

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ İNŞAASINDA KULLANILAN KAYNAK
YÖNTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Muharrem ASARKAYA

Enstitü Anabilim Dalı : MET. ve MALZ. MÜH.

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Uğur ŞEN

Eylül 2006

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİ İNŞAASINDA KULLANILAN KAYNAK
YÖNTEMLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. ve Malz. Müh. Muharrem ASARKAYA

Enstitü Anabilim Dalı : MET. ve MALZ. MÜH.

Bu tez 19 / 09 / 2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Doç. Dr. Uğur ŞEN
Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Cuma BİNDAL
Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Salim ASLANLAR
Jüri Üyesi**

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın yűrűtűlmesi ve sonuçlandırılmasında fikir ve tecrűbeleri ile bana yardımcı olan, deneyler sırasında yapılması gerekenler hakkında beni yűnlendiren saygı deęer hocam Doç. Dr. Uęur ŐEN'e sonsuz saygılarımı sunar, teőekkűr ederim.

Teorik çalıőmalarımı hazırlarken sahip olduęu CAD/CAM izim programları tecrűbesiyle yardımcı olan Őner GŪNDOęDU'ya teőekkűrű bir borç bilirim.

Műh. Muharrem ASARKAYA

İÇİNDEKİLER

| | |
|----------------------------------------------------------------------|-------|
| TEŞEKKÜR..... | ii |
| İÇİNDEKİLER..... | iii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ..... | viii |
| ŞEKİLLER LİSTESİ..... | İx |
| TABLolar LİSTESİ..... | xv |
| ÖZET..... | xvii |
| SUMMARY..... | xviii |
| | |
| BÖLÜM 1. | |
| GİRİŞ..... | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2. | |
| TERSANELERDE KULLANILAN ÇELİKLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ..... | 3 |
| 2.1. Giriş..... | 3 |
| 2.2. Oksijen Alma İşlemleri..... | 3 |
| 2.2.1. Durgun çelik..... | 3 |
| 2.2.2. Kaynar çelik..... | 4 |
| 2.2.3. Yarı durgun çelik..... | 4 |
| 2.2.4. Isıl işlem..... | 4 |
| 2.3. Levhalar ve Profiller..... | 4 |
| 2.4. Döküm ve İşlem Çelikleri..... | 5 |
| 2.5. Yüksek Mukavemetli Çelikler..... | 5 |
| 2.5.1. Çeliğin çentik mukavemeti özellikleri..... | 6 |
| 2.5.1.1. Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi..... | 6 |
| 2.5.1.2. Levha kalınlığının etkisi..... | 7 |
| 2.6.Haddelenmiş Levhaların Hadde Yönüne Bağlı Olarak Özellikleri.... | 8 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 2.7. Soğuk Şekil Vermenin Etkisi..... | 8 |
| 2.8. Mekanik Özelliklerin Anizotropisi..... | 8 |
| 2.9. Kaynak Metalinin Çentik Darbe Tokluğu ve Geçiş Sıcaklığı..... | 11 |

BÖLÜM 3.

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| ELEKTRİK ARK KAYNAĞI..... | 12 |
| 3.1. Giriş..... | 12 |
| 3.2. Elektrodun Ergimesi Sırasında Oluşan Damlacık Teorisi..... | 13 |
| 3.3. Kaynak Banyosunun Katılaşması..... | 14 |
| 3.4. Kaynaktan Sonra Oluşan İçyapılar..... | 15 |
| 3.5. Elektrik Ark Kaynağında Kullanılan Elektrodlar..... | 19 |
| 3.5.1. Bazik elektrodların özellikleri ve kullanım yerleri | 20 |
| 3.5.2. Rutil elektrodların özellikleri ve kullanım yerleri | 21 |
| 3.5.3. Demirtozlu elektrodların özellikleri ve kullanım yerleri..... | 21 |
| 3.5.4. Selülozik elektrodların özellikleri ve kullanım yerleri..... | 22 |

BÖLÜM 4.

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMLERİ..... | 23 |
| 4.1. Giriş..... | 23 |
| 4.2. Özlü Telin Üretimi ve Kullanımda Sağladığı Avantajlar..... | 25 |
| 4.3. MIG-MAG Yönteminin Karakteristikleri..... | 28 |
| 4.3.1. Kaynak akımı..... | 28 |
| 4.3.2. Ark gerilimi..... | 28 |
| 4.3.3. Serbest elektrod boyu (kontak borusu mesafesi)..... | 29 |
| 4.3.4. Kaynak hızı..... | 29 |
| 4.3.5. Koruyucu gaz akışı | 30 |
| 4.3.6. Torcun tutuluşu..... | 30 |
| 4.4. MIG-MAG Kaynağında Kullanılan Kaynak Makinaları..... | 31 |
| 4.5. MIG-MAG Kaynağında Yöntemindeki Ekipmanlar..... | 33 |
| 4.5.1. MIG-MAG kaynağında kullanılan torclar..... | 33 |
| 4.5.2. Tel sürme tertibatları..... | 34 |
| 4.5.3. Basınç düşürme manometresi..... | 34 |
| 4.5.4. Isıtıcılar..... | 35 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.6. Pinch-Effekt Kuvveti Damlacık İlişkisi..... | 35 |
| 4.6.1. Sprey ark (ince damlalı metal taşınımı)..... | 37 |
| 4.6.2. Uzun ark (damlasal metal taşınımı)..... | 38 |
| 4.6.3. Kısa ark | 39 |
| | |
| BÖLÜM 5. | |
| TOZALTI KAYNAĞI..... | 41 |
| 5.1. Giriş..... | 41 |
| 5.2. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları..... | 44 |
| 5.2.1. Aktif tozlar | 44 |
| 5.2.2. Nötr tozlar | 44 |
| 5.2.3. Aktif ve nötr toz-tel kombinasyonu | 45 |
| 5.3. Tozaltı Kaynak Yönteminin Üstünlükleri..... | 46 |
| 5.4. Tozaltı Kaynağında Birden Fazla Tel Kullanılarak Uygulanan Otomasyon Sistemleri..... | 47 |
| 5.5. Tozaltı Kaynağında Parametrelerin Dikiş Üzerine Etkileri..... | 49 |
| | |
| BÖLÜM 6. | |
| TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ TESTLER..... | 54 |
| 6.1. Giriş..... | 54 |
| 6.2. Tahribatlı Testler..... | 54 |
| 6.2.1. Çekme deneyi..... | 54 |
| 6.2.1.1. Düşük karbonlu çeliğin çekme diyagramı..... | 57 |
| 6.2.2. Eğme deneyi..... | 60 |
| 6.2.3. Çentik-darbe deneyi..... | 63 |
| 6.2.3.1. Charpy darbe deneyi | 63 |
| 6.2.3.2. Izod deneyi..... | 65 |
| 6.2.4. Kırılma tipleri..... | 66 |
| 6.2.4.1. Klivaj kırılması..... | 66 |
| 6.2.4.1. Kayma kırılması..... | 66 |
| 6.2.5. Sertlik deneyi..... | 69 |
| 6.2.5.1. Mikro sertlik deneyi..... | 71 |
| 6.3. Tahribatsız Testler..... | 73 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.3.1. Ultrasonik yöntemi ile tahribatsız muayene..... | 73 |
| 6.3.1.1. Ultrasonik dalgaların üretilmesi..... | 73 |
| 6.3.2. Radyografik yöntemi ile tahribatsız muayene..... | 75 |
| 6.3.3. Girdap akımları yöntemi ile tahribatsız muayene..... | 77 |
| 6.3.4. Manyetik parçacık yöntemi ile tahribatsız muayene..... | 79 |
| 6.3.4.1. Dairesel manyetik alanlar | 79 |
| 6.3.4.2. Boyuna manyetik alanlar | 80 |
| 6.3.5. Sıvı penetrant yöntemi ile tahribatsız muayene..... | 81 |
| | |
| BÖLÜM 7. | |
| DENEYSEL ÇALIŞMALAR..... | 83 |
| 7.1. Giriş..... | 83 |
| 7.2. Deneylerde Kullanılan Sacların-Elektrodların Mekanik Ve Kimyasal Özellikleri..... | 83 |
| 7.3. Test Parçalarına Kaynak Öncesinde Uygulanan İşlemler..... | 85 |
| 7.4. Test Parçalarının Kaynak İşlemleri..... | 86 |
| 7.5. Kaynak Sonrası Yapılan İşlemler..... | 101 |
| 7.5.1. Test parçalarının gözle muayenesi ve sıvı penetrant testi..... | 101 |
| 7.5.2. Radyografik Yöntemle Yapılan Muayene..... | 102 |
| 7.6. Deneylerde Kullanılan Test Parçalarının Hazırlanması..... | 106 |
| 7.7. Kaynaklı Numunelerde Oluşan Isı Girdilerinin Değerlendirilmesi. | 113 |
| | |
| BÖLÜM 8. | |
| SONUÇLAR VE İRDELEME..... | 121 |
| 8.1. Giriş..... | 121 |
| 8.2. Çekme Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi..... | 121 |
| 8.3. Eğme Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi..... | 131 |
| 8.4. Çentik-Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi..... | 140 |
| 8.5. Mikrosertlik..... | 154 |
| 8.6. Mikroyapı..... | 160 |

| | |
|---------------------------|-----|
| BÖLÜM 9. | |
| TARTIŞMA VE ÖNERİLER..... | 167 |
| KAYNAKLAR..... | 171 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 174 |

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

| | |
|--------------------|--------------------------------------------------|
| GRADE | : Gemi saclarının kalite standardı |
| AWS | : Amerikan kaynak enstitüsü |
| ITAB | : Isı tesiri altında kalan bölge |
| MIG-MAG | : Metal inert gaz – Metal aktif gaz kaynağı |
| SAW | : Tozaltı kaynağı |
| SMAW | : Örtülü elektrodla ark kaynağı |
| FCAW | : Özlü telle gazaltı kaynağı |
| TIG-WIG | : Tungsten inert gaz - wolfram inert gaz kaynağı |
| DC-AC | : Doğru akım – alternatif akım |
| σ | : Orantı sınırı |
| ε | : Birim uzama |
| E | : Elastik modülü |
| σ_a | : Akma dayanımı |
| σ_{φ} | : Çekme dayanımı |
| l_k | : Kopma sonrası toplam boy |
| l_0 | : Numunenin ilk boyu |
| K.M | : Kırılma modülü |
| D | : Numune çapı |
| B | : Numune genişliği |
| M_e | : Eğme momenti |
| P | : Uygulanan yük |
| L | : Mesnetler arası uzaklık |
| Z | : Kesit modülü |
| I | : Sarkacın boyu |
| G | : Sarkacın (çekicin) ağırlığı |
| h_1 | : Sarkacın ilk yüksekliği |
| h_2 | : Sarkacın son yüksekliği |

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | | |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. | Darbe direncinin (a) sıcaklıkla değişimi, (b) tipik bir darbe direnci- sıcaklık eğrisi..... | 7 |
| Şekil 2.2. | Haddelenmiş numuneden farklı yönlerde alınmış çentik darbe numuneleri..... | 10 |
| Şekil 3.1. | Elektrik ark kaynağı çalışma prensibi..... | 12 |
| Şekil 3.2. | Elektrik ark oluşumu ve kaynak oluşumu..... | 13 |
| Şekil 3.3. | Kaynak esnasında damlacıkların oluşumu..... | 14 |
| Şekil 3.4. | Kaynak metalinin soğuması esnasında oluşan içyapılar..... | 15 |
| Şekil 3.5. | Kaynak metalinin soğuması esnasında oluşan tane yapıları..... | 16 |
| Şekil 3.6. | Kaynak metali ve ITAB'ta görülen mikroyapılar..... | 17 |
| Şekil 4.1. | MIG-MAG kaynak yöntemi..... | 23 |
| Şekil 4.2. | MIG-MAG kaynak yöntemi çalışma prensipleri..... | 24 |
| Şekil 4.3. | Özlu tel üretim şeması..... | 26 |
| Şekil 4.4. | MIG-MAG kaynağında dik pozisyonda torcun hareketleri..... | 30 |
| Şekil 4.5. | MIG-MAG kaynağında yatay pozisyonda torcun hareketleri..... | 31 |
| Şekil 4.6. | MIG-MAG kaynağında kullanılan kaynak makineleri..... | 32 |
| Şekil 4.7. | MIG-MAG kaynağında kullanılan torclar ve akım kontaktörleri. | 33 |
| Şekil 4.8. | MIG-MAG kaynağında kullanılan tel sürücüler..... | 34 |
| Şekil 4.9. | MIG-MAG kaynağında kullanılan regülatörler ve ısıtıcılar..... | 35 |
| Şekil 4.10. | MIG-MAG kaynağında damlacık üzerine etki eden kuvvetler.... | 36 |
| Şekil 4.11. | MIG-MAG kaynağında damlacık oluşumu..... | 36 |
| Şekil 4.12. | 1 mm çapında M2 koruyucu gazı ile spreyci ark oluşması..... | 37 |
| Şekil 4.13. | 1 mm çapında elektrod C1 gazı ile uzun ark oluşması..... | 38 |
| Şekil 4.14. | 1 mm çapında elektrod M2 gazı ile kısa ark oluşturması..... | 39 |
| Şekil 5.1. | Tozaltı kaynak yönteminin çalışma prensibi..... | 41 |
| Şekil 5.2. | Tozaltı kaynağının şematik gösterimi..... | 42 |

| | | |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.3. | Tel-toz kombinasyon standardı..... | 44 |
| Şekil 5.4. | Tozaltı kaynağı uygulaması ve nüfuziyeti..... | 47 |
| Şekil 5.5. | Otomasyon kaynak uygulamaları (a)Twin tandem kaynak kafalarının görünümü (b) 6 telli kaynak kafalarının görünümü... | 48 |
| Şekil 5.6. | Tek taraflı bakır altlık üzerine tandem metoduyla tozaltı kaynağı uygulaması..... | 48 |
| Şekil 5.7. | Tozaltı kaynağında akımın dikiş forumuna etkisi..... | 49 |
| Şekil 5.8. | Tozaltı kaynağında gerilimin dikiş forumuna etkisi..... | 50 |
| Şekil 5.9. | Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine kaynak hızının etkisi... | 51 |
| Şekil 5.10. | Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine telin dışarıda kalan kısmının etkisi..... | 52 |
| Şekil 5.11. | Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine tel çapının etkisi..... | 53 |
| Şekil 6.1 | Çekme deneyi prensip şeması..... | 55 |
| Şekil 6.2. | Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri..... | 56 |
| Şekil 6.3. | Sünek ve gevrek malzemelerde kopma şekilleri..... | 57 |
| Şekil 6.4. | Çekme deneyinde akma noktalarının tespiti..... | 57 |
| Şekil 6.5. | Çekme diyagramında akma noktasının gösterimi..... | 58 |
| Şekil 6.6. | Çekme diyagramında çekme noktasının gösterimi..... | 58 |
| Şekil 6.7. | Çekme deneyinde kesit daralması tespiti..... | 59 |
| Şekil 6.8. | Çekme deneyinde rezilyansın bulunması..... | 59 |
| Şekil 6.9. | Çekme deneyinde rezilyansın ve tokluğun gösterimi..... | 60 |
| Şekil 6.10. | Eğme deneyi prensip şeması..... | 60 |
| Şekil 6.11. | Eğme deneyinin yapılışı..... | 62 |
| Şekil 6.12. | Çentik-darbe deneyi prensip şeması..... | 64 |
| Şekil 6.13. | Çentik-darbe cihazın farklı perspektiflerde görünümü..... | 65 |
| Şekil 6.14. | Taneler arası ve taneleri keserek kırılma..... | 67 |
| Şekil 6.15. | Sertlik deneyi prensip şeması..... | 69 |
| Şekil 6.16. | Sertlik deneyinde kullanılan bilya çeşitleri..... | 70 |
| Şekil 6.17. | Sertlik deneyinde kullanılan vickers ucunun görünümü | 71 |
| Şekil 6.18. | Mikro – Sertlik Deneyinin Yapılışının Şema..... | 72 |
| Şekil 6.19. | Ultrasonik yöntemlerle tahribatsız muayene sonuçları..... | 74 |
| Şekil 6.20. | Radyografik yöntemlerle tahribatsız muayene prensip şeması.... | 75 |
| Şekil 6.21. | Radyografik yöntemlerle çekilen filmlerin görüntüleri..... | 76 |

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 6.22. | Girdap akımları yönteminin şematik gösterimi..... | 78 |
| Şekil 6.23. | Girdap akımları yönteminin sonuçlarının gösterimi..... | 79 |
| Şekil 6.24. | Manyetik parçacıklarla tahribatsız muayenenin gösterimi..... | 80 |
| Şekil 6.25. | Sıvı penetrant tahribatsız muayene yönteminin gösterimi..... | 81 |
| Şekil 7.1. | Test parçalarının kesilmesi ve kaynatılması..... | 85 |
| Şekil 7.2. | Test parçalarının puntalanması ve uygun kök açıklığı bırakılması | 85 |
| Şekil 7.3. | Kaynaklı numunelerin gözle muayenesi..... | 101 |
| Şekil 7.4. | Kaynaklı numunelerin sıvı penetrantla muayenesi | 102 |
| Şekil 7.5. | Elektrod ark kaynağı yapılmış numunelerinin radyografik filmleri..... | 103 |
| Şekil 7.6. | Gazaltı kaynağı yapılmış kaynaklı numunelerinin radyografik filmleri..... | 104 |
| Şekil 7.7. | Tozaltı kaynağı yapılmış kaynaklı numunelerinin radyografik filmleri..... | 105 |
| Şekil 7.8. | Test parçalarının şerit testere ile kesilmesi..... | 107 |
| Şekil 7.9. | Test parçalarının markalanması..... | 107 |
| Şekil 7.10. | Kaynaklı parça üzerinden alınan test numunelerinin geometrileri | 107 |
| Şekil 7.11. | Kaynaklı parça üzerinden test numunelerinin çıkartılması..... | 108 |
| Şekil 7.12. | Freze tezgahında çekme numunesinin hazırlanması..... | 108 |
| Şekil 7.13. | Çekme numunesinin kaynak yüksekliğinin taşlanması..... | 109 |
| Şekil 7.14. | DIN 50120'e göre hazırlanan çekme test numunesi ölçüleri..... | 109 |
| Şekil 7.15. | Çentik darbe numunelerinin hazırlanması..... | 110 |
| Şekil 7.16. | TS EN 10045-1 standardında hazırlanan çentik numune ölçüleri. | 110 |
| Şekil 7.17. | Eğme numunelerinin hazırlanması..... | 111 |
| Şekil 7.18. | DIN 17100'e göre hazırlanan eğme test numune ölçüleri..... | 111 |
| Şekil 7.19. | Farklı yöntemlerle kaynak edilen numunelerin kalınlığa göre paso sayıları..... | 113 |
| Şekil 7.20. | Elektrod kaynağı ısı girdileri diyagramı..... | 119 |
| Şekil 7.21. | Gazaltı kaynağı ısı girdileri diyagramı..... | 119 |
| Şekil 7.22. | Tozaltı kaynağı ısı girdileri grafiği..... | 120 |
| Şekil 8.1. | Elektrod kaynağı numunelerin akma dayanımları..... | 123 |
| Şekil 8.2. | Elektrod kaynağı numunelerin çekme dayanımları..... | 123 |

| | | |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 8.3. | Gazaltı kaynağı numunelerin akma dayanımları..... | 124 |
| Şekil 8.4. | Gazaltı kaynağı numunelerin çekme dayanımları..... | 124 |
| Şekil 8.5. | Tozaltı kaynağı numunelerin akma dayanımları..... | 125 |
| Şekil 8.6. | Tozaltı kaynağı numunelerin çekme dayanımları..... | 125 |
| Şekil 8.7. | Kaynaklı numunelerin genel çekme dayanımları..... | 126 |
| Şekil 8.8. | Elektrod kaynaklı numunelerinin % uzama diyagramı..... | 128 |
| Şekil 8.9. | Gazaltı kaynaklı numunelerinin % uzama diyagramı..... | 128 |
| Şekil 8.10. | Tozaltı kaynaklı numunelerinin % uzama diyagramı..... | 129 |
| Şekil 8.11. | Kaynaklı numunelerin sünek kırılma tipleri..... | 129 |
| Şekil 8.12. | Kaynaklı numunelerin genel uzama diyagramları..... | 130 |
| Şekil 8.13. | Elektrod kaynağı eğme gerilmeleri..... | 133 |
| Şekil 8.14. | Gazaltı kaynağı eğme gerilmeleri..... | 133 |
| Şekil 8.15. | Tozaltı kaynağı eğme gerilmeleri..... | 134 |
| Şekil 8.16. | Kaynaklı numunelerin toplam eğme gerilmeleri..... | 135 |
| Şekil 8.17. | Eğme deneyi esnasında N kodlu numunede (a) Kök eğme sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri (b) Kep eğme sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri..... | 137 |
| Şekil 8.18. | Eğme deneyi esnasında A kodlu numunede (a) Kök eğme sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri (b) Kep eğme sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri..... | 138 |
| Şekil 8.19. | Eğme deneyi sonucunda numunelerde oluşan şekil değişimleri (a) A numunesi kök eğmesi (b) A numunesi kep eğmesi (c) N numunesi kök eğmesi (d) N numunesi kep eğmesi..... | 139 |
| Şekil 8.20. | Elektrod kaynağı kaynak metali çentik darbe enerjileri..... | 143 |
| Şekil 8.21. | Elektrod kaynağı ITAB bölgesi çentik darbe enerjileri..... | 143 |
| Şekil 8.22. | Gazaltı kaynağı kaynak metali çentik darbe enerjileri..... | 144 |
| Şekil 8.23. | Gazaltı kaynağı ITAB bölgesi çentik darbe enerjileri..... | 144 |
| Şekil 8.24. | Tozaltı kaynağı kaynak metali çentik darbe enerjileri..... | 145 |
| Şekil 8.25. | Tozaltı kaynağı ITAB bölgesi çentik darbe enerjileri..... | 145 |
| Şekil 8.26. | Kaynaklı numunelerin genel kaynak metali çentik-darbe enerjileri..... | 146 |
| Şekil 8.27. | Kaynaklı numunelerin genel ITAB bölgesi çentik-darbe enerjileri..... | 147 |

| | | |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 8.28. | Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) S kodlu numunenin kaynak bölgesinin gevrek kırılması..... | 148 |
| Şekil 8.29. | Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) O kodlu numunenin kaynak bölgesinin sünek kırılması..... | 149 |
| Şekil 8.30. | Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) O kodlu numunenin ITAB bölgesinin sünek kırılması..... | 150 |
| Şekil 8.31. | Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) G kodlu numunenin kaynak bölgesinin sünek kırılması..... | 151 |
| Şekil.8.32. | Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) D kodlu numunenin kaynak bölgesinin sünek kırılması..... | 152 |
| Şekil.8.33. | Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) C kodlu numunenin ITAB bölgesinin gevrek kırılması..... | 153 |
| Şekil.8.34. | 20 mm kalınlığında, elektrod kaynağı, A Grade sacın sertlik dağılımı..... | 157 |
| Şekil.8.35. | 20 mm kalınlığında, elektrod kaynağı, DH 36 Grade sacın sertlik dağılımı..... | 157 |
| Şekil.8.36. | 20 mm kalınlığında, gazaltı kaynağı, A Grade sacın sertlik dağılımı..... | 158 |
| Şekil.8.37. | 20 mm kalınlığında, gazaltı kaynağı, DH 36 Grade sacın sertlik dağılımı..... | 158 |
| Şekil.8.38. | 20 mm kalınlığında, tozaltı kaynağı A Grade sacın sertlik dağılımı..... | 159 |
| Şekil.8.39. | 20 mm kalınlığında, tozaltı kaynağı DH 36 Grade sacın sertlik dağılımı..... | 159 |
| Şekil.8.40. | Mikroyapı deneyinde kullanılan numune ölçüleri..... | 160 |
| Şekil.8.41. | Gemi çeliklerinin (a) Düz haddelenmiş çeliğin ve (b) Yüksek mukavemetli çeliğin mikroyapısı..... | 161 |
| Şekil.8.42. | Mikroyapıların alındığı bölgelerin gösterimi..... | 161 |
| Şekil.8.43. | A Grade-Bazik elektrodla-20mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları..... | 163 |
| Şekil.8.44. | DH36 Grade-Bazik elektrodla-17mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları..... | 164 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil.8.45. DH36 Grade-Tozaltı kaynağı-20 mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları..... | 165 |
| Şekil.8.46. DH36 Grade-Gazaltı kaynağı-17 mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları..... | 166 |

TABLolar LİSTESİ

| | | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 3.1. | Karbon eşdeğerliğine göre tavlama sıcaklıkları..... | 18 |
| Tablo 7.1. | Teste kullanılan gemi çeliklerinin ve ilave elektrodların kimyasal bileşimleri..... | 84 |
| Tablo 7.2. | Gemi çeliklerinin ve ilave elektrodların mekaniksel özellikleri... | 84 |
| Tablo 7.3. | Elektrod ark kaynağı redresörünün (ESAB LHF 630) teknik özellikleri..... | 86 |
| Tablo 7.4. | Gazaltı kaynak makinasının (ESAB MIG 405) teknik özellikleri | 87 |
| Tablo 7.5. | Tozaltı kaynağı rektafaiyesinin (ESAB LHF 1200) teknik özellikleri..... | 87 |
| Tablo 7.6. | 10 mm kalınlığında, A Grade sacın elektrod kaynak prosedürü... | 89 |
| Tablo 7.7. | 14 mm kalınlığında, A Grade sacın elektrod kaynak prosedürü... | 90 |
| Tablo 7.8. | 17 mm kalınlığında, DH36 Grade sacın elektrod kaynak prosedürü..... | 91 |
| Tablo 7.9. | 20 mm kalınlığında, DH36 Grade sacın elektrod kaynak prosedürü..... | 92 |
| Tablo 7.10 | 10 mm kalınlığında, A Grade sacın gazaltı kaynak prosedürü..... | 93 |
| Tablo 7.11 | 14 mm kalınlığında, A Grade sacın gazaltı kaynak prosedürü..... | 94 |
| Tablo 7.12 | 17 mm kalınlığında DH36 Grade sacın gazaltı kaynak prosedürü | 95 |
| Tablo 7.13 | 20 mm kalınlığında DH36 Grade sacın gazaltı kaynak prosedürü | 96 |
| Tablo 7.14 | 10 mm kalınlığında, A Grade sacın tozaltı kaynak prosedürü..... | 97 |
| Tablo 7.15 | 14 mm kalınlığında, A Grade sacın tozaltı kaynak prosedürü..... | 98 |
| Tablo 7.16 | 17 mm kalınlığında DH36 Grade sacın tozaltı kaynak prosedürü | 99 |
| Tablo 7.17 | 20 mm kalınlığında DH36 Grade sacın tozaltı kaynak prosedürü | 100 |
| Tablo 7.18 | Kaynak yöntemlerinin kodlanması..... | 112 |
| Tablo 7.19 | Elektrod kaynağı yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri..... | 116 |

| | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 7.20 | Gazaltı kaynağı yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri..... | 117 |
| Tablo 7.21 | Tozaltı kaynağı yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri..... | 118 |
| Tablo 8.1. | Farklı kaynak yöntemlerindeki çekme deneyi verileri..... | 122 |
| Tablo 8.2. | Farklı kaynak yöntemlerinin eğme gerilmeleri verileri..... | 132 |
| Tablo 8.3. | Farklı kaynak yöntemlerinde ITAB bölgesi ve kaynak metali çentik darbe tokluğu verileri..... | 142 |
| Tablo 8.4. | Farklı kaynak yöntemlerinin sertlik verileri..... | 156 |

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Özlü telle ark kaynağı, örtülü elektrodla ark kaynağı, tozaltı kaynağı, mekanik özellikler, mikroyapılar

Tersanelerde uygulanan farklı kalitedeki çeliklerin uygulanan kaynak yöntemleri ile mekaniksel ve mikroyapısal olarak özellikleri incelenmiştir. Kullanılan kaynak yöntemlerinin optimum parametreleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca uygulanan kaynak yöntemlerinin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları detaylı olarak irdelenmiştir. Bu çalışmada elektrik ark kaynağı, gazaltı kaynağı ve tozaltı kaynak yöntemleri uygulanmıştır.

Kaynaklı numunelerde çekme, eğme, sertlik testleri uygulanmış ayrıca mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda tam-otomatik bir yöntem olan tozaltı kaynağının kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Çekme deneyi sonucunda kopmanın ısı tesiri altında kalan bölgeden olmayıp düşük karbonlu çelik malzemeden olduğu görülmüştür. Eğme deneyinde ise kaynaklı numunelerde herhangi bir çatlak ve yırtılma olmadığı tespit edilmiştir.

THE EFFECT OF WELDING PROCESS ON MECHANICAL PROPERTIES IN SHIPBUILDING INDUSTRY

SUMMARY

Keywords: MIG-MAG, Electrical arc welding, flux cored arc welding, submerged arc welding, mechanical properties.

In this study, an A Grade and DH 36 Grade steel plates welded by manual metal arc welding and flux cored arc welding and submerged arc welding using various types and mechanical and metallurgical properties of the weldment were investigated. Tensile properties, bending strength and hardness of the welded specimens were investigated and optical microscopy studies were carried out. It is seen that mechanical properties of the sample welded with low carbon steel electrode was found to be better. In the tensile tests fracture was always occurred in the low carbon steel portion of the welded specimens apart from the HAZ regions. Visual observation of the bended specimens showed no crack and tears.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ülkemiz gemi üretim sanayii, son yıllarda önemli büyümeler göstermiş ve dünya gemi imalat sanayinde önemli bir yer edinmiştir. Son yıllarda, dünyanın en gelişmiş ülkeleri de dahil olmak üzere, bir çok ülkeye çok büyük tonajlara sahip olan gemiler ülkemizde de büyük başarı ile üretilmekte ve pazar payı geliştirilmektedir.

Gemi sanayinde metalik parçaların birleştirilmesinde en çok kullanılan teknik, kaynak yöntemleridir ve hemen hemen her türlü kaynak uygulamasını gemi inşasında görmek mümkündür. Bu kaynak teknikleri içerisinde geleneksel elektrik ark kaynağı, gazaltı kaynağı ve tozaltı kaynağı ön plana çıkmaktadır. Gemi sanayinde kullanılan standart çelikler mevcut olup, bu çelikler daha çok bu kaynak teknikleri kullanılarak birleştirilmektedir.

Gemi inşaa sektöründe yapılan gemilerin taşıyacakları yüke, kullanım yerlerine, kapasitelerine göre birçok farklı dizayn gerçekleştirilmektedir. Gemi yapılırken seçilen çeliklerinde istenilen mekanik özelliklere ve yüke karşı, istenilen özellikleri göstermesi için en doğru dizaynlar yapılmaktadır. Gemilerde kullanılan saclar uygun standartlarda üretilmektedir. Yüksek mukavemetli ve yüksek şekil değiştirme özelliğine sahip çelikler gemilerin farklı bölümlerinde kullanılmaktadır.

Bu sacların birleştirilme yöntemi olarakta genellikle birçok kaynak yöntemi tercih edilmektedir. İlk olarak üretilen örtülü elektrod ark kaynağı; basit uygulama şekli ve kullanımı kolay makinelerle olması nedeni ile, çok kullanılmaktaydı. Fakat bu yöntemin bulunan birçok dezavantajının tespit edilmesinden sonra yarı-otomatik bir kaynak yöntemi olan MIG-MAG kaynağı kullanılmaya başlanmıştır.

MIG-MAG kaynağında sürekli bir tel elektrod bulunması kaynak hızının artmasına, ısı girdisinin azalmasına, otomasyon sistemlerine rahatlıkla uygulanmasını

sağlamıştır. Bu yöntemde kullanılan kaynak makinaları yatay karakteristikli olması, kaynak parametrelerinin ayarlanmasına yardımcı olduğu, için kaynakçıların kullanmasında çok kolaydır.

Tozaltı yöntemi ise genellikle panel yapılmak istenen iki farklı sacların, alın birleştirmelerinde tercih edilmektedir. Yüksek amperle kaynak yapılması, yüksek nüfuziyet elde edilmesini sağlamıştır. Dikiş görüntüsü diğer kaynak yöntemlerine göre çok daha iyidir.

BÖLÜM 2. TERSANE ÇELİKLERİNİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

2.1. Giriş

Tersane uygulamalarında kullanılan çelikler başlıca üç yöntemden biri ile üretilmekte ve piyasaya sürülmektedir.

- a) Siemens-Martin (Open Hearth)
- b) Bazik Oksijen (Basic Oxygen)
- c) Elektrik Fırını (Ark ocakları ve indüksiyon ocakları)

Senelerce Siemens-Martin yöntemi fırınları gemilerde kullanılan çeliklerin büyük bir kısmının yapımında kullanıldı. Daha yeni olan bazik oksijen yönteminde ise reaksiyonun hızını arttırmak için oksijen kullanılır ve böylece çeliğin işleme zamanı kısaltılır. Gemilerin, teknelerinin yapımında kullanılan çeliğin çok az bir bölümünde elektrik fırınları kullanılmaktadır. Elektrik fırınları daha çok alaşımlı çeliklerin ve çelik dökümlerin yapımında kullanılmaktadır[1].

2.2. Oksijen Alma İşlemleri

Çeliklerin yapımında metalurjik durumları göz önüne alan birinci derecede reaksiyon karbon ve oksijen karışımının bir gaz ortamı oluşturmasıdır [1].

2.2.1. Durgun Çelik

Oksijen alma işlemi, silisyum ve alüminyum gibi elemanların katkısı ile gerçekleştirilir. Durgun çelik yapımı için silisyum katkısının yüzünde 0,10'dan daha fazla olması gereklidir. Durgun çelik katılaşmaya başladığında elde edilen ingotun üst bölümlerinde belirli büzülme oyukları veya boru şeklinde gaz boşlukları

bulunmaktadır. Kütüğün bu üst kısmı kesilerek atılır ve haddelenen çelikte bu kusurlar bulunmaz[1].

2.2.2. Kaynar çelik

Bu tür çeliğin oksijeni çok az alınmış olup genel olarak 12,5 mm kalınlığa kadar olan çelik yapımında kullanılır. Dolayısıyla bu tür çeliğin kullanılması daha az önemli elemanların yapımı içinde sınırlandırılmıştır[2].

2.2.3. Yarı durgun çelik

Durgun çeliğe oranla daha az oksijeni alınmıştır. Daha az oksijeni alınmış olmasına karşın, kaynar çeliğe oranla daha çok kullanılır. Yapımı durgun çelikten daha ucuz ve içinde boru şeklinde gaz boşlukları daha az bulunduğu için kaynak edilebilen çeliklerde daha çok kullanılır. Bu yüzden levha ve profil olarak gemilerde kullanılan çeliklerin büyük çoğunluğu yarı durgun çelikten yapılır [2].

2.2.4. Isıl işlem

Gemi yapımında kullanılan çeliğin büyük bir bölümü haddelenmiş olarak piyasaya sunulur. Bununla beraber, geminin kritik yerleri için, çentik mukavemeti yüksek olan malzeme veya yüksek mukavemetli çelikler istediğinde normalizasyon ısıl işlemi istenir. İnce yapılı çelik belirli oranlarda alüminyum veya diğer yapı inceltme elementlerinin katkısı ile elde edilir. Tamamen söndürülmüş, ince yapılı normalize edilmiş karbon çeliği, kontrollü bir kimyasal bileşime uygun olarak, çentik mukavemeti yüksek bir çelik elde edilebilir. Su verme yoluyla hızlı soğutma ve temperleme işlemleri, daha sert çelikler elde etmek için kullanılabilir, fakat bu işlemler daha çok, düşük alaşımlı ve alaşımlı çelikler için kullanılır[2].

2.3. Levhalar ve Profiller

Levhalar üç tür işlemle elde edilmekte olup bunlar: kenar kesmeli levhalar, düz haddelenen levhalar veya devamlı şerit hadde levhalarıdır. Kenar kesmeli levhalar

her iki yönde haddeleme özelliğini taşımakta olup, bu işleme her iki yönde haddeleme denir. Bitirme işlemleri arasında; soğutma, düzeltme, serme, damgalama, kesme ve kontrol bulunmaktadır. Bu türde yapılan çeliklerin genellikle boyuna ve enine doğrultularda çok iyi çentik mukavemet değerleri vardır. Düz haddelenen levhaların, her iki yönde haddeleme işleminden geçirilmedikleri için enine doğrultuda düşük uzama özelliği vardır[1].

Bu tür çelik fabrikalarında, biri yatay ve diğeri düşey doğrultuda iki hadde tezgahı vardır. Düşey haddeleme silindiri yan kesme olmadan levhanın enine boyutunu elde eder. Devamlı şerit hadde işlemi daha çok ince ve geniş levhaların yapımında kullanılır. Bazen kütükler devamlı şerit haddelemeye girmeden önce belirli bir derecede her iki yönde haddeleme işleminden geçerler. Bu durumda levhaların her iki doğrultudaki nitelikleri kenar kesmeli ve devamlı şerit hadde işlemleri ile yapılan çeliklerin arasındadır. Gemilerde kullanılan profiller genellikle düz haddelenen levhalara benzeyen yöntem ile haddelenirler[1].

2.4. Döküm ve İşlem Çelikleri

Büyük çelik dökümler ve işlem mamülü çeliklerin yerini kaynaklı kontrüksiyonlar almaktadır. Çelik dökümlerin ve işlem çeliklerinin özelliklerini kimyasal bileşimler, ısıl işlem ve üretim yöntemleri belirler. Çelik dökümlerin ve işlem çeliklerinin büyük çoğunluğu fabrikada yapım işlemi sırasında veya daha sonraları kaynakla onarımları gerekeceğinden, kaynağa uygunluğu bakımından karbon yüzdesinin iyi ayarlanması zorunludur. Çapa zinciri, dökme çelik veya dövme çelikten yapılabilir. Pervane şaftları, dümen somunları ile gemi zincir demirlerinin bazı parçalarının yapımında geniş ölçüde dövme çelik kullanılır[2].

2.5. Yüksek Mukavemetli Çelikler

İstenilen mekanik özellikler ve kaynakedilebilirlik özelliği bakımından, yüksek mukavemetli çeliklerin seçimi, büyük bir özenle yapılmalıdır. Yüksek mukavemetli çeliklerin gemilerde kullanılması iki gruba ayrılabilir[1].

- a) Akma sınırı 345 MPa : 50 000 Psi : 35,2 kg/mm² olan yüksek mukavemetli karbon çelikleri
- b) Akma sınırı 690 MPa : 100 000 Psi : 70,4 kg/mm² mm'ye kadar çıkan düşük alaşımlı ıslah ile hızlı soğutulmuş ve temperlenmiş çelikler genellikle şu durumda kullanılır.

- 1) Geminin çelik tekne ağırlığını azaltmak,
- 2) Yüksek gerilmelerin oluştuğu bölgelerde çok kalın levhaların kullanılmasını önlemek için. Düşük alaşımlı nikel çelikleri düşük sıcaklık, bilhassa -57 °C (-70°F)'ın altındaki sıcaklıklarda üstün çentik mukavemetli oldukları için yüksek gerilmelerin oluştuğu yerlerde kullanılırlar[1].

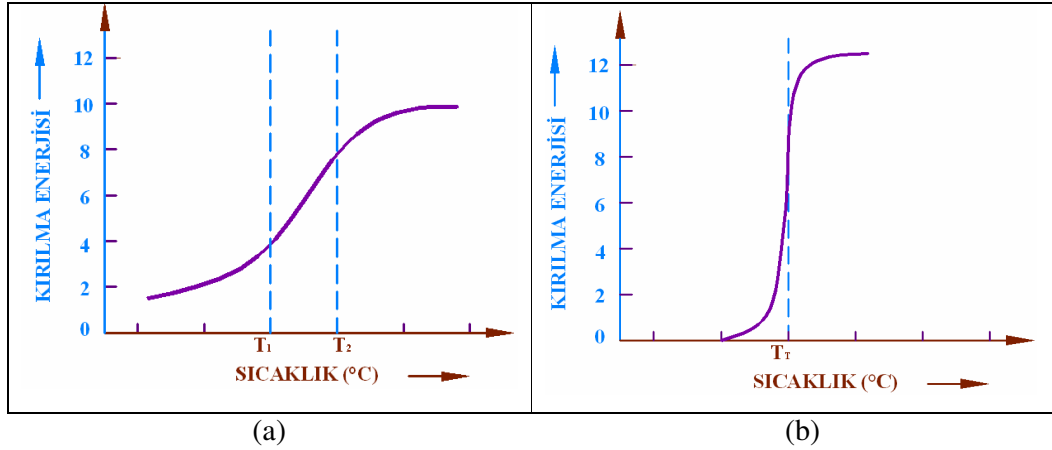
2.5.1. Çeliğin çentik mukavemeti özellikleri

Malzemelerin çentik mukavemeti veya çarpmalara dayanıklılığı, yük altında plastik şekil değiştirmesinde yuttuğu enerji olarak tanımlanır. Malzemenin bu özelliği metalurjik veya mekanik enerji olarak tanımlanır. Malzemenin bu özelliği metalurjik veya mekanik çatlamlar veya çentik oluşması esnasında ansızın çatlamaya karşın dayanıklılığını artırır. Çentikli numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması, bu gerilmenin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristalin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımından fazla olması gerekir. Numune, plastik biçim değiştirmeye fırsat bulamadan bu hal meydana gelirse, buna gevrek kırılma denir. Çeliğin bu özelliği büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olduğundan dönüşüm sıcaklığı (çatlağın karakteristiklerinin süneklikten gevrekliğe dönüştüğü sıcaklık) çentik sertliği için standart bir kriter olmuştur. Gerçekte, dönüşüm dar bir sıcaklık bölgesinde oluşur[2].

2.5.1.1. Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi

Belirli bir malzeme için değişik sıcaklıklarda yapılan darbe deneyleri, o malzemenin darbe direnci hakkında daha anlamlı bir netice sunar. Değişik sıcaklıklarda yapılan bir seri deney, Şekil 2.1'dekine benzer bir eğri verir. Bu eğriden anlaşılacağı gibi,

sıcaklık düştükçe, malzemenin darbe direnci de düşmektedir. Darbe direncinde düşme aniden olabildiği gibi belirli bir sıcaklık aralığında da olabilir. Darbe direncinin aniden düştüğü sıcaklığa geçiş sıcaklığı adı verilir. Şekil 2.1'dekine benzer bir eğri üzerinde bu sıcaklığı tayin etmek oldukça güçtür. Bu durumlarda tek bir sıcaklık yerine, T_1 ve T_2 gibi sıcaklıklar arasında kalan bir geçiş aralığı tarif edilir[3].



Şekil 2.1. (a) Darbe direncinin sıcaklıkla değişimi, (b) Tipik bir darbe direnci- sıcaklık eğrisi [3]

T_1 sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda malzeme gayet gevrek bir davranış gösterir. Kırılma, klivaj düzlemleri boyunca olup, kırılma yüzeyi ince taneli bir görünüştür. Bu sıcaklıklarda, darbenin tesiri ile ilk çatlak kolayca meydana gelir ve çatlak, malzeme içinde büyük bir hızla yayılır. T_2 sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda ise malzeme sünek bir davranış gösterir. Bu sıcaklıklarda darbenin tesiri ile malzemede, önce bir plastik şekil değiştirme ve daha sonra kopma meydana gelir. Sünek davranıştan dolayı malzemede çatlak teşekkülü güçleşir ve çatlağın yayılma hızı da yavaşlar. Bu durumlarda kopma yırtılma şeklinde olup kopma yüzeyi lifli bir görünüşü arzeder. Deney sıcaklığı T_1 sıcaklığına yaklaştıkça, gevrek davranış duruma hakim olur. Geçiş sıcaklığı olarak genellikle T_1 sıcaklığı alınır[3].

2.5.1.2. Levha kalınlığının etkisi

Metalurjik bakımdan, aynı gruptan veya dökümden bir çelik için daha kalın levhalar ince levhalara göre çentiğe karşı daha duyarlıdır. Bu durum çeliğin haddeleme

sirasındaki plastik deformasyon miktarına ve bitirme sıcaklıklarındaki değişikliklere bağlıdır. Levha kalınlığını 12.5 mm den 29 mm'ye arttırmak bazı durumlarda darbe geçiş sıcaklığını 10 ile 20 °C (20 ile 40 °F) yükseltir. Levhanın kalınlığı artarken, kalınlık yönündeki şekil değiştirme yeteneği azalır. Bu nedenlerden dolayı, geometrik açıdan bir çentik etrafındaki gerilim çoğalır ve gevreklik artar. Belirli yerlerde, daha kalın levhalar için daha büyük çentik darbe tokluğu olan çeliği kullanma yoluyla bu etki ortadan kaldırılabılır[2].

2.6. Haddelenmiş Levhaların Hadde Yönüne Bağlı Olarak Özellikleri

Levhalar haddelenirken taneler haddeleme yönünde uzar. Sonuç olarak, boyuna alınan deney parçalarının darbe enerjileri enine alınan deney parçalarınınkinden daha yüksek olarak bulunur. Bu nedenden gemilerin kaplama saçlarının sarılmasında levhaların ön ve arka kısımlarının boyuna olarak bulunmasına önem vermek gerekir. Böylece haddelemenin boyuna olduğu yönde gelecek olan gerilmelere uygun hareket edilmiş olur. Kalınlık boyunca, yani levha yüzeyine dik yönde levhaların çentik darbe toklukları daha azdır. Kalınlık yönünde levhanın kopma mukavemeti ve esnekliği azalmaktadır. Bu nedenden, levhaların kalınlığı yönünde yüksek kopma gerilmelerinin taşınmasını engelleyen dizaynlar kullanılmalıdır[1].

2.7. Soğuk Şekil Vermenin Etkisi

Soğuk şekil verme, malzemedeki değişik hasarlar oluşturur. Birincisi, bükme veya fazla şekil verme sonucu malzemenin yüzeyinde çatlaklar gibi kusurlar oluşur. İkincisi, aşırı derecede soğuk şekil verme çeliğinin çentik darbe tokluğu ve esnekliğini azaltır. Bazı çeliklerde, gerilmelerin sürekliliği sonucu ters bir etki oluşabilir ki bunu orta derecede bir ısıtma hızlandırır. Soğuk şekil verme sonucu çentik darbe tokluğundaki azalma yaklaşık olarak % 3'den fazla deformasyona uğradıktan sonra oluşur[3].

Bununla beraber, kalın levhaların daha ince bir kalınlığa haddelemeleri çentik sertliğini etkiler. Tekne çeliğinin deformasyon yaşılanması genellikle az görülmekte olup buna karşın gerekli önlemler, Bessemer çeliği deformasyon sonucu yaşılanmada

esnekliğinden çok kaybettiği için, bu tür çeliğin soğuk şekil verilmesi gerekli herhangi bir yapısal eleman için kullanılmaması şeklinde alınmalıdır. Bilhassa kalın levhalarda makasta kesilmiş kenarların düzeltilmesi buralardan herhangi bir çatlamanın başlaması olasılığını ortadan kaldırır[3].

2.8. Mekanik Özelliklerin Anizotropisi

Özelliklerin yöne bağımlılığına anizotropi denir. Metalik malzemelerde anizotropinin kristallografik anizotropi ve mekanik fiberleşme olmak üzere iki genel tipi vardır. Kristallografik anizotropi, plastik deformasyon ve tavlama ile meydana gelebilir. Plastik deformasyon sonucunda tanelerin kristallografik açıdan tercihli yönlenmesine deformasyon tekstürü, yeniden kristalleşme tavlama sonucunda tanelerin kristallografik tercihli yönlenmesine de tavlama tekstürü veya yeniden kristalleşme tekstürü denir. Mekanik fiberleşme ise plastik deformasyon sırasında, şekil değişiminin en fazla olduğu doğrultuda yani deformasyon yönünde ikinci fazın, mikro boşlukların ve kalıntıların yönlenmesi olup, anizotropik durum yaratır. Kristallografik anizotropi ve mekanik fiberleşme, özellikle çubuk veya sac halindeki malzemelerin mekanik özelliklerinin yöne bağlı olarak değişmesine sebep olur[3].

Çok kristalli metalik malzemelerde kristallografik tekstür, malzemenin elastisite modülünün, akma ve çekme mukavemetlerinin, sünekliğin ölçüldüğü yöne bağlı olarak değişmesini sonuçlar. Deformasyon tekstürünün akma gerilmesine etkisi çekme mukavemetinden daha fazladır. Deformasyon yönündeki akma gerilmesi, malzemenin kristallografik anizotropisine bağlı olarak deformasyona dik yöndeki akma gerilmesinden az veya fazla olabilir. Kristallografik anizotropinin karakteristiği, yassı metalik malzemelerde anizotropi katsayısı R ile belirlenir[3].

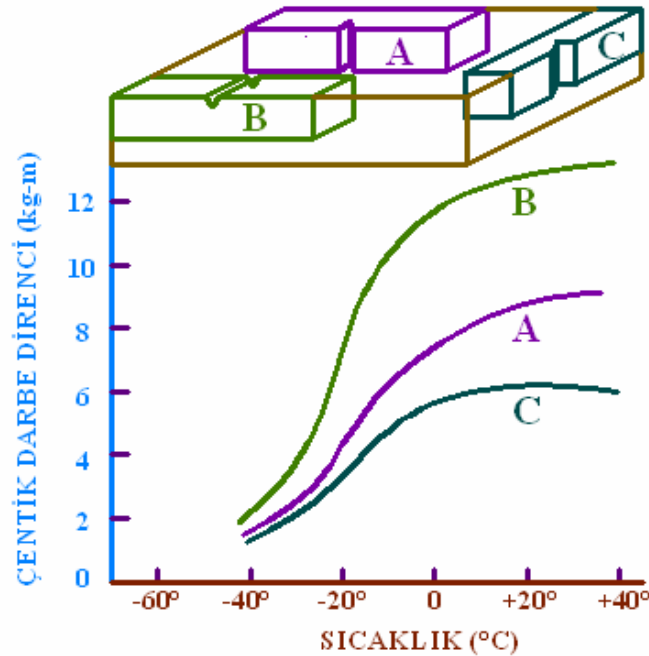
$$R = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} \quad (2.1)$$

ϵ_w = Genişlikteki birim şekil değiştirme

ϵ_t = Kalınlıktaki birim şekil değiştirme

Soğuk işlemden, kesit daralması % 20-30 civarında iken kristallografik tercihli yönelme x-ışınları ile saptanabilir. Bu durumda, deformasyon öncesi kristallografik olarak rastgele yönelmiş taneler, deformasyona uygun kayma ve ikizlenme sistemlerine bağlı olarak belirli kristallografik doğrularda tercihli yönelmeye başlamışlardır. Soğuk işlem deformasyon oranı arttıkça kristallografik tercihli yönelme de artar ve deformasyon oranı % 80-90'a ulaştığında kristallografik tekstür tamamlanmış durumdadır[3].

Deformasyon tekstürüne sahip soğuk işlenmiş bir malzemenin yeniden kristalleşmesi de genellikle kristallografik bir tercihli yönelme meydana getirir. Bu, tavlama tekstürü veya yeniden kristalleşme tekstürü olarak isimlendirilir. Tavlama tekstürü genellikle deformasyon tekstüründen farklı ve daha kuvvetlidir. Tavlama tekstürünü etkileyen en önemli faktör malzemenin tavlama öncesi sahip olduğu deformasyon tekstürüdür. Diğer faktörler; kimyasal bileşim, ilk tane boyutu, tanelerin kristallografik yönü, tavlama sıcaklığı ve zamanıdır. Genellikle yeniden kristalleşmiş yapıda küçük tane boyutunu oluşturan şartlar, yeniden kristalleşen tanelerin rastgele kristallografik yönelmesini de sağlar[3].



Şekil 2.2. Haddelenmiş numuneden farklı yönlerde alınmış çentik darbe numuneleri[3]

Haddelenmiş veya dövülmüş ürünlerdeki mekanik fiberleşme, mekanik özelliklerden kırılma enerjisini de önemli ölçüde etkiler. Haddelenmiş bir çelik levhada farklı yönlerde hazırlanmış çentik darbe numunelerinin farklı sıcaklıklardaki kırılma enerjileri Şekil 2.2’de görülmektedir. A ve B numuneleri haddeleme doğrultusunda, C numunesi ise haddelemeye dik yönde, levha genişliği boyunca hazırlanmıştır. Çentiğin levha genişliği yönünde açıldığı B numunesinde kırılma enerjisinin en fazla olması, mekanik fiberleşme sebebi ile tabakalar halinde üst üste bulunan farklı fazların çatlağı durdurucu rol oynaması sonucudur[3].

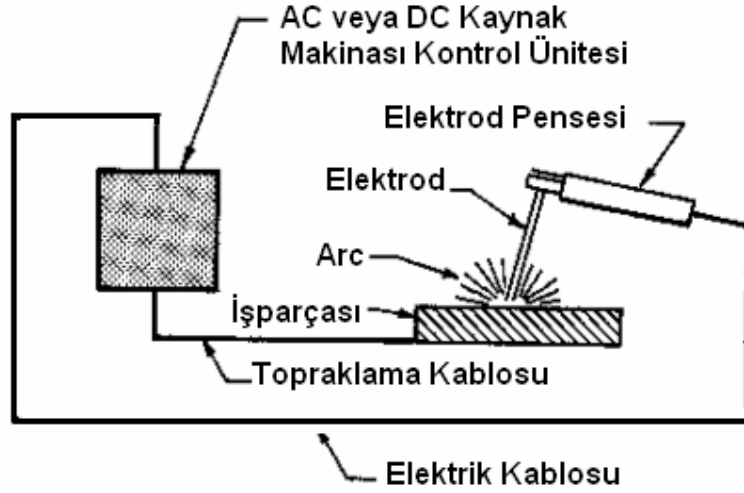
2.9. Kaynak Metalinin Çentik Darbe Tokluğu ve Darbe Geçiş Sıcaklığı

Değişik türdeki çeliklerin kullanılmasının başta gelen nedeni, yapının tipine, levha kalınlığına ve kullanım sıcaklığına bağlı olarak değişik çentik darbe tokluklarının istenmesidir. Belirgin kaynak parametrelerini ve kullanma yöntemlerini seçerek kaynakta ve ITAB bölgesinde kaynak metalinin en az çentik darbe tokluğu elde edilebilir. Bununla beraber yüksek ısı gerektiren kaynak işlemleri kullanıldığında, genellikle özelliklerinde yeniden bir kristalleşme oluşur[1].

Aynı şekilde büyük döküm parçalarının yerini alan kaynaklı yapılarda, MIG-MAG ve bazı çok telli tozaltı kaynak işlemleri çok pasolu kaynaklarla karşılaştırıldıklarında, çentik darbe tokluğunu azaltır. Çok yüksek çentik özelliklerinin istendiği yerlerde; tek pasolu kaynakların yokluğunda çok pasolu tozaltı kaynakları istenebilir. Bu bilhassa yüksek mukavemetli çelikleri ve düşük sıcaklıktaki servis şartları için kullanılacak çelikleri kaynatırken önemlidir. Darbeye karşı istekleri gittikçe artarken bilhassa -29 °C’nin altındaki sıcaklıklarda ve yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında, ana malzemenin çentik darbe özelliklerine uygun kaynak oluşturabilmek oldukça zor ve pahalı olmaktadır. Bazı tozaltı kaynak işlemlerinde istenilen çentik darbe özelliklerini elde edebilecek olan yöntemler henüz geliştirilmiştir[1].

BÖLÜM 3. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI

Elektrik ark kaynağında, genellikle pozitif kutuplama yapılarak örtülü elektrod pozitif kutba bağlanır ve topraklama kablosuda negatif kutba bağlanarak sisteme uygulanan gerilimle, elektrod üzerinden akım geçişi sağlanır. Yatay karakterislikli kaynak makinaları kullanılan örtülü elektrodalarda akım sabit iken, gerilim değişkendir. Örtülü elektrodların kullanıldığı yöntemde genellikle bazik karakterli elektrod kullanılır. Elektrik ark kaynağının çalışma prensibi Şekil 3.1’de verilmektedir[4].

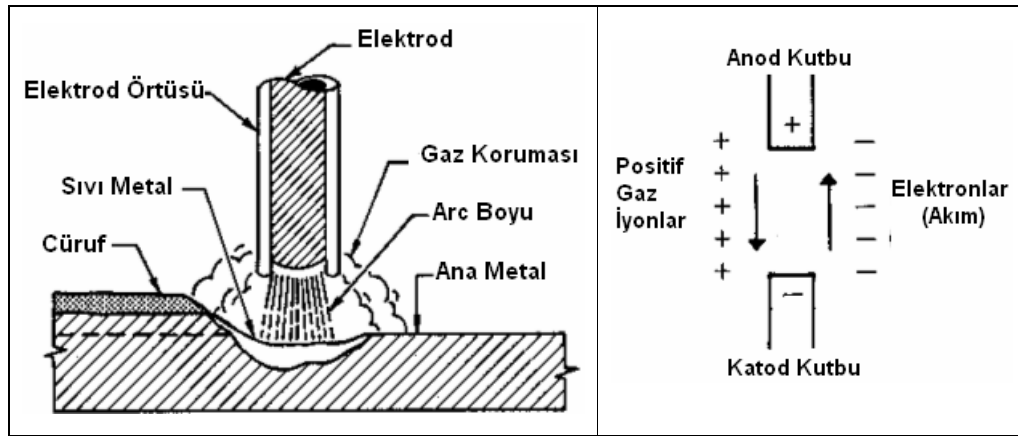


Şekil 3.1. Elektrik ark kaynağı çalışma prensibi [4]

Kaynaklı bağlantı için gerekli ısı, elektrod ile iş parçası arasında oluşturulan ark vasıtasıyla sağlanır. Ark kızgın bir katottan yayılan elektronların yüksek hızla anot kutbunu bombardıman etmesi neticesinde, nötr moleküllerin iyonize olup yüksek bir ısı enerjisi meydana getirir. Bu duruma ark denilir ve enerjinin % 85’i ısı % 15’i de ışık enerjisine dönüşür. Ark boyu elektrodun ucu ile metal arasında meydana gelen arkın yüksekliği olarak tanımlanır[4].

Amerikan Kaynak Birliği (AWS)'e göre elektrod ark kaynak yöntemleri; Oksi-asetilen kaynağı, Elektrik ark kaynağı, MIG-MAG kaynağı, Tozaltı ark kaynağı, TIG kaynağı, Plazma ark kaynağı, Direnç kaynağı, Elektron hüzme kaynağı, Elektrocuruf kaynağı, Katı faz kaynağı, Dfzyon kaynağı ve Patlatmalı kaynak olarak sınıflandırılmıştır [5].

Elektrik ark kaynağında arkın oluşumu ve kaynak esnasında oluşan reaksiyonlar Şekil 3.2 'de verilmektedir [6].

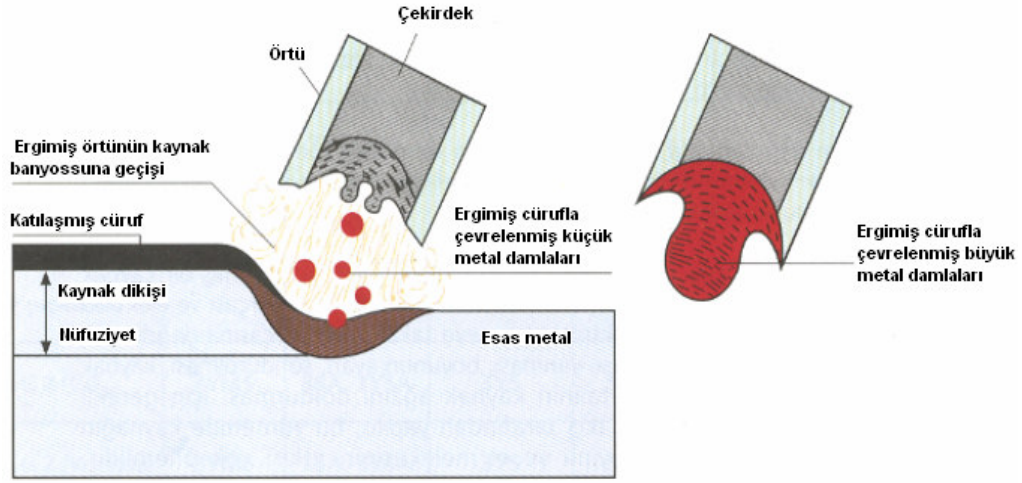


Şekil 3.2. Elektrik ark oluşumu ve kaynak [6]

3.2. Elektrodun Ergimesi Sırasında Oluşan Damlacık Teorisi

Kaynak yapılırken oluşan yüksek sıcaklıkla elektrodun ucu ergiyerek kaynak banyosuna damlacıklar halinde düşer. Ergiyen damlacıklar iri, orta ve ince çapta olmaktadır. Ark boyu, elektrodun ucu ile metal arasında meydana gelen arkın yüksekliliği olarak tanımlanır. Ark akımı kaynak yaparken kattotta açığa çıkan elektronların anot kutbuna doğru hareketi sırasındaki elektron hızına, kaynak akımı denilir. Kaynak akımı arttıkaa, nüfuziyet derinliği de artar. Akım birim zaman içerisinde iletkenin geçen elektron miktarına denilir. Birimi AMPER'dir. Doğru, alternatif ve pulslu akım olarak isimlendirilirler. Gerilim, elektrik devresinde herhangi iki nokta arasında akım geçebilmesi için, bu noktalar arasında bir elektrik seviye farkının, yani potansiyel farkının bulunması gerekir. Bu farka gerilim denilir ve birimi voltur[6].

Kaynak metalinin ergimesi esnasında oluşan damlacıklar Şekil 3.3.'de gösterilmektedir[6].



Şekil 3.3. Kaynak esnasında damlacıkların oluşumu [6]

Ark üflemesi; elektrodan elektrik akımı geçtiği zaman etrafında manyetik alan oluşur ve kuvvet hatları elektrodun yakınında sıklaşır. arkta iletken olduğu için bir manyetik alan oluşur. bu manyetik alanda arkta bir oynama meydana getirir [6].

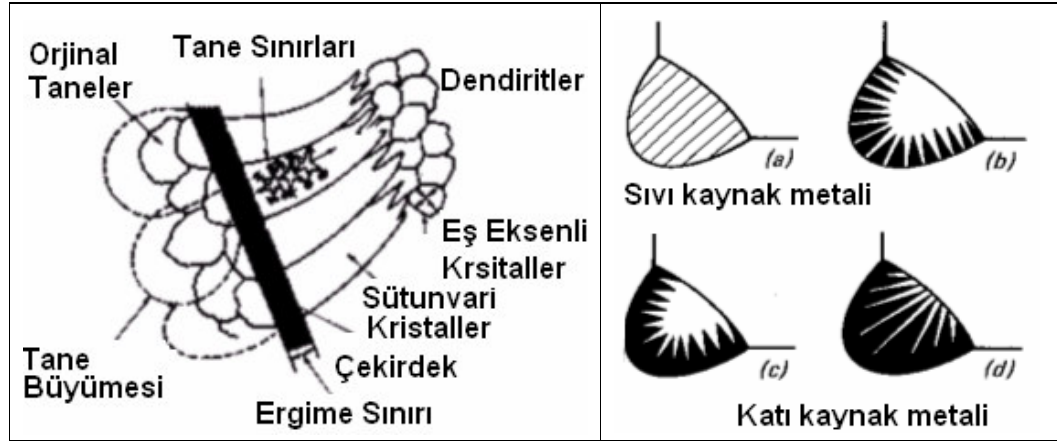
Ark üflemesinin olumsuz etkileri :

- 1) Kaynak kalitesini bozar.
- 2) Oluk oluşumuna sebebiyet verir.
- 3) Sıçramayı arttırır.
- 4) Poroziteye neden olur, nüfuziyetsizliğe sebep olur.

3.3. Kaynak Banyosunun Katılaşması

Ergitme kaynaklarında dökümden farklı olarak, aşırı ısıtılmış kaynak metali ana malzemenin ergime yüzeyleri üzerine yığılır ve hızlı bir şekilde soğumaya başlar. Kaynak banyosu içinde soğuma esnasında, önce ısının çekildiği yöne paralel doğrultuda kolonsal şekilli tanecikler oluşur. Bunlar, katılaşmadan ve birbirlerine değip tane sınırları oluşturmadan önce, soğuma yönüne bağlı olarak kolonlar üzerinde bir takım dallar oluşur ve çam ağacını andıran bu yapılara dendirit adı verilir [7].

Dendritlerin dalları katılaşıp birbirlerine değeri ve bu şekilde taneler oluşur. Bu olay, dendritik büyüme olarak adlandırılır. Şayet ısı dağılımı çok hızlı değerse, gaz kaynağı veya elektro-cüruf kaynağında olduğu gibi, kolonsal şekilli taneler azalır. Ezilmiş şekilli ve kaynağın merkezine eşit eksenli, taneler oluşabilir. Eşit eksenli taneler, aynı ölçüde eksenlere sahiptirler ve küreye benzerler. Kaynak metalinin soğuması esnasında oluşan içyapılar Şekil 3.4'de gösterilmektedir[7].



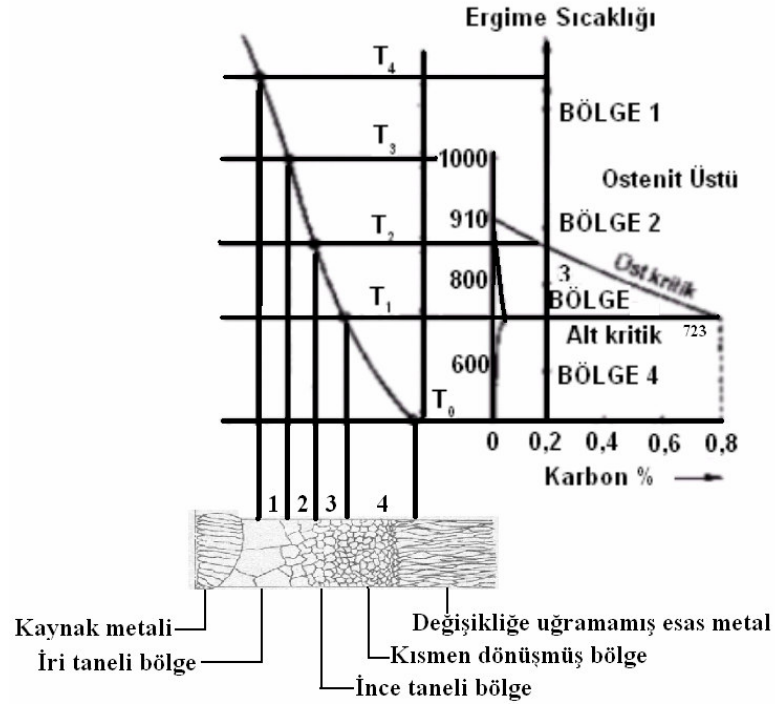
Şekil 3.4. Kaynak metalinin soğuması esnasında oluşan içyapılar [7]

Kaynağın kenarında oluşan ısının tesiri altında kalan bölgenin (ITAB) genişliği ise; kaynak yöntemine, ısı girdisine, sıcaklık, esas metalin iletkenliği ve ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak değerişir. Karbon ve yüksek mangan, içeren çeliklerde karbon miktarı, ITAB bölgesinde sertliğin artmasına neden olur. Ayrıca kaynağın hızlı soğutulması kaynağın çatlamasına neden olur[7].

3.4. Kaynaktan Sonra Oluşan İçyapılar

a) İri Taneli Bölge : Kaynağın hemen yakınında bulunan ve kaynak esnasında 1450⁰C ile 1200⁰C arasındaki sıcaklığa maruz kalan bölgedir. Çeliğin bileşimine ve soğuma hızına göre martenzitik veya temperlenmiş martenzitik yapı görülür. Bu bölge en yüksek sertliğe sahiptir. Bu bölge, iri taneli olup gevrek, yüksek çentik hassasiyetine ve düşük bir uzamaya sahiptir[7].

Kaynak metalinin soğuması esnasında ITAB bölgesinde oluşan tane yapıları Şekil 3.5’de görülmektedir [7].



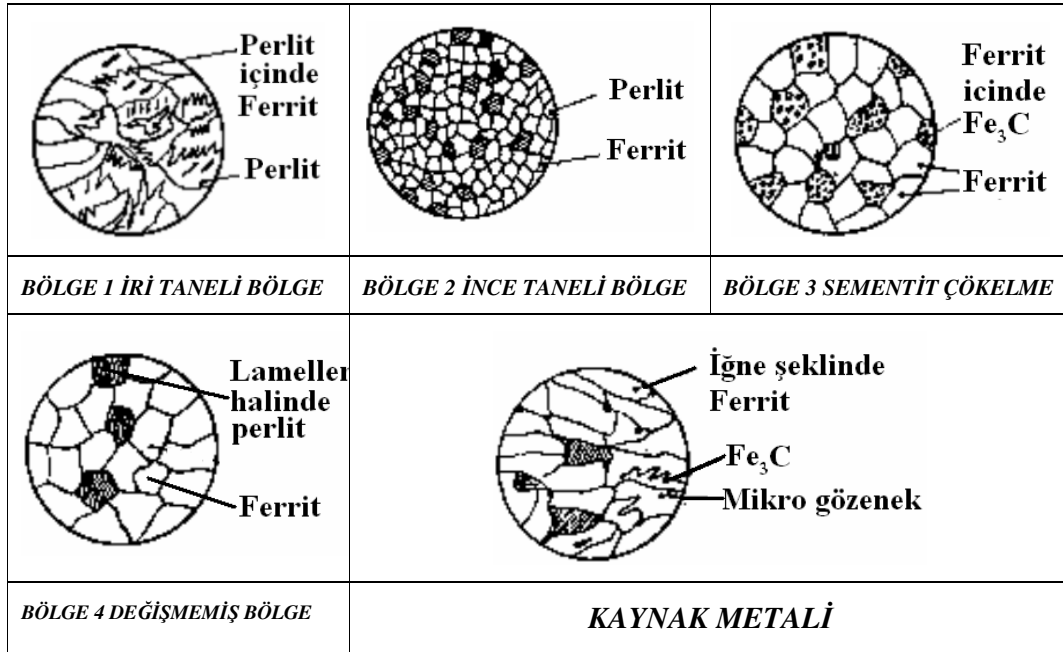
Şekil 3.5. Kaynak metalinin soğuması esnasında ITAB bölgesinde oluşan tane yapıları [7]

b) İnce Taneli Bölge: Kaynak yapılırken 1200°C ile 900°C arasındaki bir sıcaklığa erişen bölgedir. İç yapı bakımından birinci bölgeye benzer bir yapıdadır. Fakat daha ince taneli bir yapı oluşur. Bu bölgenin tokluğu yüksektir ve tane boyutundan ötürü uzama ve çekme dayanımları diğer bölgelerden daha fazladır[7].

c) Kısmen Dönüşüme Uğramış Bölge : İnce taneli bölgenin devamı olup, kaynak sırasında a_3 ile a_1 arasındaki bir sıcaklığa maruz kalmaktadır. Kaynaktan oluşan sıcaklık, metali, alt kritik noktanın üzerine çıkarmak için yeterlidir. Bu sıcaklıkta ferrit değişmeden kalır, fakat perlit ostenit içinde erir. Bu yapı iyi uzama verir[7].

d) İç Yapı Değişimine Uğramamış veya Temperlenmiş Bölge: Bu bölgenin sıcaklığı, kaynak esnasında Fe-C denge diyagramında A_1 noktasının altında bulunur ve genellikle iç yapı değişime uğramamıştır[7].

Kaynak edilebilirlik malzemeye hiçbir ön tavlama gerektirmeden ve özel önlemler almadan malzemelerin kaynak edilmesi, kaynak kabiliyetinin yüksek olduğunu gösterir. İlave metal (elektrod) ile esas metal karıştığı zaman oluşan kaynak metalinin kırılmaya karşı uygun bileşimde olması gerekir. Kaynak metali ve ITAB bölgesinde oluşan mikroyapılar Şekil 3.6'da gösterilmektedir[7].



Şekil 3.6. Kaynak metali ve ITAB'ta görülen mikroyapılar [7]

Bütün ergitme kaynak yöntemlerinde özellikle, elektrik ark kaynağında soğuma hızı; sertleşme meyli fazla olan çeliklerde, gereken önlemler alınmadığı zaman, ITAB bölgesinde, martenzit oluşumunu sağlayacak şiddettedir. Kaynak metali için yani ergime bölgesi için böyle bir tehlike yoktur; zira elektrod üreticileri tarafından, kaynak metalinin bileşimi, hızlı soğuma halinde dahi sertleşme oluşturmayacak şekilde ayarlanmıştır. ITAB bölgesinde sert ve kırılğan bir yapının ortaya çıkması, soğuk çatlakların oluşmasına neden olmaktadır. Kaynaktan sonra ortaya çıkan iç gerilmelerin, çalışma şartlarındaki zorlamaların ve kaynak banyosunun yayılan hidrojenin etkilerinin birbiri üzerine çalışması ve sertleşen bölgenin plastik şekil değiştirme özelliğinin olması nedeni ile kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Genellikle yüzeyden görülmeyen bu çatlaklar zamanla kritik büyüklüğe erişince hiç

beklenmedik bir anda ve büyük bir hızla parçanın kaynak dikişine paralel olarak boydan boya kırılmasına neden olur[8].

Kaynakta çeliğin sertleşme eğilimini belirten bir değer sayısının bulunması ve bununla çeliğin bileşimine dayanarak, kaynak kabiliyetini belirten bir formülün elde edilmesi için birçok çalışmalar yapılmış ve alaşım elementlerinin verdiği sertleşmeye eş değerde sertliği sağlayan karbon miktarı saptanmıştır. Karbon eşdeğeri büyüdükçe kaynaktan sonra soğumanın yavaşlatılması gerekmektedir. Bunun için de tek çözüm parçaya kaynaktan önce bir öntavlama uygulanarak soğuma hızını yavaşlatmaktadır. Karbon eşdeğerine bağlı olarak öntavlama sıcaklıkları saptaması Tablo 3.1’de verilmiştir[8].

$$\% \text{Ceş} = \% \text{C} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{(\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V})}{5} + \frac{(\text{Ni} + \text{Cu})}{15} \quad (3.1.)$$

Tablo 3.1. Karbon eşdeğerliğine göre öntav sıcaklıklarının belirlenmesi [8]

| KARBON EŞDEĞERLİĞİ | ÖN TAVLAMA SICAKLIĞI |
|---------------------------|--------------------------------|
| 0,45’e kadar | Gerek yok |
| 0,45 – 0,60 | 100 ile 200 °C arasında |
| 0,60’dan büyük | 200 ile 350 °C arasında |

Milletlerarası Kaynak Enstitüsü’nün Kaynak Kabiliyeti Komisyonu çatlamaya karşı bir emniyet olarak ITAB bölgesinde sertliğin 350 VSD’yi aşmamasını önemle tavsiye etmektedir. ITAB bölgesi sertliğini düşürmek için uygulanan en güvenli yol kaynaktan önce tavlama ve bu sıcaklık dercesinde kaynağı yapmaktır. Bu şekilde soğuma hızı kritik soğuma hızı da, kritik soğuma hızından daha yavaş bir hıza düşürülmektedir. Kaynaktan sonrada normalizasyon tavlaması yapılırsa ITAB bölgesinde martenzite rastlanmaz[8].

3.5. Elektrik Ark Kaynağında Kullanılan Elektrodlar

Elektrik ark kaynağında kullanılan elektrodların bir grubu sadece ark oluşturmak diğer bir grubu ise hem ark hem de ilave dolgu metalini sağlamak amacıyla üretilir. Bu bakımdan kaynak yönteminde kullanılan elektrodları ergiyen ve ergimeyen elektrodlar olmak üzere iki ana grup altında toplamak mümkündür. Ergimeyen elektrodlar sadece arkı oluşturmak için kullanılır, gerekli hallerde kaynak metali bir tel çubuk halinde oksii-asetilen kaynak yönteminde olduğu gibi, kaynak bölgesine dışarıdan katılır. Elektrik ark kaynağında bu tür elektrodlar karbondan ve tungstenen yapılır. Tungsten ve wolfram elektrodlar TIG-WIG kaynak yönteminde kullanılır[9].

Ergiyen elektrodlar hem arkın oluşmasına hem de ergiyerek gerekli kaynak metalini sağlar. Örtüsüz ve örtülü olmak üzere bunlarda ikiye ayrılır. Örtüsüz elektrodların dış yüzeyleri çıplaktır. Bunlar, çekme veya haddeleme suretiyle elde edilen tellerden ibarettir. Örtüsüz elektrodlar da kendi bünyelerinde çıplak elektrodlar ve özlü elektrodlar olarak ayrılırlar[9].

Çıplak elektrodlarla kaynak yaparken dikişii havanın oksijen ve azotunun tesirinden korumak mümkün değildir. Azot, kaynak dikişinin mukavemetini ve sertliğini arttırmasına rağmen, sünekliliğini düşürür. Oksijende dikişin mekanik özelliklerini kötüleştirir ve alaşım elemanlarının yanmasına neden olur. Böylece dikişin şekil değıştirme kabiliyeti azalır. İri damlalar halinde ergir ve nüfuziyeti azdır. Yalnız doğru akım da elektrot negatif kutba bağlanarak kaynak yapılır[9].

Özlü elektrodların ise çekirdeğinde arkı stabilize eden bazı organik maddelerle doldurulmuş bir öz vardır. Bundan ötürü bu tip elektrodlarla metalik çekirdeği bulunmayan elektrodlar denilir. Öz maddesinin yanmasıyla meydana gelen gaz atmosferi, dikişii kısmen örter. Kaynak hem doğru akımla hem de alternatif akımda yapılabilir[9].

Örtülü elektrotlar ilk defa 1908 yılında üretilen örtülü elektrotlarda çıplak kaynak telinin üzerine sarma, daldırma ve ekstrüzyon ile geçirilmiş bir örtü maddesi

vardır. Kaynak sırasında yanan örtünün oluşturduğu gaz kaynak yerini korur ve eriyen örtü dikişi bir cüruf tabakasıyla sarar ve yavaş soğur [9].

3.5.1. Bazik elektrodların özellikleri ve kullanım yerleri

Bazik karakterli elektrodların örtüsünde kalsiyum ve diğer toprak alkali metallerin karbonatları ile bir miktarda kalsiyum flüorür bulunur. Özellikle kalın örtülü olarak üretilirler. Kaynak sırasında metal orta irilikte damlalar halinde geçer. Cüruf kahverengiden siyaha kadar değişen bir renk taşır. Cürufun katılma aralığı 1150 °C ile 1170 °C arasında olup, kalkması diğer elektrodla nazaran daha güçtür [10].

Bazik elektrotlar genel olarak doğru akımda pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılır, bazı türleri alternatif akımda da kullanılabilir. Ancak bunları örtülerinde potasyum bileşiklerinin olması gereklidir. Bazik elektrotlar bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. Aralık doldurma yetenekleri çok iyidir ve bu elektrodların mekanik özellikleri diğer elektrodlardan daha yüksektir. Bazik elektrodlar 0 °C nin altında bile sünekliği gayet iyi dikişler verir [10].

Genel olarak bazik elektrodların örtüsünün terkinde hidrojen teşkil edecek bir madde bulunmadığından, dikişin absorbe ettiği hidrojen miktarı çok azdır. Bağlayıcı madde olarak kullanılan silikatın içinde kalabilecek herhangi bir rutubet kalıntısının bertaraf edilmesi içinde bu elektrodlar ayrıca 400-500 °Clik bir pişirme işlemine tabii tutulur. Özellikle hidrojenin, kaynak dikişinin geçiş bölgelerinde ince çatlaklar meydana getirdiği dikkate alınır, bertaraf edilmesi bakımından, bazik elektrodların kullanılması büyük bir önem taşır [10].

Bazik elektrodların örtüsünde bulunan CaCO₃ kaynakta ayrışarak CaO cürufa geçer ve CO₂ de gazları kaynak yerinden uzaklaştırır. Bazik elektrodlar: bütün kaynak pozisyonları için uygun olan bazik karakterli örtülü elektrodların kullanıldıkları başlıca yerleri; çatlama olasılığını azaltmak bakımından kalın kesitli parçalarında kaynağında farklı çeliklerin kaynakla birleştirmelerinde, 0 °C'nin altındaki sıcaklık derecelerinde çalışan makine, donanım ve yapılarının kaynağında dinamik

zorlanmalara yüksek dayanım istenen kaynaklarda, eşit konstrüksiyonların kaynağında kullanılır[10].

3.5.2. Rutil elektrotların özellikleri ve kullanım yerleri

Örtü ağırlığının % 35 ini titanyumdioksit oluşturur. Kalanı feldispat, kuartz, az miktarda selüloz ve ferromangan, bağlayıcı olarakta sodyum ve potasyum silikat bulunur. Örtüsü esnektir, kıvrılabilir, nüfuziyeti oldukça derindir. İnce, orta ve kalın örtülü imal edilirler. Örtü kalınlığı arttıkça dikiş kalitesi ve mekanik özellikler artar. Cüruf rengi kahverengiden siyaha kadar değişir, cüruf sıkı ve gözenekli olur ve kolay kalker[10].

Hem doğru akım hem de alternatif akımda kaynak yapılabilir. Yumuşak bir ark ile sakin çalışma sağlar, sıçrama azdır. Ergiyen madde geçişi; ince örtüde-kalın damlacıklar halinde, orta örtüde-orta damlacıklar halinde, kalın örtüde-ince damlacıklar halinde olur. Rutil elektrodlar hem doğru (negatif kutupta) hem de alternatif akımda kaynak yapılır. Kaynak işlemi kolay olduğu için acemi kaynakçılar bile rahatlıkla bu elektrodla kaynak yapabilir. Kullanım yerleri: mukavemet özellik istenmeyen dolgu ve tamir kaynaklarında, puntalama işlerinde ve demir doğrama işlerinde kullanılır [10].

3.5.3. Demirtozlu elektrotların özellikleri ve kullanım yerleri

Bu elektrodların örtüsünün büyük bir kısmını demiroksit ($60\% \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_3\text{O}_4$) teşkil eder. Kalın örtülü olarak imal edilir. Kaynak esnasında metalin geçişi damladan ziyade bir akış halindedir. Düz görünüşlü dikişler verir. Kaynak esnasında kuvvetli bir karbon ve manganez yanması meydana gelir. Bunun için dikişin ihtiva ettiği manganez miktarı pek azdır. Yalnız düşük karbonlu alaşımsız çeliklerin kaynağında kullanılır ve yatay, oluk pozisyonunda kaynak yapılır. Hem doğru hem de alternatif akımda çalışılması mümkündür. Aralık doldurma kabiliyeti kötü olduğundan, birleştirilecek parçaların birbirine iyice uyması gerekir[11].

Oksit karakterli elektrodlarla temin edilen dikişlerin sıcakta çatlama meyili diğer elektrodlara nazaran daha fazladır. Bu elektrodlar, ancak güzel ve düz görünüşlü dikişler istendiği zaman tavsiye edilir. İç köşe dikişlerinde iç bükey dikiş formu verir[11].

3.5.4. Selülozik elektrotların özellikleri ve kullanım yerleri

Selülozik karakterli elektrodların örtüsünde, yandığı zaman gaz haline geçen organik maddeler bulunur. Örtü ağırlığının % 30 unu selüloz teşkil eder. Özellikle kalın örtülü olarak imal edilir. Eriyen metalin geçişi orta irilikte damlalar halindedir. Kaynaktan sonra dikişin üzerinde oluşan cüruf miktarı azdır. Sıçrama kaybı yüksektir. Bu elektrodlar doğru akımda pozitif kutba bağlanarak veya alternatif akımda kullanılır [11].

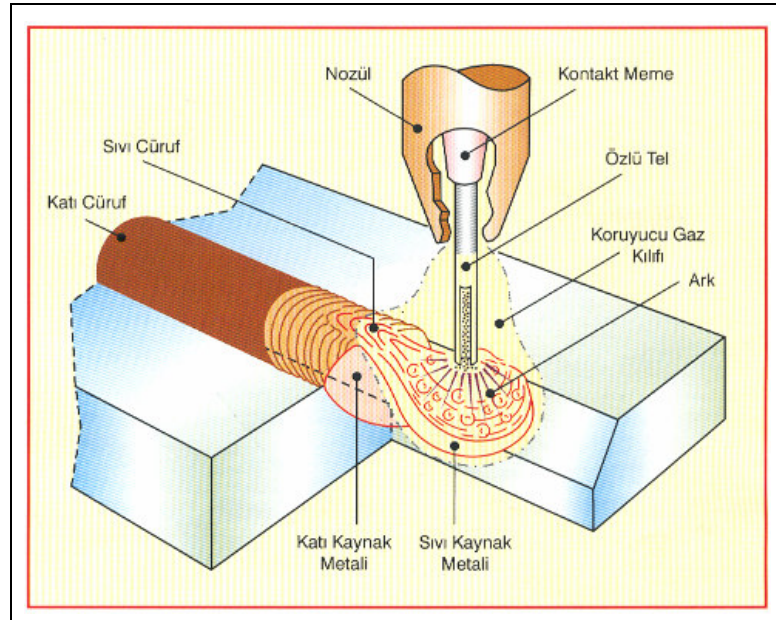
Her pozisyonda kaynak işlemi için kullanılır. Örtüye katılan manganez yardımıyla, kaynak esnasında oksitlenerek kaybolan manganezin tamamlanmasını sağlar. Örtüde en fazla % 5 nem olmalıdır. Aralık doldurma kabiliyeti ve nüfuziyeti iyidir. İç köşe dikişlerde dışbükey bir dikiş formu verir [11].

Selülozik elektrodların uygulamada; petrol ürünleri, doğalgaz ve su gibi sıvı ve gazların naklinde kullanılan büyük çaplı boru hatlarının yapımında, gemi tank, kazan, çelik konstrüksiyonlarda kök ve dolgu pasoları için kullanılır. Tüm kaynak pozisyonlarında derin nüfuziyetli dikişler verir [11].

Özellikle yukarıdan aşağıya pozisyon için uygundur, örtülerinde % 10 dan fazla yanabilen organik madde, ağaç ve pamuk selülozu, tabii silikatlar redükleyici ferro alaşımlar ihtiva eder. Kaynak esnasında selüloz gayet iyi bir koruyucu gaz atmosferi oluşturur. İnce örtülü olarak üretilenlerde cürufun damlacıklara koruyucu etkisi azdır[11].

BÖLÜM 4 . MIG-MAG KAYNAK YÖNTEMLERİ

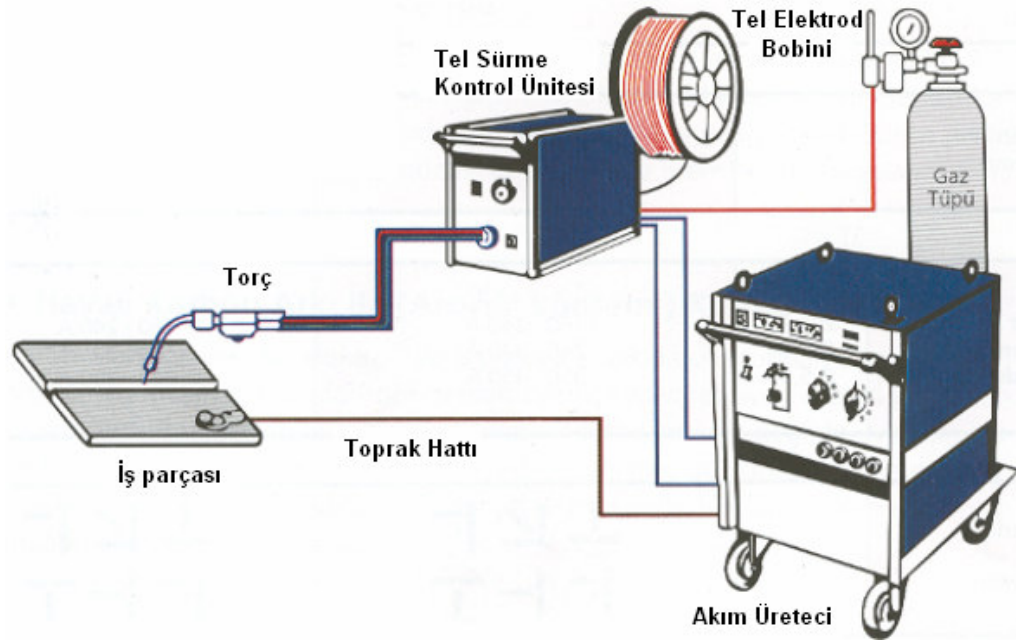
MIG-MAG kaynağında “uçsuz” elektrod bir tel iletme mekanizması yardımıyla tel sürme makarasından akım kontak borusuna gelir. Serbest tel ucu nisbeten kısadır. Böylece ince elektroda yüksek akım şiddeti ($> 100 \text{ A/mm}^2$) uygulanabilir. Kaynak makinasının kutuplarından biri elektroda (+ kutup) diğeri de parçaya bağlanır. Böylece ark, eriyen elektrod ile parça arasında yanar. Elektrod aynı anda hem enerji taşıyıcı ve hem de kaynak ilave metali görevi yapar. Koruyucu gaz elektrodun eşeksensli olarak bulunduğu bir memeden akar ve arkı, eriyen damlaları ve arkın altındaki erimiş banyoyu atmosferin etkisinden korur. MIG-MAG kaynak yönteminin prensip şeması Şekil 4.1.’de görülmektedir[12].



Şekil 4.1. MIG-MAG kaynak yöntemi [12]

Gazaltı kaynağında, ark gerilimi, kaynak akımı, erimiş metali havanın olumsuz etkisinden korumak için gaz debisi ayarlanabilmektedir [12].

Yalnız bunlar bir boru şeklinde üretilmiş ve içlerinde öz diye adlandırılan arkın stabilizasyonunu ve kaynak metalinin alaşımınmasını sağlayan bir madde vardır. Özün yanmasıyla oluşan gaz dolayısıyla bu elektrotlarda havanın kaynak banyosuna olumsuz etkisi daha azdır. Özlü elektrotların çubuk halinde olanları ancak bazı özel sert dolgu işlemleri için genellikle bugün MIG-MAG yöntemleri için çok çeşitli türde makaraya sarılı tel halinde özlü tel üretimi yaygındır. Özlü telle elektrod ark kaynağı, her şeyden önce bir ark kaynak yöntemidir ve sürekli bir ilave metal elektrod ile kaynak banyosu arasında ark oluşturulması esnasına dayanır. Bir koruyucu gaz örtüsünün altında ve tüp şeklindeki elektrodun içindeki tozdan oluşan bir örtü korumasıyla birlikte uygulanır MIG-MAG kaynak yöntemi çalışma prensibi Şekil 4.2’de verilmektedir [13].



Şekil.4.2. MIG-MAG kaynak yöntemi çalışma prensipleri [13]

Özlü tel elektrodla ark kaynağı diğer ark kaynak yöntemlerinden ayıran özellik cüruf yapan maddelerin, sürekli beslenen bir tel elektrod içinde olmasıdır. Elektrod içinde çeşitli toz malzeme bulunan metal bir tüp formunda kompozit bir ilave metaldir. Kaynak sırasında kaynak metalinin yüzeyini yoğun bir cüruf tabakası kaplar [13].

Özlu telle ark kaynağı üstünlüğü, üç genel özelliği birleştirmesinde yatmaktadır.

- a) Sürekli telle kaynağın verimliliği.
- b) Bir cürufun varlığıyla elde edilen metalurjik üstünlükler (deoksidasyon, alaşımlandırma v.s.) ve kaynak banyosunu koruyan ve şekillendiren cüruf .

İlave gaz korumalı özlu telle ark kaynağında koruyucu gaz erimiş metali havanın azot ve oksijeninden korumak üzere arkın ve kaynak banyosunun üzerinde bir örtü oluşturmaktadır. Azot havadan kaynak metaline böylece ulaşamaz [12].

Ancak karbondioksidin ayrışması sırasında oksijen açığa çıktığından koruyucu gaz örtüsünde bir miktar oksijen bulunmaktadır. Elektrodların bileşimleri, gaz örtüsünde bir miktar oksijen bulundurmaktadır. Bu özellik hafif metallerin kaynak yapılabilmesi ve kökte aralık doldurma kabiliyetini artmasını sağlar. Eğer ark boyu ve kaynak akımı (kaynak makinasında daha yüksek ark gerilimini ayarlayarak ve tel besleme hızının arttırarak) korunabilirse, daha büyük serbest elektrod boyu, kaynak metali yığıma miktarında artırır[12].

4.2. Özlu Telin Üretimi ve Kullanımda Sağladığı Avantajlar

Özlu teller, tozun oranı ve bu tozun cinsine göre sınıflandırılırlar. Kullanılacakları yerlere ve imal sürecine göre özlu teller % 13 - % 20 toz içerirler. Bu toz genellikle bazik, asit veya rutil tipten olur ve yumuşak yarı sert, düşük ve yüksek alaşımlı her bir çeliğin birleştirme kaynağı için özlu teller mevcuttur. Deoksidan elementlerin oranı uygun düzeyde tutarak paslı saclar üzerinde de mükemmel kaynaklar elde etmek mümkündür. Özlu telin üretim şeması Şekil 4.3'de görülmektedir[14].

Bir özlu tel elektrodun özünün yerine getirmesi gereken hususlar şunlardır :

- a) Kimyasal bileşimi ayarlayarak kaynak metalinin mekanik, metalurjik ve korozyona dayanıklılık özelliklerini sağlamak.
- b) Erimiş metali havanın oksijeninden ve azotundan koruyarak kaynak metalinin hatasız olmasını sağlamak.

- c) Kaynak metalindeki yabancı maddeleri cüruf yapıcı reaksiyonlarla bertaraf etmek.
- d) Katılaşmakta olan metali korumak ve farklı kaynak pozisyonlarında dikişin görüşünü ve şeklini kontrol üzere bir cüruf örtüsü oluşturmak.
- e) Sıçramaları azaltmak ve üniform olarak yığılmış, uygun boyutlarda dikişler oluşturmak üzere, arkı düzgün bir elektriksel hat sağlayacak şekilde stabilize etmek.



Şekil 4.3. Özlü tel üretim şeması [14]

Gelişen kaynak teknoloji ve otomasyon sistemlerine paralel olarak ilave tel elektrodarda da solid tele nazaran daha yüksek dolgu verimi sağlayan, sıçrama kayıpları az olan, kaynakçı tarafından kullanımı kolay olan, yüksek kaynak

akımlarında ve kaynak hızlarında çalışmaya imkan tanıyan özlü tel bulunmuştur. Özlü telin içerdiği özün tipine göre bazik, metal ve rutil karakterli olmak üzere 3 çeşidi bulunmaktadır. Bazik karakterli özlü tel sağladıkları yüksek mekanik özellikler nedeniyle ince taneli ve yüksek dayanımlı çeliklerin kullanıldığı konstrüksiyonlardaki kaynak işlemlerinde kullanılır. Metal karakterli özlü tel ise, spreyc ark modunda ve yatay pozisyonda gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde yüksek yığılma hızı sağlar. Bu gruba giren özlü teller çok az sıçrama yaparlar ve kaynak dikişi üzerinde cüruf oluşturmazlar. Rutil karakterli özlü teller; yumuşak ark karakteristiği, yüksek kaynak kabiliyeti, kolay cüruf kalkışı ve güzel bir dikiş görüntüsü sağlarlar[15].

Hemen hemen bütün eritme kaynak yöntemlerinin uygulama alanı bulunduğu gemi inşaa endüstrisinde de MIG-MAG yöntemi günümüzde önemli bir yere sahiptir. Örtülü elektrodla nazaran daha yüksek ergime gücüne, diğer tel sürme tertibatlı yöntemlere göre de her pozisyonda uygulanabilme özelliğine sahiptir. Son yıllarda taşınabilir tel sürme tertibatları sayesinde kaynakçı gemi içerisinde daha kolay hareket ederek, en zor pozisyonlardaki kaynakları dahi MIG-MAG yöntemi ile yapabilmektedir. Elektrod kayıplarının sürekli gelen tel nedeniyle az olması, kaynak hızı fazla olduğu için malzemede oluşan (en az ısı girdisi maksimum kaynak metali yığılabildiğinden) çarpılma (deformasyonlar), kendini çekme ve artık gerilmeler bu yöntem sayesinde asgariye indirilmiştir[16].

Gelişmiş olan Japon Tersanelerinin kaynak prosesleri arasında en yoğun kullanım alanına sahip yöntem MIG-MAG kaynak yöntemidir. Bu yöntemin özellikle robotik ve tam-otomasyon panel hatlarına kolaylıkla uygulanması, tek taraflı seramik altlıklarda, BUG-O sistemle full-otomatik borda kaynaklarında profillerin tandem veya twin yöntemleriyle köşe kaynaklarında , bordo eklerinin sabit ve rijit raylar üzerinde tam-otomatik kaynaklarında, kızaktaki yan duvar-perde, yan duvar eklerinde yoğun olarak kullanılan kaynak yöntemidir. Bu yöntem ilk kullanılmaya başlanıldığında solid (masif) gazaltı telleri kullanılmaktaydı[16].

Ergitme kaynaklarında kaynak banyosunun, gaz, cüruf, vakum veya kendinden korumalı yöntemlerle koruması sağlanmakta olup her yöntemin sağladığı koruma

seviyesi de farklı olmaktadır. Bu yöntemlerde kaynak bölgesine gelen sürekli ilave metal sebebiyle daha az kararlı ark oluşumu veya yüksek ark boşluğu nedenleriyle koruyucu gaz, koruma etkisini tam olarak yerine getiremez. Yüksek ısı girdisi sebebiyle kaynak banyosu ile ark arasında elektro ve termo-kimyasal reaksiyonlar meydana gelmekte ve reaksiyon sonucunda meydana gelen hidrojen, oksijen ve azot gazlarının kaynak banyosunda hapsolması bağlantının mekanik özelliklerini düşürmektedir. Bu tür oluşumları engelleyerek başarılı bir kaynaklı bağlantı elde edebilmek için, uygun kaynak yöntemi ve koruma gazı seçmek, atmosfer gazlarının koruma gazlarının içerisine girmesini engellemek, hidrojen oluşturan kaynakları engellemek gibi bazı tedbirlerle kaynak banyosunun tamamen korunması, ancak kontrollü bir atmosfer ortamı oluşturarak sağlanabilir[17].

4.3. MIG-MAG Yönteminin Karakteristikleri

4.3.1. Kaynak akımı

Kaynak akımı, belirli bir elektrod çapı, bileşimi ve serbest elektrod boyu (kontakt borusu mesafesi) için elektrod ilerleme hızı ile orantılıdır. Uygun ölçüde bir sabit gerilimli akım üretici, belirli bir ark geriliminde (ark boyunda) elektrodu belirli bir hızda eritir. Belirli bir elektrod çapı için diğer kaynak parametreleri sabitse, kaynak akımının değiştirilmesi aşağıdaki temel etkileri yapar[12].

- a) Kaynak akımının artırılması, elektrod yağma hızını artırır.
- b) Kaynakta akımının artırılması, nüfuziyetleri artırır.
- c) Aşırı kaynak akımı, sıg nüfuziyetli dışbükey kaynak dikişleri oluşturur.
- d) Yetersiz kaynak akımı, çok büyük damla transferi ve aşırı sıçramaya yol açar.
- e) Serbest elektrod boyu uzadıkça, kaynak akımı düşer, kısaltıkça artar.

4.3.2. Ark gerilimi

Ark gerilimi ve ark boyu, birbiriyle alakalı kavramlardır. Kaynak makinası üzerinden okunan ark gerilimi, kaynak devresindeki gerilim düşüşlerinin toplamıdır. Bu değer, kaynak kablodaki, serbest elektrod boyundaki, arktaki, parçadaki ve parça dönüş

akım kablolarındaki düşüşlerin toplamıdır. Bu nedenle ark gerilimi, ancak diğer devre elemanları (ve bunların sıcaklıkları da) sabit kaldığında makinada okunan değerlerle orantılıdır. Özlü tel elektrodla oluşturulan kaynak dikişinin görünümü, sağlamlığı ve özellikleri ark geriliminden etkilenebilir. Ark gerilimlerinin çok yüksek olması aşırı sıçrama ve geniş düzensiz şekilli kaynak dikişlerine yol açar. Alaşimsız çelik elektrodların kullanılması halinde gözeneğe yol açar [12].

4.3.3. Serbest elektrod boyu

Serbest elektrod boyunun artışı, elektrodun direnç ısısının artmasına neden olur. Bu ısı, elektroda bir ön tavlama uygular ve ark içindeki gerilim düşümünü azaltır. Aynı zamanda kaynak akımı düşürülmüş olur. Bu düşüş, esas metalin erimesi için gerekli ıyı da azaltır. Sonuçta oluşan kaynak metalini dar ve sığdır. Özlü telle ark kaynağında serbest elektrod boyunun etkisi, koruyucu gazla ve ilgili diğer kaynak değişkenleriyle dengede tutulmalıdır. Diğer etkenler sabitken serbest elektrod boyunun çok uzun olması, kararsız bir arka ve aşırı bir sıçramaya yol açar. Çok kısa olması ise belirli bir gerilim ayarı için ark boyunun çok uzun olmasına neden olur. Gaz akışını bozacak tarzda, gaz memesinin içinde sıçrama birikimine yol açar. Gaz korumasının bozulması ve kaynak metalinin gözenekli olmasına ve aşırı oksitlenmeye neden olabilir. Özlü tel ile kaynaklarda serbest elektrod boyu 19 mm ile 38 mm arasında olmalıdır [13].

4.3.4. Kaynak hızı

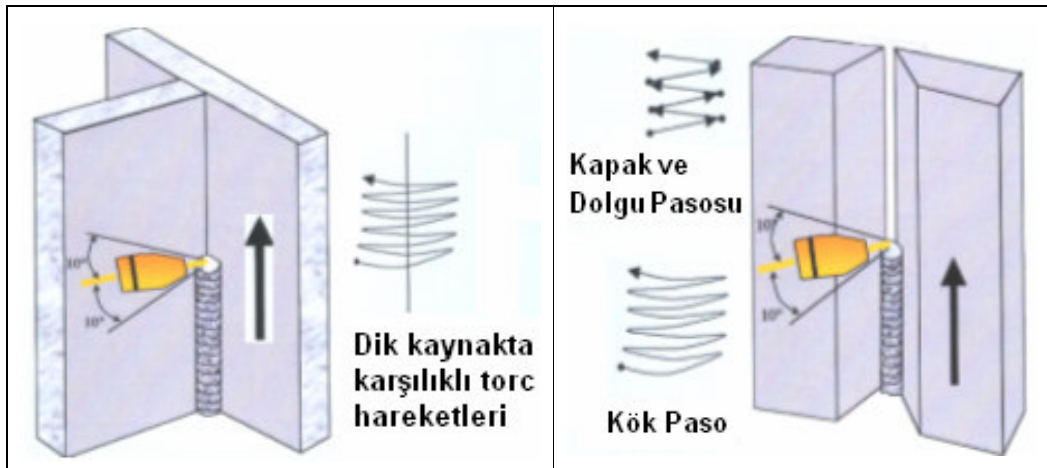
Kaynak hızı, kaynak dikişinin nüfuziyetini ve dikiş formunu belirler. Diğer faktörler sabitken düşük hızlardaki nüfuziyet, yüksek hızlara göre daha fazladır. Yüksek kaynak akımında düşük kaynak hızında kaynak yapmak, kaynak metalinin aşırı ısınmasına neden olur. Bu da cürufaların kaynak metalini içinde hapsolmesinden dolayı dikişin görünüşünün bozulmasına veya esas metalin aşırı erimesine yol açar. Yüksek kaynak hızları ise düzensiz dikişlere neden olmaktadır [13].

4.3.5. Koruyucu gaz akışı

Gaz akış hızı kaynak kalitesini etkileyen bir değişkendir. Yetersiz gaz akışı, erimiş banyonun yetersiz korunmasına dolayısıyla gözenekliğe ve oksitlenmeye neden olur. Aşırı yüksek gaz akışı ise türbülansa ve koruyucu gazın hava ile karışmasına yol açar. Kaynak kalitesi yetersiz akış ile aynı olur. Doğru gaz akış miktarı, torcun gaz memesinin tipine ve çapına, parça ile meme arasındaki mesafeye ve kaynak işleminin yapıldığı bölgedeki ani hava hareketlerine bağlıdır[13].

4.3.6. Torç hareketleri

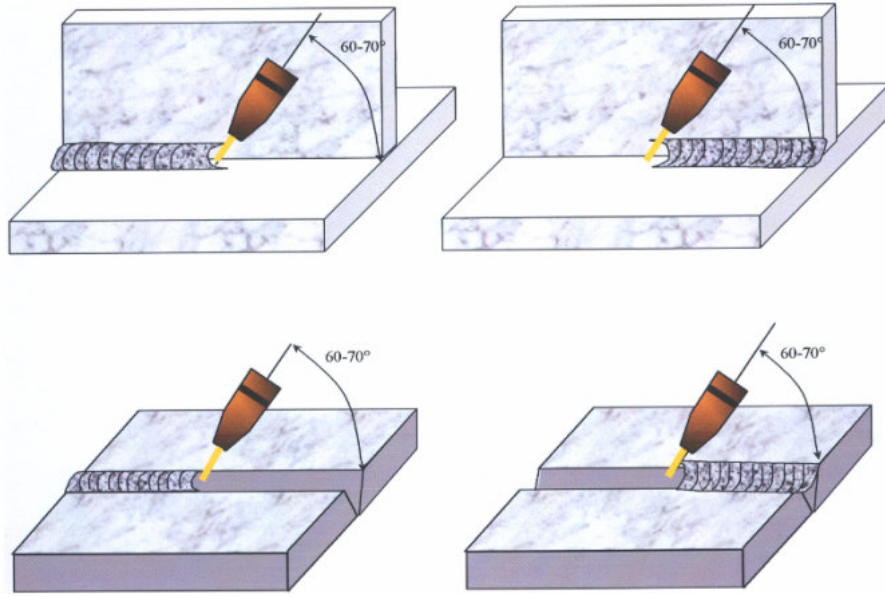
Dik pozisyondaki kaynak birleştirme işleminin aşağıdan yukarıya gerçekleştirme durumuna göre uygun torç hareketleri Şekil 4.4’de verilmiştir. Aşağıdan yukarı küt alın birleştirme durumunda hafif zig-zaglı ileri geri bir elektrod hareketi önerilir. Çok pasolu kaynak halinde hafifçe ay biçiminde ve dikiş kenarlarında kısa bir geri adım yapan elektrod ucu hareketi uygulanır. Burada uygulanan geri adımın boyu elektrod çapı kadardır. İç köşe dikişi halinde, sedir çamını andıran kenarlarda az bekletmeli bir hareket tercih edilir[8].



Şekil 4.4. MIG-MAG kaynak yöntemindeki dik pozisyonda torcun hareketleri [8]

Sürüklenme açısının alacağı uygun değerler; kullanılan özlü telle kaynak yöntemine, esas metalin kalınlığına ve kaynak pozisyonuna bağlıdır. Sürüklenme açısı genellikle

küçük tutulmalı ve 2 ila 15° civarında ve ancak 25° den büyük olmamalıdır. Eğer sürüklenme açısı çok büyürse gaz korunmasının etkisi kaybolur. Yatay pozisyonda içköşe kaynağı yapıldığında kaynak banyosu, hem kaynak yönünde ve hem de buna dik yönde akma eğilimindedir. Yatay oluk pozisyonunda tek paso ile yapılan kaynakta hafif geri adım yöntemi uygulanır. MIG-MAG kaynak yönteminde istenilen kalitede, yatay pozisyonda kaynak yapılabilmesi için gereken doğru torç hareketleri Şekil 4.5’de verilmektedir.



Şekil 4.5. MIG-MAG kaynak yöntemindeki yatay pozisyonda torcun hareketleri [8]

Çok pasolu kaynak bağlantısı halinde, kök pasolarda, kök aralığını doldurmak için hafif bir sarkaç hareketi, dolgu ve ara pasolarında ise gene aynı hareket daha geniş olarak uygulanır ve kenarlarda gereken ergimeyi yapacak ve bu kısımların iyi bir biçimde dolmasını sağlayacak biçimde durulur[8].

4.4. MIG– MAG Kaynağında Kullanılan Kaynak Makinaları

MIG-MAG kaynak makinaları yatay karakteristiğe sahip (sabit gerilimli) makinalardır. Normal şartlarda kaynak akımı ile gerilimi denge halindedir. kaynak esnasında herhangi bir nedenle, ark boyu uzadığında ark gerilimi artar. Ark

geriliminin artması, akım şiddetinin azalmasına neden olur. Tel elektrod iş parçasına sabit hızla geldiği için akım şiddeti azaldığında, ergime gücünde azalır. Ergime gücünün azalması da sabit hızla ilerleyen telin, iş parçasına yaklaşmasına neden olur. Tel iş parçasına yaklaştığında, ark boyu statik karakteristik gereği düşer ve ergime gücü artar, tel daha fazla ergir. Tel boyu kısalır ve ark boyu eski değerine gelir. Gerekli iç ayar nedeniyle kaynak makinaları gerilim karakteristikli veya hafifçe düşen statik karakteristiklidir. Karakteristik eğrisi ne kadar yataysa yapılabilen ark boyu değişimlerinde akım şiddetinin ulaşılan ayar bölgesi o derece büyük olur. Kaynak akım üreticinin hassas şekilde ayarlanabilmesi gerekir [12].

Bir redresörün ön kısmında kaba ayar için bir anahtar bulunur. Bununla ayar yapıldıktan sonra ikinci ayar anahtarıyla hassas ayarlama yapılır. Tristör veya transistör bulunan akım üreteçlerinde kademesiz ayar yapmak da mümkündür. MIG-MAG kaynak yönteminde kullanılan kaynak makinaları Şekil 4.6'da veriliyor [18].



Şekil 4.6. MIG-MAG kaynak yöntemindeki kullanılan kaynak makinaları [18]

Kaynak esnasında herhangi bir nedenle ark boyu uzadığında ark gerilimi artar. Ark gerilimin artması akım şiddetinin azalmasına yol açar. Tel elektrod kaynak bölgesine sabit hızla geldiğinden akım şiddetinin azalması ergime gücünün azalmasına neden olur. Ergime gücünün azalması da sabit hızla ilerleyen telin parçaya doğru yaklaşmasına yani ark boyunun (geriliminin) azalmasına yol açar. Ark geriliminin düşmesi, yine karakteristik gereği akım şiddetinin yükselmesine yol açtığından

ergime gücü artar ve tel daha fazla ergir. Böylece tel boyu kısalmış ve ark boyu eski değerine ulaşmış olur [18].

4.5. MIG-MAG Kaynak Yöntemi Ekipmanları

4.5.1. MIG-MAG kaynağında kullanılan torclar

Bir kaynak torcunun ana görevleri, kaynak bölgesine koruyucu gazın iletilmesi, tel elektrodun beslenmesi ve arktan küçük bir mesafede elektroda akımın verilmesidir. Bu görevlerin yerine getirilmesi için torc üreticileri farklı formlarda ve amaçlarda çok sayıda konstrüksiyon geliştirmişlerdir. MIG-MAG kaynağında kullanılan torc ve akım kontaktörler Şekil 4.7’de verilmektedir[18].



Şekil 4.7. MIG-MAG kaynak yöntemindeki kullanılan torclar ve akım kontaktörleri [18]

Torc seçiminde aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulur[18]:

- a) Kontak borusundaki ve gaz memesindeki sıcaklıklar,
- b) Gaz memesinin izolasyonu,
- c) Girdapsız bir gaz akışı için koruyucu gaz kanallarının ve memesinin konstrüksiyonu, sızdırmazlık sisteminin güvenilirliği,
- e) Torcun ağırlığı ve hortum paketinin esnekliği, aşınan parçaların değiştirebilme olanağı ve maliyeti

4.5.2. Tel Sürme Tertibatları

Tel iletme motoru kural olarak, dönme kademesiz olarak ayarlanabilen bir doğru akım paralel bağlantılı motorudur. Modern cihazlarda motorun dönüş hızı, yükten bağımsız olarak sabit besleme sağlayan tristör üzerinden ayarlanır. MIG/MAG kaynağında tel besleme hızları 2 ila 20 m/dak arasında değişir Motorlar tel sürme ruloları olan bir sisteme bağlıdır, tel çıkış memesi, makaradan sağılan telin belirli bir yönde itilmesi görevini yapar. MIG-MAG kaynağında kullanılan tel sürücüler Şekil 4.8’de verilmiştir [19].



Şekil 4.8. MIG-MAG tel sürücülerini [19]

Tel makarasından belirli bir eğikleme açılır, iletme ruloları bu eğikleme tamamen gideremez. Tel doğrultulmazsa, hortumun paketinden belirli bir dalgalıklıkla geçer ve kuvvetli şekilde sürtünme eğiliminde olur [19].

4.5.3. Basınç düşürme manometresi (regülatörler)

Kaynak için gerekli olan gaz, tüp içindeki veya merkezi buharlaştırma ünitesinin çıkışındaki basınçla kullanılmaz, bu bakımdan kaynak için yeterli debide gaz sevk edebilmek amacı ile kaynak donanımına tüp çıkışına veya merkezi dağıtım hatlarında tüketim noktalarına bir basınç ayar ventili ve akış ölçer diye adlandırılan aynı anda da kaynak bölgesine sevk edilen gazın miktarını ölçen bir cihaz takılır. Regülatörün tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini

gösterir. Gaz debisi bu şekilde ölçüp ayarlanabildiği gibi, akış ölçer adı verilen bir konik cam tüp içindeki hareketli bir bilya ile de yapılabilir [12].

4.5.4. Isıtıcılar

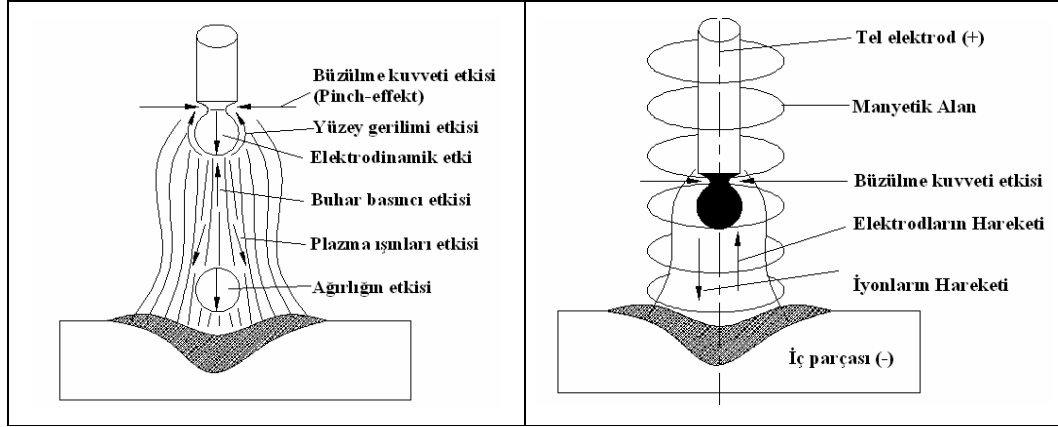
Özellikle karbondioksit gazının sıvılaştırılmış halinde, gaz fazına geçerken sıcaklık düşüşü olmaktadır. Bu da regülatörün donmasına ve kullanılmaz hale gelmesine neden olur. Sıvı halde karbondioksit üzerinden basınç kaldırıldığı gaz fazının hareket kabiliyetini arttırmak ve koruyucu ortama oluşturmak için ısıtıcıları kullanılması gerekmektedir. MIG-MAG regülatör ve ısıtıcıları Şekil 4.9'da görülmektedir[19].



Şekil 4.9. MIG-MAG regülatörleri ve ısıtıcıları [19]

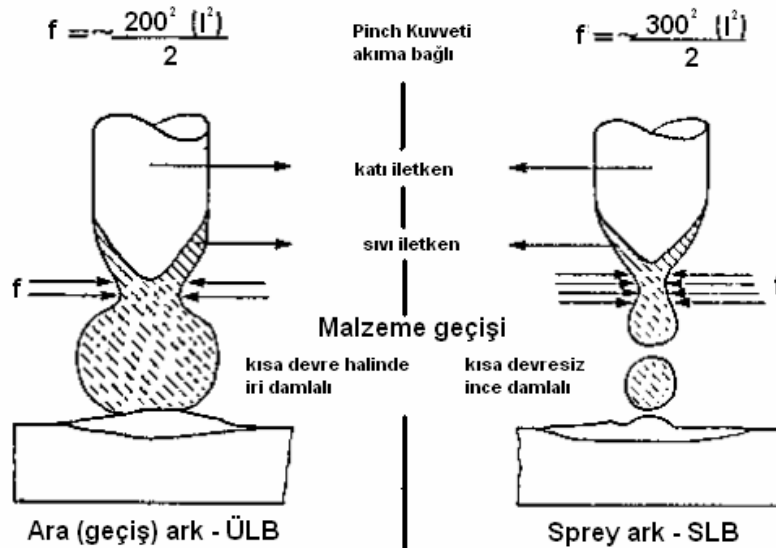
4.6. Pinch-Effekt Kuvveti Damlacık İlişkisi

Katoddan (eksi kutup) elektronlar büyük bir hızla anoda (artı kutup) doğru giderler ve bu hızlı hareketlerinin enerjisi, ısıya dönüşür. Hızla hareket eden elektronlar çarptıkları bölgede aşırı ısınır, malzeme ergir ve kısmen buharlaşır. Elektronlar bu hızlı hareketleri sırasında atomların dış kabuklarına çarparlar ve oradan elektron ayrılmasına neden olur [8].



Şekil 4.10. MIG-MAG kaynağında damlacık üzerine etki eden kuvvetler [8]

MIG-MAG kaynağında damlacık üzerine etki eden kuvvetler Şekil 4.10'da verilmektedir. Elektron kaybeden atom pozitif yüklüdür ve yükünden ötürü hızla katoda doğru gider ve oranın ısınmasına neden olur. Bu şekilde ergime ve buharlaşma sürekli devam eder. Kaynak akımının kendisi de bir tür elektrik iletkeni olduğundan etrafında bir manyetik alan oluşur; akı yoğunluğu arttıkça büzülme kuvvetini oluşturan manyetik alan şiddeti artar ve bu olaya Pinch-Effekt denilir. Şekil 4.11'de MIG-MAG kaynağında damlacık oluşumu görülmektedir [8].

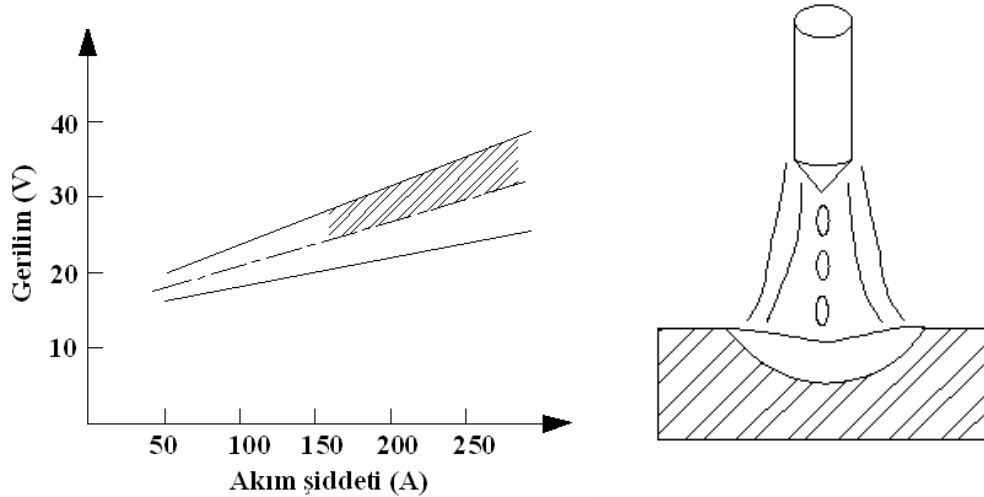


Şekil 4.11. MIG-MAG kaynak yönteminde damlacık oluşumu [8]

Özellikle elektrodun ucunda akım yoğunluğu fazla olduğundan en şiddetli büzülme bu bölgede oluşur. Bu da telin ucunda ergimiş olan metalin damla haline geçişini kolaylaştırır [8].

4.6.1. Sprey ark (İnce Damlalı Metal Taşınımı)

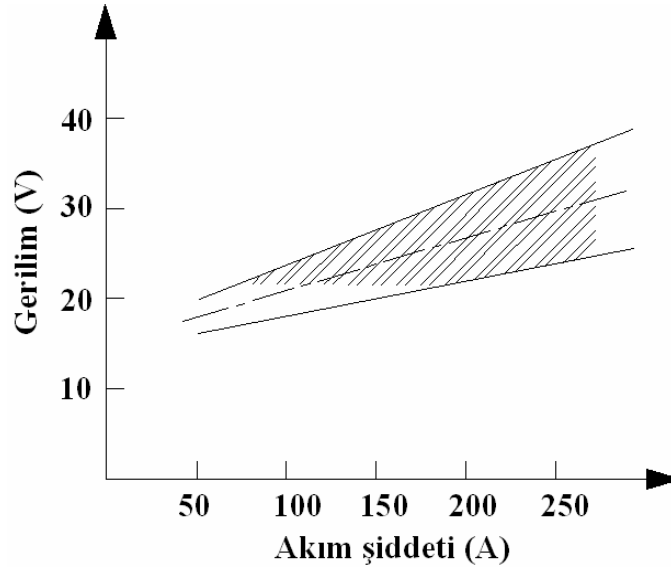
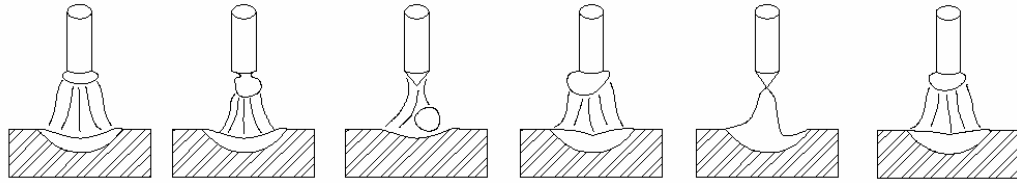
Sprey ark, genel olarak argon veya argonca zengin koruyucu gazlarla yüksek akım şiddeti ve yüksek ark gerilimi kullanıldığında ortaya çıkar. Akım şiddeti yükseldikçe anodik bölge büyür ve tel elektrodun ucundaki ergimiş damlayı sarar. Pinch-Effect akım şiddetinin karesiyle şiddetlendiğinden sıvı metal çok küçük bir damlacık halinde telin ucundan hızla kaynak banyosuna doğru hareket eder. Telin uç kısmının yüzeyinde oluşan ergimiş metal hızla sıyrılarak damlacık oluştuğu için tel elektrodun uç kısmını sivrileşir. Sivrilmiş uçların koparak iş parçasına çok küçük damlacıklar halinde geçişi sağlanır. Damlacıklar tel çapından çok küçük oldukları için kısa sürede ayrılırlar. Damla geçişi kısa devresizdir Kaynak banyosu daha akıcıdır Saniyede 100 ile 300 damla geçer. Argon ve argonca zenginleştirilmiş gazlar altında oluşur. Yatay veya oluk pozisyonundaki alın dikişlerinin ara ve kapak pasolarının veya içköşe dikişlerinin kaynağında kullanılır. Karışım gazı ile sprej ark oluşumu Şekil 4.12'de gösterilmektedir[12].



Şekil 4.12 1 mm çapında elektrodun M2 (karışım) koruyucu gazı ile sprej ark oluşturması [12]

4.6.2. Uzun ark (damlasal metal taşınımı)

Damlasal metal taşınımında ark tutuştuktan sonra uç kısmında ergime başlar ve bir damlacık oluşur, bu damlacık yer çekimi etkisiyle iş parçasına hareket etmek isteyecektir. Damlacık gerilim etkisiyle elektrodun ucundan kopamaz, damlacık irileşir ve çapı elektrod çapının birkaç katını geçtikten sonra Pinch-Effekt kuvveti ile düzgün olmayan bir biçimde kopar. Tel elektrodun uç kısmında damla oluşmaya başladığında, sıvı metal damla uçtan kopuncaya kadar geçen süre içinde titremeye ve sallanmaya başlar. Bu da ark dengesini bozar, bu ola nüfuziyetin azalmasına ve dikış dış profiline bozulmasına ve sıçramaya neden olur. Damla geçişi iri damlalıdır, kısa devre oluşur, kaynak banyosu akıcıdır ve saniyede 100 civarında damla geçer [12].



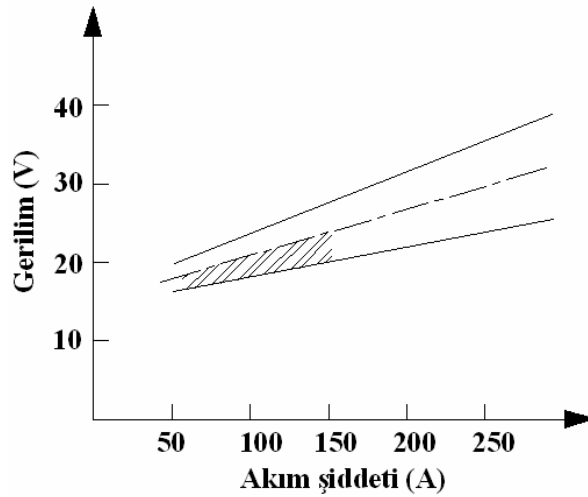
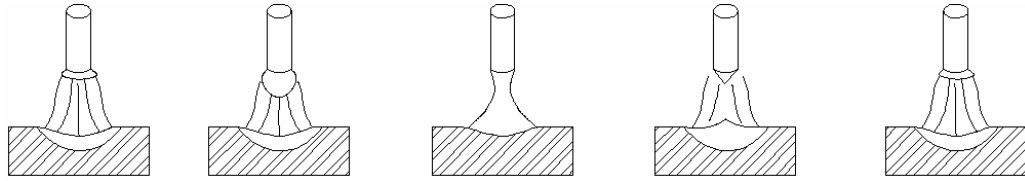
Şekil 4.13. 1 mm çapında elektrod C1 (karbondioksit) koruyucu gazı ile uzun ark oluşturması [12]

Karbondioksit koruyucu gazı ile uzun ark oluşumu Şekil 4.13'de verilmektedir. 2 mm'den kalın parçaların kaynağında, yatay veya oluk pozisyonundaki alın

dikişlerinin ara ve kapak pasolarının veya içköşe dikişlerinin kaynağında kullanılırlar[12].

4.6.3. Kısa ark

Düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti kullanıldığında karşılaşılan ark türüdür. Ark oluşmaya başlayınca ucu hemen ergimeye başlar ve bir damlacık oluşur. Damlacık iş parçasına doğru akarken elektrod ve iş parçası arasında kısa devre oluşur, ark gerilimi düşer, akım şiddeti yükselir, damla kopar ve kısa devre ortadan kalkar. Kısa devre ortadan kalktıktan sonra bobinde birikmiş olan enerjinin yardımı ile ark yeniden oluşur, aynı olay tekrarlanır. Damla geçişi kısa devre şeklinde olur. Kaynak banyosunun akıcılığı azdır. Saniyede yaklaşık 70 damla geçer [12].



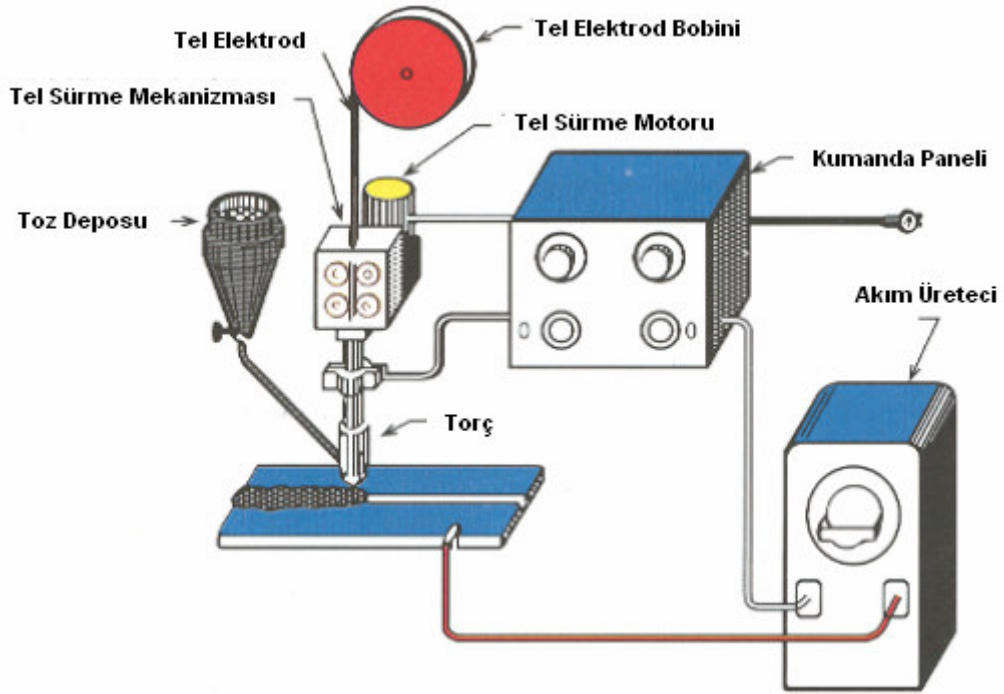
Şekil 4.14 1 mm çapında elektrodun M2 (karışım) koruyucu gazı ile kısa ark oluşturması [12]

Karışım gazı ile düşük kaynak parametrelerinde kısa ark oluşumu Şekil 4.14'de verilmektedir. Gerilim düşük (20 V'un altında). Uygulamada ince sacların kaynağı, kök pasonun kaynağı, tavan, aşağıdan yukarı, yukarıdan aşağı, korniş pozisyonunda

kaynaklarda kullanılır. Kısa ark boyu halinde düşük ark gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışılması ve metal taşınımının kısa devre sırasında gerçekleşmesi sonucu ısı girdisi düşük olacaktır. Bu sınır değerin aşılması için eşiğin üst yarısında kaynak akımının Pinch-Effekt olarak adlandırılan büzülme kuvvetine ulaşması gerekir. Sıvı iletkenin ucundaki metal damlaları, kaynak banyosuna temas etmeden, yani bir kısa devre oluşmadan önce büzülme kuvveti nedeniyle kopmalıdır [12].

BÖLÜM 5. TOZALTI KAYNAĞI

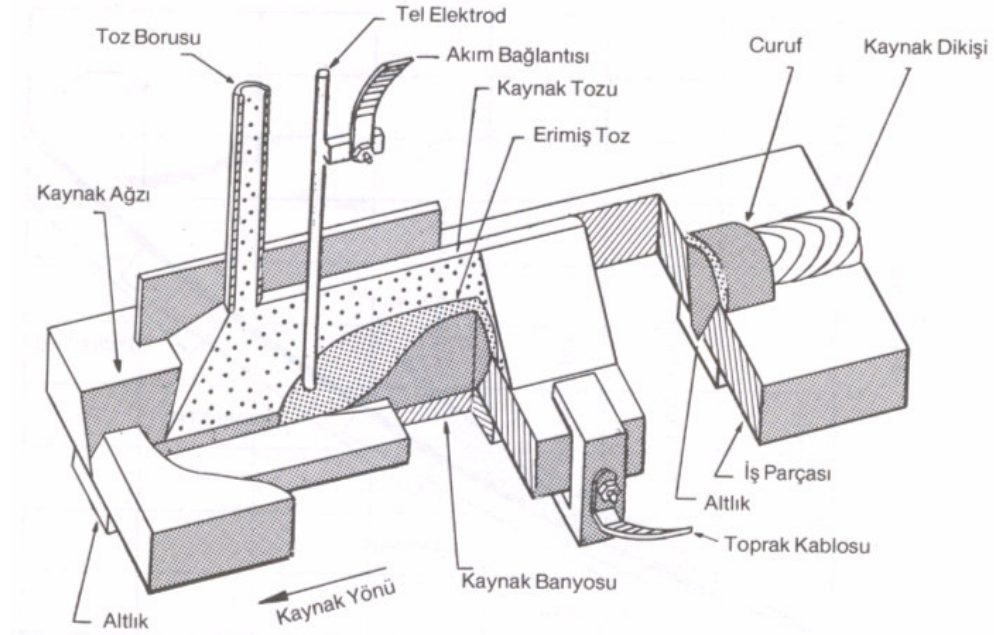
Bir bobinden gelen kaynak teli, bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından ve bir memeden gelir. Tel ile iş parçası arasında oluşan ark, ayrı bir kanaldan gelen silikat ve toprak alkali metalleri içeren, tozlar tarafından atmosferin olumsuz etkilerinden korunur. Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan arkın sıcaklığında tel ve esas metalin bir kısmı eriyerek istenilen birleşmeyi sağlar. Arkın sıcaklığında bir miktar toz da eriyerek cüruf haline geçerek kaynak banyosunu ve dikişi örter ve bu cüruf çok sıcak olan kaynak dikişini ve banyoyu atmosferin olumsuz etkilerinden koruduğu gibi, içerdiği deoksidasyon ve alaşım elementleri sayesinde kaynak banyosunun deoksidasyonunu ve alaşımlanması sağlar. Tozaltı kaynak yöntemi çalışma prensibi Şekil 5.1’de verilmiştir[20].



Şekil 5.1. Tozaltı kaynak yönteminin çalışma prensibi [20]

Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak telleri yüksek kaliteli bir çeliktir. Özellikle kimyasal bileşimleri ve ihtiva ettikleri yüksek manganez miktarı ile normal tellerden ayırt edilebilirler. Özellikle bu teller bakır kaplı olarak üretilirler. Telin üzerindeki ince bakır tabakası meme içerisinde akım geçişini iyileştirir ve paslanmaya karşı da korumuş olur. Tozaltı tozlarının birçok görevi vardır. Bunlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır [21].

- a) Kaynak işlemi sırasında arkın kararlılığını sağlar, kaynak esnasında erimiş banyoyu havanın zararlı etkilerinden korur.
- b) Kaynak tozunun türüne göre alaşımlandırma yapılmasını sağlar, dikişin çabuk soğumasını önler ve uygun bir dikiş formu elde edilmesini sağlar.
- c) Kaynakla beraber oluşan cüruf dikişinin kenarlarındaki çentik oluşumuna mani olur, istenilen kimyasal bileşimde, mekanik ve teknolojik özellikler sağlar ve uygun bir iç yapı sağlar[21].



Şekil 5.2 Tozaltı kaynağının şematik gösterimi [21]

Tozaltı kaynağı şematik gösterimi Şekil 5.2.'de verilmiştir. Kaynak arkı ve kaynak banyosunu çevreleyen kaynak tozları, aşağıda belirtilen 4 temel görevi yerine getirmelidir.

a) Cüruf oluşturarak, kaynak arkını ve ergimiş metal banyosunu atmosferin zararlı etkilerine karşı korumak, gerektiğinde alaşım ve oksidasyon ağılayarak, istenen bileşim ve mekanik özelliklerde kaynak dikişlerinin elde edilmesine yardımcı olmak.

b) Ark kararlılığını sağlamak, iş parçasından ısının dışarıya yayılmasını yavaşlatmak, ısı transfer hızını düşürmek[21].

Oksit ve florür gibi mineralleri içeren kaynak tozları üretim metoduna göre 2 ana gruba ayrılırlar. Bunlar ergimiş ve aglomere edilmiş kaynak tozları olup, bazı durumlarda her ikisinin karışımından oluşan tozlar da üretilmektedir. Ergimiş kaynak tozları: kuartz, mangan cevheri, dolomit, düşük miktarda alüminyum cevheri ile fluorspar gibi çeşitli minerallerin ark fırınlarında 1200-1400 °C arasında eritilip cürufun temizlenmesinden sonra kırma, öğütme ya da dikert su ile granülasyon işlerine tabi tutulması ile üretilirler. Elde edilen granüllerin tane boyutu 0.2-1.6 mm arasındadır[21].

Aglomere edilmiş kaynak tozları : öğütülerek toz haline getirilen bileşenler bir bağlayıcı ile (bağlayıcı olarak genellikle camsuyu kullanılır) karıştırılıp, 500-800 °C sıcaklıklar arasında aglomerasyon işlemine tabi tutulur. İstenen tane boyutu elde edilene kadar elenirler. Ergimiş kaynak tozlarına oranla daha çok tercih edilen aglomere kaynak tozlarının sağladığı başlıca avantajları; Daha homojen bir karışım elde edilebilmesi, çeşitli FeSi, FeMn, FeSiMn gibi deoksidanlar (oksit gidericiler) bu tozlara ilave edilebildiğinden sadece MnO içeriğine bağlı kalınmaz [21].

Kaynak dikişine etkileri açısından ise aglomera tozlar şu avantajlara sahiptir :

a) Poroziteye karşı daha yüksek dayanıma sahiptir, yoğunluğunun daha düşük olması nedeniyle daha hafif ve hacimlidir. Dolayısıyla daha düşük toz tüketimi söz konusudur.

b) Mn ve diğer alaşım elemanlarının ergime sırasında kaynak metaline geçişi oranı daha yüksektir, aglomere tozlara katılan ferro-alaşımalar daha iyi bir alaşılandırma sağlar.

c) Cüruf daha kolay kalkar, kaynak dikişinin görüntüsü, mekanik özellikleri, porozite direnci ve esnekliği daha iyidir [21].

5.2. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

5.2.1. Aktif tozlar

Çelik malzemelerde kirliliğe neden olan safsızlık elementlerinin oluşturduğu porozite ve kaynak dikişi çatlaklarına karşı yüksek dayanım ve ergimiş kaynak metalinde daha iyi bir akıcılık sağlamak amacıyla belirli miktarda mangan ve silisyum gibi aktif alaşım elementleri içerir. Tek pasoda gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında en az hata ile yüksek kaliteye sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesini sağlar. Tozdaki aktif bileşim elementlerinin kaynak metaline geçiş miktarı ark voltajının paso sayısının artması ile yükselir. Kaynak metalindeki alaşım artışı ile yüksek çekme mukavemetli, sert daha düşük darbe dayanımına sahip, daha kırılğan bir kaynak dikişi elde edilir. Bu nedenlerden dolayı, aktif tozlarla gerçekleştirilen çok pasolu kaynaklarda, diğer tozlara göre daha sık voltaj kontrolü yapılmalıdır. 25 mm'den kalın malzemelerinde kaynaklarında aktif tozların kullanılmamaktadır[21].

5.2.2. Nötr Tozlar

Ark boyu ve ark voltajında oluşabilen büyük değişiklere rağmen kaynak metali genelinde önemli bir kimyasal değişimlere yol açmayan tozlar olarak tanımlanır. Özellikle 25 mm'den kalın malzemelerin çok pasolu kaynaklarında kullanılır. Nötr tozlar aktif alaşılandırıcı içermedikleri ya da çok az miktarda içerdikleri için özellikle tek pasolu kaynak işlemleri sırasında, safsızlık oluşturan elementlerinden olduğu porozite ve çatlama problemlerine karşı yüksek dayanım sağlamazlar. Bu nedenle, tek paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında bu gruba giren tozların

kullanımı pek önerilmez. Nötr tozlar ile yüksek darbe dayanımına sahip kaynak dikişi oluşturmak uyumlu bir elektrod ile toz kombinasyonuna bağlıdır. Nötr tozlar kullanılarak elde edilen kaynak metalinin bileşimi ark voltajındaki büyük değişikliklerden fazla etkilenmez [21].

5.2.3. Aktif ve nötr toz-tel kombinasyonu

Tozaltı ark kaynağı için uygun dolgu metali kimyasal kompozisyonun seçimi diğer proseslere oranla daha karmaşıktır. Bunun başlıca nedeni kaynak metalinin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde hem tozun hemde elektrodun doğrudan etkisi vardır. Çok pasolu kaynak uygulamalarında gerilim seçilirken DC (+) kaynak yapılacağı düşünülmüştür. DC (-) kutupta kaynak yapmak için ise her değer için 4 Voltluk bir artış olacağını dikkate alınmalıdır. Voltaj değerinin artması, tozda bulunan elementlerin kaynak metaline geçmesini etkilememektedir. İlave kaynak metalinde Mn veya Si içeriğinin yükselmesi ise son pasonun sertliğini ve çatlama riskini artırmaktadır. Kaynak banyosuyla cüruf arasındaki reaksiyonlar: aktif toz kullanılarak yapılan tozaltı kaynak işleminde aşağıdaki belirtilen reaksiyonlar gerçekleşerek, kaynak metalinde Si artışı söz konusu olur. Bu tür tozlarda SiO₂ içeriği, MnO₂'a göre çok fazladır [21].

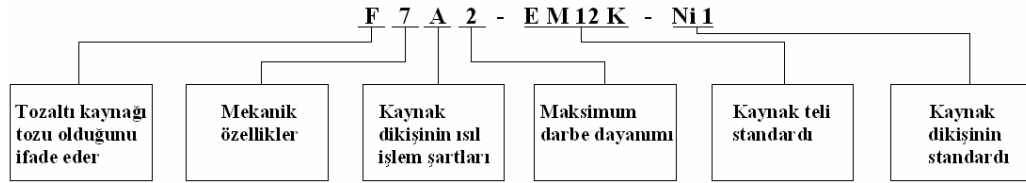


Tek parantezler cüruftaki çift parantezler ise kaynak metalindeki içeriği (yani geçiş) belirtmektedir. Bu durumda; kaynak metalinde Mn kaybı ve Si geçişi görülür. Nötr tozla kullanılarak yapılan tozaltı kaynak işleminde ise aşağıdaki reaksiyonlar oluşur.



Bu durumda ise kaynak metaline Si ile birlikte Mn da geçer. Kaynak metalindeki Si içeriği, tozdaki SiO₂ içeriğine bağlı olarak artar ya da azalır. Kaynak metalindeki

Mn/Si oranının 2 ila 3 arasında olması gerekmektedir. Bu oran 3,5 ise, taneler arasında oluşan oldukça akışkan ve ince “mangan-silikat” zarlari çatlamaya neden olur. Eğer oran 2’den küçük ise, şekil değiştirme kabiliyetinde azalma görülür. Aktif toz kullanımında kaynak metaline geçecek silisyumun neden olacağı, olumsuzluklardan kaçınmak için sınırlı paso sayıları (maksimum 2 veya 3 paso) ve belirli voltaj limitlerinde çalışma zorunluluğu vardır. Nötr ve bazik toz kullanımında ise; silisyumun yanında manganez de kaynak metaline geçeceği için Mn/Si oranı açısından problem, dolayısıyla voltaj ve paso sayısında herhangi bir sınırlama olmayacaktır Tel ve toz kombinasyonuna ait standart Şekil 5.3’de verilmektedir[22].



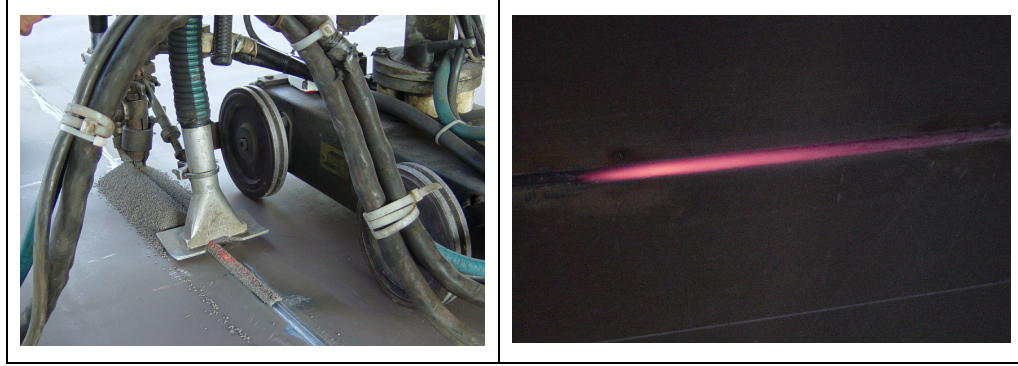
Şekil 5.3 Tel- Toz kombinasyon standardı [22]

5.3. Tozaltı Kaynak Yönteminin Üstünlükleri

- a) Yüksek ergitme gücü (200 ile 1200 Amper arasında) ve yüksek kaynak hızı, derin nüfuziyet, 14 mm’ye kadar kaynak ağızı açmadan 2 pasoda kaynak yapılabilir.
- b) Yüksek ark stabilitesi sağlar, özel koruyucu donanımlara gerek duyulmaz .
- c) Isının çok azı esas metal tarafından absorbe edildiği için büyük enerji tasarrufu sağlar, sıçrama kaybı olmadığı ve yüksek akım yoğunluğundan çalışılabilmesinden dolayı elektrod ekonomisi sağlar .
- d) Emniyetli ve düzgün kaynak dikiş görüntüsü elde edilir ve boya yüzeyi açısından problem teşkil etmez, kaynak dikişinin kalitesine kaynakçının diğer yöntemlere göre etkisi daha azdır.
- e) Kaynak dikişinde elde edilen derin nüfuziyet sayesinde, yüksek dayanıma sahip bağlantıları gerçekleşmesi için gerekli kaynak metal miktarı azalmakta, tozaltı kaynağında yüksek akımlarda hızlı dolgu (saatte 45 kg’ın üstünde metal yığıma hızı) kaynağı yapılabilir.

f) Kaynak tellerinin ve tozlarının kaynak banyosunda meydana getirdiği temizleyici etkiler sayesinde hatasız, ana metalden çok daha iyi mekanik özelliklere sahip saf kaynak metalleri elde edilmektedir[23].

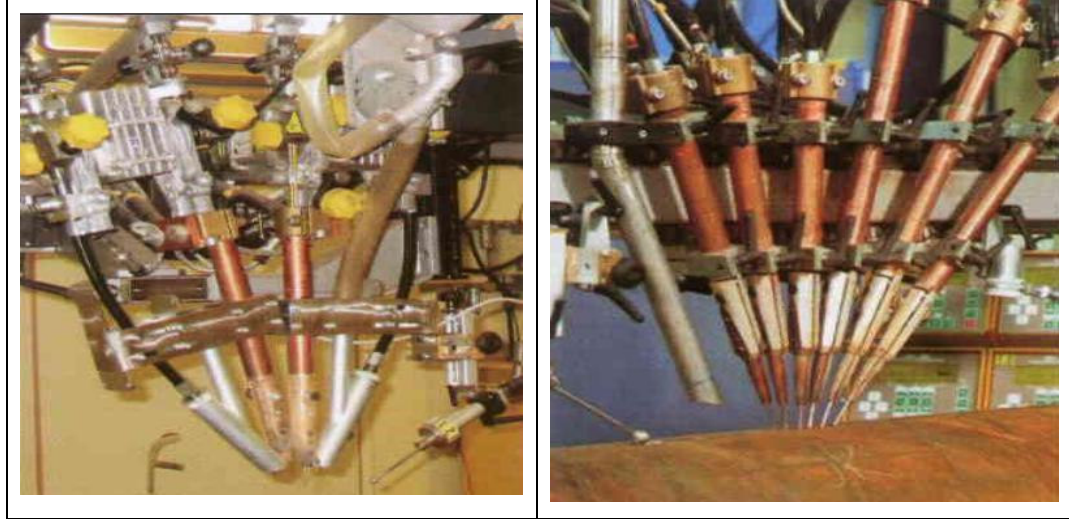
Tozaltı kaynağının uygulaması ve sacın diğer yüzünde oluşan nüfuziyet Şekil 5.4'de görülmektedir.



Şekil 5.4. Tozaltı kaynağı uygulaması ve nüfuziyetinin görünümü

5.4. Tozaltı Kaynağında Birden Fazla Tel Kullanılarak Uygulanan Otomasyon Sistemleri

Yüksek kaynak metali yığma hızı, yüksek kaynak hızı ve düşük deformasyon riski. tek bir kaynak teli ile ve otomatik kaynak sistemi kullanılarak yapılan uygulamalar, birden fazla telin aynı anda kullanılması ile daha ekonomik olarak gerçekleşebilmektedir. Bununla birlikte iki tel üzerinde oluşan toplama akım değeri, tek tel üzerinde yoğunlaşan akım değerinden daha yüksek olacaktır. Buna bağlı olarak metal yığma hızı artacak böylece maliyet giderleri düşecektir. Yüksek kaynak hızları ile çalışılması ile kaynak edilen parçadaki deformasyon riski de en aza inecektir. Birden fazla telle gerçekleştirilen kaynak proseslerinde (Multiple Arc) tek bir kaynak dikişinin oluşması için her biri kendi özel akım kaynağından beslenen iki ya da üç kaynak kafası aynı anda kullanılır. Şekil 5.5. Twin-tandem kaynak ve 6 telli kaynak kafaları ile otomasyon uygulaması görülmektedir. Şekil 5.6 ise tek taraflı bakır altlık üzerine tandem metoduyla tozaltı kaynağı uygulaması görülmektedir.

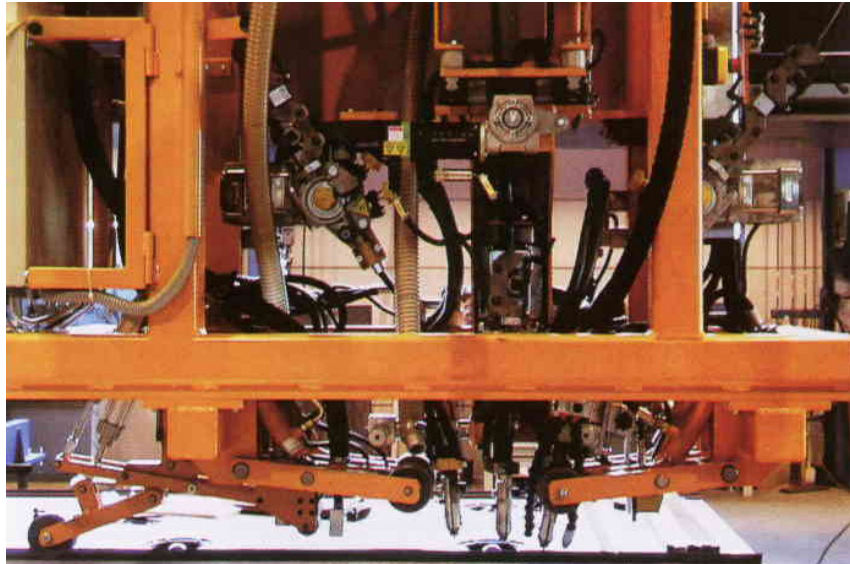


(a)

(b)

Şekil 5.5. (a) Twin tandem kaynak kafalarının soğuk tel uygulaması (b) 6 telli kaynak kafalarının otomasyon uygulaması[24]

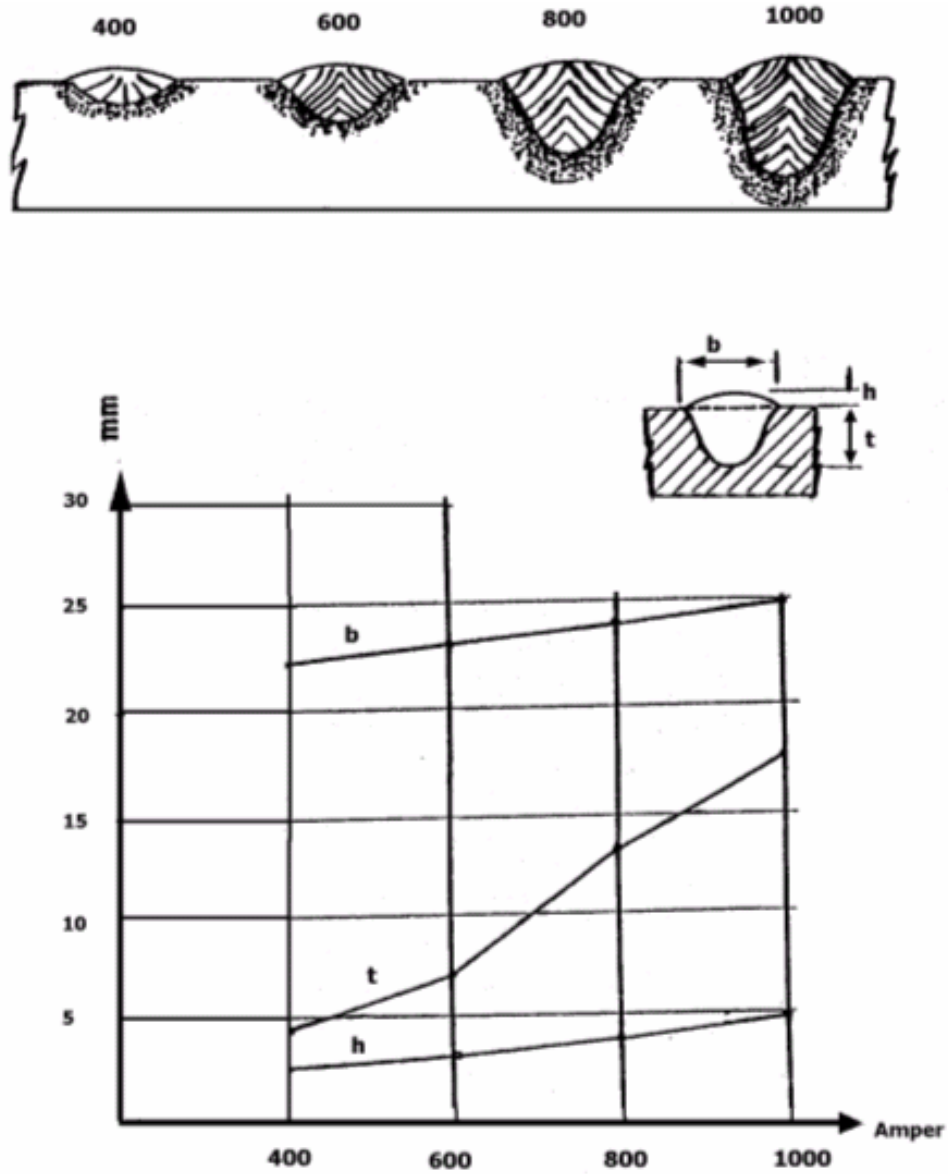
Bazı özel durumlarda ise 4 ayrı kaynak telinin 2 farklı kaynak kafası ile aynı anda kullanılarak çok yüksek metal yığıma hızlarının elde edilmesi amacıyla “Tandem” ve “Twinarc” yöntemleriyle kullanılır. Twinarc yönteminde tek bir kaynak kafası tarafından sürülen 2 farklı kaynak teli vardır. Bu tellerin, kaynak ağzı doğrultusunda peşpeşe sıralanması durumunda yüksek kaynak hızı ve derin nüfuziyet elde edilirken, kaynak ağzının sağ ve sol yanında olacak şekilde konumlandırılması ile geniş ve düşük nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir [24].



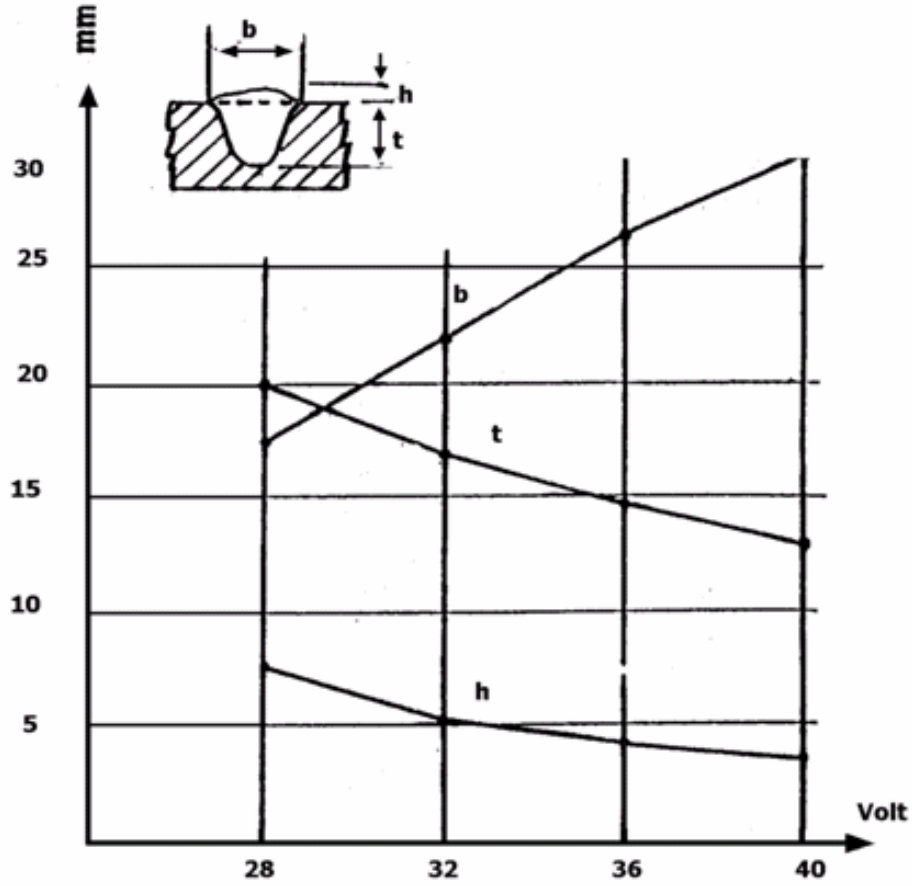
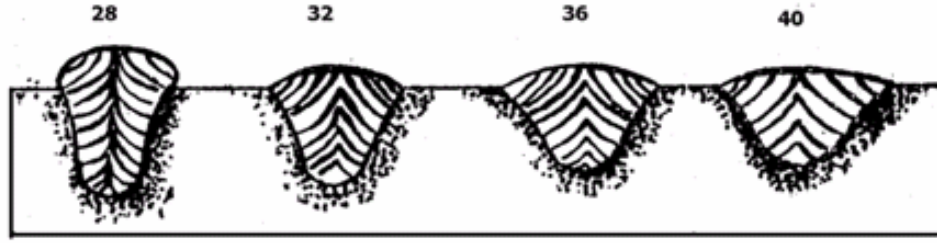
Şekil 5.6. Tek taraflı bakır altlık üzerine tandem metoduyla tozaltı kaynağı uygulaması[24]

5.5. Tozaltı Kaynak Yönteminin Parametrelerin Dikiş Üzerine Etkileri

Tozaltı kaynağında akımın dikiş formu üzerine etkisi Şekil 5.7’de verilmiştir. Akım şiddeti ile oluşan damlacıkların yapısı daha ince böylece kaynak nüfuziyetin önemli derece artış sağlanmaktadır. Akım şiddeti artışı anda zamanda kaynak genişliğinin azaldığı görülmektedir [20].

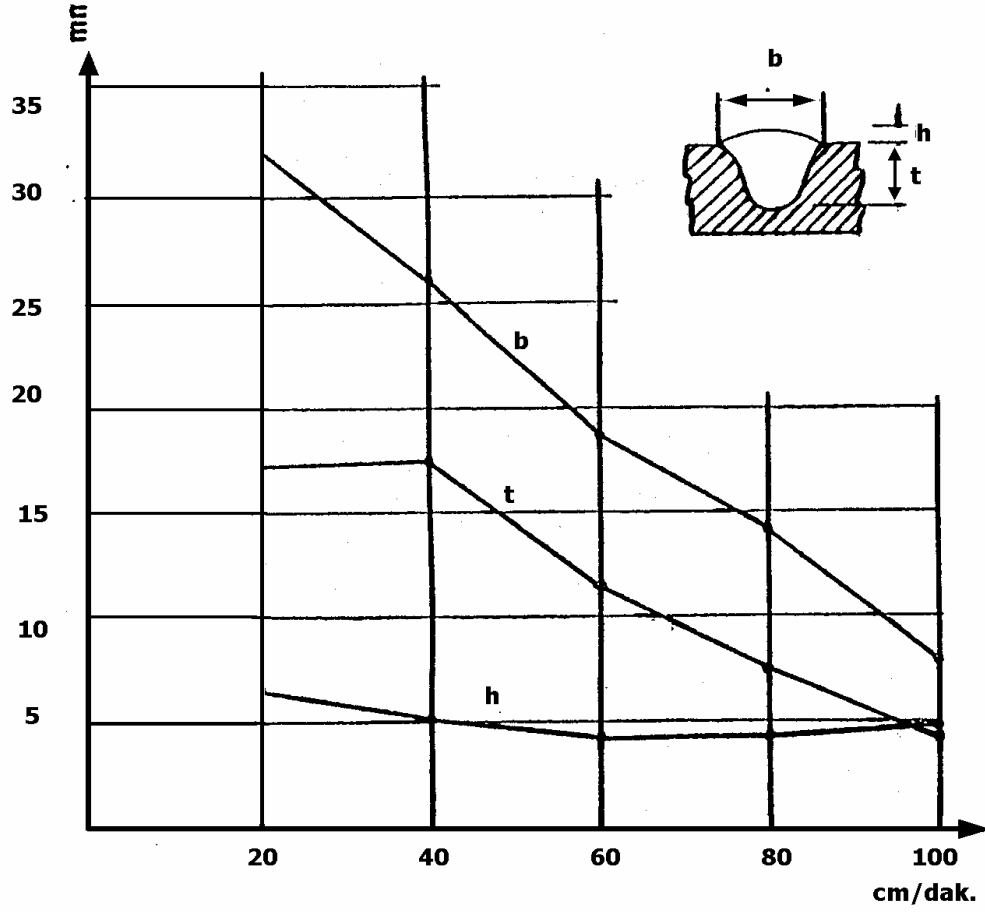
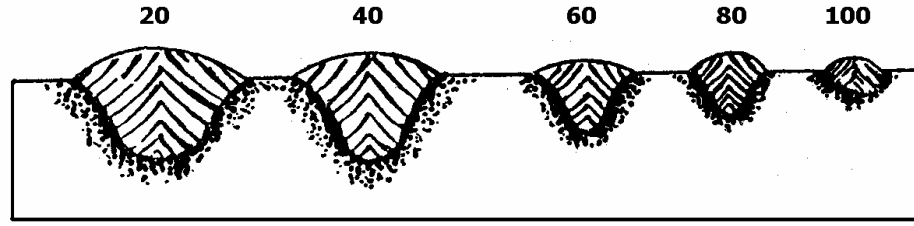


Şekil 5.7. Tozaltı kaynağında akımın dikiş formuna etkisi [20]



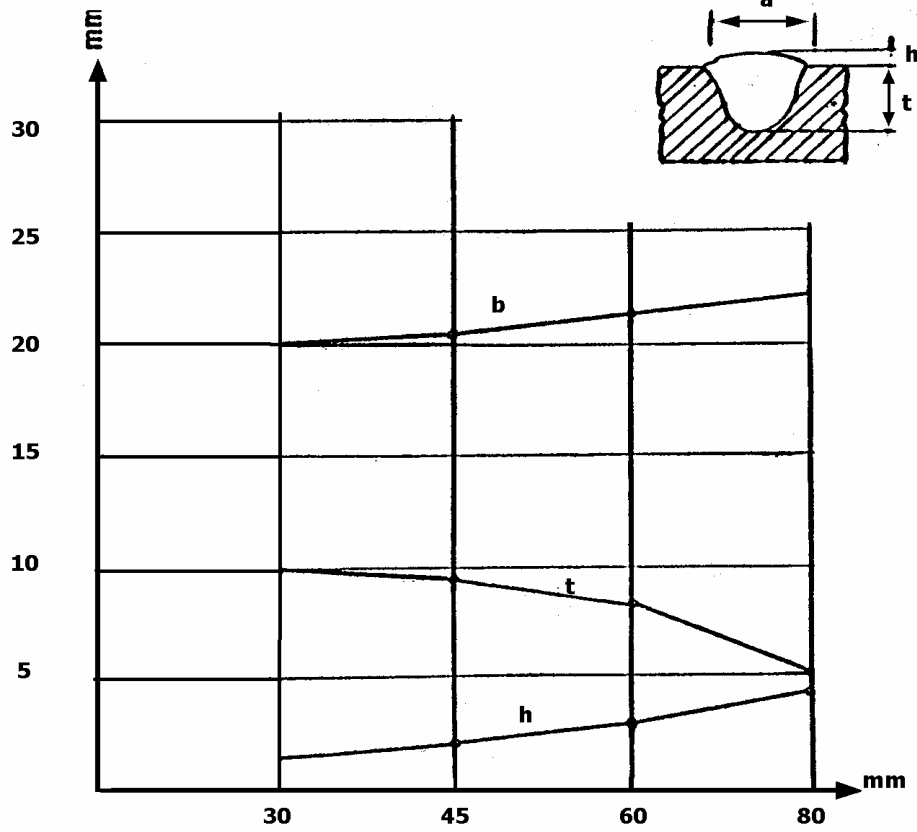
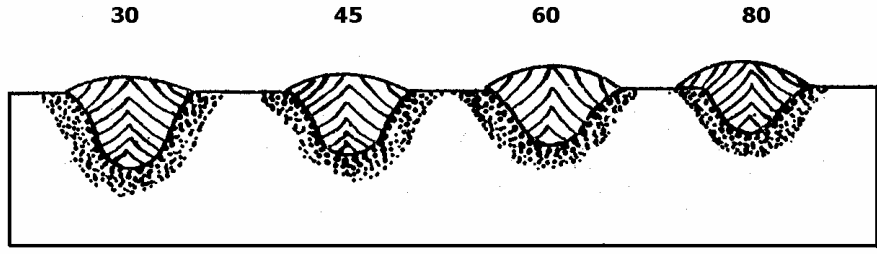
Şekil 5.8. Tozaltı kaynağında gerilimin dikiş formuna etkisi [20]

Tozaltı kaynağında gerilimin dikiş formu üzerine etkisi Şekil 5.8'da verilmiştir. Ark geriliminin yüksek olması uzun bir arka çalışmayı gerektirdiğinden, fazla miktarda tozun cüruf haline geçmesine sebep olur. Kaynak dikişindeki silisyum veya mangan miktarı artar. Gerilim artışına paralel olarak dikiş genişliğinde önemli ölçüde artış meydana gelmektedir. Ark gerilimi çok düşük seçildiğinde de ergime hataları oluşabileceğinden kaynak hataları oluşur [20].



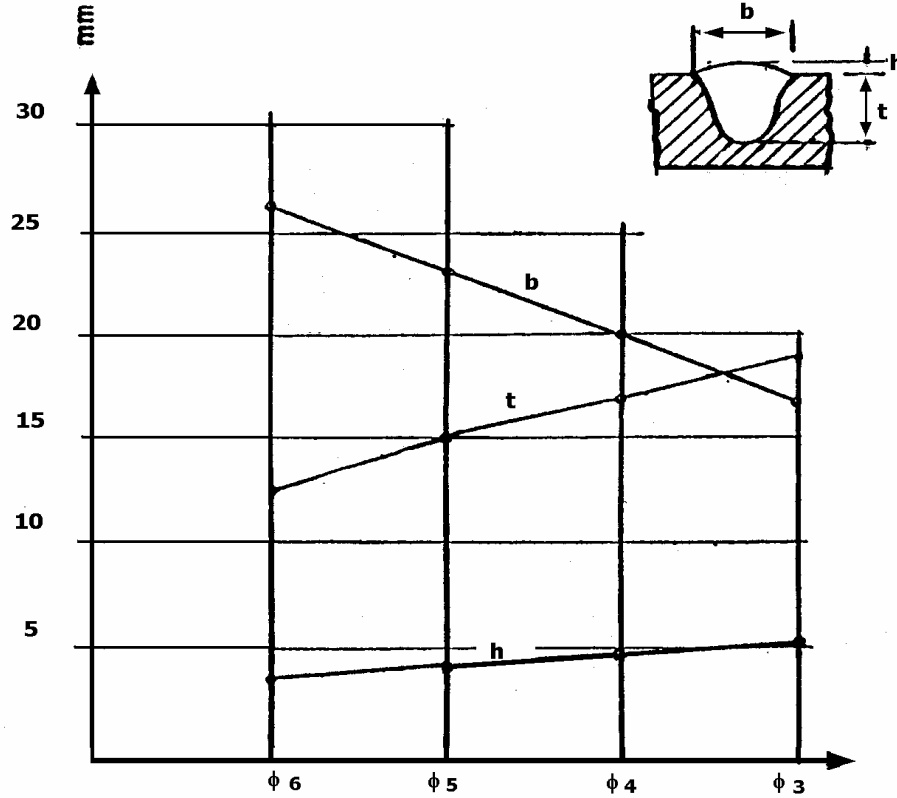
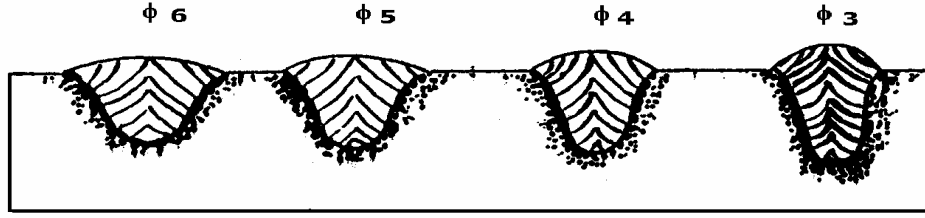
Şekil 5.9. Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine kaynak hızının etkisi [25]

Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine kaynak hızının etkisi Şekil 5.9'de verilmiştir. Kaynak hızı arttıkça nüfuziyet derinliği ve dikiş genişliği azalır. Kaynak hızı arttırıldığında eriyen toz miktarı düşer ve hem kaynak genişliği hemde kaynak nüfuziyetinde önemli ölçüde azalmalar oluşur. Aynı zamanda düşük hızlarda çalışıldığında eriyen toz miktarı artar[25].



Şekil 5.10. Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine telin dışarıda kalan kısmının etkisi [26]

Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine telin dışarıda kalan kısmının etkisi Şekil 5.10'de verilmiştir. Kaynak memesinin parçaya olan mesafesi arttığında, elektrodun direnci akar ve ergime gücünde azalma oluşur böylece nüfuziyet azalır, dikiş yüksekliği artar. Telin dışarıda kalan kısmının yüksekliği teorik olarak tel çapının 10 katı seçilmesi gerekmektedir [26].



Şekil 5.11. Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine tel çapının etkisi [20]

Tozaltı kaynağında dikiş formu üzerine tel çapının etkisi Şekil 5.11'da görülmektedir. Tel çapı düştükçe elektrod üzerinden geçen akım yoğunluğu artar, ergime esnasında ince damlacıklar oluşur ve nüfuziyet derinliği artar. Kalın malzemelerin kaynağında tel çapının büyük seçilmesi yüksek dolgu verimi sağladığı için ısı girdisinin azalmasına, daha kısa sürede dikiş elde edilmesini sağlar [20].

BÖLÜM 6. TAHRİBATLI VE TAHRİBATSIZ TESTLER

Malzeme üzerinden çıkarılan test parçalarına tekrar kullanılmayacak şekilde yapılan test yöntemlerine tahribatlı muayeneler denilmektedir. Bu deneyler için hazırlanan birçok standart bulunmaktadır. Özellikle kaynaklı parçaların tahribatlı muayeneleri için DIN 50120 (çekme deneyi), DIN 17100 (eğme deneyi) VE TS EN 10045-I (çentik-darbe deneyi) standartlarda kullanılmıştır [27].

Tahribatsız muayenelerde ise test sonrasında malzeme yüzeyinde herhangi bir hata kalmaz ve malzeme tekrar üretimde kullanılma olanağına sahiptir. Genellikle kaynak dikişlerinin muayenesinde yoğun olarak kullanılan bu yöntemlerden piyasada en çok kullanılanları radyografik yöntemle muayene, ultrasonik yöntemle muayene, manyetik parçacıkla muayene, sıvı penetrantla muayene ve gözle muayenedir[28].

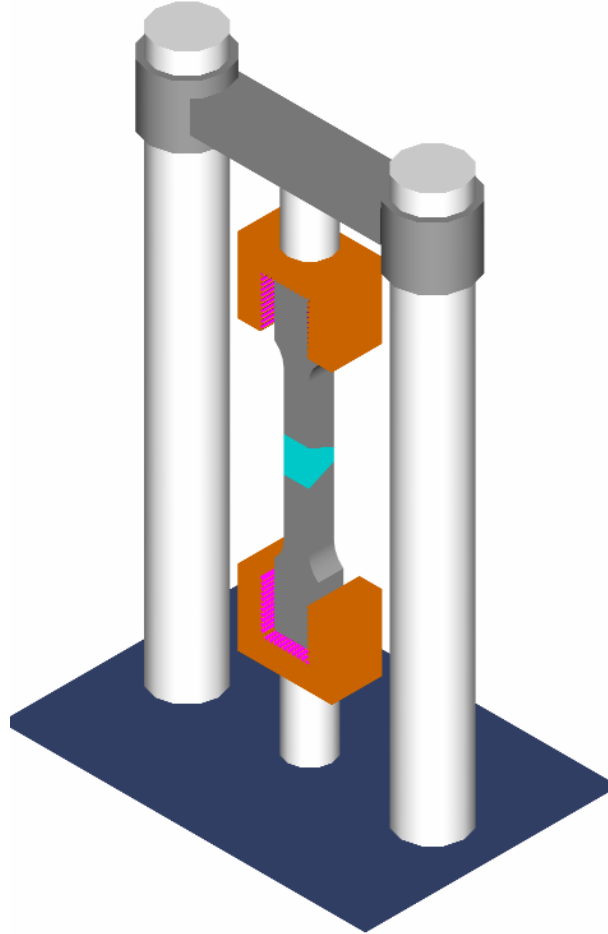
6.2. Tahribatlı Testler

Kaynaklı malzemeler için hazırlanan uygun standartlar kullanılarak testler yapılmaktadır. Bu çalışmada çekme, eğme, çentik-darbe ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları grafikler halinde verilmiştir[27].

6.2.1. Çekme deneyi

Çekme deneyi, malzemelerin mukavemeti hakkında esas dizayn bilgilerini sağlamak, ve malzemelerin özelliklerine göre sınıflandırılmasını sağlamak amacıyla yapılır. Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemelerin; orantı sınırı, elastik sınırı, akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma uzaması, kopma büzülmesi, rezilyans ve tokluk değerleri bulunabilir. Çekme deneyi standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek ekseninde, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Deney sırasında, standart numuneye devamlı olarak artan bir çekme

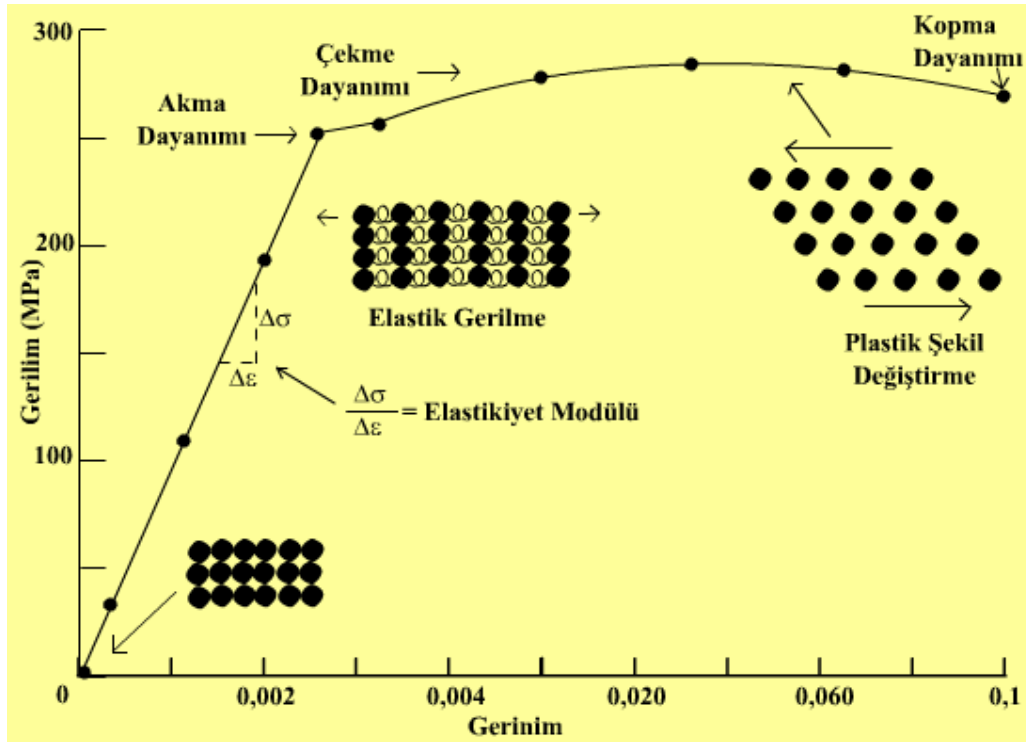
kuvveti uygulandığından, aynı esnada numunenin uzaması kaydedilir. Çekme deneyi şematik olarak Şekil 6.1’de verilmiştir[27].



Şekil 6.1. Çekme deneyi prensip şeması [27]

Çekme deneyine tabi tutulan numunenin mekanik özellik değerlerinin sağlıklı olarak alınabilmesi için; numune malzemeyi tam olarak temsil etmeli, imalat şeklinin (döküm, kaynak, sıcak dövme veya haddeleme soğuk dövme) bilinmesi, numunenin alınış şeklinin uygun olması gerekir. Çekme deneyinde numuneye yük uygulanmaya başlandığında numunede uzama ikiye ayrılır; Elastik uzama: numuneye yük uygulandığında akma sınırına gelene kadar bir miktar uzama görülür. Yük kaldırıldığında bu uzaman kaybolur ve numune eski haline döner. Plastik uzama : yük akma sınırından sonra uygulanmaya devam edildiğinde numunede kalıcı şekil değişimi meydana gelir. Yani yük kaldırıldığında numune eski haline dönemez [27].

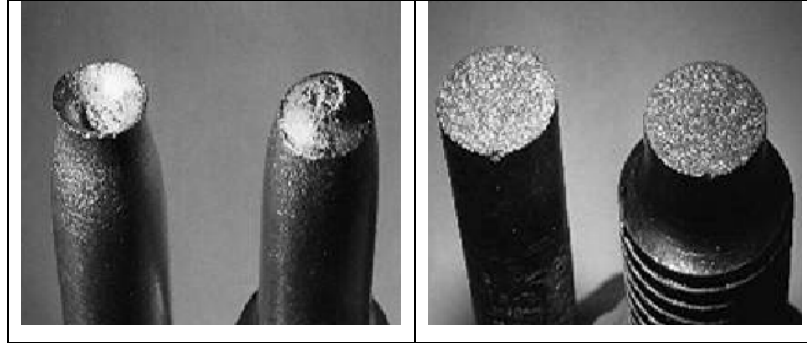
Deney sonuçlarının irdelenmesinde, numunenin alındığı malzemenin durumu yanısıra, alınan numunenin alındığı bölgeler, numunenin alınış şekli ve hazırlanışı önemlidir. Çekme deneyine tabi tutulacak numunelerin şekil ve boyutları standartlarda belirtilmektedir. Deney sonuçlarının belirli bir standarda uyma zorunluğu vardır. Sonuçlar, numune boyut ve biçimine göre değişiklik arz edebilir. Numuneler iki kısımdan ibarettir. Numunenin baş kısımları; yük tatbik edilmek için tutulan kısımlardır ve diğer bölgeye göre daha büyük boyutludur. Numunenin orta kısmı; yük tatbik edildiğinde deformasyonun yer alması arzu edilen daha küçük boyutlu bölgedir. Deney sonuçları bu kısımda yapılan ölçmelerle tespit edilir. Numunenin bu kısmında, kesit ile uzunluk arasında belli bir ilişki vardır. Elastik ve plastik bölgeler şematik olarak Şekil 6.2’de görülmektedir[29].



Şekil 6.2. Çekme deneyinde elastik ve plastik deformasyon bölgeleri [29]

Çekme deneyinde kırılma yüzeylerine bakıldığında numunelerin gevrek veya sünek kırıldığı kolalıkla tespit edilebilmektedir. Akma dayanımı aşan numunelerde kalıcı şekil değişimleri meydana gelir. Yüksek çekme dayanımlarına karşılık kesit daralmasının az olduğu malzemeler toklukları yüksektir.

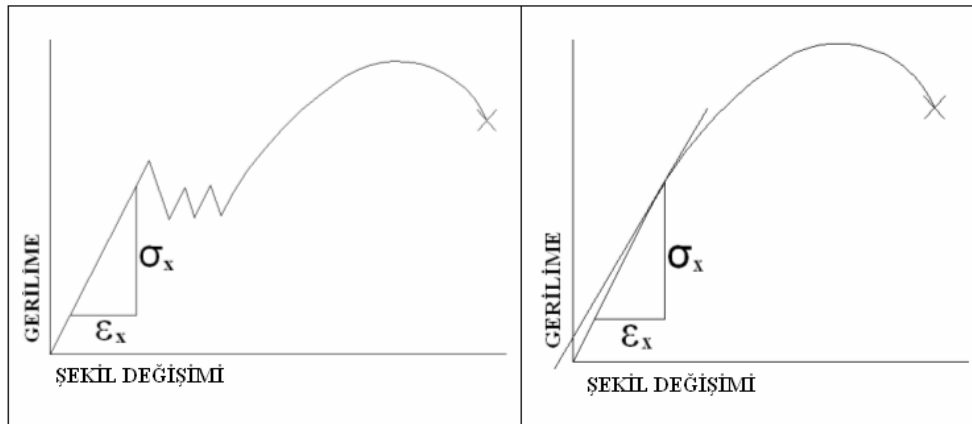
Çekme deneyi sonucunda oluşan gevrek ve sünek kopma şekilleri Şekil 6.3'de verilmektedir.



Şekil 6.3. Sünek ve gevrek malzemelerde kopma şekilleri [27]

6.2.1.1. Düşük karbonlu çeliğin çekme diyagramı

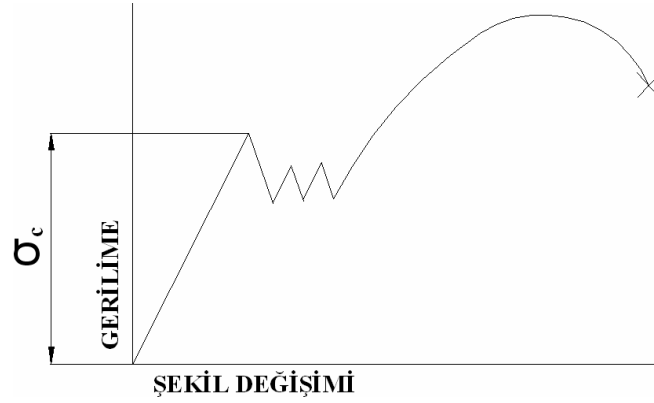
Elastiklik modülü, çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan eğrinin eğimine eşittir. Belirgin akma göstermeyen ahşap, kauçuk, deri gibi bazı malzemelerin çekme diyagramı böyle bir eğri bulunmadığından sabit bir E değeri yerine, belirli bir noktadaki teğetin eğimi alınır. Şekil 6.4 Çekme deneyinde akma noktalarının tespiti görülmektedir.



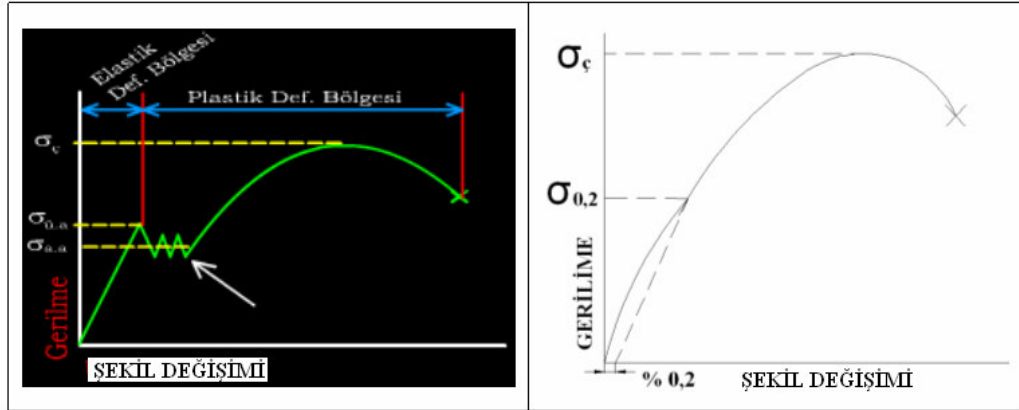
Şekil 6.4. Çekme deneyinde akma noktalarının tespiti [27]

Elastiklik sınırı (σ_e) : numuneye uygulanan kuvvet kaldırıldığında plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değerine eşittir.

Akma Dayanımı (σ_a) : uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına rağmen plastik şekil değişiminin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının süreksizlik gösterdiği bölgeye karşılık gelir. Belirgin akma göstermeyen numunelerin akma sınırı % 0,2'lik plastik uzamaya denk gelir. Şekil 6.5'de akma noktalarının tespiti görülmektedir[27].



Şekil 6.5. Çekme diyagramında akma noktasının gösterimi [27]



Şekil 6.6. Çekme diyagramında çekme noktasının gösterimi [27]

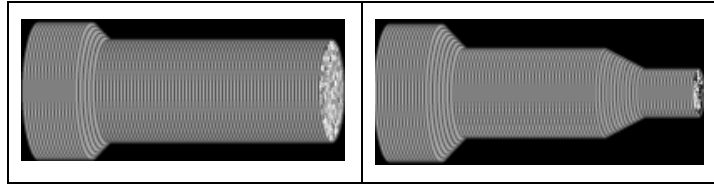
Çekme deneyinde çekme noktasının tespiti Şekil 6.6'da gösterilmektedir. Çekme dayanımı (σ_c): bir numunenin kopmadan ve kırılmadan dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup , maksimum yükün ilk kesit alanına oranı ile tespit edilir. Kopma uzaması ise umune boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama

miktarına denir. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesiyle son boy ölçülür[29].

$$\% e_k = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100 \quad \Delta l = l_k - l_0 \quad (6.1)$$

l_k = Kopma sonrası toplam boy , l_0 = Numunenin ilk boyu

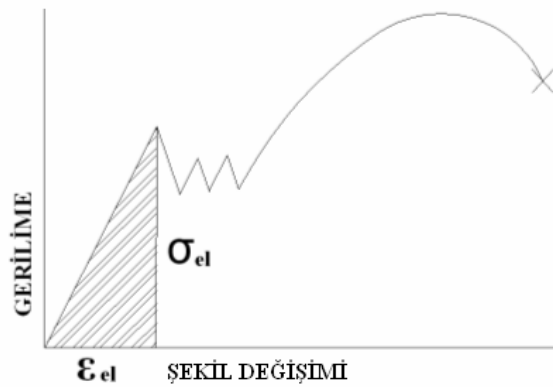
Kesit daralması: Numunenin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme miktarıdır. Çekme deneyi sonrası oluşan kesit daralması Şekil 6.7’de görülmektedir[29].



Şekil 6.7. Çekme deneyinde kesit daralması tespiti [29]

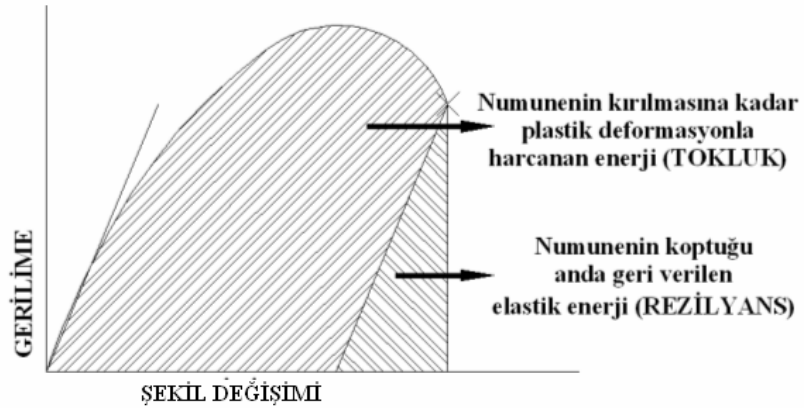
Rezilyans : Numunenin yalnızca elastik şekil değişimi için harcanan enerji veya elastik şekil değişimi sırasında numunenin depolandığı enerji anlamına gelir. Bu enerji, gerilme-birim uzama eğrisinin elastik kısmının altında kalan alanına eşittir ve malzeme kırıldığında bu enerji geri verilir [29].

Şekil 6.8 Çekme deneyinde rezilyansın tespiti görülmektedir.



Şekil 6.8 Çekme deneyinde rezilyansın tespiti [29]

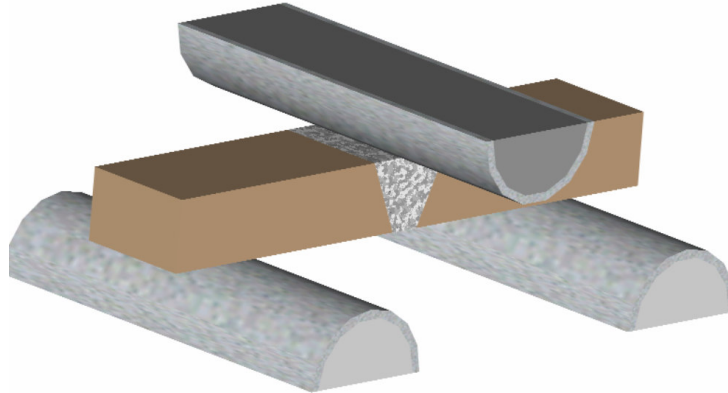
Tokluk : Numunenin kırılıncaya kadar absorbe ettiği enerjiye denir. Genellikle gerilme-birim uzama eğrisinin altında kalan alanın hesaplanır. Şekil 6.9'da çekme deneyinde rezilyans tespiti görülmektedir. Şekil 6.9'da ise çekme deneyinde rezilyans ve tokluğun beraberce tespiti görülmektedir[30].



Şekil 6.9.Çekme deneyinde rezilyansın ve tokluğun tespiti [30]

6.2.2. Eğme deneyi

Eğme deneyindeki amaç, kaynaklı ve kaynaklı olmayan numunelerin oda sıcaklığında çatlama olmadan katlanabileceği veya katlanamadığını tespit etmektir. A kalınlığındaki levhaların belirli bir çapta eğme mandreli ile iki yuvarlatılmış mesnet arasında basılarak katlanır. DIN 17100'e göre kaynak dikişinin eğme deneyinde uygulanan esaslar aşağıda verilmiştir. Eğme deneyi prensip şeması Şekil 6.10'de verilmektedir[30].



Şekil 6.10. Eğme deneyi prensip şeması [30]

$$K.M. = \sigma_{e,\max} = \frac{8.P_{MAX}.L}{\pi.D^3} = \frac{2,54.P_{MAX}.L}{D^3} \quad (6.2)$$

K.M = Kırılma Modülü kg/mm², D = Numune Çapı, B = Numune Genişliği

$$\varepsilon = \frac{6.Y.H}{L^2} \quad (6.3)$$

ε = Elastik Deformasyon

Y = Eğilme Miktarı

L = Mesnet Uzaklığı

H = Numune Kalınlığı

$$E_c = \frac{P.L^3}{4.Y.B.H^3} \quad E = \frac{P.L^3}{48.I.Y} \quad (6.4)$$

$$\frac{M}{I} = \frac{E}{R} \quad (6.5)$$

M = Moment

I = Eylemsizlik momenti

E = Elastik Modül

R = Eğilme esnasındaki eğrilik yarıçapı

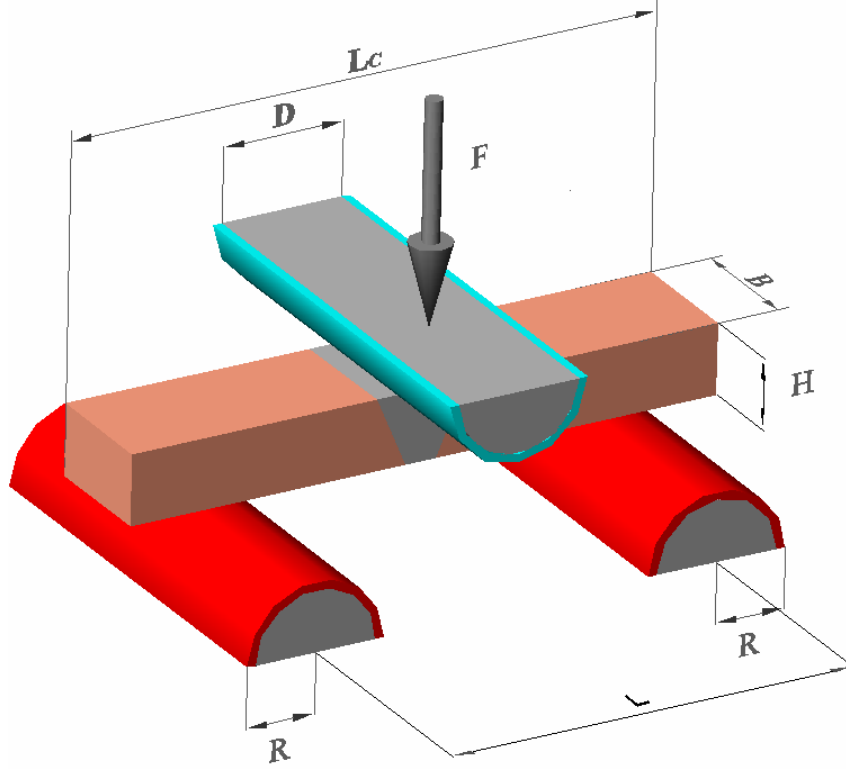
$$M_c = \frac{P.L}{4} \quad (6.6)$$

M_c = Eğme Momenti (kg-mm) P = Uygulanan Kuvvet (kg)

L = Mesnet merkezleri arası uzaklık (mm)

Eğilme Dayanımı kırılma modülü,

$$\sigma_{e,MAX} = \frac{M.c}{I} = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{Z} \quad (6.7)$$



Şekil 6.11. Eğme deneyinin yapılışı [30]

Eğme deneyi yapılışını gösterir Şekil 6.11’dir. Şekilde görüldüğü gibi formüllerde kullanılan tüm parametreler verilmiştir.

Dikdörtgen kesit,

$$I = \frac{B.H^3}{12} \quad Z = \frac{B.H^2}{6} \quad (6.8)$$

$$\sigma_{e,MAX} = \frac{M_e}{Z} = \frac{P_{MAX} \cdot L}{4.Z} \quad (6.9)$$

$\sigma_{e,MAX}$ = Eğilme Dayanımı(veya kırılma modülü) L = Mesnetler arası uzaklık

P_{MAX} = Kırılma anında uygulanan maksimum kuvvet (kg)

M_e = Eğme momenti (kg-mm) Z = Kesit modülü (mm³)

6.2.3. Çentik-darbe deneyi

Darbe deneyinde amaç, malzemenin bünyesinde muhtemelen bulunacak bir gerilim konsantrasyonunun (gerilim birikiminin) darbe esnasında numuneye suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir. Darbeli yüklere maruz kalan malzemelerin göstereceği direnci ölçmek için yapılan bir deneydir. Bu malzemelerin çarpma dayanımları, yavaş yükleme durumundaki dayanımlarından çok daha düşüktür. Deneyden elde edilen sonuçlar malzemelerin sınıflandırılması için kullanılır. Tasarıma yönelik mühendislik hesaplamalarında kullanılmazlar. Deneyin yapılabilmesi için numuneler belirli ölçülerde ve belirli çentik şekilleriyle hazırlanır. Darbe deneyi iki türde yapılır [31].

6.2.3.1. Charpy darbe deneyi

Metallerin özellikle gevrek kırılmaya müsait şartlardaki mekanik özellikleri hakkında sağlam fikir elde etmek amacıyla uygulanır. Özellikle HMK (ferritik çeliklerde) oda sıcaklığı altında çekme deneyinde sünek davranış gösteren çelik darbe deneyinde gevrek bir hal gösterebilir. Darbe deneyi sonucu sadece o numuneyi ilgilendirir çekme deneyi gibi mühendislik hesaplamalarda kullanılmazlar. Malzeme bünyesinde muhtemelen bulunacak bir gerilme konsantrasyonunun darbe esnasında çentik tabanına suni olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci tayin etmektir[31].

Çentikli numune zorlandığı zaman çentiğin tabanına dik bir gerilme meydana gelir. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaymasına karşı koyan kohezif dayanımından daha fazla olması gerekir. Numune plastik şekil değiştirmeye fırsat bulamadan bu halde kırılma meydana gelirse buna gevrek kırılma denir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilmeye ilaveten bununla yaklaşık 45^0 açı ile farklı bir kayma gerilmesi meydana gelir. Kayma gerilimi kritik kayma gerilimi aştığı anda elastik özellik sona erer ve plastik biçim değiştirmeye başlar. Bu durumda önce plastik şekil değiştirme sonra kırılma meydana gelir. Buna sünek kırılma denir ve kırılma yüzeyi girintili çıkıntılıdır[31].

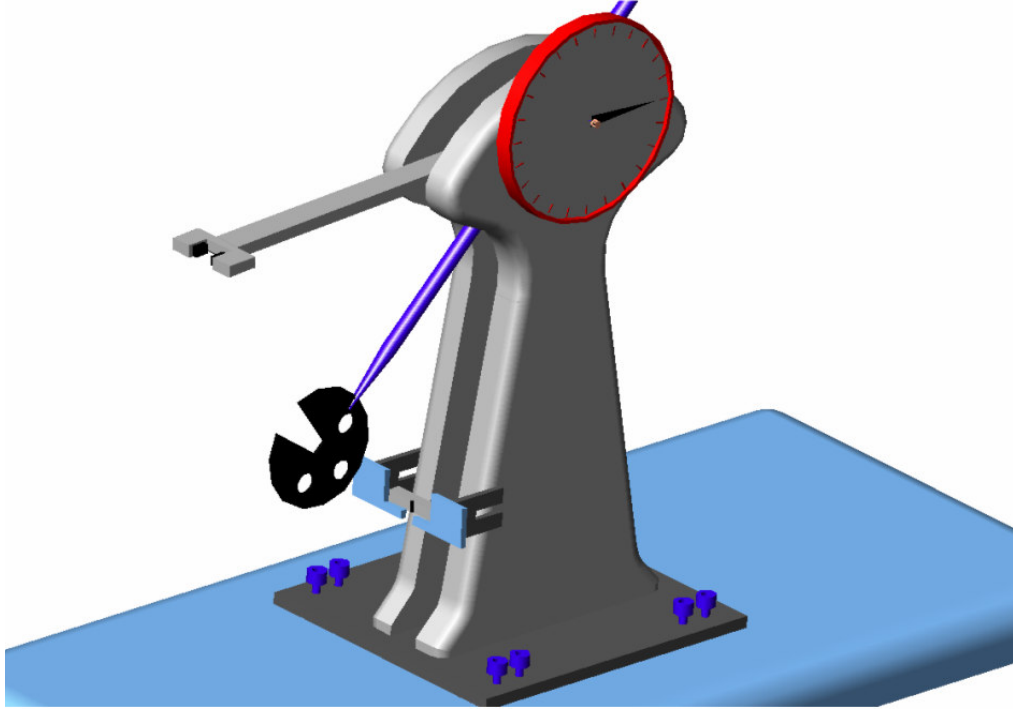
$$\begin{aligned}
\text{Kırılma Enerjisi} &= \text{Sarkacın İlk Enerjisi} - \text{Sarkacın Son Enerjisi} & (6.10) \\
&= G \times h_1 - G \times h_2 = G.(h_1 - h_2) \\
&= G \times l \times (\cos \beta - \cos \alpha)
\end{aligned}$$

l : Sarkacın Boyu,

G : Sarkacın (çekicinin) ağırlığı

h_1 : Sarkacın İlk Yüksekliği

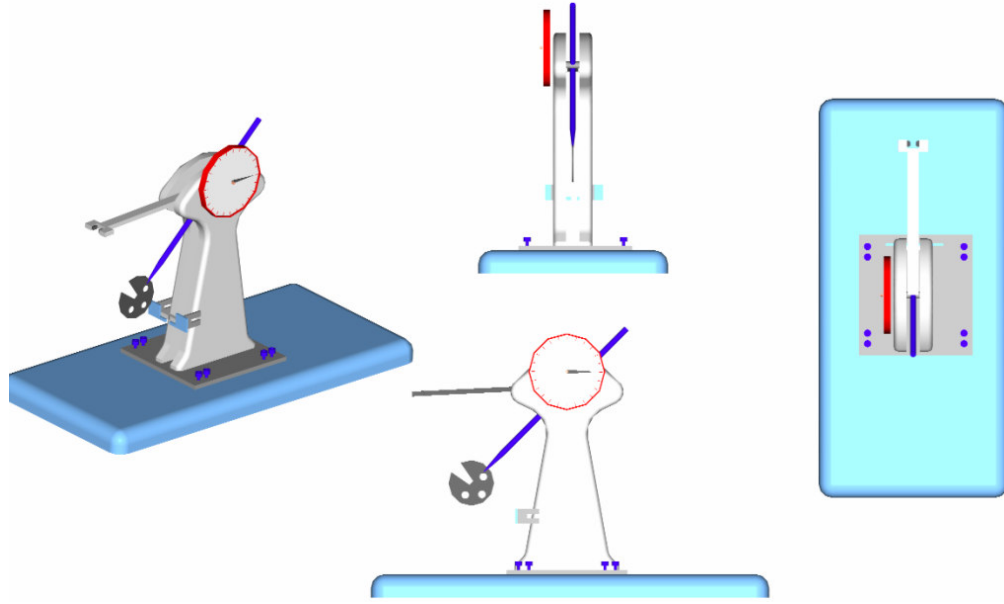
h_2 : Sarkacın Son Yüksekliği



Şekil 6.12. Çentik-Darbe deneyi prensip şeması [27]

Çentik-darbe deneyini prensip şeması Şekil 6.12’de verilmiştir. Mikroskopik olarak çatlak çekme eksenine ile 45 derecelik açı yapan düzlemlerde ilerleyerek kayma kırılması meydana getirir. Malzemelerin yükleme şekli yani gerilme ve şekil değişimi ile ortam şartları meydana gelecek kırılma şeklinin ne tip olacağını tayin eder. Aynı tip malzemede birden fazla kırılma tipi görülebilir. Malzemelerin üretimi sırasında kılcal çatlaklar kalabilir, bu çatlaklar civarında gerilme kontrasyonu oluşur ve kırılmaya neden olur. Gerilme konsantrasyonu nedeniyle meydana gelen çatlaklar akma dayanımdan da küçük olabilir. Yapısında kılcal çatlaklar veya plastik deformasyona uğramayan iri inklüzyonlar, ihtiva eden malzemeler gevrek kırılmaya

uğrar. Numune iki mesnete yatay olarak yaslanarak basit bir kiriş durumundaki numunenin çentik tabanına bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapıp, numunenin kırılması için gerekli enerji ölçülür. Darbe enerjisi genelde joule cinsinden ölçülür. Çentik-darbe cihazının farklı açılardan gösterimi Şekil 6.13’de verilmiştir[27].



Şekil 6.13. Çentik-Darbe deneyi cihazının farklı perspektifte gösterimi [27]

6.2.3.2. Izod darbe deneyi

Bu deneyde numune, kavrama çenesine dikey olarak yerleştirilir. Numuneye kavrama çenesinden belirli bir yükseklikten kuvvet uygulanır. Darbe deneyinde değişik sıcaklıklarda yapılarak, malzemenin kırılma enerjisi-sıcaklık eğrileri elde edilir. Malzemeler sıcaklık değişimiyle birlikte sünek yapıdan, gevrek yapıya geçerler. Elde edilen eğriler yapıdan yardımıyla (T_g) geçiş sıcaklığı bulunabilir. Bu değer metallerde, mutlak ergime sıcaklığının % 10 - 20’si arasında, seramiklerde ise % 50 - 70’i arasında yer alır[27].

Bu sıcaklık malzemenin kimyasal yapısına, uygulanan ısıl işlemlere, metalografik yapıya, tane boyutuna ve yüzey işleme yöntemine bağlıdır. Geçiş sıcaklığı, malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerden biridir. Geçiş sıcaklığı düşük

olan malzemelerin tokluğu yüksek olduğundan mühendislik uygulamalarında geçiş sıcaklığı düşük olan malzemeler tercih edilir[27].

6.2.4. Kırılma tipleri

Mikroskobik açıdan incelendiğinde; malzemeyi meydana getiren bir tanenin kırılması, kristallografik düzlemler üzerinde veya kristallografik düzlemleri kesen atomlar arası bağın kopması yani atomlar arası kohezyon kuvvetinin sıfıra inmesi sonunda olur. Malzemelerin kırılması mikroskobik açıdan farklı şekilde, aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir[31].

6.2.4.1. Klivaj kırılması

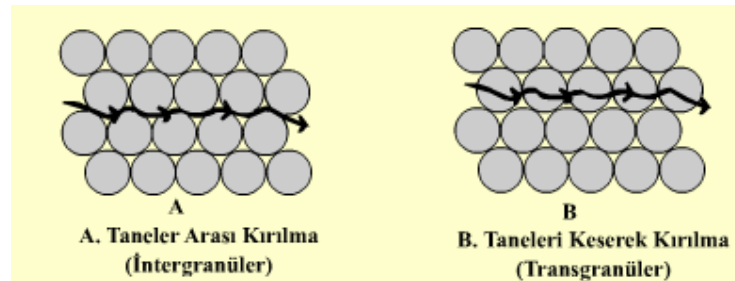
Kırılma, klivaj düzlemleri diye bilinen belirli kristallografik düzlemler boyunca meydana gelirse, buna klivaj kırılması denir. Klivaj düzlemleri en düşük yüzey enerjisine sahip düzlemlerdir. Bu tip kırılma, klivaj düzlemine dik normal gerilmelerin kritik bir değeri aşması ile klivaj düzlemine dik atom bağlarının koparılması sonucunda olur. Tek eksenli gerilme halinde çatlak çekme yönüne dik olarak ilerleme eğilimi gösterir, bu sebeple de klivaj kırılmaları düz bir görünüm gösterir. Çok taneli malzemelerde, klivaj düzlemlerinin oryantasyonu her tanede farklı olup, bir taneden diğer taneye geçildikçe çekme doğrultusuna dik olmayacaktır. Dolayısıyla bir tane boyutundan daha büyük mesafelerde klivaj kırılması düz görünüm göstermeyecektir, tane değıştikçe yön değıştirecektir. Malzemelerin gevrek kırılması, genellikle klivaj kırılması şeklinde olur. Klivaj kırılması granüler veya kristalin bir görünüşe sahiptir, çünkü bu tip kırılma her bir tane içerisindeki bir düzlemden meydana gelir. Klivaj kırılmasında genellikle tanelerin şekli bozulmaz ve yüzeyin görünüşü düzdür, kırılma yüzeyi ışığı çok iyi yansıtır ve parlak olarak görünür[31].

6.2.4.2. Kayma kırılması

Kayma kırılması, kayma gerilmesinin kritik bir değeri aşması ile atom düzlemlerinin kayması sırasında atom bağlarının kopması suretiyle meydana gelir. Atom bağlarının kayma ile kopması sonucunda meydana gelen bu kırılma, bölgesel homojen olmayan

plastik deformasyon işleminden ibarettir. Metalik malzemelerde plastik deformasyon, kaymaya karşı direnci az olan atom düzlemlerinin kayması ile meydana gelir. Bu düzlemlere kayma düzlemleri adı verilir. Metalik malzemelerde kayma çatlakları maksimum kayma gerilmesinin bulunduğu kısımlarda ilerleme eğilimi gösterir. Çatlağın takip ettiği yol yükleme şekline, iç gerilmeler meydana getiren faktörlere ve matriks yapısına bağlıdır. Bu tip kopma, çatlak ilerleyişi makroskopik olarak çekme yönüne dik olduğundan normal kopma veya kırık yüzeyi görünüşü lifli olduğundan lifli kırılma adını alır. Mikroskopik olarak, çatlak çekme eksenine ile 45° lik açı yapan düzlemlerde ilerleyerek kayma kırılmasını meydana getirmiştir. Kırılma, tane sınırlarından veya taneleri keserek oluş şekline göre de aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir[31].

Taneler arası kırılma; çok taneli malzemelerde tane sınırlarındaki kohezyonun çeşitli sebeplerle az olması halinde, malzemenin kırılması tane sınırları yüzeylerinden tanelerin birbirinden ayrılması şeklinde meydana gelir, bu tip kırılmaya taneler arası kırılma veya intergranüler kırılma adı verilir. Şekil 6.14. Taneler arası ve taneleri keserek kırılma tipleri görülmektedir.



Şekil 6.14. Taneler arası ve taneleri keserek kırılma [31]

Taneleri keserek kırılma; taneleri keserek meydana gelen kırılma şekline transgranüler kırılma adını verilir. Transgranüler kırılma, kayma gerilmelerinin etkisiyle tanelerin kayma kırılması şeklinde kopmasıyla meydana gelmişse buna transgranüler kayma kırılması adı verilir. Eğer transgranüler kırılma, tanelerin klivaj düzlemleri boyunca kırılması şeklinde ise buna da transgranüler klivaj kırılması denir. Malzemelerin yüklenme şekli, yani gerilme ve şekil değişimi ile ortam şartları meydana gelecek kırılmanın ne tip olacağını tayin ederler[31].

Gevrek malzemelerde kırılma klivaj düzlemleri boyunca olup, kırılma yüzeyi kristalin bir görünüştedir. Kritik sıcaklıkta darbenin tesiri ile ilk çatlak kolayca meydana gelir ve çatlak, malzeme içinde büyük bir hızla yayılır. Kritik sıcaklık üzerinde plastik şekil değiştirme ve sonra kopma olur. Sünek malzemelerde çatlak oluşumu güçleşir ve çatlağın yayılma hızı yavaşlar. Bu durumlarda kopma, yırtılma şeklinde olup kopma yüzeyi lifli bir görünüş arzeder. Geçiş aralığında her iki davranış birden görülür. Deney sıcaklığı T_1 sıcaklığına yaklaştıkça, gevrek durum hakim olur. Bu sıcaklığın altında bu malzeme kullanılmaz. Geçiş sıcaklığı olarakta genellikle T_1 alınır. Bu sıcaklık; kırılma enerjisine, kırılma yüzeyi görünüşüne ve kırılmadan sonra çentik tabanında meydana gelen enlemesine büzülme miktarına bağlıdır[31].

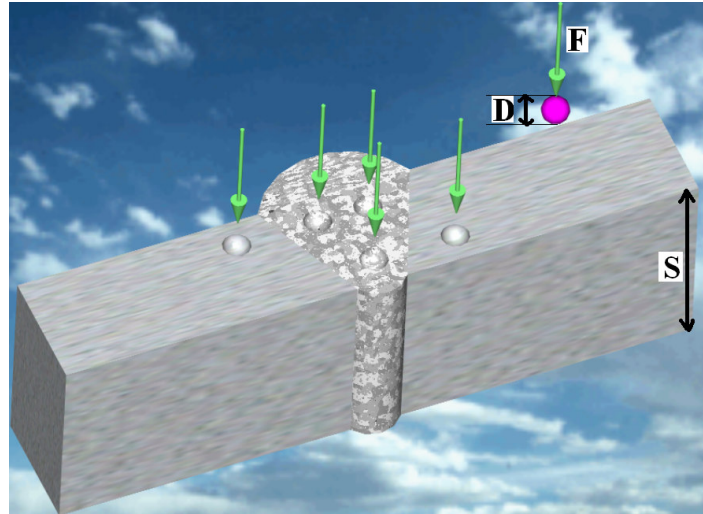
Kırılma enerjisi kriter olarak seçildiğinde, genellikle 2-3 kg-m kırılma enerjisine tekabül eden sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir. Kırılma yüzeyinde kristalin şekilde görülen alanın tüm kesit alanına oranı, yaklaşık olarak tespit edilemeye çalışır. Kesitte % 50 kristalin (granüler) görünüşü veren sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak alınabilir. Sünek davranış halinde çentik tabanında belirli bir miktarda enlemesine büzülme görülür. Gevrek davranışta ise enlemesine büzülme görülmez. Bu büzülme miktarı % 1 mertebesinde olduğu sıcaklık geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir. Genellikle geçiş sıcaklığı düşük malzemeler tercih edilir. Malzeme içerisinde değerlerin değişmesi; kimyasal bileşime, tane boyutuna, mikroyapı ve soğuk işlem derecesine göre değişir. Sünek sıcaklıklarda hadde yönünde ve hadde yönüne dik ve kalınlık yönünde çentikli numuneler alınabilir. Yüksek sıcaklıklarda kalınlık yönünde en düşük çentik darbe tokluğu, en yüksek ise hadde yönüne dik numunelerden sonuçlar alındığı göülür[31].

Kırılma, klivaj düzlemleri diye bilinen belirli kristallografik düzlemler boyunca meydana gelirse, buna klivaj kırılması denilir. Klivaj düzlemleri en düşük yüzey enerjisine sahip düzlemlerdir. Bu tip kırılma, klivaj düzlemine dik normal gerilmelerin kritik bir değeri aşması ile klivaj düzlemine dik atom bağlarının koparılması sonucunda olur. Çok taneli malzemelerde, klivaj düzlemlerinin oryantasyonu her tanede farklı olup, bir taneden diğer taneye geçildikçe çekme doğrultusuna dik olmayacaktır. Böylece bir tane boyutundan daha büyük mesafelerde

klivaj kırılması düz bir görünüm göstermeyecek, tane değişikçe yön değiştirecektir[31].

6.2.4. Sertlik deneyi

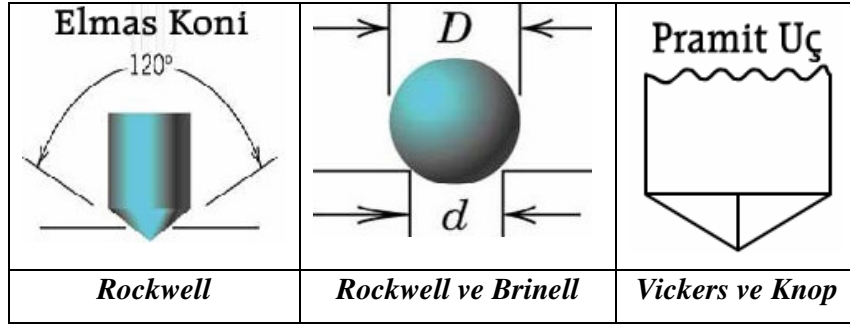
Bir malzemenin çizilmeye, kesilmeye, aşınmaya ve delinmeye karşı gösterdiği dirence sertlik denilir. Bilimsel olarak ise malzemenin dislokasyon hareketine veya plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç sertlik olarak ifade edilir. Bütün metallerde ve özellikle çelikte sertlik soğuk sertleştirme ve ısı işlem sonucu geniş sınırlar içerisinde değişir. Ölçülen sertlik değerlerinden yararlanarak malzemenin iç yapısı hakkında bilgiler elde edilir. Sertlik muayeneleri bu sebeple çok uygulanır. Sertlik deneyinde, bir malzemenin yüzeyine batırılan bir uca veya kesici takıma karşı gösterilen direnç ölçülür. Sertlik deneyi prensip şeması Şekil 6.15'de verilmiştir[27].



Şekil 6.15. Sertlik deneyi prensip şeması [27]

Deneyde bir batıcı uc belirli bir kuvvetle parça yüzeyine batırılır. Meydana gelen iz üzerinde bir ölçü değeri okunur ve buradan sertlik hesaplanır. Muayene yükü ayarlanmış ağırlıklar vasıtası ile bir manivela sistemi üzerinden batıcı cisme aktarılmaktadır. Küçük bir amortisör ile yükün darbesiz olarak belirli bir maksimum değere kadar numune üzerine etkimesi sağlanır. (4 - 8 saniye içerisinde deney yöntemlerinin çoğunda yük, batıcı ucu malzeme yüzeyine dik doğrultuda ve yavaş yavaş bastırarak şekilde uygulanır. Deney yükünün etkime süresi malzemeye ve

muayene usulüne bağılı olarak 2 - 30 saniye arasında değişebilir. Muayene yöntemleri; Statik ve dinamik sertlik ölçme yöntemleri olarak iki gruba ayrılır. Statik yöntemler; Brinell, Vickers, Rockwell ve Knoop Sertlik Deneyidir. Dinamik yöntem ise; Shore-Dinamik (geri sıçrama) sertlik deneyidir. Sertlik deneyinde kullanılan uc çeşitleri Şekil 6.16'da verilmiştir [27].



Şekil 6.16. Sertlik deneyi bilya çeşitleri [27]

Brinell yönteminde batıcı uç olarak sertleştirilmiş ve tungsten karbondan yapılan bir bilya belirli bir yük ile malzemenin yüzeyine bastırılır ve malzeme yüzeyinde meydana gelen izin çapı ölçülür. Standart deney koşullarında çapı 10 mm olan bilya kullanılır. Yük malzemenin cinsine göre seçilir ve uygulama süresi 10 - 15 saniye arasında değişir [27].

Standart küre çapı : $D = 1 ; 2,5 ; 5$ ve 10 mm

Minimum numune kalınlığı : $S_{min} = 17 \times \text{Bilyanın Batma Derinliği}$ (6.11)

$S_{min} = 10 \times \text{Bilyanın Batma Derinliği}$ (pratik kullanım için)

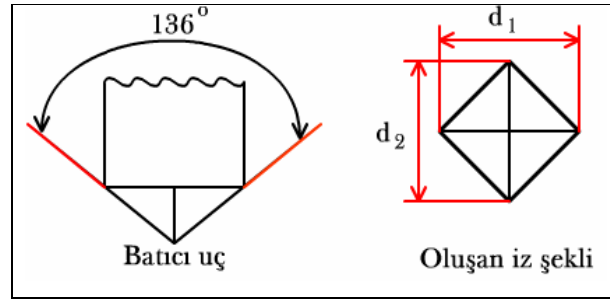
İz Çapı : $d = 0,2 \times D$ ve $0,7 \times D$ aralığında olmalıdır.

İzin yüzey alanı $A = \pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}) / 2$ (6.12)

Brinell Sertlik Değeri BSD (HB) = $\frac{2F}{\pi \cdot D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} = \frac{F}{A}$ (6.13)

F : Uygulanan Yük, D : Bilyanın Çapı; d : Oluşan İzin Çapı

Vickers sertlik ölçme yönteminde, piramit biçiminde ve tabanı kare olan batıcı uç kullanılır. Elmastan yapılan piramitin tepe açısı 136 derecedir. Deney batıcı ucun malzeme yüzeyine, malzeme cinsine göre seçilen bir yük altında, belirli bir süre batırılması ile yapılır. Oluşan izin köşegen uzunlukları ölçülerek formüle edilir. Yük yaklaşık 5 saniye içerisinde en yüksek değerine ulaşmalı ve 10 - 15 saniye etki etmektedir. Sertlik deneyinde kullanılan vickers bilyanın görünümü Şekil 6.17’de verilmiştir[27].



Şekil 6.17. Sertlik deneyinde kullanılan vickers bilyanın görünümü [27]

$$\text{VSD (HV)} = 1,8544 F/d^2 \quad d = (d_1 + d_2) / 2 \quad (6.14)$$

F : Uygulanan Yük

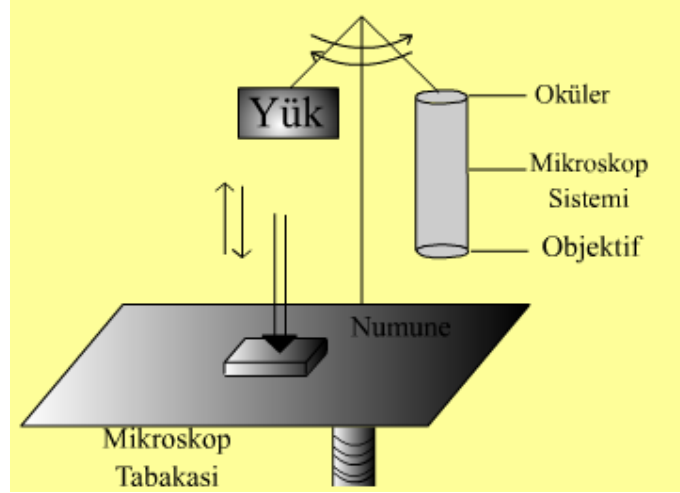
d_1, d_2 : Köşegen uzunlukları

Rockwell sertlik deneyinde, standart bir batıcı uç genellikle 10 kg gibi küçük bir yükü malzeme yüzeyine bastırılır. Oluşan izin dip noktası başlangıç noktası olarak alınır. Daha sonra yük büyük bir değere çıkarılıp, tekrar önceki değerine indirilir. Uzun batma derinliğindeki artışa göre Rockwell sertlik değeri belirlenir. Rockwell sertlik deneyinde batıcı uç olarak ya elmas koni yada çelik bilya kullanılır[27].

6.2.5.1. Mikro-sertlik deneyi

Bu deney, özellikle çok küçük numunelerin ve ince saçların sertliklerini ölçmede elverişlidir. Karbür ize, dekarbürize ve azotla sertleştirilmiş yüzeylerle, elektrolitik olarak kaplanmış malzemelerin sertlikleri de bu deney ile tespit edilebilir. Ayrıca, metalik alaşımlarda fazların sertliklerinin tespitinde, segregasyonların ve cam, porselen, metalik karbürler gibi çok sert ve kırılğan malzemelerin sertliklerini

ölçmede de kullanılır. Deney malzemesinin sertliğine göre seçilen uygun yükler için, batıcı ucun malzemeye girdiği derinlik hiç bir zaman 1 mikronu geçmez. Mikro - sertlik aleti hassas bir alet olup kontrolü otomatiktir. Diğer sertlik ölçme aletlerinden farklı olan yanı, aletin komple metal mikroskobunu ihtiva etmesidir[29].



Şekil 6.18. Mikro - sertlik deneyinin yapılışının şeması [29]

Şekil 6.18. Mikro - sertlik deneyinin yapılışının şeması verilmektedir. Sertliği ölçülecek numune mikroskobun tablasına oturtulur ve okülerde net görüntü elde edilinceye kadar mikroskop tablası hareket ettirilir. Bundan sonra mikroskop tablası elle, sertlik ölçen kısmın altına getirilir ve düğmeye basarak sertlik ölçen ucun hareketi sağlanır. Uç, otomatik olarak numuneye batar ve 20 saniye sonra yine otomatik olarak geri döner. Böylece numunenin üzerinde bir iz elde edilir. izin boyutlarını ölçmek için mikroskobun tablası yine elle objektifin altına getirilir ve okülerden iz gözlenir. Oküler üzerindeki özel taksimat ile izin boyutları tespit edilir. Mikro - sertlik deneyi için iki standart uç kullanılır[29].

6.3. Tahribatsız Testler

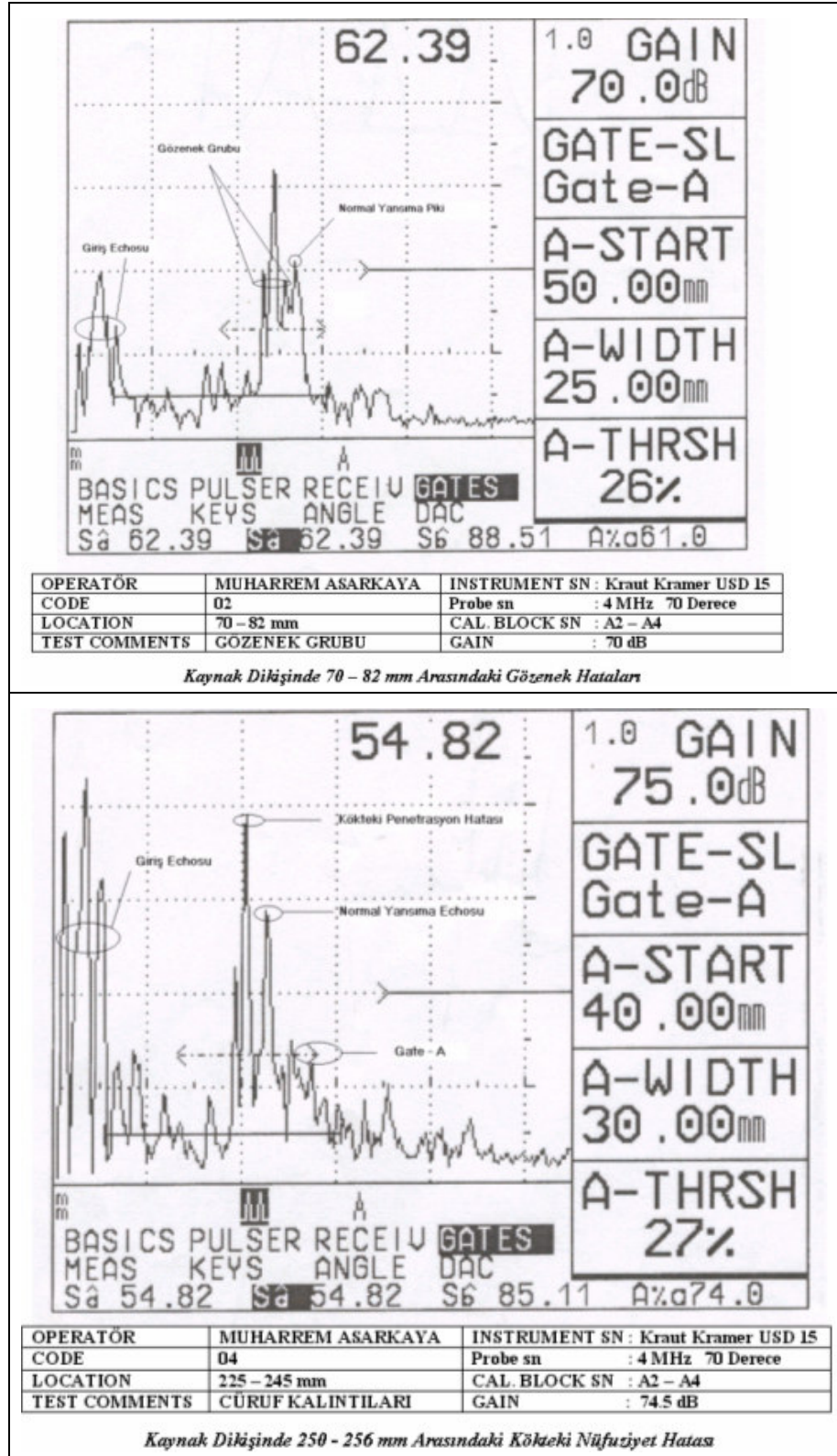
6.3.1. Ultrasonik yöntemle tahribatsız muayene

Fiziksel olarak ses, elastik ortamların mekanik titreşimlerinden meydana gelir. Bu titreşimler, elastik bir maddenin moleküllerinin veya atomlarının sükunet durumlarının dışarıdan bir kuvvetin etkisiyle bozulmasından oluşur. Sesin işitilebilmesi veya özel dedektörler tarafından algılanabilmesi frekansına ve şiddetine bağlıdır. Ses dalgalarının yayılması, ortamın molekülleri veya atomları arasındaki bağ kuvvetlerine elastik sınırlar dahilinde etki edilmesiyle olur. Dalgaların uyguladığı basınç, yayıldığı ortamın atomlarını titreşim haline uyarır. Titreşimler elastik olarak atomdan atoma iletilir[32].

Ultrasonik, katı, sıvı ve gaz ortamlarda yayılabilir, vakumda yayılamaz. Atomlar veya moleküller arası bağ kuvvetleri katılarda çok yüksek olup, sıvılarda zayıf ve gazlarda yok denecek kadar azdır. Sıvılarda ve gazlarda parçacıklar hareketlidir. Buna rağmen, sıkıştırmaya ve genleştirmeye karşı bir direnç gösterirler ve elastik dalgaları iletebilirler. Titreşimler, ortamda dalga olarak yayılırlar. Dalga, zaman ve hacim periyodik bir harekettir[32].

6.3.1.1. Ultrasonik dalgaların üretilmesi

Ultrasonik dalgalar, piezoelektrik, magnetostriktif, elektrodinamik mekanik, termik, elektrostatik, optik vs. fiziksel olaylarla üretilir. Piezoelektrik olay, ultrasonik dalga üretiminde en yaygın olarak kullanılan tekniktir. Ses, piezoelektrik özelliğe sahip kristallerle üretilir ve test malzemesi ortamına bir kontak maddesi vasıtasıyla iletilir. Bütün ferromanyetik malzemeler değişken bir manyetik alan etkisi altında kaldıklarında, mekanik deformasyona uğrar ve manyetik alanın kuvvet çizgileri doğrultusunda kısılır veya uzar. Bu olaya Magnetostriksiyon denir. Şekil değişikliği sabit hacimde oluyorsa, buna Lineer magnetostriksiyon denir. Ultrasonik yöntemle yapılan tahribatsız muayenede örnek grafikler Şekil 6.19'de verilmiştir [28].

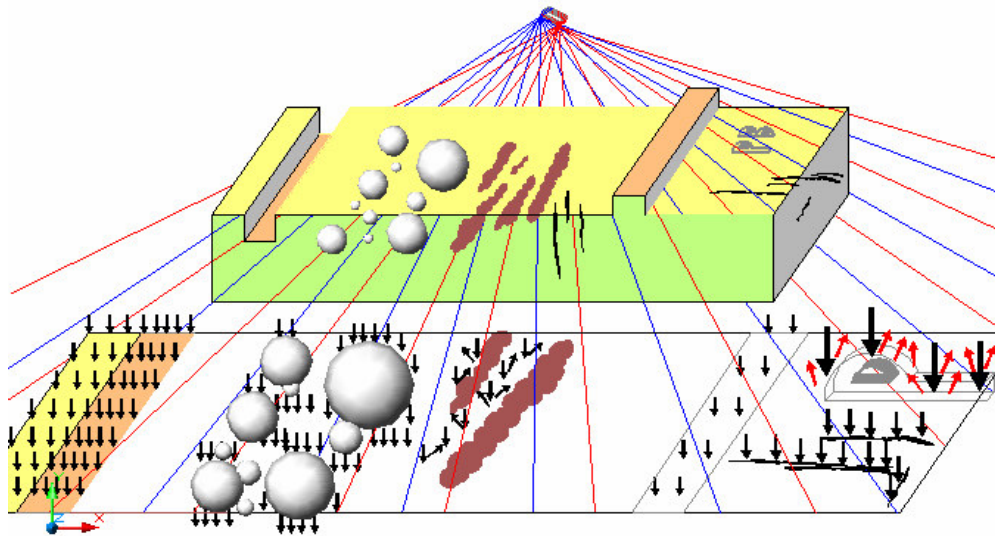


Şekil.6.19. Ultrasonik yöntemlerle tahribatsız muayene sonuçları [28]

Magnetostriktif bir malzemedeki ultrasonik dalgalar magnetoelastik etki yoluyla algılanırlar. Bu, elastik gerilmelerin (ses) manyetik özellikleri etkilemesi esasına dayanır. Sesin, test malzemesi ortamına iletilmesi için bir kontak maddesine gerek yoktur. çünkü ses test malzemesi içinde üretilmektedir. Elektrodinamik yöntem Lorentz kuvvetlerine dayanmaktadır. Bir alternatif akım bobini vasıtasıyla, metalik bir malzeme yüzeyine girdap akımları indüklendiğinde, sabit manyetik alan içerisinde bu akımın yörüngelerini etkileyen Lorentz kuvvetleri doğar. Bu kuvvetler ultrasonik dalgaların oluşmasını sağlar. Olay tersinir olup, dalgalar test malzemesi kendisi içerisinde üretilir[28].

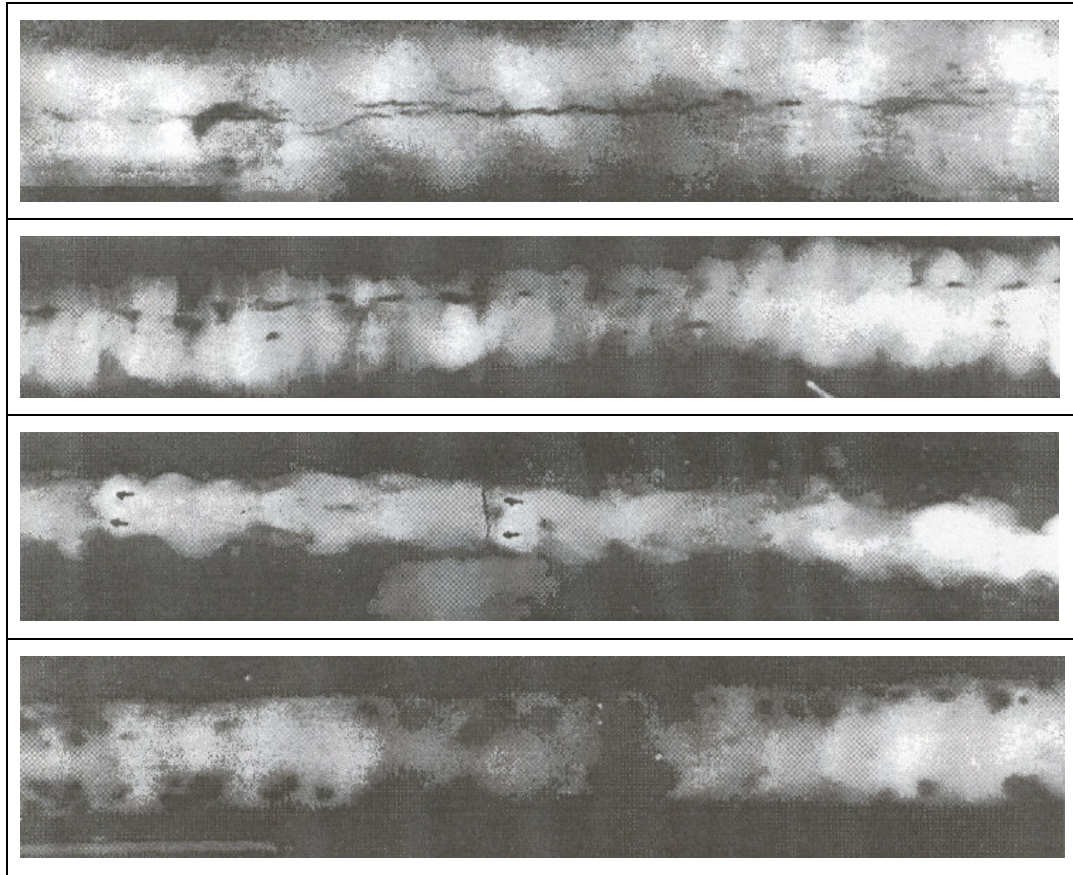
6.3.2. Radyografik yöntemle tahribatsız muayene

X-ray ve gama ışınlarının uygun parametrelerle kaynağa nüfuz ederek, radyografik film üzerinde görüntü alınma tekniğine radyografik muayene denilir. Kaynağın içerisinde bulunan hatalar yoğunluk farklarından dolayı film üzerinde farklı film kontrastı verir. X-ışınlarının enerjisinin % 1'i x-ışını olarak ortaya çıkar diğer % 99'luk kısmı ise ısı olarak ortaya çıkar. Bu yüzden tungsten flamanın etrafının soğutulması gerekir. Radyografik yöntemle yapılan tahribatsız muayene prensip şeması Şekil 6.20'da gösterilmektedir[33].



Şekil.6.20. Radyografik yöntemlerle tahribatsız muayene prensip şeması [33]

X-ray ve gama ışınlarının uygun parametrelerle kaynağa nüfuz ederek, radyografik film üzerinde görüntü alınma tekniğine radyografik muayene denilir. Kaynağın içerisinde bulunan hatalar yoğunluk farklarından dolayı film üzerinde farklı film kontrastı verir. X-ışını, atomun elektron enerji seviye farkından meydana gelir. Bir uyarıyla elektron bir üst seviyeye çıktığında, atom dengeli hale gelmek için , bu elektron tekrara alt seviyeye gelir, fazla enerjisini x-ışını olarak yayar. Buna karakteristik x-ışını denilir. Hızlandırılmış elektronların aniden durulmasıyla elektron enerjisini kaybedecek ve bu enerji x-ışını olarak ortaya çıkacaktır. Buna da frenleme veya sürekli spektrum denir. Yüksek nüfuziyet enerjisine sahip gama ışınları, kalın malzemelerinin film çekimlerinde kullanılır, ve yüksek yoğunluklu malzemelerde gama ışınları kullanılmalıdır. Bu yüzden alüminyum malzemelerin çekiminde gama ışınları kullanılmaz. Radyografik yöntemle çekilen film görüntülerine ait örnekler Şekil 6.21’de verilmiştir[33].



Şekil.6.21. Radyografik yöntemlerle çekilen filmlerin görüntüleri [33]

Farklı enerji seviyelerinde x-ışınları üretildiği için, film görüntü kalitesi çok daha iyidir. X-ışınları üreten makineler genellikle elektrik enerjisi ile çalıştıkları için, elektrik kabloları ile enerji taşıma problemi vardır. Gama ışınlarında çekirdeğin içerisinde bulunan enerji ölçümleri curie cinsinden yapılır ve cihaz içerisindeki enerji 1 curie'ye inene kadar film çekimi yapılabilir. Gama ışınlarının enerjileri sabit olduğu için, kaliteleride sabittir. X-ışınlarında kalite değeri uygulanan gerilimle artar, yoğunluk ise akımla artar [33].

6.3.3. Girdap akımları ile tahribatsız muayene

Bir alternatif manyetik alan tarafından iletken bir malzemede oluşturulan alternatif akıma "Girdap Akımları" denir. Girdap akımları aynı merkezli bir seri daire şeklindedir. Girdap akımlarının bulunduğu düzlem, onu oluşturan manyetik alan diktir [28].

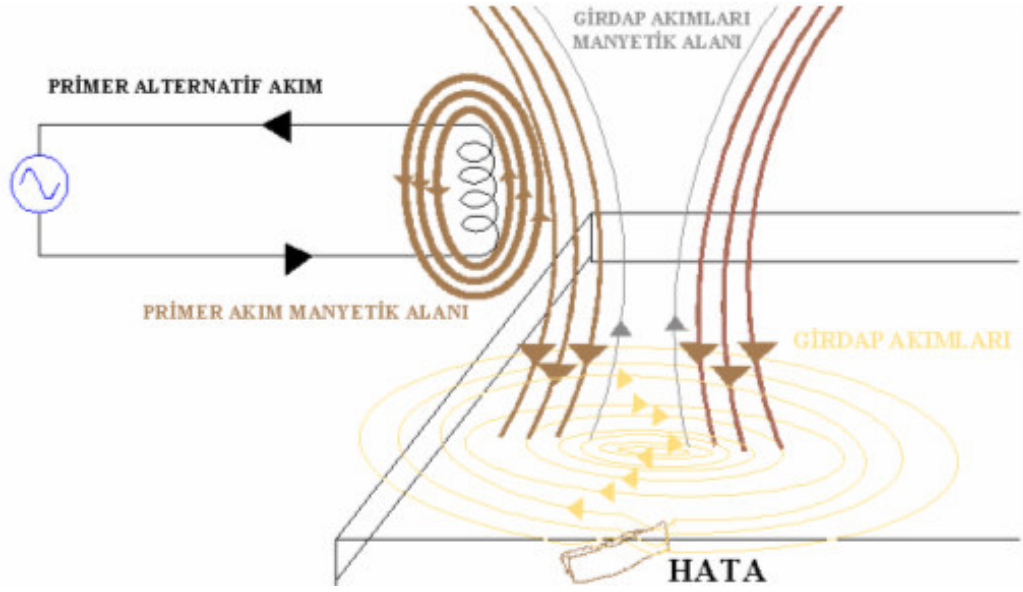
Birincil manyetik alan iletken bir malzeme içinde girdap akımlarının oluşabilmesi için zamanla değişen bir manyetik alana gereksinim vardır. Bu değişken manyetik alan alternatif akım taşıyan bir bobinle sağlanabilir. Bobindeki alternatif akım değiştikçe onunla beraber manyetik alanda değişecektir. İletken malzemenin yüzeyindeki manyetik alan şiddeti, test bobinin boyutuna ve şekline, bobinden geçen akıma ve bobinin yüzeye olan uzaklığına bağlıdır. Girdap Akımları test bobinindeki değişken manyetik alan iletkeni nüfuz ederek; iletkenin yüzeyine paralel, ancak uygulanan manyetik alana dik yönde dairesel olarak girdap akımlarını oluşturur [28].

Girdap akımlarının akış yönü birincil manyetik alana zıt yönde ve onun değişimiyle aynı hızdadır. Girdap akımları aşağıdaki değişkenler ile artar:

- a) Birincil manyetik alanın büyüklüğü, manyetik alanın değişim hızı (frekansı).
- b) Malzemenin elektrik iletkenliği, malzemenin manyetik geçirgenliği.

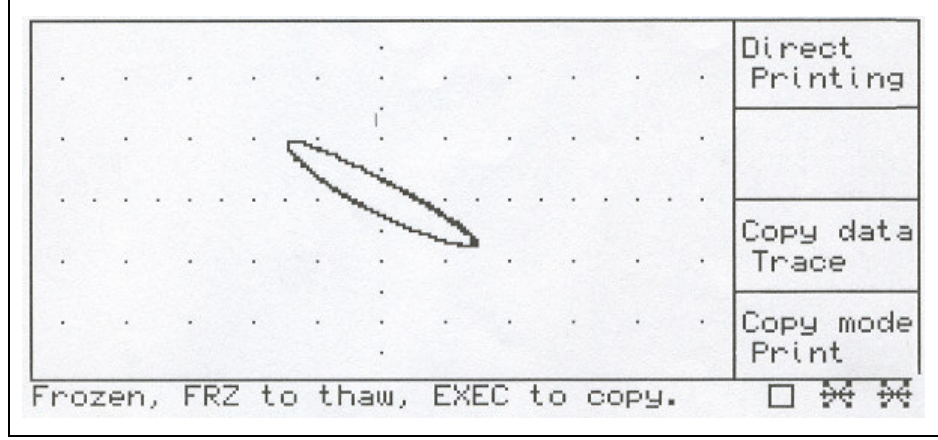
İkincil Manyetik Alan girdap akımlarının akış yönündeki değişim; test bobinin oluşturduğu birinci manyetik alana zıt yönde ikinci bir manyetik alan oluşturur.

İkincil manyetik alanın birinci manyetik alana dik olması nedeniyle toplam manyetik alan etkilenir ve test parçasındaki değişkenlerin (çatlak, boşluk vs.) etkisini belirlemek için cihaz tarafından algılanır ve gösterilirler. Test bobine alternatif akım uygulanarak etrafında değişken bir manyetik alan oluşması sağlanır. Değişken manyetik alan iletken test parçasına yaklaştırılarak üzerinde girdap akımları oluşmasını sağlar. Girdap akımları yönteminin prensip şeması Şekil 6.22’de gösterilmektedir[28].



Şekil.6.22. Girdap akımları yönteminin şematik gösterimi [28]

Endüklenen birincil manyetik alana ters yönde ikincil bir girdap akımları manyetik alanı oluşur. test parçasında bulunan bir süreksizlik veya değişim elektrik direncinin değişmesine neden olur ve akım miktarında ikincil manyetik alanı değiştirir. Göstergede malzemenin ne şekilde etkidiği kaydedilir. Temas maddesi gerekmez ve ayarlaması basittir. Girdap akımları metodu ile iletken malzemelerin yüzey ve yüzeyaltı hataları tespit edilebilir. İletken malzeme üzerindeki iletken olmayan boya veya kaplama kalınlığı ölçülebilir. Metalik bileşenlerin iletkenlikleri ölçülebilir Girdap akımları deneyi sonuçlarının gösterimi Şekil 6.23’de verilmiştir[28].



Şekil.6.23. Girdap akımları yönteminin sonuçlarının gösterimi [28]

6.3.4 Manyetik parçacık yöntemi ile tahribatsız muayene

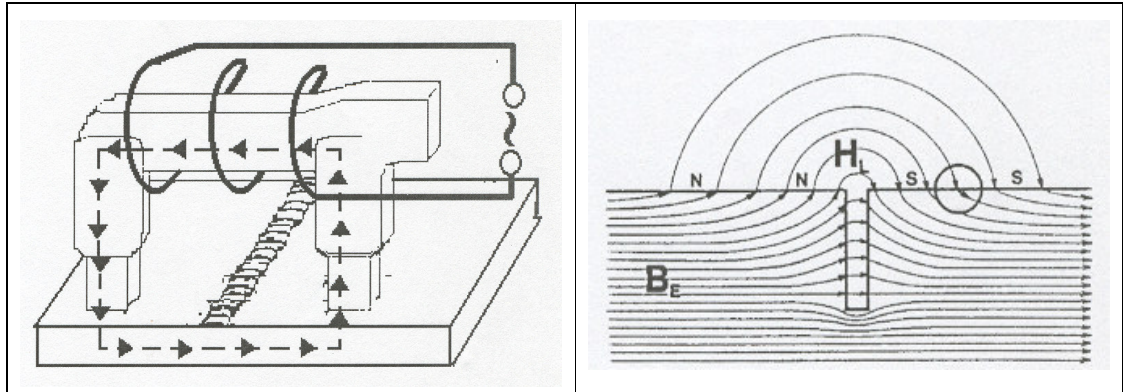
Herhangi bir malzemedan bir elektrik akımı geçirilirse , bir magnetik alan meydana gelir. Magnetik kuvvet çizgileri veya akı elektrik akımının yönüne daima diktir. İçinden elektrik akımı geçen bir bakır telde kuvvet çizgileri veya akı saat yönün ters istikametinde yol almaktadır. Kuvvet çizgilerini yönü için baş parmak akım yönünü gösterirse diğer dört parmak kuvvet çizgilerinin akış yönünü gösterir. Buna sağ el kuralı denir[32].

6.3.4.1. Dairesel manyetik alanlar

Elektriği ileten bir malzemedan akım geçirildiğinde içinde ve çevresinde dairesel bir alan meydana gelir. Ferromanyetik bir demir çubuktan akım geçirildiğinde hem içinde hem de çevresinde dairesel manyetik alan çizgileri meydana gelir. Manyetik olmayan bakır ile demir kıyaslandığında manyetik olan demir daha kuvvetli mıknatıslanır ve içinde daha fazla alanı tutar. Fakat dışarıda meydana gelen manyetik alan hemen hemen aynıdır. Dairesel mıknatıs üzerine demir tozları serpiildiğinde kutuplara doğru çekilirler yani akımın girdiği ve çıktığı yerlere giderler. Silindirik bir şekilden akım geçirildiğinde dairesel mıknatıstaki gibi kaçak akı meydana gelmez. Fakat çatlak olduğunda kaçak akı meydana gelip , dairesel alanı kesikliğe uğratacaktır [32].

6.3.4.2. Boyuna manyetik alanlar

Bu sistemde malzeme uzunlamasına mıknatıslandırılır. Çubuk mıknatısta magnetik akı çizgileri çubuk boyunca ilerler. Bir çatlak akı içinde 45^0 ve 90^0 arasında bir açı teşkil ediyorsa akı kaçığı meydana gelir. Akı çizgilerine paralel çatlaklar akı kaçığına neden olmaz. Boyuna mıknatıslanma bir bakır tel içinden elektrik akımı geçirildiğinde tel etrafında meydana gelen magnetik alanla aynı prensibe dayanır. Bakır tel bir bobin teşkil edecek şekilde bükülürse her bir sarım etrafındaki akı çizgileri diğer sarımların akı çizgileri ile birleşir ve akı yoğunluğunu arttırarak boyuna bir magnetik alan meydana getirir. Akı yoğunluğu ve magnetik akı şiddeti bakır telin yüzeyinde en büyüktür. Bu yüzden toplam magnetik alanın akı yoğunluğu bobinin iç yüzeyinde en büyüktür. Bir bobinde meydana gelen alan şiddeti üç faktöre bağlıdır: Bobindeki sarım sayısı, bobinden geçen akım, bobinin çapıdır. Manyetik parçacıklarla tahribatsız muayenenin gösterimi Şekil 6.24'de verilmiştir [32].



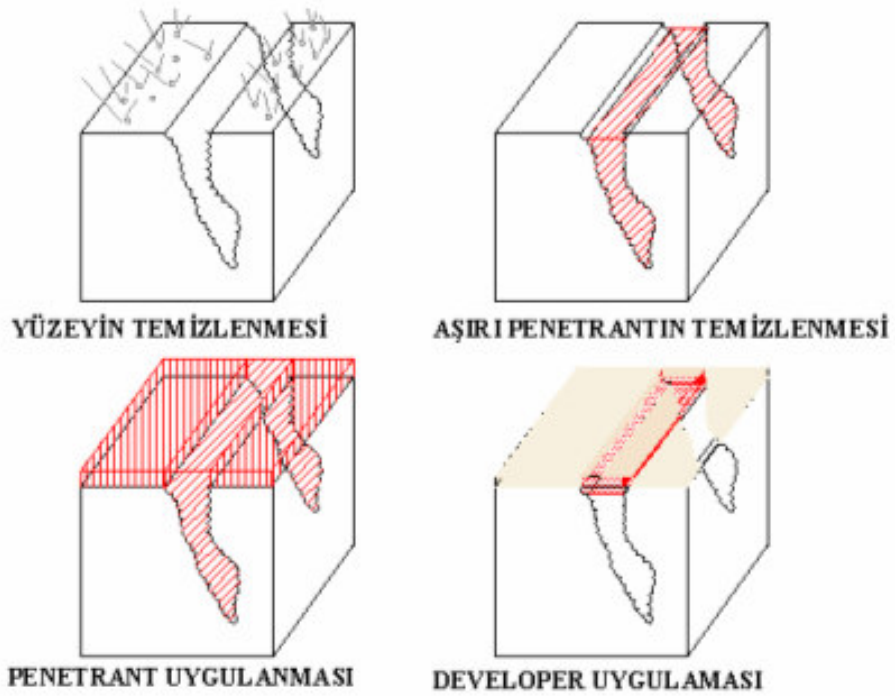
Şekil.6.24. Manyetik parçacıklarla tahribatsız muayene yönteminin gösterimi [32]

Magnetik alan sarım sayısı ve akım ile doğru orantılı, fakat bobin çapı ile olan ilişkisi açık değildir. Farklı aralıklarla sarılmış fakat sarım sayıları eşit iki bobinden aynı akım geçirilirse herbirinde eşit miktarda magnetik akı meydana gelir. Fakat sarımlar arası mesafe daha yakın olan bobinde kuvvet çizgileri birbirine daha yakındır. Akı yoğunluğu sık sarımlı bobinin içinde seyrek sarımlı bobine göre daha fazladır. Elektrik akımı geçen bir malzeme içine malzeme yerleştirirsek malzemede boyuna magnetik alan meydana gelir [32].

Boyuna magnetik alan akı çizgileri ile kesişecek şekilde çatlarda akı kaçağı meydana getirir. Akı çizgileri ile 45° ye kadar açı yapacak şekilde çatlaklar da akı kaçağı meydana getirir. Silindirik şekilli bir çelik boruda akı yoğunluğu bobinin iç yüzeyine yakın yerlerde en büyüktür. Magnetik alan akı yoğunluğunun en büyük olduğu yerde en kuvvetlidir. Eğer ferromanyetik bir malzeme bobinin iç yüzeyine temas etmiyorsa, akım geçirildiğinde şiddetli bir şekilde bobine çekilir. Eğer çekilmezse malzeme ferromanyetik değildir. Manyetik alan yöntemiyle yüzeyin hemen altındaki süreksizlikler tespit edilebilir. Ferromanyetik malzemelerdeki ince ve sığ yüzey çatlaklarının dedekte edilmesinde hızlı ve basit, ucuz bir yöntem ince boya tabakalarının bulunmasında çalışılabilir [32].

6.3.5. Sıvı penetrant yöntemi ile tahribatsız muayene

Boya içeren sıvı test edilecek yüzeye sürülür. Sıvının süreksizlikleri bulması ve girmesi için bir süre beklenir. Sonra yüzeyde kalan sıvı temizlenir ve bir toz uygulanır. Bu toz emici kağıt gibi davranır ve süreksizliklere girmiş olan boyalı sıvıyı tekrar yüzeye çıkarır[28].



Şekil.6.25. Sıvı penetrant tahribatsız muayene yönteminin gösterimi [28]

Sıvı penetrant testi tahribatsız muayene yönteminin gösterimi Şekil 6.25’de gösterilmektedir. Sıvı penetrant testiyle ancak yüzeye açık süreksizlikler bulunabilir. Eğer penetrant süreksizliklere girmezse hiçbir belirti meydana gelemez. Sıvı penetrant yönteminde testi yapılacak olan malzemenin yüzeyi tamamen temizlendikten sonra girici sıvı olan penetrant test parçası yüzeyine sıkılır. 15 dakika penetrantın hatanın içine nüfuz etmesi beklendikten sonra malzemenin yüzeyindeki aşırı penetrant laminar akışkanlı su veya bezle temizlenir. Temizleme yapıldıktan sonra beyaz sıvı olan developer malzeme yüzeyine sıkılarak hataya nüfuz etmiş olan sıvı penetrant dışarıya çıkarılır. Böylece beyaz sıvı altında kırmızı renkli hata tespit edilir [28].

BÖLÜM 7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Giriş

Ülkemiz gemi üretim sanayi son yıllarda önemli büyümeler göstermiş ve dünya gemi imalat sanayinde önemli bir yer almıştır. Son yıllarda dünyanın en gelişmiş ülkeleri de dahil olmak üzere bir çok ülke çok büyük tonajlara sahip olan gemiler ülkemizde de büyük başarı ile üretilmekte ve pazar payı geliştirilmektedir.

Gemi sanayinde metalik parçaların birleştirilmesinde en çok kullanılan teknik kaynak yöntemleridir ve hemen hemen her türlü kaynak uygulamasını gemi inşasında görmek mümkündür. Bu kaynak teknikleri içerisinde geleneksel elektrik ark kaynağı, gazaltı kaynağı ve tozaltı kaynağı ön plana çıkmaktadır. Gemi sanayinde kullanılan standart çelikler mevcut olup bu çelikler daha çok bu kaynak teknikleri kullanılarak birleştirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, belirli standartlarda üretilen gemi saclarının farklı kaynak teknikleri ile birleştirilmesi neticesinde kaynaklı bölgelerin mekanik özelliklerinin ve mikroyapısal özelliklerini incelemektir.

7.2. Deneyselerde Kullanılan Sacların-Elektrodların Mekanik ve Kimyasal Özellikleri

Deneysel çalışmalarda A Grade, DH 36 Grade gemi çelikleri kullanılmıştır. Bu çeliklerden A Grade düz haddelenen bu tür gemi çelikleri genellikle gemilerde yüksek mukavemet istenmeyen ve gerilmelere maruz kalmayan bölgelerde yoğun olarak kullanılır. A Grade çelikler gemilerin dış kaplamalarında, bordo saclarında, üst binalarda, ambar sacları olarak yoğun olarak kullanım alanına sahiptirler. Gemi sektöründeki saclarda, özellikle yüksek korozyon özelliğine sahip deniz suyuna karşı

korozyona dayanıklılık, denizde oluşabilecek yüksek dalga boylarında kırılmadan kalabilecek; yüksek mukavemet, süneklik ve soğuk deniz sularında gemi çeliklerinin gevrek kırılmaya uğramaması istenmektedir. Özellikle gemi dizaynlarında çalışacağı bölgeler, gemi özellikleri ve yükleme şekillerine göre gemi sacları dizayn edilmektedir. Bu bölgeler ANSYS ve TRIBOM M3 gibi dizayn programları vasıtasıyla tespit edilir ve yüksek mukavemetli çeliklerin kullanılmaktadır. Teste kullanılan gemi çeliklerinin ve ilave elektrodların kimyasal bileşimleri Tablo 7.1’de verilmektedir [34].

Tablo7.1 Teste kullanılan gemi çeliklerinin ve ilave elektrodların kimyasal bileşimleri (Ağırlıkça) [34]

| MALZEME | C | Mn | Si | P | S | Mo | Cu | Ni | Cr |
|-------------------------|--------------------------------|------|------------------|------------------|-------|------|------|-------------------|------|
| A GRADE 10 mm | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,001 | 0,01 | 0,08 | 0,03 | 0,06 |
| A GRADE 14 mm | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,001 | 0,01 | 0,06 | 0,03 | 0,05 |
| A GRADE 16 mm | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,001 | 0,01 | 0,09 | 0,03 | 0,06 |
| A GRADE 20 mm | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,001 | 0,01 | 0,07 | 0,03 | 0,09 |
| DH 36 GRADE 17 mm | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,001 | 0,01 | 0,11 | 0,03 | 0,07 |
| DH 36 GRADE 20 mm | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,001 | 0,001 | 0,02 | 0,12 | 0,04 | 0,06 |
| BAZİK ÖRTÜLÜ ELEKTROD | 0,07 | 1,0 | 0,5 | - | - | - | - | - | - |
| RUTİL ÖZLÜ GAZALTI TELİ | 0,03 | 1,36 | 0,58 | 0,014 | 0,007 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| SOLID TOZALTI TELİ (S2) | 0,09 | 1,5 | 0,4 | 0,025 | 0,025 | - | - | - | - |
| | Al ₂ O ₃ | MnO | SiO ₂ | CaF ₂ | MgO | FeO | TiO | Na ₂ O | |
| BAZİK KARAKTERLİ TOZ | 31,1 | 6,1 | 18,2 | 188 | 27,3 | 3,5 | 1,2 | 2,5 | |

Aşağıdaki Tablo 7.2’de gemi çeliklerinin ve ilave elektrodların mekanik özellikleri verilmektedir[34].

Tablo 7.2 Gemi çeliklerinin ve ilave elektrodların mekanik özellikleri [34]

| MALZEME | AKMA DAYANIMI | ÇEKME DAYANIMI | % UZAMA | ÇENTİK DAYANIMI |
|-------------------------|---------------|----------------|---------|-------------------|
| A GRADE 10 mm | 270 MPa | 436 MPa | % 35,6 | - |
| A GRADE 14 mm | 295 MPa | 460 MPa | % 36,4 | - |
| A GRADE 16 mm | 272 MPa | 432 MPa | % 39,1 | - |
| A GRADE 20 mm | 295 MPa | 455 MPa | % 32,6 | - |
| DH 36 GRADE 17 | 408 MPa | 575 MPa | % 28 | - 40 °C 100 Joule |
| DH 36 GRADE 20 | 402 MPa | 572 MPa | % 29 | -40 °C 100 Joule |
| BAZİK ÖRTÜLÜ ELEKTROD | 420 MPa | 540 MPa | % 24 | -40 °C 70 Joule |
| RUTİL ÖZLÜ GAZALTI TELİ | 467 MPa | 571 MPa | % 35 | + 20 °C 92 Joule |
| SOLID TEL & BAZİK TOZ | 535 MPa | 620 MPa | % 30 | - 20 °C 80 Joule |

7.3. Test Parçalarına Kaynak Öncesinde Uygulanan İşlemler

Tersane bünyesine gemi üretimi için getirilen ve Loyd sertifikasına sahip farklı kalınlıklarda gemi çeliklerden 150mm x 500mm ve farklı kalınlıklarda aevli kesme tezgahlarında test parçaları çıkarılmıştır. Kaynak yöntemlerine en uygun kaynak ağızları tespit edilip, aevli kesme tezgahlarında kaynak yapılacak yüzeylerine kaynak ağızları açılmıştır. Bu bölgelerde oluşan çapak ve kesim hataları taşlama yöntemi ile yüzeyden uzaklaştırılarak kaynak hatası oluşmaması sağlanmıştır. Kaynaktan önce tüm test parçalarının uygun ebatlarda puntalanması yapılmıştır. Şekil 7.1'de test parçaları görülmektedir, Şekil 7.2'de ise bu kesilen parçaların puntalanarak kaynağa hazırlanması görülmektedir.



Şekil.7.1. Test parçalarının kesilmesi ve kaynatılması



Şekil.7.2. Test parçalarının puntalanması ve uygun kök açıklığı bırakılması

7.4. Test Parçalarının Kaynak İşlemleri

Kaynağı yapılacak olan test parçalarının standartların belirlediği kaynak ağızları ve kök açıklıkları bırakılarak montajları tamamlandıktan sonra kaynak işlemlerine geçildi. İnce taneli gemi çeliklerinde oluşabilecek tane irileşmesi önlemek için 250⁰C civarında ön tavlama işlemi yapıldıktan sonra kaynağa başlanılmıştır. Test parçalarına elektrod ark, gazaltı ark ve tozaltı ark kaynak yöntemleri uygulanarak açık havada soğutmaya tabii tutulmuşlardır. Kaynak esnasında pasolararası sıcaklık ve ön tavlama sıcaklık kontrolleri lazer kontrollü sıcaklık ölçme cihazı ile sürekli kontrol altında tutularak kaynak yapılması sağlanmıştır. Kaynak edilen test parçalarında, kullanılan kaynak parametrelerinin mümkün olduğu kadar sabit tutularak, test sonuçlarının daha sistematik ve doğru sonuçlar vermesi sağlanmıştır.

Deneylerde kullanılan elektrod akım kaynağı redresörü düşey karakteristikliği özelliğe sahiptir. Bilindiği gibi redresörlerde akım sabit, gerilim değişken olmaktadır. Ergime gücüyle direk alakalı olan kaynak geriliminin sabit olmaması, genellikle elektrod kaynağının diğer yöntemlere nazaran daha zor yapılmasına neden olur. Elektrod ark kaynak redresöründe, şalter kontrollü olarak akım ayarı yapılmaktadır. Elektrod ark kaynağında kullanılan redresörlerin teknik özellikleri Tablo 7.3'de verilmektedir [19].

Tablo 7.3. Elektrod ark kaynağı redresörünün (ESAB LHF 630) teknik özellikleri [19]

| | |
|-------------------------------------------|------------------------------|
| Şebeke gerilim (3 faz, 50 Hz) | : 400 V |
| Akım ayar aralığı | : 8 - 630 A |
| Nominal kaynak akımı (% 35 D.K.O) | : 630 A |
| Nominal kaynak akımı (% 50 D.K.O) | : 500 A |
| Sürekli kaynak akımı (% 100 D.K.O) | : 400 A |
| Nominal gücü (% 60 D.K.O) | : 17.1 kvA |
| Kaynak kablo kesiti | : 4x10 mm² |

Gazaltı kaynak makinesi ise, 405 amperlik yatay karakteristikli, su soğutmalı 5 kaba, 6 ince ayar kademeli 30 gerilim basamaklı doğru akım kaynak makinası kullanılmıştır ve transistörlü akım basamağı ayarlayıcısı ile kısa devre akımı en aza indirilmeye çalışılmıştır. Yarı otomatik bir yöntem olan, gazaltı kaynağında da

kullanılan tel sürücüler üzerinden ayarlanan tel sürme ayarları ile kaynak akımı değiştirilebilmektedir[19].

Gazaltı kaynak redresörlerinin içerisinde kullanılan elektronik devreler kaynak akımın çok yüksek değerlere çıkarılmasını sağlar ve gerilim kontrolü kolaylıkla sağlandığı için yüksek dolgu verimlerine ulaşılabilir. Gazaltı kaynaklarında kullanılmak üzere 4 makaralı ESAB Feed 48-4 tel sürücüler kullanılmıştır. 1.9-25,0 mm/dak. Hızlarda tel sürme ayarı yapmak mümkün olan bu makinelerde 1,2 mm kalınlığında özlü gazaltı kaynağı kullanılarak kaynak yapılmıştır. Gazaltı kaynağında kullanılan kaynak makinesinin teknik özellikleri Tablo 7.4’de , tozaltı kaynak makinesi ise Tablo 7.5’de verilmektedir [19].

Tablo 7.4. Gazaltı kaynak makinesinin (ESAB MIG 405) teknik özellikleri [19]

| | |
|-------------------------------------------|-------------------------------|
| Şebeke gerilim (3 faz, 50 Hz) | : 380 V |
| Akım ayar aralığı | : 40-400 A |
| Gerilim ayar aralığı | : 16-43 V |
| Nominal kaynak akımı (% 60 D.K.O) | : 405 A |
| Sürekli kaynak akımı (% 100 D.K.O) | : 350 A |
| Nominal akım (% 60 D.K.O) | : 26 A |
| Nominal gücü (% 60 D.K.O) | : 17,1 kvA |
| Kaynak kablo kesiti | : 4x2,5 mm² |

Tozaltı kaynak makinelerinde da yatay karakteristikli makineler kullanılmaktadır. Testler sırasında kullanılan kaynak makinesi ESAB LHF 1200 rektafaiye ve A6 PEH kontrollü tel sürme ünitesi kullanılmıştır[19].

Tablo 7.5. Tozaltı kaynağı rektafaiyesinin (ESAB LHF 1200) teknik özellikleri [19]

| | |
|-------------------------------------------|------------------------------|
| Şebeke gerilim (3 faz, 50 Hz) | : 380 V |
| Akım ayar aralığı | : 100-1200 A |
| Gerilim ayar aralığı | : 15-75 V |
| Nominal kaynak akımı (% 50 D.K.O) | : 1200 A |
| Nominal kaynak akımı (% 60 D.K.O) | : 1000 A |
| Sürekli kaynak akımı (% 100 D.K.O) | : 800 A |
| Nominal akım (% 60 D.K.O) | : 200 A |
| Nominal gücü (% 60 D.K.O) | : 170,1 kvA |
| Kaynak kablo kesiti | : 4x10 mm² |

Testi yapılan kaynaklı numunlerin her biri için kaynak prosedürü hazırlanmıştır. Kaynak prosedürlerinde kullanılan sac kalınlığı ve kalitesi, kaynak ağız şekli, montajlama detayları, kaynak sırası, kullanılan kaynak parametreleri (akım, gerilim, tel hızı, makine hızı), kullanılan ilave elektrodun çapı mekanik ve kimyasal özellikleri verilmektedir.

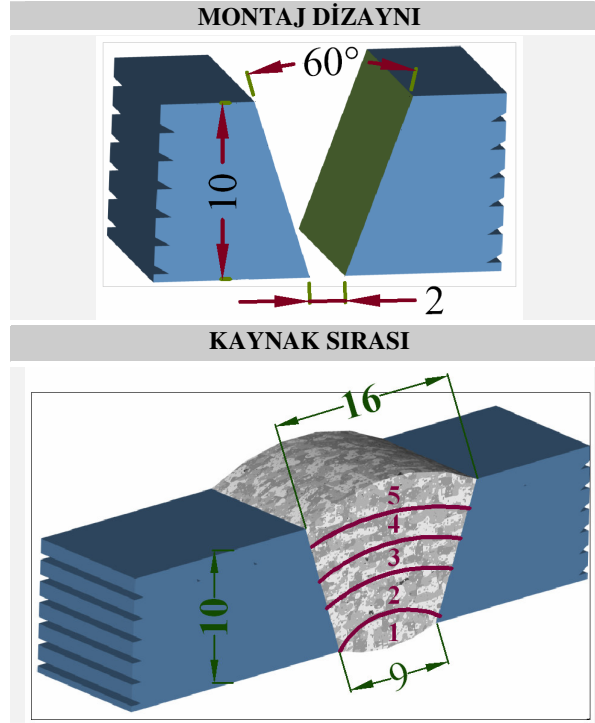
International Standard, (ISO 9956-3) tarafından kaynak yöntem testleri için hazırlanmış olan, standart kaynak prosedür ve talimat formları baz alınarak Tablo 7.6'dan Tablo 7.17'ye kadar kaynak prosedür tabloları hazırlanmıştır. Bu prosedürlerde ISO 9956-3 istediği tüm değişken ve sabit parametreler tablolara kayıt edilmiştir.

Tablo 7.6'dan Tablo 7.9'a kadar elektrod ark kaynağı için, sırasıyla farklı sac kalınlıkları ve malzeme kalitelerine göre kaynak prosedürleri verilmektedir. Tablo 7.10'den Tablo 7.13'e kadar gazaltı ark kaynağı için farklı sac kalınlıkları ve malzeme kalitelerine göre kaynak prosedürleri verilmektedir. Tablo 7.14'dan Tablo 7.17'ye kadar ise tozaltı ark kaynağı için sırasıyla farklı sac kalınlıkları ve malzeme kalitelerine göre kaynak prosedürleri verilmektedir.

Tablo 7.6. 10 mm kalınlığında A Grade malzemenin elektrod kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | A GRADE |
| WPS No: | M B A 1G - 10 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 10 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|-------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Ört. Elektrod Kay | 2,5 mm | 94-85 | 33-38 | DC (+) | - | - |
| 2 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 110-100 | 37-31 | DC (+) | - | - |
| 3 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 120-111 | 36-31 | DC (+) | - | - |
| 4 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 98-112 | 37-30 | DC (+) | - | - |
| 5 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 99-115 | 36-29 | DC (+) | - | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı FOX EV 47-S

Elektrod Üreticisi

BOHLER

Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı

150 °C

Isıtma ve Soğutma Aralıkları

Oda Sıcaklığı

KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

Koruma

-

Kök gazı

-

Toz

-

Altlık

-

Ön tavlama sıcaklığı

-

Kaynaktan sonra tavlama

-

Pasolararası sıcaklık

150 °C

Kaynakçı adı

Sefer ÖZKAYA

Kaynak genişliği

25 mm

Torç açısı (Elektrod Açısı)

45°

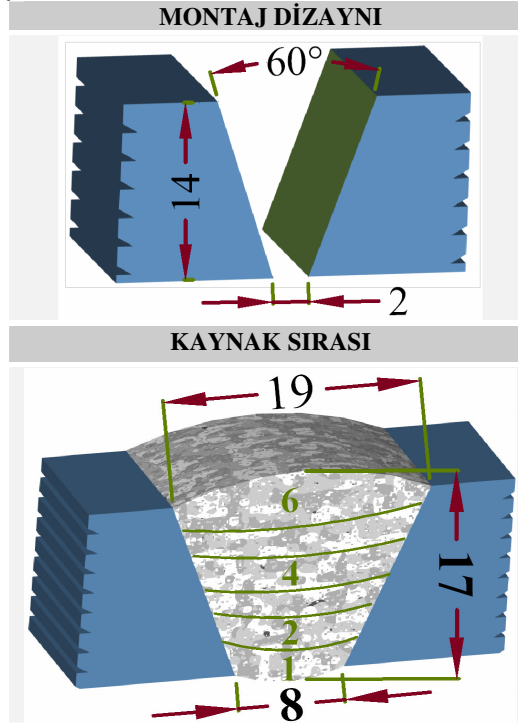
Oluk açma işlemi

Taşlama

Tablo 7.7. 14 mm kalınlığında A Grade malzemenin elektrod kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | A GRADE |
| WPS No: | M B A 1G - 14 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 14 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|-------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 115-112 | 23-19 | DC (+) | - | - |
| 2 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 135-127 | 27-19 | DC (+) | - | - |
| 3,4 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 180-160 | 29-20 | DC (+) | - | - |
| 5 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 182-163 | 31-22 | DC (+) | - | - |
| 6 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 129-117 | 25-17 | DC (+) | - | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı **FOX EV 47-S**

Elektrod Üreticisi

BOHLER

Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı

150 °C

Isıtma ve Soğutma Aralıkları

Oda Sıcaklığı**KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER**

Koruma

-

Kök gazı

-

Toz

-

Altlık

-

Ön tavlama sıcaklığı

-

Kaynakta sonra tavlama

-

Pasolararası sıcaklık

150 °C

Kaynakçı adı

Sefer ÖZKAYA

Kaynak genişliği

25 mm

Torç açısı (Elektrod Açısı)

45°

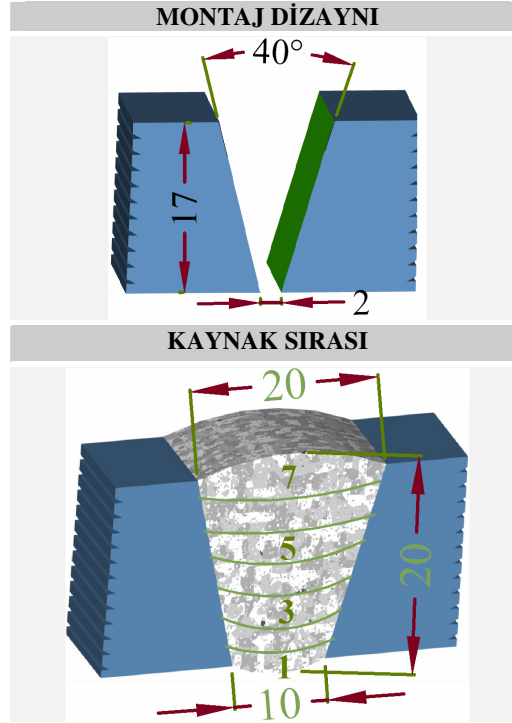
Oluk açma işlemi

Taşlama

Tablo 7.8. 17 mm kalınlığında DH 36 Grade malzemenin elektrod kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | DH 36 GRADE |
| WPS No: | MB DH 36 1G - 17 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 17 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|-------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 79-67 | 30-37 | DC (+) | - | - |
| 2 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 128-100 | 33-25 | DC (+) | - | - |
| 3,4 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 117-108 | 36-30 | DC (+) | - | - |
| 5,6 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 120-110 | 35-30 | DC (+) | - | - |
| 7 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 131-121 | 35-27 | DC (+) | - | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı **FOX EV 47-S**Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı **150 °C**

Elektrod Üreticisi

Isıtma ve Soğutma Aralıkları

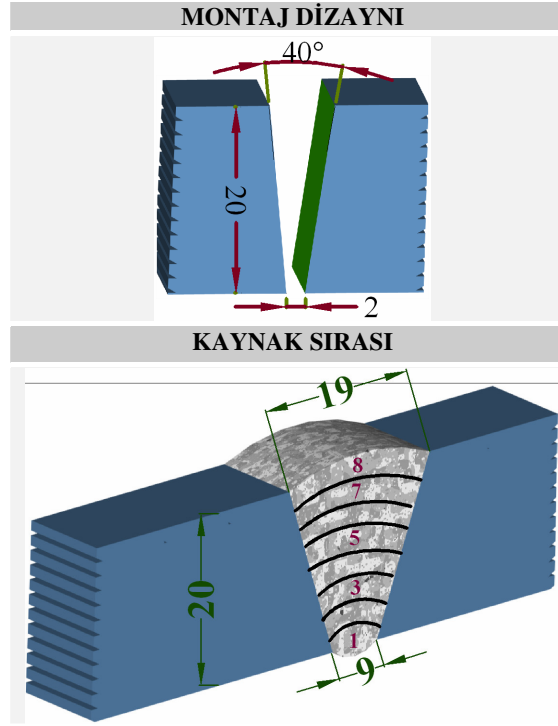
BOHLER**Oda Sıcaklığı****KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER**

| | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------------------|---------------------|
| Koruma | - | Kök gazı | - |
| Toz | - | Altlık | - |
| Ön tavlama sıcaklığı | 250 °C | Kaynaktan sonra tavlama | - |
| Pasolararası sıcaklık | 150 °C | Kaynakçı adı | Sefer ÖZKAYA |
| Kaynak genişliği | 25 mm | Torc açısı (Elektrod Açısı) | 45° |
| Oluk açma işlemi | Taşlama | | |

Tablo 7.9. 20 mm kalınlığında DH 36 Grade malzemenin elektrod kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | DH 36 GRADE |
| WPS No: | MB DH 36 1G - 20 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 20 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|-------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Ört. Elektrod Kay | 3,25 mm | 79-67 | 30-37 | DC (+) | - | - |
| 2 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 128-100 | 33-25 | DC (+) | - | - |
| 3,4 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 117-108 | 36-30 | DC (+) | - | - |
| 5,6 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 120-110 | 35-30 | DC (+) | - | - |
| 7,8 | Ört. Elektrod Kay | 4 mm | 131-121 | 35-27 | DC (+) | - | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı

FOX EV 47-S

Elektrod Üreticisi

BOHLER

Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı

150 °C

Isıtma ve Soğutma Aralıkları

Oda Sıcaklığı

KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

Koruma

-

Kök gazı

-

Toz

-

Altlık

-

Ön tavlama sıcaklığı

250 °C

Kaynaktan sonra tavlama

-

Pasolararası sıcaklık

150 °C

Kaynakçı adı

Sefer

Kaynak genişliği

19 mm

Torç açısı (Elektrod Açısı)

45°

Oluk açma işlemi

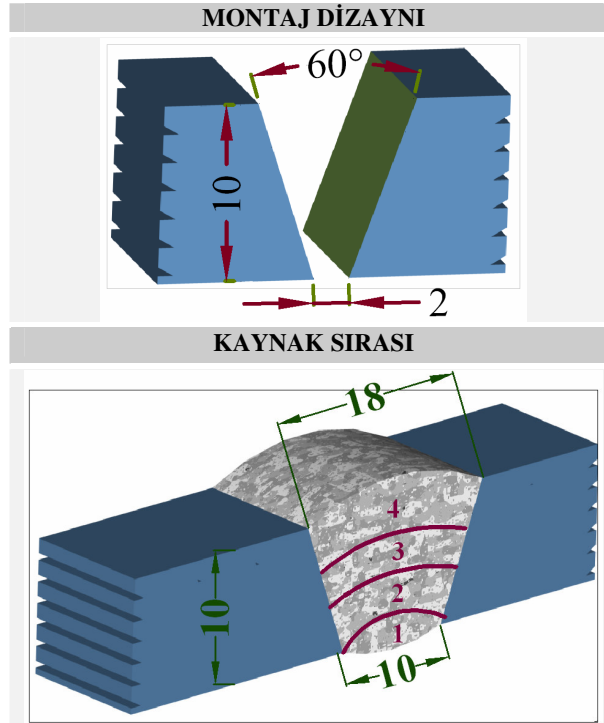
Taşlama

Tablo 7.10. 10 mm kalınlığında A Grade malzemenin gazaltı kaynak prosedürü [35]

1. Kaynak Prosedür Spesifiakasyonu (WPS)

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | A GRADE |
| WPS No: | F B A 1G - 10 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 10 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|--------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 200-190 | 31-27 | DC (+) | 10 | - |
| 2 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-275 | 33,8 | DC (+) | 16 | - |
| 3 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-260 | 34,2 | DC (+) | 16 | - |
| 4 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 275-257 | 34,2 | DC (+) | 16 | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı
Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı

E71 T-1/T-M/T-9/T-9M

Elektrod Üreticisi
Isıtma ve Soğutma AralıklarıESAB
Oda Sıcaklığı

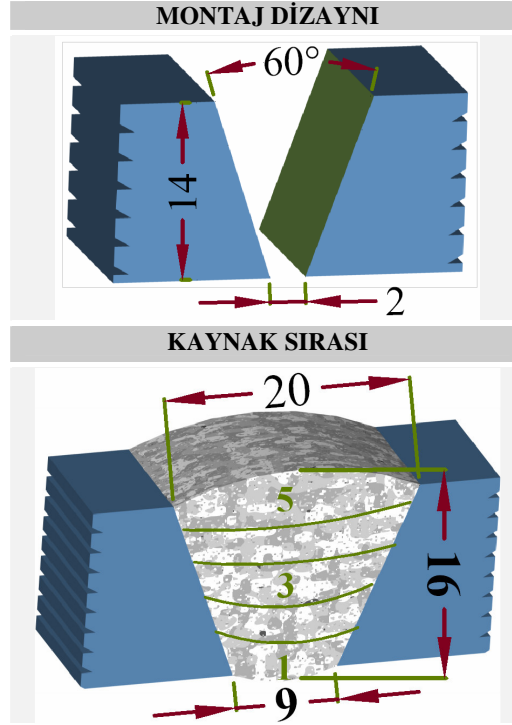
KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

| | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------|--------------|
| Koruma | CO ₂ | Kök gazı | - |
| Toz | - | Altık | - |
| Ön tavlama sıcaklığı | - | Kaynaktan sonra tavlama | - |
| Pasolararası sıcaklık | 150 °C | Kaynakçı adı | Sefer ÖZKAYA |
| Kaynak genişliği | 18 mm | Torc açısı (Elektrod Açısı) | 45° |
| Oluk açma işlemi | Taşlama | | |

Tablo 7.11. 14 mm kalınlığında A Grade malzemenin gazaltı kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | A GRADE |
| WPS No: | F B A 1G - 14 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 14 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|--------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Özlu Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 200-190 | 28-27 | DC (+) | 10 | - |
| 2 | Özlu Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-267 | 34,5 | DC (+) | 16 | - |
| 3 | Özlu Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-260 | 34,7 | DC (+) | 16 | - |
| 4 | Özlu Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 290-265 | 35 | DC (+) | 16 | - |
| 5 | Özlu Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 271-255 | 34,8 | DC (+) | 16 | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı

E71 T-1/T-M/T-9/T-9M

Elektrod Üreticisi

ESAB

Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı

-

Isıtma ve Soğutma Aralıkları

Oda Sıcaklığı

KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

Koruma

CO₂

Kök gazı

-

Toz

-

Altlık

-

Ön tavlama sıcaklığı

-

Kaynaktan sonra tavlama

-

Pasolararası sıcaklık

150 °C

Kaynakçı adı

Sefer ÖZKAYA

Kaynak genişliği

20 mm

Torç açısı (Elektrod Açısı)

45°

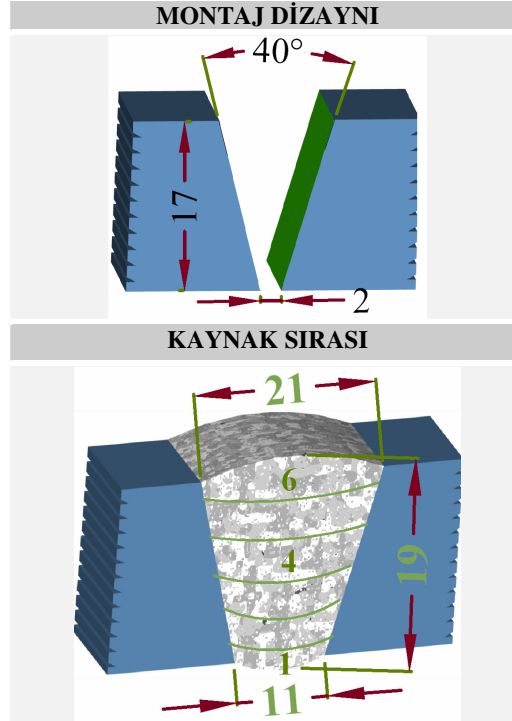
Oluk açma işlemi

Taşlama

Tablo 7.12. 17 mm kalınlığında DH 36 Grade malzemenin gazaltı kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | DH 36 GRADE |
| WPS No: | F B DH 36 1G - 17 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 17 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|--------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 200-190 | 28-27 | DC (+) | 10 | - |
| 2 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-267 | 34,5 | DC (+) | 16 | - |
| 3 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-260 | 34,7 | DC (+) | 16 | - |
| 4 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 290-265 | 35 | DC (+) | 16 | - |
| 5 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 271-255 | 34,8 | DC (+) | 16 | - |
| 6 | Özlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 271-255 | 34,8 | DC (+) | 16 | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı

E71 T-1/T-M/T-9/T-9M

Elektrod Üreticisi

ESAB

Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı

-

Isıtma ve Soğutma Aralıkları

Oda Sıcaklığı

KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

Koruma

CO₂

Kök gazı

-

Toz

-

Altlık

-

Ön tavlama sıcaklığı

-

Kaynaktan sonra tavlama

-

Pasolararası sıcaklık

150 °C

Kaynakçı adı

Sefer ÖZKAYA

Kaynak genişliği

20 mm

Torç açısı (Elektrod Açısı)

45 °

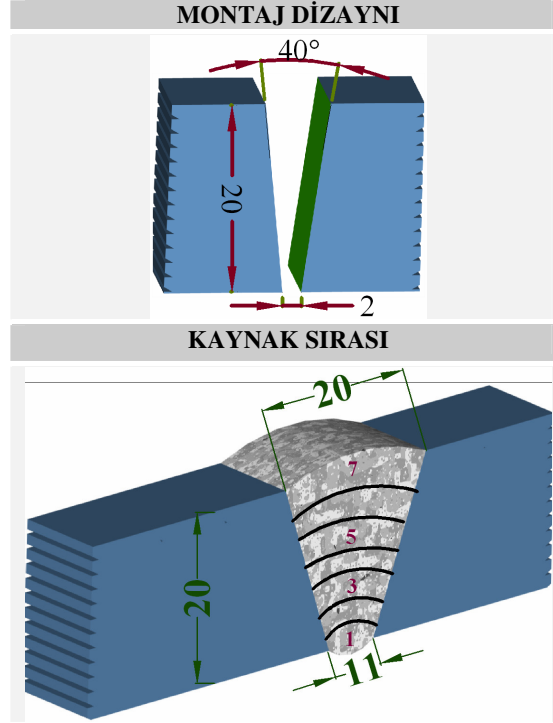
Oluk açma işlemi

Taşlama

Tablo 7.13. 20 mm kalınlığında DH 36 Grade malzemenin gazaltı kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| İşyeri | SEDEF Tersanesi | E-mail adres | |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | DH 36 GRADE |
| WPS No: | F B DH 36 IG - 20 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 20 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | IG |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) |
|------|---------------------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|
| 1 | Öztlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 200-190 | 28-27 | DC (+) | 10 | - |
| 2 | Öztlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-267 | 34,5 | DC (+) | 16 | - |
| 3 | Öztlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 280-260 | 34,7 | DC (+) | 16 | - |
| 4 | Öztlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 290-265 | 35 | DC (+) | 16 | - |
| 5,6 | Öztlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 271-255 | 34,8 | DC (+) | 16 | - |
| 7 | Öztlü Telle Gaz. K. | 1,2 mm | 271-255 | 34,8 | DC (+) | 16 | - |

Dolgu Metali Klafikasyonu

Elektrod Adı

E71 T-1/T-M/T-9/T-9M

Elektrod Üreticisi

ESAB

Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı

-

Isıtma ve Soğutma Aralıkları

Oda Sıcaklığı

KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

Koruma

CO₂

Kök gazı

-

Toz

-

Altılık

-

Ön tavlama sıcaklığı

-

Kaynaktan sonra tavlama

-

Pasolararası sıcaklık

150 °C

Kaynakçı adı

Sefer ÖZKAYA

Kaynak genişliği

20 mm

Torç açısı (Elektrod Açısı)

45 °

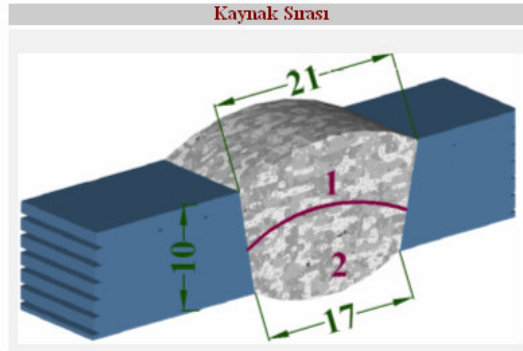
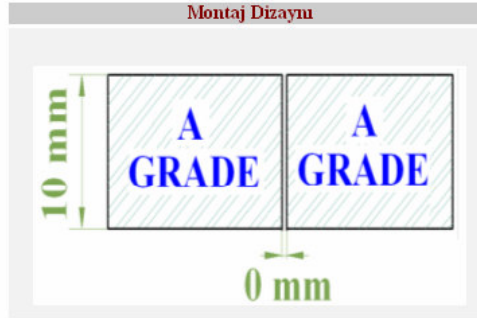
Oluk açma işlemi

Taşlama

Tablo 7.14. 10 mm kalınlığında A Grade malzemenin tozaltı kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| İşyeri | SEDEF TERSANESİ | E-mail adres | www.kalkavanshipyard.com |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muharrem ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | A GRADE |
| WPS No: | S B A 1 G - 10 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 10 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polariz. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/dk) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------|-----------------------|----------|-------------|---------------------|------------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 550 | 32,5 | DC (+) | - | 45 | 24 |
| 2 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 700 | 34 | DC (+) | - | 50 | 29 |

Dolgu Metal Kılafikasyonu

| | | | |
|-----------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Elektrod Adı | EM12 S2 TOZALTI T. | Elektrod Üreticisi | ESAB |
| Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı | - | Isıtma ve Soğutma Aralıkları | Oda Sıcaklığı |

KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| Koruma | - | Kök gazı | - |
| Toz | Bazık Karakter OK FLUX10.71 | Altlık | - |
| Ön tavlama sıcaklığı | Oda Sıcaklığı | Kaynaktan sonra tavlama | - |
| Pasolararası sıcaklık | 150 °C | Kaynakçı adı | Murat YETİM |
| Kaynak genişliği | 25 mm | Torc açısı (Elektrod Açısı) | 90 ° |
| Ohuk açma işlemi | Taşlama | | |

A GRADE GEMİ ÇELİĞİ KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| C | 0,01 | Mn | 0,01 | Si | 0,01 | P | 0,001 | S | 0,001 | Al | 0,001 | Cu | 0,5 | Ni | 0,03 | Cr | 0,06 |
|-----------------|---------|------------------|---------|---------|------|--------------|-------|---|-------|----|-------|----|-----|----|------|----|------|
| Akma Mukavemeti | 285 MPa | Çekme Mukavemeti | 428 MPa | % Uzama | % 22 | Kesit Daral. | % 38 | | | | | | | | | | |

S2 SOLID TEL BAZIK TOZ KARIŞIMI KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| C | 0,09 | Mn | 1,5 | Si | 0,4 | P | 0,025 | S | 0,025 |
|-----------------|---------|---------------|---------|---------|------|-----------|-------|---|-------|
| Akma Mukavemeti | 535 MPa | Çekme Mukave. | 620 MPa | % Uzama | % 30 | Çen. Day. | 70 J | | |

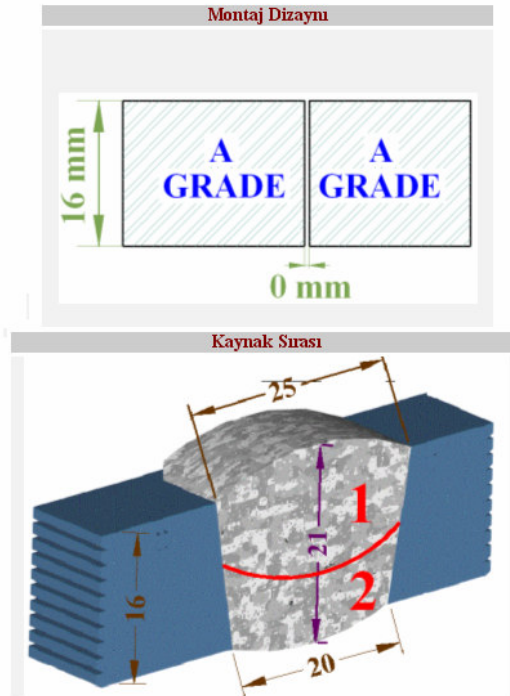
ESAB OK 10.71 KAYNAK TOZUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ (EN 760'a göre SAAB 1 67 AC H5)

| SiO ₂ | 18,2 | Al ₂ O ₃ | 31,1 | MnO | 6,1 | CaF ₂ | 18,8 | MgO | 27,3 | FeO | 3,5 | TiO | 1,2 | Na ₂ O | 2,5 |
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|

Tablo 7.15. 16 mm kalınlığında A Grade malzemenin tozaltı kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| İşyeri | SEDEF TERSANESİ | E-mail adres | www.kalkavanshipyard.com |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muhammed ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | A GRADE |
| WPS No: | S B A 1G - 16 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 16 |
| Montajlama Tipi | Alan | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizasyon | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------|-----------------------|----------|-------------|-------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 705 | 33,3 | DC (+) | - | 45 | 31 |
| 2 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 880 | 35 | DC (+) | - | 45 | 41 |

Dolgu Metali Klafikasyonu

| | | | |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| Elektrod Adı | EM12 S2 TOZALTI T. | Elektrod Üreticisi | ESAB |
| Fırınlama/Kurutma Sıcaklığı | - | Isıtma ve Soğutma Aralıkları | Oda Sıcaklığı |
| KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER | | | |
| Koruma | - | Kök gazı | - |
| Toz | Bazik Karakter OK FLUX10.71 | Altlık | - |
| Ön tavlama sıcaklığı | Oda Sıcaklığı | Kaynak sonrası tavlama | - |
| Pasolararası sıcaklık | 150 °C | Kaynakçı adı | Murat YETİM |
| Kaynak genişliği | 25 mm | Torc açısı (Elektrod Açısı) | 90 ° |
| Oluk açma işlemi | Taşlama | | |

A GRADE GEMİ ÇELİĞİ KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| C | 0,01 | Mn | 0,01 | Si | 0,01 | P | 0,001 | S | 0,001 | Al | 0,001 | Cu | 0,5 | Ni | 0,03 | Cr | 0,06 |
|-----------------|---------|------------------|---------|---------|------|--------------|-------|---|-------|----|-------|----|-----|----|------|----|------|
| Akma Mukavemeti | 285 MPa | Çekme Mukavemeti | 428 MPa | % Uzama | % 22 | Kesit Daral. | % 38 | | | | | | | | | | |

S2 SOLİD TEL BAZİK TOZ KARIŞIMI KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| C | 0,09 | Mn | 1,5 | Si | 0,4 | P | 0,025 | S | 0,025 |
|-----------------|---------|---------------|---------|---------|------|-----------|-------|---|-------|
| Akma Mukavemeti | 535 MPa | Çekme Mukave. | 620 MPa | % Uzama | % 30 | Çen. Day. | 70 J | | |

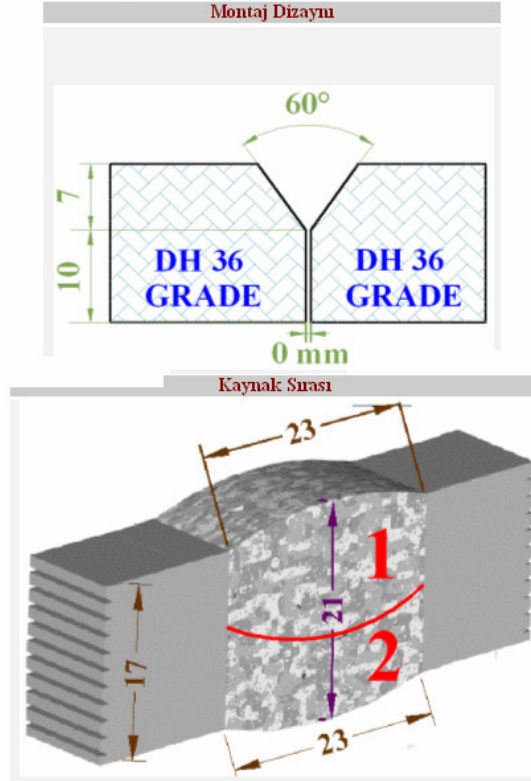
ESAB OK 10.71 KAYNAK TOZUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ (EN 760' a göre SAAB 1 67 AC HS)

| SiO ₂ | 18,2 | Al ₂ O ₃ | 31,1 | MnO | 6,1 | CaF ₂ | 18,8 | MgO | 27,3 | FeO | 3,5 | TiO | 1,2 | Na ₂ O | 2,5 |
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|

Tablo 7.16. 17 mm kalınlığında DH 36 Grade malzemenin tozaltı kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| İşyeri | SEDEF TERSANESİ | E-mail adres | www.kalkavanshipyard.com |
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muhammed ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | DH 36 GRADE |
| WPS No: | S B DH 36 1G - 17 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 17 |
| Montajlama Tipi | Alın | Kaynak Pozisyonu | 1G |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polariz. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------|-----------------------|----------|-------------|---------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 756 | 33,3 | DC (+) | - | 45 | 34 |
| 2 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 925 | 35 | DC (+) | - | 45 | 43 |

Dolgu Metali Klafikasyonu

| | | | |
|-----------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Elektrod Adı | EM12 S2 TOZALTI T. | Elektrod Üreticisi | ESAB |
| Fırımlama/Kurutma Sıcaklığı | - | Isıtma ve Soğutma Aralıkları | Oda Sıcaklığı |
| KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER | | | |
| Koruma | - | Kök gazı | - |
| Toz | Bazik Karakter | Aldık | - |
| Ön tavlama sıcaklığı | 250 °C | Kaynaktan sonra tavlama | - |
| Pasolararası sıcaklık | 150 °C | Kaynakçı adı | Murat YETİM |
| Kaynak genişliği | 27 mm | Torc açısı (Elektrod Açısı) | 90 ° |
| Oluk açma işlemi | Taşlama | | |

DH36 GRADE GEMİ ÇELİĞİ KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|------------------|---------|---------|------|--------------|-------|---|-------|----|-------|----|------|----|------|----|------|
| C | 0,01 | Mn | 0,01 | Si | 0,01 | P | 0,001 | S | 0,001 | Al | 0,001 | Cu | 0,11 | Ni | 0,03 | Cr | 0,07 |
| Akma Mukavemeti | 408 MPa | Çekme Mukavemeti | 575 MPa | % Uzama | 21 | Kesit Daral. | 36 | | | | | | | | | | |

S2 SOLİD TEL BAZİK TOZ KARIŞIMI KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|---------------|---------|---------|-----|-----------|-------|---|-------|
| C | 0,09 | Mn | 1,5 | Si | 0,4 | P | 0,025 | S | 0,025 |
| Akma Mukavemeti | 535 MPa | Çekme Mukave. | 620 MPa | % Uzama | 30 | Çen. Day. | 70 J | | |

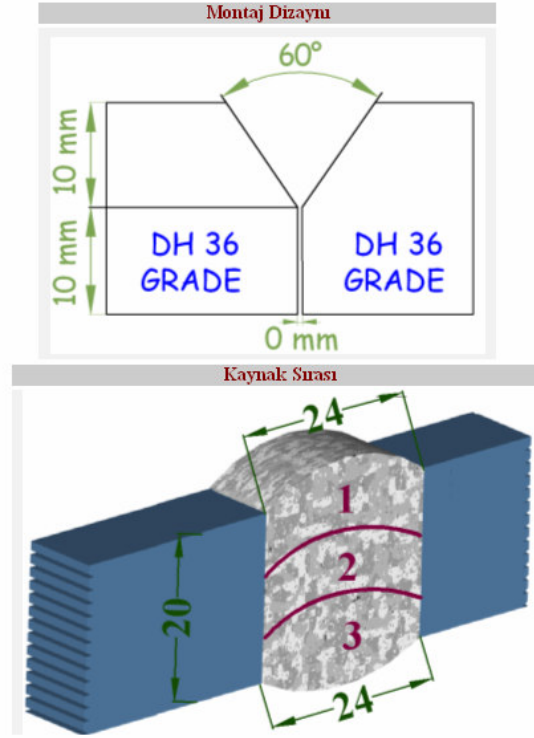
ESAB OK 10.71 KAYNAK TOZUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ (EN 760'a göre SAAB 1 67 AC HS)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|
| SiO ₂ | 18,2 | Al ₂ O ₃ | 31,1 | MnO | 6,1 | CaF ₂ | 18,8 | MgO | 27,3 | FeO | 3,5 | TiO | 1,2 | Na ₂ O | 2,5 |
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|

Tablo 7.17. 20 mm kalınlığında DH 36 Grade malzemenin tozaltı kaynak prosedürü [35]

| | | | |
|-------------------|-------------------|------------------------|----------------|
| Telefon No | 0216 395 47 41 | Fax No | 0216 395 47 40 |
| Kaynak Supervisor | Muhammed ASARKAYA | Malzeme Spesifikasyonu | DH 36 GRADE |
| WPS No: | S B DH 36 IG - 20 | Malzeme Kalınlığı (mm) | 20 |
| Montajlama Tipi | Akn | Kaynak Pozisyonu | IG |

I. Montaj Hazırlama Detayları :



II. Kaynak Detayları

| Paso | Proses | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polariz.: | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Makine Hızı (cm/min) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------|-----------------------|----------|-------------|----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 750 | 33,5 | DC (+) | - | 45 | 33 |
| 2 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 800 | 35 | DC (+) | - | 50 | 34 |
| 3 | Tozaltı Kaynağı | 5 mm | 870 | 35 | DC (+) | - | 45 | 41 |

Dolgu Metalİ Klafikasyonu

| | | | |
|---------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|
| Elektrod Adı | EM12 S2 TOZALTI T. | Elektrod Üreticisi | ESAB |
| Fırlama/Kurutma Sıcaklığı | - | Isıtma ve Soğutma Aralıkları | Oda Sıcaklığı |

KORUYUCU GAZIN VE TOZUN ÖZELLİKLERİ- ISIL İŞLEMLER

| | | | |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|
| Koruma | - | Kök gazı | - |
| Toz | Bazık Karakter OK FLUX10.71 | Aldık | - |
| Ön tavlama sıcaklığı | 250 °C | Kaynaktan sonra tavlama | - |
| Pasolararası sıcaklık | 150 °C | Kaynakçı adı | Murat YETEM |
| Kaynak genişliği | 29 mm | Torc açısı (Elektrod Açısı) | 90 ° |
| Oluk açma işlemi | Taşlama | | |

DH36 GRADE GEMİ ÇELİĞİ KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|----|------------------|---------|------|---------|-------|---|--------------|------|-------|----|-------|----|------|----|------|
| C | 0,01 | Mn | 0,01 | Si | 0,01 | P | 0,001 | S | 0,001 | Al | 0,001 | Cu | 0,011 | Ni | 0,03 | Cr | 0,07 |
| Akma Mukavemeti | 408 MPa | | Çekme Mukavemeti | 575 MPa | | % Uzama | % 21 | | Kesit Daral. | % 36 | | | | | | | |

S2 SOLİD TEL BAZİK TOZ KARIŞIMI KİMYASAL VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

| | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|----|---------------|---------|-----|---------|-------|---|-----------|------|--|
| C | 0,09 | Mn | 1,5 | Si | 0,4 | P | 0,025 | S | 0,025 | | |
| Akma Mukavemeti | 535 MPa | | Çekme Mukave. | 620 MPa | | % Uzama | % 30 | | Çen. Day. | 70 J | |

ESAB OK 10.71 KAYNAK TOZUNUN KİMYASAL BİLEŞİMİ (EN 760'a göre SA AB 1 67 AC H5)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|
| SiO ₂ | 18,2 | Al ₂ O ₃ | 31,1 | MnO | 6,1 | CaF ₂ | 18,8 | MgO | 27,3 | FeO | 3,5 | TiO | 1,2 | Na ₂ O | 2,5 |
|------------------|------|--------------------------------|------|-----|-----|------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-------------------|-----|

7.5. Kaynak Sonrası Yapılan İşlemler

7.5.1. Test parçalarının gözle muayenesi ve sıvı penetrant testi

Deney numunelerinin hazırlanacağı alın türü birleştirme bağlantılarında uygulanan kaynak işlemi sonrası görülebilecek yüzeysel hataları saptamak amacı ile görsel muayene yapıldı. Bu muayenede “ANSI/AWS D9.1-90 Sheet Metal Welding Code” esas alınmıştır. (AWS, 1990) Kaynak sonrası oluşan dikiş yüksekliği, dikişlerin üzerinde oluşan tırtıllarda, yanma olukları, sıçramalar ve dikiş kök sarkmasının yanı sıra dikiş genişliği, kökte oluşabilen yetersiz ergime bölgeleri görsel olarak detaylı incelenmiş olup, sıçrantıların ve diğer hususların kabul sınırları içinde olduğu görülmüştür. Ancak, hataların kriterleri aştığı kısımlar var ise buralar ıskartaya ayrılacak biçimde deney numunesi standart plana göre çıkarılmıştır. Şekil 7.3’de kaynaklı numunelerin gözle muayenesi görülmektedir.



Şekil 7.3. Kaynaklı numunelerin gözle muayenesi

Daha sonra kılcal yüzeye açık hataları tespit edebilmek için tüm numunelere sıvı penetrant testleri yapılmıştır. Tahribatsız yöntemlerde tespit edilen süreksizliklerden, tahribatlı test parçacıkları gelmeyecek şekilde ilgili tahribatlı test parçacığı hazırlama standartların baz alınarak; çekme, eğme, çentik-darbe, mikrosertlik ve mikroyapıları içine test parçaları hazırlanmıştır. Şekil 7.4’de kaynaklı numunelerin sıvı penetrant testi ile muayenesi görülmektedir.



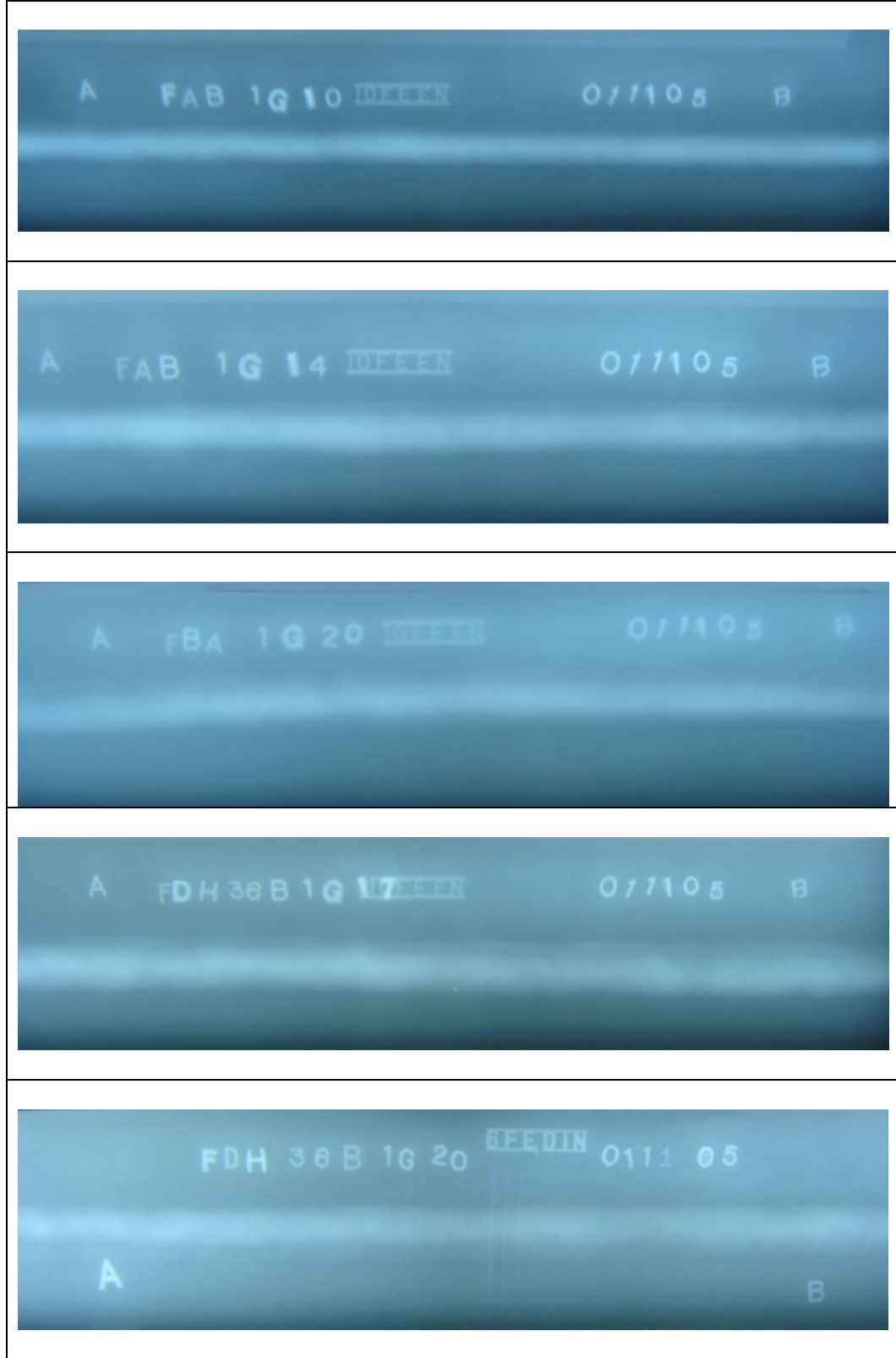
Şekil 7.4. Kaynaklı numunelerin sıvı penetrantla muayenesi

7.5.2. Radyografik Yöntemle Yapılan Muayene

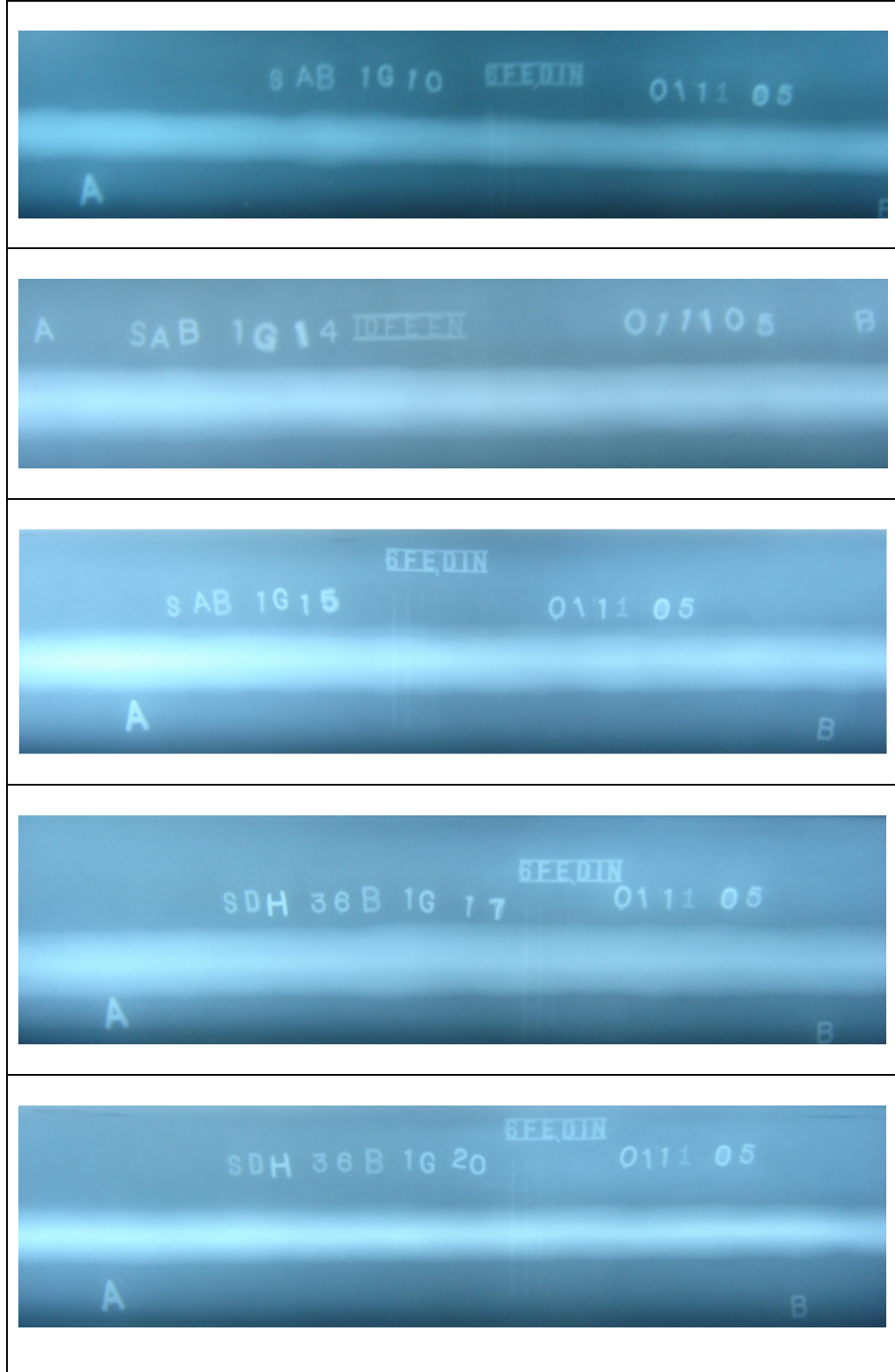
Kaynaklanmış tüm test parçalarında radyografik yöntemle muayene yapılmıştır. Filmde görülen hata boyutuna girmeyen mikrogözeneklerin olduğu tespit edilmiştir ve buralardan test parçası çıkarılmamasına dikkat edilmiştir. Her bir test parçasının Radyografik Muayene yapılırken; EN-1435/EN-12517'e γ -ışını (Ir-192) cihazında kullanılan, 23 Ci enerjiye sahip kaynakla, KODAK T200 (10x48 cm boyutunda) film kullanılarak test yapılmıştır. FFD mesafe 600 mm ve tek duvar, tek görüntü elde edilecek şekilde düzenek kurulmuştur. A muayene sınıfına göre değerlendirme yapılmış ve standardın kabul ettiği mikro gözeneklere rastlanmıştır. Farklı sac kalınlıklarına görüntü kalitesi tespiti için; 6-FE-EN ve 10-FE-EN penetrametreler kullanılmıştır. Standardın belirttiği teller görülmeye çalışılmış, bazı filmlerin yoğunluğu yüksek çıkmasına rağmen yoğunluğu 2,5 altında olduğu için değerlendirme kraterlerine uygundur. Şekil 7.5'de elektrod ark kaynağında kullanılan numunelerin radyografik filmleri görülmektedir. Şekil 7.6'da gazaltı ark kaynağı kullanılan numunelerin radyografik filmleri, Şekil 7.7'de ise tozaltı ark kaynak yöntemi ile kaynak edilen numunelerin radyografik filmleri görülmektedir.



Şekil 7.5. Elektrod ark kaynağı yapılmış kaynaklı numunelerinin radyografik filmleri



Şekil 7.6. Gazaltı kaynağı yapılmış kaynaklı numunelerinin radyografik filmleri



Şekil 7.7. Tozaltı kaynağı yapılmış kaynaklı numunelerinin radyografik filmleri

7.6. DeneYlerde Kullanılan Test Parçalarının Hazırlanması

Görsel muayeneden geçen bu levhalardan yapılacak deney planına göre EN-288-3 uygun deney numuneleri hazırlanmıştır. Kaynaktan sonra şerit testere tezgahında soğutma sıvısı (bor yağı) ile soğutularak kesme işlemi yapılmıştır. Kaynaklı levhaların başlangıç ve bitiminden 25 mm'lik kısımları kesilerek atılmıştır; zira kaynağın başlangıç ve bitiminde oluşabilecek hataların önüne bu şekilde geçilmiş olmaktadır. Kesme işleminde, her numuneden çekme, eğme, çentik, sertlik, makro numuneleri çıkartılmıştır. Parça boylarının kısa tutulmasındaki amaç, kaynak ısı girdisi ile parçalarda oluşabilecek çekme çarpılmalarını azaltmaktır.

Kaba ölçülerde kesilen çekme ve eğme numuneleri her iki yüzeyden 1 mm taşlama yapıldıktan sonra çekme numuneleri DIN 50120, eğme numuneleri 180° olmak üzere DIN 17100'de belirtilen şartlara göre ve çentik darbe numuneleri ise TS EN 10045-1'e göre hazırlanmıştır. Çentik darbe numuneleri zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerinden sonra çentik açma işlemlerine tabii tutulmuşlardır. Çentik açma işlemleri bölgelere göre olmak üzere her bir numuneye tek bir çentik açılmış ve çentiğın numunenin orta kısmına gelmesine dikkat edilmiştir. Çekme için hazırlanan numuneler DARTEC tipi çekme cihazı ile 0,2 mm/dak. ilerleme hızında, eğme numunesi TREBEL tipi eğme cihazı ve çentik darbe numuneleri ise BROOKS marka makine ile oda sıcaklığında ve -40°C teste tabii tutulmuştur.

Test parçaları hazırlanırken kullanılan şerit testere Şekil 7.8'de görölmektedir. Test parçaları hazırlanırken numunelerin karışmasını önlemek için ilk önce boya kalemi ile markalama yapıldıktan sonra numaratorlerle test parçalarının üzerine soğuk damga vurulmuştur. Test parçalarının markalanması Şekil 7.9'da görölmektedir.

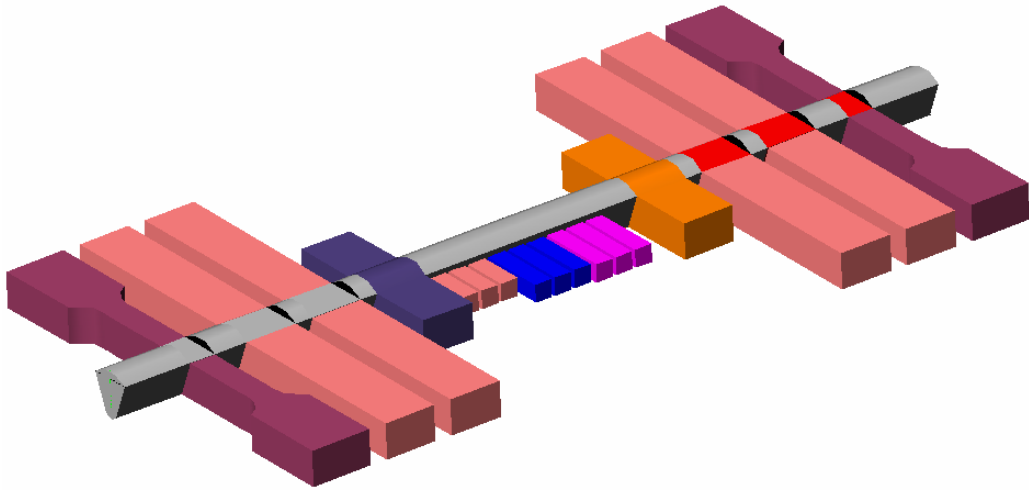
Tüm kaynaklı test parçalarından 2 adet çekme, 4 adet eğme, 9 adet çentik-darbe, 1 adet sertlik ve 1 adette mikroyapı için test parçası çıkartılmıştır.



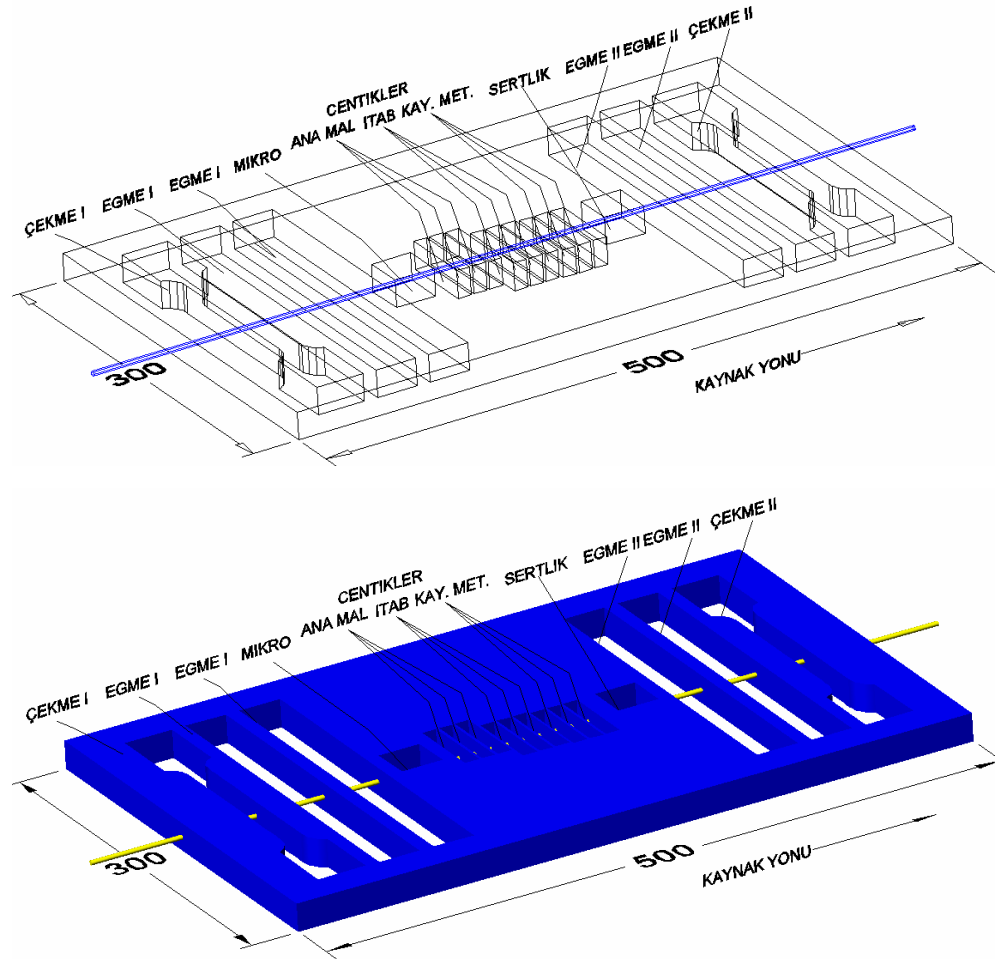
Şekil.7.8. Test parçalarının şerit testere ile kesilmesi



Şekil.7.9. Test parçalarının markalanması



Şekil.7.10. Kaynaklı parça üzerinden alınan test parçalarının geometrileri [35]

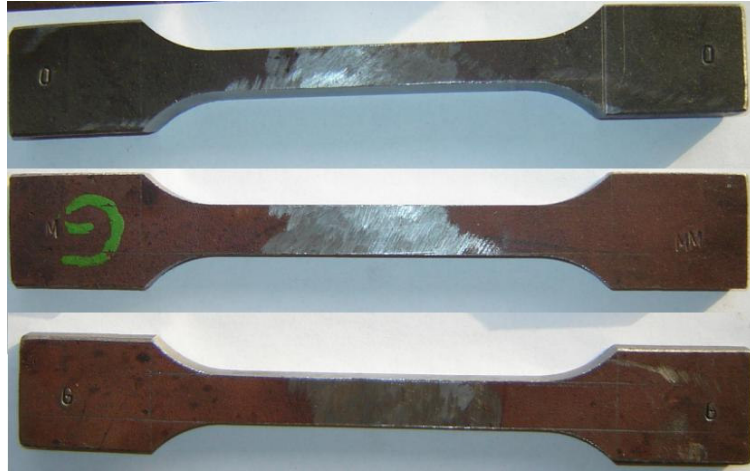


Şekil 7.11. Kaynaklı levhalar üzerinden test parçaları çıkartılması [35]

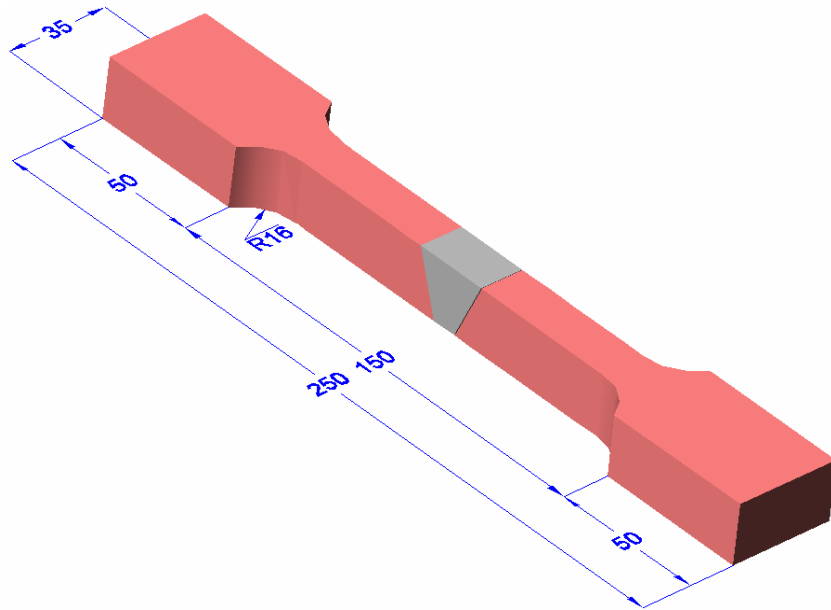


Şekil.7.12. Freze tezgahında çekme parçalarının hazırlanması

Şerit testere ile kesilen dikdörtgen şeklindeki test numuneleri freze tezgahların talaş kaldırılarak ve soğutma sıvı (bor yağ) kullanılarak istenilen standart ölçülerine getirildi. Kaynak dikiş formunda oluşan kaynak yükseklikleri test sonuçlarını etkilememesi için tamamen taşlanarak saca aynı seviyeye getirildi. Şekil 7.13’de çekme numunesinin kaynak yüksekliğinin taşlandıktan sonraki hali görülmektedir. DIN 50120’e göre hazırlanan çekme test numunesi ölçüleri Şekil 7.14’de verilmektedir.



Şekil 7.13. Çekme test numunesinde kaynak yüksekliğinin taşlanması

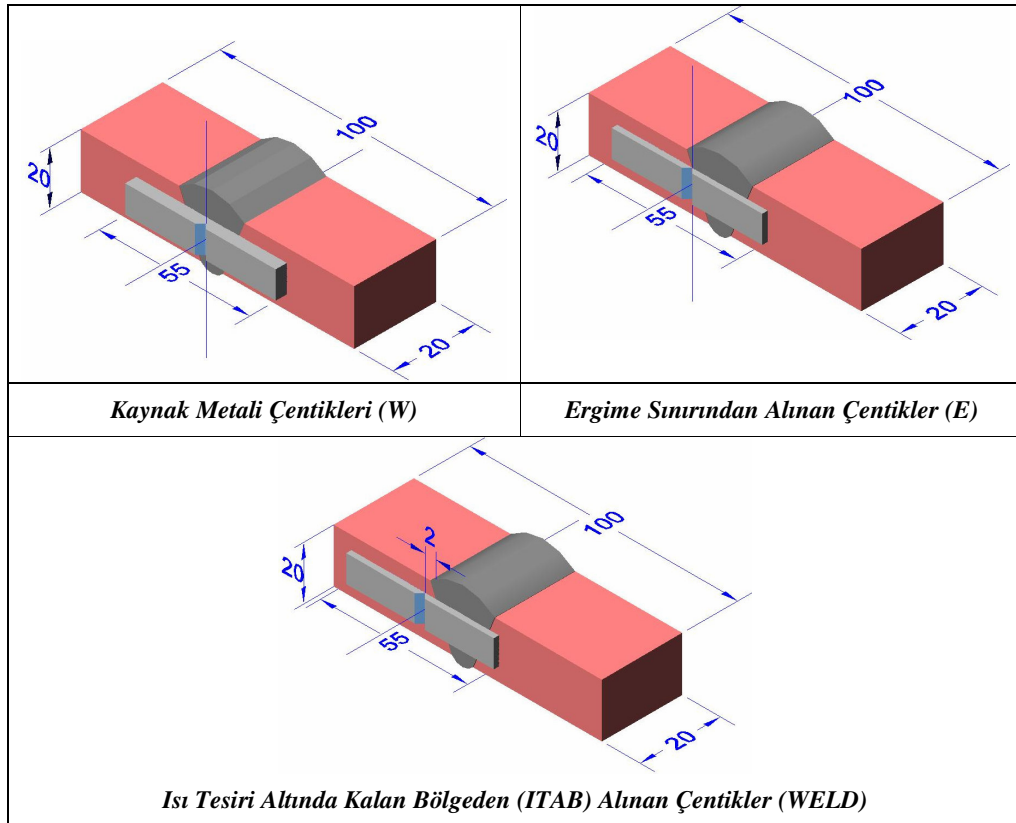


Şekil 7.14. DIN 50120’e göre hazırlanan çekme test numunesi ölçüleri [35]

Çentik-darbe numuneleri hazırlanırken planya tezgahları kullanıldı. Çentik-darbe numunelerinde sac kalınlıkları 10 mm'ye düşürölünceye kadar çift taraflı olarak yüzeyden talaş kaldırılması Şekil 7.15'de görölmektedir. Çentikler açılırken ise Şekil 7.16'da göröldüğü gibi kaynağa dik gelecek şekilde olmasına dikkat edilmiştir .

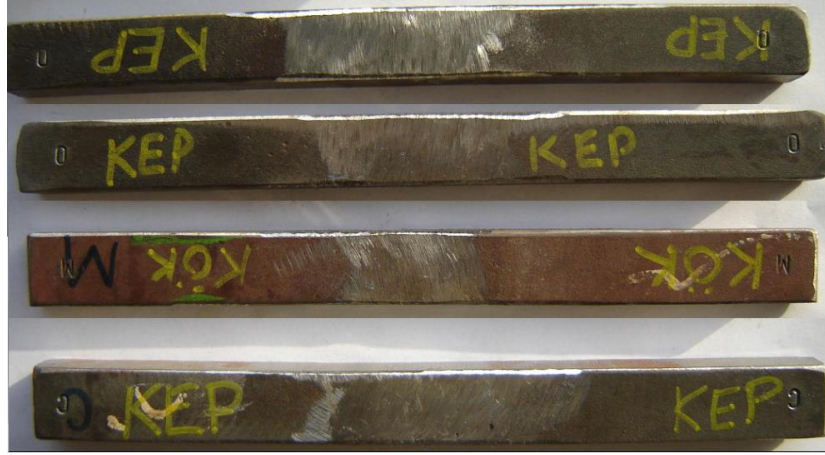


Şekil 7.15. Çentik-darbe numunelerinin kalınlıklarının düşürölmesi

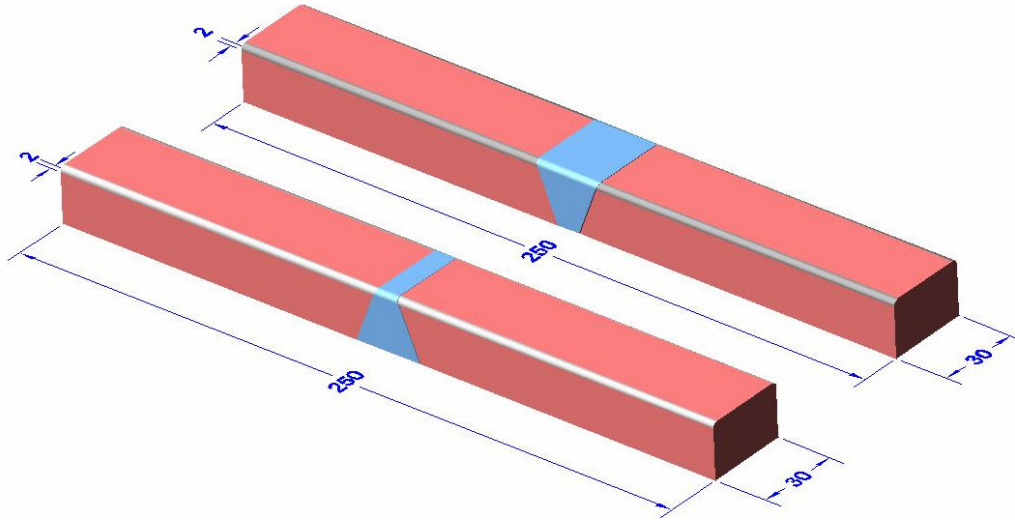


Şekil 7.16. TS EN 10045-1 standardında hazırlanan çentik numune ölçüleri [35]

Şerit testere ile kesilen eğme numunelerinde de kaynak yükseklikleri tamamen taşlandı. Eğme sırasında gerilme yığılması oluşabileceği düşünülerek test parçasının tüm keskin kenarları 2 mm olacak şekilde zımparatılması Şekil 7.17’de görülmektedir. Hazırlanan 4 adet eğme numunelerinden 2 adedi kök eğmeye, 2 adedi ise kep eğmeye tabii tutulmuştur. . DIN 17100’e göre hazırlanan eğme test numune ölçüleri Şekil 7.18’de görülmektedir .



Şekil 7.17. Eğme numunelerinin kaynak yüksekliğinin ve kenarlarının taşlanması



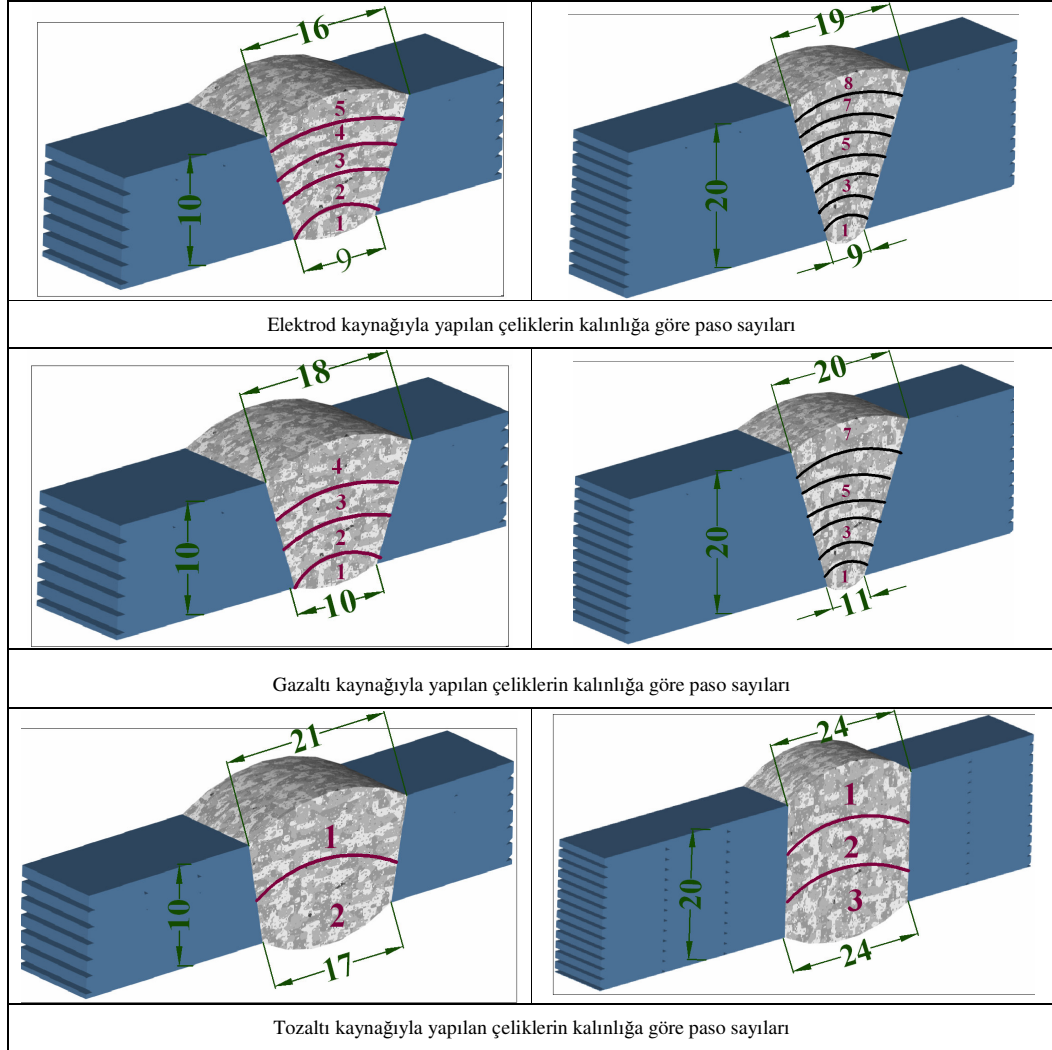
Şekil 7.18. DIN 17100’e göre hazırlanan eğme test numune ölçüleri [35]

Tablo 7.18. Kaynak yöntemlerinin kodlanması

| KOD | KODLAMALAR | YÖNTEMİN AÇIKLAMASI |
|-----|------------------|-------------------------------------------------|
| A | M B A 1G – 10 | A grade, 10 mm sacın, elektrod ark kaynağı |
| B | M B A 1G – 14 | A grade, 14 mm sacın, elektrod ark kaynağı |
| C | M B A 1G – 16 | A grade, 16 mm sacın, elektrod ark kaynağı |
| D | M B A 1G – 20 | A grade, 20 mm sacın, elektrod ark kaynağı |
| E | M B DH36 1G – 17 | DH36 grade, 17 mm sacın, elektrod ark kaynağı |
| F | M B DH36 1G – 20 | DH36 grade, 20 mm sacın, elektrod ark kaynağı |
| G | F B A 1G – 10 | A grade, 10 mm sacın, özlü telle ark kaynağı |
| H | F B A 1G – 14 | A grade, 14 mm sacın, özlü telle ark kaynağı |
| I | F B A 1G – 16 | A grade, 16 mm sacın, özlü telle ark kaynağı |
| J | F B A 1G – 20 | A grade, 20 mm sacın, özlü telle ark kaynağı |
| K | F B DH36 1G – 17 | DH36 grade, 17 mm sacın, özlü telle ark kaynağı |
| L | F B DH36 1G – 20 | DH36 grade, 20 mm sacın, özlü telle ark kaynağı |
| M | S B A 1G – 10 | A grade, 10 mm sacın, tozaltı kaynağı |
| N | S B A 1G – 14 | A grade, 14 mm sacın, tozaltı kaynağı |
| O | S B A 1G – 16 | A grade, 16 mm sacın, tozaltı kaynağı |
| P | S B A 1G – 20 | A grade, 20 mm sacın, tozaltı kaynağı |
| R | S B DH36 1G – 17 | DH36 grade, 17 mm sacın, tozaltı kaynağı |
| S | S B DH36 1G – 20 | DH36 grade, 20 mm sacın, tozaltı kaynağı |

Tablo 7.18’de kaynaklı numunelerde oluşabilecek karışıklığı önlemek için kodlama sistemine gidilmiştir. Verilen kodlar soğuk damga ile testi yapılacak numunelerin üzerine damgalanmıştır.

7.7. Kaynaklı Numunelerde Oluşan Isı Girdilerinin Değerlendirilmesi



Şekil 7.19. Farklı yöntemlerle kaynak edilen numunelerin kalınlığına göre paso sayıları

Farklı yöntemlerle kaynak edilen numunelerin kalınlığına göre paso sayıları Şekil 7.19'da verilmektedir. Kep ve kök pasolardaki farklı ısı girdileri sonucu numunenin kaynak yoğun bölgesinde daha yüksek artık gerilmeler ve deformasyonlar oluşur. Genellikle kaynaklı numuneler kep bölgesine doğru bir açısal deformasyona uğrarlar ve bu formun geniş olması oluşacak ITAB bölgesinin genişliği ile doğru orantılıdır.

Tozaltı kaynağında bu kaynak formu birbirine yakın değerler verdiği için numunede servis anında yüklemelere ve çekmelere maruz kaldığında hasar uğrama riski azalmıştır. Kalınlık yönünde kaynaklı parçaya bakıldığında benzer ısı girdileri olduğu

için oluşabilecek artık gerilmelerde kaynak kesitleri boyunca homojen bir biçimde dağılacaklardır. Tozaltı kaynağı ile 16 mm kalınlığa kadar kaynak ağzı açılmadan kaynak yapılabilmesi bu yüzden önemli bir avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. İleri teknoloji kaynak yöntemlerinde de genellikle kaynak ağzı açısı çok dar tutulmakta veya I (küt) kaynak ağzı açılarak kaynak yapılmaktadır.

Farklı kalınlıklarda hazırlanan kaynaklı numunelerde elektrod dolgu verimine paralel olarak paso sayılarında da farklılıklar görülmektedir. Tozaltı kaynağında dolgu verimi % 90 mertebesinde olduğu için 20 mm kalınlıktaki bir sac 3 pasolu kaynakla tamamlanmaktadır. Fakat diğer yöntemlerle 7-8 çok pasolu kaynak yapılarak istenen dolgu verimi sağlanıp, kaynak yapılabilir. Dolgu veriminin en yüksek değerleri tozaltı kaynağından alınmasının nedenleri arasında; full-otomatik bir sistem olması, kaynak hızını ayarlamak için operatör kontrolü ile kaynak makinesi hızı ayarlanabilir. Tozaltı kaynağında çok yüksek kaynak akımı kullanılması, telin çok hızlı ergimesini sağlar ve küçük taneli damlacıklar oluşturduğu için ilave tel elektrod en verimli şekilde bu yöntemde karşımıza çıkar [20].

Özellikle ince taneli çeliklerde yüksek sıcaklıklara (kaynak arkı 2500- 3000 °C) ve hızlı soğuma durumunda malzemenin ITAB bölgelerinde martenzitik faz oluşma riski mevcuttur. Bu bölgeler malzemedan alınan mikrosertlik ve mikroyapılarla kolayca tespit edilebilmektedir. Bu yapının oluşmasında özellikle kaynak esnasında oluşan ısı çevrimler etki etmektedir ve bunların kontrolü yapılarak ITAB ve kaynak metalinde oluşabilecek yapılar önceden tahmin edilebilir. ITAB bölgesindeki sıcaklık dağılımı ve soğuma hızını etkiler. Kaynak işlemi sırasında sağlanan ısı girdisi, malzemenin kimyasal kompozisyonu, kaynak geometrisi, çevre şartları etki etmektedir. Kaynaklı imalatlarda ısı girdisinin kontrolü büyük önem taşır. Isı girdisi, kaynaklı bağlantısının kaynak metalurjisinin oluşumunda en önemli etkendir. Kaynak işlemi sırasında bu 4 önemli parametreyi kontrol altına alarak, kaynaklı bağlantının istenilen şartlara uygun olarak oluşmasını sağlarız [20].

Gemi sektöründeki kaynaklı bağlantılarda özellikle yüksek korozyon özelliğine sahip deniz suyuna karşı korozyona dayanıklılık, denizde oluşabilecek yüksek dalga boylarında kırılmadan kalabilecek; yüksek mukavemet, süneklik ve soğuk deniz

sularında kaynakların gevrek kırılmaya uğramaması istenmektedir. Özellikle gemi dizaynlarında da çalışacağı bölgeler, gemi özellikleri ve yükleme şekillerine göre gemi sacları dizayn edilmektedir. Genellikle yüksek çentik darbe mukavameti veren çeliklerin kullanılmasına önem verilmektedir. Isı girdisine etki eden faktörler; kaynak akımı, kaynak gerilimi ve kaynak hızıdır [1].

Yarı-otomatik olan testi yapılan özlü telle gazaltı kaynağı gemi inşaatında panel hattı denilen kompleks blok imalat istasyonlarında full-otomatik sistem olarak kendisine uygulama alanı bulmuştur. Bu sistemlerin en önemli avantajlarından bir tanesi daha yüksek kaynak hızlarına ulaşılabilen, tandem ve twin gibi kombine sistemlerle aynı anda 2 veya 3 telle daha yüksek dolgu verimine ulaşmaları en önemli avantajları arasında yer almaktadır [16].

Isı girdileri numunelere göre inceleme yapıldığında; elektrod ark kaynağının manuel yapılması ve kaynak hızının diğer yöntemlere nazaran daha düşük olması toplam ısı girdisi değerlerinin artmasına neden olmuştur.

Gazaltı kaynağındaki ise yarı-otomatik bir kaynak yöntemi ve tel sürücü hızı arttıkça paralelinde kaynak hızı da artmaktadır. Dolgu verimi daha yüksek olduğu için elektrod kaynağına nazaran kaynak daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. Burada kullanılan akım değerleri 1,2 mm kalınlığındaki tele uygulandığında akım yoğunluğu fazla olduğu ergime prosesi kolaylaşmaktadır [12].

Tozaltı kaynağında ise kaynak hızı direk makinenin yürüyüş hızıyla alakalıdır. Yapılan deneylerde de görüldüğü gibi toplam zamanda yapılan kaynak uzunluğu en fazla tozaltı kaynağında olmuştur. Bu da malzemede giren ısı girdisi miktarının daha az olmasını sağlamıştır. Fakat tozaltı kaynağının 1 pasonun malzemeye verdiği ısı girdisi değeri diğer yöntemlere nazaran çok daha fazladır. Bunun nedenleri arasında 5 mm çapındaki tozaltı teline uygulanan 870 amper gibi çok yüksek kaynak akımı neden olmaktadır. 20 mm kalınlıktaki malzemede 3 paso kullanıldığı için sadece bu numunelerde ısı girdisi diğer yöntemlere nazaran daha yüksek değerler vermiştir. ISO 9956-3 tarafından hazırlanan form kullanılarak, hazırlanan ısı girdi değerleri Tablo 7.19'dan Tablo 7.21'e kadar verildi [35].

Tablo 7.19’da elektrod kaynağıyla yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri verilmektedir.

Tablo 7.19. Elektrod kaynağı yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri [35]

A GRADE SACIN ELEKTROD KAY. 10 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (kJ/mm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 2,5 mm | 94-85 | 33-38 | DC (+) | - | 2,7 | 1,23 |
| 2 | 3,25 mm | 110-100 | 37-31 | DC (+) | - | 3,33 | 1,10 |
| 3 | 3,25 mm | 120-111 | 36-31 | DC (+) | - | 3,33 | 1,17 |
| 4 | 3,25 mm | 98-112 | 37-30 | DC (+) | - | 2,66 | 1,38 |
| 5 | 3,25 mm | 99-115 | 36-29 | DC (+) | - | 4,44 | 0,82 |

A GRADE SACIN ELEKTROD KAY. 14 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (kJ/mm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 3,25 mm | 115-112 | 23-19 | DC (+) | - | 2,66 | 0,89 |
| 2 | 3,25 mm | 135-127 | 27-19 | DC (+) | - | 3,33 | 0,96 |
| 3,4 | 4 mm | 180-160 | 29-20 | DC (+) | - | 3,70 | 1,14 |
| 5 | 4 mm | 182-163 | 31-22 | DC (+) | - | 3,70 | 1,14 |
| 6 | 3,25 mm | 129-117 | 25-17 | DC (+) | - | 4,45 | 0,52 |

A GRADE SACIN ELEKTROD KAY. 16 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (kJ/mm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 2,5 mm | 79-67 | 30-37 | DC (+) | - | 2,72 | 0,96 |
| 2 | 3,25 mm | 128-100 | 33-25 | DC (+) | - | 3,35 | 0,91 |
| 3,4 | 3,25 mm | 117-108 | 36-30 | DC (+) | - | 3,39 | 1,13 |
| 5,6 | 3,25 mm | 120-110 | 35-30 | DC (+) | - | 3,40 | 1,08 |
| 7 | 3,25 mm | 131-121 | 35-27 | DC (+) | - | 4,45 | 0,78 |

A GRADE SACIN ELEKTROD KAY. 20 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (kJ/mm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | 3,25 mm | 115-112 | 23-19 | DC (+) | - | 2,68 | 0,92 |
| 2 | 3,25 mm | 135-127 | 27-19 | DC (+) | - | 3,35 | 0,84 |
| 3,4 | 4 mm | 180-160 | 29-20 | DC (+) | - | 3,70 | 1,14 |
| 5,6 | 4 mm | 182-163 | 31-22 | DC (+) | - | 3,70 | 1,18 |
| 7 | 4 mm | 167-144 | 27-19 | DC (+) | - | 3,70 | 1,01 |
| 8 | 3,25 mm | 129-117 | 25-17 | DC (+) | - | 4,42 | 0,67 |

Tablo 7.20’da gazaltı kaynağıyla yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri verilmektedir.

Tablo 7.20. Gazaltı kaynağı yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri [35]

A GRADE SACIN GAZALTI KAY. 10 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 1,2 mm | 200-190 | 31-27 | DC (+) | 10 | 6,6 | 0,82 |
| 2 | 1,2 mm | 280-275 | 33,8 | DC (+) | 16 | 8,33 | 1,11 |
| 3 | 1,2 mm | 280-260 | 34,2 | DC (+) | 16 | 8,35 | 1,10 |
| 4 | 1,2 mm | 275-257 | 34,2 | DC (+) | 16 | 8 | 1,11 |

A GRADE SACIN GAZALTI KAY. 14 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 1,2 mm | 200-190 | 28-27 | DC (+) | 10 | 6,7 | 0,78 |
| 2 | 1,2 mm | 280-267 | 34,5 | DC (+) | 16 | 8,32 | 1,11 |
| 3 | 1,2 mm | 280-260 | 34,7 | DC (+) | 16 | 8,4 | 1,09 |
| 4 | 1,2 mm | 290-265 | 35 | DC (+) | 16 | 8,7 | 1,08 |
| 5 | 1,2 mm | 271-255 | 34,8 | DC (+) | 16 | 8 | 1,13 |

A GRADE SACIN GAZALTI KAY. 16 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 1,2 mm | 205-192 | 28 | DC (+) | 10 | 6,8 | 0,82 |
| 2 | 1,2 mm | 282-268 | 34,3 | DC (+) | 16 | 8,4 | 1,10 |
| 3,4 | 1,2 mm | 285-265 | 34,5 | DC (+) | 16 | 8,3 | 1,12 |
| 5 | 1,2 mm | 292-270 | 34 | DC (+) | 16 | 8,8 | 1,10 |
| 6 | 1,2 mm | 275-260 | 34,5 | DC (+) | 16 | 8,2 | 1,11 |

A GRADE SACIN GAZALTI KAY. 20 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Tel. Bes. Hızı (m/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|------------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 1,2 mm | 180-170 | 31-28 | DC (+) | 10 | 6,25 | 0,81 |
| 2 | 1,2 mm | 280-261 | 35 | DC (+) | 16 | 8,8 | 1,04 |
| 3 | 1,2 mm | 290-266 | 34,5 | DC (+) | 16 | 8,9 | 1,04 |
| 4 | 1,2 mm | 275-263 | 34,8 | DC (+) | 16 | 8,7 | 1,06 |
| 5,6 | 1,2 mm | 220-200 | 33,8 | DC (+) | 16 | 8,3 | 0,85 |
| 7 | 1,2 mm | 285-270 | 34,8 | DC (+) | 16 | 8,5 | 1,12 |

Tablo 7.21’da tozaltı kaynağıyla yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri verilmektedir.

Tablo 7.21. Tozaltı kaynağı yapılan numunelerin paso sayılarına göre ısı girdileri [35]

A GRADE SACIN TOZALTI KAY. 10 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Makine Hızı (cm/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 5 mm | 550 | 32,5 | DC (+) | 45 | 9,4 | 1,89 |
| 2 | 5 mm | 700 | 34 | DC (+) | 50 | 10 | 2,38 |

A GRADE SACIN TOZALTI KAY. 14 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Makine Hızı (cm/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 5 mm | 671 | 33 | DC (+) | 45 | 9,4 | 2,35 |
| 2 | 5 mm | 800 | 35 | DC (+) | 45 | 10 | 2,8 |

A GRADE SACIN TOZALTI KAY. 16 MM

| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Makine Hızı (cm/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 5 mm | 705 | 33,3 | DC (+) | 45 | 9,4 | 2,48 |
| 2 | 5 mm | 880 | 35 | DC (+) | 45 | 9,4 | 3,2 |

A GRADE SACIN TOZALTI KAY. 20 MM

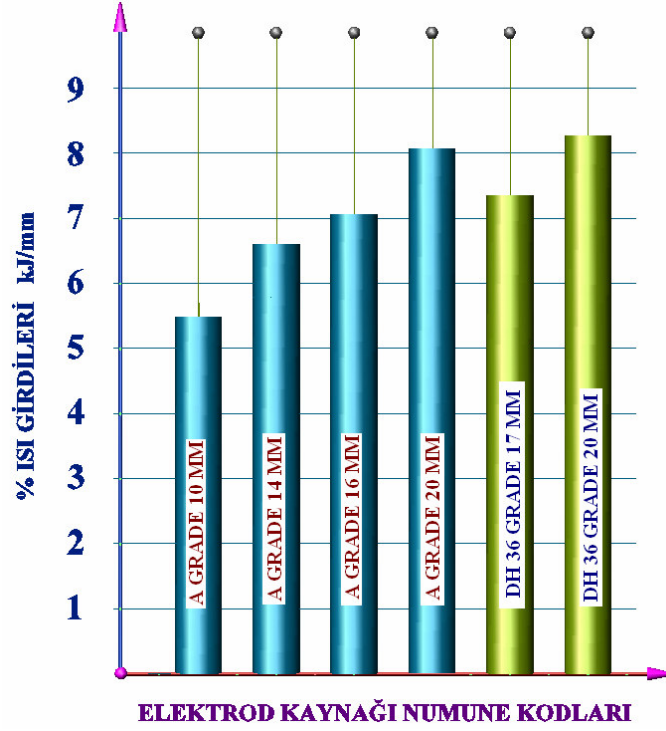
| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Makine Hızı (cm/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 5 mm | 750 | 33,5 | DC (+) | 45 | 9,4 | 2,67 |
| 2 | 5 mm | 800 | 35 | DC (+) | 50 | 10 | 2,8 |
| 3 | 5 mm | 870 | 35 | DC (+) | 45 | 9,4 | 3,2 |

DH36 GRADE SACIN TOZALTI KAY. 17 MM

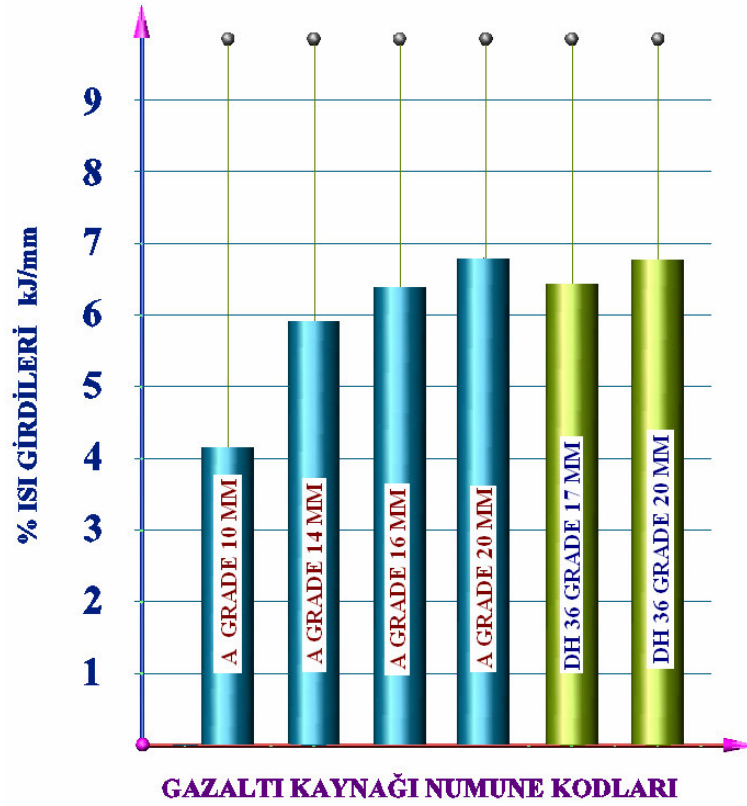
| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Makine Hızı (cm/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 5 mm | 756 | 33,3 | DC (+) | 45 | 9,4 | 2,67 |
| 2 | 5 mm | 925 | 35 | DC (+) | 45 | 9,4 | 3,44 |

DH36 GRADE SACIN TOZALTI KAY. 20 MM

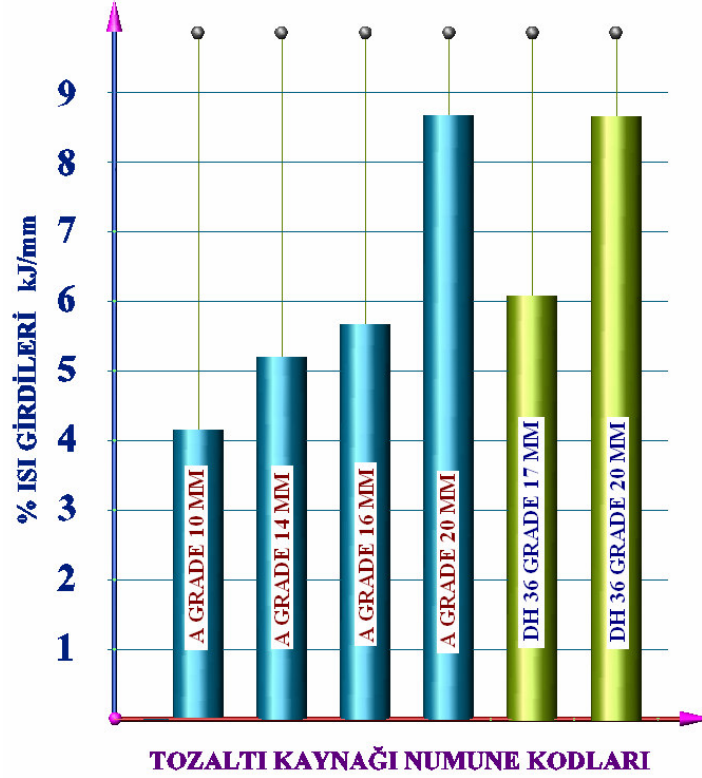
| Paso | Dolgu Metal Çapı (mm) | Akım (A) | Gerilim (V) | Akım Tipi/ Polarizas. | Makine Hızı (cm/min) | Kaynak Hızı (mm/s) | Isı Girdisi (J/cm) |
|------|-----------------------|----------|-------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 5 mm | 750 | 33,5 | DC (+) | 45 | 9,4 | 2,67 |
| 2 | 5 mm | 800 | 35 | DC (+) | 50 | 10 | 2,8 |
| 3 | 5 mm | 870 | 35 | DC (+) | 45 | 9,4 | 3,2 |



Şekil 7.20. Elektrod kaynağı ısı girdileri grafiği



Şekil 7.21. Gazaltı kaynağı ısı girdileri grafiği



Şekil 7.22. Tozaltı kaynağı ısı girdileri grafiği

Şekil 7.20. incelendiğinde kalınlık artışına ne kadar artarsa benzer oranda ısı girdisinin de arttığı tespit edilmiştir. Şekil 7.21’de gazaltı kaynağının diğer yöntemlere nazaran en düşük ısı girdisine sahip olduğu görülmektedir. Kaynağın dikiş formu ısı girdisi ile alakalıdır. Aynı malzemeyi eğer daha düşük kaynak hızları ile kaynatma yoluna gidilirse diğer tüm parametreler sabit olmasına rağmen daha yüksek ısı girdisi değerlerine ulaşılır. Yarı-otomatik bir yöntem olan gazaltı kaynağında kaynak hızı elektrod kaynağına nazaran daha yüksek olduğu için ısı girdisi daha düşük değerdedir. Şekil 7.22’de ise yapılan tozaltı kaynaklarının çok yüksek ısı girdisi değerleri verdiği tespit edildi. Özellikle 20 mm kalınlığındaki sac kaynaklarında çok yüksek ısı girdisi değerlerine ulaşıldığı tespit edildi.

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE İRDELEME

8.1. Giriş

Bölüm 7’de açıklanan tekniklerle üretilen kaynaklı birleştirme işlemi sonucunda üretilen malzemelerin mekanik özellikleri incelemeye tabii tutulmuştur. Tüm kaynaklı numuneler ilgili standartlara göre test edilerek alınan veriler grafikler halinde verilmişlerdir.

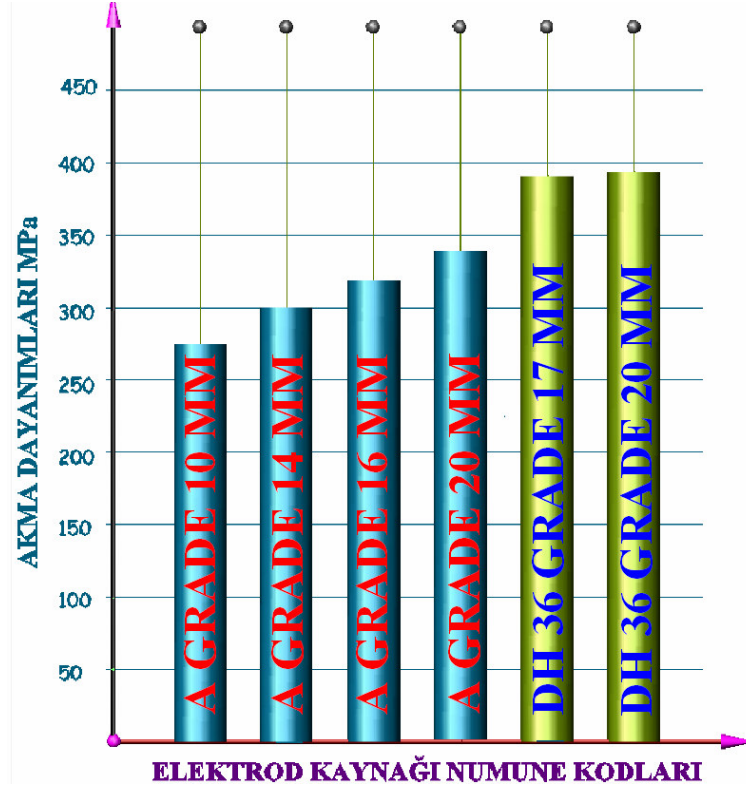
8.2. Çekme Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi

DARTEC marka çekme cihazı ile 0,2 mm/dk hızla çekmeye maruz bırakılan tüm kaynaklı numunelerin yük – uzama diyagramları alınarak bunlar üzerinden yapılan mühendislik hesaplamalarla diyagramlar çizilmiştir. Kaynaklı numunelerin çekme deneyi yapılırken diğer malzemelere göre farklı bir durum söz konusudur. Burada iki farklı metalin çekme testine tabii tutulur, bunlardan birisi ana malzeme ve diğeri de kaynak metalidir. ITAB bölgesinde veya kaynak metalinde kopma istenmemektedir. Bu bölgelerde oluşan kopmalar düşük değerler verilmesini sağlar, eğer kaynak metalinin ortasında kopma meydana gelirse bunun nedenleri arasında uygun ilave elektrod kullanılmaması veya tek pasoda gereğinden fazla geniş kaynak yapılması sonucu kaynak metali içinde oluşan mikrosegragasyonlardır.

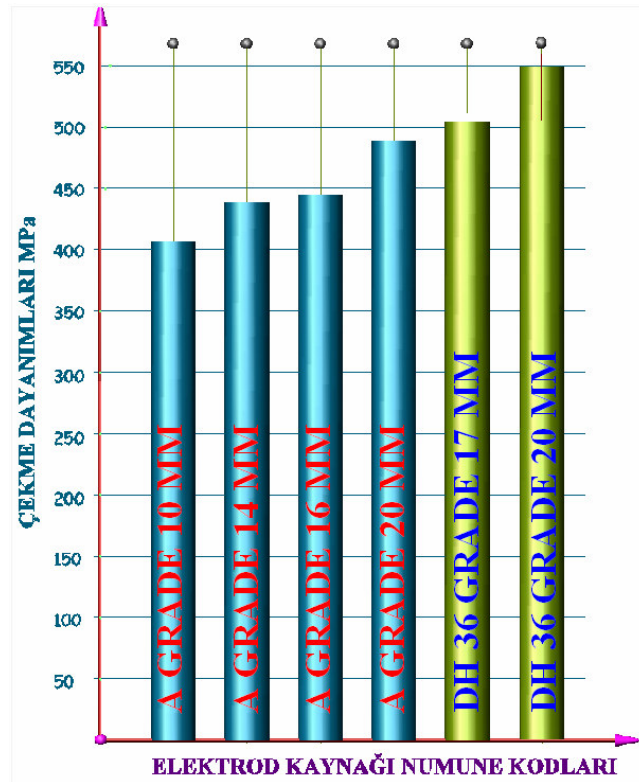
ITAB bölgesinde oluşabilecek bir kopmanın nedeni de malzeme kaynak esnasında oluşan ısı girdisinin çok yüksek olması ve bu yapı içerisinde martenzitik yapı oluşumuna neden olmasıdır. Çekme deneyi sonucunda alınan test sonuçlarına göre Tablo 8.1. ve Şekil 8.1’den Şekil 8.5’e kadar sırasıyla farklı kaynak yöntemlerinde akma ve çekme dayanımlarının değişimleri verilmiştir. Şekil 8.5’e ise kaynak yöntemlerinin genel çekme dayanımları diyagramı verilmiştir.

Tablo 8.1. Farklı kaynak yöntemlerindeki çekme deneyi verileri

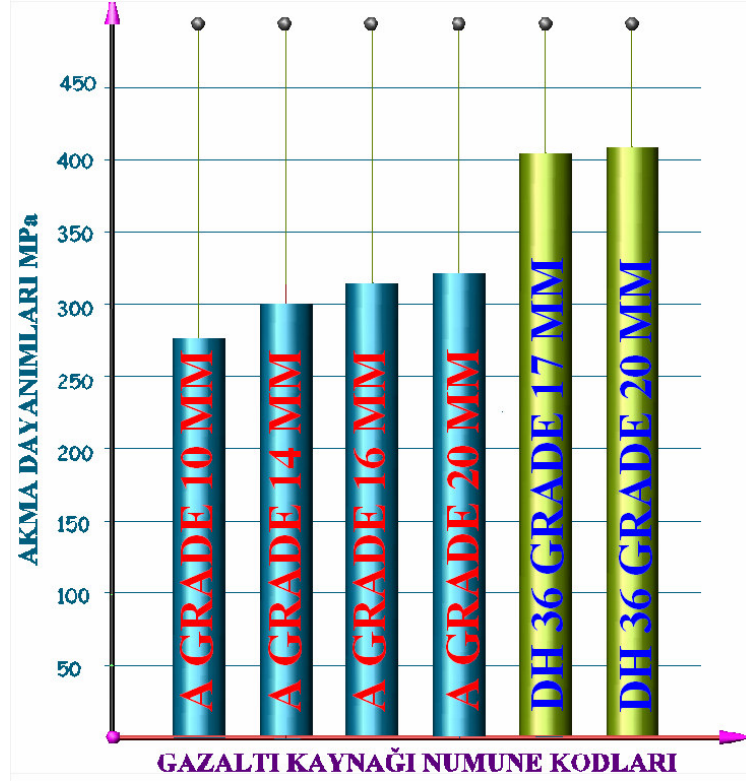
| KOD. | YÖNTEM KODU | BOYUTLAR | ALAN | AKMA DAYANIMI | ÇEKME DAYANIMI | KOPMA DAYANIMI | % UZAMA |
|------|------------------|------------|--------|---------------|----------------|----------------|---------|
| A | M B A 1G – 10 | 10 x 15 mm | 150 mm | 275 MPa | 407 MPa | 284 MPa | % 29,3 |
| B | M B A 1G – 14 | 14 x 15 mm | 210 mm | 300 MPa | 439 MPa | 344 MPa | % 24,6 |
| C | M B A 1G – 16 | 16 x 15 mm | 240 mm | 328 MPa | 445 MPa | 303 MPa | % 22,5 |
| D | M B A 1G – 20 | 20 x 15 mm | 300 mm | 339 MPa | 494 MPa | 416 MPa | % 21,2 |
| E | M B DH36 1G – 17 | 17 x 15 mm | 255 mm | 391 MPa | 505 MPa | 409 MPa | % 21,2 |
| F | M B DH36 1G – 20 | 20 x 15 mm | 300 mm | 394 MPa | 571 MPa | 468 MPa | % 19,7 |
| G | F B A 1G – 10 | 10 x 15 mm | 150 mm | 264 MPa | 433 MPa | 300 MPa | % 34,9 |
| H | F B A 1G – 14 | 14 x 15 mm | 210 mm | 300 MPa | 450 MPa | 350 MPa | % 34,3 |
| I | F B A 1G – 16 | 16 x 15 mm | 240 mm | 321 MPa | 470 MPa | 362 MPa | % 29,3 |
| J | F B A 1G – 20 | 20 x 15 mm | 300 mm | 338 MPa | 479 MPa | 379 MPa | % 28,1 |
| K | F B DH36 1G – 17 | 17 x 15 mm | 255 mm | 405 MPa | 545 MPa | 410 MPa | % 22,7 |
| L | F B DH36 1G – 20 | 20 x 15 mm | 300 mm | 409 MPa | 554 MPa | 420 MPa | % 21,1 |
| M | S B A 1G – 10 | 10 x 15 mm | 150 mm | 300 MPa | 362 MPa | 300 MPa | % 38,3 |
| N | S B A 1G – 14 | 14 x 15 mm | 210 mm | 303 MPa | 445 MPa | 347 MPa | % 37,5 |
| O | S B A 1G – 16 | 16 x 15 mm | 240 mm | 320 MPa | 470 MPa | 352 MPa | % 35,3 |
| P | S B A 1G – 20 | 20 x 15 mm | 300 mm | 349 MPa | 482 MPa | 420 MPa | % 29,1 |
| R | S B DH36 1G – 17 | 17 x 15 mm | 255 mm | 410 MPa | 520 MPa | 360 MPa | % 29,3 |
| S | S B DH36 1G – 20 | 20 x 15 mm | 300 mm | 365 MPa | 448 MPa | 291 MPa | % 27,5 |



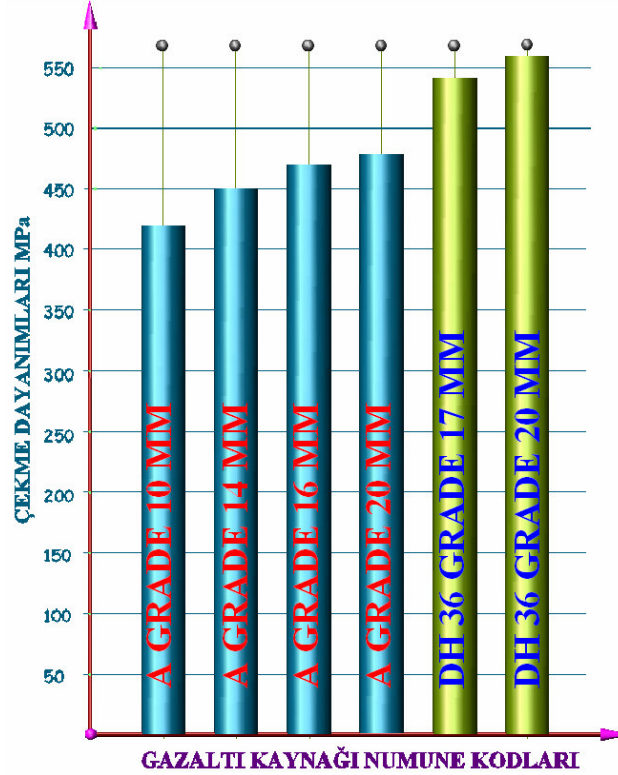
Şekil 8.1. Elektrod kaynağı numunelerinin akma dayanımları



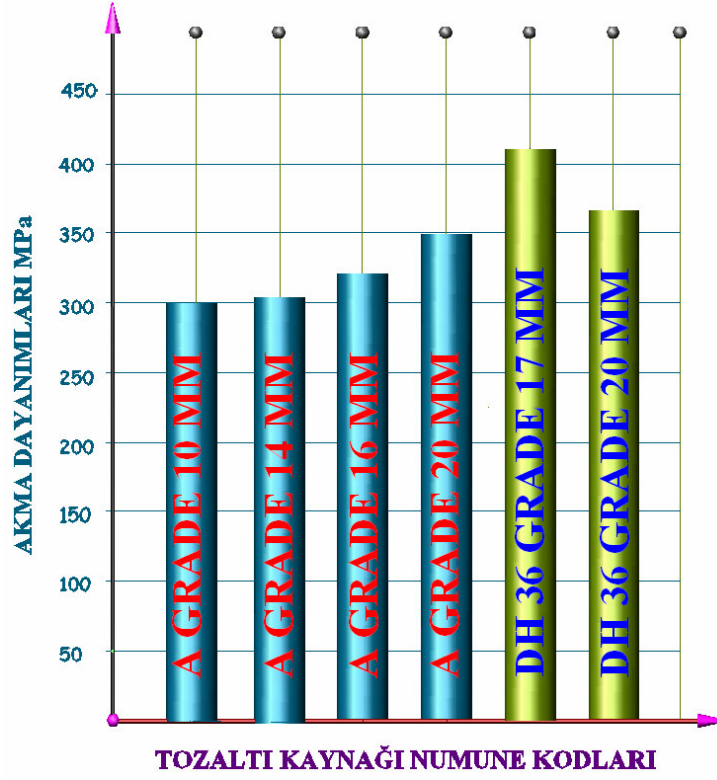
Şekil 8.2. Elektrod kaynağı numunelerinin çekme dayanımları



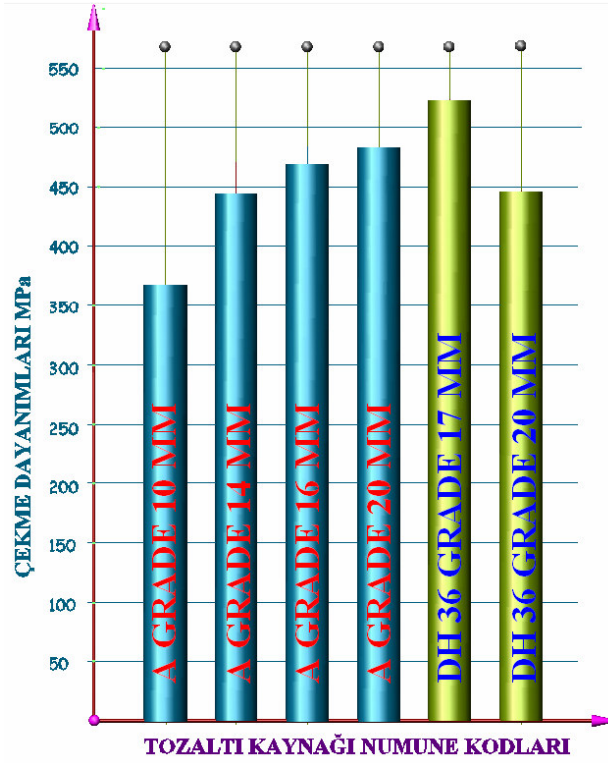
Şekil 8.3. Gazaltı kaynağı numunelerinin akma dayanımları



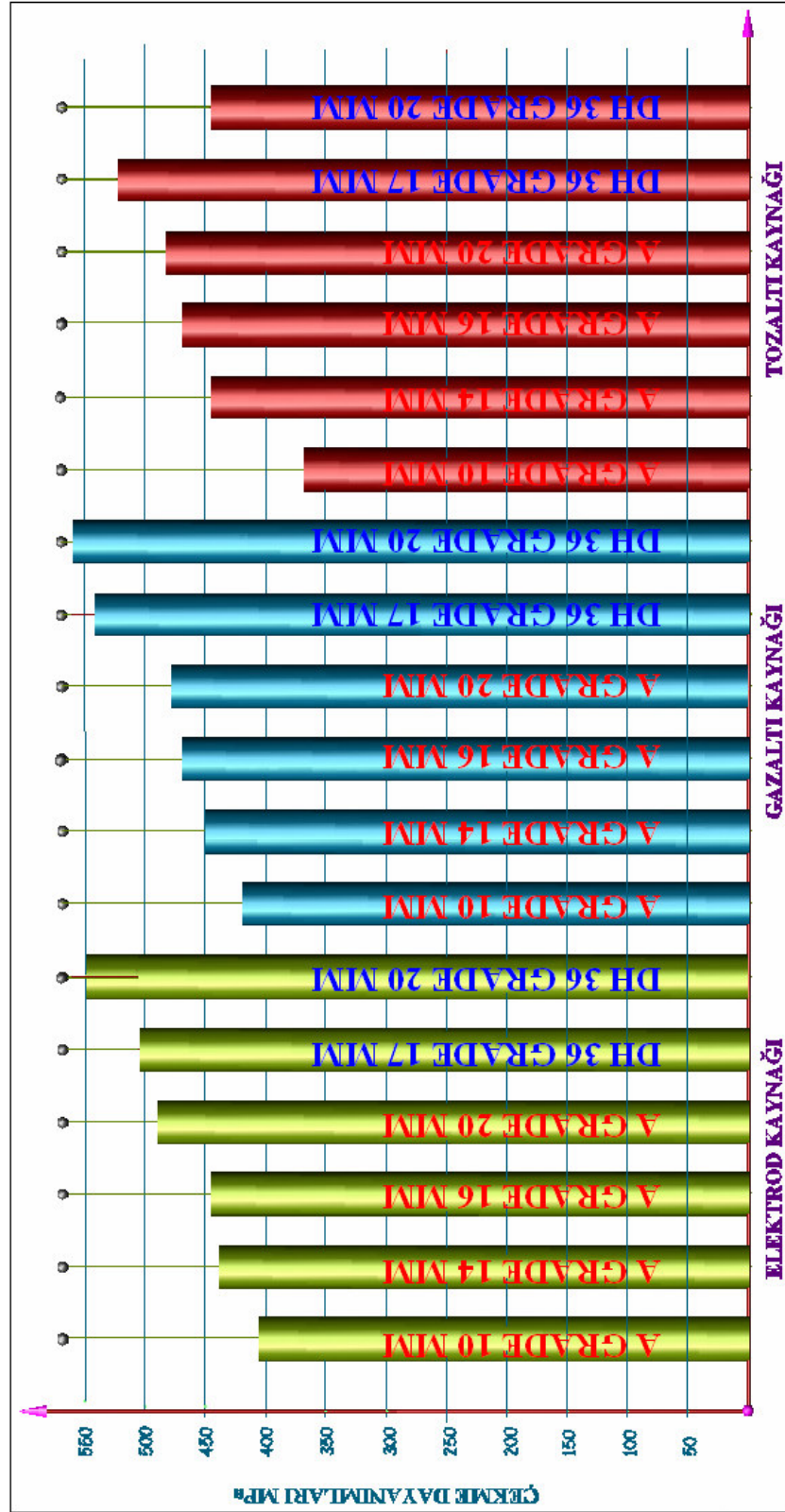
Şekil 8.4. Gazaltı kaynağı numunelerinin çekme dayanımları



Şekil 8.5. Tozaltı kaynağı numunelerinin akma dayanımları



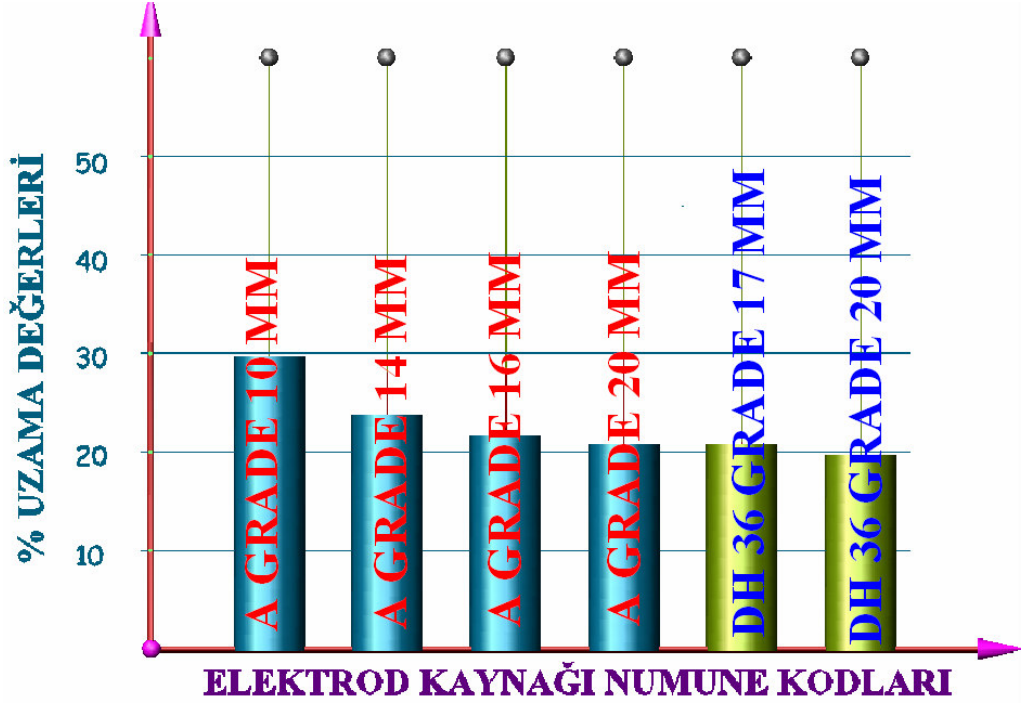
Şekil 8.6. Tozaltı kaynağı numunelerinin akma dayanımları



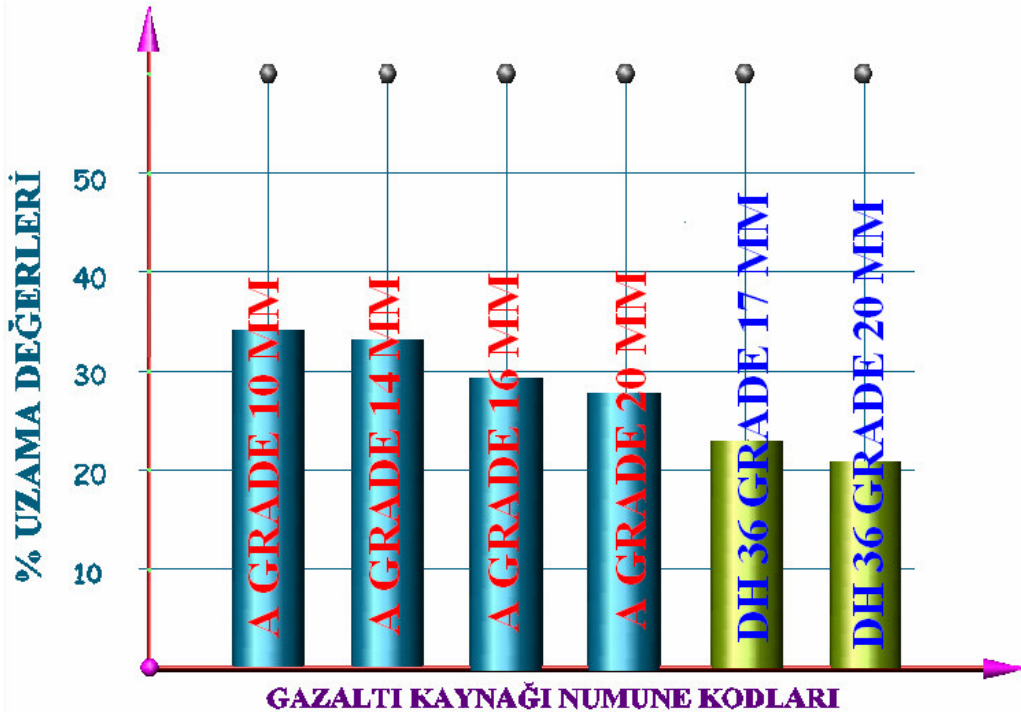
Şekil.8.7. Kaynaklı numunelerinin genel çekme dayanımları

Elektrod ark kaynağında Şekil 8.2'e bakıldığında % 40 oranında kalınlık artışına paralel olarak % 7,86 oranında çekme dayanımı artmakta, % 100 kalınlık artışında ise % 20,39 oranında artmaktadır. Yüksek mukavemetli gemi çeliğinde ise % 17,6 kalınlık artışında % 8,91 oranında çekme dayanımının arttığı görülmüştür. Gazaltı kaynağında ise Şekil 8.4 incelendiğinde % 40 oranındaki kalınlık artışında % 3,92 oranında artış görülürken, % 100 kalınlık artışında % 10,62 oranında bir artış olmuştur. Yüksek mukavemetli gemi çeliğinde ise % 17,6 kalınlık artışında % 5,35 oranında artma görülmüştür. Tozaltı kaynağında ise Şekil 8.6 incelendiğinde % 40 kalınlık artışında % 20,59 oranında artma görülmüşken, % 100 kalınlık artışında % 30,08 oranında artma görülmüştür. Yüksek mukavemetli çelikte ise % 17,6 kalınlık artışında % 14,88 oranında azalma tespit edilmiştir. Şekil 8.7 incelendiğinde genellikle en yüksek çekme dayanımı değerleri gazaltı kaynağının verdiği daha sonra tozaltı kaynağı ve en düşük değerlerin ise elektrod kaynağından alındığı tespit edilmiştir.

Tablo 8.1'de kullanılan farklı kaynak yöntemlerinin % uzama değerleri baz alınarak, Şekil 8.8'den Şekil 8.9'a kadar olan % uzama, kaynak yöntemleri şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 8.8'den Şekil 8.9'a kadar kullanılan kaynak yöntemlerine göre % uzama değerleri verilmiştir. Uzama değerlerine bakıldığında ise genellikle kullanılan ana malzemeden daha düşük uzama değerleri verdiği tespit edilmiştir. Yapılan deneylerde akma ve çekme dayanım değerlerinin ana malzemeden daha yüksek değer vermesinin nedeni kaynak metalinin şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençten kaynaklanmaktadır. Genellikle kaynak metali ana malzemeye nazaran daha yüksek sertlik değerleri verir. Kaynak metalinin sünekliği genellikle kaynaklanan ana malzemeye nazaran daha düşük değerler verir. Şekil 8.8'de elektrod ark kaynağında kalınlık artışıyla beraber kaynak metali formu da genişlemekte ve şekil değiştirme özelliği kötüleşmektedir. Şekil 8.9 incelendiğinde ise düşük ısı girdisi ve eşeksenli kristal yapısı veren gazaltı kaynak yönteminin diğer yöntemlere nazaran daha yüksek uzama değerleri verdiği tespit edildi. Şekil 8.10 incelendiğinde tozaltı kaynak metalinin sahip olduğu yüksek uzama değerleri sayesinde gazaltı kaynağına yakın değerler verdiği görüldü.



Şekil.8.8. Elektrod kaynağı numunelerinin % uzamaları



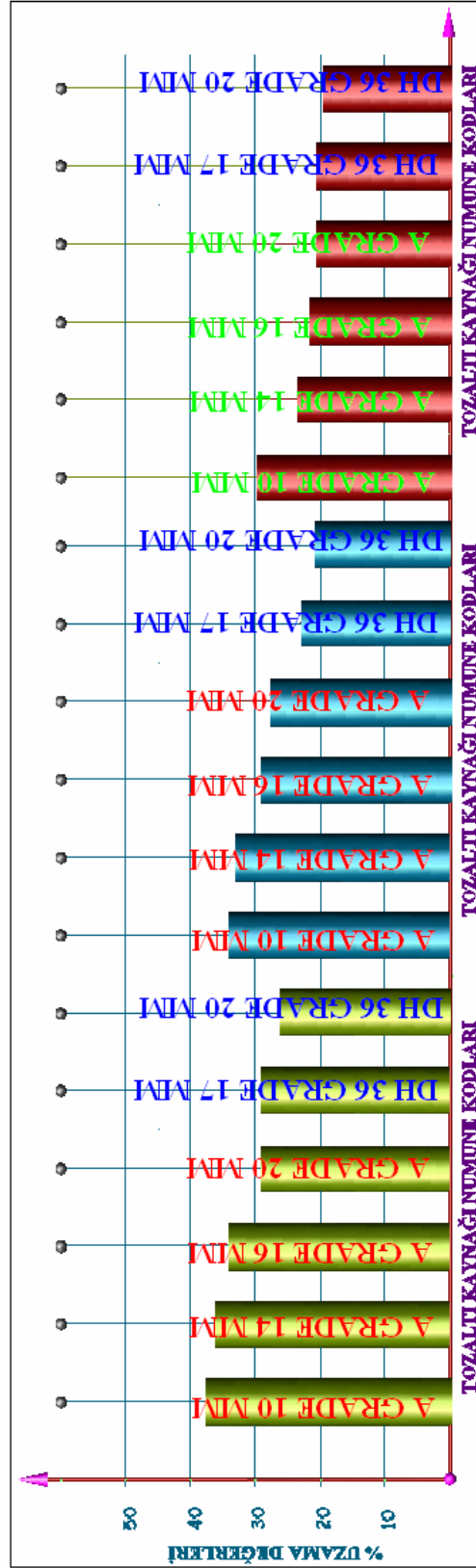
Şekil.8.9. Gazaltı kaynağı numunelerinin % uzamaları



Şekil.8.10. Tozaltı kaynağı numunelerinin % uzamaları



Şekil 8.11. Kaynaklı numunelerin sünek kırılma tipleri



Şekil 8.12. Kaynaklı numunelerin genel % uzamaları

Şekil 8.10 incelendiğinde tozaltı kaynağında ısı girdileri oranında büyük farklar olduğu için bunlar hem kaynak metalinin kaba ve kolonsal yapıda olmasını hemde ITAB bölgesinin daha geniş sınırlarda olmasını sağlamıştır. Bu yöntemde ince malzemelerde de 5 mm kalınlığında tel kullanılması ısı girdisinin artmasına neden olmuştur. Fakat 16 mm kalınlıktaki kaynağa bakıldığında diğer yöntemlere göre daha az ısı girdisi olması ve bu yöntemin full-otomatik olması oluşabilecek kaynak hatalarının minimum olmasını sağlamıştır. 16 mm kalınlıkta en sünek kaynak dikişi değerini bu yöntemde elde edilmiştir. 20 mm kalınlıkta ise ısı girdisi tozaltı yönteminde en yüksek değerler ulaşmıştır ve ince taneli çelikte çok gevrek bir kırılma biçimi görülmüştür. Elektrod kaynağında ise ısı girdisi gazaltına göre daha fazla olduğu için akma ve çekme dayanımları gazaltına yakın fakat uzama değerleri daha düşük çıkması tokluğun bu yönetime nazaran daha düşük olduğunu göstermektedir.

8.3. Eğme Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi

İki desteğe serbest olarak oturtulan genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değiştirmesidir. Kaynaklı birleştirmelerde dikişin şekil değiştirme kabiliyeti ve kaynak dikişi ile esas metal arasında iyi bir bağlantı olup olmadığı bu deneylerle tesbit edilir.

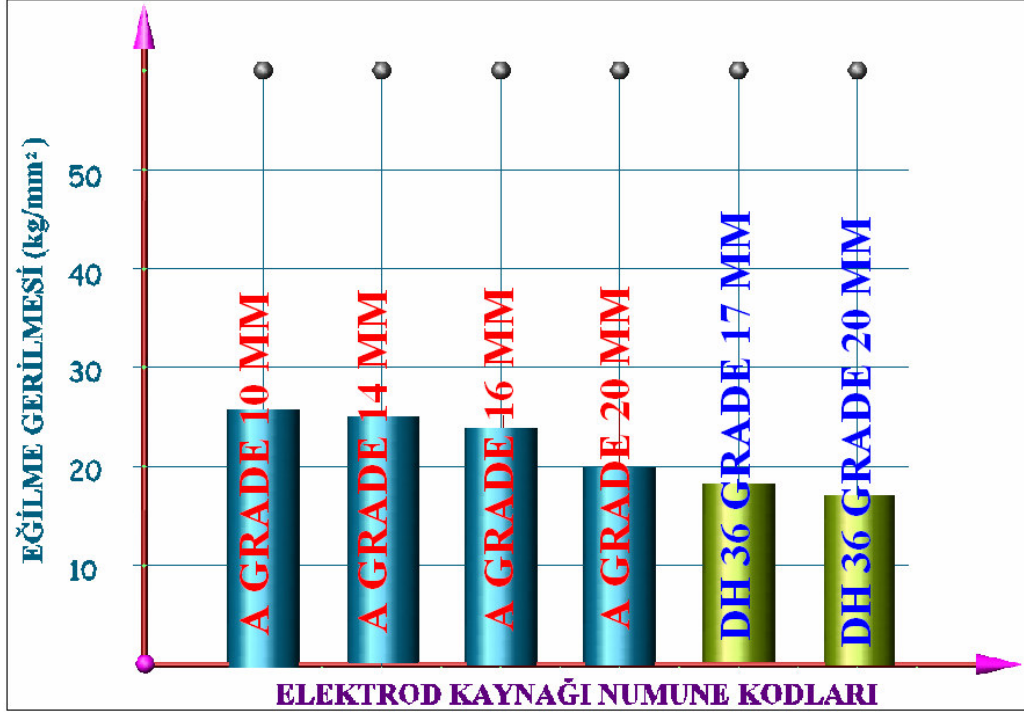
Tablo 8.2'deki veriler baz alınarak, Şekil 8.13'den Şekil 8'15'e kadar şematik olarak, farklı kaynak yöntemleri, eğme gerilmeleri verilmiştir. Şekil 8.13 'deki eğme gerilmelerine bakıldığında % 40 oranındaki kalınlık artışında % 7,69 oranında azalma, kalınlık artışı % 100 oranında arttığında ise % 32,30 oranında azalma tespit edilmiştir. Yüksek mukavemetli çeliklerde % 17,6 oranındaki kalınlık artışında ise % 9,09 oranında azalma görülmüştür. Şekil 8.14'deki gazaltı kaynağında ile yapılan deneylerde % 40 oranındaki artışla beraber % 3,57 oranında, % 100 artışla ise % 14,28 oranında eğme gerilmesinde azalma görüldü. İnce taneli gemi çeliğinde ise % 17,6 oranındaki artışla beraber eğme gerilmesinin % 5,23 oranında azalmıştır.

Tablo 8.2. Farklı kaynak yöntemlerinin eğme gerilmeleri verileri

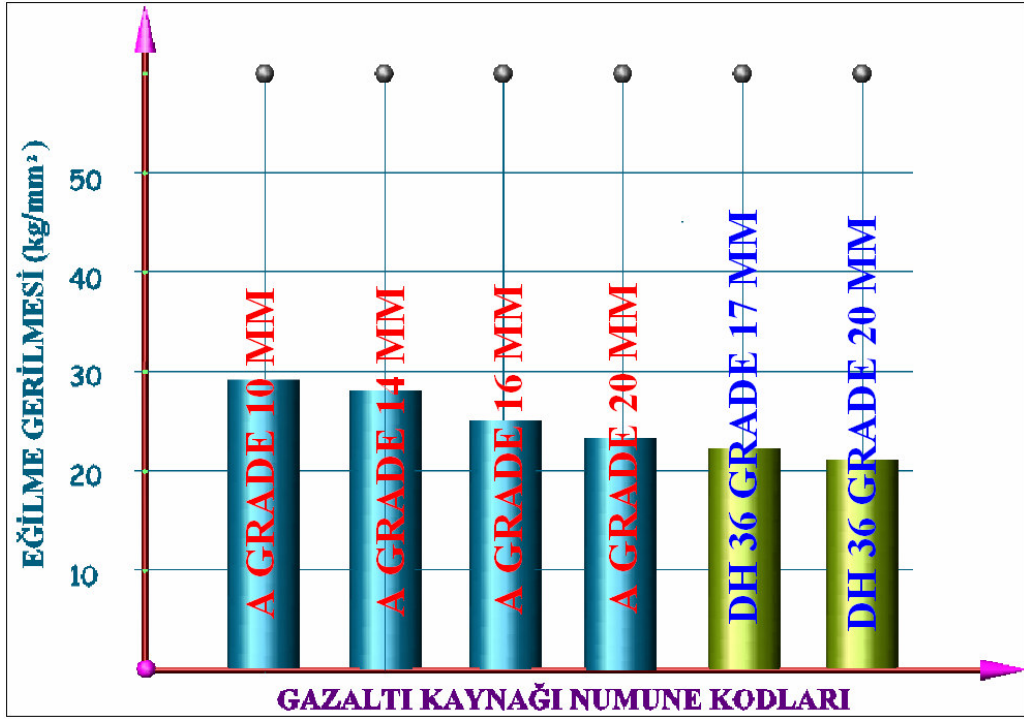
| $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | | $\sigma_{e,max}$ | |
|------------------|-----|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|------------------|------|
| P | 21 | 40 | 49.5 | 64 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 |
| L | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| KATSAYI | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| KATSAYI | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| B | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| H | 10 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| P | 24 | 45 | 54 | 75 | 53.5 | 70 | 53.5 | 70 | 53.5 | 70 | 53.5 | 70 | 53.5 | 70 | 53.5 | 70 | 53.5 |
| L | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| KATSAYI | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| KATSAYI | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| B | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| H | 10 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| P | 29 | 41 | 46 | 57 | 56 | 51 | 56 | 51 | 56 | 51 | 56 | 51 | 56 | 51 | 56 | 51 | 56 |
| L | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| KATSAYI | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| KATSAYI | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| B | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| H | 10 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| P | 21 | 40 | 49.5 | 64 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 |
| L | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| KATSAYI | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| KATSAYI | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| B | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| H | 10 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |
| P | 21 | 40 | 49.5 | 64 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 | 55.5 | 70 | 53.5 | 43.5 |
| L | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 | 240 |
| KATSAYI | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| KATSAYI | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| B | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| H | 10 | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 |

P = Maksimum Yük (kg) L = Mesnetler arası uzaklık [mm] B = Numune genişliği [mm] H = Numune kalınlığı [mm]

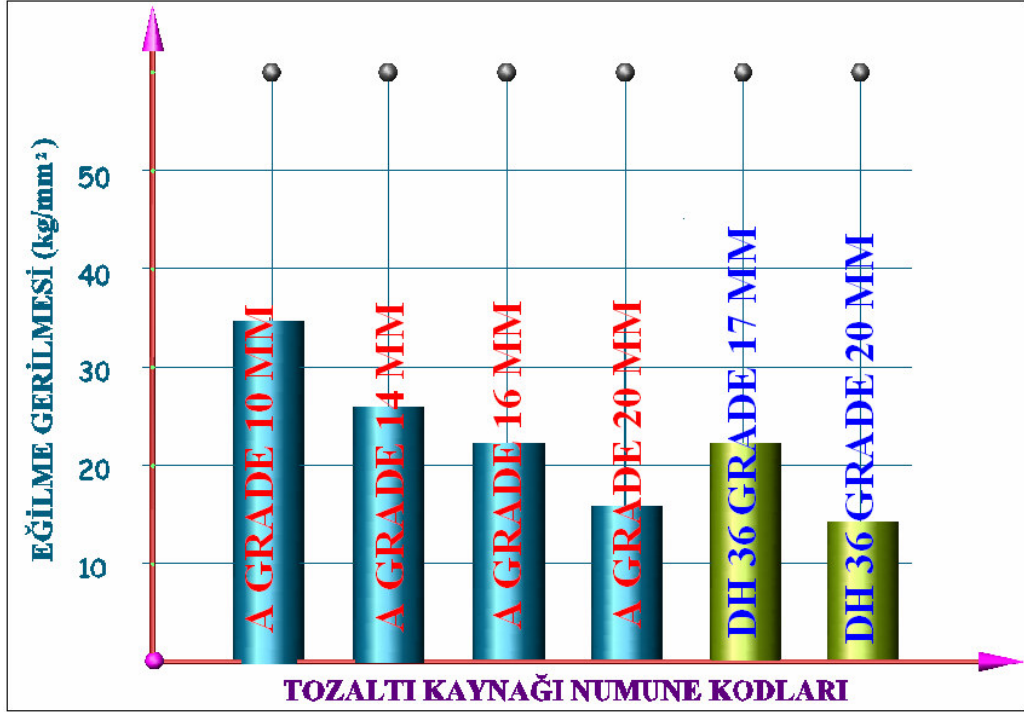
$$\sigma_{e,max} = \text{Eğilme gerilmesi (kg/mm}^2\text{)} \quad \sigma_{e,max} = \frac{M}{Z} \quad Z = \frac{B.H^2}{6}$$



Şekil 8.13. Elektrod kaynağı eğme gerilmeleri



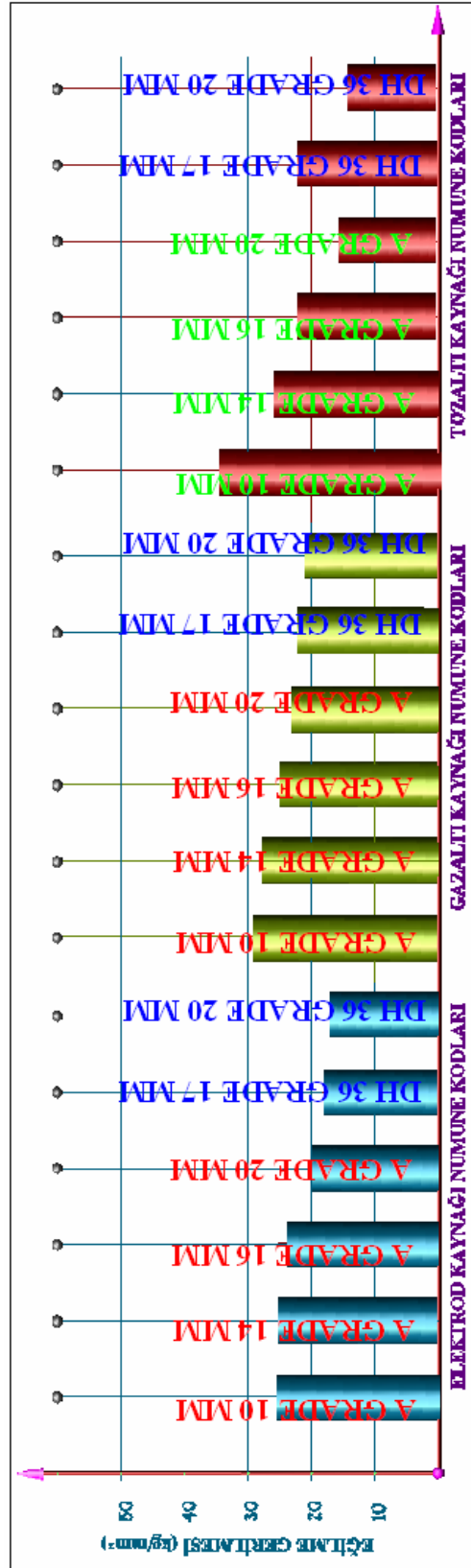
Şekil 8.14. Gazaltı kaynağı eğme gerilmeleri



Şekil 8.15. Tozaltı kaynağı eğme gerilmeleri

Şekil 8.15'deki tozaltı kaynağında ile yapılan deneylerde % 40 kalınlık artışında % 28,16, % 100 kalınlık artışında ise % 48,56 eğme gerilmesinde azalma tespit edilmiştir. İnce taneli yapı çeliğinde ise % 17,6 kalınlık artışında % 33,03 oranında gerilmenin azaldığı görülmüştür.

Şekil 8.16'da kaynak edilen tüm numunelerin eğme sonuçları verilmektedir. Tüm yöntemler arasında en yüksek eğme dayanımlarını gazaltı kaynaklı numunelerin verdiği görülmektedir. Gazaltı kaynağının toklukluğunun diğer yöntemlere nazaran daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Gazaltı kaynaklarında az ısı girdisinin diğer yöntemlere nazaran düşük olması; kaynak metalinin eş eksenli kristaller içermesini, ITAB bölgesinin genişliği diğer yöntemlere göre daha dar olmasını sağlamıştır. İnce taneli çeliklerin tozaltı kaynağında ise; kaynak metali kaba ve kolonsal yapıda ITAB bölgesinin daha geniş olduğundan gevrek bir dikiş bulunmuştur.



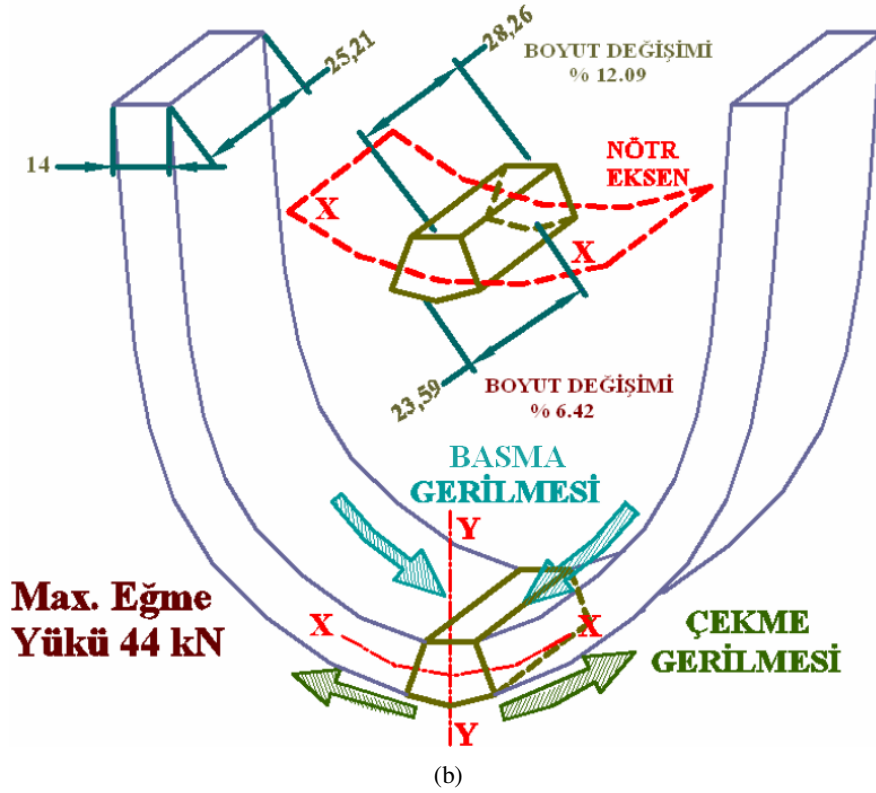
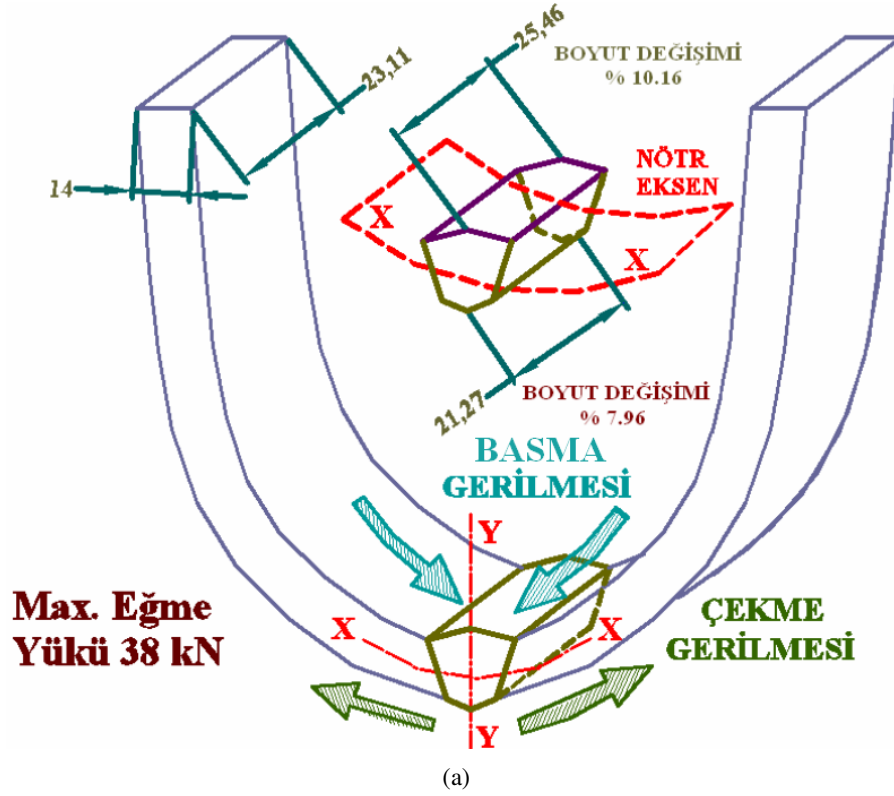
Şekil 8.16. Kaynaklı numunelerin toplam eğme gerilmeleri

Numune uzunluk boyunca işlenmelidir enine kalem izleri gerilmeler meydana getirebilir ve numune önceden kırılabilir. Ayrıca testi yapılacak bölgeler kenarları yuvarlaklaştırılarak gerilim konstrasyonu oluşması önlenir. Mesnetler küçük olursa numune ile mesnet arasındaki sürtünme kuvveti artar ve malzemede çekme gerilmeleri doğar. parçanın ortasında parça mandrel temasından kesilmesi ve numune kavis yerine bir köşe meydana gelir, bu durum malzemede hasara neden olur[27].

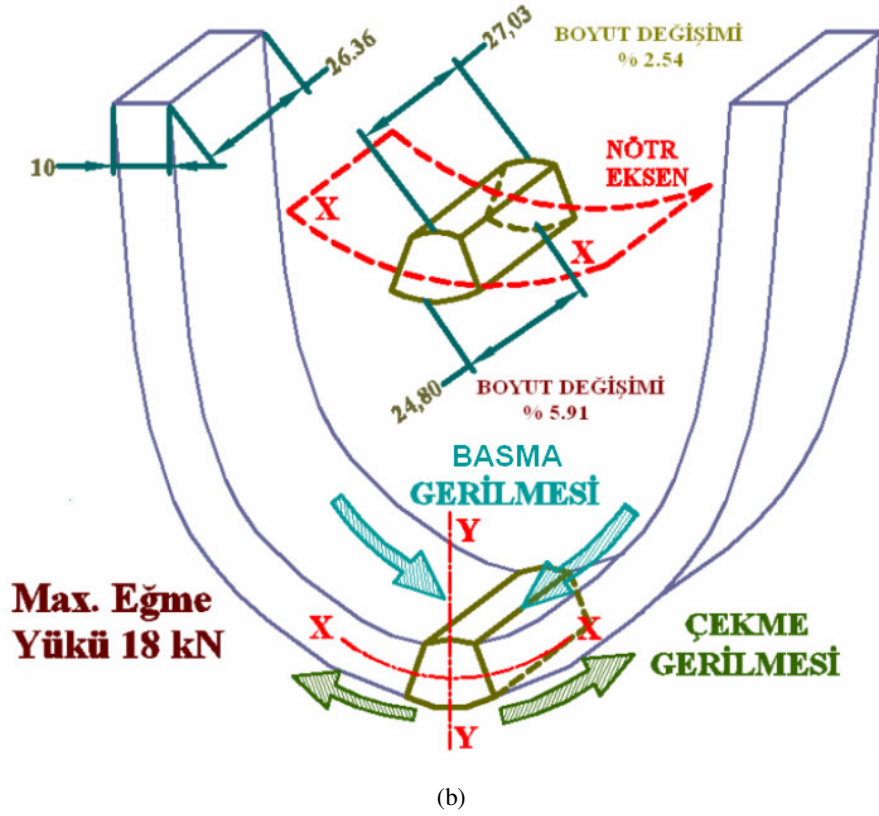
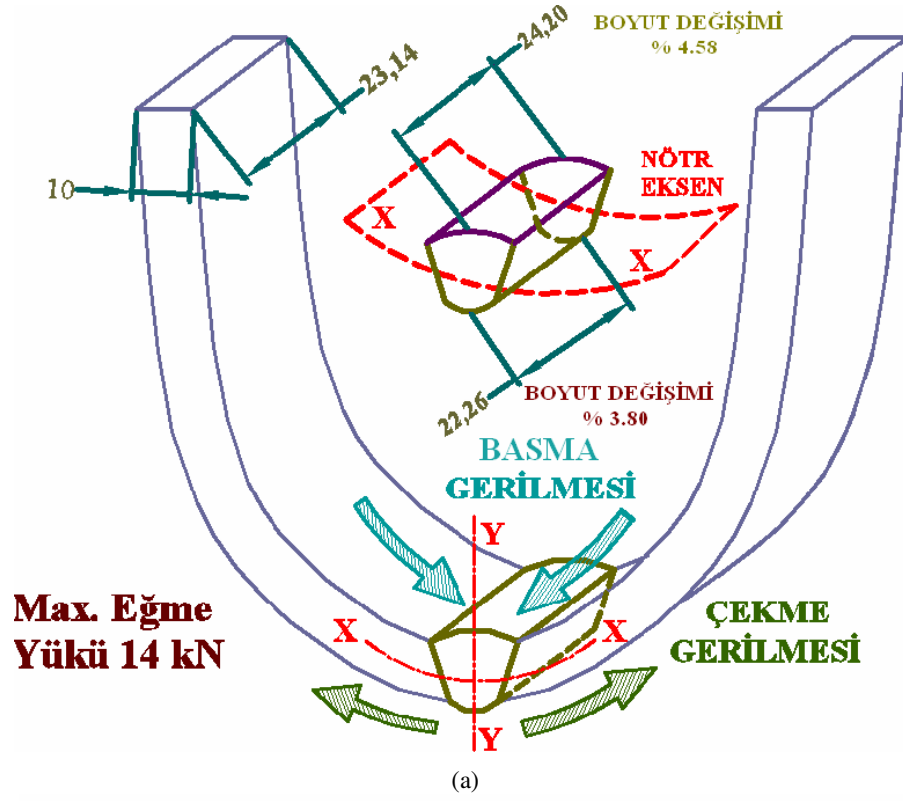
Nötr eksene göre uygulanan kuvvetlere bakıldığında eğer sünek bir malzeme test ediliyorsa yüksek basma dayanımı göstermekte ve malzeme hasara uğramadan eğilmektedir. Gevrek bir malzeme test edilirse çekme gerilmesi daha yüksek değerlere ulaşır ve malzeme tamamen eğilmeden belli bir açıda hasara uğrar. Eğer test edilen numunede kalınlık yönünde mikroyapısal bir hata yoksa uygulanması gereken basma ve çekme yükleri de artar[27].

Testi yapılan numunelerde de paralel sonuçlar çıkmıştır ve en yüksek eğme yükü değerleri tozaltı kaynağında alınmıştır. DH 36 Grade gemi çeliğinin de yüksek mekanik özelliklere sahip olması buradan alınan sonuçlarında yüksek çıkmasını sağlamıştır. Eğilme anında numunenin iç yüzeyinde basma gerilmeleri dış yüzeyinde ise çekme gerilmeleri meydana gelmesi Şekil 8.17'de ve Şekil 8.18'de gösterilmektedir. Böylece numunelerin iç yüzeylerinde kesit genişlemesi, dış yüzeylerinde ise kesit daralması tespit edilir. Kep ve kök bölgelerinde kaynak formu arasında farklar bulunmaktadır.

Genellikle kök pasolarda daha dar kaynak genişliği bulunur. Tozaltı kaynağında kaynak dikiş formunun diğer yöntemlere nazaran daha geniştir. Şekil 8.18 incelendiğinde tozaltı kaynağında keş ve kök dikiş formu da birbirine simetrik olması, oluşan basma ve çekme gerilmelerinin dengelenmesi sağlamıştır. Tam otomatik bir yöntem olan tozaltı kaynağında oluşan kaynak hatalarının diğer yöntemlere nazaran daha düşük olduğu bilinmektedir. Kaynak metalinde daha az hata olması kaynak metalinin kılcal çatlak oluşturmadan eğilmesini sağlar. Elektrod ark kaynağındaki dikiş formu arasında fark daha büyük olduğu tespit edildi. Böylece keş ve kök eğme değerleri arasında da fark tozaltına göre daha yüksek değerlerdedir.



Şekil 8.17. Eğme deneyi esnasında N kodlu numunede (a) Kök eğmesi sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri (b) Kep eğmesi sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri [27]



Şekil 8.18. Eğme deneyi esnasında A kodlu numunede (a) Kök eğmesi sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri (b) Kep eğmesi sırasında oluşan gerilmeler ve boyut değişimleri [27]



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 8.19. Eğme deneyi sonucunda numunelerde oluşan şekil değişimleri (a) A numunesi kök eğmesi (b) A numunesi kep eğmesi (c) N numunesi kök eğmesi (d) N numunesi kep eğmesi

Tüm kaynaklı numuneler Şekil 8.19'da görüldüğü gibi 180⁰'ye kadar eğilmiş, herhangi bir hasara uğramadan kalmaları sünek bir kaynaklı bağlantı yapıldığını göstermektedir. Eğme deneyinde numunelerin hem kök hemde kep testleri yapılarak herhangi bir hata olup olmadığı tespit edilmeye çalışılmıştır. Kök veya kep eğme numunelerinde kaynak metali içerisinde bulunan mikrogözenekler ve inklüzyonlar çatlak oluşumuna neden olmamıştır.

8.4. Çentik-Darbe Deneyi Sonuçlarının İncelenmesi

Akma dayanımı azalırsa plastik deformasyon bölgesi büyür, çünkü plastik deformasyon daha kolay olur. Plastik deformasyon bölgesi küçülürse, tokluk azalır malzemede deformasyondan ziyade çatlama özelliği görülür. Bazı numunelerde de yüksek ısı girdisi olması nedeniyle kaynak metali gayet gevrek bir yapı teşekkül etmiştir. Fakat yüksek ısı girdisinin ITAB bölgesini artırdığı ve bu bölgelerde gevrek kırılmaya neden olduğu görülmüştür[27].

DH 36 malzemeler standardın belirttiği gibi -40 ⁰C kırıldıkları için çentik darbe değerleri A Grade malzemelere göre daha düşük değer vermektedir. Çeliklerin ve kaynak metalinin düşük sıcaklıklarda gevrek yapı göstereceği yapılan testlerle ortaya konmuştur.Çentik darbe dayanımlarının sertlikle ters orantılı olarak değiştiği bilinmektedir. Özellikle tozaltı kaynağı gibi yüksek ısı girdisine sahip bir yöntemde kaynak metali gayet gevrek bir davranış gösterirken, ITAB bölgesi bu bölgeye nazaran daha tok yapıdadır.

Şekil 8.20'de ve Tablo 8.3'de elektrod ark kaynağında kaynak metalinden alınan çentik darbe değerlerine bakıldığında; % 40 oranında kalınlık artışında % 5,8 oranında azalma, % 100 kalınlık artışında ise % 30,30 oranında azalma görüldü. Yüksek mukavemetli çelikte ise % 27,4 oranında azalma görülmüştür. Şekil 8.21'de elektrod ark kaynağının ITAB bölgelerinden alınan çentik darbe numunelerine bakıldığında, % 40 kalınlık artışında % 4,7 oranında azalma, % 100 kalınlık artışında ise % 29,7 oranında azalma görülmüştür. Yüksek mukavemetli çelikte ise % 17,6 kalınlığı arttığında % 26 oranında azalma tespit edilmiştir.

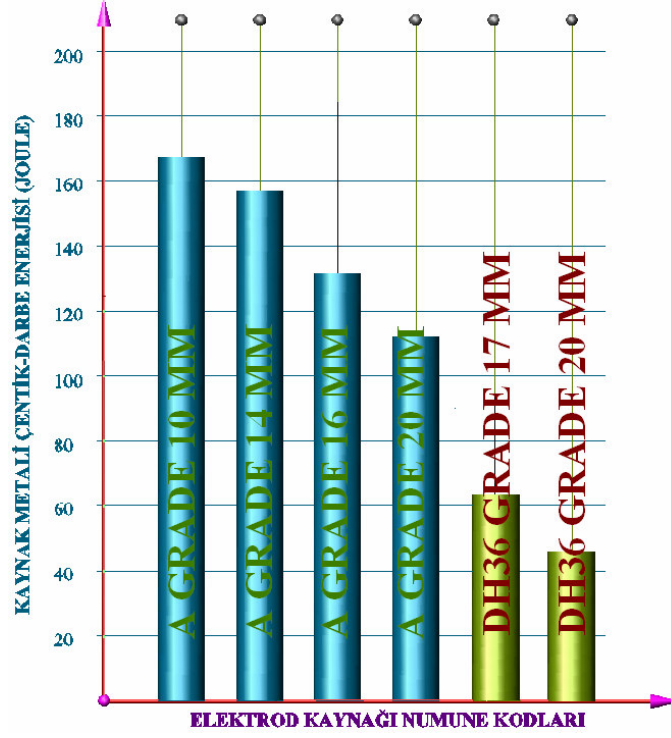
Gazaltı ark kaynak yönteminin Şekil 8.22'deki ve Tablo 8.3'e bakıldığında % 40 kalınlık arttığında % 4,20 oranında azalma tespit edilmiştir, % 100 kalınlık artışında ise % 25,7 oranında azalma tespit edilmiştir. Yüksek mukavemetli çelikte ise % 17,6 oranında kalınlık artışındaki % 25 azalma görülmüştür. Gazaltı kaynağı ITAB bölgesi çentik-darbe değerleri için Şekil 8.23 incelendiğinde; % 40 kalınlık artışında % 4 azalma olduğu tespit edilmiştir, % 100 kalınlık artışında ise % 24,3 oranında azalma görülmüştür. Yüksek mukavemetli çelikte ise % 17,6 oranında kalınlık artışında % 24 oranında azalma tespit edilmiştir.

Şekil 8.24 ve Tablo 8.3 incelendiğinde tozaltı kaynağında % 40 kalınlık artışında % 8 oranında artma, % 60 kalınlık artışında ise % 21,6 oranında arttığı tespit edilmiştir. Kalınlık % 100 oranında artışında % 28 oranında azalma tespit edilmiştir. ITAB bölgesinin çentik-darbe dayanımı için Şekil 8.25 incelendiğinde % 40 kalınlık artışında % 7 oranında artma, % 60 kalınlık arttığında % 20,2 oranında artma, % 100 kalınlık arttığında ise % 27 oranında artma tespit edilmiştir.

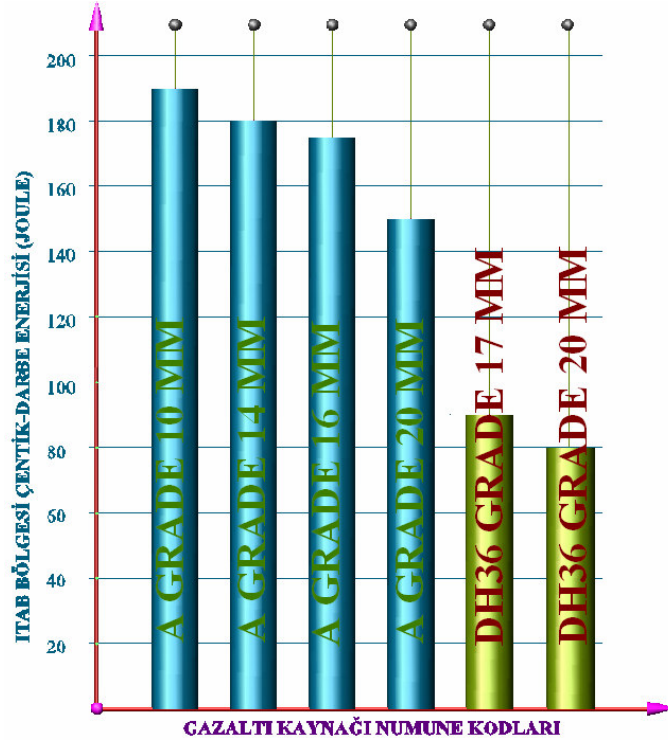
En yüksek çentik darbe enerjilerini genellikle ana malzeme gösterirken bunu sırayla ITAB ve kaynak metali takip etmektedir. Sertlik değerleri ile kaynaklı numunelerden elde edilen tokluk değerleri kıyaslanacak olursa sertliğin artmasıyla tokluğun düştüğü tespit edilmiştir. Burada kaynak metalinden elde edilen çentik darbe enerjileri ITAB'dan elde edilen değerlerden daha düşük bulunmuştur. Düşük karbonlu çeliklerin kaynağında ITAB kırılma davranışları üzerine yapılan bir araştırmada ITAB iri taneli bölgenin tokluğunun kaynak metalinden daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ITAB'ın sertliğinin kaynak metali sertliğinden düşük olması bu sonucu doğrulamaktadır[36].

Tablo 8.3. Farklı kaynak yöntemlerinde ITAB bölgesi ve kaynak metali çentik darbe tokluğu verileri

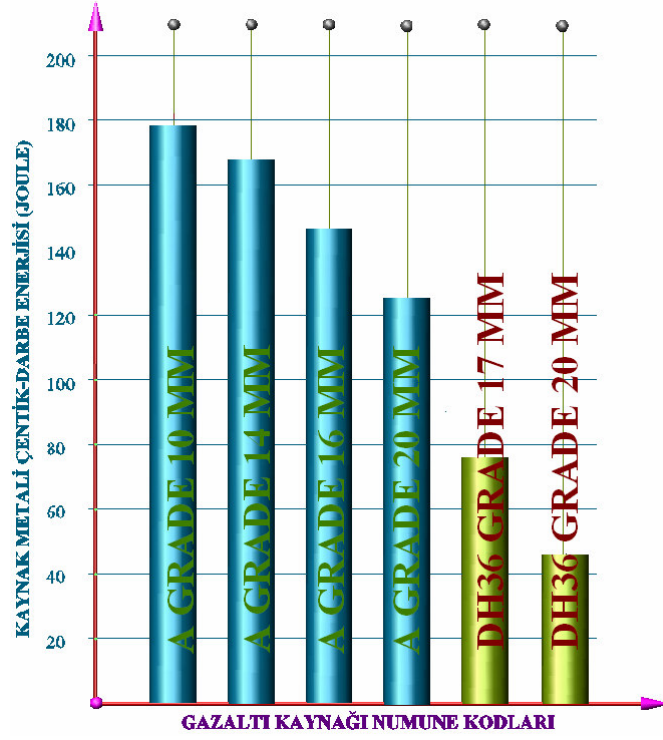
| KOD. | YÖNTEM KODU | SICAKLIK | H1 | H2 | H3 | W1 | W2 | W3 | ITAB ORTALA. (J) | KAY. MET. ORTALA. (J) |
|------|--------------|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|-----------------------|
| A | MBA 1G-10 | 20 ⁰ C | 187 | 195 | 181 | 166 | 175 | 168 | 187,66 | 169,66 |
| B | MBA 1G-14 | 20 ⁰ C | 190 | 178 | 176 | 160 | 155 | 158 | 180,33 | 157,66 |
| C | MBA 1G-16 | 20 ⁰ C | 168 | 170 | 178 | 129 | 135 | 130 | 172 | 131,33 |
| D | MBA 1G-20 | 20 ⁰ C | 145 | 155 | 150 | 105 | 120 | 115 | 150 | 113,33 |
| E | MBDH36 1G-17 | -40 ⁰ C | 93 | 85 | 90 | 65 | 68 | 72 | 89,33 | 68,33 |
| F | MBDH36 1G-20 | -40 ⁰ C | 90 | 85 | 75 | 47 | 50 | 45 | 80,33 | 47,32 |
| G | FBA 1G-10 | 20 ⁰ C | 180 | 185 | 178 | 178 | 180 | 168 | 181 | 175,33 |
| H | FBA 1G-14 | 20 ⁰ C | 163 | 165 | 170 | 178 | 168 | 171 | 166 | 172,3 |
| I | FBA 1G-16 | 20 ⁰ C | 145 | 142 | 138 | 140 | 148 | 132 | 141,66 | 140 |
| J | FBA 1G-20 | 20 ⁰ C | 121 | 130 | 139 | 130 | 104 | 124 | 130 | 119,33 |
| K | FBDH36 1G-17 | -40 ⁰ C | 82 | 90 | 73 | 78 | 65 | 60 | 81,66 | 67,66 |
| L | FBDH36 1G-20 | -40 ⁰ C | 73 | 80 | 75 | 45 | 58 | 50 | 76 | 51 |
| M | SBA 1G-10 | 20 ⁰ C | 135 | 140 | 142 | 138 | 140 | 128 | 139 | 135,33 |
| N | SBA 1G-14 | 20 ⁰ C | 153 | 141 | 160 | 132 | 150 | 145 | 151,33 | 142,33 |
| O | SBA 1G-16 | 20 ⁰ C | 191 | 185 | 190 | 185 | 190 | 188 | 188,66 | 187,66 |
| P | SBA 1G-20 | 20 ⁰ C | 118 | 120 | 111 | 110 | 100 | 105 | 83 | 105 |
| R | SBDH36 1G-17 | -40 ⁰ C | 112 | 100 | 93 | 98 | 100 | 85 | 101,66 | 94,33 |
| S | SBDH36 1G-20 | -40 ⁰ C | 60 | 55 | 58 | 60 | 43 | 58 | 57,66 | 53,66 |



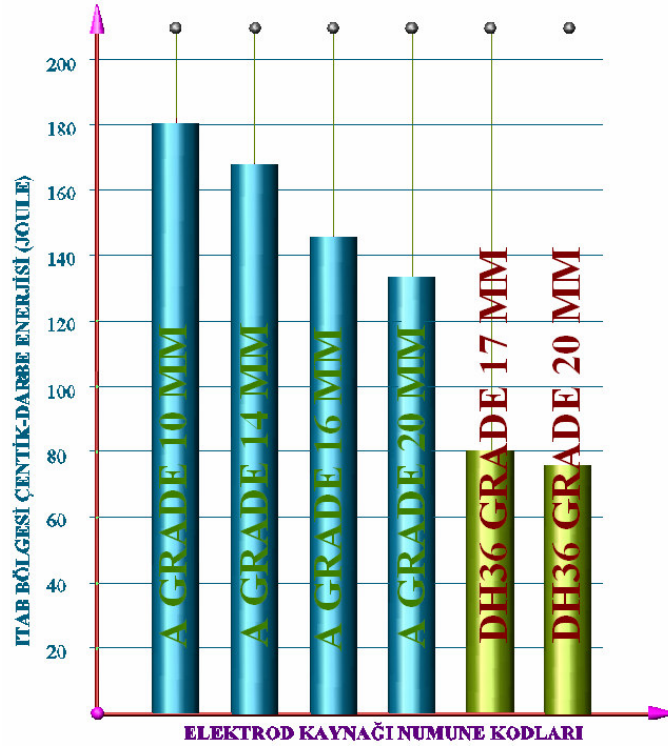
Şekil 8.20. Elektrod kaynağı kaynak metalİ çentik-darbe enerjileri



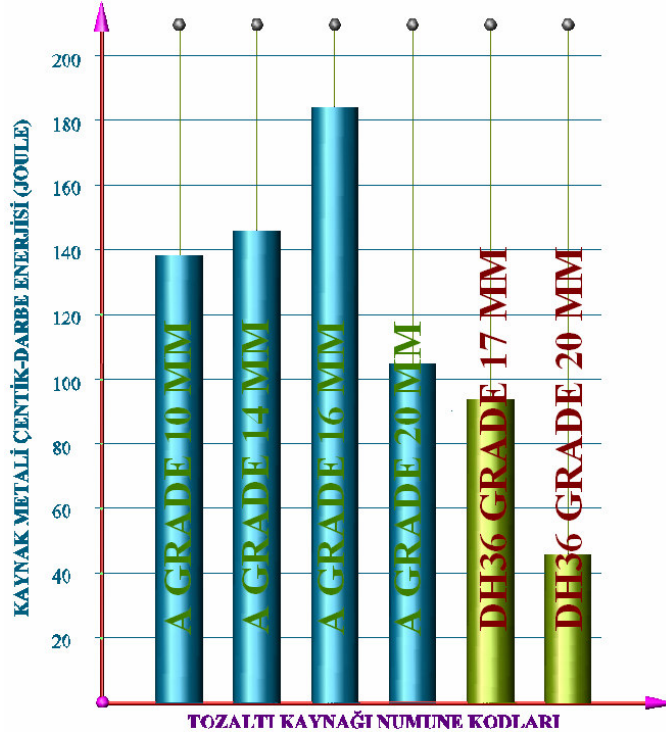
Şekil 8.21. Elektrod kaynağı ITAB bölgesi çentik-darbe enerjileri



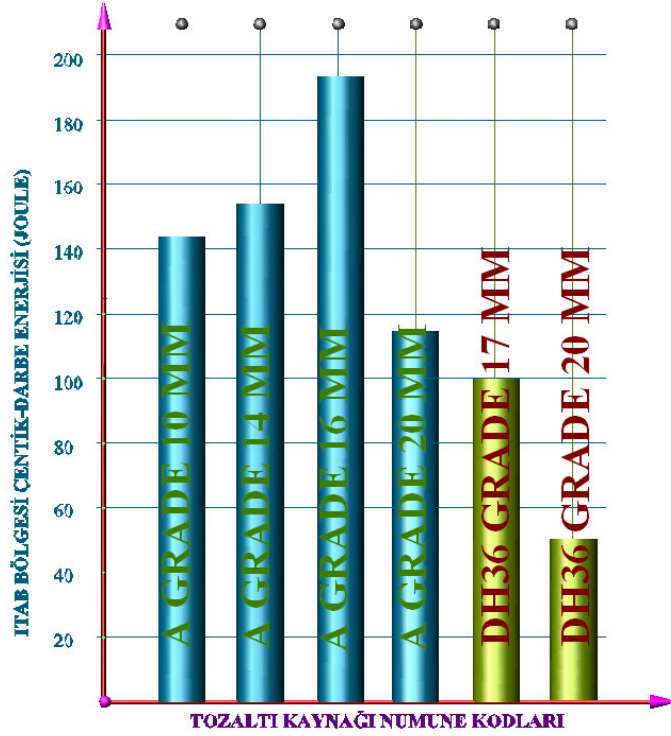
Şekil 8.22. Gazaltı kaynağı kaynak metali çentik-darbe enerjileri



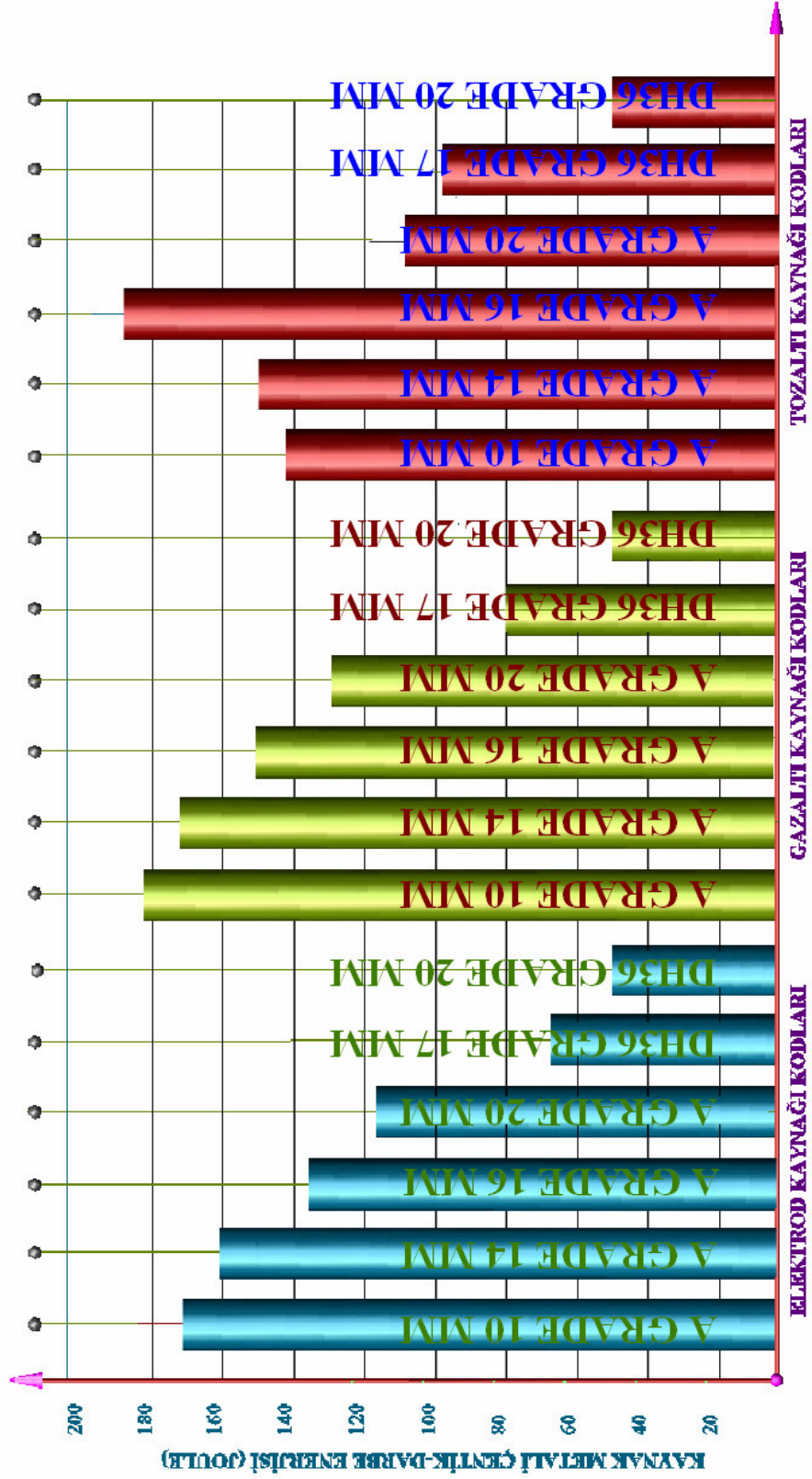
Şekil 8.23. Gazaltı kaynağı ITAB bölgesi çentik-darbe enerjileri



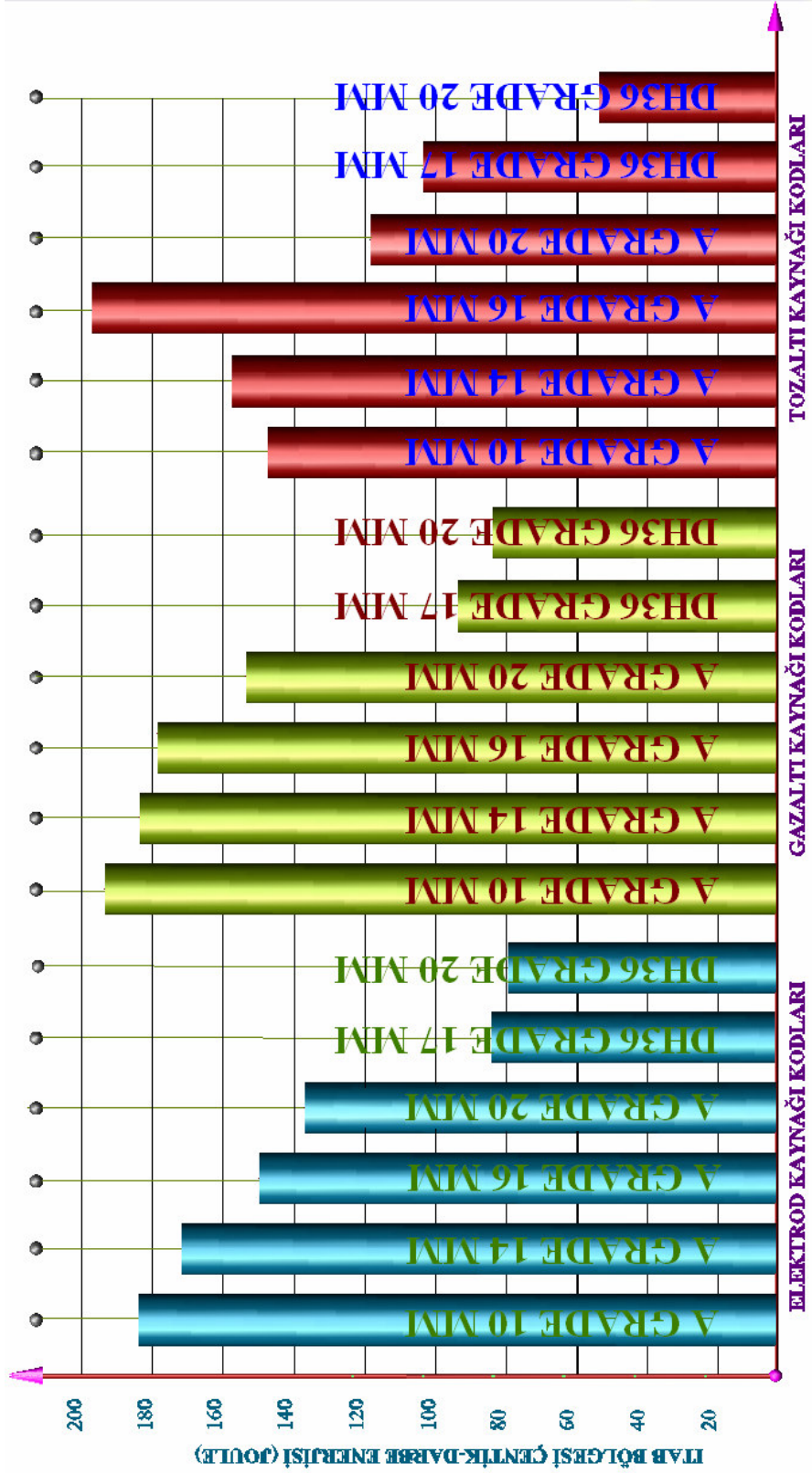
Şekil 8.24. Tozaltı kaynağı kaynak metalı çentik-darbe enerjileri



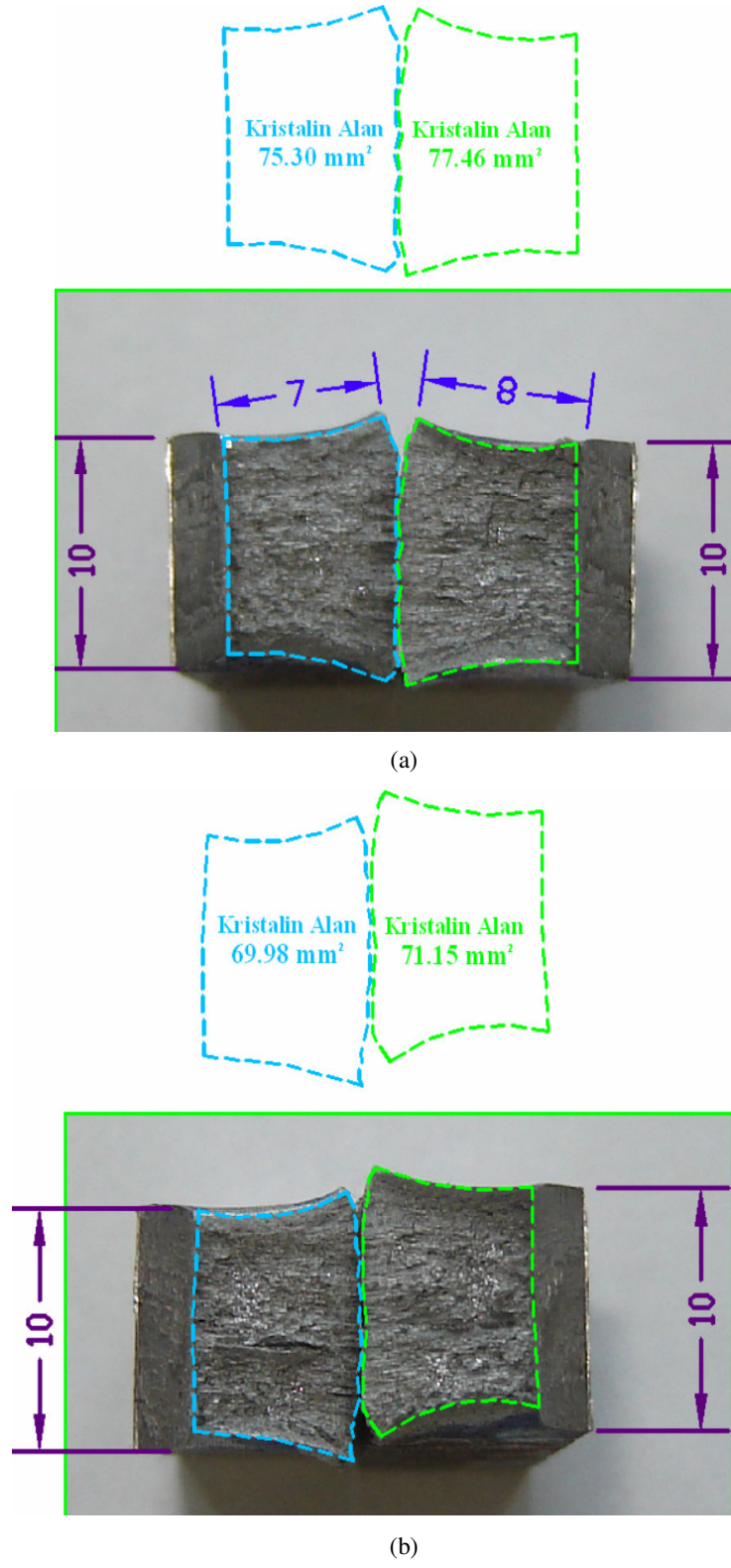
Şekil 8.25. Tozaltı kaynağı ITAB bölgesi çentik-darbe enerjileri



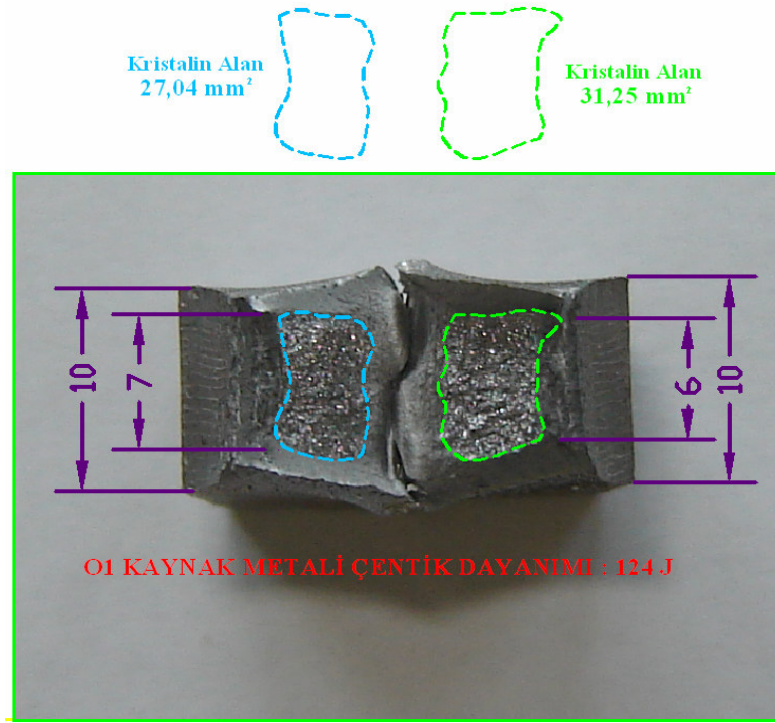
Şekil 8.26. Kaynaklı numunelerin genel kaynak metali çentik-darbe enerjileri



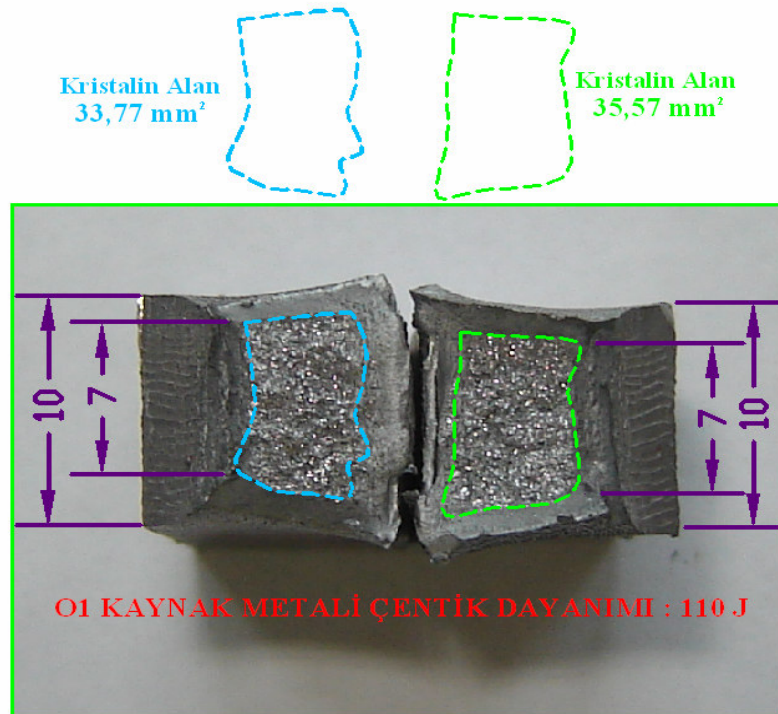
Şekil 8.27. Kaynaklı numunelerin genel ITAB bölgesi çentik-darbe enerjileri



Şekil 8.28. Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) S kodlu numunenin kaynak bölgesi gevrek kırılma tipleri

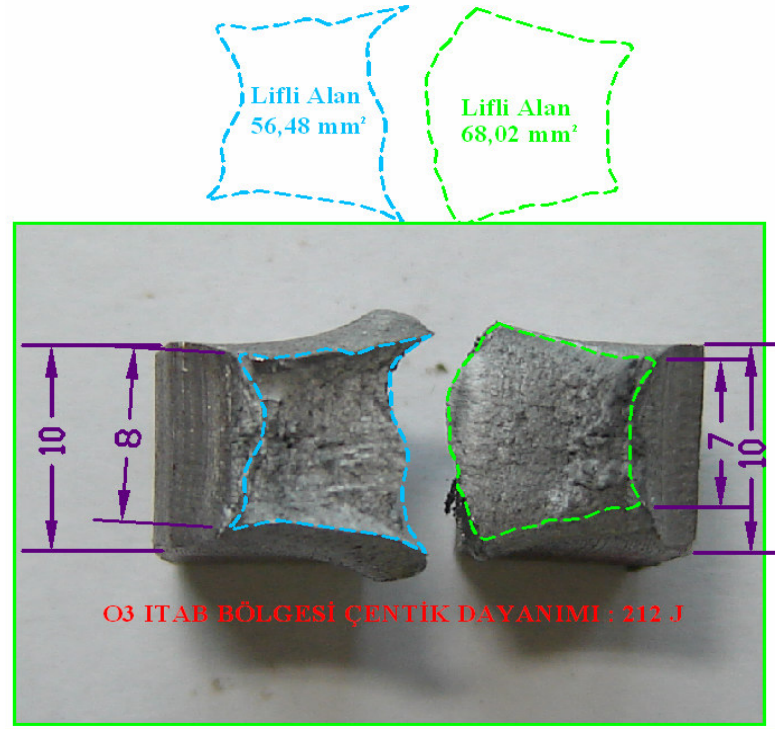


(a)

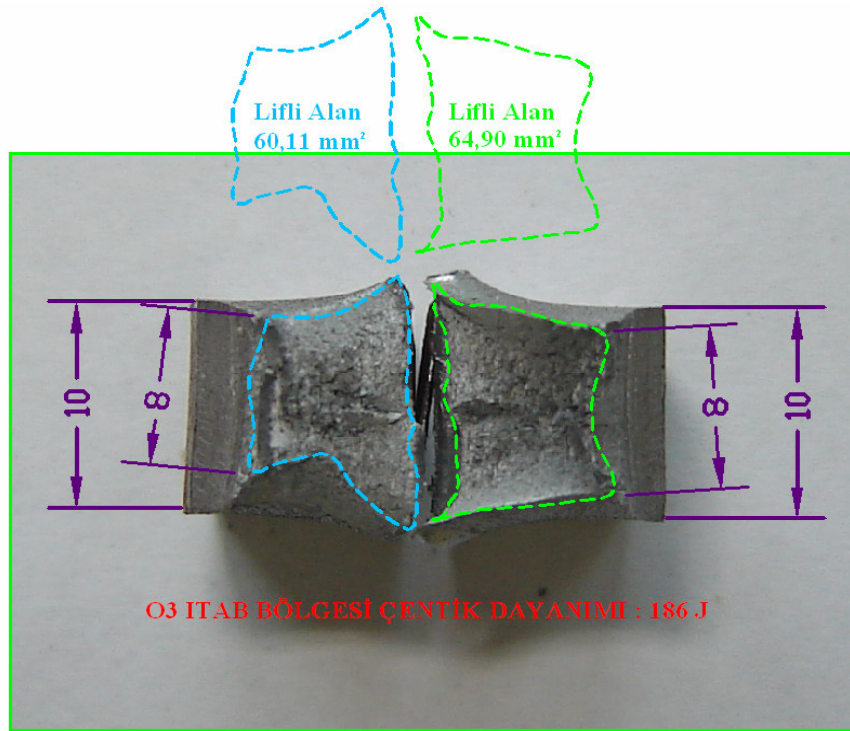


(b)

Şekil 8.29. Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) O kodlu numunenin kaynak bölgesi sünek kırılma tipleri

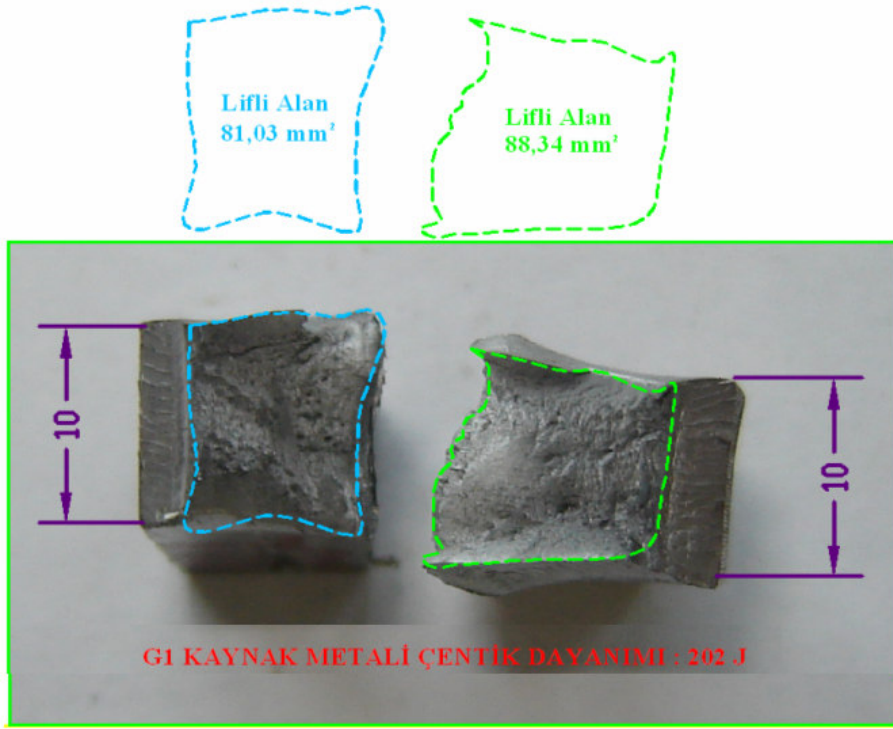


(a)

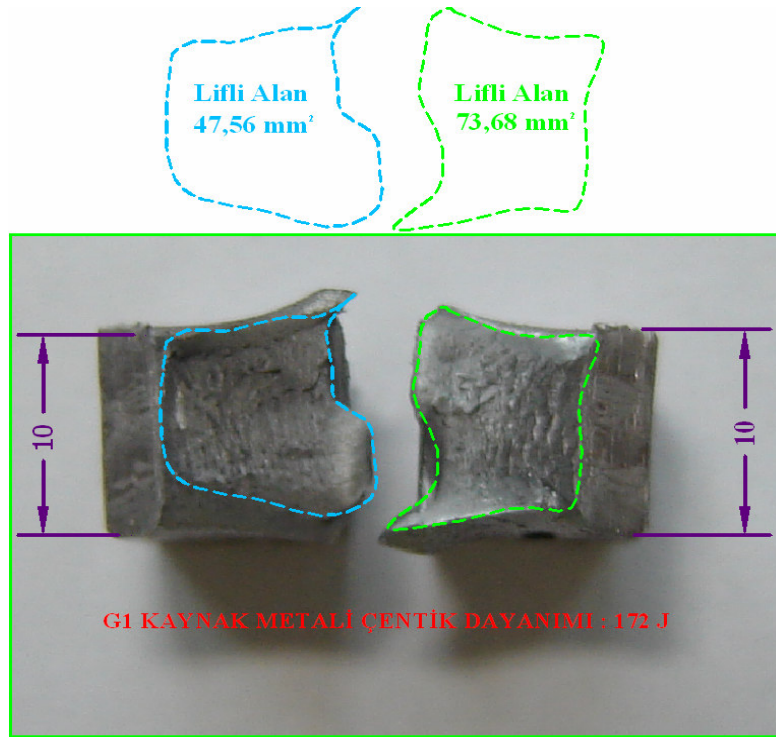


(b)

Şekil 8.30. Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) O kodlu numunenin ITAB bölgesi sünek kırılma tipleri

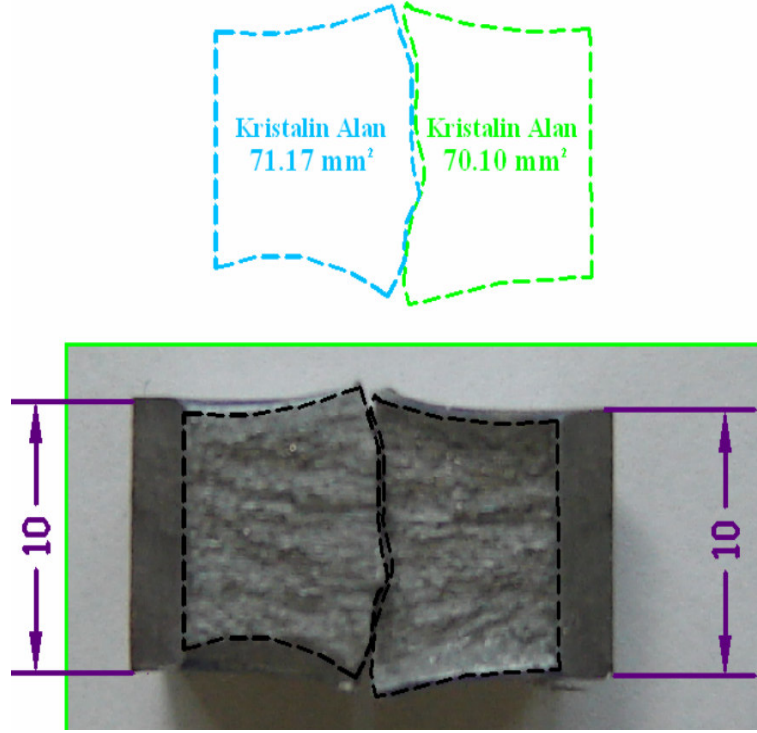


(a)

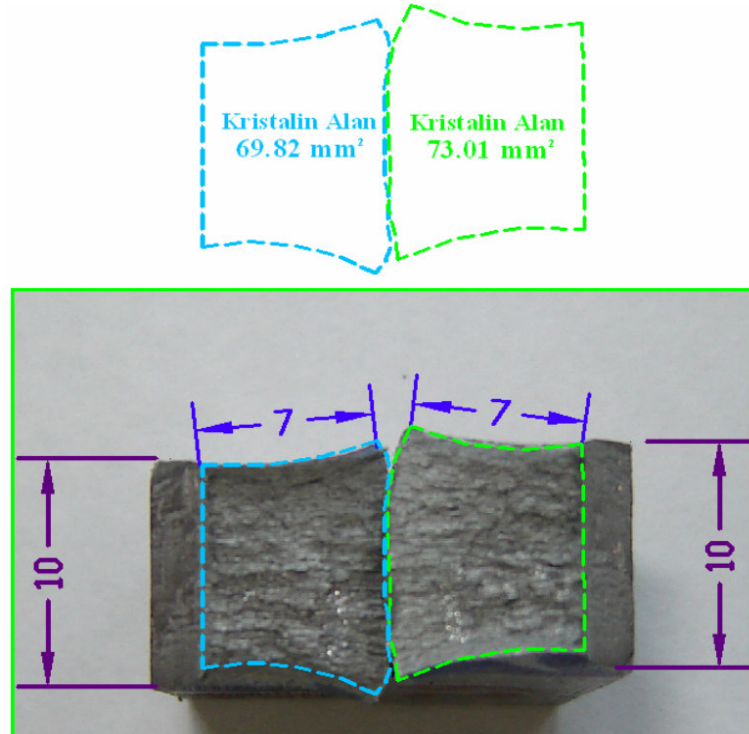


(b)

Şekil 8.31. Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) G kodlu numunenin kaynak bölgesi sünek kırılma tipleri

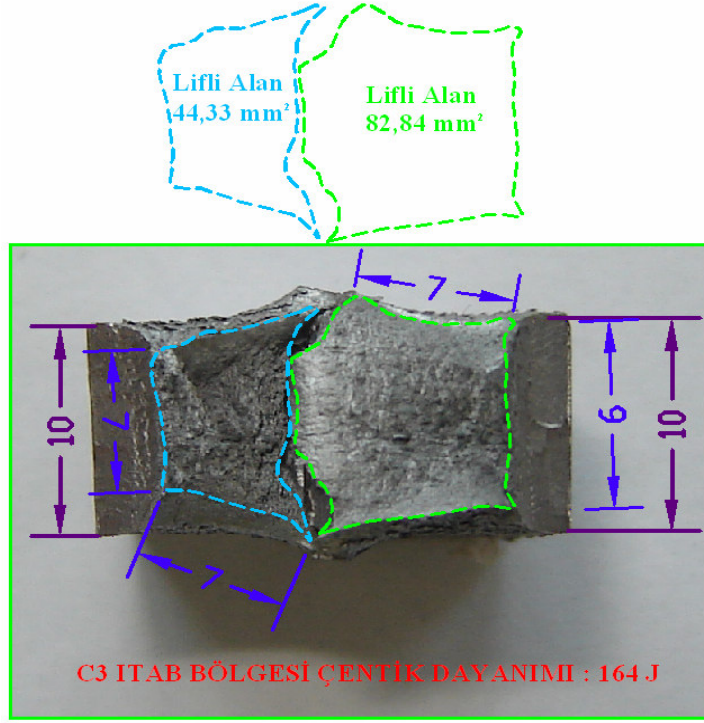


(a)



(b)

Şekil 8.32. Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) D kodlu numunenin kaynak bölgesi sünek kırılma tipleri



(a)



(b)

Şekil 8.33. Kaynaklı numunelerin kırılma yüzeylerinin görünüşü (a) ve (b) C kodlu numunenin ITAB bölgesi sünek kırılma tipleri

Şekil 8.28'den Şekil 8.33'e kadar testi yapılan kaynaklı numunelerin farklı kırılma tipleri görülmektedir. Tozaltı kaynağı ile kaynatılan S kodlu numunenin hem kaynak metalinde hemde ITAB bölgesinde gevrek kırılma gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 8.29 ve Şekil 8.30'da ise kaynak metalinin ve ITAB bölgesinin kırılma tipleri görülmektedir. Bu numunede tozaltı kaynağı ile yapılmasına rağmen yüksek çentik darbe tokluğu değerleri verdiği için kırılma tipi sünektir. Genel olarak numunelerde ITAB bölgesinin çentik darbe tokluğu kaynak metalinden daha yüksek değerler vermiştir.

Şekil 8.31 ise gazaltı kaynağı ile kaynatılan G kodlu numunenin kırılma tipi görülmektedir. Gazaltı kaynağı ile kaynatılan bu numunenin hem kaynak bölgesinin hemde ITAB bölgesinin sünek kırılma verdiği tespit edildi. Tüm gazaltı kaynaklı numunelerde kırılma yüzeyleri sünek olduğu görülmektedir. Şekil 8.32 D kodlu elektrod kaynağı ile kaynaklanan numunenin gevrek kırılma yüzeyi görülmektedir. Şekil 8.33'de ise C kodlu elektrod kaynağı ile kaynaklanan numunenin sünek kırılma yüzeyi görülmektedir. Kaynak metali içerisinde bulunan mikrogözenekler, curuf kalıntıları, boşluklar, segregasyonlar v.b. kaynak hataları çentik darbe tokluğunun önmeli ölçüde azalmasına neden olmaktadır.

8.5. Mikrosertlik

Kaynaklı numunelerin ; ana malzemeleri, ITAB bölgeleri ve kaynak metalleri Future Tech FM 700 marka mikrosertlik cihazında Vickers ucu kullanılarak yapılan mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Kaynaklı numunelerde standartların müsaade ettiği en yüksek değer 350 VSD'dir. Tüm kaynaklı numunelerde bu değer altında sertlikler alınmıştır. Isı girdisi bakımından inceleme yapıldığında en yüksek tozaltı kaynağı olduğu görülmektedir. Sertlik değerlerinin en yüksek olduğu kaynak tozaltı kaynağıdır. Yarı otomatik bir yöntem olan gazaltı kaynağında makinanın hızı fazla olmasına rağmen erime verimini yüksek tutmak için elektrod kaynağına göre daha yüksek akım kullanılmaktadır. Bu da ısı girdisinin gazaltı kaynağında elektrod kaynağına nazaran daha yüksek olmasına neden oldu.

A Grade saclarda ısı girdileri DH 36 Grade çeliğe göre daha az olduğu için ve tane yapısındaki karbon eşdeğeri daha düşük olduğu için herhangi bir ön tavlama yapılmamıştır. Alınan sonuçlardaki sertlik değerlerinin çok yüksek çıkmaması bunun bir sonucudur. Gazaltı kaynağının kendi içerisinde değerlendirme sonuçları özellikle yüksek kaynak hızına sahip olmasına rağmen tersanelerdeki tüm kaynak prosesleri arasında % 75 oranında kullanım alanına sahiptir.

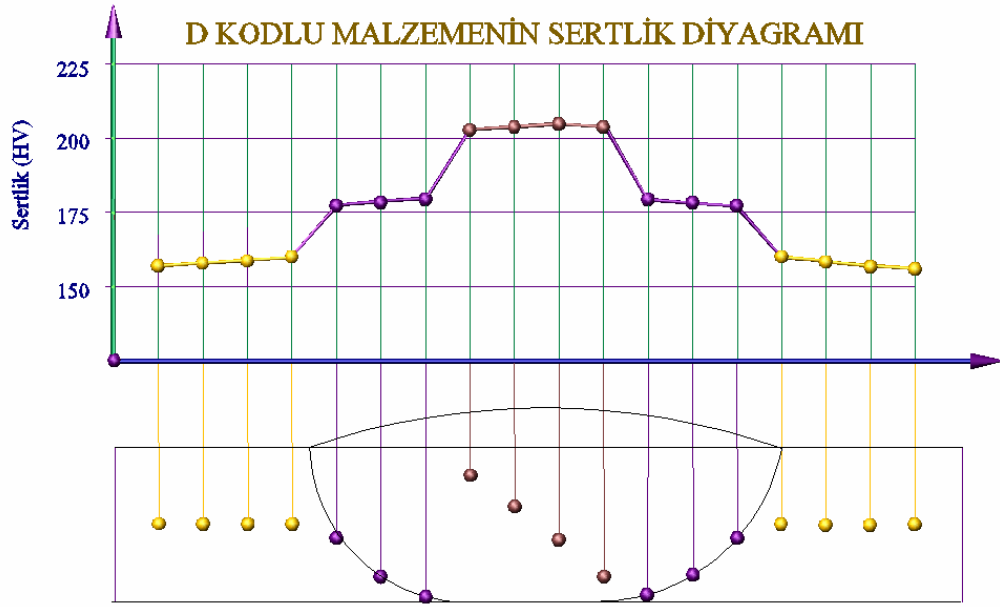
Genellikle kaynak metalinin sertlik değerleri, ITAB bölgesinden daha düşük değerler vermiştir. Bunun nedenleri arasında daha fazla alaşım elementine sahip olması yatmaktadır. Tablo 8.4. Farklı kaynak yöntemlerinin sertlik verileri kullanılarak Şekil 8.34'ten Şekil 8.35'e kadar şematik olarak verilmiştir. Şekil 8.34' de elektrod kaynağı yapılan 20 mm kalınlığındaki sacın sertlik değerleri verilmektedir. Ana malzeme incelendiğinde 160 VSD civarında sertlik, ITAB bölgesinde 180 VSD civarında ve kaynak metalinde ise 205 VSD civarında sertlik değerleri alınmıştır. Şekil 8.35'da ise yüksek mukavemetli çelikteki sertlik değerleri görülmektedir. Ana malzemenin kendisi 190 VSD civarında, ITAB bölgesi 205 VSD civarında, kaynak metali ise 205 VSD sertlik değerleri vermiştir.

Şekil 8.36'de 20 mm kalınlığında gazaltı kaynağı ile yapılan testlerde ince taneli bölgeden alınan sertlik değerleri 185 VSD civarında iri taneli bölge ise 160 VSD civarında kaynak metalinden ise 180 VSD civarında sertlik değerleri alınmıştır. A grade sacın sertliği ise 160 VSD civarında olduğu tespit edildi. Yüksek mukavemetli çeliğin sertlik değerleri için Şekil 8.37 incelendiğinde sertlik değerlerinin 185 VSD civarında, ITAB bölgesinin 200 VSD civarında kaynak metalinin ise 210 VSD civarında olduğu tespit edilmiştir.

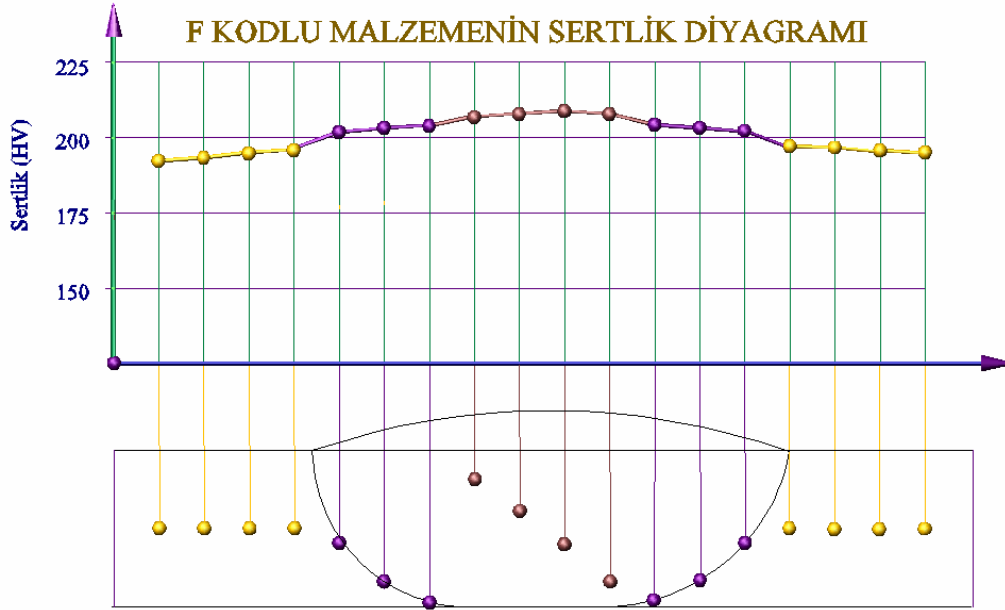
Şekil 8.38'de tozaltı kaynağında 20 mm kalınlığında A Grade sactan alınan sertlik değerleri görülmektedir. Ana malzemenin sertlik değeri 160 VSD civarında, ITAB bölgesi 210 VSD civarında, kaynak metali ise 235 VSD değeri vermektedir. Şekil 8.39'de ise tozaltı kaynağının ince taneli çelikle yapılan testi sonucunda alınan numunenin sertlik değerleri verilmektedir. Ana malzemenin sertliği 190 VSD civarında, ITAB bölgesi 240 VSD kaynak bölgesi ise 245 VSD vermiştir.

Tablo 8.4. Farklı kaynak yöntemlerinin sertlik verileri

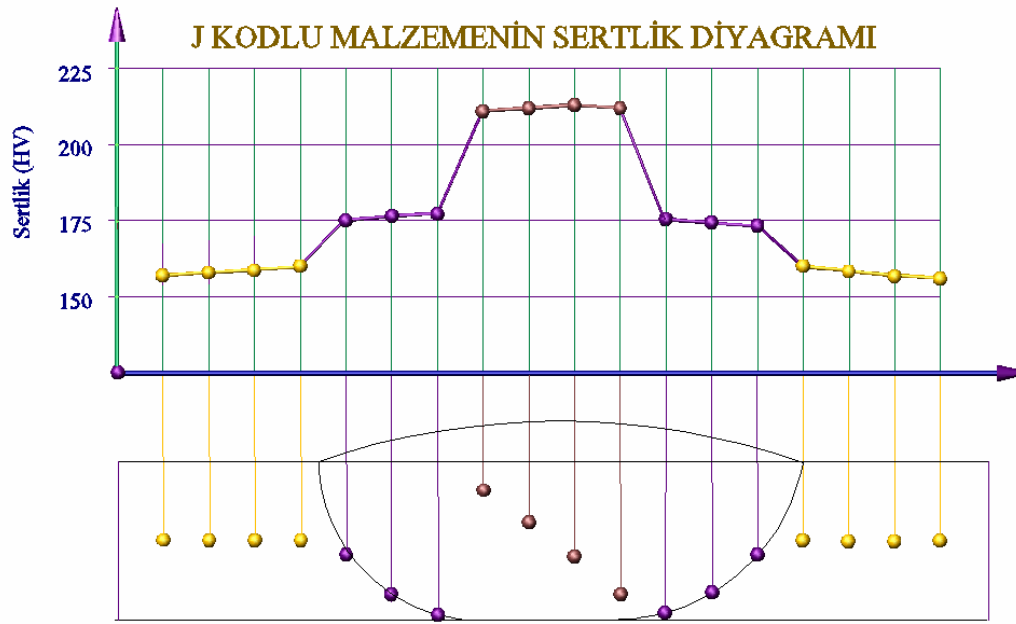
| KOD. | ANA MALZEME | | | | KAYNAK METALİ | | | | İTAB | | | | ANA MALZEME | | | | | |
|------|-------------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | II-1 | II-2 | II-3 | II-4 | II-5 | II-6 | II-7 | II-8 | II-9 | II-10 | II-11 | II-12 | II-13 | II-14 | II-15 | II-16 | II-17 | II-18 |
| A | 160 | 163 | 164 | 165 | 176 | 177 | 178 | 200 | 201 | 202 | 200 | 177 | 176 | 175 | 166 | 165 | 163 | 161 |
| B | 161 | 162 | 164 | 165 | 173 | 175 | 176 | 199 | 201 | 201 | 198 | 180 | 178 | 174 | 171 | 169 | 165 | 163 |
| C | 160 | 163 | 163 | 166 | 175 | 177 | 179 | 202 | 203 | 203 | 201 | 176 | 176 | 173 | 170 | 169 | 168 | 167 |
| D | 163 | 164 | 168 | 169 | 176 | 178 | 180 | 203 | 203 | 202 | 201 | 178 | 177 | 177 | 168 | 166 | 164 | 163 |
| E | 181 | 183 | 183 | 184 | 201 | 202 | 204 | 205 | 205 | 204 | 203 | 202 | 200 | 199 | 197 | 196 | 194 | 193 |
| F | 181 | 182 | 183 | 185 | 200 | 201 | 202 | 203 | 204 | 204 | 203 | 202 | 201 | 200 | 198 | 196 | 195 | 193 |
| G | 161 | 162 | 165 | 166 | 175 | 175 | 176 | 210 | 211 | 211 | 212 | 176 | 176 | 174 | 168 | 167 | 166 | 165 |
| H | 163 | 164 | 165 | 167 | 177 | 175 | 177 | 209 | 210 | 214 | 213 | 178 | 176 | 173 | 169 | 167 | 165 | 164 |
| I | 161 | 163 | 165 | 168 | 176 | 176 | 175 | 213 | 213 | 213 | 210 | 175 | 177 | 178 | 166 | 167 | 166 | 162 |
| J | 163 | 164 | 166 | 168 | 175 | 177 | 177 | 211 | 212 | 212 | 210 | 173 | 175 | 174 | 168 | 167 | 165 | 161 |
| K | 183 | 185 | 186 | 188 | 203 | 204 | 206 | 215 | 216 | 218 | 218 | 203 | 204 | 205 | 205 | 203 | 199 | 198 |
| L | 188 | 188 | 190 | 192 | 202 | 205 | 207 | 212 | 211 | 217 | 217 | 209 | 211 | 210 | 200 | 201 | 197 | 195 |
| M | 163 | 165 | 167 | 168 | 215 | 218 | 220 | 238 | 239 | 239 | 239 | 218 | 215 | 212 | 170 | 169 | 165 | 165 |
| N | 168 | 166 | 165 | 163 | 219 | 220 | 222 | 233 | 228 | 230 | 232 | 219 | 214 | 211 | 164 | 163 | 160 | 161 |
| O | 166 | 165 | 166 | 167 | 220 | 223 | 222 | 235 | 232 | 227 | 226 | 214 | 219 | 212 | 166 | 165 | 161 | 160 |
| P | 163 | 165 | 168 | 162 | 213 | 215 | 215 | 232 | 237 | 239 | 235 | 211 | 215 | 217 | 169 | 167 | 161 | 161 |
| R | 198 | 195 | 190 | 194 | 231 | 233 | 235 | 237 | 240 | 239 | 238 | 236 | 235 | 230 | 198 | 198 | 197 | 195 |
| S | 199 | 189 | 187 | 198 | 239 | 240 | 241 | 240 | 240 | 239 | 239 | 238 | 236 | 233 | 200 | 199 | 197 | 198 |



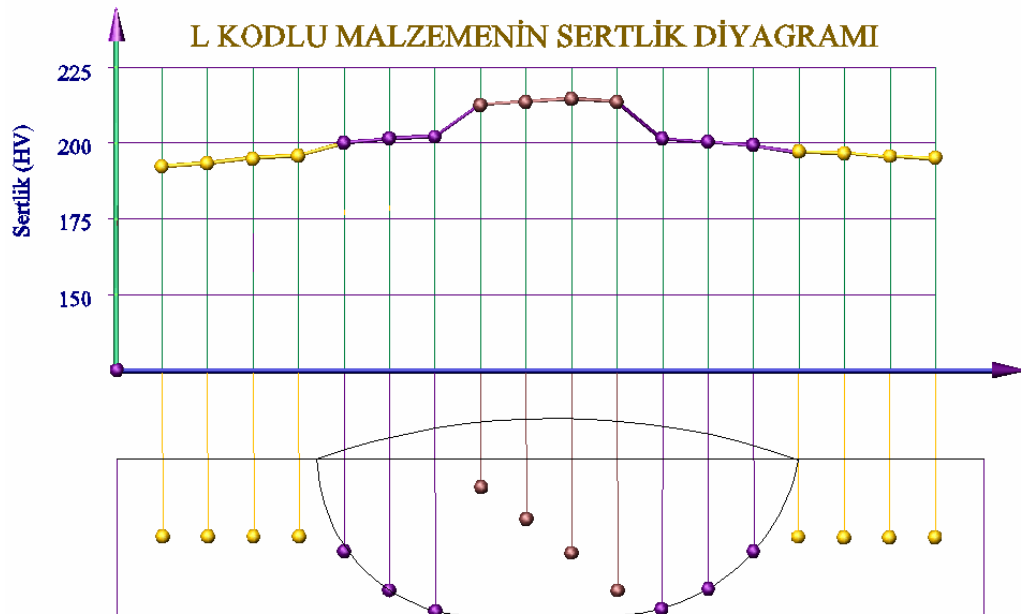
Şekil 8.34. 20 mm kalınlığında elektrod kaynaklı A Grade sacın sertlik dağılımı



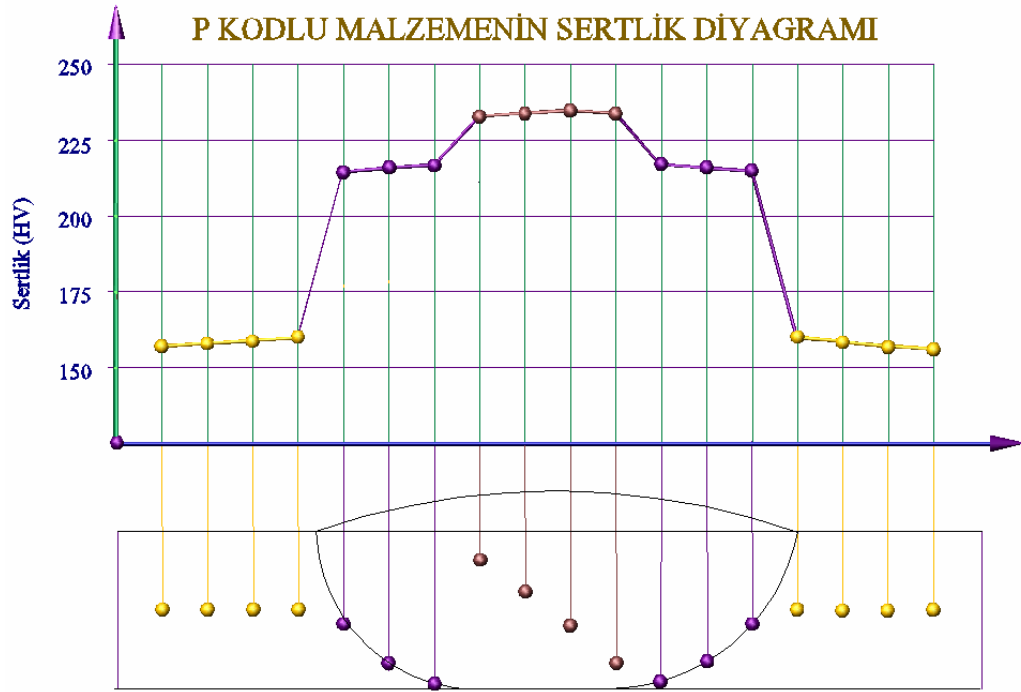
Şekil 8.35. 20 mm kalınlığında elektrod kaynaklı DH 36 Grade sacın sertlik dağılımı



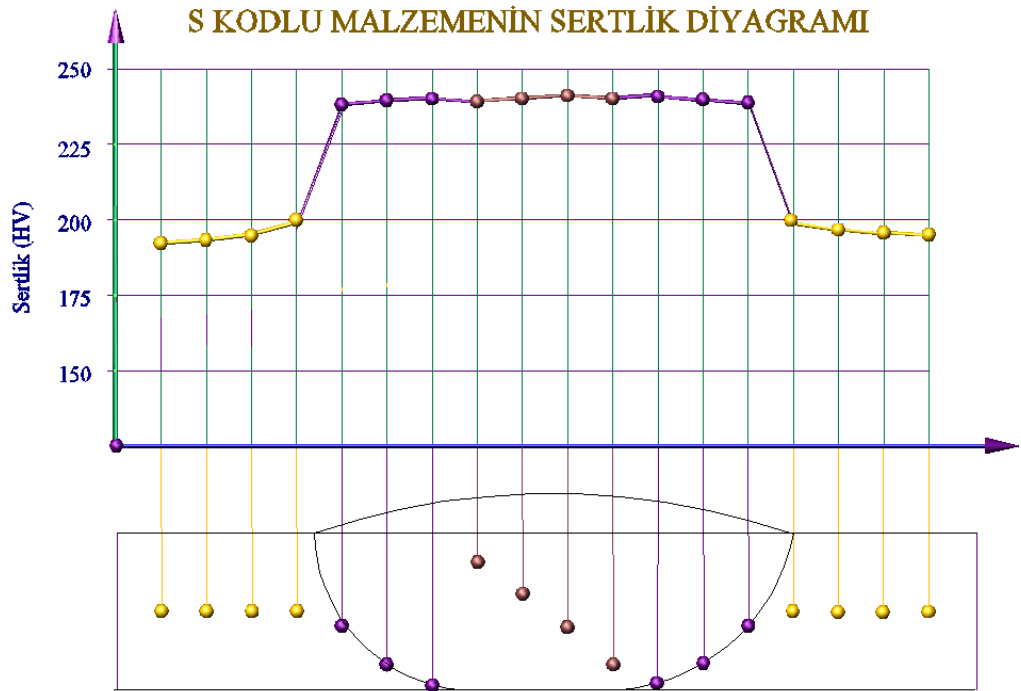
Şekil 8.36. 20 mm kalınlığında gazaltı A Grade sacın sertlik dağılımı



Şekil 8.37. 20 mm kalınlığında gazaltı DH 36 Grade sacın sertlik dağılımı



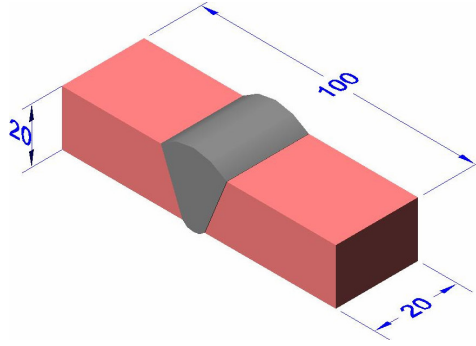
Şekil 8.38 20 mm kalınlığında tozaltı A Grade sacın sertlik dağılımı



Şekil 8.39 20 mm kalınlığında tozaltı DH 36 Grade sacın sertlik dağılımı

8.6. Mikroyapı

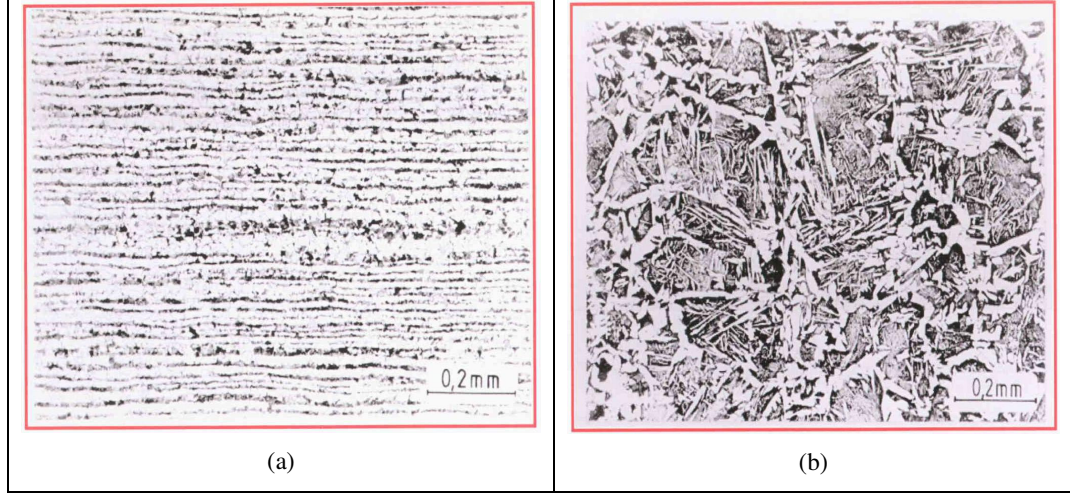
Kaba ölçülerde kesilmiş olan mikroyapı numuneleri ince bir talaş kaldırma işleminden sonra sırasıyla 400, 600, 800, 1000 numaralı SiC su zımparası ile, her seferinde 90^0 döndürülerek her yönde eşit miktarda zımparalanmıştır. Zımparalanmış numuneler $3 \mu\text{m}$ 'lik elmas pasta kullanılarak DP mikrokeçe üzerinde parlatılmış ve parlatılan numuneler % 2'lik Nitalle dağlanmışlardır. Şekil 8.40 mikroyapı için kullanılan numune ölçüleri verilmektedir.



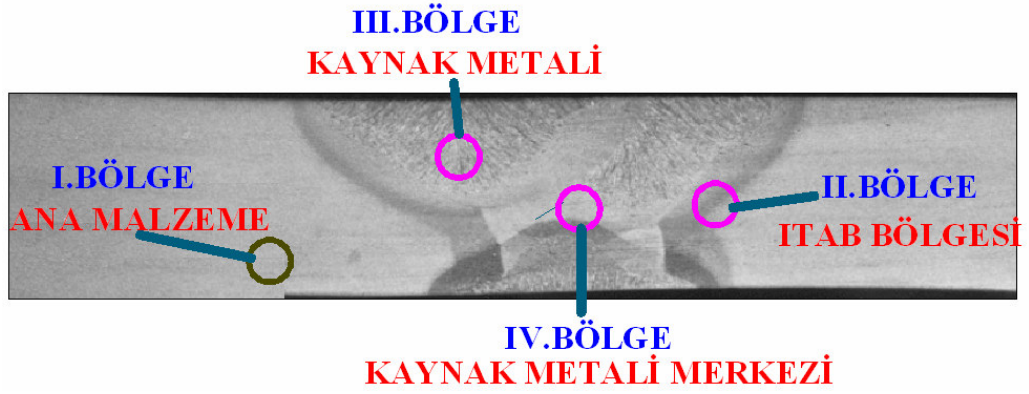
Şekil 8.40. Mikroyapı deneyinde kullanılan numune ölçüleri

Parlatılmış numunelerin mikroyapısının incelenmesi NIKON marka optik mikroskop ile tüm hazırlanan kaynaklı test numuneleri için matriksten, ITAB (Isı Tesiri Altında Kalan Bölge), kaynak metali ve kaynak içerisinde oluşan mikrogözeneklerin, kaynak hataları 50X, 200X ve 500X büyütmede gerçekleştirilmiştir. Şekil 8.41'te A-Grade ve DH-36 Grade kalitedeki gemi çeliklerinin mikroyapıları görülmektedir.

Kaynaklı numunelerden Şekil 8.42'de gösterildiği gibi ana malzemedan, ITAB bölgesinden ve kaynak metalinden mikroyapılar alınmıştır. Gemi çeliklerinin mikroyapısında birçok inklüzyon ve tane sınırlarında segregasyonlar olduğu tespit edilmiştir. Kalınlık artışına paralel olarak mekanik özelliklerin kötüleştiği bilinmektedir.



Şekil 8.41. Gemi çeliklerinin (a) Düz haddelenmiş çeliğin mikroyapısı ve (b) Yüksek mukavemetli çeliğin mikroyapısı



Şekil 8.42. Mikroyapıların alındığı bölgelerin gösterimi

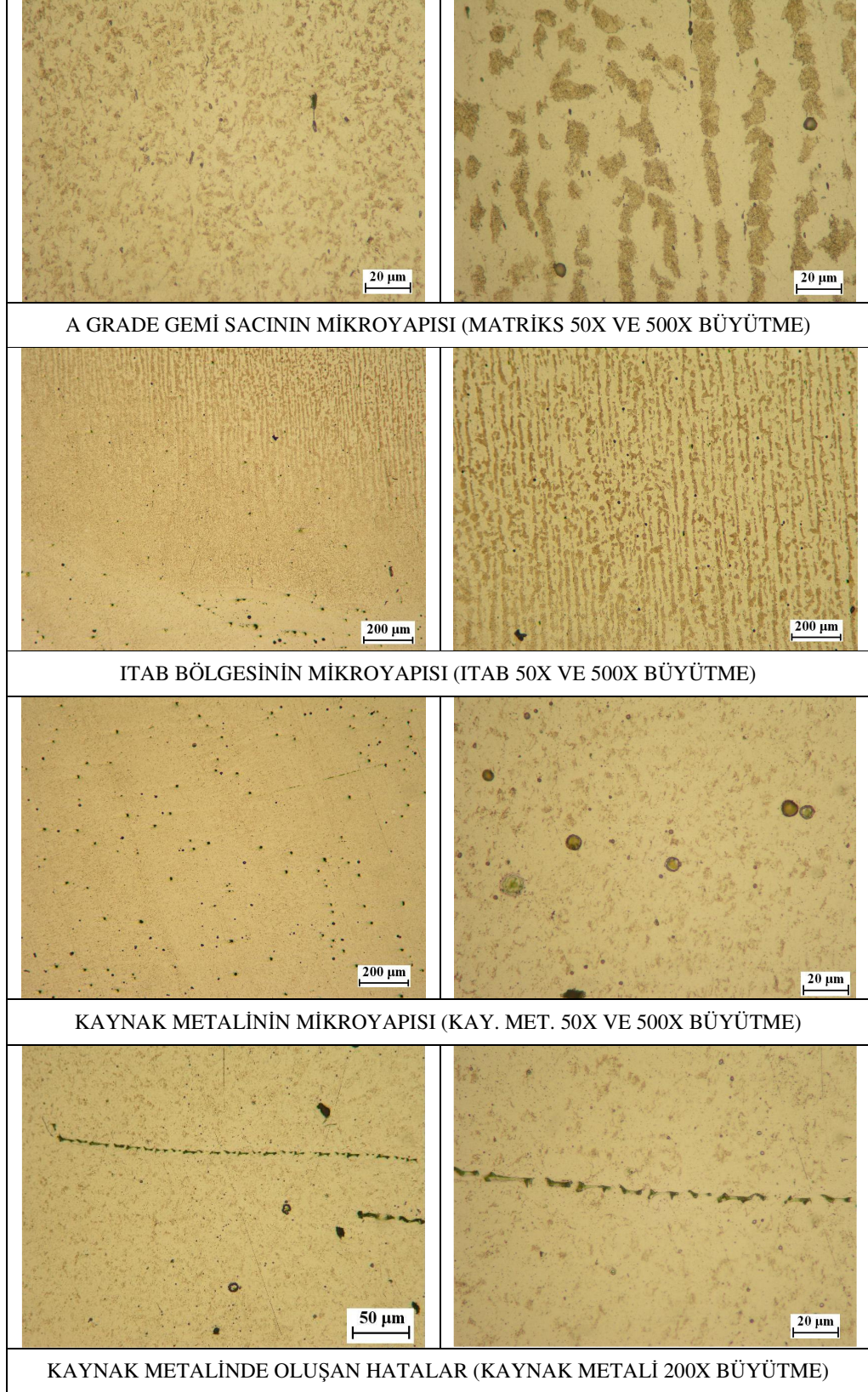
Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda iri, kolonsal taneler oluşmuş ve kaynak merkez çizgisine doğru yönelmişlerdir. Kaynak hızının optimum değerlerden yüksek olduğu durumlarda taneler ince yapılı ve uzunlamasına olarak kaynak merkezine yönelme eğilimi göstermişlerdir. En yüksek kaynak hızlarında yönelmenin az olduğu ve tanelerin daha karmaşık bir hal aldığı göstermiştir. Buna kaynak dikişinin çok dar olması ve ısı girdisinin az olması sebebiyle katılaşmanın çabuk meydana gelmesi, dolayısıyla yönelmenin gerçekleşmemesi sebep olarak gösterilmektedir [37].

Ergitmeli kaynaklarda katılaşma, ana metalin mevcut tanelerinden ilk kristallerin meydana gelmesi olarak tarif edilmiştir. Bundan dolayı kaynak metalinde oluşan tanelerin, mevcut olan tanelerin bir devamı olduğu bilinmektedir. İri taneli mikroyapıdan iri, ince taneli mikroyapıdan ince taneler meydana gelmektedir. Yüksek kaynak hızlarında, ana metalin tanelerinin aşırı irileşmemesi sonucunda ince yapılı bir kaynak metali oluşmuştur. Kaynak hızının düşük olduğu durumlarda ise ana metlin taneleri aşırı irileşmiş ve kaynak metali de buna bağlı olarak iri tanelerden meydana gelmiştir. Tozaltı ark kaynağındaki taneleri, diğer kaynak tekniklerine nazaran iri olması bu yöntemdeki fazla ısı girdisine, dolayısıyla ana metalin tanelerinin aşırı irileşmesine bağlıdır[37].

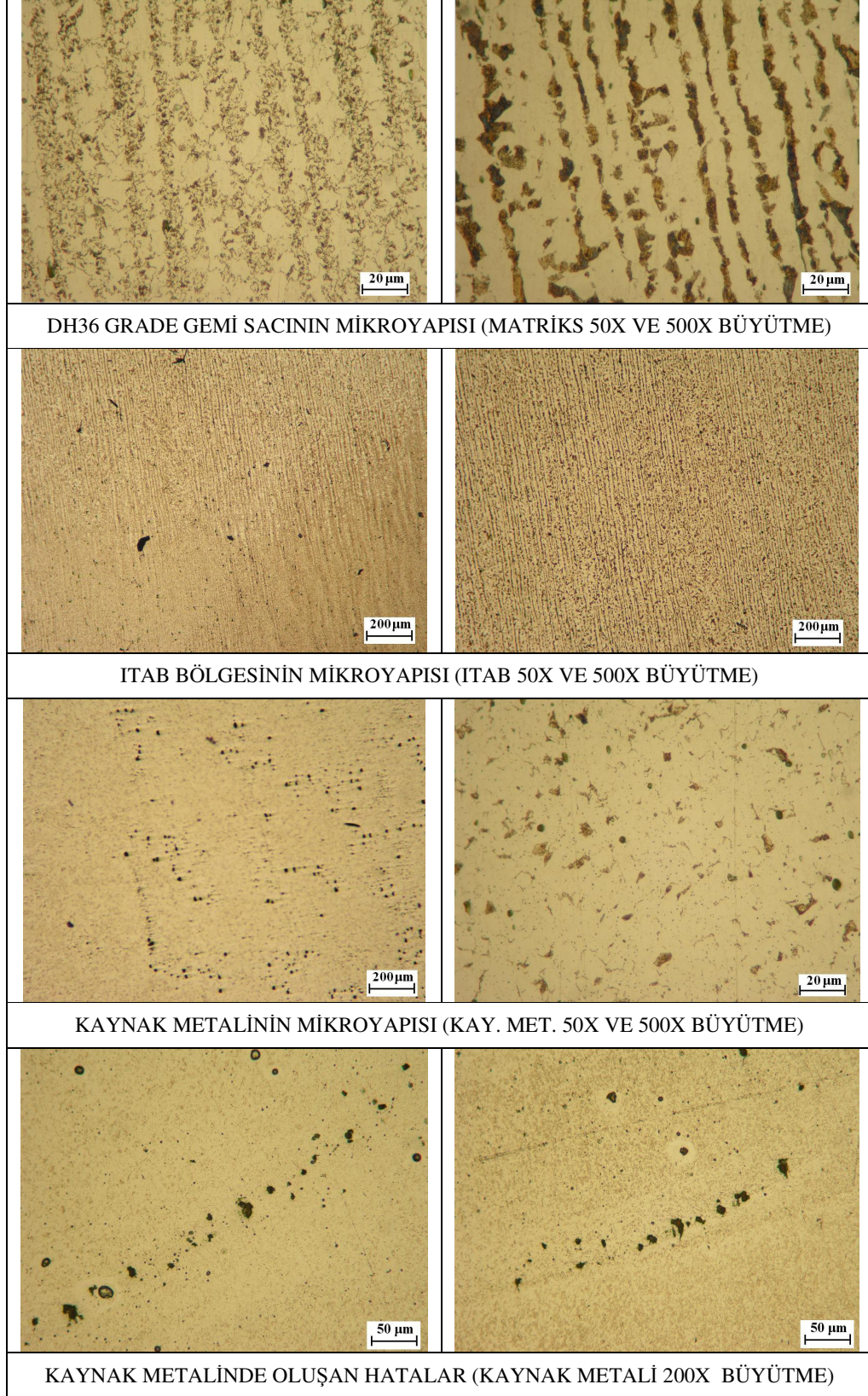
Ergitme kaynaklarında kaynak banyosunun, gaz, curuf, vakum veya kendinden korumalı yöntemlerle koruması sağlanmakta olup her yöntemin sağladığı koruma seviyesi de farklı olmaktadır. Bu yöntemlerde kaynak bölgesine gelen sürekli ilave metal sebebiyle daha az kararlı ark oluşumu veya yüksek ark boşluğu nedenleriyle koruyucu gaz, koruma etkisini tam olarak yerine getiremez. Yüksek ısı girdisi sebebiyle kaynak banyosu ile ark arasında elektro ve termo-kimyasal reaksiyonlar meydana gelmekte ve reaksiyon sonucunda meydana gelen hidrojen, oksijen ve azot gazlarının kaynak banyosunda hapsolmesi bağlantının mekanik özelliklerinin düşürmektedir[17].

Bu tür oluşumları engelleyerek başarılı bir kaynaklı bağlantı elde edebilmek için uygun kaynak yöntemi ve koruma gazı seçmek, atmosfer gazlarının koruma gazlarının içerisine girmesini engellemek, hidrojen oluşturan kaynakları engellemek gibi bazı tedbirlerle kaynak banyosunun tamamen korunması, ancak kontrollü bir atmosfer ortamı oluşturarak sağlanabilir[17].

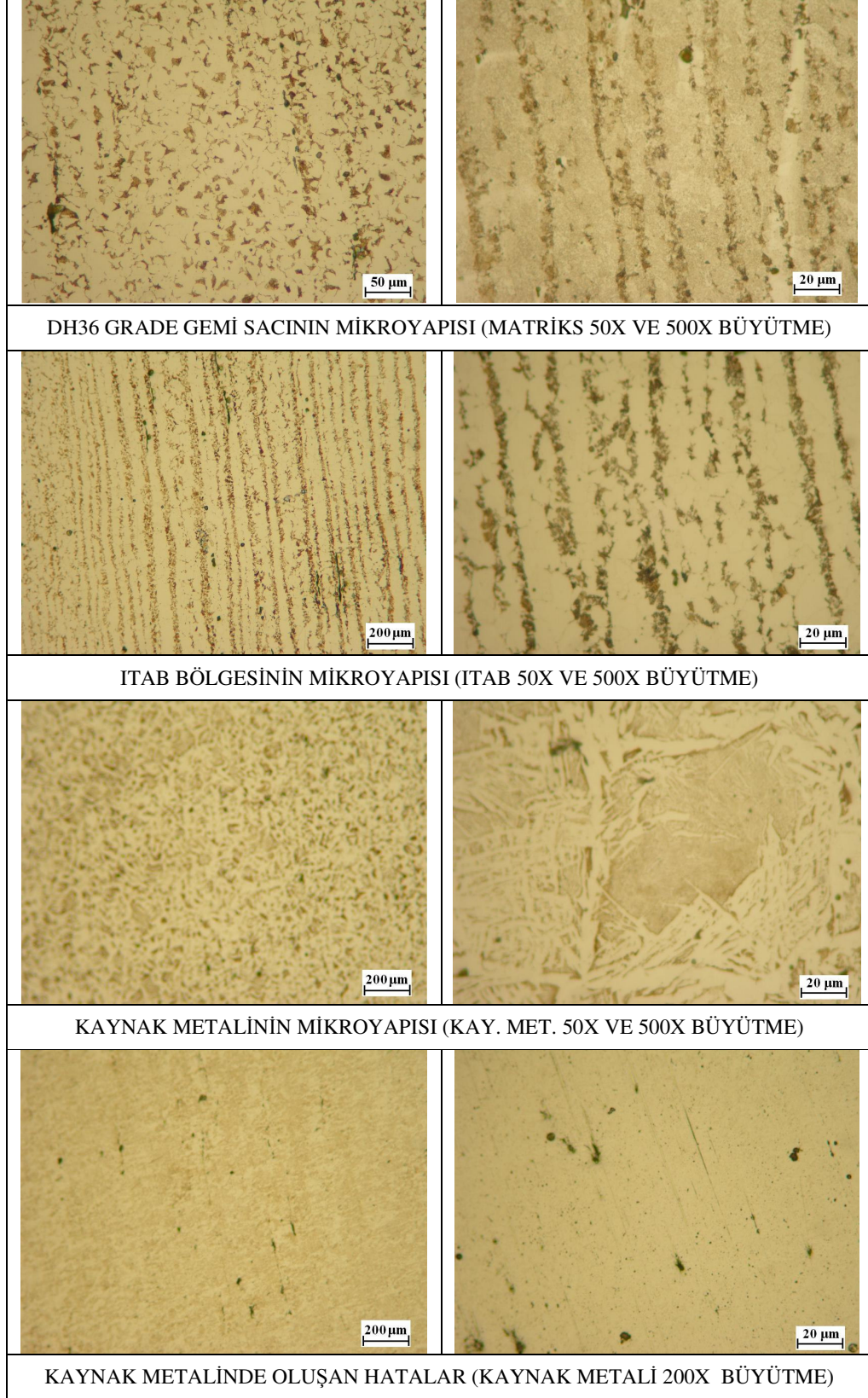
Şekil 8.43'den Şekil 8.46'a kadar kaynaklı numunelerden alınan mikroyapılar verilmektedir. A Grade ve DH-36 Grade malzemelerin mikroyapıları, ITAB bölgeleri ve kaynak metallerinin mikroyapıları incelendiğinde; kaynak metalleri içerisinde oluşan mikrogözeneklerin yoğun olduğu tespit edilmiştir.



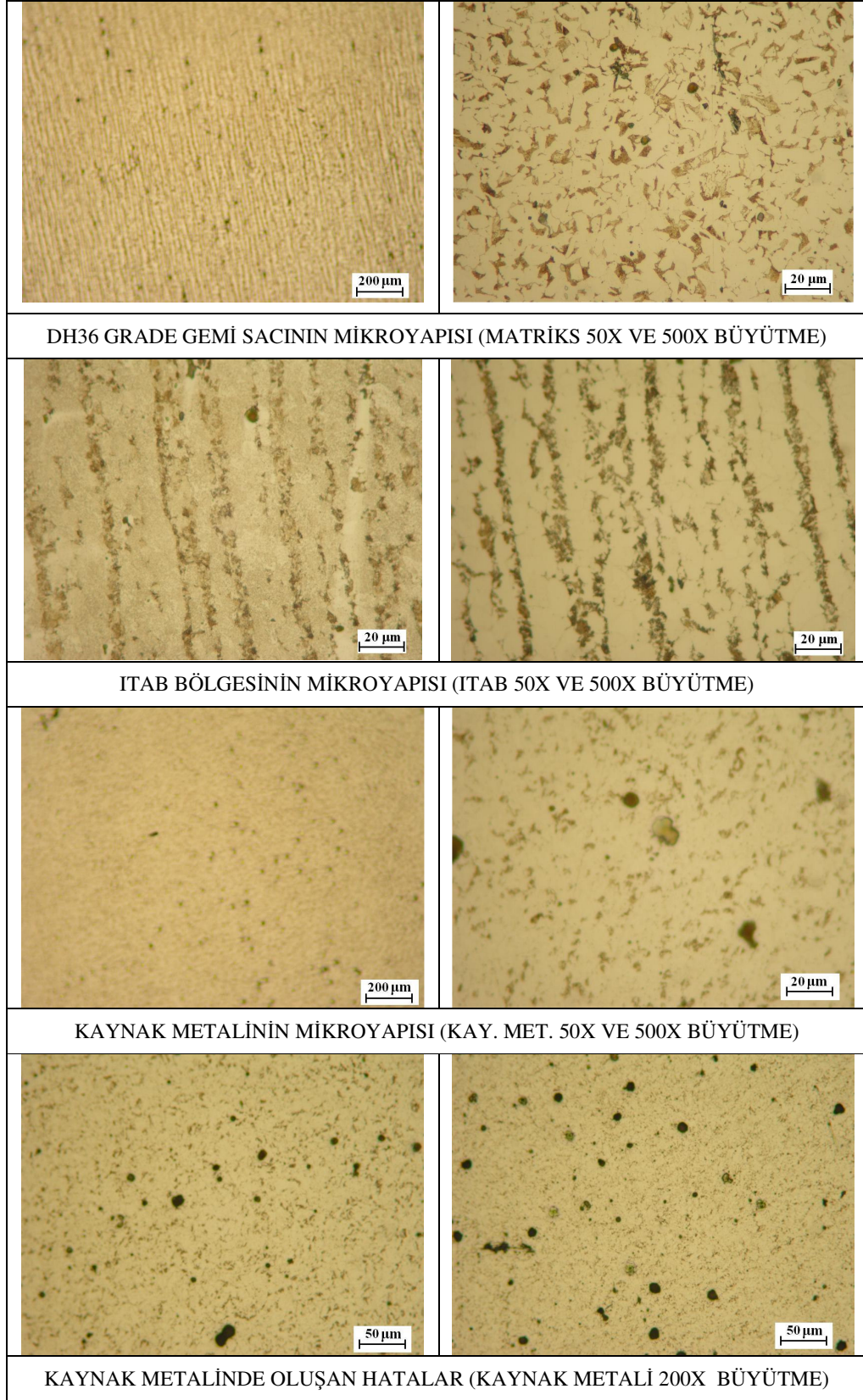
Şekil.8.43. A Grade-Bazik elektrodla-20mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları



Şekil.8.44. DH36 Grade-Bazik elektrodla-17mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları



Şekil.8.45. DH36 Grade-Tozaltı kaynağı-20 mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları



Şekil 8.46. DH36 Grade-Özlu telle-17 mm kalınlıktaki numunenin mikroyapıları

BÖLÜM 9 . TARTIŞMA VE ÖNERİLER

-Tüm kaynaklı numunelerde alınan çekme deneyi sonuçları ana malzeme veya kaynak metali özelliklerinden daha yüksek çıkması uygun kaynaklı birleşimler yapıldığını göstermiştir.

- Kaynaklı numunelerin tamamı ana malzeme üzerinde zayıf olan noktalarda boyun vererek sünek bir biçimde kopma göstermişlerdir. ITAB ve kaynak metalinden kopma hiçbir numunede gerçekleşmemiştir.

- DH 36 Grade çeliğe yapılan gazaltı kaynağı en yüksek akma dayanımı vermiştir. Genel olarak akma dayanımı sonuçlarına bakıldığında en yüksek değerleri gazaltı kaynakları vermiştir. Rezilyansı en yüksek malzeme F kodlu numunedir.

- Tozaltı kaynağı da elektrod kaynağından daha yüksek akma dayanımları vermektedir. Fakat DH 36 Grade malzemelere tozaltı kaynağıyla ısı girdisi fazla olduğu için akma dayanımlarında düşme görülmektedir.

- DH 36 Grade çeliğe yapılan elektrod kaynağı en yüksek çekme dayanımı değeri vermektedir. Homojen şekil değiştirme kabiliyeti en yüksek bu numunede görülmektedir.

- Tüm sonuçlar incelendiğinde ise çekme dayanımları en yüksek gazaltı kaynağı ile yapılan numunelerde görülmüştür. S kod numaralı numunenin ise ince taneli yapı gemi çelikleri arasında en düşük çekme dayanımı değerini vermiştir.

- Uzama değerlerine bakıldığında ise en yüksek A Grade çeliğin tozaltı kaynağı ile yapıldığı numuneden alındığı görülmektedir. Genel olarak bakıldığında tozaltı kaynağının en yüksek uzama değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

- Gazaltı kaynağının uzama değerleri de, tozaltı kaynağına yakın değerler vermiştir. Numunelerin toklukları incelendiğinde de gazaltı kaynağı ile yapılan numunelerin en yüksek tokluklara sahip oldukları tespit edilmiştir.
- Kaynaklı birleştirmelerde dikişin şekil değiştirme kabiliyeti ve kaynak dikişi ile esas metal arasında iyi bir bağlantı olup olmadığı bu deneylerle tesbit edilir. Alınan sonuçlar göstermektedir ki hiçbir kaynaklı numunede kılcal çatlak oluşmaması bağlantıların istenilen standartlarda olduğunun bir göstergesidir.
- En yüksek eğme dayanımı değeri DH 36 Grade gazaltı kaynağı yapılmış numunede görülmüştür. Tüm eğme yükü değerleri arasında en yüksek değerler gazaltı kaynağında görülmüş ve bu numunelerin sünek bir yapı göstermiştir.
- İnce taneli gemi çeliklerinden elde edilen değerlerin yüksek çıkmasının nedeni ITAB bölgesinde ve kaynak metalin standartların öngördüğü biçimde yapıldığının bir göstergesidir.
- Tüm numunelerde kalınlık artışına paralel olarak uygulanan eğme yükü değerleri de artış göstermiştir. Eğme sırasında genellikle numunelerin iç yüzeylerindeki boyut değişiminin fazla olduğu görülmüştür. Bu numunelerde malzemelerin sünek bir karaktere sahip olduklarını göstermiştir.
- Kep eğme değerleri genellikle kök eğmelerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak kullanılan kaynak metallerinin mekanik özellikleri ana malzemelere göre daha yüksek değerler vermesinden kaynaklanmaktadır.
- Bazik elektrodla yapılan kaynaklı numunelerden en düşük eğme yükü değerleri alınmasının nedeni olarak bu elektrodun yapısında bulunan alaşım elementlerinin neden olduğu düşünülmektedir.
- Oda (+20 °C) sıcaklığında yapılan A Grade çeliklerin hepsi 47 Joule'den fazla değer vermiştir. -40 °C testi yapılan kaynaklı DH 36 Grade çeliklerin tamamı 27 Joule'den daha yüksek değerler vermiştir.

- Çentik darbe deneyleri göstermektedir ki genel olarak ITAB ve ergime sınırlarında sünek bir davranış görülmüş ve lifli kırılma yüzeyleri elde edilmiştir.
- Sünek kırılmaya uğrayan; B, E, S kodlu numunelerdir. Bunların kırılma yüzeylerine bakıldığında kristalin bir yüzey şekli görülmüştür. Bu kırılma şekli numunelerde ITAB bölgelerinde daha fazla görülmektedir. Bu bölgede oluşan yapılar malzemenin çentik-darbeye karşı plastik deformasyona daha hassas olduğunun bir göstergesidir.
- Sıcaklık düşmesiyle beraber DH 36 Grade malzemelerin çentik darbe mukavemetlerinde düşmeler meydana geldiği görülmüştür.
- S kodlu numunenin sertlik değerleri 250 VSD seviyesine kadar çıkmıştır ve bu bağlantının diğer kaynaklar arasında en kalitesiz dikiş olduğu tespit edilmiştir. İnce taneli yapı çeliği olan bu numunede şaloma ile bölgesel tavlama yapılmış ve bu bölgesel ısıl değişimlerinin önüne geçememiştir, böylece ITAB bölgesinde gerilim yığılmaları ve artık gerilimlerin oluşması muhtemeldir.
- K ve L numunelerinde ITAB bölgesinde 234 VSD sertlik değerine ulaşılmıştır. Mekanik özellikleri paralelinde çıkan bu değer beklentileri karşılamaktadır.
- Özellikle yüksek ısı girdisine maruz kalan tozaltı kaynaklarında, kaynak formu da geniş olduğu için yüksek sertlik değerleri kullanılmıştır. Burada kullanılan 5 mm çapındaki tozaltı teli yüksek ergime ısısına neden olmuştur. 3,2 mm veya 4 mm çapındaki teller kullanılarak kaynak yapılırsa bu yöntemle çok daha iyi mekanik ve mikroyapı özellikleri elde edilebilir.
- Pasolararası sertlik değerlerine bakıldığında özellikle elektrod kaynağında 2,5 mm çapındaki elektrod pasonun olduğu kök bölgelerinde daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. Elektrod çapı artışıyla, ergime verimi artmakta ve malzemeye giren ısı miktarı da ITAB bölgesinin genişliğini arttırmaktadır.
- ITAB bölgelerinin genişliğine bakıldığında yüksek ısı girdisine sahip tozaltı

kaynağında diğer yöntemlere nazaran daha geniş olduğu tespit edilmiştir.

- Kep bölgesindeki kaynak genişliği fazla olduğu için kök bölgelerine nazaran daha yüksek sertlik değerleri alınmıştır.
- Kaynak metali mikroyapılarında dendritik yapı içerisinde mikrohatalar ve inklüzyonlar mekanik özelliklerin kötüleşmesine neden olmuştur.
- İnce taneli çeliklerde ITAB bölgesinde ısı girdi miktarına göre tanelerin yönlendiği tespit edilmiştir.
- Gemi çeliklerinin mikroyapıları göstermektedir ki içerisinde birçok inklüzyon, gözenek ve mikro hatalar barındırmaktadır. Bunlar ITAB bölgesinde zamanla şekil değiştirerek yapılan testlerde olumsuz sonuçlar alınmasına neden olmuştur.
- Kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için sac kalınlıklarına göre minimum kaynak formu verecek elektrod çapları, kaynak akımları, gerilimleri ve uygun kaynak ağızları dizayn edilmelidir.
- Genel olarak kullanılan sac malzemelerde bandlaşma hatalarına rastlanmıştır. bandlaşma hataları mekanik özellikleri etkileyen bir hatadır.

KAYNAKLAR

- [1] TUĞLAN, B., “Çelik Tekne Kaynağı İçin Yararlı Bilgiler”, TMMOB Gemi Mühendisleri Odası, Yayın No:9, ABS-İstanbul, 1979, s: 2-15, s:16-22
- [2] TOPBAŞ, A., “Çeliklerin ve Isıl İşlem El Kitabı”, Prestij Yayıncılık Baım Hizmetleri Sanayii ve Tic. Ltd.Şti., İstanbul, Eylül 2006, s:25-35, s: 292-294
- [3] KAYALI, E.S., ENSARİ, C., “Metallere Plastik Şekil Verme” İTÜ Metalurji Fakültesi Yayın No:7, İstanbul, 1990 s:24-26, s:49-52
- [4] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., E., Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 1990.
- [5] WEISMAN, C., “Welding Handbook”, American Welding Society, 2501 N.W. 7 th Street Miami, Florida 33125, 1973, Section 5.
- [6] EMMENT, A, SMITH, ROBERT, A., WILSON, “The Procedure Handbook Of Arc Welding”, The Linclon Electric Company 22801 St. Clair Avenue Cleveland, Ohio, 44117-1199 Thirteenth Edition January 1993, pp:1.3-1, 1.3-3, pp:4.2-1, 4.2-7, pp:4.3-4, 4.3-11, pp:5.2-1, 5.2-2.
- [7] CEBEKAN, F., “Kaynak Banyosunun Katılaşması”, Gedik Holding, Kaynak Dünyası, Sayı:1988/1, İstanbul, Ocak 1988 s:11-17
- [8] TÜLBENTÇİ, K., “MIG-MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi”, Arctech Kaynak Elektrodları ve Telleri Yayınları, Yayın No:2, İstanbul, 1998, s :23-25, s:60-61, s:81-87, s:97-99
- [9] ANIK, S., “Kaynak Tekniği (Oksi-Asetilen ve Elektrik Ark Kaynağı)”, İTÜ Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul, 1980 s:9-14, s: 23-25, s:110-112, s:144-150, s:171-188, s:204-205.
- [10] “Oerlikon Elektrod Kataloğu”, Oerlikon Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., İstanbul, 1998.
- [11] “Gedik Elektrod ve Endüstriyel Ürünler Kataloğu”, Gedik Kaynak Elektrodları ve Sanayi A.Ş., İstanbul, 2001.

- [12] ANIK, S., VURAL, M., “Gazaltı Ark Kaynağı (TIG-MIG-MAG)”, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No:3, İstanbul, 1997, s: 15-16, s:43-44, s:99-106, s:120-134, s:154-156, s:224-230, s:235-237
- [13] TÜLBENTÇİ, K., “MIG-MAG Ergiyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı”, Gedik Holding Yayınları, İstanbul, 1990 s:20-25.
- [14] ENGİNDENİZ, E., “Seamless Flux Cored Wires”, Drahtwarenfabrik Drahtzug Stain Gmbh&Co. KG, Germany, 2005.
- [15] “Outesrshiled Özlü Kaynak Telleri Kataloğu” , Askaynak Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Ağustos 2000.
- [16] BOEKHOLT, R., DREWS, P., SAITOH, T., “Welding Mechanization And Automation Shipbulding Worldwide” ABINGTON PUBLISHING, Cambridge England, pp:100-102, pp:150-151.
- [17] KÖKEMLİ., K, KAÇAR., R., “Kontrollü Atmosferin Gazaltı Ark Kaynak Bağlantılarının Isı Tesiri Altındaki Bölgesinin Özelliklerine Etkisi”, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 18(4) 670-680(2005)
- [18] www.esab.com
- [19] “ESAB PRODUCT CATALOGUE”, ESAB AB Box SE-402 77, Göteborg Sweden, 2006
- [20] ANIK, S. “Kaynak Tekniği (Tozaltı Kaynağı ve Koruyucu Gazla Kaynak)”, İ.T.Ü. Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, 2, 1-106, İstanbul., 1975. s:20-40
- [21] ASKAYNAK, “Tozaltı Kaynak Tozları ve Tozaltı Kaynak Sistemleri”, Eczacıbaşı Ürün Kataloğu, İstanbul, 2001
- [22] www.askaynak.com.tr
- [23] TÜLBENTÇİ, K., “Tozaltı Kaynak Yönteminin Üstünlükleri ve Uygulama Alanları”, Kaynak Dünyası Dergisi, Gedik Holding A.Ş., Sayı: 1998/1, İstanbul, Ocak 1988
- [24] “Innovations In The Sub Arc Process”, New Technologies And Specialized Consumables For The Continuous Improvement Of Welding Productivity, ESAB Saldatura SpA Via Mattei 24, 20010 Mesero-MI-Italy
- [25] DURGUTLU, A., GÜLENC B., TÜLBENTÇİ K., “Ark Kaynağında Kaynak Hızının Nufuziyete ve Mikroyapıya Etkisi”, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 18(5), 687-695(2005)

- [26] KAHRAMAN, N., GÜLENÇ, B., DURGUTLU, A., “Tozaltı Ark Kaynağı İle Kaynaklanan Düşük Karbonlu Çeliklerde Serbest Tel Uzunluğunun Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 18(3), 473-480(2005)
- [27] KAYALI, E. S., ENSARİ, C, DİKEÇ, F., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri” İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu İstanbul, 1988 s:14-16, s:43, s:48-61, s: 83-90, s:32-139.
- [28] GÖRÜR, N., “Tahribatsız Muayene Yöntemleri Eğitim Notları”, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Malzeme ve Kimya Teknolojileri Araştırma Enstitüsü, Kocaeli, 2002
- [29] ERDOĞAN, M., “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, Nobel Yayın Dağıtım, 1997, Ankara.
- [30] ANIK, S., “Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri”, Birsen Yayın Evi, 1999, İstanbul .
- [31] KAYALI, E.S., ENSARİ, C., “Metallere Plastik Şekil Verme” İTÜ Metalurji Fakültesi Yayın No:7, İstanbul, 1990 s:24-26, s:49-52
- [32] ÇNAEM, “Tahribatsız Muayene Yöntemleri Eğitim Notları”, İstanbul, 2003
- [33] ANIK, S., “Kaynak Dikişlerinin Radyografik Muayenesi”, Bohler Kaynak Çubukları, Elektrodları Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Haziran 1972.
- [34] “ABS RULES FOR MATERIALS AND WELDING 2006”, American Bureau of Shipping Incorporated by Act of Legislature of the State of New York, 1862
- [35] “Welding Procedure Tests For The Arc Welding Of Steels” , International Standard, ISO 9956-3:1995 (E), Part 3
- [36] YAVUZ, N., ÖZCAN, R., POLAT, F. “Tozaltı Kaynak Bağlantısının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Termal ve Mekaniksel Analizi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt II, Sayı 2,2005
- [37] MERİÇ, C., OKUR, A., “Rutil Örtülü Elektrodlarla Birleştirilen C22'nin Kaynak Bölgesinin Kırılma Tokluğunun İncelenmesi Ve Uyumsuzluk Faktörünün Belirlenmesi”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi Cilt2: Sayı:2 ah.95-105 Mayıs 2000

ÖZGEÇMİŞ

14.10.1979 Amasya doğumlu, ilk ve orta öğrenimi Tuzla Evliya Çelebi İlköğretim okulunda tamamladı. Tuzla Teknik Lisesi Elektrik Bölümünü bitirdikten sonra Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünü bitirdi.

Özel bir tersanede 5 yıldır Kaynak Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Gemi Mühendisleri Odası ve Makine Mühendisleri Odasında Tersanelerde Uygulanan ve Uygulanabilecek Yöntemlerle ilgili bildirimler sundu. Şirket içinde Mühendis ve Teknik eleman seviyesinde birçok teorik ve uygulamaları eğitimler verildi.

Müh. Muharrem ASARKAYA