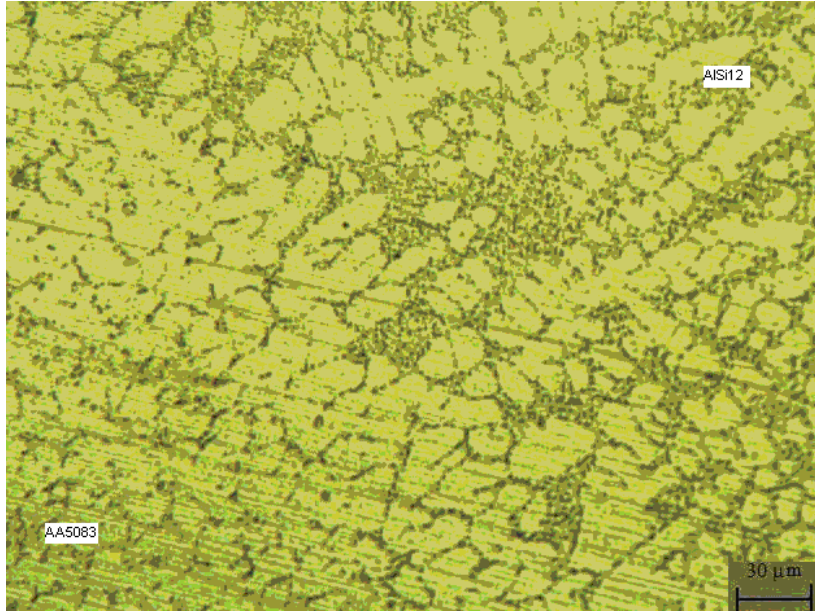


**Şekil 6.3. AISI12 Kaynak-Kök Bölgesi**

Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'te kaynak bölgesinden AA5083 esas metale geçiş görülmektedir. Tanelerde yönlendirme vardır.

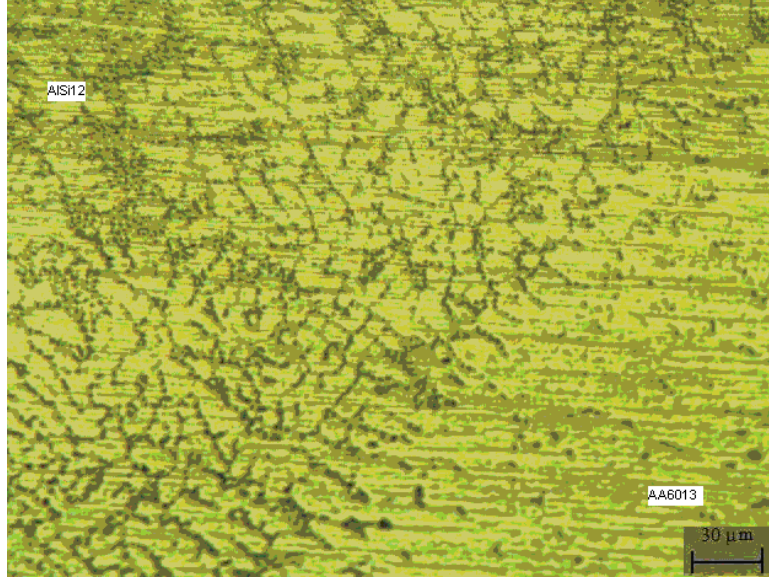


**Şekil 6.4. Kaynak-AA5083 Geçiş**



**Şekil 6.5. Kaynak Bölgesinden AA5083 Esas Metale Geçiş**

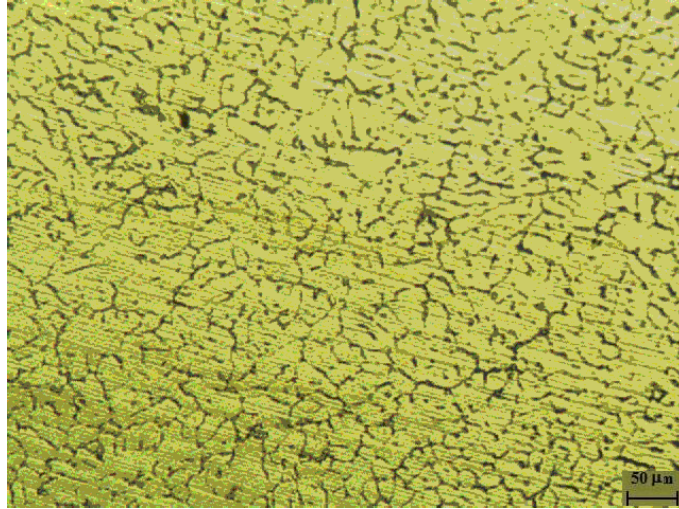
Şekil 6.6'da Kaynak Bölgesinden AA6013 esas metale geçiş gösterilmektedir. Tanelerde yönelme mevcuttur.



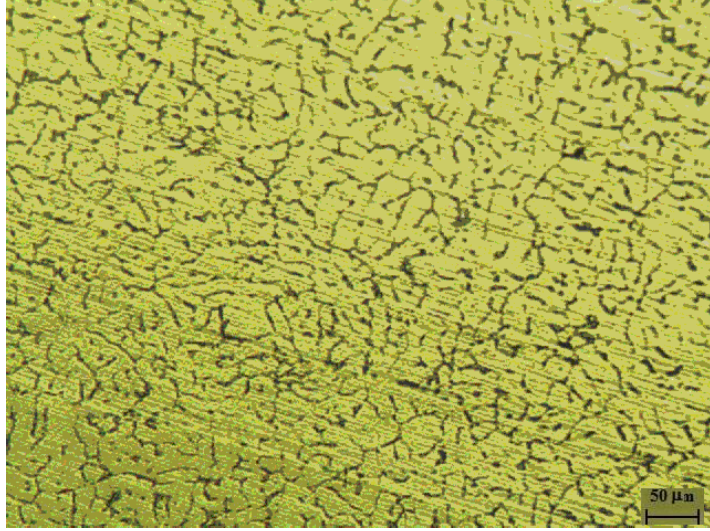
**Şekil 6.6. Kaynak Bölgesinden AA6013 Esas Metale Geçiş**

## **6.1.2. AISi5 KAYNAKLI NUMUNELERİN METALOGRAFİ SONUÇLARI**

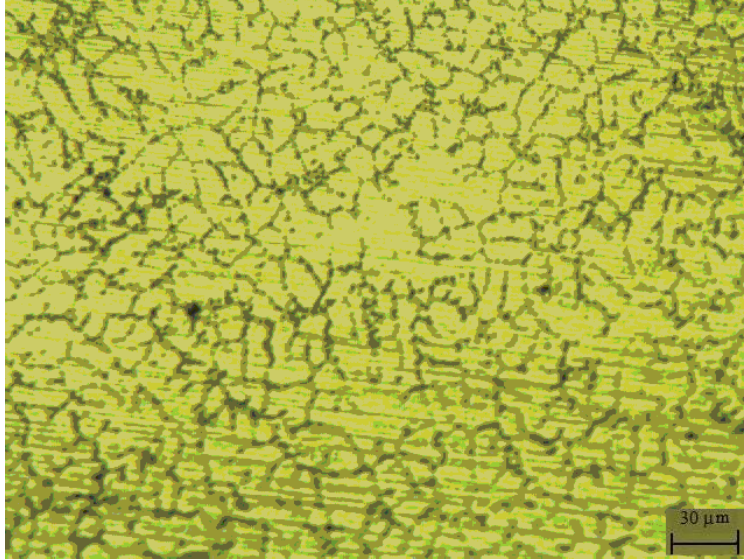
Şekil 6.7.'de Kaynak-kep bölgesi, Şekil 6.8.'de Kaynak-Kök bölgesi ve Şekil 6.9.'da kaynak bölgesi gösterilmiştir. AISi12'de olan geçiş durumu AISi5'te görülmemektedir.



**Şekil 6.7. AISi5 Kaynak Bölgesi - Kep**

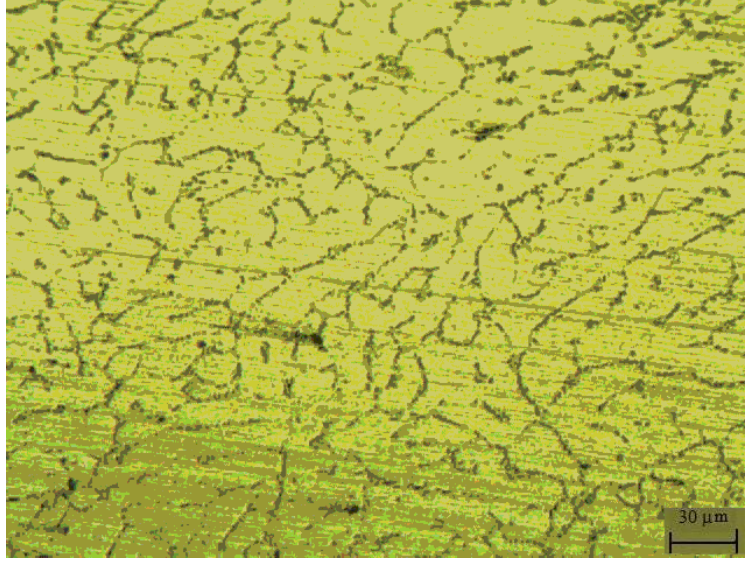


**Şekil 6.8. AISi5 Kaynak Bölgesi - Kök**

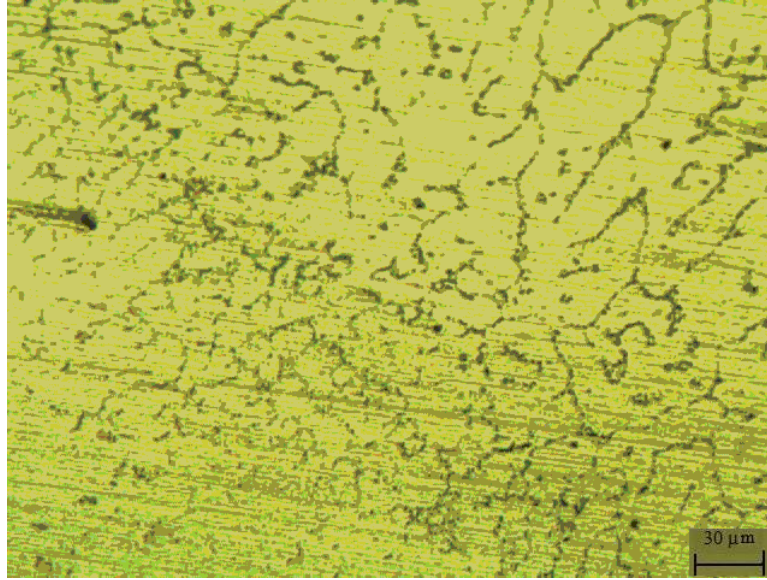


**Şekil 6.9. AISi5 Kaynak Bölgesi**

Şekil 6.10.'da Kaynak bölgesinden AA5083 esas metale geçiş, Şekil 6.11.'de Kaynak Bölgesinden AA6013 Esas metale geçiş görülmektedir. Tane yönlenmesi mevcuttur.



**Şekil 6.10. Kaynak Bölgesinden AA5083 Esas Metale Geçiş**

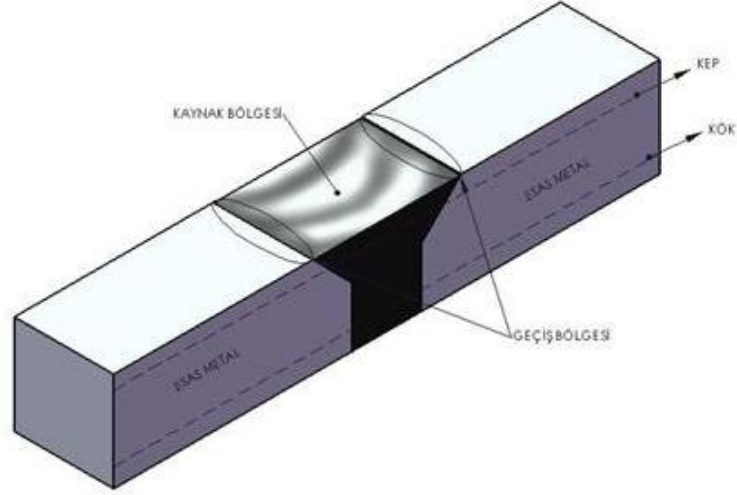


**Şekil 6.11. Kaynak Bölgesinden 6013 Esas Metale Geçiş**

## **6.2. MİKRO SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI**

Yaptığımız çalışmada her değişkene ait malzemelerden mikro sertlik ölçümü için, kaynak bölgesi ortaya gelecek şekilde 50 mm lik numuneler hazırlanmıştır. Sertlik ölçümleri, KEP ve KÖK bölgesinden olmak üzere Anametal -Geçiş Bölgesi – Kaynak Bölgesi – Geçiş Bölgesi – Anametal şeklinde yapılmıştır (Şekil 6.12.). Her parametre ayrı ayrı ve birbirleriyle karşılaştırmalı olarak verilmiş ve yorumlar yapılmıştır.

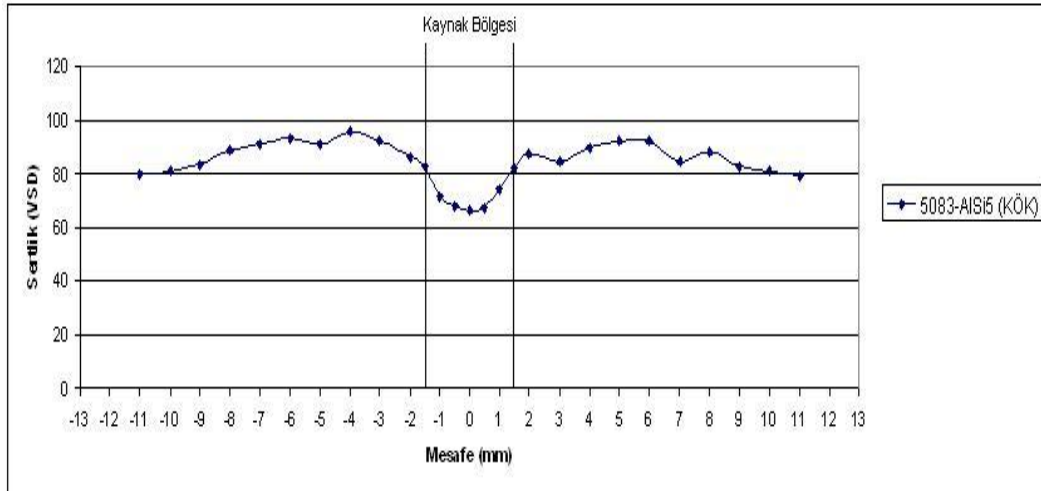




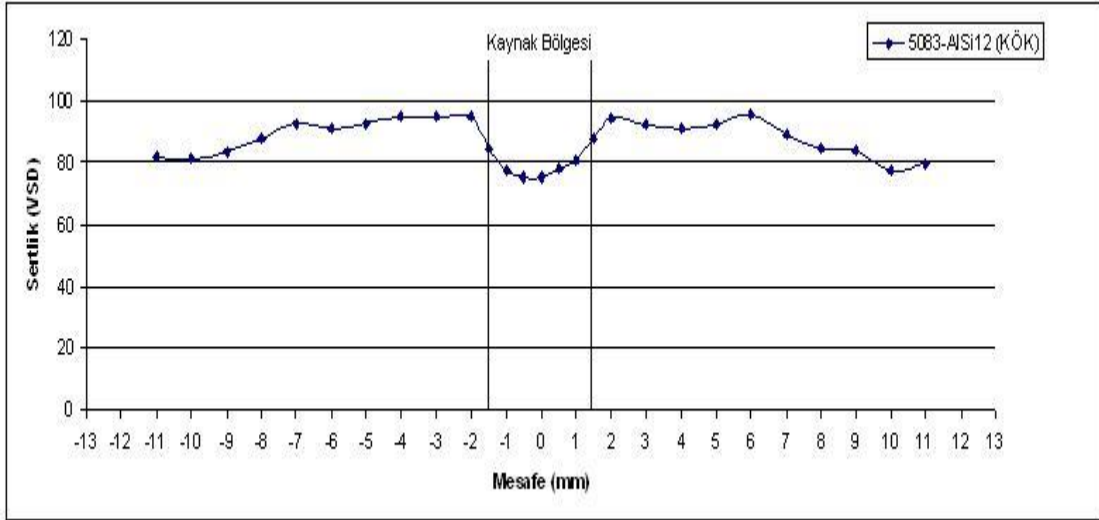
Şekil 6.12. Mikro Sertlik Ölçümü Yapılan Numunenin Görünümü

## 6.2.1. KÖK BÖLGESİ MİKRO SERTLİK SONUÇLARI

Şekil 6.13.'te AISi5 kaynaklı, Şekil 6.14.'te AISi12 kaynaklı AA5083 alüminyum alaşımlarının mikro sertlik sonuçları gösterilmektedir. Esas metal ve geçiş bölgelerinde mikro sertlik sonuçlarının benzer değerler verdiği ancak AISi12 kaynak bölgesinin AISi5 kaynak bölgesine göre daha yüksek sertlik değerlerine ulaştığı görülmektedir

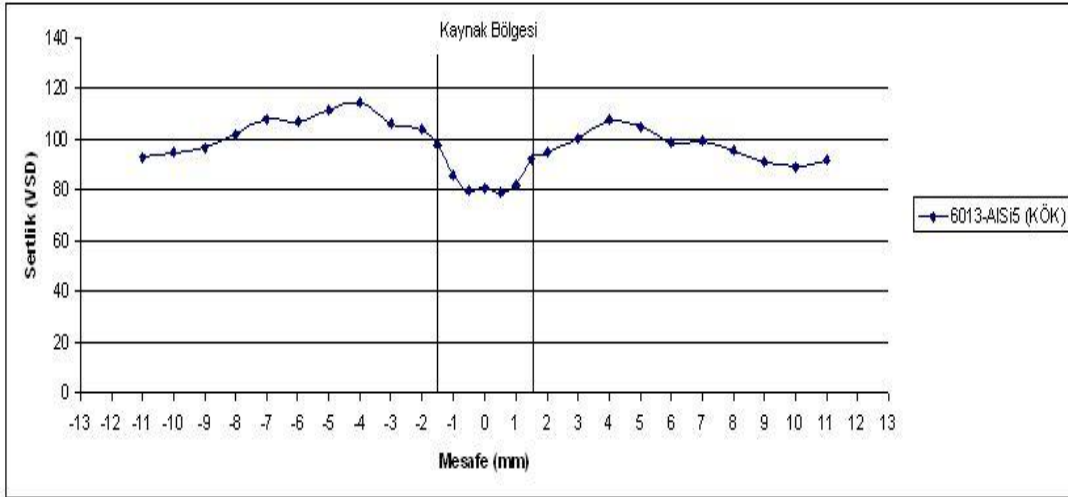


Şekil 6.13. 5083-AISI5 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı

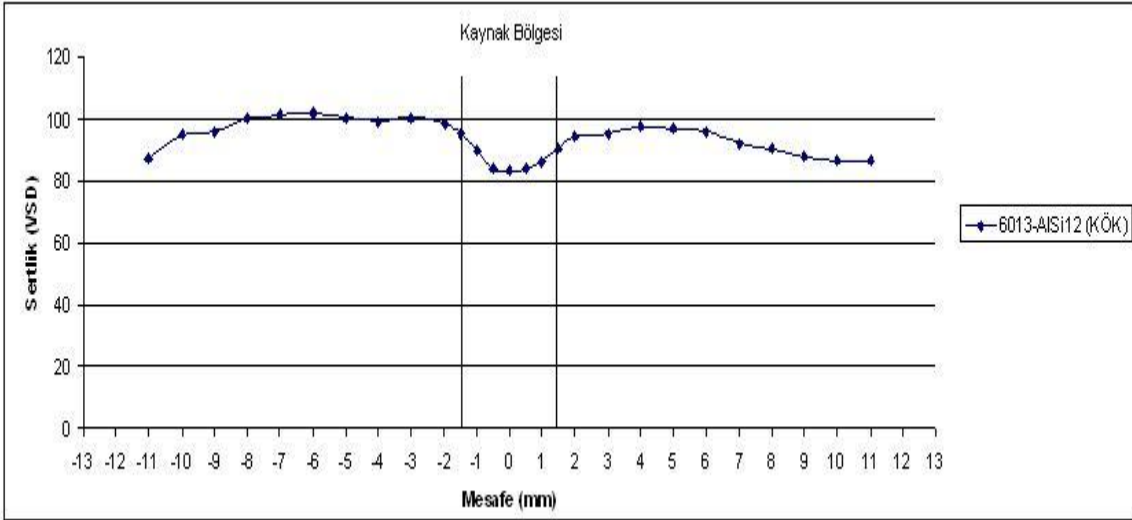


**Şekil 6.14. 5083-AISI12 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı**

Şekil 6.15.'te AISi5 elektrot teli ile kaynatılmış, Şekil 6.16.'da AISi12 teli ile kaynatılmış AA6013 alüminyum alaşımına ait mikro sertlik sonuçları verilmektedir. Grafiklerden, esas metal ve geçiş bölgelerinde değerlerin birbirine yakın olduğu, kaynak bölgesinde ise, AISi12 elektrot teli kaynatılan bölgenin sertlik değerinin, AISi5 elektrot teli ile kaynatılan bölgeye göre daha yüksek olduğu görülmektedir.

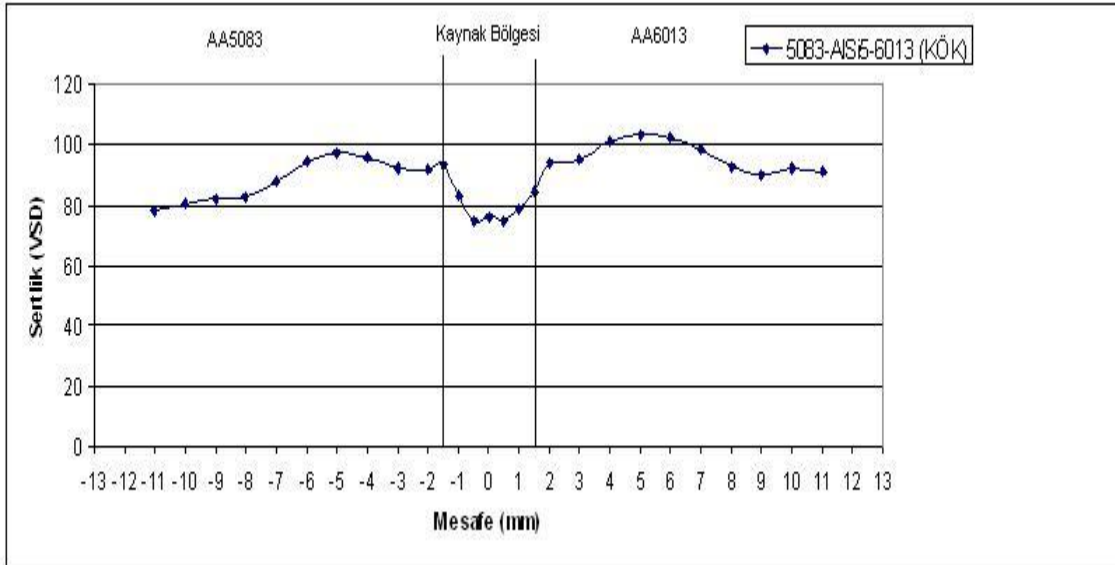


**Şekil 6.15. 6013-AISI5 Kök Bölgesi Sertlik Dağılımı**

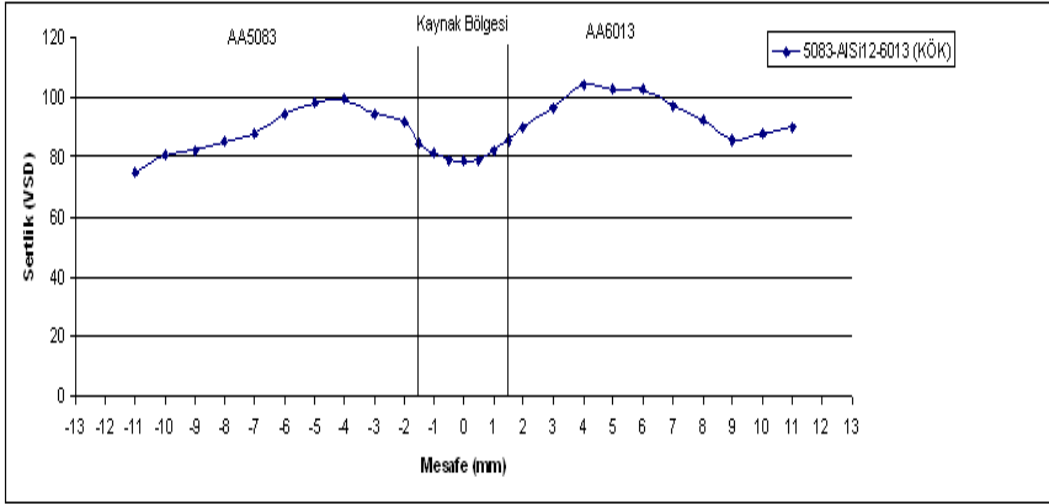


**Şekil 6.16. 6013-AISI12 Kök Bölgesi Sertlik Dağılımı**

Şekil 6.17.'de 5083-AISI5-6013, şekil 6.18.'de ise 5083-AISI12-6013 numunelerinin mikro sertlik sonuçlarına ait grafikler görülmektedir. Grafiklerde AA6013 alüminyum alaşımının, AA5083 alüminyum alaşımına göre sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca AISi12 elektrot teli ile kaynatılmış numunenin kaynak bölgesi ile esas metal arasındaki geçişin, AISi5 elektrot teli ile kaynatılmış numuneninkine göre daha yumuşak olduğu görülmektedir.



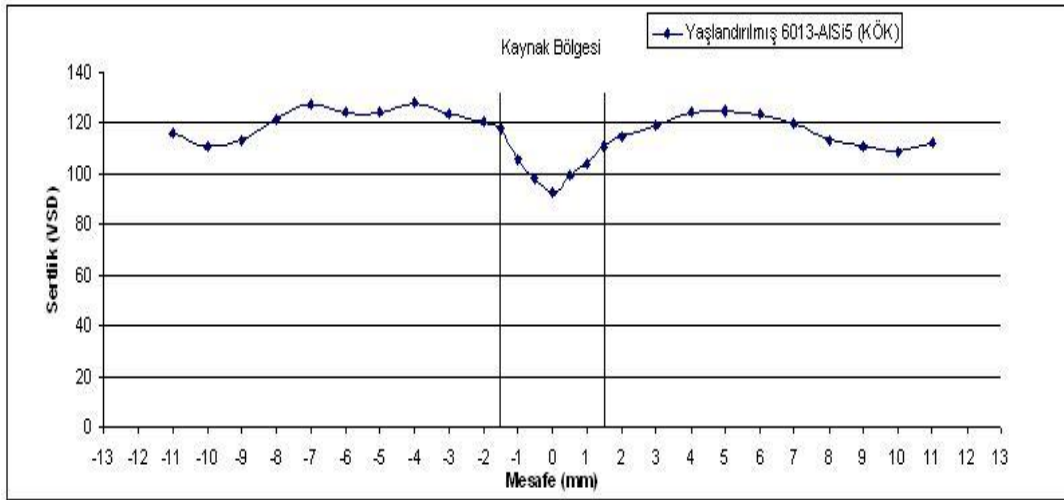
**Şekil 6.17. 5083-AISI5-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı**



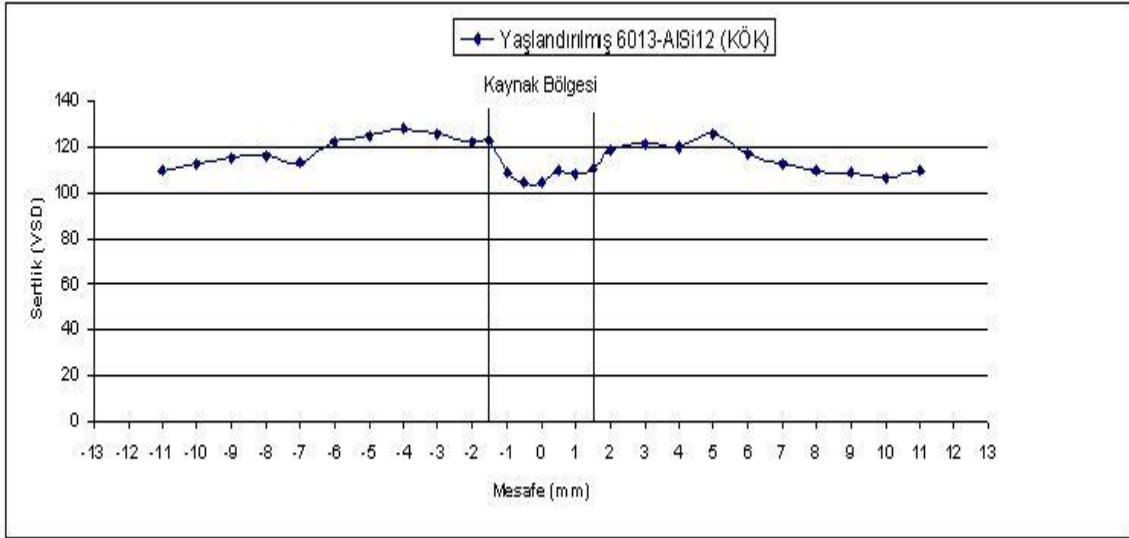
**Şekil 6.18. 5083-AISI12-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı**

Şekil 6.19.'da yaşlandırılmış 6013-AISI5 ve Şekil 6.20.'de yaşlandırılmış 6013-AISI12 numunelerinin mikro sertliklerine ait grafikler verilmiştir. Bu numunelerin yaşlandırılmamış sertlik değerleri Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'te verilmiş. Grafikler karşılaştırdığında yaşlandırma sonucunda hem AISi5 ile kaynatılan hem AISi12 ile kaynatılan numunelerin sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir.

Sertleşme hem AISi5 hem de AISi12 ile kaynatılan AA6013 esas metaller için yakın değerler göstermektedir. Ancak AISi12 kaynak bölgesi AISi5 kaynak bölgesine göre daha çok sertleşmiştir

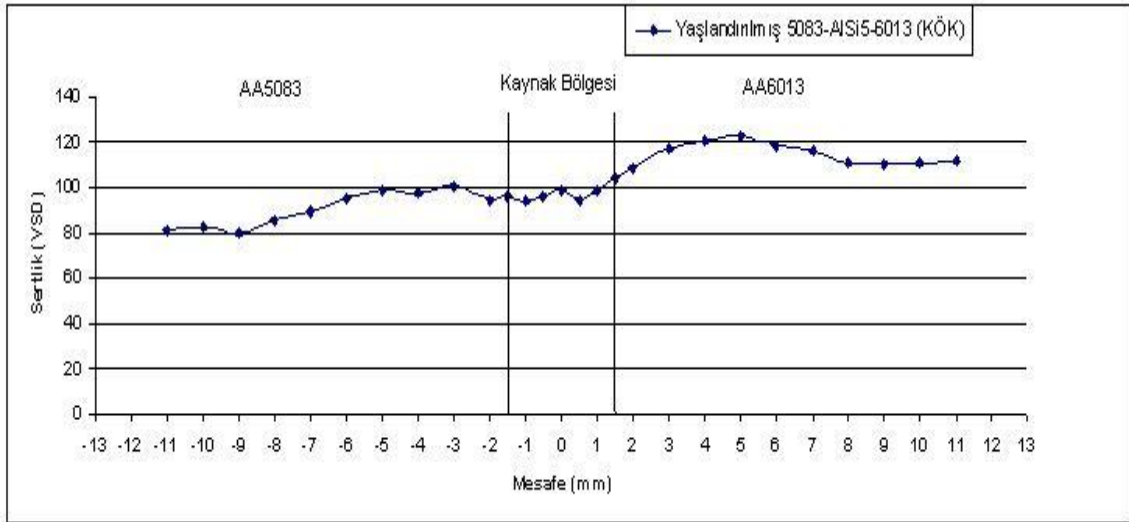


**Şekil 6.19. Yaşlandırılmış 6013-AISI5 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı**

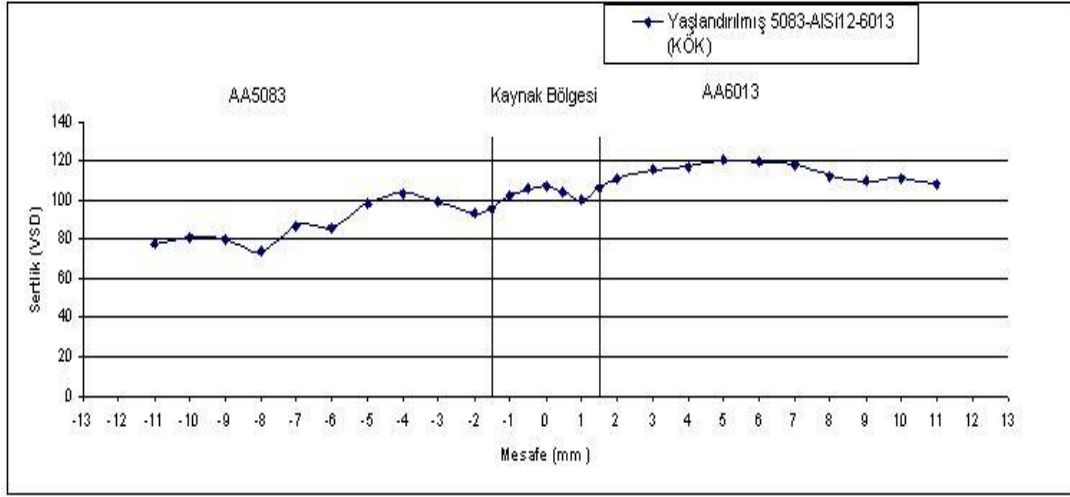


**Şekil 6.20. Yaşlandırılmış 6013-AISI12 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı**

Şekil 6.21. ve Şekil 6.22. de yaşlandırılmış 5083-AISI5-6013 ve yaşlandırılmış 5083-AISI12-6013 numunelerinin kök bölgelerine ait sertlik grafikleri verilmiştir. Yaşlandırma işlemi sonrası AA5083 alaşımı ile kaynak bölgesi arasındaki uyumsuzluk ortadan kaldırılmıştır. AA6013 ile kaynak bölgesi arasında da daha yumuşak sertlik geçişleri elde edilmiştir. Bu durumu sağlayan etmen, AA5083 alaşımının çökeltme sertleştirilmesi ile sertleştirilemezken, kaynak bölgesinde ve AA6013 alaşımının da sertlik değerlerinin artması ve AA5083 ile kaynak bölgesi arasında benzer değerler elde edilmesidir.



**Şekil 6.21. Yaşlandırılmış 5083-AISI5-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı**

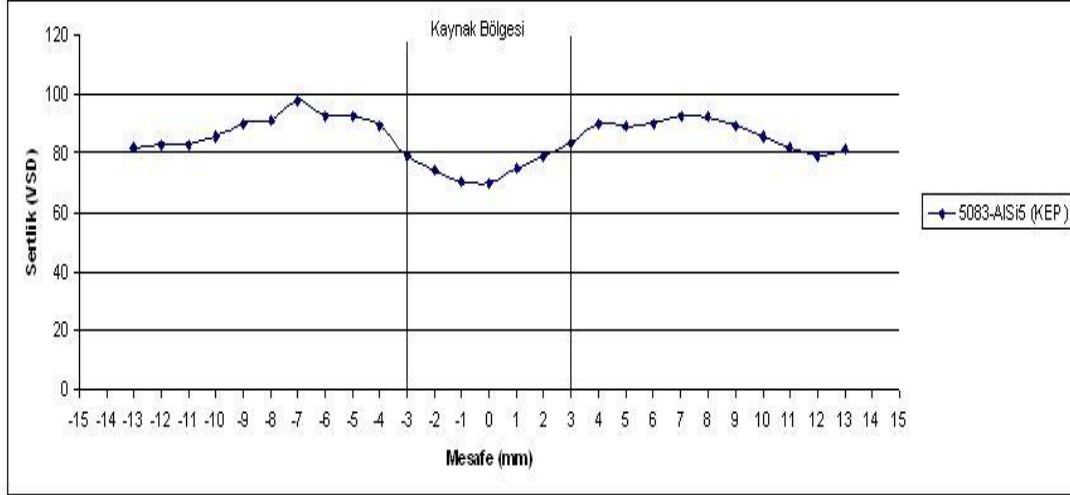


**Şekil 6.22. Yaşlandırılmış 5083-AISI12-6013 KÖK Bölgesi Sertlik Dağılımı**

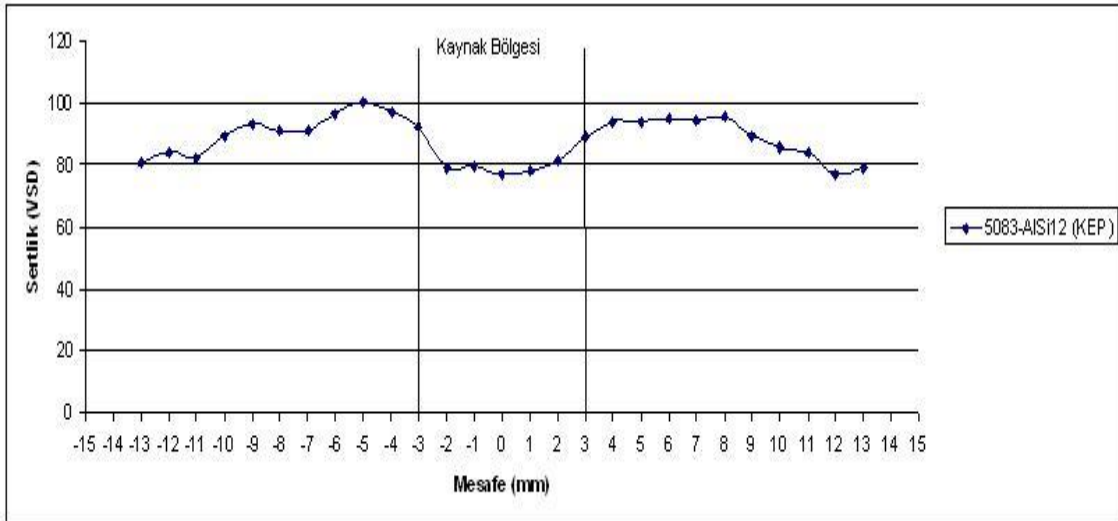
Numunelerin kök bölgelerine ait sertlik grafiklerine genel olarak baktığımızda AA6013 alaşımının AA5083 alaşımına göre daha sert olduğu, AISi12 kaynak bölgesinin AISi5 kaynak bölgesine göre daha sert olduğu görülmektedir. Yaşlandırma işlemi sonucunda AA5083 alüminyum alaşımında sertleşmenin gerçekleşmediği ancak geçiş bölgesinde bir miktar sertlik artışı olduğu görülmektedir. Bu durumun AA5083 esas metalle, kaynak bölgesi arasında ki uyumsuzluğu giderdiği görülmüştür.

## 6.2.2. KEP BÖLGESİ MİKRO SERTLİK SONUÇLARI

Şekil 6.23.'te 5083-AISI5'nin, Şekil 6.24.'te 5083-AISI12'nin kep bölgelerine ait sertlik grafikleri verilmiştir. Grafiklerde esas metale ait sertlik değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Ancak AISI12 kaynak bölgesinin sertlik değerleri, AISI5 kaynak bölgesinin sertlik değerlerine göre daha yüksektir.

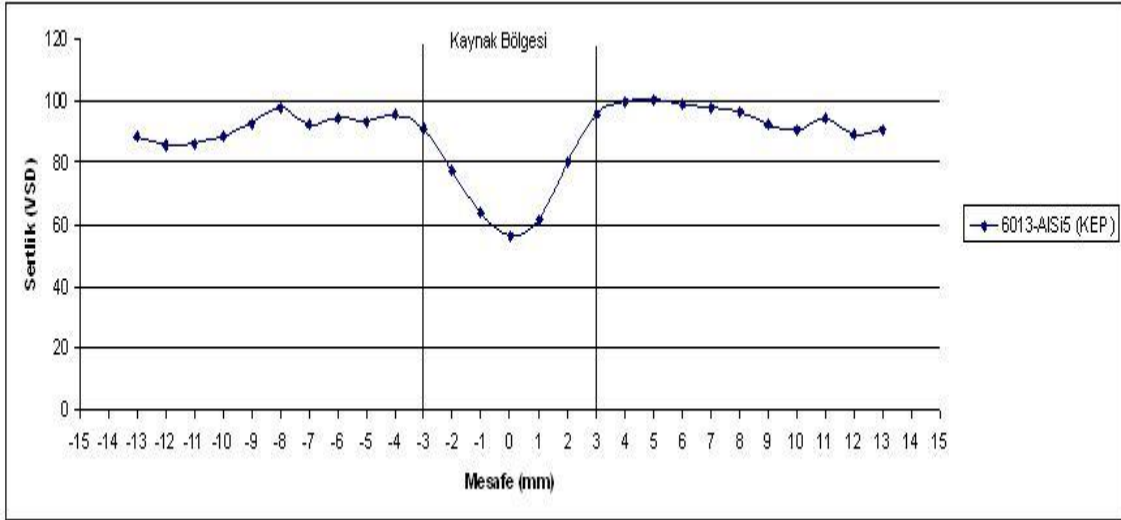


Şekil 6.23. 5083-AISI5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı

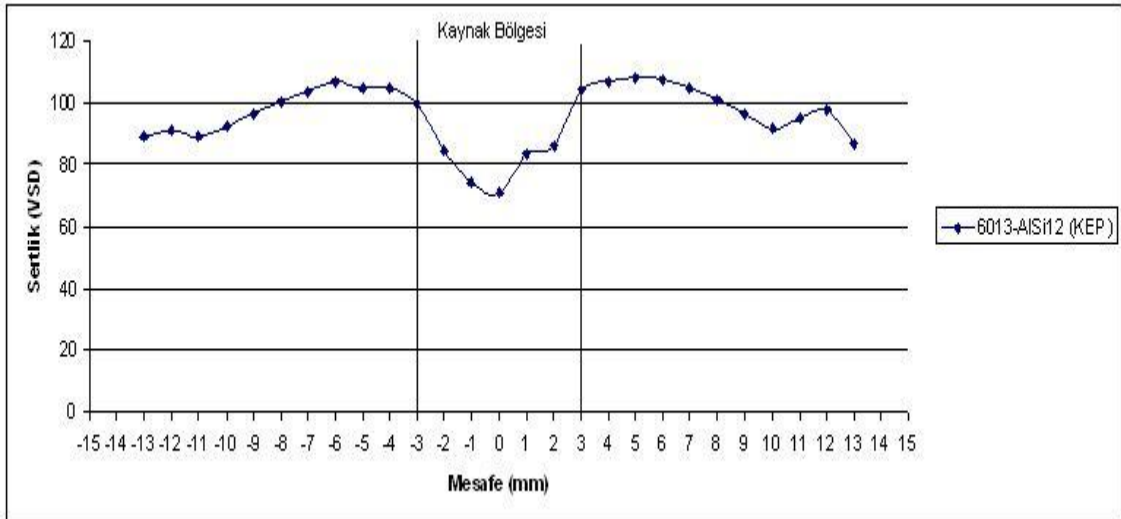


Şekil 6.24. 5083-AISI12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı

Şekil 6.25'te 6013-AISI5'nin, Şekil 6.26.'da 6013-AISI12'nin kep bölgelerine ait sertlik grafikleri verilmiştir. Grafiklerde esas metale ait sertlik değerlerinin yakın olduğu görülmektedir. Ancak AISI12 kaynak bölgesinin sertlik değerleri, AISI5 kaynak bölgesinin sertlik değerlerine göre daha yüksektir.



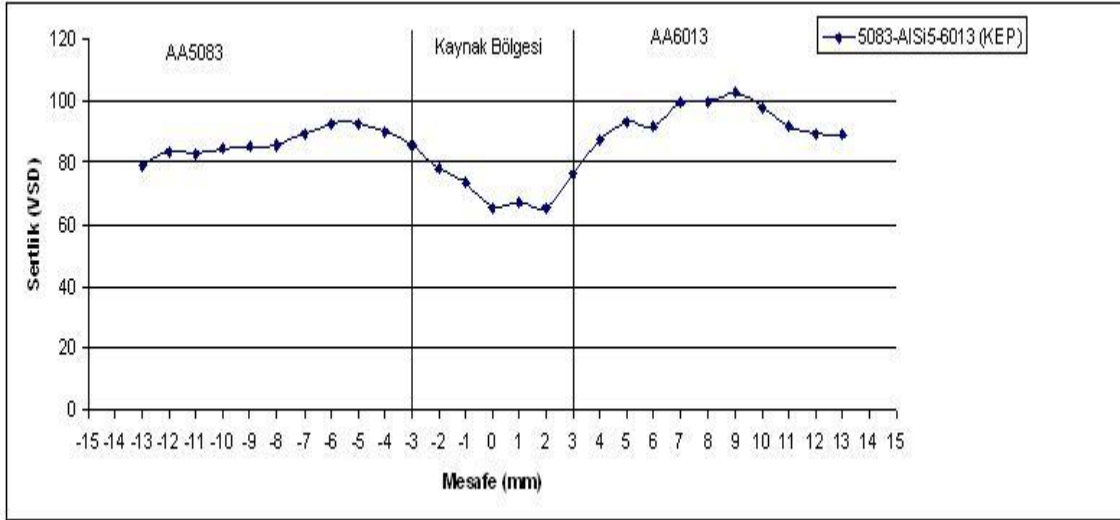
**Şekil 6.25. 6013-AISI5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı**



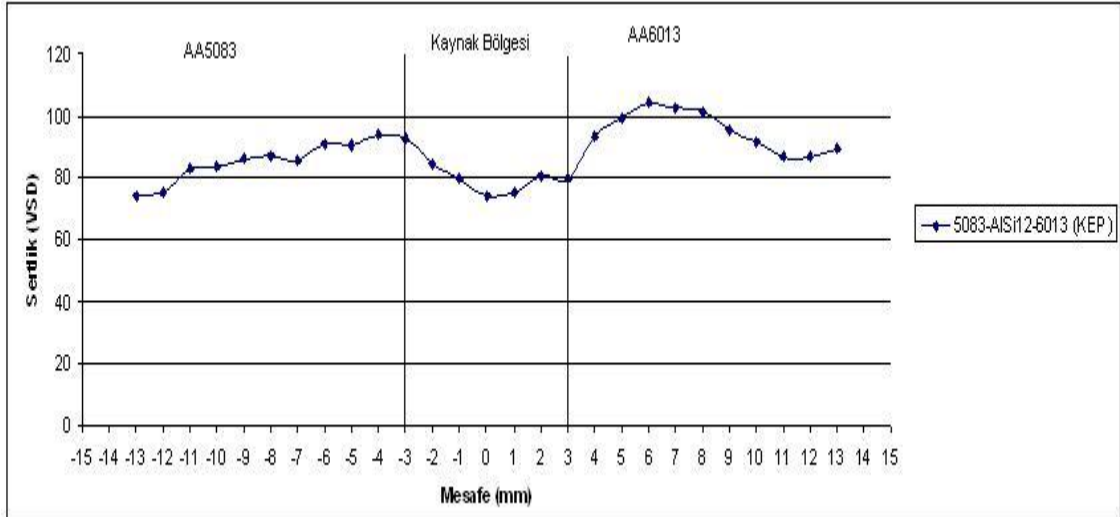
**Şekil 6.26. 6013-AISI12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı**

Şekil 6.27.'de 5083-AISI5-6013'ün, Şekil 6.28.'de 5083-AISI12-6013'ün kep bölgelerine ait mikro sertlik grafikleri verilmiştir. Her iki grafikte de AA6013 Alüminyum alaşımının AA5083 Alüminyum alaşımına göre sertlik değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaynak bölgelerinin sertlikleri karşılaştırıldığında AISi12 kaynak bölgesinin sertlik değerleri, AISi5 kaynak bölgesinin sertlik değerlerine göre daha yüksektir.



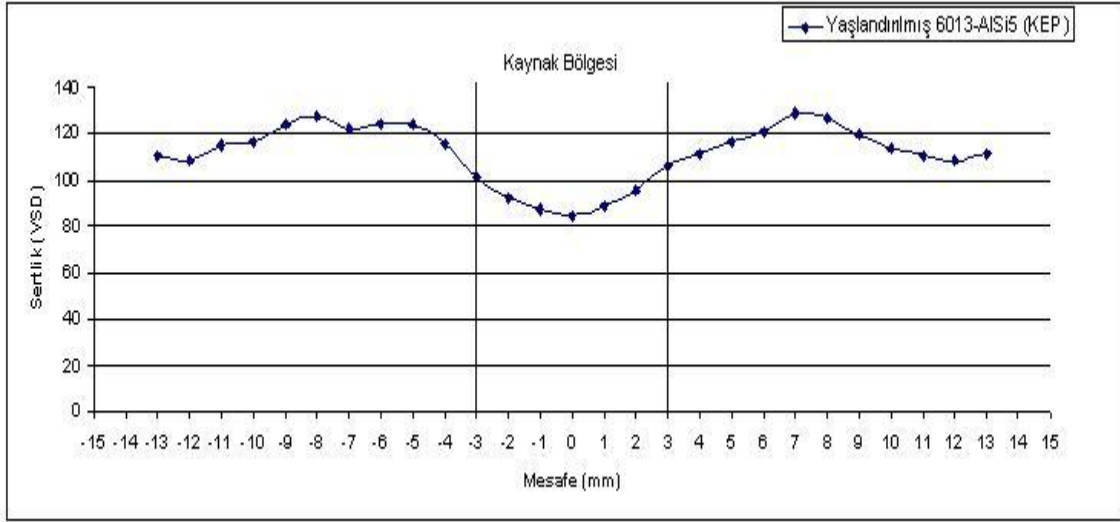


**Şekil 6.27. 5083-AISI5-6013 Kep Bölgesi Sertlik Dağılımı**

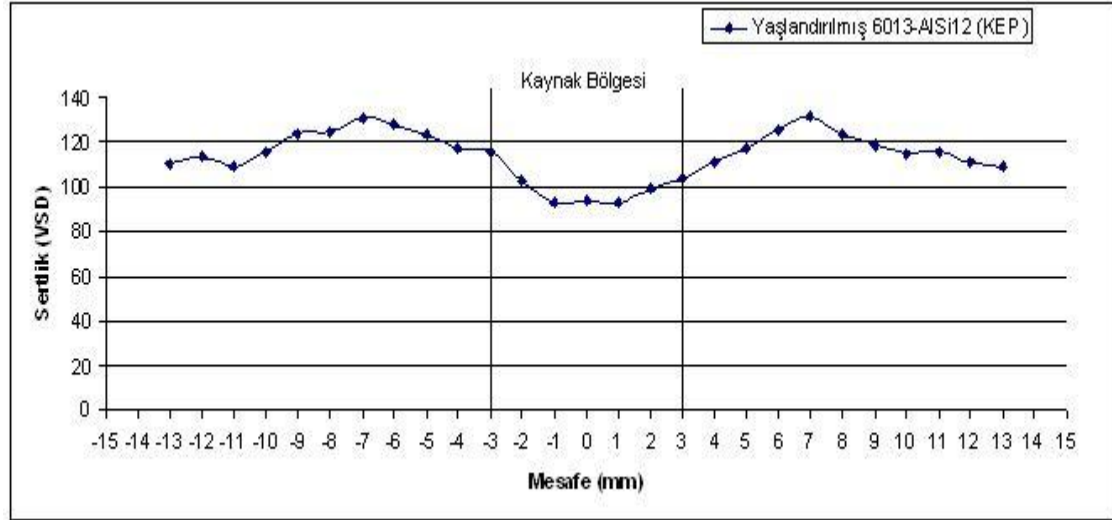


**Şekil 6.28. 5083-AISI12-6013 Kep Bölgesi Sertlik Dağılımı**

Şekil 6.29. ve Şekil 6.30.'da yaşlandırılmış 6013-AISI5 ve yaşlandırılmış AISi12 numunelerinin kep bölgelerine ait mikro sertlik sonuçları verilmiştir. Yaşlandırma işlemi sonucunda esas metal ve geçiş bölgelerinin sertlik değişimlerinin ve sertlikleri birbirine yakın olduğu görülmektedir. AISi12 kaynak bölgesinde AISi5 kaynak bölgesine göre daha yüksek sertleşme ve sertlik değerleri elde edilmiştir.



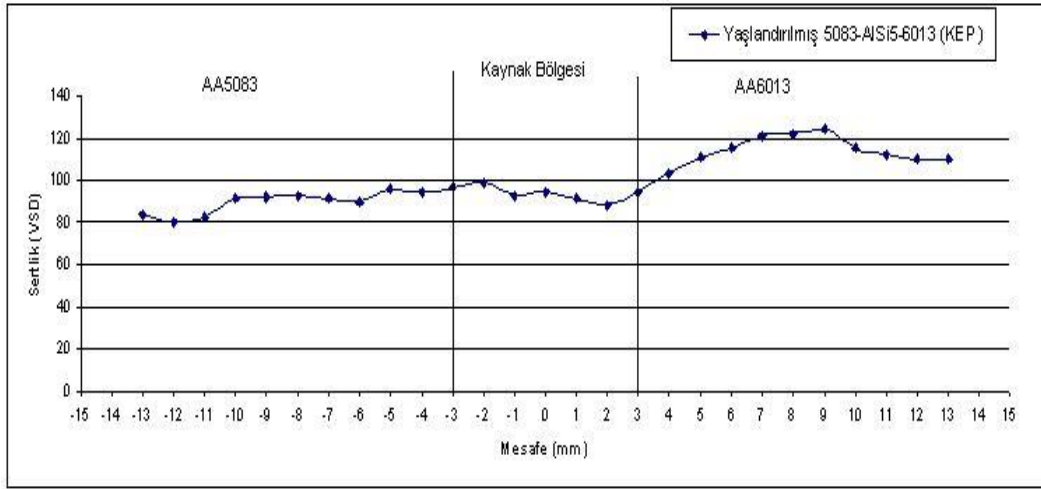
**Şekil 6.29. Yaşlandırılmış 6013-AISI5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı**



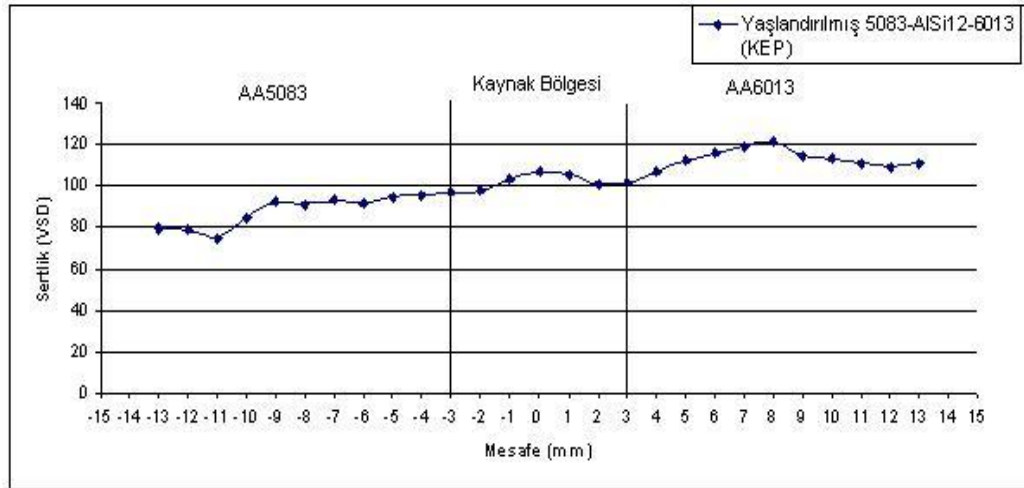
**Şekil 6.30. Yaşlandırılmış 6013-AISI12 Kep Bölgesi Sertlik Dağılımı**

Yukarıdaki grafikler, numunelerin KEP bölgesinden elde edilen sertlik değerlerine dayanılarak yapılmıştır. AA6013 alaşımının sertliğinin AA5083 alaşımına göre daha yüksek olduğu, geçiş bölgesinde sertliğin arttığı, kaynak bölgesinde sertliğin düştüğü sonuçları çıkarılmıştır.

Bu durum bahsettiğimiz gibi parçada, anametal ile kaynak bölgeleri arasında uyumsuzluklara sebep olmaktadır. Kaynaklı yapıda, kaynak metalinin akma mukavemeti ile ana metalin akma mukavemetinin farklı olması uyumsuzluk olarak tanımların [33]. Ancak bu uyumsuzluk yaşlandırma işlemi sonucunda büyük ölçüde giderilmiştir. Şekil 6.31. ve şekil 6.32. de 5083-AISI5-6013 ve 5083-AISI12-6013 numunelerinin kep bölgelerine ait mikro sertlik grafikleri verilmektedir. Burada beklediğimiz gibi yaşlandırma işlemi ile AA5083 Alüminyum alaşımının sertleşmediği ancak AA6013 Alüminyum esas metalinin, kaynak bölgelerinin ve geçiş bölgelerinin sertleştiği görülmektedir. Buda AA5083 esas metali kaynak bölgeleri arasındaki uyumsuzluğu gidermiştir.



Şekil 6.31. Yaşlandırılmış 5083-AISI5-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı

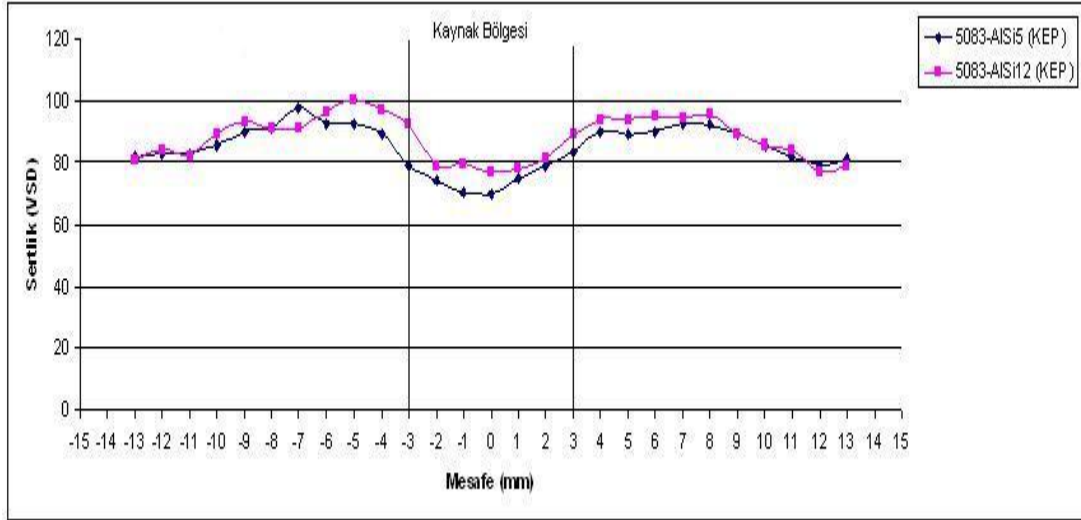


Şekil 6.32. Yaşlandırılmış 5083-AISI12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımı

### 6.2.3. KEP BÖLGESİ MİKRO SERTLİK SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

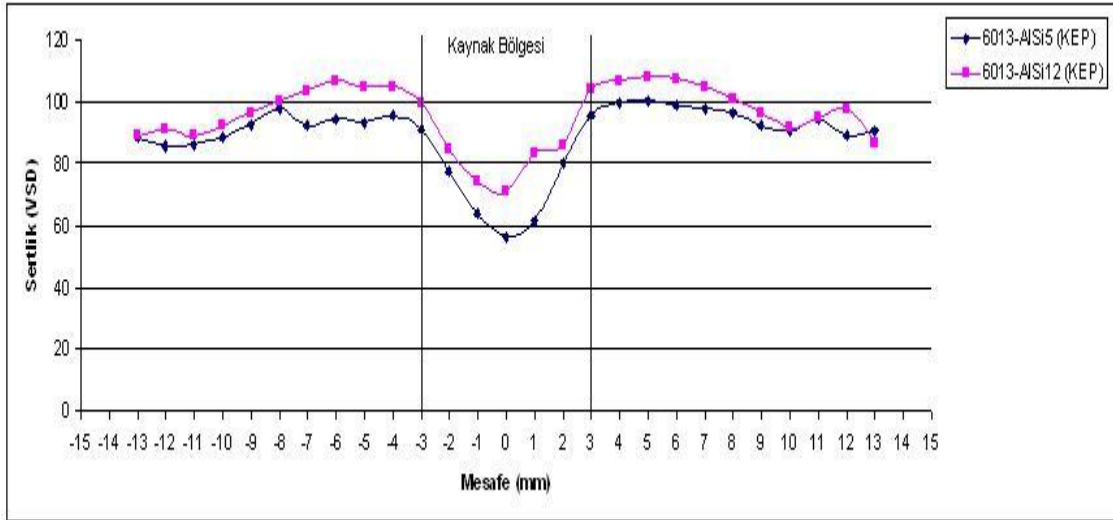
Şekil 6.33.'te 5083-AISI5'in ve 5083-AISI12'nin sertlik dağılımları, birbirlerine benzer eğriler halinde gözükmektedir. Ancak fark, kaynak bölgesinin sertliğindedir. AISi12 kaynak bölgesinin AISi5 kaynak bölgesine göre daha sert olduğu görülmektedir.

Ayrıca AISi12 kaynaklı numunenin geçiş bölgesinin sertliği, AISi5 kaynaklı numunenin geçiş bölgesinin sertliğine göre daha yüksektir.



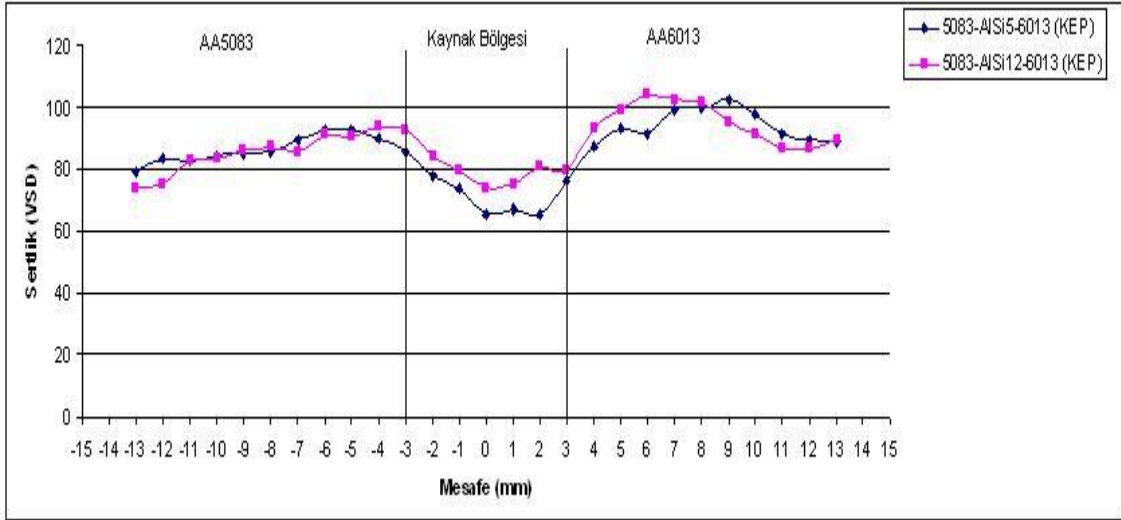
**Şekil 6.33. 5083-AISI5 ve 5083-AISI12 KEP bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.34.'te görüldüğü üzere 6013-AISI5 ve 6013-AISI12'nin sertlik eğrileri benzer bir görüntü vermektedir . Ancak yine burada da AISi12 kaynaklı numunenin kaynak ve difüzyon bölgeleri AISi5'in kaynak ve difüzyon bölgelerine göre daha sert gözükmemektedir.



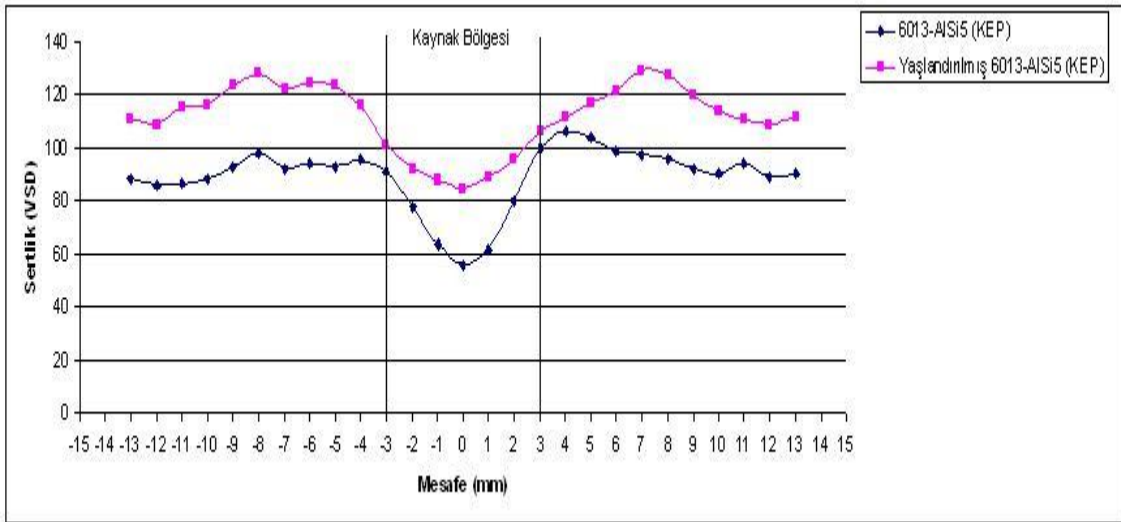
**Şekil 6.34. 6013-AISI5 ve 6013-AISI12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.35.'te görüldüğü gibi 5083-AISI5-6013 ve 5083-AISI12-6013 numunelerinin Kep Bölgelerinde sertlik dağılımı genel olarak benzerdir. Ancak AISi12 kaynak bölgesi burada da KÖK bölgesi gibi AISi5 kaynak bölgesine göre daha serttir.



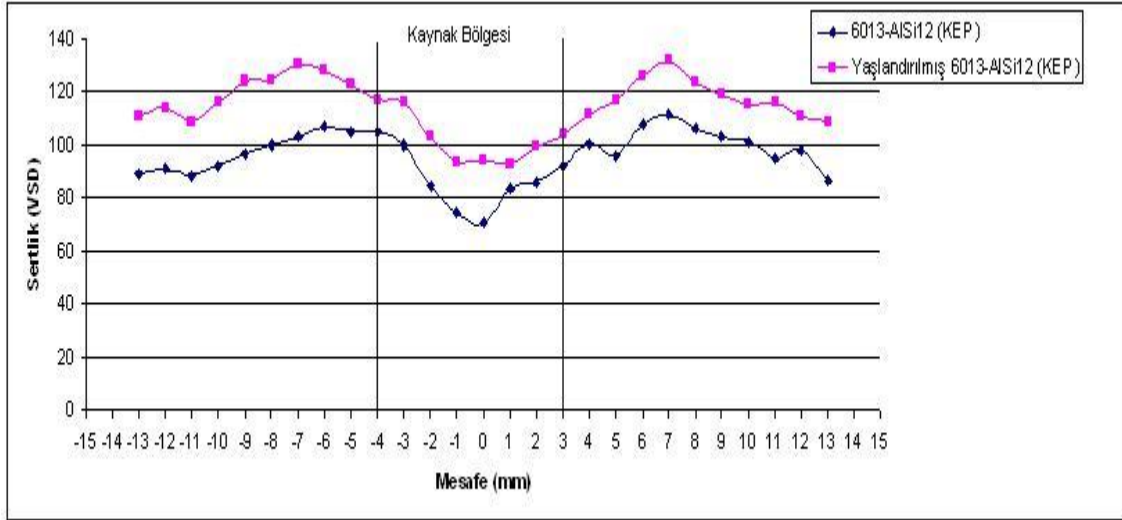
**Şekil 6.35. 5083-AISI5-6013 ve 5083-AISI12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.36.'da 6013-AISI5 ile yaşlandırılmış 6013-AISI5'in sertlikleri karşılaştırılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi yaşlandırılmış numunenin, hem kaynak bölgesinde, hem geçiş bölgesinde hem de anametal bölgesinde yaşlandırılmayan 6013-AISI5 e göre orantısal bir artışı olmuştur.



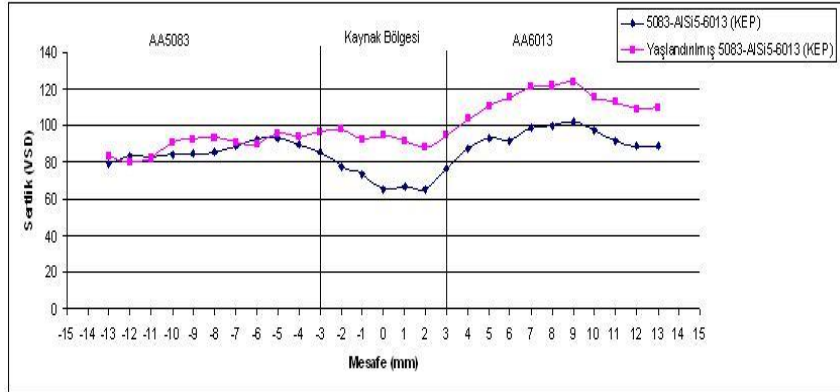
**Şekil 6.36. 6013-AISI5 ve Yaşlandırılmış 6013-AISI5 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.37.'de 6013-AISI12 ve yaşlandırılmış 6013-AISI12 numunelerinin Kep bölgelerinin sertlikleri karşılaştırılmıştır. Yaşlandırma işlemi ile numunenin tüm bölgelerindeki sertlik değerlerinde orantısal bir artış elde edilmiştir.



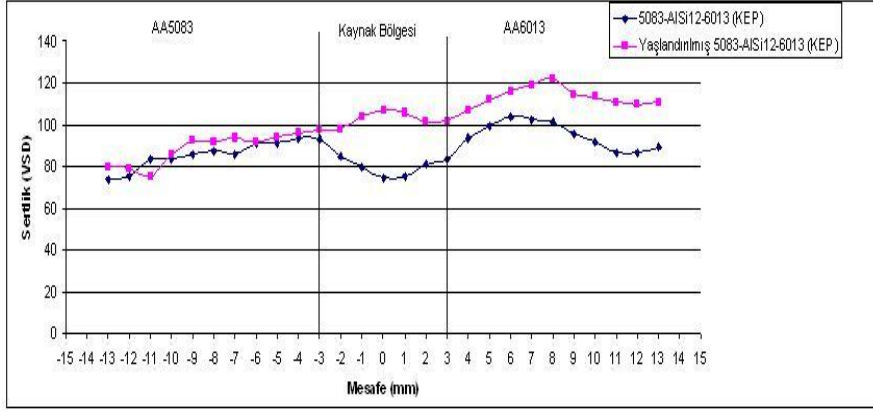
**Şekil 6.37. 6013-AISI12 ve Yaşlandırılmış 6013-AISI12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.38.'de 5083-AISI5-6013 ve yaşlandırılmış 5083-AISI5-6013 numunelerinin sertlikleri karşılaştırılmıştır. Burada beklediğimiz gibi AA5083 tarafında sertlik değerlerinde artış gözükmezken, kaynak bölgesinin ve AA6013 anametal bölgesinin sertlikleri artmıştır. Bu bize AA5083 anametalden kaynak metaline, sertlik olarak yumuşak bir geçiş sağlamıştır. Yani AA5083 ve kaynak metal arasında uyumluluk artmıştır. Daha önce bahsettiğimiz gibi yaşlandırma işlemi ile sertlik artışı AA5083 Alüminyum alaşımında beklenmeyen bir durumdur. Ancak grafikte AA5083 geçiş bölgesinin sertliğinde artış gözükmemektedir. Ayrıca AISi12'deki yaşlandırma sonucu sertlik değerlerindeki artış AISi5'e göre daha fazla olmuştur



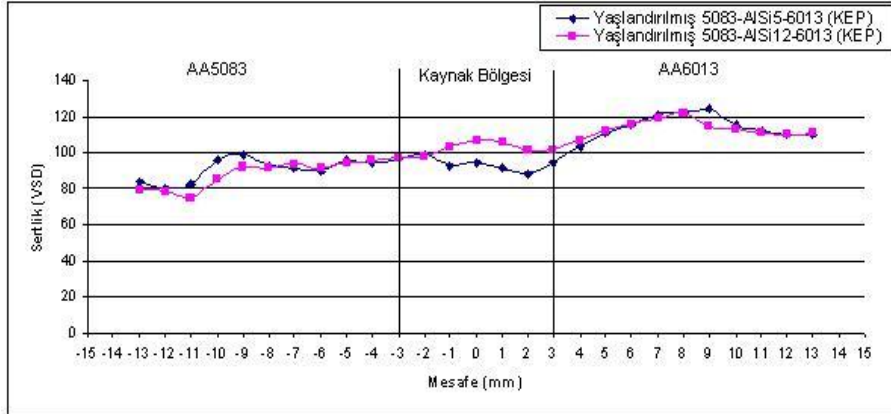
**Şekil 6.38. 5083-AISI5-6013 ve Yaşlandırılmış 5083-AISI5-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.39.'da 5083-AISI12-6013 ve yaşlandırılmış 5083-AISI12-6013'ün sertlikleri kıyaslanmıştır. AA5083 alaşımı çökeltme sertleştirmesinden etkilenmediği için sertleşmemiş ancak AA6013 ve özellikle AISi12 kaynak bölgesinin sertliği arttırılmıştır. Burada hem AA5083-Kaynak Bölgesi arasındaki hem de AA6013-Kaynak Bölgesi arasındaki uyumun arttığı, geçişlerin daha yumuşak olduğu görülmektedir.



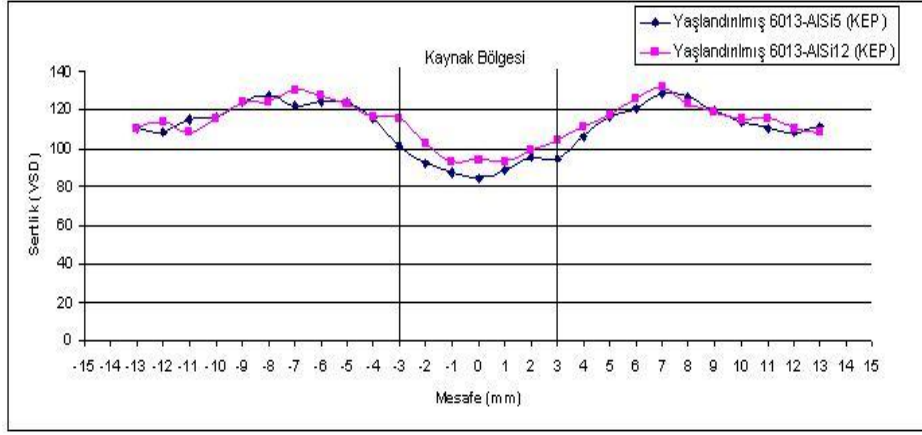
**Şekil 6.39. 5083-AISI12-6013 ve Yaşlandırılmış 5083-AISI12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.40.'da yaşlandırılan 5083-AISI5-6013 ve 5083-AISI12-6013 numunelerinin sertlik dağılımları görülmektedir. AA5083 alaşımında sertleşme olmazken, her iki numuneninde AA6013 kısımlarında yakın oranlarda sertleşme sağlanmıştır. AISi12 kaynak bölgesinin AISi5 kaynak bölgesine nazaran daha çok sertleştiği görülmektedir.



**Şekil 6.40. Yaşlandırılmış 5083-AISI5-6013 ve Yaşlandırılmış 5083-AISI12-6013 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

Şekil 6.41.'de yaşlandırılmış 6013 AISi5 ve AISi12 kaynaklı numunelerin sertlikleri karşılaştırılmıştır. Şekilde de gördüğümüz gibi anametalde sertlik benzer değerler verirken, kaynak ve geçiş bölgesinde AISi12 daha yüksek değerler vermektedir.



**Şekil 6.41. Yaşlandırılmış 6013-AlSi5 ve Yaşlandırılmış 6013-AlSi12 KEP Bölgesi Sertlik Dağılımları**

### 6.3. EĞME DENEYİ SONUÇLARI

Her parametre için TS 282 EN 910'a uygun olarak ikişer numune hazırlanmış, toplam 16 deney parçası elde edilmiştir. Esas metallerinin bir tarafında veya her iki tarafında AA6013 bulunan kaynaklı birleştirmelere yaşlandırma uygulanarak, eğmedeki dayanımları incelenmiştir. Bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

Tablo 6.1. de eğme deneyi sonuçları gösterilmektedir. Maksimum çökme ve maksimum kuvvet değerleri karşılaştırıldığında numunelerin rijitlikleri hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Tablodaki değerler bize AlSi12 kaynağının AlSi5'e göre daha rijit olduğunu göstermektedir.

Ayrıca Yaşlandırma işlemine tabii tutulan parçalarda maksimum kuvvet artarken maksimum çökme miktarı düşmektedir. Bu bize yaşlandırma işleminin rijitliği arttırdığını, malzemenin daha gevrek bir hal aldığını göstermektedir.

**Tablo 6.1.Eğme Deneyi Sonuçları**

Numune	No	Max Kuvvet (kN)	Max Çökme (mm)	Hasar	Hata
5083-AlSi5	1	1,075	10,18	Yok	-
5083-AlSi5	2	0,82	9,05	Yok	-
5083-AlSi12	3	1,175	7,27	Yok	-
5083-AlSi12	4	1,21	6,048	Yok	-
6013-AlSi5	5	0,6	9,64	<b>Var</b>	Cüruf
6013-AlSi5	6	0,85	15,18	Yok	-
6013-AlSi12	7	0,57	9,32	<b>Var</b>	Cüruf
6013-AlSi12	8	0,61	11,00	Yok	Boşluk



5083-AISI5-6013	9	0,46	7,04	Var	Cüruf
5083-AISI5-6013	10	0,76	11,00	Yok	-
5083-AISI12-6013	11	0,66	11,31	Var	Boşluk
5083-AISI12-6013	12	0,92	14,87	Yok	-
6013-AISI5-Yaşlan.	13	0,86	17,02	Var	Boşluk
6013-AISI12-Yaşlan.	14	0,81	9,01	Var	Cüruf
5083-AISI5-6013 Yaşlandırılmış	15	0,95	8,35	Var	Boşluk
5083-AISI12-6013 Yaşlandırılmış	16	1,17	8,89	Yok	-

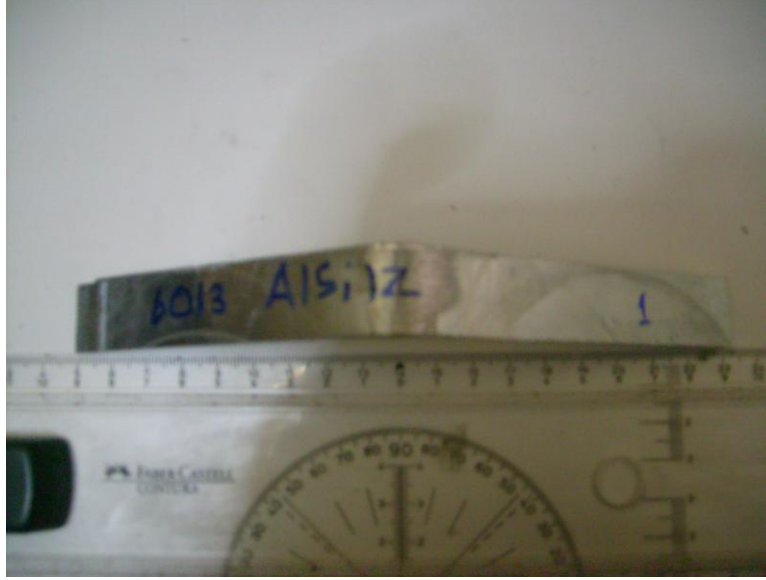


Şekil 6.42. Eğme Numunelerinin Toplu Fotoğrafi



**Şekil 5.43. 6013-AISI5 (5 numaralı) Numunede Çatlak**

**Şekil 5.43. 6013-AISI5 (5 numaralı) Numunede Çatlak**



**Şekil 6.44. 6013-AISI12 (7 Numaralı) Numunede Çatlak**



**Şekil 6.45. 5083-AISI5-6013 (9 Numaralı) Numunede Çatlak**



**Şekil 6.46. 5083-AISI12-6013 (11 Numaralı) Numunede Çatlak**



Şekil 6.48. Yaşlandırılmış 6013-AISI12 (14 Numaralı) Numunede Çatlak



Şekil 6.49. Yaşlandırılmış 5083-AISI5-6013 ( 15 Numaralı ) Numunede Çatlak

## 6.4. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

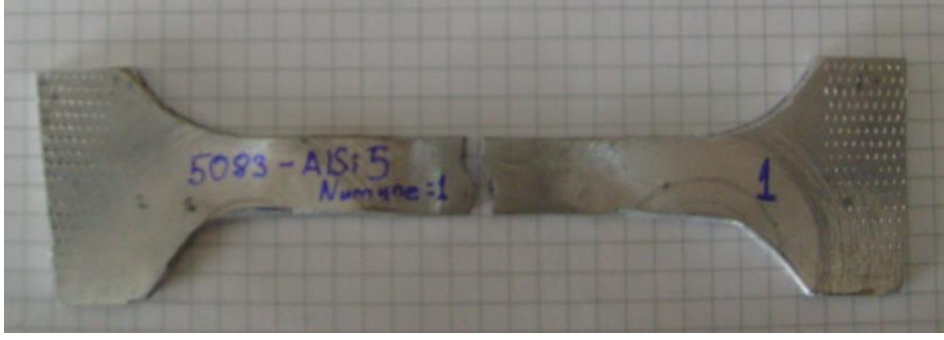
Tablo 5.2. ve Tablo 5.5.'te AA5083, AA6013 Alüminyum alaşımlarına ve AISi12, AISi5 elektrot tellerine ait çekme ve akma standartları verilmiştir. Bu standartlara dayanarak kopma kaynak bölgelerinden beklenmektedir. Yine bu tablolardan yararlanarak AISi12'nin çekme ve akma dayanımının AISi5'e göre daha büyük olduğunu görmekteyiz

Tablo 6.2.'de çekme deneyi sonuçları gösterilmektedir. Beklendiği gibi kopmaların çoğunlukla kaynak tarafında olduğu ve AISi12 elektrot teli ile kaynatılmış numunelerin, AISi5 elektrot teli ile kaynatılan numunelere göre daha yüksek çekme ve akma dayanımına sahip olduğu görülmektedir.

**Tablo 6.2. Çekme Deneyi Sonuçları**

<b>Numune Adı</b>	<b>Akma Gerilmesi(N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Çekme Gerilmesi (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>%'de Uzama</b>	<b>Kopma Yeri</b>
5083-AISi5-5083	132,17	161,369	%10,33	2 , 2
5083-AISi12-5083	138,738	196,035	%10,46	2 , 2
6013-AISi5-6013	132,65	145,034	%11,36	2
6013-AISi12-6013	125,78	135,156	%7,79	2 , 2
5083-AISi5-6013	120,52	123,272	%8,76	2

- 1: 5083 Ana Metal Tarafından Kopma
- 2: Kaynak Bölgesinden Kopma
- 3: 6013 Ana Metal Tarafından Kopma



Şekil 6.50. 5083-AISI5 Çekme Numunesi 1



Şekil 6.51. 5083-AISI5 Çekme Numunesi 2



Şekil 6.52. 5083-AISI12 Çekme Numunesi 1



Şekil 6.53. 5083-AISI12 Çekme Numunesi 1

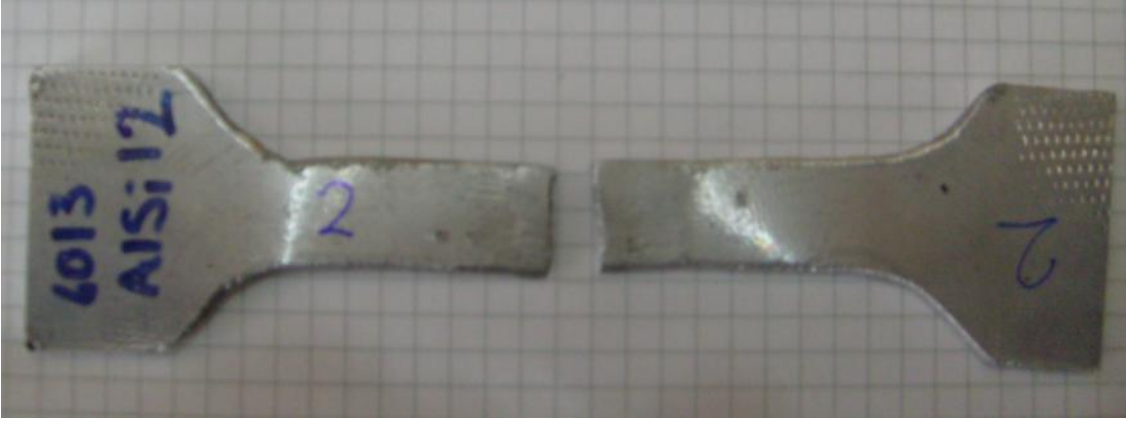


Şekil 6.54. 6013-AISI5 Çekme Numunesi 2



Şekil 6.55. 6013-AISI12 Çekme Numunesi 1





Şekil 6.56. 6013-AISi12 Çekme Numunesi 2



Şekil 6.57. 5083-AISi5-6013 Çekme Numunesi 1

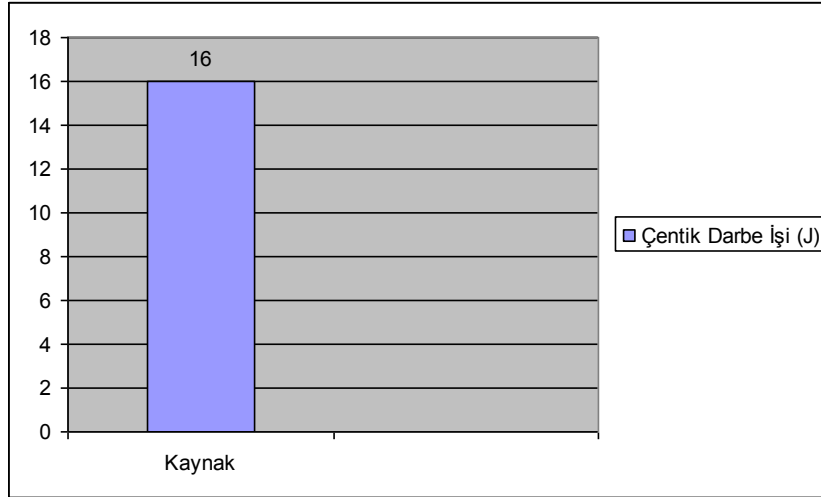
## 6.5. CHARPY DARBE DENEYİ SONUÇLARI

Aşağıda charpy deneyi sonuçları grafiksel (Şekil 6.58.-63.) ve tablosal (Tablo 6.3.) olarak gösterilmektedir. Bu değerlerden yola çıkarak malzemelerin darbe altındaki toklukları hakkında bilgi sahibi olmaktadır.

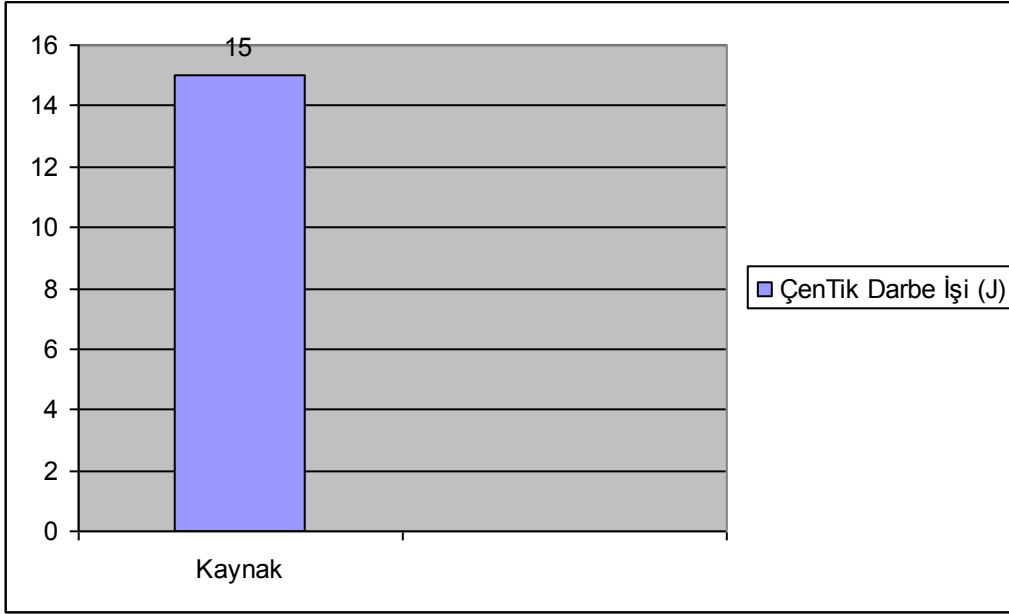
Tablo 6.3.'e baktığımızda 5083-AISI5'in 5083-AISI12 ye göre, 6013-AISI5'in 6013-AISI12 ye göre ve 5083-AISI5-6013 numunesinin 5083-AISI12-6013 numunesine göre daha tok bir yapıda olduğu görülmektedir. Yani AISi5 kaynaklı malzemeler AISi12 kaynaklı malzemelere göre tokurlar.

AA6013 alaşımı içeren kaynaklı bağlantılar yaşlandırma işlemine tabii tutulmuştur ve yaşlandırma öncesi ve yaşlandırma sonrası kaynak metali çentik darbe işleri karşılaştırılmıştır. Grafikler ve tablodan göreceğimiz gibi yaşlandırma işlemiyle, malzeme daha gevrek,daha rijit bir hal almakta, tokluğun düştüğü görülmektedir.

Şekil 6.58'de 5083-AISI5'in, Şekil 6.59'da 5083-AISI12'nin Kaynak bölgesi ve difüzyon çizgilerindeki çentik darbe işleri verilmiştir. AISi5 ile kaynatılan numunenin kaynak bölgesinin çentik darbe işinin AISi12 ile kaynatılan numuneye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. AISi5, AISi12 ye göre daha tok bir yapıdadır.

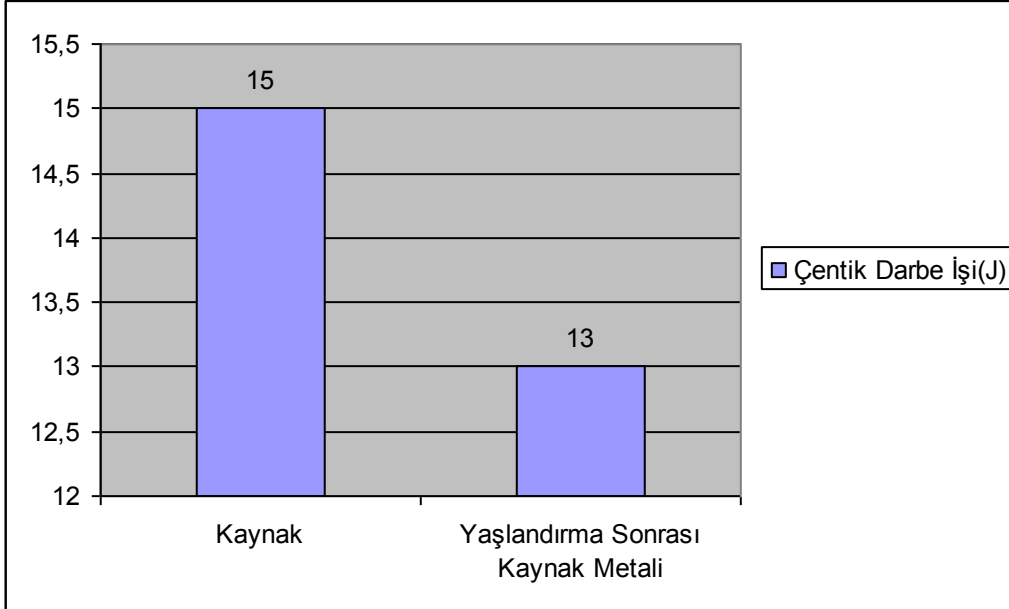


Şekil 6.58. 5083-AISI5 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları

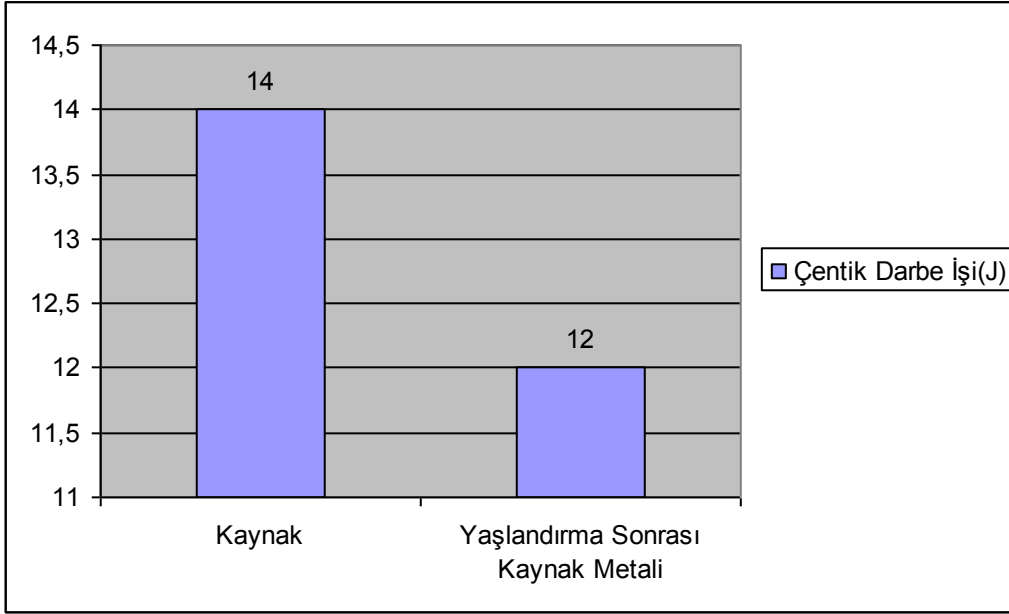


**Şekil 6.59. 5083-AISI12 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları**

Şekil 6.60'da 6013-AISI5 numunesinin, Şekil 6.61'de 6013-AISI12 numunesinin charpy deneyi sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi AISi5 kaynaklı numunenin hem kaynak bölgesinin hem difüzyon çizgisinin hem de yaşlandırma işlemi sonrası kaynak metalinin çentik darbe işeri AISi12'ye göre daha yüksektir. Bu AISi5'in AISi12'ye göre daha tok olmasının sonucudur.

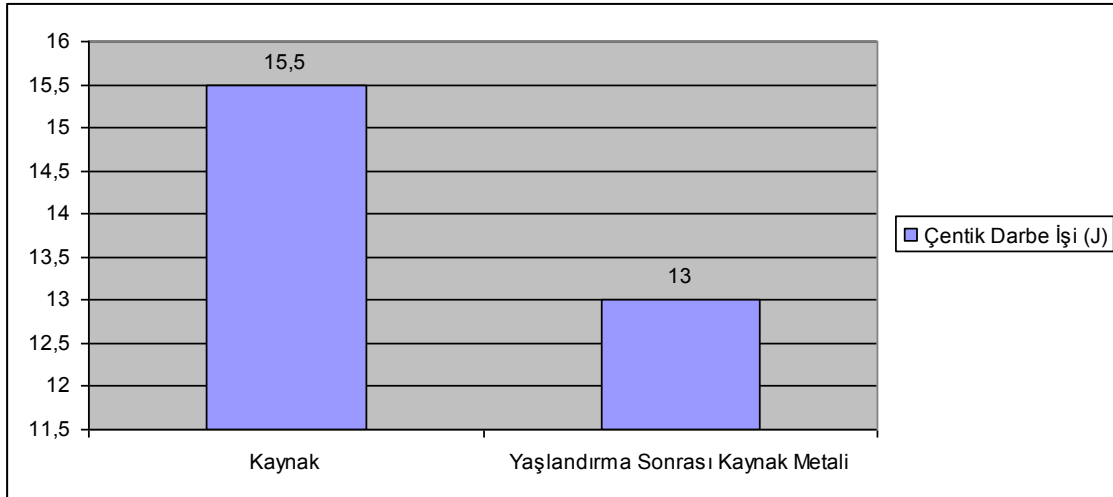


**Şekil 6.60. 6013-AISI5 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları**

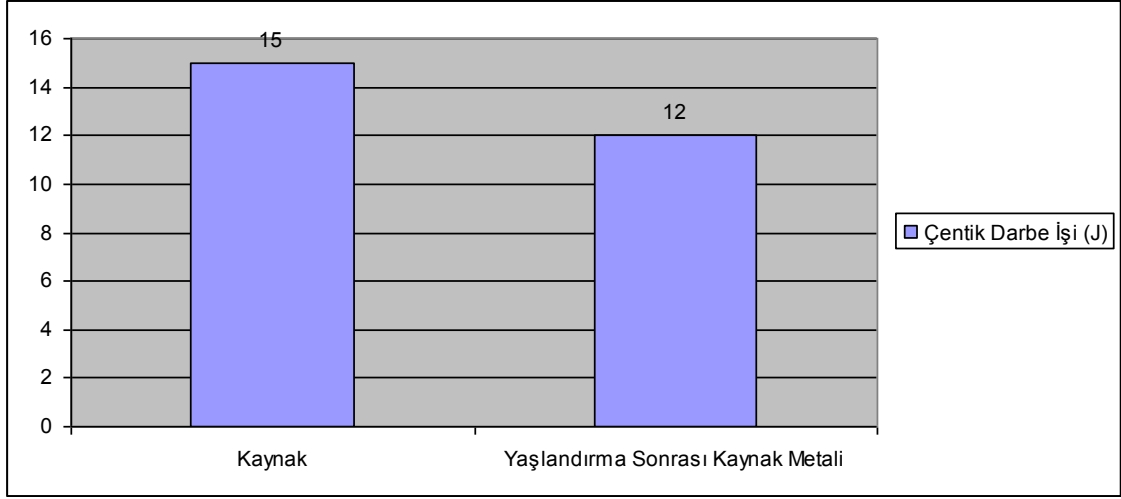


**Şekil 6.61. 6013-AISI12 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları**

Şekil 6.62 ve 6.63'te sırasıyla 5083-AISI5-6013 ve 5083-AISI12-6013 numunelerinin charpy deneyi sonuçları verilmiştir. Burada da AISi5 kaynaklı numunenin kaynak bölgesinin, Difüzyon çizgilerinin ve yaşlandırma sonrası kaynak metalinin çentik darbe işleri, AISi12 kaynaklı numuneye göre daha yüksektir. Ayrıca AA6013 tarafındaki difüzyon çizgisi, AA5083 tarafındaki difüzyon çizgisine göre daha gevreklerdir.



**Şekil 6.62. 5083-AISI5-6013 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları**



**Şekil 6.63. 5083-AISI12-6013 Malzemesinin Charpy Deneyi Sonuçları**

**Tablo 6.3. Charpy Deneyi Sonuçları**

Malzeme	Çentik Darbe İşi (J)	
	Kaynak Durumu	Çentik Darbe İşi (J)
5083-AISI5	Kaynak Metali	16
5083-AISI12	Kaynak Metali	15
6013-AISI5	Kaynak Metali	15
	Yaşlandırma Sonrası Kaynak Metali	13
6013-AISI12	Kaynak Metali	14
	Yaşlandırma Sonrası Kaynak Metali	12
5083-AISI5-6013	Kaynak Metali	15,5
	Yaşlandırma Sonrası Kaynak Metali	13
5083-AISI12-6013	Kaynak Metali	15
	Yaşlandırma Sonrası Kaynak Metali	12

# BÖLÜM 7

## DEĞERLENDİRME

### 7.1. DEĞERLENDİRME VE GENEL SONUÇLAR

1. AISi5 elektrot teli kullanılarak elde edilen kaynak dikişinde sertlik değerleri AISi12 elektrot teli kullanılarak elde edilen kaynak metaline göre daha düşük olmaktadır. Sertlik ve mukavemet arasında bir doğrusal ilişki olduğu göz önünde bulundurulursa AISi5 elektrot teli kullanılarak elde edilen kaynak dikişinin mukavemetinin AISi12 elektrot teli kullanılarak elde edilen kaynak metaline göre çekme deneyi sonuçlarıyla da kanıtlandığı üzere daha düşük olduğu belirlenmiştir.
2. Yaşlandırma işlemi öncesi sertlik değerleri incelendiğinde, en yüksek sertlik değerinin geçiş bölgesinde, en düşük sertlik değerinin ise kaynak metallere olduğu görülmektedir. Bu fark bazı durumlarda 40 Vickers sertlik değerine kadar çıkmaktadır. Bunun sonucu olarak kaynaklı birleştirmede uyumsuzluk daha fazla ortaya çıkmaktadır ve birleştirmenin kırılma yönünden en hassas bölgesi geçiş bölgesi olmaktadır. Bu durum metalografi fotoğraflarında geçiş bölgesindeki tane yönelmeleri ile de desteklenmiştir.
3. Yaşlandırma işleminin sertlik değerlerine etkisini 5083-AISi5-6013 ve 5083-AISi12-6013 kaynaklı bağlantıları için değerlendirilirse:
  - Yaşlandırma işlemi ile sertlik artışı AISi12 kaynak bölgesinde AISi5 kaynak bölgesine göre daha fazladır. AISi12'nin AISi5'e göre daha yüksek sertleşme göstermesi içeriğindeki Silisyum'un fazla olmasından kaynaklanmaktadır.
  - Bilindiği gibi AA5083 alüminyum alaşımında yaşlandırma işlemi ile sertlik artışı sağlanamamaktadır. Bunun sonucu olarak AA5083 esas metalinde yaşlandırma işlemi sonrası sertlik artışı elde edilememiştir ancak kaynak bölgesine yakın geçiş bölgelerinde sertlikte bir miktar yükselme olmuştur.
  - Yaşlandırma işlemi ile birlikte AA6013 esas metalinde 20-30 Vickers sertlik artışı sağlanmıştır
  - Kaynaklı birleştirmedeki AISi5, AISi12 kaynak metallere yaşlandırma işlemi ile sertleştirilmesi ancak AA5083 esas metalinin yaşlandırma ile sertleştirilememesi, kaynak metalinin sertlik değerlerini AA5083 alaşımının ve geçiş bölgesinin sertlik değerlerine yaklaştırmıştır. Bu durum da yukarıda bahsedilen esas metal-geçiş bölgesi-kaynak metalini arasındaki uyumsuzluğu ortadan kaldırmıştır. AA5083 esas metal ile AISi5 veya AISi12 kaynak metalleri arasında çok iyi bir uyum sağlanmıştır.
  - Yaşlandırma işlemi ile sertleşmenin AISi5 ve AISi12 kaynak metallere, AA6013 alüminyum alaşımına göre daha yüksek olması, yaşlandırma öncesi AA6013-kaynak metalini arasındaki

uyumsuzluğu bir miktar gidermiştir, ısıl işlem öncesine göre AISi5 veya AISi12 kaynak metali ile AA6013 esas metal arasında daha yumuşak geçen sertlik değerleri elde edilmiştir.

4. Yaşlandırma işleminin öncesinde ve sonrasında yapılan üç nokta eğme deneyi sonuçları, yaşlandırma işleminin yaşlanabilir kaynaklı birleştirmeleri daha rijit bir hale getirdiğini göstermiştir. Yaşlandırma işlemi sonrası uygulanan maksimum kuvvetin artması ancak maksimum çökmenin azalması bunun göstergesidir.
5. Yaşlandırma işlemi öncesinde ve sonrasında yapılan Charpy darbe tokluk deneyi sonuçları, yaşlandırma işlemi ile birlikte AISi5 ve AISi12 kaynak metallerinde, tokluk değerlerinin düştüğünü göstermiştir.
6. Yapılan deneyler 5083-kaynak metali-6013 kaynaklı birleştirmesinde, hem AISi5 hem de AISi12 kaynak metalleri için en yüksek sertlik ve mukavemet değerlerinin kaynak metali-6013 geçiş bölgesinde olduğunu fakat gevreklik açısından da en hassas bölgenin burası olduğu göstermiştir.