

**KAYNAK SONRASI S355J2N YAPI ÇELİĞİNDE
OLUŞAN GERİLMELERİ GİDERMEK İÇİN
UYGULANAN ISIL İŞLEMİN ETKİLERİNİN
TAHRİBATLI-TAHRİBATSIZ MUAYENE
YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ**

Esra ÖZKAN
Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK
2019

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAYNAK SONRASI S355J2N YAPI ÇELİĞİNDE OLUŞAN
GERİLMELERİ GİDERMEK İÇİN UYGULANAN ISIL İŞLEMİN
ETKİLERİNİN TAHRİBATLI-TAHRİBATSIZ MUAYENE
YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ**

Esra ÖZKAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK

TEKİRDAĞ-2019

Her hakkı saklıdır.

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Esra ÖZKAN

Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK danışmanlığında, Esra ÖZKAN tarafından hazırlanan “Kaynak Sonrası 355J2N Yapı Çeliğinde Oluşan Gerilmeleri Gidermek İçin Uygulanan Isıl İşlemin Etkilerinin Tahribatlı-Tahribatsız Muayene Yöntemleriyle Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından 26.12.2019 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi S. Süreyya KARABEYOĞLU

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYNAK SONRASI S355J2N YAPI ÇELİĞİNDE OLUŞAN GERİLMELERİ GİDERMEK İÇİN UYGULANAN ISIL İŞLEMİN ETKİLERİNİN TAHRİBATLI-TAHRİBATSIZ MUAYENE YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ

Esra ÖZKAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK

Kaynak uygulamalarına günümüz endüstrisinde birleştirme yöntemi olarak yer verilmektedir. Ark kaynağı yöntemlerinden; gaz altı ark kaynağı (GMAW/GTAW) metallerde en çok tercih edilen kaynak yöntemidir. Kaynak uygulaması sırasında malzemede ısı girdisi olmaktadır. Bu sebeple ani sıcaklık değişimleri ile özellikle kaynak bölgesinde (ITAB) artık gerilmeler oluşmaktadır. Bu da malzemenin mekanik özelliklerini ve malzemenin dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Artık gerilmeleri tamamen gidermek mümkün olmasa da ısı işlemi ile artık gerilmeleri büyük ölçüde azaltmak mümkündür. Bu çalışmada; S355J2N yapı çeliğinde kaynak sonrası oluşan artık gerilmelerin malzemenin mekanik özelliklerine etkileri tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri ile incelenmiştir. Kaynak uygulamasından sonra oluşan gerilmeleri gidermek için de uygulanan ısı işleminin etkileri tahribatlı muayene yöntemleri ile belirlenmiştir. Isıl işlem öncesi ve sonrası mekanik özellikler karşılaştırılmış ve elde edilen veriler tablolar halinde verilmiştir. Bu tabloların karşılaştırılması ile kaynak uygulamasının artık gerilme oluşturarak malzemenin mukavemetini azalttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak; kaynaktan sonra artık gerilmeleri giderme ısı işlemiyle artık gerilmelerin etkilerinin büyük bir kısmının giderildiği ve malzemenin mukavemetinin de yapılan tahribatsız ve tahribatlı deneylerle arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Gaz altı ark kaynağı, Artık gerilme, Isı tesiri altında kalan bölge, Kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısı işlemi, Tahribatlı muayene, Tahribatsız muayene

2019, 80 sayfa

ABSTRACT

MSc.Thesis

THE EFFECT OF POST WELD HEAT TREATMENT ON S355J2N STRUCTURE STEEL AND INVESTIGATION WITH DESTRUCTIVE NON-DESTRUCTIVE INSPECTION METHODS

Esra ÖZKAN

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

Welding applications use as assembly method in the current industry. Gas arc welding (GMAW /GTAW) are the most preferred methods from arc welding methods. Heat input to the material would during the welding. Therefore, residual stress occurs especially on area under the influence of heat with heat changes. Also, this situation affects unfavourable mechanical properties and relative strength of material. Residual stress aren't prevent but the effect can be reduced substantially with post weld heat treatment. In this thesis; Effect of residual stress after welding on mechanical properties were inspected with destructive and non-destructive methods in structural steel S355J2N. Effect of Post weld heat treatment was detected with destructive methods. Mechanical properties were compared and published result with tables at before post weld heat treatment and after post weld heat treatment. By comparing those tables, it has been found that welding application decreases the resistance properties of the material by creating residual stress. Consequently; it has been found that the effects of residual stresses are removed a certain rate by post weld heat treatment and the material is strengthened with destructive and non-destructive methods.

Key words: Gas metal arc welding, Residual stress, Area under the influence of heat, Post weld heat treatment, Destructive methods, Non-destructive methods.

2019, 80 pages

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------------|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| ÇİZELGE DİZİNİ | v |
| ŞEKİL DİZİNİ | vii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR | ix |
| TEŞEKKÜR | x |
| 1. GİRİŞ | 11 |
| 1.1. Kaynak Yöntemleri..... | 13 |
| 1.2. Kaynak Kabiliyeti | 15 |
| 1.3. Kaynak Bölgeleri | 16 |
| 1.4. Kaynak Ağzı Uygulaması..... | 17 |
| 1.5. Kaynak Elektrodu | 17 |
| 1.6. Koruyucu Gaz | 18 |
| 1.7. Artık Gerilmeler..... | 18 |
| 1.8. Kaynak Sonrası Gerilmeleri Gidermek için Uygulanan Isıl İşlem | 19 |
| 1.9. Tahribatsız Muayene Yöntemlerine Genel Bakış..... | 20 |
| 1.9.1. Penetran Kontrol Yöntemiyle Muayene | 21 |
| 1.9.2. Ultrasonik Kontrol Yöntemiyle Muayene | 21 |
| 1.9.3. Radyografik Kontrol Yöntemiyle Muayene | 21 |
| 1.9.4. Manyetik Kontrol Yöntemiyle Muayene..... | 22 |
| 1.9.5. Görsel Kontrol Yöntemiyle Muayene | 22 |
| 1.10.Tahribatlı Muayene Yöntemlerine Genel Bakış | 22 |
| 1.10.1. Çekme Deneyi | 23 |
| 1.10.2. Eğme Deneyi | 23 |
| 1.10.3. Çentik Darbe Deneyi | 23 |
| 1.10.4. Sertlik Deneyi | 24 |
| 1.10.5. Mikroskopik ve Makroskopik Dağlama Deneyi..... | 25 |
| 2. KAYNAK ÖZETLERİ | 26 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 28 |
| 3.1. Malzeme Seçimi | 28 |
| 3.2. Numune Hazırlığı | 31 |
| 3.2.1. Kaynak Ağzı Hazırlığı | 32 |
| 3.2.2. Elektrot Seçimi..... | 33 |
| 3.2.3. Koruyucu Gaz Seçimi | 34 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3. Kaynak Uygulaması..... | 34 |
| 3.4. Tahribatsız Muayene Yöntemleri İle Kontrol | 36 |
| 3.4.1. Görsel Muayene..... | 37 |
| 3.4.2. Manyetik Parçacık Muayenesi..... | 37 |
| 3.4.3. Penetrant Sıvı Muayenesi | 39 |
| 3.4.4. Ultrasonik Muayene..... | 40 |
| 3.4.5. Radyografik Muayene | 42 |
| 3.5. Kaynaktan Sonra Gerilmeleri Giderme Isıl İşleminin Uygulanması | 43 |
| 3.6. Tahribatlı Muayene Yöntemleri İle Kontrol | 44 |
| 3.6.1. Numunelerden Tahribatlı Deney Numunelerinin Hazırlanması | 45 |
| 3.6.2. Çekme Deneyinin Uygulanması | 46 |
| 3.6.3. Eğme Deneyinin Uygulanması | 49 |
| 3.6.4. Çentik Darbe Deneyinin Uygulanması..... | 51 |
| 3.6.5. Sertlik Deneyinin Uygulanması..... | 53 |
| 3.6.6. Makroskobik ve Mikroskobik Dağlama Deneyinin Uygulanması..... | 54 |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA | 57 |
| 4.1. Tahribatlı Muayene Deney Verileri | 57 |
| 4.2. Tahribatlı Deney Verilerinin Karşılaştırılması | 68 |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER | 74 |
| KAYNAKLAR..... | 78 |
| ÖZGEÇMİŞ | 80 |

ÇİZELGE DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 3.1. 12 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin kimyasal analizi..... | 29 |
| Çizelge 3.2. 12 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları..... | 29 |
| Çizelge 3.3. 12 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çentik darbe deneyi sonuçları | 29 |
| Çizelge 3.4. 35 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin kimyasal analizi | 30 |
| Çizelge 3.5. 35 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları | 30 |
| Çizelge 3.6. 35 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çentik darbe deneyi sonuçları | 30 |
| Çizelge 3.7. Kaynak ağzı geometrisi | 32 |
| Çizelge 3.8. SG2 ve SGMo tel elektrotun kimyasal analizi | 33 |
| Çizelge 3.9. SG2 ve SGMo tel elektrotun mekanik özellik analizi..... | 34 |
| Çizelge 3.10. 212 karışım gazının kimyasal özellikleri | 34 |
| Çizelge 3.11. SG2 tel kullanarak uygulanan kaynak parametreleri | 35 |
| Çizelge 3.12. SGMo tel kullanarak uygulanan kaynak parametreleri..... | 36 |
| Çizelge 3.13. Kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi zaman sıcaklık grafiği | 43 |
| Çizelge 3.14. EN ISO 15 614-1 standardına göre muayene gereklilikleri | 44 |
| Çizelge 3.15. TS EN ISO 4063 standardına göre çekme deneyi için deney parçalarının ölçüleri | 47 |
| Çizelge.3.16. Çentik darbe deneyi numunesi için toleranslar | 51 |
| Çizelge 4.1. 12 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çekme deneyi verileri..... | 57 |
| Çizelge 4.2. 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış S355J2N numune için çekme deneyi verileri..... | 57 |
| Çizelge 4.3. 35 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çekme deneyi verileri..... | 58 |
| Çizelge 4.4. 35 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış S355J2N numune için çekme deneyi verileri..... | 58 |
| Çizelge 4.5. 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış toplam 16 adet deney numunesine uygulanan eğme deneyinin sonuçları | 59 |
| Çizelge 4.6. 12 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri..... | 60 |
| Çizelge 4.7. 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri..... | 61 |
| Çizelge 4.8. 35 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri..... | 62 |

| | |
|---|----|
| Çizelge 4.9. 35 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıtma işlemi uygulanmış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri..... | 63 |
| Çizelge 4.10. 12 mm kalınlığında ısıtma işlemi uygulanmamış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri..... | 64 |
| Çizelge 4.11. 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıtma işlemi uygulanmış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri | 65 |
| Çizelge 4.12. 35 mm kalınlığında ısıtma işlemi uygulanmamış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri..... | 66 |
| Çizelge 4.13. 35 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıtma işlemi uygulanmış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri. | 67 |
| Çizelge 4.14. 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış toplam 4 adet deney numunesine uygulanan makroskobik ve mikroskobik dağlama deneyinin sonuçlar | 68 |
| Çizelge 4.15. 12 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıtma işlemi uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıtma işlemi uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına göre akma ve kopma mukavemetinin karşılaştırması | 69 |
| Çizelge 4.16. 35 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıtma işlemi uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıtma işlemi uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına göre akma ve kopma mukavemetinin karşılaştırması | 70 |
| Çizelge 4.17. 12 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıtma işlemi uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıtma işlemi uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına yüzde uzama değerlerinin karşılaştırması..... | 70 |
| Çizelge 4.18. 35 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıtma işlemi uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıtma işlemi uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına göre yüzde uzama değerlerinin karşılaştırması | 71 |
| Çizelge 4.19. 12 ve 35 mm kalınlıklarındaki S355J2N numunelerin ısıtma işlemi öncesi, sonrası ve kaynaklı malzemelerine göre darbe tokluklarının karşılaştırılması. | 72 |
| Çizelge 4.20. 12 ve 35 mm kalınlıklarındaki S355J2N numunelerin ısıtma işlemi öncesi, sonrası ve kaynaklı malzemelerine göre malzeme, ITAB ve kaynak bölgelerinde vickers sertlik değerlerinin karşılaştırılması. | 73 |

ŞEKİL DİZİNİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. ITAB bölgesinde tane yapısı değişimi | 17 |
| Şekil 3.1. Tam nüfuziyetli alın kaynağı uygulanan deney numunesinin geometrisi..... | 31 |
| Şekil 3.2. Kaynak ağzı açılmış numune | 33 |
| Şekil 3.3.Kaynak uygulaması tamamlanmış numuneler | 36 |
| Şekil 3.4. Görsel muayene de kullanılan lüxmetre, fener, kaynak yükseklik mastarı..... | 37 |
| Şekil 3.5. Manyetik parçacık muayenesinde kullanılan ekipmanlar | 38 |
| Şekil 3.6. Beyaz solvent uygulanmış numune..... | 38 |
| Şekil 3.7. Akım altında manyetik metal tozu uygulanmış numune..... | 38 |
| Şekil 3.8. Penetrant sıvı muayenesinde kullanılan spreyleyler | 39 |
| Şekil 3.9. Kırmızı pentetrant uygulaması yapılmış numune | 40 |
| Şekil 3.10. Geliştirici spreyley uygulaması yapılmış ve pentrant sıvı muayenesi tamamlanmış numune | 40 |
| Şekil 3.11. Ultrasonik muayene uygulaması sırasında ekran görüntüsü ve anlık olarak probun konumu | 41 |
| Şekil 3.12. Kalibrasyon bloğu ve açılı prop. | 41 |
| Şekil 3.13. TS EN 17 636-1 'e göre çekim şekli | 42 |
| Şekil 3.14. Radyografik muayene filminin kaynak dikişi bölgesindeki kesiti. | 42 |
| Şekil 3.15.Tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrolü tamamlanmış numuneler. | 43 |
| Şekil 3.16. EN ISO 15614-1 standardına göre tam nüfuziyetli alın kaynağı için numune çıkarılan bölgeler | 45 |
| Şekil 3.17. 1'er adet 12 mm ve 35 mm kalınlığındaki numunelerden çıkarılan numuneler . | 46 |
| Şekil 3.18. Çekme deneyi için numuneden çıkarılan numune geometrisi..... | 47 |
| Şekil 3.19. 1 kaynaklı plakadan çıkarılan çekme deneyi numuneleri, işleme ve çekme deneyi sonrası numuneler..... | 48 |
| Şekil 3.20. WEW-1000D çekme- eğme testi için kullanılan cihaz | 48 |
| Şekil 3.21. Enine kenar eğme numunesinin geometrisi | 49 |
| Şekil 3.22. Enine kenar eğme numuneleri | 49 |
| Şekil 3.23. Mandrel mesafesinin belirlenmesi | 50 |
| Şekil 3.24. Eğme deneyi sonucunda numuneler..... | 50 |
| Şekil.3.25. V çentik darbe deneyi numune geometrisi | 51 |
| Şekil.3.26. ITAB ve kaynak bölgelerinden çıkarılan çentik darbe deneyi numuneleri..... | 52 |
| Şekil 3.27. WF10X/18 model numaralı çentik darbe deneyi cihazı..... | 52 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.28. Kırılan numuneler | 53 |
| Şekil 3.29. SHBRV187.5 model sertlik ölçüm cihazı | 53 |
| Şekil 3.30. Makroskobik ve mikroskobik dağlanan ve sertlik deneyi uygulanan numuneler | 54 |
| Şekil 3.31. Hazırlanmış kimyasal dağlayıcı | 55 |
| Şekil 3.32. Makroskobik dağlanan ve sertlik deneyi uygulanan numuneler | 55 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

| | |
|------|----------------------------------|
| TIG | : Tungsten İnerit Gaz Kaynağı |
| MAG | : Metal Aktif Gaz Kaynağı |
| MIG | : Metal İnerit Gaz Kaynağı |
| ITAB | : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge |
| HRB | : Brinell Sertliği |
| HRC | : Rockwell Sertliği |
| HV | : Vickers Sertliği |
| VT | : Görsel Muayene |
| MT | : Manyetik Muayene |
| PT | : Penetrant Muayene |
| UT | : Ultrasonik Muayene |
| RT | : Radyografik Muayene |
| WPS | : Kaynak Prosedürü Onay Kaydı |
| PQR | : Prosedür Yeterlilik Belgesi |

TEŞEKKÜR

Kaynaklı birleştirmelerden sonra oluşan artık gerilmeler, malzemenin mekanik özelliklerine olumlu veya olumsuz etki etmektedir. Malzeme üzerinde oluşan artık gerilmelerin ısıtılma işlemi ile giderilmesi ve ısıtılma işleminin etkilerinin tespit edilmesi oldukça hassas bir proses ve ölçüm gerektiren bir süreçtir. Bu proses ve süreçlerin nasıl işlediği ve hangi parametreler altında incelendiği bu çalışmada detaylı olarak anlatılmış ve analiz edilmiştir.

Öncelikle hayatımın her döneminde beni destekleyen aileme olmak üzere, bilgi ve birikimleri ile bana destek veren kaynak mühendisi Ahmet Seymen ÖZTÜRK'e, tecrübeleri ile beni yönlendiren QVV Tahribatlı ve Tahribatsız Test Laboratuvarı'nın yöneticisi Bülent GÜMÜŞEL'e, test imkanlarını kullanmama imkan sağlayan QVV Tahribatlı ve Tahribatsız Test Laboratuvarı'na, imalat imkanlarını kullanımına sunan Has Group Makine Endüstri A.Ş'ye , bu çalışma sırasında desteğini esirgemeyen ve yönlendiren tez danışmanım Sayın Dr. Öğretim Üyesi Nurşen ÖNTÜRK teşekkürü borç bilirim.

Aralık, 2019

Esra ÖZKAN

Makine Mühendisi

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinde, kaynak uygulamalarına yaygın olarak yer verilmektedir. Çelik konstrüksiyon, otomotiv, havacılık, savunma sanayi, tersane yapıları, endüstriyel makine imalatı gibi endüstrimizin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır.

Kaynaklı imalat, mevcut zorlamalara uygun, kaynak dikişi yığılmalarının önlenebildiği durumlarda, döküm, dövme ve presleme imalat yöntemlerine göre tercih edilmektedir. Bu tercih; malzeme daha kolay şekillendirilebildiğinden, daha rijit ve daha hafif parçalar elde edilebildiğinden, model ve kalıp maliyeti bulunmadığından, hurda oranı düşüklüğünden ve imalat süresi kısalığından dolayı yapılmaktadır.

Kaynak uygulamaları; kaynak yapılan malzemeye göre, kaynağın amacına göre, kaynağın uygulanma yöntemine göre ve birleştirme yöntemlerine göre sınıflandırılabilir. Birleştirme yöntemine göre kaynak uygulamaları da eritme ve basınç kaynağı olarak sınıflandırılır. Eritme kaynağı da kendi içerisinde kullanılan elektrotun cinsine ve koruyucu gazın cinsine göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırmada gaz altı kaynak yöntemleri; erimeyen bir elektrotla yapılan TIG, çıplak elektrotla soy gaz atmosferi altında MIG eriyen metal elektrot ile karbondioksit atmosferi altında MAG, yaygın kullanılan yöntemlerdir.

Son yıllarda gelişen teknolojinin sonucu olarak yapılan her üretimde, imal edilen her mamulde, ekonomiklik, fonksiyonellik, verimlilik aranmaktadır. Bu sebeple kaynaklı imalat tasarımında rijitliği ve mukavemeti değiştirmeden boyut ve ağırlığı azaltmak hedeflenmektedir. Bu amaç doğrultusunda konstrüksiyonlarda kullanılan malzemelerde ekonomiklik aranmaktadır. Aynı zamanda iş gücü verimliliği artırılarak üretim maliyetlerinde azalma sağlanmaktadır. Fakat tüm bu durumlar kaynak teknolojisini de yeni problemler ile baş başa bırakmaktadır.

Kaynak teknolojisinde gelişmeler sağlanırken karşılaşılan en önemli problemler; kaynaklı imalatlardaki distorsiyon, artık gerilmeler ve erken hasardır. Kaynak uygulaması sırasında ısı tesiri altında kalan bölgede ani sıcaklık değişimi ile basma ve çekme gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler akma sınırını aşarsa plastik şekil değişimine yani distorsiyona sebep olur. Yükün malzeme üzerinden kalkmasına rağmen malzemede mevcut olan gerilmeler de artık gerilmelerdir. Kırılma sınırını aşan gerilmeler ise malzeme üzerinde çatlamalara ve kırılmalara

yani erken hasara sebebiyet verir. Tüm kaynak yöntemlerinde malzemenin mekanik davranışına, cinsine ve kalınlığına göre şiddeti değişse bile bu riskler bulunmaktadır.

Kaynaklı imalatta diğer imalat yöntemlerinde olduğu gibi artık gerilmelerin oluşumunu engellemek mümkün değildir. Fakat uygun bir tasarım ile uygun malzeme seçimi, uygun kaynak parametreleri seçimi, ısı girdisi kontrollü bir kaynak uygulaması ile distorsiyon ve erken hasarı engellemek mümkündür. Ayrıca malzeme üzerinde distorsiyon ve erken hasarın engellenmesi malzemede yük altında hasar oluşmayacağı anlamında gelmez. Engellenemeyen artık gerilmeler ve kaynak sırasında oluşmuş olabilecek yüzeysel ve hacimsel kusurlar ile tasarımda belirlenen yük değerine dayanım mümkün değildir. Bu sebeple kaynak metalinde, esas metalde ve ısı tesiri altında kalan bölgede oluşmuş olabilecek hacimsel ve yüzeysel kusurlar kontrol edilmelidir. Hacimsel kusurlara; boşluklar, nüfuziyet azlığı, aşırı yığılma, krater çatlaklar örnektir. Yüzeysel kusurlara ise; çatlaklar, kalıntılar, yanma olukları, dikiş bozuklukları örnektir. Tüm bu kusurlar malzemenin dayanımını etkilediği tespit edilmeli hata tamir sınırında ise tamir edilmeli, tamir edilemiyorsa malzeme tasarımdaki dayanımı sağlamayacağı için kullanılmamalıdır (Anık, 2013).

Kaynak dikişindeki hacimsel ve yüzeysel kusurlar tahribatsız muayene yöntemleri ile tespit ve kontrol edilmektedir. Başlıca tahribatsız muayene yöntemleri; görsel muayene, manyetik parçacık muayenesi, penetrant sıvı muayenesi, ultrasonik muayene ve radyografik muayenedir.

Kaynak uygulamasından sonra erken hasar, distorsiyon, hacimsel ve yüzeysel kusur meydana gelmemiş ve tahribatlı muayene yöntemleri ile kontrol de edilmiş olsa dahi artık gerilmeler mevcuttur. Artık gerilmelerin oluşmasını engellemek mümkün olmasa da artık gerilmeleri arttırmamak için; tıpkı erken hasarı engellemek için kontrol altında tutulması gerekenlerde bahsedildiği gibi; uygun tasarım, uygun kaynak parametreleri kullanılmalı, ısı girdisi de kontrol altında tutulmalıdır. Artık gerilmeler malzeme statik ve dinamik yükler altında çatlama, kırılma, kopma gibi durumlara yol açabileceğinden istenmeyen bir durumdur.

Kaynak uygulamalarından sonra kaynak dikişinde işleme yapılması gerekli ise bu operasyon ile malzeme üzerindeki artık gerilmelerin etkisi daha da fazla artmaktadır. Bu durum yük altında tasarımda belirlenmiş dayanımın sağlanamamasına, gevrek kırılmalara sebep olabilmektedir. Bu yüzden, artık gerilmelerin tamamen yok edilmesi mümkün olmasa da kaynaktan sonra gerilim giderme ısıl işlemi ile büyük ölçüde yok etmek mümkündür. Isıl

işlemin artık gerilmeleri ne kadar yok ettiğini, ısıtılardan önce ve ısıtılardan sonra yapılan tahribatlı muayene sonuçları kıyaslanarak tespit edilebilmektedir.

Tahribatlı muayene yöntemleri ile artık gerilmenin etkileri de kaynak uygulamasından önce ve kaynak uygulamasından sonra tahribatlı muayene yöntemleri kullanılarak tespit edilebilmektedir. Bu deneyler ile tahribatlı muayene yöntemleri ile tespit edilen artık gerilmelerin etkileri ve artık gerilmelerin giderilmesi için uygulanan ısıtılardan önce ve ısıtılardan sonra yapılan tahribatlı muayene sonuçları kıyaslanarak tespit edilebilmektedir. Bu deneyler ile tahribatlı muayene yöntemleri ile tespit edilen artık gerilmelerin etkileri ve artık gerilmelerin giderilmesi için uygulanan ısıtılardan önce ve ısıtılardan sonra yapılan tahribatlı muayene sonuçları kıyaslanarak tespit edilebilmektedir.

1.1. Kaynak Yöntemleri

Kaynak, metal malzemeleri birleştirmek için kullanılan bir imalat yöntemidir. Bu imalat yönteminde, kullanılacak parçaların kaynak yapılacak bölgeleri eritilir ve bu alana dolgu malzemesi eklenir. Ek yerleri soğutulmuş sertleşmesi sağlanır. Bazı durumlarda ısı ile birleştirme yöntemi yerine basınç ile birleştirme yöntemi de tercih edilebilir.

Kaynak işlemi, birleştirme yöntemlerine göre eritme kaynağı ve basınç kaynağı olarak iki grup altında sınıflandırılabilir. Bu yöntemlerden biri olan eritme kaynağının prensibi; malzemeyi sadece ısı tesiri ile bölgesel olarak eritip, ilave bir metal malzeme kullanılarak veya ilave bir metal malzeme kullanılmadan birleştirilmesidir. Basınç kaynağının prensibi ise; birleştirilecek malzemenin, ısı tesiri uygulanarak veya uygulanmayarak, ilave bir metal malzeme kullanılmadan, basınç altında, bölgesel olarak ısıtılarak birleştirilmesidir.

Kaynak işleminin iki ana sınıfı olan, eritme ve basınç kaynağı da kendi aralarında sınıflandırılır. Kullanılan elektrot malzemesi ve koruyucu gazın cinsine göre yapılan sınıflandırma aşağıdaki gibidir.

1. Erimeyen elektrotla yapılan gaz altı kaynağı
 - 1.1. Erimeyen iki elektrotla yapılan gaz altı kaynağı (Ark Atom Kaynağı)
 - 1.2. Erimeyen bir elektrotla yapılan gaz altı kaynağı (TIG)
2. Eriyen elektrotla yapılan gaz altı kaynağı
 - 2.1. Çıplak elektrotla soy gaz atmosferi altında gaz altı kaynağı (MIG)
 - 2.2. Eriyen metal elektrot ile karbondioksit atmosferi altında gaz altı kaynağı (MAG)

MIG (Metal İnerit Gaz) kaynak yöntemi; alüminyum ve alaşımları, yüksek alaşımlı çelikler, bakır ve diğer metallerin kaynağında kullanılır. Bu yöntemi TIG (Tungsten İnerit Gaz) kaynak yönteminden ayıran fark, arkın kaynak yerine nüfuz eden elektrot ile iş parçası arasında konumlandırılmasıdır. Yöntemin adından da anlaşılacağı gibi bir soy gaz (inert gaz) kullanılır. Helyum veya argon gibi bir soy gaz tercih edilir. Koruyucu gaz olarak karbondioksit ve diğer aktif gazlar kullanılmaktadır.

Karbondioksitin tek başına koruyucu gaz olarak kullanımı ile ilgili denemeler yapılmıştır. Kaynakta çok fazla sıçrama ve aşırı gözenek oluşumu gibi yüzeysel hatalar ile karşılaşmıştır. Bunun nedeninin karbondioksit safiyetsizliği ile tuttuğu nem oranının yüksekliği olduğu anlaşılmıştır.

Kaynak donanımı açısından MIG yöntemi ile MAG yöntemi arasında bir farklılık yoktur. Birbirlerinden ayıran tek fark kullanılan koruyucu gazlardır.

Karbondioksit gibi aktif bir koruyucu gaz kullanılan kaynak yöntemine ‘metal aktif gaz’ kelimelerinin baş harflerinden oluşan MAG kaynak yöntemi adı verilmiştir. MIG kaynak yönteminde kullanılan koruyucu gazda olduğu gibi, bu yöntemde kullanılan korucu gazda; kaynak arkını yumuşatmak ve sıçrantıyı azaltmak için karbondioksit ile argon karıştırılarak kullanılmaktadır. Kullanılan argon gazı %85 seviyesine çıkabilmektedir. Bazı uygulamalarda ise karışım gazının içerisine düşük miktarlarda oksijende ilave edilerek kullanılmaktadır. Bu karışım ile birlikte daha kalın çaplı elektrotlar kullanılarak daha düzgün kaynak dikişleri elde edilebilmektedir.

Metalin çoğu oksit oluşturmak üzere, oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim gösterirler. Metal nitritleri oluşturulmak üzere de azotla birleşmeye de düşük ölçüde eğilim gösterirler. Bunun sonucunda; oksijen erimiş metaldeki karbonla reaksiyona girerek karbonmonoksit gazı oluşturur. Bu reaksiyonların sonucunda oluşan etkiler aşağıdaki maddeler gibidir.

1. Oksitler nedeniyle erime hataları artar.
2. Gözenek, oksit ve nitrürler nedeniyle mukavemet kaybı olur.
3. Oksitler ve nitrürler nedeniyle kaynak metali gevrekleşir.

Koruyucu gazın temel görevi, çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosu ile temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz, örtülü elektrotlardaki örtünün görevini görür. Koruyucu gazın bu görevi dışında kaynak işlemi ve oluşan kaynak dikişine önemli etkileri de vardır. Arkın karakteristiğine, kaynak nüfuziyetine, kaynak hızına, kaynak yüzeyinde yanma oluşu oluşma eğilimine de etkisi vardır. Ayrıca temizleyici bir görevi de vardır. Koruyucu gazlar, alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini ve azot ile hidrojen gibi zararlı gazların kaynak metaline absorbe olmasını önlemektedirler.

Sıvı haldeki kaynak bölgesinde ergimiş haldeki tüm metaller, havadaki oksijeni ve azotu absorbe ederler. Ergimiş metalde çözünen bu gazlar, katılaştan metalde alaşım elementleri ile bileşik yaparak kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler. Gözenek oluşumu ile gevrekleşmeye neden olurlar.

Herhangi bir kaynak işlemi için gaz seçiminde dikkat edilmesi gereken özellikleri; kaynatılan metal veya alaşımların türü, ark karakteristiği, kaynak hızı, parça kalınlıkları, kaynak dikişinin biçimi, istenen nüfuziyet, kaynak dikişi ile kaynaklı parçadan beklenen mekanik özellikler, piyasada bulunabilirlik gibi özetle sıralayabiliriz.

Son yıllarda geliştirilen, istenen alaşım elementlerini bulduran, arkın kararlılığını ve deoksidasyonunu sağlayan özlü elektrotlar sayesinde MIG ve MAG kaynak yöntemleri endüstride yaygın olarak tercih edilmektedir.

Elektrot seçiminde dikkat edilecek kriterler olarak da; malzemenin mekanik özellikleri, esas metalin kimyasal bileşimi, koruyucu gazın türü, esas metalin kalınlığı ve geometrisi, çalışma ortamının koşulları, elektrotun yüzey düzgünlüğü ve temizliğinin yeterli olması olarak sıralanabilir. Bu özelliklerin sağlanmaması; kaynak işlemi esnasında kaynak dikişinde süreksizlik, gözenek, kötü görüntülü kaynak dikişlerinin ortaya çıkması gibi sonuçlara neden olur.

1.2. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak uygulamasında amaç sadece birleştirme yöntemi ile parça imal edilmesi değildir. Kaynaklı parçasın tasarımda belirlenen çalışma koşullarına dayanımı olması gereklidir. Bu sebeple kaynak kabiliyetinin önemi büyüktür. Malzemelerin kaynak uygulaması sırasında elde edilen nüfuziyeti kaynak kabiliyetinin göstergesidir. Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün IX numaralı "Kaynak Kabiliyeti" Komisyonu da, kaynak kabiliyetine şöyle

açıklama getirmektedir : "Bir metalik malzeme, verilen bir usul ile bir maksat için bir dereceye kadar kaynak yapılabilir diye kabul edilir. Uygun bir usul kullanarak kaynaklı metalik bağlantı elde edilgi zaman, bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona tesirleri bakımından tayin edilmiş bulunan şartları sağlamalıdır."

Kaynak kabiliyeti, malzemenin kalınlık, elektrot çapı, ısıl işlem durumu, sıcaklık, homojenlik, dolgu malzemesi cinsi, gaz banyosu ve özellikle kimyasal kompozisyonu ile doğrudan ilgilidir. Karbon, mangan, krom, molibden, vanadyum, nikel ve bakır kaynak kabiliyetini etkileyen elementlerdir. Kaynak kabiliyetini belirleyen element karbondur.

Karbon oranı %0,30'un üzerindeki malzemeler için ön tavlama yapılarak kaynak kabiliyetinin artırılması gerekmektedir. Kaynak kabiliyeti, yüksek soğuma hızından dolayı sertlikle ters orantılıdır. Karbon sertliği de en çok etkileyen element olduğu için sert malzemenin kaynak kabiliyeti daha düşüktür.

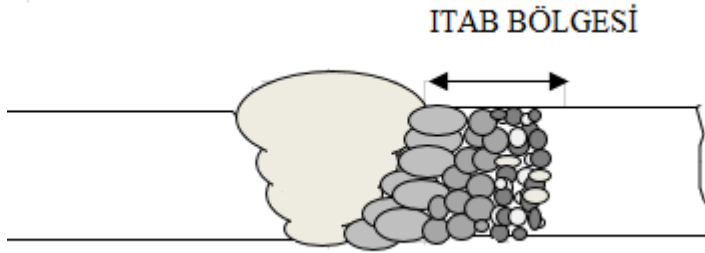
Ön tavlama uygulanması kaynak kabiliyetinin artması için tavsiye edilir. Karbon oranından ziyade kaynak kabiliyetini etkileyen diğer elementlerin de etkisi göz ardı edilmemelidir. Bunun için karbon eşdeğerinden yararlanılır.

Karbon eşdeğeri ; $\%Ceş = \%C + (Mn/6) + ((Cr + Mo + V)/5) + ((Ni + Cu)/15)$ formülü ile hesaplanır. Bu formül sonucunda %0,45'e kadar ön tavlamaya gerek duyulamamaktadır.

1.3. Kaynak Bölgeleri

Kaynak uygulamasından sonra kaynaklı parça üç kısımda incelenebilir. Bunlar; esas metal, ısı tesiri altında kalan bölge, eriyen bölge bölgedir. Eriyen bölge kaynak banyosunun etkisi ile esas metal ile dolgu metalinin karışarak katılaşmasıdır. Eriyen bölge kaynak ağzı, dolgu malzemesi, esas metal, kaynak yöntemi gibi değişikliklerde farklılıklar gösterir. Isı tesiri altında kalan bölge, eriyen bölgenin esas metal ile birleştiği kısımdan itibaren 1400C ile 700C arasında sıcaklığın etkisi altında kalan bölgedir. Bu bölgedeki hızlı soğuma ve ani sıcaklık değişimleri gerilmelere sebep olmaktadır.

Artık gerilmeler çatlaklara ve gevrek kırılmalara yol açabilir. Bu nedenle ITAB bölgesindeki sertlik değerinin 350 HV değerini geçmemesi gereklidir. ITAB bölgesindeki sıcaklık dağılımı ve soğuma hızı bilinirse malzemenin içyapısındaki değişimi tespit etmek mümkün olur. Şekil 1.1.'de ITAB bölgesinde tane yapısında meydana gelen değişimler çizim halinde görülmektedir.



Şekil 1.1. ITAB bölgesinde tane yapısı değişimi

1.4. Kaynak Ağzı Uygulaması

Kaynak ağzı, kalın parçalarda kaynağın ve birleşimin mukavemetini, arttıran bir uygulamadır. Kaynağın mukavemeti ve nüfuziyeti; kaynak ağzı şekline, arkın meydana getirdiği sıcaklığa, elektrot cinsine, birleşme derinliğine bağlıdır. Kaynak ağzının açılması 8mm kalın çelik saclar için zorunludur. Kaynak ağzı TS 3473 standardında detaylandırılmıştır.

Genel kaynak ağzı tipleri V,U,J kaynak ağzıdır. V kaynak ağzı diğer kaynak ağzı tiplerine göre daha yaygın olarak kullanılır. Çünkü V kaynak ağzının açılması daha az işçilik gerektirir, oksijen-gaz ile kesmeden açılabilir, daha ekonomiktir. 10 mm'den kalın parçalarda ise çift taraflı kaynak ağzı açılmalıdır.

Kaynak ağzı açılmış parçanın kaynağı sırasında oluşan artık gerilmeler, kaynak ağzı açılmamış parçanın kaynağı sırasında oluşan artık gerilmelere göre daha azdır. Ayrıca kaynak ağzı; elektrot sarfiyatını azaltır, distorsiyonu önler.

1.5. Kaynak Elektodu

Elektrot seçimi esas metal ile birlikte eriyip karışarak kaynak metalini oluşturacağı ve kaynak metalinin ısıl ve elektriksel özellikleri belirlediğinden önemlidir. Elektrot özelliklerini bilmek ITAB bölgesindeki değişimlerin tahmini açısından da önemlidir.

Gaz altı ark kaynağı yöntemlerinden olan MAG kaynak yöntemi için seçilen elektrotun kaynak sırasında kaybedilen elementleri karşılayacak nitelikte olması gereklidir. Bu nedenle elektrot seçiminde, esas metalin kimyasal bileşimi, mekanik özellikleri ve koruyucu gaz bileşiminin bilinmesi gereklidir. MAG kaynağında yanma sırasında oluşan mangan ve silisyum kaybının telden karşılanması gereklidir. Düşük alaşımlı veya alaşımsız çeliklerin kaynağında masif veya özlü tel elektrotlar kullanılır. Bu elektrotların seçimi kullanılan gaza göre yapılmalıdır. Masif tel elektrotlar; kaynak metali ile iyi derecede deoksitlenmiş olan alaşımlı tellerdir. Özlü tel elektrotlar; örtüsünde metal olmayan bileşenler bakımından masif tel elektrotlardan ayrılır. Üretim şekline bağlı olarak dolgu toz biçindedir. Dolgusunda cüruf yapıcı olmayan metal tozları yer alır. Masif tellere göre ark enerjisi, damla geçiş şekli, erime şekli, cüruf oluşturmamaya meyli daha iyidir.

1.6. Koruyucu Gaz

Gaz altı ark kaynağında koruyucu gazlar; kullanılan elektrotun kaynak metali oluşturmasını kimyasal bileşen yönünden destekleyerek mekanik özelliklere katkıda bulunmalı ve reaksiyonu uygun olmalı, kaynak bölgesini ısıdan koruyarak tamamen örtmeli, kaynak metalinin soğuma hızına katkıda bulunmalı, ark karakteristiğini ve damla geçişini sağlamalı, kaynak hızına uygun olmalıdır. Koruyucu gazlar aktif ve inert gaz olarak sınıflandırılırlar. İntert gazlar demir dışı metal ve alaşımların kaynağında, aktif gazlar veya karışım gazları farklı kimyasal bileşimde ve özellikle çeliklerin kaynağında kullanılabilir.

1.7. Artık Gerilmeler

Tüm imalat yöntemleri, malzeme üzerinde kalıntı gerilmeler bırakmaktadır. Kaynak işlemi de kalıntı gerilme oluşturan imalat yöntemlerinden biridir. Eritme kaynağı olarak sınıflandırdığımız tüm kaynak yöntemleri, kalıntı gerilme oluşturur. Bu kaynak yöntemleri ile birleştirilen tüm malzemeler, bölgesel olarak erime sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa maruz kalmaktadır. Bu nedenle kaynak bölgeleri ısıl etkiler ile karşılaşmaktadır. Kaynak metalinden, ısıdan etkilenmiş bölgeye doğru olan ısı girdisi akmaya sebep olacak büyüklükte olduğunda; bu bölgede ısıl yumuşama ve iç gerilmeler oluşur.

Elastik kalıntı gerilmelerin ulaşabileceği maksimum değer akma sınırı değeridir. Akma sınırını geçen gerilmeler ise plastik deformasyona sebep olmaktadır. Oluşan ısı değişimi, malzeme üzerinde genleşme ve soğuma oluşturmaktadır. Soğuma sırasında oluşan çekinti ve faz dönüşümü, malzeme üzerinde çekme yönünde kalıntı gerilmelere yol açmaktadır.

Kaynak sonucu oluşan kalıntı gerilmeler; kaynak konstrüksiyonun dayanımını azaltmaya, distorsiyona, çatlak oluşumuna, kaynak dikişinde gevrek kırılmaya, çatlamaya sebep olmaktadır. Gerilme giderme ısı işlemleri, kaynak işleminden dolayı oluşan kalıntı gerilmelerin miktarını önemli ölçüde azaltır. Isıl işlemlerden sonra kalan kalıntı gerilmelerinde; düşük değerlere sahip olsalar da kayda değer etkilere sebep olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

1.8. Kaynak Sonrası Gerilmeleri Gidermek için Uygulanan Isıl İşlem

Kaynak sonrası gerilmeleri giderme tavlama; kaynak sonrası, malzemeyi alt kritik sıcaklığın altında bir sıcaklığa kadar ısıtarak bu sıcaklıkta bir süre tutarak ardından yavaş yavaş soğutmaya bırakarak uygulanan ısıl işlemdir. Temperleme veya menevişlemeye de benzerdir.

Kaynaktan sonra gerilmeleri gidermeyi gerektiren malzemeler; ferritik çelikler (karbonlu çelikler, alçak alaşımlı çelikler), yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martensitik türleridir.

Ferritik çelikler sınıfına ait karbonlu çelikler de kendi arasında üçe ayrılır. Bu sınıflandırma; düşük karbonlu çelikler ($C < 0,25$), orta karbonlu çelikler ($C < 0,25-0,50$), yüksek karbonlu çelikler ($C > 0,50$) olarakır.

Düşük karbonlu çelikler hariç tüm karbon çeliklerinde kaynaktan sonra, gerilmeleri giderme tavlama uygulanması gerekmektedir. Bu malzemeler dışında; östenitik paslanmaz çeliklere, nikel ve alaşımlarına, alüminyum ve alaşımlarına, bakır ve alaşımlarına, titanyum ve alaşımlarına, istisnai haller hariç kaynak sonrası gerilmeleri giderme tavlama uygulanması gerekmez.

Kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işleminde varılması gereken son sıcaklık, parçanın bu sıcaklıkta tutulma süresi ve sıcaklığın yükselme ve azalma hızı da göz önünde bulundurulularak belirlenir. Yumuşak çelikten imal edilen mekanik konstrüksiyonların, tabii tutulması gereken genel sıcaklık $600-650\text{ C}^\circ$ olarak kabul edilmiştir.

Tav fırınının kapaklarının, hızlı soğuma nedeniyle oluşan yeni gerilmelerden kaçınmak için sıcaklık 300 C° 'a düşmeden açılmaması önerilir. Alaşımın çeliklerde kaynak sonrası gerilme giderme işleminin adımları şu şekilde izlenebilir; 300 C° sıcaklığa ulaşıldıktan sonra parça kalınlığının milimetresi başına ilave 50 C° ve azami 200 derece sıcaklık yükseltmektir. Ardından parçayı 600 C° ile 650 C° azami sıcaklıkta 20 dakika olmak üzere ilave parça kalınlığı milimetresi başına 2.5 dakika süreyle tutmak, 150 C° ile 300 C° derece arasında sıcaklık düşüşleri ile 300 C° sıcaklığa kadar fırının kapakları kapalı soğutma, 300 C° derece sıcaklığa düşüldükten sonra durgun havaya çıkarılabilir. Hassas parçalarda 100 C°'ye kadar düşürülebilir. sakın havaya çıkarılabilir. Soğuma sırasında ortamda hava akımı olmamasına özen gösterilmelidir.

Parçanın bekletilmesi gereken alt sıcaklığın seçimi, parçayı bu sıcaklıkta tutma süresi ile doğrudan ilgilidir. 550 C° derecede tutma süresi, 600 C° derecede tutma süresinin üç katıdır. Alaşımın çelikler için ise azami sıcaklık 710 C° 'a kadar çıkabilir.

1.9. Tahribatsız Muayene Yöntemlerine Genel Bakış

Kullanım amacı için gerekli olan özellikleri bozmadan, hasar vermeden gerektiğinde tüm malzemenin muayenesine imkan veren deneylere tahribatsız muayene yöntemleri denir. Tahribatsız muayene, incelenen kaynaklı ve kaynaklı bölgedeki; yüzeysel ve hacimsel hataların bulunduğu bölgeyi bulma imkanı verir. İmalatın başında, hataları tespit edip, düzeltme imkanı verir. Ayrıca malzemenin hadde ve döküm aşamasından sonraki hataların tespit edilmesini sağlayarak, imalata hatasız başlanmasına olanak sağlar. Dolayısıyla malzemeye ve imalata güvence sağlar.

Tahribatsız muayene yöntemlerinin iyi bilinmesi, doğru ve yetkinlik almış kişiler tarafından uygulanması, malzeme iç yapısının daha güvenilir incelenmesine olanak sağlar. Tahribatsız muayene, parça üzerinde hiçbir hasar veya iz bırakmaz. Bu açıdan tahribatsız muayene yöntemleri bitmiş parçalara da uygulanabildiği gibi ana malzemeye de uygulanır. Deney sonucunda parçanın hata içerip içermediği belirlenir. Tahribatsız muayene yöntemleri genel olarak 5 ana bölümde sınıflandırılabilir. Bunlar; penetrant sıvı ile kontrol, ultrasonik kontrol, radyografik kontrol, manyetik kontrol ve görsel kontroldür. Bunlardan bazıları yüzeysel, bazıları hacimsel hatanın tespitine yöneliktir. Aşağıdaki alt bölümler ile açıklanmıştır.

1.9.1. Penetrant Kontrol Yöntemiyle Muayene

Yüzey hatalarının tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Muayene yüzeyindeki açık süreksizlikler, kapiler etki ile nüfuz etmiş olan penetrant sıvısı, geliştirici tarafından tekrar yüzeye çekilerek süreksizlik yüzeyleri elde edilir. Süreksizlikler çatlak türü ise çizgisel belirtiler, gözenek türü ise yuvarlak belirtiler olarak gözlemlenir. Endüstride kullanılan kaynaklı ve kaynaksız bütün malzemelerde beklenen yüzey hatalarının tespiti için kullanılabilir.

1.9.2. Ultrasonik Kontrol Yöntemiyle Muayene

Yüksek frekanslı ses dalgalarıyla malzemeyi hacimsel olarak kontrol etme yöntemidir. Malzeme içine gönderilen yüksek frekanslı ses dalgaları, ses yolu üzerinde bir engele çarparsa yansır. Çarpma açısına bağlı olarak yansıyan sinyal, alıcı başlığa (prob) gelebilir veya gelmeyebilir. Alıcı başlığa (prob) yansıyan sinyal, ultrasonik muayene cihazının ekranında dalga çizgileri (eko) oluşturur. Yankının konumuna göre yansıtıcının muayene parçası içindeki koordinatları hesaplanabilir. Ayrıca yankının yüksekliği de yansıtıcının büyüklüğü hakkında bir fikir verir. Yankı sinyalinin şekline bakılarak yansıtıcının türü hakkında da bir yorum yapmak mümkün olabilir.

Yüksek frekanslı ses dalgaları piezoelektrik özelliği gösteren kuartz kristallerine değişen bir akım uygulanırsa kuartz kristallerinde mekanik titreşimler meydana gelir. Piezoelektrik özelliği olan malzemeye mekanik titreşim verilirse malzemedeki elektrik akımı doğar. Piezoelektrik özellik, malzemelere verilen elektrik akımı karşısında bu malzemelerde meydana gelen boyut değişmesi olayıdır.

1.9.3. Radyografik Kontrol Yöntemiyle Muayene

Yüksek enerjili elektromanyetik dalgalar (ışınım), pek çok malzemeye nüfuz edebilir. Belli bir malzemeye nüfuz eden ışınım, malzemenin diğer tarafına konan ışınım duyarlı filmleri de etkileyebilir. Bu filmler, daha sonra banyo işlemine tabi tutulduklarında ışınımın içinden geçen malzemenin iç kısmının görüntüsünü ortaya çıkarır. Bu görüntü, malzeme içindeki boşluklar, bölgesel olarak kalınlık ve yoğunluk değişiklikleri nedeniyle oluşur.

Malzemenin içyapısının film üzerinde görüntülenmesi radyografi olarak adlandırılır. Bu yöntemle yapılan değerlendirmeye de radyografik muayene denir. Eğer malzemenin arka yüzeyine film yerine bir detektör konup, malzemedен geçen ışınım toplanarak bir monitöre aktarılırsa bu teknik de radyoskopi olarak adlandırılır.

Muayenelerin sağlıklı ve güvenilir sonuçlar verebilmesi için standartlara göre yapılması gerekir. Bu standartlar, malzeme cinsine ve imalat yöntemine türüne göre hazırlanmıştır. Ayrıca muayenenin yapılışına yönelik uygulama standartları ile kabul edilebilir seviyelerinin verildiği uygulama standartları vardır. Muayene parçasının özelliklerine göre uygun standartlar belirlenerek muayene yapılır. Endüstride kullanılan kaynaklı ve kaynaklız bütün malzemelerde beklenen yüzeysel ve hacimsel hataların tespiti için kullanılabilir.

1.9.4. Manyetik Kontrol Yöntemiyle Muayene

Manyetik (mıknatıslanabilir) malzemelerden yapılmış parçanın yüzeyinde ve yüzeye yakın bir yerde bulunan çatlak, boşluk, katmer, damar ve metalik olmayan yabancı maddelerin belirlenmesinde uygulanan tahribatsız muayene yöntemidir. Bu yöntemle ancak mıknatıslanabilen metal malzemelerin kontrolü yapılabilir. Kaynaklı ve kaynaklız bütün mıknatıslanabilen metal malzemelere, yüzey hatalarının tespiti için uygulanabilir.

1.9.5. Görsel Kontrol Yöntemiyle Muayene

Tahribatsız muayene yöntemlerinden önce yapılması gereken kontroldür. Standartlara göre, uygun ışık şiddetinin ölçüldüğü ortamda; malzeme yüzeyindeki süreksizlik, çatlak, yapısal bozukluklar ve yüzey kusurlarının görsel olarak tespit edilmesi ilkesine dayanır (Öntürk ve Özkan, 2018). Kaynaklı ve kaynaklız yüzeylere, yüzeysel hataların tespiti için uygulanabilir.

1.10. Tahribatlı Muayene Yöntemlerine Genel Bakış

Malzemelerin; sertlik, süneklik ve mukavemet değerleri gibi temel mekanik özellikleri, içyapıya bağlıdır. Malzemelerin göstereceği davranışları tespit etmek için, içyapı özellikleri bilinmelidir. Bu özelliklerin tespiti mekanik testler ve makroskobik inceleme ile mümkündür. Bu testler; çekme deneyi, eğme deneyi, çentik darbe deneyi, sertlik deneyi, makroskobik muayene olarak sınıflandırılabilir. Malzemelerin çekme ve basma dayanımları, uygulanan yüklere gösterdiği direnç ile belirlenir.

Malzemelerin kopmaya karşı dayanımları uygulanan darbelere karşı gösterdikleri dirençle belirlenir. Malzemelerin eğilmeye karşı gösterdikleri dayanım ise iki mesnet parçası arasına uygulanan kuvvete karşı gösterdiği direnç ile belirlenir. Tahribatlı muayene bu amaçlar doğrultusunda uygulanır. Alt bölümlerde bu yöntemler açıklanmıştır.

1.10.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, en yaygın olarak kullanılan tahribatlı malzeme muayene yöntemidir. Çekme deneyi malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Malzemelerin, uygulanan kuvvet karşısında kopmaya karşı gösterdikleri dayanıma, çekme dayanımı denir. Bu yöntem ile önceden standartlara göre hazırlanmış deney numunelerine devamlı artan bir kuvvet olarak uygulanır.

Numuneye uygulanan kuvvet, akma dayanımı denilen belli bir oranın aşılması ile birlikte kalıcı uzama meydana getirir. Bu oranının altındaki uzama kalıcı değildir. Kalıcı uzamanın olduğu şekil değişimine plastik şekil değişimi denir. Malzemeye uygulanan kuvvetin etkisi kalktıktan sonra, malzemenin eski haline dönmesine, elastik şekil değişimi denir.

1.10.2 Eğme Deneyi

Malzemelerin eğme zorlanmalarına karşı gösterdiği davranış olarak tanımlanır. İki mesnet üzerine yerleştirilmiş dikdörtgen veya yuvarlak kesitli deney numunesinin ortasına bir kuvvet uygulandığında oluşan şekil değişimine eğilme denir.

1.10.3. Çentik Darbe Deneyi

Kırma deneyi olarak da adlandırılan deney; belli ölçülere sahip, tam orta kısımlarına çentik açılmış deney parçalarının, bir sarkaç ucundaki çekiç aracılığıyla kırılmasıdır. Kırma deneyleri, malzemelerin darbe dayanımlarını ve kırılma enerjilerini ölçmek için uygulanır.

Çentik darbe deneyi için iki farklı yöntem vardır. Bu yöntemler; Charpy ve Izod deneyleridir. Charpy deneyinde; iki mesnet koluna yatay olarak yaslanmış basit bir giriş durumundaki çentik tabanına, çentik darbe cihazının sarkaç ucundaki çekiciyle darbe uygulanıp, numunenin kırılmasıyla harcanan enerji ölçülür. Izod darbe deneyinde ise; dikey olarak kavrama çenesine bağlanan numuneye, çentik darbe cihazının belli bir yüksekliğe kaldırılmış sarkacının ucundaki çekiç ile darbe uygulanıp kırılması ile harcanan enerji ölçülür.

1.10.4. Sertlik Deneyi

Sertlik, malzemelerin plastik deformasyona karsı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Sertlik deneyleri malzeme ve bu malzemeden çubuk halinde üretilmiş parçaların tahribatsız olarak kontrolünü sağlayan mekanik deneylerden biridir. Yaygın olarak kullanılan sertlik ölçme yöntemleri, numune üzerinde elde edilen kalıcı iz büyüklüğünün ölçülmesi esasına dayanan yöntemlerdir.

Rockwell sertlik deneyi, sabit yük altında, malzeme üzerinde oluşturulan iz derinliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Ölçümü yapılacak malzemenin cinsine göre; iz bırakıcı olarak, ucu çok az yuvarlatılmış 120°lik konik elmas uç veya 1/16" ve 1/8" çapında çelik bilyeler kullanılır. Yük ise 60, 100 veya 150 kg olarak uygulanır. Her yük-iz bırakıcı kombinasyonu, farklı bir Rockwell skalasını oluşturur ve her skala, farklı malzemelerin sertliğini ölçmek için kullanılır. Bu skalalardan en çok kullanılanlar Rockwell B ve Rockwell C skalasıdır. Rockwell B skalası; yumuşak ve sünek malzemelerde, 100 kg yük ve 1/16" çapında çelik bilye kullanılarak uygulanır. Sertliği 35-100 HRB arasında olan malzemelerin sertliğinin ölçümü için kullanıldığında uygun sonuçlar verir. Rockwell C skalası ise; sertleştirilmiş çeliklere, 150 kg yük ve konik elmas uç kullanılarak uygulanır. Sertliği 20-70 HRC arasında olan malzemelerin sertliğinin ölçümü için kullanıldığında uygun sonuçlar verir.

Brinell sertlik deneyi, malzeme yüzeyine belirli bir yükün, belirli bir çaptaki sert malzemeden yapılmış bir bilye yardımıyla belirli bir süre uygulanması sonucu, yüzeyde kalıcı bir iz meydana getirdiği izin ölçümü ile uygulanır. Ölçülen kuvvetin, oluşan izin küresel yüzey alanına bölünmesiyle; 'Brinell sertlik değeri' elde edilir. Deney sonrası sertlik sonucu ifade edilirken, BSD işaretinin yanında, diğer deney şartları; bilye çapı, yük uygulama süresi olarak, sırası ile eklenir.

Vickers sertlik deneyinin kullanımı, çok yumuşak ve çok sert malzemeler için uygundur. Vickers sertlik deneyi, tabanı kare ve tepe açısı 136° olan standartlaştırılmış piramit şeklinde bir elmas ucun, değişken yükler altında numune yüzeyine batırılması sonucu bir iz oluşturma esasına dayanır. Deney yükü 1 kg ile 100 kg arasında değişir. Deneyden sonra, vickers sertlik değerini bulmak için kare şeklindeki izin köşegenleri, mikroskop yardımı ile ölçülür.

1.10.5. Mikroskopik ve Makroskopik Dağlama Deneyi

Makro muayene, dağlanmış ve dağlanmamış deney numunelerinin gözle veya küçük bir büyütme oranı ile incelenmesidir. Makroskopik deney, kaynaklı birleştirmenin enine kesitinin incelenmesidir. Makroskopik özelliklerin belirlenmesi için uygulanır. Hazırlanan yüzeyin dağlama öncesinde ve sonrasında gözle veya optik olarak incelenmesi ile sonuca ulaşılır.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde kullanılan modern kaynak uygulamalarına Birinci Dünya Savaşından sonra başlanılmıştır. Kaynak bu yıllardan itibaren ilerleme göstermiş ve tamir yöntemi olmaktan çıkarak modern üretim yöntemi olarak yerini almıştır. Türkiye’de imalat yöntemi olarak kaynak ilk kez 1920’de İstinye ve Gölcük Tersanelerinde başlamıştır. 1929’da Makina Kimya Endüstrisinde, 1930’da Sümerbank-Hereke Fabrikasında, 1931’de Karayolları Merkez Atölyesinde, 1933’de Eskişehir Hava İkmal Merkezinde ve 1934’de de Devlet Demir Yolları Eskişehir Fabrikasında imalat yöntemi olarak kullanılmaya devam etmiştir. Türkiye’de kaynak uygulamalarında ilk planlı çalışma 1937’de Devlet Demiryollarında başlanmıştır. Dünya çapında kaynak teknolojileri alanındaki en büyük gelişme İkinci Dünya Savaşından sonra yaşanmıştır. 1948 yılında verimli imalat ve saha koşullarının sağlanması adına Milletlerarası Kaynak Enstitüsü kurulup ve Milletlerarası Standardizasyon Komitesi ile de işbirliği yapılarak kaynak standartları hazırlanmıştır. Ülkemizde bu kuruluşa üye olarak gelişmeleri yakından takip etmiştir. Bugün ülkemiz endüstrisinde, kaynağın bir imalat yöntemi olarak kullanılması ve tasarımlarda kullanılmasının yanı sıra kaynak makineleri ve ekipmanları da üretilmektedir. Bu gelişme ülkemizde kaynak teknolojilerinin yakından takip edilmesine ve kaynak uygulamalarının yaygın olarak kullanılmasına yol açmaktadır (Anık, 2013).

Tahribatsız muayene uygulamalarına 1970’li yıllardan sonra başlanmış ve Milletlerarası Kaynak Enstitüsü tarafından kabul edilmiştir. Türk Standartları Enstitüsü de kaynak standartlarında bu gelişmeye yer vermiştir. Endüstride tahribatsız muayene uygulamalarına yer verilmesi kalitenin sağlanabilirliği ve garanti edilebilirliği adına önemli bir gelişmedir.

Kaynak uygulamaları, tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri, kaynak bölgeleri ve ısı girdileri hakkında yapılan tez ve makalelere çalışmalarından da aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

Meriç ve Tokdemir (1997) yaptıkları çalışmada; SAE1020 malzemeyi MAG kaynak yöntemi ile kaynatılarak, ısı tesiri altındaki bölgeyi tahribatlı muayene yöntemleri ile incelemişlerdir. Isı tesiri altında kalan bölgenin esas metale göre daha düşük tokluk, sertlik değerine düştüğü tespit etmişlerdir. Ayrıca ITAB üst bölgesinin ITAB alt bölgesine göre, kök pasosunun kapak pasosuna göre daha düşük toklukta olduğunu tespit edilmişlerdir.

Ersin (2009) yaptığı çalışmada; dört farklı kaynak yöntemi ile numuneler hazırlayarak kaynak uygulaması sonrasında mekanik özelliklerinin değişimini tespit etmiştir. Farklı kaynak uygulamaları arasından SMAW yönteminde kaynak bölgesinin daha sert olduğunu tespit etmiştir. FCAW yöntemi ile kaynatılmış numunenin ısı tesiri altından kalan bölgesinin diğer kaynak yöntemleri ile kaynatılmış numunelere göre daha sert olduğunu tespit etmiştir. Numunelere gerilmeleri giderme ısıl işlemi uyguladığında; FCAW ve SMAW yöntemi ile hazırlanan numunelerin kaynak bölgesinde düşük seviyede bir değişim tokluk olduğunu tespit etmiştir. Fakat GTAW ve SAW kaynak yöntemleri ile hazırlanmış numunelerde tokluk değerlerinde önemli bir değişim tespit etmiştir. ITAB bölgesi için ısıl işlem sonrası dört farklı kaynak yöntemi ile hazırlanan numunelerin tamamında tokluk değerlerinde artış, çekme mukavemetinde azalma tespit etmiştir.

Bekir (2013) yaptığı çalışmada, gaz altı kaynak yöntemlerinden MIG ve MAG kaynağında seçilen akımın kaynak nüfuziyetine etkisini incelemiştir. St37 kalite malzeme akım şiddeti arttırılarak kaynatılıp, numuneler hazırlamıştır. Bu numuneleri makro dağlanarak ve görsel olarak incelediğinde; akım şiddeti arttıkça nüfuziyetin, kep yüksekliği ve kaynak genişliğinin arttığını tespit etmiştir.

Kara vd. (2017) yaptıkları çalışmada; tahribatsız test yöntemleri ve kullanım alanlarını inceleyerek karşılaştırmıştır. Bu çalışmada hazırladıkları numuneler ve uyguladıkları tahribatsız muayeneler ile her malzemenin aynı tahribatsız muayene yöntemi ile kontrol edilemeyeceğini, malzeme türüne en uygun tahribatsız muayene yönteminin tercih edilmesi gerektiği sonucunu çıkarmışlardır.

Köse ve Karaca (2017) yaptıkları çalışmada; lazer kaynağı ile birleştirdikleri alaşımlı çeliğe kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda ısıl işlem uygulanmış numunelerde sertliğin daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; 12mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin kaynak sonrası oluşan gerilmelerin ısıtma işlemi ile giderilmesi ve etkilerinin tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri ile belirlenmesine dair tüm materyal ve yöntemler açıklanmıştır. 12mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerden ısıtma işlemi uygulanmış ve ısıtma işlemi uygulanmamış olarak 2'şer adet numune hazırlanmıştır. Malzeme seçimi ve numune hazırlığı TS EN standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Kaynak uygulaması, gerilmeleri giderme ısıtma işlemi, tahribatsız ve tahribatlı muayene uygulamaları da TS EN standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. İlgili TS EN standartlarına da yer verilmiştir.

3.1. Malzeme Seçimi

Kaynak yöntemlerinin oluşturdukları artık gerilmelerin şiddeti malzemenin cinsine ve kalınlığına göre farklılıklar göstermektedir. Bu çalışmada S355J2N yapı çeliği seçilmiştir. Yapı çeliklerinin kaynak kabiliyeti S355J2N yapı çeliği diğer yapı çeliklerine göre kaynak kabiliyetinin daha zayıf olmasına karşın distorsiyona karşı daha dirençlidir. Ayrıca S355J2N diğer yapı çeliklerine göre ısıtma işlemi daha uygundur. S355J2, kaynak kabiliyeti daha düşük olduğu için diğer yapı çeliklerine göre daha fazla artık gerilme oluşturur. Bu sebeple normalize edilmiş, daha homojen bir içyapıya sahip S355J2N yapı çeliği kullanılarak yapı çeliklerinde oluşan artık gerilmeler için daha genel bir kanı oluşturulabileceğinden tercih edilmiştir. Ayrıca malzeme kalınlığına göre artık gerilmelerin oluşumunda farklılıklar olacağından iki farklı kalınlıkta S355J2N kullanılmıştır.

Bu çalışmada; 35mm ve 12mm kalınlığında S355J2N yapı çeliği kullanımı tercih edilmiştir. EN standartlarına göre 12 ve 35 mm kalınlıklarının kapsam aralıkları sırası ile $3\text{mm} \leq 12\text{mm} \leq 24\text{mm}$, $17,5\text{mm} \leq 35\text{mm} \leq 70\text{mm}$ 'dir. 12mm ve 35mm S355J2N numuneler hazırlanarak 3-70 mm kalınlığı aralığı için genel bir kanıya varılabilir.

12 mm S355J2N malzeme için kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1.'de, çekme deneyi sonuçları Çizelge 3.2.'de, çentik darbe deneyi sonuçları Çizelge 3.3.'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. 12 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin kimyasal analizi

| Kalite | Bileşim | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Cu | Al | Mo | V | Ti | N | Nb | B | Ceş |
|------------------|---------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 12 mm S355J2N | | 0,14 | 0,03 | 1,03 | 0,009 | 0,005 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,031 | 0,01 | 0,005 | 0,005 | 0,006 | 0,028 | 0,001 | 0,037 |

Çizelge 3.2. 12 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları

| Malzeme | Rp0.2 (N/mm ²) | Rm(N/mm ²) | A(%) | Lo(mm) | Lu(mm) | d(mm) | So(mm ²) |
|-----------------|-------------------------------|------------------------|------|--------|--------|-------|----------------------|
| 12 mmS355J2N | 442,44 | 554,80 | 28 | 50 | 64 | 9,85 | 76,20 |

Çizelge 3.3. 12 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çentik darbe deneyi sonuçları

| Numune | Ebat | Çentik Tipi | Abs. Enerji(KV2) | Kırma Sıcaklığı (C°) |
|----------|----------|-------------|----------------------|----------------------|
| Numune 1 | 55X10X10 | V | 125,11 | -20 |
| Numune 2 | 55X10X10 | V | 117,12 | -20 |
| Numune 3 | 55X10X10 | V | 109,16 | -20 |

35 mm S355J2N malzeme için kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.4.'de, çekme deneyi sonuçları Çizelge 3.5.'de görülmektedir.

Çizelge 3.4. 35 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin kimyasal analizi

| Ka lite | Bile şim | C | Si | M n | P | S | Cr | Ni | Cu | Al | Mo | V | Ti | N | Nb | B | C eş |
|------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| 35 mm S355J2N | | 0, 1 1 | 0, 2 2 | 0, 8 7 | 0,00 010 | 0,0 011 | 0,0 30 | 0,0 40 | 0,0 70 | 0,0 27 | 0,0 100 | 0,0 05 | 0,0 05 | 0,0 06 | 0,0 28 | 0,0 01 | 0, 2 7 |

Çizelge 3.5. 35 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları

| Malzeme | Rp0.2 (N/mm ²) | Rm(N/mm ²) | A(%) | Lo(mm) | Lu(mm) | d(mm) | So(mm ²) |
|-----------------|-------------------------------|------------------------|-------|--------|--------|-------|----------------------|
| 35 mmS355J2N | 494,94 | 610,37 | 23,20 | 50 | 61,60 | 9,95 | 77,76 |

Çentik darbe deneyi sonuçları Tablo 3.6.'de görülmektedir.

Çizelge 3.6. 35 mm kalınlığında S355J2N yapı çeliğinin çentik darbe deneyi sonuçları

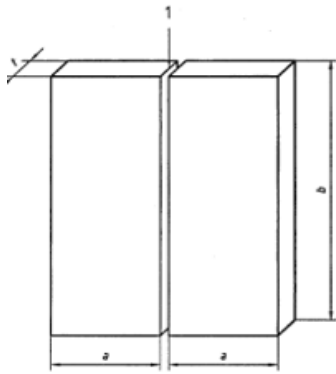
| Numune | Ebat | Çentik Tipi | Abs. Enerji(KV2) | Kırma Sıcaklığı (C°) |
|----------|----------|-------------|----------------------|----------------------|
| Numune 1 | 55X10X10 | V | 141,51 | -20 |
| Numune 2 | 55X10X10 | V | 152,20 | -20 |
| Numune 3 | 55X10X10 | V | 150,44 | -20 |

3.2. Numune Hazırlığı

Kaynaklı olarak; 1 adet gerilim giderme ısıl işleminde kullanılmak üzere 12mm kalınlığında S355J2N malzeme ile hazırlanmış numune, 1 adet ısıl işlemin etkilerini belirleyebilmek için ısıl işlem uygulanmış numune ile karşılaştırmak üzere 12mm kalınlığında S355J2N malzeme ile hazırlanmış numune hazırlanmıştır. 1 adet gerilim giderme ısıl işleminde kullanılmak üzere 35mm kalınlığında S355J2N malzeme ile hazırlanmış numune, 1 adet ısıl işlemin etkilerini belirleyebilmek için ısıl işlem uygulanmış numune ile karşılaştırmak üzere 35mm kalınlığında S355J2N malzeme ile hazırlanmış numune hazırlanmıştır. Toplam 4 adet numune hazırlanmıştır.

Kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işleminin etkilerini belirlemek için kullanılacak numuneler EN 15613 ve EN 15614-1 standartları referans alınarak hazırlanmalıdır(Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2005, 2007). Kaynak konumları da EN 6947'ye uygun olarak hazırlanmalıdır (TSE, 2002).

Standartlara göre hesaplanmış ve Şekil 3.2.1.'de de görülen hazırlanacak numunenin ölçüleri 'a'; minimum 150 mm, 'b'; minimum 350 mm olmalıdır. Malzeme kalınlığını da 't' ölçüsü belirtmektedir. Bu ölçünün, kapsam aralığı 0.5 t ve 2t'dir. 12x150x350 mm ikişer plaka kullanılarak 2 adet numune, 35x150x350 mm ikişer plaka kullanılarak 2 adet numune Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Bu ölçülerde hazırlanan plakalara tam nüfuziyetli alın kaynağı uygulanmıştır.

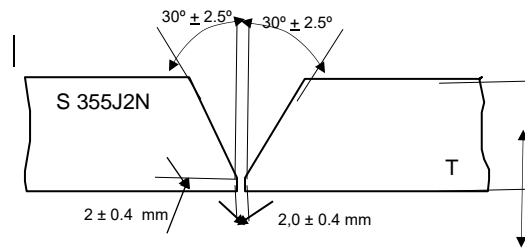
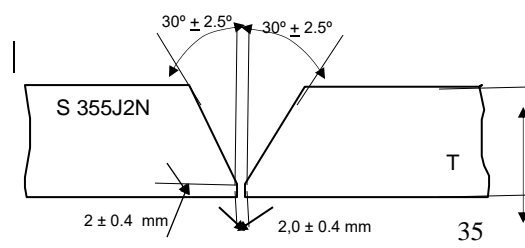


Şekil 3.1. Tam nüfuziyetli alın kaynağı uygulanan deney numunesinin geometrisi

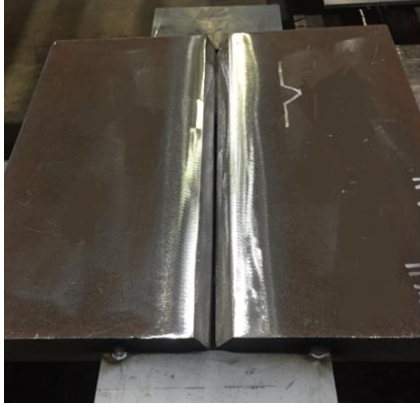
3.2.1. Kaynak Ağızı Hazırlığı

S355J2N ikişer adet 12x150x350 plaka kullanılarak hazırlanan 2 adet kaynaklı numuneye V kaynak ağızı açılmıştır. Aynı şekilde; S355J2N ikişer adet 35x150x350 plaka kullanılarak hazırlanan 2 adet kaynaklı numuneye V kaynak ağızı açılmıştır. Parça kalınlıkları 10 mm'den büyük olduğu için standartlara göre çift taraflı kaynak ağızı açılmıştır. Her iki tarafa 30° açı verilmiş, kök bölgesi ve dolgu bölgesinde $2 \pm 0,4$ mm aralık bırakılmıştır. Çizelge 3.7.'de kaynak ağızı geometrisine yer verilmiştir.

Çizelge 3.7. Kaynak ağızı geometrisi

| Kaynak Ağızı Geometrisi | Sembol | Yön | Kalınlık |
|---|--------|---------------|----------|
|  | Y | Çift Taraftan | 12mm |
|  | Y | Çift Taraftan | 35mm |

Kaynak ağzı açılarak 2 adet 12 mm S355J2N, 2 adet S355J2N 35 mm numune hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil 3.2. 'de görülmektedir



Şekil 3.2. Kaynak ağzı açılmış numune

3.2.2. Elektrot Seçimi

1 adet 12mm kalınlığında S355J2N numunesi ve 1 adet 35mm kalınlığında S355J2N numunesi için TS EN ISO 14341-A:11 standardına göre ER 70 S-6 sınıfında 1,2 mm çapında SG2 masif tel elektrot kullanılmıştır. Kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanacak 1 adet 12mm kalınlığında S355J2N numunesi ve 1 adet 35mm kalınlığında S355J2N numunesi için TS EN ISO 21952-A:08 standardına göre ER 80 S-G sınıfında 1,2 çapında SGMo masif tel elektrot kullanılmıştır. Isıl işlem uygulanacak numunelerde SGMo tel elektrot tercih edilmesinin sebebi içeriğindeki molibden alaşımının yüksek olmasıdır. Molibden S355J2N malzeme ile birleşiminde alaşımı desteklediği ve daha yüksek nüfuziyet sağladığı ve ısıl işlem ile gerilmelerin giderilmesi sırasında bileşimin rijitliğini daha iyi konmasını sağladığı için tercih edilmiştir. Çizelge 3.8.'de kullanılan SG2 ve SGMo tel elektrotun kimyasal analizine yer verilmiştir. Çizelge 3.9.'da kullanılan SG2 ve SGMo tel elektrotun mekanik özellik analizine yer verilmiştir.

Çizelge 3.8. SG2 ve SGMo tel elektrotun kimyasal analizi

| Sarj No | C | Si | Mn | P | S | Cr | Ni | Mo | Cu | V | Al |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SG2 280-16 | 0,072 | 0,859 | 1,494 | 0,008 | 0,016 | 0,036 | 0,042 | 0,011 | 0,103 | 0,001 | 0,001 |
| SGMo 766-14 | 0,082 | 0,613 | 1,119 | 0,006 | 0,007 | 0,012 | 0,024 | 0,509 | 0,079 | 0,001 | 0,001 |

Çizelge 3.9. SG2 ve SGMo tel elektrotun mekanik özellik analizi

| Sarj No | Çekme Test Sıcaklığı C° | Rp0.2 (N/mm ²) | Rm (N/mm ²) | A(%) | DarbeTest Sıcaklığı C° | Abs. Enerji (KV2) |
|-------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------|------------------------|-------------------|
| SG2 280-16 | 20 | 420 | 500-640 | 22 | -30 | 47 |
| SGMo 766-14 | 20 | 460 | 530-670 | 22 | -30 | 47 |

3.2.3. Koruyucu Gaz Seçimi

2 adet 12mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak hazırlanan numune ve 2 adet 35mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak hazırlanan numune 212 karışım gazı olarak adlandırılan gaz kullanılarak kaynatılmıştır.

Karışım 212 gazı masif SG2 ve SGMo elektrotları kimyasal reaksiyon göstererek desteklemek, ark karakteristiğini sağlamak ve cüruf oluşumunu engellemek için tercih edilmiştir. Çizelge 3.10.'da 212 karışım gazının kimyasal özelliklerine yer verilmiştir. TS EN 439 standardına göre bu gaz M24 sınıfındadır.

Çizelge 3.10. 212 karışım gazının kimyasal özellikleri

| Karışım Gazları | Norminal Değer | Analatik Değer | Analiz Yöntemi |
|-----------------|----------------------|----------------------|-------------------|
| Karbondiyoksit | % 12.5 | % 12,4 | Orsat cihazı |
| Oksijen | % 1.5 | % 1,4 | Oksijen Analizörü |
| Argon | % 86 | % 86,2 | Balans |
| Nem | 25 ppm (max.) | 6,0 ppm | Nem Analizörü |
| Basınç | 200 Bar | 200 Bar | Manometre |
| Kapasite | 11.29 m ³ | 11.29 m ³ | |

3.3 Kaynak Uygulaması

12mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak 2 adet ve 35mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak 2 adet numune MAG kaynak yöntemi ile hazırlanmıştır. Gaz debisi 12-14 lt/dk arasında sabit tutulmuştur.

12mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak hazırlanan 1 adet numune SG2 tel ile minimum 20 C°, 35mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak hazırlanan 1 adet numune SG2 tel ile minimum 80 C° ön ısıtma uygulanarak kaynatılmıştır. 12mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak hazırlanan 1 adet ısıtma işlemi göreceği numune SGMo tel ile minimum 50 C°, 35 mm kalınlığında S355J2N malzeme kullanılarak hazırlanan 1 adet ısıtma işlemi göreceği numune SGMo tel ile minimum 80 C° ön ısıtma uygulanarak kaynatılmıştır. Tüm numuneler pasolar arası sıcaklık da maksimum 250 C° olacak şekilde kaynatılmıştır.

Kaynak sırasında her paso kontrollü olarak uygulanmış ve kaynak parametreleri kontrol altında tutulmuştur. Çizelge 3.11.'de SG2 tel kullanarak uygulanan kaynak parametreleri yer almaktadır.

Çizelge 3.11. SG2 tel kullanarak uygulanan kaynak parametreleri

| Kaynak Pasosu | İşlem | Dolgu Metali | | Akım | | Gerilim V | Kaynak Hızı cm/dk | Isı Girdisi kJ/mm | Diğer (Tekli/Çoklu Elektrod, Düz/Salıntılı Banyo) |
|---------------|-------|--------------|-----|-------|---------|-----------|-------------------|-------------------|---|
| | | Sınıf | Çap | Kutup | A | | | | |
| Kök (Root) | 135 | SG2 | 1,2 | DCEP | 170-190 | 22-24 | 15-16 | 0,84 | Düz Banyo |
| Sıcak (Hot) | 135 | SG2 | 1,2 | DCEP | 250-270 | 24-26 | 30-34 | 1,56 | Düz Banyo |
| Dolgu (Fill) | 135 | SG2 | 1,2 | DCEP | 250-270 | 24-26 | 30-34 | 1,56 | Düz Banyo |
| Kep (Cap) | 135 | SG2 | 1,2 | DCEP | 250-270 | 24-26 | 30-34 | 1,56 | Düz Banyo |

Çizelge 3.12.'de SGMo tel kullanarak uygulanan kaynak parametreleri yer almaktadır.

Çizelge 3.12. SGMo tel kullanarak uygulanan kaynak parametreleri

| Kaynak Pasosu | İşlem | Dolgu Metali | | Akım | | Gerilim V | Kaynak Hızı cm/dk | Isı Girdisi kJ/mm | Diğer (Tekli/Çoklu Elektrod, Düz/Salıntılı Banyo) |
|---------------|-------|--------------|-----|-------|---------|-----------|-------------------|-------------------|---|
| | | Sınıf | Çap | Kutup | A | | | | |
| Kök (Root) | 135 | SGMo | 1,2 | DCEP | 150-170 | 21-23 | 10-12 | 0,84 | Düz Banyo |
| Sıcak (Hot) | 135 | SGMo | 1,2 | DCEP | 240-260 | 24-26 | 40-45 | 1,56 | Düz Banyo |
| Dolgu (Fill) | 135 | SGMo | 1,2 | DCEP | 240-260 | 24-26 | 40-45 | 1,56 | Düz Banyo |
| Kep (Cap) | 135 | SGMo | 1,2 | DCEP | 240-260 | 24-26 | 40-45 | 1,56 | Düz Banyo |

Kaynak uygulaması tamamlanmış numuneler Şekil 3.3.'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Kaynak uygulaması tamamlanmış numuneler

3.4. Tahribatsız Muayene Yöntemleri İle Kontrol

Malzemeye uygun kaynak yöntemi, uygun elektrot seçimi, uygun koruyucu gaz seçimi, uygun kaynak parametreleri seçilerek kaynak uygulamasından sonra parçaların tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilmesi gereklidir. Kaynak her ne kadar kontrollü uygulanmış olsa dahi oluşan gerilmelerin etkisi, reaksiyon, gaz boşlukları, ani sıcaklık değişimleri, malzemenin içyapısı nedenleri ile yüzeysel veya hacimsel kusurların oluşma ihtimali mevcuttur.

Hacimsel ve yüzeysel kusurlar kaynak dikişi üzerinde hasara, tahribatlı testler sırasında kaynaktan kopmalara sebep olabilir. Bu sebeple numuneler tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilmiştir. Kullanılan tahribatsız muayene yöntemleri, görsel muayene, manyetik parçacık muayenesi, penetrant sıvı muayenesi, ultrasonik muayene ve radyografik muayenedir.

3.4.1. Görsel Muayene

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye, TS EN 17 637 standardına göre görsel muayene uygulanmıştır. Görsel muayene yapılırken ışık şiddetini ölçmek için lüksmetre ve daha detaylı inceleme gerektiren yüzeyleri incelemek için 2 kat büyüten bir büyüteç ile fener kullanılmıştır. Muayene minimum 500 lüks koşulu sağlanmıştır. Ayrıca kaynak yükseklik mastarı ile de kaynak yüksekliği kontrol edilmiştir. Bu koşullar altında herhangi bir çatlak, cüruf, yanma oluğu vb. kusura rastlanmamıştır. Şekil 3.4.' de kullanılan ekipmanlar görülmektedir.



Şekil 3.4. Görsel muayene de kullanılan lüksmetre, fener, kaynak yükseklik mastarı

3.4.2. Manyetik Parçacık Muayenesi

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye manyetik parçacık muayenesi uygulanmıştır. Gözle tespiti zor olan çatlak, damar, gözenek vb. yüzeysel kusurların belirlenmesi için kullanılmıştır. Prensip olarak metal tozunun, manyetik boyunduruktan yayılan manyetik akım sayesinde hataların üzerine dolması sağlanır. Öncelikle bu yöntem uygulanırken metal tozlarının hareketlerini daha rahat görmek için beyaz zemin oluşturmak adına geçirgen WCP-2 solvent boya uygulanmıştır.

Alternatif akım yaratan 220/240 V- 50/60 Hz özelliklerinde manyetik boyunduruk yardımı ile akım verilirken içeriğinde metalik toz bulunduran 7HF solvent sprey uygulanmıştır. Bu uygulama sırasında herhangi bir yüzeysel kusur gözlemlenememiştir.

Şekil 3.5.'de manyetik parçacık muayenesinde kullanılan ekipmanlar görülmektedir. Şekil 3.6.'da beyaz solvent uygulanmış numune görülmektedir. Şekil 3.7.'de akım altında manyetik metal tozu uygulanmış numune görülmektedir.



Şekil 3.5. Manyetik parçacık muayenesinde kullanılan ekipmanlar



Şekil 3.6. Beyaz solvent uygulanmış numune



Şekil 3.7. Akım altında manyetik metal tozu uygulanmış numune

3.4.3. Penetrant Sıvı Muayenesi

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye, TS EN 3452-1 standardına göre penetrant sıvı muayenesi uygulanmıştır (TSE,2013). Görsel muayene de gözden kaçan veya göz ile tespiti zor olan çatlak, katmer, boşluk, gözenek gibi kusurların tespiti için penetrant sıvı muayenesinden yararlanılmıştır. Penetrant sıvı muayenesinde, öz temizleyici sprej SKC-S, geliştirici sprej SKD-S2, kırmızı penetrant sprej SKL-SP2 kullanılmıştır. Şekil 3.8.'de penetrant sıvı muayenesinde kullanılan sprejler görülmektedir.



Şekil 3.8. Penetrant sıvı muayenesinde kullanılan sprejler

Kontrol edilecek kaynak dikişi; kalıntı boya, toz, partiküllerin test sırasında yanıltıcı bir etki yaratmaması için öz temizleyici sprej uygulanarak temizlenmiştir. Daha sonra kaynak dikişine kırmızı penetrant sprej uygulanmıştır. Penetrant sıvının kapiler etki ile hatalara nüfuz edebilmesi için bir süre beklendikten sonra tekrar yüzeyin temizliği yapılmıştır. Yüzey temizliğinin ardından geliştirici sprej uygulaması yapılarak penetrasyon sağlamış kusurların varsa belirginleşmesi sağlanmıştır. Fakat herhangi bir kusura rastlanmamıştır.

Şekil 3.9.'da temizlik işleminden sonra kırmızı penetrant sprej uygulaması yapılmış numune görülmektedir.



Şekil 3.9. Kırmızı pentetrant uygulaması yapılmış numune

Şekil 3.10.'da geliştirici sprej uygulaması yapılmış ve penetrant sıvı muayenesi tamamlanmış numune görülmektedir.



Şekil 3.10. Geliştirici sprej uygulaması yapılmış ve penetrant sıvı muayenesi tamamlanmış numune

3.4.4. Ultrasonik Muayene

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye, ilgili standarda göre ultrasonik muayene uygulanmıştır.

Ultrasonik muayene gözle ve yüzeysel hatayı tespit etmek için kullanılan muayene yöntemleri ile belli olmayan boşluk vb. hacimsel hataları kontrol için uygulanmıştır.

Tahtıbatlı muayene için SIUI CST 9006 model numaralı cihaz kullanılmıştır. Yüksek frekansta ses üstü 4 MHz dalga üreten, 60° giriş açısı ile dalga gönderen SIUI AFN4-89-60L model numaralı açılı prop kullanılmıştır. Referans blok ile cihaz kalibre edilmiştir. Malzemenin tane yapısına uygun frekans seçilmiştir. Ayrıca açılı probtan yayılan dalgaların parçaya nüfuz etmesi için temas sıvısı kullanılmıştır. Numuneler kontrol edilemeyen bölge kalmaması için işaretleyici ile alanlara bölünmüştür. Açılı prop ile kaynak dikişi ve ITAB bölgesi kontrol edilmiştir. Muayene sırasında cihaz ekranı üzerindeki yankıların boyutları ve konumları kontrol edilmiştir. Referans eğriyi geçen yankı alınmamıştır. Şekil 3.11.'de ultrasonik muayene uygulaması sırasında ekran görüntüsüne ve anlık olarak probun konumuna yer verilmiştir.



Şekil 3.11. Ultrasonik muayene uygulaması sırasında ekran görüntüsü ve anlık olarak probun konumu

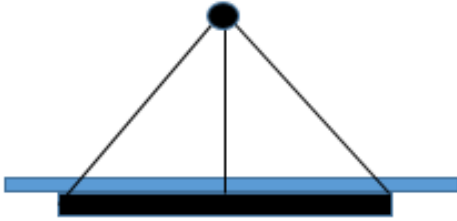
Şekil 3.12.'de kalibrasyon bloğu ve açılı prop görülmektedir.



Şekil 3.12. Kalibrasyon bloğu ve açılı prop

3.4.5. Radyografik Muayene

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye, TS EN 17 636-1 standardına göre radyografik muayene uygulanmıştır. Numunelerin hem malzemede hem de kaynak dikişinde hacimsel hataya sahip olup olmadığı bu yöntem uygulanarak hassas bir şekilde kontrol edilmiştir. Ir192 radyasyon demeti ile tek cidar olacak şekilde ışınlanmıştır. Çekim şekli Şekil 3.13.'de görülmektedir. Radyasyonun malzeme tarafından yutularak filme ulaşan kısmı kararmalar şeklinde filme yansımıştır. Fakat filmde şiddetli bir fark görülmemiştir. Numunelerde herhangi bir kusur bulunamamıştır. Şekil 3.14.'de radyografik muayene filminin kaynak dikişi bölgesindeki kesiti görülmektedir.



Şekil 3.13. TS EN 17 636-1 'e göre çekim şekli



Şekil 3.14. Radyografik muayene filminin kaynak dikişi bölgesindeki kesiti.

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 2 adet numuneye, görsel muayene, manyetik parçacık muayenesi, penetrant sıvı muayenesi, ultrasonik muayene ve radyografik muayene uygulanmıştır.

Tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrol edilen numuneler Şekil 3.15.'de görülmektedir.

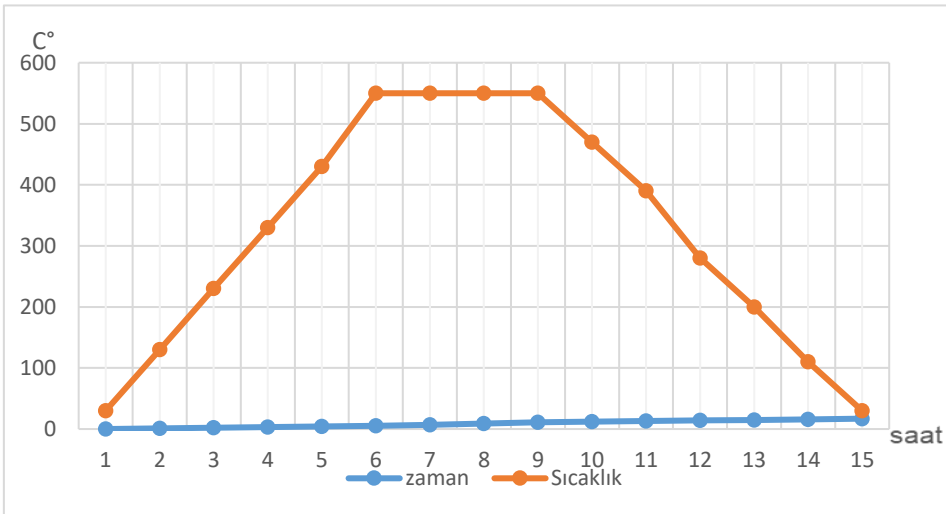


Şekil 3.15. Tahribatsız muayene yöntemleri ile kontrolü tamamlanmış numuneler.

3.5. Kaynaktan Sonra Gerilmeleri Giderme Isıl İşleminin Uygulanması

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 1 adet numuneye ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanmış 1 adet numuneye kaynak sonrası oluşan artık gerilmeleri gidermek için gerilim giderme ısıl işlemi uygulanmıştır. 30°C ile fırına alınan numuneler saatte 100°C sıcaklık artışı ile 550°C ye ısıtılarak 5,5 saat bu sıcaklıkta bekletilmiştir. 200°C sıcaklığa kadar fırında soğutulmuş daha sonra durgun havada soğutulmaya devam etmiştir. Isıl işleme ait sıcaklık zaman grafiği Çizelge 3.13.'de görülmektedir.

Çizelge 3.13. Kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi zaman sıcaklık grafiği



3.6. Tahribatlı Muayene Yöntemleri İle Kontrol

12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanmış 1'er adet numuneye tahribatlı muayene yöntemleri uygulanmıştır. 12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanarak kaynaktan sonra gerilmeleri gidereme ısıl işlemi uygulanmış 1'er adet numuneye tahribatlı muayene yöntemleri uygulanmıştır. Tahribatlı muayene ısıl işlemin etkilerini tespit etmek için uygulanmıştır.

Tam nüfuziyetli alın kaynağı uygulanmış parçaların tahribatlı ve tahribatsız muayene gerekliliklerine EN ISO 15 614-1 standardında yer verilmiştir. Çizelge 3.14.'de EN ISO 15 614-1 standardına göre muayene gereklilikleri görülmektedir. Muayene gereklilikleri çizelgede görülen adetlere uygulan olarak gerçekleştirilmiştir. Çizelgedeki muayene kapsamlarına sadık kalınmıştır.

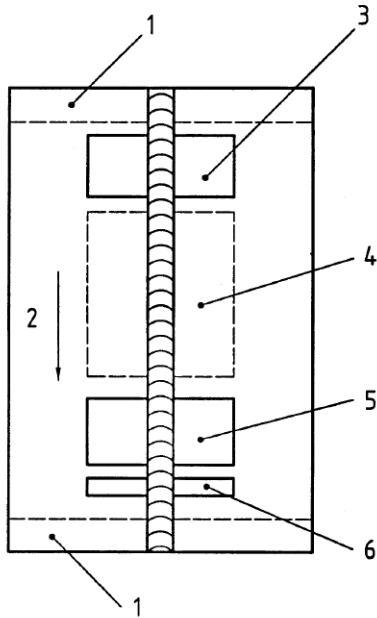
Çizelge 3.14. EN ISO 15 614-1 standardına göre muayene gereklilikleri

| Deney Parçası | Muayene / Deney Tipi | Muayene / Deney Kapsamı |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Tam nüfuziyetli alın kaynağı | Gözle | % 100 |
| | Radyografik veya ultrasonik | % 100 |
| | Yüzey çatlak bulma | % 100 |
| | Enine çekme deneyi | 2 numune |
| | Enine eğme deneyi | 4 numune |
| | Vurma deneyi | 2 takım |
| | Sertlik deneyi | Gerekli |
| | Makroskobik muayene | 1 numune |

Kullanılan tahribatlı muayene yöntemleri; çekme deneyi, eğme deneyi, çentik darbe deneyi, sertlik deneyi, mikroskobik-makroskobik muayenedir. Mikroskobik makroskobik muayene sadece kaynak nüfuziyetini kontrol etmek için uygulanmıştır. Sertlik deneyi de kaynaktan sonra ısı tesiri altındaki bölgenin, kaynak dikişinin ve malzemenin sertlik değişimlerinin uygun seviyede olup olmadığını kontrol etmek için uygulanmıştır. Isıl işlem sonrası değişimin en belirgin şekilde tespit edileceği yöntemler, çekme deneyi, eğme deneyi ve çentik darbe deneyidir. Bu deneyler için standartlara uygun numuneler çıkartılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.6.1. Numunelerden Tahribatlı Deney Numunelerinin Hazırlanması

12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanmış 1'er adet numuneye, 12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanarak kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış 1'er adet numuneye tahribatsız muayene uygulanmıştır. Daha sonra EN ISO 15614-1 standardına göre malzeme kalınlığı malzeme cinsi ve kaynak yöntemine dikkat edilerek belirlenen ölçü ve adette numuneler bu numuneler üzerinden çıkarılmıştır (TSE,2007). Şekil 3.16.'da numune üzerinden çıkarılması gereken test parçalarının bölümleri numaralandırılarak gösterilmiştir.



Şekil 3.16. EN ISO 15614-1 standardına göre tam nüfuziyetli alın kaynağı için numune çıkarılan bölgeler

Şekil 3.16. 'da görülen bölgelerin açıklamalarına aşağıda yer verilmiştir. Bu bölgeler;

1. Hurda, 25 mm.
2. Kaynak yönü.
3. Bölge için; 1 çekme deney numunesi, 1 eğme deney numuneleri,
4. Bölge için; Gerektiğinde vurma ve ilâve deney numuneleri,
5. Bölge için; 1 çekme deney numunesi, Eğme deney numuneleri,
6. Bölge için; 1 makro deney numunesi, 1 sertlik deney numunesi 'dir.

Tam nüfuziyetli alın kaynağı için; EN ISO 15 614-1'e göre çekme deneyi, eğme deneyi, çentik darbe deneyi, sertlik deneyi, makroskobik muayene uygulanması zorunludur.

Tablo 3.7.1'deki tabloya göre; hazırlanan 4 adet kaynaklı plaka numunelerden, çekme deneyi için 2'şer numune, eğme deneyi için 4'er numune, çentik darbe deneyi için 2'şer takım numune Şekil 3.16.'da bahsi geçen bölgelerden çıkarılmıştır. Şekil 3.17.'de çıkarılan numuneler görülmektedir.



Şekil 3.17. 1'er adet 12 mm ve 35 mm kalınlığındaki numunelerden çıkarılan numuneler.

3.6.2. Çekme Deneyinin Uygulanması

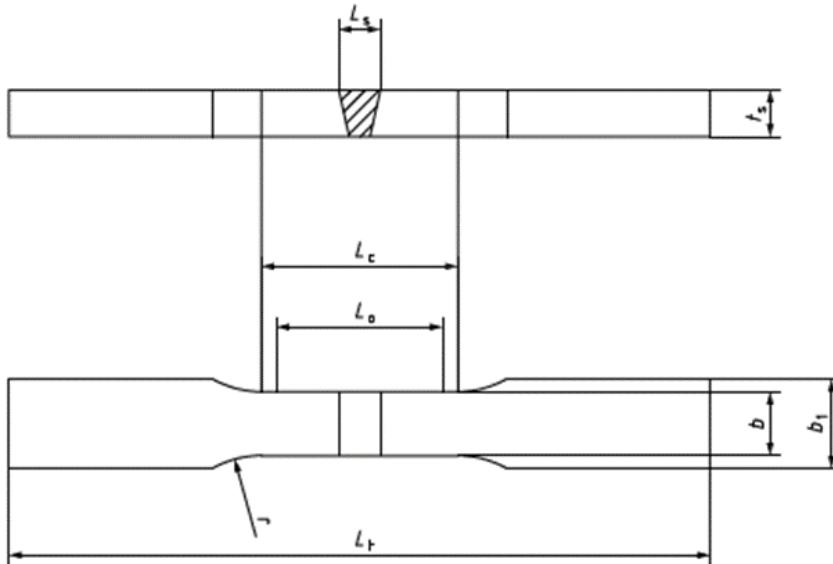
12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanmış, kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış 1'er adet numuneden tahribatsız muayene uygulandıktan sonra 2'şer adet toplam 8 adet çekme deneyi numunesi hazırlanmıştır. Numuneler EN ISO 15614-1 standardına göre malzeme kalınlığı malzeme cinsi ve kaynak yöntemine dikkat edilerek hazırlanmıştır (TSE,2007). TS EN 4136:2013 standardına göre çekme deneyi uygulanmıştır (TSE, 2013).

Çekme deneyi uygulanan numuneler; Çizelge 3.15.'de TS EN ISO 4063 standardına göre açıklanan numune ölçülerine uygun olarak hazırlanmıştır.

Çizelge 3.15. TS EN ISO 4063 standardına göre çekme deneyi için deney parçalarının ölçüleri

| İsim | Sembol | Ölçüler |
|--|----------|--|
| Toplam Uzunluk | L_t | Çekme cihazına uygun |
| Kenar genişliği | b_1 | $b + 12$ mm |
| Paralel uzunluğun genişliği | Plakalar | b $t_s \leq 2$ mm için 12 mm $t_s > 2$ mm için 25 mm |
| | Borular | b $D \leq 50$ mm için 6 mm 50 mm $< D \leq 168,3$ mm için 12 mm $D > 168,3$ mm için 25 mm |
| Paralel uzunluk ^{a b} | L_c | $\geq L_s + 60$ mm |
| Kavis yarıçapı | r | ≥ 25 |
| ^a Basınç ve ışın kaynağı için (ISO 4063:2009'a göre 2, 4, ve 5 proses grupları), $L_s = 0$. ^b Bazı metaller için (Örnek alüminyum, bakır ve alaşımları) $L_c \geq L_s + 100$ gerekli olabilir. | | |

Çizelge 3.15. referans alınarak hazırlanan gereken numune geometrisi Şekil 3.18.'de verilmiştir .



Şekil 3.18. Çekme deneyi için numuneden çıkarılan numune geometrisi

Şekil 3.19.'da 1 kaynaklı plakadan çıkarılan çekme deneyi numuneleri, işleme ve çekme deneyi sonrası numuneler görülmektedir.



Şekil 3.19. 1 kaynaklı plakadan çıkarılan çekme deneyi numuneleri, işleme ve çekme deneyi sonrası numuneler.

Çekme deneyi için Şekil 3.20.'deki WEW-1000D bilgisayar bağlantısı olan ve sonuçları otomatik olarak verebilecek teknolojiye sahip bir cihaz kullanılarak, TS EN ISO 6892-1 ve TS EN ISO 4136 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir (TSE, 2013). Deney cihazı ekranına L_U ve/veya S_u ölçüleri deney sonrasında girilmiştir. Deney sonucunda cihazdan $R_{p0,2}$, R_{eH} , R_{eL} , R_m , F_m , A ve Z değerleri deney sonuç formu vasıtasıyla otomatik olarak alınmıştır.

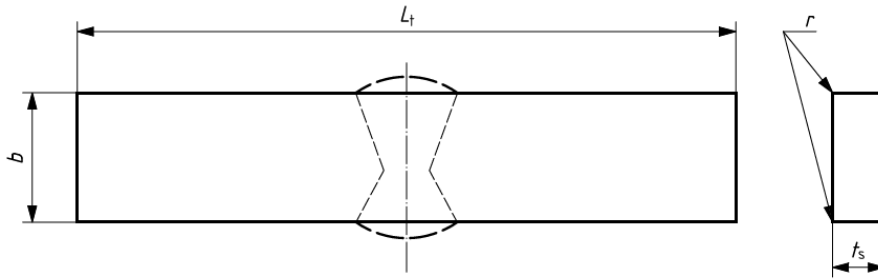


Şekil 3.20. WEW-1000D çekme- eğme testi için kullanılan cihaz

Çekme deneyinde test değerleri kadar da, test parçasının koptuğu bölge de büyük öneme sahiptir. Sonuçlar yorumlanırken bu bölgeler de dikkate alınmıştır. Uygun olduğu gibi kopma bölgesi kaynaktan değil malzemedendir. Şekil 3.19.'da çekme deneyinden uygulanmış test parçalarının malzemedeki koptuğu bölgeler görülmektedir.

3.6.3. Eğme Deneyinin Uygulanması

12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanmış 1'er adet numuneye, 12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanarak kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış 1'er adet numuneye tahribatsız muayene uygulandıktan sonra EN ISO 15614-1 standardına göre malzeme kalınlığı malzeme cinsi ve kaynak yöntemine dikkat edilerek 4'er adet toplam 16 adet enine kenar eğme deneyi numunesi hazırlanmıştır (TSE,2007). TS EN ISO 5173 standardına göre eğme deneyi uygulanmıştır (TSE, 2010). Enine kenar eğme numunesi Şekil.3.21.'de görülen geometride hazırlanmıştır.



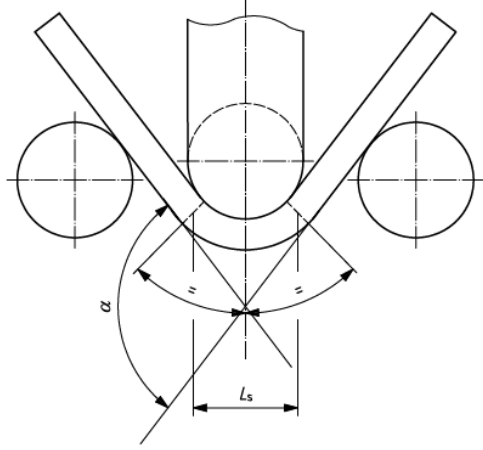
Şekil 3.21. Enine kenar eğme numunesinin geometrisi

Deney numunesinin; kenarları $0,2t_s$ yarıçapla (ancak r_{max} : 3 mm olabilir) yuvarlatılmış, boyu standart gerekliliklerince hazırlanmıştır. Hazırlanan eğme numuneleri Şekil.3.22.'de görülmektedir.



Şekil 3.22. Enine kenar eğme numuneleri

Eğme deneyi de Şekil 3.20.'de görülen WEW-1000D model cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Bu deney TS EN ISO 5173 standardındaki gereklilikler referans alınarak uygulanmıştır (TSE,2010). Çekme deneyi sonucunda elde edilen verilere göre % Uzaması (A) $\geq 20\%$ olduğu için mandrel çapı $4t_s$ olarak belirlenmiştir. Şekil.3.23'de görüldüğü gibi mandrel mesafesi ayarlanarak, numunelerin kaynak bölgesinin tam ortası mandrel çapına denk gelecek şekilde test gerçekleştirilmiştir.



$$d + 2t_s + 3 \leq l \leq d + 3t_s$$

$$d \geq 1,3L_s - t_s$$

Şekil 3.23. Mandrel mesafesinin belirlenmesi

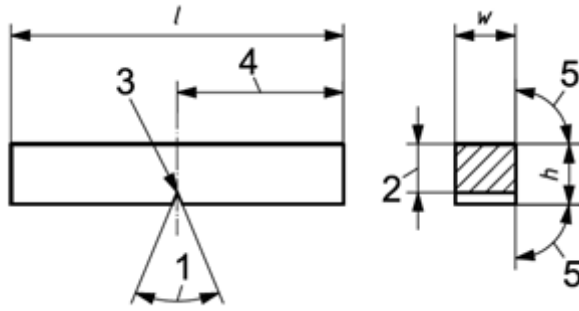


Şekil 3.24. Eğme deneyi sonucunda numuneler

Eğme deneyi sonucunda numuneler Şekil 3.24'te görülmektedir. Numune yüzeyi ve kenar kısımları incelenmiş olup, çıplak gözle görülebilen tüm çatlak veya diğer açık hatalar için görsel kontrol yapılmıştır. Numuneler eğme deneyi sonucuna göre uygundur.

3.6.4. Çentik darbe deneyinin uygulanması

12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanmış kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işleme uygulanmış ve uygulanmamış 1'er adet numuneye tahribatsız muayene uygulandıktan sonra bu numunelerden 2'şer takım adet toplam 24 adet çentik darbe deneyi numunesi hazırlanmıştır. TS EN ISO 148-1 ve TS EN ISO 9016 standardına göre çentik darbe deneyi uygulanmıştır (TSE,2012). V çentik darbe deneyi numunesi Şekil.3.25.'de görülen geometride hazırlanmıştır. Çizelge 3.16.'da deney numuneleri ve ölçüleri için toleranslar görülmektedir.



Şekil.3.25. V çentik darbe deneyi numune geometrisi

Çizelge.3.16. Çentik darbe deneyi numunesi için toleranslar

| Adlandırma | V-Çentikli deney parçası | |
|---------------------------------|--------------------------|-------------------|
| | Anma Boyutu | İşletme Toleransı |
| Uzunluk (l) | 55 mm | $\pm 0,60$ mm |
| Yükseklik (h) (b) | 10 mm | $\pm 0,075$ mm |
| -standart deney parçası | 10 mm | $\pm 0,11$ mm |
| -daralmış kesitli deney parçası | 7,5 mm | $\pm 0,11$ mm |
| -daralmış kesitli deney parçası | 5 mm | $\pm 0,06$ mm |
| -daralmış kesitli deney parçası | 2,5 mm | $\pm 0,05$ mm |
| Çentik açısı (1) | 45° | $\pm 2^\circ$ |
| Çentik altı yüksekliği (2) | 8 mm | $\pm 0,075$ mm |
| Çentik taban kavis yarıçapı (3) | 0,25 mm | $\pm 0,025$ mm |
| Çentiğin kenara uzaklığı (4) | 27,5 mm | $\pm 0,42$ mm (d) |
| Uzun kenar açısı (5) | 90 ° | $\pm 2^\circ$ |

Çizelge 3.16.'daki ölçüler referans alınarak ITAB ve kaynak bölgelerinden 1'er takım 3 set, 450 açı, 2 mm derinlik ve 0,25 mm kök yarıçapına sahip numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Şekil.3.26.'da görülmektedir.



Şekil.3.26. ITAB ve kaynak bölgelerinden çıkarılan çentik darbe deneyi numuneleri

-20C° 'de soğutulan numuneler soğutucudan çıktığı 5 saniye içerisinde , 23 C° ortam sıcaklığında Şekil 3.27.'de görülen WF10X/18 model numaralı cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.27. WF10X/18 model numaralı çentik darbe deneyi cihazı

Kırılan numuneler Şekil 3.28.'de görülmektedir. Deney sonuçları darbe tokluğu olarak kaydedilmiş ve kırılan numuneler incelenerek sünek kırılma yüzdesi hesaplanarak görsel olarak kırılma tipi tespit edilmiştir. Numunelerin kırılma durumu uygundur.



Şekil 3.28. Kırılan numuneler

3.6.5. Sertlik Deneyinin Uygulanması

12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanmış kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işleme uygulanmış ve uygulanmamış 1'er adet numuneye, tahribatsız muayene uygulandıktan sonra her numuneden 1'er adet toplam 4 adet sertlik deneyi numunesi çıkarılmıştır. TS EN ISO 6506-1, TS EN ISO 6507-1 ve TS EN ISO 6508-1 standartlarına göre; malzeme, ITAB kaynak, ITAB ve malzeme bölgesi olmak üzere toplam 5 ölçüm bölgesinden 3'er veya 5'er kez ölçüm alınarak HV 10 sertlik deneyi uygulanmıştır. Şekil 3.29'da görülen SHBRV187.5 model cihaz ile TS EN ISO 6506-1, TS EN ISO 6507-1 ve TS EN ISO 6508-1 standartlarındaki gereklilikler referans alarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.29. SHBRV187.5 model sertlik ölçüm cihazı

Malzemeden alınan numunelere zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Zımparalama kademeli olarak büyükten küçüğe doğru gerçekleştirilmiş ve numunelerin yüzeyi neredeyse pürüzsüz hale getirilmiştir. 136° tepe açılı piramit uç kullanılarak V10 sertlik deneyi uygulanmıştır. Şekil 3.30.'da sertlik deneyi ve makroskobik mikroskobik dağlama uygulanan numuneler görülmektedir.



Şekil 3.30. Makroskobik ve mikroskobik dağlanan ve sertlik deneyi uygulanan numuneler

Deney sonuçları kaydedilmiş ve kaynak bölgesinden malzemeye doğru olan sertlik geçişlerinin uygun olduğu gözlemlenmiştir.

3.6.6. Makroskobik ve Mikroskobik Dağlama Deneyinin Uygulanması

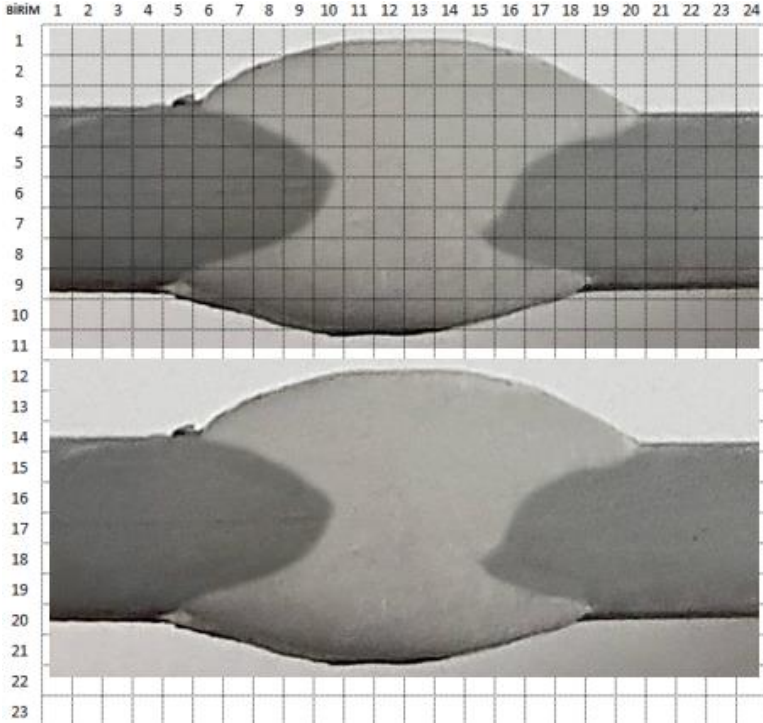
12 mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerle hazırlanmış kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış 1'er adet numuneye, tahribatsız muayene uygulandıktan sonra her numuneden 3'er adet toplam 12 adet sertlik deneyi numunesi çıkarılmıştır. Numuneler dağlama deneyi için de kullanılmıştır. TS EN ISO 17639 standartlarına göre mikroskobik-makroskobik dağlama deneyi uygulanmıştır.

Kullanılan keller dağlayıcının karıştırma kompozisyon hacmi ve dzenı; 99 ml ile 95 ml arasında endüstriyel mavi ispirto, 1 ml ile 5 ml arasında nitrik asit (HNO₃), Etil alkol (C₂H₅OH), metil alkol ile denatüre edilmiş (CH₃OH) izoamil alkol [(CH₃)₂CH(CH₂)₂OH]'dür. 3.31.'de buna uygun hazırlanmış kimyasal dağlayıcı görölmektedir.



şekil 3.31. Hazırlanmış kimyasal dağlayıcı

Dağlayıcı ile dağlama yapılan numunelere ait makroskobik görüntü şekil 3.32'de verilmiştir.



şekil 3.32. Makroskobik dağlanan ve sertlik deneyi uygulanan numuneler

Dağlanan ve mikroskobik olarak incelenen numunelerde; sıcak çatlak, soğuk çatlak , lamelli yığılma, boğluk , kalıntı, az nşfuziyet, geometrik Şekil bozukluğu, birleğme bozukluğu, ayrığma, katılağma bozuklukları, segregasyon olup olmadığı kontrol edilmiğ olup, hiç birine rastlanmamığtır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde; 12mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin kaynak sonrası oluşan gerilmelerin ısıtma işlemi ile giderilmesinin ve etkilerinin tahribatsız ve tahribatlı muayene yöntemleri tespit edilen sonuçlarına yer verilmiştir. Materyal ve Metot kısmında açıklanan 12mm ve 35mm kalınlığındaki S355J2N malzemelerden ısıtma işlemi uygulanmış ve ısıtma işlemi uygulanmamış olarak 2'şer adet numunelere uygulanan muayene ve deney sonuçları tablolar ve grafikler halinde açıklanmıştır.

4.1.Tahribatlı Muayene Deney Verileri

Hazırlanan numunelere uygulanan çekme deneyi, eğme deneyi, çentik darbe deneyi , sertlik deneyi, makroskobik ve mikroskobik dağlama deneyi sonuçları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 4.1., Çizelge 4.2., Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.'te 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıtma işlemi uygulanmış ve uygulanmamış toplam 8 adet deney numunesine uygulanan çekme deneyinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.1. 12 mm kalınlığında ısıtma işlemi uygulanmamış S355J2N numune için çekme deneyi verileri

| Numune Adı | Rp0.2 (N/mm ²) | Rm(N/mm ²) | A(%) | Lo(mm) | Lu(mm) | Kopma Bölgesi |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-------|--------|--------|---------------|
| Çekme numunesi 1 | 418 | 585 | 23,88 | 85 | 105,3 | malzeme |
| Çekme numunesi 2 | 404 | 585 | 24,99 | 85 | 106,2 | malzeme |

Çizelge 4.2. 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıtma işlemi uygulanmış S355J2N numune için çekme deneyi verileri

| Numune Adı | Rp0.2 (N/mm ²) | Rm(N/mm ²) | A(%) | Lo(mm) | Lu(mm) | Kopma Bölgesi |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-------|--------|--------|---------------|
| Çekme numunesi 3 | 395 | 598 | 25,34 | 88 | 110,3 | malzeme |
| Çekme numunesi 4 | 419 | 592 | 26,36 | 88 | 111,2 | malzeme |

Çizelge 4.3. 35 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çekme deneyi verileri

| Numune Adı | Rp0.2 (N/mm ²) | Rm(N/mm ²) | A(%) | Lo(mm) | Lu(mm) | Kopma Bölgesi |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-------|--------|--------|---------------|
| Çekme numunesi 5 | 407 | 584 | 25,31 | 96 | 120,3 | malzeme |
| Çekme numunesi 6 | 413 | 589 | 26,56 | 96 | 121,5 | malzeme |

Çizelge 4.4. 35 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış S355J2N numune için çekme deneyi verileri

| Numune Adı | Rp0.2 (N/mm ²) | Rm(N/mm ²) | A(%) | Lo(mm) | Lu(mm) | Kopma Bölgesi |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-------|--------|--------|---------------|
| Çekme numunesi 7 | 401 | 601 | 26,95 | 95 | 120,6 | malzeme |
| Çekme numunesi 8 | 408 | 617 | 27,47 | 95 | 121,1 | malzeme |

Çizelge 4.5.'te 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış toplam 16 adet deney numunesine uygulanan eğme deneyinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.5. 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısı işlemi uygulanmış ve uygulanmamış toplam 16 adet deney numunesine uygulanan eğme deneyinin sonuçları

| Malzeme | Numune Adı | Mesnetler Arası Mesafe | Mandrel Çapı | Eğme Açısı | Sonuç |
|---|---------------------------------|------------------------|--------------|------------|-------|
| 12 mm S355J2N ısı işlem uygulanmamış | Kenar Eğme Numunesi 1,2,3,4 | 65 | 40 | 180° | Uygun |
| 12 mm S355J2N ısı işlem uygulanmış | Kenar Eğme Numunesi 5,6,7,8 | 65 | 40 | 180° | Uygun |
| 35 mm S355J2N ısı işlem uygulanmamış | Kenar Eğme Numunesi 9,10,11,12 | 65 | 40 | 180° | Uygun |
| 35 mm S355J2N ısı işlem uygulanmış | Kenar Eğme Numunesi 13,14,15,16 | 65 | 40 | 180° | Uygun |

Çizelge 4.6., Tablo 4.7., Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9.’te 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısı işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin her birinden 2’şer takım toplam 8 takım 24 set deney numunesine uygulanan çentik darbe deneyinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.6. 'da 12 mm 12 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri görülmektedir. 2 takım 6 set olarak hazırlanan numunelere kaynak ve ITAB bölgelerine göre çentik açılmış olup çentik darbe deneyi gerçekleştirilerek darbe dayanımı ölçülmüştür.

Çizelge 4.6. 12 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri

| Numune Adı | Çentik Tipi | Sıcaklık C° | Darbe Tokluğu [Joule /cm ²] | Test Sonucu [Joule] | Sonuç/Ortalama | |
|------------|-------------|-------------|---|---------------------|---------------------------|---------|
| | | | | | [Joule /cm ²] | [Joule] |
| Numune 1a | V (Kaynak) | -20 | 149,04 | 119,23 | 151,01 | 120,81 |
| Numune 1b | V (Kaynak) | -20 | 147,09 | 117,67 | | |
| Numune 1c | V (Kaynak) | -20 | 156,9 | 125,52 | | |
| Numune 2a | V (ITAB) | -20 | 135,65 | 108,52 | 132,53 | 108,03 |
| Numune 2b | V (ITAB) | -20 | 127,34 | 101,69 | | |
| Numune 2c | V (ITAB) | -20 | 134,61 | 107,69 | | |

Çizelge 4.7.'de 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri görülmektedir. 2 takım 6 set olarak hazırlanan numunelere kaynak ve ITAB bölgelerine göre çentik açılmış olup çentik darbe deneyi gerçekleştirilerek darbe dayanımı ölçülmüştür.

Çizelge 4.7. 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri

| Numune Adı | Çentik Tipi | Sıcaklık C° | Darbe Tokluğu [Joule /cm ²] | Test Sonucu [Joule] | Sonuç/Ortalama | |
|------------|-------------|-------------|---|----------------------|---------------------------|---------|
| | | | | | [Joule /cm ²] | [Joule] |
| Numune 3a | V (Kaynak) | -20 | 127,91 | 102,33 | 124,68 | 99,74 |
| Numune 3b | V (Kaynak) | -20 | 123,93 | 100,74 | | |
| Numune 3c | V (Kaynak) | -20 | 120,19 | 96,15 | | |
| Numune 4a | V (ITAB) | -20 | 139,55 | 111,64 | 141,04 | 112,835 |
| Numune 4b | V (ITAB) | -20 | 138,63 | 109,32 | | |
| Numune 4c | V (ITAB) | -20 | 146,91 | 117,53 | | |

Çizelge 4.8.'de 35 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri görülmektedir. 2 takım 6 set olarak hazırlanan numunelere kaynak ve ITAB bölgelerine göre çentik açılmış olup çentik darbe deneyi gerçekleştirilerek darbe dayanımı ölçülmüştür.

Çizelge 4.8. 35 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri

| Numune Adı | Çentik Tipi | Sıcaklık C° | Darbe Tokluğu [Joule /cm ²] | Test Sonucu [Joule] | Sonuç/Ortalama | |
|------------|-------------|-------------|---|----------------------|---------------------------|---------|
| | | | | | [Joule /cm ²] | [Joule] |
| Numune 5a | V (Kaynak) | -20 | 152,99 | 122,39 | 150,14 | 120,11 |
| Numune 5b | V (Kaynak) | -20 | 152,18 | 121,74 | | |
| Numune 5c | V (Kaynak) | -20 | 145,26 | 116,21 | | |
| Numune 6a | V (ITAB) | -20 | 165,61 | 132,49 | 161,81 | 129,45 |
| Numune 6b | V (ITAB) | -20 | 160,8 | 128,64 | | |
| Numune 6c | V (ITAB) | -20 | 159,01 | 127,21 | | |

Çizelge 4.9.'da 35 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemleri uygulanmış S355J2N numune çentik darbe deneyi verileri görülmektedir. 2 takım 6 set olarak hazırlanan numunelere kaynak ve ITAB bölgelerine göre çentik açılmış olup çentik darbe deneyi gerçekleştirilerek darbe dayanımı ölçülmüştür.

Çizelge 4.9. 35 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemleri uygulanmış S355J2N numune için çentik darbe deneyi verileri

| Numune Adı | Çentik Tipi | Sıcaklık C° | Darbe Tokluğu [Joule /cm ²] | Test Sonucu [Joule] | Sonuç/Ortalama | |
|------------|-------------|-------------|---|---------------------|---------------------------|---------|
| | | | | | [Joule /cm ²] | [Joule] |
| Numune 7a | V (Kaynak) | -20 | 119,14 | 95,31 | 118,77 | 95,01 |
| Numune 7b | V (Kaynak) | -20 | 122,63 | 98,1 | | |
| Numune 7c | V (Kaynak) | -20 | 114,54 | 91,63 | | |
| Numune 8a | V (ITAB) | -20 | 125,86 | 100,69 | 131,99 | 105,59 |
| Numune 8b | V (ITAB) | -20 | 133,59 | 106,87 | | |
| Numune 8c | V (ITAB) | -20 | 136,51 | 109,21 | | |

Çizelge 4.10., Çizelge 4.11., Çizelge 4.12. ve Çizelge 4.13.’te 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin her birinden 1’er adet toplam 4 adet deney numunesine uygulanan sertlik deneyinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.10.’da 12 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri görülmektedir. Sertlik; malzeme, ITAB ve kaynak bölgesi HV cinsinden ölçülmüştür. ITAB bölgesinden 5 farklı ölçüm, diğer bölgelerden 3 farklı ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 4.10. 12 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri

| Sertlik Ölçüm Numunesi | 1. Ölçüm | 2.Ölçüm | 3.Ölçüm | 4.Ölçüm | 5.Ölçüm | Sonuç (HV) |
|------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Ölçüm Alanı 1 Malzeme | 163 | 160 | 154 | | | 156,67 |
| Ölçüm Alanı 2 Malzeme | 153 | 151 | 158 | | | |
| Ölçüm Alanı 3 Malzeme | 155 | 158 | 158 | | | |
| Ölçüm Alanı 4 ITAB | 169 | 170 | 171 | 178 | 177 | 174,53 |
| Ölçüm Alanı 5 ITAB | 177 | 171 | 176 | 177 | 170 | |
| Ölçüm Alanı 6 ITAB | 177 | 175 | 175 | 178 | 177 | |
| Ölçüm Alanı 7 Kaynak | 179 | 180 | 185 | | | 186,9 |
| Ölçüm Alanı 8 Kaynak | 181 | 180 | 189 | | | |
| Ölçüm Alanı 9 Kaynak | 196 | 197 | 195 | | | |
| Ölçüm Alanı 10 ITAB | 171 | 175 | 176 | 176 | 176 | 174,2 |
| Ölçüm Alanı 11 ITAB | 174 | 173 | 177 | 171 | 179 | |
| Ölçüm Alanı 12 ITAB | 172 | 173 | 174 | 172 | 175 | |
| Ölçüm Alanı 14 Malzeme | 158 | 156 | 154 | | | 155,44 |
| Ölçüm Alanı 15 Malzeme | 151 | 153 | 153 | | | |
| Ölçüm Alanı 16 Malzeme | 157 | 160 | 157 | | | |

Çizelge 4.11.'de 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemleri uygulanmış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri görülmektedir. Sertlik; malzeme, ITAB ve kaynak bölgesi HV cinsinden ölçülmüştür. ITAB bölgesinden 5 farklı ölçüm, diğer bölgelerden 3 farklı ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 4.11. 12 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıl işlemleri uygulanmış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri

| Sertlik Ölçüm Numunesi | 1. Ölçüm | 2. Ölçüm | 3. Ölçüm | 4. Ölçüm | 5. Ölçüm | Sonuç (HV) |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| Ölçüm Alanı 1 Malzeme | 165 | 168 | 161 | | | 165,77 |
| Ölçüm Alanı 2 Malzeme | 171 | 169 | 167 | | | |
| Ölçüm Alanı 3 Malzeme | 161 | 162 | 168 | | | |
| Ölçüm Alanı 4 ITAB | 188 | 189 | 180 | 185 | 189 | 186,93 |
| Ölçüm Alanı 5 ITAB | 182 | 181 | 189 | 188 | 187 | |
| Ölçüm Alanı 6 ITAB | 188 | 184 | 189 | 191 | 194 | |
| Ölçüm Alanı 7 Kaynak | 210 | 201 | 209 | | | 207,11 |
| Ölçüm Alanı 8 Kaynak | 208 | 204 | 208 | | | |
| Ölçüm Alanı 9 Kaynak | 211 | 206 | 207 | | | |
| Ölçüm Alanı 10 ITAB | 188 | 189 | 186 | 190 | 189 | 189,8 |
| Ölçüm Alanı 11 ITAB | 191 | 198 | 190 | 184 | 188 | |
| Ölçüm Alanı 12 ITAB | 190 | 184 | 188 | 194 | 198 | |
| Ölçüm Alanı 14 Malzeme | 167 | 169 | 170 | | | 172,22 |
| Ölçüm Alanı 15 Malzeme | 167 | 163 | 167 | | | |
| Ölçüm Alanı 16 Malzeme | 170 | 189 | 188 | | | |

Çizelge 4.12.'de 35 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N için sertlik deneyi verileri görülmektedir. Sertlik; malzeme, ITAB ve kaynak bölgesi HV cinsinden ölçülmüştür. ITAB bölgesinden 5 farklı ölçüm, diğer bölgelerden 3 farklı ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 4.12. 35 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri

| Sertlik Ölçüm Numunesi | 1. Ölçüm | 2.Ölçüm | 3.Ölçüm | 4.Ölçüm | 5.Ölçüm | Sonuç (HV) |
|------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|------------|
| Ölçüm Alanı 1 Malzeme | 154 | 155 | 158 | | | 156,11 |
| Ölçüm Alanı 2 Malzeme | 157 | 152 | 159 | | | |
| Ölçüm Alanı 3 Malzeme | 158 | 155 | 157 | | | |
| Ölçüm Alanı 4 ITAB | 177 | 176 | 174 | 175 | 179 | 176,88 |
| Ölçüm Alanı 5 ITAB | 178 | 177 | 170 | 178 | 172 | |
| Ölçüm Alanı 6 ITAB | 175 | 175 | 179 | 180 | 188 | |
| Ölçüm Alanı 7 Kaynak | 188 | 184 | 184 | | | 186,33 |
| Ölçüm Alanı 8 Kaynak | 188 | 187 | 183 | | | |
| Ölçüm Alanı 9 Kaynak | 186 | 187 | 190 | | | |
| Ölçüm Alanı 10 ITAB | 175 | 174 | 179 | 178 | 180 | 176,74 |
| Ölçüm Alanı 11 ITAB | 175 | 177 | 179 | 170 | 178 | |
| Ölçüm Alanı 12 ITAB | 174 | 178 | 170 | 185 | 179 | |
| Ölçüm Alanı 14 Malzeme | 159 | 157 | 153 | | | 155,67 |
| Ölçüm Alanı 15 Malzeme | 159 | 155 | 156 | | | |
| Ölçüm Alanı 16 Malzeme | 155 | 154 | 153 | | | |

Çizelge 4.13.'de 35 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmış S355J2N için sertlik deneyi verileri görülmektedir. Sertlik; malzeme, ITAB ve kaynak bölgesi HV cinsinden ölçülmüştür. ITAB bölgesinden 5 farklı ölçüm, diğer bölgelerden 3 farklı ölçüm yapılmıştır.

Çizelge 4.13. 35 mm kalınlığında kaynak sonrası gerilmeleri giderme ısıtıl işlemi uygulanmış S355J2N numune için sertlik deneyi verileri.

| Sertlik Ölçüm Numunesi | 1. Ölçüm | 2. Ölçüm | 3. Ölçüm | 4. Ölçüm | 5. Ölçüm | Sonuç (HV) |
|------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
| Ölçüm Alanı 1 Malzeme | 161 | 162 | 165 | | | 165,78 |
| Ölçüm Alanı 2 Malzeme | 167 | 168 | 172 | | | |
| Ölçüm Alanı 3 Malzeme | 162 | 167 | 168 | | | |
| Ölçüm Alanı 4 ITAB | 184 | 183 | 188 | 183 | 186 | 185,1 |
| Ölçüm Alanı 5 ITAB | 188 | 185 | 183 | 183 | 182 | |
| Ölçüm Alanı 6 ITAB | 186 | 183 | 182 | 195 | 185 | |
| Ölçüm Alanı 7 Kaynak | 204 | 203 | 202 | | | 207,78 |
| Ölçüm Alanı 8 Kaynak | 210 | 209 | 212 | | | |
| Ölçüm Alanı 9 Kaynak | 213 | 202 | 215 | | | |
| Ölçüm Alanı 10 ITAB | 186 | 185 | 182 | 198 | 187 | 188,1 |
| Ölçüm Alanı 11 ITAB | 187 | 190 | 188 | 188 | 183 | |
| Ölçüm Alanı 12 ITAB | 192 | 182 | 188 | 193 | 192 | |
| Ölçüm Alanı 14 Malzeme | 164 | 163 | 171 | | | 167,78 |
| Ölçüm Alanı 15 Malzeme | 167 | 168 | 163 | | | |
| Ölçüm Alanı 16 Malzeme | 172 | 181 | 161 | | | |

Çizelge 4.14.'te 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemleri uygulanmış ve uygulanmamış toplam 4 adet deney numunesine uygulanan makroskobik ve mikroskobik dağlama deneyinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.14. 12 ve 35 mm kalınlığındaki kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemleri uygulanmış ve uygulanmamış toplam 4 adet deney numunesine uygulanan makroskobik ve mikroskobik dağlama deneyinin sonuçları.

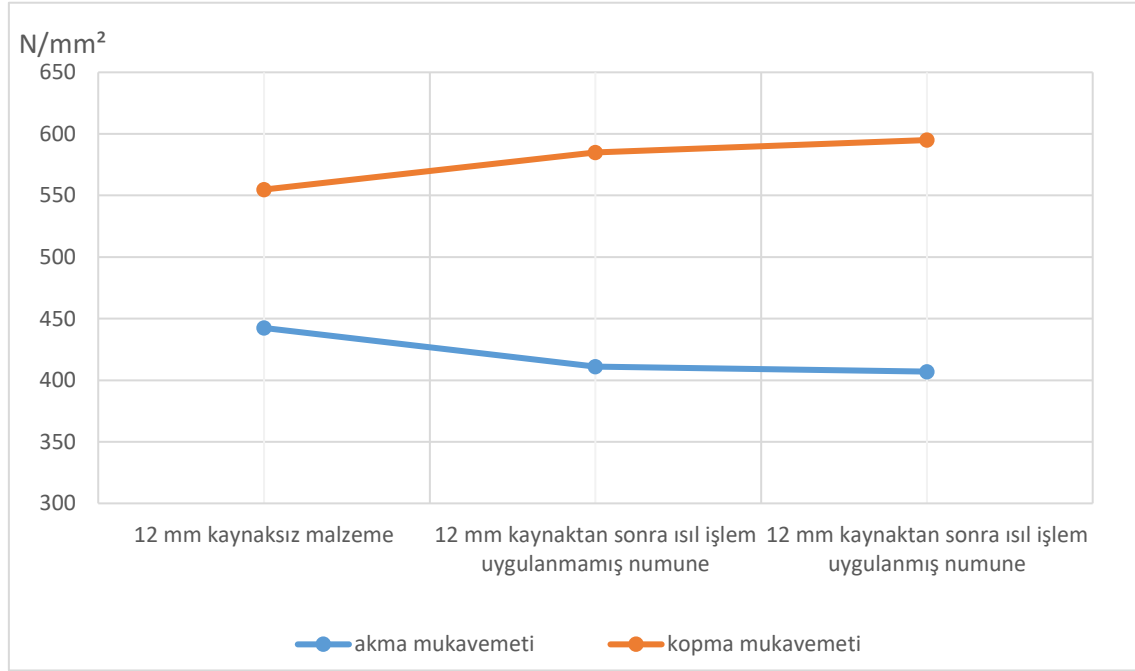
| Numune Adı | Kontrol Parametreleri | Sonuç |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------|
| Sertlik ölçüm numunesi 1,2,3,4 | Sıcak Çatlaklar | Yok/Uygun |
| | Soğuk Çatlaklar | Yok/Uygun |
| | Lamelli Yırtılma | Yok/Uygun |
| | Boşluklar | Yok/Uygun |
| | Kalıntılar | Yok/Uygun |
| | Ergime / Nüfuziyet Azlığı | Yok/Uygun |
| | Geometrik Şekil | Uygun |
| | Isıdan Etkilenmiş Bölge | Uygun |
| | Ayrışma ve Katmanlaşma | Uygun |
| | Katılaşma Yapısı | Uygun |
| | Birleştirme Hazırlığı | Uygun |
| | Haddeleme / Ekstrüzyon Yönü | Uygun |
| | Fiber Yapı (Tane) Yönü | Uygun |
| | Segregasyon | Yok/Uygun |
| | Mekanik / Termal Etkiler | Uygun |
| | Tamir ve Uygun Olmayış | Yok/Uygun |

4.2.Tahribatlı Deney Verilerinin Karşılaştırılması

Hazırlanan numunelere uygulanan çekme deneyi, eğme deneyi, çentik darbe deneyi, sertlik deneyi, makroskobik ve mikroskobik dağlama deneyi sonuçları grafikler ile karşılaştırılmıştır.

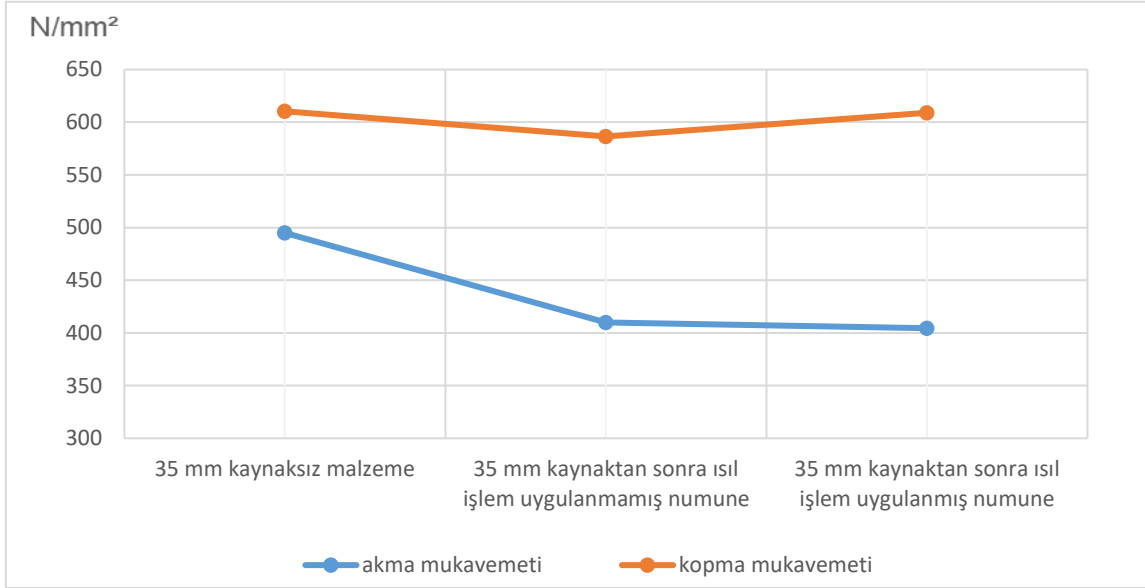
Çizelge 4.15.'de Çizelge 3.2'deki 12 mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları ile Çizelge 4.1.'deki 12 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmamış S355J2N numunesi ve Çizelge 4.2.'deki 12 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış çekme deneyinin sonuçları grafik halinde akma ve kopma mukavemetlerine göre karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 4.15. 12 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıtıl işlem uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıtıl işlem uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına göre akma ve kopma mukavemetinin karşılaştırması.



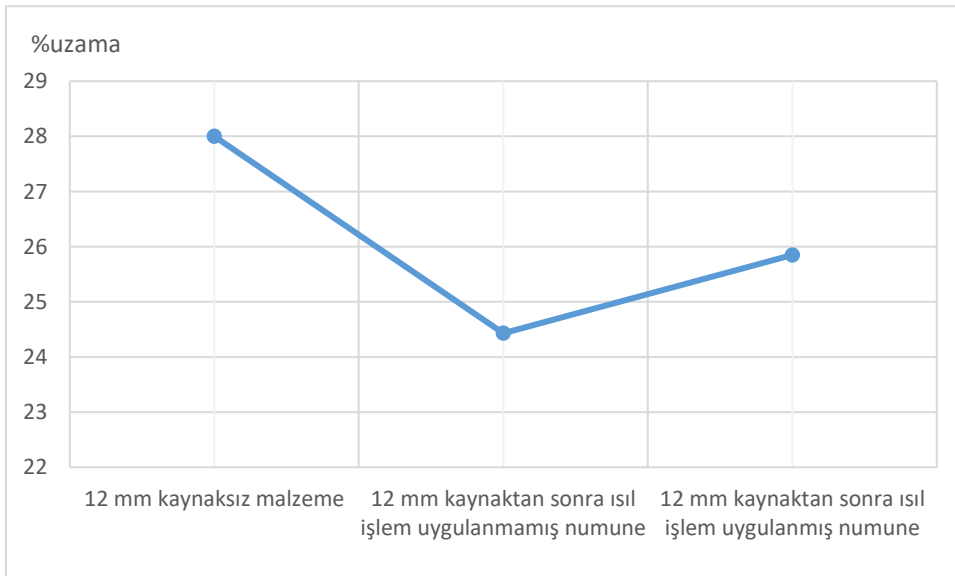
Çizelge 4.16.'da Çizelge 3.5'deki 35 mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları ile Çizelge 4.3.'deki 35 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmamış S355J2N numunesi ve Şekil 4.4.'deki 35 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış çekme deneyinin sonuçları grafik halinde akma ve kopma mukavemetlerine göre karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 4.16. 35 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıl işlem uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıl işlem uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına göre akma ve kopma mukavemetinin karşılaştırması.



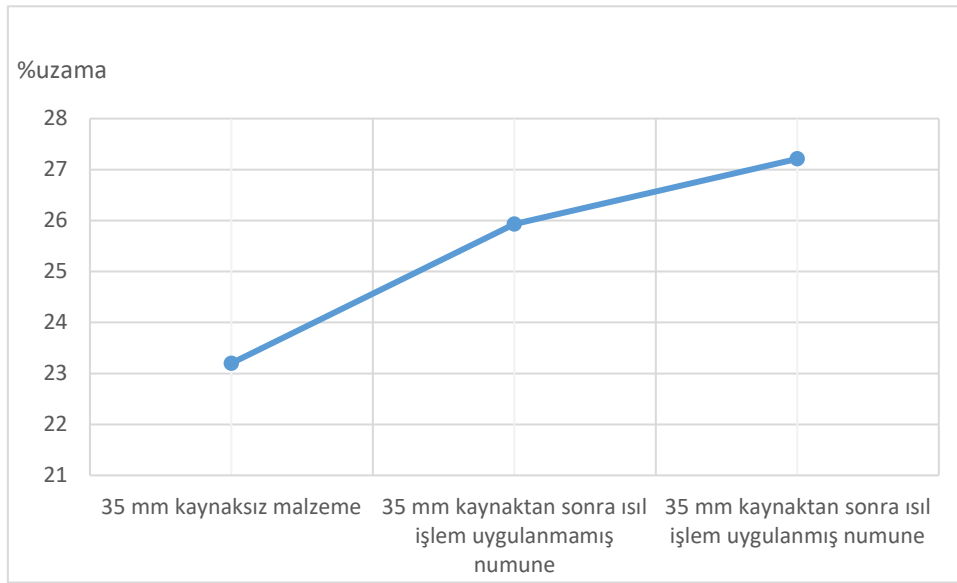
Çizelge 4.17.'de Çizelge 3.2.'deki 12 mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları ile Çizelge 4.1.'deki 12 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmamış S355J2N numunesinin yüzde uzama değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Çizelge 4.2.'deki 12 mm kalınlığında ısıl işlem uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış çekme deneyinin sonuçları da yüzde uzama değerine göre karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 4.17. 12 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıl işlem uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıl işlem uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına göre yüzde uzama değerlerinin karşılaştırması.



Çizelge 4.18.'de, Çizelge 3.5.'deki 35 mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin çekme deneyi sonuçları ile Çizelge 4.3.'deki 35 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmamış S355J2N numunesinin yüzde uzama değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca Çizelge 4.4.'deki 35 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış çekme deneyinin sonuçları da yüzde uzama değerlerine göre karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

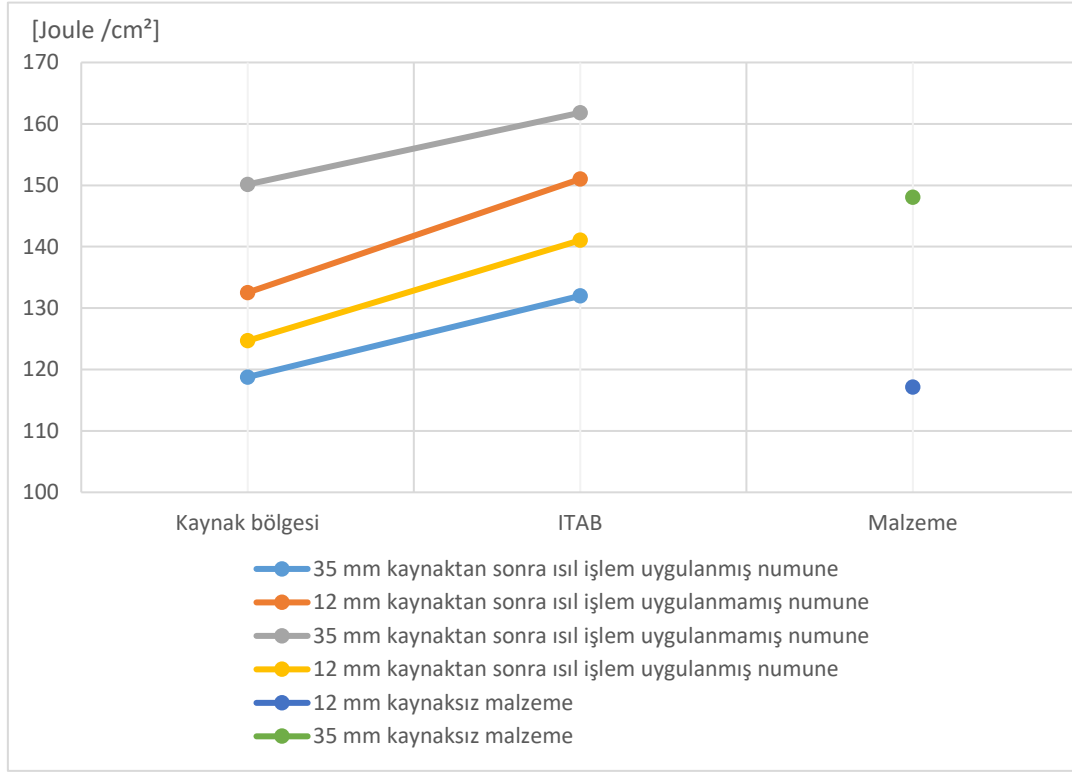
Çizelge 4.18. 35 mm kalınlığında S355J2N malzeme, ısıtıl işlem uygulanmamış kaynaklı numune ve ısıtıl işlem uygulanmış kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçlarına göre yüzde uzama değerlerinin karşılaştırması.



Çizelge 4.19.'de Çizelge 3.3.'deki 12 mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin çentik darbe deneyi sonuçları ile Çizelge 4.6.'deki 12 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmamış S355J2N numunesinin çentik darbe deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Çizelge 4.7.'deki 12 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış çentik darbe deneyi sonuçları da darbe tokluğu değerine göre karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

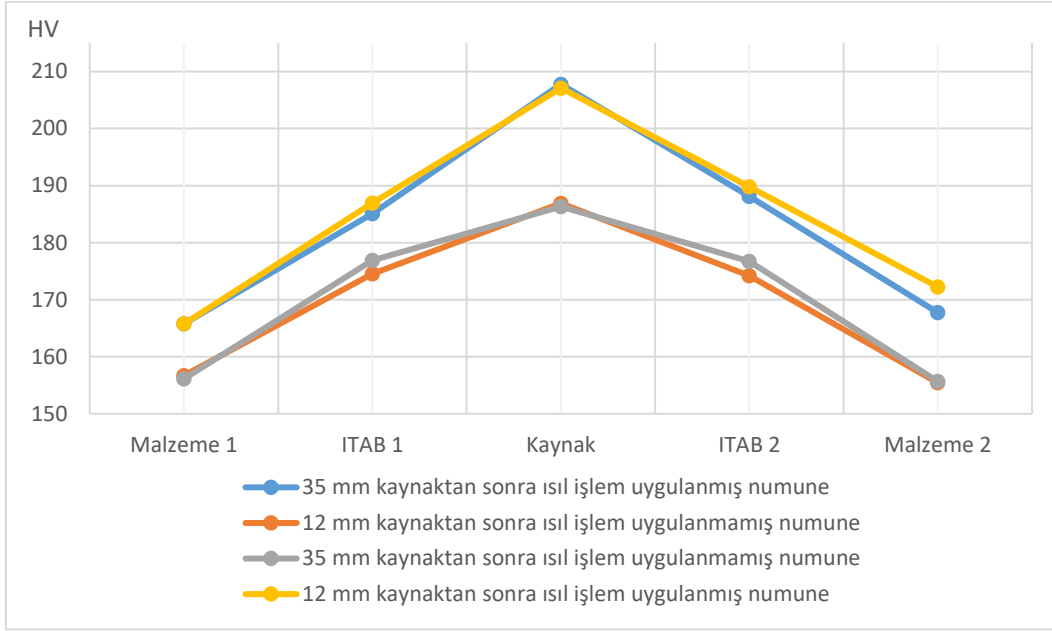
Çizelge 4.19.'da Çizelge 3.6.'daki 35 mm kalınlığındaki S355J2N yapı çeliğinin çentik darbe deneyi sonuçları ile Çizelge 4.8.'deki 35 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmamış S355J2N numunesinin çentik darbe deneyi sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca Çizelge 4.9.'deki 35 mm kalınlığında ısıtıl işlem uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış çentik darbe deneyi sonuçları, darbe tokluğu değerine göre karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 4.19. 12 ve 35 mm kalınlıklarındaki S355J2N numunelerin ısıtılma öncesi, sonrası ve kaynaklı malzemelerine göre darbe tokluklarının karşılaştırılması.



Çizelge 4.20.'de, Çizelge 4.10'deki 12 mm kalınlığında ısıtılma uygulanmamış S355J2N numunesi ve Tablo 4.11.'deki 12 mm kalınlığında ısıtılma uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış sertlik deneyi sonuçları; kaynak bölgesi, ITAB ve malzeme bölgeleri için karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.20.'de Çizelge 4.12'deki 35 mm kalınlığında ısıtılma uygulanmamış S355J2N numunesi ve Çizelge 4.13.'deki 35 mm kalınlığında ısıtılma uygulanmış S355J2N numunesi için uygulanmış sertlik deneyi sonuçları, kaynak bölgesi, ITAB ve malzeme bölgeleri için karşılaştırılarak grafik halinde verilmiştir.

Çizelge 4.20. 12 ve 35 mm kalınlıklarındaki S355J2N numunelerin ısıtılma öncesi, sonrası ve kaynaklı malzemelerine göre malzeme, ITAB ve kaynak bölgelerinde vickers sertlik değerlerinin karşılaştırılması.



5.SONUÇ VE ÖNERİLER

12 mm kalınlığında S355J2N kalite malzemedan hazırlanmış kaynak uygulanmış, kaynaktan sonra gerilim giderme ısııl işleme uygulanmış ve uygulanmamış numunelere ait deneysel verilere dayanarak aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

●Çizelge 3.2. ve Çizelge 4.1. 'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.15.'deki grafiğe göre; kaynak uygulanmış numunenin, kaynak uygulanmayan malzemeye göre 31,44 N/mm² akma mukavemetinin azaldığı, çekme mukavemetinin de 30,2 N/mm² arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 3.2. ve Çizelge 4.1.'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.2.17.'deki grafiğe göre; kaynak uygulanmış numunenin, kaynak uygulanmayan malzemeye göre yüzde uzamasının %3,57 azaldığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 3.3. ve Çizelge 4.6'daki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı 4.2.19'deki grafiğe göre; kaynak uygulanmış numunenin, kaynak uygulanmayan malzemeye göre darbe tokluğunun kaynak bölgesinde 15,4 Joule/cm² , ısı tesiri altında kalan bölgede 33,88 Joule/cm arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.15.'deki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısııl işleme uygulanmış numunenin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısııl işleme uygulanmamış numuneye göre göre akma mukavemetinin 10 N/mm² azaldığı tespit edilmiştir. Çekme mukavemetinin 10 N/mm² arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.1. ve Çizelge 4.2.'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.17.'deki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısııl işleme uygulanmış numunenin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısııl işleme uygulanmamış numuneye göre yüzde uzamasının %2,42 arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı 4.19'daki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış numunenin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış numuneye göre darbe tokluğunun kaynak bölgesinde 7,85 Joule/cm² azaldığı tespit edilmiştir. Isı tesiri altında kalan bölgede de 9,97 Joule/cm² azaldığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.10 ve çizelge 4.11'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.20.'daki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış numunenin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış numuneye göre sertliğin kaynak bölgesinde 20,21 HV arttığı tespit edilmiştir. Isı tesiri altında kalan bölgede 14 HV, malzeme bölgesinde 12,94 HV arttığı tespit edilmiştir.

35 mm kalınlığında S355J2N kalite malzemedan hazırlanmış kaynak uygulanmış, kaynaktan sonra gerilim giderme ısıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelere ait deneysel verilere dayanarak aşağıdaki tespitler yapılmıştır.

●Çizelge 3.5. ve Çizelge 4.3. 'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.16.'daki grafiğe göre; kaynak uygulanmış numunenin, kaynak uygulanmayan malzemeye göre 84 N/mm² akma mukavemetinin azaldığı, çekme mukavemetinin de 23,87 N/mm² azaldığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 3.5. ve Çizelge 4.3.'deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.18.'deki grafiğe göre; kaynak uygulanmış numunenin, kaynak uygulanmayan malzemeye göre yüzde uzamasının %2,73 arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 3.6 ve Çizelge 4.6.'daki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı 4.19.'daki grafiğe göre; kaynak uygulanmış numunenin, kaynak uygulanmayan malzemeye göre darbe tokluğunun kaynak bölgesinde 2,09 Joule/cm² , ısı tesiri altında kalan bölgede 13,76 Joule/cm arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.’deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.16.’daki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış numunenin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış numuneye göre akma mukavemetinin $5,5 \text{ N/mm}^2$ azaldığı tespit edilmiştir. Çekme mukavemetinin de $22,5 \text{ N/mm}^2$ arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.3. ve Çizelge 4.4.’deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.18.’deki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış numunenin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış numuneye göre yüzde uzamasının %1,28 arttığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.8. ve Çizelge 4.9’.daki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı 4.19.’daki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış numunenin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış numuneye göre darbe tokluğunun kaynak bölgesinde $31,37 \text{ Joule/cm}^2$ azaldığı tespit edilmiştir. Isı tesiri altında kalan bölgede de $29,82 \text{ Joule/cm}^2$ azaldığı tespit edilmiştir.

●Çizelge 4.12. ve çizelge 4.13.’deki deneysel verilere ve bu verilerin kıyaslandığı Çizelge 4.20.’deki grafiğe göre; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmış numunenin, kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi uygulanmamış numuneye göre sertliğin kaynak bölgesinde $21,45 \text{ HV}$ arttığı tespit edilmiştir. Isı tesiri altında kalan bölgede $9,79 \text{ HV}$, malzeme bölgesinde de $10,89 \text{ HV}$ arttığı tespit edilmiştir.

Tüm mekanik özellikler birlikte değerlendirildiğinde malzeme kalınlığı ne olursa olsun kaynak uygulaması malzeme üzerinde artık gerilme oluşturarak malzemenin mukavemet özelliklerini olumsuz yönde etkilediği ve gevreklettiği tespit edilmiştir.

12 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanan numunelerde kaynak uygulamasının da akma mukavemetinin azalmasına, çekme mukavemetinin artmasına rağmen yüzde uzamanın azalması, kaynak bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölgenin kırma tokluğunun artması ile kaynak uygulaması sırasında artık gerilmelerin oluştuğu tespit edilmiştir.

35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanan numunelerde kaynak uygulamasının akma mukavemetini azaltmasına, çekme mukavemetini azaltmasına, yüzde uzamasını arttırmasına rağmen kaynak bölgesi ve ısı tesiri altında kalan bölgenin kırma tokluğunun artması ile malzeme kalınlığına göre artık gerilmenin etkilerinin farklı şiddette olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin kalınlıklarına göre kapsam aralığı olan 3 mm ve 70 mm malzeme kalınlığında malzemeler için, malzeme kalınlığı azaldıkça kaynak uygulamasıyla artık gerilmelerin etkisinin arttığı tespit edilmiştir. Artık gerilmenin etkisinin artması da malzeme kalınlığı azaldıkça malzemenin ısı tesirinden daha çok etkilenmesidir.

12 mm ve 35 mm kalınlığındaki S355J2N malzeme ile hazırlanan numunelerde kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işlemi ile akma mukavemeti azalarak, çekme mukavemeti artarak, yüzde uzama artarak, darbe tokluğu azalarak, sertlik artarak, kaynaktan sonraki artık gerilmelerin etkilerinin bir kısmının giderildiği tespit edilmiştir. Malzeme kalınlığı fark etmeksizin kaynaktan sonra gerilmeleri giderme ısıl işleminden sonra, kaynaktan sonraki malzemenin mekanik özelliklerine göre daha kararlı bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bu veriler; kaynaktan sonra gerilmeleri giderme işleminin kaynak uygulamasından önceki malzemenin özelliklerini tamamen geri kazandıramasa da, büyük bir kısmını geri kazandığını ve mukavemetini artırdığını tespit ederek ve gerekliliğini kanıtlar niteliktedir.

KAYNAKLAR

- Anık, S. (2013). Gazaltı ark kaynağı. Erişim adresi http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_1.pdf.
- Anık, S. (2013). Kaynak tekniği el kitabı. Erişim adresi http://www.gedikegitimvakfi.org.tr/wp-content/uploads/2013/12/library_6.pdf.
- Kara, O. ve Erdal, H. ve Çelik, H. (2017). Bazı tahribatsız test yöntemleri: karşılaştırmalı bir derleme çalışması. Marmara Fen Bilimleri Dergisi 3: 82-93.
- Kara, R. ve Yıldırım, G. (2017). TIG ve elektrik ark kaynağı ile birleştirilen alüminyum plakaların mekanik özelliklerinin incelenmesi. El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 4(2), 274-281.
- Köse, C. ve Karaca, C. (2017). Ti6Al4V alaşımının fiber lazer kaynak kabiliyeti. Technological Applied Sciences, 1308 7223.
- Meriç, C. ve Tokdemir, M. (1997). Mag kaynağı ile birleştirilmiş SAE 1020'nin kaynak bölgesinin incelenmesi ve uyumsuzluk faktörünün belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(3),435,440.
- Öntürk, N. ve Özkan, E. (2018). Kaynak uygulaması ile S355J2N yapı çeliğinde artık gerilme oluşturulması ve mekanik özelliklere etkisi. European Journal of Engineering and Applied Sciences, 1(1), 39-42.
- Türk Standartları (2002). Kaynaklar - Çalışma konumları - Eğim ve dönme açılarının tarifleri. Türk Standartları Enstitüsü. (TS EN ISO 6947)
- Türk Standartları (2005). Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması - İmalât öncesi kaynak deneyini esas alan vasıflandırma. Türk Standartları Enstitüsü. (TS EN ISO 15613)
- Türk Standartları (2007). Metalik malzemeler için kaynak prosedürlerinin şartnamesi ve vasıflandırılması - Kaynak prosedürü deneyi - Bölüm 1: Çeliklerin gaz ve ark kaynağı, nikel ve nikel alaşımlarının ark kaynağı. Türk Standartları Enstitüsü. (TS EN ISO 15614-1)
- Türk Standartları (2010). Metalik malzemelerde kaynak dikişleri üzerinde tahribatlı muayeneler- Eğme deneyleri. Türk Standartları Enstitüsü. (TS EN ISO 5173)
- Türk Standartları (2012). Metalik malzemelerde kaynaklar üzerinde tahribatlı deneyler - Vurma deneyleri - Deney numunesi yeri, çentik yönü ve muayene. Türk Standartları Enstitüsü. (TS EN ISO 9016)
- Türk Standartları (2012). Tahribatsız muayene-Manyetik parçacık metodunda belgelendirme için temel eğitim kuralları. Türk Standartları Enstitüsü (TS 7481).

Türk Standartları (2013). Metalik malzemelerin kaynakları üzerinde tahribatlı deneyler-Enine çekme deneyi. Türk Standartları Enstitüsü. (TS EN ISO 4136).

Türk Standartları (2013). Tahribatsız muayene- Penetrant muayenesi- Bölüm 1: Genel kurallar.

Türk Standartları Enstitüsü. (TS EN ISO 3452-1).

ÖZGEÇMİŞ

1994 İstanbul doğumlu olan Esra ÖZKAN; ilk ve orta öğrenimini bu şehirde tamamlamıştır. 2008-2012 yılları arasında Çorlu Cemile Yeşil Anadolu Lisesinde lise eğitimi görmüştür. 2012-2016 yılları arasında ise Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesinde Makine Mühendisliği bölümünde lisans eğitimi almıştır. 2017-2018 yılları arasında Has Group Endüstri A.Ş. 'de metot mühendisi olarak görev almıştır. 2018 yılı ağustos ayından beri Hema Endüstri A.Ş. 'de yan sanayi geliştirme ve maliyet düşürme mühendisi olarak görev almaktadır.