

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİSÜSÜ  
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI  
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**KAYNAK AĞZI AÇISI VE GEOMETRİSİNİN ZİRH  
UYGULAMALARINDA KULLANILAN AW 5083 VE AW 6061  
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİSİ**

**HAZIRLAYAN**

**BERTUĞ GÜVEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ANKARA - 2022**



**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİSÜSÜ  
SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ VE SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI  
SAVUNMA PLATFORMLARI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**KAYNAK AĞZI AÇISI VE GEOMETRİSİNİN ZİRH  
UYGULAMALARINDA KULLANILAN AW 5083 VE AW 6061  
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİSİ**

**HAZIRLAYAN**

**BERTUĞ GÜVEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TEZ DANIŐMANI**

**DR. ÖĞR. ÜYESİ BEDİ CENK BALÇIK**

**ANKARA - 2022**

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Savunma Teknolojileri ve Sistemleri Anabilim Dalı Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı çerçevesinde Bertuğ GÜVEN tarafından hazırlanan bu çalışma, aşağıdaki jüri tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Savunma Tarihi:

**Tez Adı:** Kaynak Ağızı Açısı Ve Geometrisinin Zırh Uygulamalarında Kullanılan AW 5083 ve AW 6061 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

**Tez Jüri Üyeleri (Unvanı, Adı-Soyadı, Kurumu)**

**İmza**

Dr. Öğr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI, Başkent Üniversitesi

.....

Prof. Dr. Adem ACIR, Gazi Üniversitesi

.....

**ONAY**

Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Tarih: ..... / ..... / .....

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih: 02/12/2022

Öğrencinin Adı, Soyadı: Bertuğ GÜVEN

Öğrenci Numarası: 21820027

Anabilim Dalı: Savunma Teknolojileri ve Sistemleri ABD

Programı: Savunma Platformları Tezli Yüksek Lisans Programı

Danışmanın Unvanı/Adı, Soyadı: Dr. Öğr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK

Tez Başlığı: Kaynak Ağzı Açısı ve Geometrisinin Zırh Uygulamalarında Kullanılan AW 5083 ve AW 6061 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi

Yukarıda başlığı belirtilen Yüksek Lisans tez çalışmamın; Giriş, Ana Bölümler ve Sonuç Bölümünden oluşan, toplam 111 sayfalık kısmına ilişkin,02/12/2022 tarihinde tez danışmanım tarafından "Turnitin" adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 3'tür. Uygulanan filtrelemeler:

1. Kaynakça hariç
2. Alıntılar hariç
3. Beş (5) kelimededen daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

"Başkent Üniversitesi Enstitüleri Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Usul ve Esaslarını" inceledim ve bu uygulama esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Öğrenci İmzası: .....

**ONAY**

Tarih: ... /... / 20...

Dr. Öğr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK

.....

## TEŞEKKÜR

Başta s¼rekli okumaya ve geliŐmeye teŐvik eden sevgili babama ve hep beni destekleyen aileme,

Tez çalıŐmam boyunca, konu belirlemeden, deneylere, deneylerden, tez yazımına kadar t¼m s¼relerde bana yol g¼steren, bilimsel ve manevi desteğini hiç esirgemeyen, son derece anlayıŐlı olan ve hatalarımı maruz g¼r¼p, beni d¼zeltmeye sevk eden Sayın Dr. Őgr. Üyesi Bedi Cenk BALÇIK hocama, zırh teknolojisi konusundaki engin bilgisi ve tecr¼besiyle ufkumu aan, Sayın Prof. Dr. Ömer Faruk ELALDI hocama ve emeği geçen diğer hocalarıma,

Desteklerini hiç esirgemeyen, başta kıymetli dostum ve Genel M¼d¼r olan Sayın, Eray Kaan KILIÇ'a, Y¼netim Kurulu BaŐkanı Sayın, Melih Baran KILIÇ'a, İŐletme M¼d¼r¼ Sayın, Sabri ŐNL¼'ye, kıymetli meslektaŐım, arkadaŐım Merve İlayda TETİK'e ve emeği geçen t¼m MMM ERBA MAKİNA A.Ő. personeline,

Sonsuz teŐekk¼r ederim...

Aralık 2022

Bertuğ G¼VEN

## ÖZET

Hafifliğin ve manevra kabiliyetinin öne çıktığı günümüz muharebe şartlarında alüminyum alaşımlar zırhlı muharebe araçlarında gün geçtikçe daha yoğun olarak kullanılmak istenmektedir. Özellikle alüminyum alaşımlarından AW 5083 ve AW 6061 alaşımları şase ve gövde imalatlarında kullanılmaya başlanmıştır ancak imalat sırasında kullanılan kaynak yönteminde kaynak ağzı geometrisi ve açısı bağlantı dayanımını etkilemektedir.

Kaynak parametrelerinin dayanıma etkisini incelemek için yapılan bu çalışmada, biri ısıtılı ve diğeri sertleştirilmiş ve diğeri ısıtılmamış ve sertleştirilmemiş kategorisinde olan iki alüminyum alaşımı farklı kaynak ağzı geometrileri ve açıları kullanılarak MIG yöntemiyle kaynaklı birleştirilmeleri yapılmıştır. Birleştirmelerin bulunduğu bölgelerden standartlara uygun çekme ve üç noktalı eğilme testleri için numuneler üretilmiştir. Kaynak bölgesinin mekanik özellikleri gerilme karşılık birim şekil değiştirme grafikleri elde edilerek incelenmiştir. Mekanik testler sonucunda AW6061 alaşımı için V tipi kaynaklar X tipi kaynaklara göre daha yüksek dayanım gösterirken, AW 5083 alaşımları için ise V ve X tipi kaynaklar tüm açılarda birbirine yakın dayanım göstermişlerdir.

**Anahtar Kelimeler:** Kaynak teknolojisi, kaynak ağzı, zırh uygulamaları, mekanik özellikler

## ABSTRACT

In today's combat conditions, where lightness and maneuverability are prominent, aluminum alloys are being used more and more in armored combat vehicles. Especially aluminum alloys called as AW 5083 and AW 6061 alloys have started to be used in chassis and body manufacturing, but the weld joint geometry and angle affect the joint strength in the welding method used during manufacturing.

In this study, which was conducted to examine the effect of welding parameters on strength, two aluminum alloys, one of which can be hardened by heat treatment and one of which is in the category of non-hardenable by heat treatment, were welded with MIG method using different weld geometries and angles. Specimens were manufactured for tensile and three-point bending tests in accordance with standards for the welded joints. The mechanical properties of the weld zone were investigated by obtaining stress-strain curves. As a result of mechanical tests, V type welds for AW 6061 alloy showed higher strength than X type welds, while V and X type welds for AW 5083 alloys strength was near at all angles.

**Keywords:** Welding technology, welding groove, armor applications, mechanical properties



# İÇİNDEKİLER

|   |      |
|---|------|
| TEŞEKKÜR .....  | i    |
| ÖZET .....  | ii   |
| ABSTRACT.....   | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....  | iv   |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                  | vii  |
| TABLolar LİSTESİ .....                                  | xi   |
| KISALTMALAR .....                                       | xiii |
| SEMBOLLER .....   | xiv  |
| 1. GİRİŞ.....   | 1    |
| 1.1. Genel Bilgiler.....                                | 1    |
| 1.2. Amaç ve Hedefler.....                              | 2    |
| 1.3. Literatür Çalışması.....                           | 2    |
| 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....              | 12   |
| 2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri.....                 | 12   |
| 2.2. Alüminyumun Alaşımalarının Sınıflandırılması ..... | 15   |
| 2.2.1. Dövme alüminyum alaşımları.....                  | 16   |
| 2.2.2. Döküm alüminyum alaşımları .....                 | 17   |
| 2.2.3. Alüminyum alaşımlarının temperleri .....         | 18   |
| 3. KAYNAK YÖNTEMLERİ.....                               | 21   |
| 3.1. Elle Ark Kaynağı .....                             | 23   |
| 3.2. MIG/MAG Kaynağı.....                               | 24   |
| 3.3. TIG Kaynağı.....                                   | 30   |
| 4. TAHRİBATLI TESTLER .....                             | 34   |
| 4.1. Çekme Testi .....                                  | 35   |
| 4.2. Eğme Testi .....                                   | 36   |
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....                            | 39   |

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 5.1.    | Deneyde Kullanılan Malzemeler .....                             | 39 |
| 5.2.    | Kaynak hazırlığı.....   | 39 |
| 5.3.    | Kaynak işlemi.....  | 41 |
| 5.4.    | Numune hazırlığı.....   | 44 |
| 5.5.    | Görsel Kaynak Muayenesi ve Sıvı Penetrant Kaynak Muayenesi..... | 45 |
| 5.6.    | Çekme Testi.....  | 46 |
| 5.7.    | Üç Nokta Eğme Testi .....                                       | 47 |
| 6.      | DENEYSEL BULGULAR.....  | 49 |
| 6.1.    | Çekme Testleri .....  | 49 |
| 6.1.1.  | 5V50T.....  | 49 |
| 6.1.2.  | 5V75T .....   | 52 |
| 6.1.3.  | 5V90T.....  | 55 |
| 6.1.4.  | 6V50T.....  | 58 |
| 6.1.5.  | 6V75T.....  | 61 |
| 6.1.6.  | 6V90T.....  | 64 |
| 6.1.7.  | 5X50T.....  | 67 |
| 6.1.8.  | 5X75T.....  | 70 |
| 6.1.9.  | 5X90T.....  | 73 |
| 6.1.10. | 6X50T.....  | 76 |
| 6.1.11. | 6X75T.....  | 79 |
| 6.1.12. | 6X90T.....  | 82 |
| 6.2.    | Üç Noktadan Eğme Testleri .....                                 | 85 |
| 6.2.1.  | 5V50B.....  | 85 |
| 6.2.2.  | 5V75B.....  | 86 |
| 6.2.3.  | 5V90B.....  | 88 |
| 6.2.4.  | 6V50B.....  | 89 |
| 6.2.5.  | 6V75B.....  | 91 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 6.2.6. 6V90B.....            | 92  |
| 6.2.7. 5X50B.....            | 94  |
| 6.2.8. 5X75B.....            | 95  |
| 6.2.9. 5X90B.....            | 97  |
| 6.2.10. 6X50B.....           | 98  |
| 6.2.11. 6X75B.....           | 100 |
| 6.2.12. 6X90B.....           | 101 |
| 6.3. Tartışmalar.....        | 103 |
| 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... | 109 |
| 7.1. Sonuçlar.....           | 109 |
| 7.2. Öneriler.....           | 110 |
| KAYNAKLAR.....               | 111 |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|   |    |
|---|----|
| Şekil 2.1. Malzemelerin logaritmik ölçekte yoğunluklarının gösterimi [30].      | 12 |
| Şekil 2.2. Malzemelerin logaritmik ölçekte çekme dayanımlarının gösterimi [33]. | 13 |
| Şekil 2.3. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması                            | 15 |
| Şekil 3.1. Isı girdisinin malzeme iç yapısına etkisi [44].                      | 21 |
| Şekil 3.2. Kaynak yöntemi seçimini etkileyen parametreler                       | 22 |
| Şekil 3.3. MIG/MAG kaynak makinesi [47]   | 25 |
| Şekil 3.4. Yatay karakteristikli güç kaynağı grafiği [48].                      | 25 |
| Şekil 3.5. Tel sürme mekanizması şematik gösterimi [49].                        | 26 |
| Şekil 3.6. Farklı koruyucu gazların kaynak banyosuna etkileri [50]              | 27 |
| Şekil 3.7. Koruyucu gaz debisi ve akım şiddeti ilişkisi [48]                    | 27 |
| Şekil 3.8. Koruyucu gaz debisi ve nozül çapı ilişkisi [48]                      | 28 |
| Şekil 3.9. Kontak boru mesafesi [51]  | 28 |
| Şekil 3.10. Kaynak kusurları [52].  | 29 |
| Şekil 3.11. TIG kaynağı uygulama şekli [53].                                    | 30 |
| Şekil 3.12. TIG kaynağında kutuplama şekilleri [54].                            | 31 |
| Şekil 3.13. İyon bombardımanı ile oksit tabakasının kırılması [55].             | 31 |
| Şekil 3.14. Düşey karakteristikli güç kaynağının grafiği [48].                  | 32 |
| Şekil 3.15. TIG torcu şematik gösterimi [56]                                    | 33 |
| Şekil 4.1. Gerilim-gerinim grafiğinden akma dayanımı hesaplanması [59].         | 35 |
| Şekil 4.2. Gerilim-gerinim grafiği [60].  | 36 |
| Şekil 4.3. Üç noktadan eğilme testi test düzeneği                               | 36 |
| Şekil 4.4. Üç Noktadan Eğilme Testi Kesme Kuvveti ve Moment Diyagramı.          | 37 |
| Şekil 5.1. Ham numunelerin fotoğrafları   | 40 |
| Şekil 5.2. CNC tezgahta talaş kaldırılarak kaynak ağzı açılması                 | 40 |
| Şekil 5.3. Kaynak ağzı açılmış numuneler  | 40 |
| Şekil 5.4. Kaynak hazırlığının şematik gösterimi                                | 41 |
| Şekil 5.5. Kaynak hazırlıklarının şematik gösterimi                             | 41 |
| Şekil 5.6. Kaynak işlemine ait görüntüler                                       | 42 |
| Şekil 5.7. Kaynamış numunelerin testere kesimleri                               | 44 |
| Şekil 5.8. CNC tezgahta işlenen çekme numuneleri                                | 44 |
| Şekil 5.9. İşlenen numunenin ölçülendirilmiş görseli                            | 45 |
| Şekil 5.10. Eğme testinin ölçülendirilmiş görselleri                            | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 5.11. Kusurlu numuneler .....                          | 46 |
| Şekil 5.12. Çekme testi test düzeneği .....                  | 46 |
| Şekil 5.13. Üç noktadan eğme testi test düzeneği .....       | 47 |
| Şekil 6.1. 5V50T numuneleri.....                             | 49 |
| Şekil 6.2. 5V50T, gerilim-gerinim grafiği.....               | 50 |
| Şekil 6.3. 5V50T numunelerine ait kırılma fotoğrafları ..... | 51 |
| Şekil 6.4. 5V75T numuneleri.....                             | 52 |
| Şekil 6.5. 5V75T, gerilim-gerinim grafiği.....               | 52 |
| Şekil 6.6. 5V75T numunelerine ait kırılma fotoğrafları ..... | 54 |
| Şekil 6.7. 5V90T numuneleri.....                             | 55 |
| Şekil 6.8. 5083 V90 TS, gerilim-gerinim grafiği.....         | 55 |
| Şekil 6.9. 5V90T numunelerine ait kırılma fotoğrafları ..... | 57 |
| Şekil 6.10. 6V50T numuneleri.....                            | 58 |
| Şekil 6.11. 6V50T, gerilim-gerinim grafiği.....              | 58 |
| Şekil 6.12. 6V50T numuneleri kırılma fotoğrafları.....       | 60 |
| Şekil 6.13. 6V75T numuneleri.....                            | 61 |
| Şekil 6.14. 6V75T, gerilim-gerinim grafiği.....              | 61 |
| Şekil 6.15. 6V75T numuneleri kırılma fotoğrafları.....       | 63 |
| Şekil 6.16. 6V90T numuneleri.....                            | 64 |
| Şekil 6.17. 6V90T, gerilim-gerinim grafiği.....              | 64 |
| Şekil 6.18. 6V90T numuneleri kırılma fotoğrafları.....       | 66 |
| Şekil 6.19. 5X50T numuneleri.....                            | 67 |
| Şekil 6.20. 5X50T, gerilim-gerinim grafiği.....              | 67 |
| Şekil 6.21. 5X50T numuneleri kırılma fotoğrafları.....       | 69 |
| Şekil 6.22. 5X75T numuneleri.....                            | 70 |
| Şekil 6.23. 5X75T, gerilim-gerinim grafiği.....              | 70 |
| Şekil 6.24. 5X75T numuneleri kırılma fotoğrafları.....       | 72 |
| Şekil 6.25. 5X90T numuneleri.....                            | 73 |
| Şekil 6.26. 5X90T, gerilim-gerinim grafiği.....              | 73 |
| Şekil 6.27. 5X90T numuneleri kırılma fotoğraflar .....       | 75 |
| Şekil 6.28. 6X50T numuneleri.....                            | 76 |
| Şekil 6.29. 6X50T, gerilim-gerinim grafiği.....              | 76 |
| Şekil 6.30. 6X50T numuneleri kırılma fotoğraflar .....       | 78 |
| Şekil 6.31. 6X75T numuneleri.....                            | 79 |

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 6.32. 6X75T, gerilim-gerinim grafiği.....   | 79  |
| Şekil 6.33. 6X75T numuneleri kırılma fotoğraflar .....  | 81  |
| Şekil 6.34. 6X90T numuneleri.....   | 82  |
| Şekil 6.35. 6X90T, gerilim-gerinim grafiği.....   | 82  |
| Şekil 6.36. 6X90T numuneleri kırılma fotoğraflar .....  | 84  |
| Şekil 6.375V50B numuneleri .....  | 85  |
| Şekil 6.38. 5V50B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 85  |
| Şekil 6.39. 5V75B numuneleri .....  | 86  |
| Şekil 6.40. 5V75B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 87  |
| Şekil 6.41. 5V90B numuneleri .....  | 88  |
| Şekil 6.42 5V90B, gerilim-gerinim grafiği .....   | 88  |
| Şekil 6.43. 6V50B numuneleri .....  | 89  |
| Şekil 6.44. 6V50B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 90  |
| Şekil 6.45. 6V75B numuneleri .....  | 91  |
| Şekil 6.46. 6V75B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 91  |
| Şekil 6.47. 6V90B numuneleri .....  | 92  |
| Şekil 6.48. 6V90B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 93  |
| Şekil 6.49. 5X50B numuneleri .....  | 94  |
| Şekil 6.50. 5X50B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 94  |
| Şekil 6.51. 5X75B numuneleri .....  | 95  |
| Şekil 6.52. 5X75B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 96  |
| Şekil 6.53. 5X90B numuneleri .....  | 97  |
| Şekil 6.54. 5X90B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 97  |
| Şekil 6.55. 6X50B numuneleri .....  | 98  |
| Şekil 6.56.6X50B, gerilim-gerinim grafiği.....  | 99  |
| Şekil 6.57. 6X75B numuneleri .....  | 100 |
| Şekil 6.58. 6X75B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 100 |
| Şekil 6.59. 6X90B numuneleri .....  | 101 |
| Şekil 6.60. 6X90B, gerilim-gerinim grafiği.....   | 102 |
| Şekil 6.61. AW 5083 alaşımı kaynaklı numune kırılma yüzeyi SEM görüntüsü<br>(Mutombo, [61]) .....     | 103 |
| Şekil 6.62. AW 5083 ve ER5356 malzemeleri kullanılan kaynakta mikro kusurlar<br>(Mutambo, [62]) ..... | 104 |

|  |     |
|--|-----|
| Şekil 6.63. AW 6061 alaşımı kaynaklı numune kırılma yüzeyi SEM görüntüsü<br>(Guzmán, [63]) ..... | 105 |
| Şekil 6.64. Test gruplarının çekme dayanımları .....   | 106 |
| Şekil 6.65. Test gruplarının uzama oranları.....   | 106 |
| Şekil 6.66. Test gruplarının üç noktadan eğilme dayanımları .....                                | 107 |
| Şekil 6.67. Test gruplarının elastiklik ve kayma modülleri.....                                  | 108 |

## TABLULAR LİSTESİ

|   |     |
|---|-----|
| Tablo 2.1. Dövme Alüminyum Alaşımları .....   | 16  |
| Tablo 2.2. Döküm Alüminyum Alaşımları .....   | 17  |
| Tablo 2.3. Alüminyum Temperleri .....   | 18  |
| Tablo 3.1. Kaynak yöntemlerine göre ark verimi katsayıları (TS EN 1011-1, [45]'den değiştirilerek. .... | 22  |
| Tablo 5.1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları.....                                | 39  |
| Tablo 5.2. Deneylerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri.....                                  | 39  |
| Tablo 5.3. Örnek Kaynak parametreleri .....   | 42  |
| Tablo 6.1. 5V50T numuneleri çekme testi sonuçları.....  | 50  |
| Tablo 6.2. 5083 V75 TS numuneleri çekme testi sonuçları .....   | 53  |
| Tablo 6.3. 5V90T numuneleri çekme testi sonuçları.....  | 56  |
| Tablo 6.4. 6V50T numuneleri çekme testi sonuçları.....  | 59  |
| Tablo 6.5. 6V75T numuneleri çekme testi sonuçları.....  | 62  |
| Tablo 6.6. 6V90T numuneleri çekme testi sonuçları .....   | 65  |
| Tablo 6.7. 5X50T numuneleri çekme testi sonuçları .....   | 68  |
| Tablo 6.8. 5X75T numuneleri çekme testi sonuçları.....  | 71  |
| Tablo 6.9. 5X90T numuneleri çekme testi sonuçları.....  | 74  |
| Tablo 6.10. 6X50T numuneleri çekme testi sonuçları.....   | 77  |
| Tablo 6.11. 6X75T numuneleri çekme testi sonuçları.....   | 80  |
| Tablo 6.12. 6X90T numuneleri çekme testi sonuçları.....   | 83  |
| Tablo 6.13. 5V50B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 86  |
| Tablo 6.14. 5V75B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 87  |
| Tablo 6.15. 5V90B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 89  |
| Tablo 6.16. 6V50B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 90  |
| Tablo 6.17. 6V75B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 92  |
| Tablo 6.18. 6V90B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 93  |
| Tablo 6.19. 5X50B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 95  |
| Tablo 6.20. 5X75B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 96  |
| Tablo 6.21. 5X90B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 98  |
| Tablo 6.22. 6X50B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 99  |
| Tablo 6.23. 6X75B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 101 |
| Tablo 6.24. 6X90B numuneleri eğme testi sonuçları .....   | 102 |



|  |     |
|--|-----|
| Tablo 6.25. Test grubu bazında çekme testi sonuçları.....            | 105 |
| Tablo 6.26. Test grubu bazında üç noktadan eğme testi sonuçları..... | 107 |

## KISALTMALAR

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| MPa | Megapascal                  |
| GPa | Gigapascal                  |
| TIG | Tungsten Inert Gas          |
| MIG | Metal Inert Gas             |
| MAG | Metal Active Gas            |
| Ar  | Argon Elementi              |
| He  | Helyum Elementi             |
| FSW | Sürtünme Karıştırma Kaynağı |
| HAZ | Isıdan Etkilenmiş Bölge     |
| PMZ | Kısmi Ergime Bölgesi        |
| WM  | Kaynak Metali               |

## SEMBOLLER

|                    |  |
|--------------------|--|
| $^{\circ}\text{C}$ | Derece Selsiyus  |
| $^{\circ}\text{F}$ | Derece Fahrenheit                                      |
| H                  | Hat Enerjisi (j/mm)                                    |
| V                  | Kaynak Hızı (mm/dk)                                    |
| $\eta$             | Ark Verimi   |
| U                  | Kaynak Gerilimi (Volt)                                 |
| i                  | Kaynak Akımı (Amper)                                   |
| $\sigma$           | Gerilim (MPa)  |
| F                  | Uygulanan Kuvvet (N)                                   |
| $A_0$              | Deforme Olmadan Önce Ki Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> ) |
| e                  | Yüzde Uzama Miktarı                                    |
| $\Delta l$         | Malzeme Boyundaki Değişim (mm)                         |
| $l_0$              | Malzemenin İlk Boyu (mm)                               |
| E                  | Elastisite modülü (GPa)                                |
| I                  | Atalet Momenti (Kg.m <sup>2</sup> )                    |
| $\delta$           | Sehim (mm)   |
| k                  | Eğim   |
| G                  | Kayma Modülü (GPa)                                     |

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Genel Bilgiler

Zırhlar tarih boyunca askeri amaçlarla ordularda kullanılmış, koruyucu vasıf taşıyan malzeme veya ekipmanlardır. Günümüzde zırh uygulamaları askeri ve sivil amaçlarla kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Zırh uygulamaları, Kara Kuvvetleri tarafından kullanılan zırhlı muharebe araçları için büyük öneme sahiptir. Bu araçlarda kullanılan zırh malzemeleri temelde, metal alaşımları, seramikler ve kompozit malzemeler olsa da günümüz şartlarında, halen temel bileşen olarak metal alaşımları ön plana çıkmaktadır. Günümüz zırh teknolojisi daha yüksek balistik performansa sahip kompozit ürünler ortaya koyuyor olsa da nispeten daha düşük maliyetli olmaları, üretim ve montaj kolaylıkları, yüksek tokluğa sahip olması, tamir maliyetlerinin düşük olması gibi sebepler halen metal alaşımlarını vazgeçilmez yapmaktadır. Araç gövdelerinde temel yapı elamanı malzemesi olarak kullanılmasının sebebi de çeşitli birleştirme teknikleriyle büyük ve kompleks geometriler elde edilebiliyor olmasıdır. Neticede malzeme ne kadar vasıflı olursa olsun zırh malzemesi, ancak araç gövdesine montajı yapılabildiği durumda işlevini yerine getirebilir. (Kara ve Korkut, [1])

Günümüz ordularında zırhlı muharebe araçlarının yüksek manevra kabiliyetine sahip olması doğrudan muharebe etkinliğini etkileyen bir unsurdur. Geleneksel zırh çelikleri yüksek dayanım ve sertlik değerlerine sahip olsa dahi yüksek özgül ağırlıkları ve düşük korozyon dirençleri sebebiyle, hafif ve orta seviye korumaya sahip muharebe araçlarında büyük ölçüde yerlerini alüminyum alaşımlarına bırakmışlardır. Alüminyum alaşımları, zırh çeliklerinin yaklaşık 1/3'ü kadar özgül ağırlığa sahip olmasından ötürü ağırlık avantajları sağlayabilmektedir. Alüminyum çok ince ve sık bir oksit tabakasıyla kaplıdır. Korozyon direnci fazladır. Atmosferik korozyona ve deniz suyuna karşı çok dayanıklıdır. (Beljajew, [2]) Yüksek korozyon direnci uzun servis ömrü ve düşük maliyeti getirir. (Gilmont, [3]) Alüminyum alaşımları genelde iyi kaynaklanabilirliğe sahip olmasına rağmen yüzeyinde doğal olarak bulunan ve atmosfer koşullarında çok hızlı oluşan alümina tabakası nedeniyle, çeliklere göre kaynak prosesi daha maliyetli ve zordur.

Alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılan en yaygın iki yöntem Metal Inert Gas (MIG) ve Tungsten Inert Gas (TIG) yöntemleridir. Bu yöntemlerin kullanılma sebepleri

başında ekonomik olmaları ve kullanım kolaylıkları gelmektedir. Özellikle araç gövdelerinde yüksek yığıma kapasitesi sebebiyle yoğun olarak kullanılan yöntem, MIG yöntemidir. Bilindiği üzere alüminyum alaşımları zırh çeliklerine yakın balistik performanslara sahip olabilmekle birlikte, daha fazla kesit alanı kullandığı için kaynak hazırlığı ve kaynak tasarımı büyük önem arz etmektedir. Örnek vermek gerekirse, RHA eş değeri 0,89 olan AA5083 alüminyum alaşımı başta zırhlı personel taşıyıcılar ve diğer araçlar için pek cazip görülmesi de üstün yapısal karakteristikleri ve önemli derecede sağladığı ağırlık kazançları onu hafif zırhlı araçlar için uygun bir malzeme kılar.[4] 6 mm kalınlığında RHA çeliği yerine RHA eş değeri 0,89 olan AA5083 alaşımı kullanılacak olursa yaklaşık 20 mm kalınlığında bir kesite sahip olması gerekir. Bu kalınlıklarda ise çok pasolu kaynak yapmak gerekeceğinden mecburi olarak kaynak ağzı tasarımı öne çıkar.

## **1.2. Amaç ve Hedefler**

Bu çalışmada, savunma platformlarında kullanılan alüminyum alaşımlarının kaynağında kaynak ağzı geometrisi ve açısının mekanik özelliklere etkisini araştırılmıştır. Çekme ve eğme koşullarında farklı kaynak ağzı geometrilerinde farklı dayanım değerleri elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu şekilde hangi yükleme koşulunda hangi kaynak hazırlığının daha verimli olacağına saptanması hedef alınmıştır. Öncelikle savunma platformlarında sıkça kullanılan biri ısıtılma işlemi uygun olmayan ve diğeri ısıtılma işlemi uygun olan, AA5083 ve AA6061 alaşımları numune olarak seçilmiştir. Numune hazırlığı V ve X kaynak ağzları için 50, 75 ve 90 derece açılarında yapılmıştır. Uygun kaynak parametreleri seçilerek kaynak işlemleri yapılmış ve test numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde, çekme ve eğme tahribatlı testleri uygulanmış ve değerler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucuna göre hangi yükleme koşulunda hangi geometrinin daha fazla performans gösterdiğinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

## **1.3. Literatür Çalışması**

İpek N. E. vd. [5] bu çalışmada, kaynak ağzı açısı ve geometrisinin zırh çeliklerinin alın birleştirilmesinde mekanik özelliklere etkisini araştırmıştır. 12mm kalınlığında Mil-A 46100 kalite zırh çelikleri üzerinde V ve X tipi kaynak ağzları 48°, 54° ve 60° açılarında açılarak MAG yöntemiyle kaynatılmıştır. Sarf malzemeleri olarak ise Ø1,6 mm östenitik paslanmaz çelik tel kullanılırken, koruyucu gaz olarak %97 Ar + %3 CO<sub>2</sub> karışım gazı

kullanılmıştır. Sonlu elemanlar analizi de yapılan çalışmada MARC yazılım ve kaynaklı birleşimlerdeki gerilimi modellemek için three-dimensional nonlinear elastic-plastic stress analysis kullanılmıştır. Literatür çalışmalarına göre kaynaklı birleşimleri modellemek için hexahedral geometrisi uygun bulunmuş ve sonuç olarak, MSC PATRAN yazılımında Hex8 mesh olarak seçilmiştir. Çözümü kolaylaştırmak amacıyla analizlerde simetrik çözüm yapılmıştır. Deneysel uygulamada ise numunelere basma, çekme ve eğme tahribatlı testleri yapılmış ve sayısal analizle karşılaştırılmıştır. Buradan elde edilen sonuca göre çekme ve eğme koşullarında V tipi kaynak ağzıyla hazırlanan numuneler X tipi kaynak ağzıyla hazırlanan numunelerden daha iyi performans sergilemiştir. Lakin X tipi kaynak ağzıyla hazırlanan numuneler basma koşulunda V tipi kaynak ağzıyla hazırlanan numunelerden daha iyi sonuçlar vermiştir. Basma testinde X48, çekme testinde V54, eğme testinde V48 en iyi sonuçları veren kaynaklı birleşimler olmuştur.

Li L. vd., [6] bu çalışmada, AA7075-T6 alaşımında kaynak ağzı hazırlığının mekanik özelliklerini araştırmıştır. 3,175 mm (1/8 in.) kalınlığında AA7075-T6 alaşımı, Ø0,9 mm ER5356 dolgu teli kullanılarak otomatik TIG yöntemiyle farklı açılarda V kaynak ağzı açılarak kaynatılmış ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Koruyucu gaz olarak %70 Ar + %30 He seçilmiş ve Ø3,175 mm küt uçlu saf tungsten elektrot kullanılmıştır. Test numunelerinde kullanılan V kaynak ağzı açıları 0°, 25°, 50°, 75° ve 90° olarak seçilmiştir. Numuneler fikstürlenmiş şekilde ve Ar kök koruma gazı kullanılarak kaynatılmıştır. Kaynatılan numuneler, kaynatıldığı gibi, yapay yaşlandırılmış ve doğal yaşlandırılmış olarak test edilmiştir. Doğal yaşlandırma yapılan numuneler oda sıcaklığında 30 gün bekletilmiştir, yapay yaşlandırma uygulanan numuneler ise 460 °C'de 10 dk bekletildikten sonra su ile soğutulmuş, ardında 121 °C'de 24 saat bekletilmiştir. Bu çalışmada dolgu malzemesi ana malzemeden daha düşük dayanıma sahip olduğu için, kaynak ağzı açısının artması neticesinde artan dolgu malzemesi oranı kaynak bölgesinde dayanımı düşürmüştür. Neticede 90° olan kaynak ağzında en düşük dayanım değeri olan 259 MPa değeri ölçülmüştür. 0° olan numunede yapay yaşlandırma sonucunda maksimum dayanım 486 MPa olarak elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda ince plaka halindeki AA7075 alaşımının otomatik TIG kaynağı uygulanarak çatlaksız olarak kaynatılabileceği görülmüştür. Kaynak ağzı açısı arttıkça dayanımın düştüğü ancak sünekliliğin arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapay yaşlandırılmış numuneler en yüksek dayanım değerlerine ulaşırken, kaynatıldığı gibi kullanılan numuneler yaşlandırılmış numunelerin yaklaşık yarısı kadar dayanım sergilemişlerdir. Doğal yaşlandırma uygulanan numunelerde ise dayanım değerleri bir

miktar artmış olsa da yapay yaşlandırma uygulanan numunelere yetişememektedir. En sünek numuneler kaynatıldığı gibi kullanılan numuneler olmuştur.

Deepali S. vd., [7] bu çalışmada, kaynak ağız geometrisi ve kaynak hızının alın birleştirmelerine etkisini araştırmıştır. 8 mm kalınlığında ASTM A633 Grade E malzemesi V tipi kaynak ağızları 30, 40 ve 50 derece olacak şekilde üç farklı açıyla hazırlanmış ve robot kolla TIG kaynağı yapılarak kaynatılmıştır. Gaz olarak Ar ve He gazları karışımı kullanılmıştır. Farklı kaynak hızlarının da uygulandığı bu çalışmada en yüksek çekme dayanımı V40 kaynak ağızında 1,5 mm boşluk verilerek 0,3 cm/s kaynak hızında maksimum çekme dayanımı olan 569,76 MPa değerine ulaşılmıştır. En yüksek darbe tokluğu ise V50 kaynak ağızında 0,9 cm/s kaynak hızında ve 2 mm kaynak boşluğunda tespit edilmiştir. Bu çalışma sonunda en etkili parametreler V40 kaynak ağızında 1,5 mm boşluk verilerek 0,3 cm/s kaynak hızında olarak tespit edilmiştir. Bu parametrelerin maliyeti düşüreceği ve kaliteyi arttıracığı öne sürülmüştür.

Kölük F., vd., [8] bu çalışmada, östenitik paslanmaz çelik numuneler farklı kaynak geometrileri paso sayıları ve kaynak teknikleri kullanılarak kaynatılmış, mekanik testler uygulanmış ve paslanmaz çelik kaynağında en mukavemetli kaynağın hangi parametrelerde elde edileceği araştırılmıştır. 6mm kalınlığında AISI 304 (X5CrNi1810) kalite paslanmaz çelik farklı paso sayıları ve kaynak ağız geometrileri kullanılarak kaynatılmıştır. Kaynak ağız geometrileri X ve V tipi ağızlar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda TIG yöntemi kullanılan numunelerin dayanımı hem elle ark yöntemine göre hem de MAG yöntemine göre daha yüksek dayanım değerlerine ulaştığı görülmüş. TIG yönteminde saf Ar gazı koruyucu gaz olarak kullanılırken, MIG yönteminde %98 Ar + %2 O<sub>2</sub> gazı kullanıldığı belirtilmiştir. En yüksek dayanım değerlerine TIG yönteminde ulaşılmıştır. X tipi kaynak ağız açılan ve TIG yöntemi kullanılan numunelerin süneklik değerleri daha yüksek olurken V tipi kaynak ağız açılan numunelerin çekme dayanımları daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Eğilme testlerinde numuneler arasında kayda değer farklılıklar görülmemiştir.

Kelsey R. A., vd., [9] bu çalışmada, 1 ¼ in. kalınlığında AA7039-T63 alaşım 3/32 in., 1/16 in. ve 0,046 in. çaplarında dolgu telleriyle MIG yöntemiyle ER5356 kalite tel kullanılarak Ar + He gaz karışımı koruyucu gaz kullanılarak kaynatılmıştır. Farklı sayılarda pasolar atılarak yapılan kaynak numuneleri çift taraflı V ağız 45 ve 60 derece açılarında açılmış ve mekanik testler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda HAZ bölgesi genişliği arttıkça

dayanımın düştüğü, paso sayısı ve pasolar arası sıcaklığın ciddi bir fark yaratmadığı belirtilmiştir. 400-600 °F arasında ısıtılan metalde sertlik düşüşü yaşanmıştır ve ısıl işleme sertlik geri kazanılamamıştır. 600 °F ve üstünde sıcaklıklara çıkıldığında ise sertlik düşüşü ciddi derecelere ulaşmış ancak ısıl işlem sonrasında neredeyse tamamen geri kazanım sağlanmıştır. HAZ bölgesi genişliği arttıkça yüzeyde korozyon direncinin düştüğü belirtilmiştir. Isı girdisi V45'te daha düşük hesaplanmıştır ve V60'a göre daha yüksek çekme dayanımı sergilemiştir.

Cheng, C. M. [10], vd., bu çalışmada, alüminyum alaşımlarının yüksek termal iletkenliğe sahip olması ve yüksek sıcaklıklarda düşük akma dayanımına sahip olması nedeniyle kaynak sonrası çarpılma riskinin fazla olmasından dolayı alüminyum alaşımlarının çarpılma davranışları incelemiştir. 6 mm kalınlığında AA2024-T351, AA6061-T6 ve AA7075-T6 ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları farklı kaynak ağızı hazırlıkları yapılarak kaynatılmış ve çarpılmaları dikkate alınmıştır. TIG yöntemi kullanılmış ve dolgu malzemesi ER5356 seçilmiştir. Yapılan hazırlıklar 0 derece olarak ifade edilen küt ağız ve sırasıyla 45, 60 ve 90 derece açılarla tek taraflı V kaynak ağızı şeklinde yapılmıştır. Kaynakla fikstürlü ve fikstürsüz şekilde yapılarak çeşitlilik sağlanmıştır. Sonuç olarak 0 derece yapılan kaynak için fikstürlü kaynak numunesi fikstürsüze göre daha fazla çarpılma göstermiştir. V kaynak ağızı açılan diğer numuneler için ise kaynak fikstürü kullanıldığı durumda daha az çarpılma gözlenmiştir. Fikstürlü numunelerde deformasyona hem termal genişmeden kaynaklı uzama hem de kaynak metalinin katılaşması ve çekmesi sebep olmuştur ve fikstürsüz numunelerde sadece kaynak metalinin katılaşması ve çekmesi sebep olmuştur. Dolgu malzemesi hacmi arttıkça açılma çarpılma oranı artmıştır ancak 60 derece açı ile kaynatılan numunede durum değişmiştir ve V ağız açılan numuneler için fikstürlü ve fikstürsüz koşullarda en az açılma çarpılmayı 60 derece açı kullanılan numuneler göstermiştir. Yüksek sıcaklıkta akma dayanımı sırası AA6061-T6, AA2024-T351, AA7075-T6 olacak şekilde bulunmuştur.

C. Çetinkaya, vd., [11] bu çalışmada, AA1030, AA1050 ve AA3003 kalite alüminyum alaşımları için TIG ve MIG yöntemleri uygulamıştır. Değiştirilen parametreler ise koruyucu gaz ve dolgu telleri olmuştur. Buna göre %100 Ar ve %75 Ar + %25 He gazları ve AlMg5, AlSi5 telleriyle numuneler hazırlanmış ve mikro yapı incelemesine ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Sonuç olarak TIG yöntemiyle kaynatılan, AA1030 için en yüksek dayanım değerleri AlMg5 dolgu teli ve %75 Ar + %25 He karışım gazı kullanıldığında elde edilmiştir.



AA1050 alaşımında AlSi5 ve %75 Ar + %25 He karışım gazı en dūřuk dayanıma sahip olmuştur ancak aynı dolgu seçimiyle %100 Ar gazı kullanıldığında dayanım artmıştır. AA1050 alaşımında AlSi5 kullanıldığında AA3003 alaşımında MIG yōntemiyle kaynatılan numune AlMg5 ve %75 Ar + %25 He karışım gazı ile en iyi performansı sağlamıştır. Farklı gaz ve dolgu malzemesi karışımlarının etkisi incelenmiştir.

Çevik, B., [12] bu çalışmada, Őzlü tel kullanılarak kaynatılan S275 yapı çeliklerinde kaynak ağzı tasarımı ve mekanik ve metalűrjik Őzelliklere etkisi araştırılmıştır. Mekanik Őzellikleri belirlemek için çekme, eėme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Ayrıca kaynak metali ve HAZ bōlgesi için de mikro yapı incelemeleri yapılmıştır ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada dōrt farklı kaynak ağzı geometrisi: X1 (ift taraflı V), X2, K1 (ift taraflı yarım V), K2 şeklinde ve X tipi olanlar 90 derece K tipi olanlar 45 derece olacak şekilde kullanılmıştır. Malzeme olarak 10 mm kalınlığında S275 yapı çeliği kullanılmıştır. Őzlü tel yōntemiyle (FCAW) kaynatılan numunelerde Ø1,2 mm çapında rutil Őrtölü Őzlü tel, %86 Ar, %12 CO<sub>2</sub>, %2 O<sub>2</sub> içerikli bir karışım gazıyla birlikte kullanılmıştır. ASTM-E8'e gōre çekme testi ve TS EN ISO 5173'e gōre eėme testi yapılmıştır. Ana malzeme içi çekme dayanımı 612 MPa olarak tespit edilmiştir, buna en yakın değer ise X2 kaynak ağzı açılan numunede 589 MPa olarak elde edilmiştir. En dūřuk çekme dayanımı ise K1 kaynak ağzı açılan numunede 424 MPa olarak tespit edilmiştir. Eėme testinde ana malzemenin en yűksek eėme dayanımı 1247 MPa olarak bulunmuş ve X2 numunesi için, 1086 MPa olarak bulunmuştur. Ayrıca en dūřuk eėme dayanımları X1 ve K2 kaynak ağzı geometrileri için tespit edilmiştir. Ayrıca mikro yapı analizlerinde de farklı kaynak ağzı hazırlıklarının farklı mikro yapıları oluşturabildiği gōzlemlenmiřtir. Kaynak ağzı geometrisinin mekanik ve metalűrjik olarak ciddi farklılıklar yarattığını gōstermiřtir. Bu çalışmaya gōre X2 en iyi performansı sergilemiştir ve K1 en kōtű performansı sergilemiştir.

Matsumura, H., vd., [13] bu çalıřmada, elik konstrűksiyonda T birleřtirmelerde robot kolla MAG kaynaėı kullanılarak, kaynak parametreleri ve sıcak çatlak oluřumu arasında ki iliřkiler incelemiřtir. Kullanılan numuneler 4 mm, 7 mm ve 10mm kalınlıklarda 20, 25 ve 30 derece açılarda kaynak aėzı açılarak kaynatılmıřtır. SN490C kalite eliėi, Ø1.2 mm, YGW18 dolgu malzemesiyle robot kolla MAG kaynaėı ile kaynatılmıřtır. Paso geniřliėi ve nűfuziyet derinliėi oranıyla sıcak çatlak riski oluřumu arasında baėlantı gōrűlműřtűr. Ayrıca fikstűrlenerek kaynatılan numunelerde sıcak çatlak riskinin arttıėı belirtilmiřtir. Sıcak atlak

riskinin kaynak hızı arttıkça arttığı da belirtilmiştir. Sıcak çatlak riskinin salınımlı paso atılarak düşürüldüğü belirtilmiştir.

Sattari I. vd., [14] bu çalışmada, kaynak ağzı geometrisi ve kaynak sonrası kalıntı gerilimler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Deneysel olarak 10 mm kalınlığında AISI 304 kalite malzemenin V kaynak ağzı 60 derece açılmıştır sonrasında saf argon gazı ve otomatik TIG makinesiyle ER310 kalite dolgu kullanılarak kaynatılmıştır. Sayısal analizler yapılan çalışmada 6 mm ve 10 mm kalınlıkları için; V, X ve U kaynak ağzları modellenerek hesaplamalar yapılmıştır. Bu modellemeler paso sayılarında yapılan değişiklikler neticesinde çeşitlendirilmiştir, buna göre 6 mm kalınlığı için, 2, 4 ve 6 adet paso ile çalışma yapılırken, 10 mm kalınlık için, 4, 9 ve 13 adet paso ile çalışma yapılmıştır. Yapılan FEM analizleri sonucunda 6 mm kalınlıkta çözülen örnekte kalıntı gerilmeler için kaynak ağzı geometrisinin ciddi bir farklılık göstermediği belirtilmiştir. Kalın malzemelerin davranışlarını görmek için yapılan 10 mm kalınlığındaki örnekte ise en fazla kalıntı gerilmenin X kaynak ağzında olduğu belirtilmiştir. Minimum kalıntı gerilme ise V kaynak ağzında tespit edilmiştir. Paso sayısının ince malzemelerde dış yüzeyde ciddi bir fark yaratmadığı belirtilmiştir, iç yüzeyde paso sayısı arttıkça gerilim azaldığı tespit edilmiştir. Kalın malzemelerde ise paso sayısı arttıkça kalıntı gerilmesinin de arttığı tespit edilmiştir.

Raghu, E. vd., [15] bu çalışmada, P460N çeliği, elle ark kaynak tekniği uygulayarak 45, 60 ve 75 derece açılarla kaynak ağzları açılarak hazırlanmış numuneler kaynatılmıştır. Numunelere çekme, eğme ve sertlik testleri uygulanmıştır. Numune olarak, 5 mm kalınlığında düşük karbonlu yapı çeliği kullanılmıştır ve elektrot olarak E6013 kalite elektrot kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en yüksek çekme dayanımı ve sertlik değeri 75 derece olan numunede elde edilmiştir, en düşük değerler 45 derece açıyla hazırlanan numunede elde edilmiştir. Bu çalışmaya göre en ideal kaynak ağzı açısının 60 derece olacağı savunulmuştur.

Pratikno H., vd., [16] bu çalışmada farklı koruyucu gaz debileri ve V kaynak ağzı açılarının, ASTM A53 ve ASTM A36 yapı çeliklerinin kaynak birleşimlerinin çekme dayanımına etkisini tespit etmiştir. MAG yöntemiyle kaynatılan 18 mm kalınlığındaki numuneler, V ve çift taraflı V kaynak ağzları 60 derece açı kullanılarak açılmış şekilde kaynatılmıştır. Dolgu malzemesi olarak Ø1,2 mm AWS ER70S-6 teli ve koruyucu gaz olarak %100 CO<sub>2</sub> gazı kullanılmıştır. Testler sonucunda koruyucu gaz debisi artırıldıkça dayanımın arttığı tespit edilmiştir ve en iyi sonucun çift taraflı V kaynak ağzı açılan

numunede 25 l/dk gaz debisiyle elde edilmiştir. Bu numune için akma dayanımı 412,8 MPa ve çekme dayanımı 516,73 MPa olarak ölçülmüştür. Gaz debisi artışıyla HAZ bölgesi genişliğinin ilişkisi olduğu ve debi arttıkça HAZ bölgesinin daraldığı belirtilmiştir. Buna göre en dar HAZ bölgesine sahip olan numune en yüksek çekme dayanımını da gösteren numune olarak belirtilmiştir.

Lakshminarayanan, A. K., vd. [17] bu çalışmada, 6mm kalınlığında AA6061 alaşımı MIG, TIG ve FSW yöntemleriyle birleştirmiştir. MIG ve TIG yöntemi için AA4043 dolgu malzemesi ve saf argon gazı kullanılmıştır ve V60 kaynak ağızı açılmıştır. FSW için ise kaynak bölgesi küt bırakılmıştır. FSW yönteminde yüksek karbonlu çelikten bir karıştırıcı takım kullanılmış ve hiçbir dolgu malzemesi kullanılmadan malzeme birleştirilmiştir. Ve ark kaynağına kıyasla hiçbir kaynak kusuruna rastlanmamıştır. Ana malzeme ve üç kaynak yöntemi birbiriyle kıyaslandığında ise sonuçlar ana malzeme için, akma dayanımı 302MPa ve çekme dayanımı 335MPa, MIG ile kaynatılan numune için, akma dayanımı 141MPa ve çekme dayanımı 163MPa, TIG ile kaynatılan numune için, akma dayanımı 188MPa ve çekme dayanımı 211MPa ve FSW yöntemiyle birleştirilen numune için, akma dayanımı 224MPa ve çekme dayanımı 248MPa değerlerinde bulunmuştur. Ayrıca tokluk ve sertlik değerlerini de ele alan çalışmada kaynak bölgesinde en yüksek sertlik FSW yönteminde elde edilmiştir. Sonuç olarak, en yüksek mekanik özellikler FSW yönteminde elde edilmişken sıralama TIG ve MIG şeklinde olmuştur. Kullanılan dolgu malzemesi nedeniyle kaynak bölgesinde en düşük sertlik MIG yöntemiyle kaynatılan numunede tespit edilmiştir, FSW yönteminde en yüksek sertliğe rastlanmıştır. Mikro yapı incelemesinde de en ince taneli ve az etkilenmiş tane yapısının FSW yöntemiyle yapılan kaynakta olduğu görülmüştür.

Sharma, V., vd., [18] bu çalışmada, 15mm kalınlıktaki düşük alaşımlı ıslah edilmiş ve temperlenmiş olan JFE-EH400 (YS 1319,77 MPa, UTS 1435,47 MPa) kalite çelik kaynak numuneleri kullanmıştır ve üç farklı kaynak ağızı tasarımı karşılaştırılmıştır. Hazırlanan kaynak ağızlar çift taraflı V, çift taraflı U ve bir tarafı U bir tarafı V olan kaynak ağızı şeklinde hazırlanmıştır (V ağızlar 60 derecede açılmış). Numunelerin kaynak ağızları talaş kaldırılarak işlenmiştir ve kaynak fikstürleri kullanılarak sabitlenmiştir. Yöntem olarak kök pasoda TIG yöntemi ve diğer pasolarda elle ark kaynağı kullanılmıştır. TIG dolgusu olarak T-70S-2 (YS 490 MPa, UTS 570 MPa) tel kullanılmıştır, elle ark kaynağında ise E7018 (YS 420 MPa, UTS 500-640 MPa) örtülü elektrotu kaynak öncesinde 250 °C’de kurutularak kullanılmıştır. Kaynak numunesi ise hidrojen çatlağı riskini düşürmek için 50 °C’ye kadar

ön ısıtmaya tabi tutulmuştur. Deneyle sonucunda en yüksek sertlik değeri V kaynak ağzında ulaşılmıştır ve yüksek sertlik aşınma plakalarında istenilen bir özelliktir. Akma ve çekme dayanımlarında da en yüksek değerlere V kaynak ağzı açılan numunede ulaşılmıştır. En yüksek tokluk değeri ise bir tarafı U bir tarafı V olan kaynak ağzı olan numunede ulaşılmıştır.

Pathak, D. Vd., [19] bu çalışmada, elle ark tekniği uygulanarak farklı kaynak ağzı açılarında düşük alaşımli düşük karbonlu çelik plakalardaki sertlik ve kaynak yüksekliği değerleri incelemiştir. 10 mm kalınlığında AISI 1016 kalite çelik malzeme, Ø3,15 mm çaplı E-6013 örtülü elektrot kullanılarak kaynatılmıştır. Kaynatılan numunelere 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 ve 75 derece açılarda V kaynak ağzı kullanılmıştır ayrıca malzeme kaynak sırasında fikstürler kullanılarak sabitlenmiştir. Kaynaklı numunelerde kaynak ağzı açısı arttıkça kaynak yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. Ancak kaynak yükseklikleri arasında kayda değer bir yükseklik farkına rastlanmamıştır. Bu çalışmada kaynak ağzı açısı arttıkça havayla temas eden yüzey alanı da arttığı için soğuma hızının da arttığı ve dolayısıyla daha sert yapıların oluştuğu belirtilmiştir. Bunu sonucunda ise kaynak ağzı genişliği arttıkça sertliğinde arttığı belirtilmiştir. Sonuç olarak ise sertlik özelliği açısından en uygun kaynak ağzı açısının 60 derece olduğu öne sürülmüştür.

Singh, T., vd., [20] bu çalışmada, kaynak ağzı açısının çekme dayanımı ve darbe dayanımı üzerindeki etkisi araştırmıştır. 10 mm kalınlığında IS2062 (E410) kalite çelik; 50, 60 ve 70 derece açılarda kaynak ağzı tasarımlarına göre hazırlanan numuneler, elle ark yöntemiyle kaynatılmış. Ø3,15 mm çapında E6013 kalite elektrot kullanılarak 3 pasoda kaynak yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre kaynak ağzı açısı arttıkça, çekme dayanımı lineer olarak azalmıştır. En yüksek çekme dayanımı 513,68 MPa olarak 50 derecede elde edilmiştir, en düşük çekme dayanımı 471,29 MPa olarak 70 derece açılı olan numunede elde edilmiştir. Boy uzaması ve darbe dayanımı değerleri de çekme testi sonuçlarına paralellik göstermiştir ve hepsi göz önüne alındığında en iyi kaynak açısının 50 derece açılı olan olduğu öne sürülmüştür.

Ye, Y., vd., [21] bu çalışmada, 10 mm kalınlığında AISI 304 kalite paslanmaz çelik farklı kaynak ağzı geometrileri kullanılarak kaynatılmış ve kalıntı gerilemeler ile kaynak ağzı geometrileri arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Ø1,2 mm çaplı GMS-309L kalite dolgu ile saf argon gaz kullanılarak kaynatılmış. Her numune 4'er paso kaynakla doldurulmuştur.

FEM yöntemi ile analiz edilen numuneler için thermo-elasticplastic finite element method kullanılmıştır, ayrıca deformasyon sertleşmesi ve toparlanma durumlarını da ele alan bir FEM modeli geliştirilerek kullanılmıştır. Buna göre, en fazla çarpılma V kaynak ağzı açılan numune için beklenmiştir, en fazla kaynak genişliği V kaynak ağzında elde edilmiştir dolayısıyla en fazla ısıdan etkilenmiş bölge de bu kaynakta bulunmuştur. Sonuç olarak en fazla çarpılmanın ve kalıntı gerilmenin V kaynak ağzı kullanılan numunede olması gerektiği belirtilmiştir.

Erdem, M., vd., [22] bu çalışmada, 12,7 mm ve 38 mm AA7039 kalite alüminyum alaşımı, AA5356 dolgu malzemesiyle ve MIG yöntemiyle kaynatılmıştır. 12,7 mm'lik kaynak numuneleri için V60 kaynak ağzı kullanılırken 38 mm'lik kaynak numuneleri için çift V60 kaynak ağzı kullanılmıştır. MIL-DTL-46063H göre yapılan V50 testleri sonucunda ana malzeme kabul sınırları içindeyken, kaynak bölgesi kabul sınırları içinde değildir. Kaynaklı numunelerin çekme dayanımı ve balistik performansı düşerken uzama miktarı artmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda mekanik özelliklerle balistik özelliklerin doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir.

Balasubramanian, R.R., vd., [23] bu çalışmanın amacı ısı işlem uygulanabilir AA7020 alaşımını ve ısı işlem uygulanamayan AA5083 alaşımının kaynak sonrası mekanik özelliklerinin karşılaştırmıştır. AA7020 ve AA5083 alaşımları, sırasıyla AA5556 ve AA5183 dolgu malzemesi kullanılarak, TIG yöntemiyle V60 kaynak ağzı kullanılarak numuneler kaynatılmıştır. Çekme, eğme, çentik darbe ve Brinell sertlik testi uygulanan numunelerden elde edilen sonuçlara göre AA7020 numunelerde çekme dayanımı ve sertlik değerleri beklenildiği üzere AA5083 alaşımından daha yüksek çıkmıştır. Ancak AA7020 ve AA5083 alaşımları eğme testinde kıyaslandığında daha sert olan AA7020 numunesi başarısızlığa uğramıştır. AA5083 daha iyi sünekliliğe sahip olduğu için eğilme testinde ve çentik darbe testinde daha başarılı olmuştur.

Vasu, K., vd., [24] bu çalışmada, AA5059 kalite alüminyum alaşımı için kaynaklı birleştirmelerde en yüksek dayanımın hangi kaynak yöntemiyle sağlanabileceği araştırılmış. 19 mm kalınlığında AA5059 kalite AA5556 kalite dolgu malzemesi kullanılarak MIG ve TIG yöntemleriyle V60 kaynak ağzı açılarak kaynatılmıştır. TIG yöntemiyle kaynatılan numunelerin çekme dayanımları %10 daha yüksek olarak belirtilirken numunelerin uzama oranları arasında ciddi bir fark tespit edilmemiştir. MIG yöntemindeki daha yüksek ısı girdisi

neticesinde çekme dayanımının TIG yöntemiyle yapılarına göre daha düşük olduğu belirtilmiştir.

Arunkumar, S., vd., [25] bu çalışmada, 25 mm kalınlığında AA2219-T87 alaşımı AA2319 dolgu malzemesi kullanılarak ve 60 derece açıyla çift taraflı V kaynak ağzı açılarak, TIG ve MIG yöntemleriyle kaynatılmış ve bu iki yöntem sonucu oluşan çarpılma davranışları incelenmiştir. TIG yönteminde malzemenin termal olarak çarpılması MIG yönteminden az olarak tespit edilmiş, ayrıca TIG yöntemiyle kaynatılan numunelerin dayanımı MIG yöntemiyle kaynatılan numunelerden daha yüksek çıkmıştır. Mikro yapı incelendiğinde de TIG yöntemi kullanılan numunelerde daha ince taneli yapılar görülmüştür.

Kumar, N. V., vd., [26] Bu çalışmada, 20 mm kalınlığında zırh çeliği malzeme için kaynak ağzı hazırlığında su jeti ve alevle kesme işlemleri karşılaştırılmıştır. Deneyde yarım V ağız açılan bir plaka küt plakaya birleştirilmiş ve elle ark kaynağı uygulanmıştır. Su jetiyle kesilen ve alevle kesilen numunelerin mikro yapıları incelendiğinde su jetiyle kesilen numunenin kaynak sonrası HAZ bölgesindeki mikro yapısının ana metale çok yakın olduğu belirtilirken, alevle kesilen malzemelerin kaynak sonrası HAZ bölgesinde mikro yapıda farklılık olduğu ve martensit yerine ferrit ve perlit yapılarının görüldüğü belirtilmiştir. Su jetiyle hazırlanan numunede alevle kesilerek hazırlanan numuneye göre daha yüksek sertlik derecelerine ulaşılmış ki bu istenen zırhlı araçlarda istenilen bir özelliktir. Alevle kesme yöntemi kullanılan numunenin ise çekme dayanımı daha yüksek çıkmıştır.

Hava, kara ve deniz platformlarında yoğun olarak kullanılan alüminyum alaşımlarında özellikle kara ve deniz platformlarında kaynakla birleştirme tekniği öne çıkmaktadır. Literatür çalışması sonucunda kaynak ağzı tasarımının kaynak kalitesine etkisi konusunda, çelik malzemelerle ilgili birçok çalışmaya rastlanırken bu konuda alüminyum alaşımlarla ilgili detaylı bir çalışmayla karşılaşılmamıştır. Bu sebepten ötürü 3 farklı açıda V ve X tipinde kaynak ağzıları açılan numuneler hazırlanmış ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Zırhlı araçların büyük gövdeleri ve seri üretim koşulları ele alındığında uygun yöntem MIG yöntemi olarak seçilmiştir. Malzeme olarak kaynaklı birleştirmeye uygun ve zırh uygulamalarında yoğun olarak kullanılan bir tanesi ısıtılabilir uygulanamaz ve bir tanesi ısıtılabilir uygulanabilir durumda olan AA5083 ve AA6061 alaşımları kullanılmıştır.

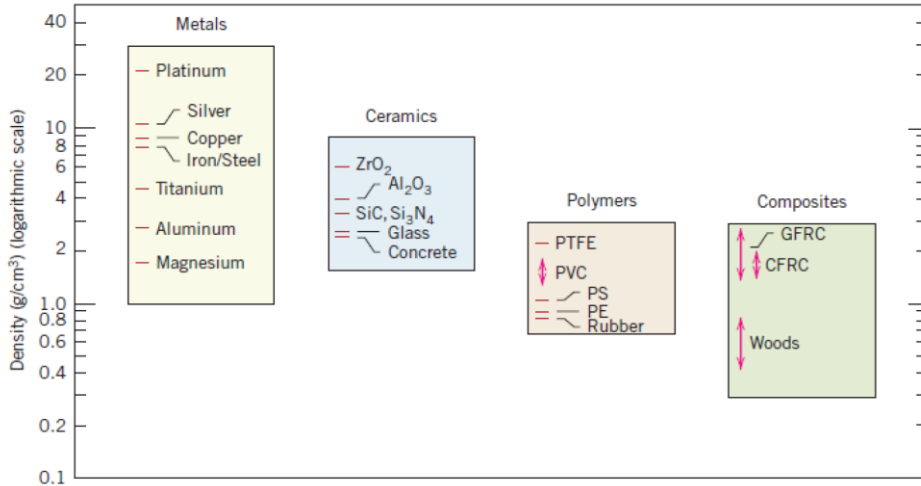
## 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

### 2.1. Alüminyumun Genel Özellikleri

Alüminyum, dünya yüzeyinde en çok bulunan ikinci metaldir. (Totten and MacKenzie [27]) Ancak alüminyum saflaştırılması zor bir element olduğu için keşfi 19. Yüzyılda mümkün olmuştur.

1807 yılında İngiliz kimyacı Humphry Davy alüminyum elementinin var olduğunu tahmin ederek henüz keşfedemediği bu metale “aluminium” ismini vermiştir. Ancak resmi olarak keşfi 1825 yılında Danimarkalı kimyacı Hans Christian Ørsted tarafından yapılmıştır.

Alüminyum alaşımlar, düşük yoğunluğu, yüksek korozyon direnci ve kaynağa uygunluğuyla öne çıkarak metal sektöründe çeliğe alternatif olmuşlardır. Alüminyumun yoğunluğu yaklaşık  $2.7 \text{ g/cm}^3$ 'tür. [28] Çeliklerin yaklaşık 1/3'ü yoğunluktadır. Yapısal uygulamalarda çelikten sonra en çok kullanılan metal malzeme olma özelliğini kazanmıştır. (Davis, [29]) (Şekil2.1. Malzemelerin logaritmik ölçekte yoğunluklarının gösterimi.) (Hussein, [30])

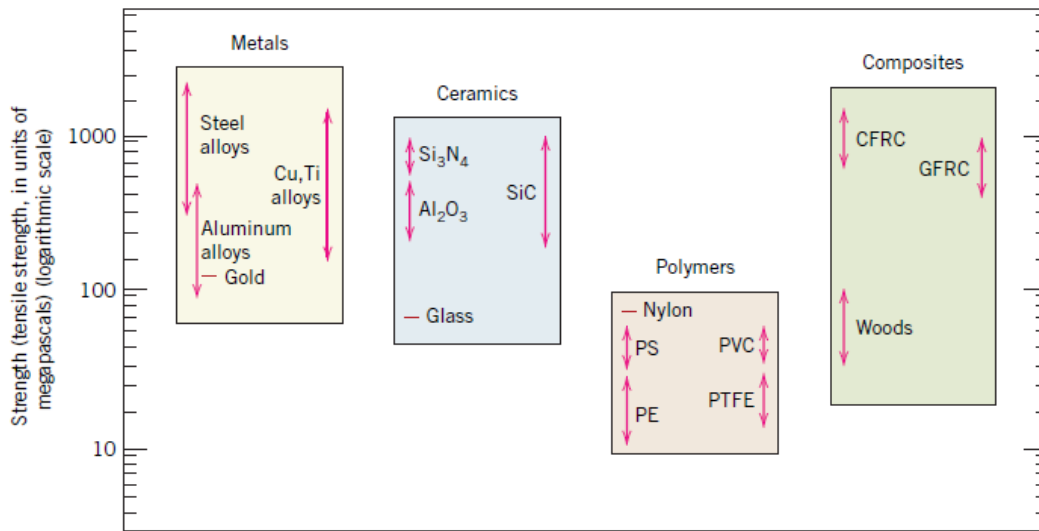


Şekil 2.1. Malzemelerin logaritmik ölçekte yoğunluklarının gösterimi [30].

Korozyona dirençli bir metal olan alüminyum, mukavemeti, ısı ve elektrik iletkenliği nedeniyle gıda, kimya, otomotiv ve gemi inşa sektörü gibi sektörlerde tercih edilen

alaşımlardır. (Taban ve Kaluç, [31]) Genel itibariyle çeliklerden yumuşak olmasına rağmen, özgül dayanım ve rijitliği dikkate alındığında çelik malzemelerle rekabet edebilmektedir.[32]

Alüminyumlarda mekanik özellikler büyük ölçüde alüminyumun saflığına bağlıdır. Saf alüminyum, alaşımlı alüminyumlara göre çok daha yumuşak ve düşük mukavemetlidir. %99,25 Al için elastiklik modülü  $7100 \text{ kg/mm}^2$ 'dir, ancak çok saf alüminyum için bu değer  $6700 \text{ kg/mm}^2$ 'dir. (Beljajew, [2]) Çekme dayanımları 90 MPa'dan 650 MPa değerinin üstüne kadar ulaşabilmektedir. (Beljajew, [2])



Şekil 2.2. Malzemelerin logaritmik ölçekte çekme dayanımlarının gösterimi [33].

%99,2 Al için sertlik değeri 24 brinell civarında iken %99,9 Al için sertlik değeri 15 brineldir. Alaşımlarda sertlik değeri 120 BHN değerine kadar çıkabilmektedir. (Beljajew, [2])

Yüksek korozyon direncine sahip olmasının neden metal yüzeyinin atmosfer ortamında sürekli olarak alümina tabakasıyla kaplı olmasıdır. Bu oksit tabakasının kalınlığı alaşımın saflık oranı arttıkça artar. (Şişmanoğlu, [34])

Alüminyum ve alaşımlarının üzerinde atmosfer koşullarında doğal olarak var olan bu seramik malzemeye alümina( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) denir. Alümina oldukça sert bir seramik malzeme olup alüminyum metali yüzeyinin ortamla temasını keserek korozyon etkilerinden korur.



Alümina yüksek sertliği(1400-1500HV) ve diğer seramik malzemelere göre maliyetinin düşüklüğü neticesinde zırh uygulamalarında da kullanılan bir malzemedir. Doğal olarak oluşan alümina tabakası ince olduğu için endüstriyel kalitede bir koruma veya yüzey sertliği sağlamaz. (Şişmanoğlu, [34])

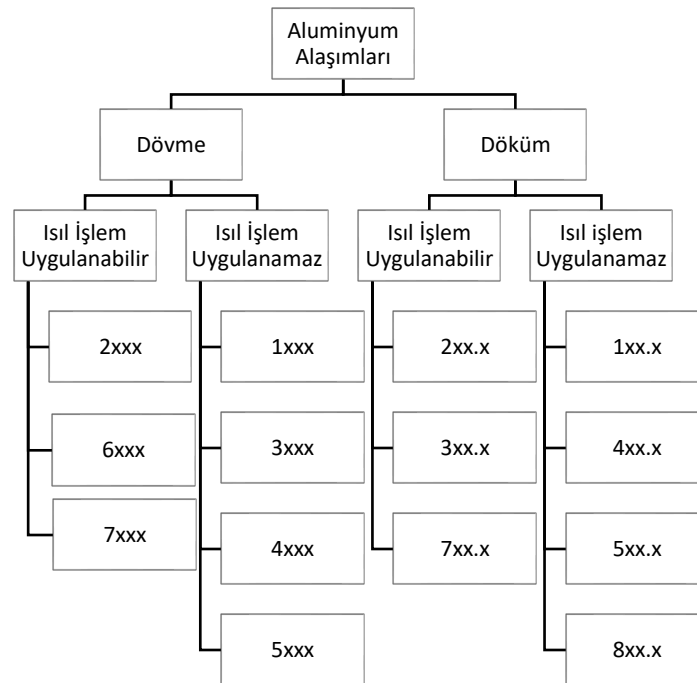
Isı işlem uygulanmayan alüminyum alaşımları, saf alüminyuma göre daha yüksek dayanım değerlerine sahiptir. Bu yüzden kara, hava ve deniz taşıtlarında taşıyıcı konstrüksiyonda kullanılırlar. (Tekin, [35]) Ayrıca hafifliği sayesinde yakıt ekonomisine katkıda bulunur. Orta sınıf bir otomobilde alüminyum kullanımı yaklaşık 300 kg ağırlıktan tasarruf etmeyi sağlar ki bu aracın yaklaşık ağırlığının %30'u dur. (Başer, [36])

Zırh uygulamalarında alüminyum alaşımlarının ilk kullanımı 1950'lerde FMC(Food Machinery and Chemical Corporation) firması tarafından T113(daha sonra M113) zırhlı personel taşıyıcılarında kullanılmıştır. T113 ZPT aracı 7,62mm tehditlere karşı tasarlanmış hafif zırhlı bir araçtır. (gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO-03-671)[37] FMC firması alüminyum zırh uygulaması için Kaiser Aluminum and Chemical Corporation firmasıyla çalışmıştır. T113 ZPT aracının aynı modelin RHA çeliği versiyonu olan T117 ile kıyaslanmıştır. (Middlebrooks, [38]) Günümüzde hala M113 adı altında hizmet verebilen alüminyum versiyonları alüminyum aracın tercih edildiğini göstermektedir.

İlk olarak alüminyum alaşımlarının zırh olarak kullanıldığı M113 zırhlı personel taşıyıcısında AA5083 kalite alüminyum alaşım kullanılmıştır. (Lay, [39]) 5xxx serin kullanımından sonra ısı ile serleştirilebilen 2xxx, 6xxx ve 7xxx serisi alaşımlar oluşturulmuştur. Zırh uygulamalarında, kaynaklı birleştirmelerde yaygın kullanılan alüminyum alaşımlarının birçoğunu 5xxx ve 6xxx serisi olarak karşımıza çıkmaktadır. 2xxx ve 7xxx serisi alaşımlarda kaynaklı birleştirmelerde çatlak hassasiyeti fazla olduğu için çoğunlukla yerlerini daha düşük dayanıma sahip olan 5xxx serisi alüminyum alaşımlara bırakırlar. Örnek olarak, AA7039 alaşımının kaynak sonrası sünekliliği Al-Mg alaşımlarından daha düşük olduğu için zırh uygulamalarında 5083 ve 5456 gibi daha düşük dayanıma sahip alaşımlara yer bırakmaktadır. (Meister and Martin, [40])

## 2.2. Alüminyumun Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları genel olarak dövme ve döküm mamuller olmak üzere Şekil 2.1’de ki gibi iki ayrılır. İşlenmiş ve döküm mamuller ise kendi içlerinde ısıt işleme uygun ve uygun olmayan olarak ikiye ayrılır. Birçok alaşıma ısıt işleme uygulanabilir. Bu ısıt işlemler, çözündürme tavlı, ıslah ve çökeltme, yaşlandırma işlemlerini kapsar. Isıt işleme sertleştirilebilen alüminyum alaşımlarının çoğu doğal veya yapay olarak yaşlandırılırlar. Isıt işleme uygulanamayan alaşımlar ise deformasyon uygulanarak, mekanik özellikleri arttırılır. ( Kaufman, [41])



Şekil 2.3. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Dövme alüminyum alaşımları yüksek süneklilikleri ve nispeten yüksek çekme dayanımlarıyla alüminyum alaşımların büyük bölümünü oluşturur. Bu alaşımlar genelde tel ve levha halindedir. Dövme alüminyum alaşımları ise karmaşık geometrili parçalar ve maliyet dürücü uygulamalar için kullanılırlar. Dökme alüminyum alaşımları genelde daha düşük çekme dayanımına sahip ve oldukça kırılğan yapılarıdır. Genel itibariyle dövme alüminyum alaşımları iyi mekanik özelliklere sahip ve döküm alüminyum alaşımlarına göre daha maliyetlidir. Bu sebepten mütevellit dövme kalitesindeki alüminyum alaşımları daha yaygın kullanımdadır.

Alüminyum alaşımları için en yaygın kullanılan numaralandırma sistemi The Aluminum Association tarafından geliştirilen daha sonra Amerikan Standartlar Birliği tarafından standartlaştırılan 4 haneli numaralandırma sistemidir. Bu sistemde alaşım dört haneli olarak numaralandırılır ve temper durumu sonuna eklenir.

### 2.2.1. Dövme alüminyum alaşımları

İlk hane (Xxxx) alaşım elementini sembolize eder. İkinci hane (xXxx) alaşımın belirli bir alaşımın farklı bir modifikasyonu olup olmadığını tanımlar, 0 ise orijinal alaşımdır, değilse farklı bir modifikasyondur. Son iki hane (xxXX) ise alaşımların kendine has olacak şekilde verilen keyfi numaralardır. Alaşımların temper durumları dört haneli seri numarasının sonuna harfler ve sayılar ekleyerek ifade edilir.

Alüminyum alaşımları, alaşım elementlerine göre 8 farklı alüminyum serisi bulunmaktadır. Tablo 2.1’de alaşım elementlerine ve ısıl işlem durumlarına göre alüminyum alaşımları verilmiştir. Genel olarak 4xxx serisi alaşımlar ısıl işleme uygun olmasalar da 4xxx serisi alüminyum alaşımların bazılarında ısıl işlem uygulanabilir.

Tablo 2.1. Dövme Alüminyum Alaşımları

| Seri | Alaşım Elementi  | Yapısı    | Alaşım Kategorisi         |
|------|------------------|-----------|---------------------------|
| 1xxx | -                | Tek Fazlı | Isıl İşleme Uygulanamaz   |
| 2xxx | Cu               | İki Fazlı | Isıl İşleme Uygulanabilir |
| 3xxx | Mn               | Tek Fazlı | Isıl İşleme Uygulanamaz   |
| 4xxx | Si               | İki Fazlı | Isıl İşleme Uygulanamaz   |
| 5xxx | Mg               | Tek Fazlı | Isıl İşleme Uygulanamaz   |
| 6xxx | Mg, Si           | İki Fazlı | Isıl İşleme Uygulanabilir |
| 7xxx | Zn               | İki Fazlı | Isıl İşleme Uygulanabilir |
| 8xxx | Diğer Elementler |           |                           |

Alüminyum alaşımları bütün dövme yöntemlerine uygundur. İstenilen mekanik özellikleri sağlamak için genellikle iki veya daha fazla dövme yöntemi birlikte kullanılır. Bu yöntemlerden başlıcaları; açık kalıpta dövme (open die forging), kapalı kalıpta dövme (closed die forging), şişirme dövmesi (upset forging), döner kalıplı dövme (roll forging), döndürümlü dövme (rotary forging), şeklindedir.

Dövme alüminyumun avantajları,

- İyi mekanik özellikler,
- Sürekli bir iç yapı,
- İyi yüzey kalitesi,
- Kaynaklı ve talaşlı imalata uygunluk,
- Ektrüzyon yöntemine uygun geometriler için sürekli, hızlı ve düşük maliyetli üretim kapasitesine sahip olması, örnek olarak, alüminyum kablolar bakır kablolarla göre %6-43 daha hafif olabilmektedir. (Alperöz, [42])

### 2.2.2. Döküm alüminyum alaşımları

Döküm alüminyum alaşımların sınıflandırılması yine dövme alüminyum alaşımlarına benzer şekilde 4 rakamla ifade edilir. Ancak gösterimde 3 hane ve 1 ondalık sayı şeklinde gösterilir. İlk hane (Xxx.x) alaşım elementini sembolize eder. İkinci ve üçüncü hane (xXX.x) ise alaşımların kendine has olacak şekilde verilen keyfi numaralardır. Ondalık kısmındaki hane ise (xxx.X) döküm formunu gösterir. 4 hanenin başına 1 harf eklenmesiyle ise alaşımın modifikasyonu belirtilir. Alaşımların temper durumları dört haneli seri numarasının sonuna harfler ve sayılar ekleyerek ifade edilir. Döküm alüminyum alaşımları, alaşım elementlerine göre Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. Döküm Alüminyum Alaşımları

| Seri  | Alaşım Elementi    | Alaşım Kategorisi         |
|-------|--------------------|---------------------------|
| 1xx.x | -                  | Isıl İşleme Uygulanamaz   |
| 2xx.x | Cu                 | Isıl İşleme Uygulanabilir |
| 3xx.x | Si, Cu, Mg         | Isıl İşleme Uygulanabilir |
| 4xx.x | Si                 | Isıl İşleme Uygulanamaz   |
| 5xx.x | Mg                 | Isıl İşleme Uygulanamaz   |
| 6xx.x | Kullanılmayan dizi | -                         |
| 7xx.x | Zn                 | Isıl İşleme Uygulanabilir |
| 8xx.x | Sn                 | Isıl İşleme Uygulanamaz   |

Döküm alüminyum alaşımlarının avantajları,

- Yüksek akışkanlığı ve düşük erime sıcaklığı sayesinde kolay dökülebilirlik,

- Hidrojen haricindeki gazlara karşı çözücülüğünün düşük olması,
- Isıl işlemle sertlik ve dayanım değerlerinin arttırılmaya uygun olması,
- İyi yüzey kalitesine sahip olması ve çoğu durumda talaş kaldırmaya gerek kalmaması,

Döküm alüminyum alaşımlarının avantajları,

- Hidrojene karşı hassas olması,
- Sıcak çatlak riski,
- Düşük süneklilik,
- Malzemenin fazla büzülmesi ve çarpılması,

### 2.2.3. Alüminyum alaşımlarının temperleri

Alaşımların temper durumları dört haneli seri numarasının sonuna harfler ve sayılar ekleyerek ifade edilir. İlk karakter büyük harfle uygulanan temper işlemini belirtirken sonraki karakterler sayı şeklinde temperin detayını belirtir. Temel işlemler Tablo 2.3'deki gibidir.

Tablo 2.3. Alüminyum Temperleri

| Simge | İşlem                                 |
|-------|---------------------------------------|
| O     | Tavlanmış, Yeniden Kristalize Edilmiş |
| F     | Üretildiği gibi                       |
| H     | Soğuk Şekillendirilmiş                |
| W     | Çözündürme Tavlı Uygulanmış           |
| T     | Yaşlandırılmış                        |

- O, tavlanmış, rekristalize olmuş durumu belirtir. Malzemenin en düşük dayanımı yumuşak halini elde etmek için kullanılır. İşlenebilirliği, sünekliliği ve tokluğu arttırmak amacıyla kullanılır.
- F, üretildiği gibi demektir. Alaşımın özelliklerine ilişkin hiçbir güvence vermez. Genelde ürün yarı mamül durumundadır ve farklı işlemler uygulandıktan sonra kullanılır. Döküm malzemelerde son işlem olarak F kullanılabilir.

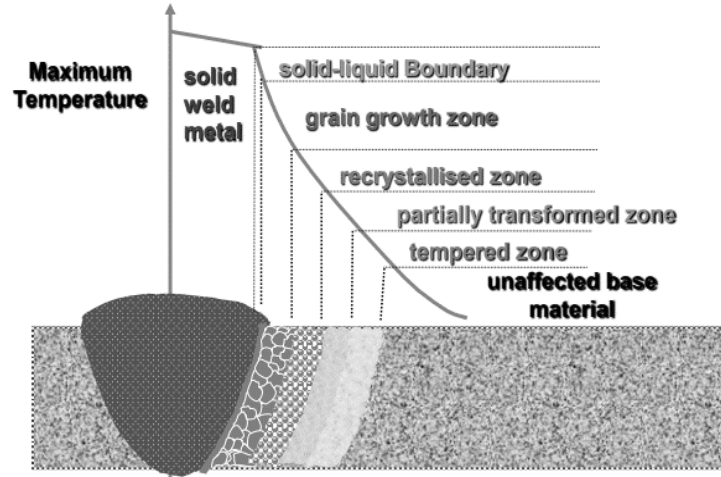
- H, deformasyon sertleşmesi uygulanmış olduğunu belirtir. H'den sonra gelen sayılar malzemenin sertleştirilme durumunu belirtir.
  - H1, sadece deformasyon sertleşmesi uygulanmış anlamına gelir. H1'den sonra gelen rakamlar ise 1'den 9'a kadar olmak üzere malzemenin sertleştirilme değerini belirtir. 1 en yumuşak, 9 en sert formdur.
  - H2, soğuk deformasyon ve gerilim giderme tavı uygulanmış malzemelerdir. Soğuk deformasyondan sonra malzeme yüksek sıcaklıkta tavlanarak sertliği istenilen seviyeye düşürülür.
  - H3, soğuk deformasyon uygulanmış ve stabilize edilmiş anlamına gelir. Yumuşama ve yaşlanma durumlarının önüne geçmek için, düşük sıcaklıkta tavlanarak oda sıcaklığında kararlı hale getirildiği durumdur.
  - H4, soğuk deformasyona uğramış ve bazı termal işlemlerden geçmiş anlamına gelir. Bu termal işlemler boya sonrası boyanın kürlenmesi için kurutma fırnında bekletilmesi gibi durumlardır.
- W, çözündürme tavı uygulanmış ancak stabil olmayan oda sıcaklığında yaşlanarak zamanla sertleşen alaşımın durumunu belirtir. Ör. W 6h, 6 saat yaşlandırılmış anlamına gelir.
- T, çözündürme tavı uygulanmış ve stabil hale gelmiş malzemenin durumunu ifade eder. T temperi her zaman bir veya daha fazla rakamla birlikte ifade edilir. Bu rakamlar temper durumu hakkında daha detaylı bilgiler içerir.
  - T1, yüksek sıcaklıkta şekillendirilmiş, soğutulmuş ardından doğal olarak yaşlandırılmış anlamına gelir.
  - T2, yüksek sıcaklıkta şekillendirilmiş, soğutulmuş ardından soğuk deformasyona uğramış ve doğal olarak yaşlandırılmış anlamına gelir.
  - T3, çözündürme tavı uygulanmış ve soğuk deformasyonla sertliği arttırıldıktan sonra doğal yaşlandırılmış anlamına gelir. Genelde soğuk deformasyondan sonra sertleşmeye devam eden 2xxx serisi için kullanılır.
  - T4, çözündürme tavı uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış anlamına gelir. 2xxx serisi için sık kullanılır.
  - T5, yüksek sıcaklıkta şekillendirilmiş, soğutulmuş ve yapay olarak yaşlandırılmış anlamına gelir.

- T6, çözüdürme tavı uygulanmış ve yapay olarak yaşlandırılmış anlamına gelir. T4 temperinin yapay olarak yaşlandırılmış halidir.
- T7, çözüdürme tavı uygulanmış, aşırı yaşlandırılmış veya stabilize edilmiş anlamına gelir. En yüksek sertlik için gerekli sıcaklık ve zaman, bazı özel karakteristikleri elde etmek için aşıldığı zaman kullanılır. Genelde 7xxx serisi için gerilim korozyonu direncini arttırmak için kullanılır.
- T8, çözüdürme tavı uygulanmış ve soğuk deformasyonla sertliği arttırıldıktan sonra yapay yaşlandırılmış anlamına gelir. T3'teki gibi 2xxx serisi için yaygın olarak kullanılır.
- T9, Çözüdürme tavı uygulanmış, yapay yaşlandırıldıktan sonra soğuk deformasyona uğramış anlamına gelir.
- T10, yüksek sıcaklıkta şekillendirilmiş, soğutulmuş ardından soğuk deformasyona uğramış ve yapay olarak yaşlandırılmış anlamına gelir.

### 3. KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynaklı birleştirme genel olarak, malzemelerin ısı veya basınç altında sürekli bir iç yapı oluşturacak şekilde birleştirilmesi olarak tanımlanır. Kaynaklı birleştirme yöntemi uygulandığı malzemelere göre, metal kaynağı ve plastik kaynağı olmak üzere ikiye ayrılır. (Anık, [43])

Metal kaynağı, ergitme kaynağı veya basınç kaynağı şeklinde olabilmektedir. Yaygın olarak kullanılan yöntemler genellikle ark kaynağı yöntemleri olup ergitme kaynağı kategorisinde yer almaktadırlar. Ergitme kaynağında ana malzeme dolgu kullanılarak ya da kullanılmadan ergitilmek suretiyle birleştirilir. Bu durumda malzemeye uygulanan ısı girdisi sebebiyle iç yapıda değişiklikler gözlemlenir. (Şekil 3.1. Isı girdisinin malzeme iç yapısına etkisi) (Gupte, [44]). Ergitme kaynağı sırasında bir malzeme, ergime sıcaklığına kadar bütün sıcaklıklara ısınır ve şartlara bağlı olarak farklı hızlarda soğur, bu durum malzemenin özelliklerine direk olarak etki eder. Bu değişiklikler, kaynak bölgesi (WZ), kısmi ergime bölgesi (PMZ) ve ısıdan etkilenmiş bölge (HAZ) de gözlemlenir. Isı girdisi formülü 3.1 eşitliğinde verilmiştir.



Şekil 3.1. Isı girdisinin malzeme iç yapısına etkisi [44]

$$H = \frac{U \times i \times \eta \times 60}{V} \quad (3.1)$$



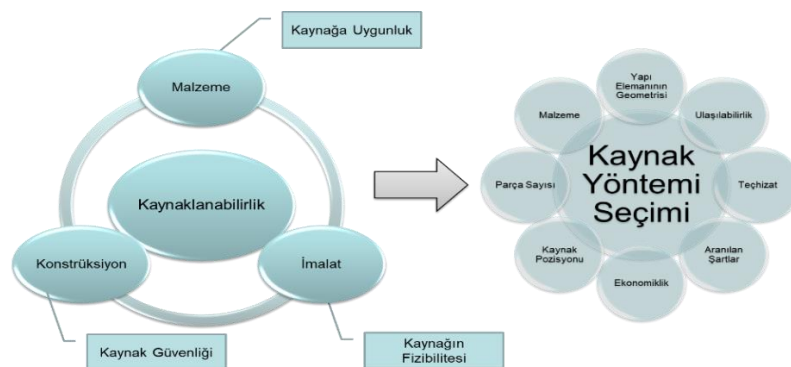
$\eta$ , ark verimi değeri uygulanan kaynak tekniğine göre TS EN 1011-1 standardında verilen tablodan seçilir. Tablo 3.1’de ilgili standarda göre bazı ark verimi değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1. Kaynak yöntemlerine göre ark verimi katsayıları (TS EN 1011-1, [45]’den değiştirilerek.

| Kaynak Yöntemi       | TS EN 1011-1’e göre Ark Verimi |
|----------------------|--------------------------------|
| Elektrik Ark Kaynağı | 0,8                            |
| TIG                  | 0,6                            |
| MIG/MAG              | 0,8                            |
| Tozaltı              | 1,0                            |
| Plazma               | 0,6                            |

Kaynakla birleştirme yöntemi her malzeme için uygulanamayabilir. Bunun için malzemenin kaynaklanabilirliği değerlendirilmelidir. Malzemelerin kaynaklanabilirlikleri, malzeme cinsi, konstrüksiyon ve imalat yöntemine bağlıdır. Kaynaklanabilirlik, kaynaklı birleştirme yapılabildiğinde ve kaynak dikişi ile ısıdan etkilenmiş bölge uygulama amacına yönelik yeterli özelliklere sahip olduğunda mevcuttur.

Kaynak yöntemi seçimi, Şekil 3.2’de malzeme cinsine, miktara, ekipmana, istenilen şartlara, uygulama pozisyonlarına ve ekonomiklik faktörlerine bağlı olarak seçilir. Dünyada en çok kullanılan demir ve alüminyum alaşımlarının kaynağında ekonomik olması ve kolay uygulanabilir olması gibi sebeplerden dolayı ark kaynağı yöntemleri uygulanmaktadır. Bunlardan piyasada sık kullanılan yöntemler elle ark kaynağı (E), MIG/MAG ve TIG kaynağıdır.



Şekil 3.2. Kaynak yöntemi seçimini etkileyen parametreler

### 3.1. Elle Ark Kaynağı

Elle ark kaynağı, örtülü eriyen bir elektrot çubuk ve iş parçası arasında yanan arklarla yapılır. Bu yöntemde kaynak sırasında eriyen kaynak örtüsü kaynağı korumak için koruyucu gaz ve cüruf oluşturur. Her pozisyonda ve açık havada uygulanabilir bir yöntem olması sebebiyle şantiyelerin vazgeçilmez yöntemidir.

Çelik konstrüksiyon imalatlarında, gemi yapımında, basınçlı kap imalatında, saha tamirlerinde vb. uygulamalarda yoğun olarak kullanılan yöntemdir.

Bu kaynak makinelerinin üreteç, pense ve şase bağlantısından oluşan basit bir yapısı vardır. Genellikle çanta şeklindedir ve kolaylıkla bir kişi taşıyabilir.

İstenilen farklı özelliklere hizmet eden çeşitli elektrotlar mevcuttur. Bunlar asidik, bazik, selülozik, rutil vb. tiplerdedirler.

Elle ark kaynağının avantajları:

- Kaynak makineleri ve ekipmanları diğer yöntemlere göre daha ucuzdur.
- Kaynak makineleri kolay ayarlanır.
- Kolay taşınabilir ve açık alanda uygulanabilir.
- Elektrot çubuk şeklinde olduğu için diğer yöntemlerdeki daha kaba torçların giremeyeceği yerlere girebilir.
- Her pozisyonda uygulanabilir.

Elle ark kaynağının dezavantajları:

- Elektrot sarf malzemesinden çok fire verilir ve nispeten pahalıdır.
- Seri üretim için yavaş bir yöntemdir. Uzun kaynak dikişleri için sürekli elektrot değiştirmek gerekir.
- Uygulaması zordur, bir çok yöneme göre daha fazla el göz koordinasyonu gerektirir.
- Kaynak cürufları mutlaka temizlenmelidir.

### 3.2. MIG/MAG Kaynağı

Sonsuz uzunlukta, eriyen bir elektrotla koruyucu gaz altında yapılan bir ark kaynağı yöntemidir. Bu yöntem genelde doğru akım ile kullanılır. ISO 4063'e göre kodu 13 olan bu kaynak yöntemi dolgu malzemesi ve koruyucu gaz cinsine göre alt dallara ayrılır. MIG/MAG kaynak makinesi şematik olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir.

Dolgu telleri, masif, özlü olmak üzere ikiye ayrılır. Koruyucu gazlar ise asal ve aktif gazlar olarak ikiye ayrılır.

Aşağıda TS 7307 EN ISO 4063'e göre kaynak yöntemlerinin numaraları ve isimleri verilmiştir.[46]

- 13 Koruyucu gazlı metal ark kaynağı; gaz-metal ark kaynağı
- 131 Metal asal gaz kaynağı; MIG kaynağı; gaz metal ark kaynağı
- 135 Metal aktif gaz kaynağı; MAG kaynağı; gaz metal ark kaynağı
- 136 Aktif gaz korumalı boru göbekli elektrotlu metal ark kaynağı; doldurma tel elektrotlu ark kaynağı
- 137 Asal gaz korumalı boru göbekli elektrotlu metal ark kaynağı; doldurma tel elektrotlu ark kaynağı

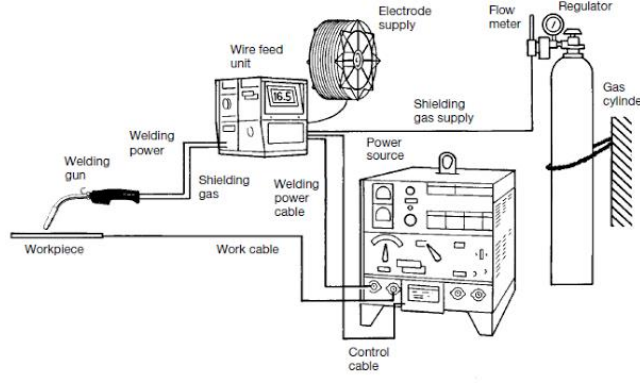
Bu yöntem, çelik konstrüksiyon imalatı, gemi yapımı, taşıt imalatı vb. çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Genelde alaşımsız ve alaşımlı çelikler, CrNi çelikleri ve alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılırlar.

#### MIG/MAG Kaynak Makinesi

MIG/MAG kaynak makineleri temel olarak aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır. (Şekil 3.3. MIG/MAG kaynak makinesi) (Wahab and Khuder, [47])

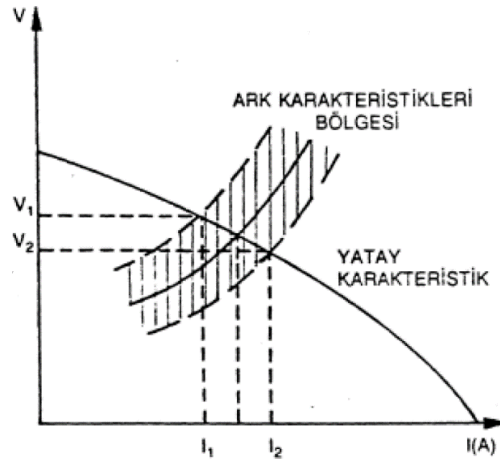
- Güç ünitesi
- Tel sürme ünitesi
- Hortum paketi
- Kaynak torcu

- Soğutma ünitesi
- Koruyucu gaz tertibatı
- Ayarlama arayüzü



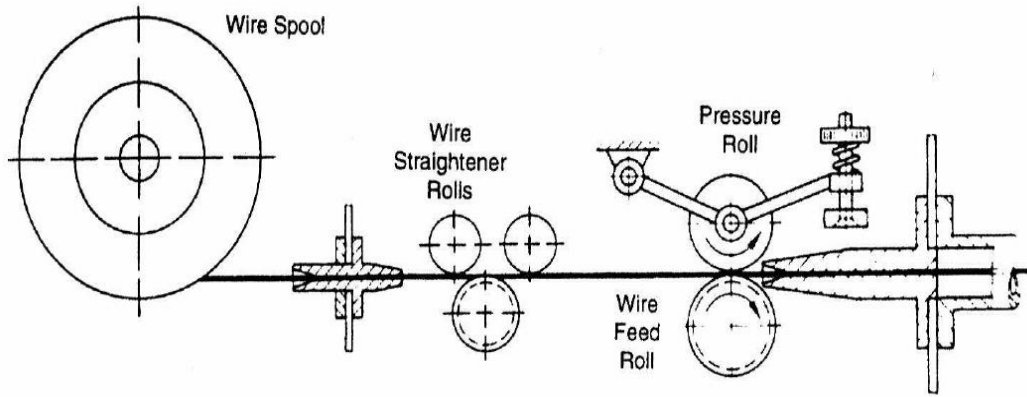
Şekil 3.3. MIG/MAG kaynak makinesi [47]

MIG/MAG kaynak makinelerinin güç kaynakları sabit voltajlı yani yatay karakteristiktir. Yatay karakteristikli güç kaynağı gerilim-akım grafiği Şekil 3.4'te verilmiştir. Bu makinelerde akım şiddeti ve gerilim ayarları yapılır. Kaynak sırasında tel sürme hızı sabit olduğu için, ark boyu sabit kalır. Ark boyu doğrudan gerilimle ilişkili bir parametredir. Ark boyunun sabit tutulması geriliminde sabit tutulması anlamına gelir. Sabit tel sürme hızı ve değişken akım şiddeti sürekli olarak ark boyunu dengeler ve gerilim değişmez. Buna iç ayar mekanizması denir. (Şekil 3.4. Yatay karakteristikli güç kaynağı grafiği) (Aksoy, [48])



Şekil 3.1. Yatay karakteristikli güç kaynağı grafiği [48]

MIG/MAG makinelerinde tel sürme üniteleri tel sürme motoru, baskı röleleri ve makaralardan oluşur. Tel sürme hızı diğer parametrelerden bağımsız ve sabittir. Tel beslemesini, tel makarasına baskı röleleriyle kuvvet uygulayan makaralar yapar. Makara seçimi tel tipine göre değişiklik gösterebilir. Masif çelik teller için v oyuklu makaralar kullanılırken, nispeten yumuşak olan özlü tel ve alüminyum tellerde oluk tipinde makaralar kullanılır. Oluk tipi makaralarda temas yüzeyi arttığı için telin ezilmesini ve deforme olmasını engeller. (Şekil 3.5. Tel sürme mekanizması şematik gösterimi) (Tülbentçi, [49])



Şekil 3.5. Tel sürme mekanizması şematik gösterimi [49]

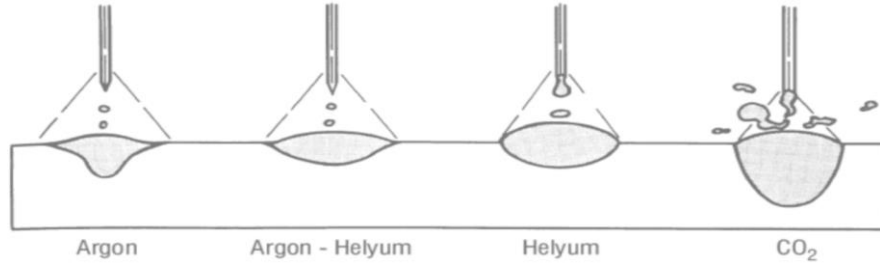
Bu yöntem seri imalata uygundur ve tek seferde metrelerce kaynak yapmaya izin verir, dolayısıyla torç soğutması önem kazanır. 250 amperden daha fazla akım kullanılan makineler için su soğutmalı torç tavsiye edilir.

Bu yöntemde kullanılan tel elektrotlar çeşitli standartlarla belirlenmiştir. Örnek olarak alaşımsız ve ince taneli yapı çelikleri için EN ISO 14341'e göre dolgu seçilirken, alüminyum alaşımları için EN ISO 18273'e göre dolgu seçilir.

Bu yöntemde gaz seçimi kaynak kalitesi için çok önemlidir. Temel olarak Ar gazı ağırlıklı olarak kullanılır. Ancak çelikler için aktif gaz kullanılan kaynaklarda Ar gazına ek olarak belirli oranlarda CO<sub>2</sub> tercih edilir. Bunun sebebi Ar gazının ısı iletkenliğinin iyi olmaması ve kaynak nüfuziyetini düşürmesidir. CO<sub>2</sub> gazı ergime sırasında oluşan damlacıklara daha fazla yüzey gerilimi uygulayarak damlaların irileşmesine sebep olur.

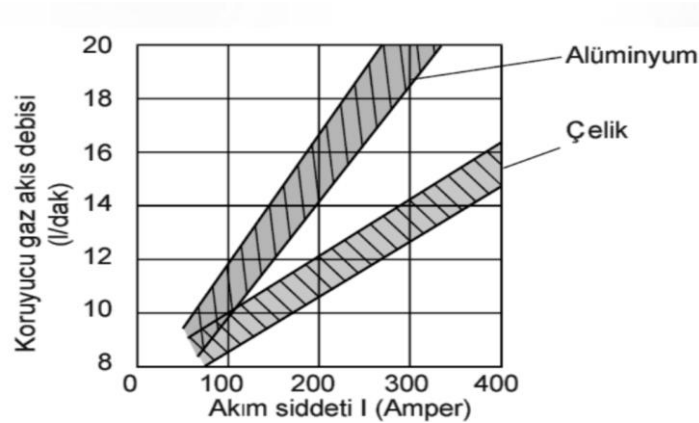
Fazla iri damlacıklar patladığında sıçrantı yaparlar. Bu sebepten dolayı genelde CO<sub>2</sub> oranı %20'den düşük karışım gazları tercih edilir.

Alüminyum gibi oksijen hassasiyeti yüksek malzemelerde inert gazlar kullanılır. Aksi takdirde alüminyum kaynağı sırasında oluşacak alümina kaynaklı birleşime müsaade etmez. Genelde saf Ar gazı kullanılır. Ar+He gazı kullanımı da mümkündür He gazının ısı transfer katsayısı daha yüksek olduğu için alüminyum kaynağında nüfuziyeti artırır. Ancak bu gaz havadan daha hafif olduğu için koruması daha zayıftır ortamdan kolayca uzaklaşabilir ayrıca çok pahalı bir gaz olduğu için kullanımı azdır. (Şekil 3.6. Farklı koruyucu gazların kaynak banyosuna etkileri) (Kurt, [50])



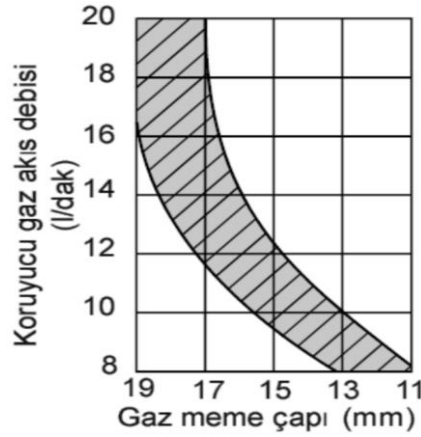
Şekil 3.6. Farklı koruyucu gazların kaynak banyosuna etkileri [50]

Koruyucu gaz debisi, Şekil 3.7'e göre belirlenmelidir. Gaz debisi düşük olduğunda yeterli koruma sağlanmadığı gibi debi gereğinden fazla olduğu durumda da akış türbülansa sebep olacağı için dışardaki hava vakumlanarak çekilebilir ve bu durum poroziteye sebep olur. Ayrıca gaz maliyetini artırır. (Şekil 3.7. Koruyucu gaz debisi ve akım şiddeti ilişkisi) (Aksoy, [48])



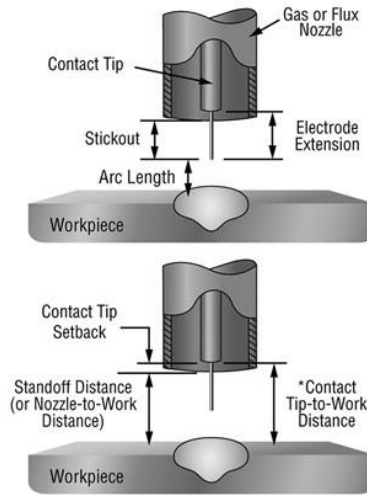
Şekil 3.7. Koruyucu gaz debisi ve akım şiddeti ilişkisi [48]

Nozzül çapı, gaz debisi arttırdıkça nozül çapını da büyötmek gerekir aksi taktirde hava akış hızı fazla olması gerektiğinden yine türbölansa sebebiyet verecektir. (Şekil 3.8. Koruyucu gaz debisi ve nozül çapı ilişkisi) (Aksoy, [48])



Şekil 3.8. Koruyucu gaz debisi ve nozül çapı ilişkisi [48]

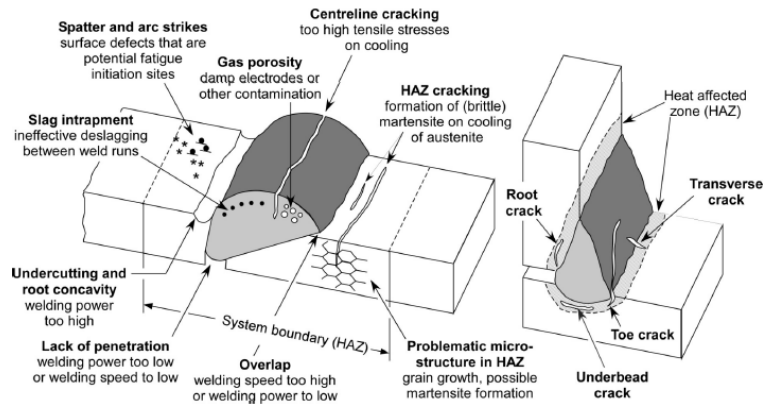
Kontak borusu mesafesi (stick-out), önemli bir parametredir. Eğer tel fazla dışarıdaysa direnç artacağı için akım şiddeti düşecektir. Bu durum yetersiz ergime ve nüfuziyet problemlerine sebep olur. Eğer fazla içerideyse ergiyen tel geriye doğru yanarak kontak memeyi tıkayabilir. (Şekil 3.9. Kontak boru mesafesi) (millerwelds.com/resources/article-library/what-are-stickout-electrode-extension-and-contact-tip-to-work-distance)[51]



Şekil 3.9. Kontak boru mesafesi [51]

Kaynak hızı, arttıkça kaynak kesit alanı azalır. Kaynak el ile yapılıyorsa 40-60 cm/dk normaldir. Mekanize uygulamalarda daha yüksek hızlar seçilebilir. Kaynak hızı gereğinden yavaş olursa kaynak banyosu arkın önüne geçer ve nüfuziyeti engeller. Bu durum soğuk yapışma denilen kusura sebep olur. Fazla hızlı olursa ise yanma olukları oluşabilir.

Torç açısı ve kaynak yönü, itme şeklinde yapılan kaynakta nüfuziyet azalır, paso genişliği artar. Çekme şeklinde yapıldığında ise daha iyi penetrasyon elde edilir. Alüminyum malzemelerde genelde itme şeklinde kaynak tercih edilir. Alın birleşimlerinde genelde 15° torç açısı tercih edilir. (Şekil 3.10. Kaynak kusurları) (Qa, [52])



Şekil 3.10. Kaynak kusurları [52]

- Soğuk yapışma
- Yanma oluğu
- Yetersiz kök nüfuziyeti
- Sıcak çatlaklar
- Soğuk çatlaklar
- Gözenek kusurları
- Sıçrantı
- Uygunsuz kaynak formu
- Cüruf kalıntısı



MIG/MAG yöntemin avantajları,

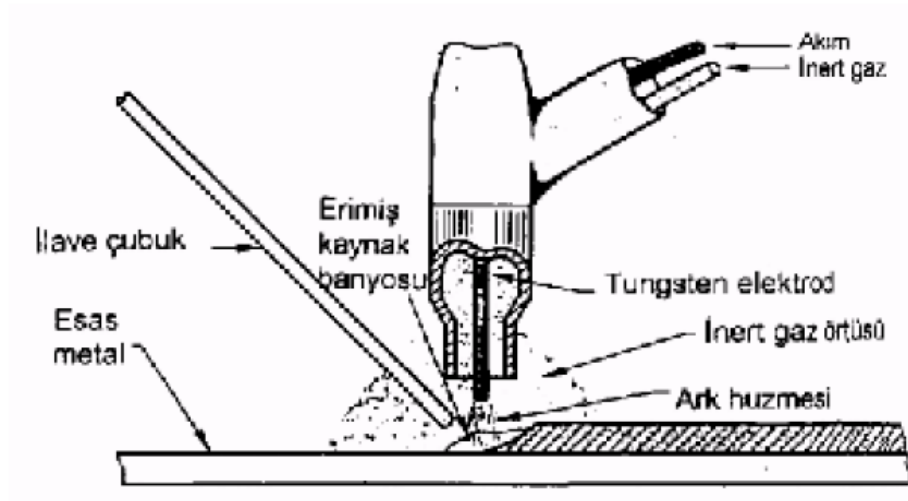
- Her pozisyona uygundur.
- Metal yığıma oranı yüksek
- Dolgu maliyeti düşük
- Seri imalata uygun

MIG/MAG yöntemin dezavantajları,

- Kaynak kusurları fazla oluşur.
- Ekipman maliyeti TIG'e göre yüksek.

### 3.3. TIG Kaynağı

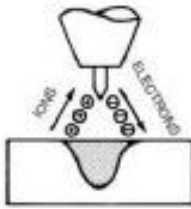
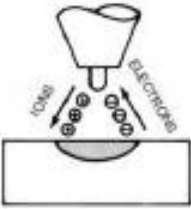
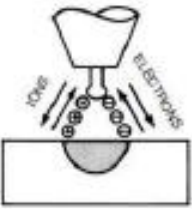



Ergimeyen bir elektrotla iş parçası arasında oluşan arkla yapılan kaynak yöntemidir. Dolgulu ya da dolgusuz olarak yapılabilir. Bu teknikte elektodu ve kaynak banyosunu atmosfer etkilerinden korumak için asal gazlar kullanılır. (Şekil 3.11.TIG kaynağı uygulanma uygulama şekli) (Anık ve Vural, [53])



Şekil 3.11. TIG kaynağı uygulama şekli [53]

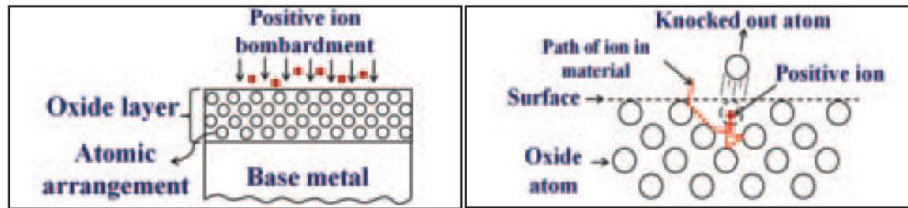
Bu teknikte genelde elektrot DC akım ve elektrot negatif olarak kutuplanır, bu kutuplama şekli genelde saf tungsten veya tungsten alaşımından yapılan elektrodun ömrünün uzun olmasını sağlar. Alüminyum gibi yüzeyi sıkı bir oksit tabakasıyla kaplı malzemelerin

kaynağında sıklıkla kullanılan bir kaynak yöntemidir. Ancak DCEN kutuplama bu tarz malzemelerin kaynağı için yeterli değildir. Alüminyum oksit saf alüminyuma göre çok daha yüksek sıcaklıklarda eridiği için kaynak banyosunun içinde oksit parçaları kalacak ve birleşmeyi engelleyecektir. TIG kaynağında farklı kutuplamaya bağlı elektron ve iyon hareketi Şekil 3.20’de gösterildiği gibidir. (Şekil 3.12. TIG kaynağında kutuplama şekilleri) (Basnayaka, [54])

| CURRENT TYPE                      | DCEN  | DCEP  | AC (BALANCED)   |
|-----------------------------------|---|---|---|
| ELECTRODE POLARITY                | NEGATIVE  | POSITIVE  |   |
| ELECTRON AND ION FLOW             |  |  |  |
| PENETRATION CHARACTERISTICS       |  |  |  |
| OXIDE CLEANING ACTION             | NO  | YES   | YES—ONCE EVERY HALF CYCLE   |
| HEAT BALANCE IN THE ARC (APPROX.) | 70% AT WORK END<br>30% AT ELECTRODE END   | 70% AT WORK END<br>30% AT ELECTRODE END   | 70% AT WORK END<br>30% AT ELECTRODE END   |
| PENETRATION                       | DEEP; NARROW  | SHALLOW; WIDE   | MEDIUM  |
| ELECTRODE CAPACITY                | EXCELLENT<br>e.g. 3.2 mm (1/8 in.) 400 A  | POOR<br>e.g. 6.4 mm (1/4 in.) 120 A   | GOOD<br>e.g. 3.2 mm (1/8 in.) 225 A   |

Şekil 3.12. TIG kaynağında kutuplama şekilleri [54]

Elektrot DC pozitif yüklendiğinde tungsten elektrot fazla ısınır ve erimeye başlar bu sebepten dolayı alüminyum vb. malzemeler kaynatırken AC akım tercih edilir. Şekil 3.13’de gösterildiği gibi yüksek hızla negatif yüklü malzemeye doğru hareket eden iyonlar oksit tabakasına çarparak çok ince olan doğal oksit tabakasını kırabilmektedir. (Şekil 3.13. İyon bombardımanıyla oksit tabakasının kırılması) (Sarrafı and Kovacevic, [55])



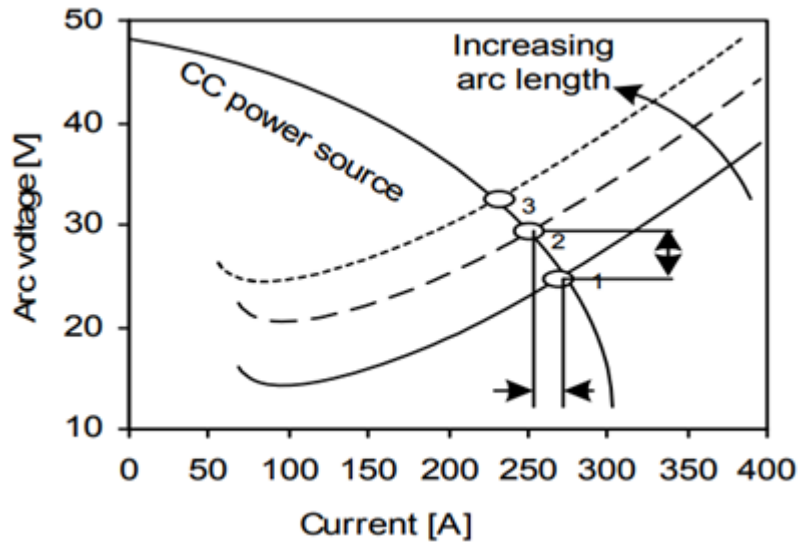
Şekil 3.13. İyon bombardımanıyla oksit tabakasının kırılması [55]

Tungsten elektrotlar alaşımlarına göre ve uç formlarına göre ayrılırlar. Tungsten elektrotlar saf tungsten elektrotlar ve oksit katkılı tungsten elektrotlar olarak ikiye ayrılır. Oksit katkılı elektrotlar saf tungsten elektrotlara göre daha fazla katı halde kalabilmekte ve

daha uzun ömürlü olmaktadır. Bunun dışında elektrot uçları sivri ya da küt olarak tercih edilebilir. Sivri uçlu elektrotlarda akımı daha iyi yoğunlaştırabildiği için nüfuziyet daha fazladır, küt elektrotlarda daha azdır. Ancak AC akım kullanılan uygulamalarda genelde elektrotta fazla ısındığı için eriyip malzemeye karışmasın diye küt uç tercih edilebilmektedir.

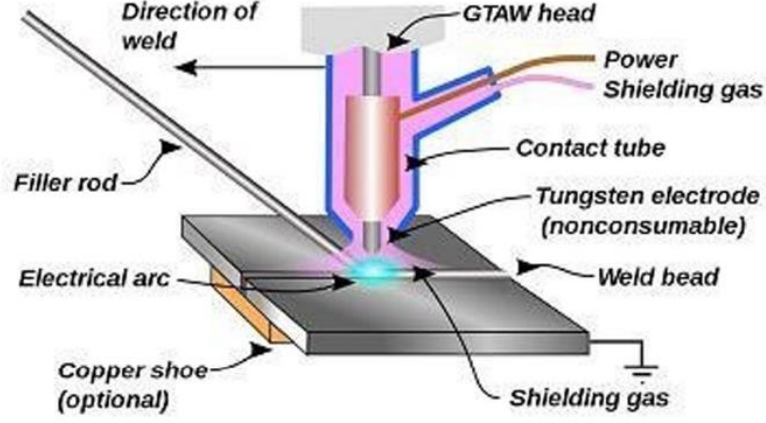
Koruyucu gaz olarak genelde saf Ar gazı kullanılır, ancak özle uygulamalarda Ar+He veya saf He gazı da kullanılabilir. He gazı ısı transfer katsayısı Ar gazına göre daha yüksek olduğu için daha derin bir nüfuziyet sağlar.

TIG kaynağında kullanılan güç kaynakları düşey karakteristiktir. Akım şiddeti sabittir ancak gerilim değeri torcun iş parçasıyla arasındaki mesafeye göre değişkenlik gösterir. Bu tip makinelerde dış ayar mekanizması vardır. Parametre ayarı sürekli olarak kaynakçının tetikle veya pedalla akım şiddetini ayarlamasını gerektirmektedir. Bu teknik MIG/MAG tekniğine göre daha fazla el göz koordinasyonu gerektiren zor bir tekniktir. (Şekil 3.14. Düşey karakteristikli güç kaynağının grafiği) (Aksoy, [48])



Şekil 3.14. Düşey karakteristikli güç kaynağının grafiği [48]

TIG kaynak yönteminde de torç MIG/MAG'da olduğu gibi 250 A üstünde akım şiddetleri uygulanan makinelerde su soğutmalı sistem tercih edilir. Torç kullanım tipine göre farklı tetik mekanizmalarına sahip olabilir. (Şekil 3.15. TIG torcu şematik gösterimi) (Kumar, [56])



Şekil 3.15. TIG torcu şematik gösterimi [56]

TIG yöntemin avantajları,

- En kapsamlı ark kaynağı yöntemidir.
- İnce levhaların kaynağı mümkündür.
- Kaynak kalitesi yüksektir.
- Alüminyum gibi yüzeyinde yüksek sıcaklıkta eriyen oksit tabakası bulunan malzemelerin kaynağında kullanılır.

TIG yöntemin dezavantajları,

- Kaynak hızı yavaştır.
- Eritme gücü düşüktür.
- 6 mm kalınlığa kadar verimlidir.

## 4. TAHRİBATLI TESTLER

Tahribatlı muayene, malzemelerin farklı yükler altında, kırılıp tamamen deforme olana kadar gösterdikleri dayanıcı ölçmede kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler malzemenin çekme, basma, eğme ve darbe koşullarında kalıcı şekil değişimine karşı gösterdikleri dayanımı ölçmek için kullanılırlar.[57] Bu testler sonucunda akma dayanımı, çekme dayanımı gibi değerler elde edilir. Bu değerler mühendislik uygulamalarında kullanılırlar.

Akma Dayanımı, malzemenin kalıcı şekil değişikliğine uğrayana kadar taşıyabildiği yüküdür. Akma dayanımının ölçümünün zorluğu neticesinde %0,2 off-set metodu geliştirilmiştir. Buna göre gerinim değerleri %0,2 oranında kaydırılarak bir çizgi grafiğin lineer uzama kısmına paralel bir doğru çizilir. Paralelliğin bozulduğu be eğriyle doğrunun kesiştiği noktaya ise akma dayanımı denir. (Şekil 4.1. Gerilim-gerinim grafiğinden akma dayanımı hesaplanması) (Graham, [59]) (Şekil 4.2. Gerilim-gerinim grafiği) (Budynas vd. [60])

Çekme Dayanımı, malzemenin kopana kadar taşıyabildiği maksimum yük miktarıdır. Malzeme kopuncaya kadar ki ölçülen en yüksek dayanım değeridir. Şekil 4.2’de “u” en yüksek gerilim değer, “F” kopma değeri, “y” offset metoduyla bulunan ve kabul edilen akma dayanımı, “el” gerçek akma dayanımı, “pl” lineer deformasyonun son noktası olarak verilmişlerdir.

Elastik Bölge, malzemenin gerilim-gerinim eğrisinde kalıcı şekil değişikliğine kadar kapsadığı bölgedir. Hooke kanununa göre malzeme bu bölgede lineer olarak şekil değiştirir.

Elastiklik modülü, elastik bölgede ki birim uzama başına gerilim olarak tanımlanır. Malzemelerin rijitliğinin ölçülmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Aşağıdaki formül kullanarak elastiklik modülü hesaplanabilir.

Kayma modülü, kayma kuvvetleri etkisi altında malzemenin birim şekil değişikliği başına gösterdiği gerilimdir. Elastiklik modülü ve kayma modülü birbiriyle ilişkilidir. Aşağıdaki formül kullanılarak elastiklik modülü değerinden kayma modülü de hesaplanabilir.

#### 4.1. Çekme Testi

Çekme testi, malzemenin mekanik özelliklerinin tespit edilmesine de kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Gerilim-gerinim eğrisinin tespit edilmesinde ki temel parametreler, çekme dayanımı (UTS), akma dayanımı ( $\sigma_y$ ), elastisite modülü (E), yüzde uzama ( $\% \Delta L$ ), yüzde kesit daralması ( $\%RA$ )'dır. (Dieter, [58])

Test numuneleri kare, dikdörtgen veya silindir şeklinde kullanılan test cihazının çenelerine uygun olarak talaş kaldırılarak işlenir. Test cihazları vidalı veya hidrolik tahrikli olabilir.

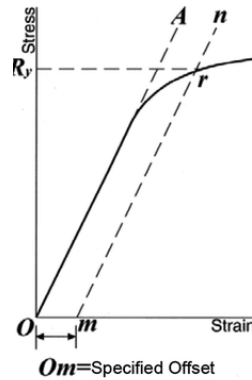
Testin uygulanışında, malzemeye çekme yükü kopuncaya kadar uygulanır. Test süresince kuvvet ve uzama verileri kaydedilir ve x-y düzleminde grafik şekline getirilir.

Gerilim, malzemeye uygulanan kuvvetin, ilk kesit alanına bölünmesiyle bulunur.

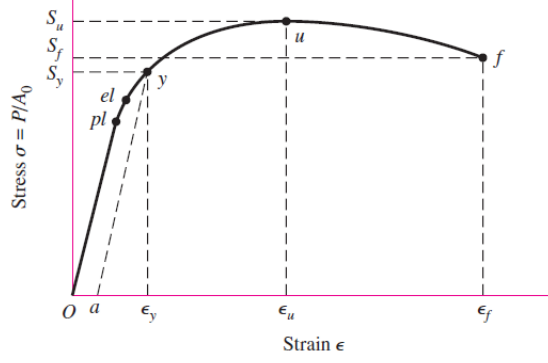
$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (4.1)$$

Gerinim, malzemedeki boy uzamasının ilk boya oranıdır.

$$e = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad (4.2)$$



Şekil 4.1. Gerilim-gerinim grafiğinden akma dayanımı hesaplanması [59]



Şekil 4.2. Gerilim-gerinim grafiği [60]

#### 4.2. Eğme Testi

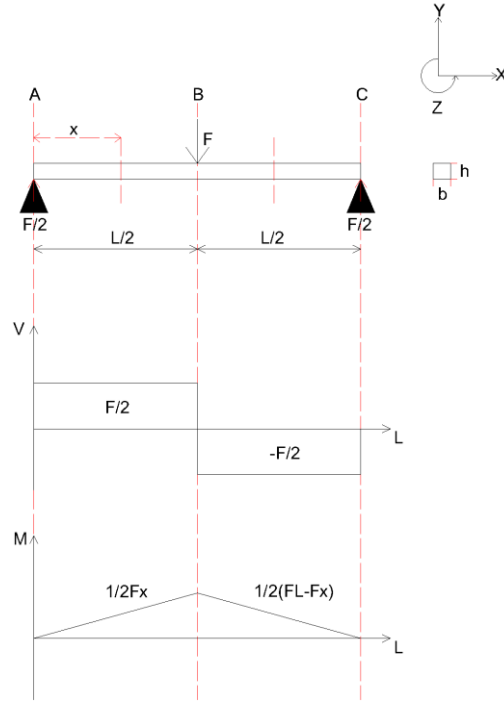
Malzemelerin mekanik özelliklerinin tespit edilmesinde sadece çekme ve basma testi yeterli olmayabilir. Basma testinde çekme, basma ve kesme kuvvetleri malzemeye karmaşık bir şekilde etki eder. Bu sebepten ötürü malzemenin gerçekçi bir senaryoda mekanik özelliklerinin tespit edilmesini sağlayabilen yaygın bir yöntemdir.

Eğme testi 3 noktadan eğme ve 4 noktadan eğme testleri olarak ikiye ayrılır. 3 noktadan eğme yönteminde malzemenin tam orta noktasından kuvvet uygulanırken 4 noktadan eğme testinde malzemeye simetrik iki kuvvet uygulanır. 3 noktadan eğme testinde kesme kuvveti 4 noktadan eğme testine göre çok daha fazladır. Bu sebepten bu yöntem gevrek malzemeler için tercih edilmez. Üç noktadan eğme testine kullanılan test düzeneğinin benzeri Şekil 4.3'teki gibidir.



Şekil 4.3. Üç noktadan eğilme testi test düzeneği

Eğilme dayanımı ve elastiklik modülünün bulmak için yaygın olarak kullanılan test yöntemidir. Bu yöntemde numune malzeme iki dayama arasına yerleştirilir ve tam merkez noktalarına mandrel ile basılarak kuvvet uygulanır. Test sonucunda malzeme çatlayana veya kırılana kadar sehim yaptırılmak zorunda kalır. Uygulanan kuvvet ve mandrel stroku test cihazı tarafından kaydedilir ve istenilen diğer değerlerin hesaplanmasında kullanılır. Üç noktadan eğme testinde kuvvet ve moment diyagramları Şekil 4.4'teki gibi oluşmaktadır.



Şekil 4.4. Üç Noktadan Eğilme Testi Kesme Kuvveti ve Moment Diyagramı.

A-B arasında kesme kuvvet ve eğme momenti.

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow V = \frac{1}{2}F \quad (4.3)$$

$$\sum M_Z = 0 \rightarrow M_{(x)} = \frac{1}{2}Fx \quad (4.4)$$

B-C arasında kesme kuvvet ve eğme momenti.

$$\sum F_Y = 0 \rightarrow V = -\frac{1}{2}F \quad (4.5)$$



$$\sum M_Z = 0 \rightarrow M_{(x)} = \frac{1}{2}(FL - Fx) \quad (4.6)$$

Maksimum kesme kuvvetinde gerilimi bulmak için,

$$x = \frac{1}{2}L \rightarrow M_{(x)} = \frac{1}{4}FL \quad (4.7)$$

Dikdörtgen şeklinde bir numune için atalet momenti aşağıdaki gibidir.

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (4.8)$$

Dikdörtgen şeklinde bir numune için tarafsız eksen aşağıdaki gibidir.

$$y = \frac{h}{2} \quad (4.9)$$

Yukardaki formüller iç içe yazıldığında eğilme gerilimi bulunur.

$$\sigma = \frac{M_Z y}{I_Z} \rightarrow \sigma = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (4.10)$$

Kuvvet altında ki kirişte sehim aşağıdaki formülle hesaplanabilir. Ancak 3 noktadan eğme testinde mandrelin stroku bize bu değeri vermektedir.

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI} \quad (4.11)$$

Eğme testinde elastiklik modülü kuvvet ve sehim grafiğinin eğiminden bulunur.

$$k = \frac{F}{\delta} \rightarrow \frac{48EI}{L^3} \quad (4.12)$$

$$E = \frac{kL^3}{48I} \rightarrow \frac{12kL^3}{48bh^3} \quad (4.13)$$

$$E = \frac{FL^3}{4bh^3\delta} \quad (4.14)$$

$$G = \frac{E}{2 \times (1+\nu)} \quad (4.15)$$

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneylerde, zırh uygulamalarında yaygın olarak kullanılan alüminyum alaşımlarından olan AW 5083-H111 ve AW 6061-T651 kalite alüminyum alaşımları kullanıldı. EN ISO 9692-3'e göre kaynak ağzı açılması gereken bir kalınlık olan 15 mm kalınlığında levhalar kullanıldı. Dolgu malzemesi olarak ise Ø1,2 mm çapında MIG teli olan ER-5356 alaşımı kullanıldı. Bu malzemelere ait özellikler aşağıda verilmiştir.

AW 5083-H111, AW 6061-T6 ve ER 5356 alaşımına ait kimyasal bileşimler Tablo 5.1'deki gibidir.

Tablo 5.1. Deneyde kullanılan malzemelerin kimyasal kompozisyonları

| Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Kompozisyonları |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|---|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Alaşım Adı  | Si   | Fe   | Cu   | Mn   | Mg   | Cr   | Zn    | Ti    | Diğer |
| AW 5083   | 0,28 | 0,36 | 0,07 | 0,47 | 4,7  | 0,07 | 0,06  | 0,03  | 0,05  |
| AW 6061   | 0,68 | 0,3  | 0,25 | 0,11 | 1,05 | 0,14 | 0,011 | 0,018 | 0,05  |
| ER 5356   | 0,20 | 0,08 | 0,12 | 0,18 | 4,7  | 0,15 | 0,08  | 0,1   | 0,05  |

AW-5083-H111, AW-6061-T6 ve ER-5356 alaşımına ait fiziksel özellikler Tablo 5.2'deki gibidir.

Tablo 5.2. Deneylerde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri

| Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Mekanik Özellikleri |             |          |         |       |           |
|--|-------------|----------|---------|-------|-----------|
| Alaşım Adı   | Rp0,2 (MPa) | Rm (MPa) | E (GPa) | V (%) | Uzama (%) |
| AW 5083-H111   | 173         | 296      | 71      | 0,33  | 24        |
| AW 6061-T651   | 309         | 335      | 69      | 0,33  | 10        |
| ER 5356  | 110         | 240      | 70      | 0,33  | 26        |

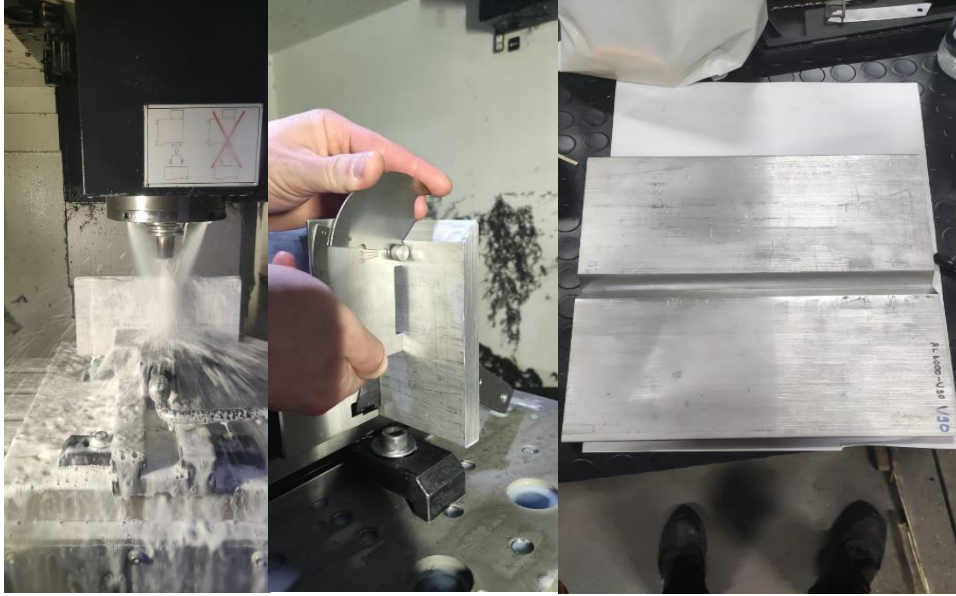
### 5.2. Kaynak hazırlığı

15 mm kalınlığında ki alüminyum alaşımı plakalar 300 mm x 150 mm ebatlarında tedarik edildi. Şekil 5.1'de işlenmemiş alüminyum plakalar görülmektedir.



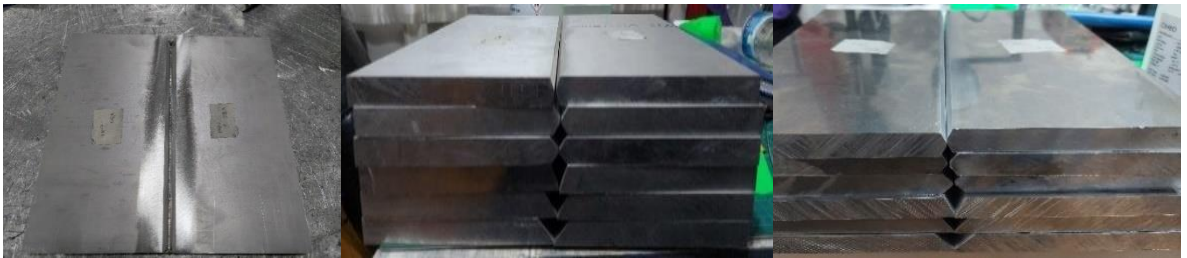
Şekil 5.1. Ham numunelerin fotoğrafları

3 eksenli CNC dik işleme merkezinde parmak freze ile EN ISO 9692-3'e göre belirlenen kaynak ağız geometrileri, V tipinde sırasıyla 50°, 75°, 90° açılarında ve X tipinde sırasıyla 50°, 75°, 90° açılarında olacak şekilde işlendi. Şekil 5.2'de kaynak ağız açılması işlemi gösterilmektedir.



Şekil 5.2. CNC tezgahta talaş kaldırılarak kaynak ağız açılması

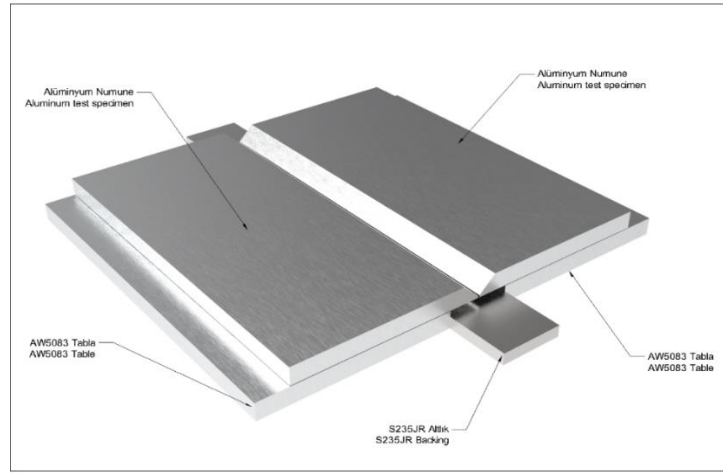
Numunelere kaynak ağızları açıldıktan sonra V50, V75, V90, X50, X75 ve X90 şeklinde markalandılar. Şekil 5.3'te kaynak ağızı açılmış malzemeler gösterilmektedir.



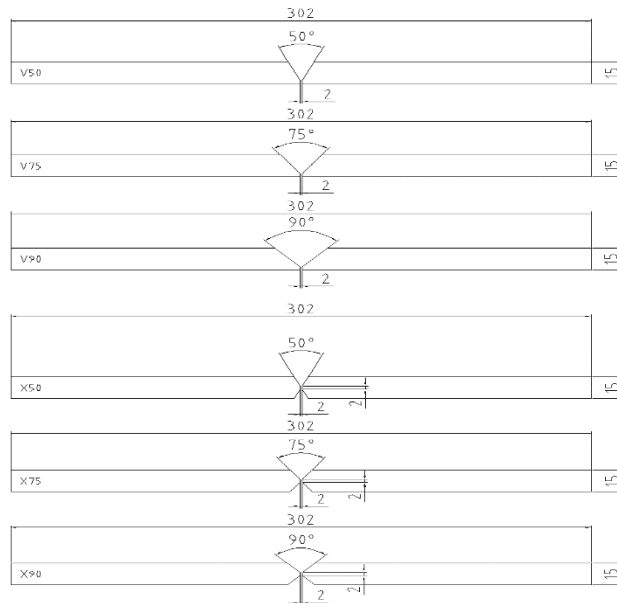
Şekil 5.2. Kaynak ağızı açılmış numuneler

### 5.3. Kaynak işlemi

Kaynak ağzı hazırlığından sonra kaynak işlemine geçildi. Numunelerin kaynak bölgeleri önce scotch brite ile silindikten sonra tinerle temizlendi. Daha sonra aşağıdaki ölçülerde puntalanarak birleştirildi. Kaynak işleminin yapılması sırasında kullanılan deney düzeneği Şekil 5.4'teki gibidir. Tüm deney gruplarının kaynak ağzı ölçüleri de Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Kaynak hazırlığının şematik gösterimi



Şekil 5.5. Kaynak hazırlıklarının şematik gösterimi

Kaynaklama işlemi aşağıdaki gösterimdeki gibi 5xxx serisi bir alüminyum tabla üstünde uygulanmış olup, tam nüfuziyet sağlarken yapışmayıda engellemek için standart yapı çeliği bir lama altlık olarak kullanılmıştır.

Toplamda 6 tipte farklı numune 2 çeşit alaşım kullanılmak üzere 12 tip numune bulunmaktadır. Aşağıda V90 ağzı açılmış AW5083-H111 alaşımı için kullanılan kaynak parametreleri verilmiştir. Çarpılma riskini azaltmak için numuneler dört yandan fikstürler kullanılarak sabitlendi ve malzeme oda sıcaklığına ininceye kadar fikstürler açılmadı. Kaynak yöntemine ait uygulamayı gösteren fotoğraflar Şekil 5.6'da verilmiştir. AW 5083-H111 alaşımı V90 kaynak ağzı uygulamasında kullanılan kaynak parametreleri Tablo 5.3.'da verildiği gibidir.



Şekil 5.3. Kaynak işlemine ait görüntüler

| Kaynak makinesi  |        | Cloos QuiTron 500 Pulse   |                 | Malzeme Spesifikasyonu: |   | AW5083-H111+AW5083-H111   |  |                      |                |
|--|--------|---|-----------------|-------------------------|---|---|--|----------------------|----------------|
| Kaynak Yöntemi :   |        | 131   |                 | Kalınlık Aralığı:       |   | t1 =t2 =15mm  |  |                      |                |
| Kaynak Tipi:   |        | BW  |                 | Kaynak Pozisyonu:       |   | PA <input checked="" type="checkbox"/> Plaka<br><input type="checkbox"/> Boru         |  |                      |                |
| Paso   | Yöntem | Dolgu Teli  |                 | Akım Şiddeti (A)        | Gerilim (V)                               | Akım Tipi / Polarite  | Tel Sürme Hızı (m/min)                                 | Kaynak Hızı (cm/min) | Stick Out (mm) |
|  |        | Çap (mm)  | Sınıf           |                         |   |   |  |                      |                |
| 1  | 135    | 1,2   | ER5356          | 235                     | 23,5                                      | DC (+)  | 1,6  | 45-50                | -5             |
| 2-n  | 135    | 1,2   | ER5356          | 255                     | 25  | DC (+)  | 1,6  | 45-50                | -3             |
| <input checked="" type="checkbox"/> Gas / <input type="checkbox"/> Flux: |        | <input checked="" type="checkbox"/> shielding<br><input type="checkbox"/> backing | EN ISO 14175:11 |                         | Kök Destek Parçası:<br>Backing            |   | <input checked="" type="checkbox"/> Evet/Yes Hayır /No |                      |                |
| Gaz Debisi:  |        | <input checked="" type="checkbox"/> shielding<br><input type="checkbox"/> backing | 14 – 16 lt /min |                         | Kök Destek Malzemesi:<br>Backing Material |   | S235JR<br>10x50x500mm lama                             |                      |                |
| Ön Isıtma  |        | 100 °C  |                 | Diğer Bilgiler:         |   | <input checked="" type="checkbox"/> Düz Paso<br><input type="checkbox"/> Salımlı Paso |  |                      |                |
| Kaynak Ağzının Hazırlanması:   |        | CNC talaş kaldırma<br>Tinerle silme<br>scotch brite ile silme                     |                 |                         |   |   |  |                      |                |

Kaynak ağız tiplerine göre yaklaşık ısı girdisi değerlerinin hesaplanması aşağıdaki gibidir.

Kök paso için ısı girdisi

$$H = \frac{U \times I \times \eta \times 60}{V} = \frac{23,5 \times 235 \times 0,8 \times 60}{450} \cong 589,1 \text{ j/mm} \quad (5.1)$$

$$H = \frac{U \times I \times \eta \times 60}{V} = \frac{25 \times 255 \times 0,8 \times 60}{450} \cong 680 \text{ j/mm} \quad (5.2)$$

$$V50 = 1 \text{ kök} + 2 \text{ dolgu} = 1 \times 589,1 + 2 \times 680 \cong 1949,1 \text{ j/mm} \quad (5.3)$$

$$V75 = 1 \text{ kök} + 4 \text{ dolgu} = 1 \times 589,1 + 4 \times 680 \cong 3309,1 \text{ j/mm} \quad (5.4)$$

$$V90 = 1 \text{ kök} + 5 \text{ dolgu} = 1 \times 589,1 + 5 \times 680 \cong 3989,1 \text{ j/mm} \quad (5.5)$$

$$X50 = 1 \text{ kök} + 1 \text{ dolgu} = 1 \times 589,1 + 1 \times 680 \cong 1269,1 \text{ j/mm} \quad (5.6)$$

$$X75 = 1 \text{ kök} + 3 \text{ dolgu} = 1 \times 589,1 + 3 \times 680 \cong 2629,1 \text{ j/mm} \quad (5.7)$$

$$X90 = 1 \text{ kök} + 4 \text{ dolgu} = 1 \times 589,1 + 4 \times 680 \cong 3309,1 \text{ j/mm} \quad (5.8)$$

Toplamda mm başına malzemeye ısı girdisi yukarıdaki gibidir. Buna göre ısı girdisi sıralaması aşağıdaki gibidir.

$$X50 < V50 < X75 < V75 \cong X90 < V90$$

#### 5.4. Numune hazırlığı

Kaynaklama işleminden sonra ham kaynaklı numune içerisinde çekme ve eğme numuneleri çıkacak şekilde Şekil 5.7’de gösterilen şerit testerede kesilmiştir.



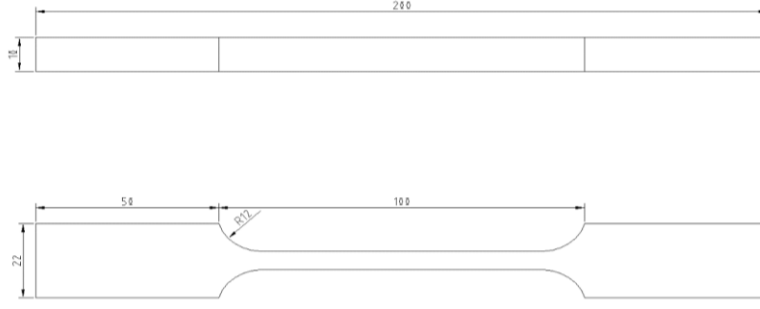
Şekil 5.7. Kaynamış numunelerin testere kesimleri

Başlangıç ve bitiş kusurlarından kurtulmak için, ham kaynaklı numunelerin ilk ve son 2 cm genişliğindeki kısımları fire olarak ayrılmıştır.

Numuneler önce mengeneye bağlanarak parmak frezeyle alt ve üst taraflarından 2,5 mm olmak üzere Şekil 5.8’de görüldüğü gibi işlenmiştir. Kullanılan test cihazının kapasitesini aşmamak için çekme numuneleri EN ISO 4136’ya uygun olarak Şekil 5.9’daki ölçülerde hazırlanmamıştır. Numunelerin kolay işlenebilmesi için bir kalıp yapılmış ve halihazırda alt ve üst tarafından talaş kaldırılmış olan yarı ham numune bu kalıba bağlanarak işlenmiştir.

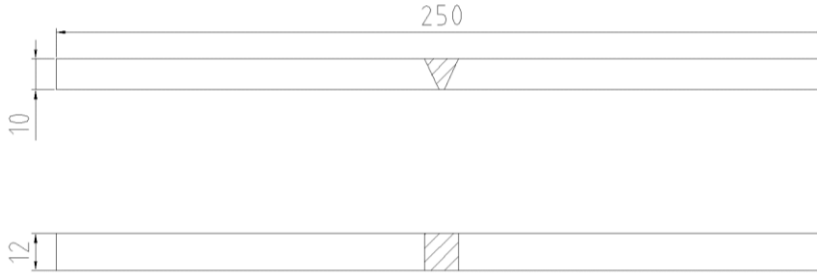


Şekil 5.8. CNC tezgahta işlenen çekme numuneleri



Şekil 5.9. İşlenen numunenin ölçülendirilmiş görseli

Numuneler aşağıdaki resime göre işlenmiştir. Test numuneleri EN ISO 5173'e göre hazırlanmış olup Şekil 5.10'daki ölçülere uygun işlenmişlerdir.

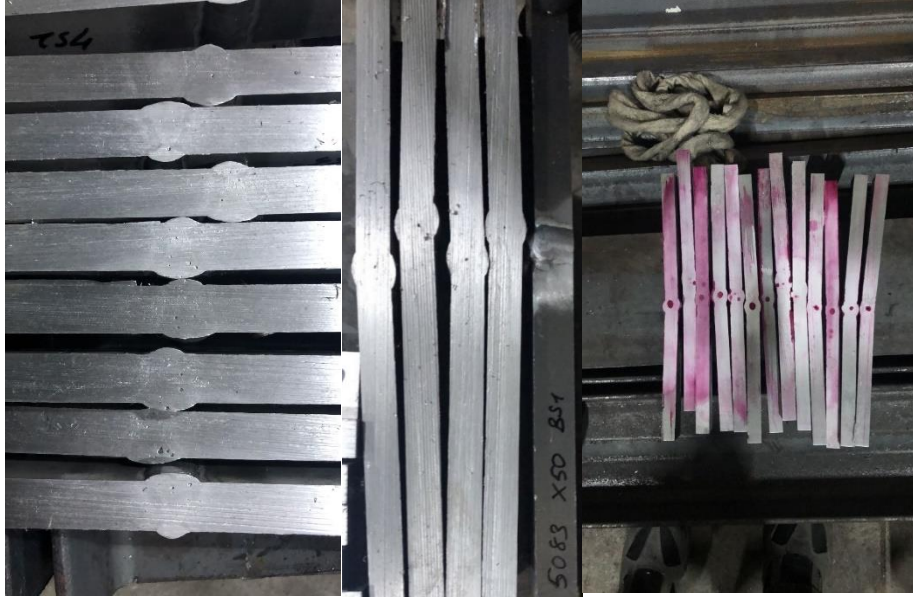


Şekil 5.10. Eğme testinin ölçülendirilmiş görselleri

## 5.5. Görsel Kaynak Muayenesi ve Sıvı Penetrant Kaynak Muayenesi

Kaynak numuneleri, tahribatlı testlerden önce görsel test ve sıvı penetrant testi uygulanmıştır. Görsel muayene TS EN 970'e, sıvı penetrant muayenesi TS EN 571-1'e uygun olarak EN ISO 9712'ye göre yetkilendirilmiş personel tarafından yapılmıştır. Numuneler EN ISO 5817 Class C'ye göre değerlendirilmiştir. Buna göre testleri geçemeyen numuneler fire olarak ayrılmıştır. Hatalı numunelerin bir bölümünün sıvı penetrant muayenesi görüntüleri Şekil 5.11'dedir.





Şekil 5.11. Kusurlu numuneler

### 5.6. Çekme Testi

Çekme testleri EN ISO 4136'ya uygun hazırlanan numunelerin Başkent Üniversitesi bünyesinde ki test laboratuvarında bulunan, 25 kN yükleme kapasiteli, Instron 8874 üniversal test cihazı ile oda sıcaklığında çekilerek kopartılması sonucu kuvvet ve gerinim değerlerinin kaydedilmesi şeklinde yapılmıştır. Test düzeneği Şekil 5.12'de gösterildiği şekildedir.



Şekil 5.12. Çekme testi test düzeneği

Çekme deneylerinde toplamda 2 çeşit malzeme (AW 5083-H111 ve AW 6061-T651) ve 6 kaynak ağzı geometrisi denenmiştir. Bu durumda 12 farklı test grubu oluşmuştur.

Numunelerin karışmaması için her işlemde hem marker kalemle test numuneleri kodlanmıştır. Test numunelerinin iki ucuna da bu kodlar marker kalemle yazılmıştır. Yapılan kodlama şekli malzemenin serisinin ilk karakteri, kaynak ağzı geometrisinin harf olarak gösterimi (V veya X), kaynak ağzının açısı, çekme numunesi anlamına gelen “T” gösterimi (tensile specimen) ve son olarak numune numarası şeklinde kodlanmıştır. (Ör. 5V50T3)

AW5083-H111 malzemesi, V kaynak ağzı, 50 derece açıda açılarak kaynatılmıştır ve 3 numaralı çekme numunesidir.

Kaynak hatalarından dolayı oluşacak anomalileri ortadan kaldırmak için ortalama her tip numuneden 8'er adet kullanılmış ve tutarlı olan 6 tanesi değerlendirmeye alınmıştır.

### 5.7. Üç Nokta Eğme Testi

Üç noktadan eğme testleri, TS EN ISO 5173 standardına uygun olarak Başkent Üniversitesi bünyesindeki test laboratuvarında bulunan, 25 kN yüklem kapasiteli, Instron 8874 üniversal test cihazı ile oda sıcaklığında yapılmıştır. Test tertibatında 10 mm çapında 6 mm yarı çaplı mandrel ve 120 mm destek aralığı kullanılmıştır. Test sonuçlarında kuvvet ve strok değerlerinin kaydedilmesiyle gerilim hesaplamaları yapılmıştır. Test düzeneği Şekil 5.13'te gösterildiği şekildedir.



Şekil 5.13. Üç noktadan eğme testi test düzeneği

Çekme deneylerinde ki gibi 12 çeşit numune tipi mevcuttur. Numunelerin isimlendirme şekli de 5.5. Çekme Testinde belirtildiği gibidir. Ancak tek fark çekme numunesi olduğunu belirten “T” yerine “B” (bending specimen) ifadesi kullanılmıştır. (Ör. 6X75T6)

AW6061-T651 malzemesi, X kaynak ağzı, 75 derece açıda açılarak kaynatılmıştır ve 6 numaralı çekme numunesidir.

Kaynak hatalarından dolayı oluşacak anomalileri ortadan kaldırmak için ortalama her tip numuneden 8'er adet kullanılmış ve tutarlı olan 6 tanesi değerlendirmeye alınmıştır.

## 6. DENEYSEL BULGULAR

Çekme ve üç noktadan eğme deneyleri toplamda 12 test grubu için yapılmıştır. Testler sonucunda gerinim-gerilim grafikleri elde edilmiştir. Üç noktadan eğme testinde ek olarak Elastiklik modülleri hesaplanmıştır. Test grupları aşağıdaki gibidir.

- 5V50
- 5V75
- 5V90
- 6V50
- 6V75
- 6V90
- 5X50
- 5X75
- 5X90
- 6X50
- 6X75
- 6X90

### 6.1. Çekme Testleri

EN ISO 4136'ya uygun olarak hazırlanan çekme numuneleri kopuncaya kadar çekilmiştir. Numunelere ait fotoğraflar ve gerilim-gerinim grafikleri bu bölümde verilmiştir.

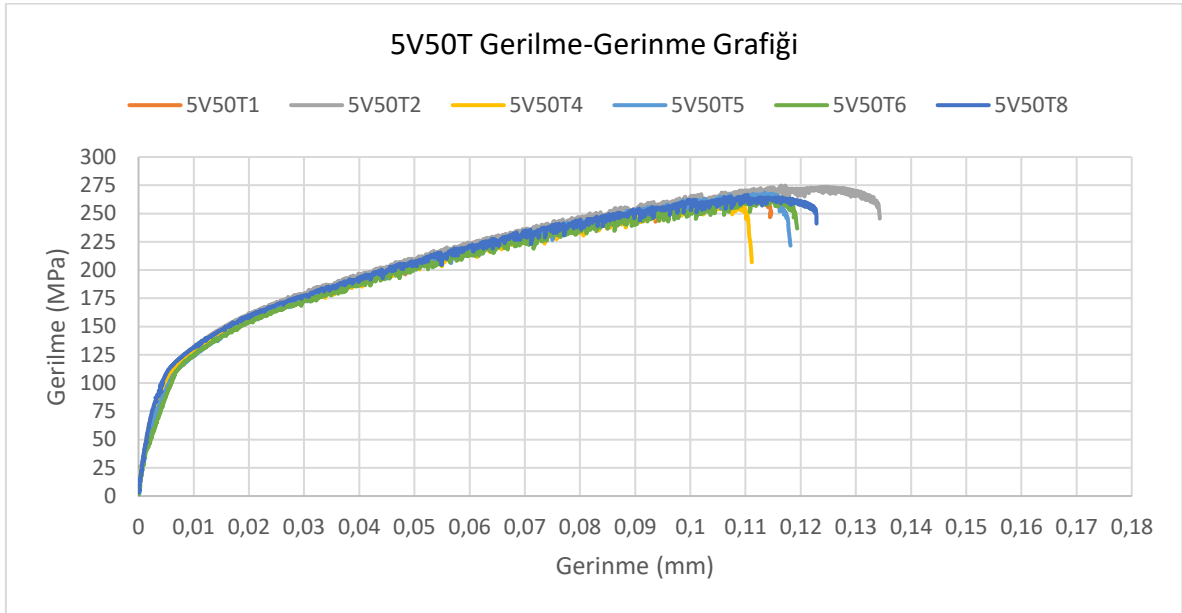
#### 6.1.1. 5V50T

AW 5083-H111 Malzemesine V tipinde 50 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.1. 5V50T numuneleri

5V50 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir.

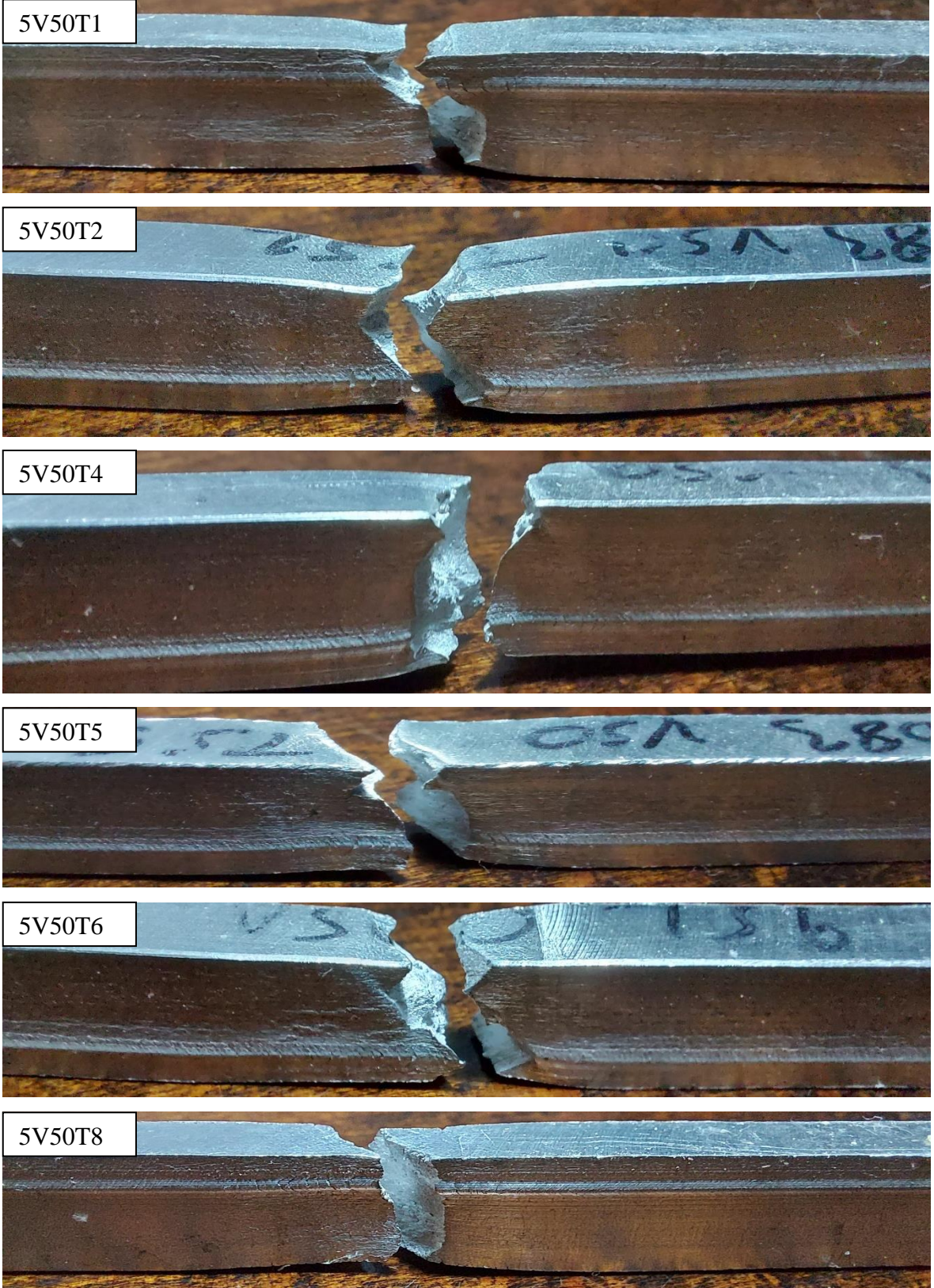


Şekil 6.2. 5V50T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.2’deki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.1’de verilmiştir. Tüm numuneler kaynak metalinden kırılmıştır. Şekil 6.3’te numunelerin kırılma fotoğrafları verilmiştir, 5V50T1, 5V50T2, 5V50T5 ve 5V50T6 numunelerinin kaynak ağzı şeklinde kırıldığı gözlemlenmektedir.

Tablo 6.1. 5V50T numuneleri çekme testi sonuçları

| 5V50T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                 |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi |
| 5V50T1                      | 11,64731 | 110,37029          | 266,65595           | WM              |
| 5V50T2                      | 13,44870 | 111,13422          | 274,76179           | WM              |
| 5V50T4                      | 11,46706 | 101,45900          | 260,51079           | WM              |
| 5V50T5                      | 12,13876 | 105,37231          | 268,64417           | WM              |
| 5V50T6                      | 12,01855 | 108,65544          | 262,51768           | WM              |
| 5V50T8                      | 12,29452 | 110,30433          | 266,55692           | WM              |
| 5V50T Ort.                  | 12,16915 | 107,88             | 266,60788           | 6/6 WM          |



Şekil 6.3. 5V50T numunelerine ait kırılma fotoğrafları

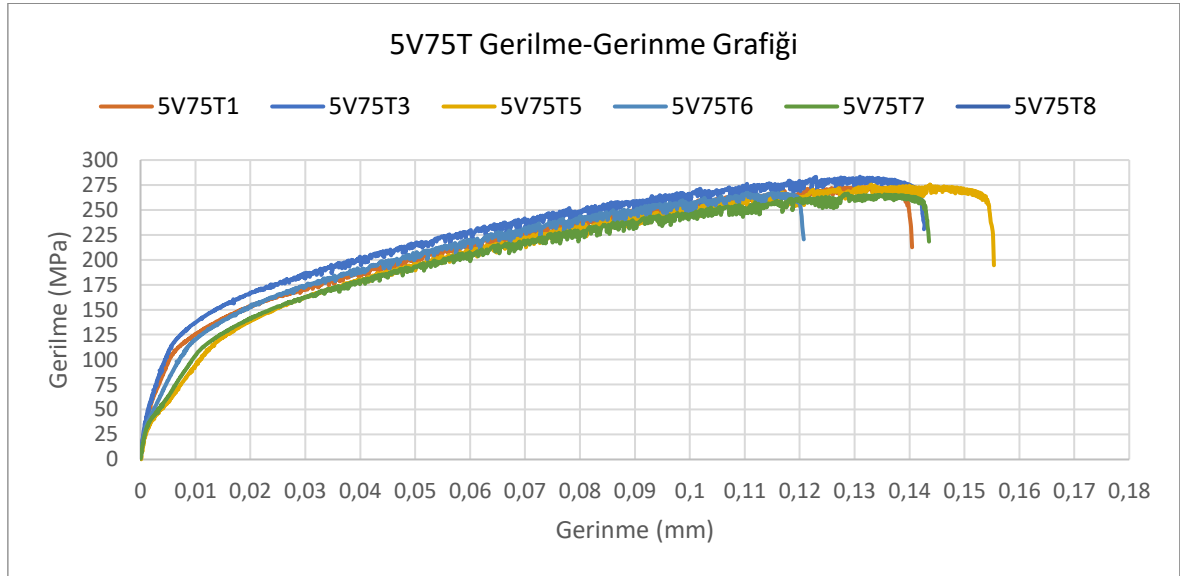
### 6.1.2. 5V75T

AW 5083-H111 Malzemesine V tipinde 75 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.4’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.4. 5V75T numuneleri

5V75 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.5’te verilmiştir.



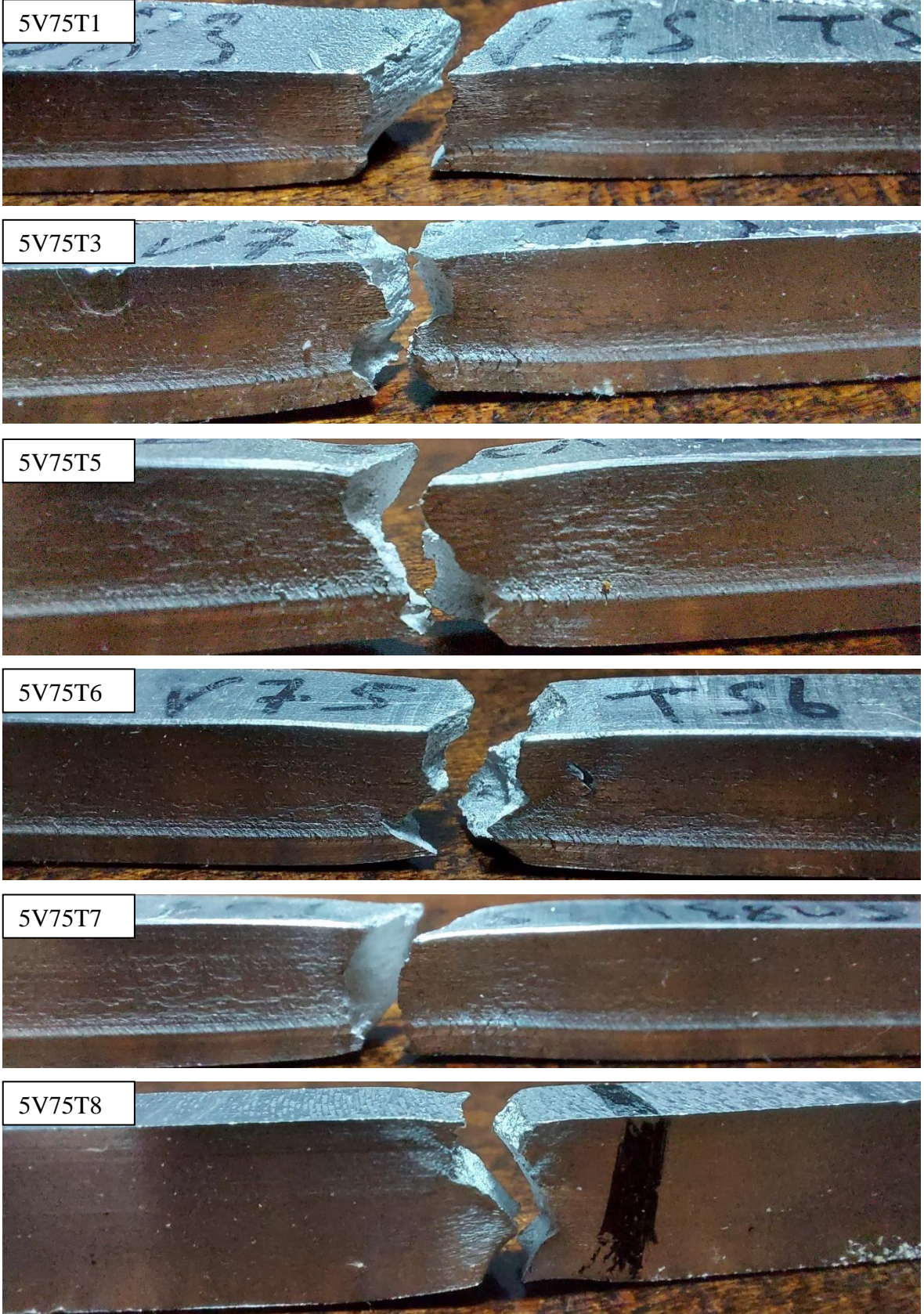
Şekil 6.5. 5V75T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.5’teki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.2’de verilmiştir. Şekil 6.6’da kırılma fotoğrafları verilmiştir. Sadece 5V75T6 numunesi HAZ bölgesinden kaynak ağzı geometrisinde kırılmıştır.

Tablo 6.2. 5083 V75 TS numuneleri çekme testi sonuçları

| 5V75T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                   |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi   |
| 5V75T1                      | 14,12568 | 104,43520          | 272,87927           | WM                |
| 5V75T3                      | 14,28899 | 121,05318          | 283,27693           | WM                |
| 5V75T5                      | 15,53635 | 116,87837          | 275,20820           | WM                |
| 5V75T6                      | 12,12724 | 110,73857          | 267,08140           | HAZ               |
| 5V75T7                      | 14,60106 | 112,45426          | 266,34955           | WM                |
| 5V75T8                      | 13,97944 | 113,72127          | 276,23167           | WM                |
| 5V75T Ort.                  | 14,10979 | 113,21347          | 273,50450           | 5/6 WM<br>1/6 HAZ |

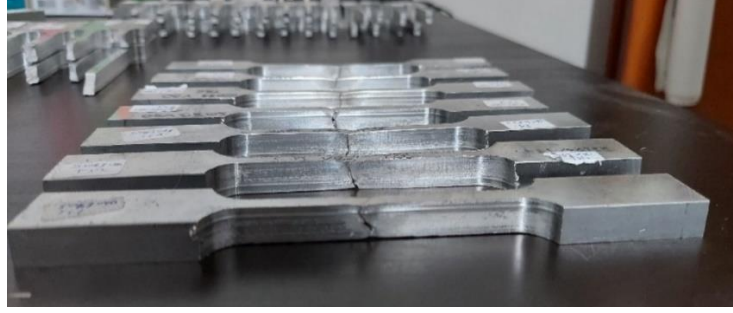




Şekil 6.6. 5V75T numunelerine ait kırılma fotoğrafları

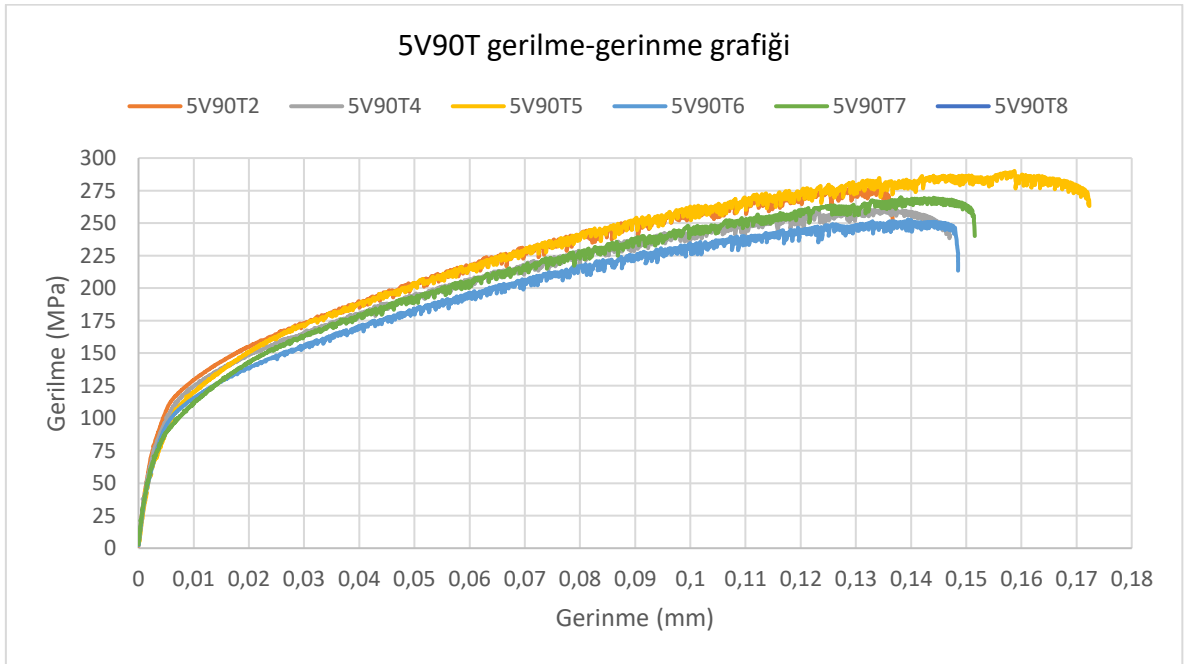
### 6.1.3. 5V90T

AW 5083-H111 Malzemesine V tipinde 90 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.7’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.7. 5V90T numuneleri

5V90 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.8’te verilmiştir.

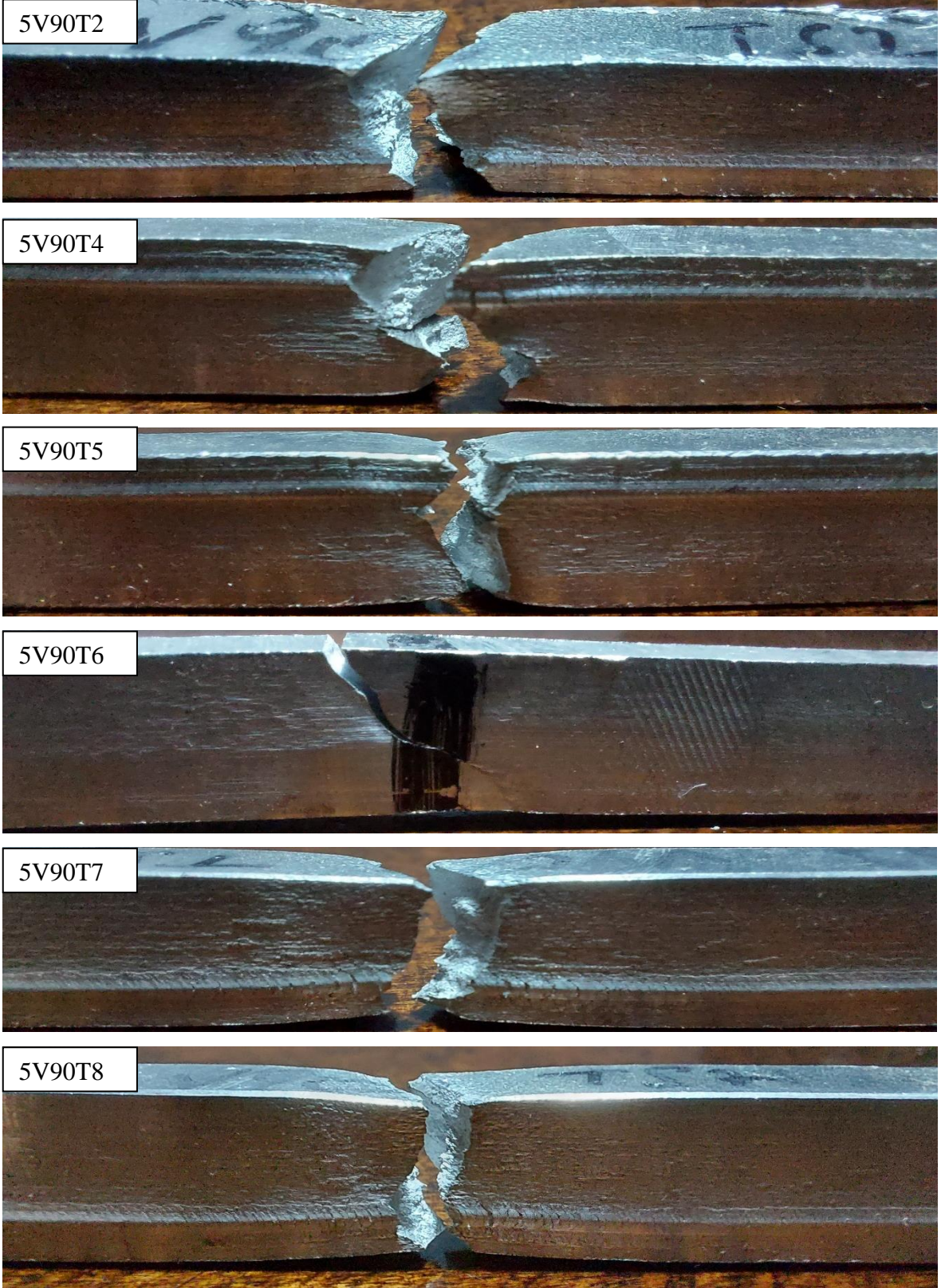


Şekil 6.8. 5083 V90 TS, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.8’teki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.3’de verilmiştir. Şekil 6.9’da kırılma fotoğrafları verilmiştir. Sadece 5V75T6 numunesi HAZ bölgesinden kaynak ağzı geometrisinde kırılmıştır.

Tablo 6.3. 5V90T numuneleri çekme testi sonuçları

| 5V90T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                   |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi   |
| 5V90T2                      | 14,05973 | 112,12139          | 276,86404           | WM                |
| 5V90T4                      | 16,19197 | 106,93523          | 260,40275           | WM                |
| 5V90T5                      | 17,23167 | 104,20977          | 290,15083           | WM                |
| 5V90T6                      | 14,91363 | 102,66190          | 252,73976           | HAZ               |
| 5V90T7                      | 15,23097 | 86,94276           | 269,71923           | WM                |
| 5V90T8                      | 14,44586 | 111,04091          | 269,92568           | WM                |
| 5V90T Ort.                  | 15,34564 | 103,98533          | 269,96705           | 5/6 WM<br>1/6 HAZ |



Şekil 6.9. 5V90T numunelerine ait kırılma fotoğrafları

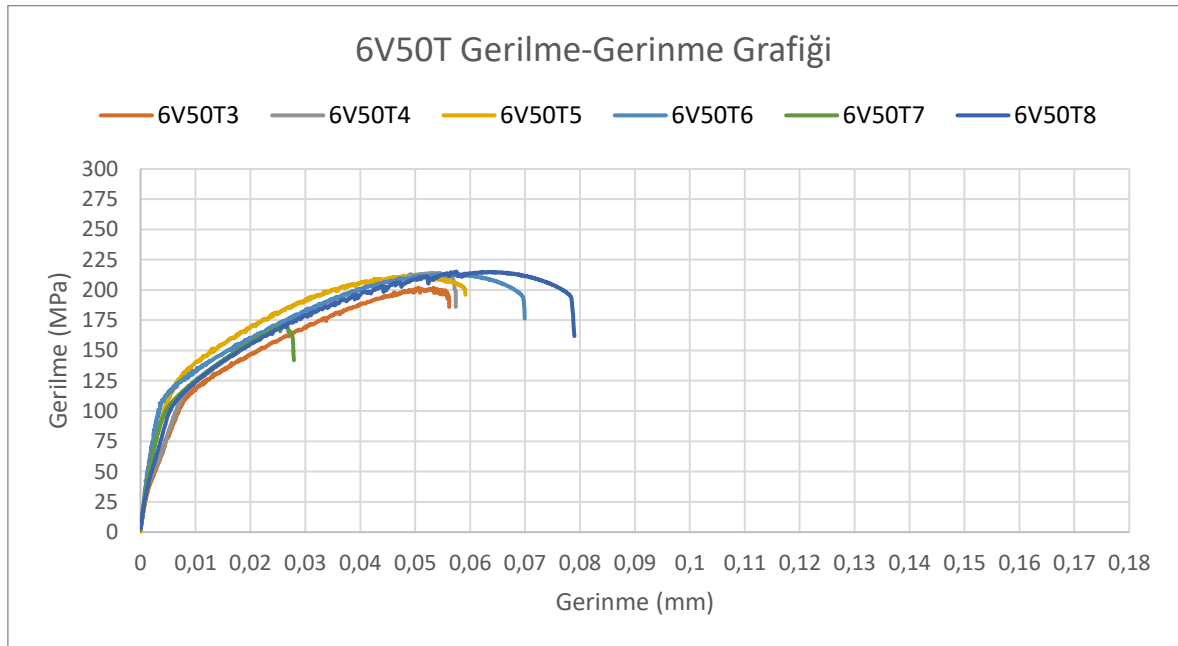
#### 6.1.4.6V50T

AW 6061-T651 Malzemesine V tipinde 50 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.7’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.10. 6V50T numuneleri

6V50 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.11’de verilmiştir.

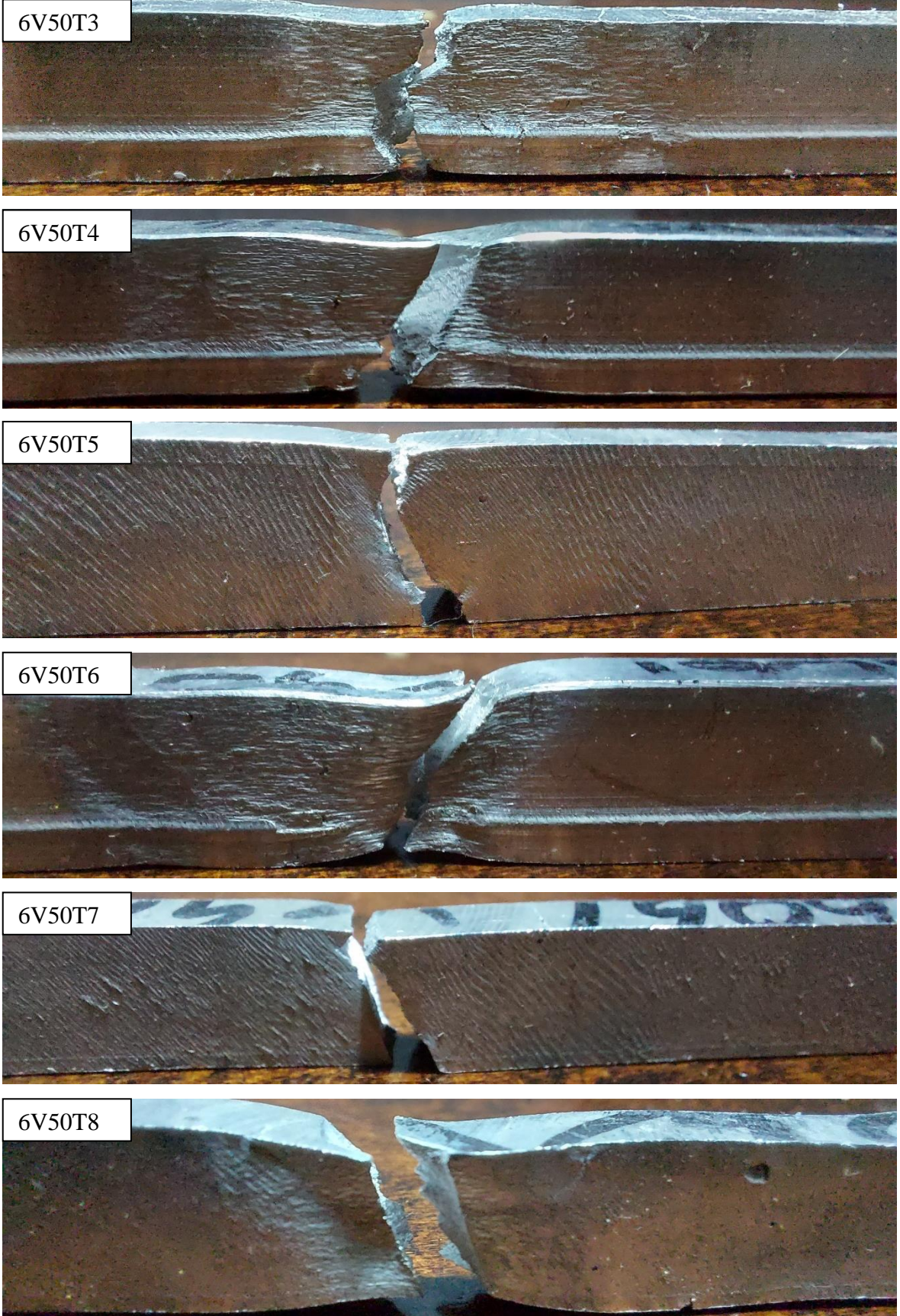


Şekil 6.11. 6V50T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.11’deki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.4’te verilmiştir. Şekil 6.12’de kırılma fotoğrafları verilmiştir. 6V50T3, 6V50T6 ve 6V50T8 numuneleri HAZ bölgelerinden sünek şekilde kırılmışlardır.

Tablo 6.4. 6V50T numuneleri çekme testi sonuçları

| 6V50T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                   |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi   |
| 6061 V50 TS3                | 5,84271  | 106,54591          | 201,68125           | HAZ               |
| 6061 V50 TS4                | 6,22819  | 105,65673          | 214,03919           | WM                |
| 6061 V50 TS5                | 5,91420  | 109,28289          | 211,81200           | WM                |
| 6061 V50 TS6                | 6,99429  | 88,61521           | 212,84345           | HAZ               |
| 6061 V50 TS7                | 2,91386  | 80,02008           | 170,38797           | WM                |
| 6061 V50 TS8                | 7,89832  | 81,89453           | 215,15773           | HAZ               |
| 6061 V50 TS Ort.            | 5,96526  | 95,33589           | 204,32026           | 3/6 WM<br>3/6 HAZ |



Şekil 6.12. 6V50T numuneleri kırılma fotoğrafları

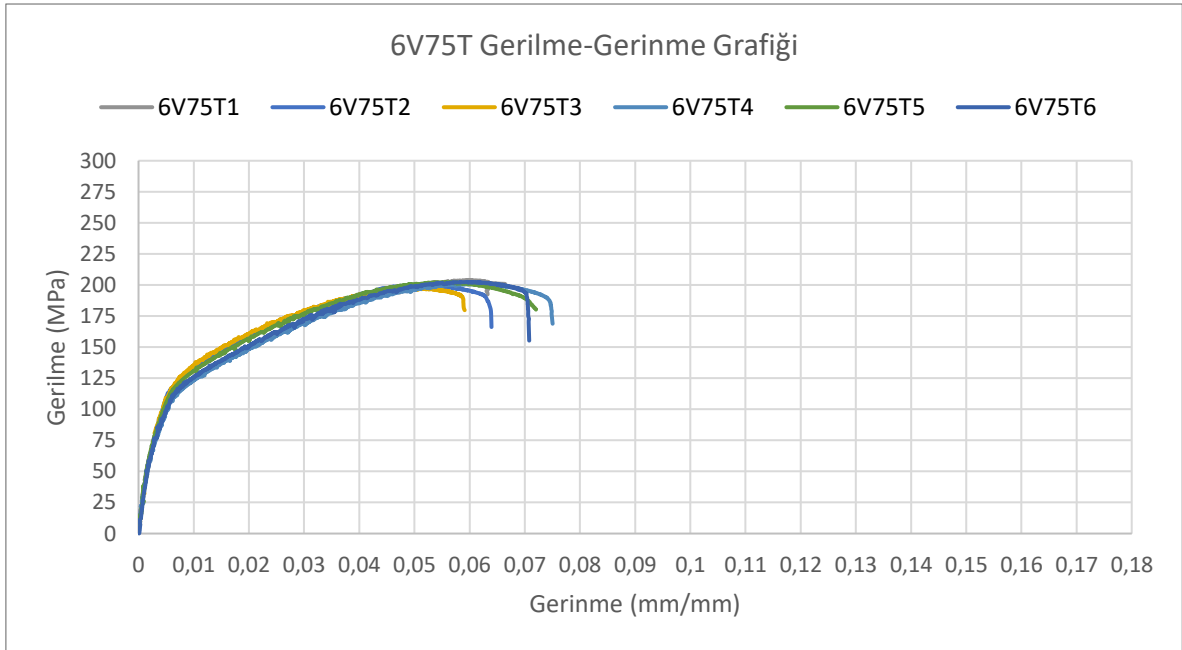
### 6.1.5.6V75T

AW 6061-T651 Malzemesine V tipinde 75 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.13’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.13. 6V75T numuneleri

6V75 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.14’te verilmiştir.



Şekil 6.14. 6V75T, gerilim-gerinim grafiği



Şekil 6.14'teki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.5'te verilmiştir. Şekil 6.15'te kırılma fotoğrafları verilmiştir. Tüm numuneler HAZ bölgelerinden sünek şekilde kırılmışlardır.

Tablo 6.5. 6V75T numuneleri çekme testi sonuçları

| 6V75TS Çekme Testleri |          |                    |                     |                 |
|-----------------------|----------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Numune Numarası       | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi |
| 6V75T1                | 6,64388  | 108,41489          | 200,14822           | HAZ             |
| 6V75T2                | 6,64277  | 105,66806          | 203,98691           | HAZ             |
| 6V75T3                | 5,94479  | 105,97625          | 197,84056           | HAZ             |
| 6V75T4                | 7,69135  | 102,44128          | 200,74764           | HAZ             |
| 6V75T5                | 7,20215  | 112,16563          | 202,39586           | HAZ             |
| 6V75T6                | 7,07991  | 111,77242          | 202,49660           | HAZ             |
| 6V75T Ort.            | 6,86747  | 107,73975          | 201,26930           | 6/6 HAZ         |



Şekil 6.15. 6V75T numuneleri kırılma fotoğrafları

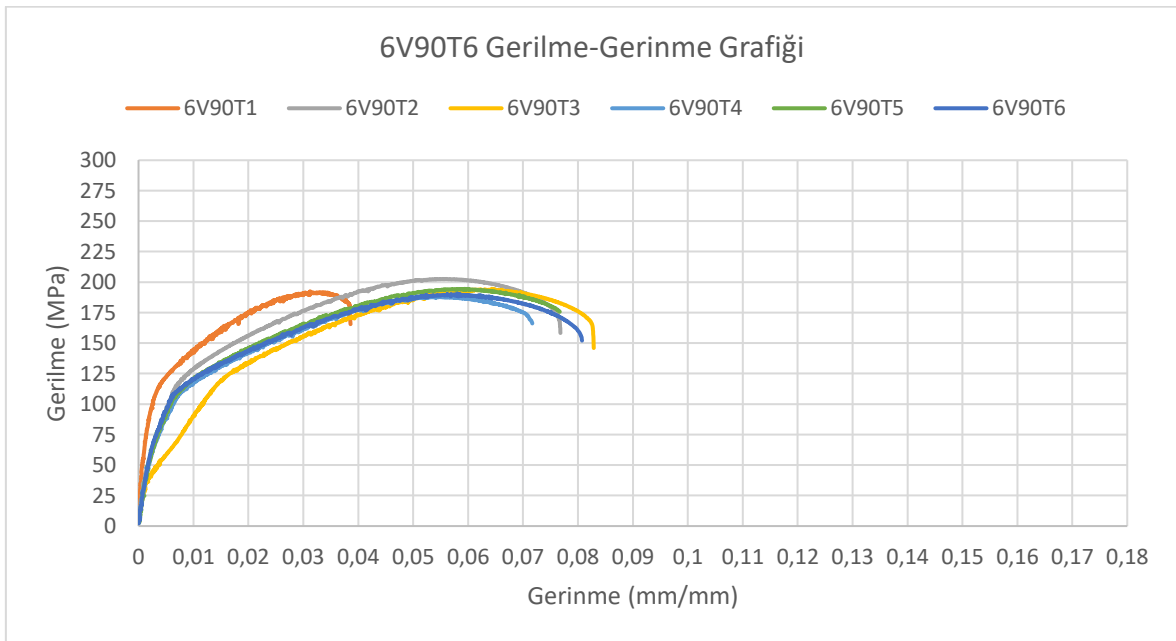
### 6.1.6.6V90T

AW 6061-T651 Malzemesine V tipinde 90 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.16’da görüldüğü gibidir.



Şekil 6.16. 6V90T numuneleri

6V90 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.17’de verilmiştir.

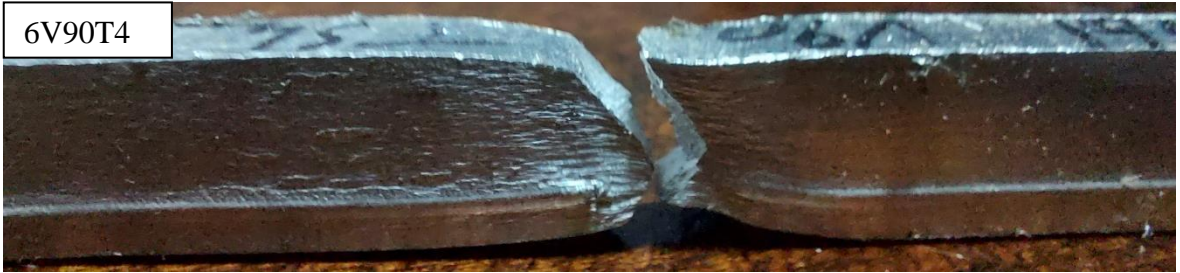


Şekil 6.17. 6V90T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.17’deki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.6’da verilmiştir. Şekil 6.18’de kırılma fotoğrafları verilmiştir. Tüm numuneler HAZ bölgelerinden sünek şekilde kırılmışlardır.

Tablo 6.6. 6V90T numuneleri çekme testi sonuçları

| 6V90T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                 |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi |
| 6V90T1                      | 7,76789  | 111,25459          | 192,43820           | HAZ             |
| 6V90T2                      | 7,68118  | 112,35209          | 202,62107           | HAZ             |
| 6V90T3                      | 8,34380  | 113,82993          | 194,55578           | HAZ             |
| 6V90T4                      | 7,16806  | 103,33248          | 188,06978           | HAZ             |
| 6V90T5                      | 7,66888  | 106,91044          | 194,47461           | HAZ             |
| 6V90T6                      | 8,10693  | 106,54742          | 190,62454           | HAZ             |
| 6V90T Ort.                  | 7,78946  | 109,03782          | 193,79733           | 6/6 HAZ         |



Şekil 6.18. 6V90T numuneleri kırılma fotoğrafları

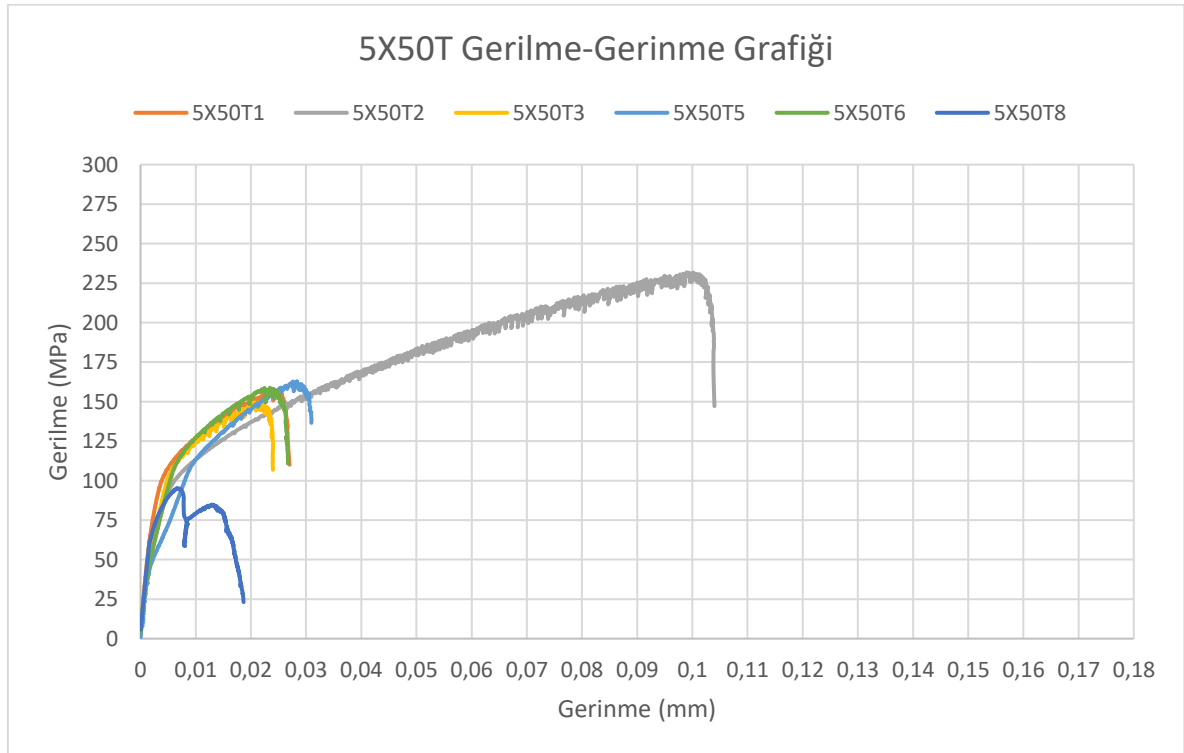
### 6.1.7.5X50T

AW 5083-H111 Malzemesine X tipinde 50 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.19’da görüldüğü gibidir.



Şekil 6.19. 5X50T numuneleri

5X50 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.20’de verilmiştir.

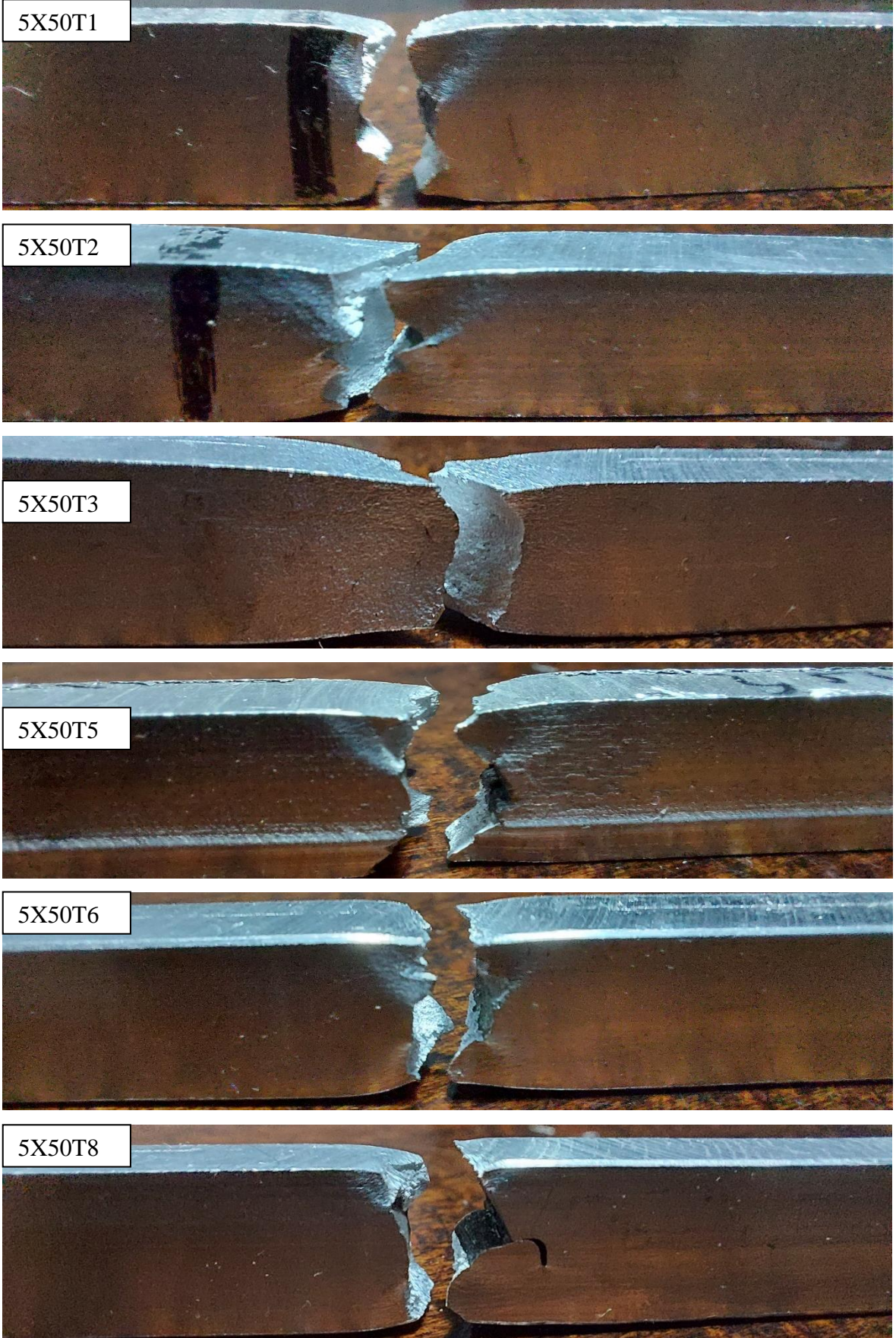


Şekil 6.20. 5X50T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.20'deki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.7'de verilmiştir. Şekil 6.21'de kırılma fotoğrafları verilmiştir. Tüm numuneler WM bölgelerinden kopmuşlardır. 5X50T3 hariç tüm numuneler kaynak ağzı geometrisi şeklinde kopmuştur. 5X50T8'de kaynak kökünün ayrılmaya başladığı ve malzemeye nüfuz etmediği görülmüştür.

Tablo 6.7. 5X50T numuneleri çekme testi sonuçlar

| 5X50T           |          |                    |                     |                 |
|-----------------|----------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Numune Numarası | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi |
| 5X50T1          | 2,77128  | 109,07134          | 157,37907           | WM              |
| 5X50T2          | 10,56962 | 80,41430           | 231,79641           | WM              |
| 5X50T3          | 2,45437  | 99,00192           | 150,09249           | WM              |
| 5X50T5          | 3,12007  | 83,98115           | 162,73453           | WM              |
| 5X50T6          | 2,72639  | 107,88500          | 158,73578           | WM              |
| 5X50T8          | 5,39548  | 103,63224          | 205,09831           | WM              |
| 5X50T Ort.      | 4,50620  | 97,33099           | 177,63943           | 6/6 WM          |

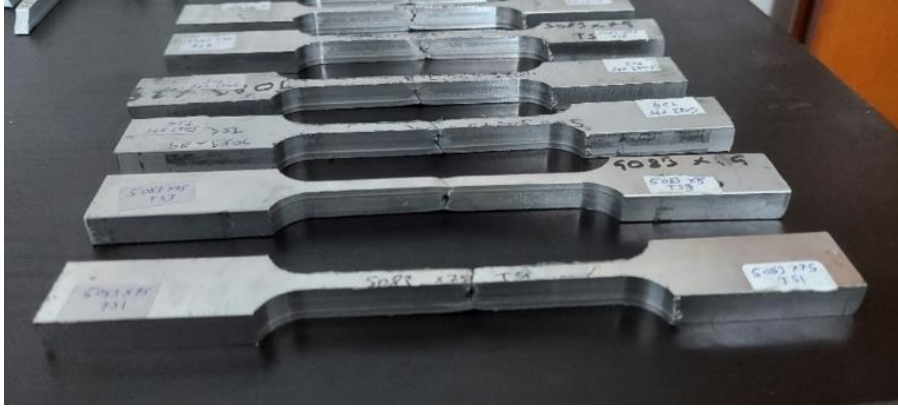


Şekil 6.21. 5X50T numuneleri kırılma fotoğrafları



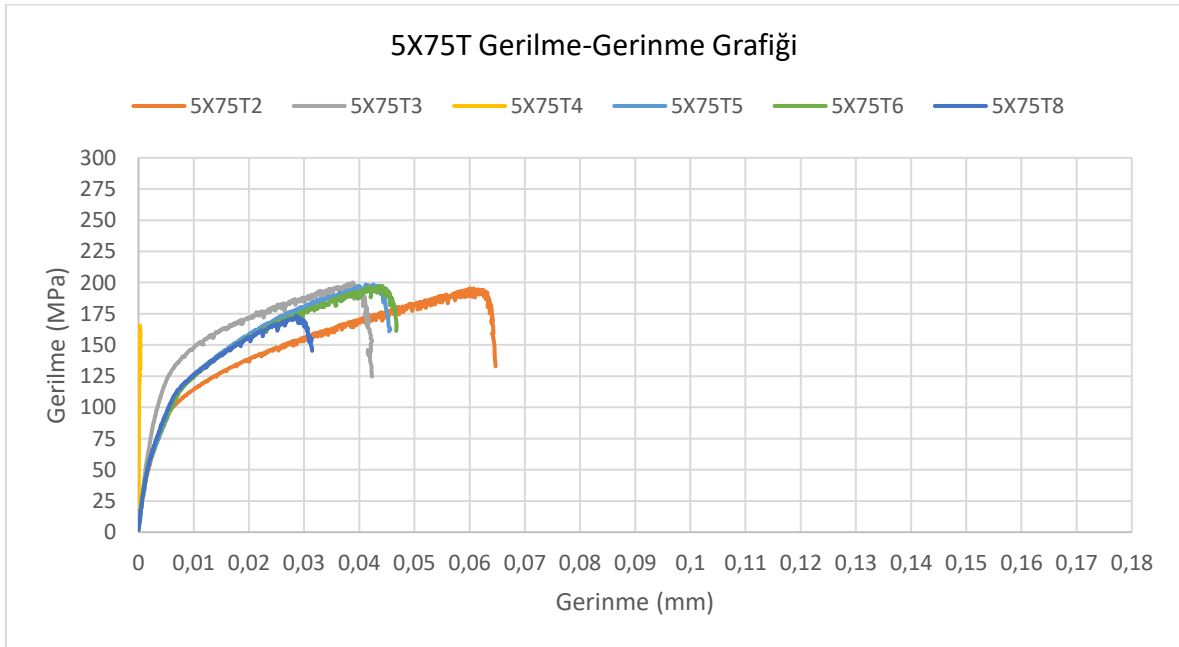
### 6.1.8.5X75T

AW 5083-H111 Malzemesine X tipinde 75 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.22’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.22. 5X75T numuneleri

5X75 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.23’te verilmiştir.



Şekil 6.23. 5X75T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.23’teki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.8’de verilmiştir. Şekil 6.24’te kırılma fotoğrafları verilmiştir. Kırmızı ile gösterilen

bölgeler kaynak yapılan bölgelerdir. Tüm numuneler kaynak ağız geometrisi şeklinde kopmuştur. 5X75T6’da kaynak kökünün ayrılmaya başladığı ve malzemeye nüfuz etmediği görülmüştür.

Tablo 6.8. 5X75T numuneleri çekme testi sonuçları

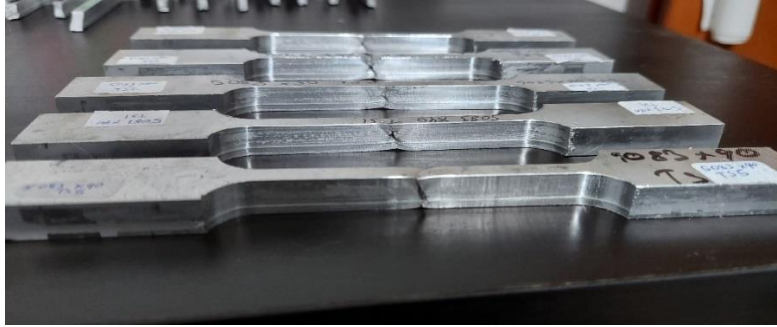
| 5X75T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                 |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi |
| 5X75T2                      | 6,569453 | 103,11452          | 195,34029           | WM              |
| 5X75T3                      | 4,39059  | 120,13697          | 200,12295           | WM              |
| 5X75T4                      | 3,17602  | 106,92593          | 165,62282           | WM              |
| 5X75T5                      | 4,785992 | 110,42420          | 198,43150           | WM              |
| 5X75T6                      | 4,888237 | 108,32592          | 197,43029           | WM              |
| 5X75T8                      | 3,39859  | 109,35418          | 173,38082           | WM              |
| 5X75T Ort.                  | 4,53481  | 109,71362          | 188,38811           | 6/6 WM          |



Şekil 6.24. 5X75T numuneleri kırılma fotoğrafları

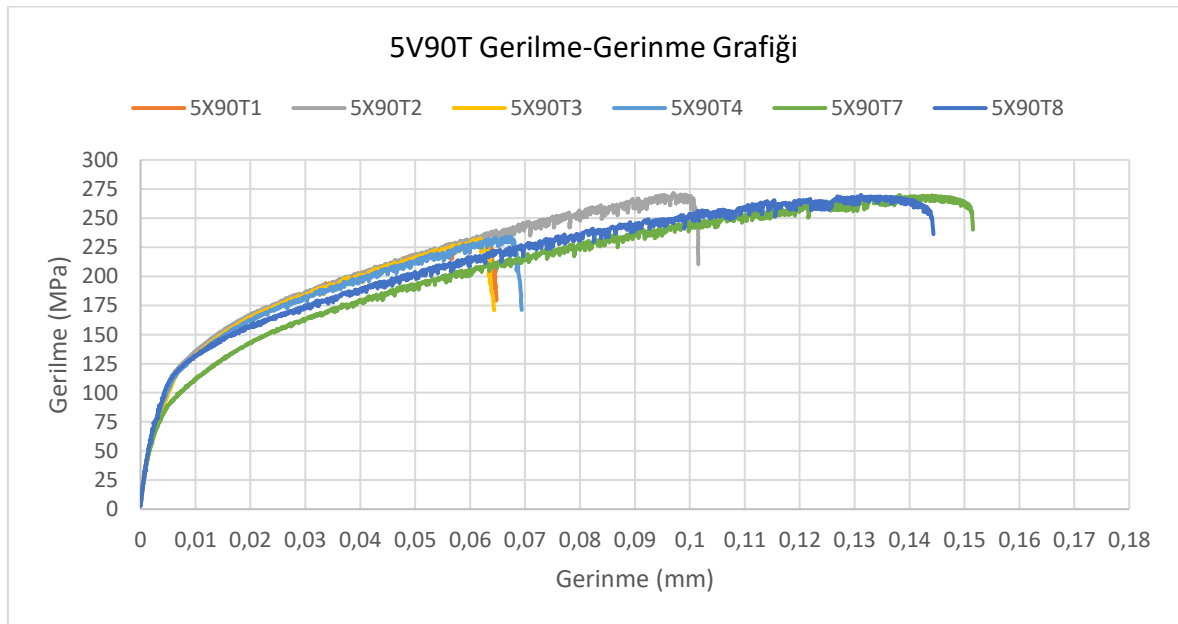
### 6.1.9.5X90T

AW 5083-H111 Malzemesine X tipinde 90 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.25'te görüldüğü gibidir.



Şekil 6.25. 5X90T numuneleri

5X90 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.26. 5X90T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.26'daki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.9'da verilmiştir. Şekil 6.27'de kırılma fotoğrafları verilmiştir. Kırmızı ile gösterilen bölgeler kaynak yapılan bölgelerdir. Tüm numuneler kaynak ağzı geometrisi şeklinde kopmuştur. 5X90T7'de kök pasodaki çatlak kusurundan dolayı gevrek bir şekilde kırıldığı

gözükmektedir. Sadece 5X90T8’de kaynak HAZ bölgesinden kopmuştur. Genel olarak kaynak ağzı geometrisi şeklinde kırılmalar Şekil 6.27’de gözükmektedir.

Tablo 6.9. 5X90T numuneleri çekme testi sonuçları

| 5X90T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                   |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi   |
| 5X90T1                      | 6,75353  | 114,30770          | 233,88476           | WM                |
| 5X90T2                      | 10,19249 | 107,41198          | 271,47142           | WM                |
| 5X90T3                      | 6,71439  | 114,35456          | 232,63035           | WM                |
| 5X90T4                      | 7,12761  | 113,96020          | 233,74041           | WM                |
| 5X90T7                      | 15,23097 | 78,74161           | 269,72943           | WM                |
| 5X90T8                      | 14,44586 | 90,44119           | 269,91771           | HAZ               |
| 5X90T Ort.                  | 10,07748 | 103,20287          | 251,89568           | 5/6 WM<br>1/6 HAZ |



Şekil 6.27. 5X90T numuneleri kırılma fotoğraflar

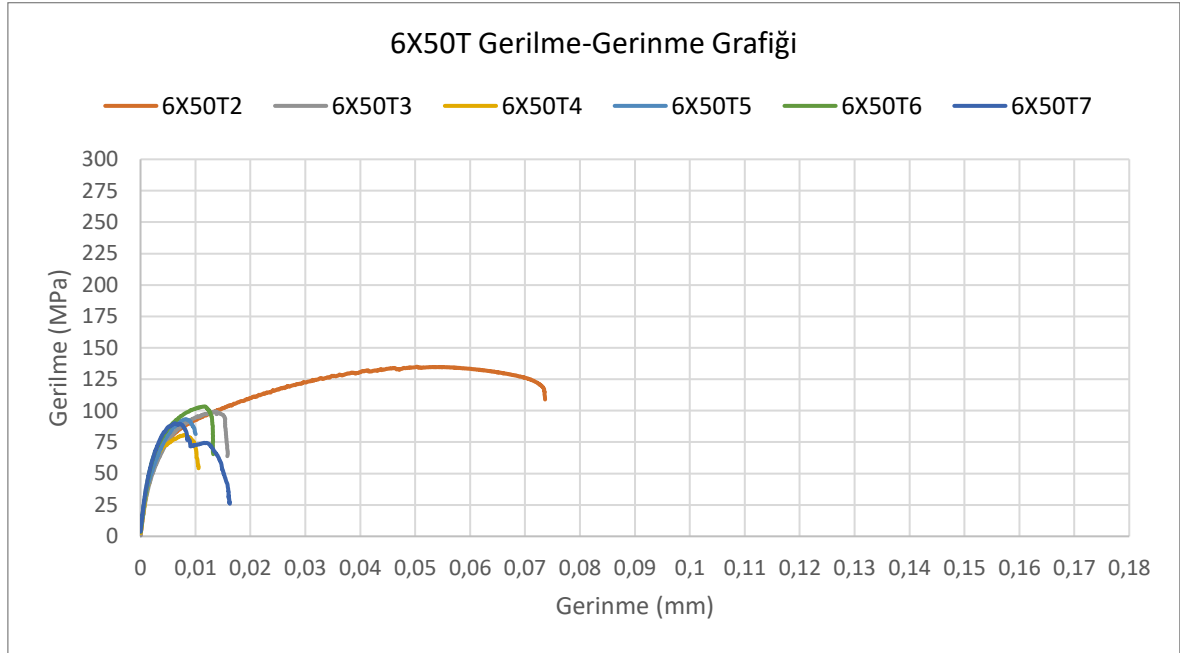
### 6.1.10. 6X50T

AW 6061-T651 Malzemesine X tipinde 50 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.28’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.28. 6X50T numuneleri

6X50 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.29’da verilmiştir.



Şekil 6.29. 6X50T, gerilim-gerinim grafiği

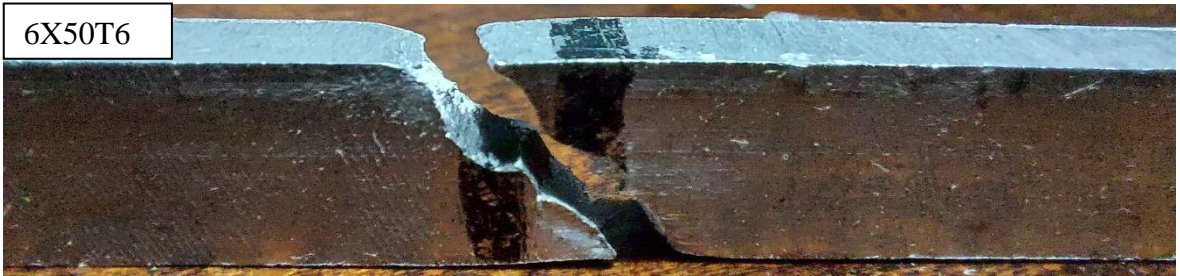
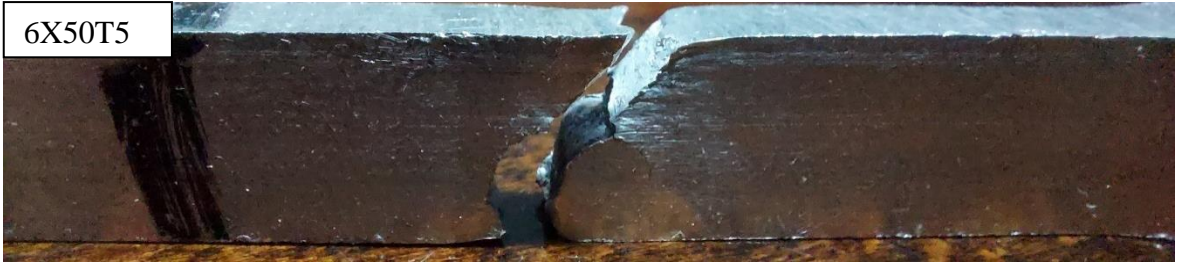
Şekil 6.29’deki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.10’da verilmiştir. Şekil 6.30’de kırılma fotoğrafları verilmiştir. Sadece 6X50T2’nin HAZ

bölgesinden sünek şekilde kırıldığı ve diğer numunelerin kaynak ağızı geometrisi şeklinde WM bölgesinden kırıldığı Şekil 6.30’da gözlemlenebilmektedir.

Tablo 6.10. 6X50T numuneleri çekme testi sonuçları

| 6X50T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                   |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi   |
| 6X50T2                      | 7,58711  | 74,15275           | 134,96083           | HAZ               |
| 6X50T3                      | 2,05693  | 70,25154           | 99,45987            | WM                |
| 6X50T4                      | 1,31407  | 56,70642           | 80,57050            | WM                |
| 6X50T5                      | 1,69381  | 67,59152           | 93,27576            | WM                |
| 6X50T6                      | 1,39862  | 60,43287           | 103,35462           | WM                |
| 6X50T7                      | 1,65969  | 52,11920           | 90,06780            | WM                |
| 6X50T Ort.                  | 2,61837  | 63,54238           | 100,28156           | 5/6 WM<br>1/6 HAZ |

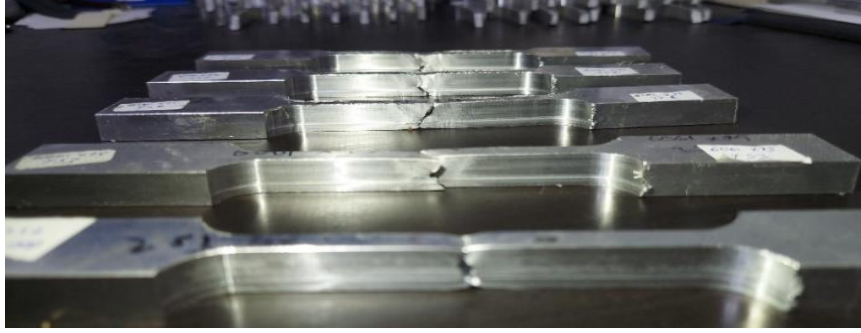




Şekil 6.30. 6X50T numuneleri kırılma fotoğraflar

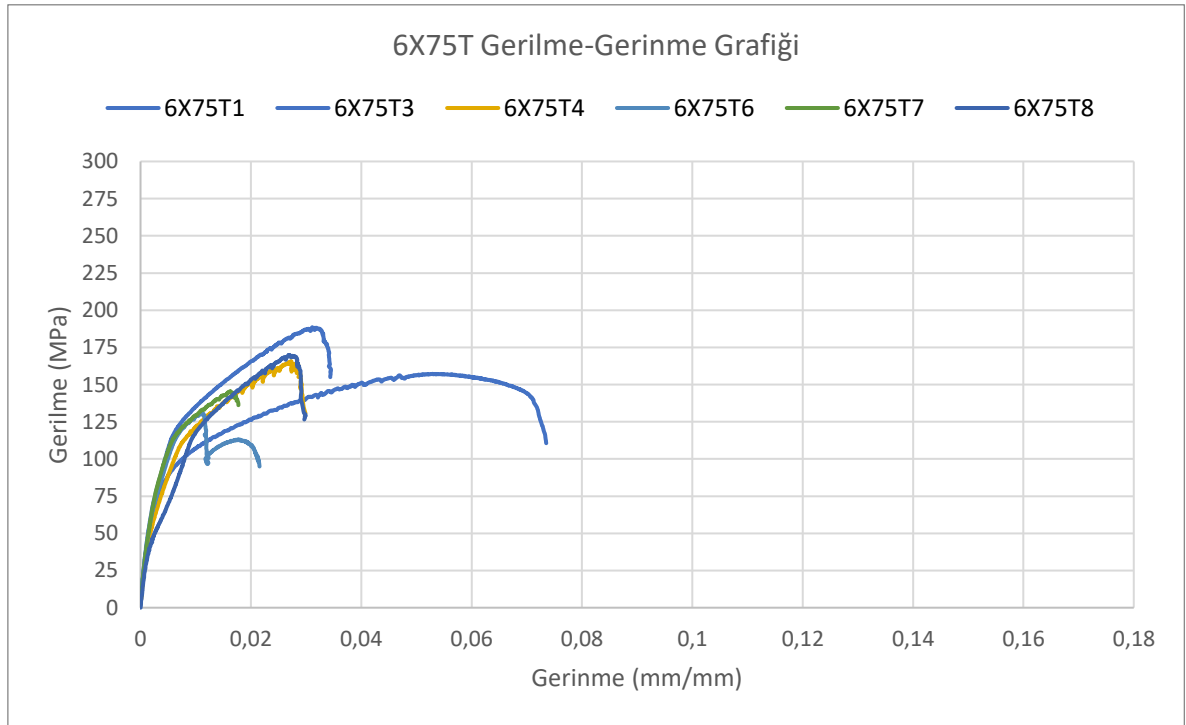
### 6.1.11. 6X75T

AW 6061-T651 Malzemesine X tipinde 75 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.31’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.31. 6X75T numuneleri

6X75 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.32’de verilmiştir.



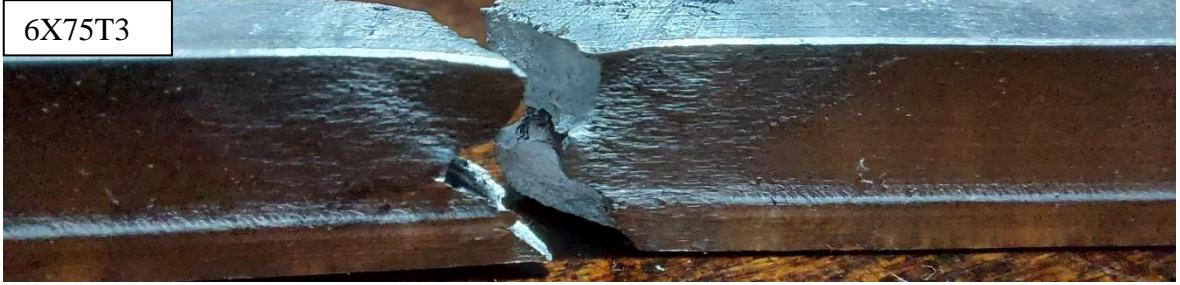
Şekil 6.32. 6X75T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.32’deki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.11’de verilmiştir. Şekil 6.33’de kırılma fotoğrafları verilmiştir. Tüm numuneler kaynak

ağız geometrisi şeklinde kopmuştur. Sadece 6X75T1 ve 6X75T3 HAZ bölgelerinden sünek şekilde kırılmıştır. 6X75T3 HAZ bölgesinden kırıldığı halde kaynak ağız geometrisi şeklinde kırıldığı gözükmemektedir. Şekil 6.32’de 6X75T6 numunesinde X kaynak ağzının çatladıktan sonrada çatlak bir süre ilerlemeyip malzeme deforme olmaya devam etmiştir.

Tablo 6.11. 6X75T numuneleri çekme testi sonuçları

| 6X75T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                   |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi   |
| 6X75T1                      | 7,47226  | 83,68773           | 157,19782           | HAZ               |
| 6X75T3                      | 3,87298  | 111,48412          | 188,57655           | HAZ               |
| 6X75T4                      | 3,17602  | 106,92593          | 165,62282           | WM                |
| 6X75T6                      | 2,44603  | 103,19880          | 130,65115           | WM                |
| 6X75T7                      | 2,47745  | 106,37941          | 145,58078           | WM                |
| 6X75T8                      | 3,17375  | 106,02382          | 169,90781           | WM                |
| 6X75T Ort.                  | 3,76975  | 102,94997          | 159,58949           | 4/6 WM<br>2/6 HAZ |



Şekil 6.33. 6X75T numuneleri kırılma fotoğraflar

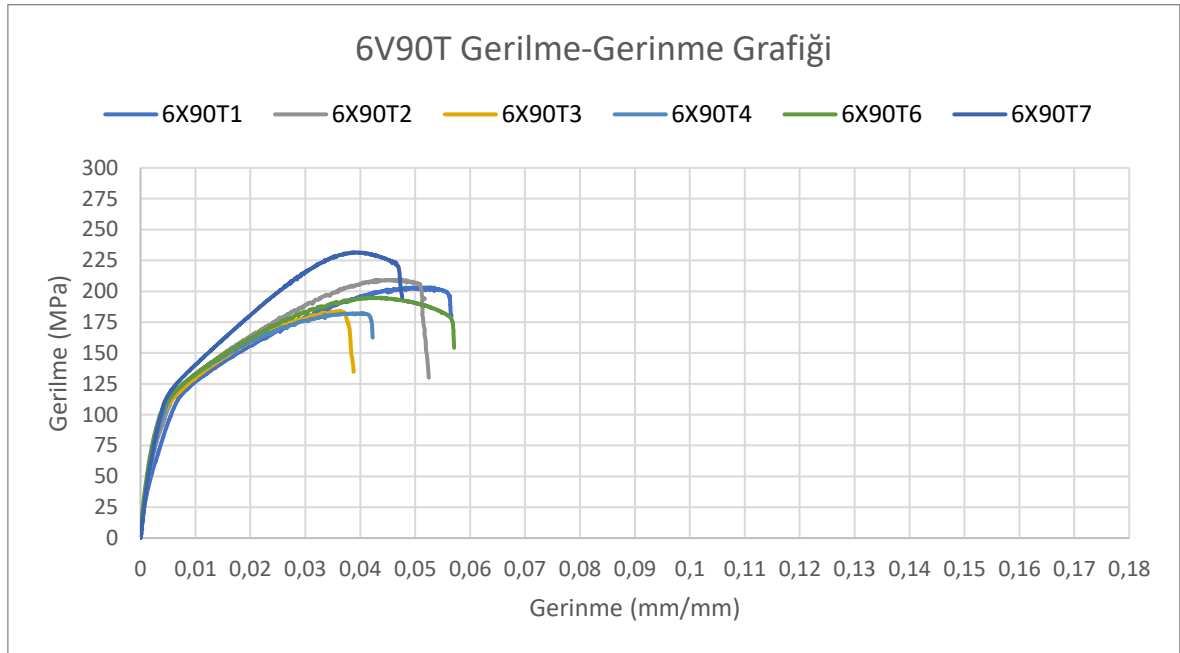
### 6.1.12. 6X90T

AW 6061-T651 Malzemesine X tipinde 90 derece açıda açılan kaynak numuneleri Şekil 6.34’de görüldüğü gibidir.



Şekil 6.34. 6X90T numuneleri

6X90 grubu çekme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.35’de verilmiştir.

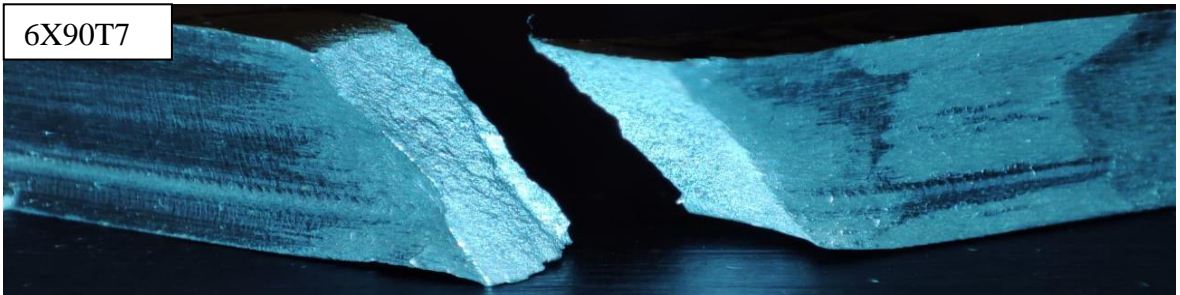
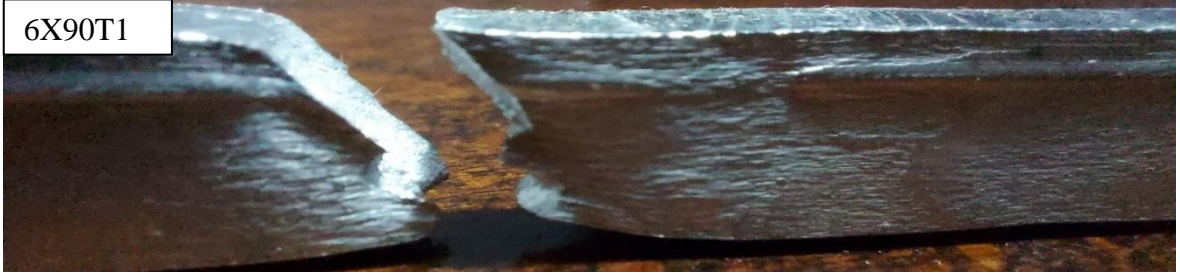


Şekil 6.35. 6X90T, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.35’deki grafiğe göre uzama yüzdesi, akma dayanımı ve çekme dayanımı Tablo 6.12’de verilmiştir. Şekil 6.36’da kırılma fotoğrafları verilmiştir. Tüm numuneler kaynak ağzı geometrisi şeklinde kopmuştur.

Tablo 6.12. 6X90T numuneleri çekme testi sonuçları

| 6X90T Çekme Testi Sonuçları |          |                    |                     |                 |
|-----------------------------|----------|--------------------|---------------------|-----------------|
| Numune Numarası             | Uzama, % | Akma Dayanımı, MPa | Çekme Dayanımı, MPa | Kırılma Bölgesi |
| 6X90T1                      | 6,11580  | 106,14034          | 203,16017           | HAZ             |
| 6X90T2                      | 5,29214  | 112,62964          | 210,07097           | HAZ             |
| 6X90T3                      | 3,93711  | 97,93641           | 183,85684           | HAZ             |
| 6X90T4                      | 4,67312  | 111,81463          | 182,27814           | HAZ             |
| 6X90T6                      | 5,70926  | 98,57007           | 195,01396           | HAZ             |
| 6X90T7                      | 5,21646  | 107,59272          | 231,55791           | HAZ             |
| 6X90T Ort.                  | 5,15736  | 105,78064          | 200,98967           | 6/6 HAZ         |



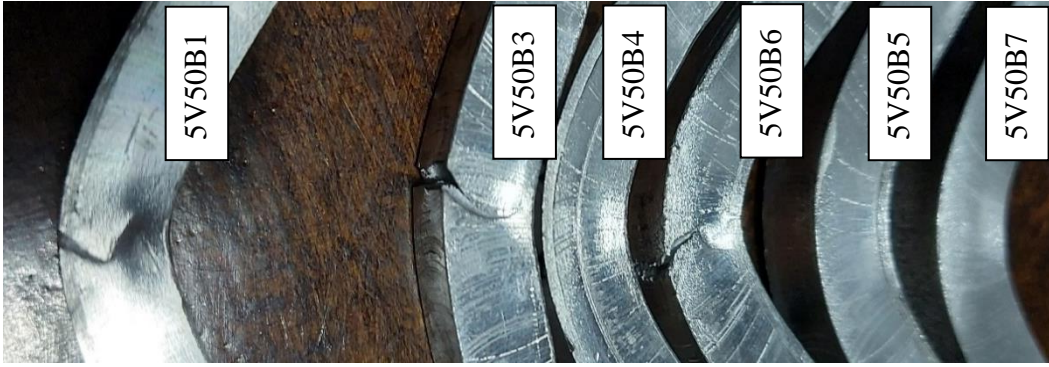
Şekil 6.36. 6X90T numuneleri kırılma fotoğraflar

## 6.2. Üç Noktadan Eğme Testleri

Eğilme numunelerine ait fotoğraflar ve gerilim-gerinim grafikleri bu bölümde verilmiştir.

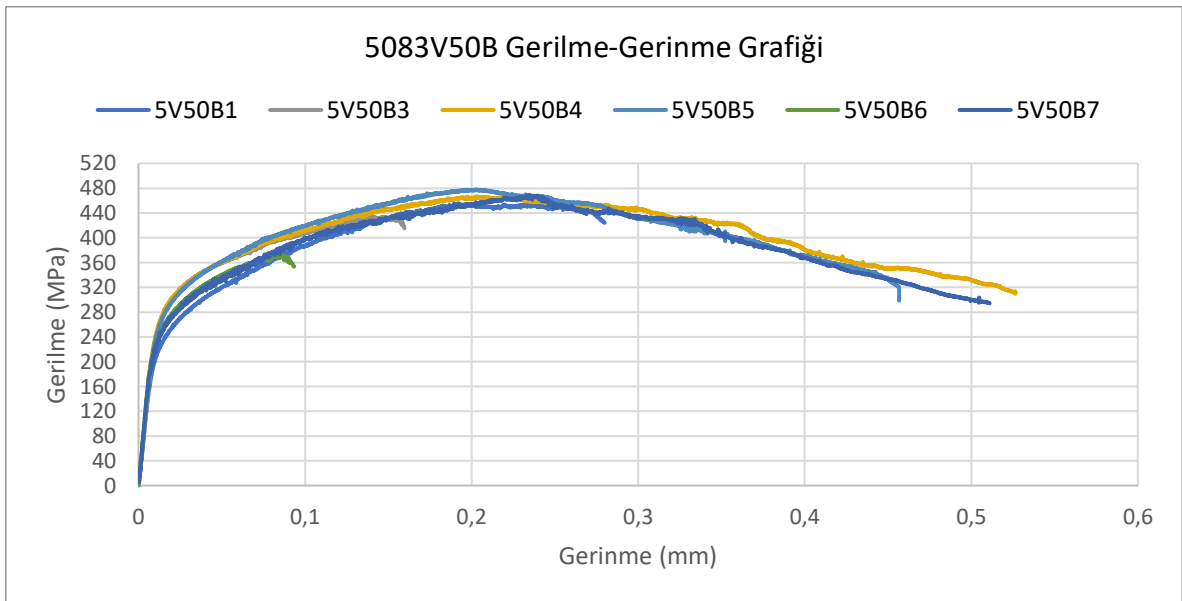
### 6.2.1. 5V50B

AW 5083-H111 Malzemesine V tipinde 50 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.37’de verildiği gibidir.



Şekil 6.37 5V50B numuneleri

5V50 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.38’de verilmiştir.



Şekil 6.38. 5V50B, gerilim-gerinim grafiği



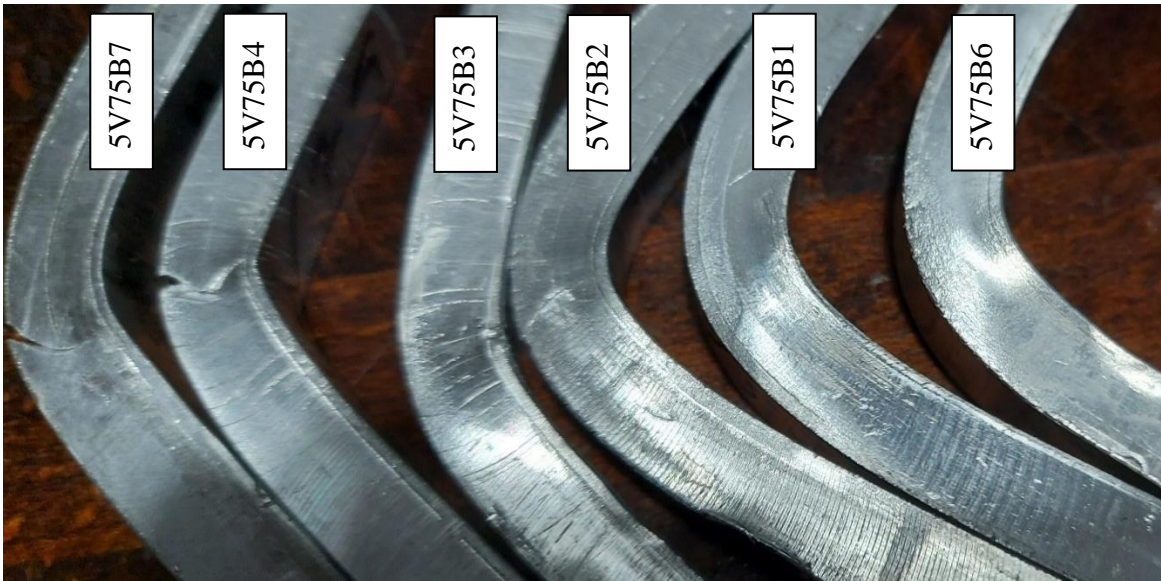
Şekil 6.38’de verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.13’de gösterilmiştir. Tablo 6.13’e göre 5V50B4, 5V50B5, 5V50B7 numunelerinin dayanımları diğer numunelere göre yüksek olduğu gibi, Şekil 6.37’ye göre numunelerde çatlakla rastlanmamıştır.

Tablo 6.13. 5V50B numuneleri eğme testi sonuçları

| 5V50B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 5V50B1                                 | 455,26086             | 71,49368                  | 27,49757             |
| 5V50B3                                 | 434,99199             | 52,65477                  | 20,25184             |
| 5V50B4                                 | 466,77624             | 73,14592                  | 28,13305             |
| 5V50B5                                 | 478,31290             | 55,51222                  | 21,35085             |
| 5V50B6                                 | 373,60228             | 63,77489                  | 24,52880             |
| 5V50B7                                 | 468,88238             | 62,37365                  | 23,98986             |
| 5V50B Ort.                             | 446,30444             | 63,15919                  | 24,29200             |

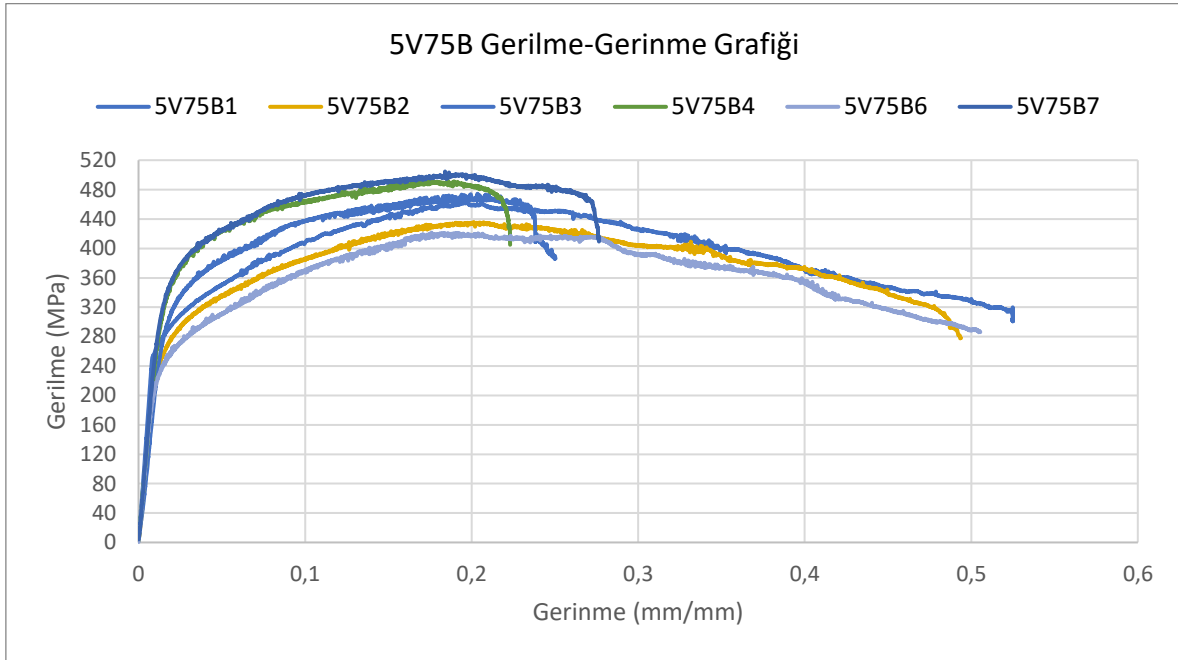
### 6.2.2. 5V75B

AW 5083-H111 Malzemesine V tipinde 75 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.39’da verildiği gibidir.



Şekil 6.39. 5V75B numuneleri

5V75 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.40'da verilmiştir.



Şekil 6.40. 5V75B, gerilim-gerinim grafiği

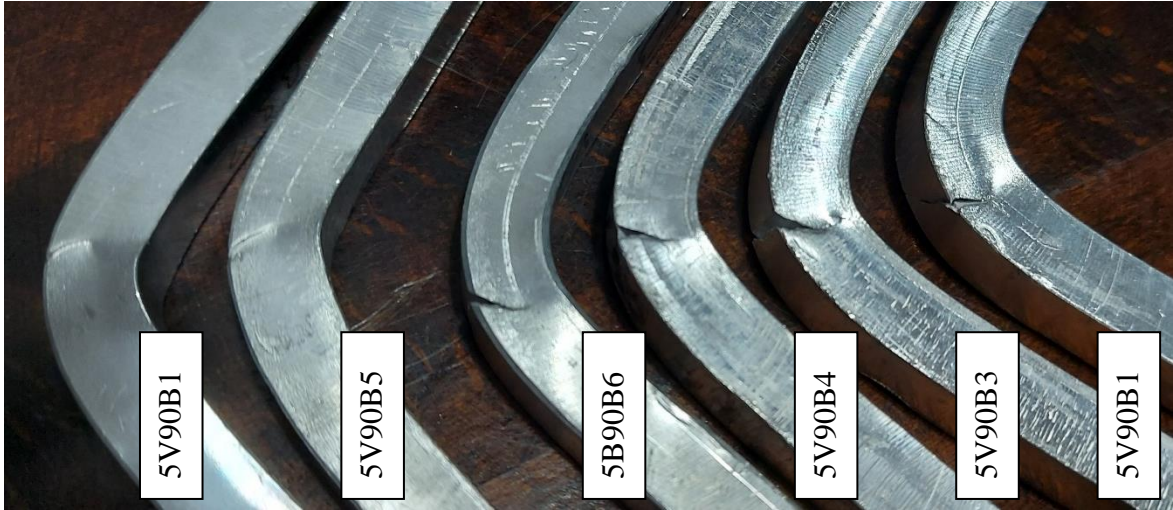
Şekil 6.40'ta verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.14'te gösterilmiştir. Şekil 6.39'a göre numunelerde 5V75B1, 5V75B2, 5V75B3 ve 5V75B6 numunelerinde çatlğa rastlanmamıştır.

Tablo 6.14. 5V75B numuneleri eğme testi sonuçları

| 5V75B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 5V75B1                                 | 462,76413             | 71,74941                  | 27,59593             |
| 5V75B2                                 | 435,92731             | 56,43332                  | 21,70512             |
| 5V75B3                                 | 474,36678             | 63,45326                  | 24,40510             |
| 5V75B4                                 | 492,47599             | 61,04182                  | 23,47762             |
| 5V75B6                                 | 421,51872             | 77,31938                  | 29,73822             |
| 5V75B7                                 | 504,71829             | 74,15703                  | 28,52193             |
| 5V75B Ort.                             | 465,29520             | 67,35904                  | 25,90732             |

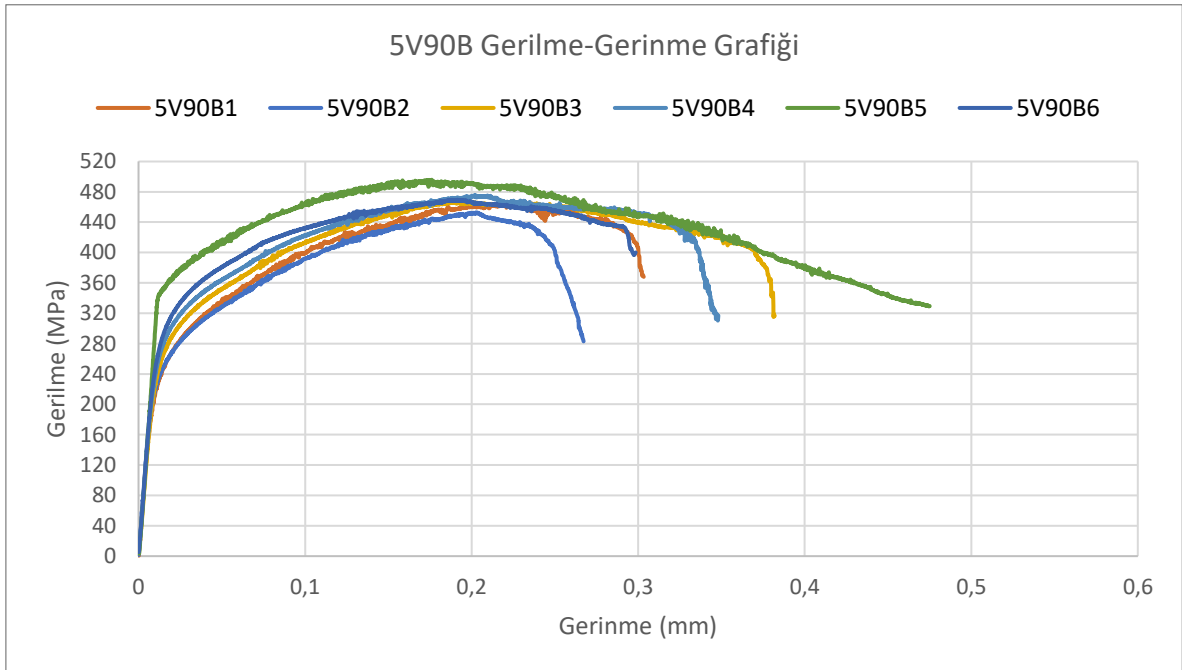
### 6.2.3.5V90B

AW 5083-H111 Malzemesine V tipinde 90 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.41’de verildiği gibidir.



Şekil 6.41. 5V90B numuneleri

5V90 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.42’de verilmiştir.



Şekil 6.42 5V90B, gerilim-gerinim grafiği

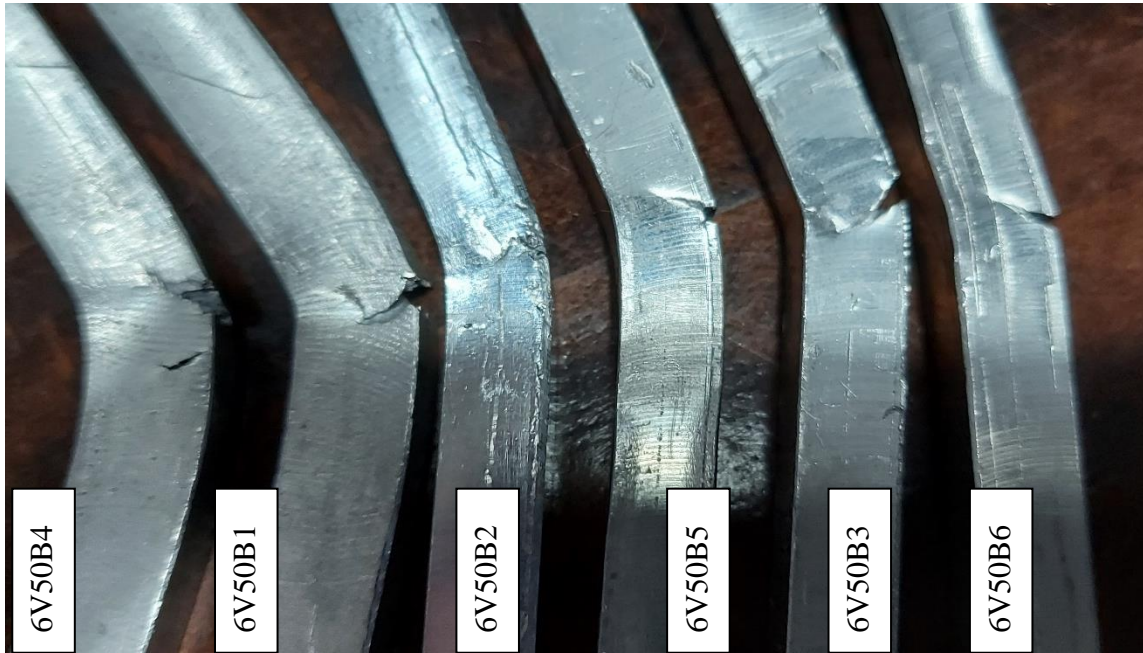
Şekil 6.42’de verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.15’te gösterilmiştir. Şekil 6.41’a göre numunelerin tamamı kaynak kökü tarafından çatlamıştır.

Tablo 6.15. 5V90B numuneleri eğme testi sonuçları

| 5V90B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 5V90B1                                 | 452,80859             | 74,82177                  | 28,77760             |
| 5V90B2                                 | 467,21466             | 53,30629                  | 20,50242             |
| 5V90B3                                 | 466,25958             | 67,25069                  | 25,86565             |
| 5V90B4                                 | 475,62266             | 76,14893                  | 29,28805             |
| 5V90B5                                 | 495,84888             | 61,41306                  | 23,62041             |
| 5V90B6                                 | 469,55679             | 70,33649                  | 27,05249             |
| 5V90B Ort.                             | 471,21853             | 67,21287                  | 25,85110             |

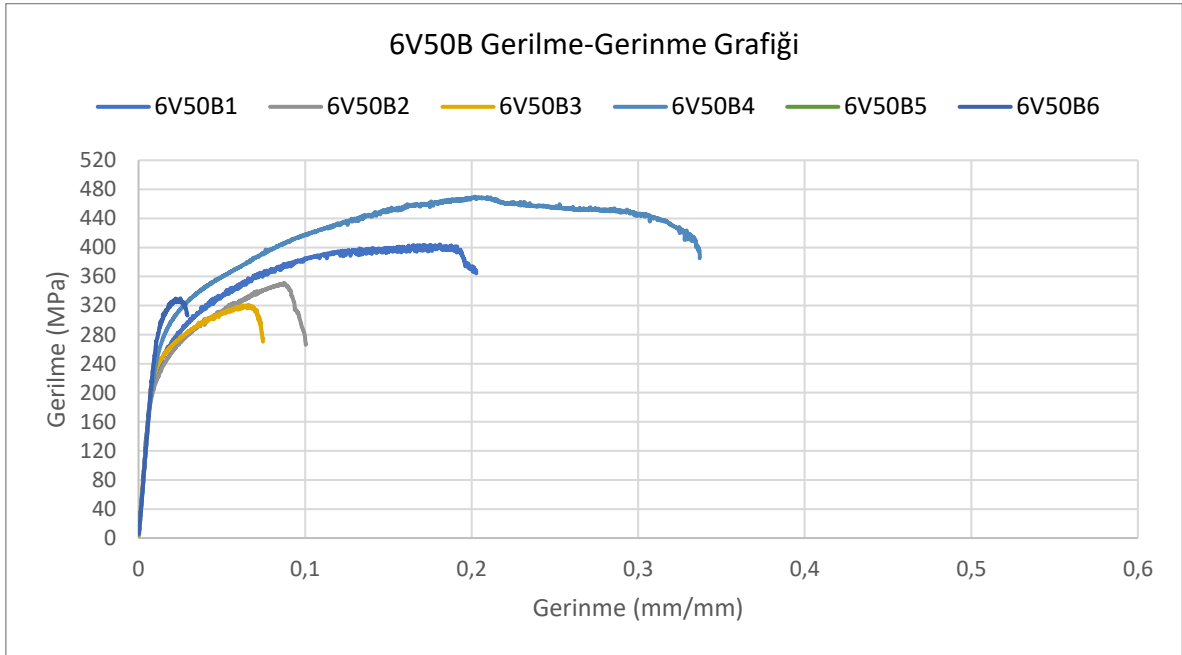
#### 6.2.4.6V50B

AW 6061-T651 Malzemesine V tipinde 50 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.43’te verildiği gibidir.



Şekil 6.43. 6V50B numuneleri

6V50 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.44'te verilmiştir.



Şekil 6.44. 6V50B, gerilim-gerinim grafiği

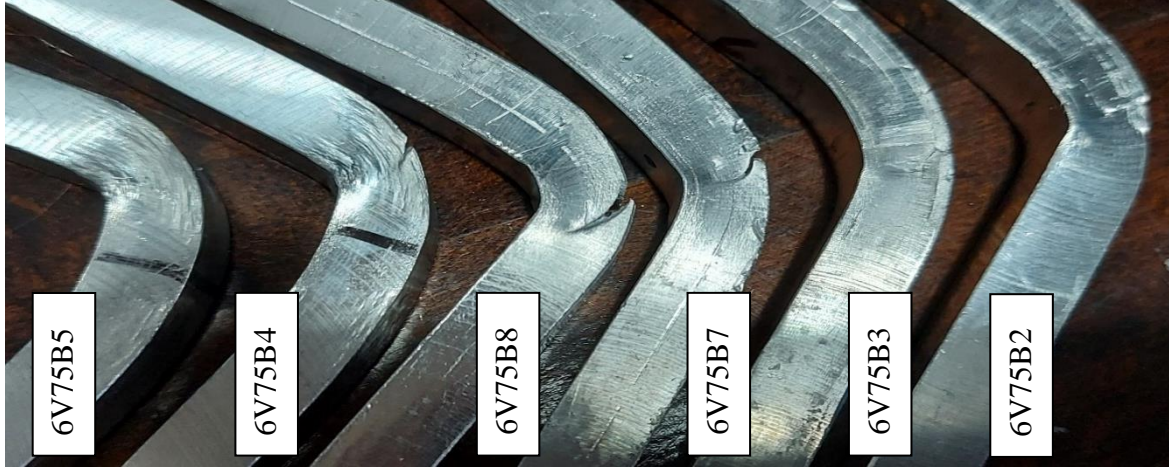
Şekil 6.44'te verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.16'da gösterilmiştir. Şekil 6.43'e göre numunelerin tamamı kaynak kökü tarafından çatlamıştır. Şekil 6.43'e göre 6V50B3, 6V50B4 ve 6V50B5 numunelerinde çatlama çatal şeklinde ilerlemiştir.

Tablo 6.16. 6V50B numuneleri eğme testi sonuçları

| 6V50B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 6V50B1                                 | 404,13984             | 73,22366                  | 28,16294             |
| 6V50B2                                 | 350,95392             | 56,84499                  | 21,86346             |
| 6V50B3                                 | 320,73274             | 68,27263                  | 26,25870             |
| 6V50B4                                 | 469,86496             | 74,46877                  | 28,64183             |
| 6V50B5                                 | 339,13638             | 76,95043                  | 29,59632             |
| 6V50B6                                 | 329,92693             | 73,97493                  | 28,45190             |
| 6V50B Ort.                             | 369,12580             | 70,62257                  | 27,16253             |

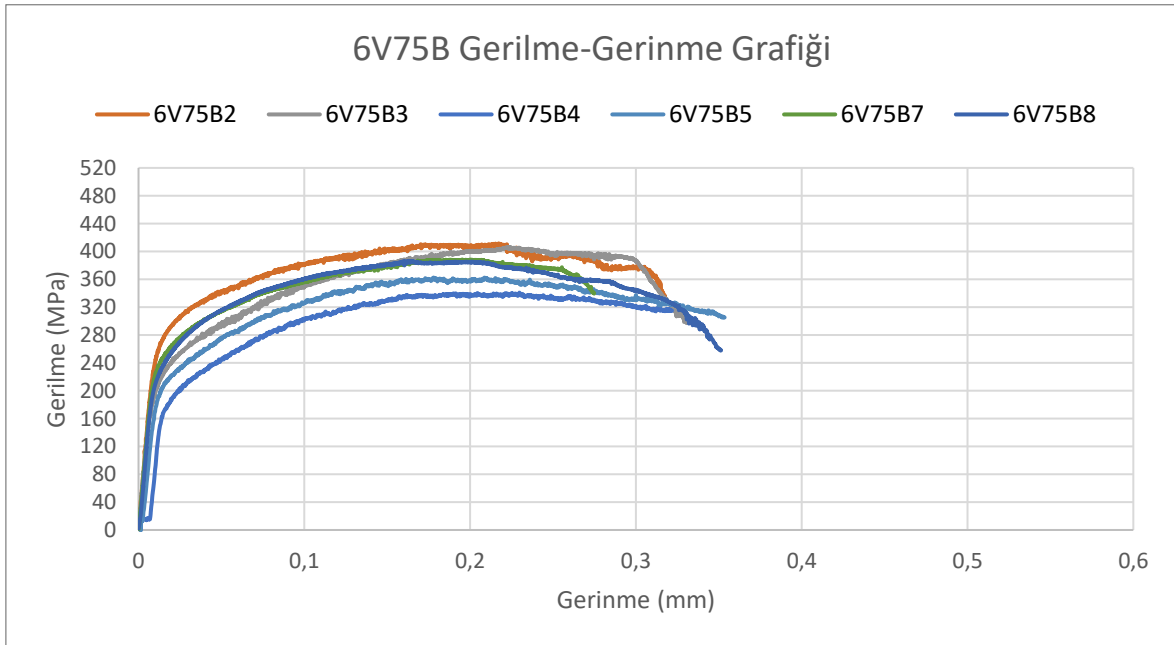
### 6.2.5.6V75B

AW 6061-T651 Malzemesine V tipinde 75 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.45'te verildiği gibidir.



Şekil 6.45. 6V75B numuneleri

6V75 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.46'da verilmiştir.



Şekil 6.46. 6V75B, gerilim-gerinim grafiği

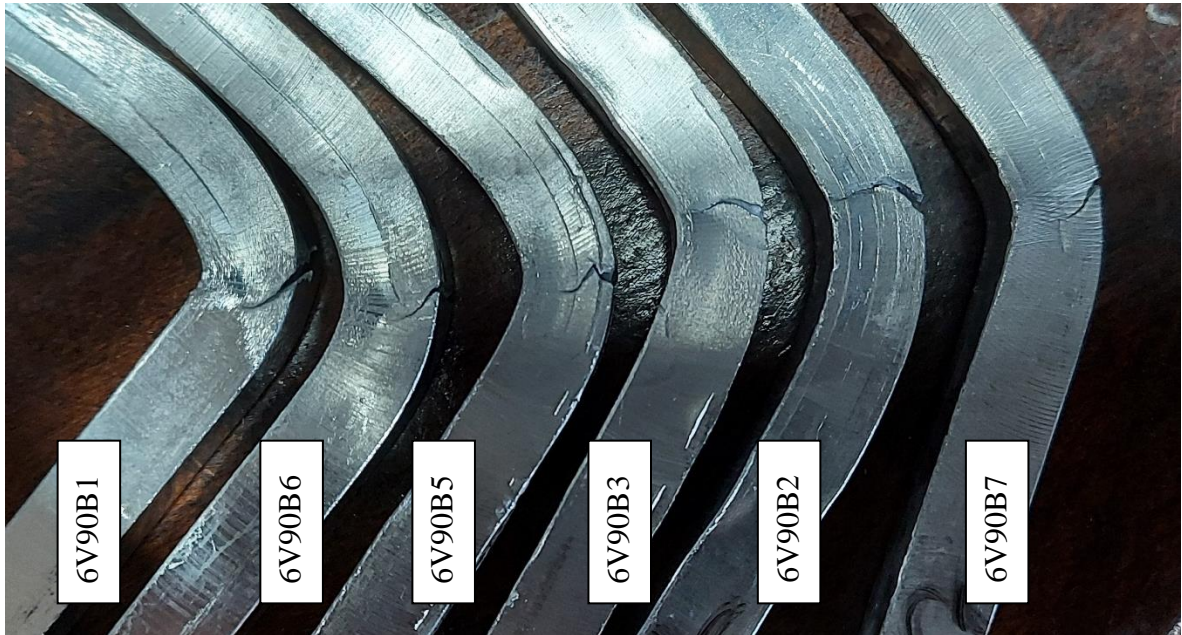
Şekil 6.46’da verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.17’de gösterilmiştir. Şekil 6.45’e göre 6V75B5 hariç numunelerin hepsi kaynak kökü tarafından çatlamıştır.

Tablo 6.17. 6V75B numuneleri eğme testi sonuçları

| 6V75B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 6061 V75 BS2                           | 411,26626             | 72,33565                  | 27,82141             |
| 6061 V75 BS3                           | 406,44923             | 72,74411                  | 27,97850             |
| 6061 V75 BS4                           | 325,96789             | 55,84037                  | 21,47706             |
| 6061 V75 BS5                           | 368,26620             | 68,82459                  | 26,47099             |
| 6061 V75 BS7                           | 388,52950             | 54,99182                  | 21,15070             |
| 6061 V75 BS8                           | 386,47355             | 51,19486                  | 19,69033             |
| 6061 V75 BS Ort.                       | 381,15877             | 62,65523                  | 24,09817             |

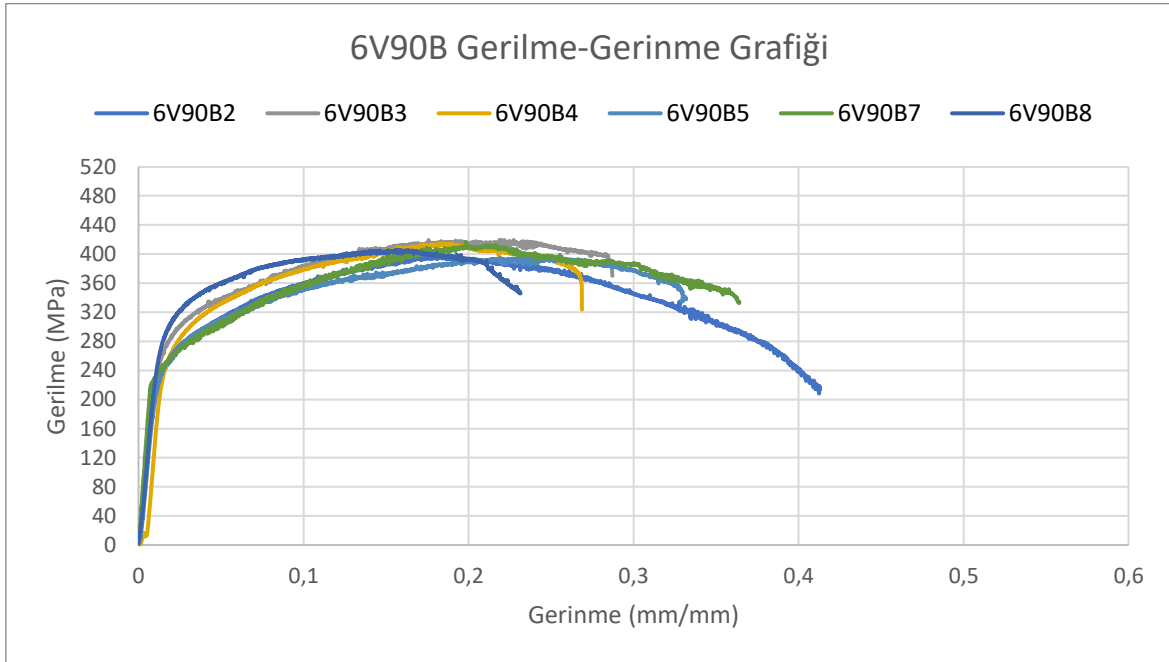
#### 6.2.6.6V90B

AW 6061-T651 Malzemesine V tipinde 90 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.47’te verildiği gibidir.



Şekil 6.47. 6V90B numuneleri

6V90 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.48’da verilmiştir.



Şekil 6.48. 6V90B, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.48’da verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.18’de gösterilmiştir. Şekil 6.47’e göre 6V90B numunelerinin hepsi kökten çatlamıştır.

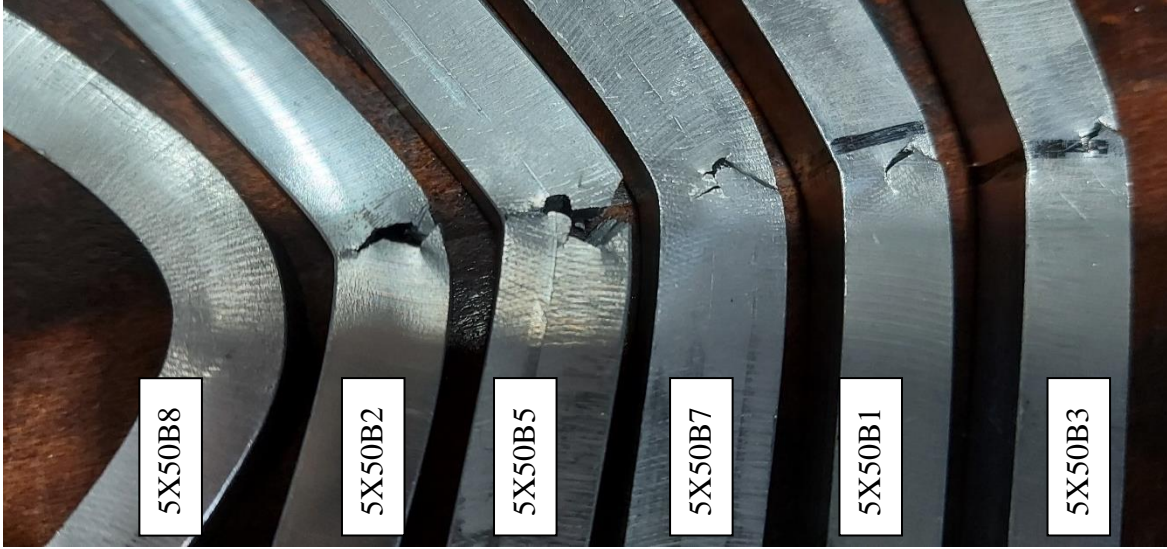
Tablo 6.18. 6V90B numuneleri eğme testi sonuçları

| 6V90B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 6V90B2                                 | 396,30199             | 45,13887                  | 17,36111             |
| 6V90B3                                 | 419,69560             | 48,24566                  | 18,55602             |
| 6V90B4                                 | 413,78822             | 32,23744                  | 12,39901             |
| 6V90B5                                 | 397,15381             | 40,93808                  | 15,74541             |
| 6V90B7                                 | 416,64334             | 80,89403                  | 80,89403             |
| 6V90B8                                 | 406,15754             | 52,52211                  | 52,52211             |
| 6V90B Ort.                             | 408,29009             | 49,99603                  | 32,91295             |



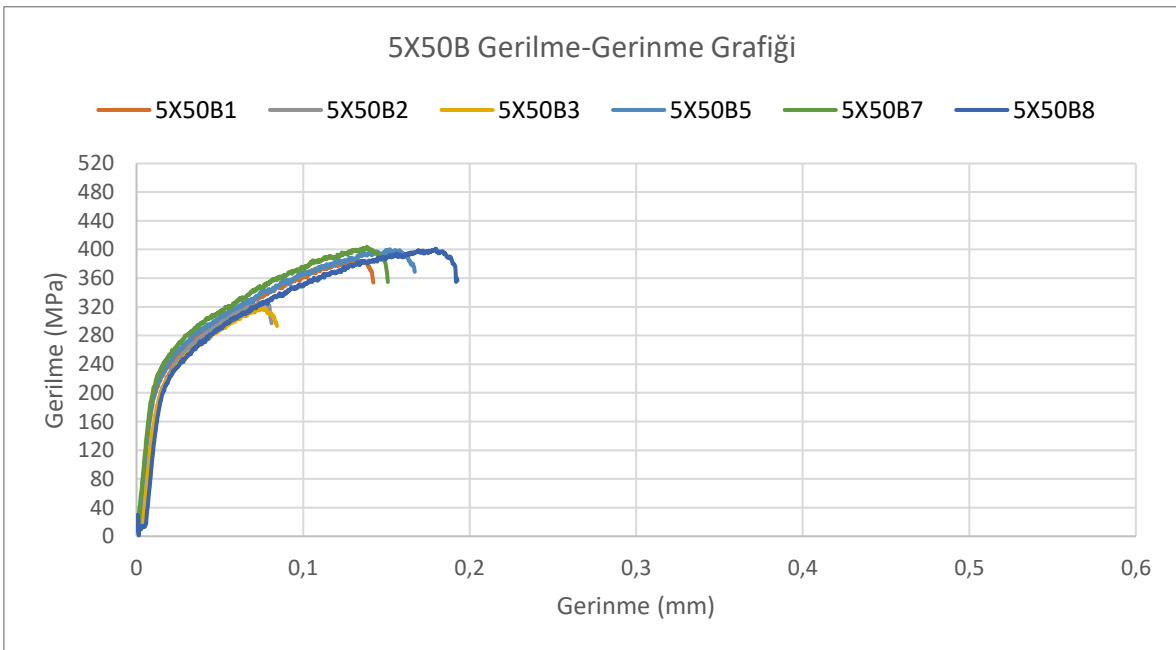
### 6.2.7.5X50B

AW 5083-H111 Malzemesine X tipinde 50 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.47’te verildiği gibidir.



Şekil 6.49. 5X50B numuneleri

AW 5083-H111 X50 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.49’da verilmiştir.



Şekil 6.50. 5X50B, gerilim-gerinim grafiği

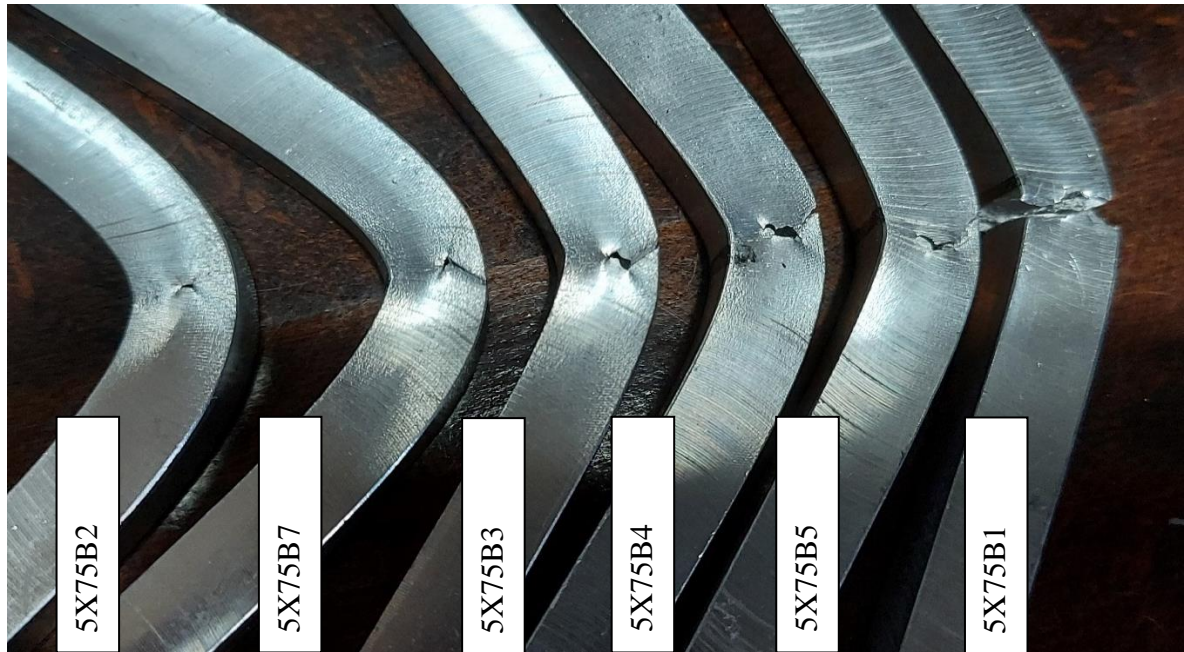
Şekil 6.50’da verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.19’da gösterilmiştir. Şekil 6.49’a göre Sadece 5X50B8 numunesi testte başarılı olmuştur, diğer numuneler kaynak ağzı geometrisine yakın bir şekilde çatlamış ya da kırılmıştır.

Tablo 6.19. 5X50B numuneleri eğme testi sonuçları

| 5X50B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 5X50B1                                 | 384,39863             | 57,66843                  | 22,18016             |
| 5X50B2                                 | 326,40609             | 60,02911                  | 23,08812             |
| 5X50B3                                 | 319,28778             | 41,13119                  | 15,81969             |
| 5X50B5                                 | 400,21950             | 62,31827                  | 23,96856             |
| 5X50B7                                 | 403,85467             | 61,90272                  | 23,80874             |
| 5X50B8                                 | 401,24063             | 63,83469                  | 24,55180             |
| 5X50B Ort.                             | 372,56788             | 57,81407                  | 22,23618             |

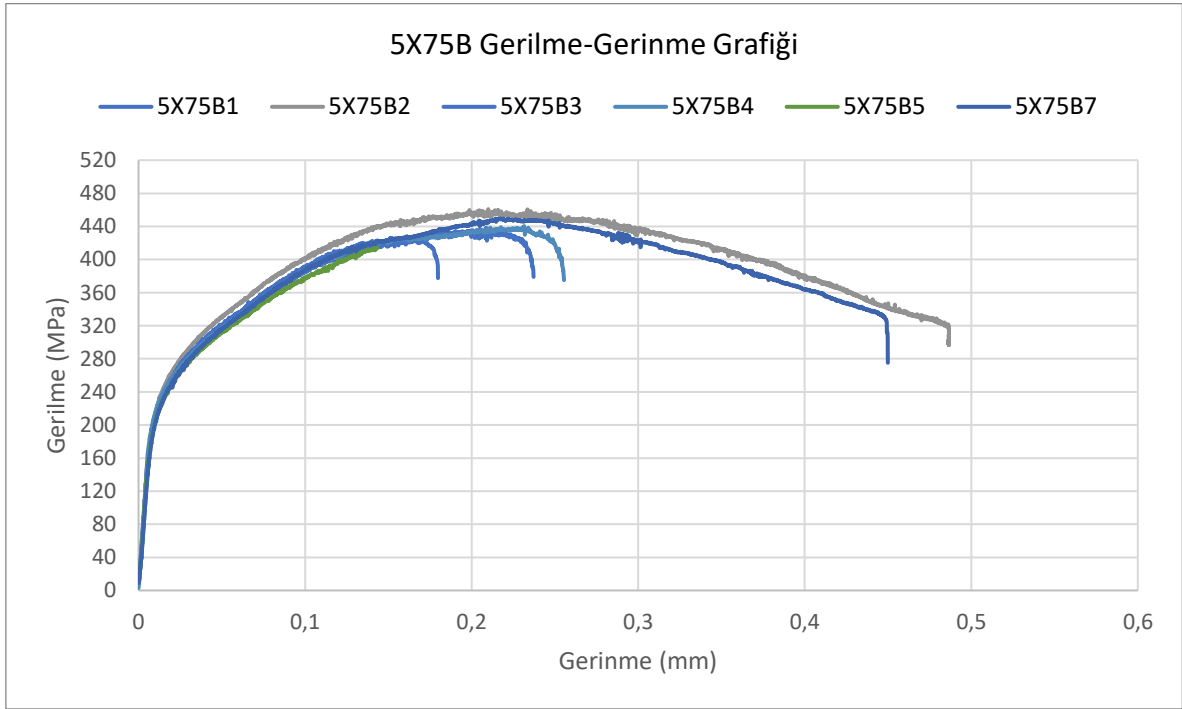
#### 6.2.8.5X75B

AW 5083-H111 Malzemesine X tipinde 75 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.51’te verildiği gibidir.



Şekil 6.51. 5X75B numuneleri

5X75 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.52’de verilmiştir.



Şekil 6.52. 5X75B, gerilim-gerinim grafiği

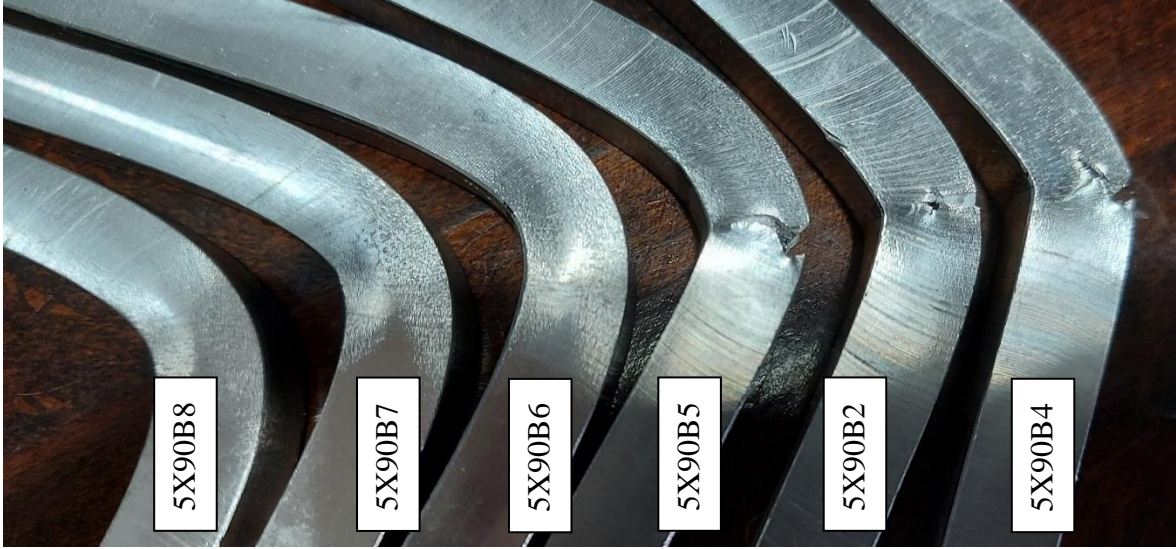
Şekil 6.52’da verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.20’de gösterilmiştir. Şekil 6.51’a göre Sadece 5X50B8 numunesi testte başarılı olmuştur, diğer numuneler kaynak ağzı geometrisine yakın bir şekilde çatlamış ya da kırılmıştır.

Tablo 6.20. 5X75B numuneleri eğme testi sonuçları

| 5X75B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 5X75B1                                 | 425,98438             | 57,08126                  | 21,95433             |
| 5X75B2                                 | 460,89444             | 55,98357                  | 21,53214             |
| 5X75B3                                 | 438,40770             | 63,56733                  | 24,44897             |
| 5X75B4                                 | 440,41498             | 60,24653                  | 23,17174             |
| 5X75B5                                 | 428,58672             | 70,50181                  | 27,11608             |
| 5X75B7                                 | 449,58751             | 68,46331                  | 26,33204             |
| 5X75B Ort.                             | 440,64595             | 62,64063                  | 24,09255             |

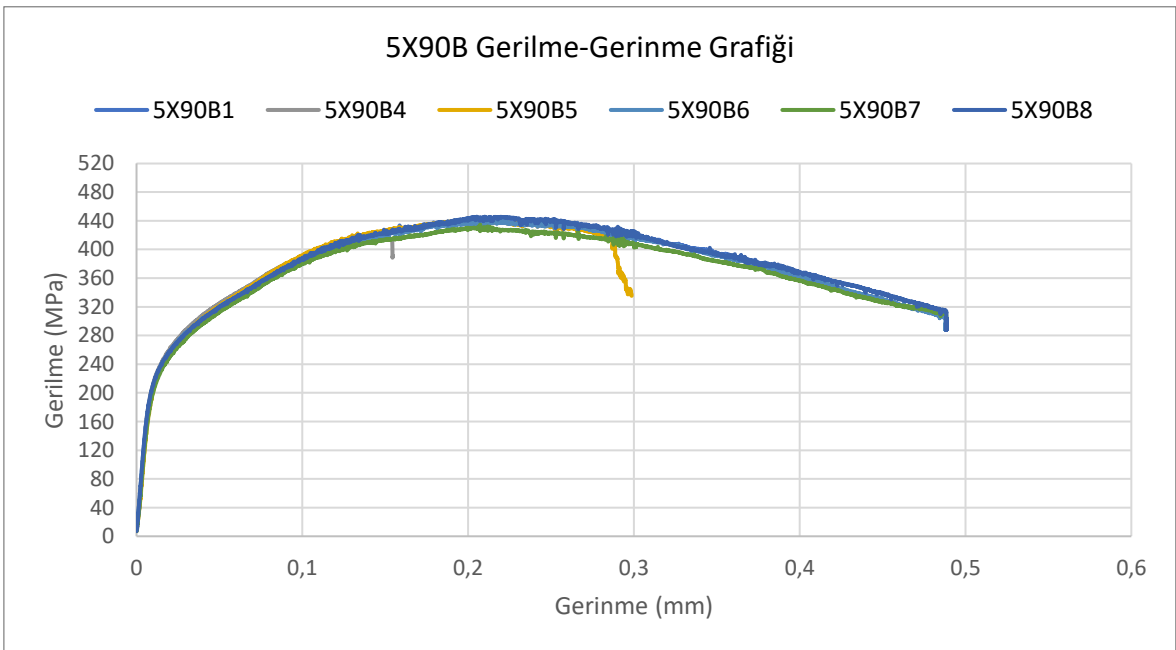
## 6.2.9.5X90B

AW 5083-H111 Malzemesine X tipinde 90 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.53'te verildiği gibidir.



Şekil 6.53. 5X90B numuneleri

5X90 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.54'de verilmiştir.



Şekil 6.54. 5X90B, gerilim-gerinim grafiği

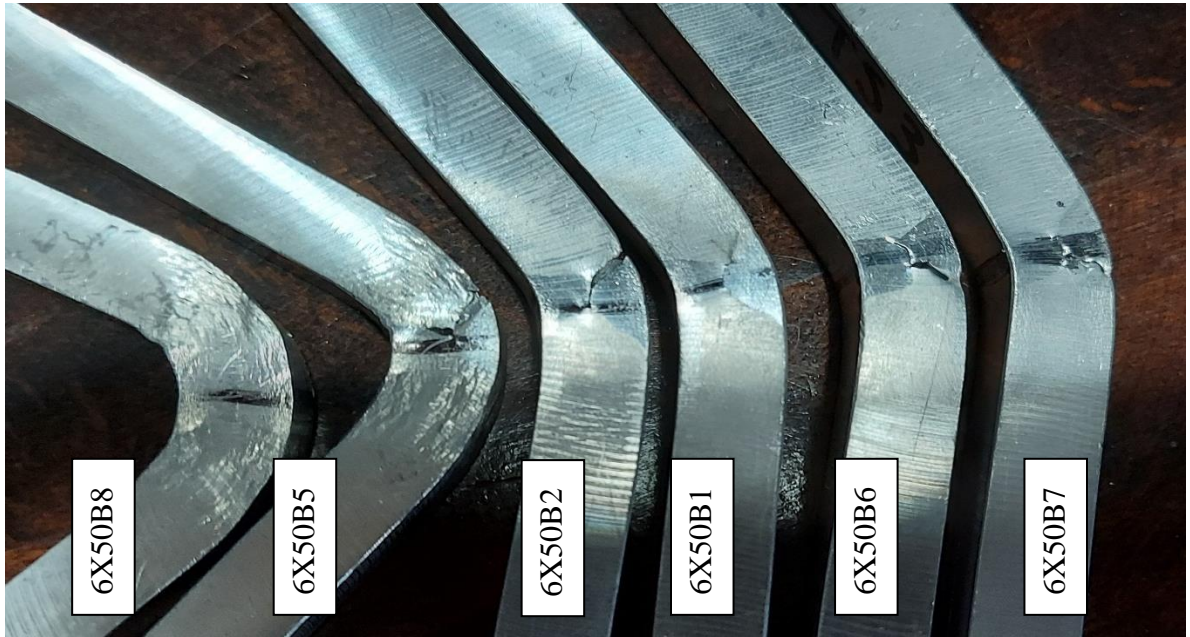
Şekil 6.54'te verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.21'da gösterilmiştir. Şekil 6.53'a göre 5X90B6, 5X90B7, 5X90B8 numuneleri testlerde başarılı olmuştur.

Tablo 6.21. 5X90B numuneleri eğme testi sonuçları

| 5X90B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 5X90B1                                 | 442,55512             | 47,12779                  | 18,12607             |
| 5X90B4                                 | 418,84215             | 63,64332                  | 24,47820             |
| 5X90B5                                 | 442,29265             | 74,50227                  | 28,65472             |
| 5X90B6                                 | 441,42025             | 70,34948                  | 27,05749             |
| 5X90B7                                 | 434,68911             | 67,36032                  | 25,90782             |
| 5X90B8                                 | 445,74866             | 73,11752                  | 28,12212             |
| 5X90B Ort.                             | 437,59132             | 66,01678                  | 25,39107             |

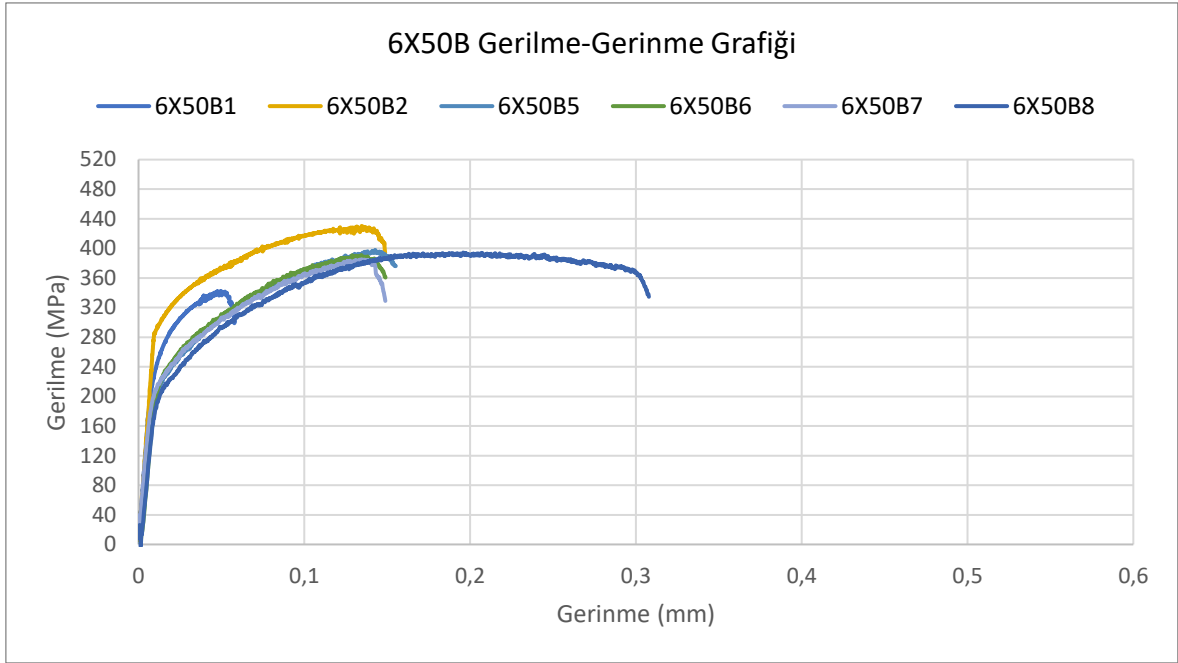
#### 6.2.10. 6X50B

AW 6061-T651 Malzemesine X tipinde 50 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.55'te verildiği gibidir.



Şekil 6.55. 6X50B numuneleri

6X50 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.56'da verilmiştir.



Şekil 6.56.6X50B, gerilim-gerinim grafiği

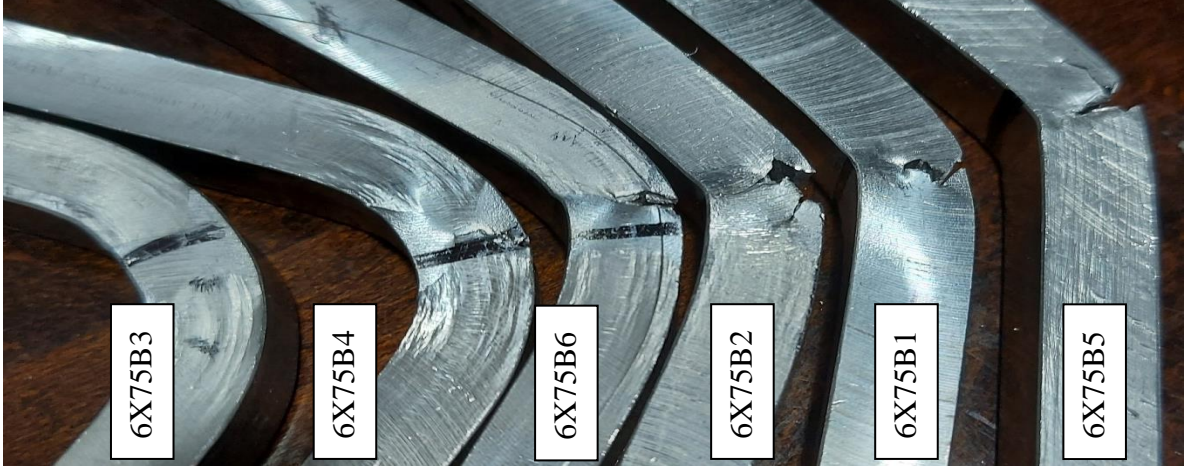
Şekil 6.56'te verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.22'da gösterilmiştir. Şekil 6.55'a sadece 6061 X50 BS8 numunesi testte başarılı olmuştur. 6X50B1, 6X50B2, 6X50B6, 6X50B7 numunelerinin kök pasodan çatladıkları gözlemlenmiştir.

Tablo 6.22. 6X50B numuneleri eğme testi sonuçları

| 6X50B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 6X50B1                                 | 342,18775             | 71,63065                  | 27,55025             |
| 6X50B2                                 | 430,31960             | 68,10219                  | 26,19315             |
| 6X50B5                                 | 397,90530             | 55,69669                  | 21,42180             |
| 6X50B6                                 | 390,96170             | 52,42838                  | 20,16476             |
| 6X50B7                                 | 384,98090             | 72,80118                  | 28,00045             |
| 6X50B8                                 | 394,28182             | 67,23074                  | 25,85798             |
| 6X50B Ort.                             | 390,10618             | 64,64830                  | 24,86473             |

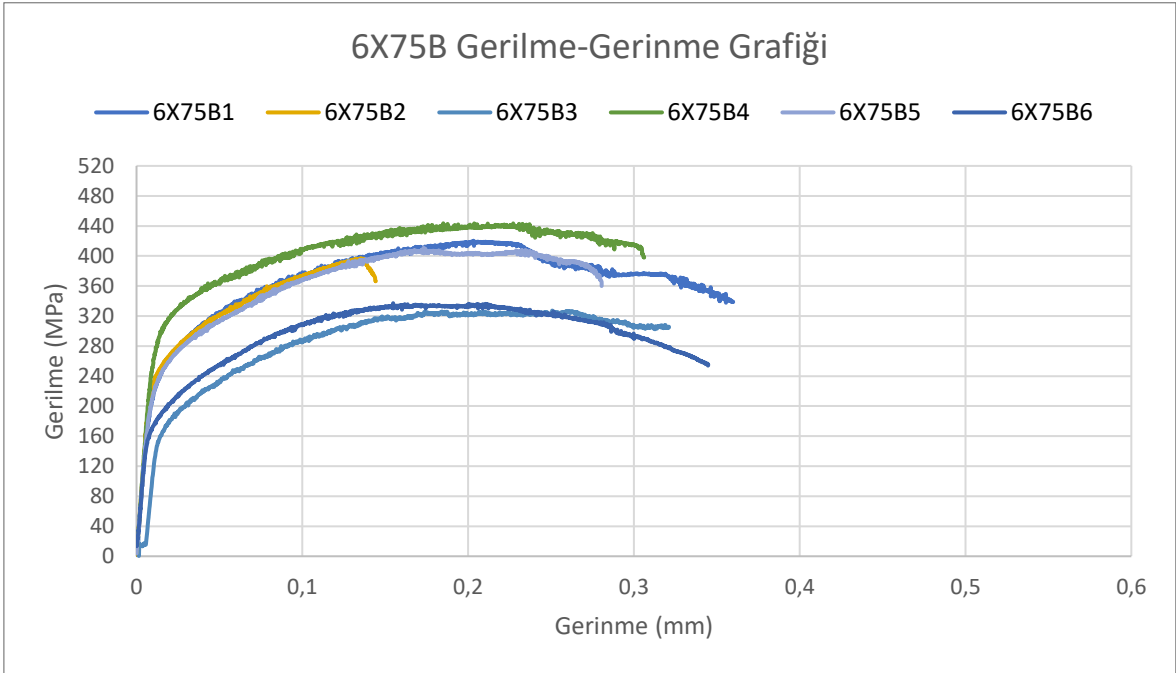
### 6.2.11. 6X75B

AW 6061-T651 Malzemesine X tipinde 75 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.57’te verildiği gibidir.



Şekil 6.57. 6X75B numuneleri

6X75 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.57’de verilmiştir.



Şekil 6.58. 6X75B, gerilim-gerinim grafiği

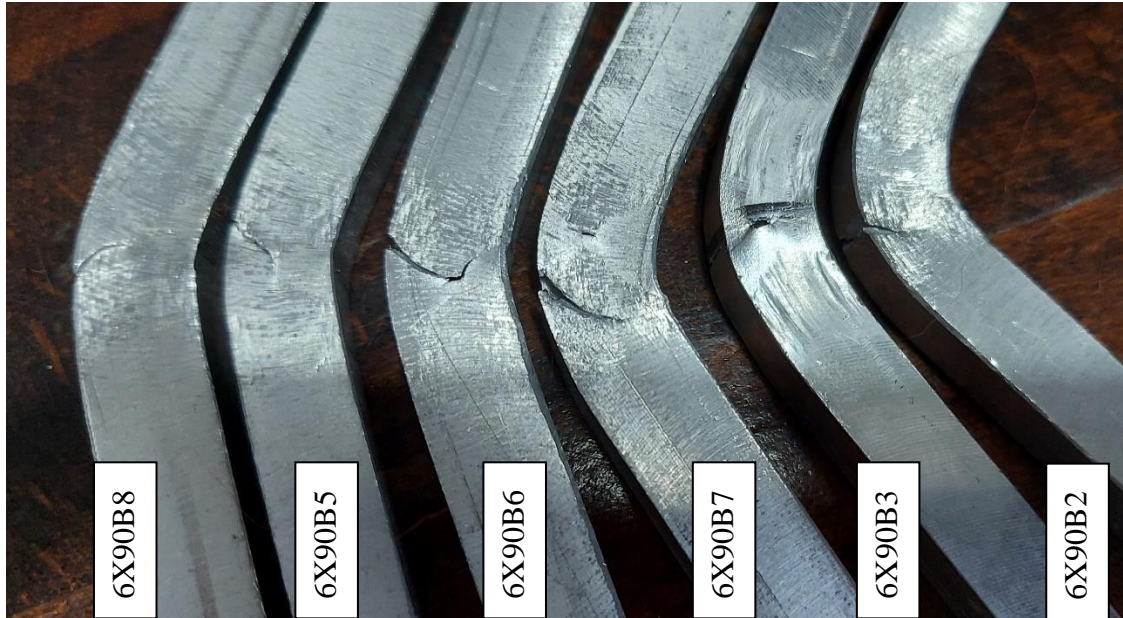
Şekil 6.56’te verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.22’da gösterilmiştir. Şekil 6.55’a sadece 6X75B3 çatlamamıştır.

Tablo 6.23. 6X75B numuneleri eğme testi sonuçları

| 6X75B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 6X75B1                                 | 420,32608             | 64,22562                  | 24,70216             |
| 6X75B2                                 | 397,03448             | 75,57499                  | 29,06731             |
| 6X75B3                                 | 327,05082             | 70,16791                  | 26,98766             |
| 6X75B4                                 | 443,50213             | 67,11013                  | 25,81159             |
| 6X75B5                                 | 410,82768             | 73,60779                  | 28,31069             |
| 6X75B6                                 | 337,08592             | 72,70889                  | 27,96496             |
| 6X75B Ort.                             | 389,30452             | 70,56589                  | 27,14073             |

### 6.2.12. 6X90B

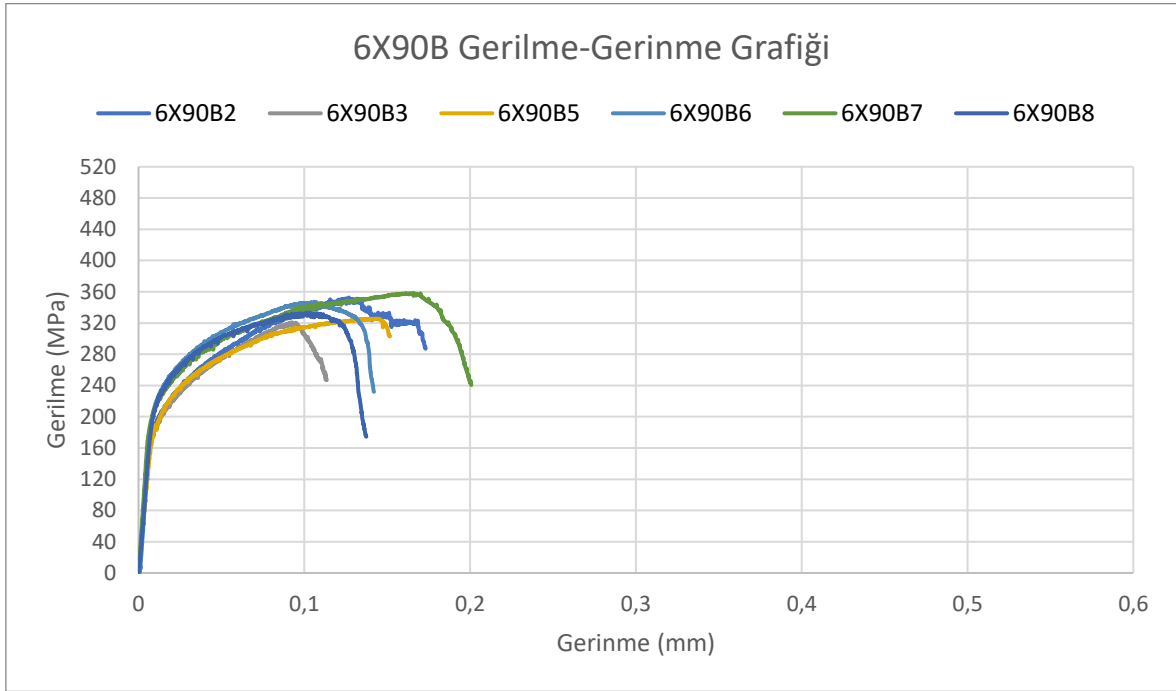
AW 6061-T651 Malzemesine X tipinde 90 derece açıda açılan kaynak ağzının eğilme performansı Şekil 6.59’da verildiği gibidir.



Şekil 6.59. 6X90B numuneleri



6X90 grubu eğme testleri sonucu elde edilen gerilim-gerinim grafiği Şekil 6.60'da verilmiştir.



Şekil 6.60. 6X90B, gerilim-gerinim grafiği

Şekil 6.56'te verilen gerinim-gerilim grafiğinin sonuçları Tablo 6.22'da gösterilmiştir. Sekil 6.55'a sadece 6XB3 çatlamamıştır.

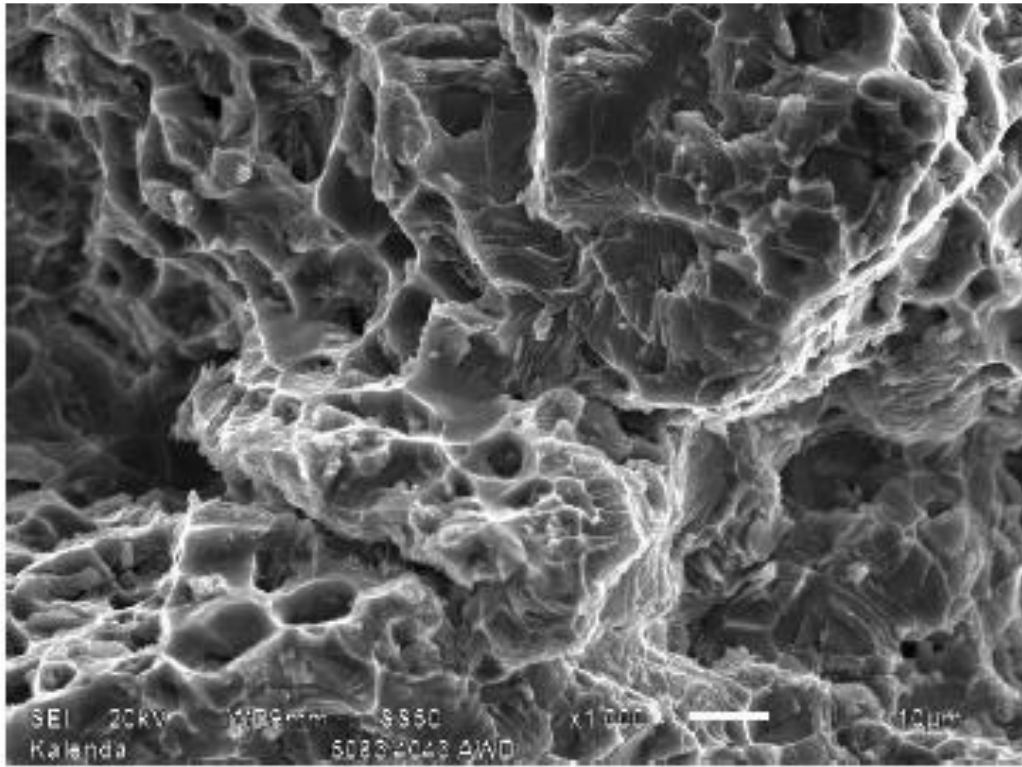
Tablo 6.24. 6X90B numuneleri eğme testi sonuçları

| 6X90B Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları |                       |                           |                      |
|--|-----------------------|---------------------------|----------------------|
| Numune Numarası                        | Eğme Dayanımı,<br>MPa | Elastiklik Modülü,<br>GPa | Kayma Modülü,<br>GPa |
| 6X90B2                                 | 352,64443             | 64,35929                  | 24,75357             |
| 6X90B3                                 | 320,99298             | 61,69491                  | 23,72881             |
| 6X90B5                                 | 325,65624             | 60,17420                  | 23,14392             |
| 6X90B6                                 | 347,18151             | 44,73389                  | 17,20534             |
| 6X90B7                                 | 357,97655             | 71,31612                  | 27,42928             |
| 6X90B8                                 | 333,30191             | 43,29790                  | 16,65304             |
| 6X90B Ort.                             | 339,62560             | 57,59605                  | 22,15233             |

### 6.3. Tartışmalar

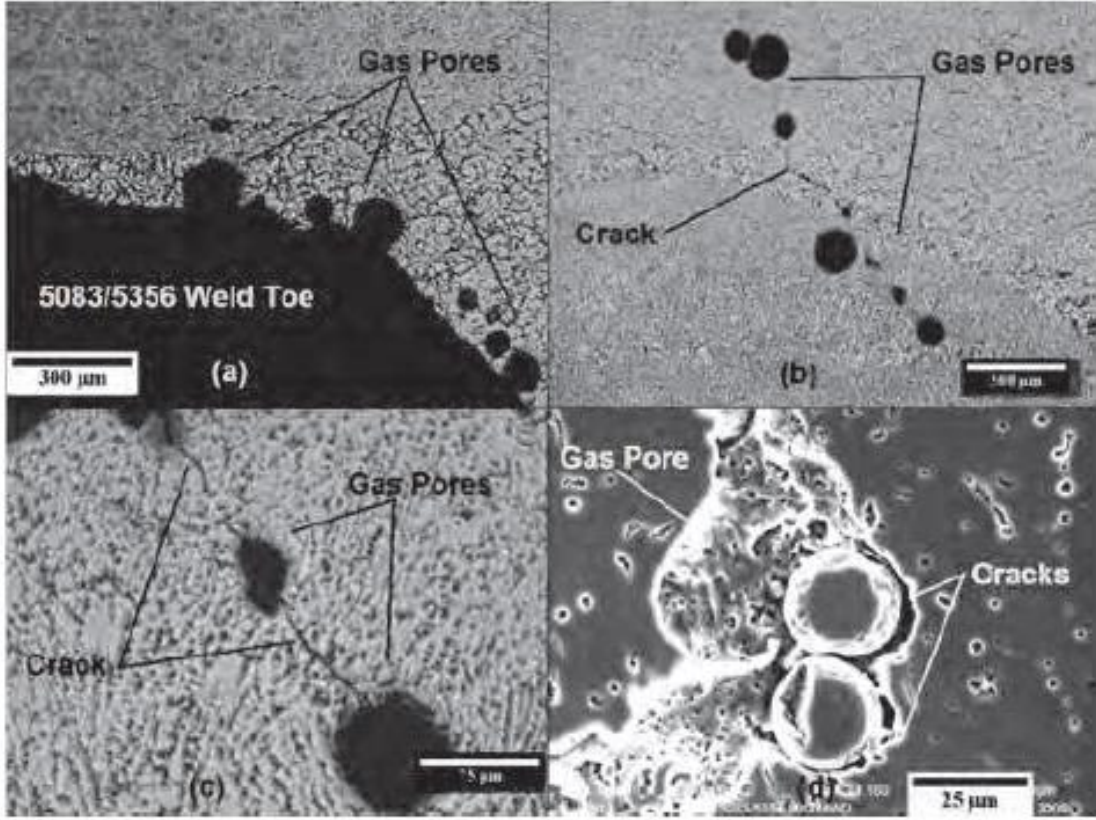
Isıl işleme sertleşme özelliği olmayan AW 5083-H111 malzemeli numunelerin geneli kaynak ağzı genişliği ve açısına bağlı olmaksızın WM bölgesinden kopmuştur.

Kalende Mutombo vd., [61] çalışmasına ait SEM görüntüsü Şekil 6.61.'da gösterildiği gibidir. MIG yöntemiyle AW 5083-H111 alaşımlarında ER5356 dolgu malzemeleri kullanılarak kaynak işlemi yapılmış, çalışma da görseller çekme testi sonucu kırılma bölgesinden çekilmiş SEM görüntüsüdür. Numune AW5083-H111 ve ER5356 kombinasyonunda sünek bir şekilde kırılmıştır.



Şekil 6.61. AW 5083 alaşımı kaynaklı numune kırılma yüzeyi SEM görüntüsü (Mutombo, [61])

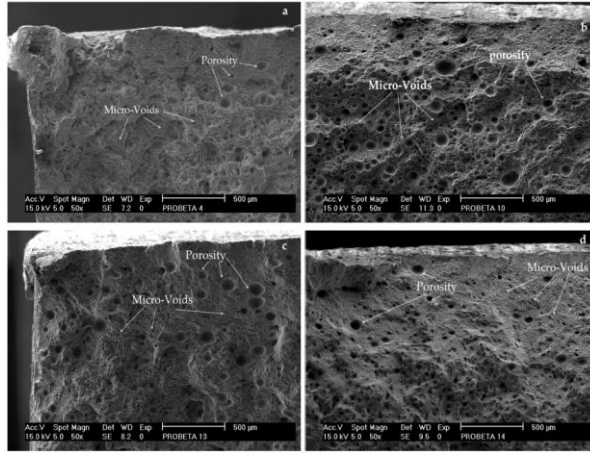
Kalende Mutombo vd., [62] çalışmasında AW5083-H111 malzemesi ER5356 dolgusuyla kaynatılarak çekme testine tabi tutulmuş ve mikro yapıları incelenmiş, yapılan mikro tapı incelemesinde ise gözenekler ve mikro çatlaklara rastlanmıştır. Mikro çatlaklar gözenekler arasında köprü görevi yaparak malzemelerin çatlamasında rol oynamaktadır.



Şekil 6.62. AW 5083 ve ER5356 malzemeleri kullanılan kaynakta mikro kusurlar (Mutambo, [62])

Tablo 6.25’de ki ısıl işleme sertleşme özelliği olan ve yaşlandırılmış koşulda bulunan AW 6061-T651 malzemeli numunelerde ise kaynak ağzı açısı ve geometrisine direk olarak bağlı olarak numune dayanım değerleri değişkenlik göstermektedir. Isidro Guzmán vd. [63] çalışmasında AW 6061-T6 alaşımlarının ER5356 ile yapılan kaynaklarında büyük ölçüde PMZ bölgesinden kırılmalar gerçekleşmiştir, çalışmada sunulan PMZ bölgesinden gerçekleşmiş kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri Şekil 6.63.’teki gibidir. Şekil 6.63.’tek gösterilen c ve d ER5356 dolgu malzemesi kullanılan numunelere aittir. a ve b ise ER4043 kullanılan numunelere aittir.

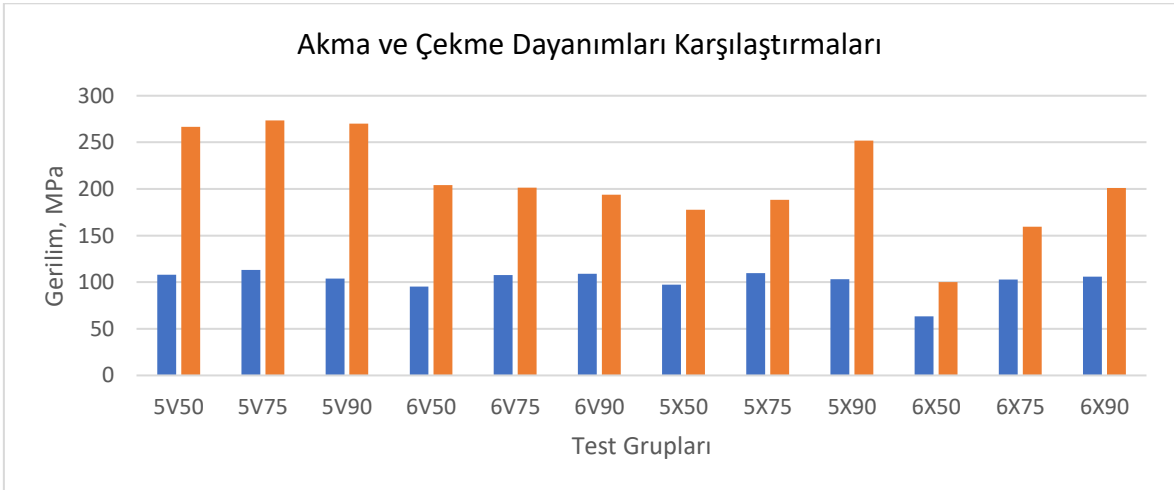
Şekil 6.64’de açıkça gözükmemektedir ki malzemeye ısı girdisi ne kadar az yapılırsa malzeme performansı o kadar artmaktadır. AW 6061-T651 alaşımlarının kırılmaları büyük ölçüde PMZ bölgesinden gerçekleşmiştir, ancak ısı girdisinin fazla arttığı durumlarda HAZ bölgesinden kırılmalar gerçekleşmiştir.



Şekil 6.63. AW 6061 alaşımı kaynaklı numune kırılma yüzeyi SEM görüntüsü (Guzmán, [63])

Tablo 6.25. Test grubu bazında çekme testi sonuçları

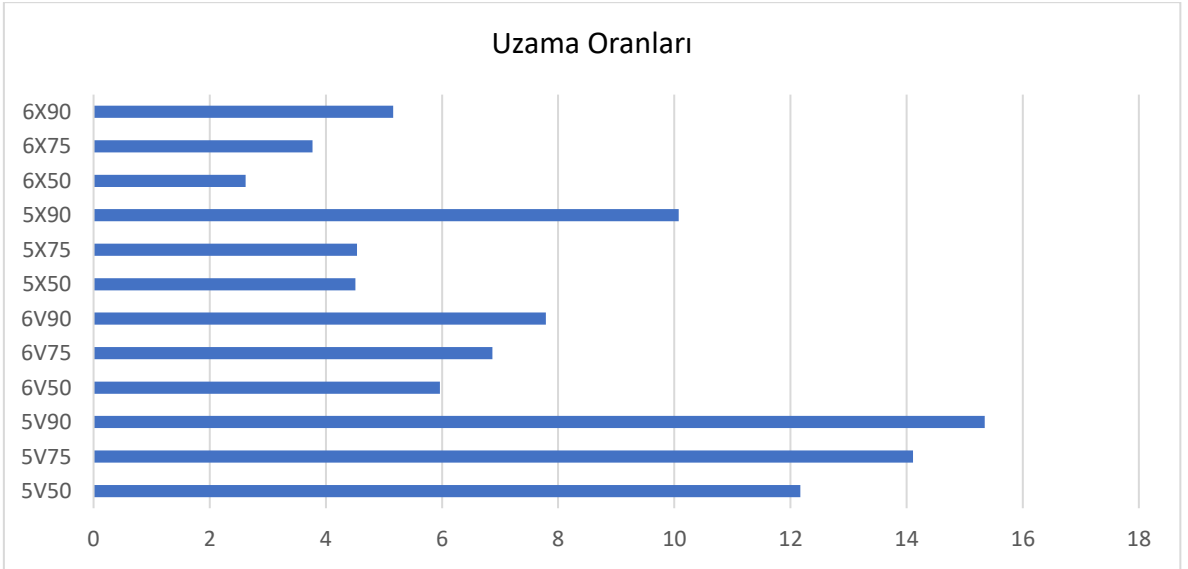
| <b>Test Grubu Bazında Çekme Testi Sonuçları</b> |                      |                       |                  |
|---|----------------------|-----------------------|------------------|
|   | Akma Dayanımı<br>MPa | Çekme Dayanımı<br>MPa | Uzama Oranı<br>% |
| 5V50  | 107,88000            | 266,60788             | 12,16915         |
| 5V75  | 113,21347            | 273,50450             | 14,10979         |
| 5V90  | 103,98533            | 269,96705             | 15,34564         |
| 6V50  | 95,33589             | 204,32026             | 5,96526          |
| 6V75  | 107,73975            | 201,26930             | 6,86747          |
| 6V90  | 109,03782            | 193,79733             | 7,78946          |
| 5X50  | 97,33099             | 177,63943             | 4,50620          |
| 5X75  | 109,71362            | 188,38811             | 4,53481          |
| 5X90  | 103,20287            | 251,89568             | 10,07748         |
| 6X50  | 63,54238             | 100,28156             | 2,61837          |
| 6X75  | 102,94997            | 159,58949             | 3,76975          |
| 6X90  | 105,78064            | 200,98967             | 5,15736          |
| Standart Sapma                                  | 13,02635             | 51,39013              | 4,22986          |



Şekil 6.64. Test gruplarının çekme dayanımları

Şekil 6.64’de belirtildiği gibi X tipi kaynak ağzı açılan numuneler için 50 ve 75 derece açılarda ki dayanım değerleri nispeten düşükken, X90 tipi numuneler için kaynak dayanımları normal seviyelerdedir. Şekil 6.49’da 5X50 numunesinde net bir şekilde kaynaklarda nüfuziyet problemleri olabildiği gözükmemektedir.

En yüksek çekme dayanımları V75 kaynak ağzı hazırlığında elde edilmiş. X tipi kaynak ağzı geometrisinden dolayı kaynak ağzı 50 ve 75 derece olan numunelerde malzeme kalınlığı fazla arttığı için, soğuma hızı da artmış ve ana malzemenin ergitilmesinde problemler yaşanmıştır. Şekil 6.21 5X50T8 ve Şekil 6.51 5X75B3 numunelerinde nüfuziyet problemleri açık bir şekilde görülebilmektedir. Şekil 6.65.’da kaynak ağzı açısı ve yüzde uzama arasındaki ilişki gözükmemektedir.

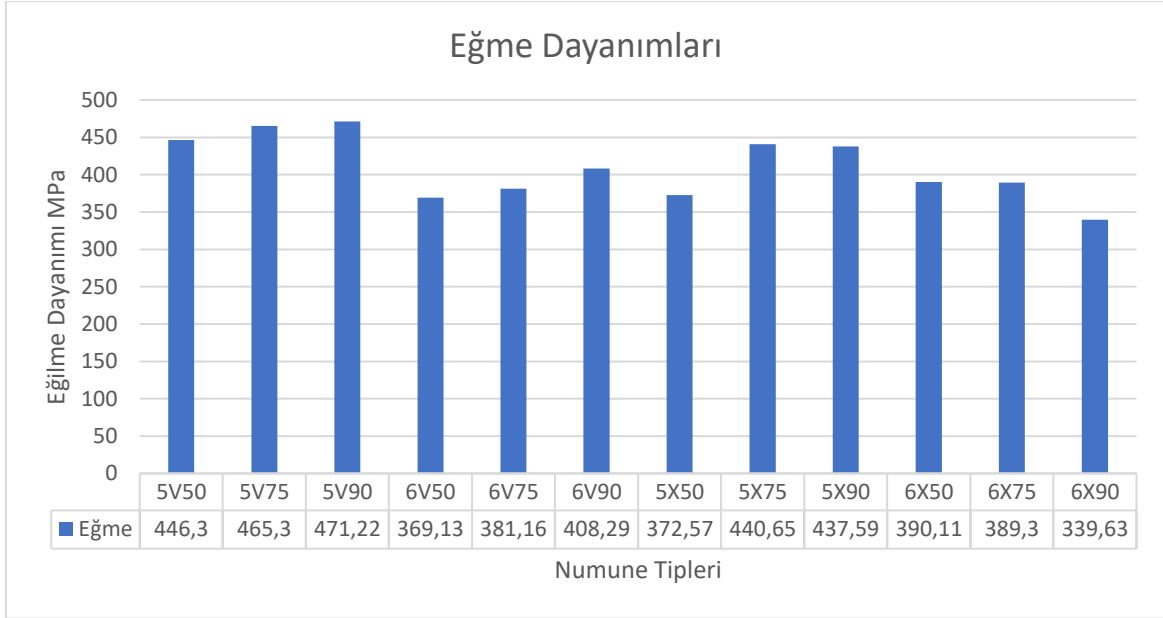


Şekil 6.65. Test gruplarının uzama oranları

Kullanılan dolgu malzemesi olan ER5356’nın uzama miktarı AW 5083-111 ve AW 6061-T651 malzemelerinden daha fazladır. Çekme testlerine göre kaynak metali oranının daha yüksek olduğu kaynak ağzı hazırlıklarında uzama oranları da daha fazla olmuştur.

Üç noktadan eğme testinde çekme testindeki kadar dayanım farkları ortaya çıkmamıştır. Test sonuçları Tablo 6.26’da verilmiştir. AW 5083-H111 malzemeli numuneler için üç noktadan eğme ve çekme testleri paralellik gösterirken, Şekil 6.66’da görüldüğü gibi

AW 6061-T651 malzemeli numuneler için sonuçlar tam tersi şekildedir. AW 6061-T651 numunelerinde ısı girdisi arttıkça malzemenin sünekliliğinin artması ve dayanımın azalması malzemenin çatlamadan daha fazla eğilmesine sebep olmuş olabilir. Üç noktadan eğme koşulunda tüm deney grupları için ortalama değerler Tablo 6.26.'da ki gibidir.

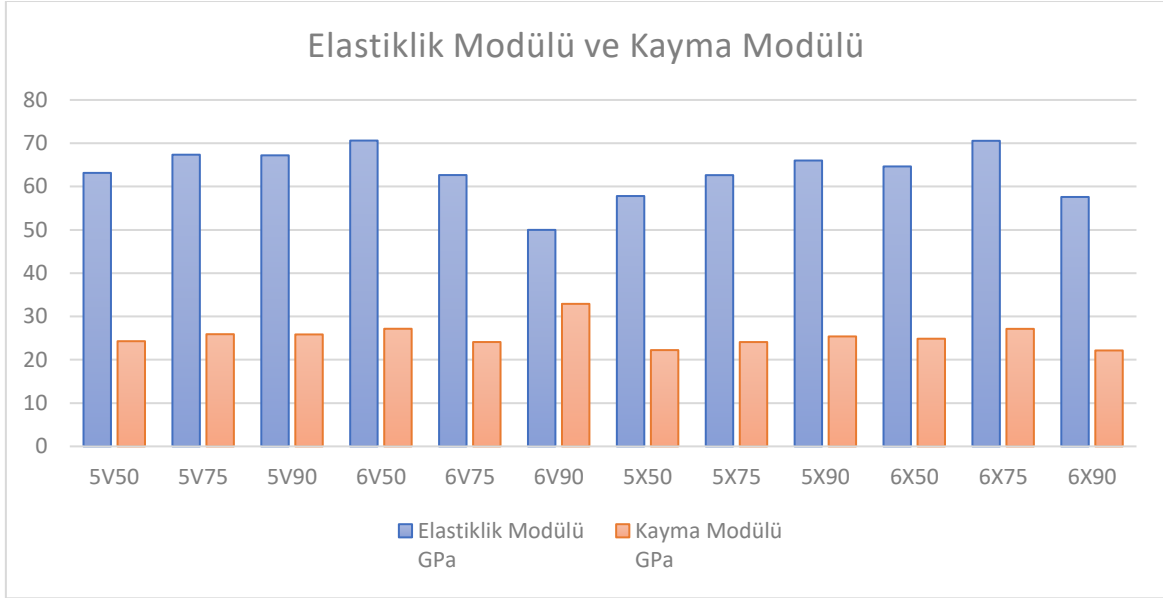


Şekil 6.66. Test gruplarının üç noktadan eğme dayanımları

Tablo 6.26. Test grubu bazında üç noktadan eğme testi sonuçları

| <b>Test Grubu Bazında Üç Noktadan Eğme Testi Sonuçları</b> |                           |                          |                     |
|--|---------------------------|--------------------------|---------------------|
|  | Eğilme Dayanımları<br>MPa | Elastiklik Modülü<br>GPa | Kayma Modülü<br>GPa |
| 5083 V50   | 446,30444                 | 63,15919                 | 24,29200            |
| 5083 V75   | 465,29520                 | 67,35904                 | 25,90732            |
| 5083 V90   | 471,21853                 | 67,21287                 | 25,85110            |
| 6061 V50   | 369,12580                 | 70,62257                 | 27,16253            |
| 6061 V75   | 381,15877                 | 62,65523                 | 24,09817            |
| 6061 V90   | 408,29009                 | 49,99603                 | 32,91295            |
| 5083 X50   | 372,56788                 | 57,81407                 | 22,23618            |
| 5083 X75   | 440,64595                 | 62,64063                 | 24,09255            |
| 5083 X90   | 437,59132                 | 66,01678                 | 25,39107            |
| 6061 X50   | 390,10618                 | 64,64830                 | 24,86473            |
| 6061 X75   | 389,30452                 | 70,56589                 | 27,14073            |
| 6061 X90   | 339,62560                 | 57,59605                 | 22,15233            |
| Standart Sapma   | 42,10437                  | 5,93798                  | 2,83447             |

Deney numunelerine ait elastiklik modülü ve kayma modülü değerleri Şekil 6.67’te gösterilmiştir. Buna göre kaynak ağızı açısı arttıkça AW 6061-T651 malzemesinin elastiklik modülü belirgin ölçüde düşmüştür. AW 5083-H111 malzemesinde ise sadece X50 tipinde belirgin bir düşüşe rastlanmıştır.



Şekil 6.67. Test gruplarının elastiklik ve kayma modülleri

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 7.1.Sonuçlar

- AW 5083-H111 malzemelerde en iyi çekme dayanımını V75 kaynak ağızlı olan numuneler vermiştir. Ancak V90 tipi kaynak ağızıyla karşılaştırıldığında ciddi bir dayanım farkı bulunmamaktadır. Ayrıca V90 tipi kaynak ağızıyla hazırlanan numunelerin uzama değerleri daha fazladır. Uygulama kolaylığı da düşünüldüğü zaman AW 5083-H111 malzemesinde V90 kaynak ağızı hazırlığı en iyi performansı vermiştir.
- AW 6061-T651 malzemelerde en iyi çekme dayanımını V50 kaynak ağızlı numuneler vermiştir. AW 6061-T651 malzemelerde ısı girdisinin azaldıkça dayanım artmıştır. Li L. vd., [6] AW 7075-T6 alaşımı üzerinde yaptığı çalışmada da benzer şekilde kaynak ağızı açısı daraldıkça kaynak dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Kelsey R. A., vd., [9] AW7039-T63 alaşımıyla yapılan deneylerde de 45 derece açılı numunenin 60 derece açımı numuneye göre daha az ısı girdisine sahip olması ve daha fazla çekme yüküne dayanabilmesi gözlemlenmiştir.
- Süneklilik değerleri ana metalden nispeten fazla olan ER5356 dolgu malzemesi miktarı kaynak ağızı geometrisine göre arttıkça süneklilik değerleri de artmıştır. Çekme koşulunda en iyi süneklilik değeri V90 tipi kaynak ağızlarında görülmüştür.
- AW6061-T651 malzemelerde çekme numunelerinde kırılmalar genelde HAZ bölgesinden olmuştur. Bu bölgelerde malzemenin ısıl işleme yükseltilecek mukavemet özelliklerinin ortadan kalktığı ve “-O” durumunda ki dayanımına yaklaştığı gözlemlenmiştir.
- X tipi kaynak ağızı kullanılan numuneler çekme koşulunda V tipine göre daha az dayanım sergilemiştir. İpek N. E. vd. [5] çalışmasında görüldüğü gibi V tipi kaynak ağızı geometrisi çekme ve eğme testlerinde daha iyi sonuçlar vermiştir.
- X tipi kaynak ağızı hazırlığı yapıldığı durumda 90 dereceden daha düşük açılara sahip numunelerde nüfuziyet problemleri yaşanmış ve uygun dayanım



değerleri elde edilememiştir. X tipi kaynak ağzı için 50 ve 75 derece değerleri uygun bulunmamıştır.

## 7.2.Öneriler

- AW 6061-T651 malzeme için ER4043 dolgu kullanılarak kaynak sonrası ısıtılma işlemle mekanik özellikleri iyileştirilebilir.
- WM ve HAZ bölgelerinde mikro yapı incelemesi yapılabilir. Sertlik değerleri ölçülebilir.
- Aynı parametreler kullanılarak basma testide yapılarak kaynak ağzı geometrileri karşılaştırılabilir.
- Benzer şekilde kaynak ağzı geometrileri karşılaştırılarak malzemelerin çarpılma oranları ölçülebilir.
- Farklı kaynak yöntemleri ve dolgu malzemeleriyle benzer bir çalışma yapılabilir.
- Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak deney sonuçları için model geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

- [1] Sedat KARA, Mehmet H. KORKUT, “Zırhlı Muharebe Araçlarında Kullanılan Zırh Plakalarında Kaynak Sonrası Isıl İşlemin Birleşim Mukavemetine Etkisi”, *The Journal of Defense Sciences*, vol. 11, no. 2, pp.159-171, 2012
- [2] A.I. Beljajew, L. A. Firsanowa and M.B. Rapoport, “Alüminyumun Özellikleri”, *Alüminyum Metalurjisi*. Makina Mühendisleri Odası Yayını, 1975, pp.10
- [3] European Aluminium Association, “Aluminium in Commercial Vehicles”, *AISBL*, no.2, pp.16, 2011
- [4] Jane’s by IHS Markit, “Advances in Armour Materials”, *International Defence Review*, pp.1-8, 1991
- [5] Nazli Ezgi İpek, Faruk Elaldi, “Analysis of Welding Groove Angle and Geometry on Strength of Armor Steel”, *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 27, no. 12, pp.1437-1441, 2012, DOI: 10.1080/10426914.2012.709343
- [6] Leijun Li, Kevin Orme, and Wenbin Yu, “Effect Of Joint Design On Mechanical Properties Of Al7075 Weldment”, *JMEPEG, Journal of Materials Engineering and Performance*, vol. 14, pp.322-326, 2005, DOI: 10.1361/10599490523940
- [7] Sanap Deepali, Dhamejani C.L, Burkul R.M, “Influence of Welding Speed And Groove Angle on Strength of V-Groove Butt Weld Joint Using Tig Welding”, *IJESRT, International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, vol. 5, no. 4, pp.332-344, 2016, DOI: 10.5281/zenodo.49697
- [8] Fatih Kölük, Behçet Gülenç, “Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Yönteminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, *Teknoloji Dergisi*, vol. 7, no. 4, pp. 693-700, 2004
- [9] R. A. Kelsey, “Effect of Heat Input on Welds in Aluminum Alloy 7039”, *Welding Research Supplement*, pp. 507-514, 1971
- [10] C.M.Cheng, C.P.Chouy, I.K.Lee and H.Y.Lin, “Distortion Analysis of Single V-groove Butt Welding on Heat Treatable Aluminum Alloys”, *J. Mater. Sci. Technol.*, vol. 21, no.5, pp. 738-742, 2005

- [11] Cemil Çetinkaya, Süleyman Tekeli ve Osman Kurtuluş, “The Weldability of Aluminium Alloys and The Effect of Welding Parameters on Mechanical Properties and Micro Structure”, *Journal of Polytechnic*, vol. 5 no. 4, pp. 321-333, 2002
- [12] Bekir ÇEVİK, “Analysis of Welding Groove Configurations on Strength Of S275 Structural Steel Welded by FCAW”, *Journal of Polytechnic*, vol. 21, no. 2, pp. 489-495, 2018, DOI: 10.2339/politeknik.389642
- [13] Hiroshi Matsumura, Tadao Nakagomi and Shigeto Takada, “A Study on The Welding Procedure of The First Layer of The Narrow Groove Welding For Steel Frames of Building by Welding Robots”, *Welding International*, vol. 28 no. 4, pp. 264-272, 2014, DOI: 10.1080/09507116.2012.715885
- [14] I. Sattari-Far, M.R. Farahani, “Effect of The Weld Groove Shape and Pass Number On Residual Stresses in Butt-Welded Pipes”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* vol. 86, no. 11, pp.723-731, 2009, DOI: 10.1016/j.ijpvp.2009.07.007
- [15] Mr Raghu, E. Srinath Reddy, B. Chennakeshavulu, Aman Kumar Singh and G. Abdul Kadir, “Groove Design and Its Influence On Strength Of SMAW Joint”, *IJISRT, International Journal of Innovative Science and Research Technology* vol. 4, no. 11, pp. 333-337, 2019,
- [16] Herman Pratikno, Andrea Novia Samiyono and Wimala Lalitya Dhanistha, “Analyzing The Effect of Variation in Shielding Gas Flow Rate and V Groove Type Towards Tensile and Metallographic Testing af GMAW Weld Joint of Astm A53 and A36”, *IJOCE, International Journal of Offshore and Coastal Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 35-41, 2020, DOI: 10.12962/j2580-0914.v4i1.8706
- [17] A. K. Lakshminarayanan, V. Balasubramanian and K. Elangovan, “Effect of Welding Processes on Tensile Properties of AA6061 Aluminium Alloy Joints”, *Int J Adv Manuf Technol*, vol. 40, no. 3, pp. 286-296, 2009, DOI: 10.1007/s00170-007-1325-0
- [18] Varun Sharma and A. S. Shahi, “Effect of Groove Design on Mechanical and Metallurgical Properties of Quenched and Tempered Low Alloy Abrasion Resistant Steel Welded Joints”, *Materials And Design*, vol. 53, pp. 727-736, 2014, DOI: 10.1016/j.matdes.2013.07.043

- [19] Deepak Pathak, Rudra Pratap Singh, Sanjeev Gaur and Vincent Balu, “Influence of Groove Angle on Hardness And Reinforcement Height of Shielded Metal Arc Welded Joints for Low Carbon AISI 1016 Steel Plates”, *Materials Today: Proceedings*, vol. 38 pp. 40–43, 2021, DOI: 10.1016/j.matpr.2020.05.597
- [20] Tejpal Singh, Arvinder Singh, and Sumit Saini, “Effect of Groove Design on the Mechanical Properties of Shielded Metal Arc Welded Joints”, *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 12, no. 2, 2019, DOI: 10.17485/ijst/2019/v12i2/139920
- [21] Yanhong Ye, Jianpeng Cai, Xiaohua Jiang, Deping Dai and Dean Deng, “Influence of Groove Type on Welding-Induced Residual Stress, Deformation and Width of Sensitization Region in a SUS304 Steel Butt Welded Joint”, *Advances in Engineering Software*, vol. 86, pp. 39-48, 2015, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2015.04.001
- [22] Mehmet Erdem ve Mehmet Türker, “7039 Alüminyum Alaşımının Kaynak Öncesi ve Sonrası Mekanik ve Balistik Özelliklerinin Araştırılması”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, vol. 26, no 1, pp. 17-26, 2011
- [23] R.R.Balasubramanian, P.Vijayasarithi, S.Kannan and .T.Venkatamuni, “Experimental Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of TIG Welded Aluminium Alloys”, *Journal of Advance Research in Mechanical and Civil Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 1-9, 2015
- [24] K. Vasu, H. Chelladurai, Addanki Ramaswamy, S. Malarvizhi and V. Balasubramanian, “Effect of Fusion Welding Processes on Tensile Properties of Armor Grade, High Thickness, Non-Heat Treatable Aluminium Alloy Joints”, *Defence Technology* vol. 15, pp. 353-362, pp.2019, DOI: 10.1016/j.dt.2018.11.004
- [25] S. Arunkumar, P. Rangarajan, K. Devakumaran and P. Sathiya, “Comparative Study on Transverse Shrinkage, Mechanical And Metallurgical Properties of AA2219 Aluminium Weld Joints Prepared By Gas Tungsten Arc And Gas Metal Arc Welding Processes”, *Defence Technology* vol. 11, no. 3, pp. 262-268, 2015, DOI: 10.1016/j.dt.2015.05.008
- [26] N. Vimal Kumar, M. Uthayakumar, S. Thirumalai Kumaran and A. Velayudham, “The Effect of Weld-Groove Surface Modification on The Joint Performance of Military Grade Armour Steel: a Sustainability Approach”, *Materials Chemistry and Physics*, vol. 281, pp. 1-14, DOI: 10.1016/j.matchemphys.2022.125902

- [27] Alexey Sverdlin, “Introduction to Aluminum”, in *Handbook of Aluminium*, George E. Totten, D. Scott MacKenzie, Ed., NY, US: Marcel Dekker, 2003, pp. 7
- [28] ASM International, “Aluminum and Aluminum Alloys”, pp. 1-5 2015
- [29] ASM International, “Aluminum and Aluminum Alloys” in *Alloying: Understanding the Basics*, J.R. Davis Ed., Materials Park, Ohio, US: ASM International 2001, pp.351-416, DOI:10.1361/autb2001p351
- [30] Noor Hussein, “Introduction to Materials Science and Engineering Materials” in *Materials Science And Engineering*, International Energy and Environment Foundation. 2017, pp.7
- [31] Emel Taban ve Erdiñ Kaluç, “EN AW-5083- H321 Alüminyum Alaşımının MIG, TIG ve Sürtünen Eleman ile Birleştirme (FSW) Kaynaklı Bağlantılarının Mekanik ve Mikroyapısal Özellikleri”, *Mühendis ve Makina*, vol. 46, no. 541 pp. 40-51, 2005
- [32] National Research Council, “Metals as Lightweight Protection Materials” in *Opportunities in Protection Materials Science and Technology for Future Army Applications*, Robert M. McMeeking, Ed., Washington, DC, US: The National Academies Press, 2011, pp.142
- [33] William D. Callister, JR. and David G. Rethwisch, “Chapter 1 Introduction“ *Material Science and Engineering*, 9th Edition, , Daniel Sayre Ed., US: Wiley, 2013, pp.7
- [34] Tolga Şişmanoğlu, “Anodik Oksidasyon Yöntemiyle 2024, 6082 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımının Yüzey Özelliklerinin Geliştirilmesi” M.S. thesis, Dept. Metallurgy and Materials Engineering, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Turkey, 2009
- [35] Erdoğan Tekin, “Alüminyum ve Alaşımaları ile Yapıları”, *Demirdışı Metaller ve Alaşımalarının Uygulamalı Optik Metalografisi*, 2nd Ed., SEGEM, 1984, pp.135
- [36] Tanya Aycan Başer, “Alüminyum Alaşımaları ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı”, *Mühendis ve Makina*, vol. 53, no. 635, pp. 51-58, 2012
- [37] GAO, “Military Transformation Army’s Evaluation of Stryker and M-113A3 Infantry Carrier Vehicles Provided Sufficient Data for Statutorily Mandated Comparison”, GAO, Washington, D.C., US, Rep. no. GAO-03-671, May 2003, [Online]. Available: [gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO-03-671](http://gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO-03-671).

- [38] Sam E. Middlebrooks, An Annotated Bibliography of MANPRINT Related Assessments and Evaluations Conducted by the U.S. Army From 1953–2008, Army Research Laboratory, Alexandria, Virginia, US, Rep. no. ARL-TR-4766, May 2009, pp.339 [Online]. Available: arlinside.arl.army.mil/.
- [39] US Army, “Military Notes”, *Military Review*, vol. 42 no.4, Kenneth E. Lay Ed., Kansas, US: U. S. Army Command and General Staff College, 1962, pp.101
- [40] R. P. Meister and D. C. Martin, “Welding of Aluminum and Aluminum Alloys”, Defense Metals Information Center, Columbus, Ohio, US, Rep. no. DMIC Report 236, April 1, 1967, pp.55
- [41] J. Gilbert Kaufman, “Understanding Wrought and Cast Aluminum Alloys Designations” in *Introduction to Aluminum Alloys and Tempers*, Materials Park, Ohio, US, 2000, pp.26
- [42] N. Alperöz, “Alüminyum İletkenli Havai ve Yeraltı Kablolarının Teknik ve Ekonomik Bakımdan İncelenmesi”, *Elektrik Mühendisliği* vol. 334 no. 335 pp.151-153
- [43] Selâhaddin Anık, “Kaynağın tarifi, Önemi ve Sınıflandırılması”, *Kaynak Tekniği El Kitabı*, GEV, 1991, pp.14
- [44] S. V. Gupte, 2015, Inspection and Welding Repairs of Pressure Vessels Available: [aircraftplasma.blogspot.com/2015/11/inspection-and-welding-repairs-of.html](http://aircraftplasma.blogspot.com/2015/11/inspection-and-welding-repairs-of.html)
- [45] Kaynak-Metalik Malzemelerin Kaynağı İçin Tavsiyeler-Bölüm 1: Ark Aaynağı İçin Genel Kılavuz, TS EN 1011-1, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Ocak 2003
- [46] Kaynak ve Kaynakla İlgili İşlemler - İşlemlerin Adlandırılması ve Referans Numaralar, TS 7307 EN ISO 4063, TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ, Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA, Mart 2006
- [47] Abdul Wahab Hassan Khuder and Essam Jabar Ebrahim, “Study the Microstructure of Welding Joint of Dis-Similar Metals”, *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 2095–2108, 2019
- [48] Hatice Nalan Aksoy, “Alışılmış ve Inverter Tipi MIG/MAG Kaynak Makinaları ile Yapılan Kaynak Dikişlerinin Çeşitli Yönleri ile Karşılaştırılması” M.S. thesis, Dept. Makina Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Turkey, 2010

- [49] Kutsal Tülbentçi, “MIG/MAG Kaynak Donanımı”, *MIG-MAG Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı*, GEV, 1990, pp.14
- [50] Adem Kurt, (2012). MET218: Kaynaklı Birleştirme Teknikleri [Online]. Available: [docplayer.biz.tr/54516882-Kaynakli-birlestirme-teknikleri.html](http://docplayer.biz.tr/54516882-Kaynakli-birlestirme-teknikleri.html)
- [51] Miller Electric Mfg. LLC, “What Are Stickout, Electrode Extensionand Contact-Tip-To-Work Distance?”, 2019, [Online]. Available: [millerwelds.com/resources/article-library/what-are-stickout-electrode-extension-and-contact-tip-to-work-distance](http://millerwelds.com/resources/article-library/what-are-stickout-electrode-extension-and-contact-tip-to-work-distance)
- [52] Fandem QA, “Failure of Mechanical Equipment Due to Welding Imperfections”, *Journal of Physica Mathematics*, vol.8, no. 2, pp.1-6, 2017, DOI: 10.4172/2090-0902.1000221
- [53] Selhaddin Anık, Murat Vural, “Bölüm Gazaltı Tungsten Ark Kaynağı” in *Gazaltı Ark Kaynağı*, GEV, pp.53,
- [54] Malinga Maushadha Basnayaka, “New Semi Automatic GTAW Method Developed on the Basis of Experiments on the Geometric Reconstruction of Deteriorating High Pressure Compressor Blades”, M.S. thesis Industrial and Manufacturing Engineering, Thailand, 2017
- [55] R. Sarrafi and R. Kovacevic, “Cathodic Cleaning of Oxides from Aluminum Surface by Variable-Polarity Arc”, *Supplement to The Welding Journal*, vol. 89, pp. 1-10, 201
- [56] Rishi Kumar, Ramesh N Mevada, Santosh Rathore, Nitin Agarwal, Vinod Rakput and AjayPal Sinh Barad, “Experimental Investigation and Optimization of TIG Welding Parameters on Aluminum 6061 Alloy Using Firefly Algorithm”, *Materials Science and Engineering*, vol. 225, 2017, DOI: 10.1088/1757-899X/225/1/012153
- [57] TC. Milli Eğitim Bakanlığı, (2011), 521MMI207 Tahribatlı Muayene
- [58] George E. Dieter, “The Tension Test” in *Mechanical Metalurgy*, Robert F. Mehl Ed., NY., US, cgraw-Hill Book Company, 1961, pp.237
- [59] Conrad Paulson, Jeffery M. Rautenberg, Scott K. Graham and David Drawin “Defining Yield Strength for Nonprestressed Reinforcing Steel”, *Aci Structural Journal*, pp.169-178, 2016, DOI: 10.14359/51688199

- [60] Budynas, Richard G., “Materials”, *Shigley’s Mechanical Engineering Design*, 9th Ed. NY., U.S., The McGraw-Hill, 2011, pp.33
- [61] Kalende Mutombo and Madeleine Du Toit, “Mechanical Properties of 5083 Aluminium Welds After Manual and Automatic Pulsed Gas Metal Arc Welding Using E5356 Filler”, *Material Science Forum*, vol. 654-656, pp.2560-2563, 2010, Available: [scientific.net/MSF.654-656.2560](http://scientific.net/MSF.654-656.2560) DOI: 10.4028
- [62] Kalende Mutombo, Madeleine du Toit, “Corrosion Fatigue Behaviour of Aluminium 5083-H111 Welded Using Gas Metal Arc Welding Method”, in *Arc Welding*, London, UK, IntechOpen, 2011, [Online]. Available: [intechopen.com/chapters/25066](http://intechopen.com/chapters/25066) DOI: 10.5772/25991
- [63] Isidro Guzmán. Everardo Granda, Jorge Acevedo, Antonia Martinez, Yuliana Davila and Tuben Velazquez, “Comparative in Mechanical Behavior of 6061 Aluminum Alloy Welded by Pulsed GMAW with Different Filler Metals and Heat Treatments”, *Materials*, vol. 12, no. 24, 2019, DOI:10.3390/ma12244157