

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**13 Cr Mo 4-5 YÜKSEK SICAKLIK DİRENÇLİ ÇELİK
KAYNAKLI BAĞLANTILARININ TEKRARLI ISIL İŞLEM
KOŞULLARINDA DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ**

FEVZİ BARBAROS GÜLŞAH

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

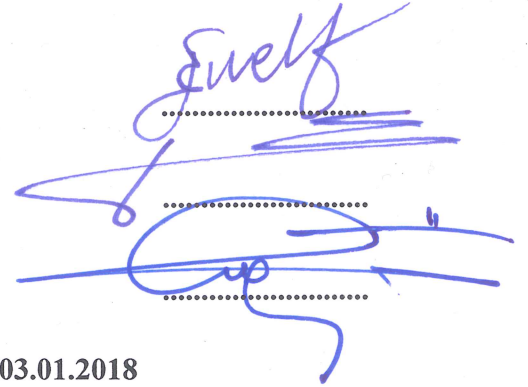
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

13CrMo4-5 YÜKSEK SICAKLIK DİRENÇLİ ÇELİK
KAYNAKLI BAĞLANTILARININ TEKRARLI ISIL İŞLEM
KOŞULLARINDA DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ

FEVZİ BARBAROS GÜLŞAH

Doç.Dr. Emel TABAN
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof.Dr. Erdiñ KALUÇ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Doç.Dr. Uğur ÖZSARAÇ
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğı Tarih: 03.01.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Basınçlı kap imalatlarında yaygın olarak kullanılan 13CrMo4-5 (P11) düşük alaşımlı çeliklerine, uluslararası standartlar ve şartnamelerce talep edilen şekilde, imalat sonrası uygulanan tekrarlı gerilme giderme ısıl işlemleri altında mekanik özelliklerinin değişimlerinin incelendiği bu çalışmada, sektörde sıkça karşılaştığımız ancak sonuçlarını çok da fazla test etmediğimiz bir uygulama hakkında daha fazla bilgi sahibi olmaya çalıştık.

Öncelikle beni yüksek lisans öğrencisi olarak kabul eden Sayın Prof. Dr. Erdinç KALUÇ'a, sonrasında çalışmalarına kendisiyle devam etme şansı bulduğum, tüm çalışma süresince beni yönlendiren ve desteğini sabırla sürdüren Sayın Doç. Dr. Emel TABAN'a, çalışmaya dair testler ve deneylerin gerçekleştirilmesi süresince bünyesinde çalıştığım, farklı imalat projeleri kapsamında yapılan test sonuçlarını derleyerek bu çalışmayı meydana getirdiğim TEKFEN İmalat ve Mühendislik A.Ş. ye en derin teşekkürlerimi sunarım.

Mühendislik kariyerime başlamamda, sonrasında kaynak mühendisliğinde uzmanlaşma aşamalarımda ve son olarak yüksek lisansımın devam etmemde her aşamada her daim desteğini esirgemeyen anneme ve bu süreçte yanımda olan eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Umarım bu çalışmadan elde ettiğimiz sonuçlar basınçlı kap imalat sektöründe çalışan meslektaşlarım için yol gösterici olur.

Ocak-2018

Fevzi Barbaros GÜLŞAH

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------|
| ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | v |
| TABLolar DİZİNİ | vii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | viii |
| ÖZET..... | x |
| ABSTRACT..... | xi |
| GİRİŞ | 1 |
| 1. YÜKSEK SICAKLIĞA DİRENÇLİ ÇELİKLER..... | 4 |
| 1.1. Alaşım-sız Çelikler | 4 |
| 1.1.1. Karbon çeliklerinin kaynak kabiliyeti | 5 |
| 1.2. Alaşım-lı Çelikler | 5 |
| 1.2.1. Krom-Molibden çelikleri..... | 7 |
| 1.2.2. Karbon-Molibden çelikleri | 9 |
| 1.2.3. Krom-Vanadyum-Molibden çelikleri..... | 9 |
| 2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ VE GÜNÜMÜZ ENDÜSTRİSİNDEKİ ÖNEMİ | 11 |
| 3. KAYNAĞIN TANIMI, ÖNEMİ VE SINIFLANDIRILMASI | 12 |
| 3.1. Kaynağın Tanımı | 12 |
| 3.2. Kaynağın Önemi..... | 12 |
| 3.2.1. Kaynak ile perçinli birleştirmenin karşılaştırılması | 12 |
| 3.2.2. Kaynak ile döküm yönteminin karşılaştırılması..... | 13 |
| 3.3. Kaynağın Sınıflandırılması..... | 13 |
| 3.4. Plastik Malzeme Kaynağı..... | 16 |
| 3.5. Lehimleme | 17 |
| 3.5.1. Lehimleme usulüne göre sınıflandırma..... | 17 |
| 3.5.2. Lehim yerinin biçimine göre sınıflandırma..... | 17 |
| 4. KAYNAK KABİLİYETİ..... | 18 |
| 5. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI (SMAW) | 23 |
| 5.1. Ark Üfleme-si | 23 |
| 5.2. Elektrik Ark Kaynağıyla İlgili Bazı Deyimler | 24 |
| 5.3. Kaynak Makinelerinin Sınıflandırılması | 25 |
| 5.4. Doğru Akım ve Alternatif Akım ile Kaynağın Karşılaştırılması | 30 |
| 5.5. Kaynak Elektrod-ları | 31 |
| 5.6. Kaynak Ağız-larının Hazırlanması | 32 |
| 6. TOZALTI KAYNAĞI (SAW)..... | 35 |
| 6.1. Tozaltı Kaynağının Avantajları ve Uygulama Alanları | 36 |
| 6.2. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri | 37 |
| 6.3. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları | 38 |
| 6.4. Kaynak Dikişinin Formu | 39 |
| 6.5. Uygulamalarda Kullanılan Diğer Tozaltı Kaynak Yöntemleri | 43 |
| 7. GAZALTI ARK KAYNAĞI | 47 |
| 7.1. Tarifi ve Sınıflandırılması | 47 |
| 7.2. Ark Atom Gazaltı Ark Kaynağı | 49 |

| | |
|--|----|
| 7.3. TIG Kaynağı (GTAW) | 50 |
| 7.3.1. Koruyucu gaz | 52 |
| 7.3.2. Kaynak akımı | 53 |
| 7.3.3. TIG kaynak yönteminin avantajları ve kullanım alanları..... | 53 |
| 7.4. MIG Kaynağı..... | 54 |
| 7.5. MAG Kaynağı | 55 |
| 7.5.1. MAG kaynağı kontrol ünitesi..... | 56 |
| 7.6. Plazma Kaynağı..... | 57 |
| 8. KAYNAK HATALARI..... | 59 |
| 8.1. Çatlaklar | 59 |
| 8.2. Sıçrantılar | 63 |
| 8.3. Curuf Kalıntıları | 63 |
| 8.4. Yetersiz Ergime | 65 |
| 8.5. Nüfuziyet Azlığı | 65 |
| 8.6. Boşluklar | 66 |
| 9. KAYNAKLI PARÇALARDA MEYDANA GELEN DİSTORSİYONLAR VE GERİLMELER..... | 68 |
| 9.1. Gerilme ve Distorsiyonların Esasları..... | 68 |
| 9.2. Kaynak Gerilmelerine Ve Çarpılmalarına Etkiyen Faktörler | 69 |
| 9.3. Distorsyon Çeşitleri..... | 70 |
| 9.4. Alın Dikişlerinde Distorsyonlar | 71 |
| 9.4.1. Enine distorsyonlar..... | 71 |
| 9.4.2. Boyuna distorsyonlar..... | 72 |
| 9.4.3. Açısal distorsyonlar..... | 73 |
| 9.5. İç Köşe Birleştirmelerinde Distorsyonlar..... | 74 |
| 9.5.1. Enine distorsyonlar..... | 74 |
| 9.5.2. Boylamasına distorsyonlar | 74 |
| 9.5.3. Açısal distorsyon | 75 |
| 9.6. Kaynak gerilmeleri | 75 |
| 9.6.1. Enine gerilmeler..... | 75 |
| 9.6.2. Boylamasına gerilmeler | 76 |
| 9.6.3. İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri | 76 |
| 9.7. Distorsiyonlara ve Gerilmelere Engel Olmak İçin Alınacak Tedbirler..... | 76 |
| 10. DİĞER KAYNAK YÖNTEMLERİ | 77 |
| 10.1. Ultrasonik Kaynak Yöntemi..... | 77 |
| 10.2. Soğuk Basınç Kaynağı | 78 |
| 10.3. Patlatmalı Kaynak | 79 |
| 10.4. Difüzyon Kaynağı | 80 |
| 11. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE ARTIK GERİLMELER..... | 82 |
| 11.1. Kaynak İşleminde Artık Gerilmeler | 82 |
| 11.2. Artık Gerilmelerin Oluşum Nedenleri..... | 82 |
| 11.3. Kalıcı Gerilme Ölçüm Metotları | 85 |
| 11.3.1. Tahribatlı kalıntı gerilme ölçme yöntemleri | 85 |
| 11.3.1.1. Tabaka kaldırma yöntemi | 85 |
| 11.3.1.2. Delik delme yöntemi..... | 86 |
| 11.3.1.3. Halka çekirdek yöntemi | 86 |
| 11.3.1.4. Kanal açma yöntemi | 86 |
| 11.3.1.5. Tüp yarma yöntemi | 87 |

| | |
|--|-----|
| 11.3.1.6. İnce kesitlere ayırma yöntemi | 87 |
| 11.3.2. Tahribatsız muayene yöntemleri..... | 87 |
| 11.3.2.1. Kırınım yöntemleri..... | 87 |
| 11.3.3. Ultrasonik yöntemler | 88 |
| 11.3.4. Manyetik yöntemler | 89 |
| 12. KAYNAK SONRASI ISIL İŞLEMLER | 90 |
| 12.1. Kaynak Sonrası Isıl İşlem (PWHT) Nedir | 90 |
| 12.2. Lokal PWHT Terminolojisi..... | 93 |
| 12.3. Servis Koşullarından Kaynaklı Gereklilikler | 109 |
| 12.4. Fırın veya Bölgesel PWHT Uygulamalarının Uygunluğu | 110 |
| 12.5. PWHT Muafiyetleri..... | 111 |
| 12.6. Temperleme ve Gerilme Gidermenin Amacı | 112 |
| 13. KAYNAK METALİNİN TEST EDİLMESİ..... | 114 |
| 13.1. Sertlik Testi | 114 |
| 13.2. Çentik Darbe Deneyi | 115 |
| 13.3. Çekme Deneyi | 115 |
| 13.4. Eğme Deneyi | 117 |
| 13.5. Spektral Analiz Deneyi | 117 |
| 13.6. Makro İnceleme Deneyi | 118 |
| 14. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 119 |
| 14.1. Deneyin Amacı..... | 119 |
| 14.2. Kullanılan Malzemeler | 119 |
| 14.3. Kaynak Yöntemi Uygulanması | 120 |
| 14.4. Kaynak Sonrası Uygulanan Isıl İşlemler (PWHT)..... | 125 |
| 14.5. Çentik Darbe Deneyleri..... | 125 |
| 14.6. Çekme Deneyleri..... | 125 |
| 14.7. Sertlik Deneyleri..... | 126 |
| 15. DENEYSEL SONUÇLAR | 127 |
| 15.1. Makroyapı Görüntüleri Sonuçları | 127 |
| 15.2. Çentik Darbe Sonuçları | 128 |
| 15.3. Sertlik Deneyi Sonuçları | 130 |
| 16. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ..... | 132 |
| 16.1. Gözle Muayene Sonuçlarının İrdelenmesi | 132 |
| 16.2. Spektral Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi..... | 133 |
| 16.3. Çekme Deneyi Sonuçlarının İrdelenmesi | 133 |
| 16.4. Yan Eğme Sonuçlarının İrdelenmesi..... | 134 |
| 16.5. Makroyapıların İrdelenmesi | 134 |
| 16.6. Sertlik Tarama Sonuçlarının İrdelenmesi..... | 134 |
| 16.7. Charpy Çentik Darbe Sonuçlarının İrdelenmesi | 135 |
| 17. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 137 |
| KAYNAKLAR | 138 |
| EKLER..... | 146 |
| KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER | 204 |
| ÖZGEÇMİŞ | 205 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | | |
|-------------|--|----|
| Şekil 1.1. | Fe ₃ C içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri | 7 |
| Şekil 4.1. | Kaynak metalinde katılaşma aşamaları..... | 20 |
| Şekil 4.2. | Tek pasolu kaynak dikişinde segregasyon bölgesinin görünümü..... | 21 |
| Şekil 4.3. | Kaynak kabiliyetinin bağlı olduğu durumlarının şematik olarak gösterimi | 22 |
| Şekil 5.1. | Statik karakteristik test düzeneği | 26 |
| Şekil 5.2. | SCR kontrollü doğrultucu güç kaynağı | 29 |
| Şekil 5.3. | Jeneratörlü kaynak makinesi..... | 30 |
| Şekil 5.4. | İnventör kaynak makinesi | 30 |
| Şekil 6.1. | Tozaltı kaynak sistemi | 35 |
| Şekil 6.2. | Alın kaynağı dikiş formu | 39 |
| Şekil 6.3. | Tozaltı ark kaynak akımının, dikiş geometrisine ve nüfuziyete etkisi..... | 41 |
| Şekil 6.4. | Tozaltı kaynak yönteminde gerilimin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi..... | 41 |
| Şekil 6.5. | Kaynak hızının dikiş formu üzerindeki etkisi..... | 42 |
| Şekil 6.6. | Tandem tozaltı ark kaynağı yöntemi şematik gösterimi..... | 44 |
| Şekil 6.7. | Seri kaynak yöntemi | 45 |
| Şekil 6.8. | Saat 3 yöntemi | 46 |
| Şekil 7.1. | Gaz altı ark kaynağının prensibi | 47 |
| Şekil 7.2. | Gaz altı ark kaynağının donanım şeması | 48 |
| Şekil 7.3. | Art atom gazaltı kaynağı..... | 50 |
| Şekil 7.4. | TIG kaynağının fiziki görüntüsü..... | 52 |
| Şekil 7.5. | Plazma ark kaynağının prensibi | 57 |
| Şekil 8.1. | Tozaltı kaynak sistemi | 61 |
| Şekil 8.2. | Alın birleştirmesinde bir krater çatlağı | 61 |
| Şekil 8.3. | Kaynak birleştirilmesinde tipik lameler yırtılma | 63 |
| Şekil 8.4. | Yetersiz erime | 65 |
| Şekil 8.5. | Nüfuziyet azlığı şematik görünümü..... | 66 |
| Şekil 9.1. | Alın birleştirmede oluşan distorsyon tipleri..... | 71 |
| Şekil 9.2. | Alın birleştirmede boyuna distorsyon..... | 73 |
| Şekil 9.3. | Farklı paso sayılarında oluşan farklı açısız distorsiyonlar | 74 |
| Şekil 9.4. | İç köşe birleştirmede boyuna distorsyon | 75 |
| Şekil 9.5. | İç köşe kaynağında açısız distorsyon..... | 75 |
| Şekil 10.1. | Ultrasonik kaynak a) Bir bindirme bağlantı için genel ekipman b) kaynak bölgesinin yakından görünüşü | 77 |
| Şekil 10.2. | Soğuk basınç kaynağı | 79 |
| Şekil 10.3. | Patlamalı kaynak..... | 80 |
| Şekil 11.1. | Bir alın dikisindeki enine (T) ve boyuna (L) büzülme gerilmeleri..... | 83 |
| Şekil 11.2. | Bir T bağlantısındaki enine ve boylamasına büzülme gerilmeleri | 83 |
| Şekil 12.1. | Lokal ısıtma bandının şematik görünümü | 95 |
| Şekil 12.2. | Lokal 360 derece bandının parametre örneği..... | 98 |

| | | |
|--------------|--|-----|
| Şekil 12.3. | Lokal 360 derece bandının ön ısıtma/ pasolar arası ısıtma için parametre örneği..... | 98 |
| Şekil 12.4. | Kapasitör deşarj kaynağı ile tellerin bağlanmasının şematik görünümü | 101 |
| Şekil 12.5. | İndüksiyon bobin kurulumu..... | 105 |
| Şekil 12.6. | Alevle ısıtmanın şematik görünümü | 106 |
| Şekil 12.7. | Slip-on flanş kaynağı | 107 |
| Şekil 12.8. | Kuvars flaman, Yansıtıcı ve İş parçasının konumları..... | 108 |
| Şekil 13.1. | Çentik darbe deney cihazının çalışma prensibi..... | 115 |
| Şekil 13.2. | Çekme deneyinin uzama eğrisi | 116 |
| Şekil 14.1. | TIG kaynağının yapıldığı kaynak tezgahı..... | 120 |
| Şekil 14.2. | Gazaltı kaynağının yapıldığı kaynak makinesi | 121 |
| Şekil 14.3. | Tozaltı kaynak tezgahı | 121 |
| Şekil 14.4. | Çentik darbe deneyi numunesi ve ölçüleri..... | 125 |
| Şekil 14.5. | ZWICK/ROELL çekme cihazı | 126 |
| Şekil 14.6. | Emcotest Duravision sertlik ölçüm cihazı | 126 |
| Şekil 15.1. | SMAW ile kaynatılan parçaya ait makro görüntüsü..... | 127 |
| Şekil 15.2. | SAW ile kaynatılan parçaya ait makro görüntüsü | 128 |
| Şekil 15.3. | GTAW ile kaynatılan parçaya ait makro görüntüsü | 128 |
| Şekil 15.4. | SAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde Kaynak ve HAZ bölgelerinden elde edilen charpy impact sonuçlarının değişimi | 128 |
| Şekil 15.5. | GTAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde Kaynak Ve HAZ bölgelerinden elde edilen charpy impact sonuçlarının değişimi | 129 |
| Şekil 15.6. | SMAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde Kaynak Ve HAZ bölgelerinden elde edilen charpy impact sonuçlarının değişimi | 129 |
| Şekil 15.7. | SAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri..... | 130 |
| Şekil 15.8. | SAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kök kısımlarından elde edilen sertlik değerleri..... | 130 |
| Şekil 15.9. | GTAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri..... | 130 |
| Şekil 15.10. | GTAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kök kısımlarından elde edilen sertlik değerleri..... | 131 |
| Şekil 15.11. | SMAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri | 131 |
| Şekil 15.12. | SMAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri | 131 |

TABLULAR DİZİNİ

| | |
|---|-----|
| Tablo 3.1. Termoplastik malzemelerin kaynak yöntemleri | 16 |
| Tablo 4.1. DIN 8528-1' e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler | 22 |
| Tablo 5.1. Çalışma gerilimi akım şiddetleri | 24 |
| Tablo 5.2. Kaynak yöntemlerine uygun kaynak akımı ve polarite..... | 26 |
| Tablo 5.3. Kaynak sembolleri ve kaynak şekilleri | 34 |
| Tablo 6.1. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinde bulunan elementlerin % sınırları ve etkileri | 38 |
| Tablo 7.1. Ark atom kaynağında kullanılan ağız şekilleri..... | 50 |
| Tablo 12.1. Farklı standartlar için ön ısıtma/ pasolar arası sıcaklık bekleme band genişliklerinin karşılaştırılması..... | 94 |
| Tablo 12.2. PWHT bekleme band genişliklerinin karşılaştırılması..... | 94 |
| Tablo 12.3. PWHT için eksenel sıcaklık değişiminin kontrol gereklilikleri | 97 |
| Tablo 12.4. Termokupl verileri..... | 100 |
| Tablo 14.1. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin %kimyasal bileşimi..... | 120 |
| Tablo 14.2. GTAW kaynak yönteminde uygulanan kaynak parametreleri | 122 |
| Tablo 14.3. SAW kaynak yönteminde uygulanan kaynak parametreleri | 123 |
| Tablo 14.4. SMAW kaynak yönteminde uygulanan kaynak parametreleri | 124 |
| Tablo 14.5. Kaynak sonrası numunelere uygulanan ısıtma işlem parametreleri..... | 125 |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| A | : Amper, (A) |
| Al | : Alüminyum |
| b | : Ağız genişliği |
| C | : Karbon |
| Ca | : Kalsiyum |
| C ₂ H ₂ | : Asetilen |
| C ₃ H ₈ | : Propan |
| C ₄ H ₁₀ | : Bütan |
| CH ₄ | : Metan |
| Co | : Kobalt |
| Cr | : Krom |
| Cu | : Bakır |
| Fe | : Demir |
| H | : Hidrojen |
| Hz | : Hertz, (Hz) |
| I | : Kaynak akımı, (i) |
| L | : Kaynak uzunluğu, (mm) |
| Mn | : Mangan |
| Mo | : Molibden |
| N | : Newton |
| Ni | : Nikel |
| O | : Oksijen |
| Pb | : Kurşun |
| Si | : Silisyum |
| V | : Vanadyum |
| V | : Volt, (V) |
| Q | : Kaynak ağzının kesiti |
| W | : Volfram |

Kısaltmalar

| | |
|------|---|
| AC | : Alternating Current (Alternatif Akım) |
| AISI | : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü) |
| ASME | : American Society of Mechanical Engineering (Amerikan Makine Mühendisliği Topluluğu) |
| DC | : Doğru Akım |
| DIN | : Alman Standardı |
| GTAW | : Gas Tungsten Arc Welding (Argon Kaynağı) |
| HAZ | : Heat Effected Zone (Isıdan Etkilenmiş Bölge) |

| | |
|------|--|
| ISO | : International Organization of Standardization (Uluslar arası Standart Organizasyonu) |
| ITAB | : Isı Tesiri Altındaki Bölge |
| LPG | : Liquefied Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) |
| MAG | : Metal Active Gas |
| MIG | : Metal Inert Gas |
| NACE | : National Association of Corrosion Engineers (Ulusal Korozyon Mühendisleri Cemiyeti) |
| PWHT | : Post Weld Heat Treatment (Kaynak Sonrası Isıl İşlem) |
| RCF | : Refrakter Seramik Fiber |
| SMAW | : Shielded Metal Arc Welding (Gazaltı Kaynağı) |
| SAW | : Submerged Arc Welding (Tozaltı Kaynağı) |



13 Cr Mo 4-5 YÜKSEK SICAKLIK DİRENÇLİ ÇELİK KAYNAKLI BAĞLANTILARININ TEKRARLI ISIL İŞLEM KOŞULLARINDA DAYANIM ÖZELLİKLERİNİN DEĞİŞİMİ

ÖZET

H₂S gibi kükürt içeren ortamlarda çalışacak rafineri ekipmanlarının NACE (National Association of Corrosion Engineers) standartlarına göre korozyon dirençlerinin sağlanması amacıyla, özellikle kaynaklı bağlantıların tekrarlı ısıl işlemlere tabi tutulması yaygın başvurulan bir yöntemdir. Kaynaklı bağlantı içeren bu tür basınçlı kapların kaynaklı imalat, kaynak tamiri ve olası bir, ikinci kaynak tamiri durumlarını takiben en az 3 defa, kaynak sonrası gerilme giderme ısıl işlemlerine maruz kalacağı göz önünde bulundurularak 3 farklı kaynak yöntemi ile birleştirilen SMAW (Shielded Metal Arc Welding), GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), SAW (Submerged Arc Welding) bağlantılara, ASME Sec VIII Div. 1 gereksinimleri çerçevesinde gerilme giderme tavanın sıcaklık ve süre olarak üst limitlerinde 3 çevrim, alt limitlerinde ise 1 defa uygulanan gerilme giderme ısıl işlemleri sonrası kaynak ve ısıdan etkilenmiş bölgelerinde sertlik ile çentik darbe tokluğu testleri yapılmıştır. Her ısıl işlem sonrası alınan numunelerle yapılan testlerden elde edilen mekanik değerlerin değişimi gözlenerek, tekrarlı ısıl işlem durumunun farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilen bağlantılarda amaçlanan iyileşmelere gerçekten neden olup olmadığı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: 13 CrMo 4-5, Isıl İşlem, NACE, Tekrarlı Isıl İşlem, Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Çelikler.

CHANGE OF 13CrMo4-5 CREEP RESISTANT STEELS MECHANICAL PROPERTIES UNDER CYCLIC POST WELD HEAT TREATMENT CONDITIONS

ABSTRACT

Cyclic post weld heat treatments are widely used common processes to maintain corrosion resistance of welded joints which are expected to endure at H₂S environments according to NACE (National Association of Corrosion Engineers). In consideration of a pressure vessel may have a welded joint, a repair weld and an additional repair weld, vessel may be subjected to three consecutive post weld heat treatments. Three different welding methods applied on (SMAW, GTAW, SAW) plates of 13 CrMo 4-5 (P11) subjected to cyclic post weld heat treatments at maximum time/temperature conditions 3 cycles and at minimum time/temperature conditions 1 cycle as per ASME Sec. VIII Div.1 requirements. In the sequel, change of toughness and hardness values observed at weld and heat affected zones. As the observation of change on mechanical test results of test pieces which are taken after each post weld heat treatment cycle, cyclic heat treatments benefits on different weld methods have been investigated.

Keywords: 13 CrMo 4-5, Cyclic Heat Treatment, Heat Resistant Steels, NACE, Post Weld Heat Treatment.

GİRİŞ

Petrol endüstrisinin ilgi alanındaki ham petrol ve doğal gaz gibi ürünler yüksek miktarda H₂S içerdiğinden SSC (Sulfide (H₂S Stress Cracking)) bu sektör için özel bir önem arz etmektedir. H₂S ile temas halinde bulunan ekipmanlar petrol ve gaz üertim ortamları için NACE MR0175/ISO 15156, petrol ve gaz rafinasyon ortamları için MR10103/ISO17945'e göre H₂S ortamında çalışan ekipmanlar 'Sour Service' olarak değerlendirilir.

1960'ların sonunda karbon çeliklerinden imal edilmiş (ASME Section IX, P number 1) rafineri boru ve ekipmanlarında, sertliği yüksek kaynak metalllerinde bir dizi SSC meydana geldiği gözlemlendi. Yapılan incelemeler bu yüksek sertliğin aktif tozların (Alaşım elementi içeren tozlar) kullanıldığı tozaltı kaynakları ile yüksek mangan ve silikon içeren gazaltı kaynaklarında oluştuğunu gösterdi. Petrol rafinasyon endüstrisi bunun üzerine uygun olmayan kaynak sarf malzemelerinden ileri gelen yüksek sertliklerin önlenmesi için, belli servis koşullarında çalışacak karbon çeliklerinde kaynak metali sertlik değerlerinin 200 HB (Hardness Brinnell) ile sınırlanması kriterini getirdi.

Şu anda karbon çeliklerin sertlik limiti olan 200 HB, homojen olmayan bölgeler ve ölçüm toleransları hesaba katıldığından NACE MR0175/ISO 15156 da verilen 22 HRC (Hardness Rockwell C) (237 HB) değerinden daha da düşüktür.

1980'lerin sonlarına doğru 200 HB değerini karşılayan pek çok karbon çelik ekipmanda çatlak oluşumları gözlenmeye başladı. Bu çatlakların bazılarının sebebi olarak başka bir tür hidrojen hasarı olan SOHIC (Stress Oriented Hydrogen Induced Cracking) oluştuğu tespit edildi. Bu çatlaklar temel olarak hem yüksek hem de düşük sertlik gösteren HAZ (Heat-affected zone) bölgelerinde görülüyordu.

Ayrıca kaynak metalinde 200 HB değerini karşılayan kaynaklarda da HAZ'da SSC rapor edilmişti. Bu örneklerden alınan ölçümler HAZ'ın genellikle 240 HB üzerine çıktığını gösterdi. Ancak HAZ ölçümleri NACE RP0472'nin önceki revizyonlarında kapsam dışındaydı ve ölçümler kaynak metaliyle sınırlı tutulmuştu.

1991'de korozyon danışmanları, korozyon mühendisleri ve rafineri alanından diğer bir çok uzmandan oluşan NACE çalışma grubu T-8-7, bu standardın tüm kaynak alanı ve korozif petrol ortamlarına maruz kalan kaynakların servis içi çatlak mekanizmalarını da kapsayacak şekilde daha kapsamlı hale getirilmesi gerektiğine karar verdi.

Tecrübeler HAZ sertlik değerlerinin imalat koşullarında taşınabilir sertlik ölçme cihazlarıyla ölçülmesinin mümkün olmadığını gösterdi. Bu nedenle rafineri ekipmanları üreten imalatçılar, HAZ sertliğinin kontrol altında tutulması amacıyla aşağıdaki yöntemlerden bir veya bir kaçını kullanıyorlar:

- Kaynak edildiğinde daha düşük sertleşme eğilimi gösteren, kimyasal yapısı kontrol edilmiş ve onaylanmış ana metaller.
- PWHT uygulaması.
- HAZ sertliklerinin laboratuvar ortamında ölçüldüğü, kalifiye edilmiş kaynak yöntemleri (PQR – Production Qualification Record).

Diğer yandan PWHT'nin yanlış uygulanması, kalıntı gerilmelerle çalışma yüklerinden kaynaklı gerilmelerin bir araya gelerek dizayn limitlerinin üzerine çıkmasına da neden olabilir. Bu da kaynak çatlakları ve gevrek kırılma davranışı riskini yükseltmektedir.

Bazı durumlar ise malzemenin tekrarlı PWHT uygulamalarına tabi tutulmasını gerektirebilir. Özellikle korozyon direncinin söz konusu olduğu imalatlarda bu tekrarlı PWHT talepleriyle sıklıkla karşılaşırız. Ancak PWHT'nin yanlış, eksik veya fazla uygulanmasının yarardan çok zarar getirdiği düşünüldüğünde, özellikle basınçlı kap imalatlarında korozyon endişesiyle başvurduğumuz bu tekrarlı PWHT uygulamalarının malzemenin mekanik özelliklerinde nasıl değişimlere neden olduğu bir soru olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalıřmada korozyon direnci endiřesiyle, 13 Cr Mo 4-5 dūřuk alařımlı yūksək sıcaklık dirençli elik malzemede, minimum ve maksimum sıcaklık/zaman parametreleri ile gerçekleřtirilen tekrarlı PWHT iřlemlerinin GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), SMAW (Shielded Metal Arc Welding) ve SAW (Submerged Arc Welding) kaynak yūntemleri ūzerindeki etkileri arařtırılmıřtır.



1. YÜKSEK SICAKLIĞA DİRENÇLİ ÇELİKLER

Yüksek sıcaklık dirençli çelikler 260 °C – 1200 °C arasında, mukavemetlerini, korozyon ve/veya aşınma dirençlerini ve stabilitelelerini koruyabilen çelik türlerini tarif etmektedir. Bu çelikler genellikle kazanlarda, fırınlarda, güç istasyonlarında, türbin motorlarında, soğutma sistemlerinde, petro-kimya tesislerinde kısacası proses sonucu yüksek sıcaklıkların açığa çıktığı hemen her yerde, mukavemet özelliklerini korumalarının yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda mikro yapılarının da stabil kalabilmesi sebebiyle kullanım alanı bulurlar [1].

1.1. Alaşimsız Çelikler

Alaşimsız çeliklerin yapılarında az da olsa mangan, silisyum, oksijen, azot ve kükürt gibi elemanlar içeren demir-karbon alaşımlarıdır. Alaşimsız çeliklerin maliyeti ucuz ve işlenebilirliği kolay şekillendirilebilmektedirler. Mekanik özellikleri, içerisinde bulunan karbon elementinin miktarına bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde üretilen çeliklerin büyük bir çoğunluğu bu tip çeliklerdir. Sertleşebilme yetenekleri az olmakla beraber sertleştirme işlemlerinin ardından sertleştirilen malzemede çatlama ve çarpılmalar oluşur. Büyük et kalınlığına sahip malzemeler ise istenilen seviyede sertleştirilemezler. Korozyon direnci dayanımları azdır. Alev ve induksiyon ile yüzey sertleştirme işlemi yapılabilmektedir. İçerisindeki karbon miktarlarının oranına göre alaşimsız çelikler üç kısma ayrılmaktadır:

- Düşük karbonlu çelikler : İçerisinde %0,05-0,03 civarında karbon bulundurulur.
- Orta karbonlu çelikler : İçerisinde %0,3-0,08 civarında karbon bulundurulur.
- Yüksek karbonlu çelikler : İçerisinde %0,8-1,7 civarında karbon bulundurulur.

Düşük karbon içeren çelikler sertleştirilemezler, bu çeliklerin uygun yöntemler ile yüzeylerinin sertleştirilmesi yapılabilir. Orta karbonlu çelikler ise ısıtma işlem yöntemleri

uygulanması uygundur, dayanımları düşük karbonlu çeliklerin dayanımlarına göre daha yüksektir. Yüksek karbonlu çeliklerin ise sünekliliği azdır. Yumuşatma tava uygulanarak talaş kaldırma işlemine olanak sağlanabilir [2,3].

1.1.1. Karbon çeliklerinin kaynak kabiliyeti

Bu tür çeliklerin kaynak kabiliyetleri oldukça iyidir. Örneğin, S235JR EN ISO 12952 Basınçlı Kaplar İmalat Standardına göre 150 mm'ye kadar ön ısıtma gerekmeden kaynak işlemi yapılabilir. S355J2 yüksek Mn oranı nedeniyle (%1,3) 25 mm'den sonra 80-100 °C aralığında bir ön ısıtma işlemi yapılabilir. Amerikan standartlarına (ASME Section II) göre kazan üretiminde en çok kullanılan SA-192 ve SA-106 Gr. B gibi çelikler de yüksek et kalınlıklarına kadar herhangi bir ön ısıtma veya kaynak sonrası ısıl işlem gerekmeden kullanılabilirler. Bu çeliklerde, diğer düşük alaşımli çelikler ve paslanmaz çelikler haricinde yüksek alaşımli çeliklerde olduğu gibi kaynak kabiliyetine etki eden en önemli etken karbon eşdeğeridir.

1.2. Alaşımli Çelikler

Alaşımli çeliklerin elde edilmesi sade karbonlu çeliklerin içerisine alaşım elementlerinin eklenmesi ile gerçekleştirilir. Alaşımli çeliklerin üretilmesi ile, sade karbonlu çeliklerin kullanımında karşılaşılan birkaç dezavantaj azaltılarak, çeliğin uygulama alanları genişletilmiştir [2]. Çeliklere, alaşım elementi eklenmesinin avantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

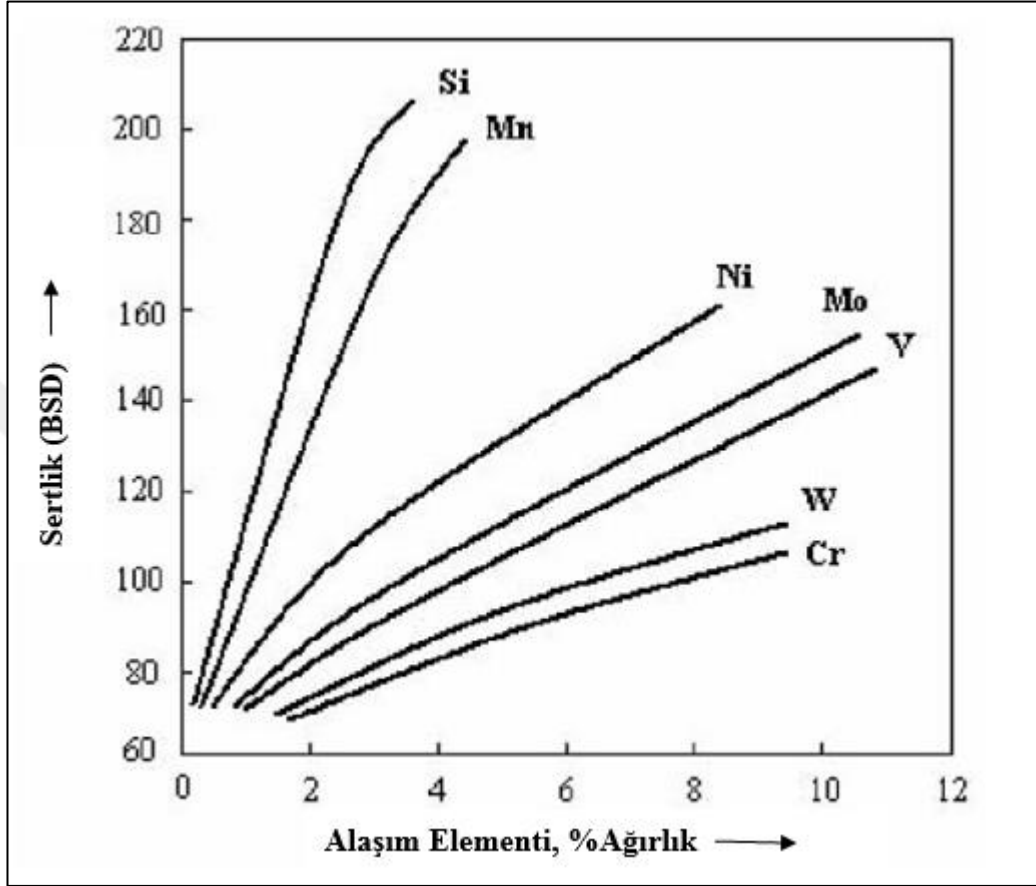
- Kalın cidarlı parçaların derinlik boyunca sertleştirilebilme imkanı ortaya çıkar.
- Sade karbonlu çeliklerin bütün kesiti boyunca martenzitik bir yapı oluşturmak için çeliklerin çok hızlı bir şekilde soğutulması gereklidir. Bu hızlı soğutma durumu çarpılmaların ve çatlamların oluşma riskini arttırmaktadır. Oysa ki alaşımli çeliklerin, yağ ve havada gerçekleştirilen soğutmalarında da kolaylıkla martenzitik yapı oluşturmak mümkündür.
- Alaşımlama yöntemi ile bazı çeliklerin darbe dayanımları büyük bir ölçüde yükseltilebilmektedir.
- Sade karbonlu çeliklerin korozyona dirençleri oldukça zayıftır. Yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında kolaylıkla oksitlenir. Alaşımlama yöntemiyle çeliklerin korozyon dayanımları büyük oranda arttırılmaktadır.

- Alaşımli çeliklerin yüksek gerilme ve süneklik değerleri korunabilirken, temperleme işleminde daha da yüksek temperleme sıcaklığının uygulanmasına imkan sağlanır.
- Alaşımli çelikler, düşük ve yüksek sıcaklık çalışma koşullarında, büyük ölçüde mekanik özelliklerini koruyabilirler.
- Alaşımli çeliklerde, aşınma direnci ve yorulma davranışı, bazı alaşım elementlerin katkısı ile büyük miktarda artış göstermektedir [4].

Alaşımli çelikler, alaşımsız çelikler ile oluşturulamayan, yüksek sertlik ve mukavemetin birlikte bulunmasının arzulandığı durumlarda kullanılmaktadır. Bu sebeple alaşımsız çeliklerin içerisine nikel (Ni), krom (Cr), molibden (Mo), mangan (Mn), silisyum (Si), volfram (W), vanadyum (V) ve bazen de kobalt (Co), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) alaşım elemanları ilave edilerek alaşımli çelikler üretimi yapılmaktadır [5,6]. Alaşımli çeliğin ihtiva ettiği Mo, Mn, Cr veya Ni elementleri çeliğin sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Bu şekilde çelikte, kalın cidarlı parçalarda, martenzit oluşumu kolaylaşacağından, parçanın sertliği büyük miktarda yükselmektedir. Bu amaçla %0,2 - 0,6 C ile çeliğin içerisine %2-7 oranlarında alaşım elementi ilavesinin yapılması yeterli olmaktadır. Alaşımli çeliklerden, az Mn ilaveli çeliklerde düşük soğuma hızlı, yağ ortamında ve içerisinde az oranlarda Cr-Mo-W ilaveli olan çeliklerde daha yavaş soğuma ortamı olan havada soğutularak martenzitik yapı meydana getirmek mümkündür.

Martenzitik yapı oluşumu sonrası, sertleştirilme işlemi yapılmış çeliklerde, temperleme işlemi ile istenilen mukavemet ve toklukta bileşim elde edilebilmektedir. Düşük alaşımli çeliklerde, ferrit ve östenit fazının içerisinde alaşım elementlerinin büyük oranda çözünmesinden dolayı ekstra bir ısıl işlem gereksinimine duymadan iyi seviyelerde çözümlenmesi oluştururlar. Beynit fazının oluşumu bu tip çeliklerde, kolaylaşmasından dolayı, kaynak edilebilme yetenekleri kısmen artmaktadır [7]. Düşük alaşımli çelikler, krank millerinde, yaylarda, cıvatalarda, basınç kaplarında, bağlantı elemanlarında, oto millerinin üretiminde, uçak parçalarının yapımında yaygın bir biçimde uygulama alanı bulmaktadır. Alaşımli çelikler, karbondan başka elementlerin katıldığı, kendine has karakteristik özelliklere sahip olan çelikler olarak tanımlanmaktadır [2]. Alaşımli çeliklerin alaşım elementlerindeki dağılımı ve meydana getirdikleri yapılar, çeliğin kimyasal içeriğine bağlı olarak değişmektedir.

Bu alaşım elementlerin sayısı ve oranı arttırıldığında çelik içerisindeki etkileşimler ve bunun sonucunda meydana gelen oluşumlar (Şekil 1.1) çok daha karmaşık olabilmektedir.



Şekil 1.1. Fe₃C içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri [8]

1.2.1. Krom-Molibden çelikleri

Krom-molibden çeliklerinin kimyasal bileşimlerinde %0,38-0,43 C, %0,15-1 Mo ve %0,5-9 Cr bulunmaktadır. Alaşım elementi oranlarının ve miktarının farklılığından dolayı, her alaşım elementi malzemesinin, oluşturdukları çeliklere, fiziksel ve kimyasal bakımdan özelliklerinin etkisi farklı olmaktadır. Bu tip çelikler AISI standartlarına göre 41XX simgesiyle gösterilmektedir.

İmal ediliş yöntemine göre, bileşimindeki ilave alaşım elementine göre, ısıl işlem koşullarına göre, düşük alaşımli Cr-Mo'lu çelik, ısıl işlenebilirliği düşük alaşımli çelik veya ıslah çeliği de denilmektedir. Bileşimindeki bulundan yeterince karbon miktarıyla alaşım elementleri sebebiyle sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah edilmiş

durumunda belirli bir çekme dayanımına sahip yüksek tokluk direnci gösteren makine imal çeliği olarak da adlandırılmaktadırlar [9].

Krom, çeliğe temel olarak ilave edilen alaşım elementlerinden birisidir. Kritik soğuma hızınının düşürmesinin yanısıra yüksek sertlik dayanımı ile aşınma dayanımı sağlayan ve hidrojen gazına karşı dayanıklı olan karbürler oluşturmaktadır. Sertleştirme ve tane küçültme etkileri bulunmaktadır. Düşük karbon içeren çeliklerin içerisinde %12'in üzerinde Cr bulunması çeliklere paslanmaya ve asitlere karşı korozyon direnci kazandırmaktadır. Krom içeriğinin %17'yi aştığı durumlarda çeliklerin, ısıya ve yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanıklılığı oluşur. Cr ile beraber Mn, Mo, V ve Ni ile ısıya dayanımını ve aşınmaya karşı dayanımını daha da arttırmak olasıdır. Cr oranının artmasıyla çeliğin kaynak edilebilirliği azalmaktadır. Alaşım içerisinde her %1 Cr artışında malzemenin çekme dayanımında 80-100 (N/mm²) artma görünür. Ayrıca aynı oranda olmasa da akma sınırında yükselme meydana gelerek çentik darbe tokluğunda düşüş meydana gelir [2].

Mo, γ ve α -demirinde sınırlı oranda çözünen ve güçlü bir karbür meydana getiren elementtir. Aşınma dayanımını, temper gevrekliğini önlemede, sertleşme derinliğini ve kesme yeteneğininin geliştirilmesinde önemli etkileri bulunmaktadır. Cr elementinin çelikler üzerindeki gerilmesini ve yüksek sıcaklık sertliğini arttırması gibi özelliği Mo elementinde de vardır. Cr, Cr-Mn'lı çeliklere %0,3-0,5 Mo eklenmesi ile diğer alaşımli çeliklere nazaran, meydana gelecek temper gevrekliğini büyük oranda azaltmaktadır. Sade Mo içeren çelikler (40XX ve 44XX) genelde karbürленerek yaygın olarak şaft ve transmisyon dişli çarklarında kullanılırlar [10]. Cr-Mo'lu çeliklerin kaynak kabiliyetleri iyi, sünekliğinin yanı sıra derinliğine de sertleşebilen çelik çeşitlerindedir. Uçak parçalarının imalatında, otomobil millerinin imalatında ve basınca dayanıklı kapların imalatında kullanılırlar. Bu çelikler aşınma dirençlerine ve yüksek yorulma dirençlerine sahip olmakla beraber tokluk özellikleri de iyi olan çeliklerdir [5,10].

1.2.2. Karbon-Molibden çelikleri

%0,50 Mo ve %0,20 civarı C içeren çeliklerdir. Bu malzemeler de karbon çelikleri ile aynı sıcaklık aralıklarında kullanılmaktadır, ancak Mo ilavesi ile yüksek sıcaklıklarda sürünmeyi iyileştirirken, yük altında daha uzun süreli bir dayanım sağlar.

%0,5 Mo Çeliği: Bu çeliklerin de maksimum servis sıcaklıkları 450 °C'ler düzeyindedir. Bu sıcaklıkların üzerinde grafitlenme sebebiyle çalışma esnasında problemler oluşabilir. Cr'lu çelikler grafitlenmeye karşı epey dirençlidir ve bu nedenle 455 °C üzerinde tercih edilmektedirler.

Karbon – Molibden Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetleri:

Bu çeliklerin uygulamada en yaygın olarak kullanılanı 16Mo3 çeliğidir. Bu çelikte yine 30 mm et kalınlıklarına kadar ön ısıtma ve kaynak sonrası ısıl işlem gerektirmeksizin kaynaklanabilir. 30 mm üzeri et kalınlıklarında ise 100 °C kadar bir ön ısıtma, kaynak sonrasında ise 580-600 °C arasında bir gerilme giderme tavlama yapıldığında son derece sorunsuz bir şekilde kaynak edilebilir.

1.2.3. Krom-Vanadyum-Molibden çelikleri

Çok daha yüksek sürünme dayanımının gerektiği yerlerde, gerilme değerlerinin 540 °C' ye kadar olan uygulamalarda malzemenin ömrü boyunca %1'den daha düşük bir deformasyona izin verdiği durumlarda kullanılırlar. En çok bilinen kompozisyon %9 Cr, %1 Mo ve %0,25 V alaşımlarıdır. Bu çelikler çok yüksek sıcaklık dayanımı ve mukavemete gereksinimi duyulan, rotorlar, türbin gövdeleri ve bunların saplamaları gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar [11].

Krom -Molibden -Vanadyum Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetleri:

Bu çeliklerin en çok kullanılan türleri yukarıda da bahsi geçtiği şekilde, (13CrMo4-5) SA-355 P12 , (10CrMo9-10) SA-355 P22, (X10CrMoVNb9-1) SA-355 P91 ve yaklaşık alaşımlardaki türleri olarak sıralanabilir. Bu çeliklerin kaynağında dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ön ısıtma değerlerinin uygun aralıklarda seçilmesidir. P11 ön ısıtmasız kaynağı pek çok standartta riskli görülür ve uygulama esnasında tüm et kalınlıkları için 120 °C ön tav tavsiye edilir. Kaynak sonrası 650-

705 °C civarında gerilme giderme tavı basınçlı kap sektöründe genellikle ön görülür. P22 çeliği ise prensip olarak tüm et kalınlıklarında 150 °C ön ısıtma kaynak edilmelidir. Kaynak sonrası 675-760 °C arası bir gerilme giderme tavı şiddetle tavsiye edilir. Buraya kadar olan alaşımlar için TIG kaynağı uygulandığı takdirde 8 mm'ye kadar ön ısıtma uygulanmadığı durumlar olabilir. Ancak bu çevre koşulları da göz önünde bulundurulduğunda pek tavsiye edilmez. P91 ve türevleri 204 °C ön ısıtma ve 300 °C civarı pasolararası sıcaklık değerlerine uyularak kaynatılmalı ve kaynak sonrası mutlaka ısıl işlem yapılmalıdır. Tüm bu çelikler bahsi geçen kaynak parametrelerine uyulduğu sürece iyi seviyede kaynak kabiliyetlerine sahiptirler.

Kaynakta kullanılan dolgu malzemeleri ana malzeme ile aynı türdendir. Eğer farklı alaşımda iki malzemenin birbirine kaynak edilmesi durumu söz konusu ise, düşük seviye malzemeye uygun alaşımlı dolgu malzemesi kullanılması uygundur.

2. KAYNAK TEKNOLOJİSİ VE GÜNÜMÜZ ENDÜSTRİSİNDEKİ ÖNEMİ

Kaynak teknolojisi kendini yenileyerek sürekli gelişim gösteren bir sektördür. Kaynak işleminin bu şekilde hızlı gelişimi, özellikle savunma ve uzay teknolojilerinin gelişmesindeki beklentilerin bir sonucu olarak meydana gelmektedir. Günümüzde kaynak teknolojisi gibi çok sayıda kullanılan birleştirme tekniği bulunmaktadır. Günümüzdeki sorun birleştirme işleminin nasıl oluşturulacağından ziyade, en iyi birleştirme işleminin nasıl seçilip yapılacağıdır. Her birleştirme yöntemin kendine özgü özellikleri bulunmaktadır ve birleştirme için uygun yöntemin seçiminde gerekli birçok özelliğin değerlendirilmesi gereklidir. Mukavemet, imalatının kolaylığı, düşük maliyet, uzun ömür, korozyon direnci ve görünüş gibi etmenlerin göreceli önemi yapılan birleştirme işlemine bağlı olmaktadır.

Kaynak uygulamalarının tarihteki ilk örneklerine bronz çağından itibaren rastlanılmıştır. Bu dönemde insanlar altın malzemeleri birbiri ile kaynak etmeyi keşfetmişlerdir. Birinci Dünya Savaşı'nda ise artan silah ihtiyacının karşılanabilmesi için kaynak uygulamalarında hızla gelişmeler ortaya çıkmıştır. Günümüzde ise endüstriyel alanda meydana gelen gelişmeler ve yeni malzemelerin buluşu, kaynak yöntemlerinde de yeni gelişmelerin hızla oluşmasına imkan vermektedir. Aynı zamanda yeni kaynak metodlarının gelişmesi, kaynak güç üniteleri ve kontrollerinde de yeni gelişmelerin önünü açmaktadır [20].

Ülkemizde kaynaklı birleştirme ilk defa 1920 senesinde İstinye ve Gölcük tersanelerinde uygulanmaya başlanmıştır. Ardından Makine Kimya Endüstrisi (MKE), Sümerbank fabrikası, karayolları merkez atölyesi, Eskişehir hava ikmal merkezi ve Devlet Demir yollarının Eskişehirde bulunan fabrikasında uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemizde planlı ve ileriye dönük kaynaklı işlemlerini çalışmaya ilk defa 1937 senesinde Devlet Demir Yolları başlamıştır.

3. KAYNAĞIN TANIMI, ÖNEMİ VE SINIFLANDIRILMASI

3.1. Kaynağın Tanımı

Bir veya birden fazla metalin veya termoplastiğın, ısı veya basınç altında, ilave malzeme kullanarak veya kullanmaksızın gerçekleştirilen birleştirme işlemine “kaynak” denir. Kaynak işlemini bölgesel döküm işlemine benzediğinden dolayı bu şekilde de tanımlanabilir [21].

3.2. Kaynağın Önemi

Malzemelerin kaynak ile birleştirilmesinin öneminin anlaşılabilmesi için, diğer imalat yöntemleriyle karşılaştırılması gereklidir. Her imalat yönteminin birbirlerine göre üstünlükleri bulunsada uygulama alanlarında birbirlerine yakın işlemleride vardır.

3.2.1. Kaynak ile perçinli birleştirmenin karşılaştırılması

İş parçalarının birbirleriyle birleştirilme işleminde, kaynaklı birleştirme işleminin öneminin anlaşılabilmesi açısından perçinli birleştirme işleminin karşılaştırılması önemlidir:

- a) Kaynak yönteminde ağırlıktan, maliyetten ve işçilikten tasarruf sağlanır.
- b) Kaynaklı birleştirmenin sızdırmazlığı, perçinli birleştirmeye göre daha iyidir.
- c) Kaynaklı bağlantıların mukavemeti daha iyidir.
- d) Gemi imalatlarında kaynak ile yapılan birleştirmeler suya karşı direnç gösteremediğinden geminin hızında azalma meydana gelmez [22].

3.2.2. Kaynak ile döküm yönteminin karşılaştırılması

Kaynak işlemiyle döküm işleminin farklılıkları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- a) Kaynak işleminde model masrafı bulunmamaktadır.
- b) Et kalınlığının 6 mm'den az olması durumunda parçaların döküm yolu ile imalatı zor iken, kaynak ile üretiminde zorluk bulunmamaktadır.
- c) Çelik malzemenin döküm yöntemi ile parça üretimi işleminde zorluklar meydana gelirken, fakat aynı malzemenin kaynak ile üretimi kolaydır.
- d) Kaynaklı birleştirme işleminde üretimi gerçekleştirilen malzemelerin döküm yolu ile üretilen malzemelere göre daha hafiftir.
- e) Çok sayıda malzeme üretiminde, döküm yöntemi daha avantajlıdır [22].

3.3. Kaynağın Sınıflandırılması

Kaynak sınıflandırması, kaynak işlemi uygulanacak malzemenin cinsine göre, kaynak esnasında uygulanacak işlemlere ve kaynağın amacına göre yapılmaktadır. Kaynak işleminin malzeme cinsine göre uygulanması ikiye ayrılmaktadır:

Metal malzeme kaynağı: Metalik malzemeyi ısı veya basınç veya her ikisinin birden kullanılması ile aynı ve/veya ergime aralığı aynı olan malzeme ilave edilerek veya ilave edilmeksizin yapılan ayrılamaz biçimdeki birleştirme işlemine “Metal Malzeme Kaynağı” denilmektedir.

Plastik malzeme kaynağı: Aynı veya farklı cinsten termoplastik malzemenin ısı ve basınç altında termoplastik malzeme ilave edilerek veya ilave edilmeksizin yapılan ayrılamaz biçimdeki birleştirme işlemine “Plastik Malzeme Kaynağı” denilmektedir [22,23].

Kaynak işlemi yapılaş amacına göre ikiye ayrılmaktadır;

Birleştirme kaynağı: İki veya daha fazla malzemenin sökülemez bir bütün haline getirebilmek amacıyla gerçekleştirilen kaynak işlemine birleştirme kaynağı denilir.

Dolgu kaynağı: Bir iş parçası malzemesinin hacminde bulunan eksikliğin tamamlanması veya hacminin büyütülmesi, bunun yanı sıra korozyona karşı

direncinin veya aşındırıcı etkilere karşı korumak amacıyla üzerinde sınırlı bir alan dahilinde malzemenin kaynak edilmesidir.

Kaynak işlemleri uygulanan biçimine göre dört gruba ayrılmaktadır.

Manual kaynak: Bu yöntemde, sadece elle sevk edilen kaynak aracı vasıtasıyla yapılmaktadır.

Yarı mekanize kaynak: Bu yöntemde, kaynak aracı olarak el yerine yarı mekanize edilmiş araçla kaynak işlemidir.

Tam mekanize kaynak: Tamamen mekanize yapılmış bir araç ile yapılan işlemdir.

Otomatik kaynak: Gerek kaynak gerekse de iş parçası malzemesinin değiştirilmesi gibi tüm ana ve yardımcı işlemlerin tam olarak mekanize edilmiş olmasıdır. Bu yöntem kaynak işleminin cinsine göre ikiye ayrılmaktadır:

Ergitme kaynağı: Malzemenin sadece sıcaklığın tesiriyle bölgesel olarak eritilip, ilave malzeme eklenerek veya eklenmeden sökülemeyecek biçimde birleştirilmesidir.

Basınç kaynağı: Kaynağı yapılacak iş parçası malzemesinin genelde ilave malzeme eklenmeden basınç etkisiyle bölgesel olarak ısıtılarak sökülemeyecek biçimde birleştirilme işlemidir.

Metallerin ergitme kaynağında kullanılan enerjinin oluşumuna göre ergitme kaynağı beşe ayrılabilir:

- Yakıcı gaz ile yanıcı gazın karışımı (oksijen/asetilen)
- Bir akım devresinin kutuplarının arasında oluşan ark
- Elektrik akımı
- Sıvı
- Işıklar (Lazer ve elektronlar)

Herhangi bir kaynak yöntemini dört gereksinime cevap vermelidir. Bu gereksinimler;

- Ergitme veya basınç ile birleştirmeyi oluşturacak enerjiyi sağlamasıdır,
- Birleşme yüzeylerinde oluşacak kalıntıları yüzeyden uzaklaştıracak sistem,
- Atmosferik kalıntılar ya da bunların tesirlerinden kaçınma,

Metal kaynağının alt dalları olan ergitme ve basınç kaynakları da kendi aralarında çeşitli dallara ayrılır:

A. Eritme Kaynağı

1. Döküm eritme kaynağı
2. Elektrik direnç eritme kaynağı
3. Gaz eritme kaynağı
4. Elektrik ark kaynağı
 - a. Karbon arkı ile kaynak
 - b. Metal arkı ile kaynak
 - c. Koruyucu gaz ile kaynak (Gaz altı kaynağı)
5. TIG Kaynağı
 - a. Normal TIG kaynağı
 - b. Plazma TIG kaynağı
6. MIG Kaynağı
 - a. Normal MIG kaynağı
 - b. Aktif gazla MIG kaynağı
 - c. Metal koruyucu altında (yalıtılmı elektrod ile) kaynak
7. Tozaltı kaynağı
8. Elektron bombardımanı ile kaynak
9. Lazer ışını ile kaynak

B. Basınç Kaynağı

1. Soğuk basınç kaynağı
2. Ultrasonik kaynak
3. Sürtünme kaynağı
4. Ocak kaynağı
5. Döküm basınç kaynağı
6. Gaz basınç kaynağı
7. Elektrik direnç kaynağı
8. Elektrik ark basınç kaynağı
9. Difüzyon kaynağı [24].

3.4. Plastik Malzeme Kaynağı

Termoplastikler ile bazı yüksek dereceden polimerizasyon ürünlerinin birleştirilmesinde en güçlü ve en temiz yöntem kaynak edilerek birleştirilme yöntemidir. Bazı durumlarda kaynak sağlamlığı ana malzemenin sağlamlığına oldukça yakın değerlere ulaşabilmektedir. İyi bir kaynak elde edebilmek için sıcaklık, basınç ve zaman gibi kaynak üzerinde etkili olan parametrelerin iyi bir optimizasyonu sağlanmalıdır [25,26]. Kaynak genellikle sıcaklık uygulanması ile cisimlerin yüzeylerinin yumuşatılarak bir araya getirilmesidir [26].

Kaynak işlemlerinde birleştirilecek malzemelerin birleşim bölgelerinde oluşturulan sıcaklık sebebiyle tekrarlı bir yumuşamanın gerekliliği bu işlemin sadece termoplastik malzemelere uygulanabilen bir yöntem haline getirmiştir. Termoplastikmalzemelerin kaynak işlemlerinde, birleştirilecek malzemelerin yapı bileşenlerinin benzerlik göstermesi gerekir [25]

Termoplastik malzemelerin kaynak yöntemleri, ısı transferi yöntemleri ve ısının direkt malzemede oluşturduğu yöntemler olmak üzere iki sınıfta toplanabilmektedir. Bu sınıflandırma düzeni içerisinde bütün kaynak yöntemleri Tablo 3.1’de gösterildiği gibi belirtilmiştir [27].

Tablo 3.1. Termoplastik malzemelerin kaynak yöntemleri [27]

| Isı Transfer Yöntemleri | Isının Direkt Malzemede Oluşturulduğu Yöntemler | |
|-------------------------|---|--|
| Isıl Yöntemler | Mekanik Yöntemler (Sürtünme Esaslı) | Elektromanyetik Yöntemler |
| Sıcak Gaz Kaynağı | Döndürme Kaynağı (1-100 Hz) | Rezistans (Elektro-Füzyon İmplant) Kaynağı |
| Ekstrüzyon Kaynağı | Titreşim Kaynağı (100-250 Hz) | İndüksiyon Kaynağı (5-25 Mhz) |
| Sıcak Kama Kaynağı | Ultrasonik Kaynak (20-40 KHz) | Dielektrik Kaynağı |
| Sıcak Eleman Kaynağı | | Mikrodalga Isıtma Kaynağı |
| Infrared Isıtma Kaynağı | | |
| Lazer Kaynağı | | |

3.5. Lehimleme

İki veya ikiden fazla metalik malzemenin, kendilerinin erimeden ergime derecesinin daha aşağıda bulunan bir ilave metalin ergimesi ile birleşir ise, bu birleştirme işlemine “lehimleme” adı verilmektedir. Lehimleme işleminin yapılmasında ayrıca bir dekapan kullanılmaktadır.

3.5.1. Lehimleme usulüne göre sınıflandırma

- Alev ile lehimleme
- Havya ile lehimleme
- Blok ile lehimleme
- Fırında lehimleme
- Daldırma ile lehimleme
- Hareketli lehim banyosunda lehimleme
- Endüksiyon ile lehimleme
- Direnç ile lehimleme
- Ekzoterm lehimleme [22].

3.5.2. Lehim yerinin biçimine göre sınıflandırma

- Kapiler lehimleme
- Lehim kaynağı

Lehimleme sıcaklığına göre sınıflandırma:

- Yumuşak lehimleme
- Sert lehimleme

Lehimin veriliş şekline göre sınıflandırma:

- Lehimin, işlem esnasında verilmesiyle yapılan lehimleme
- Lehimin, işlemden önce verilmesiyle yapılan lehimleme

4. KAYNAK KABİLİYETİ

Kaynaklı birleştirmelerde denk gelinen kırılmaların, ITAB'ta oluşan bir hatadan ya da malzeme meydana gelmiş çatlaktan başlayarak ilerlediği görülmektedir. Kaynaklı birleştirmelerde bu tarz kırılmaların oluşumunu engellemek için, kaynak esnasında, ITAB'ta meydana gelen olayların bilinmesi, ortaya çıkan yapının mekanik özelliklerinin hassas bir biçimde belirlenmesi ve bunların tasarım kriteri olarak göz önüne alınması gerekmektedir [28].

Bir kaynaklı birleştirmenin özelliğine etkiyen etkenlerin en önemlisi kaynak sırasında uygulanan sıcaklığın dağılımı ve değişimi karşısında ana metal malzemenin davranışdır. (Tablo 4.1) Neredeyse bütün kaynak yöntemleriyle kaynağı yapılan malzemenin kaynak bölgesinde ergime ya da malzemenin solidüs eğrisine yakın sıcaklığa ısıtılmasını gerektirmektedir. Bu sıcaklığa kadar ısıtılarak ardından soğutulan, metalik malzemenin iç yapısında değişikliklere sebep olduğu gibi; sıcaklığın yüksek olması, kaynak metalik malzemesi, oluşan curuf, ana metal ve ortamın atmosferi arasında bazı kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine neden olur [28].

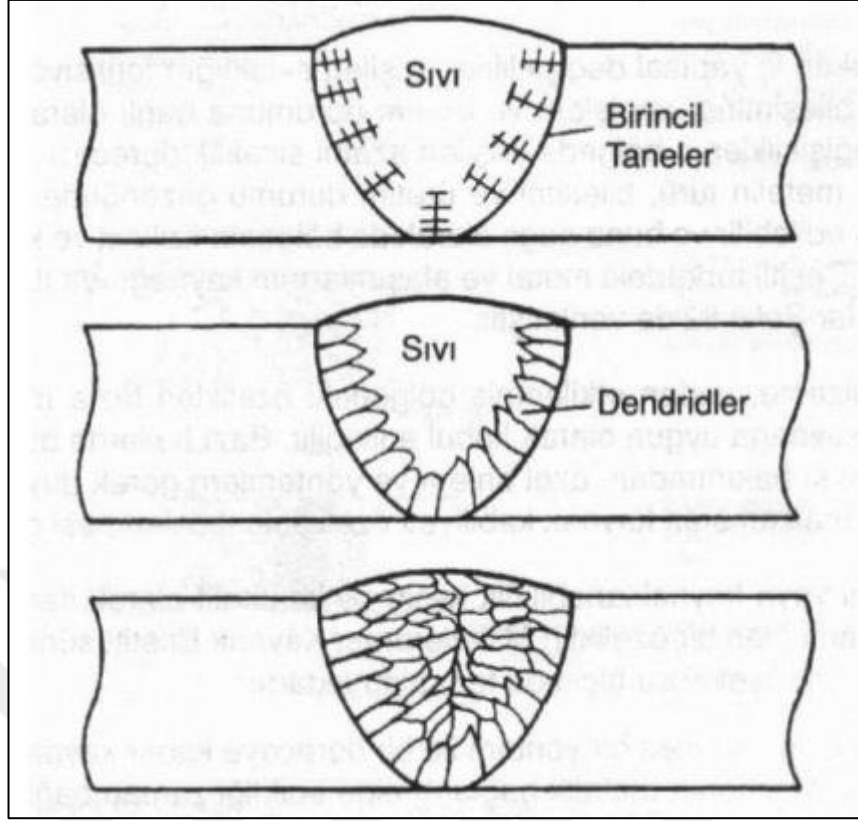
Ergitme kaynak yöntemlerinin tamamı temelde döküm işlemini anımsatır. Kaynak metali, elektrik arkı ya da gaz alevinin yüksek sıcaklığı karşısında ergir ve önceden hazırlanmış kaynak ağzının içerisine dökülmektedir. Bu sırada kaynak ağzı kenar yüzeylerinin bir kısmı ergir ve ergimiş olan metal ile ana metal karışarak kaynak ağzının içerisinde katılaştır. İşlem esnasında, kaynağı yapılan malzemelerin kaynak dikişinin bitişik bölümlerinde, metalin ergime sıcaklığından ortamın sıcaklığına ulaşınca kadar, farklı sıcaklık düzeylerinde ısınmış bölgeler meydana gelir [28].

Kaynaklı bağlantının bulunduğu ve kaynak işlemi esnasında oluşan sıcaklıktan etkilenen bölgelerin tamamına kaynaklı bölgelerin adı verilir. Bu bölgeler, ergime ve ITAB bölgesi olmak üzere iki bölgeden oluşmaktadır [28].

Ergime bölgesi: Kaynak esnasında meydana gelen ısının etkisiyle ergiyen ve kaynak işlemi sonrası katılaştıran bölgeye denir. ITAB'tan, ergime çizgisi ismi verilen ergimiş ve ergimemiş bölgelerin arasındaki sınırla ayrılmaktadır. Bu sınır kaynaklı bağlantıdan çıkarılarak dağlanarak ve parlatılarak enine kesit üzerinde çıplak göz ile izlenebilir. Ergime bölgesi kaynak metali ile ana metalin karışımından meydana gelmektedir. Ergime bölgesi, ana metalin kaynak metaline oranıyla, uygulanan kaynak yöntemi ve pas miktarına bağlı olarak geniş bir aralık içerisinde değişim gösterir [29].

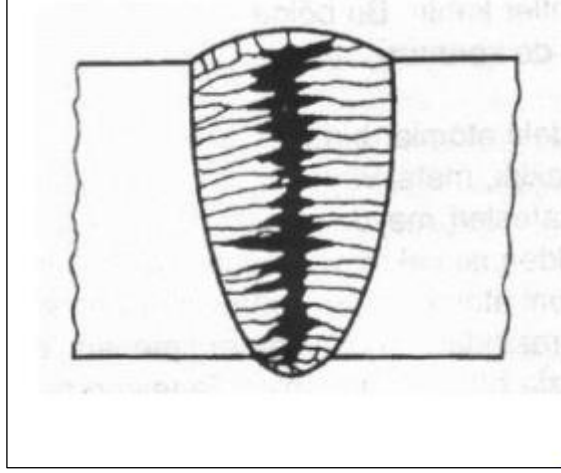
İyi bir kaynaklı bağlantı, kaynak bölgesinin atmosferin tesirinden korunmasıyla oluşturulabilir. Çünkü meydana gelen kimyasal ve metalurjik tepkimeler yalnızca bu şekilde kontrol altına alınır. Oksijen ile olan reaksiyonların kontrolü için ergime bölgesine çeşitli yöntemler ile dezoksidasyon oluşturan maddelerle yanan alaşımın elementlerinin karşılanacağı miktarda elementlerin ilavesi yapılır. Ayrıca bu bölgenin korunması curuf örtüsü ya da meydana getirilen kontrol altındaki atmosfer ile korunur.

Sıvı durumundaki metalin içinde bulunan atomlar birbirlerinin arasında hareket serbestliğine sahiptir. Soğuma esnasında, sıcaklık, metal ve/veya alaşımın katılma noktasına kadar azalınca, atomlar kristal kafeslerini oluşturarak birleşir ve çekirdekleri oluşturur. Bu esnada kaynak metalinden ısı çekilerek soğumaya devam edildiğinde çekirdekler tanelerini meydana getirmek için yeni atomların ve kristal kafeslerin ilavesiyle büyümeye devam ederler. Katılma sırasında oluşan ergime ısı doğal olarak soğuma hızına etki ederek tanelerin daha fazla büyümesini önlemektedir. Tanelerin sürekli olarak büyümesi için ısının kaynak metalinden sürekli çekilmesi gereklidir. Mekanizma Şekil 4.1'de verilmiştir [30].



Şekil 4.1. Kaynak metalinde katılaşma aşamaları [30]

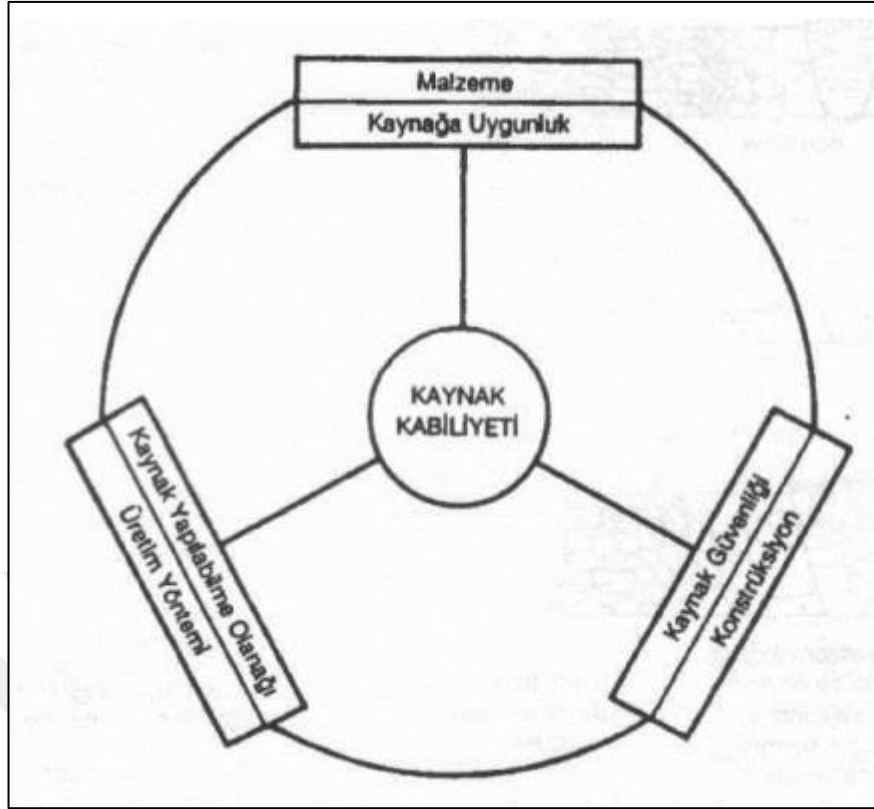
Kaynak işlemi esnasında ısı girdisinin yükselmesi, malzemenin yüksek sıcaklıklarda uzun süre tutulması, ön ısıtma uygulanması gibi faktörler, ergime bölgesindeki tanelerin iri olmasına sebep olmaktadır. Kaynak bölgesindeki soğuma hızının artırılması, tane yapısında incelme sağlasa da, gevrek bir yapı meydana getirdiğinden uygulamada tercih sebebi değildir. Kaynak metaline eklenmiş olan dezoksidasyon elementleriyle diğer bazı katkılar ergime bölgesindeki tane yapısının incelmeye yardımcı olmaktadır [29,30]. Kalın malzemelerin, tek pasoda yapılan kaynak dikişlerinde, iri tanelerin birleştiği orta kısımlara ilave edilen elementlere ve kalıntıların segregasyonuna rastlanır. Bu durum bağlantının zayıflamasına sebep olmaktadır. Oluşum Şekil 4.2’de verilmiştir [30].



Şekil 4.2. Tek pasolu kaynak dikişinde segregasyon bölgesinin görünümü [30]

Isıdan etkilenmiş bölge (ITAB): Kaynak metali ile ana metalin birleştiği ergime çizgisi adı verilen sınırdan başlayarak, kaynak işlemi sırasında sıcaklığın iç yapıyı ve etkilenen iç yapı ile metalin özelliklerinin etkilendiği bölge olarak tanımlanmaktadır.

Bir metalik malzeme, kaynağa uygun olarak kabul edilebilmesi için ITAB'taki özelliklerin fazla tahribata uğramaması gereklidir. ITAB'taki tahribatın engellenebilmesi için özel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemlerin elde edilebilmesi için kaynağı yapılacak malzemenin kaynak kabiliyetinin incelenmesi gerekmektedir [22,28]. Malzemenin kaynak kabiliyeti sadece malzemeye özgü bir özellik değil, aynı zamanda kaynağın yöntemine ve konstrüksiyona da bağlıdır. Şekil 4.3'de verilmiştir. Bir malzeme bir kaynak yönteminde çok iyi kaynak kabiliyeti göstermesine rağmen farklı yöntemde zayıf kaynak kabiliyetine sahip olabilir [28,29].



Şekil 4.3 Kaynak kabiliyetinin bağlı olduğu durumlarının şematik olarak gösterimi [28]

Tablo 4.1. DIN 8528-1'e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler [22]

| Kaynak Kabiliyeti | | | | | | | |
|----------------------------|----------------------|--------------------|------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|
| Kaynak Yapılabilme Olanığı | | | Kaynak Güvenliği | | Kaynağa Uygunluk | | |
| Kaynak Sonrası İşlemler | Kaynağın Uygulanması | Kaynağa Hazırlık | Gerilme Durumu | Konstrüktif Biçimlendirme | Fiziksel Özellikler | Metalurjik Özellikler | Kimyasal Bileşim |
| Isıl İşlem | Isı Kontrolü | Kaynak Yöntemi | Tür ve Şiddeti | Kuvvet Çizgilerinin Akışı | Genleşme Özelliği | Segregasyon | Sertleşme Eğilimi |
| Taşlama | Isının Uygulanması | İlave Malzeme Türü | Eksen Sayısı | Dikişlerin Konumu | Isı İletim Özelliği | Kalıntılar | Yaşlanma |
| Temizleme | Kaynak Sırası | Birleştirme türü | Zorlanma Hızı | Parça Kalınlığı | Ergime Sıcaklığı | Tane Büyüklüğü | Gevrek Kırılma |
| | | Ağız Biçimi | Sıcaklık | Çentik Etkisi | Mukavemet | İç Yapı | Sıcak Çatlama |
| | | Ön Isıtma | Korozyon | Rijitlik Farklılıkları | Tokluk | Anizotropi | Kaynak Metali |
| | | | | | | | Karışım Oranı |

5. ELEKTRİK ARK KAYNAĞI (SMAW)

Bu kaynak yönteminde, kullanılan örtülü elektrot kaynak metali işlevi görmektedir. Demir esaslı veya demir dışı metal ve alaşımlarının kaynak işleminde 1,2 mm üzeri kalınlıklarda parçaların birleştirilmesi işleminde her pozisyonda kaynak yapılabilmektedir.

Elektrik ark kaynağında oluşan ark, iş parçası malzemesinin kaynak elektrodu arasında yanarak kaynak metaline dönüşür. Elektrodun örtüsü de kaynak işlemi sırasında yanarak erir. Meydana gelen gaz ark bölgesini koruyarak ve oluşan curufunda kaynak dikişini örtmesiyle kaynaklı bölgenin korunmasını sağlar [31,32].

Elektrod kaynağını kullanarak değişik biçimlerde kaynak pozisyonları uygulanabilmektedir. Kaynak işleminin pozisyonları, aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya düşey kaynak oluk pozisyonunda yatay kaynak, korniş kaynağı ve tavan kaynağı, iç ve köşe birleştirmelerinde yatay kaynak şeklindedir [33].

5.1. Ark Üflemesi

Ark oluşumu sırasında elektrod ile iş parçasının arasında bulunan hava ısınarak iletkenleşir. Bu nedenle elektrik ark kaynağı işleminin yapılması sırasında meydana gelen arkın iletken olarak bilinmesi gerekir. Bunun sonucunda arkın çevresinde de manyetik alanın oluşması bir kuraldır. Oluşan manyetik alan, arkta bir oynamanın yanı sıra kaynak banyosundaki kontrolün zorlaşmasına ve bozuk dikişlerin meydana gelmesine sebep olur.

Ark üflemesine karşı alınacak önlemler:

- Akım değerinin azaltılması,
- Kök dikişini veya geniş punta yapılması,

- Derin kaynak işlemlerinde alt destek parçası kullanılması,
- Şasenin yerinin değiştirilmesi,
- Şase kablosunun bakır telle sarılarak manyetik akımının nötr hale getirmesi,
- Mümkün olduğunca kısa ark ile kaynağın yapılması,
- Elektrodun konum açısının değiştirilmesi,
- Makinenin kutuplarının değiştirilmesi,
- İş parçasının konumunun değiştirilmesi ile önlenir [33].

5.2. Elektrik Ark Kaynağıyla İlgili Bazı Deyimler

Boşta çalışma gerilimi:

Kaynak makinasının kaynak işlemine hazır durumda bulunduğu, ancak kaynak işleminin yapılmadığında kablolarla bağlantı noktalarındaki gerilim “boşta çalışma gerilimi” olarak adlandırılır.

Çalışma gerilimi:

Kaynak esnasında, kabloların bağlantı klemenslerindeki gerilim “çalışma gerilimi” olarak adlandırılır. Standart çalışma gerilimi ve buna denk gelen akım şiddetlerinin değerleri Tablo 5.1’deki gibidir:

Tablo 5.1. Çalışma gerilimi akım şiddetleri

| Volt (V) | Amper (A) |
|----------|-----------|
| 25 | 250 |
| 30 | 250-400 |
| 35 | 400 |

Ark gerilimi:

Kaynak esnasında, iş parçasıyla elektrodun ucundaki gerilim “ark gerilimi” olarak adlandırılır.

Kaynak akımı:

Kaynak esnasında, çalışma gerilimine tekabül eden akım şiddeti “kaynak akımı” olarak adlandırılır.

Nominal işletme:

Bütün kaynak çeviriminin süresi iki dakika ise; bunun %60'ı toplam yükleme süresi ve geri kalanı da boşta çalışma süresi olarak alınır ise böyle işletmeye “nominal işletme” denilir.

Ayarlama alanı:

Kaynak makinasının vereceği en az ve en çok akım şiddetlerinin belirtildiği alana verilen isimdir [22].

Devrede kalma süresi:

Kaynak makinasının yük etkisi altında çalıştığı sürenin, toplam çalışma süresine oranıyla elde edilen sürenin 100 ile çarpımı, yüzde şeklinde devrede kalma süresini vermektedir.

5.3. Kaynak Makinelerinin Sınıflandırılması

Kaynak makinelerinin özelliklerine göre sınıflandırılması bu bölümde anlatılmaktadır. Akım–gerilim karakteristiğine, çıkış akımına, polariteye göre hangi kaynak tipinde hangi güç ünitesinin kullanılması gerektiğine ilişkin bilgiler ve kaynak makineleri güç üniteleri bu kısımda incelenmektedir. Akım–gerilim karakteristiğinin nasıl çıkarıldığı da bu bölümde anlatılmaktadır.

Ark kaynağı yöntemlerinin tümünde arkın devamlılığının sağlanması için yeterli kaynak akımı ve gerilimi olmalıdır. Arkın devamlılığının sağlanması için gereken akım ve gerilim güç kaynakları ile sağlanır. Güç kaynaklarının sınıflandırılması verdikleri akım tipine göre AC ya da DC olmak üzere ikiye ayrılır. Ayrıca verdikleri çıkışa göre sabit akım ya da gerilim sınıflandırması mevcuttur [20].

Güç kaynakları çevrim oranlarına, giriş beslemesinin sağlanma metoduna ve sağlayabildiği maksimum kaynak akımına göre daha detaylı olarak sınıflandırılabilir. Giriş beslemesinin sağlanması doğrudan şebekeden ya da elektrik motoru, içten yanmalı motor gibi bir sistemle sağlanabilir. Kullanılan kaynak yöntemine göre gerekli olan güç kaynağının tablosu Tablo 5.2’de verilmektedir [34].

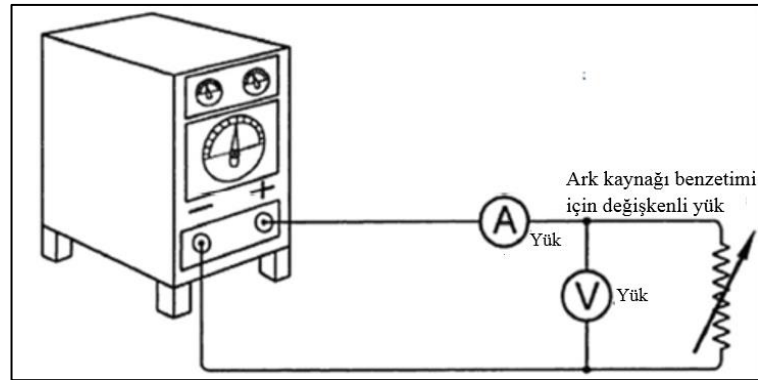
Tablo 5.2. Kaynak yöntemlerine uygun kaynak akımı ve polarite [20]

| Kaynak Yöntemi | Çıkış Karakteristiği | Çıkış Akımı Tipi | Polarite |
|------------------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| SMAW Örtülü Elektrod Kaynağı | Sabit Akım | AC ya da DC | DCEN, DCEP veya AC |
| FCAW | Sabit Gerilim | DC | DCEN, DCEP |
| Gazaltı MIG/MAG Kaynağı | Sabit Gerilim | DC | DCEP |

5.3.1. Sabit akım ve gerilim karakteristikli güç kaynakları

Kaynak makinelerinin başlıca amacı, kaynak yöntemi ne olursa olsun arkın devamlılığı için gereken akımı sağlamaktır. Ancak tüm makinelerin amaçları aynı olsa da farklı kaynak uygulamaları için birbirinden farklı karakteristikteki kaynak makinelerine ihtiyaç duyulur. Kaynak makinelerinin kaynak performansını ve ark kararlılığını etkileyen bu iki özellik makinenin statik ve dinamik karakteristikleri olarak adlandırılır [20].

Kaynak makinesinin statik karakteristiği, o makineye ait volt-amper eğrisi çıkartılarak bulunur. Bunun için resistif yükler kullanılarak test metodu uygulanır. Resistif yükler, kaynak makinesinin çıkış kutuplarına bağlanır ve kaynak arkının benzetimi yapılır. Buna ilişkin deney düzeneği Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Statik karakteristik test düzeneği [35]

Kaynak makineleri çıkış karakteristiklerine göre sabit akımlı ve sabit gerilimli kaynak makinesi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kaynak makinelerinin sabit akım

veya sabit gerilim karakteristiğinden hangisini/hangilerini taşıdığı volt-amper eğrisinden anlaşılmaktadır. Makineye ait volt-amper eğrisi resistif yükler ile gerçekleştirilen test yöntemi kullanılarak bulunabilir. Öncelik olarak devre çıkışındaki yük yokken makinenin boşa çalışma gerilimi (OCV) değeri ölçülür. Daha sonra makine en yüksek resistif yük değerine yüklenerek akım ve karşılık gelen gerilim kaydedilir. Resistif yük yavaşça azaltılarak kaynak gerilimi azalırken kaynak akımı yükselmeye başlar [35]. Her bir yük değerinin azaltımında gerilim ve akım değerleri kaydedilir. Son olarak ölçüm işlemi kısa devre yaptırılır ve bu durumdaki maksimum akım ölçülür. Bu sayede akım gerilim eğrisi elde edilmiş olur. Bu statik karakteristik olarak adlandırılır ve makinenin sabit akımlı mı yoksa sabit gerilimli mi olduğunu belirler [36].

Bir makinenin karakteristiğini belirlemek için statik özelliklerinin yanı sıra dinamik özelliklerinin de bilinmesi gerekir. Çünkü statik karakteristik belirlenirken yüklerin kaldırılması yavaş olur ve bu durum kalıcı hal olarak adlandırılır. Aynı statik karakteristiğe sahip kaynak makineleri, dinamik karakteristiklerinden ötürü farklı performans gösterebilirler. Dinamik karakteristik, kaynak geriliminin ve akımının arktaki hızlı değişimlere karşı nasıl karşılık vereceğini belirler. Kaynak esnasında arktaki değişim statik karakteristiğin aksine milisaniyeler mertebesinde. Bu nedenle dinamik karakteristiğin belirlenebileceği herhangi bir test metodu yoktur. Dinamik karakteristiğin belirlendiği arktaki geçici değişimler arkın tutuşması, ark uzunluğunun hızlı değişimleri, arkın içinde metalin transferi sırasında oluşur. Ayrıca AC kaynakta arkın sönmesi ve her bir yarım alternansta arkın yeniden tutuşması sırasında arkta geçici değişimler meydana gelir. Kaynak makinesinin dinamik karakteristiği arkta meydana gelen tüm bu ani değişimlere hızlıca cevap vermelidir. Dinamik sistemlerin iyileştirilmesi için kaynak makinelerinde endüktans ve kondansatör gibi depolama elemanları, regüleli otomatik sistemlerin kapalı döngü kontrolü ve devre çalışma frekansları üzerinde iyileştirmeler yapılabilir. Böylelikle metalin kaynak banyosuna transferi, ark kararlılığı, kaynak kalitesi iyileştirilerek sıçrıntı azaltılır [20].

5.3.2. AC ve DC güç kaynakları

Kaynak makinelerinin ortak amacı girişteki yüksek gerilimi çıkışta düşük gerilim yüksek akıma çevirerek kaynak için gereken akımı sağlamaktır. Yapılan kaynak işlemine göre çıkış akımı AC ya da DC olabilir.

AC güç kaynakları:

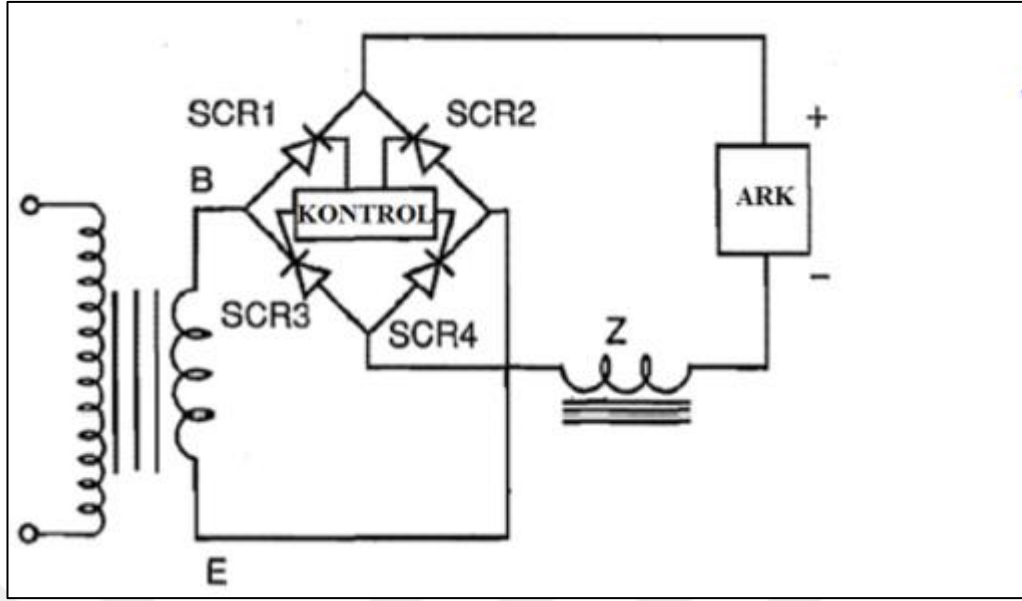
AC kaynak makineleri, girişteki yüksek gerilim düşük akımı çıkışta kaynak yapabilmek için gereken yüksek akım düşük gerilime dönüştürür. En basit yapıda olan AC kaynak makineleri transformatörden meydana gelir. Fiyat olarak ucuz makinelerdir. Genellikle sabit akım ve drooping eğrisi gösterdiğinden örtülü elektrod kaynağında sıklıkla kullanılır[36]. Transformatör aynı zamanda giriş ile kaynak devresinin izolasyonunu sağlayarak kaynakçıyı çarpımalara karşı korur. Genellikle tek fazda çalıştırılırlar. Kaynak akımının ayarlanması için pek çok kontrol metodu bulunmaktadır.

DC güç kaynakları:

- Transformatörlü Doğrultucular:

Redresör olarak da bilinen bu tip kaynak makineleri DC çıkış üretir. Sabit akım, sabit gerilim ya da her iki karakteristik tek bir makinede olabilir. Transformatörlü kaynak makinelerinin çıkışına doğrultucu eklenerek DC çıkış üretilir. Dolayısı ile akım kontrol yöntemleri aynıdır. Ancak DC çıkış dalgalanacağından çıkışa şok bobini eklenerek filtre edilmelidir. Böylelikle kaynak kalitesi düzelir [20].

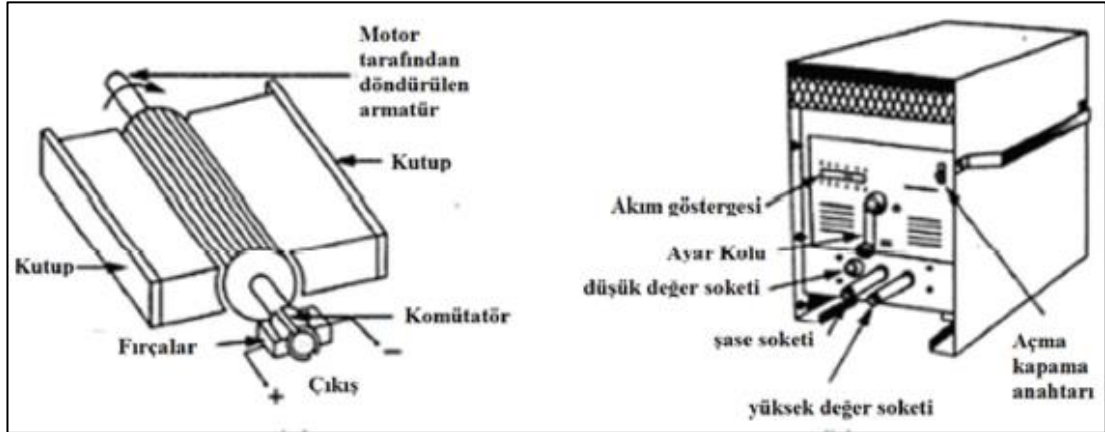
Redresörlerdeki diğer bir yöntem tristör kontrolünün kullanılmasıdır. Böylelikle şebeke gerilimindeki dalgalanmalara karşı çıkışın hassasiyeti azalır ve regülasyonu korunur. Tristörler sayesinde DC, darbe ve kare dalga AC çıkış sağlanabilir. Bu tip redresörler MIG, TIG ve MMA yöntemlerinde kullanılabilir [37]. Şekil 5.2'de SCR kontrollü güç kaynağı yapısı görülmektedir.



Şekil 5.2. SCR kontrollü doğrultucu güç kaynağı [38]

- Jeneratörler:

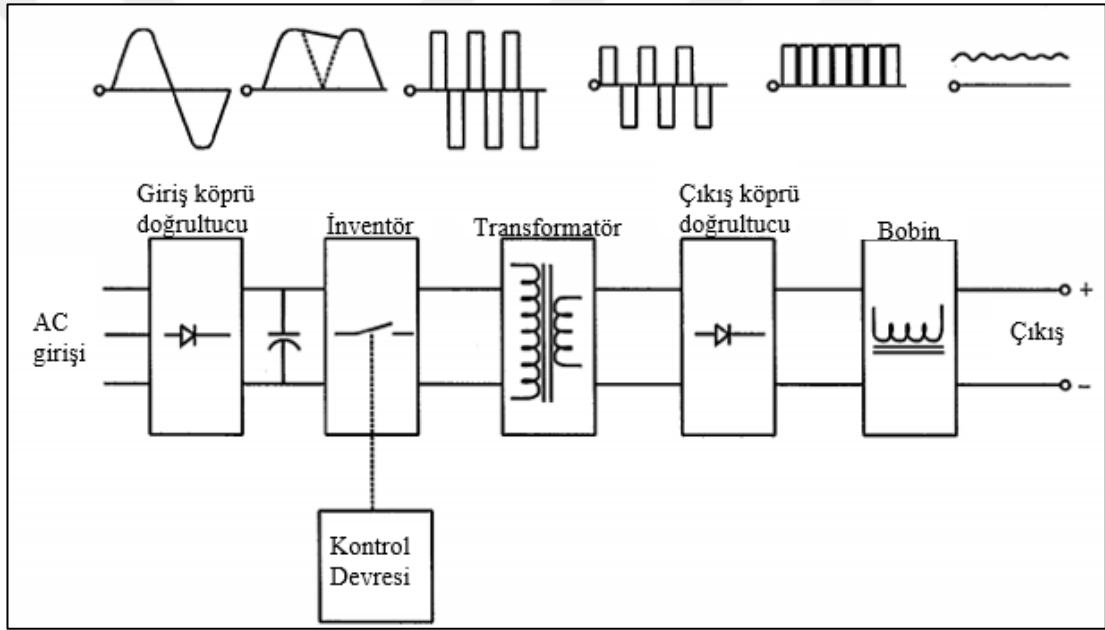
Özellikle elektriğin olmadığı alanlarda kullanılır. Benzinli ya da dizel bir motor elektrik üreterek kaynak makinesine güç üretilir. Ancak elektrik motorları kullanan kaynak jeneratörleri de vardır. Şekil 5.3’de jeneratörlü kaynak makinesi görülmektedir.



Şekil 5.3. Jeneratörlü kaynak makinesi [20]

- İverter kaynak makineleri:

Kaynak makineleri arasındaki en modern teknolojiye sahip kaynak makineleridir. Üç fazlı ya da bir fazlı kullanıma uygundur. Öncelik olarak şebeke doğrultularak filtrelenir ve temiz bir DC elde edilir. Daha sonra yarı iletken anahtarların anahtarlanması ile yüksek frekansta AC gerilim elde edilir. Yüksek frekanslı gerilim sekonder tarafında düşük gerilim yüksek akıma çevrilir ve kontrolsüz doğrultularla doğrultularak bobin tarafından filtrelenir. Böylelikle kaynak için gereken akım ve gerilim sağlanır. İverter kaynak makinelerinde anahtarlama frekansı yüksek olduğundan transformatör boyutları küçülür. Bu nedenle hafif, kompakt ve taşınması kolaydır. Şekil 5.4'te inventör kaynak makinesinin yapısı görülmektedir.



Şekil 5.4. İnterör kaynak makinesi [38]

5.4. Doğru Akım ve Alternatif Akım ile Kaynağın Karşılaştırılması

Bu karşılaştırma elektroteknik, kaynak yöntemi ve maliyet bakımından düşünülürse aşağıdakiler gibi olacaktır.

Elektroteknik bakımından:

- Verimi: Kaynak jeneratörlerindeki verim % 50 seviyesindeyken, kaynak transformatörlerinde yaklaşık % 80 seviyelerindedir.

- Şebekeye bağlanması: Kaynak jeneratörleri trifaz şebekeyi eşit olarak yüklemektedir. Fakat monofaz kaynak transformatörleri şebekeyi eşit olarak yüklememektedir.

Kaynak yöntemi bakımından:

- Arkın kararlı olması: Genellikle doğru akım ve alternatif akımdaki kaynak arkının kararlılığı aynıdır.
- Tutuşma özelliği: Kalın çaplı elektrodalarda iki akım türünün de tutuşma özellikleri iyidir. Ancak 2,5 mm'den ince elektrodlar ile yapılan kaynak işleminde doğru akım ile tutuşturulması iyi iken, alternatif akım ile tutuşturulması kötüdür. Bu sorunun ortadan kaldırılması için, alternatif akım kaynak transformatörlerinde ayrıca yüksek frekans cihazı kullanılmaktadır.
- Arkın üflemesi: Yüksek akım şiddeti ile gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde, doğru akımdaki ark üflemesi fazladır. Alternatif akımda ise, böyle bir sorun bulunmamaktadır.
- Kutup durumu: Doğru akımda elektrodun istenen kutuba bağlanması mümkün olurken, alternatif akımda ise mümkün olmamaktadır.
- Eritme gücü: Doğru akımla kaynakta eritme gücü yaklaşık %2 daha fazladır.

Maliyeti bakımından:

- Alım fiyatı: Kaynak transformatörlerinin alım fiyatı, aynı güce sahip bir kaynak jeneratörünün fiyatının 1/2 ile 2/3'ü arasında değişmektedir.
- Bakımının maliyeti: Transformatörler içerisinde bulunan hareketli kısımlar bulunmadığından, kaynak jeneratörlerine göre bakım masrafları daha azdır.
- Enerji maliyeti: Kaynak jeneratörü enerjisinin maliyeti, aynı güce sahip kaynak transformatörlerinden %60 daha fazladır [22].

5.5. Kaynak Elektrodları

Elektrodlar genel olarak çıplak elektrodlar ve örtülü elektrodlar olarak iki ana gruba ayrılır. Çıplak elektrodlar, karbon elektrodlar ve tungsten elektrodlar bu grubun içerisine dahil edilmektedir. Karbon elektrodlar, temelinde grafit olup ince bakır örtüsü ile kaplı daire kesitlidirler. Tungsten elektrodlar ise koruyucu gaz atmosferi altında kullanılan zaman zaman da zirkonyum ve toryum ile alaşımlandırılarak daha yüksek akım şiddetiyle kullanılabilir [22,32,39].

Örtülü elektrodlar, örtü tabakası çıplak telin üzerine daldırma veya presleme ile oluşturulur. Örtülü elektrodlar asidik, bazik, selülozik ve rutil olmak üzere 4 çeşittir. Asidik örtülü elektrodlar, Bu elektrodlar temel olarak oksit ve silikatlardan meydana gelmekte olup örtülerinde demir oksit ve manganez bulunur. Kaynak dikişleri iyi bir sürekliliğe sahiptir ve kaynak mukavemeti düşüktür. Bu elektrodlar çabuk akan düz dikişler oluşturur ve her pozisyon için uygundur. Ancak, aralık doldurma kabiliyetlerinin yetersiz olması nedeniyle kaynak ağızlarının çok iyi hazırlanması gerekir ve bu da kullanım alanını sınırlandırmaktadır [32,39].

Bazik örtülü elektrodlar, Bu elektrodlar temel olarak kalsiyum florid ve kalsiyum karbonat gibi toprak alkali metallerin karbonatlarından oluşur. Elektrodlar 150°C'de fırınlarda muhafaza edilerek kaynak metalinin hidrojen içeriği 5-15 ml/ 100 g seviyelerine kadar indirgenir. Bu sayede, hidrojen gevrekliğinden dolayı yüksek mukavemetli çeliklerde çatlama riski minimize edilmiş olur. İyi bir mekanik özellik elde etmek mümkün olup genellikle karbon-manganez çeliklerine ve düşük alaşımlı çeliklerde kullanılır. Bazik elektrodlar her pozisyonda kullanılabilme imkanı ve iyi bir aralık doldurma kabiliyeti vardır [32].

Selülozik örtülü elektrodlar, ark ile yanarak un ve kağıt hamuru gibi gaz haline geçen organik maddeler içerir. Bu bileşenler hidrojeni oluşturmaktadır ve havanın yerini almaktadır. Diğer elektrot tiplerine nazaran %70 daha fazla nüfuziyet derinliği sağlar. Kaynak dikişinin mekanik özellikleri iyidir. Fakat hidrojen ihtiva etmesi sebebiyle yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılamazlar [32,33].

Rutil elektrotlar, temel olarak titanyum oksit esaslıdır ve örtüdeki oranı %35 mertebesine kadar ulaşmaktadır. Örtü kalınlığı arttıkça kaynak dikişinin kalitesi iyileşir. Kaynak dikişinin mekanik özellikleri yapı çeliklerine kullanımına uygundur. Ancak yüksek derecede hidrojen içermesi sebebiyle yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanıma uygun değildir [22,32].

5.6. Kaynak Ağızlarının Hazırlanması

Kaynak süresinin kısaltılması, gerekli ölçü ve toleranslarda ve iyi bir kalite ile kaynağın yapılması uygun bir kaynak ağızının hazırlanmasıyla mümkün olmaktadır. Kaynak ağızı, iş parçasının kalınlığı ile birleştirme şekline bağlıdır. Şayet kaynak

dikişi çift taraflı yapılacaksa 8 mm kalınlığa kadar olan iş parçalarına kaynak ağzının açılmasına ihtiyaç yoktur. Şayet tek bir yerden kaynak yapılacak ise 5mm'den kalın iş parçalarına kaynak ağzının açılması gereklidir. Özellikle kalın parçalarda kaynak dikişinin nufuziyeti yeteri seviyede olmalıdır. Bunun sağlanabilmesi için uygun kaynak ağzı açılır. Kaynak ağzı hazırlanırken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır:

- Kaynak pozisyonu ve kaynağın arka tarafa nufuziyet durumu ,
- Kaynak edilecek metalin kalınlıęı, iřin kaç pasoda bitirilmesinin dūřünüldüęü ve birleřtirmenin çeřidi,
- Elektrodun nufuziyet seviyesi,
- Mevcut makina donanımının elverişliliği,
- Standard ve şartname gereksinimleri,
- Çekme çarpılmaların minimize edilmesi,
- Parça yüzeyinde erişilebilirlik,
- Ana metalin yapısı,
- Kaynağın maliyeti [40].

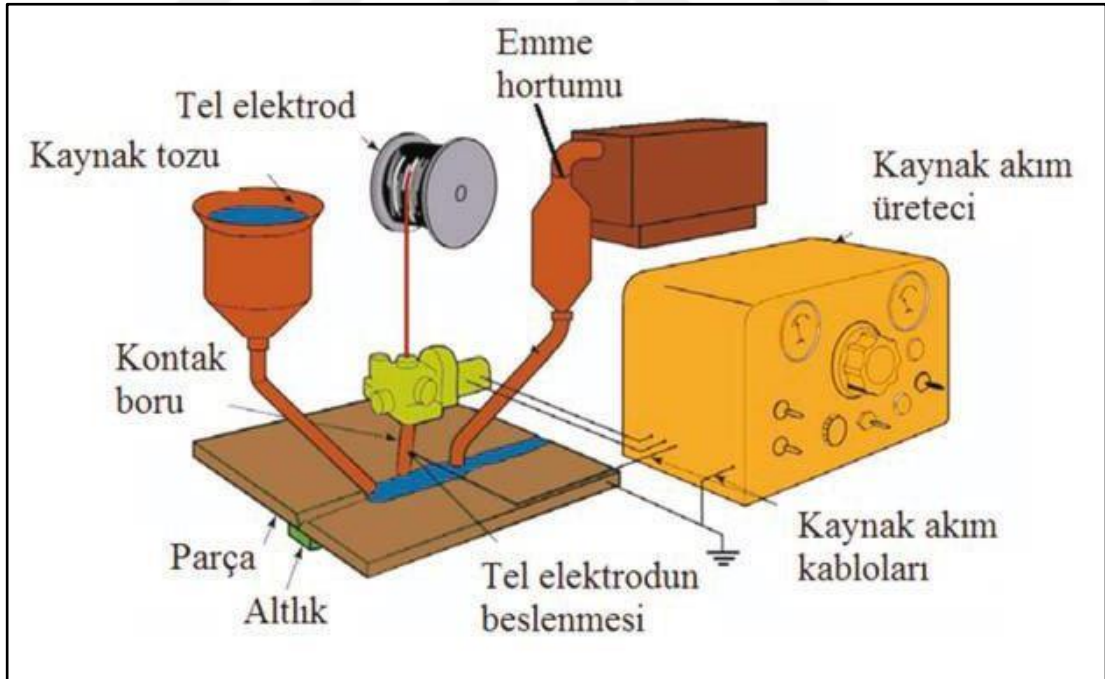
Tablo 5.3'te kaynak sembolleri ve kaynak şekilleri verilmiştir.

Tablo 5.3. Kaynak sembolleri ve kaynak şekilleri[40]

| İsim | Sembol | Kaynak Şekli | İsim | Sembol | Kaynak Şekli |
|-----------------------------|--------|--------------|------------------------|--------|--------------|
| Tek taraflı üç köşe kaynağı | | | Y Kaynağı | | |
| Çift taraflı köşe kaynağı | | | Yarım V Kaynağı | | |
| Dış köşe kaynağı | | | K kaynağı | | |
| Küt ek kaynağı | | | Yarım Y kaynağı | | |
| V kaynağı | | | U kaynağı | | |
| X kaynağı | | | Çift taraflı U kaynağı | | |
| Çift Y kaynağı | | | Açık V kaynağı | | |
| Kıvrık dikiş | | | J kaynağı | | |

6. TOZALTI KAYNAĞI (SAW)

Tozaltı kaynağı, arkın koruyucu atmosfer olarak toz altında oluşturulması ile gerçekleştirilen bir kaynak işlemidir. Atölye dışında ve şantiye ortamlarında çok fazla kullanım alanı bulamasa da özellikle kalın ve büyük iş parçalarının birleştirilmesi ve dolgu kaynağı işlemlerinde (gemi gövdeleri, ağır iş makineleri, büyük çaplı kazanlar , eşanjörler, LPG tankları vb.) uygulanmaktadır. Tozaltı kaynak yönteminde ark, otomatik biçimde kaynak bölgesine sürülen çıplak elektrod ile iş parçası malzemesi arasında oluşur ve ayrı bir kanaldan kaynak bölgesine dökülen toz yığını altında yanar. Kaynak arkının toz yığınının altında olmasından dolayı bu yönteme tozaltı kaynak yöntemi denilmiştir. Kaynak donanımının çalışma prensibine ait şema Şekil 6.1’de görüldüğü gibidir [41].



Şekil 6.1. Tozaltı kaynak sistemi[42]

6.1. Tozaltı Kaynağının Avantajları ve Uygulama Alanları

Avantajları:

- Yüksek kaynak hızının olması,
- Hatasız ve dış görünümünün iyi olması,
- Kaynak arkı, kaynak tozu tarafından örtüldüğünde ark ışınlarından korunmak için maske kullanmaya gerek yoktur.
- Kaynak sırasında zararlı metal tozları ve duman çıkmaz,
- Sıçrama kaybı yoktur.
- Derine işleme kabiliyeti iyi olduğu için daha dar ve daha derin kaynak ağızlarında kaynak yapılabilir. Bu özelliği, daha az işçilik ve daha az kaynak malzemesi kullanımı demektir.
- Gerekli toz tutma önlemleri alındığında tek taraflı kaynakta kaynak ağızı açmadan 16 mm kalınlığa kadar, iki taraflı kaynakta ise 30 mm kalınlığa kadar kaynak yapabilmek imkanı sağlar.
- Kaynak tozu, kaynak dikişinin özelliklerini etkileyecek şekilde alaşımlandırılabilir. Böylece ucuz ve alaşımsız bir elektrodla alaşımlı bir toz kullanarak istenen özellikte daha ekonomik kaynak dikişleri elde edilebilir.
- Yarı otomatik, tam otomatik uygulamalara uygun olduğu gibi istenirse elle uygulama imkanı da vardır.
- Küçük bir değişiklikle “gazaltı kaynağına” dönüştürülebilir [41].

Uygulama Alanları:

Tozaltı kaynak yöntemi, birleştirme kaynaklarında olduğu kadar kaplama ve dolgu kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan bir yöntemdir. Birleştirme yöntemi olarak uygulanan alanları:

- Basınçlı kap, kazan ve tank üretiminde
- LPG tüplerinin üretiminde
- Spiral kaynaklı boru üretiminde
- Çelik konstrüksiyon üretiminde
- Profil (I, H, T) üretiminde
- Otomotiv ve lokomotif endüstrisinde
- Gemi inşaa endüstrisinde

- Aşınan mil ve makine parçalarının dolgusunun yapılmasında
- Darbe ve aşınmaya dayanıklı sert dolgu işlemlerinde
- Korozyona ve oksidasyona dayanıklı kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır [41,43].

6.2. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri

Toz altı kaynak yönteminin yapılmasında kullanılan elektrodlar, kaynak teli olarak adlandırılmaktadır. Toz altı kaynağının telleri, elektrik ark ocaklarında üretilen, kimyasal yapısıyla kaynak yerinin metalurjik güvenliği bakımından yüksek Mn ihtiva eden özel çeliklerden üretilirler.

Çeşitli amaçlar için genellikle dairesel kesitli olarak 1,2-1,4-1,6-2,0-2,4-3,2-4,0-5,0 ve 6,0 mm çaplarında üretilirler. Kaplama kaynaklarında kullanılan bant şeklinde teller de üretilmektedir [44].

Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinin bileşimde bulunan elementlerin % sınırları ve kaynak dikişindeki etkileri Tablo 6.1’de verilmiştir [45].

Tablo 6.1. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinde bulunan elementlerin % sınırları ve etkileri [41,45]

| Alaşım Elementi | % Sınırları | Etkisi |
|-----------------|-------------|---|
| Karbon (C) | 0,05-0,25 | <ul style="list-style-type: none">• Sertliği artırır• Çekme dayanımını yükseltir |
| Silisyum (Si) | 0,05-0,45 | <ul style="list-style-type: none">• Deokside eder.• İşlenebilme kabiliyetini yükseltir• Kaynak kabiliyetini yükseltir |
| Manganez (Mn) | 0,5-3,0 | <ul style="list-style-type: none">• Sertliği kısmen yükseltir• Çentik ve çentik darbe dayanımını yükseltir• Uzamayı artırır |
| Molibden (Mo) | 0,5-1,0 | <ul style="list-style-type: none">• Isıya dayanımını artırır |
| Krom (Cr) | 1,0-2,9 | <ul style="list-style-type: none">• Sertliği yükseltir• Isıya dayanımını artırır |
| Nikel (Ni) | 1,0-2,0 | <ul style="list-style-type: none">• Düşük çalışma sıcaklıklarında dayanımını artırır |

6.3. Tozaltı Kaynağında Kullanılan Kaynak Tozları

Tozaltı kaynak tozları istenilen özelliklere bağlı olarak çeşitli şekillerde ve oranlarda karıştırılmış bileşiklerdir.

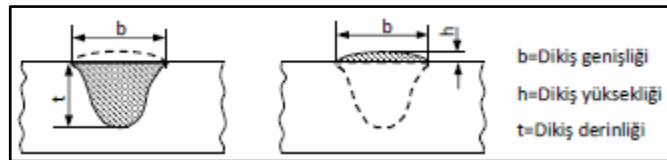
DIN 32 522'ye göre tozaltı kaynak tozları 7 grupta toplanmıştır:

1. Alaşım-sız ve düşük alaşım-lı çeliklerin birleştirme kaynağında kullanılan toz fardır. Si ve Mn'in geçiş/yanma davranışı rakamla ifade edilir.
2. Alaşım-sız ve düşük alaşım-lı çeliklerin birleştirme kaynağında kullanılan tozlardır. Si ve Mn'in geçiş/yanma davranışı rakamla ifade edilirken Mo ve diğer elemanların geçiş/yanma davranışı yalnızca sembolleri ile ifade edilmektedir.

3. Sert dolgu tozu olup Si ve Mn'in geçiş/yanma davranışı rakam ile ifade edilirken, C, Cr, Mo gibi elementler yalnızca sembolleri ile ifade edilmektedir.
4. %5'in üzerinde Cr içeren yüksek sıcaklığa dayanıklı çeliklerin birleştirme kaynağına, alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin uygun ilave metal ile dolgu kaynağında kullanılan tozlardır. Geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr sırası ile rakam ile ifade edilmektedir.
5. Paslanmaz ve ısıya dirençli Cr'lu ve Cr-Ni'li çeliklerin birleştirme ve dolgu kaynaklarında kullanılan tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, C sırası ile rakam ile ifade edilmektedir.
6. Paslanmaz ve ısıya dirençli Cr'lu ve Cr-Ni'li çeliklerin birleştirme ve dolgu kaynağının yapılabilmesi için Cr içermeyen tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, C sırası ile rakam ile ifade edilmektedir.
7. Nikel ve nikel esaslı alaşımların birleştirme ve dolgu kaynağında kullanılan tozlar olup geçiş/yanma davranışı Si, Mn, Cr, Nb, sırası ile rakam ile ifade edilmektedir [44].

6.4. Kaynak Dikişinin Formu

şekil 6.2'de verilen kaynak dikiş formu denilince; dikiş genişliği, dikiş yüksekliği ve derinliği anlaşılır. Dikiş formu incelendiğinde şekil 6.3'de görüldüğü Şekilde i ve dış dikiş formu olmak üzere iki form gözlenir. Her dikiş formu nüfuziyet derinliği, ergime genişliği ve dikiş yüksekliği olmak üzere üç Şekilde karakterize edilir. Tozaltı ark kaynağında dikişin formu çok geniş sınırlar içerisinde değişebilir. Eğer belli bir yöntemde, kaynak karakteristikleri yerinde seçilirse, belirli etmenlerin kaynak sırasındaki tesirlerini tespit etmek mümkün olabilir [46].



şekil 6.2. Alın kaynağı dikiş formu [46]

Dikiş formuna etki eden faktörler:

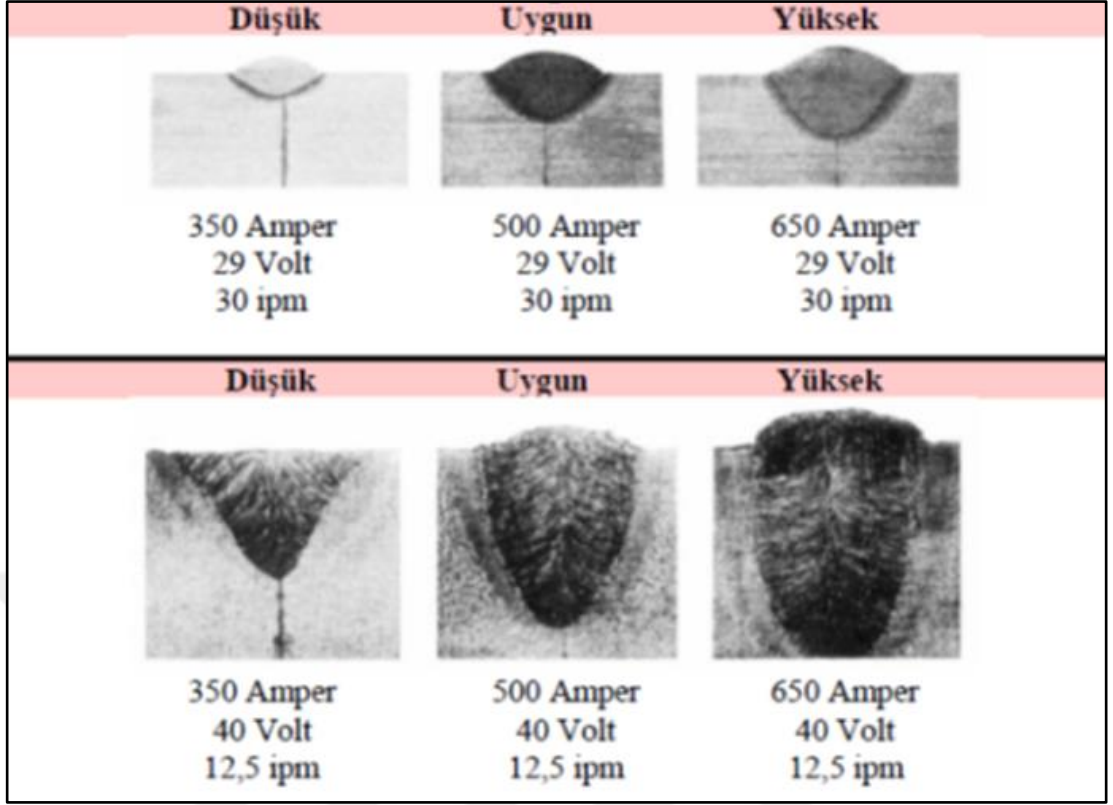
1. Akım şiddeti
2. Ark gerilimi
3. Kaynak hızı
4. Kaynak ağız açısı
5. Kaynak yapılan parçanın bulunduğu düzlemdeki meyli
6. Akım yoğunluğu (tel çapı)
7. Kaynak kablosunun bağlantı yeri
8. Serbest tel boyu [46].

Akım Şiddeti:

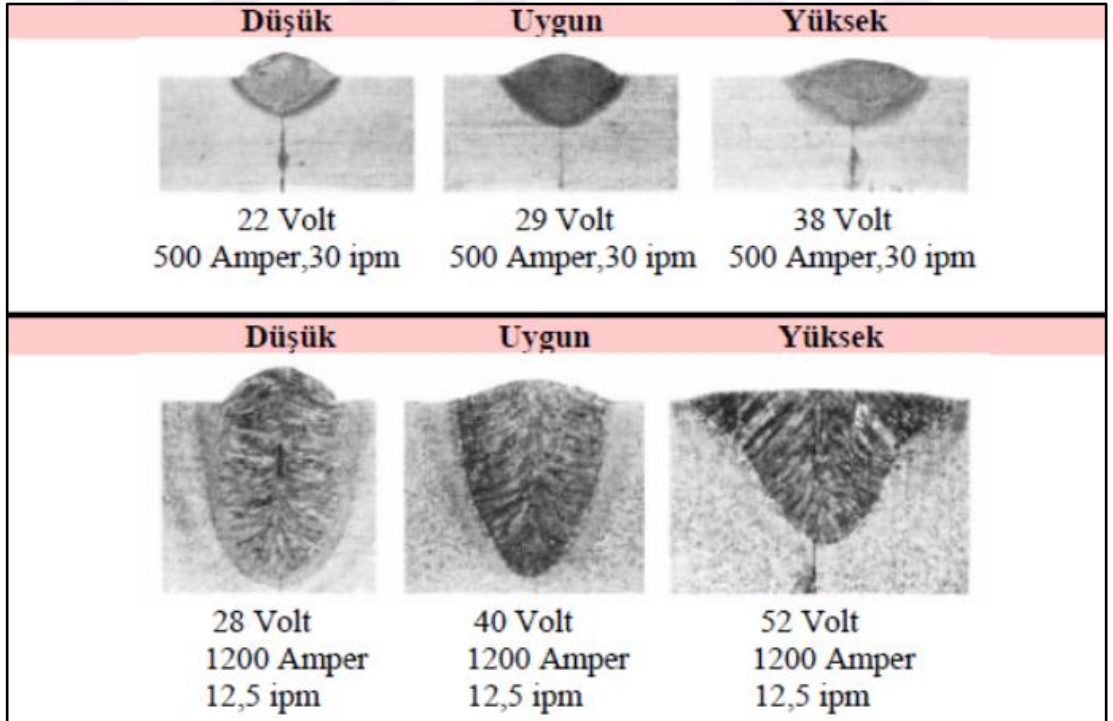
Akım şiddeti, Şekil 6.4'de görülen kaynak dikişi formu üzerinde en büyük etkisi olan etkenlerden biridir. Akım şiddeti arttıkça nüfuziyet artmaktadır. Bu nedenden dolayı akım şiddeti kaynak yapılan iş parçası kalınlığına uygun olarak tespit edilmelidir. Aksi takdirde kaynak nüfuziyeti iş parçası kalınlığından daha büyük oluşur ve iş parçasının delinmesine neden olur. Daha küçük olduğunda ise iyi birleşme oluşmaz [47].

Ark Gerilimi:

Gerilimin değişmesiyle arkın boyu da değişmektedir. Bazı tip tozların yüksek gerilim ile çalışması gereklidir. Bu gibi tozlar ile düşük gerilimde çalışılır ise curuf kaynak dikişinin üzerinden zor kalkar. Yüksek bir ark gerilimi, uzun ark ile çalışmayı gerektirdiğinden fazla miktarda tozun curuf haline geçmesine neden olur. Bu durum kaynak dikişinin kimyasal bileşimine etki eder. Örneğin asit karakterli bir tozla kaynak yapılması durumunda, dikişin silisyum miktarı artar. Ark geriliminin çok düşük seçilmesi ise bazı kaynak hatalarının meydana gelmesine neden olur. Ark boyunun artmasıyla ark iş parçası üzerindeki kaplanan alan da artmaktadır. Bu durum kaynak dikişinin genişliğinin artmasına neden olmaktadır. Gerilimin artması nüfuziyet ve dikiş yüksekliğine olumlu yönde etki eder [48]. Şekil 6.5'de ark geriliminin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



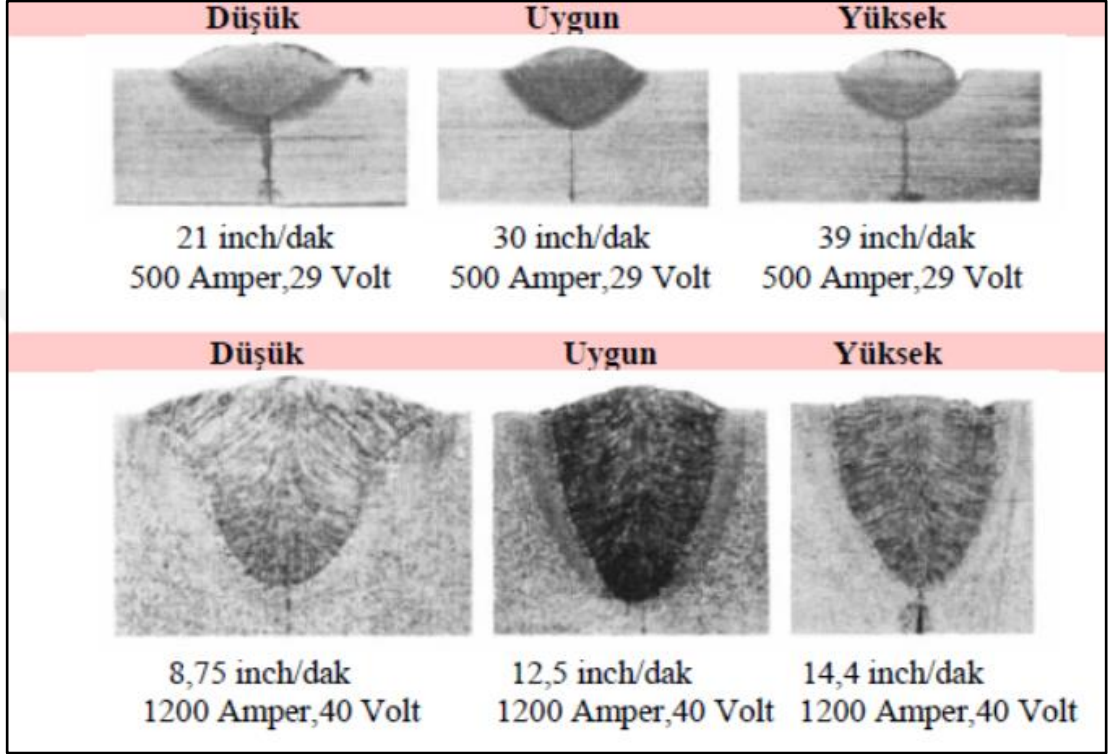
Şekil 6.3. Tozaltı ark kaynak akımının, dikiş geometrisine ve nüfuziyete etkisi [46]



Şekil 6.4. Tozaltı kaynak yönteminde gerilimin dikiş geometrisi üzerindeki etkisi [49]

Kaynak Hızı:

Kaynak hızının artması ile nüfuziyet ve kaynak dikişinin genişliği azalma eğilimi Şekil 6.6'da görülebilir.



Şekil 6.5. Kaynak hızının dikiş formu üzerindeki etkisi [49]

Kaynak Ağız Açısı:

Birleştirilecek parçalara kaynak ağızı açmak, kaynak dikişinin iç formuna etki etmektedir. Kaynak ağızı açısı büyüdükçe de özellikle kaynak nüfuziyeti artmakta ve kaynak dikişinin yüksekliği azalmaktadır [50].

Kaynak Yapılan Parçanın Bulunduğu Düzlemdeki Meyli:

Tozaltı ark kaynağı, genellikle yatay pozisyonda yapılmaktadır. Burada iş parçasının durumu ve kaynak yönü kaynak dikişinin formu üzerinde etki etmektedir. Kaynak yapılan iş parçasının bulunduğu yatay düzlemde 6°'ye kadar eğimin olması pek önemli değildir. Ancak bu eğim 6°'yi geçerse, kaynağın yönüne göre dikişin formu da değişecektir. Örneğin, 6°'den daha büyük eğimli yüzeylerdeki düşey yapılan kaynaklarda nüfuziyet gayet az ve dikiş geniştir. Dikey yapılan kaynaklarda ise,

nüfuziyet ve dikiş yüksekliği çok fazladır. Gerek dikey gerekse düşey yapılan her iki kaynak da istenmez. Bu bakımdan parçanın bulunduğu düzlem ile eğiminin, 6°'yi geçmemesine dikkat edilmelidir [51].

Akım Yoğunluğu:

Akım yoğunluğunun artması, aynı akım şiddetinde tel çapının azalması, nüfuziyet ve dikiş yüksekliğini artırmaktadır.

Kaynak Kablosunun Bağlantı Yerinin Etkisi:

Parçaya bağlanan kablonun bağlantı yeri ark üflemesine etki etmektedir. Bunun sonucunda da kaynak dikişinin iç formu değişerek yetersiz bir birleşme oluşur. Kablonun bağlantı yeri ark üflemesini önleyecek biçimde seçilmelidir. Buda kaynak yapılan iş parçasının her birinin başlangıç ve sonuna gelmek üzere dörtlü bir bağlantı yapmakla gerçekleştirilebilir [51].

Serbest Tel Boyunun Etkisi:

Kaynak telinin bağlantı yeri veya telin dışarıda kalan kısmı (serbest tel boyu), kaynak memesinin iş parçasına olan mesafesiyle ifade edilmektedir. Bu mesafe büyüdükçe telin dışarıda kalan kısmı da artar. Pratikte meme ile iş parçası arasındaki ortalama mesafe tel çapının 10 katı olarak alınır. Mesafe arttıkça özellikle nüfuziyetin azaldığı ve dikiş yüksekliğinin de arttığı gözlenmiştir [45].

6.5. Uygulamalarda Kullanılan Diğer Tozaltı Kaynak Yöntemleri

Erime gücünün arttırılması için birden fazla tel kullanan kaynak makineleri geliştirilmiştir. Bunların halihazırda tatbik sahasına konmuş olan çeşitli tipleri bulunmaktadır.

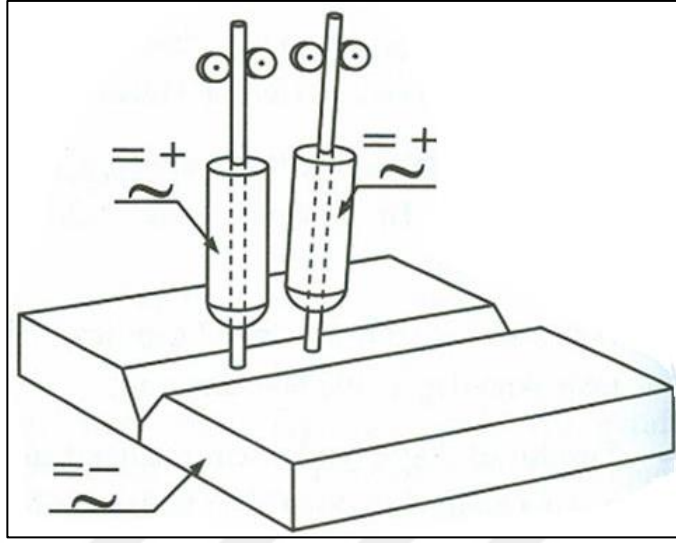
Tandem tozaltı ark kaynağı yöntemi:

Bu yöntemde Şekil 8.7'deki gibi iki elektrod aynı yörüngede birbirlerini takip ederler.

Bu yöntemin sağladığı avantajlar şunlardır:

- Yüksek kaynak hızlarının elde edilmesi,
- Ekonomik olması,
- Çatlamaya karşı emniyetli olması,

- Gözenek oluşumunun nadir olması,
- Yüksek kaliteli dikişlerin elde edilmesi [45].



Şekil 6.6. Tandem tozaltı ark kaynağı yöntemi şematik gösterimi

Paralel tozaltı kaynak yöntemi:

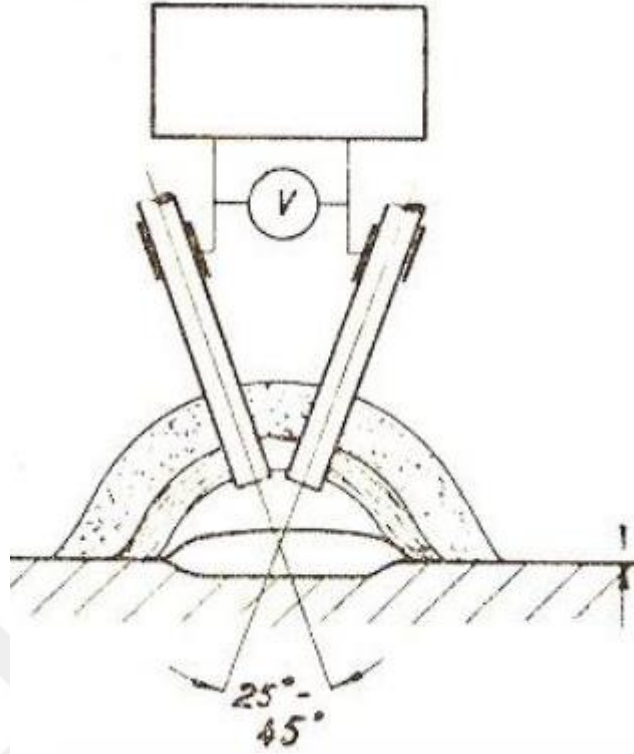
Lincoln firması tarafından geliştirilen bu yöntemde iki tel aynı hizada kaynak dikişine dik bir düzlemedir ve aynı kafaya bağlıdırlar, beraberce hareket etmektedir.

Bu yöntemin sağladığı avantajlar şunlardır:

- Nüfuziyetin kontrol altına alınabilmesi,
- Kaynak banyosunun iş parçasını delerek akma tehlikesinin olmaması,
- İki iş parçası arasında köprü oluşturabilme sınırı daha yüksektir. İki iş parçası arasındaki aralık 1,5 mm'ye kadar çıkabilir.
- Kaynak dikişi yüksekliğinin ve kaynak nüfuziyet oranına etki etmek mümkündür [45].

Seri kaynak yöntemi:

Union Carbide firması tarafından gerçekleştirilen ve çalışma prensibi Şekil 6.8'de görülen bu yöntemde nüfuziyet çok az miktarda olur. Bu özelliğinden dolayı doldurma ve sert metal ile yüzey kaplama işlemlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.



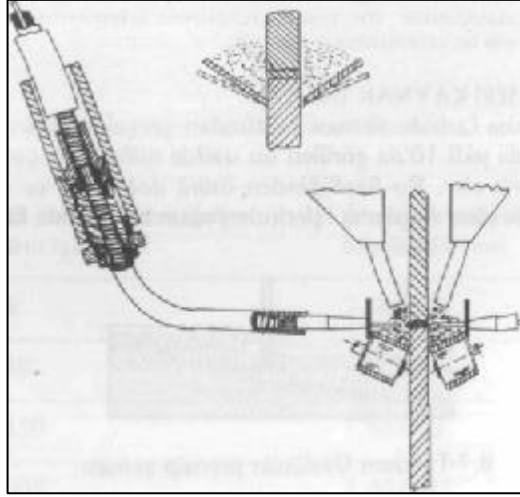
Şekil 6.7. Seri kaynak yöntemi

Bu yöntemin sağladığı avantajlar ise şunlardır:

- Ergime gücü yüksektir.
- Tozun kullanım miktarı azdır.
- Ana metal çok az ergidiğinden kullanılan akım sadece telleri ertirir dolayısı ile bu yöntemin verimi çok yüksektir [45].

Saat 3 yöntemi:

Bu yöntemde ise tel ve parçanın konumu akrep ve yelkovanın saat 3'teki durumunu andırıldığından bu şekilde bir isim kullanılmaktadır. Gene Lincoln firması tarafından geliştirilmiş olan bu yöntemin şematik gösterimi Şekil 7.9'da görülmektedir. Burada parça dik dikiş ise yere paraleldir. Bir seferde parçanın iki taraftan aynı anda kaynatılması mümkündür. Tozun düşmemesi için şekilde görüldüğü gibi kaynak kafası ile birlikte hareket eden özel kayışlar bulunmaktadır. Bu yöntem özellikle gemi inşaatında geniş uygulama alanı bulmuştur [45].



Şekil 6.8. Saat 3 yöntemi [45]

Band elektrodla toz altı kaynağı yöntemi:

Bu yöntemde tel halindeki elektrodun yerini band halinde bir şerit elektrod almıştır. Band elektrod ile yapılan kaynak işleminde, tel elektrodla yapılan kaynakta olduğu gibi aynı fiziksel ve metalurjik durumlar meydana gelir. Band elektrodla yapılan tozaltı kaynağının başlıca özelliklerini aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

- Ergime gücü yüksektir.
- Kaynak nufuziyeti azdır,
- Kaynak dikişinin gözenek bakımından yüksek emniyete sahiptir,
- Yüksek ekonomi sağlamaktadır [45].

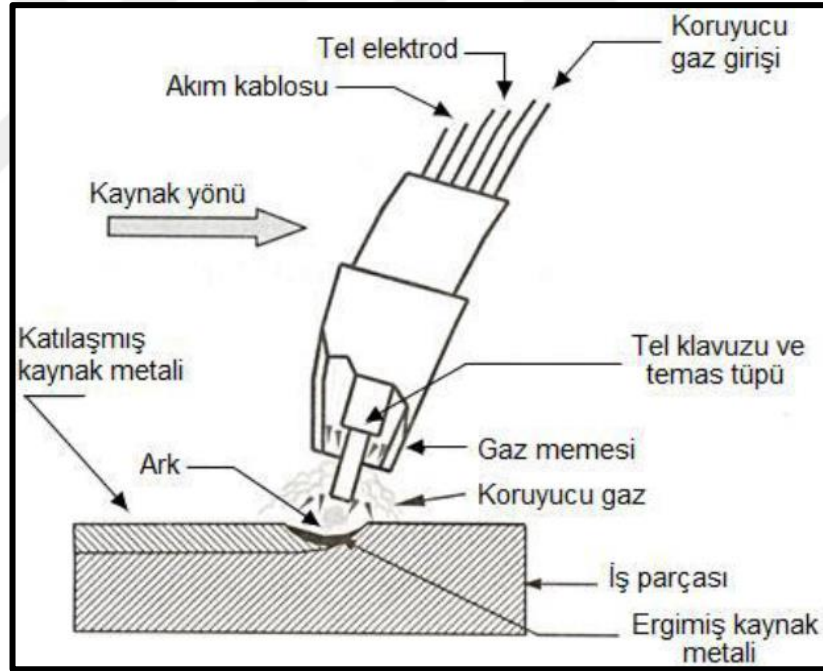
Kızgın tel yöntemi:

Tandem yönteminin bir alternatifi olarak burada tellerden bir tanesi elektrik direnci ile ısıtılarak kaynak banyosuna gönderilir ve bu şekilde elektrik enerjisinden tasarruf sağlanır. Tozaltı kaynağı son dönemlerde ülkemizde oldukça geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Özel sektörde ve özellikle likit gaz tüpünün üretiminde ve Devlet Karayolları Bakım Atölyelerinde, dozer ve traktörlerin aşınan yürüme takımlarının doldurulmasında kullanılmaktadır [45].

7. GAZALTI ARK KAYNAĞI

7.1. Tarifi ve Sınıflandırılması

Gaz altı ark kaynağında, koruyucu gazın özelliğine bağlı değişerek iki farklı isim ile adlandırılmaktadır. Kaynak işlemi asal gaz ile yapılıyor ise MIG (Metal Inert Gas), aktif gaz ile yapılıyor ise MAG (Metal Active Gas) olarak adlandırılmaktadır. Sonuç olarak iki farklı isim ile adlandırılan kaynak yöntemlerinde ekipmanlarda farklılık yoktur. Yalnızca CO₂ korumalı kaynak işleminde tüp çıkışına bir ısıtıcı eklenmektedir. Bu yöntemle dışardan sağlanan gaz ile korunan ve otomatik olarak beslenen ve ergiyen elektrod kullanımı Şekil 7.1’de görülmektedir.

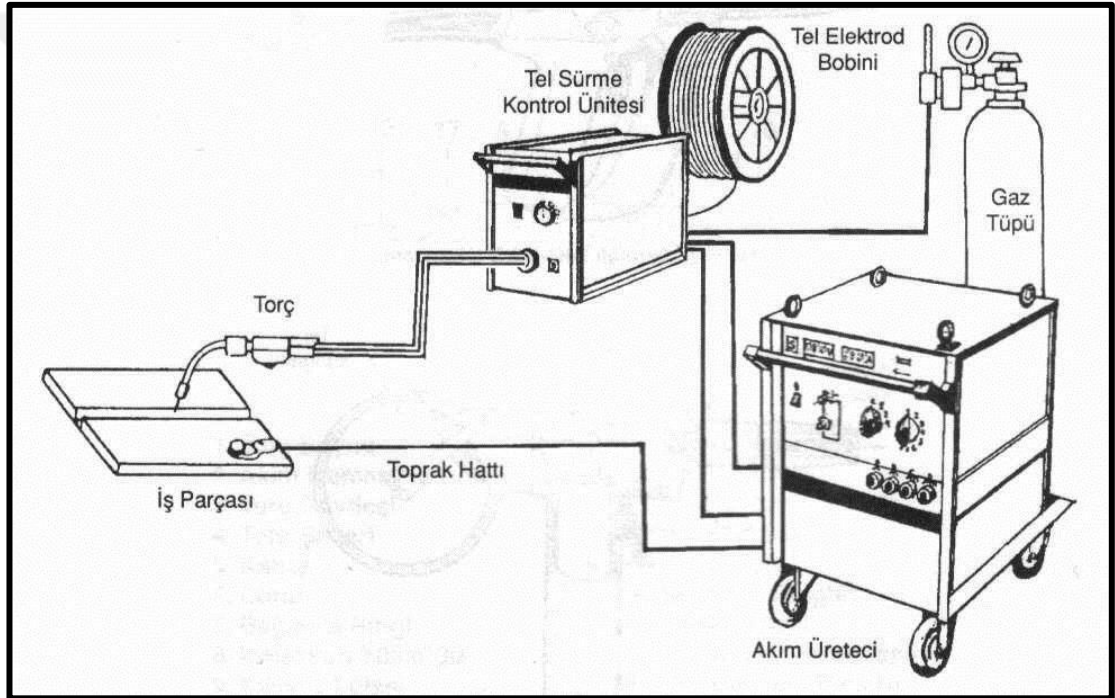


Şekil 7.1. Gaz altı ark kaynağının prensibi

MIG-MAG kaynak tekniklerinin çok geniş kullanım uygulama alanı vardır. Bu yöntemle çok ince levhalar dahil olmakla beraber, her kalınlıkta demir esaslı ve demir dışı metallerin veya alaşımlarının kaynak işleminin yapılması mümkün olmaktadır. MIG-MAG kaynak yönteminin uygulanması kolay olduğundan, hiçbir

güçlkle karşılaşılmaz, toprak kablosunu kaynağı yapılacak iş parçası malzemesine bağlanıp torcun ucundaki elektrodu iş parçasına değdirmek yeterli olacaktır [52].

İlk ayarların yapılmasından sonra arkın elektriksel karakteristiğinin kendi kendine ayarı otomatik olarak kaynak makinası tarafından sağlanır. Bu sebeple yarı otomatik kaynakta kaynakçının gerçekleştirdiği elle kontroller, kaynak hızı, doğrultusu ve torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilerek uygun ayarların yapılmasından arkın boyu ve akımın şiddeti kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur. Gazaltı kaynağı için gereken donanım Şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Gaz altı ark kaynağının donanım şeması

Kaynak donanımı 4 temel gruptan oluşmuştur:

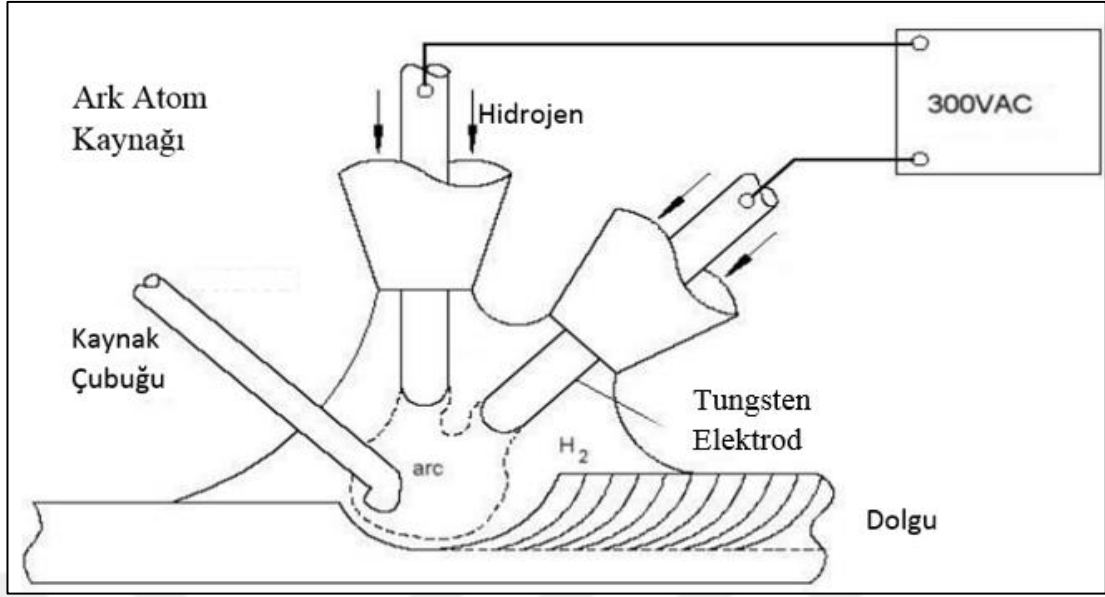
- Kaynak torcu ve kablo grubu,
- Elektrod besleme ünitesi,
- Güç ünitesi,
- Koruyucu gaz ünitesidir.

Torc ve kablo grubu üç görevi yerine getirmektedir. Koruyucu gazın ark bölgesine taşınması, elektrodun temas tüpüne iletilmesi ve güç ünitesinden gelen akım kablosunun temas tüpüne iletilmesidir. Kaynak torcundaki tetiğine basıldığında iş

parçası malzemesinde aynı anda gaz, güç ve elektrod iletilerek ark oluşumu sağlanır. Ark boyunun kendi kendini ayarlamasını sağlayabilmek için tel besleme ünitesiyle güç ünitesinin arasındaki ilişki sağlayan iki türlü çözüm yolu vardır. Bunlardan en çok bilineni, sabit gerilimli bir güç ünitesi ile sabit hızlı elektrod besleme ünitesi kullanmaktır. İkinci çözüm ise azalan bir gerilim-akım karakteristiği sağlar ve elektrod besleme ünitesinin besleme hızı ark gerilimi yoluyla kontrol edilir. Sabit gerilim/sabit besleme hızı çözümünde torcun pozisyonundaki değişime kaynak akımında değişmeye sebep olur. Kaynak akımındaki değişim ise serbest elektrod uzunluğunu değiştirerek ark boyunun sabit kalmasını sağlamaktadır. Torcu iş parçasından uzaklaştırma sebebiyle serbest elektrod uzunluğunda oluşan artış kaynak akımında azalmaya sebep olarak elektrodta direnç ısıtmasının da aynı değerde kalmasını sağlar. Diğer çözümde ise, ark geriliminde oluşan değişimler elektrod besleme sisteminin kontrol devrelerini yeniden ayarlar ve bu sayede elektrod besleme hızı uygun bir şekilde değiştirilir [52].

7.2. Ark Atom Gazaltı Ark Kaynağı

Atomik hidrojen kaynağı olarak da bilinen bir gazaltı kaynağı türü olan ve en eski gazaltı kaynağı uygulamasıdır. Koruyucu gaz olarak kullanılan hidrojen gazı, ark sıcaklığında ısı alarak atomsal hale geçer. Atomsal hale geçen hidrojen, daha sonra birleşerek molekül halini alır ve aldığı ısıyı geri verir [22]. Ayrıca aldığı ısının bir kısmını iş parçası malzemesine vererek ergimesini sağlar. Soğuduktan sonra yeniden molekül haline geçer. Hızlı kaynak yapılmak istenildiği durumlarda kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde kaynak sıcaklığı 4000 °C yi bulur [53]. Şekil 7.3'te ark atom kaynağının şematik olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 7.3. Ark atom gazaltı kaynağı [53]

Ark atom kaynağında, özel kaynak transformatörleri kullanılmaktadır. Bunların boşa çalışma gerilimi yüksek olup, 60-80 volt arasında çalışma gerilimleri bulunmaktadır. %99,8 - 99,9 saflıkta tungsten elektrodlar kullanılmaktadır. Elektrodların çapları, 1,5-3 mm olup, elektrodun boyları normalde 300 mm'dir. Hidrojen gazı kaynak bölgesine 0,3 atmosfer basınçta gönderilir. Atomik hidrojen kaynağında kullanılan ağız şekilleri, Tablo 7.1'de verilmiştir [22].

Tablo 7.1. Ark atom kaynağında kullanılan ağız şekilleri [22]

| Sac | Kaynak | Elektrod Çapı | Paso Sayısı |
|-------|--------|---------------|-------------|
| 1-1,5 | Kıvrık | 1,5 | 1 |
| 1-2 | Küt | 1,5 | 1 |
| 2-3 | Küt | 1,5 | 1 |
| 3-5 | Küt | 1,5-2 | 1 |
| 5-8 | V-alın | 2-3 | 1-2 |

7.3. TIG Kaynağı (GTAW)

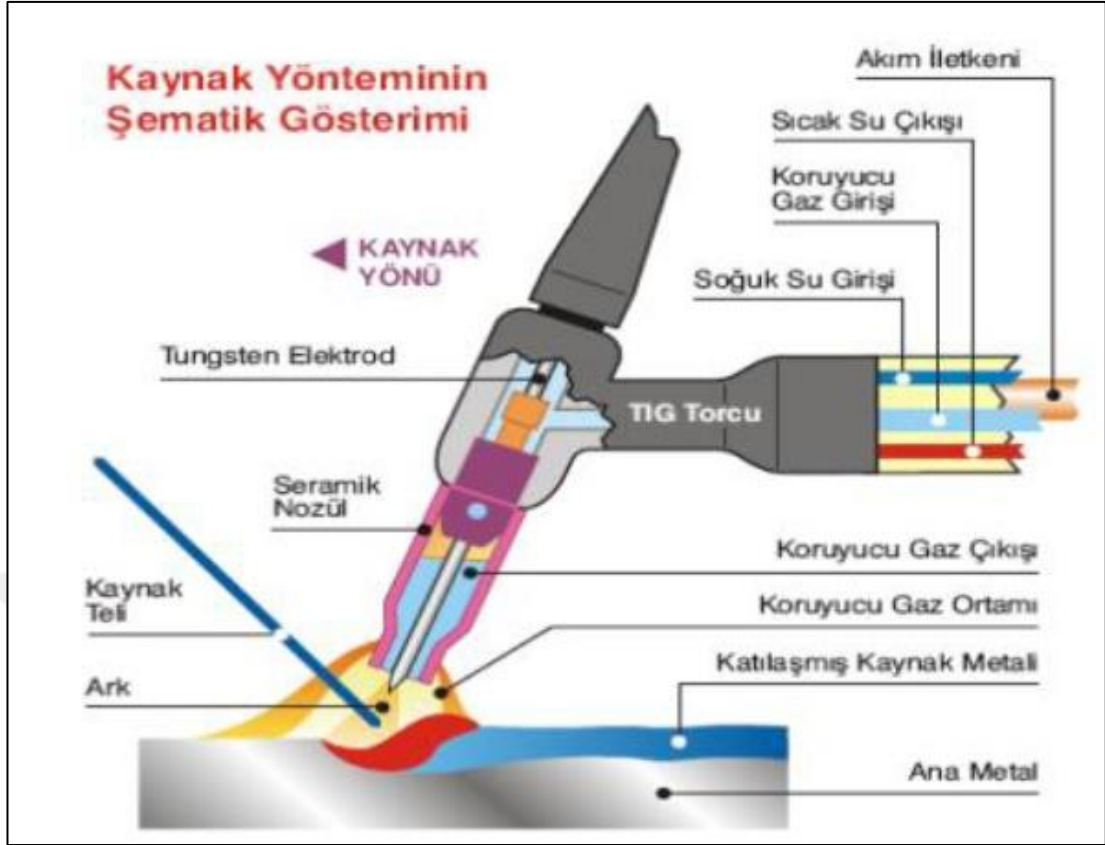
Tungsten Inert Gas kelimeselerinin ilk harflerinden oluşan TIG kelimesiyle adlandırılır [32]. Kaynak banyosunu havanın atmosferinden koruyan örtü gerecinin yerine çeşitli gazların kullanıldığı kaynak yöntemine koruyucu gaz kaynağı denir [54]. Bu yöntemde kaynak için gereken ısı enerjisi bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında

oluşturulan ark tarafından sağlanır. Kaynak bölgesini ve elektrodu çevreleyen bir lüleden gönderilen, asal gaz (Helyum veya Argon) tarafından korunmaktadır [32]. Genellikle kaynak, basınç ve ergime ile dolgu metalin eklenmesi veya ekleme yapmaksızın, ergimeyen elektrotla koruyucu gaz altında yapılan kaynağa TIG kaynak yöntemi denir [55].

TIG kaynağının en önemli özelliği, tungsten elektrotun erimeyen elektrot olmasıdır. Tungsten elektrotlar TS EN ISO 6848:2006'ya göre çapları 0,5- 1-1,6- 2- 2,4-3-3,2- 4-5-6-6,4-7-8 mm boyları ise 50, 75, 100 ve 175 mm olarak standartlaştırılmıştır [56].

TIG kaynağının elektrotları saf tungsten veya tungsten, toryum ve zirkonyum ile alaşımlandırılmasından elde edilen elektrotlardır [57]. Bu elektrot, esas malzemeyi eritmek için kullanılır. Kaynak dikişi yüzeyini artırmak, bir kaynak ağızını doldurmak veya bir T bağlantısında iç köşe kaynağını oluşturmak için ilave metal gerekiyorsa kaynak banyosuna ayrı bir dolgu teli kullanılır. Kaynak her pozisyonda yapılabilir; ancak gerekli beceri seviyesi yüksektir [58].

TIG kaynağının fiziki şemasında (Şekil 7.4) kaynak torcunun iç yapısını göstermektedir. TIG kaynak makinesinin bir kutbu turca, Çase ise parçaya bağlıdır. Ark, ark taşıyıcısı olan tungsten elektrod ile parçasın arasında meydana gelir. İlave malzemeye akım yüklemesi yapılamaz. İlave malzeme, kaynak bölgesine yandan veya önden, elle sevk edilen çubuk veya ayrı bir sevk aparatından sevk edilen tel şeklindedir. Tungsten elektrod ile erimiş banyo ve ilave metalin ergimiş haldeki ucu, atmosferden, elektrodun bulunduğu bir koruyucu gaz memesinden elektrod ile eş eksenli olarak beslenen bir inert koruyucu gaz ile korunmaktadır [59].



Şekil 7.4. TIG kaynağının fiziki görüntüsü [54]

7.3.1. Koruyucu gaz

TIG kaynak yönteminde koruyucu gaz kullanmanın amacı kaynak sırasında, kaynak banyosunu ve erimeyen tungsten elektrotu havanın olumsuz etkilerinden korumaktır [60].

TIG kaynağında Helyum ve argon gazı kullanılmaktadır. Her iki gazda, tek atomlu ve soygazdır. Bundan dolayı diğer elementlerle birleşmezler, renksiz ve kokusuzdurlar, yanmazlar [57]. Helyum gazının Özgül ağırlığı $0,179 \text{ kg/m}^3$ 'tür, havadan yaklaşık 7 kat daha hafiftir. Doğal gazdan elde edilir [54]. Helyum gazının havadan hafif olmasından dolayı, uçar ve koruma kabiliyeti zayıftır [57]. Argon gazının özgül ağırlığı $1,784 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Asal gazdır. Kimyasal bakımdan nötr gazdır. Havadan ayrıştırma ile elde edilir [54]. Argonun havadan ağır olması sebebiyle erimiş metali daha iyi korur. Yüksek akım çiddetinde helyum gazı kullanılır. Çünkü helyum gazı daha yüksek ark gerilimi verir. Saf Argon gazı (%99,99) hafif metal ve alaşımların kaynağında kullanılır. Paslanmaz çelik, bakır ve alaşımlarının

kaynağında oksijen ve azot oranları sırası ile %0,1 ve 1,5'un altında olması gereklidir [57].

7.3.2. Kaynak akımı

TIG kaynak yönteminde, doğru akım ve alternatif akımın ikisi de kullanılır. Ama pratikte her iki akımda yapılan kaynak farklı sonuçlar vermektedir. Paslanmaz çelik ve bakırın kaynakları için doğru akım elektrot negatif (-) kutba bağlı tavsiye edilmektedir [61]. Bakır ve alaşımlarının TIG kaynağında doğru akım, düz kutup (elektrot) kullanılır [54].

TIG kaynağında, alüminyum ve magnezyum alaşımlarının kaynağında alternatif akım kullanılması gerekir. Doğru akımda elektrotun negatif kutba bağlanması durumunda (direkt kutuplama); derin bir nüfuziyet sağlar, bakır ve paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynağı yapılır. Ters kutuplamada (elektrotun pozitif kutba bağlanması) elektrot fazla ısınır, oksit tabakasını yarar; hafif metallerde ince sacların kaynağında kullanılır [57].

Doğru akım elektrot negatif kutba bağlanarak yapılan kaynakta direk kutuplama söz konusudur. Elektronların transfer edildiği katodik leke, elektrotun ucunda bulunur ve pozitif kutbun bağlandığı parçaya yapılan elektron bombardımanı ile derin bir nüfuziyet sağlanır. Bu kutuplama bakır ve paslanmaz çelik gibi malzemelerin kaynağına uygundur. Elektrot pozitif (+) kutba bağlandığı zaman ters kutuplama söz konusudur. Elektrot aşırı ısınır. Bu kutuplama hafif metaller ve ince saclar için kullanılır. Bu durumda ark, ergimiş banyoda yüksek bir elektriksel temizlemeye sahiptir ve oluşan katodik leke oksit tabakasını parçalar [61].

7.3.3.TIG kaynak yönteminin avantajları ve kullanım alanları

TIG kaynağının üstünlükleri aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Yüksek kaynak hızına sahiptir.
- Kaynak ısısı bir bölgeye teksif edilebilir.
- Isıl distorsiyonlar azdır.
- Kaynak dikişleri temizdir.
- Kaynaktan sonra dikişin temizlenmesine gerek yoktur.
- Kolay mekanize edilir [37].

TIG kaynağının dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Tungsten elektrotun kaynak dikişine karışması
- Oksit kalıntıları
- Gözenek oluşumu
- Yetersiz ergime
- Uç krater çatlaklarının oluşması [54].

TIG kaynağının kullanım alanları:

Genel olarak hafif metal ve alaşımlar ile, bakır ve paslanmaz çeliklerin kaynatılmasında kullanılır. 15 mm et kalınlığına kadar malzemelerin kaynağı yapılabilmektedir. Kaynak kabiliyeti kötü olan bronz, titanyum alaşımları ve zirkonyum gibi malzemelerin kaynağı gözeneksiz olarak yapılabilmektedir [57].

7.4. MIG Kaynağı

Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olup ilk olarak 1948 yılında Amerika Birleşik Devletlerinde alüminyum ve alaşımlarının kaynatılmasında kullanılmıştır. Ergiyen metal elektrod ve asal gaz kullanılması nedeniyle yöntem MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunlukları ile darbeli akım ile çalışma, daha farklı metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler oluşmuştur. CO₂ gibi aktif bir koruyucu gaz altında yapılan kaynak yöntemine de Metal Active Gas kelimelerinin baş harflerinin kısaltılması ile MAG yöntemi adı verilmiştir [28].

Kaynağı yapılan metal türü, elektrodun kimyasal bileşimi ve kullanılacak koruyucu gaz türünün seçimini belirlemektedir. Koruyucu gazın türü, tel elektrodun bileşimi ve telin çapı, kaynak akım şiddeti, gerilimi ve kaynak işlemi esnasında ark içerisinde ergimiş metalin elektrodun kaynağı banyosuna taşınım tipini belirlemektedir. Sanayide kullanılan başlıca metal ve alaşımları her pozisyonda uygun elektrod ve koruyucu gaz seçimi ve kaynak parametrelerinin iyi ayarlanması şartıyla MIG yöntemiyle kolaylıkla kaynak edilmektedir [28].

MIG yönteminin diğer ark kaynak yöntemlerine göre çok önemli üstünlükleri bulunmaktadır. Bu üstünlüklerin sıralanması ise şöyledir:

- MIG yöntemi tüm metal ve alaşımlara aynı etkinlikte uygulanabilen tek kaynak yöntemidir.
- Kaynak işlemi pozisyonda rahatlıkla gerçekleştirilmektedir. Ayrıca az miktarda sıçrama oluşumu ile curufun oluşmaması kaynak işlemi sonrasında temizleme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.
- Kaynak telinin kaynak bölgesine sürekli olarak sürülmesi, elektrod değişimi için duraklamalarını ortadan kaldırmakta ve çok uzun kaynak dikişlerinin ara verilmeden yapılabilmesidir.
- Yarı otomatik çalışma esnasında kaynak operatörü sadece torç açlarına dikkat ederek ve ilerleme hızının ayarlanmasından sorumludur. Kaynak donanımının ayarı çok basit ve yapılan kontrollerin donanım ile gerçekleştirilebilmektedir.
- Elektrod telinin otomatik olarak sistem tarafından kaynak bölgesine sürülmesi ve daha yüksek akım yoğunluklarında çalışması gerek kaynak hızının yükselmesine gerekse de birim zamanda yığılan kaynak metali miktarının diğer yöntemlerden çok daha fazla olmasına imkan sağlamaktadır.
- Sprey ark ile metal taşınımı halinde daha derin dikiş nüfuziyeti elde edilerek ve daha az kaynak metali harcanmakta, esas metal ile eş mukavemetli iç köşe kaynak bağlantıları elde edilebilmektedir [62].

Bu üstünlüklerin yanı sıra MIG yönteminin uygulama alanlarını sınırlayan birkaç özellikleri bulunmakta olup aşağıdakiler gibi sıralanabilir:

- Kaynak donanımı daha karışık bir yapıdadır, dolayısıyla daha pahalı ve daha etkin bir bakım gerektirmektedir.
- Kaynak bölgesi torcun ucundaki gaz nozulundan çıkan koruyucu gaz tarafından korunmaktadır.
- MIG yönteminde torç, diğer yöntemlere göre daha büyük ve daha az esnektir dolayısıyla dar ve zor erişililen yerlerin kaynak işlemlerinde zorluk göstermektedir [62].

7.5. MAG Kaynağı

1950'li yılların sonlarına doğru özellikle otomobil endüstrisinde, tam otomatik olarak çalışan, yüksek ergime gücüne sahip, çok hızlı ve yalnızca yatay pozisyonda çalışabilen, CO₂ koruyucu gazlı kaynak makineleri kullanılmaya başlanmıştır [28].

MAG diğer bir deyimle aktif gaz altında ergiyen elektrod ile kaynak, son yıllarda büyük gelişme göstermiş, az alaşımlı çeliklerin kaynağında diğer yöntemlere karşı büyüyen bir rakip konumuna gelmiştir. Özellikle son yıllarda MAG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gaz karışımları üzerinde birçok bilimsel araştırma yapılmış, alaşımsız ve yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağında bu tür koruyucu gazların kaynak dikişinin mekanik özelliklerini arttırdığı, kaynak hatalarında gazlardan gelen türlerin en aza indiği, sıçramaların azaldığı, kaynak dikiş profilinin düzeldiği ve nüfuziyetin arttığı gözlenmiştir [63].

Kısa devre halinde, akımı sınırlayan frekanslı akım üreteçleri geliştirilerek, kısa ark boyu ile çalışılarak sıçrama minimuma indirgenmiştir; diğer önemli bir gelişme sonucunda da ince çaplı elektrod kullanabilme olanağı sağlanmış ve bu şekilde, her ne kadar elektrodun akım yoğunluğu arttırılmış ise de arkın oluşturduğu ısı azalmıştır. Akım yoğunluğunun yükselmesi, arkın yoğun ve istenilen yönde kontrollü olarak doğrultulabilir hale getirmiş ve dolayısıyla her pozisyonda kaynak yapılabilen bu yöntemde önceleri yalnızca CO₂ kullanılmaktaydı [28].

Günümüzde gereken durumlarda, arkı yumuşatmak, sıçramayı azaltmak için CO₂'ye argon karıştırılarak kullanılmaktadır; karışım oranı %85 argona kadar çıkmaktadır. Argon içerisine az miktarda oksijen ilavesi ile çeliklerin kaynağında bu yöntemin uygulanması sonucu, daha kalın çaplı elektrodlarla her pozisyonda çalışabilme olanağı sağlanmış olup daha düzgün dış görünüşe sahip kaynak dikişleri oluşturulabilmektedir.

7.5.1.MAG kaynağı kontrol ünitesi

Kaynakta gerekli fonksiyonlar, hortum paketi içindeki kontrol kablosu üzerinden, torçtaki anahtar aracılığıyla kontrol ünitesinde devreye sokulur [64].

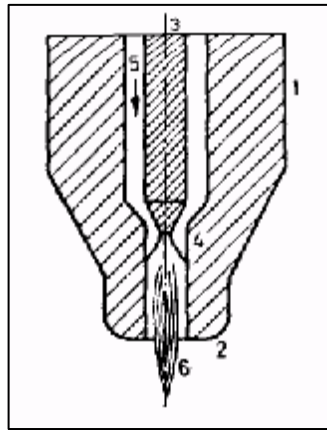
Genel olarak iki ve dört zamanlı kontrol sistemleri mevcuttur:

- a. İki zamanlı kontrol: Torcun anahtarından, aynı anda akım, tel ilerlemesi ve koruyucu gaz devreye sokulur; anahtarın bırakılmasıyla bu fonksiyonların tümü aynı anda kesilir. Bu kontrol tipi, esas olarak puntalama işleminde ve kısa dikişler için kullanılır [64].

- b. Dört zamanlı kontrol: Torcun anahtarına basıldığı zaman öncelikle sadece magnet ventilin açması yolu ile koruyucu gaz akmaya başlar ve anahtarın bırakılması ile akım ve tel ilerlemesi başlar. Kaynak işleminin sonunda anahtara tekrar basıldığı zaman akım ve tel ilerlemesi kesilerek anahtar bırakılana kadar koruyucu gaz akışı bir miktar daha sürer [64].

7.6. Plazma Kaynağı

Plazma kavramından, moleküllerin, atomların ve elektronların oluşturduğu kızdırılmış gaz anlaşılmalıdır. Bu gazın tamamı, elektriksel yönden nötrdür. Plazma TIG kaynağında temel olarak, iki farklı ark düzeni kullanılmaktadır. Bunlardan birisi taşıyıcı olmayan ark, ergimeyen tungsten elektrod ve suyla soğutulan bakır meme arasında teşekkül eder. Bakır meme, arkın odaklayıcı, güç yoğunluğunu artırıcı ve bu nedenden plazma demetinin sıcaklığını yükseltici tesir yapar. Tungsten elektrod negatif, bakır meme pozitif kutup olarak kullanılmaktadır. Diğer ark sisteminde, ark toryum ile alaşımlandırılmış bir ışını odaklayan bakır memenin içinden geçen tungsten elektrod ile iş parçası arasında teşekkül eder. Plazma gazı, elektrod ile meme arasındaki silindirik hacme püskürtülür. Bu sistem plazma birleştirme kaynağında (Şekil 7.5) ve plazma ile yapılan kesmede kullanılır. Taşıyıcı ark, yardımcı ark ile elektrod ve meme arasında yakılmaktadır. Taşıyıcı ark tuttuğunda yardımcı ark sönmektedir [22].



Şekil 7.5 Plazma ark kaynağının prensibi [22]

Plazma TIG kaynağı ile birleştirme işlemlerinde plazma gazına ilaven, kaynak banyosunu havanın etkilerine karşı korumak üzere ikinci bir gaz akımı kullanılmaktadır. Plazma kaynağı cihazlarının büyük çoğunluğunda üçüncü bir gaz akımı, plazma demetini odaklayıcı ve meme dışında daraltıcı olarak kullanılır. Odaklayıcı gaz olarak; argon-helyum, argon-hidrojen veya argon-azot gaz karışımları kullanılmaktadır. Plazma doldurma kaynağında, her iki ark beraber kullanılır. Bu uygulamada; düşen karakteristikli iki ayrı akım membaı, elektrod ile meme arasında ve elektrod ile iş parçası arasında bağılı olarak kullanılır. Her iki ark kaynak işlemi sırasında yanar. Genellikle toz halinde doldurma malzemesi ile bir gaz akımı üzerinden kaynak bölgesine iletilir, plazma demetinde ergitilir ve taşıyıcı ark ile ana malzemeye kaynak işlemi gerçekleştirilir. Üçüncü bir gaz akımı da, kaynak banyosunu atmosferin etkilerinden korur. Plazma birleştirme kaynağı, kalın sacların küt alın (I) birleştirilmelerinde ilâve metal kullanmadan tatbik edilebilir. Kaynak hızı, TIG yönteminin yaklaşık iki katı kadardır. Plazma kaynağı ile hafif ve yüksek alaşımlı çelikler, nikel ve alaşımları, zirkonyum, bakır ve alaşımları birleştirilebilir. Mikroplazma donanımları ile, 0,01 mm kalınlıktaki folyolar 0,5 amper akım şiddetiyle birleştirilebilir [22].

8. KAYNAK HATALARI

Kaynakla birleştirilen iş parçasının malzemesinde veya birleştirme bölgesinde mekanik, metalurjik veya fiziksel özelliklerin homojenliğini bozan sebepler süreksizlik olarak tanımlanmaktadır. Her süreksizlik bir kaynak hatası olarak kabul edilmez. Kaynaktaki bir süreksizlik kaynaklı birleştirimin kullanım amacı uygunluğuna engel teşkil ederse kaynak hatası olarak tanımlanır.

Ergime ile birleştirme yapılan kaynak işlemlerinde meydana gelen süreksizlikler; AWS' nin (Amerikan Kaynak Cemiyeti) [65] yaptığı sınıflandırma aşağıdaki şekildedir:

- Kaynak yöntemi ve kaynak uygulamasına bağlı meydana gelenler,
- Metalurjik mikro yapıdan meydana gelenler,
- Tasarıma bağlı olarak oluşan süreksizlikler.

DIN (Alman Standardı) normunda süreksizlikler; dış kusurlar ve iç kusurlar diye iki grup altında incelenir [66].

8.1. Çatlaklar

Kaynak bölgesinde çok çeşitli çatlaklar olabilir. Kaynak bölgesinde oluşan çatlakları değişik şekillerde sınıflandırmak mümkündür:

1. Kaynak metali krater atlağı
2. Enine kaynak metali atlağı
3. Ana metal enine atlağı
4. Boyuna kaynak metali atlağı
5. Ana metal ayak ucu atlağı
6. Dikiş altı atlağı
7. Ergime hattı atlağı

8. Kaynak metalinin kök çatlakları
9. Kaynak metalinin şapka çatlakları

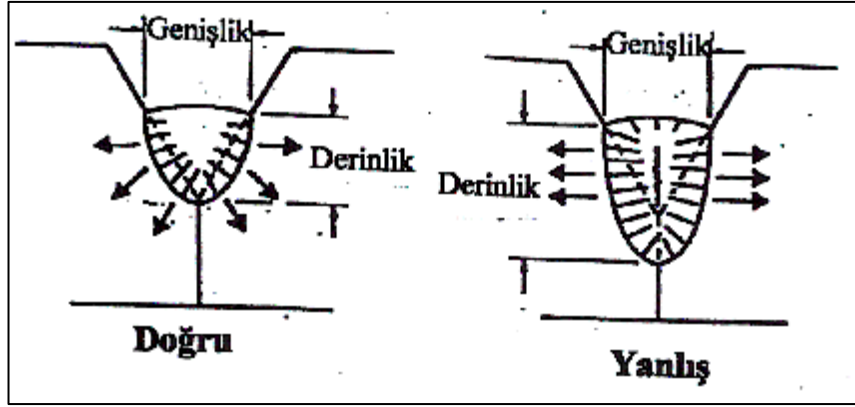
Kaynak metalinin çatlakları:

Kaynak metalinin çatlakları genellikle kaynak metalinin katılaşması ve katılaştıktan sonra 300 °C kadar soğuması sırasında meydana gelirler. Yani bu çatlaklar 1500 – 1200 °C sıcaklıkları arasında oluşur. Bu nedenle bunlara sıcak çatlaklar adı da verilmektedir [67].

Kaynak metalinin çatlama riskinin ana nedeni katılaşma ve katılaşma bittikten sonra kaynak bölgesinde oluşan büzülme gerilmeleridir. Ana metal kaynak metalinin ve ITAB' in büzülmesini engellemektedir. Bu bölgelerde büzülme engellemesinden doğan çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Katılaşmanın bittiği sıcaklıklarda kaynak metalinin mukavemeti çok küçük değerdedir. Lokal gerilmeler dikişin çekme mukavemetinin üzerine çıkabilir. Bu durumlarda kaynak dikişinde lokal çatlaklar oluşur.

Kaynak metalinin iri taneli mikro yapısının meydana gelmesi, kaynak metalinin tokluğunu ve sürekliliğini azaltır. Bu iri taneler sıcak çatlama riskini artırır. Kaynak metalinde bulunan P, S, O gibi elementler, dikişte segregasyon yaparak çatlama riskini arttırmaktadır. Kaynak metalinde S ve C oranı arttıkça sıcak çatlama riski artmaktadır [68].

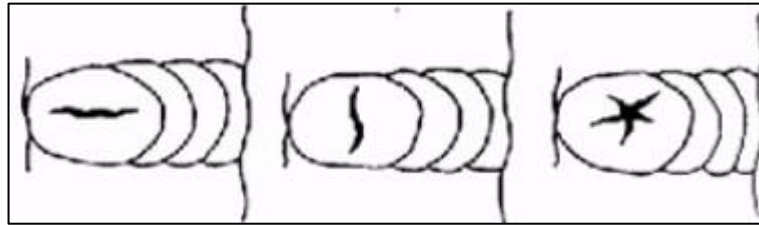
En önemli etken çekme tarzındaki büzülme gerilmesidir. Çekme gerilmesinin şiddetini azaltan tedbirler sıcak çatlama riskini önleyecektir. Çekme gerilmesini azaltmak için kaynak birleştirme tasarımında değişiklik yapılarak dikişin daha fazla serbest büzülmesi sağlanarak büzülme engelleme gerilmesi azaltılır. Kaynak öncesi ön ısıtmama yapılarak kaynak bölgesindeki büzülme gerilmeleri düşürülür. Kaynak metalinde kükürt, oksijen, fosfor, karbon oranı azaltılarak da çatlama önlenmektedir. Kaynak sırasında çekilen dikişin boyutları uygun tutularak büzülme gerilmeleri kontrol edilir. Elektrik ark kaynaklarında dikiş derinliği arttıkça büzülme çekme gerilmeleri artar. Dikiş derinliği çok derin olursa dikişte çatlak oluşumu Şekil 8.1'de görülmektedir.



Şekil 8.1. Kaynak ağızı açılmış kaynaklı birleştirmelerde dikiş derinliğinin büyük olması

Çatlamaya Etkisi:

Çeliklerin elektrik ark kaynağında kaynak metalinde karşılaşılan bir sıcak çatlama türü krater çatlaklarıdır. Alaşimsız veya hafif alaşimli çeliklerin kaynağında elektrodun çabuk çekilmesi sonucu kaynak metali krater yerinde az yığıldığından zayıf ve kalınlığı ince olur. Kaynak metalinin katılaşması sırasında emilmesi ile krater çatlağının meydana gelmesine sebebiyet verir. Alın birleştirmelerinin kök pasolarında görülür (Şekil 8.2).



Şekil 8.2. Alın birleştirmesinde bir krater çatlağı [69]

Bu hatayı önlemek için kaynağın veya elektrodun bitimine yakın elektrot çabuk çekilmez ve krater iyice doldurularak dikişin bu kısmına biraz fazla metal yığılır. Dikiş bitiminde veya elektrot değiştirilirken 20-25 mm geriye doğru elektrot yavaşça çekilerek ark söndürülür.

ITAB çatlakları:

Alaşimsız ve az alaşimli çeliklerin kaynağı sırasında ITAB' da görülen en önemli çatlak türü hidrojen çatlaklarıdır. ITAB' da ayrıca lameler yırtılma adı verilen çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar aşağıda açıklanmıştır.

- Hidrojen Çatlakları: Kaynak sırasında kaynak bölgesini çevreleyen kaynak atmosferinde hidrojen atomları bulunabilir. Örtülü elektrot kaynağında örtüde bulunan nem sıcaklığında yüksek sıcaklığında H ve O atomlarına ayrılır. Ayrıca iş parçası ve kaynak elektrotu veya kaynak telinde bulunan gres gibi maddelerden ark atmosferine hidrojen atomu geçer. Bu atomlar sıvı metalde çözünür. Sıvı çelikte 30 ppm kadar çözünebilen hidrojenin katıdaki çözünürlüğü 1 ppm civarındadır. Kaynak metalinde metalin çözünen bu hidrojen ITAB' ın iri taneli bölgesine de yayılır. ITAB' ın iri taneli bölgesi sert ve gevrek martenzite dönüşebilmektedir. Bu iri taneli martenzitin sünekliği ve tokluğu yok denecek kadar azdır. Bu bölgeye yayılan hidrojen bölgenin gevrekliğini daha da artırır. Bu bölgede büzülmeye bağlı çekme gerilmeleri oluşur:

1. Çekme gerilmesi
2. Gevrek mikro yapı ve
3. Hidrojen atomları ITAB' ın iri taneli bölgesinde çatlama yol açar.

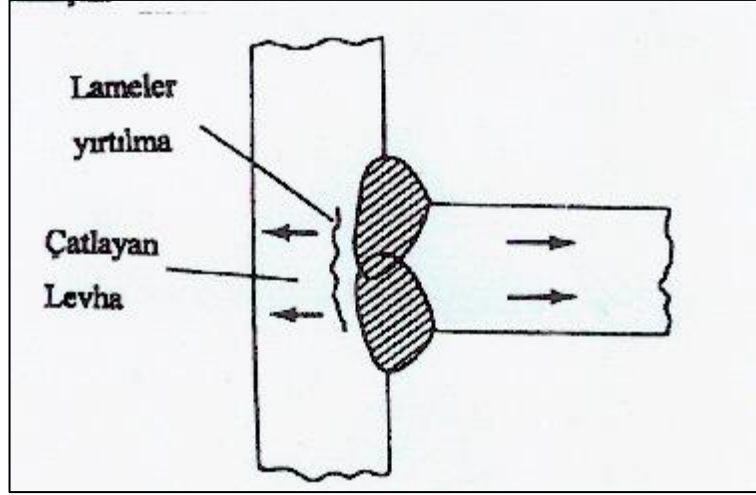
Hataya sebebiyet veren üç sebebin (hidrojen, yüksek çekme gerilmesi, gevrek mikro yapı) önlenmesi halinde çatlama önlenmektedir. Kaynak bölgesindeki yağ ve nem önlenince kaynak metaline hidrojen girişi azaltılmaktadır. Kaynak net birim dikiş enerjisi artırılarak ve ön ısıtma yapılarak hem çekme gerilmesi azaltılmakta hem de ITAB' ın gevrek mikro yapıya dönüşmesi engellenmektedir.

Lameler Yırılma:

Kalınlık doğrultusunda süneklik özelliği düşük çelik levhalarda kaynak büzülme gerilmeleri kalınlık doğrultusunda meydana gelirse lameler yırtılma adı verilen çatlaklar oluşur. Bu çatlak oluşumu Şekil 8.3'de gösterilmiştir.

Bu hatayı önleme yolları:

- Sünekliği çok olan düşük kükürtlü çelik kullanılır.
- Ön ısıtma yapılır.
- Büzülme gerilmelerinin kalınlık doğrultusunda farklı yönlerde oluşması sağlanır.



Şekil 8.3. Kaynak birleştirilmesinde tipik lameler yırtılma

Şekildeki Oklar Büzülme Gerilmelerini ve Yönünü Göstermektedir.

8.2. Sıçrantılar

Elektrik ark kaynağında istenmeden, ana metalin yüzeyinde küresel küçük metal parçacıklarının dağılması vakasıdır. Bu hatanın sebepleri şu şekildedir:

- Elektrodun nemli olması,
- Akım şiddetinin yüksek olması,
- Kaynak yapılırken arkın sık sık kesilmesi başlıca nedenleridir.

Kaynak sonrasında temizliği zorlaştırırken kaynak metalinin kaybına, yüzey pürüzlülüğüne ve kaynak veriminin düşmesine sebep olur. Sıçrama kayıplarının azalması için tel ve iş parçasının yüzey temizliği kaynak akımı ve kaynak gerilimidir. Kaynak (-) kutbuna bağlanması (+) kutuplu kaynaklara nazaran sıçramayı artırır. Kaynak ilerleme hızı arttıkça azalır, gereğinden az koruyucu gaz üfleme ark korumasını yetersiz bırakırken aşırı üflemede sıçramanın kaybını artırır.

8.3. Curuf Kalıntıları

Bu hataya elektrik ark kaynağında tesadüf edilir. “Curuf kalıntısı” tabiri kaynak dikişinin içinde kalan herhangi metalik olmayan bir maddeye şâildir. Ark kaynağındaki bu kalıntı, elektrod örtüsünden ileri gelir. Curuf, kaynak işlemi süresince ark tarafından ergimiş banyonun içerisinde dağılabilir. Bu vdurumda dikiş boyunca yayılmış ince bir curuf tabakası göze çarpar. Çok pasolu kaynak

dikişlerinde, bir pasodan diğerine geçerken kaynak operatörü curufu iyice temizlemez ise, iki paso arasında curuf kalır. Kaynak operatörü pasoyu çekmeden önce dikişteki curufu çekiç, keski veya tel fırça ile tamamen temizlediği takdirde bu hata önlenmiş olur. Elektrod örtüsü, curuf kalıntısının başlıca amili olmasına rağmen, esas metalin ağızları kafi derece temiz değilse, metalik olmayan kalıntılar da müşahede edilebilir. Kaynağın kalitesini haleldar edecek kalın pas tabakası, pislik, yağ ve sair yabancı maddeler kaynak ağızlarından uzaklaştırılmalıdır. Gayet ince bir pas veya oksijenle kesmeden mütevellit bir oksit tabakası nazarı itibara alınmayabilir. Kaynak ağızları hazırlanırken, curuf kalıntısına sebebiyet verebilecek boşluk veya gayri muntazam şekillerden sakınmalıdır. El ile yapılan oksit-asetilen kesmesinde, üflece düzgün ve temiz kesme yüzeyi temin edebilecek bir hareket verilmelidir. Çok defa curuf kalıntısı ile nüfuziyet azlığı birbirine bağlıdır.

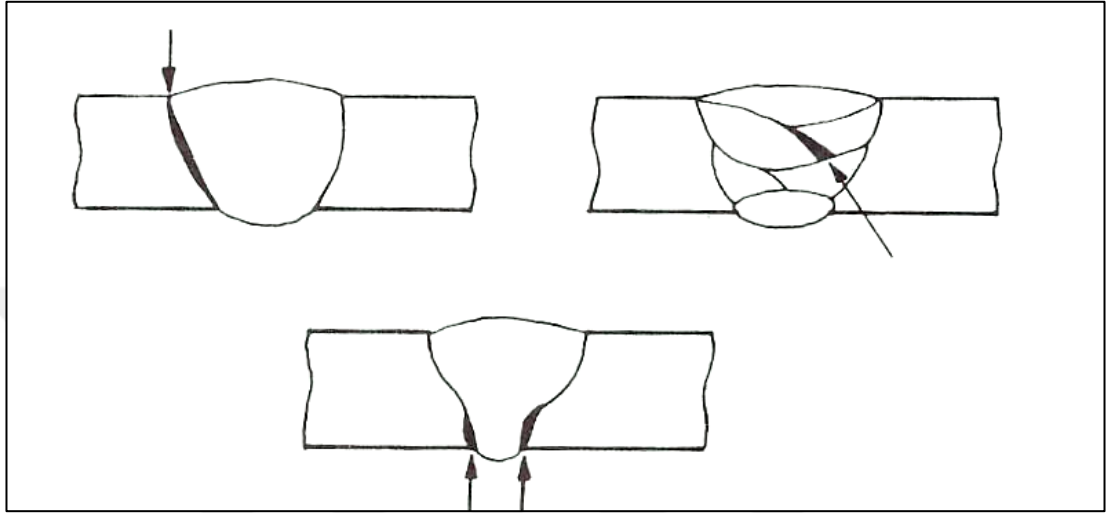
Bu bakımdan, nüfuziyet azlığına sebebiyet verebilecek aşağıdaki faktörlere dikkat etmek icap eder:

- Hiçbir zaman kalın çaplı elektrod kullanılmamalıdır.
- Kaynak ağızı açısı doğru çekilmelidir.
- Kaynak yaparken elektroda uygun bir hareket verilmelidir.
- Elektrod yanlış bir açı ile tutulmamalıdır.
- Dip pasosu iyi bir şekilde çekilmelidir.

Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan büyük, gayri muntazam dağılmış veya sıralar halinde cüruf artıkları, bağlantının homojenliğini bozduğu gibi, mukavemetini de düşürür. Bu artıklar, bazen kılçatlakların meydana gelmesine sebep olur. Maamafih bazı seyrek dağılmış ufak ve küresel cüruf kalıntıları, birleştirmenin statik mukavemetine tesir etmediğinden, nazarı itibara alınmayabilir. Cüruf kalıntısı ihtiva eden kısım çıkartılarak, yeniden kaynak yapmak suretiyle bu hata bertaraf edilebilir. Hatalı kısmın çıkarılması ile meydana gelen boşluğun elektrod hareketine müsait olması ve iyi nüfuziyetli bir kaynağın yapılması lâzımdır. Kaynak işleminden önce, ağızlar ve metal iyice temizlenmelidir [66,70].

8.4. Yetersiz Ergime

İş parçasının yüzeyinde veya köşelerindeki erime kaynak sırasında yetersiz kalınca birleşme eksik olmaktadır (Şekil 8.4). Hatalı kaynak teknikleri, kaynak parçalarının yetersiz ön hazırlığı yanlış birleştirme dizaynı gibi hatalar yetersiz ergimeye yol açar.



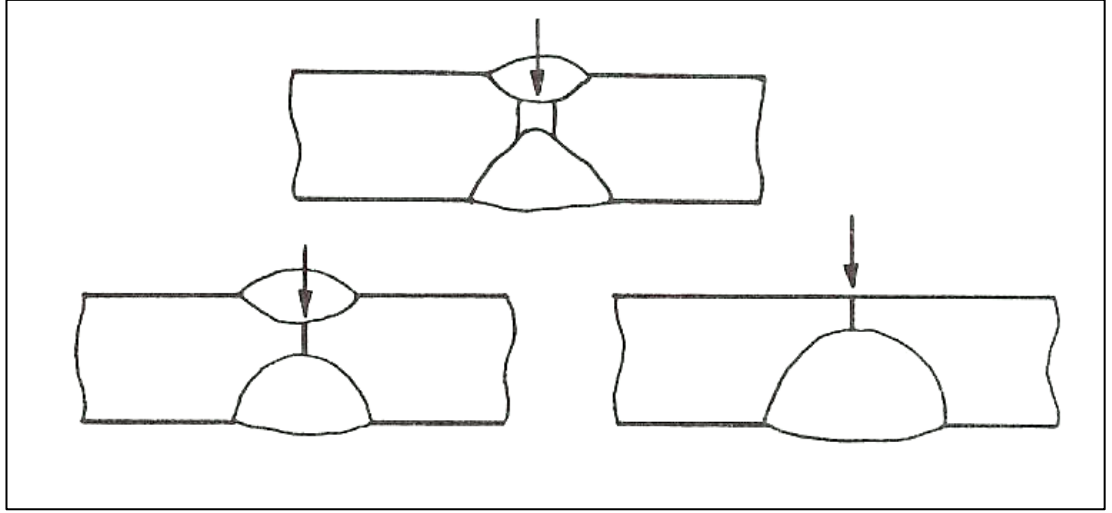
Şekil 8.4. Yetersiz erime

- Kaynak metalini ile esas metalin yüzeyi arasındaki erime yetersizliği .
- Kaynak pasoları arasındaki erime yetersizliği.
- Kök pasosu ile esas metal arasındaki yetersiz erime.

Yetersiz ergime sonucu kaynak ilerleme doğrultusunda iki boyutlu bir hata oluşur. Hatanın kenar keskinliği direkt olarak oluşum hatalarına bağlıdır.

8.5. Nüfuziyet Azlığı

Küt, alın, v, x, j ve benzeri alın birleştirmelerinde nüfuziyet derinliği olarak en fazla parça kalınlığı alınır. Farklı kalınlıkta iki parça alın kaynak ile birleştirilirse nüfuziyet derinliği olarak ince parçanın yüksekliği alınır. Yani nüfuziyet derinliğinde aşırı yığılan metal hesaba alınmaz. Şekil 8.5'te tek pasolu veya çok pasolu kaynaklı birleştirmelerde yetersiz nüfuziyet örnekleri mevcuttur.



Şekil 8.5. Nüfuziyet azlığı şematik görünümü [22]

8.6. Boşluklar

Kaynak yaparken dikişin içerisinden çıkamayıp, sıkışan gazların husule getirdikleri boşluklardır. Bu boşluklar da iki kısma ayrılır:

Gözenek kanalı : Erimiş metal banyosunun soğuması ile içinde kalıp çıkamayan gazların meydana getirdiği uzunlamasına boşluklardır.

Gaz kabarcığı : Gazların sıkışmasından mütevellit tek büyük boşluktur. Bir kaynak dikişinde gözeneklerin (kaynak esnasında vukubulan kimyevî reaksiyonlardan serbest kalan gazların metalin içinde sıkışması, gözenekleri meydana getirir) husule gelmesine tesir eden birçok faktörler mevcuttur. Bunların başlıcalarını şöyle sıralayabiliriz:

- Esas metalin kimyevi terkibi
- İlave metalin (elektrod ve kaynak teli) kimyevî terkibi
- Bilhassa esas ve kaynak metalinin ihtiva ettiği kükürt miktarı (kükürt miktarının çoğalması doğrudan doğruya gözeneklerin hasıl olmasına sebebiyet verir)
- Elektrod örtüsünün nemli olması (kaynak esnasında hasıl olan su buharının, dikişin içerisinde kalmasını sağlar)
- Düşük akım şiddeti ile çalışma
- Çok uzun veya çok kısa ark boyları ile kaynak yapma
- Erimiş metal banyosunun çabuk donması
- Kaynak ağızlarının kirliliği

Bir kaynak dikişinin içerisinde bulunan gözenekler, dikişin taşıyıcı kesitini azalttığından, mukavemetini de düşürür. Aynı zamanda mahalli gerilme birikmelerine sebep olur. Dolayısıyla da bağlantının mekanik özelliklerini fenalaştırır. Gözenekler bilhassa yorulma mukavemetini azaltan bir tesir icra ederler. Fakat dağılmış gayet küçük gözenekler, birleştirmenin statik mukavemetine fazla tesir etmezler. Fazla gözenek ihtiva eden dikişler çıkartılarak yeniden kaynak yapılabilir. Yeni açılan bu oyuğun elektrodun hareketine müsait olması ve iyi bir nüfuziyet temin etmesi icap eder. Kaynak işleminden evvel, ağızlar iyice temizlenmiş olmalıdır [66,70].



9. KAYNAKLI PARÇALARDA MEYDANA GELEN DİSTORSİYONLAR VE GERİLMELER

Kaynak işlemi, bölgesel bir döküm işlemi olarak da adlandırılmaktadır. Yani bölgesel ısı artışları, birleştirilecek olan parçaların belirli kısımlarını ergiterek birbirlerine kaynamalarını sağlar. Bölgesel ısı farkları birleşmeyi sağlarken beraberinde bazı olumsuz durumları da getirir. Distorsyonlar da bu olumsuz durumlardandır.

Distorsyon, kaynak işlemindeki ısınma soğuma döngüsü nedeniyle meydana gelen istenmeyen bir durumdur. Isınma soğuma döngüsü sürerken metalin distorsyonuna pek çok faktör etki eder. Örneğin, kaynak alanının sıcaklığının artması, metalin ısıl geçirgenliği, ısı akışının düzensizliği distorsyonlara neden olur [71].

9.1. Gerilme ve Distorsiyonların Esasları

Uzunluğu diğer boyutlarının yanında, çok büyük olan bir parça (çubuk) ısıtılırsa ve serbest olarak hareket edebiliyorsa boyu uzar. Soğuduğu zaman, tekrar eski uzunluğuna erişir. Buna "serbest uzama ve kendini çekme" denir. Isı etkisi altında kalan bir çubuğun uzama miktarı, Denklem (9.1)'deki gibi ifade edilir:

$$\Delta l = l \cdot \Delta t \cdot \alpha L \quad (9.1)$$

Δl : Çubuğun uzama miktarı (mm)

l : Çubuğun ısıtılmadan önceki boyu (mm)

Δt : Çubuğun başlangıç ve son sıcaklıkları arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$)

αL : Isıl uzama katsayısı ($\text{mm}/^{\circ}\text{C}$)

Genişlik ve uzunlukları arasındaki farkın büyük olmadığı parçalarda, ısı karşısında uzama ise:

$$\Delta F = F \cdot \Delta t \cdot \alpha F \quad (9.2)$$

ΔF : Levhanın ısı etkisiyle yüzeysel genişleme miktarı (mm^2)

F : Levhanın ısıtılmadan önceki alanı (mm^2)

Δt : Başlangıç ve son sıcaklıklar arasındaki fark ($^{\circ}\text{C}$)

αF : Yüzeysel genişleme katsayısı ($\text{mm}^2/^{\circ}\text{C}$)

Isı etkisi altında kalan bir parçanın, uzamasının ve kışalmasının tahdit edilmesi; parçada basma ve çekme gerilmelerinin meydana gelmesine sebep olur. Bu gerilmeler plâstik alanda ise, plâstik şekil değişimi (distorsiyon) ve gerilme kırılma değerini aşarsa, kırılmalar meydana gelir. Bu davranış gerilmenin değeri kadar, malzemenin sünek veya gevrek davranışına da bağlıdır [22].

9.2. Kaynak Gerilmelerine Ve Çarpılmalarına Etkiyen Faktörler

Kaynak sırasında meydana gelen gerilmeler ve çarpılmalar birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin başlıcaları şunlardır:

Isıtma gerilmeleri (ısıl gerilmeler):

Bir parçanın bölgesel olarak ısıtılması sırasında, uzamanın engellenmesiyle meydana gelen gerilmelere ısıtma gerilmeleri (ısıl gerilmeler) denmektedir. Bu gerilmelerin büyüklüğü aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Sıcaklık farkı (Verilen ısı miktarı ile ilgilidir)
- Kaynak hızı
- Özgül ısı
- Isı iletme kabiliyeti
- Radyasyonla ısı yayılımı
- Parçanın hacmi ve formu
- Elastiklik modülü
- Isıl uzama katsayısı

Konstrüksiyonun rijitliği:

- Kaynak esnasında meydana gelen ısıl gerilmeler ve gerilmeler, düzgün olmayan soğuma nedeniyle konstrüksiyonda basma (reaksiyon) kuvvetleri oluşturur.

- Konstrüksiyonun rijitliğine göre bu basma kuvvetleri bir takım çarpılma ve kabarmalar meydana getirir.
- Burkulmaya karşı rijidite derecesi, konstrüksiyonun formuna bağlı olduğu gibi bilhassa sac konstrüksiyonlardaki sabitleme derecesine de bağlıdır.
- Düzgün olmayan haller çarpılmaya karşı rijiditeyi düşürür.
- Bunun için de sac konstrüksiyonlarda burkulma mukavemetini yükseltecek bazı takviyeler konur. Isıl uzamaya karşı rijiditeyi arttırmakla, yüksek sıcaklıkta akma sınırı düştüğünden plastik bir yığılma olur.
- Soğuma sırasında da 600°C'nin altında akma sınırı yükseldiğinden, kendini çekme gerilmeleri meydana gelir.
- Kendini çekmeye karşı uygulanan rijidite derecesine ve soğuma şartlarına göre tek veya çok eksenli gerilmeler meydana gelir.
- Akma sınırının azalmasına sebebiyet verir.
- Düşük rijidite soğuma sırasında büyük çarpılmalaraneden olur.

Malzemenin metalurjik özellikleri:

Kaynak dikişinin soğuması esnasında Ac3 noktasının üzerinde ısınan bölgede çeşitli iç yapılar meydana gelir. Soğumanın yavaş olması halinde, ostenitik yapı tamamen perlitik yapıya dönüşür. Çabuk soğuma esnasında da dikişin yanındaki bölgede malzemenin karbon miktarına veya alaşım derecesine göre trostitik veya sorbitik gibi ara yapılar yada daha kötü bir durum olan martenzitik bir iç yapı meydana gelebilir. Geçiş bölgesindeki bu ara yapılar, dikişin şekil değiştirme kabiliyetini azalttığı gibi, iç gerilmelerin de meydana gelmesine sebep olur. Bunun için özellikle alaşımlı veya yüksek karbonlu çeliklerde kalın kesitli parçalara büyük önem vermek gerekir. Parçaya kaynaktan önce bir ön ısıtma uygulayarak sıcaklık alanlarını mümkün mertebe düzgün bir şekilde yaymak ve diğer tehlikeleri önlemek mümkündür [22,71].

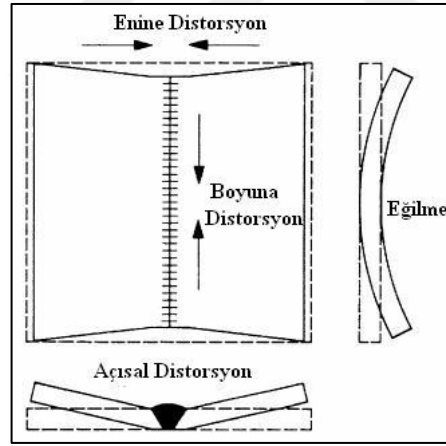
9.3. Distorsyon Çeşitleri

En çok görülen ilk üç distorsyon tipi boyuna, enine ve açısal distorsyondur. Kalınlık distorsyonu o kadar küçük miktarlarda olur ki çoğunlukla ihmal edilir. Distorsyon temelde 7 ana şekilde incelenir.:

- Enine Distorsyon: Parçada kaynak dikişine dik eksen boyunca meydana gelen çekmedir.
- Boylamasına Distorsyon: parçanın kaynak dikişine paralel eksen boyunca meydana gelen çekmedir.
- Açısal Distorsyon: Enine distorsyonun özel bir şeklidir. Parçalar başlangıç durumuna göre α kadar bir açı yaparlar.
- Kalınlık Distorsyonu: Parçanın kendi kalınlığı üzerinde meydana gelen çekmedir. Çok küçük bir değer olduğu için pratikte bir önem taşımaz.
- Eğilmeler
- Burkulmalar
- Kıvrılmalar [71].

9.4. Alın Dikişlerinde Distorsyonlar

Alın dikiş kaynaklarında enine, boyuna ve açısal distorsiyonlar olmak üzere üç farklı distorsiyon Şekil 9.1’de görüldüğü halde oluşmaktadır.



Şekil 9.1. Alın birleştirmede oluşan distorsyon tipleri [71]

9.4.1. Enine distorsyonlar

Alın kaynaklarında meydana gelen enine distorsiyonların büyüklüğü; kaynak yerine verilen ısı miktarı, ağız genişliği ve dikiş boyuna bağlıdır. Tahdit edilmemiş enine distorsiyonu veren çeşitli formüller çıkarılmıştır. Bunlardan Malisius'un formülü Denklem (9.3)'teki gibidir:

$$\Delta l = 1,3(0,6 \cdot \lambda_1 \cdot k \cdot Q \cdot \lambda_2 \cdot b) \quad (9.3)$$

Δl : Kendini çekme miktarı (mm)

λ_1 : 0,0044

λ_2 : 0,0093

k : 43 (çıplak elektrodla ark kaynağında) 50 (örtülü elektrodla ark kaynağında)

Q: Kaynak ağzının kesiti (mm²)

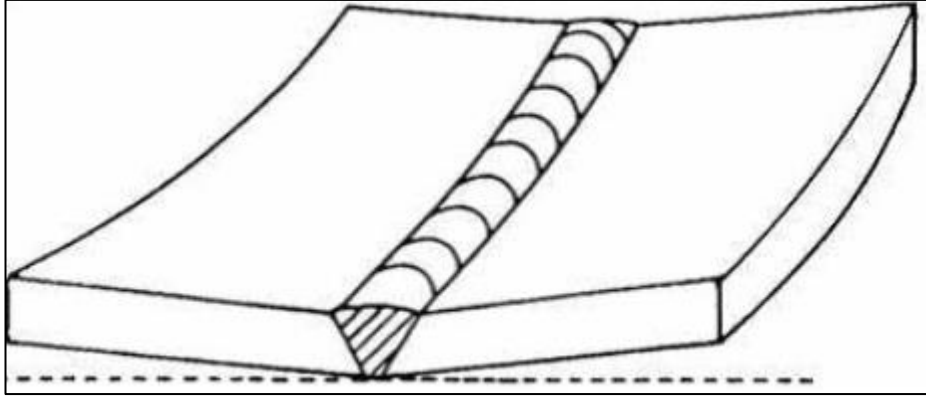
b: Ağız genişliği (mm)

Alın kaynağında enine distorsiyonu azaltmak için, aşağıdaki hususlar gözönüne alınmalıdır:

- Kaynak dikişi puntalanmalıdır.
- Sıçrayarak veya geri adım usulüyle kaynak yapılmalıdır.
- Kaynak hızı yükseltilmelidir.
- İnce çaplı elektrod ile çok pasolu kaynak yapılmalıdır.
- Kaynak ağzı düzgün olarak hazırlanmalıdır [22].

9.4.2. Boyuna distorsyonlar

Kaynak metalinin erimesi esnasında dikişin civar bölgeleri genişlemek (uzamak) ister. (Şekil 9.2) Soğuk haldeki civar bölgeler (dikişin yanındaki) boylamasına uzamayı sınırlandırır ve plastik bir yığılma meydana gelir. Bu da boylamasına distorsyon ve gerilmelerin oluşumunun esas nedenidir. Ölçülebilen boylamasına distorsyon miktarı azdır ve pratik olarak yalnızca dikişin sonlarında kısalma olur. Dikişin boyu uzadıkça metre dikiş boyuna düşen çekme miktarı azalır. Alın kaynaklarında bu oran 0,1 ile 0,3mm/m'dir. Bununla birlikte dikişte yüksek miktarda uzunlamasına çekme gerilmesinin meydana gelmesi halinde, bütün kendini çekme kuvvetleri bilhassa ince saclarda dikişlerin arasındaki bölgelerde bombelikler (kabartılar) oluşturur. Ölçülebilen mertebedeki boylamasına distorsyonlar, kaynak hızını yükselterek (dar tavlama bölgesi) veya kaynağa ara vererek azaltılabilir [71].



Şekil 9.2. Alın birleştirmede boyuna distorsyon [71]

Kaynak uzunluğunun 1/1000'i kadar uzunlukta boyda çekme görülür.

$$\Delta l = (12 \cdot I \cdot L / s) 10^{-7}$$

Δl : Boyuna çekme (mm)

I: Kaynak akımı (A)

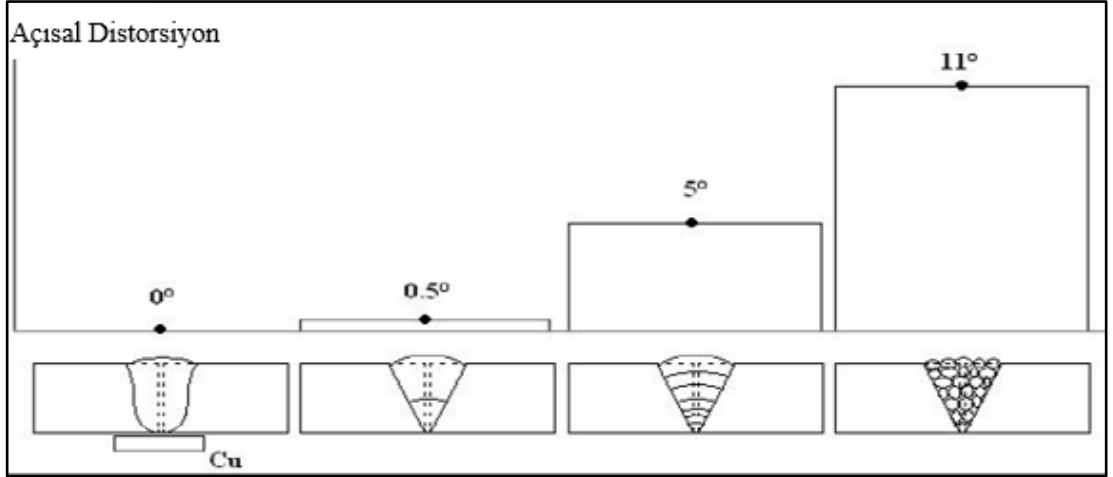
L: Kaynak uzunluğu (mm)

s: Sac kalınlığı (mm)

9.4.3. Açısal distorsyonlar

Meydana gelen açısal distorsyonun mertebesi kaynak ağzının şekline, pasoların atılış tarzına ve sac kalınlığına bağlıdır. Şekil 9.3'de pasoların atılış tarzının açısal distorsyona etkisi gösterilmektedir. Açısal distorsyonu, distorsyona ters yönde bir eğim vererek veya kök pasosunu ters taraftan rendeleyerek (oyarak) yeniden paso çekmekle minimuma indirmek mümkündür. Kaynak sırasında parçaların sıkı bir şekilde sabitlenmesi de açısal distorsyonu azaltır.

Tek taraftan ve özellikle V kaynak ağzı ile kaynaklanan sacların üst yüzeyleri daha çok ısındığı için, yüzeyin çekmesi daha fazla olur ve açısal distorsyon meydana gelir [71].



Şekil 9.3. Farklı paso sayılarında oluşan farklı açısal distorsiyonlar [71]

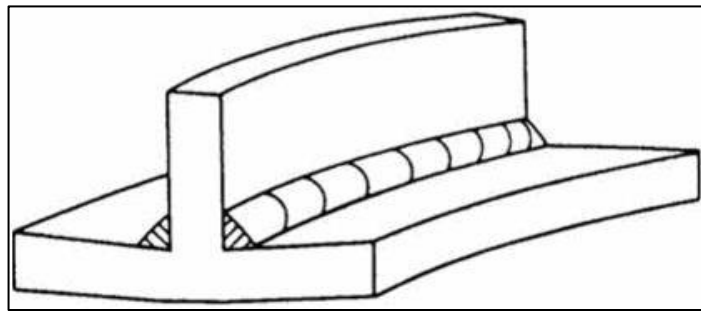
9.5. İç Köşe Birleştirmelerinde Distorsyonlar

9.5.1. Enine distorsyonlar

İç köşe dikişlerindeki enine distorsiyon derecesi aşağıdaki oranla ifade edilmektedir: Bu oranın değeri; 0,3 ise distorsiyon az 0,5 ise distorsiyon normal 0,8 ise distorsiyon fazladır.

9.5.2. Boylamasına distorsyonlar

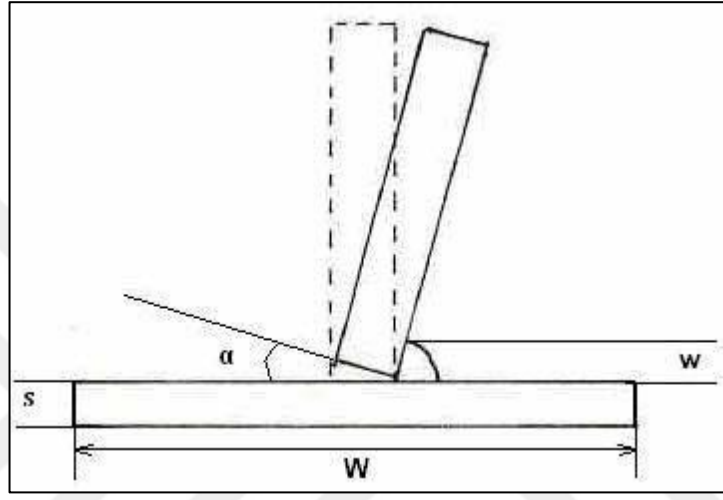
Isınan bölgede oluşan yığılmalar çekmelerin ana bileşenleridir. İnce malzemelerde büzülme kuvvetlerinden distorsyonların gözlemlenebilmesine karşın, kalın malzemelerde bu distorsyonlar ölçülemez boyutlardadır. Şekil 9.4’de verildiği halde köşe kaynaklarıyla gerçekleştirilen birleştirmelerde çekmeler, profil kesidi ile kaynak dikişi kesidinin arasındaki orana bağlı olarak ortaya çıkar [22,71].



Şekil 9.4. İç köşe birleştirmede boyuna distorsyon [71]

9.5.3. Açısal distorsyon

Açısal distorsiyona, tek taraflı tavlama sonunda sacda (levhada) meydana gelen sıcaklık farkları sebep olur. Paso sayısının ve levhalar arasındaki açıklığın artması, açısal distorsiyonu artırır. Şekil 9.5'de dikiş kalınlığının sac kalınlığına oranına bağlı olarak, açısal distorsiyondaki değişme verilmiştir. Ters yönde bir eğim verilerek, açısal distorsiyon önlenabilir [71].



Şekil 9.5. İç köşe kaynağında açısal distorsyon

- W: Konstrüksiyonun genişliği (mm)
- w: kaynak boyutu (mm)
- s: Konstrüksiyonun kalınlığı (mm)

9.6. Kaynak gerilmeleri

Kaynak esnasında iş parçalarının bölgesel olarak ısıtılması, gerilmelerin ve distorsiyonların oluşmasına neden olmaktadır. Gerilmeler, bölgesel olarak ısıtılan iş parçalarının uzama veya kısaltmalarının kontrol edilmesi sonucunda oluşur. Gerilmeler de enine, boyuna ve derinlemesine gerilmeler olarak ayrılmaktadır.

9.6.1. Enine gerilmeler

Kaynak esnasında iş parçalarının kaynak eksenine dik yönündeki hareketlerinin tahdit edilmesiyle, enine gerilmeler oluşur. Enine gerilmeler aynı zamanda, boylamasına kendini çekmelerin hasil ettiği enine gerilmeler ile birleşirler.

Sıçrayarak ve geri adım usulüyle kaynak, paso sayısının artırılması enine gerilmelerin azaltılmasına sağlar. Hızlı kaynak yapılması da, enine gerilmeleri azaltır [22].

9.6.2. Boylamasına gerilmeler

Kaynak sırasında kaynak eksenini boyunca iş parçalarının farklı sıcaklıklarda olmaları, boylamasına gerilmelerin teşekkülüne sebep olur. Sıcaklık dağılımındaki değişmeye bağlı olarak, gerilme dağılımındaki değişim sonucu oluşur [22].

Kaynak hızı azaltılarak, ön ısıtma tatbik edilerek veya uygun kaynak sıraları takip edilerek boylamasına gerilmeler azaltılabilir.

9.6.3. İç köşe dikişlerinde kendini çekme gerilmeleri

Isınan bölgedeki genişleme ve kendini çekme, boylamasına ve enlemesine yönlerde kuvvetli biçimde tehdit edilir. Böylece; büyük kısmı dikişte toplanan üç eksenli bir gerilme hali meydana gelir [22].

9.7. Distorsiyonlara ve Gerilmelere Engel Olmak İçin Alınacak Tedbirler

Distorsiyonların giderilmesi için:

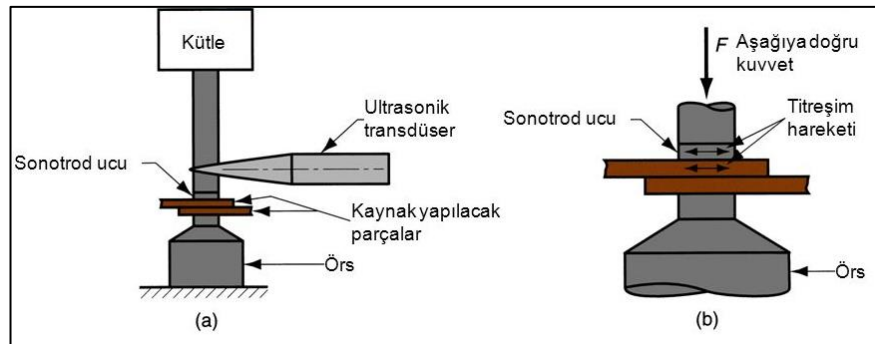
- Her kaynak pasosundan sonra yeterli soğumanın sağlanması
- İşlemin sabit hızda gerçekleştirilmesi
- Büyük veya üçgen kesite sahip kaynak çubuğunun kullanılması
- Kaynak işlemi öncesinde ana malzemelerin sabitlenmesi
- X şeklindeki kaynak ağızlarının oluşturulması veya arka yüzeye yardımcı kaynak dikişi çekilmesi
- Arka yüzeyde yardımcı kaynak dikişinin çekilmesi ve kaynak işleminin bir metalik malzeme üzerinde uygulanması [72].

10. DİĞER KAYNAK YÖNTEMLERİ

10.1. Ultrasonik Kaynak Yöntemi

Ultrasonik kaynak yönteminde, kaynak süresinin kısa, maliyetinin düşük olması ve kaynak işleminin temiz olması sebebiyle geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu yöntem ile metal veya metal olmayan malzemelerin kaynak edilebilirliği daolyısı ile sanayide tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Özellikle plastik malzemelerin kaynağında epey önemli bir uygulama alanına sahiptir. Ultrasonik kaynak yöntemi bir basınç kaynağı yöntemidir. Kısmen veya tamamen mekanik halde kullanılan bu yöntemde, bir katı hal kaynak yöntemi olup bindirme kaynağı şeklinde uygulamaları yaygındır. Özellikle küçük ve ince parçalara uygulanabilmesi son zamanlarda git gide küçülen imalat parçalarında da uygulama alanı bulmuştur [41].

Ultrasonik kaynak yönteminde birleştirilmesi yapılacak parçalar, hareketli ultrasonik frekans ile titreşim yapan sonotrot adı verilen hareketli bir başlık ile sabit duran bir altlık arasına konur ve plastik deformasyon oluşacak kadar az bir kuvvet ile bastırılır ve sonotrot tarafından oluşturulan ultrasonik titreşimler, yüzeye paralel olacak şekilde üstteki parçaya iletilir ve temas yüzeylerinde Şekil 10.1'deki sürtünme hareketini oluşturur [41].



Şekil 10.1. Ultrasonik kaynak a) bir bindirme bağlantı için genel ekipman b) kaynak bölgesinin yakından görünüşü [73]

Ultrasonik kaynak yönteminde, düşük frekans elektrik enerjisi yüksek frekanslı mekanik enerjiye dönüşmektedir. Mekanik titreşimler birleştirilecek parçaların kaynak bölgesinde kuvvetli bir iç sürtünme gerçekleştirerek ısı artışına neden olur. Arayüzeyde meydana gelen ısı, birbirleriyle temas halinde olan parçalarda mikron mertebesinde ergime oluşturur. Kısa sürede meydana gelen ergime ile parçalarda birleşme meydana gelerek kaynak işlemi tamamlanır [41,74].

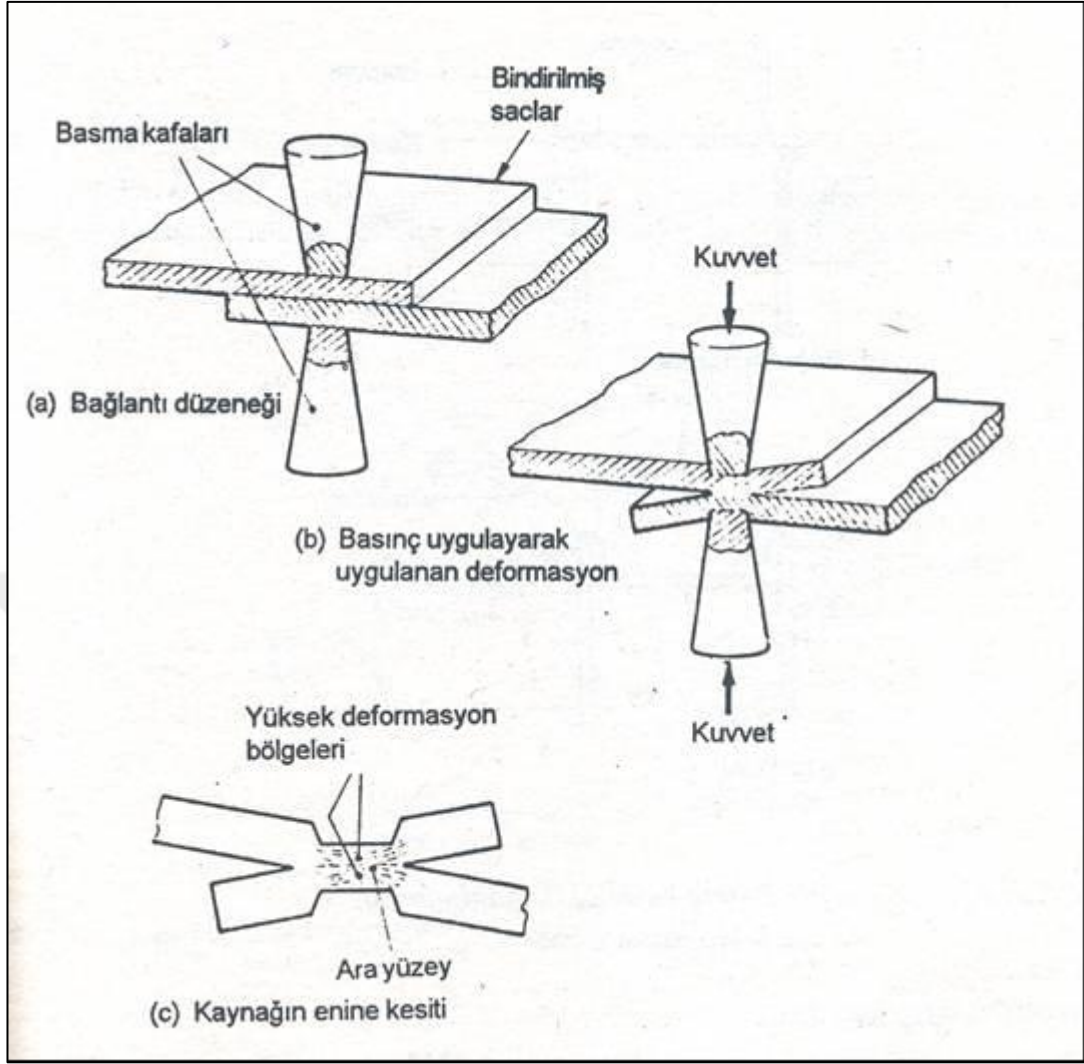
Uygulama alanları:

- Aletler
- Otomotiv (Araba farı)
- Kozmetik
- Elektronik
- Gıda ambalajı
- Madeni eşyalar
- Medikal (Cerrahi önlük, maske)
- Genel ambalaj (Çuval, gıda paketleme vb.)
- Tekstil (Kapitone, Ev tekstili, konfeksiyon aksesuarları, perde, tül vb.)
- Oyuncaklar

10.2. Soğuk Basınç Kaynağı

Bu yöntem bir katı hal kaynak yöntemi olup genellikle oda sıcaklığında veya düşük sıcaklıkta ve basınç altında yapılan bir birleştirme tekniğidir. Kaynak yapılacak parçalardan ergime sıcaklığı düşük olan parçanın yeniden kristalleşme sıcaklığı bu kaynak yönteminde uygulanacak en yüksek sıcaklık değeridir [41].

Kaynak işlemine başlamadan önce malzemelerin yüzeylerinde bulunan yağ, oksit, sülfür ve gaz gibi zararlı tabakaların temizlenmesi gereklidir. Kaynak esnasında uygun bir basınç ile şekil değiştirmesi sağlanmalıdır. Bu artlar sağlandıktan sonra kaynak sırasında gevrek örtü tabakası yırtılır ve serbest kalan yüzeyler birbirine değdiğinde, atomlar arası bağ kuvvetleri etkili olarak bir bağ meydana gelir [41]. Soğuk basınç kaynağının şematik olarak gösterimi Şekil 10.2’de verilmiştir.

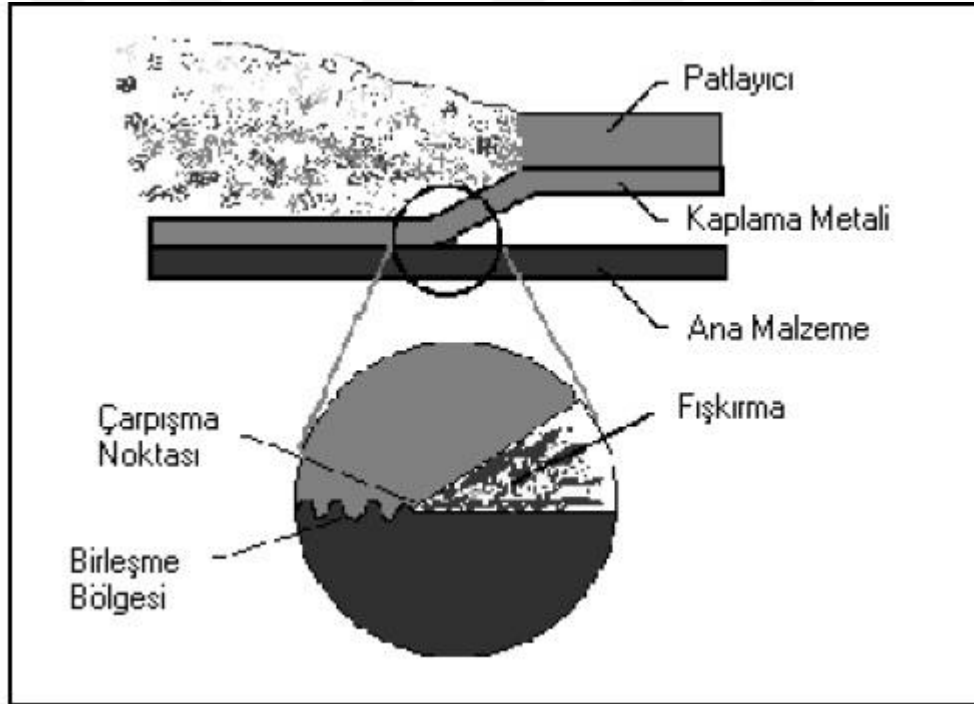


Şekil 10.2. Soğuk basınç kaynağı [75]

10.3. Patlatmalı Kaynak

Patlamalı kaynak veya kaplama yöntemi, diğer geleneksel kaynak yöntemleri ile birleştirilemeyen hem benzer hem de farklı metallerin kontrol edilen koşullar altında bir metalik kütlelerin diğer bir metalik kütle üzerinde patlamalı bir etki ile bir bağ oluşturma işlemidir. Bu kaynak yönteminde birleştirme arayüzeyde hiç veya en az seviyede ergime meydana gelip iki parça arasında metalurjik bir bağ oluşur. Patlamalı kaynak yöntemi benzer veya benzer olmayan metal ve alaşımlarının birleştirilmesinin yanında çok katlı (multilayered) ve tel ile güçlendirilmiş (wire-reinforced) kompozit malzemeler üretmek için de kullanılabilir [76,77].

Patlamalı kaynak yönteminin temel üç elemanı vardır. Şekil 10.3’de görüldüğü gibi bunlar; taban malzemesi, üst parça ve patlayıcıdır. Kaynak işlemi esnasında taban malzemesi sabit olarak durur ve üst parça buna kaynaklanır. Bu taban malzemesi büyük bir altlık yardımıyla desteklenmelidir. Üst parça ise kaynak esnasında patlayıcı yardımıyla taban malzemesi üzerine doğru hareket ettirilir. Bu üst parça genellikle taban malzemesine paralel konumdadır. Bununla birlikte bazı özel uygulamalarda her parça için değişik açılar oluşturularak yapılan işlemler vardır. Burada bir altlık üzerine sırasıyla: ana malzeme (taban malzemesi), belirli bir boşluk, ana metale göre eğimli veya paralel yerleştirilmiş kaplama malzemesi (üst parça), malzemelerin kaplama sırasında hasara uğramasını önleyen tampon tabaka, patlayıcı malzeme ve patlatıcı yerleştirilmektedir [16].



Şekil 10.3. Patlamalı kaynak [75]

10.4. Difüzyon Kaynağı

Günümüz endüstrisinde kullanılan malzeme çeşitlerinin artması, farklı özellikler gerektiren yerlerde farklı metal bağlantılarının gerekliliği ve özellikle son yıllarda ekonomik faktörlerin giderek önem kazanması farklı özelliklere sahip malzemelerin birbirleriyle birleştirilmesi zorunluluğunu doğurmaktadır. Daha çok uzay ve uçak sanayinde kullanılan gelişmiş malzemelerin birleştirilmeleri katı hal kaynak

teknikleri olarak bilinen ve de difüzyon kaynağını da kapsayan yöntemlerlemükündür. Bugün farklı metallerin birleştirilmesinde % 40 bu yöntem kullanılırken, bu yöntemle birleştirilmiş malzemelerin yaklaşık % 20'sini de titanyum ve alâsımları oluşturmaktadır [78].

Difüzyon kaynağında en önemli kaynak parametreleri; kaynak sıcaklığı, kaynak ve basınç süresi, şekil değistirme miktarı, yüzey kalitesi ve koruyucu atmosferdir. Difüzyon kaynağının uygulanmasında, özellikle farklı metal ve alâsımlarının birleştirilmesinde genellikle bir ara tabaka kullanılır. Ara tabakalar kaynak alanındaki heterojenliği minimuma indirir ve birleştirmenin oluşumunu kolaylaştırır [79].



11. KAYNAKLI BİRLEŞTİRMELERDE ARTIK GERİLMELER

11.1. Kaynak İşleminde Artık Gerilmeler

Bir kaynaklı parçada tüm dış yükler kaldırıldıktan sonra kalan gerilmelere artık gerilmeler adı verilir. Literatürlerde artık gerilmeleri tanımlamak için farklı teknik terimler kullanılmıştır. Bunlar iç gerilmeler, başlangıç gerilmeleri, reaksiyon gerilmeleri, hapsolmuş gerilmeler ve doğal gerilmeler olarak adlandırılabilir. Uniform olmayan sıcaklık değişimine maruz kalan bir yapıdan oluşan gerilmelere ısıl gerilmeler denmektedir.

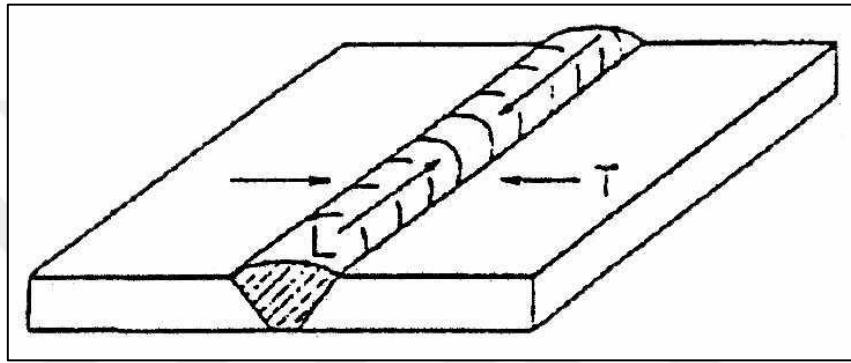
Kaynak işleminde malzemeler lokal olarak ergime sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılır. Ancak soğuma işlemi, ısıtma işlemine nazaran daha yavaş gerçekleşir. Isıtma ve soğuma işlemleri arasındaki bu farklılıklar neticesinde kaynak ile birleştirilen malzemelerde artık gerilmeler ve distorsiyonlar meydana gelir [80].

11.2. Artık Gerilmelerin Oluşum Nedenleri

Kaynak işlemi ile lokal olarak ergime sıcaklığına kadar ısıtılan kaynaklı parçalarda, soğuma işlemi parça genelinde ve ısınma işlemi hızına nazaran daha yavaş meydana gelir. Bu sebepten dolayı, soğuma işlemi esnasında kaynaklı parçadaki sıcaklık dağılımı uniform değildir ve bağlantı boyunca yapısal ve metalurjik değişiklikler meydana gelir. Soğuma işleminin başlamasıyla, kaynak metali ve kaynak metaline bitişik ısının etkisi altındaki bölgenin sıcaklıkları, esas metalin sıcaklığından çok daha yüksektir.

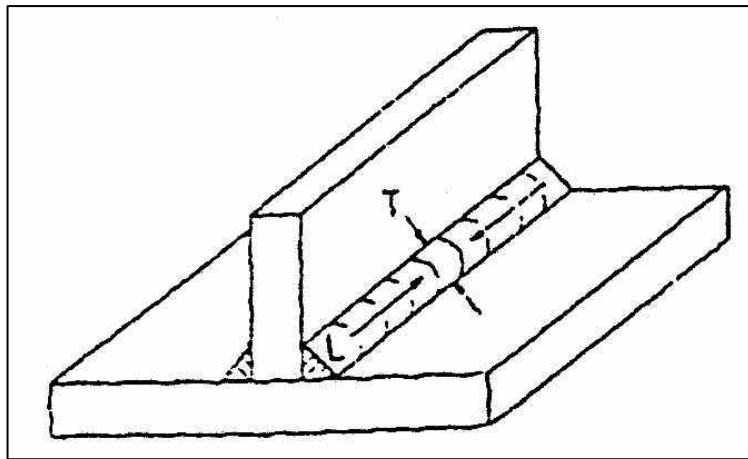
Kaynak dikiş katılaşıp, büzülürken, kendisini çevreleyen esas metal, ısı etkisi altındaki bölgeye gerilme uygular. Kaynak metali, katılmanın başlangıcında sıcaktır ve mekanik özellikleri esas metale nazaran daha zayıftır. Bu sebeple uyguladığı gerilmenin değeri düşüktür. Kaynak bölgesinin sıcaklık değeri ortam

sıcaklığına ulaşıncaya dek uygulanan gerilme değeri artar ve esas metal ile ısının etkisi altındaki bölgenin akma dayanımına ulaşır. Kaynak işlemi sırasında, yeni katılan bölgeler, kaynak dikişinin diğer bölgelerinin büzülmesine karşı koyarlar. Şekil 11.1’ de gösterildiği gibi, ilk kaynak yapılan bölgeler kaynak dikişi doğrultusunda çekiye zorlanırlar. Alın birleştirmelerde, kaynak ağzı formundan ya da mevcut pasoların sınırlayıcı etkisinden dolayı kaynak bölgesinin enine hareketi yok denecek kadar azdır. Kaynak dikişindeki büzülmenin neticesinde Şekil 12.1’ de görülen enine artık gerilmeler oluşacaktır.



Şekil 11.1. Bir alın dikişindeki enine (T) ve boyuna (L) büzülme gerilmeleri

İç köşe kaynaklarında, kaynak dikişinde oluşan gerilmeler Şekil 11.2’ de gösterilmiştir. Büzülme sonucu oluşan gerilmeler, kaynak yüzeyine dik ve paralel çeki gerilmeleridir.



Şekil 11.2. Bir T bağlantısındaki enine ve boylamasına büzülme gerilmeleri

Kaynak işleminin neticesinde kaynaklı parçalarda oluşan artık gerilmeler, ya distorsiyona yol açar ya da iş parçasında erken hasara neden olurlar ya da her ikisine de neden olmadan sadece iç gerilme olarak kalabilirler. Bu etkiler ayrı ayrı gerçekleşebileceği gibi aynı anda da parçada gerçekleşebilir. Kaynak işleminin neticesinde ısınan kaynak bölgesi uniform olmayan büzülme davranışı gösterir, çünkü kaynak dikisinin enine kesitindeki büzülme, bu enine kesite eksantrik kuvvetler uygular ve böylece büzülme miktarları eşit olmaz. Sonuç olarak distorsiyon meydana gelir. Kaynaklı parçalar gerilmeler sonucunda elastik olarak şekil değiştirir ve parçada gözle görülebilecek oranda distorsiyonlar oluşur. Alın birleştirmelerde, kaynak dikişinin üst bölgesi, kök bölgesine nazaran daha fazla büzülür. Bu nedenle bu tip kaynaklı birleştirmelerde uzunlamasına, enine çarpımlara ek olarak açısız çarpılma oluşur. Açısız çarpımlar, kaynak dikişi boyunca levhada enine eğilmelere sebep olur [80].

Farklı teknikler ile kaynak işleminin sonucunda oluşacak distorsiyonlar engellenebilir. Bu yöntemlerden birinde parça kaynak işleminin sonunda oluşması istenen geometride yerleştirilir ya da kaynak sırasında distorsiyona uğraması engellenir. Bir başka teknikte ise, kaynak metali, simetri ekseninin her iki tarafında dengeli olacak şekilde konstrüksiyon tasarlanır ve bu dizayn doğrultusunda kaynak yapılır. Seçilen kaynak yöntemi ve kaynak sırası, distorsiyon ve artık gerilme oluşumunda çok etkili parametrelerdir. Distorsiyona uğrayan kaynaklı parçalar eğer gerek görülürse, kaynak işleminden sonra ısıl işlemlerle doğrultulabilir. Kaynaklı parçada oluşan artık gerilme ve distorsiyonlar, malzemelerin kırılma davranışını etkiler. Düşük değerlerdeki harici gerilmelerde dahi burkulma ve gevrek kırılma oluşur. Parçada artık gerilme ve distorsiyonların birlikte olması halinde, burkulma beklenenden çok daha düşük basınç zorlamalarında meydana gelir. Çeki halinde ise, düşük tokluğa sahip kaynak bölgelerinde artık gerilmeler yüksek lokal gerilmelere neden olur ve sonuç olarak düşük değerlerdeki gerilmeler tarafından ilerletilebilen gevrek tip çatlaklar oluşturulabilir [80].

Kaynaklı parçalarda, kaynak işleminin neticesinde oluşan artık gerilmeleri azaltmak için ısıl işlemler uygulanabilir. Isıl gerilim giderme işlemlerinde parça malzemesinin akma sınırı, plastik şekil değişiminin oluşabileceği daha düşük seviyeye düşürülür ve

böylece gerilmeler azaltılır. Isıl gerilim giderme işlemlerinden parçanın mekanik özellikleri de etkilenir [80,81].

11.3. Kalıcı Gerilme Ölçüm Metotları

Kalıntı gerilmeler çeşitli tahribatlı ve tahribatsız ölçme yöntemleri ile tespit edilerek ölçülebilir. Tahribatlı ölçme yöntemleri, parçaya delik açılması ve parçadan talaş kaldırılması veya tabaka kaldırılması gibi işlemlerden sonra, parçadaki kalıntı gerilme durumunun belirlenmesi esasına dayanır. Tahribatsız yöntemlerde ise malzemenin fiziksel ve kristalografik parametreleri ile kalıntı gerilmeler arasındaki ilişkiler kullanılır [82].

11.3.1. Tahribatlı kalıntı gerilme ölçme yöntemleri

Diğer bir adı mekanik kalıntı ölçme yöntemleri olan bu yöntemler, gerilme gevşemesine müsaade etmek amacıyla kasıtlı olarak malzeme kaldırılarak, gerilme sırasında veya sonrasında parçada meydana gelen şekil değiştirmenin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. İlk olarak, test edilen parçadan malzeme kaldırılarak yeni bir gerilme durumu oluşturulur, sonrada yer değiştirmeler ölçülerek gerilmedeki yer değişimi belirlenir. Daha sonra elastisite teorisi kullanılarak kalıntı gerilmeler hesaplanır [83].

11.3.1.1. Tabaka kaldırma yöntemi

Tabaka kaldırma yöntemi ile kalıntı gerilmelerin ölçülmesinin temel esası, kimyasal veya elektrokimyasal işleme yöntemleri kullanılarak, malzeme yüzeyinden kalıntı gerilmeler içeren ince tabakaları kademeli olarak kaldırılması ile iç gerilmelerin veya momentlerin dengelenmesine dayanmaktadır. İç gerilmelerin yeniden dengelenmesinden dolayı oluşan gerilme veya şekil değiştirmeler, kaldırılan tabakadaki gerilmelerle ilişkilendirilir ve elastisite teorisi yardımıyla kalıntı gerilmeleri hesaplamak amacıyla bu gerinimler ölçülür [83]. Kalıntı gerilmeleri içeren düz bir levhanın bir yüzeyinden ardı ardına tabakalar kaldırıldığı zaman gerilmeler dengesiz hale gelir ve levha eğilir. Levhanın eğriliği kaldırılan tabakadaki orijinal gerilme dağılımına ve levhanın elastik özelliklerine bağlıdır. Tabaka kaldırıldıktan sonra bir dizi eğrilik ölçümleri yapılarak levhadaki gerilme dağılımı

ortaya çıkarılabilir. Numunenin eğriliği ölçme aletinin aralığına ve çözünürlüğüne bağlı olarak, gerilim ölçer (strain-gage), lazer tarama veya optik mikroskop gibi çeşitli yöntemler kullanılarak ölçülebilir [82].

11.3.1.2. Delik delme yöntemi

Bu yöntemde numuneye özel olarak tasarlanmış bir strain-gage yapıştırılır. Sonra geometrik merkezde, genel olarak 0,4–2 mm derinliğinde, sı bir delik delinir. Delik içerisindeki gerilmeli tabakanın kaldırılması, malzeme çevresindeki gerilmeleri yeniden düzenlemekte ve rozetteki gerinim ölçer gerilme gevşemelerini ölçmektedir.

Yöntemin kullanımı kolay ve çabuktur, maliyeti azdır. Ayrıca bir çok malzeme çeşitlerine uygulanabilir, güvenilir sonuçlar vermesi, daha az özel ekipman gerekmesi, ölçüm tesisatının taşınabilir olması ve numuneye az zarar vermesinden dolayı bu yöntem kullanışlıdır [82-84].

11.3.1.3. Halka çekirdek yöntemi

Halka çekirdek yöntemi, delik delme yönteminin değişik bir biçimidir. Bu yöntemde delik delme yöntemindeki gibi rozet içerisinde bir delik delinmesi yerine rozetin dış kenarı civarında çevresel bir kanal açılmaktadır. Bu yöntem genel olarak 0,1-6 mm derinlikteki kalıntı gerilmeleri ölçebilmektedir.

Bu yöntemle delik delme yöntemine göre daha büyük gerinme gevşemeleri dolayısıyla malzemenin akma gerilmesinin üzerindeki kalıntı gerilmeler hassas olarak ölçülebilmektedir. Ayrıca delik delme sırasında ilave kalıntı gerilmeler oluşabilirken, bu yöntemde genellikle oluşmamaktadır ve hassasiyeti delik delme yöntemine göre daha yüksektir [82].

11.3.1.4. Kanal açma yöntemi

Kanal açma yönteminde, kalıntı gerilmeleri belirlemek için numune üzerine küçük bir kanal açılmaktadır. Kanalin açılması ile kanala dik kalıntı gerilmeler gevşemektedir. Bunun sonucunda numune içindeki gerilmeler yeniden dengelenmekte ve kanal bölgesinde oluşan kanala dik gerinme gevşemeleri gerinim ölçer kullanılarak ölçülmektedir [84].

Yöntemin uygulanması basit ve çabuktur. Özellikle yerel kalıntı gerilmelerin ölçümünde iyi hassasiyet göstermektedir. Ayrıca değişik geometri malzemelerdeki kalıntı gerilmeler başarıyla ölçülebilmekte ve iyi bir derinlik- gerilme çözünürlüğüne ve hassasiyetine sahiptir. Ancak bu yöntem kanal dorultusuna dik kalıntı gerilmeleri ölçülebilmekte ve strain-gagelerin ve kanalın standart bir düzeni yoktur [83].

11.3.1.5. Tüp yarma yöntemi

Bu yöntemde, ilk olarak kısa bir tüp numunenin ilk dış çapı ölçülmektedir. Daha sonra tüp uzunluu boyunca kesilerek yarık açılmaktadır. Çevresel gerilmelerin gevşemesi, tüpün dış çapının değişerek açılmasına veya kapanmasına neden olur. Sadece tek bir ölçüm kalıntı gerilmelerin tahminini vermektedir.

Ölçme işleminin hızlı ve basit olması tüp yarma yöntemini çok kullanışlı bir kalıntı gerilme belirleme yöntemi yapmaktadır [83]. Ancak bu yöntemin kullanım alanı tüpler ile sınırlıdır [84].

11.3.1.6. İnce kesitlere ayırma yöntemi

İnce kesitlere ayırma yönteminde numune içerisindeki kalıntı gerilmeler numuneden parçalar kaldırılarak ölçülmektedir. Kalıntı gerilmeleri belirlemek için numune değişik kesitlere sıralı olarak kesilir. Ayırma, yarma ve tabaka kaldırma işlem adımlarının birleştirilmesi, ilgilenilen bölge boyunca kalıntı gerilmelerin detaylarını belirlemede büyük esneklik sağlamaktadır [83]. Tabaka kaldırma adımı bu gerilmeleri açığa çıkarır. Strain-gage sayesinde ortaya çıkan gerinimler ölçülür [84].

11.3.2. Tahribatsız muayene yöntemleri

Kalıntı gerilmelerin ölçümleri için tahribatlı testler uzun zamandır verimli olarak kullanılmaktadır. Fakat bu yöntemlerin, ölçüm yapılacak malzemeye zarar vermesi ve çalışan parçalara uygulanmasındaki zorluklar nedeniyle günümüzde tahribatsız tekniklerle kalıntı gerilme ölçme yöntemleri uygulamaları yaygınlaşmaktadır [85].

11.3.2.1. Kırınım yöntemleri

Kırınım yöntemleri yalnızca kristal yapı malzemelere veya malzemedeki kristal fazlara uygulanabilir. Bu yöntemler, kristal yapı bir malzeme gerilmeye maruz

kaldı zaman malzemenin kristal kafes düzlemleri arasındaki mesafelerde meydana gelen değişimlerin incelenerek kafes gerinimlerinin ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Kırınım yöntemlerinin uzaysal ve nüfuziyet çözünürlüğü mekanik yöntemlerden daha fazladır. Ancak mekanik yöntemler için gerekli deney süresi kırınım yöntemlerinden daha kısadır. X-ışını, şiddetli X-ışını ve Nötron kırınımı yöntemleri en çok kullanılan kırınım yöntemleridir [83].

X-ışını Kırınımı:

X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi, parçadaki kalıntı gerilme seviyesini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir tahribatsız muayene yöntemidir. XRD yöntemi sayesinde kafes düzlemleri arasında meydana gelen bu mesafe değişimleri ölçülebilmektedir. Parça üzerinde seçilen bir bölge X-ışınları ile tekrarlı olarak taranmaktadır. Kristal düzlemler yüzeye nüfuz eden X-ışınlarının çouunu Bragg Kanunu'na göre kırmaktadır. Bragg Kanunu paralel atom düzlemleri arasındaki mesafeyi hesaplamak için kullanılmaktadır. Yöntem, mikro ve makro kalıntı gerilmeleri tahribatsız olarak belirleyebilen tek yöntemdir. Milimetre seviyesinde yüksek uzaysal çözünürlüğe ve mikron seviyesinde nüfuziyet çözünürlüğüne sahiptir. 50 µm derinliğe kadar var olan kalıntı gerilmeler ölçülebilmektedir [83,86]. Şekil 6.6'da Geleneksel XRD yöntemi görünmektedir.

Şiddetli X-ışınları Kırınımı:

Yöntemin esası XRD yöntemi ile aynıdır. Senkrotron veya şiddetli X-ışınları çok şiddetli yüksek enerjili X-ışınları salmaktadır. Bu X-ışınları geleneksel X-ışınlarından daha derinlere nüfuz edebilmektedir. Bu nüfuziyet çou malzemede 1-2 mm ve alüminyumda yaklaşık 50 mm kadar olabilmektedir [83]. Nötron Kırınımı Nötronların nüfuziyeti X-ışınlarının nüfuziyetinden hemen hemen 1000 kat daha fazladır. Bu nedenle Nötron kırınımı yöntemi ile çou mühendislik malzemelerinin daha derinlerine nüfuz edilebilmektedir ve dolayısıyla yöntem yöntem 4-50 mm gibi daha büyük nüfuziyet derinliine sahiptir [83].

11.3.3. Ultrasonik yöntemler

Ultrasonik yöntemler, bir katı boyunca hareket eden ses ötesi (ultrason) dalga hızlarının katı içerisindeki mevcut gerilme seviyelerine duyarlılıından faydalanmaktadırlar. Parçadaki mevcut kalıntı gerilmelerin dorultuları ve

büyükükleri malzemedeki ses ötesi dalga hızlarının değişimine dorudan etki etmektedir. Yani bir malzemenin gerilmeli durumunda iletii ses ötesi dalga hızı, malzemenin gerilmesiz durumundaki ses ötesi dalga hızına göre değişecektir [83].

11.3.4. Manyetik yöntemler

Çeliklerin ve dier ferromanyetik malzemelerin manyetik özellikleri, mıknatıssal büzölme ve manyetoelastik etkilerden dolayı malzemedeki iç gerilme durumuna duyarlıdır. Bu yöntem gerilme ve mıknatıslanma arasındaki etkileőime dayanmaktadır. Parçadaki gerilme durumuna balı olarak parçanın elektromanyetik özellikleri değişmektedir. Parçadaki gerilme durumu elektromanyetik özelliklerin değişiminin ölçölmesi ile belirlenebilmektedir [83,85]. Şekil 6.7’de görüldüğü gibi ferromanyetik malzemeler, içlerinde manyetik dipollerin oluştuğu küçük küçük bölgelerden oluőurlar. Bu bölgelere domen adı verilir. Domenler birbirlerinden domen duvarları sayesinde ayrılırlar. Domenler ferromanyetik malzeme içinde mıknatıslanmanın homojen olarak dağıldığı bölgelerdir. Bu bölgeler içerisinde, manyetik dipol aynı yönde yönelerek domen sınırlarını belirlerler. Domenler içindeki iki farklı yöne yönelmiş olan manyetik dipoller bu duvarlar içerisinde birinden diğerine doğru yön deęiőtirirler [85].

12. KAYNAK SONRASI ISIL İŞLEMLER

12.1. Kaynak Sonrası Isıl İşlem (PWHT) Nedir

Kaynak Sonrası Isıl işlem (Post Weld Heat Treatment. Kısaca PWHT) kaynak metalini ve ana metalin belli bir kısmını kontrollü şekilde ısıtmaya yarayan yöntemleri tanımlar. PWHT ile kaynak metali, ısıdan etkilenmiş bölge (Heat Effected Zone. Kısaca HAZ) ve ana metalin belli bir bölümü kontrollü bir şekilde ısıtılarak, metal içerisinde kaynak sırasında meydana gelen kalıntı gerilmelerin giderilmesi işlemidir. Uygulandığı metalin alaşımına göre minimum PWHT sıcaklığı ve minimum et kalınlığına göre o sıcaklıkta bekleme süresi tespit edilir [87].

Kalıntı gerilmelerin giderilmesi dışında PWHT, daha yüksek sıcaklıklarda temperleme, çökeltme sertleşmesi ve yaşlandırma etkilerinde de bulunur. Bu metalurjik değişimler kaynaklı yapıda sertlik düşüşü, tokluğun iyileşmesi ve kırılganlığın iyileştirilmesini sağlar. Ancak bazı çeliklerde bu yaşlandırma/çökeltme işlemleri mekanik özelliklerin gerilemesine neden olur. Bu sebeple PWHT parametreleri seçiminde uzman görüşüne başvurulmalıdır [87-89].

Kaynak sonrası PWHT gerekliliği malzeme tipi ve servis koşullarına bağlıdır. PWHT ihtiyacına etki eden diğer faktörler olarak kaynak parametreleri ve kaynak hatası mekanizmaları (örneğin soğuk çatlak) gösterilebilir.

Pek çok imalat standardında bazı malzeme tipleri ve kalınlıkları için PWHT zorunlu tutulmakla beraber, maliyet ve uygulama imkansızlıkları gibi parametrelerin dengelenmesi adına standartlarda bazı opsiyonlar bulunabilmektedir. Yüksek sıcaklıklar ve bekleme süreleri hesaba katıldığında PWHT esnasında kullanılan enerji miktarı oldukça yüksektir ancak PWHT sırasında imalatın ilerlemesi durduğu için burada yaşanan zaman kaybı maliyeti çok daha yüksektir. Bir diğer önemli konu, ısıtma ve soğutma hızlarının kontrol altında tutulması, bekleme sıcaklığı ve süresi

toleranslarına uyulması, çarpılma (Distortion), temper gevrekliği (Temper embrittlement), aşırı yumuşama (over-softening), ısı çatlaklar (reheat crack) gibi yan etkilerin meydana gelmemesi için oldukça kritiktir. Parametreleri uygun şekilde belirlenmemiş ve uygulaması sıkı şekilde kontrol edilmeyen bir PWHT yarardan çok zarar ve zaman kaybına yol açacaktır.

İslah edilmiş ve temperlenmiş çeliklerde (Quenched and tempered. Q&T) PWHT sıcaklıkları, orijinal temperleme sıcaklıklarının altında tutulmak durumundadır. Daha yüksek sıcaklık uygulamaları anametalin mikroyapısını değiştirerek mukavemet özelliklerini kaybetmesine yol açar.

Karbon çelikler ve düşük alaşımlı çeliklerde lokal PWHT işlemleri aşağı kritik sıcaklık (Lower critical transformation temperature. AC1) altında gerçekleştirildiğinden subcritical işlemler olarak tarif edilir. Alt ve üst kritik dönüşüm sıcaklıkları (lower and upper critical transformation temperatures), çeliğin kristal yapısının hacim merkezli kübikten yüzey merkezli hale dönüşümüne başladığı ve bu dönüşümün tamamlandığı sıcaklık aralığını gösterir.

Menevişleme (annealing) ve normalize etme (normalising) gibi supercritical (üst kritik dönüşüm sıcaklığı üzerindeki sıcaklıklar) sıcaklıkların PWHT de tercih edilmemesinin belli sebepleri vardır. İlki ve en önemlisi, lokal PWHT'nin doğasında olan sıcaklık geçişleri (temperature gradients) subcritical, intercritical ve supercritical sıcaklık bölgeleri oluşturabilir. Bu değişimler malzemenin orjinal ısı işlem durumuna göre çekme/süneklik, çentik tokluğu gibi fiziksel özelliklerde ve mazeme homojenliğinde istenmeyen değişikliklere yol açar. Ayrıca supercritical sıcaklıklarda düşen malzeme mukavemeti, malzemeyi çarpılmaya çok daha meyilli hale getirir.

Karbür çökmesi ve hızlı soğuma gerekliliği gibi sebeplerden dolayı özellikle 300 paslanmaz çeliklerin bölgesel olarak çözündürme tavına tabi tutulması arzu edilmez. Bu çalışmada geçen tüm PWHT ibareleri subcritical sıcaklıklarda gerçekleşen ısı işlemleri tarif etmektedir.

PWHT işlemi hem faydalı hem de zararlı olabilir. PWHT'nin 3 temel faydası temperleme, kalıntı gerilmelerin giderilmesi ve hidrojenin malzemedan uzaklaştırılması olarak sıralanabilir. Bu 3 özellikten ileri gelen diğer olumlu etkileri

de hidrojen çatlağı (hydrogen induced cracking, HIC) önlemesi, boyutsal stabilite ile süneklik, tokluk ve korozyon direncinin iyileştirilmesidir. PWHT koşullarının, ısıl işlem sonrası elde edilmek istenen özellikler göz önünde bulundurularak seçilmesi önemlidir.

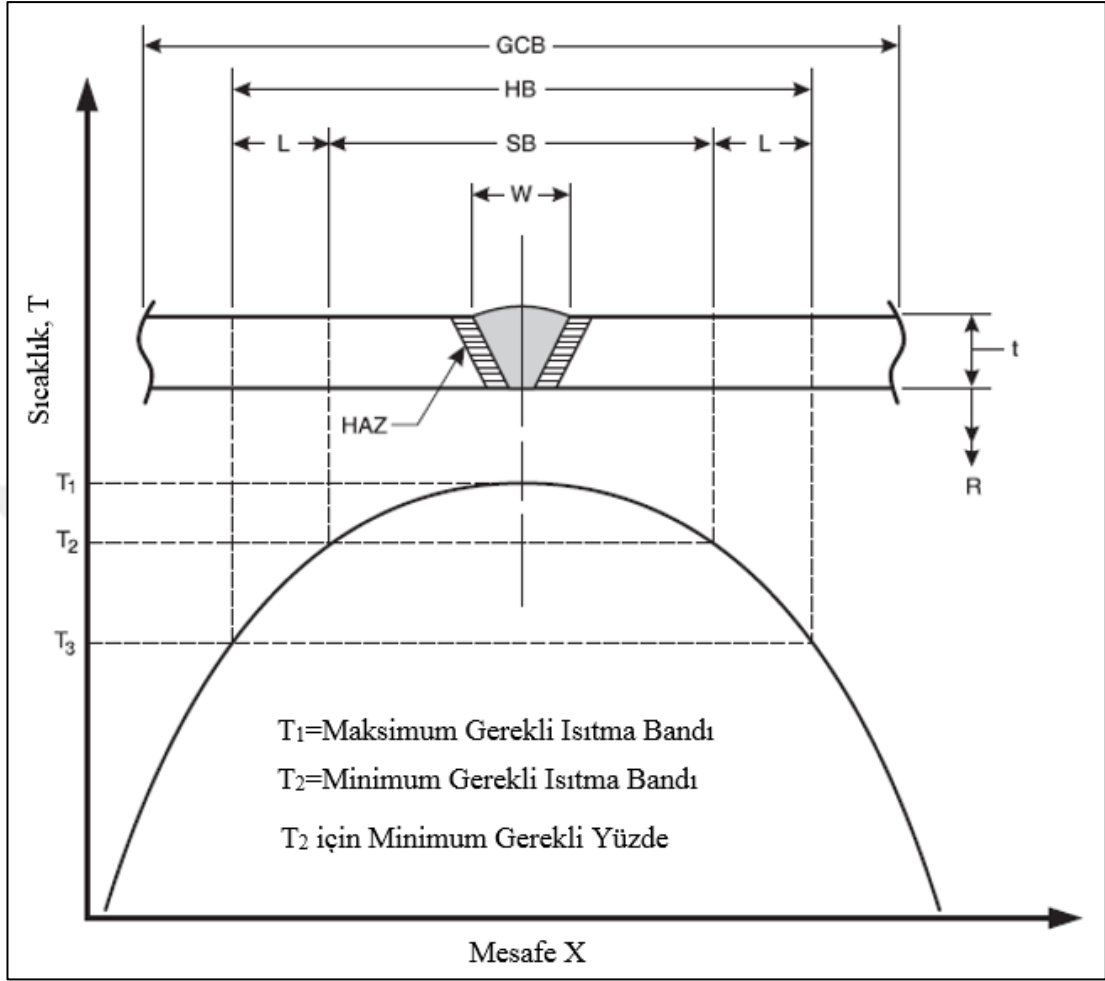
Aşırı yüksek veya uygun olmayan PWHT sıcaklıkları ve/veya uzun bekleme süreleri çekme mukavemeti, çektik darbe tokluğu, sürünme dayanımı gibi malzeme özelliklerini istenmeyen şekilde geriletebilir. PWHT'nin malzeme özelliklerine etkisi temel olarak ana metal ve kaynak metalinin alaşım kompozisyonu ile ana metale daha önce uygulanan mekain ve termal işlemlere bağlıdır.

PWHT gerekliliği genellikle doğrudan bir imalat ya da tamir standardından gelir ve bu ihtiyacı temel olarak malzeme alaşımı ve malzeme et kalınlığı belirler. Bu imalat standartları lokal PWHT uygulamaları için oldukça detaylı gereklilikleri içerirler. Standard gereği (code required) PWHT genellikle gevrek kırılma eğilimini (brittle fracture susceptibility) düşürerek, çektik darbe tokluğunu artırarak, kalıntı gerilmelerin giderilmesi için uygulanır [87,89].

PWHT uygulaması fırında veya lokal olarak yapılabilir. Fırın ortamında yapılan PWHT homojen bir ısınma ve soğuma sağlama bakımından daha güvenilir ve verimli kabul edilir. Fırına giremeyecek kadar büyük olan veya atölye koşulları dışında, öğrenip şantiyede yapılması gereken PWHT için lokal yöntem tercih edilir. Lokal olarak yapılan PWHT uygulamalarında ise ısıtma/soğutma hızlarının limitlerine uzak değerler seçilerek risk azaltılır.

Sonuç olarak bir PWHT işleminin başarılı olması için standard gereklerinin takip edilmesinin yanısıra mühendislik muhakemesinin de oldukça önemi vardır.

12.2. Lokal PWHT Terminolojisi



Şekil 12.1. Lokal ısıtma bandının şematik görünümü [89]

Bekleme bandı (Soak Band) (SB)

Bekleme bandı metalin tüm kesidinin minimum PWHT sıcaklığına çıkarıldığı ancak maksimum sıcaklığı geçmediği bölge olarak tarif edilebilir. Bu bölge en azından kaynak metalini, ısıdan etkilenen bölgesini (HAZ) ve kaynak metaline yakın ana metalin bir kısmını içermelidir [89].

Bu alanın ebadı, metalin gereken sıcaklığa ulaşılması istenen kısmını belirler. Tablo 12.1 ve Tablo 12.2 farklı standartlar için ön ısıtma/ pasolar arası sıcaklık ve PWHT bekleme band genişliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

Ön ısıtma/pasolararası sıcaklık için gerekli alan 75 mm veya 1,5 t'den (t ana metal et kalınlığı olmak üzere) büyük olanıdır.

Kalınlık arttıkça PWHT için gerekli alanın gereğinden fazla büyük tutulmasının önüne geçilmesi için boyutlandırma yaklaşımını içeren hesaplar Tablo 12.2’de verilmiştir. Buna göre PWHT için minimum bekleme bandı 50 mm veya t ’den (t ana metal et kalınlığı olmak üzere) küçük olanı olarak belirlenmiştir [89].

Hidrojen giderme tavı (Bake-out and postheating) için standartlarda belli bir ölçü bulunmasa da bu işlem için gerekli bekleme bandı, hidrojenin kaynak metaline tekrar difüze olmasına engel olmak adına ön ısıtma/ pasolararası sıcaklık veya PWHT’den daha geniş tutulmalıdır. Bu durumda tavsiye edilen band 150 mm veya $3t$ ’den (t ana metal et kalınlığı olmak üzere) büyük olanının seçilmesidir [89].

Tablo 12.1. Farklı standartlar için ön ısıtma/ pasolar arası sıcaklık bekleme band genişliklerinin karşılaştırılması [89]

| Kod | Minimum bekleme bandı genişliği |
|------------------|--|
| B31.1 | Kaynak noktalarının her yönünden ana metal kalınlığının 1,5 katı veya 75 mm’dir. |
| B31.3. | Kaynaklı köşenin ötesinde 25 mm |
| ASME Section III | İlk kaynak için belirtmemiştir. |
| BS 2633 | Birleşim noktasından 75 mm |

Tablo 12.2. PWHT bekleme band genişliklerinin karşılaştırılması [89]

| Kod | Minimum bekleme bandı genişliği |
|------------------|---|
| B31.1 | Kaynak birleşim noktasının ortasından duvar kalınlığının 3 katı |
| B31.3. | Kaynak bölgesi haricindeki kenarlardan 25 mm |
| ASME Section III | Kaynak kalınlığı kadar veya 50 mm |
| BS 2633 | Kaynak yerinin merkezinden malzeme kalınlığının 1,5 katı |

Isıtma Bandı (Heated Band) (HB):

Isıtma bandı, ısıtma elemanlarının bağlandığı bölgenin altında kalan ve PWHT sıcaklığının ulaşıldığı alanı ifade eder. Bu bölge bekleme bandına ilave olarak sıcaklığın kontrol edilebilmesi için gerekli kadar ana metal bölgesini kapsar [89].

Bu bandın genişliği iki açıdan önemlidir. Radyal sıcaklık değişimi sebebiyle band, tüm bekleme bandı kesitinin istenen minimum sıcaklığa ulaşmasını sağlayacak ebatlarda olmalıdır. İlave olarak, lokal ısıtma işlemleri özellikle silindirik kesitlerde eğilme momenti ve kesme gerilmeleri meydana getirirler. Bu momentler ve gerilmeler kaynak içerisinde kalıntı gerilmeye ve çarpılmaya neden olabilir. Bu etkilerin büyüklüğü ve lokasyonu ısıtma bandının genişliği ve eksenel sıcaklık dağılımı ile belirlenir [89].

ASME Sec II, B31.1 ve B31.3 PWHT ısıtma bandı için kesin bilgiler vermez. BS 2633'de ise bu alan et kalınlığının 5 katı (5t) olarak verilmiştir.

Isıtma bandının minimum ebatları belirlenirken dikkat edilmesi gereken en önemli nokta bekleme bandı boyunca istenen minimum sıcaklığı sağlayabilecek miktarda olmasıdır. Çarpılma (distortion) ve oluşması muhtemel iç gerilmelerin analizi bu noktada ikinci plandadır [89].

Bunlara ilave olarak bekleme bandı sınırlarının ısıtıcının bittiği yere fazla yakın olması sonucu sıcaklık düşüşünü engellemek adına minimum ısıtma bandının, bekleme bandı + 50 mm olması tavsiye edilir. SB+50 mm kriteri çap çok ufak olduğunda yalnızca genişliği belirler. Bu bandın genişliği alternatif olarak HB1 ve HB2 formüllerinden hesaplanabilir [89].

Minimum ısıtma bandının genişliği, indüklenen gerinim kriterine dayalıdır:

$$HB1=SB+4\sqrt{Rt} \quad (12.1)$$

SB= Bekleme bandının genişliği

R= Borunun iç yarıçapı

t=Borunun et kalınlığı

Minimum ısıtma bandı genişliğinin, kalınlık altı sıcaklık kriterine bağlı denlemi:

$$HB2 = \frac{H_i \left[\frac{OD^2 - ID^2}{2} + (ID)(SB) \right]}{OD} \quad (12.2)$$

H_i =Isı kaynağı alanının ısı kaybı bölgesine oranı

OD =Borunun dış çapı

ID =Borunun iç çapı

Kesit kalınlığı sıcaklık dağılımının ampirik doğası gereği HB2 hesaplarına farklı koşullar için H_i oranı eklenir. Bu sebeple farklı kontrol bölgeleri, parça pozisyonları ve sıcaklıklar için farklı H_i oranları kullanılır.

Bu hesaba göre de HB1 , HB2 veya minimum $SB + 50$ mm den büyük olanı kullanılır. Tek kontrol bölgesi bulunan, yatay pozisyonda borularda 6 inche kadar $H_i = 5$. Çevre boyunca iki kontrol bölgesi bulunan, yatay pozisyonda 6 inch ve daha ufak çaplı borularda $H_i = 3$. En az iki kontrol bölgesi olan 6 inch ve üzeri dikey pozisyonda borularda $H_i = 3$ şeklinde hesaplanır [89].

Değişim Kontrol Bandı (Gradient Control Band) (GCB):

Değişim ya da sıcaklık değişim kontrol bandı izolasyon ve/veya ilave ısı kaynaklarının yerleştirildiği bölgedir. Bekleme ve Isıtma bantlarıyla beraber kaynağa komşu ana metalin maksimum izin verilen aksel sıcaklık değişimini sağlamaya yetecek bir yüzey bölgesini kapsar.

Adından da anlaşılacağı gibi bu bandın esas görevi aksel sıcaklık değişimini kontrol altında tutmaktır. Ayrıca ısıtma bandında meydana gelebilecek ısı kayıplarına da engel olur. İzolasyon malzemesinin kalınlığı ve termal özellikleri ısı kaynağının enerji gereksinimlerine doğrudan etki eder. Bu alanın genişliği de aksel sıcaklık değişimine yine doğrudan etki eder [89].

PWHT işlemi için uluslararası basınçlı kap standartlarında genellikle $10\sqrt{Rt}$ (t malzeme et kalınlığı olmak üzere) değişim kontrol bandı genişliği tavsiye edilir. Genel uygulama ise et kalınlığının 2 veya 3 katı kadar alınacak şekilde uygulanmasıdır. Minimum bandın kaynağın her iki tarafında $2\sqrt{Rt}$ kadar tutulması durumunda PWHT nin oluşturduğu termal gerilmelerin minimumda tutulduğu gözlenmiştir. Bu durumda Değişim kontrol bandı $=HB+4\sqrt{Rt}$ (HB = Isıtma Bandı, R

= İç yarıçap, t = ana metal et kalınlığı) Burada izolasyon malzemesi $2^{\circ}\text{--}4^{\circ}\text{F}\text{-ft}^2\text{-hr/Btu}$ ($0,35^{\circ}\text{--}0,70^{\circ}\text{C}\text{-m}^2/\text{W}$) olacak şekilde seçilmiştir [89].

Eksenel Sıcaklık Değişimi (Axial Temperature Gradient):

PWHT sırasında ısıl gerilmelerin sınırlandırılmasında eksenel sıcaklık değişimi önemli rol oynar. Eksenel sıcaklık değişimi (Axial temperature gradient), eksenel sıcaklık dağılımının (Axial temperature distribution) ikinci türevi olsa da, ısıl gerilmelerin tanımlanmasında kullanılan parametre budur. Bu tanım düşük sıcaklıklarda uygulanan ön ısıtma/pasolarası sıcaklık, hidrojen giderme (bake-out) gibi işlemler için kullanılmaz.

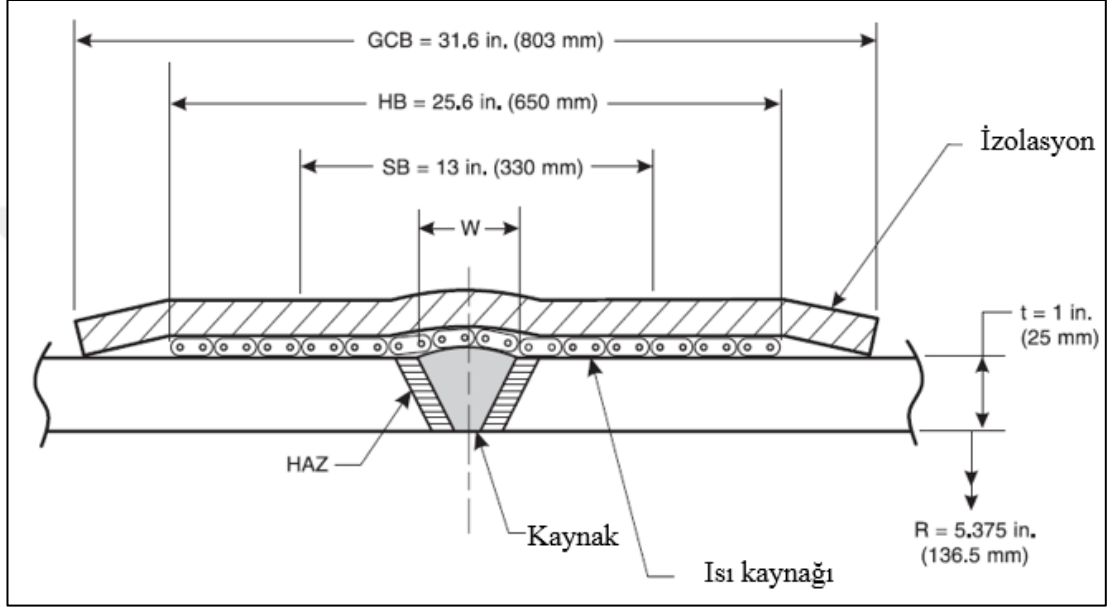
PWHT için eksenel sıcaklık değişiminin kontrol gereklilikleri Tablo 12.3'te verilmiştir. Amerikan standartları bu konuda bir gereklilik içermezken, en açık tanım kaynak aksının her iki tarafında $2,5R_t$ mesafede minimum PWHT sıcaklığının yarısının altına düşmemelidir şeklinde BS 2633'de verilmiştir. Farklı sıcaklık birimlerinin kullanıldığı farklı uluslararası standartlarda bu durum biraz değişse de uygulamada çok büyük farklılıklara yol açmaz. Örneğin Fahrenheit birimi için 1100°F (593°C) minimum PWHT sıcaklığında, ısıtma bandının uç noktalarında izin verilen en düşük sıcaklık 550°F (288°C) olurken, Celsius skalasına göre durum 593°C (1100°F), 297°C (567°F) şeklinde gerçekleşir.

Tablo 12.3. PWHT için eksenel sıcaklık değişiminin kontrol gereklilikleri [89]

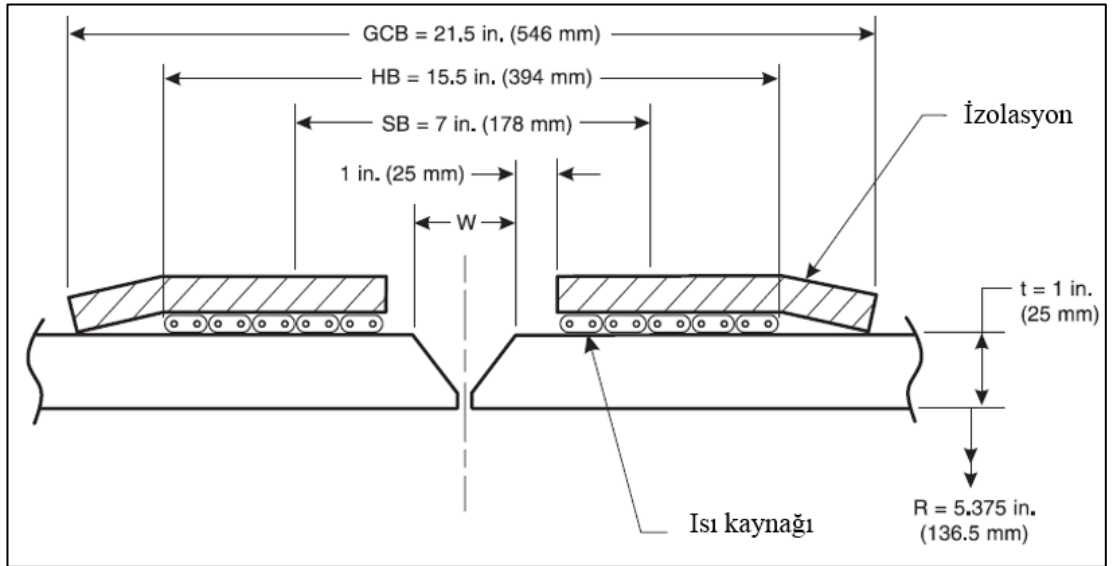
| Kod | Eksenel sıcaklık değişiminin control gereklilikleri |
|------------------|--|
| B31.1 | Belirtilmemiş |
| B31.3. | Kaynak içeren bir bandın ötesinde giderek küçülüyor |
| ASME Section III | Bileşenin veya parçanın, kontrollü bandın kenarından dışarıya doğru sıcaklığı zararlı termal gradyanlardan kaçınmak için kademeli olarak azaltılır |

PWHT sıcaklığının yarısını alma yaklaşımı:

- Isıl gerilmelerin kontrolü,
- Uluslararası standartlar arasında genel kabul durumu,
- Kolay uygulanması,
- Farklı malzeme kalınlıkları için kolayca hesap edilemesi
- Açılırlardan en uygun yöntem olarak kabul edilmiştir.



Şekil 12.2. Lokal 360 derece bandının parametre örneği [89]



Şekil 12.3. Lokal 360 derece bandının ön ısıtma/ pasolar arası ısıtma için parametre örneği

Kontrol Bölgesi (Control Zone):

Kontrol bölgesi bir veya daha fazla ısı kaynağının tek bir kontrol cihazı tarafından (genellikle bir thermocouple) takip edildiği bölgedir. Eksenel yönde veya çevresel olarak birden fazla kontrol bölgesi olabilir [90].

Doğal ısı akışı göz önünde bulundurulduğunda parçanın 12:00 yönü 6:00 yönüne göre daha fazla ısınacaktır. Şekil 12.2 ve Şekil 12.3'de ısıtma bantlarının şematik gösterimi verilmiştir. Örneğin sadece 12:00 noktasında kontrol bölgesi belirlenmiş bir elektrik rezistans ısıtıcının 6:00 noktasında daha düşük bir sıcaklık meydana gelebilir. Sonuç olarak da servis yüzeylerinde yetersiz temperleme veya gerilme giderme meydana gelebilir. Bunun önüne geçmek için:

- Çevre boyunca kontrol bölgelerinin artırılması,
- Minimum HB yi belirleyen bir metod kullanılması
- 12:00 pozisyonunun öncelikle kontrol edilmesi
- 6:00 pozisyonunda ilave izolasyon malzemesi kullanımı
- 6:00 pozisyonunda daha geniş ısıtıcı kullanılması
- İç yüzeylerin de izole edilmesi
- Yöntemlerinden biri veya bir kaçını kullanılabılır.

Sıcaklığın Ölçülmesi:

Tüm ısı işlem çevrimlerinde sıcaklık değişimlerinin takibi ve çoğu zaman kaydedilmesi oldukça önemlidir. Uygulamanın gerektirdiği ölçüm hassasiyetine göre ısı tebeşirleri/boyları, thermocouple'lar, kızılötesi enstrümanlar, bi-metalik anahtarlar veya benzer diğer hassas ölçüm cihazlarından biri kullanılabilir. Bununla beraber en sık kullanılan iki yöntem ısı tebeşirleri ve thermocouple'dır.

Isı tebeşiri ve boylar:

Isı tebeşir ve boyları belli bir sıcaklığın üzerinde eriyen kimyasal kompozisyonlarda imal edilir. Tebeşirin/boyanın bıraktığı iz eridiği takdirde aranan minimum sıcaklığa ulaşıldığını biliriz. Örneğin yan yana iki farklı sıcaklıkta eriyen tebeşir uyguladığımızda işaretlerden biri eriyor ve diğeri erimiyorsa bize malzemenin bu iki sıcaklık değeri arasında bulunduğunu bildirir.

Bu yöntem daha çok ön ısıtma ve pasolararsı sıcaklık değerlerinin ölçülmesinde uygundur. Ucuz ve pratiktir. Ancak PWHT ve post heating uygulamalarında thermocouple kullanılması tavsiye edilir.

Thermocouple'ların seçimi:

Thermocouple, bir uçları sıcak, diğer uçları ise soğuk yüzeye bağlanmış iki farklı metal kablodan oluşan bir kablo çiftinden oluşur. Bu iki bağlantı noktası arasındaki gerilim (voltaj) farkı bir kablonun pozitif, diğerinin negatif olduğu bir kutuplama yaratır. Gerilim farkı sıcaklık değişimi ile orantılıdır. Bu sayede soğuk uca bağlanan ve gerilim farkını ölçen düzgün kalibre edilmiş bir enstrüman, sıcak uca meydana sıcaklık değişimlerinin yaratattığı gerilim farklarını sıcaklık cinsinden okuyabilir. Ancak her tel kombinasyonu ayrı bir enstrüman konfigürasyonu ve kalibrasyonu gerektirir [91].

Standartlarda 7 farklı tel kombinasyonu verilse de, lokal ısıl işlemlerde genellikle bunlardan 3 adedi kullanılır. Bu tel sınıfları, malzeme kompozisyonları, üst sıcaklık limitleri ve renk kodları Tablo 12.4'te verilmiştir. Harf tanımı yalnızca sıcaklık-gerilim ilişkisini ifade eder malzeme ile ilgili yoktur. Tanımlamalarda özel marka isimlerinin kullanımını engellemek amacıyla yapılmıştır. Thermocouple tipi seçiminde sıcaklık kayıt enstrümanlarının ve kalibrasyonlarının seçilen tel çifti için uygunluğunun kontrol edilmesi önemlidir. Bu çalışmada kullanılan thermocouplelar en düşük sapma oranına sahip en yüksek sıcaklık ölçümlerine imkan veren "K" tipi olarak seçilmiştir [92].

Tablo 12.4. Termokupl verileri [89]

| Tip | Nominal kompozisyon | Normal Üst Sıcaklık Sınırı | Pozitif renk | Negatif renk |
|-----|---------------------|---|--------------|--------------|
| J | Demir konstantan | 1400 ⁰ F (760 ⁰ C) | Beyaz | Kırmızı |
| E | Krom konstantan | 1600 ⁰ F (870 ⁰ C) | Mor | Kırmızı |
| K | Krom alumel | 2300 ⁰ F (1260 ⁰ C) | Sarı | Kırmızı |

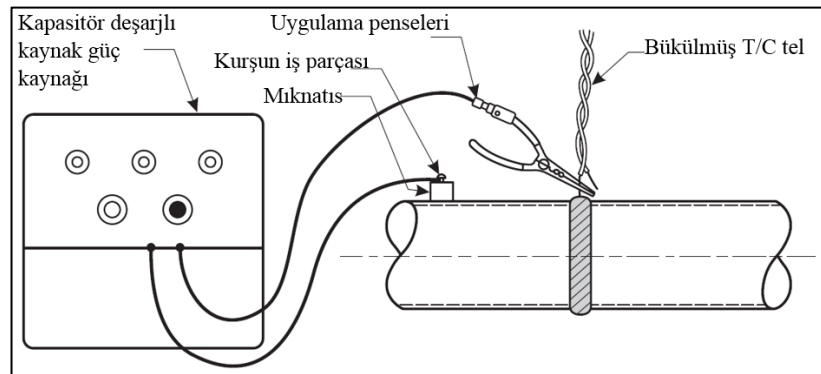
Thermocouple'ların yerleştirilmesi:

Kayıt cihazları en yakın iki thermocouple arasındaki değerleri ölçerler, bu nedenle tellerin uçları birbirlerine olabildiğince yakın hatta dokunacak şekilde yerleştirilir. Tellerin diğer kısımları ise izole edilerek birbirlerine veya ısıtılan malzemeye temas etmeleri engellenir. Aksi halde oluşacak kısa devreler sağlıklı bir ölçüm yapılmasına izin vermez. Teller çıplak halde burulursa cihaz, ısıtılan yüzey yerine burğu üzerindeki en yakın temas noktasından ölçüm alır ve doğru bir okuma gerçekleşmez.

Sıcak bağlantı tarafının yüzey ile aynı sıcaklığa sahip olmasını sağlamak için:

- Tellerin yüzeye sabitlendiği noktalar dış ortamdan izole edilir,
- Tel boyunca ısı dağılımının değişmemesi için thermocouple telleri en az 150 mm izolasyonun altında bırakılır,
- Sıcak bağlantı noktası yüzeye olabildiğince yakın tutulur.

Thermocoupleların yüzeye tutturulması için farklı yöntemler kullanılabilir. Her birinin avantajları ve dezavantajları vardır. İşlemin doğası gereği thermocouplelar ısı kaynağı ve ısıtılan malzeme arasına yerleştirilir. Önerilen metod ise malzeme yüzeyine her bir telin tek tek ve aralarındaki mesafe maximum 6 mm olacak şekilde capacitor discharge ile kaynatılmasıdır. Şekil 12.4'te kapasitör deşarj kaynağı ile tellerin bağlanmasına bir örnek gösterilmiştir. [91] Daha az verimli bir yöntem olarak konvansiyonel kaynak puntası ile birleştirme ya da mekanik olarak yüzeye tutturmak da uygulanabilir. Ancak mekanik yöntemde ısı iletiminin zorlaşması nedeniyle yapılan ölçümlerin doğruluğu düşer. Çalışmamızda tüm thermocouplelar capacitor discharge yöntemi ile bağlanmıştır.



Şekil 12.4. Kapasitör deşarj kaynağı ile tellerin bağlanmasının şematik görünümü [89]

Thermocouple konumları:

Diğer tüm koşullar bir kenara, thermocouple veya diğer ölçüm yöntemlerinin doğru veriyi vermesi için çok önemli olan bir nokta da tellerin yerleştirildiği lokasyondur.

Thermocoupleların başlıca iki kullanım amacı vardır:

- 1) Kontrol Thermokuplları: Bu amaçla kullanılacak tellerin seçiminde dikkat edilecek nokta ısıtıcının tipi, pozisyonu ve ısıtılacak malzemenin türüdür. Genellikle kontrol telleri en yüksek sıcaklığın beklendiği noktaya bağlanır.
- 2) Gözlem Thermokuplları: Bu thermocouplelar ise daha ziyade, bölgesel ısıl işlemle ilgili tüm parametrelerin doğru şekilde seyredip seyretmediğini takip etmekte kullanılır. Beklenen maksimum ve minimum sıcaklık değerlerini ölçecek şekilde yerleştirilmeleri gerekir. Bunu sağlamak için de kaynak merkezine, bekleme bandı sınırına ve ısıtma bandı sınırına yerleştirilecek şekilde ayarlanır. Eğer koşullar uygunsa, thermocoupleları ısı kaynağının bağlandığı yüzeye değil, diğer yüzeye bağlamak daha verimli olur. Böylece tüm parça kesiti boyunca istenen sıcaklığa ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilebilir.

Thermokupl hassasiyeti:

Ölçüm hassasiyetine etki eden çeşitli faktörler olmakla birlikte, tellerin malzemesinden kaynaklı bazı sabit sapmalar mevcuttur. Örneğin capacitor discharge kaynaklı, K tipi thermocouple kullanıldığında, tüm sistemin kalibrasyonları da uygun şekilde yapılmış ise ölçüm hassasiyeti $\pm 5^{\circ}\text{F}$ ($\pm 2,78^{\circ}\text{C}$) seviyesindedir [90].

İzolasyon:

Isıl işlemin bir diğer önemli konusu ise ısı kayıplarını engelleyen ve ısıl işlemin gerçekleşmesini sağlayan izolasyondur. Isı kaybı:

- Isıtılan yüzeyin kendi üzerinden iletimle,
- İç yüzeyden yayınımla (radiation),
- İç yüzeyden konveksiyonla,
- İç yüzeyde baca etkisiyle hareket eden havanın yarattığı konveksiyonla,
- İzolasyon malzemesi üzerinden çevredeki hava vasıtasıyla yayınım, konveksiyon ve iletimle gerçekleşebilir.

Bu şekilde oluşan kayıpların ısı ve sıcaklık değişim bandının genişletilmesi, çift taraflı izolasyon, baca etkisinin parçanın her iki tarafı kapatılarak engellenmesi ile önüne geçilebilir.

Cam yünü, mineral yünü, refrakter seramik fiber (RCF) sıklıkla kullanılan izolasyon malzemeleridir. RCF izolasyon en çok tercih edilen malzeme türüdür ve 1200°F (649°C)'ye kadar 25 mm, 1200°F (649°C) üzeri sıcaklıklarda ise 50 mm kalınlıkta uygulanır. Çalışmamızda kullanılan RCF izolasyon çift kat olarak 50 mm uygulanmıştır.

Isıl Çevrim:

PWHT'de termal çevrimin 4 parametresinin kontrol altında tutulması gerekir. Bunlar, sıcaklık istikrarı, belirlenen sıcaklığın üzerindeki sıcaklık artış miktarı, bekleme sıcaklığı ve zamanı ile belirlenen sıcaklığın üzerindeki soğuma hızıdır.

Isınma ve soğuma hızları kontrol edilmesi sıcaklığın tüm kesit boyunca homojen bir şekilde dağılımının sağlanması için önemlidir. ASME B31.1 600°F (316°C) üzerinde bu parametrelerin kontrolü gerekliliğini getirir. B31.3 de böyle bir sınırlama yokken, ASME Section III'de 800°F (427°C) üzerinde ve BS 2633'de 400°C (752°F) üzerinde kontrol gerekliliği vardır.

PWHT çevriminde sıcaklık dağılımının homojenliği konuları genellikle ayrıca ele alınır. Örneğin ASME Section III (Rules for Construction of Nuclear Facility Components) ısıtma ve soğutma sıcaklık değişimlerini kaynağın her 15 ft (4,6 m)'lik bölümü için 250°F (138.9°C)'den fazla olmayacak şekilde düzenlemiştir. Sıcaklık dağılımının bu şekilde düzenlenmesinin sebebi, PWHT sırasında meydana gelen gerilmelerin çarpımalara veya çatlaklara sebep olabilmesidir.

Isıtma ve soğutma hızları, PWHT sırasında malzemenin kesit boyunca sıcaklık farklılıklarına etki eder.

Tavsiye edilen maksimum sıcaklık değişimi değerleri, ısıtma ve soğutma için ısıtma bandı içerisinde 250°F (139°C), bekleme bandı içerisinde 100°F (55°C) şeklindedir.

Bazı durumlarda ısıtma işlem prosedürlerinde daha yüksek sertlik düşüşü için standard değerlerinden daha yavaş soğuma hızları verilir. Bununla beraber sertliği düşürmek

için en etkili yöntem bekleme sıcaklığını yükseltmektir. Bekleme zamanını artırmak daha az etkili olmakla beraber 3 şekilde yapılabilir. En çok tercih edilen ve kontrollü yöntem doğrudan bekleme süresini artırmaktır. Isıtma hızının düşürülmesi de toplan PWHT zamanını uzatacağından bu anlamda etkilidir ve soğutma hızının düşürülmesine göre etkisini daha iyi gösterir. Bu nedenle sertlik düşüşü isteniyorsa en verimli yöntemler sırasıyla:

- Bekleme sıcaklığının artırılması
- Bekleme süresinin uzatılması
- Isıtma hızının düşürülmesi
- Soğuma hızının düşürülmesi

Şeklinde sıralanır. Burada en zayıf etkinin soğuma hızında yapılan değişikliğe ait olduğu not edilmelidir.

Ferritik paslanmaz çelikler gibi bazı malzeme türlerinde soğuma hızının düşürülmesi, malzemenin gevrek fazların oluşum aralıklarındaki sıcaklıklara daha uzun süre maruz kalması anlamına geleceğinden gevrekleşme ve sertlik artışı ile tokluk düşüşüne neden olabilir. Bu sebeple bu tür malzemelerde farklı soğuma hızları tanımlamak da fayda vardır.

Soğuma için tavsiye edilen maximum değer 500°F/hr (278°C/hr) in inch cinsinden kalınlığa bölünmesi ile elde edilir.

Isıtma Yöntemleri:

Isıtma bandı çeşitli yöntemlerle oluşturulabilir. Bunlar, İndüksiyon, Elektrik Rezistans, Alevle Isıtma, Exothermic ısıtma, Gaz Kızılötesi ve Quartz Kızılötesi olarak sıralanabilir.

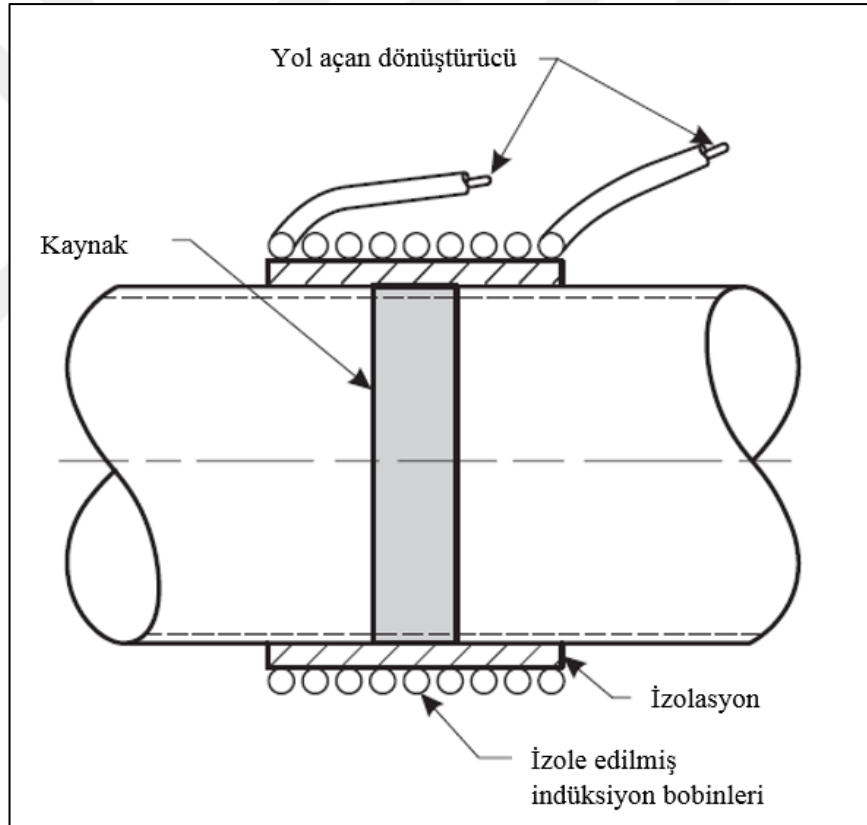
Deneyde kullandığımız Elektrik Direnç Isıtma yöntemi sanayide en yaygın kullanılan iki yöntemden birisidir. Ona gelmeden önce, bahsi geçen diğer yöntemleri kısaca özetleyelim.

İndüksiyon Isıtma:

Isıtılacak parçanın etrafına sarılmış bobinlere alternatif akım (AC) uygulanması ile gerçekleştirilir. Şekil 12.5'deki halde parçaya sarılan tellerden geçen elektrik akımı çevresinde bir manyetik alan yaratır ve manyetik alan, bobinin çevresine sarıldığı

iletken parça boyunca nüfuz eder ve parça üzerinde bir akım meydana getirir. Uygulanan alternatif akım olduğundan, akım göreceli bir hareket göstererek yükselir, alçalır ve yön değiştirir. Parçanın, parça üzerinde oluşan elektrik akımına gösterdiği direnç nedeniyle de ısınma gerçekleşir.

Akımın frekansı artırıldıkça manyetik alanın çağı küçülür ve parça üzerinde nüfuziyet derinliği azalır. Örneğin frekans çok yüksek seçilirse parçanın sadece yüzeyinde dar bir kesit ısıtılır, yayılma yoluyla ısı iç kesimlere dağılır. Ancak yine de yüzeyde aşırı bir ısınma gerçekleşir. Isınma gradyanının uygun bir seviyede tutulması için bu parametrenin de doğru seçilmesi gerekir. Endüstride genellikle uygulanan değerler 60, 480 ve 9600 Hertz (Hz) şeklindedir.



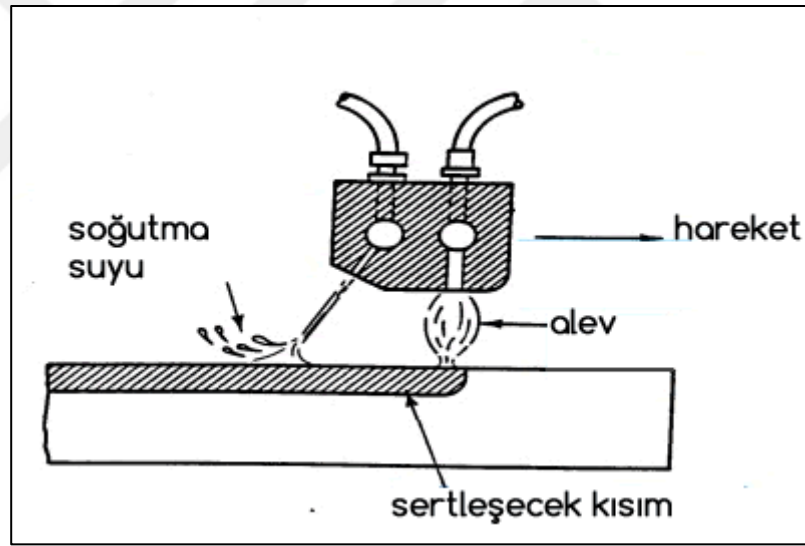
Şekil 12.5. İndüksiyon bobin kurulumu [89]

Alevle Isıtma:

Kaynaklı bağlantıların bir veya daha fazla şaluma (torç) kullanılarak bölgesel olarak ısıtılması bilimden ziyade sanattır. Kaynaklı parçaya iletilen ısının miktarı ve yoğunluğu:

- Harcanan yakıt miktarı,
- Yanma oranı,
- Alevin ayarlanış şekli,
- Kaynaklı parça ile alev arasındaki mesafe,
- Alevin hareket ettirilme şekli ve meydana gelen ısı kayıplarının kontrolü parametrelere bağlıdır.

Alevle ısıtma daha ziyade ufak çaplı parçalarda başarıyla uygulanır. Her ne kadar her yerde karşımıza çıkan harcı alev bir yöntem gibi görünse de alevle ısıtma, Şekil 12.6’da verildiği gibi tecrübeli bir operator tarafından dikkatlice yapılması veya bir supervizor tarafından yakından takip edilmesi gereken bir uygulamadır. Uygun şekilde yapılmayan bir alevle ısıtma işlemi kaynaklı bağlantıda ciddi hasara sebebiyet verebilir.



Şekil 12.6. Alevle ısıtmanın şematik görünümü. [93]

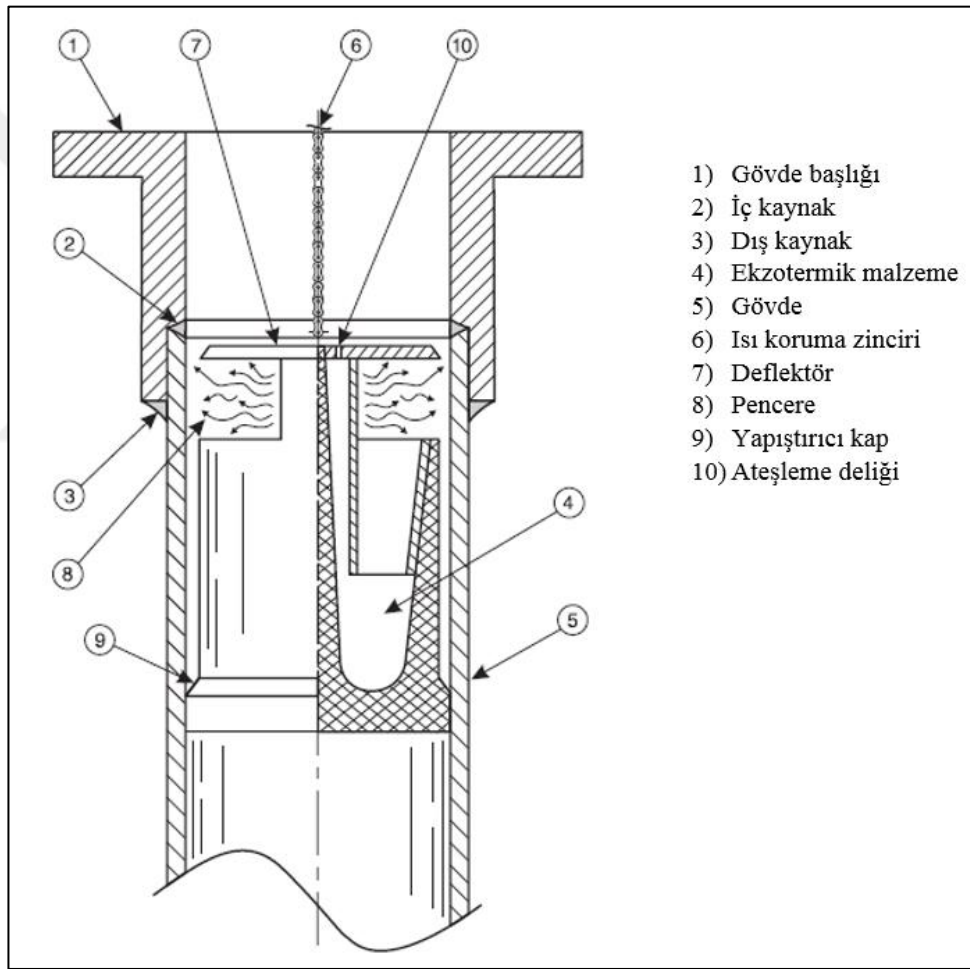
Exotermik Isıtma:

Isıtma yöntemlerinin çoğu istenen ısıl çevrimi oluşturacak şekilde gözlemlenip kontrol edilebilir. Endüksiyon, elektrik rezitans, alevle ısıtma gibi yöntemler tekrar tekrar kullanılabilir. Ancak exotermik sistem diğerlerinden farklı olarak, kontrol edilemeyen ve yalnız tek kullanımlık bir ısı kaynağı sağlar. Bu yöntemin şu an için bilinen tek bir spesifik kullanım alanı vardır, o da Şekil 12.7’de görülen slip-on flanş kaynağıdır.

Ateşleme sonrası kontrol amacıyla herhangi bir pesonele ihtiyaç duyulmaz. Bazı durumlarda güvenlik amaçlı bir gözcü bırakılsa da bu kişinin işleme herhangi bir müdahalesi yoktur. Bu nedenle işlem öncesinde, uygulama detaylı şekilde planlanmalı ve öyle başlanmalıdır.

Gaz Alevi Kaynaklı Kızılötesi Isıtma:

Bu yöntem ısının, ısı kaynağından parçaya radyasyon ile iletilmesi esasına dayanır. Gaz özel bir brülör içerisinde hava ile yakılır enerji radyasyon ile parçaya transfer edilir. Esasında evlerimizde kullandığımız elektrikli ısıtıcılarla aynı mantıkta çalışır.

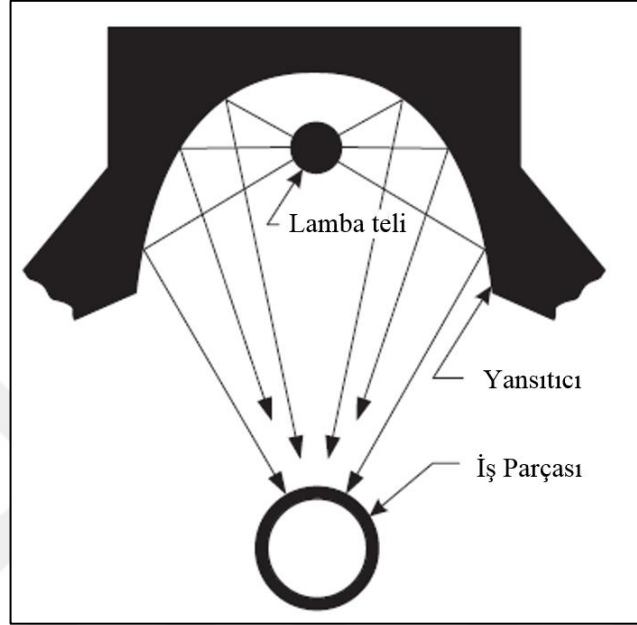


Şekil 12.7. Slip-on flanş kaynağı [89]

Quartz Lamba ile Isıtma:

Gaz Alevi Kaynaklı Kızılötesi Isıtma ile aynı prensipte çalışır. Ancak ısı kaynağı olarak elektrikli quartz lambalar kullanılır. Şekil 12.8. Bu yöntemde hassas bir zaman ve sıcaklık ayarlama imkanı vardır.

Lambanın yaydığı ısı, kaynaklı parçanın dış yüzeyini ısıtır ve ısı iç kesimlere doğru iletilir. Yöntem temizdir ve herhangi bir yanma artığı meydana getirmemekle beraber parça üzerinde de herhangi bir iz bırakmaz. Kokusuz olması nedeniyle de ortamda herhangi bir havalandırma ihtiyacı getirmez.



Şekil 12.8. Kuvars flaman, Yansıtıcı ve İş parçasının konumları [89]

Elektrik Direnç Isıtma (Electric Resistance Heating):

Bu yöntemde ısı, yüksek elektrik direncine sahip iletkenlerden akıl geçirilmesiyle elde edilir. I akım ve R direnç olmak üzere basitçe I^2R olarak tanımlanır. Bu rezistanslar farklı geometrilere kullanılmak amacıyla çok çeşitli boyut ve şekillerde imal edilirler. Çoğu oldukça esnek bir yapıdadır ve hem imalathane hem de aha koşullarında kher türlü yüzeyde kullanılmak için uygundur. Gerekli ekipman ısıtma elemanlar, izolasyon, güç kaynağı, sıcaklık takip ve kontrol cihazlarından oluşur. Sistemin seviyesi manuel kontrol edilen tek bir kontrol bölgesinden, tamamen otomatik ve çok sayıda kontrol bölgesinden oluşan komplike bir yapıya kadar değişiklik gösterebilir.

Isıtıcılar:

Rezistans ısıtıcılar genellikle yüksek dirençli iletkenler (hot section), düşük dirençli iletkenler (cold tail) ve bunları çevreleyen seramik boncuk veya fiber izolasyonlardan oluşur. Seramik kaplamada ilaveten yüksek sıcaklık dirençli metal

bir örgü ile korunabilir. İletkenlerin uç kısımlarına da elektrik devresini sağlayan parçalar bağlanır. Her bir ısıtıcının sınırlı bir akım taşıma kapasitesi olduğundan akım, ampermetre ile takip edilmelidir. Isıtıcılardan birinin arızalanması durumunda akımın takip edilmesi, oluşabilecek sıcaklık gradyanını öngörüp gerekli önlemlerin alınabilmesini sağlar. Isıtıcıların sayısı ısıtılacak kütleye, bölgenin geometrik şekline ve sıcaklık değişimi kontrol gereklerine göre belirlenir.

Isıtıcı düzeninde dikkat edilmesi gereken konular:

- Isıtıcılar güç kaynağının çıkış gerilimine uygun seçilmelidir.
- Paralel bağlantı yapılacaksa, direnç değeri birbirine yakın olan ısıtıcılar birbirleriyle eşlenerek bağlanmalıdır.
- Akım değerlerinin gözlenmesi için bir ampermetre mutlaka bağlanmalıdır.

Isıtıcılar güç kaynağına bağlanmadan önce gücün kesilmiş olduğundan emin olunmalıdır.

Finger Element Isıtıcılar:

Parmak tipi dediğimiz bu tür ısıtıcılar, çift nichrome iletkenin seramik borular içine yerleştirilerek parmak benzeri yapılar oluşturulmasıyla elde edilir. Bu şekilde ısıtılacak parçanın etrafı tamamen sarılır. Bu tip iletkenler 120 A akım kapasiteli ve oldukça güvenilir bir ısıtıcı sağlar.

Parmak tipi ısıtıcılar daha sıklıkla kullanılan esnek seramik pedlerin (Flexible Ceramic Pad – FCP) atası sayılır.

Diğer tipler Örgü Isıtıcılar, FCP, Sargı Isıtıcılar, Tek Telli (İp Tipi) ısıtıcılar olarak sıralanabilir. Biz kendi çalışmamızda finger element ısıtıcılar kullandığımız için diğer türlerden burada bahsedilmeyecek.

12.3. Servis Koşullarından Kaynaklı Gereklilikler

Pek çok imalat standardı genellikle servis koşullarından kaynaklanan ısıl işlem gerekliliklerine yer vermez. Çalışmaya konu olan P11 grade malzemelerin ısıl işlem gereklilikleri ise tam olarak bu nedenlerden ileri geliyor. Malzemenin kullandığı eşanjörler wet H₂S, kostik ve amine gibi “sour service” ortamlara maruz

kalacağından, bu konuda daha spesifik önergeler getiren NACE RP0472 ve API 945 standard gereklilikleri takip edildi. Her ne kadar deneyde takip edilen ısı işlemlerinin gereklilikleri esasen korozyon dayanımını artırmayı amaçlasa da bu yönde bir deney yapılmadı. Yapılan mekanik testler daha ziyade korozyon dayanımını artırmaya yönelik taleplerin mekanik özellikler üzerindeki etkisinin ölçülmesi yönünde gerçekleştirildi.

B31.1 ve ASME Bölüm III, servis koşulları yerine daha çok gevrek kırılma mekanizmaları yönünden konuyu ele alırlar. BS 2633 ise sürünme dayanımı veya sertlik düşürme gibi amaçlar farklı ısı çevrim uygulamalarını içermez. Bununla beraber BS 2633, gerilmeli korozyon çatlakları ya da yüksek sıcaklık ve basınç altında hidrojen ortamına maruz kalınması gibi belli kullanım koşulları için malzeme et kalınlığına bakılmaksızın PWHT uygulanması gereğinin kullanıcının kararına bırakılmış olduğunu bildiren bir not içermektedir. Her ne kadar doğrudan belirtilmemiş olsa da, B31.3 de bulunan daha düşük sıcaklıklarda daha uzun süreler PWHT uygulaması ve sertlik sınırlamasının servis koşulları göz önünde bulundurularak talep edildiği yorumu yapılabilir.

12.4. Fırın veya Bölgesel PWHT Uygulamalarının Uygunluğu

PWHT uygulama ortamına dair endişe daha çok gerilme korozyon çatlakları gibi gerilme kaynaklı mekanizmaların lokal PWHT ile tetiklenebileceği fikrinden gelir. Böyle bir risk söz konusuysa uluslararası standartlarda tavsiye edilen uygulama ısı işleminin fırında ya en azından 360 derece çepeçevre bir ısıtma bandı ile yapılmasıdır.

Gerilme kaynaklı hata mekanizmalarının gerilme eşiğiyle ilgili detaylı bilgilere çoğu durum için sahip değiliz. Mevcut gerilme seviyesi veya hata oluşumuna sebep olacak gerilme miktarının kesin bir şekilde bilinmesinin çok zor olması nedeniyle genellikle takip edilen uygulama, benzer servis koşulları için uygulanan bazı spesifik PWHT parametreleriyle elde edilen tecrübeleri esas alınmasıdır. Ancak geçmiş tecrübelerin esas alındığı uygulamaların her durum için yeterli olacağı veya sonuçlarının doğru değerlendirilebileceğini söylemek de zordur.

Şu da göz önünde bulundurulmalıdır ki, fırında uygulanan standart PWHT işleminin gerilme giderme kapasitesi, paslanmazlarda görülen klor gerilme korozyon çatlakları

gibi servis koşullarından ileri gelen çatlakların gerilme eşiklerinin oldukça düşük olması nedeniyle zaman zaman yetersiz kalabilmektedir. Bu gibi durumlarda daha yüksek sıcaklar ve daha uzun bekleme süreleri ya da IHSI (Induction Heating Stress Improvements) gibi farklı teknikler uygulanması gerekebilir.

12.5. PWHT Muafiyetleri

İmalat standartlarında PWHT'den muaf olma durumu et kalınlığı, ön ısıtma sıcaklığı, alaşım yapısı, borular için çap gibi özelliklere göre belirlenir. Muafiyet parametreleri söz konusu olduğunda genellikle göz önünde bulundurulanan, mekanik özelliklerin değişimidir. Servis koşullarıyla ilgili endişeler devreye girdiğinde bu muafiyetler geçerliğini yitirir.

Daha yüksek et kalınlıklarının neden olduğu doğrusal gerilme şartları, stabil olmayan çatlak oluşumuna mani olacak yeterli temperleme ve gerilme giderme sağlar. Tasarım esnasında bu hata koşulları göz önünde bulundurulduğunda, et kalınlığına göre PWHT muafiyeti seçimi mantıklıdır.

Ancak, bazı servis koşullarında ASCC (Alkaline stress corrosion cracking) veya HSC (Hydrogen stress cracking) gibi hata mekanizmaları işliyor olabilir. Bu hata mekanizmaları kalıntı gerilme ev/veya mikro yapıdaki sertlik bölgelerinden kaynaklanabilirler. Sonuç olarak bu noktada PWHT muafiyetinin belirlenmesinde kalınlığın bir etkisi olmayacaktır.

Kimyasal kompozisyona göre muafiyet koşulu, kaynak sonrası mikroyapıda sertleşmeye neden olacak karbon ve diğer alaşım elementlerinin sınırlanması koşuluna göre belirlenir. Burada carbon eşdeğeri formülleri kullanılabilir. Örneğin NACE 8X194, ana metaldeki karbon eşdeğeri hesaplarının HAZ bölgesinde meydana getireceği olası sertleşmenin kontrol edilmesi konusunu anlatır. Servis koşullarından kaynaklı çatlak mekanizmalarının mikroyapıdaki sertlikten ileri geldiği durumlarda, kimyasal kompozisyona göre belirlenen muafiyet durumları makul olabilir. Ancak NACE 8X194'deki çalışmalar HAZ sertliğinin kontrol edilmesinde kompozisyona bağlı sınırlamaların, diğer yaklaşımlar ile birlikte kullanıldığında en yüksek etkiye ulaşıldığını gösteriyor. Sonuç olarak salt kimyasal kompozisyon baz

alınarak yapılan muafiyetlerin, gerilme kaynaklı çatlak mekanizmasının beklendiği durumlarda uygun olmadığı açıkça görünüyor .

Ön ısıtma/pasolararası sıcaklığa bağlı yapılan PWHT muafiyetleri genellikle kaynak tipi ve ebatları ile malzeme kalınlığına bağlı olarak değerlendirilir. Ön ısıtmanın soğuma hızını yavaşlatmadığı durumlara yine diğer uygulamalar ile beraber kullanıldığında etkili olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sebeple servis koşullarının yol açtığı çatlak mekanizmaları söz konusuysa, ön ısıtma/pasolararası sıcaklık ile PWHT muafiyeti tercihi yapmak tek başına uygun olmaz.

Yine aynı şekilde çap, kaynak tipi ve kalınlığına göre de muafiyete karar vermek, mu parametrelerin kaynak sertliği ve kalıntı gerilmenin giderilmesinde bir etkisi olmaması nedeniyle geçerli değildir.

12.6. Temperleme ve Gerilme Gidermenin Amacı

Hem bu çalışmaya konu deneyler esnasında, hem de endüstri pratiğinde anlaşılması gereken, servis koşullarının yarattığı gereklilikler karşısında en doğru PWHT uygulamasının yapılıp yapılmıyor oluşudur.

Gerilme giderme için bekleme bandı, tüm mevcut kalıntı gerilme alanlarını kapsayacak kadar geniş tutulmalıdır. NACE RP0472'ye göre kalıntı gerilmeler kaynak metalinden 50 mm mesafeye kadar yayılmış olabilir. Ayrıca lokal PWHT'nin kendisi de bir takım gerilmelere yol açabilir.

Ayrıca daha düşük sıcaklıklarda daha uzun bekletme uygulaması da burada tavsiye edilmez. Örneğin hem API 945 hem de NACE RP0472 bu uygulamanın yapılmamasına dair tavsiyeler içerir. NACE 8X194'e göre hemen hemen hiçbir üretici H₂S servisinde kullanılan basınçlı kaplarda 1125°F (607°C) altında PWHT uygulaması çalışmamıştır.

Bir diğer önemli nokta olarak, hem hidrojen gerilme çatlağı hem de alkali gerilme korozyon çatlağı mekanizmaları aynı servis koşulları içinde işliyor olabilir. Bu durumda hem yeterli temperleme hem de gerilme giderme şartlarının elde edilmesi sağlanmalıdır.

Göz ardı edilen bir diğerk faktör de geçici parça kaynakları ve ark çarpmalarıdır (arc strike). Bu kusurlar yüzeyden temizlenseler dahi yarattıkları ısı etkiler parça yüzeyinde kalır. Özellikle bu kısımların PWHT işleminden azami ölçüde etkilenmesi sağlanmalıdır. Bu kısımların, servis koşullarına doğrudan maruz kaldığı iç yüzeylerde olması durumu daha da kritik hale getirir. Dolayısıyla pek çok uygulamada bekleme bandının bu alanları da kapsayacak şekilde genişletilmesi uygun olacaktır.



13. KAYNAK METALİNİN TEST EDİLMESİ

13.1. Sertlik Testi

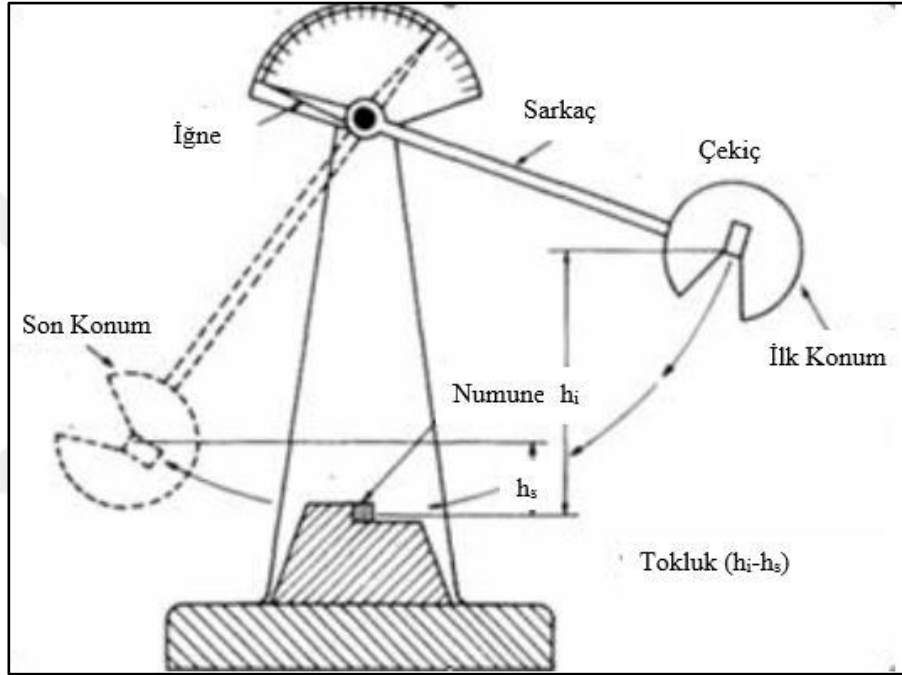
Sertlik testi, imalat kaynaklarında lokal PWHT'nin yeterli seviyede yapıp yapılmadığının kontrolünde yaygın olarak kullanılan bir kalite kontrol adımıdır. Yöntem özellikle hidrojen gerilme çatlaklarının önlenmesi için PWHT sonrası yeterli temperleme oluşup oluşmadığının tespit edilmesinde (kaynak metalinin makro sertliği ölçülerek) kullanılır. NACE 8X194'de konu gözlem sonuçlarından elde edilen raporlara göre "Sertlik testi kaynak sarflarının yanlış kullanımını ve/veya yanlış imalat tekniklerinin tespit edilmesinde büyük çapta fayda sağlamıştır" şeklinde ifade ediliyor. Bununla beraber şunun da altını çizmekte fayda var ki sertlik testi, kalıntı gerilme seviyesinin değerlendirilmesinde uygun bir metod değildir. Bu nedenle kaynaklı malzemelerin servis koşullarından kaynaklı gerilme çatlak eğiliminin tespit edilmesinde sertlik testi tek başına doğru bir yöntem değildir.

Belli bir kesinlik oranı yakalabilmek için sertlik testi bilinen endüstriyel standartlar çerçevesinde yapılmalıdır. ASTM A 83-84 karşılaştırmalı yöntemle Brinell sertlik testi için gereklilikleri içerir. NACE RP0472 de bu ASTM uygulamasını kullanarak servis koşul kaynaklı çatlak oluşumlarının kontrol yöntemlerine dair tavsiyeler içerir. HAZ alınmasının aslında çok dar bir bölge olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan toplu tip portatif ölçüm araçlarına maksimum sertlik değerini yakalamak çok zordur. Bunun yerine kompozit değerler elde edilir. Özellikle düşük ısı girdisi ile yapılan kaynaklarda bu alan oldukça daraldığından ölçüm yapmak imkansız bir hal alır [89].

TWI (The Welding Institute), UCI (Ultrasonic Contact Impedance) yöntemi ile sertlik ölçümü üzerine bir grup çalışma yapmıştır. UCI yönteminde, üç boyutlu bir iz yaratan Vickers tipi piramit bir batıcı uç kullanılır. Her ne kadar ölçüm bu iz üzerinden yapılsa da operatörün becerisi, yeterli yüzey hazırlığı, batmaya yetecek kadar bir alan gerekliliği ve istatistik çıkarabilecek kadar çok sayıda ölçüm yapılması ihtiyacı gibi bazı soru işaretleri de yok değildir.

13.2. Çentik Darbe Deneyi

Darbeli yükler altında bir malzemenin kırılması için gerekli enerji miktarının belirlenmesini bulmak için yapılır. Çentik darbe deneyi sarkaçlı vurma cihazında yapılır. Cihazın sarkaç çekici önceden belirlenmiş bir yükseklikten düşer ve en alt noktada arka yüzüne vurduğu çentikli deney numunesini kırılmaya zorlar. Bu sırada vurma hızı 4 m/s ile 7 m/s arasında olmalıdır [94]. Çentik darbe deneyinin çalışma prensibinin gösterimi Şekil 13.1’de verilmiştir.



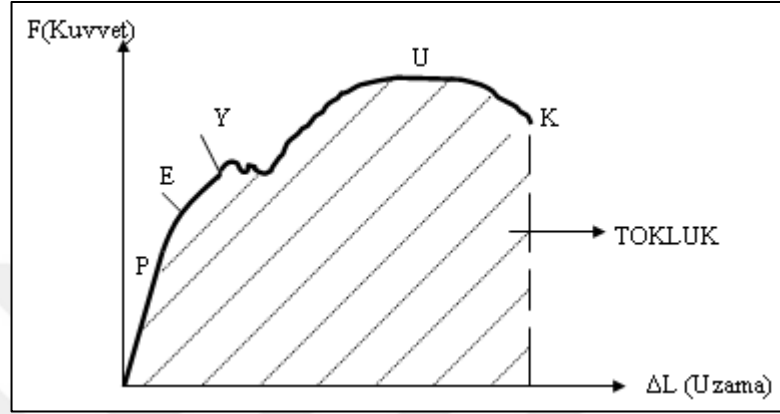
Şekil 13.1. Çentik darbe deney cihazının çalışma prensibi [94]

13.3. Çekme Deneyi

Mühendislik malzemeleri rijit olmadığından kuvvet altında deforme olup, şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini anlamak üzere mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi “çekme deneyi”dir.

Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, aksenal ve değişken kuvvetler uygulanır.

Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve Şekil 13.2’de görüldüğü halde bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir.



Şekil 13.2. Çekme deneyinin uzama eğrisi

Küçük kuvvet düzeylerindeki uzama miktarları kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzemenin elastik davranışı içindedir, yani kuvvet kaldırıldığında uzama sıfırlanır. Bu karakter P noktasına kadar devam eder. Orantı limiti P den sonra lineer fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış devam eder. Elastik davranış E “Elastik Limiti” noktasında sona erer. E den sonra kalıcı plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaltıldığında ise lineer fonksiyona paralel bir yol izler. Fakat kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır.

Malzeme yüklenmeye devam edilirse Y noktasında akar. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme “çalışma sertleşmesi”ne uğrar ve daha mukavim hale gelerek daha fazla kuvvet alabilir hale gelir.

Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da artırılarak U noktasına ulaşılır. U noktası “maksimum gerilme” noktası olup, burada malzeme kesitinde lokal daralmalar başlar. Buna malzemenin “ boyun vermesi ” denir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olur ve malzeme daha fazla gerilimler alabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından taşıdığı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde K noktasına ilerler ve orada kopar.

Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiyi eşit olup; tokluk adı verilir.

Kuvvet-uzama eğrisi daha sonra yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk uzunluğuna bölünerek “birim-uzama” ya çevrilir. Aynı şekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilim” hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir.

Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona uğradıysa “sünek” , az deforme olmuşsa “gevrek” yapıya sahiptir.

13.4. Eğme Deneyi

Eğme deneyleri, orta noktadaki test malzemesini deforme eder ve kırılma meydana gelmeden iç bükey bir yüzey veya bükülme oluşturur ve tipik olarak bu malzemenin kırılmasının direncini veya sünekliğini belirlemek için yapılır. Esneklik testinden farklı olarak, amaç başarısızlığa kadar malzemeye kuvvet uygulamak değil, malzemeyi belirli bir şekle dönüştürmektir. Test örneği, testin yapıldığı standarta göre belirlenen eğrilik yarıçapı ile orta noktada içbükey bir yüzey oluşturacak şekilde yüklenir [95].

Çoğu kaynak kodu, kaynakçı ve kaynak prosedürü özelliklerini niteliklendirmek için gereken testin bir parçası olarak eğme deneyleri gerektirmektedir. Kaynaklar için eğme testi kavramı basittir, iki plaka birbirine kaynaklanır ve düz bir metal kayış kaynaklı plakalardan kesilir. Daha sonra, öngörülen boyuttaki düz kayış U şeklindeki malzemeye bükülür ve materyali "U" dış yüzeyi üzerine uzatır ve materyali iç yüzey üzerinde sıkıştırır.

Amaç, kaynağın ve taban metalin uygun bir şekilde kaynaştırıldığından ve kaynak metalinin ısıyla etkilenen bölgesinin (HAZ) uygun mekanik özelliklere sahip olduğundan emin olmaktır [96].

13.5. Spektral Analiz Deneyi

Spektral analiz deneylerinin gerçekleştirilmesinde spektrometreler kullanılarak iş parçası malzemesinin kimyasal analizi araştırılır. Kullanılan spektrometreler belirli bir frekansa göre çalışmaktadır. Analiz sırasında iş parçasının yüzeyinden birkaç

miligram malzeme buharlaştırılarak elementlerin analizleri gerçekleştirilmektedir. Analizin çalışma prensibi ise spektrometrenin ark odasında elektrik arkı ile elementlerin atomlara ayrıştırılmasıdır. Ayrıştırılma işlemi yapılırken analiz odası argon gazı ile doldurulur. Her elementin farklı ışın oluşturmamasından dolayı ışınların dalga boyları ayrıştırılarak ışınların şiddetleri ölçülür. Ölçülen şiddetler ile iş parçasında bulunan elementlerin miktarları elde edilir.

13.6. Makro İnceleme Deneyi

Stereomikroskoplarda 50x'e kadar büyütmeleler kullanılırsa makro incelemeye girmektedir. Makro muayene esas olarak kaynak kalitesini kontrol etmek için kullanılır. Kaynaklanmış malzemenin enine kesiti alınarak temizlenir ve muayene için hazırlanır. Gözeneklilik, kaynak penetrasyonu eksikliği, yan duvar füzyonu eksikliği, kötü kaynak profili ve diğer önemli kusurlar ilgili kaynak standardına göre kontrol edilir. Bu muayene, BS EN ISO 5817, ASME SEC IX, AWS D1.1 gibi uluslararası kaynak standartlarının bir gereğidir. Ayrıca makro özelliklerinin incelenmesi, kaynaklı bağlantılarda aşağıdakilerin belirlenmesinde kullanılır:

- Kaynak geometrisi
- Nüfuz derinliği
- HAZ'ın Kapsamı (Isıdan etkilenen bölge)
- Çatlaklar, alttan kesme, dışbükeylik gibi yüzey kusurları.
- Çatlaklar, porozite, metalik inklüzyonlar, ergime eksikliği, nüfuziyet eksikliği ve cüruf gibi iç kusurlar.
- Kök boşluğu, kök yüzü, pah kırılması ve yanlış hizalama gibi eklem geometrisi kusurları. [97,98]

14. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

14.1. Deneyin Amacı

Bu çalışmada, rafineride kullanılmak üzere 13 Cr Mo 4-5 (ASME SEC.IIA SA-387 Gr.11 Cl.1) yüksek sıcaklık dirençli çelikten üretilen ısı eşanjörlerinin (heat exchanger) ıslak hidrojen sülfid (WetH₂S) ortamına maruz kalacak olması nedeniyle:

1. Kaynaklı birleştirme,
2. Olası bir kaynak tamiri,
3. Aynı bölgede olası bir ikinci kaynak tamiri veya revizyonu.

Göz önünde bulundurularak yapılan tekrarlı PWHT (Simulated PWHT) uygulamalarının kaynaklı birleştirmenin mukavemet, sertlik, tokluk değerleri üzerinde meydana getirdiği değişimlerin, gerçekten arzu edilen değerlere ulaşım ulaşmadığının, imalat esnasında kullandığımız 3 farklı kaynak yöntemi için (GTAW, SMAW, SAW) test edilmesini konu alınmaktadır.

Her yöntem yaklaşık 1,2-1,3 KJ/mm ısı girdisi oluşturacak akım, gerilim, hız parametreleri kullanılarak uygulanmıştır.

Böylelikle ortaya 3 farklı kaynak yöntemine, 4 farklı koşulda uygulanan PWHT sonrası kaynaklı parçalardan işlenerek elde edilen numunelere, konu parçaların minimum dizayn sıcaklığı olan – 18 °C ‘de çentik darbe testleri ve sertlik taramaları yapılmıştır.

14.2. Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda rafineride kullanılmak üzere dizayn edilen bir eşanjöre ait 13CrMo4-5 (ASME SEC.IIA SA-387 Gr.11 Cl.1) yüksek sıcaklık dirençli çelikler kullanılmıştır. İki farklı kalınlıkta 13 Cr Mo 4-5 kalite, 13 mm kalınlığında levha, GTAW (TIG) yöntemi ile 20 mm kalınlığındaki levha ise SMAW ve SAW yöntemleri

ile kaynak edilmiştir. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi Tablo 14.1’de verilmiştir. Kaynak işlemi esnasında kullanılan elektrodlar ise E8018B2-H4R tür elektrod, ER80S-B2 tür TIG teli ve EBR2 tür SAW tel-toz kombinasyonudur. Kaynaklı birleştirilen malzemelerin dayanım ve mikroskobik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, çekme, sertlik, çentik darbe deneyleriyle beraber makroyapı incelemeleri yapılmıştır.

Tablo 14.1. Kaynak işleminde kullanılan malzemenin % kimyasal bileşimi

| %C | %Mn | %Si | %P | %S | %Cu | %Ni | %Cr | %Mo | %V | %Ti | %Al | %N | %Nb |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0,142 | 0,530 | 0,510 | 0,009 | 0,004 | 0,040 | 0,040 | 1,340 | 0,501 | 0,009 | 0,003 | 0,040 | 0,007 | 0,004 |

14.3. Kaynak Yöntemi Uygulanması

Kaynak işlemlerinin her biri TEKFEN İmalat ve Mühendislik A.Ş. de bulunan kaynak tezgahlarında gerçekleştirilmiştir. (Şekil 14.1, Şekil 14.2, Şekil 14.3) Kaynak işlemleri sırasında kullanılan parametreler Tablo 14.2, Tablo 14.3 ve Tablo 14.4’te verilmiştir.



Şekil 14.1. TIG kaynağının yapıldığı kaynak tezgahı



Şekil 14.2. SMAW kaynağında kullanılan kaynak makinası



Şekil 14.3. Tozaltı kaynak tezgahı

Tablo 14.2. GTAW kaynak yönteminde uygulanan kaynak parametreleri

| NUMUNE 26E01 | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|----------|------------------|----------|-----------|-----------------------|-------|--------|--------------|-------------------|
| Paso No | Kaynak Yöntemi | Pozisyon | Kaynak malzemesi | Tel Çapı | Ön ısıtma | Pasolararası Sıcaklık | Amper | Voltaj | Hız (mm/dak) | Isı Girdisi KJ/mm |
| 1 | GTAW | 2G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 200 | 14 | 126 | 1,33 |
| 2 | GTAW | 2G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 200 | 14 | 126 | 1,33 |
| 3 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 203 | 14 | 126 | 1,35 |
| 4 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 203 | 14 | 103 | 1,66 |
| 5 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 203 | 14 | 141 | 1,21 |
| 6 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 210 | 14 | 128 | 1,38 |
| 7 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 210 | 14 | 94 | 1,88 |
| 8 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 210 | 14 | 120 | 1,47 |
| 9 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 210 | 14 | 116 | 1,52 |
| 10 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 196 | 13 | 120 | 1,27 |
| 11 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 196 | 13 | 134 | 1,14 |
| 12 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 196 | 13 | 134 | 1,14 |
| 13 | GTAW | 1G | ER80S-B2 | 2,4 mm | 150° C | 300° C max. | 196 | 13 | 135 | 1,13 |

Tablo 14.3. SMAW kaynak yönteminde uygulanan kaynak parametreleri

| NUMUNE 26A01 | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|----------|------------------|---------------|-----------|-----------------------|-------|--------|--------------|-------------------|
| Paso No | Kaynak Yöntemi | Pozisyon | Kaynak Malzemesi | Elektrod Çapı | Ön Isıtma | Pasolararası Sıcaklık | Amper | Voltaj | Hız (mm/dak) | Isı Girdisi Kj/mm |
| 1 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 3.2 mm | 150° C | 300° C max. | 110 | 25 | 90 | 1,83 |
| 2 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 180 | 28 | 140 | 2,16 |
| 3 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 230 | 1,35 |
| 4 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 132 | 2,35 |
| 5 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 226 | 1,38 |
| 6 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 267 | 1,16 |
| 7 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 158 | 1,97 |
| 8 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 290 | 1,07 |
| 9 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 259 | 1,20 |
| 10 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 375 | 0,83 |
| 11 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 185 | 28 | 302 | 1,03 |
| 12 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 175 | 28 | 277 | 1,06 |
| 13 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 175 | 28 | 270 | 1,09 |
| 14 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 175 | 28 | 307 | 0,96 |
| 15 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 175 | 28 | 286 | 1,03 |
| 16 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 190 | 28 | 161 | 1,98 |
| 17 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 190 | 28 | 338 | 0,94 |
| 18 | SMAW | 2G | E8018-B2 | 4 mm | 150° C | 300° C max. | 190 | 28 | 240 | 1,33 |

Tablo 14.4. SAW kaynak yönteminde uygulanan kaynak parametreleri

| NUMUNE 26B01 | | | | | | | | | | |
|--------------|----------------|----------|------------------|---------------|-----------|-----------------------|-------|--------|--------------|-------------------|
| Paso No | Kaynak Yöntemi | Pozisyon | Kaynak Malzemesi | Elektrod Çapı | Ön Isıtma | Pasolararası Sıcaklık | Amper | Voltaj | Hız (mm/dak) | Isı Girdisi Kj/mm |
| 1 | TIG | 2G | ER80S-B2 | 2.4 mm | 150° C | 300° C max. | 160 | 10 | 292 | 0,33 |
| 2 | TIG | 2G | ER80S-B2 | 2.4 mm | 150° C | 300° C max. | 164 | 12 | 244 | 0,48 |
| 3 | TIG | 2G | ER80S-B2 | 2.4 mm | 150° C | 300° C max. | 127 | 12 | 245 | 0,37 |
| 4 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 400 | 29 | 620 | 1,12 |
| 5 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 600 | 1,31 |
| 6 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 550 | 1,42 |
| 7 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 560 | 1,40 |
| 8 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 500 | 31 | 560 | 1,66 |
| 9 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 560 | 1,40 |
| 10 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 550 | 1,42 |
| 11 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 12 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 13 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 14 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 15 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 16 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 17 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 18 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 19 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 20 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 450 | 29 | 570 | 1,37 |
| 21 | SAW | 1G | EB2R | 3 mm | 150° C | 300° C max. | 440 | 29 | 580 | 1,32 |

14.4. Kaynak Sonrası Uygulanan Isıl İşlemler (PWHT)

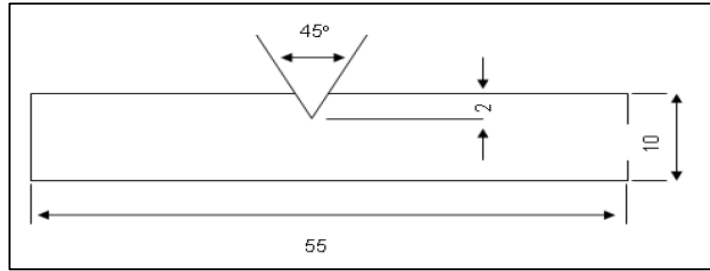
Kaynak sonrası numunelerin ısıl işlemleri TEKFEN İmalat ve Mühendislik A. Ş. firmasında bulunan ısıl işlem makinalarıyla gerçekleştirilmiştir. Her numuneye uygulanan ısıl işlem parametreleri Tablo 14.5’te verilmiştir.

Tablo 14.5. Kaynak sonrası numunelere uygulanan ısıl işlem parametreleri

| Numune Numarası | Sıcaklık, T (°C) | Süre (dk.) |
|-----------------|------------------|---------------|
| 1-2-3 | 676-690 | 60 |
| 4-5-6 | 690-704 | 100 |
| 7-8-9 | 690-704 | 100 (2 cycle) |
| 10-11-12 | 690-704 | 100 (3 cycle) |

14.5. Çentik Darbe Deneyleri

Çentik darbe deneyleri Anadolu Döküm Sanayi A. Ş. firmasında bulunan laboratuvarlarda gerçekleştirilmiştir. Çentik darbe numunelerinin boyutları 10x10x55 mm ebatlarında olup 24 adet 26B01 numunesi, 36 adet 26E01 numunesi ve 24 adet 26A01 numunesine uygulanmıştır. Her numuneye -18 °C ortam şartında çentik darbe uygulanmış olup kullanılan çentik açma tezgahı, çentik darbe deney cihazı ve numunesinin görünümü Şekil 14.4, Şekil 14.5 ve Şekil 14.6’da verilmiştir.



Şekil 14.4. Çentik darbe deneyi numunesi ve ölçüleri (ASME Section IX’a göre)

14.6. Çekme Deneyleri

Kaynak işlemi uygulanmış malzemeler işlenerek her bir kaynak işlemi için dörder adet olmak üzere toplamda 12 adet çekme deneyi numunesi hazırlanmıştır. Çekme deneyi işlemi ASME SEC. IX. Standardına göre Anadolu Döküm Sanayi A. Ş. firmasının çekme laboratuvarında bulunan ZWICK/ROELL 600 KN’luk çekme cihazında gerçekleştirilmiştir. (Şekil 14.5)



Şekil 14.5. ZWICK/ROELL çekme cihazı

14.7. Sertlik DeneYleri

Her kaynaklı numuneden dörder adet alınmış olup bu numunelerin kep ve kök bölgelerinden 10'ar adet ölçüm alınmıştır. Sertlik deneyleri EMCOTEST DURAVISION DV250 sertlik ölçme cihazında HV10 yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 14.6).

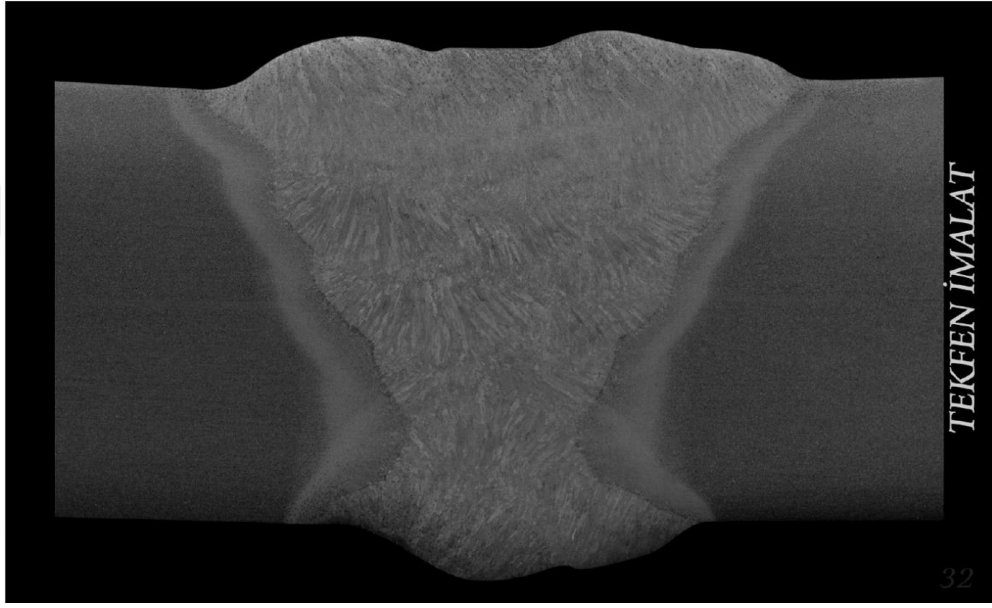


Şekil 14.6. Emtotest Duravision sertlik ölçüm cihazı

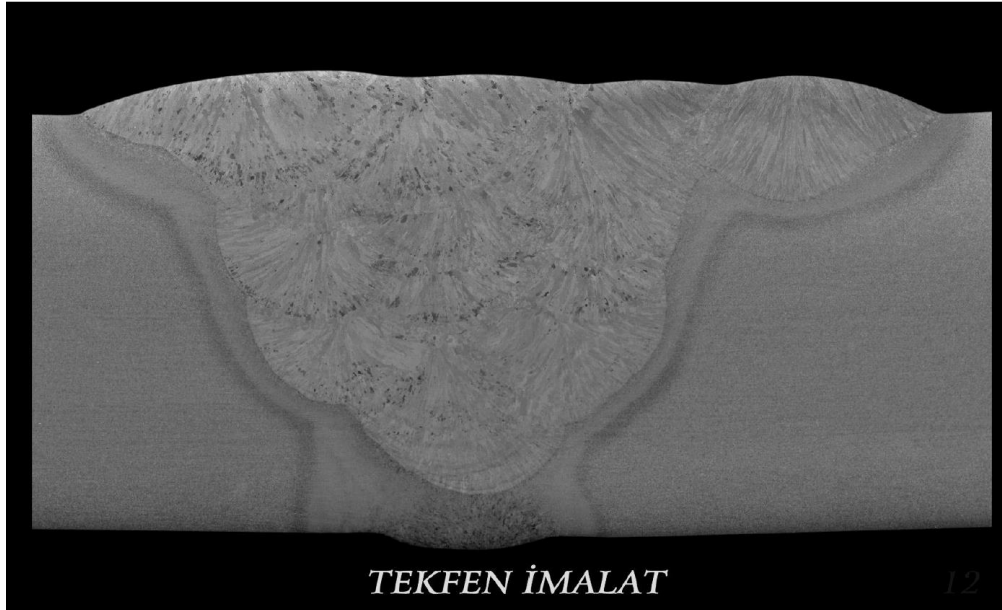
15. DENEYSEL SONUÇLAR

15.1. Makroyapı Görüntüleri Sonuçları

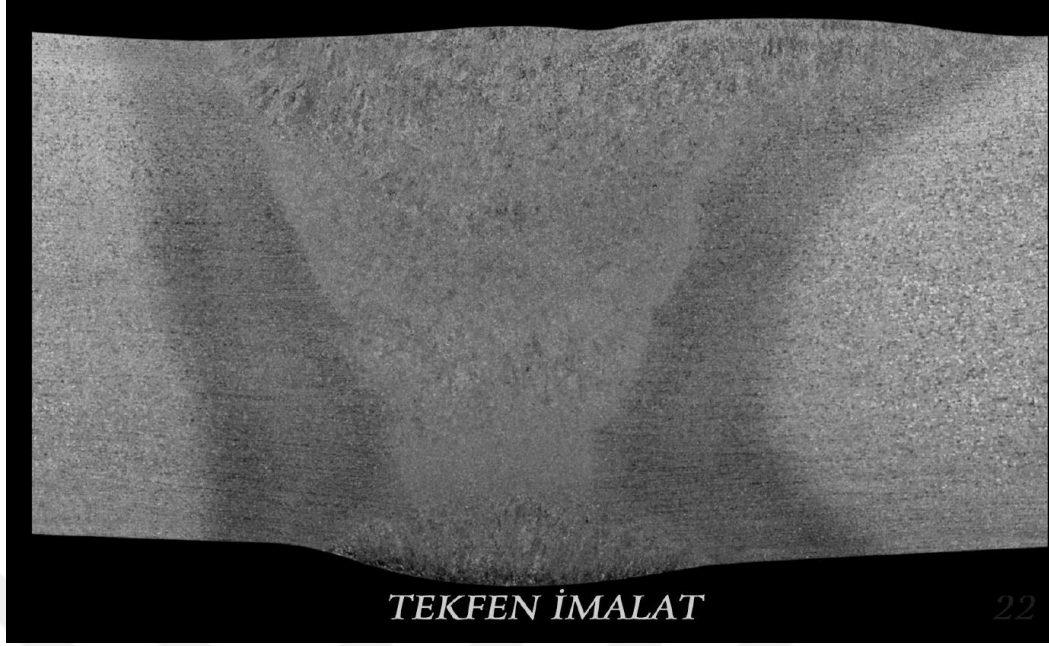
Test parçalarına ait makro görüntüleri Şekil 15.1, Şekil 15.2, Şekil 15.3'de verilmiştir.



Şekil 15.1. SMAW ile kaynatılan parçaya ait makro görüntüsü



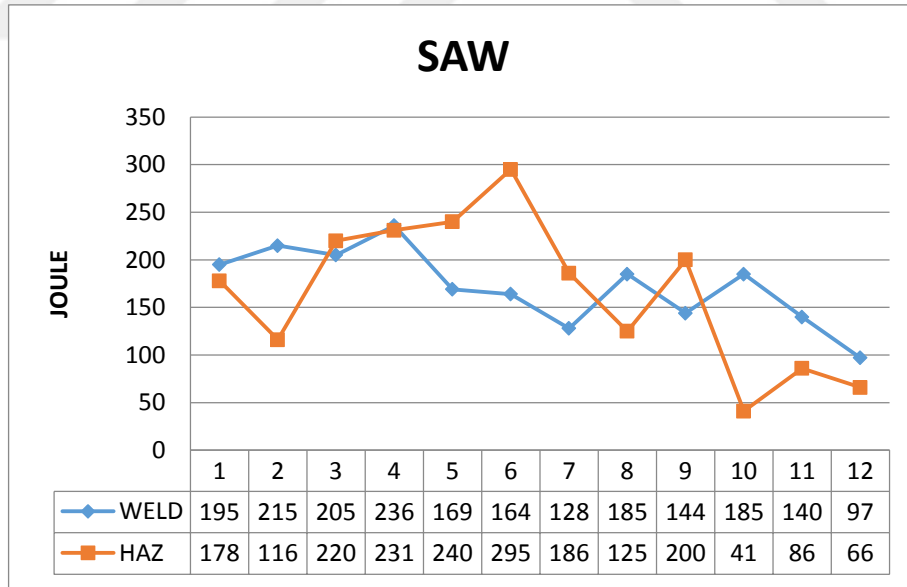
Şekil 15.2. SAW ile kaynatılan parçaya ait makro görüntüsü



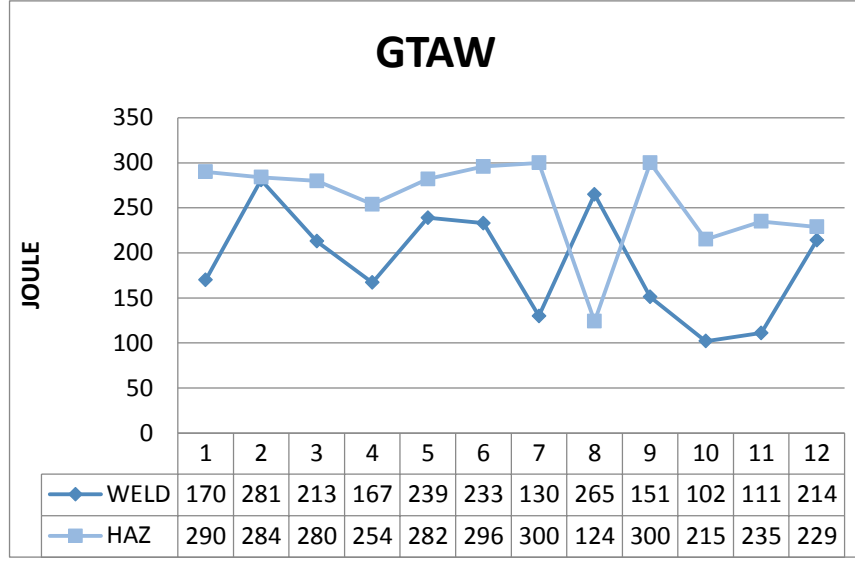
Şekil 15.3. GTAW ile kaynatılan parçaya ait makro görüntüsü

15.2. Çentik Darbe Sonuçları

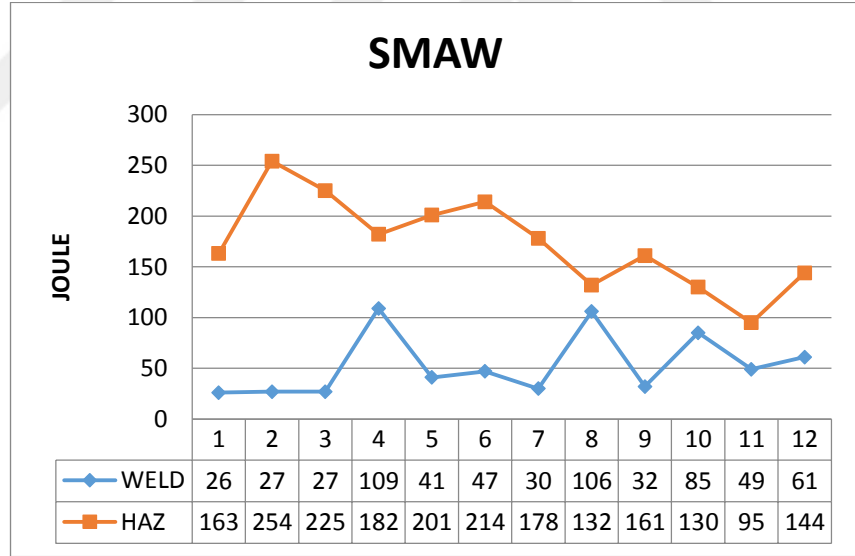
Çentik darbe sonuçları Şekil 15.4, Şekil 15.5, Şekil 15.6’da verilmiştir.



Şekil 15.4. SAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde Kaynak Ve HAZ bölgelerinden elde edilen charpy impact sonuçlarının değişimi



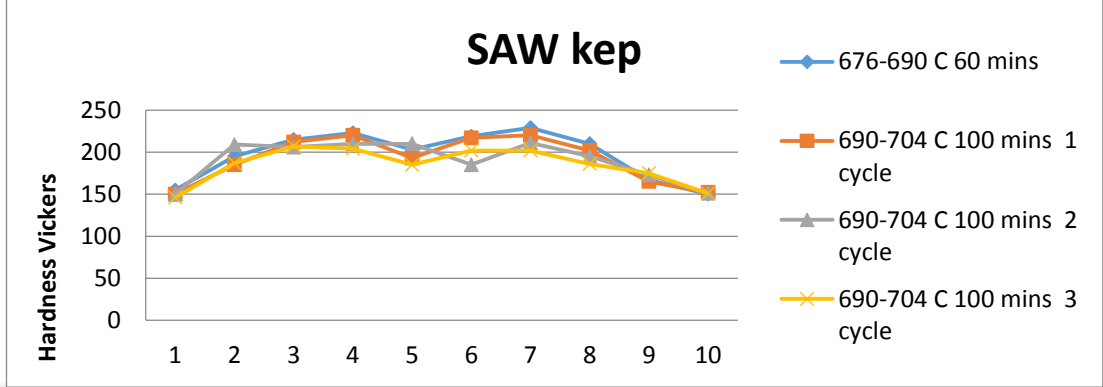
Şekil 15.5. GTAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde Kaynak Ve HAZ bölgelerinden elde edilen charpy impact sonuçlarının değişimi



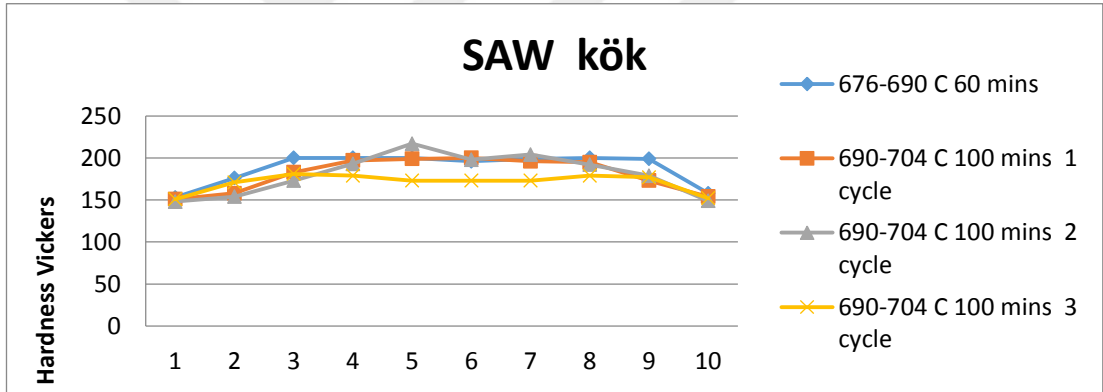
Şekil 15.6. SMAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde Kaynak Ve HAZ bölgelerinden elde edilen charpy impact sonuçlarının değişimi

15.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

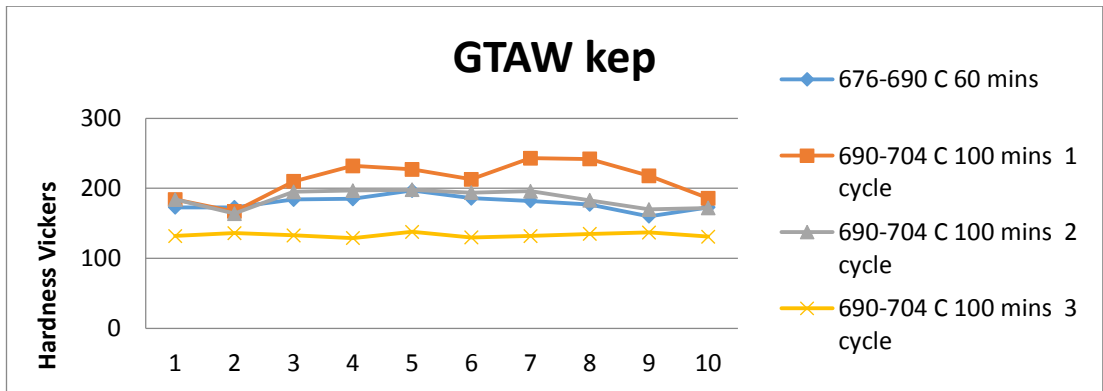
Sertlik ölçümleri Şekil 15.7 Şekil 15.8, Şekil 15.9, Şekil 15.10, Şekil 15.11, Şekil 15.12'e verilmiştir.



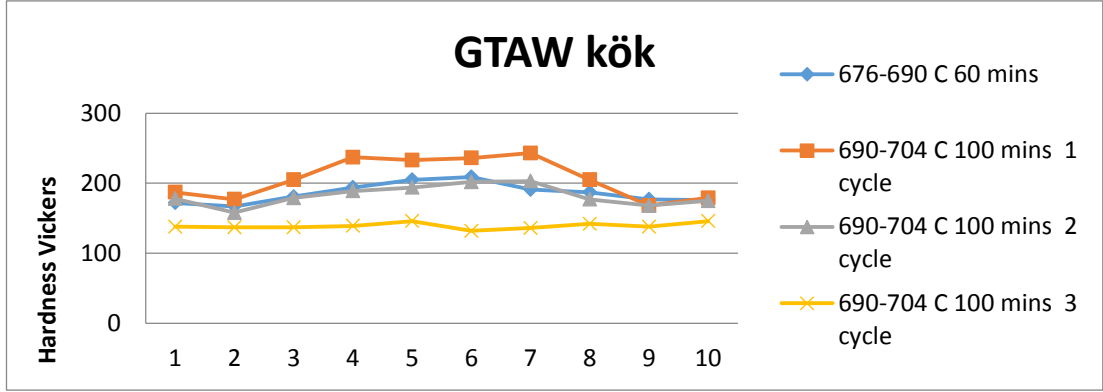
Şekil 15.7. SAW kaynaklarının farklı ısıtım koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri



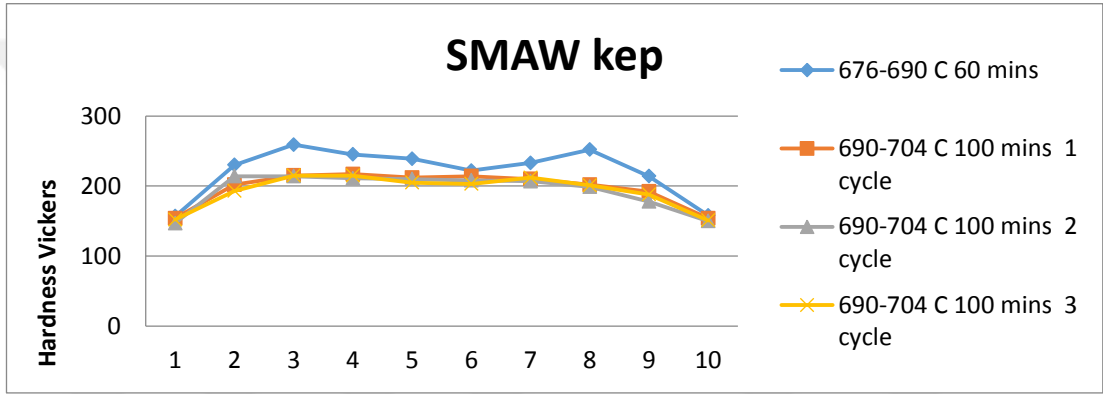
Şekil 15.8. SAW kaynaklarının farklı ısıtım koşulları neticesinde kök kısımlarından elde edilen sertlik değerleri



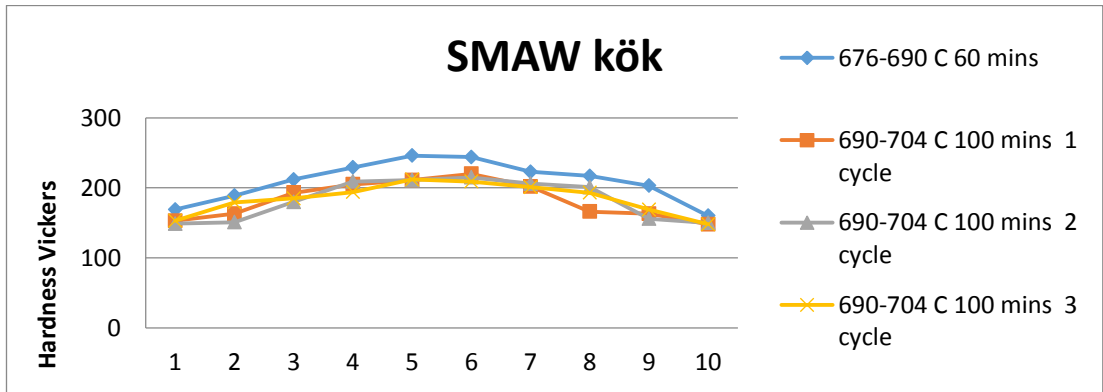
Şekil 15.9. GTAW kaynaklarının farklı ısıtım koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri



Şekil 15.10. GTAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kök kısımlarından elde edilen sertlik değerleri



Şekil 15.11. SMAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri



Şekil 15.12. SMAW kaynaklarının farklı ısıl işlem koşulları neticesinde kep kısımlarından elde edilen sertlik değerleri

16. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

16.1. Gözle Muayene Sonuçlarının İrdelenmesi

V kaynak ağzı izle tek taraftan, kök pasosu da taşlanarak arka taraftan yapılmış şekilde çift taraflı SMAW yöntemi ile kaynak edilmiş test parçalarının (26A01 kodlu parça) kaynak dikişlerinin EN ISO 5817 (Kaynak - Çelik, nikel, titanyum ve alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - Kusurlar için kalite seviyeleri) standardı Tablo-1, kategori B gereklerine göre kontrolü neticesinde kep yüksekliği, yanma oluşu, porozite ve çatlak oluşumu gibi kusurlar bakımından tolerans dahilinde kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Kaynak dikişi boyutları, paso genişliği değeri için pratik tolerans olan elektrod çapının 3 katı değerinin altında olacak şekilde gerçekleşmiştir. Test plakası üzerinde ısı girdisi nedeniyle oluşan çarpılma, test parçalarının işlenmesi esnasında kolaylık olması için çarpılmanın limitlenmesi amacıyla kullanılan fikstürler sebebiyle minimum seviyede gerçekleşmiştir.

V kaynak ağzı izle tek taraftan, kök pasosu da taşlanarak arka taraftan yapılmış şekilde çift taraflı GTAW yöntemi ile karşılıklı iki kaynak torcu kullanarak kaynak edilmiş test parçalarının (26E01) kaynak dikişlerinin EN ISO 5817 (Çelik, nikel, titanyum ve alaşımlarında ergitme kaynaklı demet kaynağı hariç birleştirmeler ve kusurlar için kalite seviyeleri) standardı Tablo-1, kategori B gereklerine göre kontrolü neticesinde kep yüksekliği, yanma oluşu, porozite ve çatlak oluşumu gibi kusurlar bakımından tolerans dahilinde kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Kaynak dikişi boyutları ve paso yüzey uygundur. Test plakası üzerinde ısı girdisi nedeniyle oluşan çarpılma, test parçalarının işlenmesi esnasında kolaylık olması için çarpılmanın limitlenmesi amacıyla kullanılan fikstürler sebebiyle minimum seviyede gerçekleşmiştir.

V kaynak ağızı izle tek taraftan, kök pasosu da taşlanarak arka taraftan yapılmış şekilde çift taraflı SAW yöntemi ile karşılıklı iki kaynak torcu kullanarak kaynak edilmiş test parçalarının (26B01) kaynak dikişlerinin EN ISO 5817 (Kaynak - Çelik, nikel, titanyum ve alaşımlarında ergitme kaynaklı (demet kaynağı hariç) birleştirmeler - Kusurlar için kalite seviyeleri) standardı Tablo-1, kategori B gereklerine göre kontrolü neticesinde kep yüksekliği, yanma oluşu, porozite ve çatlak oluşumu gibi kusurlar bakımından tolerans dahilinde kabul edilebilir olduğu görülmüştür. Kaynak pasoları SAW yöntemi doğası gereği bir miktar geniş olarak uygulanmış olsa da, herhangi bir mekanik kusur oluşturmayacak seviyede uygulanmıştır. Test plakası üzerinde ısı girdisi nedeniyle oluşan çarpılma, test parçalarının işlenmesi esnasında kolaylık olması için çarpılmanın limitlenmesi amacıyla kullanılan fikstürler sebebiyle minimum seviyede gerçekleşmiştir.

16.2. Spektral Analiz Sonuçlarının İrdelenmesi

Her 3 kaynak yöntemi için de kullanılan kaynak sarf malzemeleri ile edilen kaynak metallere işlenen numunelerin spektral analiz sonuçlarına göre kimyasal bileşenleri ASME Section II C'de verilmiş olan toleranslar dahilinde olduğu görülmüştür. (Ek rapor RK14683, RK14684, RK14685)

16.3. Çekme Deneyi Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu çalışmanın esas ilgilendiği konu sertlik ve çentik darbe mukavemetleri olduğundan çekme deneyleri her PWHT adımı için ayrı ayrı uygulanmamış, yalnızca ASME Section IX standardı gereği olarak ve son ısıl işlem durumunda elde edilen test parçalarıyla sınırlı tutulmuştur.

SMAW yöntemiyle kaynak edilmiş parçaların çekme deneyi sonuçları (Ek rapor R141717), kopmaların kaynak metali değil, ana metal tarafında meydana geldiği görülmüştür. E8018-B2 kaynak metali min 590 MPa kopma gerilmesine sahip olduğundan, 540 MPa kopma gerilmesine sahip ana metalden daha mukavimdir.

GTAW yöntemiyle kaynak edilmiş parçaların çekme deneyi sonuçları (Ek rapor R141716), kopmaların kaynak metali değil, ana metal tarafında meydana geldiği görülmüştür. ER80S-B2 kaynak metali min 730 MPa kopma gerilmesine sahip

olduğundan, 540 MPa kopma gerilmesine sahip ana metalden daha mukavimdir. Burada kaynak malzemesi, ana metale göre çok yüksek mukavemetli gibi görünebilir. Ancak daha düşük mukavemetli bir dolgu metali hem piyasa koşullarında ekonomiliği hem de alaşım elementlerinin özellikleri bakımından uygun değildir.

SAW yöntemiyle kaynak edilmiş parçaların çekme deneyi sonuçları (Ek rapor R141715), kopmaların kaynak metali değil, ana metal tarafında meydana geldiği görülmüştür. ER80S-B2 kaynak metali min 610 MPa kopma gerilmesine sahip olduğundan, 540 MPa kopma gerilmesine sahip ana metalden daha mukavimdir.

16.4. Yan Eğme Sonuçlarının İrdelenmesi

Her 3 kaynak yöntemine ait test numunelerinden ASME Section IX standardı gereği 4'er adet yan eğme testi yapılmıştır. Kaynaklı bağlantının dayanımını ve/veya varsa herhangi bir iç kusurdan meydana gelebilecek hataların değerlendirildiği bu testler neticesinde test laboratuvarının da raporlarda belirttiği üzere sonuçlar uygun bulunmuştur (Ek rapor R141718, R141719, R141720)

16.5. Makroyapıların İrdelenmesi

Kaynak paso geometrisi, HAZ bölgesi şekli, nüfuziyet formu, olası kaynak hataları ve kaynak iç yapısı hakkında mikro analiz seviyesinde olmasa da bir fikir vermesi açısından 3.45X, 3.75X ve 6.15X büyütmelemlerle yapılan, Şekil 15.1, Şekil 15.2, Şekil 15.3'de görülen makroyapı incelemelerinde, kaynak bölgelerinin ana metal, HAZ ve kaynak dikişi alanlarının beklendiği gibi görüntü verdiği gözlenmiştir. Makroyapı sonuçları test laboratuvarı tarafından da uygun şekilde raporlanmıştır. (Ek rapor R141737, R141738, R141739)

16.6. Sertlik Tarama Sonuçlarının İrdelenmesi

SMAW, GTAW, SAW yöntemlerine ait HV (Hardness Vickers) sertlik tarama sonuçları karşılaştırıldığında, SMAW ve SAW grafiklerinin aşağı yukarı belli bir desen izlediği, GTAW yönteminin ise beklenmedik şekilde diğer iki yöntemden ayrıldığı gözlenmiştir. Tüm numunelerde sertlik dağılımını ana metalde düşük, HAZ bölgesinde ise kaynak metalinden bir miktar yüksek olacak şekilde beklentilere

uygun olacak şekilde gerekleŒmiŒtir. (Œekil 15.10, Œekil 15.11, Œekil 15.12) Deney sonuçlarının gösterdiği üzere GTAW yöntemiyle yapılan kaynakların PWHT iŒlemi, SMAW ve SAW yöntemlerine göre sertlik sonuçları üzerinde daha belirgin farklılıklar meydana getirmektedir. Bunun sebebi SAW ve SMAW yöntemlerinde bazık örtü/toz kullanımı, kaynak metali içerisindeki H₂ miktarının GTAW yöntemine göre daha dŒk tutulmasını sađlamıŒ olabilir. Bu durumda GTAW gaz korumasının pratikte zannedildiği kadar kolay ve etkin olmadığı, bu yöntemle yapılan kaynaklarda daha dikkatli olunması, ilave önlemler alınması ya da gaz debisi, türbülans, kaynak banyosu koruması gibi bazı parametlerin dikkatlice gözden geçirilmesi gereği sonucuna varılabilir.

Her 3 yöntemde de sertliklerin PWHT sayısı arttıca dŒtđ ve/veya PWHT süresi ile sıcaklığı dŒtke yükseldiği gzlenmiŒtir. Bununla beraber sertlikte meydana gelen deđiŒimlerin SMAW ve SAW yöntemleri için çok küçük seviyelerde olması, yapılan tekrarlı PWHT uygulamalarının gerekliliği konusundaki Œüphelerimizin haklılığını ortaya koymaktadır. Tekrarlı PWHT uygulamalarının zahmeti ve maliyeti göz önünde bulundurulduğunda, sertlik değerlerinde elde edilen bu ufak deđiŒimlerin fiyat/performans tarafında mantıklı olmadığı görülmektedir. Œekil 15.7, Œekil 15.8, Œekil 15.9. (Ek rapor R141725, R141726, R141727, R141728, R141729, R141730, R141731, R141732, R141733, R141734, R141735, R141736)

Bu sonuçtan yola çıkararak PWHT tekrarı yerine alternatif kaynak teknikleri (Temper pasosu) ve/veya servis için ısıl iŒlemler(Kaynaklı parçanın öngörülen servis alıŒma sıcaklıkları ile bir nevi PWHT tabi tutulması) ya da uygun görülen bölgelerde Nikel bazlı östenitik kaynak sarfları kullanılarak PWHT'den kaçınılması yöntemlerinden birine baŒvurulması, final üründe daha ekonomik bir çözüm ortaya koyabilir.

16.7. Charpy entik Darbe Sonuçlarının İrdelenmesi

Test numuneleri, ASME Section IX standardına göre 10x10x55 mm ölçülerinde, 4 farklı PWHT koŒulundaki kaynak metali ve HAZ bölgesinden 3'er adet olacak Œekilde iŒlenerek hazırlanmıŒtır. Bu Œekilde iŒlenen test numunelerine – 18° C'de çentik darbe testi uygulanmıŒtır. Burada altı çizilmesi gereken bir husus olarak, alıŒmamıza konu 13CrMo4-5 dŒk alaŒımlı çeliğinin yüksek sıcaklık sürünme dirençli bir elik olduğu ve dŒk sıcaklıklarda alıŒması için dizayn edilmediği

düşünüldüğünde, Uygulama standartları ASME Section VIII Div. 1 ve ASME B31.1'e göre düşük sıcaklıklarda test edilmesine gerek yoktur. Ancak bu çalışmada malzemenin bu yöndeki performansının da incelenmesi amacıyla tokluk testlerine başvuruldu.

SMAW yöntemi ile kaynak edilen plakalardan işlenen test numuneleri ile yapılan testlerde ana malzemeye yakın HAZ bölgesinin tokluk değerlerinin kaynak metalinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Minimum olarak belirlenen PWHT koşulu olan 680° C ve 60 dakika parametleri kaynak metalinde en düşük tokluk değerini vermiştir. Bununla birlikte, 700° C 100 dakika parametleri ile PWHT tekrar sayısı arttıkça HAZ bölgesinde tokluk değerleri düşerken kaynak metalinde kısmı bir yükselme gözlenmiştir. Kaynak metali (AWS 5.5 E8018-B2) – 20° C'de 70 joule katalog değeri öngörmektedir. Şekil 15.6. (Ek rapor R141724)

GTAW yöntemi ile kaynak edilen plakalardan işlenen test numuneleri ile yapılan testlerde ana metale yakın HAZ bölgesinin tokluk değerlerini kaynak metalinden yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu yöntemde PWHT tekrar sayısı arttıkça tokluğun HAZ ve kaynak bölgesinde bir miktar düştüğü görülmüştür. Burada kaynak metali (AWS 5.28 ER80S-B2) katalog değeri olarak – 40° C'de 47 joule üzeri bir değer öngörmektedir. Şekil 15.5. (Ek rapor R141722, R141723)

SAW yöntemi ile kaynatılan plakalardan işlenen test numuneleri ile yapılan testlerde ana malzemeye yakın HAZ bölgesinin tokluk değerleri ortalaması kaynak metalinden düşük olduğu gözlenmiştir. Burada kaynak tel-toz kombinasyonu (AWS A5.23 EB2R tel. EN 760: SA FB 1 55 AC H5) test sıcaklığında 110 joule gibi yüksek bir değere sahip olmasının altı çizilmelidir. Şekil 15.4. (Ek rapor R141721) Burada beklenti, kalıntı gerilmeler giderilerek tokluk değerinin yükselmesidir [99].

17. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneylerden edilen sonuçlar, 676-690° C'de 60 dakika, ve 690-704° C'de 100 dakika ve 3 cycle olarak uygulanan ısıtma işlemler sonucunda 13 Cr Mo 4-5 (SA-387 Gr.11 cl.1) malzemede her 3 kaynak yönteminde de çentik darbe tokluğu değerlerinin 50 joule/mm² kadar düştüğü, HV10 sertlik değerlerinde ise SMAW ve SAW yöntemlerinde minimum PWHT koşullarında sertliğin beklendiği gibi yüksek çıktığı, ancak maksimum PWHT koşullarında tekrarlı ısıtma işlemlerinin kayda değer iyileşmeye neden olmadığı gözlenirken, GTAW yönteminde 100 HV10 gibi ciddi değişikliklere neden olduğu tespit edilmiştir. Bu da GTAW yönteminin kaynak metaline hidrojen girdisinin teoride beklenildiği kadar düşük olmadığı şeklinde yorumlanabilir.

Bu çalışma sonucunda; GTAW yöntemi ile yapılan kaynaklarda meydana gelen yüksek sertliklerin giderilmesinde tekrarlı PWHT yönteminin anlamlı olduğu, ancak diğer yöntemlerde ciddi bir fark yaratmadığı görülmüştür. Bu da PWHT yaklaşımlarımızın sadece sertlik değerlerine bakmaktan ziyade, farklı kaynak yöntemleri için farklı şekilde olabileceği fikrini vermektedir. Bu çalışma çerçevesinde sonuçlar açık olsa da konuyla ilgili daha çok deneysel veriye gereksinim duyulmaktadır ve yeterince veri elde edildiğinde, NACE kapsamında hedeflenen sertlik düşüşlerini sağlamayan, ancak tokluk değerlerine negatif etkisi olan simulated PWHT'ların bazı kaynak yöntemleri için sınırlandırılması hatta iptal edilmesi konusu gündeme gelerek enerji, zaman ve maliyetlerden tasarruf sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Kosmac A., *Stainless Steels at High Temperatures*, Euro Inox, Brussels, 2012.
- [2] Kesti E., Ç1040 Çeliğinin, Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2009, 251376.
- [3] Albaraz Z., Isıl İşlem Parametrelerinin ve Kimyasal Kompozisyonun Sıcak İş Takım Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010, 310400.
- [4] Ulutan M., Ç-4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007, 199140.
- [5] Erdoğan M., *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*, Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti., Ankara, 2000.
- [6] Savaşkan T., *Malzeme Bilgisi ve Muayenesi*, Derya Kitapevi, Trabzon, 1999.
- [7] Ashby M. F., Jones, D. R. H. *Engineering Materials*, 2nd ed, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1998.
- [8] Buytos S., Microstructural Properties of M7C3 Eutectic Carbides in a Fe–Cr–C Alloy, *Materials Letters*, 2006, **60**, 605-608.
- [9] Tayanç M., Toktaş A., SAE 4140 Çeliğinin İslahında Menevişleme Sıcaklığının İç Yapı ve Süneklik Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Kalıp Dünyası*, **15**, 2002.
- [10] Topbaş M., *Çelik ve Isıl İşlem El Kitabı*, Prestij Yayıncılık, İstanbul, 1998.
- [11] <http://www.haddemetal.com/tr/Download/Alasim%20Elementlerinin%20Celi gin%20Yapisina%20Etkisi.pdf>, (Ziyaret tarihi: 08 Ekim 2017).
- [12] Yumuşak D. M., Gaz altı kaynak yöntemi ile kaynatılan ferritik paslanmaz çeliklerde argon ve helyum gazlarının kaynak karakteristik üzerine etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008, 233950.

- [13] Odabaş C., *Paslanmaz Çelikler*, Askaynak Yayını, İstanbul, 2004.
- [14] Hasanbaşoğlu A., Direnç Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen İf Çelikleri ile Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyetlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2005, 168548.
- [15] Ceyhun V., Ferritik Ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme-Makaslama Dayanımına ve Taneler Arası Korozyona Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1992, 21856.
- [16] Kaya Y., Patlamalı Kaynak Yöntemi ile Üretilen Grade-A Gemi Sacı-Paslanmaz Çelik Kompozitlerin Mikroyapı, Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2014, 363998.
- [17] Kuştutan G., Paslanmaz Çeliklerin Direnç Kaynağında Soğuma Hızının Birleştirmenin Mekanik Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003, 133374.
- [18] Türkyılmazoğlu A., Dupleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 181848.
- [19] Aydın T., Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Gazlar ve Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 126689.
- [20] Selik M. S., Üç Seviyeli Evirici Ara Devreli Bir DC/DC Dönüştürücünün Kontrolü ve MMA Kaynak Makinesi Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2016, 455409.
- [21] Çelik O., Gazaltı (MAG) Kaynağında Kullanılan Rutil, Bazik ve Metal Özlü Tellerin Kaynak Metali Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013, 343774.
- [22] Anık S., *Kaynak Tekniği El Kitabı: Yöntemler ve Donanımlar*, Gedik Eğitim Vakfı, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, İstanbul, 1991.
- [23] Aslanlar S., *Kaynak Teknolojisi ve Uygulamalar, Ders Notları*, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya, 2009.

- [24] http://www.yusufmansuroglu.com.tr/egitim/Yusuf_Mansuroglu_Gazalti_Kaynak_Yontemi_ve_Bu_Yontemde_Kullanilan_Koruyucu_Gazlar.pdf, (Ziyaret tarihi: 07 Ekim 2017).
- [25] Crawford R. J., *Plastics And Rubber-Engineering Design and Applications*, Mechanical Engineering Publication LTD., London, 1985.
- [26] Balkan O., Sıcak Gaz Kaynağı ile Plastiklerin Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999, 84328.
- [27] Stokes V. K., Joining Methods for Plastics and Plastics Composites an Overview, *Polymer Engineering and Science*, 1989, **29**(19), 1310-1324.
- [28] Tülbentçi, K. *MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi*, Arctech Yayını, İstanbul, 1998.
- [29] Aydın T., Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Gazlar ve Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 126689.
- [30] Anık S., Anık E., Vural M., *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1993.
- [31] Tama Y. S., Çelik Yapı Uygulamalarında Kullanılan Kaynak Yöntemleri, Üstünlükleri ve Sakıncalı Yönleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2009.
- [32] Anık S., Tülbentçi K., Kaluç E., *Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı*, Gedik Holding, İstanbul, 1991.
- [33] Kırbaş C., AISI P11 ve AISI P91 Kalite Dikişsiz Boru Çeliklerinin Mekanik Özelliklerine Gerilme Giderme Tavlama Sıcaklığının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014, 353695.
- [34] T. J. L. A. W. Foundation, *The Procedure Handbook of Arc Welding*, Hardcover, 2000.
- [35] Galvery W., Marlow F., *Welding Essentials: Question and Answers*, Industrial Press, 2001.
- [36] Weman K., *Welding Processes Handbook*, Woodhead Publishing, Sawston, England, 2011.
- [37] Houldcroft P., John, R., *Welding and Cutting: A Guide to Fusion Welding and Associated Cutting Processes*, Woodhead Publishing, Cambridge, 2004.

- [38] Tomsic M. J., Crump N., Grist J. F., Rankin, W. T., Thommes, J. M. ve Winn, J. L., *Arc Welding Power Sources*, American Welding Society, Miami, Florida USA, 1997.
- [39] Onat A., *Kaynak Yöntemleri, Kaynak Tekniği Ders Notları*, Sakarya Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Sakarya, 2006.
- [40] MEB, *Metal Teknolojisi: Yatayda Kalın Parçaların Kaynağı*, MEGEP, Ankara, 2005.
- [41] Aydın M., Yaşar M., Gavas M., Altunpak, Y., *Üretim Yöntemleri ve İmalat Teknolojileri*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2012.
- [42] <http://www.teknikerik.com/toz-alti-kaynagi-nedir.html>., (Ziyaret tarihi: 2 Ekim 2017).
- [43] Kahraman F., Masif ve Özlü Telle Yapılmış Gazaltı Kaynak Dikişlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002, 119586.
- [44] Külhanlı E., *Kaynak Bilimi*, Oerlikon Yayını, İstanbul, 1988.
- [45] Anık S., Tülbentçi, K., *Tozaltı Kaynak Tekniği*, Gedik Kaynak Sanayi, İstanbul, 2000.
- [46] Akay A. A., Farklı Özellikteki Malzemelerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesi Ve Birleştirmelerin Tahribatlı ve Tahribatsız Muayenesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2012, 316305.
- [47] Işıklar M., Farklı Boyutlardaki Şaselerin Kaynak Aparatının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009, 234156.
- [48] Soncu R., Çelik Platina Malzemelere Dik Pozisyonda Tozaltı Kaynağı Yönteminin Uygulama Parametrelerinin İncelenmesi ve Yöntemin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 2009, 246462.
- [49] Akkaş N., Tozaltı Köşe Kaynağında Yapay Zeka Teknolojileri Kullanılarak Dikiş Geometrisinin Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2006, 181761.

- [50] Kılınçer S., Düşük Karbonlu Çeliklerin Tozaltı Ark Kaynak Yöntemi İle Kaynak Edilebilirliğinin ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998, 76339.
- [51] Özakin N., AH ve DH Kalite Gemi Saclarının Değişik Kaynak Yöntemleri ve Kaynak Pozisyonlarındaki Mekanik Özelliklerinin ve Mikroyapılarının İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 2010, 252869.
- [52] Kahraman, N. ve Gülenç, B., *Modern Kaynak Teknolojisi*, Epa-Mat, Ankara, 2009.
- [53] Ay İ., *İmalat Yöntemleri I Ders Notları*, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2016.
- [54] Gözütok E., Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2011, 237719.
- [55] Tusek J., Kampus Z., Suban M., Welding of Tailored Blanks of Different Materials, *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, Cilt no: 119, 180-184.
- [56] Anık S., Dikicioğlu A., Vural M., *İmal Usulleri*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1997.
- [57] Acar H., Bakır ve Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2014, 374546.
- [58] Ertürk İ. B., Bodur O., Dikicioğlu A., *Kaynak Teknolojisinin Esasları*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996.
- [59] Eraticı E., Magnezyum Alaşımlarının TIG Kaynak Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversite, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 304617.
- [60] Oğuz B., *Ark Kaynağı*, Oerlikon Yayını, İstanbul, 1989.
- [61] Anık S., Anık E. S., *Soru ve Yanıtlarıyla Kaynak Tekniği*, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1978.
- [62] Eryürek İ. B., *Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı*, Askaynak Yayını, İstanbul, 1998.
- [63] Kaluç E., *Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Cilt 1, MMO Yayını, Kocaeli, 2004.

- [64] Anık S., Vural, M., *Gazaltı Ark Kaynağı (TIG, MIG, MAG)*, Gedik Eğitim Yayıncılık, İstanbul, 1996.
- [65] AWS, *Structural Welding Code-Steel*, AWS, Miami, 1996.
- [66] Türker A., Kaynak Hataları, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 198302.
- [67] Oğuz B., *Ark Kaynağı*, Oerlikon Yayını, İstanbul, 1986.
- [68] Yükler İ., Çatalgöz Z., *Kaynak Hataları ve Kaynak Kalitesi, Ders Notu*, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, İstanbul, 1996.
- [69] Anık S., *Kaynak Hataları ve Giderilmesi*, Türk Kaynak Cemiyeti Yayını, İstanbul, 1960.
- [70] <http://temekmuhendislik.com.tr/belgeler/71467d03ff8d3b5248ac2e578898eb59.pdf>. (Ziyaret tarihi: 05 Ekim 2017).
- [71] Yorulmazel S. C., Paslanmaz Çelik Konstrüksiyonlarda Oluşan Distorsiyonların Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 201161.
- [72] Sacks R., *Welding Principles&Practices*, McGraw-Hill, Minden, USA, 1981.
- [73] Vural M., *Üretim Yöntemleri Ders Notları*, İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul, 1994.
- [74] Taş Y., Termoplastiklerin Birleştirilmesinde Kullanılan, Ultrasonik Kaynak Yönteminde Kaynak Kalitesini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 251639.
- [75] <http://www.metaluzmani.com/soguk-basinc-kaynagi/>, (Ziyaret tarihi: 05 Ekim 2017).
- [76] Durgutlu A., Patlama Kaynağı Yöntemi ile Bakır-Paslanmaz Çelik Malzemelerinin Birleştirilmesi ve Ara Yüzeyin Mekanik-Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003, 133431.
- [77] Kahraman N., Gülenç, B., *Modern Kaynak Teknolojisi*, Epa-Mat Basım, Ankara, 2013.

- [78] Kaya Y., Titanyum Sacların Nokta Direnç Kaynağı ile Kaynaklanabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2010, 266023.
- [79] Kahraman N., Gülenç B., *Modern Kaynak Teknolojisi*, Epa-Mat Basım Yayın, Ankara, 2009.
- [80] Benli S., Kaynaklı Parçalarda Oluşan Artık Gerilmelerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2004, 151179.
- [81] Grong O., *Metallurgical Modeling of Welding*, The Institute of Materials, Pipe Mountain, USA, 1994.
- [82] Çevik B., Kaynaklı Birleştirmelerin Mekanik Özelliklerine Kalıcı Gerilmelerin Etkisinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009, 245615.
- [83] Yiğit O., Dilmeç M., Halkacı, S., Tabaka Kaldırma Yöntemi İle Kalıntı Gerilmelerin Ölçülmesi ve Diğer Yöntemlerle Karşılaştırılması, *Mühendis ve Makine*, 2008, **49**(597), 20-27.
- [84] Schajer G. S., Residual Stresses: Measurement by Destructive Testing, *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, Elsevier, 2001, **83**, 8152-8158.
- [85] Yelbay H. İ., Tahribatsız Yöntemlerle Kalıntı Gerilim Ölçümündeki Gelişmeler, *3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition*, İstanbul, Türkiye, 12 - 15 Nisan 2008.
- [86] Prime M. B., Residual Stres Measurement by Successive Extension of a Slot: The Crack Compliance Method, *Applied Mechanics Reviews*, 1999, **52**(2), 75-96.
- [87] Stout R. D., Postweld Heat Treatment of Pressure Vessels, *Welding Research Council Bulletin*, 1985, **302**, 1-14.
- [88] Shiga C., Gotoh A., Kojima T., Horii Y., Dukada Y., Fudada K., Ikeuti K. , Matuda F., State of The Art Review on The Effect of PWHT on Properties of Steel Weld Metal, *Welding in the World*, 1996, **37**(4), 163-176.
- [89] AWS, Recommended Practices For Local Heating of Welds İn Piping and Tubing, AWS, Miami, 2009.
- [90] Bloch C., Hill J., Connel, D., Proper PWHT can Stop Stress-İnduced Corrosion,» *Welding Journal*, 1997, **5**(76), 31-41.

- [91] ASTM, Manual on The Use of Thermocouples in Temperature, ASTM Manual Series MNL Fourth Edition, ASTM, Chicago, USA, 1993.
- [92] A. M. 96.1, Temperature Measurement Thermocouples, *Instrument Society of America*, 1982.
- [93] <http://makinaegitimi.com/tr/imalat-metodlari/malzeme-bilgisi/metal-sertlestirme-yontemleri.html>. (Ziyaret tarihi: 06 Ekim 2017).
- [94] Eryürek İ. B., *Gazaltı Kaynağı*, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 2003.
- [95] <http://www.testresources.net/applications/test-types/bend-test/>. (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2017).
- [96] Blodgett O., *Understanding Bend Tests*, Design of Welded Structures, Mississauga, 2006.
- [97] <http://www.intertek.com/non-destructive-testing/materials-testing/micro-macro-examinations/>. (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2017).
- [98] <http://www.struers.com/en-GB/Knowledge/Weld-inspection#>. (Ziyaret tarihi: 10 Ekim 2017).
- [99] King B., *Welding and post weld heat treatment of 2.25%Cr-1%Mo steel*, University of Wollongong, 2005.





INSPECTION CERTIFICATE TO EN 10204 - 3.1.C

Project: Certificate Number: VNA 0500174 / 2
 Client: voestalpine Grobblech GmbH Office: VIENNA
 VOEST-ALPINE-Straße 3, A-4020 Linz
 Clients Order Number: 5526637 Date: 27-06-2005
 Order Status: incomplete
 Inspection Dates First: and final: 27-06-2005

This certificate is issued to VOEST-ALPINE Grobblech GmbH, to certify that the undersigned Surveyor attended their works Linz for the purpose of testing and inspecting the undernoted material with satisfactory results as stated below.

Purchaser: DE JONG & LAVINO B.V.
 Postbus 70
 NL-4190 CB GELDERMALSEN

Order No.: 4/231-Rev.1

Description:
 13 piece(s) of steel plate(s) 39665 kgs, as per attached Abnahmeprüfzeugnis / Inspection certificate / Certificat de reception : A0132581

Specification:
 SA 387 Grade 11 Class 2 ASME SA 387/SA 387M-2004 of ASME Section II, Part A, Ed. 2004

Physical Tests/Ultrasonic Inspection:
 see attached Abnahmeprüfzeugnis / Inspection certificate / Certificat de reception : A0132581

Manufacturer's declared Chemical Analysis:
 see attached Abnahmeprüfzeugnis / Inspection certificate / Certificat de reception : A0132581

Heat treatment/Delivery Condition:
 normalized and tempered

Identification:
 Makers Brand  voestalpine
 Material Quality
 Heat No
 Plate No





K. HÜBER

Surveyor to Lloyd's Register EMEA

A member of the Lloyd's Register Group

Lloyd's Register, its affiliates and subsidiaries and their respective officers, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the "Lloyd's Register Group". The Lloyd's Register Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

Lloyd's Register Group Limited

voestalpine
GROBBLECH GMBH

Abnahmeprüfungszertifikat
Inspection certificate
Certificat de reception

3.1.B - EN 10204

VNA 0500174 / 2

Seite 1 von 4
Page 1 of 4
Datum 27-06-2005
Date 27-06-2005

| | | | | | | |
|---|--|--|------------------------------------|---|---|----|
| Bestellungs-Nr.: Document number N° de commande | A0132581 | Auftrags-Nr.: Order-No. No. commande | 5526637 | Bestell-Dat.: Order-Dat. Cdate | 07-03-2005 | 4D |
| Hersteller Customer Acheteur | DE JONG & LAVINO B.V. Postbus 70 NL-4190 CB GELDERVALSEN | Fabrikat Product Produit | Grobblech plate Toles Fortes | Nenn-Standard nom nom | ASME SA 387/SA 387M-2004 oF ASME Section II, Part A, Ed. 2004 | |
| Best-Nr.: Order No. Cust No. | 47331-Rev. 1 | Werkstoff Material Materia | SA 387 Grade 11 Class 2 | Luftvergißet normalized and tempored trempé à l'air et revenu | | |
| Empfänger Consignee Destataire | DE JONG & LAVINO B.V. Postbus 70 NL-4190 CB GELDERVALSEN | Lieferzustand Delivery condition Etat de livraison | | | | |

Beachtung und Maßprüfung: keine Beanstandung. Die Ergebnisse der durchgeführten Prüfungen entsprechen den Vorschriften.
 Contrôle visuel et contrôle de dimensions: satisfaisant. Les résultats des essais effectués sont conformes aux exigences.
 Visual Examination and dimensional checking: satisfactory. The results of tests performed are in compliance with the requirements.

Umfang der Lieferung - Detail de la livraison

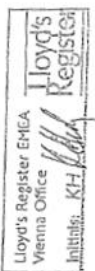
| Schmelze Heat No. No. caudre | Blech-Nr. Plate No. No. de tôle | Dimensionen - Dimensions | | | Stück Piece piece | StkGewicht IntWeight StkGewicht | Sachnummer Schnummer Schnummer | |
|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| | | Pos Item Pos | Dicke Thickness Epaisseur | Breite Width Largeur | | | | Länge Length Longueur |
| 841658 | 215127 | 80 | 50,00 | 3000,0 | 10000 | 1 | 11.775 | 11.775 |
| 841659 | 214491 | 20 | 13,00 | 2500,0 | 10000 | 2 | 2.551 | 5.103 |
| 841659 | 214492 | 20 | 13,00 | 2500,0 | 10000 | 2 | 2.551 | 5.103 |
| 841659 | 214493/1 | 20 | 13,00 | 2500,0 | 10000 | 1 | 2.551 | 2.551 |
| 841659 | 214493/2 | 20 | 13,00 | 2500,0 | 10000 | 1 | 2.551 | 2.551 |
| 841659 | 215195 | 10 | 13,00 | 2055,0 | 10000 | 2 | 2.097 | 4.194 |
| 841659 | 215196 | 10 | 13,00 | 2055,0 | 10000 | 2 | 2.097 | 4.194 |
| 841659 | 215197 | 10 | 13,00 | 2055,0 | 10000 | 2 | 2.097 | 4.194 |

Herstellerzeichen
Symbol of the manufacturer's work
Sigle de l'usine



voestalpine

Zeichen des Sachverständigen
Inspector's stamp
Pointon de l'expert



27 JUN 2005

Der Werksschweißinspektor
Plant inspector
Inspecteur d'usine

voestalpine - Division Stahl

voestalpine Grobblech GmbH
VOEST-ALPINE-Strasse 3, A-4020 Linz

Bestellschein-Nr. / Order number: A0132581
 Adresse-Nr. / Order-Nr.: 5526637
 Datum / Date: 27-06-2005
 Seite / Page: 2
 von / of: 4
 de / de:

Umfang der Lieferung - Detail of supply - Detail de la livraison
 33

| Schmelze / Heat No. | | Dicke / Thickness | | Länge / Length | | Stück / Piece | | Stückgewicht / Lot Weight | | Gesamtwicht / Total Weight | | Stücknummer / Sachnummer | | Stücknummer / Sachnummer | |
|---------------------|--------------|-------------------|----|----------------|----|---------------|-----|---------------------------|----|----------------------------|----|--------------------------|----|--------------------------|----|
| No. de fonte | No. de fonte | mm | mm | mm | mm | mm | mm | kg | kg | kg | kg | kg | kg | kg | kg |
| 841658 | 215137 | 920 | 44 | AL | AL | 680 | 110 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |
| 841659 | 214491 | 920 | 12 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |
| 841659 | 214492 | 920 | 12 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |
| 841659 | 214493/1 | 920 | 12 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |
| 841659 | 214493/2 | 920 | 12 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |
| 841659 | 215135 | 920 | 12 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |
| 841659 | 215136 | 920 | 12 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |
| 841659 | 215137 | 920 | 12 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 | AL | AL | 690 | 38 |

Summen - Sum - Total: 39.665

Berechnungsverfahren: LD - Method of steelmaking: pure oxygen blown - Mode d'élaboration: procédé d'affinage à l'oxygène
 Abkühlart / Kind of cooling: Abkühlart / Kind of cooling
 Temp. Dauer / Temp time: 680 110
 Temp temps de maintien / Temp temps de maintien: 690 38

Ergänzende Angaben - Supplementary information - Informations supplémentaires
 Dickeart / n. EN 10029/91 Klasse B / Thickness tolerance acc. EN 10029/91 class B / Tolérance selon EN 10029 classe B
 Abkühlart / Kind of cooling: Abkühlart / Kind of cooling
 Temp. Dauer / Temp time: 680 110
 Temp temps de maintien / Temp temps de maintien: 690 38

Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse) - Chemical composition (Heat analysis) - Composition chimique (Analyse de coulée)
 Schmelze / Heat No. / NO. coulée
 C %: 0.150
 Si %: 0.149
 Mn %: 0.470
 P %: 0.010
 S %: 0.0012
 Al %: 0.038
 Cr %: 1.460
 Ni %: 0.019
 Mo %: 0.500
 Cu %: 0.011
 V %: 0.005
 Nb %: 0.001
 Ti %: 0.003
 B %: 0.0003
 N %: 0.0059
 O2 (ppm) %: 2.1
 H2 (ppm) %: 2.1
 Sa %: 0.006
 Sb %: 0.003

Lloyd's Register EMEA
 Vienna Office
 Inspector's stamp
 Inspector: KH

Lloyd's Register EMEA
 Vienna Office
 Inspector's stamp
 Inspector: KH

Zeichen des Sachverständigen
 Inspector's stamp
 Poisson de l'expert

Der Werkstachverständige
 Plant inspector
 Inspector d'usine
 Signature

voestalpine
 voestalpine Grobblech GmbH
 VOEST-ALPINE-Strasse 3, A-4020 Linz

27 JUN 2005

| | | | | | | | | | |
|--|------------------------|---|---------|-----------------------|------------|-----------------------|---|-----------------|---|
| Produktions-Nr. Production number Numero de document | A0132581 | Auftrags-Nr. Order-No. No. commande | 5526637 | Datum Date Date | 27-06-2005 | Seite Page Page | 3 | von of de | 4 |
| Ergebnisse der Prüfungen - Test results - Resultat des essais | | | | | | | | | |
| Versuch Test | wärmzug | | | | | | | | |
| Essai | HotTensilet | | | | | | | | |
| Schmelze Heat No. | Blech-Nr. Plate No. | Form Shape | | Rd0,2 Rp0,2 | | Temp Temp | | | |
| No. coulée | No. de tole | Pf Eppala | | Rp0,2 Rp0,2 | | Temp Temp | | | |
| | | | | mm | | N/MM2 | | GRD C | |
| 841658 | 215127 | 0 | 10.00 | 224 | 550 | | | | |
| 841659 | 214491 | 0 | 6.00 | 246 | 550 | | | | |



voestalpine Grobblech GmbH
VOEST-ALPINE Straße 3, A-4020 Linz

Zeichen des Sachverständigen
Inspector's stamp
Pavillon de l'expert



Der Werkssachverständige
Plant inspector
Inspecteur d'usine
Karl Schmid
Xbratane

voestalpine - Division Stahl

| Bezeichnung/Nr: Document number Nom de document | | A0132581 | | Auftrags-Nr. / Order-Nr. / No. commande: 5526637 | | Datum / Date / Date | | Seite / Page / Page 4 of 4 | |
|---|--|----------------------|--|--|--|---------------------------|--|----------------------------------|--|
| Ergebnisse der Prüfungen - Test results - Resultat des essais | | | | | | | | | |
| Verbrauch Type | | zugverbr. Tonnage | | Korbacht Impact | | Temp | | Dir | |
| Essai Block-Nr Place No | | Breite Width | | Prüf- Sp. / Epaisseur | | Lage Dir | | Temp | |
| No. de bloc | | mm | | mm | | mm | | mm | |
| Sollwerte Set values >= | | 310 515 | | 22.0 | | 310 515 | | 18.0 | |
| Werte Value nom <= | | 386 552 | | 2* 36.0 CV 10x10 | | Q 20 261 277 259 266 | | Q 20 372 339 337 349 | |
| Sollwerte Set values >= | | 310 515 | | 18.0 | | 310 515 | | 18.0 | |
| Werte Value nom <= | | 38.0 13.55 | | Q 447 561 | | 8* 25.8 CV 10x10 | | Q 20 372 339 337 349 | |
| Sollwerte Set values >= | | 38.0 13.39 | | Q 437 559 | | 8* 26.8 CV 10x10 | | Q 20 354 373 368 365 | |
| Werte Value nom <= | | 38.0 13.17 | | Q 442 562 | | 0* 23.2 CV 10x10 | | Q 20 345 52 364 254 | |
| Sollwerte Set values >= | | 38.0 13.32 | | Q 442 571 | | 0* 25.5 CV 10x10 | | Q 20 351 349 335 345 | |
| Werte Value nom <= | | 38.0 13.72 | | Q 427 553 | | 0* 26.7 CV 10x10 | | Q 20 270 308 339 306 | |
| Sollwerte Set values >= | | 38.0 13.69 | | Q 432 556 | | 8* 26.5 CV 10x10 | | Q 20 358 340 152 286 | |



27 JUN 2005

Zeichen des Sachverständigen
Inspector's stamp
Poinçon de l'expert

Der Werkssachverständige
Plant Inspector
Inspector d'usine
W. S. S. S.
Abnahme

voestalpine - Division Stahl



voestalpine Grobblech GmbH
VOEST-ALPINE-Straße 3, A-4020 Linz



INSPECTION CERTIFICATE TO EN 10204 - 3.1.C

Project: _____ Certificate Number: VNA 0800021 / 2
 Client: voestalpine Grobblech GmbH Office: VIENNA
 voestalpine-Straße 3, 4020 Linz, Austria
 Clients Order Number: 7531015 Date: 21-02-2008
 Order Status: incomplete
 Inspection Dates First: 08-02-2008 and final: 12-02-2008

This certificate is issued to voestalpine Grobblech GmbH, to certify that the undersigned Surveyor attended their works Linz for the purpose of testing and inspecting the undernoted material with satisfactory results as stated below.

Purchaser: Tekfen Imalat VE
Mühendislik A.S.
Büyükdere Cad No 209
TR-34394 ISTANBUL

Order No.: MI-07/734-SA/56


Description: 7 piece(s) of steel plate(s) 18702 kgs, as per attached Inspection certificate : A0310592

Specification: SA387 Gr.11 CL2 SA 387/SA 387M : ED04

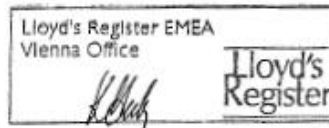
Physical Tests/Ultrasonic Inspection: see attached Inspection certificate : A0310592

Manufacturer's declared Chemical Analysis: see attached Inspection certificate : A0310592

Heat treatment/Delivery Condition: normalized with accelerated cooling and tempered

Identification: Makers Brand  voestalpine
Material Quality

Heat No
Plate No



25 FEB 2008

Kurt Huber
Surveyor to Lloyd's Register EMEA
A member of the Lloyd's Register Group

Lloyd's Register, its affiliates and subsidiaries and their respective offices, employees or agents are, individually and collectively, referred to in this clause as the Lloyd's Register Group. The Lloyd's Register Group assumes no responsibility and shall not be liable to any person for any loss, damage or expense caused by reliance on the information or advice in this document or howsoever provided, unless that person has signed a contract with the relevant Lloyd's Register Group entity for the provision of this information or advice and in that case any responsibility or liability is exclusively on the terms and conditions set out in that contract.

1 of 4
25-02-2008
Date



voestalpine-Strasse 3
4020 Linz, Austria
www.voestalpine.com/grobblech

voestalpine Grobblech GmbH
A02
Inspection certificate
EN 10204 - 3.2
VNA 0600021 / 2

A03 Document number: **A0310592** **A08** Order-No.: **7531015** **A09** Order/Dat.: **11-07-2007** **Date of dispatch** **15-02-2008** **4D**
A04 Customer: **Tekfen Imalat VE**
Muhendislik A.S.
Buyukkere Cad No 209
TR-34394 ISTANBUL
A10 OrderNo.: **MI-07/739-SN/56**
A05 Crnngize: **Tekfen Imalat VE**
Muhendislik A.S.
Buyukkere Cad No 209
TR-34394 ISTANBUL
A19 - Supplementary information:
Delivery condition:
 normalized with accelerated cooling (by liquid quenching) and tempered
B01 Product: **SA387 Gr.11 Cl.2**
B02 Material: **B03 Standard**
B04 Delivery conditions: **normalized+acc. cooled+tempered**
B05 Supplementary requirements: **normalized with accelerated cooling and tempered**
B06 Supplementary requirements: **normalized+acc. cooled+tempered**
B07 Delivery conditions: **normalized with accelerated cooling and tempered**
A18 - Supplementary requirements:
SPCC NO.: 734/1, REV.0., STEEL IS MADE TO FINE GRAIN PRACTICE AND ACCORDING NACE MR0103
ASME SA 20/SA 20M-2004, A05 of ASME Section II, Part A, Ed. 2004, A05, A06
Z01 - Visual Examination and dimensional checking: satisfactory. The results of tests performed are in compliance with the requirements.

Detail of supply

| B07 Heat No. | B06 Plate No | Dimensions | | B10 Width | B11 Length | B08 Piece | IndWeight kg | Total Weight kg | Alschmelzdatum | Sichsmester |
|--------------|--------------|--------------------|-----------|-----------|------------|-----------|--------------|-----------------|----------------|-------------|
| | | B09 Item Thickness | B10 Width | | | | | | | |
| 768460 | 253362/1 ✓ | 50 | 13,00 | 2000,0 | 8000 | 1 | 1.716 48279 | 1.716 48279 | 08-02-2008 | |
| 768460 | 253362/3 ✓ | 50 | 13,00 | 2000,0 | 8000 | 1 | 1.716 48279 | 1.716 48279 | 08-02-2008 | |
| 768460 | 253362/2 ✓ | 50 | 13,00 | 2000,0 | 8000 | 1 | 1.718 48279 | 1.718 48279 | 08-02-2008 | |
| 868918 | 252839/1 ✓ | 30 | 21,00 | 2500,0 | 7900 | 1 | 3.380 48279 | 3.380 48279 | 12-02-2008 | |
| 868918 | 252839/2 ✓ | 30 | 21,00 | 2500,0 | 7900 | 1 | 3.380 48279 | 3.380 48279 | 12-02-2008 | |
| 868918 | 252841/1 ✓ | 30 | 21,00 | 2500,0 | 7900 | 1 | 3.396 48279 | 3.396 48279 | 12-02-2008 | |
| 868918 | 252841/2 ✓ | 30 | 21,00 | 2500,0 | 7900 | 1 | 3.396 48279 | 3.396 48279 | 12-02-2008 | |
| Sum | | | | | | | | 18.702 | | |

C70 - Method of steelmaking: pure oxygen blown

A04 Symbol of the manufacturer's work: **voestalpine**
Z03 Stamp of the inspection representative: **LR**
Z02 Inspection representative voestalpine Grobblech: **BERGER Alfred**
Z01 Quality Department Heavy Plates: **Abnahme**
Lloyd's Register
 Lloyd's Register EMEA
 Vienna Office
 Initials: **KH**
25 FEB 2008
voestalpine
 ONE STEP AHEAD.

| AES Document number | | A0310592 | | AGB Order-No.: | | 7531015 | | Z01 Date | | 15-02-2008 | | Page | | 2 of 4 | |
|---------------------|--------------|------------|------|-----------------|--|------------|------|-----------------|--|------------|--|------|--|--------|--|
| B07 Heat No. | B08 Plate No | TEMP. Time | | kind of cooling | | TEMP. Time | | kind of cooling | | | | | | | |
| | | GRD C | min | AC | | GRD C | min | AL | | | | | | | |
| 768460 | 253362/2 | 940 | 12.0 | AC | | 760 | 38.0 | AL | | | | | | | |
| 768460 | 253362/3 | 940 | 12.0 | AC | | 760 | 38.0 | AL | | | | | | | |
| 768460 | 253362/1 | 940 | 12.0 | AC | | 760 | 38.0 | AL | | | | | | | |
| 868918 | 252839/2 | 940 | 17.0 | AC | | 760 | 50.0 | AL | | | | | | | |
| 868918 | 252839/1 | 940 | 17.0 | AC | | 760 | 50.0 | AL | | | | | | | |
| 868918 | 252841/1 | 940 | 17.0 | AC | | 760 | 50.0 | AL | | | | | | | |
| 868918 | 252841/2 | 940 | 17.0 | AC | | 760 | 50.0 | AL | | | | | | | |

B14 - Supplementary information
 kind of cooling:
 AL: cooling on air
 AC: accelerated cooling

B15 - Supplementary information
 Tolerances:
 Flatness - EN 10029/91, class M
 Thickness - EN 10029/91, class C
 Dimensions - EN 10029/91
 Surface - EN 10163 - B3

Chemical composition (Heat analysis)

| B07 Heat No. | C | Si | Mn | P | S | Al | Cr | Ni | Mo | Cu | V | Nb | Ti | N | B | Sn | As | Sb | O | H |
|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| LF14 J-FK | 0.05 | 0.50 | 0.400 | | | 1.000 | | | 0.450 | | | | | | | | | | | |
| Set values <= | 0.36 | 0.700 | 0.650 | 0.010 | 0.0050 | 0.040 | 1.500 | 0.250 | 0.650 | 0.150 | 0.010 | 0.010 | 0.010 | 0.0800 | 0.0100 | 0.0120 | 0.0040 | 0.003 | 0.00030 | |
| 768460 | 0.141 | 0.520 | 0.420 | 0.006 | 0.0012 | 0.033 | 1.470 | 0.021 | 0.470 | 0.011 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 0.0047 | 0.0004 | 0.0040 | 0.0020 | 0.0010 | 0.003 | 0.00030 |
| 868918 | 0.140 | 0.540 | 0.420 | 0.010 | 0.0011 | 0.033 | 1.490 | 0.025 | 0.470 | 0.017 | 0.004 | 0.002 | 0.002 | 0.0051 | 0.0003 | 0.0020 | 0.0020 | 0.0010 | 0.003 | 0.00030 |
| | 0.012 | 0.111 | 0.4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

C09 - Supplementary information
 LF14: P+Sn
 J-FK: (Si+Mn)* (P+Sn)* 10000

Z02 Inspection representative voestalpine
 Grobblech
 Quality Department Heavy Plates
 BERGER Alfred
 Altmahne

Z03 Stamp of the inspection representative

L.R. Lloyd's Register EMEA
 Vienna Office
 INSURER: KH

Lloyd's Register
 Register

25 FEB 2008

voestalpine ONE STEP AHEAD.

| AD Document number | A0310592 | A08 Order-No. | 7531015 | Z02 Date | 15-02-2008 | Page | 3 | of | 4 | |
|--|--------------|---------------|-------------|----------|-------------|---------------|----------|---------|--------------|-----|
| Test results: C10-C29 Tensile Test acc. ASTM/ASME | | | | | | | | | | |
| B06 Plate No | C41 Width mm | Sprthickn mm | C01 loc. | C02 Dir | C11 Reh MPa | C12 Rp0,2 MPa | Rm MPa | LO E | C13 Sim. htm | MBH |
| | | | | | 310 | 310 | 515 | 22.0 | | |
| Set values >= 690 | | | | | | | | | | |
| 252839 | Ø | 12.49 | bot ¼ | T | 469 | 445 | 568 | 2" 34.8 | 201 | 1 |
| 252841 | Ø | 12.49 | bot ¼ | T | 473 | 447 | 573 | 2" 36.2 | 201 | 1 |
| 253362 | 12.5 | 13.27 | bot surface | T | 483 | 451 | 585 | 2" 35.3 | 201 | 1 |
| Test results: C40-C49 Impact Test acc. ASTM/ASME | | | | | | | | | | |
| B06 Plate No | C40 shape | C01 loc. | Postthickn | Dir | C02 temp °C | C42 J | C43 SV J | AV J | Sim. htm | MBH |
| | | | | | -18 | 47 | 47 | 47 | 55 | |
| Set values >= | | | | | | | | | | |
| 252839 | CV 10x10 | bot ¼ | L | -18 | 454 | 444 | 458 | 452 | 201 | 1 |
| 252841 | CV 10x10 | bot ¼ | L | -18 | 445 | 446 | 433 | 441 | 201 | 1 |
| 253362 | CV 10x10 | bot ¼ | L | -18 | 460 | 463 | 456 | 460 | 201 | 1 |
| Test results: C30-C39 Hardness Test Brinell | | | | | | | | | | |
| B06 Plate No | C01 loc. | C31 HB | C31 HB | C31 HB | Sim. htm | MBH | | | | |
| | | 220 | 220 | 220 | | | | | | |
| Set values >= | | | | | | | | | | |
| 252839 | bqt | 165 | 165 | 160 | 201 | 1 | | | | |
| 252841 | bot | 171 | 169 | 168 | 201 | 1 | | | | |
| 253362 | bot | 175 | 177 | 177 | 201 | 1 | | | | |

Z02 Inspection representative voestalpine Grobblech
 Quality Department Heavy Plates
 BERGER Alfred
 Abnahrme

LR Lloyd's Register EMEA
 Vienna Office
 INSPECTION KCH
 25 FEB 2008

Z03 Stamp of the inspection representative



voestalpine
 ONE STEP AHEAD.

A63 Document number **A0310592** A08 Order-No.: **7531015** Z02 Date: **05-02-2008** Page: **4** of **4**

Chemical composition (Product analysis)
B06

| Plate No LF14 J-FK | C | Si | Mn | P | S | Al | Cr | Ni | Mo | Cu | V | Nb | Ti | N | B | Sn | As | Sb | O |
|--------------------------|--------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| | >= | .050 | .500 | .400 | | | 1.000 | | .450 | | | | | | | | | | |
| Set values <= | .160 | .700 | .650 | .010 | .0050 | .040 | 1.500 | .250 | .650 | .150 | .010 | .010 | .010 | .0800 | | .0100 | .0120 | .0040 | .003 |
| | .00030 | .015 | 180.0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 252839 | .141 | .530 | .420 | .009 | .0013 | .031 | 1.480 | .022 | .470 | .015 | .003 | .002 | .001 | .0049 | .0003 | .0020 | .0020 | .0010 | .003 |
| | .00030 | .011 | 104.5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 252841 | .138 | .530 | .420 | .010 | .0010 | .037 | 1.490 | .026 | .470 | .013 | .003 | .003 | .002 | .0054 | .0003 | .0020 | .0020 | .0010 | .003 |
| | .00030 | .012 | 114.0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 253362 | .143 | .530 | .430 | .008 | .0011 | .037 | 1.470 | .024 | .470 | .010 | .004 | .001 | .001 | .0050 | .0004 | .0030 | .0020 | .0010 | .003 |
| | .00030 | .011 | 105.6 | | | | | | | | | | | | | | | | |

C09 - Supplementary information
LF14: F+Sn
J-FK: (Si+Mn)*(P+Sn)*10000

Remarks

We hereby certify, that the material has been manufactured, sampled and tested in accordance with the requirements of the material specification, and the results meet the requirements.

Testing after sim. heat treatment (201 I):

SIM PWHT: Heating: from 427°C, with max. 135°C/hour up to 690°C (+/-10°C), 120 minutes holding time. Cooling down to 427°C in the furnace with max. 160°C/hour, final cooling in calm air.

Steel made by the basic oxygen furnace process, fully killed, vacuum degassed and made to fine grain practice.

Z03
Stamp of the inspection
representative



Z02
Inspection representative voestalpine
Grobblech
Quality Department Heavy Plates
BERGER Alfred
Abnahme

voestalpine

ONE STEP AHEAD.

voestalpine

EK-H



INSPEKČNÍ CERTIFIKÁT 3.1
INSPECTION CERTIFICATE, ABNAHMEPRÜFZEUGNIS, CERTIFICAT DE RÉCEPTION

VÍTKOVICE STEEL, a.s.

EN 10204:2004

ASME Certificate No. 150322/2006
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1

ACIARY VÍTKOVICE STEEL, S.A.
 Slovenská republika Slovenská republika, ul. 28. septembra
 02001 VÍTKOVICE

55192/2006 08.11.2006 1/1

Acciai di Qualità
 - Centro Lavorazione Lamiere Spa
 Via XX Settembre, 31/7
 16121
 Genova
 IT

ASME Certificate No. 150322/2006
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1
 ASME Certificate No. 505795/004
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1
 ASME Certificate No. 637535
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1
 ASME Certificate No. 315435411337
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1
 Hot rolled heavy plates in quality ASME SA 387 Gr.11 cf.2 acc to SA 20.

1846/06

| | | | |
|--|---|---|---|
| <p>ASME Certificate No. 150322/2006 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> | <p>ASME Certificate No. 505795/004 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> | <p>ASME Certificate No. 637535 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> | <p>ASME Certificate No. 315435411337 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> |
| <p>ASME Certificate No. 150322/2006 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> | <p>ASME Certificate No. 505795/004 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> | <p>ASME Certificate No. 637535 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> | <p>ASME Certificate No. 315435411337 Issue Date 08.11.2006 Serial No. 1/1</p> |

| | | | | | | | | | |
|-------|---|------|----------|------|-------|------|-----|-----|------|
| 10325 | Y | 1.2" | 43847 AT | 20 P | Rp0.2 | A200 | 411 | 569 | 26.0 |
| | | 1.2" | 43849 AT | 20 P | Rp0.2 | A200 | 409 | 563 | 24.0 |

| Heat | C | Mn | Si | P | S | Cu | Ni | Cr | Mo | V | Ti | Al | N | Nb |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10325 | 0.142 | 0.530 | 0.519 | 0.009 | 0.004 | 0.040 | 0.040 | 1.340 | 0.501 | 0.009 | 0.003 | 0.040 | 0.007 | 0.004 |

| Heat | Test | plates | H2(ppm) | O2(ppm) | Sn | |
|-------|-------|--------|---------|---------|----|-------|
| 10325 | 43847 | 149001 | 001 | 2.1 | 26 | 0.005 |
| | 43849 | 148999 | 001 | | | |

NORMALIZED: walking beam furnace-length 70m, temperature 930°C/dwell 20min.
 TEMPERED: walking beam furnace-length 70m, temperature 680°C/dwell 60min.

Acciai di qualità
 Centro Lavorazione Lamiere Spa
 Via XX Settembre, 31/7
 16121 Genova
 Tel. +39 010 5610111

Acciai di Qualità Centro Lavorazione Lamiere S.p.A.
 Copia Conforme all'originale

Process:
 Basic oxygen and vacuum degassing

ASME Certificate No. 150322/2006
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1

ASME Certificate No. 505795/004
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1

ASME Certificate No. 637535
 Issue Date 08.11.2006
 Serial No. 1/1

VÍTKOVICE STEEL
 Martin ŠTEBEL
 Inspector authorized by ASME
 License No. 315435411337
 Issue Date 08.11.2006

EK-I

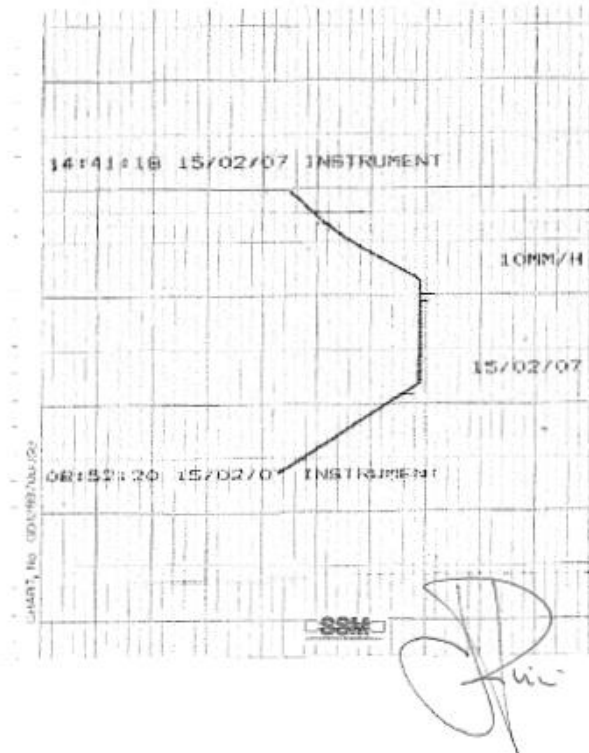


DIAGRAMMA TRATTAMENTO TERMICO
HEAT TREATMENT DIAGRAM

Allegato/Enclosed
Cert./Cert. Pag./Page
N°/No 489 1 di/ of 1

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Cliente/Customer | Ordine/Order |
| ACCIAI DI QUALITA' SpA GENOVA GE | No.08/07 dtd 15/02/2007 |

| |
|--|
| Descrizione/Description |
| "ASME SA 387 Gr.11 Cl.2" STEEL PLATE SAMPLE Test 1 - Plate 149001001- Heat 10325 - thickness 20 mm Heat treatment at 690°Cx1,9 hours heating rate $\leq 155^{\circ}\text{C/h}$ - cooling rate $\leq 180^{\circ}\text{C/hr}$ |



ORIGINALE

| | | | | | | | |
|--|--|---|------------------------------|--|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| SSM | | STUDIO SPERIMENTALE METALLURGICO S.r.l. Via degli Artigiani, 80 - 16162 GENOVA Bobanico Tel. 010 710259 - 010 713751 - Fax 010 710365 | COLLAUDO / INSPECTION SSM | SAGGIO SEM / TEST N. 189B ORDINE / ORDER No. 08/07 dtd 15/02/2007 | DATA / DATE 20/02/2007 | CERTIFICATO / CERTIFICATE N. 489 | PAGINA / PAGE N. 1 |
| Laboratorio autorizzato AMS - BV - DW - ES - SPPEL - UAS - AMM - RMA - TDV | | CLIENTE CUSTOMER ACCIAI DI QUALITA' Spa | GENOVA | | GE | | |
| PROVE MECCANICHE ESEGUITE SU MECHANICAL TESTS ON | | "ASME SA 387 Gr.11 Cl.2" STEEL PLATE Order No. MI-07/720-721-SA/07 dtd 01/02/2007 TEKFEN INALAY VE MUHENDISLIK A.S.ASME SA 20 | | | | | |
| PLACCA / PLATE 149001001 | | DIMENSIONI DEL MATERIALE / DIMENSIONS OF MATERIAL, mm. 20x2500x8000 | | | | | |
| SENZO E POSIZIONE ORIENTAZIONE | | COLATA / HEAT 10325 | | | | | |
| SPESORE LARGHEZZA DIAMETRO | | SICUREZZA YIELD STRENGTH | | ROTTELLA TENSILE STRENGTH | | PREGIA BEND TEST | |
| LUNGHEZZA UTILE GAUGE LENGTH | | ALLUNGAMENTO ELONGATION | | STREZZIONE REDUCT OF AREA | | RESILLENZA IMPACT TEST | |
| AREA SEZIONE SECTION | | TOTALE TOTAL | | TOTALE TOTAL | | TIPO TYPE | |
| THICKNESS and WIDTH of DIAMETER | | KN | | KN | | TEMPERATURA °C -18 | |
| mm | | min. 310 max. 690 | | min. 18,0 max. 220 | | min. max. min. max. | |
| T 20,14 x 37,93 763,91 200,0 295,00 386 413,00 541 244,0 22,0 | | DUREZZA HB | | min. max. | | 47,0 55,0 | |
| 10x10,0x55 | | A B C D E F G H I L M N O P Q R S | | 195 187 191 | | 70,0-124,0-132,0 | |
| NOTE REMARKS | | | | | | | |
| Mechanical tests carried out after heat treatment at 690°Cx1,9 hours. | | | | | | | |
| IL LABORATORIO / THE LABORATORY | | | | IL CLIENTE / THE CUSTOMER | | | |
| Giuseppe Todaro | | | | L'ISPIETTORE / THE INSPECTOR | | | |
| 16-02-05 473 | | | | | | | |

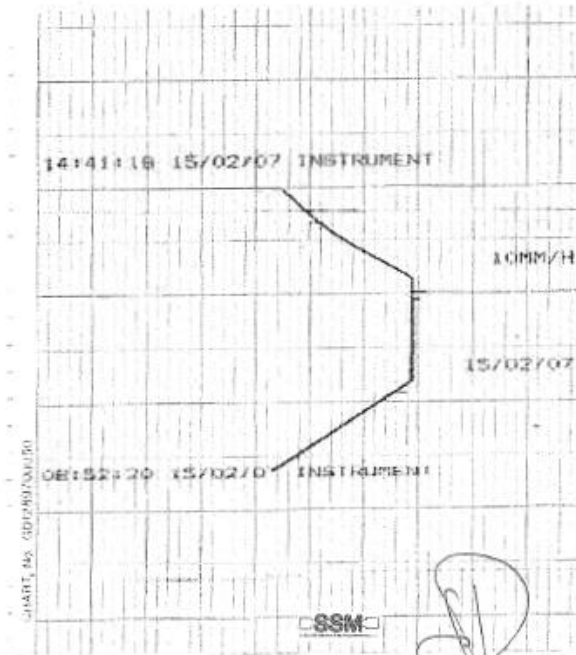


DIAGRAMMA TRATTAMENTO TERMICO
HEAT TREATMENT DIAGRAM


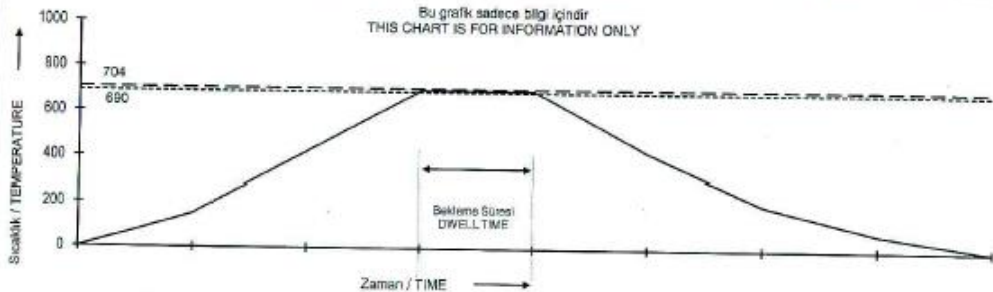
Allegato/Enclosed
Cert./Cert. Pag./Page
N°/No 490 1 di/of 1

| | |
|----------------------------------|-------------------------|
| Cliente/Customer | Ordine/Order |
| ACCIAI DI QUALITA' SpA GENOVA GE | No.08/07 dtd 15/02/2007 |

Descrizione/Description
"ASME SA 387 Gr.11 Cl.2" STEEL PLATE SAMPLE
Test 2 - Plate 148999001- Heat 10325 - thickness 20 mm
Heat treatment at 690°Cx1,9 hours
heating rate $\leq 155^{\circ}\text{C/h}$ - cooling rate $\leq 180^{\circ}\text{C/hr}$



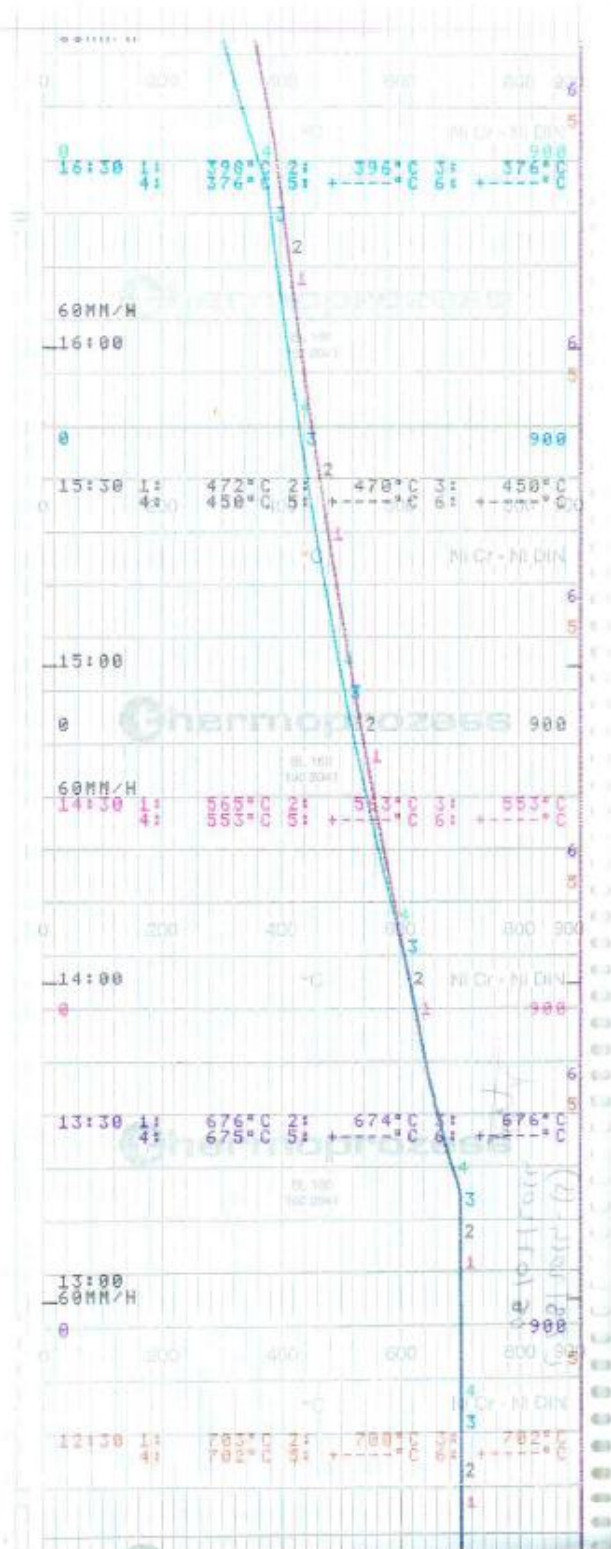
EK-J1

| | | | | | | | | | |
|---|----------------------------------|---|--|--|------------------|------------|-----------|---------------------------|------------------|
|  TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş. | | ISIL İŞLEM İŞ EMRİ HEAT TREATMENT WORK ORDER | | İş Emri / WORK ORDER NO. | | | | | |
| | | | | III-838-002 2 | | | | | |
| İsil İşlem /HEAT TREATMENT : Gerilim Giderme / POSTWELD HEAT TREATMENT | | Fırında yapılacaktır / TO BE PERFORMED IN FURNACE | | REV. : 0 | | | | | |
| Termocouple/THERMOCOUPLE | | Bağlama/ATTACHED BY : Punta/TACKWELD | | WPS NO. : 210A01A | | | | | |
| Yeri/LOCATION : Üst-Orta-Altı/TOP-MIDDLE-BOTTOM | | Tipi/TYPE : K (NiCr-Ni) | | Sayısı/QUANTITY : Enaz/MIN. 3 | | | | | |
| Kod-Standard/CODE-STANDARD : ASME SECTION VIII DIVISION 1 Ed.2013 | | Prosedür/PROCEDURE : AKSP-009(E) | | | | | | | |
| İş NO. | İş JOB NO. | Ekipman ITEM NO. | Seri SERIAL NO. | İşin Adı JOB NAME | Müşteri CUSTOMER | Parça PART | Adet QTY. | İSPAL Kalınlık THICK (mm) | Malzeme MATERIAL |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26A01 | | | 3 | 20 | P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26B01 | | | 3 | 20 | P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26E01 | | | 3 | 13 | P.No: 4 |
| Şarj Rejimi CHARGE REGIME | | Birim UNIT | Kod Sınırları CODE LIMITS | Uygulanacak Şarj Değerleri CHARGE DATA TO BE APPLIED | | | | | |
| Başlangıç Isısı INITIAL TEMPERATURE | | ° C | MAXIMUM 425 | MAXIMUM 200 | | | | | |
| Isıtma Hızı HEATING RATE | 425 °C'e kadar BELOW 425 °C | ° C/Saat ° C/HOUR | Serbest FREE | Serbest FREE | | | | | |
| | 425 °C'nin üzerinde ABOVE 425 °C | ° C/Saat ° C/HOUR | 222 °C/HOUR PER INCH (MAXIMUM 222 °C/HOUR) | MAXIMUM 210 | | | | | |
| Bekleme Sıcaklığı DWELL TEMPERATURE | | ° C | MINIMUM 595 MAXIMUM --- | MINIMUM 690 MAXIMUM 704 | | | | | |
| Bekleme Süresi DWELL TIME | | Dakika MINUTES | ASME SEC. VIII DIV.1 UCS-56 | MINIMUM 100 | | | | | |
| Soğuma Hızı COOLING RATE | 400 °C'nin üzerinde ABOVE 400 °C | ° C/Saat ° C/HOUR | 278 °C/HOUR PER INCH (MAXIMUM 278 °C/HOUR) | MAXIMUM 270 | | | | | |
| | 400 °C'nin altında BELOW 400 °C | ° C/Saat ° C/HOUR | Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR | Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Bu grafik sadece bilgi içindir THIS CHART IS FOR INFORMATION ONLY</p>  | | | | | | | | | |
| TEKFEN | | | Otorite/AUTHORITY | | Müşteri/CUSTOMER | | | | |
| Hazırlayan PREPARED BY | Onay / APPROVAL | | | | | | | | |
| | KSMd/QA Manager | Fmd/FAC Manager | | | | | | | |
| İsil işlem yukarıdaki şartlarda yapılmıştır. / HEAT TREATMENT HAS BEEN PERFORMED IN ABOVE CONDITIONS. | | | | | | | | | |
| Şarj No./CHARGE NO. : 173/2014 | | | Şarj tarihi/CHARGE DATE : 06/07/2014 | | | | | | |
| Başlangıç zamanı/STARTED AT : 09.10 | | | Bakım Departmanı / MAINTENANCE DEPARTMENT | | | | | | |
| Bitiş zamanı/COMPLETED AT : 16.50 | | | Adı/NAME | | Tarih/DATE | | | | |
| Harcanan DG miktarı/NG CONS. : --- | | | İmza/SIGNATURE | | | | | | |
| Grafik Hızı/CHART SPEED : 60 mm/hr | | | | | | | | | |


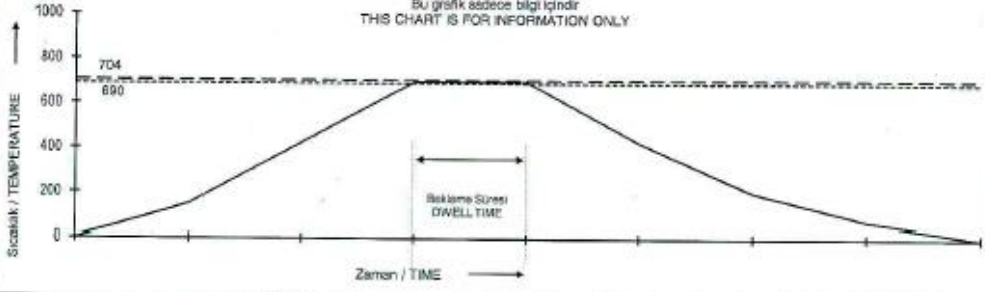
TKSF-105-02

BU DOKÜMAN TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş.'NİN MÜLKİDİR. HERHANGİ BİR DEĞER KULLANILMADAN VE/VEYA EDİLMESİNE İZİN VERİLMEZ. BU DOKÜMANIN TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş.'NİN MÜLKİDİR. HERHANGİ BİR DEĞER KULLANILMADAN VE/VEYA EDİLMESİNE İZİN VERİLMEZ.

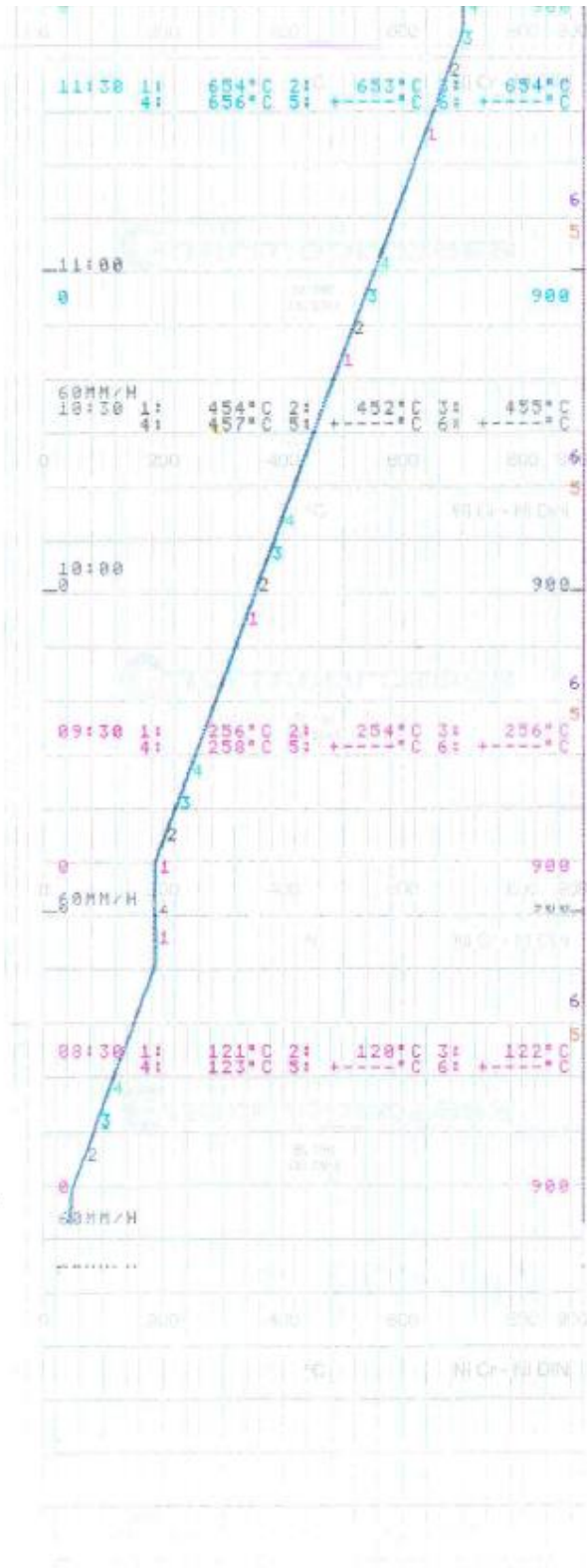
EK-J3



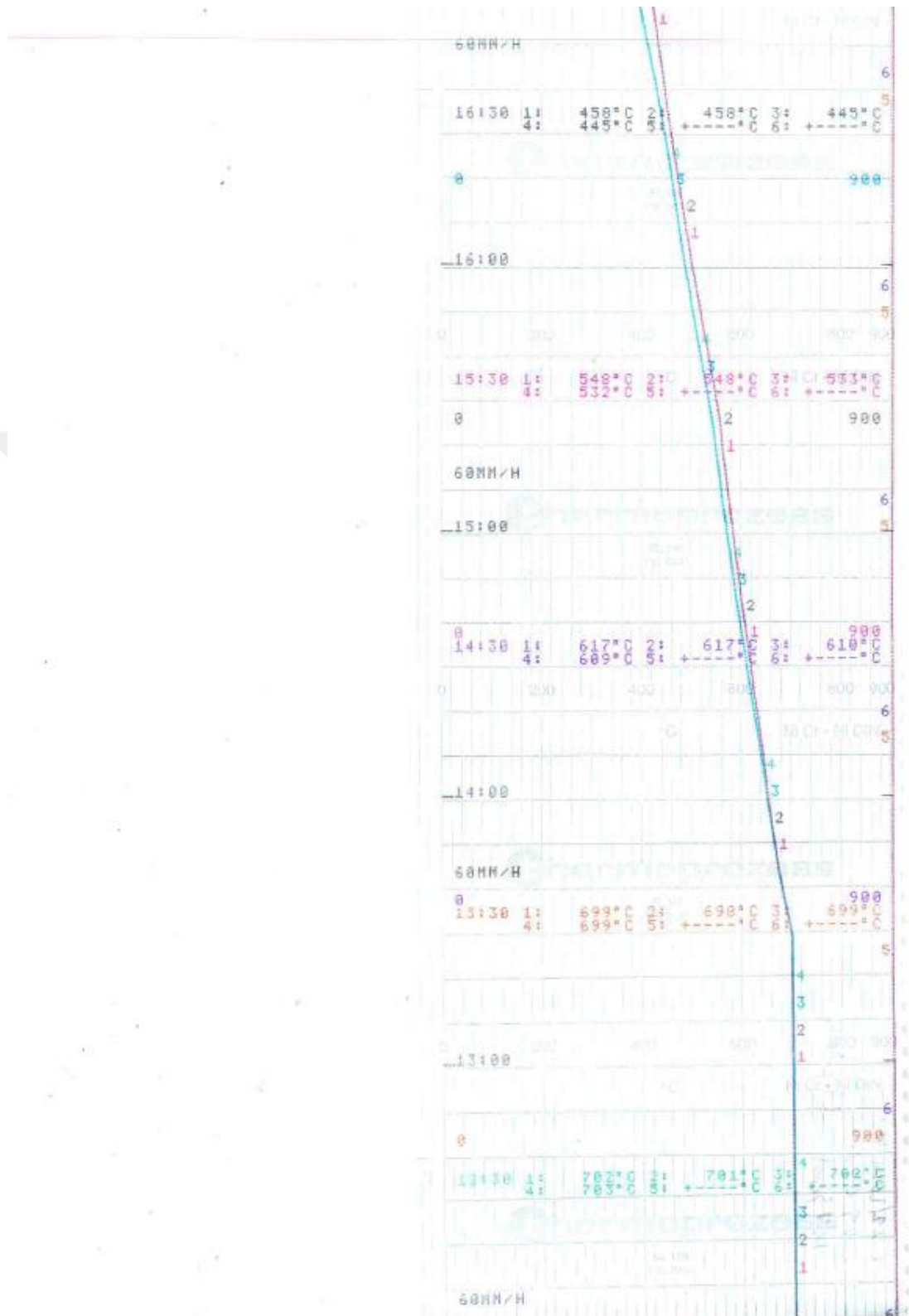
EK-K1

|  TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş. | | ISIL İŞLEM İŞ EMRİ HEAT TREATMENT WORK ORDER | | İş Emri / WORK ORDER NO. | | | | | |
|---|------------|---|-------------------|---|------------------|--|-----------|---------------------------|------------------|
| | | | | BB-838-001/2 | | | | | |
| REV. : 0 | | Tarih/DATE : 02.07.2014 | | Sayfa/PAGE : 1 / 1 | | | | | |
| Isıl İşlem /HEAT TREATMENT : Gerilim Giderme / POSTWELD HEAT TREATMENT | | | | | | | | | |
| Fırında yapılacaktır / TO BE PERFORMED IN FURNACE | | | | | | | | | |
| Termocouple/THERMOCOUPLE | | Bağlama/ATTACHED BY : Punta/TACKWELD | | WPS NO. : 210A01A | | | | | |
| Yeri/LOCATION : Üst-Orta-Altı/TOP-MIDDLE-BOTTOM | | Tipi/TYPE : K (NiCr-Ni) | | Sayısı/QUANTITY : Enssz/MIN. 3 | | | | | |
| Kod-Standard/CODE-STANDARD : ASME SECTION VIII DIVISION 1 Ed.2013 | | | | | | | | | |
| Prosedür/PROCEDURE : AKSP-009(E) | | | | | | | | | |
| İş NO. | İş JOB NO. | Ekipman ITEM NO. | Seri SERIAL NO. | İşin Adı JOB NAME | Müşteri CUSTOMER | Parça PART | Adet QTY. | MPOC Kalınlık THICK. (mm) | Malzeme MATERIAL |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26A01 | | | 3 | 20 | P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26B01 | | | 3 | 20 | P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26E01 | | | 3 | 13 | P.No: 4 |
| Şarj Rejimi CHARGE REGIME | | Birim UNIT | | Kod Sınırları CODE LIMITS | | Uygulanacak Şarj Değerleri CHARGE DATA TO BE APPLIED | | | |
| Başlangıç Isısı INITIAL TEMPERATURE | | ° C | | MAXIMUM | | MAXIMUM | | | |
| 425 °C'e kadar | | ° C/Saat | | 425 | | 200 | | | |
| BELOW 425 °C | | ° C/HOUR | | Serbest | | Serbest | | | |
| HEATING RATE | | 425 °C'nin üzerinde | | ° C/Saat | | 222 °C/HOUR PER INCH | | MAXIMUM | |
| ABOVE 425 °C | | ° C/HOUR | | (MAXIMUM 222 °C/HOUR) | | 210 | | | |
| Bekleme Sıcaklığı DWELL TEMPERATURE | | ° C | | MINIMUM 595 | | MINIMUM 690 | | | |
| Bekleme Süresi DWELL TIME | | Dakika MINUTES | | ASME SEC. VIII DIV.1 UCS-56 | | MAXIMUM 704 | | | |
| Soğuma Hızı COOLING RATE | | 400 °C'nin üzerinde | | ° C/Saat | | 278 °C/HOUR PER INCH | | MAXIMUM | |
| ABOVE 400 °C | | ° C/HOUR | | (MAXIMUM 278 °C/HOUR) | | 270 | | | |
| BELOW 400 °C | | ° C/HOUR | | Durgun havada serbest soğuma | | Durgun havada serbest soğuma | | | |
| | | | | FREE IN STILL AIR | | FREE IN STILL AIR | | | |
| Bu grafik sadece bilgi içindir THIS CHART IS FOR INFORMATION ONLY | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | |
| TEKFEN | | | Otorite/AUTHORITY | | | Müşteri/CUSTOMER | | | |
| Hazırlayan PREPARED BY | | Onay / APPROVAL | | | | | | | |
| | | KSM&QA Manager | | FM&PAC Manager | | | | | |
| Isıl İşlem yukarıdaki şartlarda yapılmıştır./HEAT TREATMENT HAS BEEN PERFORMED IN ABOVE CONDITIONS. | | | | | | | | | |
| Şarj No./CHARGE NO. : 172/2014 | | Şarj tarihi/CHARGE DATE : 05/07/2014 | | Bakım Departmanı / MAINTENANCE DEPARTMENT | | | | | |
| Başlangıç zamanı/STARTED AT : 08.00 | | Bitiş zamanı/COMPLETED AT : 17.30 | | Adı/NAME | | Tarih/DATE | | İmza/SIGNATURE | |
| Harcanan DG miktarı/NG CONS. : - | | Grafik Hızı/CHART SPEED : 60 mm/hr | | M.T. Genel | | 07/07/2014 | | M.T. Genel | |
| TKSF-105-02 | | | | | | | | | |

EK-K2

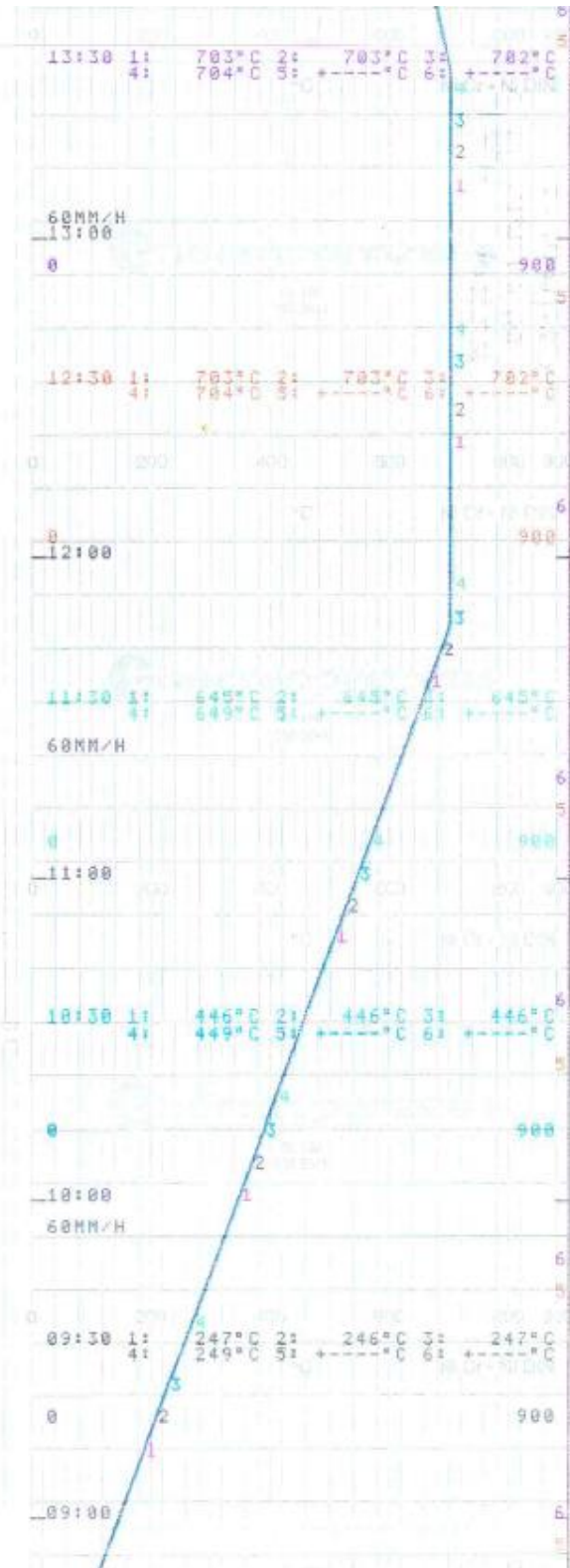


EK-K3

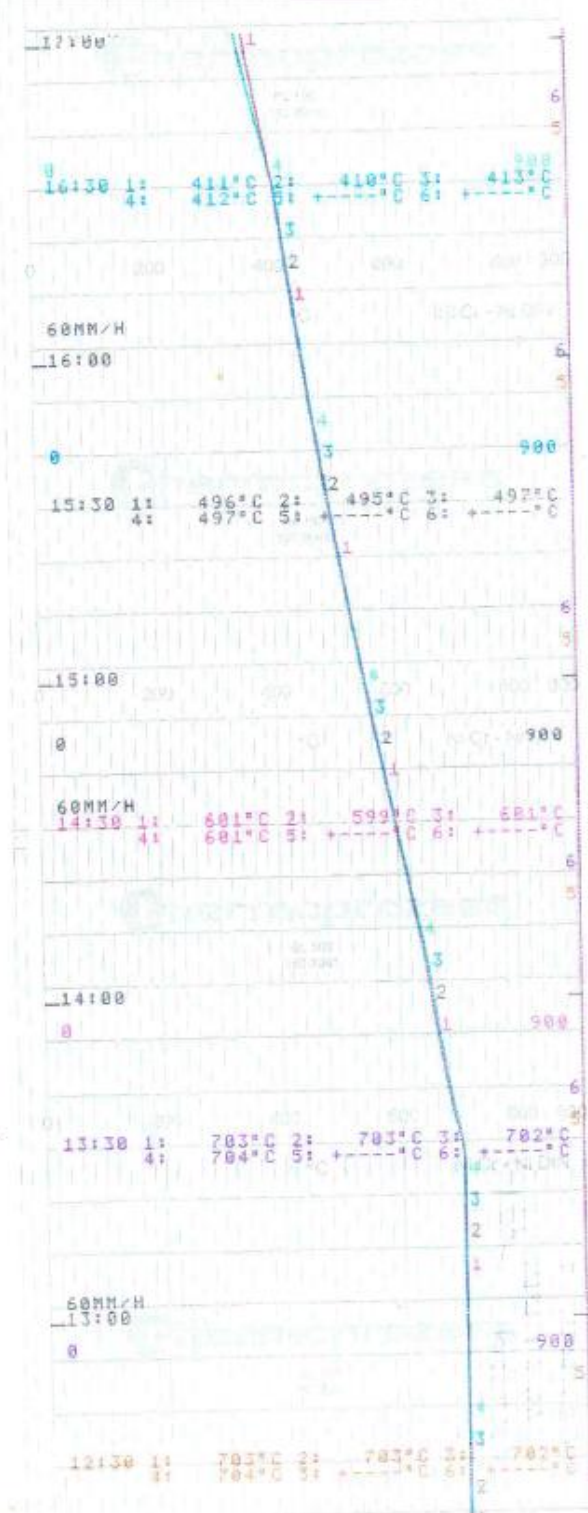


| TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş. | | ISIL İŞLEM İŞ EMRİ HEAT TREATMENT WORK ORDER | | İş Emri / WORK ORDER NO. IE-838-00F 2 | | | | |
|--|------------|---|--|--|------------------|------------|-----------|------------------|
| REV. : 0 | | Tarih/DATE : 02.07.2014 | | Sayfa/PAGE : 1 / 1 | | | | |
| Isıl İşlem /HEAT TREATMENT : Çerçim Göderme / POSTWELD HEAT TREATMENT Fırında yapılacaktır / TO BE PERFORMED IN FURNACE | | | | | | | | |
| Termocouple/THERMOCOUPLE | | Bağlama/ATTACHED BY : Punta/TACKWELD | | WPS NO. : 210A01A | | | | |
| Yerli/LOCATION : Üst-Orta-Alt/TOP-MIDDLE-BOTTOM | | Tipi/TYPER : K (NiCr-Ni) | | Sayısı/QUANTITY : Enaz/MIN. 3 | | | | |
| Kod-Standard/CODE-STANDARD : ASME SECTION VIII DIVISION 1 Ed.2013 | | | | | | | | |
| Prosedür/PROCEDURE : AKSP-009(E) | | | | | | | | |
| İş NO. | İş JOB NO. | Ekipman ITEM NO. | Seri SERIAL NO. | İşin Adı JOB NAME | Müşteri CUSTOMER | Parça PART | Adet QTY. | Malzeme MATERIAL |
| 1 | 838 | - | - | POR 25A01 | | | 3 | 20 P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | POR 26B01 | | | 3 | 20 P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | POR 26E01 | | | 3 | 13 P.No: 4 |
| Şarj Rejimi CHARGE REGIME | | Birim UNIT | Kod Sınırları CODE LIMITS | Uygulanacak Şarj Değerleri CHARGE DATA TO BE APPLIED | | | | |
| Başlangıç Isısı INITIAL TEMPERATURE | | * C | MAXIMUM 425 | MAXIMUM 200 | | | | |
| Isıtma Hızı HEATING RATE | | * C/Saat * C/HOUR | Serbest FREE | Serbest FREE | | | | |
| 425 °C'e kadar BELOW 425 °C | | * C/Saat * C/HOUR | 222 °C/HOUR PER INCH (MAXIMUM 222 °C/HOUR) | MAXIMUM 210 | | | | |
| 425 °C'nin üzerinde ABOVE 425 °C | | * C/Saat * C/HOUR | MINIMUM 595 | MINIMUM 690 | | | | |
| Bekleme Sıcaklığı DWELL TEMPERATURE | | * C | MAXIMUM --- | MAXIMUM 704 | | | | |
| Bekleme Süresi DWELL TIME | | Dakika MINUTES | ASME SEC. VIII DIV.1 UCS-56 | MINIMUM 100 | | | | |
| Soğuma Hızı COOLING RATE | | * C/Saat * C/HOUR | 278 °C/HOUR PER INCH (MAXIMUM 278 °C/HOUR) | MAXIMUM 270 | | | | |
| 400 °C'nin üzerinde ABOVE 400 °C | | * C/Saat * C/HOUR | Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR | Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR | | | | |
| 400 °C'nin altında BELOW 400 °C | | * C/Saat * C/HOUR | | | | | | |
| <p>Bu grafik sadece bilgi içindir THIS CHART IS FOR INFORMATION ONLY</p> | | | | | | | | |
| TEKFEN | | | Otorite/AUTHORITY | | Müşteri/CUSTOMER | | | |
| Hazırlayan PREPARED BY | | Onay / APPROVAL | | | | | | |
| KSMd/QA Manager | | FMD/FAC Manager | | | | | | |
| Isıl işlem yukarıdaki şartlarda yapılmıştır / HEAT TREATMENT HAS BEEN PERFORMED IN ABOVE CONDITIONS. | | | | | | | | |
| Şarj No./CHARGE NO. : 67.1/2014 | | Şarj tarihi/CHARGE DATE : 04/07/2014 | | | | | | |
| Başlangıç zamanı/STARTED AT : 08.30 | | Bakım Departmanı / MAINTENANCE DEPARTMENT | | | | | | |
| Bitiş zamanı/COMPLETED AT : 17.00 | | Adı/NAME | | Tarih/DATE | | | | |
| Harcanan DG miktarı/NG CONS. : - | | M.T. Serol | | 07/07/2014 | | | | |
| Grafik Hızı/CHART SPEED : 60 mm/hr | | İmza/SIGNATURE | | | | | | |

EK-L2

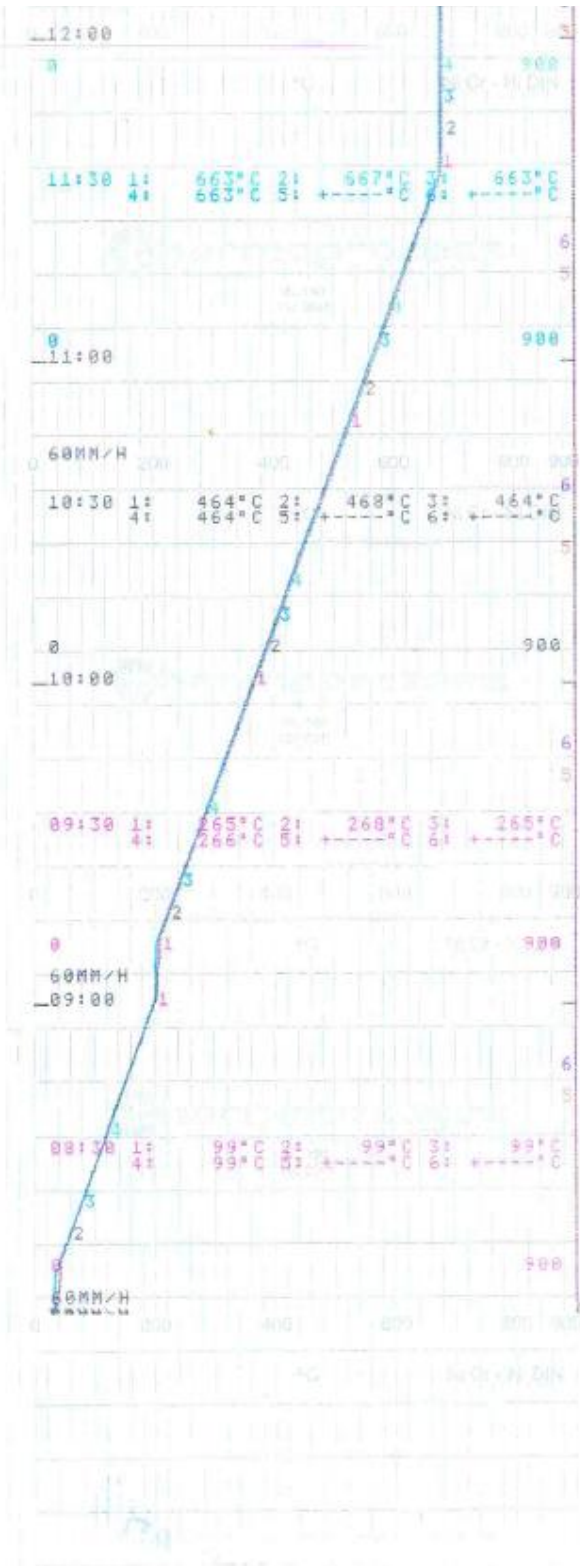


EK-L3

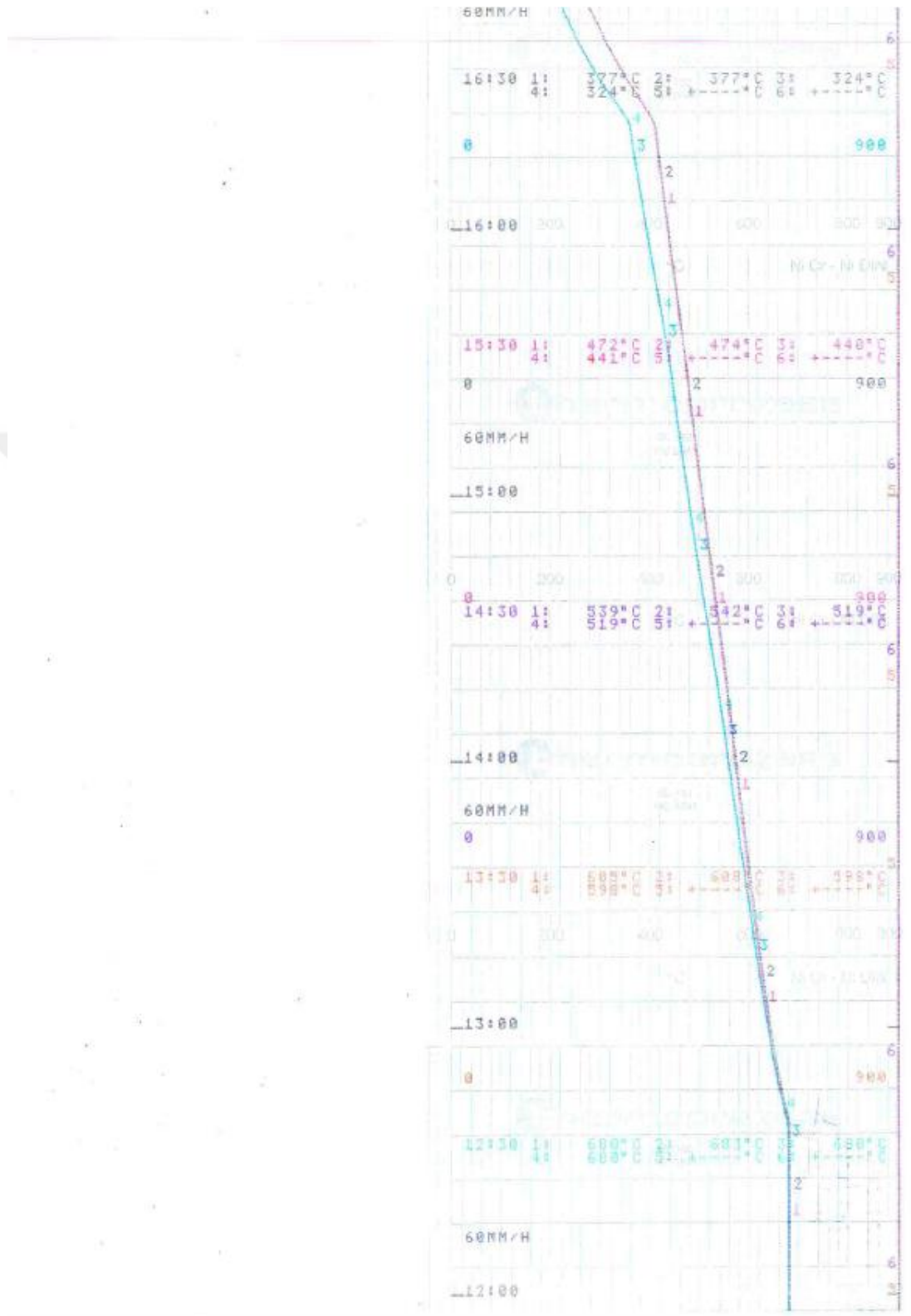


| TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş. | | ISIL İŞLEM İŞ EMRİ HEAT TREATMENT WORK ORDER | | | İş Emri / WORK ORDER NO. İE-838-001 | | | |
|---|------------|---|---|-------------------|--|------------|-----------|------------------|
| REV. : 0 | | Tarih/DATE : 02.07.2014 | | | Sayfa/PAGE : 1 / 1 | | | |
| Isıl İşlem /HEAT TREATMENT : Gerilim Giderme / POSTWELD HEAT TREATMENT Fırında yapılacaktır / TO BE PERFORMED IN FURNACE | | | | | | | | |
| Termocouple/THERMOCOUPLE | | Bağlama/ATTACHED BY : Punta/TACKWELD | | WPS NO. : 210A01A | | | | |
| Yeni/LOCATION : Üst-Orta-Al/ TOP-MIDDLE-BOTTOM | | | Tipi/TYPE : K (NiCr-Ni) | | Sayısı/QUANTITY: Enaz/MIN. 3 | | | |
| Kod-Standard/CODE-STANDARD : ASME SECTION VIII DIVISION I Ed.2013 | | | | | | | | |
| Prosedür/PROCEDURE : AKSP-009(E) | | | | | | | | |
| İş NO. | İş JOB NO. | Ekipman ITEM NO. | Seri SERIAL NO. | İşin Adı JOB NAME | Müşteri CUSTOMER | Parça PART | Adet QTY. | Malzeme MATERIAL |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26A01 | | | 1 | 20 P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26B01 | | | 1 | 20 P.No: 4 |
| 1 | 838 | - | - | PQR 26F01 | | | 1 | 13 P.No: 4 |
| Şarj Rejimi CHARGE REGIME | | Birim UNIT | Kod Sınırları CODE LIMITS | | Uygulanacak Şarj Değerleri CHARGE DATA TO BE APPLIED | | | |
| Başlangıç Isısı INITIAL TEMPERATURE | | ° C | MAXIMUM 425 | | MAXIMUM 200 | | | |
| Isıtma Hızı HEATING RATE | | ° C/Saat | Serbest FREE | | Serbest FREE | | | |
| 425 °C'e kadar BELOW 425 °C | | ° C/HOUR | 222 °C/HOUR PER INCH (MAXIMUM 222 °C/HOUR) | | MAXIMUM 210 | | | |
| 425 °C'nin üzerinde ABOVE 425 °C | | ° C/HOUR | MINIMUM 595 | | MINIMUM 676 | | | |
| Bekleme Sıcaklığı DWELL TEMPERATURE | | ° C | MAXIMUM --- | | MAXIMUM 690 | | | |
| Bekleme Süresi DWELL TIME | | Dakika MINUTES | ASME SEC. VIII DIV.1 UCS-56 | | MINIMUM 60 | | | |
| Soğuma Hızı COOLING RATE | | ° C/Saat | 278 °C/HOUR PER INCH (MAXIMUM 278 °C/HOUR) | | MAXIMUM 270 | | | |
| 400 °C'nin üzerinde ABOVE 400 °C | | ° C/HOUR | Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR | | Durgun havada serbest soğuma FREE IN STILL AIR | | | |
| 400 °C'nin altında BELOW 400 °C | | ° C/HOUR | | | | | | |
| <p>Bu grafik sadece bilgi içindir THIS CHART IS FOR INFORMATION ONLY</p> | | | | | | | | |
| TEKFEN | | | Otorite/AUTHORITY | Müşteri/CUSTOMER | | | | |
| Hazırlayan PREPARED BY | | Onay / APPROVAL | | | | | | |
| KSMd,QA Manager | | FMD/PAQ Manager | | | | | | |
| Isıl İşlem yukarıdaki şartlarda yapılmıştır./ HEAT TREATMENT HAS BEEN PERFORMED IN ABOVE CONDITIONS. | | | | | | | | |
| Şarj No./CHARGE NO. : 220/2014 | | | Şarj tarihi/CHARGE DATE : 04/07/2014 | | | | | |
| Başlangıç zamanı/STARTED AT : 08.00 | | | Bakım Departmanı / MAINTENANCE DEPARTMENT | | | | | |
| Bitiş zamanı/COMPLETED AT : 17.00 | | | Adı/NAME | | Tarih/DATE | | | |
| Harcanan DG miktarı/NG CONS. : | | | M.Ş. Zencel | | 07/07/2014 | | | |
| Grafik Hızı/CHART SPEED : 60 mm/hr | | | İmza/SIGNATURE | | | | | |
| TKSF-105-02 | | | NO DOCUMENT TO BE USED IN ANY MANUFACTURING OR MAINTENANCE PROCESS WITHOUT PERMISSION FROM THE MAINTENANCE DEPARTMENT | | | | | |
| THIS DOCUMENT IS THE PROPERTY OF TEKFEN İMALAT VE MÜHENDİSLİK A.Ş. AND SHALL NOT BE USED IN ANY MANNER NOR REPRODUCED WITHOUT PERMISSION. | | | | | | | | |



EK-M2



EK-M3



EK-N1

| | | |
|---|--|---|
|  ANADOLU BÖKÖM SANAYİ A.Ş. STEEL CASTING 39 YEARS | MAKROYAPI İNCELEME FORMU MACROSTRUCTURE INSPECTION FORM |  UKAS 331 Certificate No : 360836 |
|---|--|---|

| | |
|---|--|
| Firma Adı / Company : TEKFEN İMALAT | Standart / Standard : ASME SEC. IX. |
| Rapor No / Report No : R141738 | Malzeme / Material : SA337 Gr.11 - SA337 Gr.11 |
| İş Emri No / Order No : L14-327 | Büyütme / Magnification : 3.45X |
| Parça Adı / Description : 26B01 KOD : 12 | Dağlama / Etching : NITAL % 3 |
| Amaç / Audited : Weld Run , Form , Penetration , Weld , Crack Control | |





| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | KONTROL YÖNTEMİ CONTROL METHOD | | SONUÇ RESULT |
|--|-----------------------------------|-------------------|----------------------|
| | GÖRSEL VISUAL | FOTOĞRAF PHOTO | |
| 26B01 KOD : 12 | Yes | Yes | Uygun / Satisfactory |

Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.

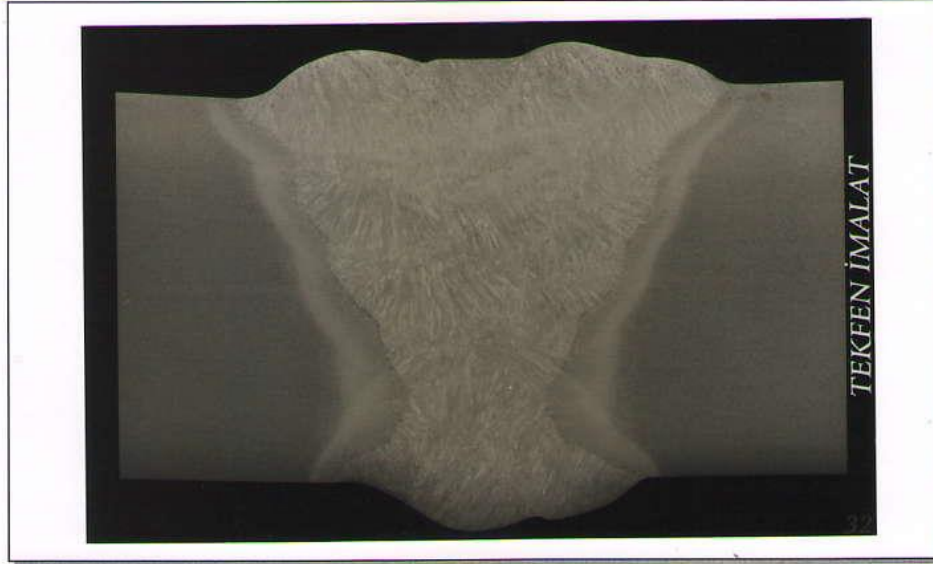
| | | |
|---|------------------------------------|---|
| MUAYENEYİ YAPAN INSPECTOR MET.MÜH. MİTHAT KERİMAKTİ BARİŞ OKUTAN  | TARİH DATE 17.07.2014 | ONAY APPROVAL MET.MÜH. METEHAJAN BOYDAK  ANADOLU BÖKÖM A.Ş. Hürriyet Cad.No:1 Kod:06100 Tel:0 312 277 13 51 |
|---|------------------------------------|---|

F - 3107 Rev.1

EK-N2

| | | |
|---|--|---|
|  | MAKROYAPI İNCELEME FORMU MACROSTRUCTURE INSPECTION FORM |  |
|---|--|---|

| | |
|--|---|
| Firma Adı / Company : TEKFEN İMALAT | Standart / Standard : ASME SEC. IX. |
| Rapor No / Report No : R141737 | Malzeme / Material : SA337 Gr.11 - SA337 Gr.11 |
| İş Emri No / Order No : L14-327 | Büyütme / Magnification : 3.75X |
| Parça Adı / Description : 26A01 KOD : 32 | Dağlama / Etching : NITAL % 3 |
| Amaç / Audited : Weld Run , Form , Penetration , Weld , Crack Control | |






| NUMUNE ÇİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | KONTROL YÖNTEMİ CONTROL METHOD | | SONUÇ RESULT |
|--|-----------------------------------|-------------------|----------------------|
| | GÖRSEL VISUAL | FOTOĞRAF PHOTO | |
| 26A01 KOD : 32 | Yes | Yes | Uygun / Satisfactory |

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

| | | |
|--|--------------------------------------|--|
| MUAYENEYİ YAPAN INSPECTOR MET.MÜH. MİTHAT KERİMAK İ BARİŞ OKUTAN  | TARİH DATE 17.07.2014 | ONAY APPROVAL MET.MÜH. METEHAJAN BOYDAK  ANADOLU DÖKÜM A.Ş. Hürriyet Cad.No:1 Kartal / İZMİR Tel:0 212 597 13 51 |
|--|--------------------------------------|--|

F - 3107 Rev.1

EK-N3

| | | |
|---|--|--|
|  | MAKROYAPI İNCELEME FORMU MACROSTRUCTURE INSPECTION FORM |   |
| Certificate No : 360835 | | |

| | |
|--|---|
| Firma Adı / Company : TEKFEN İMALAT | Standart / Standard : ASME SEC. IX. |
| Rapor No / Report No : R141739 | Malzeme / Material : SA337 Gr.11 - SA337 Gr.11 |
| İş Emri No / Order No : L14-327 | Büyütme / Magnification : 6.15X |
| Parça Adı / Description : 26E01 KOD : 22 | Dağlama / Etching : NITAL % 3 |
| Amaç / Audited : Weld Run , Form , Penetration , Weld , Crack Control | |



| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | KONTROL YÖNTEMİ CONTROL METHOD | | SONUÇ RESULT |
|--|-----------------------------------|-------------------|----------------------|
| | GÖRSEL VISUAL | FOTOĞRAF PHOTO | |
| 26E01 KOD : 22 | Yes | Yes | Uygun / Satisfactory |

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

| | | |
|--|------------------------------------|--|
| MUAYENEYİ YAPAN INSPECTOR MET.MÜH. MİTHAT KERİMAK BARIŞ OKUŞAN | TARİH DATE 17.07.2014 | ONAY APPROVAL MET.MÜH. METEHAŞ BOYDAK ANADOLU DÖKÜM A.Ş. Hürriyet Cad.No:1 Kocaeli / Kandıra Tel:0 264 527 13 51 |
|--|------------------------------------|--|

F - 3107 Rev 1



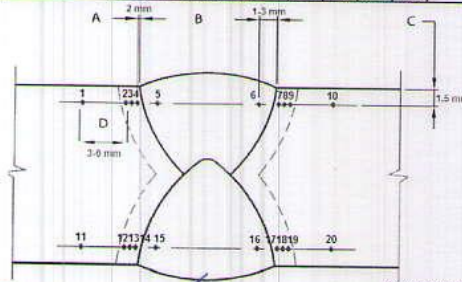
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141725
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvar / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|---|------|-----|-----|-----|-----|--|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | | WELD | | | | HAZ | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 26A01 KOD : 31 | 157 | 230 | 259 | 245 | 239 | - | 222 | 233 | 252 | 214 | 158 | |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
| | 169 | 189 | 212 | 229 | 246 | - | 244 | 223 | 217 | 203 | 160 | |



TSE KALİTE BELGE NO: 2858
 TSE KALİTE BELGE NO: 2807
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No: 1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOÇAEİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

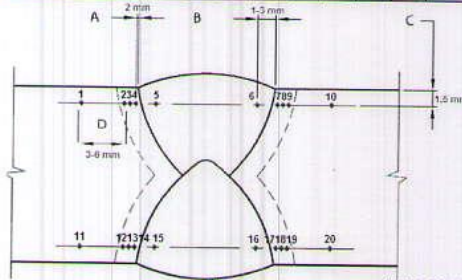
Rapor No / Report No : R141726
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneyin Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneyleri Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneyi Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.

Deney Sonuçları / Test Results :

Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|------|---|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | BASE MATERIAL | HAZ | | | WELD | | | HAZ | | | BASE MATERIAL |
| 26A01 KOD : 32 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | - | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | 152 | 193 | 215 | 215 | 205 | - | 203 | 212 | 201 | 188 | 151 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | 153 | 179 | 185 | 194 | 212 | - | 209 | 201 | 193 | 169 | 148 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad.No:1
 Körfez / ZMİT
 Tel:0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOÇAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



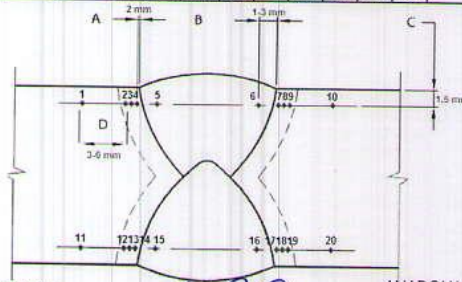
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141727
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMİK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMİK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | | HAZ | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 26A01 KOD : 33 | 147 | 214 | 214 | 211 | 210 | - | 208 | 207 | 199 | 178 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | 149 | 151 | 180 | 209 | 211 | - | 215 | 206 | 201 | 156 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad.No:1
 Körfez / ZMİT
 Tel:0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

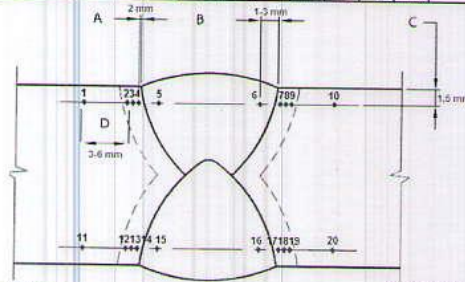
Rapor No / Report No : R141728
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.

Deneysel Sonuçları / Test Results :

Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | | HAZ | | BASE MATERIAL |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 26A01 KOD : 34 | 154 | 202 | 215 | 217 | 212 | - | 214 | 210 | 202 | 192 | 154 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | 153 | 163 | 193 | 205 | 211 | - | 220 | 202 | 166 | 163 | 148 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2808
 TSE KALİTE BELGE NO: 2807
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2163
 TSE KALİTE BELGE NO: 1089

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad.No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



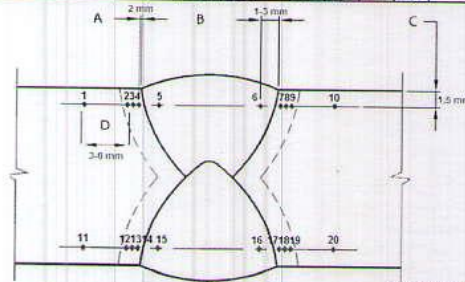
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141729
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : **Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.**

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | | HAZ | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 26B01 KOD : 11 | 155 | 195 | 215 | 223 | 203 | - | 219 | 229 | 210 | 167 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | 153 | 176 | 200 | 200 | 200 | - | 196 | 199 | 200 | 199 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2808
 TSE KALİTE BELGE NO: 2807
 TSE KALİTE BELGE NO: 4160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

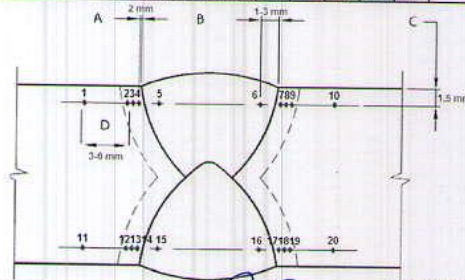
Rapor No / Report No : R141730
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.

Deneysel Sonuçları / Test Results :

Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | HAZ | | | BASE MATERIAL |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | | |
| 26B01 KOD : 12 | 149 | 187 | 207 | 204 | 185 | - | 202 | 202 | 186 | 175 | 151 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | 151 | 171 | 181 | 179 | 173 | - | 173 | 173 | 179 | 177 | 152 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2908
 TSE KALİTE BELGE NO: 2907
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1088

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez / ZİT
 Tel: 0 262 227 73 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



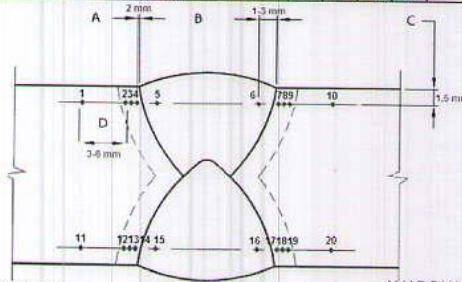
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141732
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | | HAZ | | BASE MATERIAL |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 26B01 KOD : 13 | 150 | 209 | 206 | 210 | 210 | - | 185 | 211 | 195 | 173 | 151 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | 148 | 154 | 173 | 193 | 217 | - | 198 | 204 | 192 | 179 | 149 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



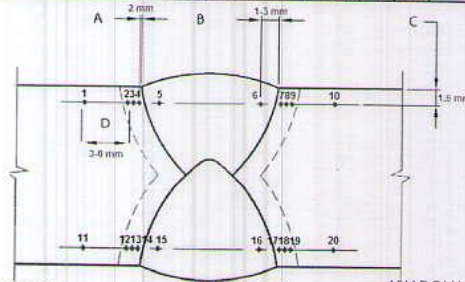
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141732
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.

Deneysel Sonuçları / Test Results : Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | | HAZ | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 26B01 KOD : 14 | 150 | 185 | 212 | 220 | 193 | - | 217 | 220 | 202 | 165 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | 151 | 158 | 183 | 197 | 199 | - | 200 | 196 | 195 | 173 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hüriyet Cad. No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hüriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



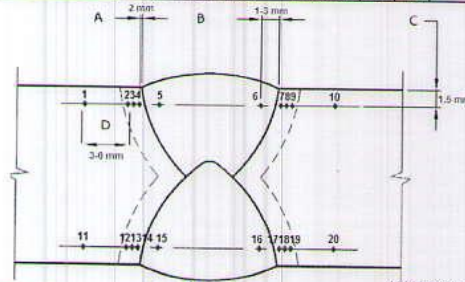
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141733
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : **Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.**

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | BASE MATERIAL | | | | | WELD | | | | | BASE MATERIAL |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 26E01 KOD : 21 | 173 | 173 | 184 | 185 | 197 | - | 186 | 182 | 177 | 160 | 173 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | 172 | 167 | 181 | 194 | 205 | - | 209 | 191 | 187 | 177 | 176 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2808
 TSE KALİTE BELGE NO: 2907
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



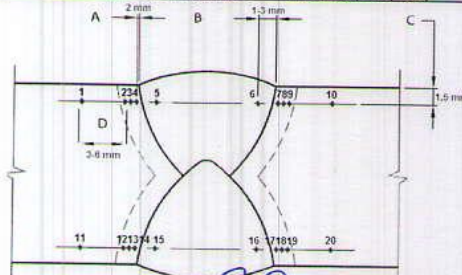
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141734
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.

Deneysel Sonuçları / Test Results : Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | | HAZ | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 26E01 KOD : 22 | 132 | 136 | 133 | 129 | 138 | - | 130 | 132 | 135 | 137 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | 138 | 137 | 137 | 139 | 146 | - | 132 | 136 | 142 | 138 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-048 006 3056



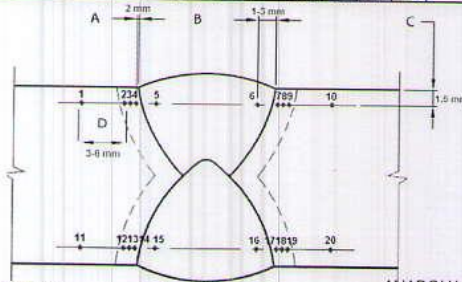
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141735
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneyin Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneyleri Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneyi Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.

Deneysel Sonuçları / Test Results : **Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.**

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | | HAZ | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 26E01 KOD : 24 | 184 | 164 | 195 | 197 | 198 | - | 194 | 196 | 183 | 170 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 |
| | 178 | 158 | 179 | 189 | 194 | - | 202 | 203 | 177 | 168 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2808
 TSE KALİTE BELGE NO: 2807
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Hürriyet Cad. No: 1
 Körfez ÇZMİT
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



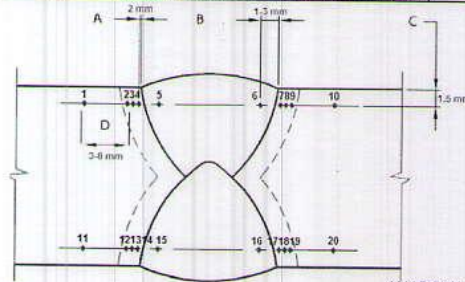
RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141736
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : EMCOTEST DURAVISION DV250, 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 1 ADET KAYNAKLI SERTLİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Ölçüm Sonuçları HV10 (Hardness Vickers 10) Dir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SERTLİK ÖLÇÜMLERİ (HV10) | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|---------------|
| | BASE MATERIAL | | HAZ | | | WELD | | HAZ | | | BASE MATERIAL |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 26E01 KOD : 25 | 184 | 167 | 210 | 232 | 227 | - | 213 | 243 | 242 | 218 | 186 |
| | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | - | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| | 187 | 177 | 205 | 237 | 233 | - | 236 | 243 | 205 | 168 | 179 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2154
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : RK14683, RK14684, RK14685.
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB.NAMİK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity : 3 ADET NUMUNE
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 23.09.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : TS EN ISO 14284
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB.NAMİK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : 1/4

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | RAPOR NO REPORT NO |
|---|-----------------------|
| 26B01 KOD : 11 | RK14683 |
| 26E01 KOD : 25 | RK14684 |
| 26A01 KOD : 31 | RK14685 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2008
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

F - 3011 Rev. 0

(Signature)
 ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hüseyin Cad.No:1
 Körfez / İZMİR
 T.N. 02 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056

EK-013



ANADOLU DOKUM SAN. A.Ş.
HURRIYET CAD. NO:1
KORFEZ KOCAELI
TEL : (0262) 527 13 51 FAX : (0262) 527 28 76
info@anadoludokum.com.tr www.anadoludokum.com.tr

SPEKTROMETRE ANALİZ SONUÇLARI / SPECTROMETER CHEMICAL ANALYSIS RESULTS

Musteri / Customer : TEKFEN İMALAT VE MUH. Resim No / Drawing No :
Musteri Siparis No / Customer Order No : Malzeme / Material :
ADS İş Emri No / ADS Order No : Ocak No / Furnace No :
Parça Adı / Piece ID : Sarj No / Heat No :
Rapor No. / Report No. : RK14683 Numune Adı / Sample ID : No.11 14-327 KAYNAK METALI
Spektrometre Foundry-MASTER PRO :

| | | | | | | | | |
|-----|--------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| Ort | Fe 96,9 | C 0,0721 | Si 0,306 | Mn 0,800 | P 0,0096 | S 0,0045 | Cr 1,13 | Mo 0,517 |
| Ort | Ni 0,0438 | Al 0,0186 | Co 0,0033 | Cu 0,0639 | Nb 0,0046 | Ti 0,0112 | V 0,0087 | W < 0,0080 |
| Ort | Pb 0,0099 | Sn 0,0017 | B < 0,0003 | Ca 0,0009 | Zr 0,0097 | As 0,0010 | N < 0,0050 | Sb < 0,0030 |

Şehir / City : KORFEZ / KOCAELI
Tarih / date : 23.09.2014

Analiz Eden / tester :
Lab. NAMIK DEMİR

Mühendis / engineer :
Met.Muh.BARIS OKUTAN

ANADOLU DOKUM A.Ş.
Hurriyet Cad.No:1
Korfez / İZMİT
Tel : (0262) 527 13 51

EK-014



ANADOLU DOKUM SAN. A.Ş.
HURRIYET CAD. NO:1
KORFEZ KOCAELI
TEL : (0262) 527 13 51 FAX : (0262) 527 28 76
info@anadoludokum.com.tr www.anadoludokum.com.tr

SPEKTROMETRE ANALİZ SONUÇLARI / SPECTROMETER CHEMICAL ANALYSIS RESULTS

Musteri / Customer : TEKFEN İMALAT VE MUH. Resim No / Drawing No :
Musteri Sipariş No/Customer Order No : Malzeme / Material :
ADS İş Emri No / ADS Order No : Ocak No / Furnace No :
Parça Adı / Piece ID : Sarj No / Heat No :
Rapor No. / Report No. : RK14684 Numune Adı / Sample ID : No.25 14-327 KAYNAK METALI
Spektrometre Foundry-MASTER PRO :

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|
| Ort | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
| | 96,8 | 0,0922 | 0,538 | 0,494 | 0,0078 | 0,0082 | 1,35 | 0,480 |
| Ort | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
| | 0,0502 | 0,0171 | 0,0030 | 0,0691 | 0,0066 | 0,0091 | 0,0103 | < 0,0080 |
| Ort | Pb | Sn | B | Ca | Zr | As | N | Sb |
| | 0,0084 | 0,0020 | 0,0003 | 0,0008 | 0,0127 | 0,0012 | < 0,0050 | < 0,0030 |

Şehir / City : KORFEZ / KOCAELI
Tarih / date : 23.09.2014

Analiz Eden / tester :
Lab. NAMIK DEMİR

Mühendis / engineer :
Met.Muh.BARIS OKUTAN

ANADOLU DOKUM A.Ş.
Hurriyet Cad.No:1
KORFEZ / İZMİT
TEL : (0262) 527 13 51

EK-015



ANADOLU DOKUM SAN. A.S.
HURRIYET CAD. NO:1
KORFEZ KOCAELI
TEL : (0262) 527 13 51 FAX : (0262) 527 28 76
info@anadoludokum.com.tr www.anadoludokum.com.tr

SPEKTROMETRE ANALİZ SONUÇLARI / SPECTROMETER CHEMICAL ANALYSIS RESULTS

Musteri / Customer : TEKFEN İMALAT VE MUH. Resim No / Drawing No :
Musteri Siparis No/Customer Order No : Malzeme / Material :
ADS İş Emri No / ADS Order No : Ocak No / Furnace No :
Parça Adı / Piece ID : Sarj No / Heat No :
Rapor No. / Report No. : RK14585 Numune Adı / Sample ID : No.31 14-327 KAYNAK METALI
Spektrometre Foundry-MASTER PRO :

| | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|----------|--------|--------|--------|----------|----------|
| Ort | Fe | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo |
| | 96,6 | 0,0685 | 0,479 | 0,742 | 0,0113 | 0,0063 | 1,34 | 0,551 |
| Ort | Ni | Al | Co | Cu | Nb | Ti | V | W |
| | 0,0409 | 0,0097 | 0,0036 | 0,0383 | 0,0073 | 0,0078 | 0,0168 | < 0,0080 |
| Ort | Pb | Sn | B | Ca | Zr | As | N | Sb |
| | 0,0064 | 0,0021 | < 0,0003 | 0,0030 | 0,0076 | 0,0021 | < 0,0050 | < 0,0030 |

Şehir / City : KORFEZ / KOCAELI
Tarih / date : 23.09.2014

Analiz Eden / İsteler :
Lab. NAMIR DEMİR

Mühendis / engineer :
Met.Muh.BARIS OKUTAN

ANADOLU DOKUM A.Ş.
Hurriyet Cad.No:1
Korfez / İZMİT
Tel: 0262 527 13 51



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141715
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : ZWICK / ROELL, 600 KN, 20.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity : 2 ADET KAYNAKLI ÇEKME NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results :

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | KESİT ALANI CROSS - SECTIONAL AREA (mm ²) | ÇEKME DAYANIMI TENSILE STRENGTH (N/mm ²) | AKMA DAYANIMI YIELD STRENGTH (N/mm ²) | UZAMA ELONGATION % | KOPMA ŞEKLİ ve YERİ NATURE OF FAILURE AND LOCATION |
|--|---|--|---|--------------------------|--|
| 26B01 / 1 KOD : 12-1 | 377.94 19.85 x 19.04 | 515 | 352 | 33.20 | MALZEME MATERIAL |
| 26B01 / 2 KOD : 12-2 | 379.70 20.09 x 18.90 | 520 | 348 | 32.96 | MALZEME MATERIAL |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1986

F - 3007 Rev. 0


 ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad.No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141716
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : ZWICK / ROELL, 600 KN, 20.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity : 2 ADET KAYNAKLI ÇEKME NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneyin Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneyleri Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneyi Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deney Sonuçları / Test Results :

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | KESİT ALANI CROSS - SECTIONAL AREA (mm ²) | ÇEKME DAYANIMI TENSILE STRENGTH (N/mm ²) | AKMA DAYANIMI YIELD STRENGTH (N/mm ²) | UZAMA ELONGATION % | KOPMA ŞEKLİ ve YERİ NATURE OF FAILURE AND LOCATION |
|--|---|--|---|--------------------------|--|
| 26E01 / 1 KOD : 22-1 | 251.82 13.24 x 19.02 | 550 | 339 | 33.64 | MALZEME MATERIAL |
| 26E01 / 2 KOD : 22-2 | 257.51 13.37 x 19.26 | 557 | 369 | 31.52 | MALZEME MATERIAL |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1096

F - 3007 Rev. 0

(Signature)
 ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hüriyet Cad. No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Hüriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

| | | |
|--|---|---|
| Rapor No / Report No | : | R141717 |
| İş Emri No / Order No | : | L14-327 |
| Deney Laboratuvarı / Laboratory | : | ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş. |
| Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration | : | ZWICK / ROELL, 600 KN, 20.05.2014 |
| Numunenin Ait Olduğu Firma / Company | : | TEKFEN İMALAT |
| Numune Alma / Sampling Method | : | FİRMA YETKİLİSİ GETİRDİ |
| Numuneyi Teslim Alan / Received By | : | LAB. NAMIK DEMİR |
| Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity | : | 2 ADET KAYNAKLI ÇEKME NUMUNESİ |
| Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample | : | 17.07.2014 |
| Deneyin Yapıldığı Tarih / Date of Testing | : | 17.07.2014 |
| Uygulanan Standart / Applied Standart | : | ASME SEC. IX. |
| Deneyleri Yapanlar / Operator | : | LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK |
| Deneyi Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval | : | MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN |

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deney Sonuçları / Test Results :

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | KESİT ALANI CROSS - SECTIONAL AREA (mm2) | ÇEKME DAYANIMI TENSILE STRENGTH (N/mm2) | AKMA DAYANIMI YIELD STRENGTH (N/mm2) | UZAMA ELONGATION % | KOPMA ŞEKLİ ve YERİ NATURE OF FAILURE AND LOCATION |
|--|--|---|--|--------------------------|--|
| 26A01 / 1 KOD : 32-1 | 388.03 19.95 x 19.45 | 542 | 349 | 28.68 | MALZEME MATERIAL |
| 26A01 / 2 KOD : 32-2 | 383.62 19.97 x 19.21 | 546 | 347 | 29.08 | MALZEME MATERIAL |



TSE KALİTE BELGE NO: 2808
TSE KALİTE BELGE NO: 2807
TSE KALİTE BELGE NO: 2160
TSE KALİTE BELGE NO: 2161
TSE KALİTE BELGE NO: 2162
TSE KALİTE BELGE NO: 1086

F - 3007 Rev. 0

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
Hürriyet Cad.No:1
Körfez / İZMİR
Tel:0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No:1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
www.anadoludokum.com.tr
Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141718
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deney Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : Losenhausenwerk 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 4 ADET KAYNAKLI ÇEKME NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneyin Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneyleri Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneyi Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deney Sonuçları / Test Results :

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | MESNETLER ARASI MESAFE DISTANCE BETWEEN ROLLERS (mm) | MANDREL ÇAPI DIAMETER OF MANDREL (mm) | PARÇANIN KALINLIĞI THICKNESS OF SAMPLE (mm) | EĞME AÇISI BENDING ANGLE | SONUÇ RESULTS |
|---|---|---|--|-----------------------------------|----------------------|
| 26B01 KOD: 12 YAN EĞME / SIDE BEND - 1 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26B01 KOD: 12 YAN EĞME / SIDE BEND - 2 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26B01 KOD: 12 YAN EĞME / SIDE BEND - 3 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26B01 KOD: 12 YAN EĞME / SIDE BEND - 4 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |



TSE KALİTE BELGE NO: 2808
 TSE KALİTE BELGE NO: 2807
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086
 F - 3009 Rev. 0

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez MİT
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141719
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : Losenhausenwerk 27.05.2014.
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 4 ADET KAYNAKLI ÇEKME NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneyin Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneyleri Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneyi Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deney Sonuçları / Test Results :

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | MESNETLER ARASI MESAFE DISTANCE BETWEEN ROLLERS (mm) | MANDREL ÇAPI DIAMETER OF MANDREL (mm) | PARÇANIN KALINLIĞI THICKNESS OF SAMPLE (mm) | EĞME AÇISI BENDING ANGLE | SONUÇ RESULTS |
|---|---|---|--|-----------------------------------|----------------------|
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 1 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 2 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 3 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 4 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |

[Signature]
 ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez İZMİR
 Tel:0 262 527 13 51



F - 3009 Rev. 0

TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141719
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : Losenhausenwerk 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMİK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 4 ADET KAYNAKLI ÇEKME NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMİK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results :

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | MESNETLER ARASI MESAFE DISTANCE BETWEEN ROLLERS (mm) | MANDREL ÇAPI DIAMETER OF MANDREL (mm) | PARÇANIN KALINLIĞI THICKNESS OF SAMPLE (mm) | EĞME AÇISI BENDING ANGLE | SONUÇ RESULTS |
|---|---|---|--|-----------------------------------|----------------------|
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 1 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 2 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 3 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26E01 KOD : 22 YAN EĞME / SIDE BEND - 4 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |



TSE KALİTE BELGE NO: 2908
 TSE KALİTE BELGE NO: 2907
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1088
 F - 3009 Rev. 0

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez / ZİMT
 Tel:0 362 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141720
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deney Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : Losenhausenwerk 27.05.2014
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB. NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Descr. and Quantity : 4 ADET KAYNAKLI ÇEKME NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneyin Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneyleri Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneyi Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deney Sonuçları / Test Results :

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | MESNETLER ARASI MESAFE DISTANCE BETWEEN ROLLERS (mm) | MANDREL ÇAPI DIAMETER OF MANDREL (mm) | PARÇANIN KALINLIĞI THICKNESS OF SAMPLE (mm) | EĞME AÇISI BENDING ANGLE | SONUÇ RESULTS |
|---|---|---|--|-----------------------------------|----------------------|
| 26A01 KOD: 32 YAN EĞME / SIDE BEND - 1 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26A01 KOD: 32 YAN EĞME / SIDE BEND - 2 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26A01 KOD: 32 YAN EĞME / SIDE BEND - 3 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |
| 26A01 KOD: 32 YAN EĞME / SIDE BEND - 4 | 60.40 | 38 | 10.00 | 180° | UYGUN / SATISFACTORY |



F - 3009 Rev. 0

TSE KALİTE BELGE NO: 2808
 TSE KALİTE BELGE NO: 2807
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

(Signature)
 ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad.No:1
 Körfez / ZEMİT
 Tel:0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141721
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvar / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : MFL SYSTEME 27.05.2014 / ERM - EN ISO 148-2.
 Numunenin Alınan Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB.NAMİK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity : 24 ADET ÇENTİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMİK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Çentik Numuneleri 10x10x55 mm Ölçülerindedir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) | NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) |
|---|---------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| 26B01 KOD: 11 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 195 - 215 - 205 | 26B01 KOD: 11 İTAB / HAZ | - 18 °C | 178 - 116 - 220 |
| 26B01 KOD: 12 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 185 - 140 - 97 | 26B01 KOD: 12 İTAB / HAZ | - 18 °C | 30 - 42 - 60 |
| 26B01 KOD: 13 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 128 - 185 - 144 | 26B01 KOD: 13 İTAB / HAZ | - 18 °C | 186 - 125 - 200 |
| 26B01 KOD: 14 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 236 - 169 - 164 | 26B01 KOD: 14 İTAB / HAZ | - 18 °C | 231 - 240 - 295 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hüriyet Cad. No:1
 Körfez İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Hüriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141722
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : MFL SYSTEME 27.05.2014 / ERM - EN ISO 148-2.
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB.NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity : 24 ADET ÇENTİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET. MÜH. MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Çentik Numuneleri 10x10x55 mm Ölçülerindedir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) | NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) |
|---|---------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| 26E01 KOD: 21 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 170 - 281 - 213 | 26E01 KOD: 21 İTAB / HAZ | - 18 °C | 290 - 284 - 280 |
| 26E01 KOD: 22 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 102 - 111 - 214 | 26E01 KOD: 22 İTAB / HAZ | - 18 °C | 215 - 235 - 229 |
| 26E01 KOD: 24 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 130 - 265 - 151 | 26E01 KOD: 24 İTAB / HAZ | - 18 °C | 300 - 124 - 300 |
| 26E01 KOD: 25 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 167 - 239 - 233 | 26E01 KOD: 25 İTAB / HAZ | - 18 °C | 254 - 282 - 296 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hüriyet Cad. No:1
 Körfez İLİMİT
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hüriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141723
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvar / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : MFL SYSTEME 27.05.2014 / ERM - EN ISO 148-2.
 Numunenin Ait Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB.NAMİK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity : 12 ADET ÇENTİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SA 370
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMİK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Çentik Numuneleri 10x10x55 mm Ölçülerindedir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) | NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) |
|---|---------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| 26E01 KOD : 21 MALZEME / MATERIAL | - 18 °C | 298 - 297 - 296 | 26E01 KOD : 22 MALZEME / MATERIAL | - 18 °C | 296 - 296 - 296 |
| 26E01 KOD : 24 MALZEME / MATERIAL | - 18 °C | 296 - 297 - 298 | 26E01 KOD : 25 MALZEME / MATERIAL | - 18 °C | 297 - 294 - 300 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2608
 TSE KALİTE BELGE NO: 2607
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad.No:1
 Körfez ZMİT
 Tel:0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.

Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056



RAPOR REPORT

Rapor No / Report No : R141724
 İş Emri No / Order No : L14-327
 Deneysel Laboratuvarı / Laboratory : ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Cihaz ve kalibrasyon/ Equipment and Calibration : MFL SYSTEME 27.05.2014 / ERM - EN ISO 148-2.
 Numunenin Alınan Olduğu Firma / Company : TEKFEN İMALAT
 Numune Alma / Sampling Method : FIRMA YETKİLİSİ GETİRDİ
 Numuneyi Teslim Alan / Received By : LAB.NAMIK DEMİR
 Numunenin Cinsi ve Adedi / Sample Description and Quantity : 24 ADET ÇENTİK NUMUNESİ
 Numunenin Alındığı Tarih / Received Date of Sample : 17.07.2014
 Deneysel Yapıldığı Tarih / Date of Testing : 17.07.2014
 Uygulanan Standart / Applied Standart : ASME SEC. IX.
 Deneysel Yapanlar / Operator : LAB. NAMIK DEMİR / MET.MÜH.MİTHAT KERİMAK
 Deneysel Kontrol Eden ve Onaylayan / Approval : MET. MÜH. BARIŞ OKUTAN

*Bu test sonucu sadece test edilen numuneyi temsil eder ve Laboratuvarın onayı olmadan çoğaltılamaz.
 This result represent only the sample that we tested and the report can not be copied without laboratory permission.*

Deneysel Sonuçları / Test Results : Çentik Numuneleri 10x10x55 mm Ölçülerindedir.

| NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) | NUMUNE CİNSİ ve NO SAMPLE IDENTIFICATION | SICAKLIK TEMPERATURE (°C) | DARBE ÇENTİK M. "V" ÇENTİK CVN IMPACT ENERGY VALUE (JOULE) |
|---|---------------------------------|--|---|---------------------------------|--|
| 26A01 KOD : 31 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 26 - 27 - 27 | 26A01 KOD : 31 İTAB / HAZ | - 18 °C | 163 - 254 - 225 |
| 26A01 KOD : 32 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 85 - 49 - 61 | 26A01 KOD : 32 İTAB / HAZ | - 18 °C | 130 - 95 - 144 |
| 26A01 KOD : 33 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 30 - 106 - 32 | 26A01 KOD : 33 İTAB / HAZ | - 18 °C | 178 - 132 - 161 |
| 26A01 KOD : 34 KAYNAK / WELD | - 18 °C | 109 - 41 - 47 | 26A01 KOD : 34 İTAB / HAZ | - 18 °C | 182 - 201 - 214 |



TSE KALİTE BELGE NO: 2808
 TSE KALİTE BELGE NO: 2807
 TSE KALİTE BELGE NO: 2160
 TSE KALİTE BELGE NO: 2161
 TSE KALİTE BELGE NO: 2162
 TSE KALİTE BELGE NO: 1086

ANADOLU DÖKÜM A.Ş.
 Hürriyet Cad. No:1
 Körfez / İZMİR
 Tel: 0 262 527 13 51

ANADOLU DÖKÜM SANAYİ A.Ş.
 Hürriyet Cad. No: 1 41780 KÖRFEZ/KOCAELİ
 Tel: (0 262) 527 13 51 (0 262) 527 21 90
 Faks: (0 262) 527 28 76 info@anadoludokum.com.tr
 www.anadoludokum.com.tr
 Körfez V.D-068 006 3056

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] Taban E. , **Gülşah B.**, SA-387 Gr.11 Cl.2 (13 CrMo 4-5) Yüksek Sıcaklık Dayanımlı Çeliğın Tekrarlı Isıl İşlem Koşullarında Dayanım Özelliklerinin Değişimi, *KAYNAK KONGRESİ IX. ULUSAL KONGRESİ*, Ankara, Türkiye, 14-15 Kasım 2015.



ÖZGEÇMİŞ

Fevzi Barbaros Gülşah 1983 Kocaeli doğumlu olup ilk öğrenimini takiben orta öğrenimini Kocaeli Oruç Reis Anadolu Lisesi'nde tamamlamış, 2001 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında mezun olmuştur. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansına başlamıştır. Rafineri, enerji santrali, kimya tesisleri gibi pek çok ulusal ve uluslararası projede kaynak ve kalite kontrol alanlarında görev almıştır. Kaynak mühendisliği, çeşitli seviyelerde kaynak inspektörlükleri ve tahribatsız muayene uzmanlıkları bulunmaktadır.

