T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞIR SİLAH MÜHİMMATLARINA SIVI PATLAYICI DOLDURMA SİSTEMİNİN 304L PASLANMAZ ÇELİK ALAŞIMI İLE KAYNAKLI TASARIMININ YAPILARAK BAĞLANTININ MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

OĞUZ AKGÜL

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Aziz Barış BAŞYİĞİT

KIRIKKALE-2022

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞIR SİLAH MÜHİMMATLARINA SIVI PATLAYICI DOLDURMA SİSTEMİNİN 304L PASLANMAZ ÇELİK ALAŞIMI İLE KAYNAKLI TASARIMININ YAPILARAK BAĞLANTININ MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

OĞUZ AKGÜL

SAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Aziz Barış BAŞYİĞİT

KIRIKKALE-2022

Oğuz AKGÜL tarafından hazırlanan "AĞIR SİLAH MÜHİMMATLARINA SIVI PATLAYICI DOLDURMA SİSTEMİNİN 304L PASLANMAZ ÇELİK ALAŞIMI İLE KAYNAKLI TASARIMININ YAPILARAK BAĞLANTININ MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ" adlı tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Savunma Teknolojileri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Adem KURT İmza……

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye : Doç. Dr. Osman BİCAN İmza……

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye (Danışman) : Dr. Öğr. Üyesi Aziz Barış BAŞYİĞİT İmza……

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi
Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 14/01/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Prof. Dr. Recep ÇALIN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Oğuz AKGÜL

14/01/2022

ÖZET

AĞIR SİLAH MÜHİMMATLARINA SIVI PATLAYICI DOLDURMA SİSTEMİNİN 304L PASLANMAZ ÇELİK ALAŞIMI İLE KAYNAKLI TASARIMININ YAPILARAK BAĞLANTININ MEKANİK VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Kırıkkale Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Savunma Teknolojileri Anabilim Dalı,Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Aziz Barış BAŞYİĞİT
Ocak 2022, 90 sayfa

Obüs,havan ve top mühimmatlarının mermi gövdelerinin tam atım komplesi haline getirilmesi kimyasal formülü $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$ olan Tri Nitro Toluen (TNT) kimyasal patlayıcının dolumu ile sağlanmaktadır. Dolum esnasında taşmaya uğrayan TNT etrafa sıçrayarak mühimmat gövdelerinin üzerine düşmektedir. Bu durum AQAP (Allied Quality Assurance Publications-Endüstriyel Kalite Teminatı Seviye Belgesi) gerekliliklerini karşılamaya engel olmaktadır. AQAP, NATO (North Atlantic Treaty Organization-Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü) tarafından üyesi olduğu ülkelerin sağlaması gereken standartlar sistemidir. AQAP için uygun olmayan gövdeler, dolum sonrası zımparayla temizlenmektedir. Zımpara nedeniyle gövde kaplama ve boyasında hasarlar meydana geleceği için, temizlik işleminin ardından tashih boyama işlemi yapılmak zorundadır. Tüm bu işlemler, işçilik maliyetinin artmasına ve üretim süresinin uzamasına neden olmaktadır.

Bu çalışmada ağır silah mühimmatlarından olan obüs,havan ve top mühimmatı gövdelerine TNT dolumunda, savunma sanayinde kullanılan AISI/SAE 304L kalite düşük karbonlu östenitik paslanmaz çelik sac ve yine aynı evsaftaki paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş yollukların TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi araştırılmıştır.

Dolum sisteminin savunma endüstrisinde uygulanması ile işçilik maliyetlerinin ve üretim süresinin artmasının önüne geçilebilecek, AQAP gerekliliklerine uygun mühimmatların üretilmesi sağlanabilecektir.

Yapılan testler neticesinde; 304L östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı yöntemiyle birleştirilmesi durumunda kullanılan ilave telin kaynak metalinin ve ısının tesiri altındaki bölgenin mikro-yapı formu ile mikro-sertlik değerine, kaynaklı bağlantıların korozyon hızı ile darbe enerjisine doğrudan etkisi olduğu tespit edilmiştir. Kaynaklı bağlantıların mukavemet değerleri ise benzerlik göstermektedir. Bu nedenle özellikle korozif çalışma koşulları altında daha yüksek korozyon dayanımı ve tokluğun arandığı ortamlarda ER2209 ilave TIG telinin kullanılmasının daha uygun bir seçim olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: TNT, Mühimmat, 304L Paslanmaz Çelikler, TIG Kaynağı.

ABSTRACT

WELDED DESIGN OF LIQUID EXPLOSIVE FILLING SYSTEM FOR HEAVY WEAPON AMMUNITIONS WITH 304L STAINLESS STEEL ALLOY AND INVESTIGATING THE CORROSION AND MECHANICAL PROPERTIES OF THE JOINTS

Kırıkkale University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Defense Technology, Master's Thesis
Supervisor: Dr. Academician Aziz Barış BAŞYİĞİT
December 2021, 90 pages

The ammunition of howitzer, mortar and cannon is made into a complete firing assembly by filling the chemical explosive Tri Nitro Toluene (TNT) with the chemical formula $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$. TNT, which is overflowed during filling, splashes around and falls on the bodies. This situation may not meet the requirements of AQAP (Allied Quality Assurance Publications). AQAP is a system of standards that NATO (North Atlantic Treaty Organization) must meet by the countries it is a member of. Bodies that are not suitable for AQAP are cleaned with sandpaper after filling. Since the body coating and paint will be damaged due to sandpaper, the correction painting process must be done after the cleaning process. All these processes cause the labor costs and the production time to increase.

In this study, the TIG welding method of AISI / SAE 304L quality low carbon austenitic stainless steel sheet and sprues made of the same quality stainless steel material, which are frequently used in the defense industry, are combined for TNT filling of howitzer, mortar and cannon ammunition bodies, which are the heavy weapon ammunitions.

With the application of the TIG-welded filling system in the defense industry, the increase in labor costs and production time will be prevented, and the production of ammunition suitable for AQAP will be provided.

As a result of the tests made; in the case of joining 304L austenitic stainless steels by TIG welding method, it has been determined that the filler electrode used has a direct effect on the micro-structure form and micro-hardness value of the weld metal and the heat-affected zone, and the corrosion rate and impact energy of the welded joints. Strength values of welded joints are similar. For this reason, it is considered that the use of ER2209 additional TIG rod will be a more appropriate choice in environments where higher corrosion resistance and toughness are sought, especially under corrosive operating conditions.

Key Words: TNT, Ammunition, 304L Stainless Steels, TIG Welding.

TEŞEKKÜR

Tezimin tamamlanma süresi boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleri ile de örnek edindiğim, ve ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörüden dolayı değerli hocam Sayın Dr. Öğretim Üyesi Aziz Barış BAŞYİĞİT ‘e , deneylerin yapılması için ihtiyaç duyulan test ortamının temin edilmesinde ellerindeki imkanı bizlere sunan Gazi Üniversitesi Dr. Öğretim Üyesi Volkan KILIÇLI’ya,

Kaynaklı bağlantıların oluşturulması ve ihtiyaç duyulan testlerin icrası esnasında yardımlarını aldığım MKE Çankırı Silah Fabrikası çalışanlarından Sayın Ahmet DANACI ve MKE Kırıkkale Silah Fabrikası çalışanlarından Sayın Mehmet KALKAN’a,

Yoğun çalışmalarım sırasında sabır gösterip desteklerini hiç esirgemeyerek varlıklarını her daim hissettiren sevgili eşim Mücahide AKGÜL ve biricik oğlum Ertuğrul Ali AKGÜL’e,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan annem, babam ve canım ablam Hülya DOĞAN’a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET ..... **iii**
ABSTRACT ..... **iv**
TEŞEKKÜR ..... **v**
İÇİNDEKİLER DİZİNİ ..... **vi**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **viii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **ix**
SİMGELER DİZİNİ ..... **xi**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xii**
1. GİRİŞ **1**
2. MÜHİMMAT **3**
2.1. Mühimmatların Sınıflandırılması 3
2.2. Mühimmatlarda Yaygın Kullanılan Harp Başlıkları 4
2.3. Hafif Silah Mühimmatı 9
2.4. Ağır Silah Mühimmatı 10
2.4.1. Obüs ve Top Mühimmatı 10
2.4.2. Havan Mühimmatı 12
2.5. Patlayıcılar 13
2.5.1. Alçak İnfilaklı Patlayıcılar 13
2.5.2. Yüksek İnfilaklı Patlayıcılar 14
2.5.3. Ticari Patlayıcılar 14
2.5.4. Askeri Patlayıcılar 14
3. AĞIR SİLAH MÜHİMMATLARININ TNT İLE DOLUMU **19**
3.1. Sıvı (Döküm) TNT Uygulaması 20
3.1.1. Sıvı TNT Uygulamasının Dezavantajları 24
3.1.2. Sıvı TNT Sıçramasının Engellenmesi 25
4. TNT DOLUMUNDA KULLANILAN PASLANMAZ ÇELİKLER **30**
4.1. Paslanmaz Çelik Türleri 31
4.1.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler 32
4.1.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler 33
4.2. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri 34
4.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri 34
4.2.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri 35
4.3. Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Edilebilirlik 35
4.3.1. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı 36
4.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı 37
4.3.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı 38
4.4. Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Özellikleri 38
4.4.1. Tanelerarası Korozyon 39
4.4.2. Oyuklanma (Çukurcuk) Korozyonu 39
4.4.3. Gerilmeli Korozyon Çatlağı 40
4.4.4. Aralık Korozyonu 41
4.4.5. Galvanik Korozyon 41

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 42
5.1. Ana Malzemeler, İlave Metaller ve Koruyucu Gaz 43
5.1.1. Ana Malzemeler 43
5.1.2. İlave Metaller 44
5.1.3. Koruyucu Gaz 45
5.2. Numunelerin Hazırlanması 46
5.2.1. Kesme işlemi 46
5.2.2. Kaynak İşlemi 48
5.2.3. Kaynaklı Bağlantılardan Test Numunelerinin Çıkarılması 50
5.3. Mikro Yapısal İncelemeler 52
5.4. Sertlik Testi 55
5.5. Çentikli Darbe Testi 56
5.6. Korozyon Testi 58
5.7. Çekme Testi 62
6. DENEYSEL SONUÇLAR 65
6.1. Mikro Yapı İncelenmesi 67
6.1.1. AISI/SAE304L Ana Malzemenin Mikro Yapısı 67
6.1.2. ER316L TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Mikro Yapıları 69
6.1.3. ER2209 TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Mikro Yapıları 72
6.2. Sertlik Testi 74
6.2.1. ER2209 TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Sertlik Taraması 74
6.2.2. ER316L TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Sertlik Taraması 75
6.3. Çentikli Darbe Testi 77
6.4. Korozyon Testi 78
6.5. Çekme Testi 80
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 83
KAYNAKLAR 85
ÖZGEÇMİŞ 90

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE Sayfa

Çizelge 4. 1. Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [35] 34
Çizelge 4. 2. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [49] 35

Çizelge 5. 1. AISI/SAE 304L Paslanmaz sacın kimyasal bileşimi 43
Çizelge 5. 2. AISI/SAE 304L Paslanmaz yolluğun kimyasal bileşimi 44
Çizelge 5. 3. AWS A5.9 ER316L TIG kaynak teli üretici kimyasal içeriği 45
Çizelge 5. 4. AWS A5.9 ER316L TIG kaynak teli üretici mekanik özellikleri 45
Çizelge 5. 5. AWS A5.9 ER2209 TIG kaynak teli üretici kimyasal içeriği 45
Çizelge 5. 6. AWS A5.9 ER2209 TIG kaynak teli üretici mekanik özellikleri 45
Çizelge 5. 7. Kaynak işlemi parametreleri 50
Çizelge 5. 8. Korozyon testi numunelerine ait yüzey alanları 60
Çizelge 5. 9. Korozyon testi öncesi numune ağırlıkları 61

Çizelge 6. 1. Schaeffler Diyagramına göre krom nikel eşdeğer tablosu 66
Çizelge 6. 2. Sertlik taraması sonuç grafiği (ER2209) 75
Çizelge 6. 3. Sertlik taraması sonuç grafiği (ER316L) 76
Çizelge 6. 4. Mikrovickers sertlik testi taraması aritmetik ortalamaları (HV 0.3) 76
Çizelge 6. 5. Çentikli darbe testi sonuçları 77
Çizelge 6. 6. Kaynaklı numunelerin darbe enerjileri aritmetik ortalamaları 77
Çizelge 6. 7. Korozyon testi sonrası numune ağırlıkları 78
Çizelge 6. 8. Kaynaklı numunelerin korozyon hızları ve aritmetik ortalamaları 79
Çizelge 6. 9. Kaynaklı numunelerin korozyon hız grafiği 79
Çizelge 6. 10. AISI/SAE 304L ana malzeme numunelerine ait çekme testi grafiği ve mekanik özellikler 80
Çizelge 6. 11. ER316L TIG teli ile kaynak yapılan numunelere ait çekme testi grafiği ve mekanik özellikler 81
Çizelge 6. 12. ER2209 TIG teli ile kaynak yapılan numunelere ait çekme testi grafiği ve mekanik özellikler 82

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL Sayfa

Şekil 2. 1. Patlayıcı mühimmatın yarattığı etkiler [4] 4
Şekil 2. 2. Tahrip mühimmatının bölümleri [5] 4
Şekil 2. 3. APFSDS-T Zırh delici sabotlu anti tank mühimmatı [9] 7
Şekil 2. 4. Biçimlendirilmiş patlayıcı yükünün zırh arkasındaki etkisi [10] 8
Şekil 2. 5. Yüksek infilaklı plastik harp başlıklarının şematik işleyişi [10] 8
Şekil 2. 6. Tipik bir fişeğin yapısı [12] 9
Şekil 2. 7. Bir tank topu mühimmatının içyapısı [14] 11
Şekil 2. 8. Dipten yanma ünitesi [15] 11
Şekil 2. 9. Havan mühimmatı bileşenleri [16] 12
Şekil 2. 10. Ağır silah mühimmatlarının balistik yörüngeleri ve ölü alanlar [19] 13
Şekil 2. 11. Yüksek infilaklı patlayıcı TNT [23] 14

Şekil 3. 1. Döküm (sıvı-eriyik) yöntemle imla edilen top mühimmatı [29] 19
Şekil 3. 2. Doluma hazır hale getirilmiş 81 mm havan mühimmatı 20
Şekil 3. 3. Ön ısıtma öncesi dolum arabaları 21
Şekil 3. 4. TNT eritme kazanı [29] 22
Şekil 3. 5. TNT dolum kazan ve bunkeri [29] 22
Şekil 3. 6. 155 mm gövde yüzeyine geçirilen koruyucu kumaşlar [29] 25
Şekil 3. 7. Konvansiyonel sistemdeki TNT dolum arabası şematik görünüşü 26
Şekil 3. 8. 304L östenitik paslanmaz sac-yolluk bütünü oluşturulması 27
Şekil 3. 9. Sac-yolluk bütünlü TNT dolum arabası şematik görünümü 28

Şekil 4. 1. Bazı paslanmaz çeliklere ait krom ve nikel oranları [33] 31
Şekil 4. 2. Schaeffler diyagramı [33] 32
Şekil 4. 3. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro-yapısı [46] 34
Şekil 4. 4. Taneler-arası korozyonun şematik gösterimi [70] 39
Şekil 4. 5. Oyuklanma korozyonunun şematik gösterimi [70] 40
Şekil 4. 6. Gerilmeli korozyon çatlağı [70] 40
Şekil 4. 7. Aralık korozyonu şematik gösterimi [74] 41

Şekil 5. 1. Kaynak Öncesi AISI/SAE 304L Paslanmaz Sac Numunesi 46
Şekil 5. 2. CNC Giyotin Makas 47
Şekil 5. 3. Universal Torna Tezgahı 47
Şekil 5. 4. Kaynak Öncesi AISI/SAE 304L Paslanmaz Yolluk Numunesi 48
Şekil 5. 5. Kaynak Öncesi Sabitlenmiş Numuneler 49

Şekil 6. 1. Schaeffler diyagramında ER316L kaynak bölgesinin yapısı 66
Şekil 6. 2. Schaeffler diyagramında ER2209 kaynak bölgesinin yapısı..... 67
Şekil 6. 3. AISI/SAE 304L ana malzeme mikro-yapısı (200x)..... 68
Şekil 6. 4. AISI/SAE 304L ana malzeme mikro-yapısal faz analizi (200x) 68
Şekil 6. 5. ER316L TIG teli ile kaynak yapılan numune 304L-kaynak metali geçişi ITAB bölgesi (200x) 69
Şekil 6. 6. Şekil 6.5.'e ait mikro-yapısal faz analizi (200x)..... 69
Şekil 6. 7. ER316L TIG teli ile kaynak yapılan numune kaynak bölgesi (500x)..... 70
Şekil 6. 8. Şekil 6.7.'ye ait mikro-yapısal faz analizi (500x)..... 71
Şekil 6. 9. ER316L TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali (a) ve ITAB'a (b) ait SEM incelemesi görüntüleri 71
Şekil 6. 10. ER2209 TIG teli ile kaynak yapılan numune kaynak bölgesi (500x)..... 72
Şekil 6. 11. Şekil 6.10.'a ait mikro-yapısal faz analizi (500x)..... 72
Şekil 6. 12. ER2209 TIG teli ile kaynak yapılan numune 304L-kaynak metali geçişi ITAB bölgesi (200x) 73
Şekil 6. 13. Şekil 6.12.'ye ait mikro-yapısal faz analizi (200x)..... 73
Şekil 6. 14. ER2209 TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali (a) ve ITAB'a (b) ait SEM incelemesi görüntüleri 74
Şekil 6. 15. ER2209 kaynaklı 304L ana malzemenin sertlik testi sonuç görseli..... 75
Şekil 6. 16. ER316L kaynaklı 304L ana malzemenin sertlik testi sonuç görseli 76

SİMGELER DİZİNİ

γ	Östenit
α	Ferrit
σ	Sigma Fazı (Fe-Cr Bileşiği)
δ	Delta Ferrit

KISALTMALAR DİZİNİ

TNT	Tri Nitro Toluen
RDX	Siklotrimetilen Trinitramin
AQAP	Müttefik Kalite Güvence Yayınları (Allied Quality Assurance Publications)
NATO	North Atlantic Treaty Organization
TIG	Tunsten Inert Gaz
KHM	Kübik Hacim Merkez
YMK	Yüzey Merkezli Kübik
KYM	Kübik Yüzey Merkez
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron And Steel Institute)
SAE	Otomotiv Mühendisleri Birliği (Society of Automotive Engineers)
ITAB	Isının Tesiri Altındaki Bölge
ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Birliği (American Society For Testing And Materials)
ASME	Amerikan Makine Mühendisleri Birliği (The American Society of Mechanical Engineers)

1. GİRİŞ

Savunma sanayi mühimmatlarından olan ve ülke savunmalarında en çok kullanılan ağır silah mühimmat gövdelerine TNT dolumu esnasında, üretim maliyetlerini ve ürün kalitesini ciddi oranda etkileyen handikaplarla karşılaşılmaktadır. Özellikle mermi gövdelerinin tam atım komplesi haline getirilmesi esnasında kullanılan TNT patlayıcısının taşarak gövdelerin üzerine sıçraması istenmeyen durumların başında gelmektedir. Prosese ait bu dezavantajın engellenebilmesi için kaynaklı yolluk bütününe ihtiyaç duyulmaktadır. Sıvı patlayıcının yüksek sıcaklıklarda kullanılmasından ve dolum işliklerinde patlama riskini minimize etmek için korozif bir ortam oluşturulduğundan, kullanılacak olan yolluk malzemelerinin korozyon ortamlarında kullanıma uygun olması gerekmektedir.

Yapı çelikleri değişik agresif korozyon koşulları altında düşük korozyon dayanımı, değişik sıcaklık uygulamaları altında zayıf mekaniksel özellikler gösterdikleri için, paslanmaz çelikler; bilhassa yüksek sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci gerektiren çeşitli endüstriyel uygulamalarının yükselen ihtiyaç kaynağına dönüşmektedir. Dünya'da ki paslanmaz çelik imalinin çoğunu ise yaklaşık %60 ile östenitik paslanmaz çelikler oluşturmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler ısıl işlemle sertleştirilemezler, manyetiklik özellikleri bulunmamaktadır, yüksek sünekliğe sahiptirler, haddelemeyle sertleştirilebilirler ve korozyon dayanımları yüksektir, yüksek işlenebilirlik ve kaynaklanabilirlik özellikleri de bulunmaktadır. Östenitik yapı yaklaşık %10 'luk bir nikel elementi katkısıyla meydana gelmektedir. Ancak, nikel östenitik yapıyı oluşturan tek element değildir. Bu amaçla kullanılan diğer elementler, mangan, nitrojen, karbon ve bakır yer almaktadır [1].

Farklı tipteki paslanmaz çeliklerin kaynaklı bağlantılarıyla ilgili çalışmalar [2] mevcut olup, bu çalışmada; savunma sanayinde değişken sıcaklık aralıklarına sahip oksitleyici korozif atmosfer koşulları altında kullanılan AISI/SAE 304L kalite düşük karbonlu östenitik paslanmaz çelik yolluk ve yine aynı evsaftaki paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş sacların TIG kaynak yöntemi ile birleştirilerek kullanılması konusu araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalarda TIG kaynak yöntemi kullanılmış olup birleştirilmeler sonrası kaynaklı bağlantının korozyon ve mekaniksel özelliklerine etkileri incelenmiştir. AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesi durumunda kullanılan ilave dolgu telinin, kaynak metalinin ve ısının tesiri altındaki bölgenin mikro-yapı formu ile mikro-sertlik değerine, kaynaklı bağlantıların korozyon hızı ile darbe enerjisine doğrudan etkisi olduğu tespit edilmiştir.

2. MÜHİMMAT

Mühimmat, düşman unsurlarını (personel, araç, tesis vb.) etkisiz hale getirerek işlev dışı bırakmak maksadıyla bir silah/sistem ya da kullanıcı tarafından fırlatılabilen veya sabit bir noktaya yerleştirilebilen, patlayıcı madde bulunduran askeri tüketim (sarf) malzemeleridir. Mühimmat kelimesinin ilk olarak mühimmat-ı harbiye "savaş için ihtiyaç duyulan önemli şeyler" şeklinde kullanıldığı belirtilmektedir [3].

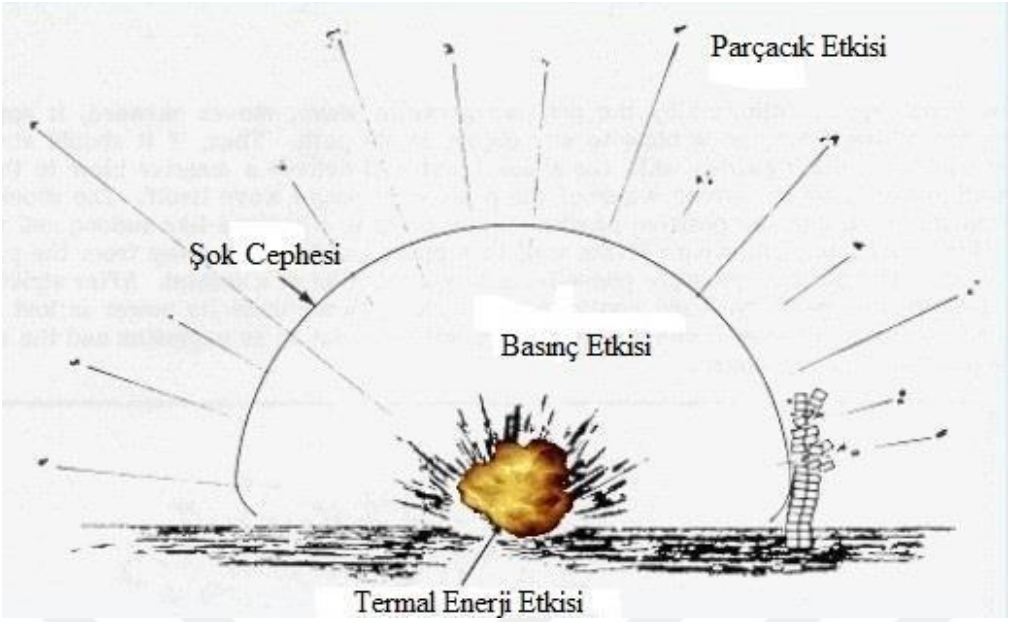
2.1. Mühimmatların Sınıflandırılması

Mühimmatlar hedefe infilak sonucu açığa çıkan aşırı basınç, parçacık tesiri ve yüksek sıcaklık olmak üzere üç şekilde zarar verebilmektedirler [4].

a) Basınç: Yüksek infilaklı patlayıcıların patlaması neticesinde açığa çıkan aşırı basınç, sesten hızlı hareket eden ve temas ettiği her şeye zarar veren şok dalgaları yaratır. Özellikle kuvvetli patlayıcıların basınca bağlı tahrip güçleri yüksektir. Basınç etkisi, mühimmat tipine ve patlayıcı kütlesine bağlı olsa da, genellikle, dar bir alanda ölümcüldür.

b) Parça Tesiri: Patlamanın odak noktasından çok yüksek ilk hızlarla dağılan parçalar, şok dalgasının etki alanına kıyasla, daha geniş alanda ölümcüldürler. Bu parçacıklar, mühimmat gövdesinin ve harp başlığının parçalanması (sıklıkla çentikli-sivri, uniform olmayan parçacıklar) sonucunda oluşabilecekleri gibi mühimmata önceden yerleştirilmiş (çelik toplar, metal küpler vb.) de olabilirler. Tahribat, doğrudan mühimmata ait parçacıklar vasıtasıyla sağlanabileceği gibi, bu etkiye maruz kalan araçların-yapıların vb. bütünlüğünün bozulmasına bağlı olarak etrafa dağılan parçacıklar vasıtasıyla da sağlanabilir (birincil/ikincil parçacık tesiri).

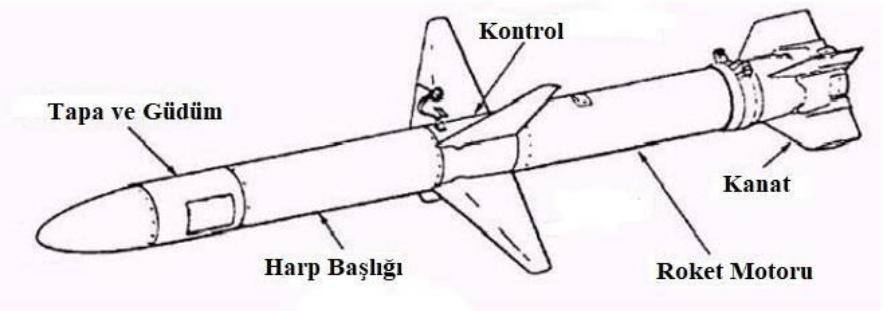
c) Termal Enerji: Bir mühimmatın patlaması, yanma gazlarını ve ortam havasını çok kısa sürede çok yüksek sıcaklıklara çıkartan termal enerji salınımına; bunun haricinde, sıklıkla, tepkime ürünü gazların alev alması neticesinde anlık ateş toplarına (parlamalara) neden olur. Bu parlamalar ve yüksek sıcaklık, canlılar için olduğu kadar araçlar için de yıkıcı niteliktedir.



Şekil 2. 1. Patlayıcı mühimmatın yarattığı etkiler [4]

2.2. Mühimmatlarda Yaygın Kullanılan Harp Başlıkları

Tahrip mühimmatlarının öldürücü ve yıkıcı tarafı olan harp başlıkları, hedef üzerinde istenilen tahribatı yaratan, onu, işlevini yapamaz hale getiren elemanlardır. Başlıca üç bileşenden (tapa, gövde, patlayıcı) meydana gelen harp başlıkları, genellikle yüksek infilaklı patlayıcı madde ihtiva eder; ancak tahrip maddesi olarak nükleer, biyolojik, kimyasal maddeler de kullanılabilir. Bu başlık altında, yalnızca yüksek infilaklı patlayıcı madde bulunduran harp başlıkları çalışılmıştır. Bu tipte harp başlıkları; basınç, parçacık tesiri ve termal enerji açığa çıkarır. Harp başlığının tasarımına göre bu etkilerden biri tahribin birincil nedeni olabilir; ancak üç etki de her zaman var olacaktır.



Şekil 2. 2. Tahrip mühimmatının bölümleri [5]

Kullanımı yaygın ve temel harp başlıkları baz alınarak bir sınıflandırma yapılabilmektedir. Konvansiyonel yüksek infilaklı patlayıcı içeren harp başlıkları, etkinin yayılımına göre her yöne (omni directional- radyal genişleyen) ve yönlendirilmiş (directed energy- bir yöne ilerleyen) olmak üzere iki başlık altında incelenebilmektedir.

a) Radyal Genişleyen Harp Başlıkları

Bu tip bir harp başlığı kullanıldığında, patlama noktası merkez olacak şekilde, enerji her yöne eşit şiddette dağılır. Bu enerji, şok dalgası, termal enerji ya da etrafa parçacıkların yüksek hızlarda saçılmasına sebep olan kinetik enerji olabilir. Radyal genişleyen harp başlıklarının tipik örnekleri, basınç tesirli harp başlıkları, parçacık tesirli harp başlıkları ve hava-yakıt patlayıcılı mühimmatlar (FAE: Fuel-Air Explosive) dır.

Basınç tesirli harp başlıkları- yüksek infilaklı harp başlığı (HE- High Explosive Warhead) olarak da bilinir- hedefi, birincil olarak basınç etkisiyle tahrip etmek üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle gövde et kalınlıklarının düşük olması ve gövdenin çok sayıda parçaya ayrılmadan dağılması beklenir. Harp başlığı patladığında, patlama noktasındaki basınç neredeyse anında atmosferik seviyeden tepe noktasına yükselir ve bu basınç, dışa doğru şok dalgası halinde genişler. Etki alanında basıncın normal seviyeye dönmesi ise daha yavaş olmaktadır. Birincil etkinin (basınç) yanısıra, patlamayla açığa çıkan yüksek sıcaklık ve parçalanan başlık gövdesinin saçılması, ikincil ve üçüncül etkiler olarak var olsa da bu harp başlıklarının kullanımındaki amaç ölümcül etkiyi dar bir alanda basınç ile sağlamaktır. Bu tip harp başlıkları, yaygın şekilde farklı tip mühimmatlarda (genel maksat bombaları, topçu roketleri, havanlar vb.) kullanılabilmektedir.

Parçacık tesirli harp başlıkları ise hedefi, esas olarak, etrafa saçılan yüksek hızlı parçacıkları kullanarak tahrip etme maksadıyla geliştirilen harp başlıklarıdır. Patlama sonucu açığa çıkan enerjinin yaklaşık %30'u gövdeyi parçacıklara ayırmak ve bu parçacıklara kinetik enerji yüklemek için kullanılabildiğinden bu tip harp başlıkları, aşağıda bahsedilen başlık türlerindeki (HE-FRAG, continuous rod) gibi, parçacık tesirini kuvvetlendirecek biçimde yapılandırılmıştır. Patlama enerjisinin büyük kısmı basınç-şok dalgası olarak yayılsa da şok dalgasının ilerleme hızındaki hava sürtünmesinden kaynaklı düşüş, parçacıkların taşıdığı enerji miktarındaki düşüşten

fazla olduğundan saçılan parçacıklar, basınç etkisine kıyasla daha geniş alanda ölümcül etkiye sebep olmaktadırlar.

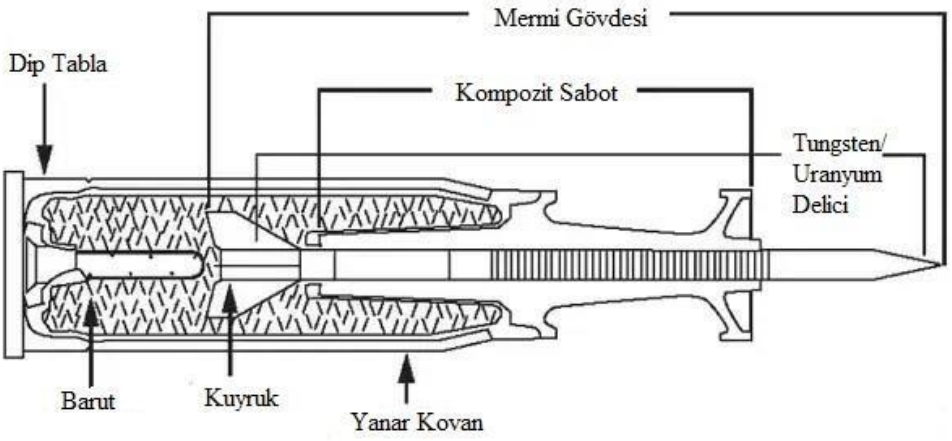
Yüksek infilaklı parça tesirli harp başlıkları (HE-FRAG- High Explosive Fragmentation), klasik bir basınç tesirli harp başlığının daha ölümcül parçacıklar meydana getirmesi için geliştirilmiş olan harp başlıklarıdır. Başlık gövdesinin yapımında tercih edilen, genellikle basınç tesirli harp başlıklarında kullanılandan farklı olan, malzeme daha kırılgan ve uniform parçalanmaya daha elverişli bir yapı elde etmek için termal, kimyasal veya mekanik birtakım işlemlere tabi tutularak malzemenin doğal parçalanma karakteristikleri geliştirilir. Harp başlığı içerisine, sıklıkla, önceden biçimlendirilmiş parçacıklar yerleştirilir. Benzer amaç için parçalanma gömleği de kullanılabilir. Bu, kontrollü parçalanma ve parçalanmayı desteklemek için üzerine çentikler açılmış, oldukça gevrek yapıda ve sert bir metaldir. HE-FRAG harp başlıkları genellikle araziye dağılmış bireylere ve hafif araçlara karşı kullanılmaktadır [5].

b) Enerjiyi Yönlendiren Harp Başlıkları

Yönlendirilmiş enerji harp başlıkları, patlama sonucu açığa çıkan enerjinin bir kısmını, radyal genişleyen harp başlıklarındaki uniform dağılımın aksine, belirli bir tarafa yönlendirerek özellikle belirli uygulamalarda hedefin çok daha tesirli şekilde etkisizleştirilmesini sağlamaktadır. Başka bir deyişle enerjinin yönlendirilmesi, mühimmatın fayda oranını artırmaktadır. Örneğin enerjinin yönlendirilmesi sayesinde HE harp başlıklarında basınç tepe noktası %40 oranında artırılabilir, bu artış özellikle denizaltı uygulamalarda harp başlığını çok daha etkin kılacaktır. Benzer ilkenin parçacık tesirli harp başlıklarına uygulanması ise parçacık hızını %20 oranında artırmaktadır [6]. Patlama enerjisini yönlendirmek için çeşitli mekanizmalar kullanılabilir. Belirleyici olan karşı kullanılacak hedefin tipidir. Enerjiyi yönlendiren harp başlıkları, bu bağlamda zırh delici harp başlıkları ve yönlendirilmiş parçacık tesirli harp başlıkları olmak üzere iki temel sınıfa ayrılsa da farklı mekanizmalar, farklı uygulama alanları göstermek mümkündür. Burada yalnızca zırh delme maksadıyla geliştirilen harp başlıkları anlatılacaktır.

Anti-tank mühimmatlar, zırh delme işlevini gerçekleştirirken kullandıkları enerjinin tipine göre ayrışır. Sevk barutu haricinde bir patlayıcı madde taşımayan kinetik enerji delicileri/mermileri (KEP- Kinetik Energy Penetrator), zırhı delmek için hareket enerjisi kullanır. Burada enerjinin yönlendirilmesinden bahsedilemez. KEP'lerin hızı

1800 m/sn'ye, zırh delme kapasitesi ise 600-650 mm'ye kadar çıkabilmektedir [7]. Harp başlığının yüksek mukavemete sahip olması gereken uç kısmı ise tungsten ya da seyreltilmiş uranyumdan mamuldür[8].

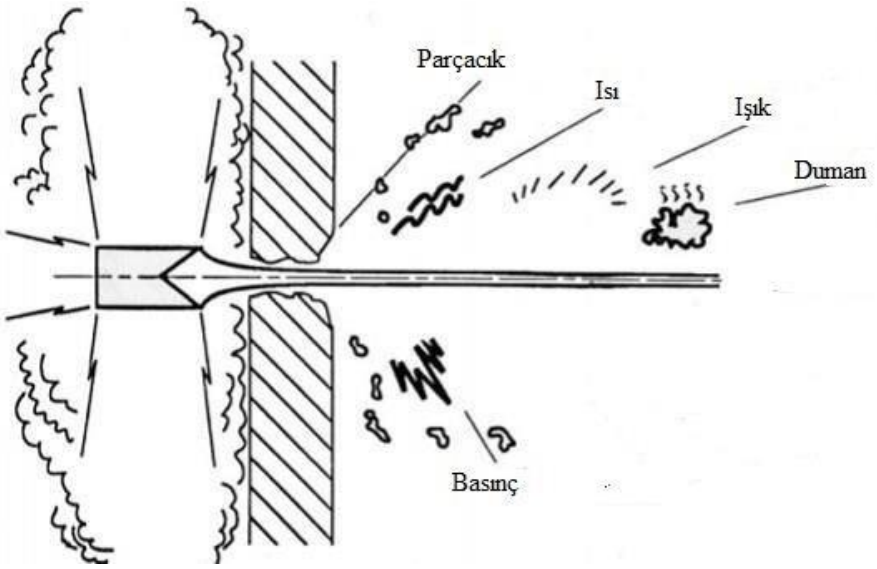


Şekil 2. 3. APFSDS-T Zırh delici sabotlu anti tank mühimmatı [9]

Kimyasal enerji delicileri (CEP- Chemical Energy Penetrator) ise zırhı delmek üzere harp başlığının patlaması neticesinde açığa çıkan enerjiyi kullanır. Bu enerjinin bir noktaya odaklanması oldukça kalın zırhların dahi delinebilmesini mümkün kılar. Kimyasal enerji delicileri, Munroe Etkisi olarak bilinen ilkeyi esas alarak çalışır ve bu ilkeye göre çalışan harp başlıkları- genel olarak- biçimlendirilmiş patlayıcı yükü veya boşluklu (çukur) imla hakkı (shaped charge warheads) olarak anılır. Bu tip harp başlıklarının en yaygın kullanılanı ise yüksek infilaklı anti-tank (HEAT- High Explosive Anti Tank) harp başlıklarıdır.

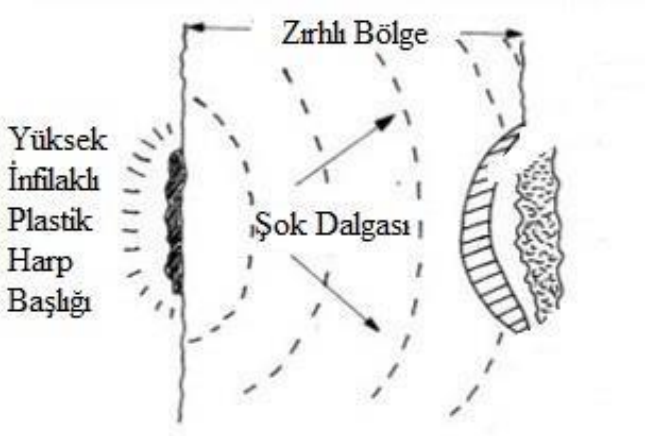
HEAT harp başlığının temel elemanı, genellikle bakır veya alüminyum ile kaplı konik bir parçadır. Bu konik parçanın sivri ucu, harp başlığının- patlayıcının da bulunduğu- arka tarafına bakmaktadır. Patlama ile beraber şok dalgası, konik parçanın sivri ucundan başlamak üzere bahsedilen metal kaplamayı eriterek çok yüksek sıcaklıkta ve hızla püsküren bir metal jeti oluşturur. Zırhı delen etki, oluşan bu plazma formundaki jetin aşırı kinetik enerjisi ve sıcaklığıdır.

Bu tip harp başlıkları, sıklıkla zırhlı muharebe araçlarına, tanklara vb. karşı kullanılmaktadır. Birincil tahrip etkisi, zırhı delip içeriye ulaşan metal jetinin sebep olduğu yangın, duman vb. ve zırhın delinmesi sonucu etrafa saçılan parçacıklardır [10].



Şekil 2. 4. Biçimlendirilmiş patlayıcı yükünün zırh arkasındaki etkisi [10]

Kinetik enerji delicilerinin veya HEAT harp başlıklarının aksine, yüksek infilaklı plastik harp başlıklarının HEP (High Explosive Plastic ya da HESH- High Explosive Squash Head) tahrip yaratmak için zırhı delmesi gerekmez. HESH mühimmatları, içerisi plastik patlayıcı ile doldurulmuş ve gecikmeli dip tapası bulunduran ince çeperli harp başlıklarıdır. Belli bir momentumla hedefe çarpan harp başlığı deforme olur ve ezilerek hedefin yüzeyi üzerinde genişler. Bu basınç dalgası sürekliliğin sona erdiği noktada (örneğin bir zırhlı araçta personelin bulunduğu hacme gelindiğinde) gerilme yığılmasına neden olur ve bunun üzerine zırh üzerinden parçacıklar (spall) koparak kabin içerisine yüksek hızda dağılır (spalling). Zırhlı araçlara karşı bugün büyük oranda HEAT mühimmatlar kullanılsa da HEP harp başlıkları, birçok ülkede yapılara karşı veya genel maksat amaçlı kullanılmaya devam etmektedir.

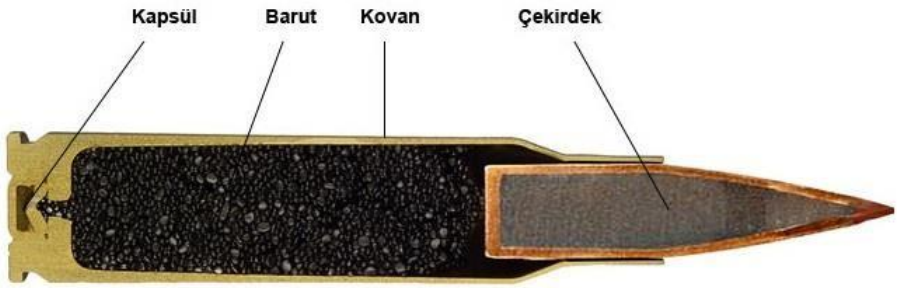


Şekil 2. 5. Yüksek infilaklı plastik harp başlıklarının şematik işleyişi [10]

2.3. Hafif Silah Mühimmatı

Mühimmatlar, kalibreleri esas alınarak kategorize edilmiştir; sınıflandırma, taşıdıkları harp başlıklarına veya kullanıcı tipine (kara, hava, deniz kuvvetleri) göre de yapılabilmektedir.

Bir mühimmatın büyüklüğü, fişek çapı (kalibre) [milimetre veya inç] üzerinden tanımlanmaktadır. Genel olarak çapı 20 mm'den küçük olan fişekler hafif silah mühimmatı kabul edilmektedir [11]. Bir fişek komplesi -tipik olarak- barut, kapsül, kovan, çekirdek (mermi) bileşenlerinden oluşur. Piyade tüfeklerinde en yaygın kullanılan tip mühimmatın (Türkiye'de normal fişek olarak anılmaktadır) kesit resmi aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2. 6. Tipik bir fişeğin yapısı [12]

Mühimmat olarak fişek atan tüm silahların çalışma prensipleri temelde aynıdır. Ateşleme pimi, fişeğin tabanındaki kapsüle vurarak barutun ateşlenmesini sağlar. Barutun hızlıca yanması sonucunda basınç nedeniyle genleşen gazlar, namlu boyunca mermiyi iter. Kovan ise mekanizma tarafından silahtan atılır.

Fişeklerin, özel uygulamalar için özel tipleri mevcuttur: çekirdeği bulunmadığından tahrip gücü olmayan, atış talimlerinde ve törenlerde kullanılan manevra fişekleri; gece atışlarında merminin isabet ettiği yerin anlaşılmasını ve şarjöre belirli aralıklarla takıldıklarında kullanıcıya, kalan fişek sayısının takibinde rahatlık sağlayan izli mermiler; vücut zırhı gibi hafif zırhları delmek için kullanılan, çekirdeklerinin ucu sıklıkla sertleştirilmiş çelikten yapılmış zırh delici mermiler gibi.

2.4. Ağır Silah Mühimmatı

Genel olarak mermi kılavuz çapı 20 mm'den büyük olan mühimmatlar ağır silah mühimmatı olarak kabul edilmektedir. Ağır silah mühimmatı, topçu mühimmatı olarak da adlandırılmaktadır. Topçu sınıfının vazifesi, muharebe sahasında ihtiyaç duyulan yer ve zamanda düşmanı baskı altında tutmak, planlı veya ani çıkan hedefleri öncelik derecesine göre ateş altına almak, düşmanın muharebe sahası gerisindeki (komuta-kontrol, lojistik, muhabere vb.) unsurlarını hedef alarak muharebeye derinlik kazandırmak, düşmanı tahrip/imha etmek ve dost unsurlara sürekli ateş desteği sağlamaktır [13].

Topçu sınıfının kullandığı başlıca silahlar obüs,havan,top ve çok namlulu roketatar gibi ağır silahlardır. Top menzilinin yetmediği ve yaylım ateşi gerektiren durumlarda tercih edilen çok namlulu roketatar sistemleri ise bahsi geçen silah sistemlerinden gerek işleyiş gerekse kullanılan mühimmat bakımından farklılık gösterdiğinden ele alınmamıştır.

2.4.1. Obüs ve Top Mühimmatı

Obüsler, orduların kara kuvvetlerinin esas topçu gücünü oluşturan, dike yakın açılarla geniş bataryalar halinde ateş açabilen etkili ve uzun menzilli top çeşididir. Obüsler, tank topları, kundağı motorlu toplar, havadan taşınabilir hafif çekili obüsler, her ne kadar kullanım amaçları bakımından ve yapısal olarak farklı silah sistemleri olsa da çalışma ilkeleri aynıdır ve benzer tip mühimmat kullanmaktadırlar. Bu mühimmatlar, Şekil 2.7.'de gösterildiği üzere, başlıca kapsül, sevk barutu, kovan, tapa ve mermi bileşenlerinden oluşmaktadır [14].

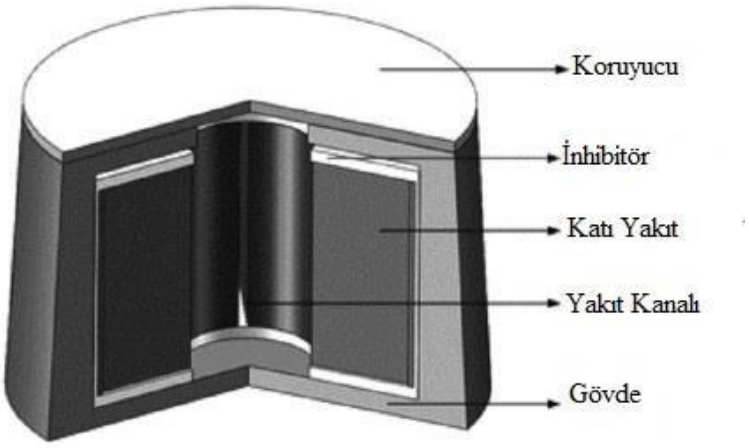
Obüs ve top mühimmatları, geometrisi ve ana elemanları itibariyle hafif silah mühimmatları ile benzerlik gösterir; temel iki farktan birisi ölçek, diğeri ise merminin patlayıcı ve tapa içermesidir. Ağır silah mühimmatlarının mermileri (projectile) mermi ucu (ogive), sevk çemberi (rotating band), merkezleme çemberi (bourrelet) ve konik kuyruktan (boattail) meydana gelir. Merminin kavisli ileri ucu daha aerodinamik bir yapı sağlayarak hava direncini azaltmaya yardımcı olur. Sevk çemberi, mermiyi tabanına yakın kısımda çepeçevre saran yumuşak metalden (bakır) silindirik bir halkadır; mermiyi namlu içerisinde sıkı şekilde tutmaya yarar. Bu sayede itici gazın sızmasını önler. Ayrıca merminin namlu yivlerini kavramasını sağlayarak mermiye dönü hareketi kazandırır.



Şekil 2. 7. Bir tank topu mühimmatının iç yapısı [14]

Ağır silah mühimmatlarının bir diğer bileşeni, sevk barutunun doldurulduğu ve kapsülü barındıran kovandır. Kovan çelik, pirinç ya da yanıcı bir malzemeden olabilir. Tapa ise merminin ne zaman-hangi şartlar altında infilak edeceğine karar veren mekanizmadır. Kapsül, sevk barutunu tutuşturan alevi üretir; elektrik akımı veya ateşleme piminin vurması ile tetikleme gerçekleşmektedir.

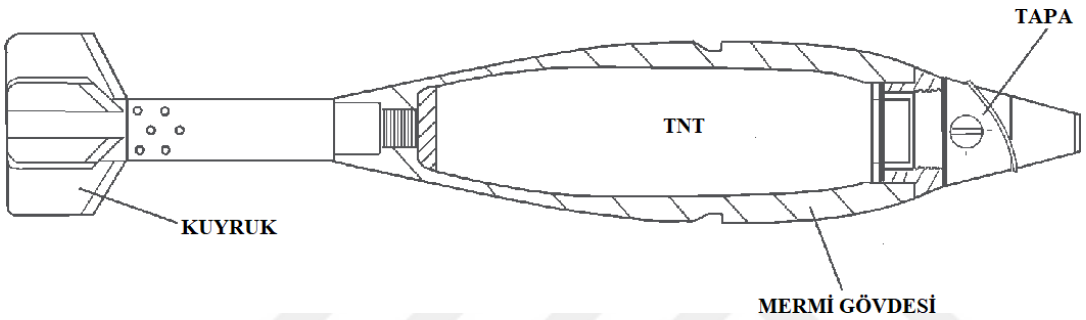
Merminin arka tarafına, ürettiği sıcak gazı mermi dibinden püskürten bir dipten yanma ünitesi (base bleed) eklenmesi bunun bir örneğidir. Bu sayede hâlihazırda kullanımda olan top mermilerinin menzilleri %30'a kadar artarak 30 km'ye kadar çıkabilmektedir [15].



Şekil 2. 8. Dipten yanma ünitesi [15]

2.4.2. Havan Mühimmatı

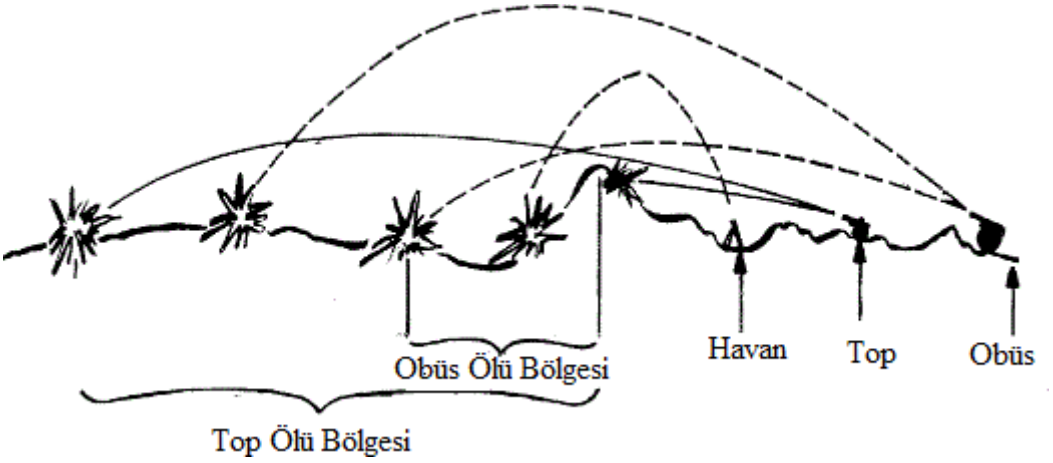
Havan mühimmatları ise top, obüs gibi diğer ağır silah mühimmatlarından farklı yapıdadır; çünkü havan topları, işleyiş olarak diğerlerinden ayrışmaktadır. Havanlar, mühimmatın namludan doldurulduğu, taşınması ve kullanılması için büyük araçlar gerektirmeyen, yüksek fırlatma açısıyla ateşlenen genellikle kısa namlulu silahlardır. Havanlar temelde bir top olmasına rağmen acil ateş desteği gereken durumlarda derhal kullanılabilir olması ve portatif yapısı nedenleriyle piyade tarafından taşınmaktadır. Piyadeye, aşırtma atışlarla, tepe arkasındaki hedefleri veya siper gibi tahkimatları vurabilme imkânı tanır.



Şekil 2. 9. Havan mühimmatı bileşenleri [16]

Bir havan mermisinin menzili, takılan ilave barut hakkına bağlı olmakla birlikte 8000 m'ye kadar çıkabilir [17]. Kanatlar ise uçuş sırasında stabilite sağlamaktadır. Havan mermilerinin gövdesi, top mermilerine kıyasla daha ince olup daha çok parçacık yaratması için daha kırılgan malzemeden yapılır [18].

Şekil 2.10'da görüldüğü üzere, mesafenin ve arazi yapısının çoğu durumda hedefin görünürlüğünü engellemesi (indirect fires), ağır silah mühimmatlarının büyük oranda güdümsüz olması, silahların "muhtemel dairesel sapma" (CEP- Circular Error Probable) değerlerinin yüksek olması, bu tip silahları kullanan personelin ehil olmasını gerektirmektedir. Hedefi görerek yapılan atışlarda (direct fires) ise obüs, top, havan gibi silahlar çeşitli atış yönlendirme sistemleriyle beraber kullanılabilmektedirler.



Şekil 2. 10. Ağır silah mühimmatlarının balistik yörüngeleri ve ölü alanlar [19]

2.5. Patlayıcılar

Ani gerçekleşen ekzotermik tepkimeler sonucunda oluşan kimyasal patlamalara sebep olan patlayıcılar; darbe, kıvılcım, alev vb. etkilerle başlatılan ve kendi kendine son derece hızlı ilerleyen bir kimyasal tepkime sonucunda ani ve aşırı miktarda ısı ile basınç açığa çıkaran, katı-sıvı-gaz formunda bulunabilen maddeler olarak tanımlanmaktadır [20].

Patlayıcılar genel olarak alçak infilaklı,yüksek infilaklı, ticari ve askeri olmak üzere dört grupta incelenebilmektedirler [21].

2.5.1. Alçak İnfilaklı Patlayıcılar

Alçak infilaklı patlayıcılar, patlamaktan ziyade alev alma/parlama eğilimi gösterirler. Genellikle yanıcı madde ve hızla parçalanan bir oksitleyici karışımlarıdır. İnfilak hızları 600 m/s ila 900 m/s arasındadır. Bu tip patlayıcılar, düşük su direncine sahiptirler, son derece yanıcıdırlar, zayıf tahrip kapsüllerine dahi duyarlıdırlar ve patlama sırasında püskürme/kabarma davranışı sergilerler. Tahrip güçleri, yüksek infilaklı patlayıcılar kadar iyi olmayan alçak infilaklı patlayıcılar, sıklıkla sevk barutu olarak kullanılırlar. Gazolin ve propolin gibi petrol ürünleri, dumansız barut, karabarut ve havai fişek gibi hafif piroteknikler bu gruba dâhildir [22].

2.5.2. Yüksek İnfilaklı Patlayıcılar

Yüksek infilaklı patlayıcılar, 1500 m/s üzerinde bir infilak hızıyla patlayan ve patladıklarında, ses üstü hızda ilerleyen şok dalgaları oluşturan kimyasal karışımlardır. Örneğin bu hız, TNT için 5800-6900 m/s, C4 için 8500 m/s'dir. Reaksiyonları, ancak, kuvvetli tahrip kapsülleriyle başlatılabilir. Çoğunlukla madencilik, yıkım ve askeri alanlarda kullanılırlar [23].



Şekil 2. 11. Yüksek infilaklı patlayıcı TNT [23]

Yüksek infilaklı patlayıcılar hassasiyetleri açısından ise ikincil patlayıcılar sınıfında bulunmaktadırlar. Baz patlayıcı olarak da anılan ikincil patlayıcılar, birincil patlayıcılara göre, şok, sürtünme, ısı vb. etkilere daha duyarsızdır; bu yüzden tetiklenmeleri için ciddi anlamda daha fazla enerjiye ihtiyaç duyarlar. İkincil patlayıcılar, ateşleme zincirinde daha çok miktarda kullanılır ve genellikle, nispeten az miktardaki birincil patlayıcılar tarafından ateşlenirler. Bu tipte patlayıcıların kullanım alanları daha geniştir ve depolanmaları, işletilmeleri daha güvenlidir. Bazen, az miktarda, tesir gücünü arttırmak maksadıyla tahrip kapsüllerine de eklenebilmektedirler [24].

2.5.3. Ticari Patlayıcılar

Baraj yapımı, tünel ve yol projelerinde, madencilik, petrol arama vb. alanlarda kullanılan ticari patlayıcılar, nitrogliserin esaslı (dinamit) patlayıcılar ve amonyum nitrat esaslı patlayıcılar olmak üzere iki tiptir [25].

2.5.4. Askeri Patlayıcılar

Askeri operasyonlarda kullanılmaya uygun olabilmesi için, patlayıcıların aşağıda sıralanan özelliklere sahip olması gerekmektedirler [26]:

Kullanılabilirlik: Birçok patlayıcı bileşik vardır ama bunların bir kısmı askeri olarak kullanılır. Burada kullanılabilir olanları diğerlerinden ayırmakta kullanılan testlerden bahsedilmektedir. Patlayıcı maddelerin çoğu en az 10 yıl kullanım ömrü için tasarlanır. Bu testler, kullanım aşamasında ortaya çıkabilecek problemlerin mümkün olduğunca önlenmesi amacıyla patlayıcıyı karakterize etmek için tasarlanmıştır. Patlayıcıda yapılan her test, büyük ölçüde patlayıcının kullanım amacına bağlıdır. Testlerin çoğu, patlayıcıları standart bir patlayıcıya göre sıralamak için kullanılan verileri verir. Bu göreceli (nispi) sıralama daha sonra olası uygulamaları belirlemek için kullanılır. Birkaç test askeri maddelerde kullanılacak patlayıcıların içine girilme koşulu ile sınırlandırılmış mutlak aralığa sahiptir.

Ulaşılabilirlik ve Maliyet: Modern savaşın yüksek miktardaki talepleri göz önüne alındığında, patlayıcılar ucuz, stratejik olmayan ve büyük miktarlarda ulaşılabilir hammaddeden üretilmelidir. İlaveten, üretim operasyonları basit, ucuz ve güvenli olmalıdır.

Hassasiyet: Askeri bir patlayıcının, patlatılabilme kapasitesi olmalı ve mümkün olduğunca duyarsız olmalıdır. Hassasiyet hususundaki askeri gerekler kesindir. Patlatılabilen birçok bileşik istenmeyen hassasiyet özelliklerinden ötürü askeri patlayıcı olarak kullanılmaz.

Kırıcılık ve Güç: Bir patlayıcının kırıcılık ve gücü, belirli amaçlar için kullanılabilirliğini belirler. Patlatan bir şarj kırıcı olmalı ancak çukur veya hendek açacak bir şarj güçlü ama daha az kırıcı olmalıdır.

Kararlılık: Askeri patlayıcılar, uygun olmayan koşullar altında depolandığında bile uzun süre dayanabilmelidir. Depolama şartlarının sınırı tropik iklimin çok yüksek sıcaklık ve neminde kutup bölgesindeki soğuğa kadardır.

Yoğunluk: Bir mühimmatta mevcut olan sabit hacim, maksimum enerji yoğunluğuna sahip patlayıcıların kullanılmasını gerektirir. Genel olarak, patlayıcı yoğunlaştıkça elde edilecek enerji artar. Bu durum metalo-organik primer patlayıcıların bazıları için doğru değildir. Bu bileşiklerin yüksek yoğunluğu enerji içeriğine ilavesi olmayan cıva veya kurşun fazlalığından meydana gelir.

Nem kapabilirlik (alabilirlik): Nem emme özelliği patlayıcıların hassasiyet, kararlılık ve reaksiyona girebilirliğini olumsuz etkiler. Nem çekebilen patlayıcılar nem almaz kaplara doldurulmalıdır. Bu ekstra önlem genellikle istenmez, bu nedenle nem çekmeyen patlayıcılar kullanılır. Amonyum nitrat bir istisnadır. Çok nem kapıcı olduğu halde, bileşik oldukça ucuz ve kolayca ulaşılabilir durumdadır.

Uçuculuk: Uçuculuk, mühimmat atımlarında basınç artışı, kompozit patlayıcılardaki girdilerin ayrışması ve buharlaşma kaybı ile oluşur. Bu istenmeyen özellikler askeri patlayıcılarda en aza indirilmelidir.

Reaktivite (Reaksiyona girebilirlik): Bir askeri patlayıcı mühimmat yapısında kullanılan malzemelerle mümkün olduğunca reaksiyona girmemelidir. Birçok durumda nemle hızlanan reaksiyonlar güç kaybına, hassasiyet kaybına ve gaz ürün çıkışına neden olabilir. Bazı durumlarda, azotür ve bakır gibi metalik tuz oluşumları tehlikeli hassasiyetler oluşturabilir. Doldurulan patlayıcı diğer bir patlayıcı veya bağlayıcı ile karıştığında veya temas ettiğinde, girdiler arasındaki reaktivite en aza indirilmelidir.

Zehirlilik: Askeri patlayıcıların herhangi biri için en az zehirlilik arzu edilen bir kalitedir.

Çevresel Etki: Üretim ve dolum operasyonlarının çevre üzerinde etkisi mümkün olduğunca küçük olmalıdır.

Askeri Özelliklerden Kurtulma (Demilitarizasyon): Bir askeri patlayıcı uygun demilitarizasyon özelliklerine sahip olmalıdır. Örneğin, plastik bağlayıcılı patlayıcılarda ısıya hassas bağlayıcılar kullanılır. Isıtmaya bağlı olarak, bağlayıcı bozunur ve patlayıcı boşaltılırken tamamen geri dönüştürülebilir.

Kullanım Esnasında Güvenlik Açığı ve Güvenlik: Patlayıcıların kullanımı esnasında ortaya çıkan koşullar mümkün olduğunca güvenlik açığı vermeyecek şekilde olmalıdır. Patlayıcılar üretim ve kullanım sırasında mümkün olduğunca güvenli olmalıdır.

Başlıca askeri patlayıcılar aşağıda sunulmaktadır [27] :

a) TNT

Askeri patlayıcıların en önemlisidir; yaygın olarak bomba, mayın ve torpidolarda patlayıcı madde olarak kullanılmaktadır. TNT, 1863 yılında boya maddesi olarak keşfedilmiş; 1904 yılından itibaren ise patlayıcı yapımında kullanılmaya başlanmıştır. Birinci Dünya Savaşı'nda askeri patlayıcı olarak kullanıldığı bilinmektedir. İkinci Dünya Savaşı'nın ardından ise standart askeri patlayıcı olmuştur; öyle ki diğer patlayıcıların gücü, sıklıkla eşdeğer TNT miktarı olarak ifade edilir. Eritilerek kolaylıkla istenilen gövde/kabuk içerisine dökülebilir. Çok kararlıdır ve oldukça uzun süre saklanabilmektedir. Neme direnci üst seviyededir ve fiziksel bir darbeye bağlı olarak patlamaları pek olası görülmemektedir.

b) RDX (Royal Demolition Explosive)

Her türlü patlatma operasyonlarında kullanılmaya uygun, çok yönlü bir patlayıcıdır. Alman Henning tarafından geliştirilmiş ve 1898'de patenti alınmıştır; ancak İkinci Dünya Savaşı'na kadar yaygın şekilde kullanılmamıştır. Kimyasal ismi siklotrimetilen trinitramin olmasına karşın, savaş sırasında İngilizlerin kullandığı "Royal Demolition Explosive -kraliyet yıkım patlayıcısı" kod adı kalıcı olmuştur. Darbelere karşı bir hayli hassas yapıdadırlar ve genellikle diğer patlayıcı maddelerle beraber kullanılabilmektedirler. Örneğin yumuşatıcılar (plasticizer) ile karıştırılarak C4 plastik patlayıcı; duyarsızlaştırıcılar (desensitizers) ile karıştırılarak paralama ya da patlatma işlemlerinde ana imla hakkı olarak kullanılabilmektedirler.

c) PETN (PentaEritrol TetraNitrat)

Modern askeri patlayıcılar arasında, belki de en duyarlı/hassas olanıdır. Raf ömürleri uzundur. Kolayca patlatılabilir olduklarından patlatma kartuşları, infilaklı fitiller ve diğer tip fünyelerde kullanılırlar. Suda çözünmez yapıları, sualtı patlatmalarında kullanılabilmelerini sağlar.

d) Plastik Patlayıcılar

C1, C2, C3, C4 gibi kısaltmalarla anılan bileşik patlayıcılardır. Bunlar, RDX, PETN gibi çeşitli patlayıcıların, özel uygulamalar için özel patlayıcılar üretmek maksadıyla, balmumu, yağ, yumuşatıcı gibi ajanlarla birleştirilmesiyle elde edilirler. C2 ve C4 özellikle askeri amaçlı kullanıma uygun versiyondur. Aralarındaki temel fark, bunların azami etkilerini farklı sıcaklık aralıklarında göstermeleridir.

e) Barut

Karabarut bilinen ilk patlayıcıdır; 9'uncu yüzyıldan 1800'lerin sonuna kadar ana patlayıcı madde ve silahlar için itici olmayı sürdürmüştür ve nitroselüloz barutu en yaygın kullanılan tip olana kadar karabarut, barut olarak anılmıştır. Sonrasında ise barut kelimesinin karşılığı nitroselüloz barutu olmuş, ilkel barut ise karabarut olarak adlandırılmıştır. 1857'de Lammot du Pont'un potasyum nitrat yerine sodyum nitrat kullanarak elde ettiği ve patentini aldığı barut, orijinaline göre daha ucuz ve güçlüydü. Bu barutun, büyük toplar için geliştirilmiş Mommoth barutu gibi, farklı çeşitleri yapılmıştır; ancak bu barutun itici olarak kullanımı oldukça kısa sürmüş; modern topların ortaya çıkması, bunların toplardaki kullanımlarına son vermiştir; patlatma amacıyla kullanımları ise yaygın şekilde sürmüştür. Karabarut, itici olarak olmasa da hala havai fişeklerde, işaret fişeklerinde, ayrıca askeri mühimmatlarda ateşleme fitili, fünye olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Muhteviyatı güherçile, karbon ve kükürtten oluşmaktadır. Karabarut, nitroselülozlu sevk barutları bulununcaya kadar sevk edici ve patlayıcı olarak kullanılmıştır ancak günümüzde sadece taş ocaklarında, ateşleyici olarak ve fünye çalışmalarında kullanılmaktadır. Sevk barutu olarak kullanıldığı çok nadir görülmektedir. Karışımında; %75 oranında sodyum ve potasyum nitrat oksitleyici olarak, %15 oranında karbon (odun kömürü) temel yanıcı olarak ve %10 oranında kükürt bulunur. Askeri alanda kullanılan kara barutlarda oksitleyici olarak genellikle potasyum nitrat kullanılmaktadır. Kara barut 300 ^{0}C sıcaklıkta aniden yanar ve maksimum 3800 ^{0}C meydana getirmektedir. Bu sıcaklık namlu iç çeperlerinde yıpranma ve aşınmalara sebep olabilmektedir. Karabarut rutubetlenince hemen yanma özelliğini yitirir kuru olarak saklandığında ise özelliğini uzun süre korumaktadır [28].

3. AĞIR SİLAH MÜHİMMATLARININ TNT İLE DOLUMU

Ağır silah mühimmatlarına (obüs,havan,top vb.) genel olarak iki farklı yöntemle dolum operasyonunun gerçekleştirildiği bilinmektedir. Bunlardan ilki ve en eskisi döküm (sıvı-eriyik) TNT uygulamasıdır. Diğer bir yöntem ise mühimmat gövdeleri içerisine toz TNT'nin preslenmesidir. Bu yöntem ilk yönteme göre daha yüksek kapasitede üretimler sağlasa da ilk yöntemden daha riskli ve daha pahalıdır. En eski yöntem olan döküm (sıvı-eriyik) TNT uygulaması preslenme işleminden daha ekonomik ve en yaygın kullanılan yöntem olmasıyla öne çıkmaktadır [29].



Şekil 3. 1. Döküm (sıvı-eriyik) yöntemle imla edilen top mühimmatı [29]

Türkiye'de ki ağır silah mühimmat dolum hattının yer aldığı MKE Mühimmat Fabrikası'nda da döküm (sıvı-eriyik) TNT uygulaması kullanılarak mühimmat gövdelerine patlayıcı dolumu gerçekleştirilmektedir. MKE Mühimmat Fabrikası TNT dolum hattında üretimi yapılan ağır silah mühimmatları arasında: 105 mm, 155 mm ve 8 inç obüs mühimmatları; 60 mm, 81 mm ve 120 mm havan mühimmatları; 105 mm, 120 mm ve 155 mm top mühimmatları; 107 mm, 122 mm ve 2.75 inç roket harp başlıkları; MK (Mark) serisi uçak bombaları ve 40 mm düşük hızlı bombaatar mühimmatı yer almaktadır.

3.1. Sıvı (Döküm) TNT Uygulaması

Dolum hazırlama bölümünde bulunan mühimmat gövdeleri dikkatli ve emniyetli bir şekilde dolum arabalarına yüklenmektedir. TNT kalıntısından tamamen arınmış hunilerin vidaları yağlanarak mühimmat gövdelerine vidalanmaktadır. Sonrasında ise dolum arabasının üst tablası, hunileri merkezleyecek ve arabanın hareketi esnasında hiç çıkmayacak şekilde yerleştirilerek gövdeler doluma hazır hale getirilmektedir.



Şekil 3. 2. Doluma hazır hale getirilmiş 81 mm havan mühimmatı

Hazırlanmış olan dolum arabaları, gövde çeşidine göre sıcaklığı ayarlanmış olan ön ısıtma tünelinin girişinde sıralanmaktadır.



Şekil 3. 3. Ön ısıtma öncesi dolum arabaları

TNT hazırlama bölümünde işe başlanırken, eritme kazanı, hazırlama kazanları, bunkerler, eritme bölümüne ait platformlar ve hazırlama bölümüne ait boş arabalar, duvarlar ve merdivenler hiç TNT kalmayacak şekilde sıcak su ile yıkanıp kurutulmaktadır.



Şekil 3. 4. TNT eritme kazanı [29]

Eritme kazanına kapasitesi kadar toz TNT doldurularak kazan devri 20-110 rpm arasında, TNT sıcaklığı ise 80-84 °C olacak şekilde ayarlanıp karıştırıcı çalıştırılmaktadır. Eritme kazanı üzerinde besleme yapacak olan bunkerlere ise günlük üretim miktarının gerektirdiği kadar toz TNT doldurulmaktadır. Sıcaklık arttıkça erimeye başlayan toz TNT sırasıyla eritme, sıcaklık düşürme, kristalizasyon, homojenizasyon ve vakumla kabarcık alma safhalarını geçirerek doluma hazır eriyik (sıvı) TNT'ye dönüşmektedir.



Şekil 3. 5. TNT dolum kazan ve bunkeri [29]

Eritme kazanındaki sıvı TNT dolum kazanına alınmaktadır. Ön ısıtma tünelinden çıkan mühimmat gövdelerinin bulunduğu dolum arabaları ise dolum kazanının altına getirilerek dolum operasyonu başlatılmaktadır. Dolum kazanı altındaki dörtlü dolum ağzından gelen sıvı TNT dört sıra ve altı sütundan olmak üzere yirmi dört mühimmat kapasiteli dolum arabasındaki huniler vasıtasıyla mühimmat gövdelerine serbest dolum şeklinde dolmaktadır. Dörtlü dolum işlemi altı set olarak tekrarlanmaktadır. Setler arasındaki geçişlerde arabalar operatör tarafından manuel olarak kaydırılmakta, ilk huni setinden çıkarılan dolum ağızları bir sonraki huni setine ulaşana kadar dolum ağızlarından mühimmat gövdelerine sıvı TNT sıçrayarak dökülmektedir. Gövde üzerindeki TNT iş güvenliği açısından risk teşkil etmektedir. Ayrıca kalite yönetim sistemine aykırı olduğundan temizlenmesi zorunlu olmaktadır. Ancak sıvı TNT tüm operasyonlar bitene kadar gövdede kaldığı için, katılaştıktan sonra da temizliği imkansız hale gelmektedir. Bu işlem sıcak suyla yıkama ve ardından zımparalamadan oluşmaktadır. Temizliğin ardından ise gövde boyası olan zeytuni yeşil boya hasar görüp tahrip olduğu için zımparanın değdiği bölgelere tekrar boyama yapılmaktadır.

Yirmi dört adet gövdenin dolumu bittikten sonra dolum arabası şişleme ünitesine götürülmektedir. Şişleme, sıvı TNT'nin hızlı soğuyarak hızlı katılaşmasını,engelleme ve katılaşırken oluşturduğu boşlukları hunide fazla bırakılan sıvı TNT ile doldurma işlemi olarak tanımlanabilmektedir. Sıvı TNT yapısı gereği katılaşırken büzüşür ve hacmini küçültmektedir. Bu sırada oluşan boşluklu bölgeler takviye edilmez ise mühimmat tahribat ve fragmantasyon işlevini tam olarak gerçekleştirememektedir. Ayrıca çok hızlı katılaşma sonucu kılcak çatlaklar oluşmaktadır. Oluşan çatlakların da mühimmat fonksiyonunu doğrudan etkileyen bir faktör olduğu bilinmektedir. Bu sebeplerden dolayı dolum işlemi sonrası arabalar şişleme hattına girmektedir.

Şişleme operasyonu bittikten sonra, katı TNT dolumu tamamlanmış ancak mühimmat gövdelerine vidalanmış hunilerin sökülmesi gerekmektedir. Bu işlem huni sökme tezgahı ile yapılmaktadır. Hunileri sökülen mühimmat grupları TNT işleğinden alınarak, ilave imla ve tapa gibi diğer bileşenlerin montajı için terkip hattına gönderilmektedir.

Tüm işlemler tamamlandıktan sonra eritme kazanı, hazırlama kazanları, bunkerler, eritme bölümüne ait platformlar ve hazırlama bölümüne ait boş arabalar, duvarlar ve merdivenler hiç TNT kalmayacak şekilde sıcak su ile yıkanıp kurutulmaktadır. En başta da yapılan bu işlem iş güvenliğini sağlamak adına zaruriyet taşımaktadır. Ancak

ilgili üretim atölyesinde günlük en az iki defa baştan aşağıya su ile yapılan bu temizlik beraberinde korozif ortam yaratmaktadır. Bu nedenle ortamda kullanılan tüm aparat, kazan, bunker ve teçhizatın paslanmaz çelikten imal edilmesi gerekmektedir.

3.1.1. Sıvı TNT Uygulamasının Dezavantajları

Sıvı TNT dolumunun dezavantajlarından birisi dolum kapasitesinin sınırlı olmasıdır. Bu sınırı kazan kapasitesi, dolum arabası kapasitesi, ön ısıtma tüneli kapasitesi, şişleme hattının kapasitesi ve huni sökme tezgahının kapasitesi belirlemektedir. Bu kadar çok parametreye doğrudan bağlı olarak yapılan sıvı TNT dolum operasyonunda üretim sayıları sınırlı olmaktadır.

Ayrıca, duyarlı patlayıcı sınıfında yer alan TNT'nin herhangi bir bölgede uçuşarak birikmesinin ya da bir bölgede yığılmasının iş güvenliği açısından istenmeyen bir durum olduğu bilinmektedir. Dışarıdan gelebilecek en küçük kıvılcım ile kolaylıkla alevlenebilen TNT'nin dolumunun yapıldığı atölyenin ve kullanılan tüm ekipmanların vardiya başlangıcında ve vardiya bitiminde olmak üzere en az iki defa temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizlik basınçlı sıcak su ile yapıldığı için, dolum hatlarındaki bütün teçhizatlar korozyona maruz kalmaktadırlar. Bu durum beraberinde kullanılan tüm takım ve aparatların yüksek kalite paslanmaz çelik olması zorunluluğunu getirmektedir.

Sıvı TNT dolumunun en büyük dezavantajı ise dolum kazanı altındaki dörtlü dolum ağzından gelen sıvı TNT'nin dört sıra ve altı sütündan olmak üzere yirmi dört mühimmat kapasiteli dolum arabasındaki huniler vasıtasıyla mühimmat gövdelerine serbest dolum şeklinde dolarken, dörtlü dolum işleminin altı set olarak tekrarlanması ve bu tekrarlar sırasında ilk huni setinden çıkarılan dolum ağızlarının bir sonraki huni setine ulaşana kadar dolum ağızlarından mühimmat gövdelerine sıvı TNT'nin sıçramasıdır.

Gövde üzerindeki TNT iş güvenliği açısından risk teşkil etmektedir. Ayrıca kalite yönetim sistemine aykırı olduğundan temizlenmesi zorunlu olmaktadır. Ancak bu temizlik operasyon devam ederken yapılamayacağından sıvı TNT tüm operasyonlar bitene kadar gövdelerin üzerinde kalmaktadır. Sonucunda ise katılaştığı için temizliği imkansız hale gelmektedir. Temizlik önce sıcak su ile yıkama ve ardından zımparalamadan oluşmaktadır. Temizliğin ardından ise gövde boyası olan zeytuni yeşil boya hasar görüp tahrip olduğu için zımparanın değdiği bölgelere tashih boyama

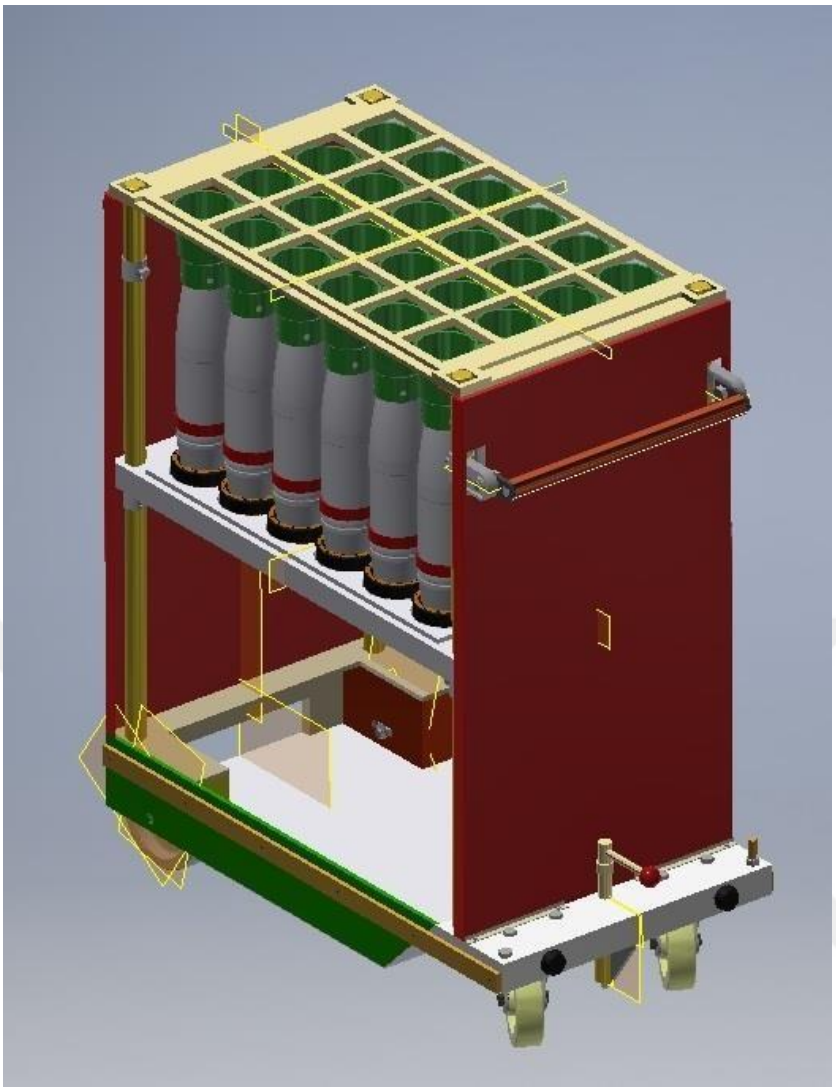
işlemi yapılmaktadır. Yıkama,zımparalama ve boyama işlemleri işçilik maliyetinin artmasına, üretim süresinin uzamasına ve düşük üretim kapasiteli sıvı TNT dolum hattının kapasitesinin daha da düşmesine neden olmaktadır.

3.1.2. Sıvı TNT Sıçramasının Engellenmesi

Sıçrayan TNT'nin mühimmat gövdelerine ulaşmasını engellemek için 1940'lı yılardaki üretimlerde her gövdeye muhafaza takılmış ve üretim bu şekilde yapılmıştır. Ancak konvansiyonel dolumun kapasite yetersizliğiyle beraber her gövdeye ayrı ayrı muhafaza takılması üretimi oldukça yavaşlatmış kapasiteyi ise daha da düşürmüştür.



Şekil 3. 6. 155 mm gövde yüzeyine geçirilen koruyucu kumaşlar [29]



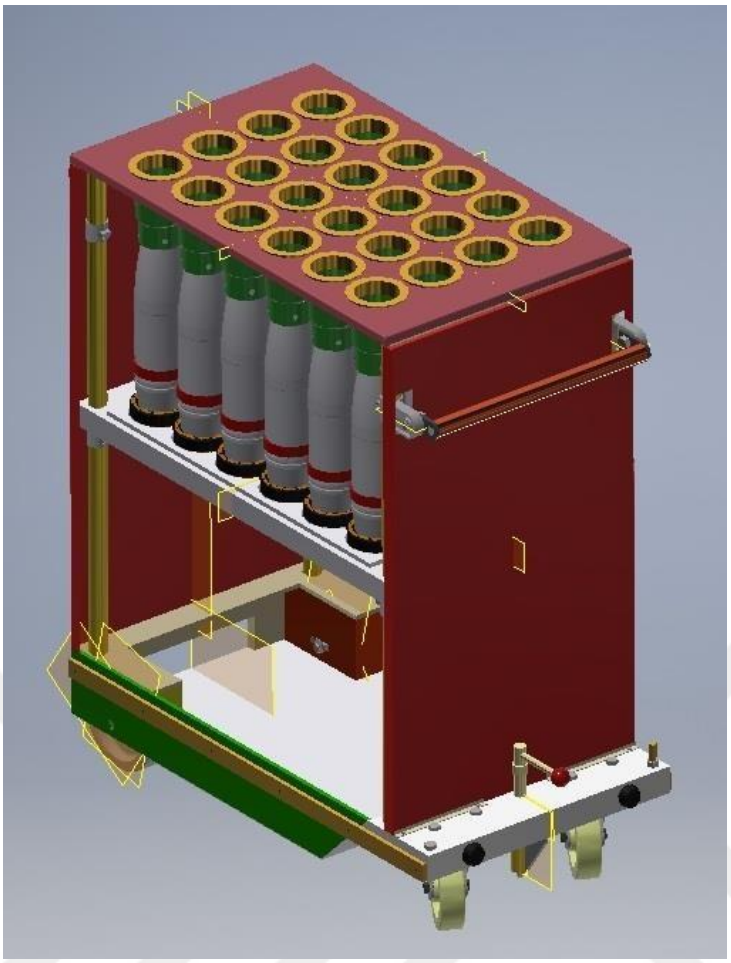
Şekil 3. 7. Konvansiyonel sistemdeki TNT dolum arabası şematik görünüşü

TNT döküm hattındaki konvansiyonel sistemde kullanılan dolum arabası üzerine hem dökümü kolaylaştıracak hem de mühimmat gövdelerini TNT sıçramalarından koruyacak şekilde yolluk sistemi tasarlanarak kullanılabilmek mümkün olabilecektir. Yolluk sisteminin savunma endüstrisinde uygulanması ile işçilik maliyetlerinin ve üretim süresinin artmasının önüne geçilebilecek, AQAP gerekliliklerine uygun mühimmatların üretilmesi sağlanabilecektir.



Şekil 3. 8. 304L östenitik paslanmaz sac-yolluk bütünü

Daha önce de değinildiği üzere, TNT dolumunun yapıldığı atölyenin ve kullanılan tüm ekipmanların vardiya başlangıcında ve vardiya bitiminde olmak üzere en az iki defa temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizlik basınçlı sıcak su ile yapıldığı için, dolum hatlarındaki bütün teçhizatlar korozyona maruz kalmaktadırlar. Korozif ortamda çalışacak olan yolluk sisteminin de diğer ekipmanlar gibi paslanmaz çelikten imal edilmesi gerekmektedir. Bunun için kenarları abkant presle kıvrılmış ve dolum ağzı yuvaları açılmış olan 304L östenitik paslanmaz saca, yine aynı evsaflı paslanmaz yollukların dolum arabasına adapte edilmesiyle sistem yolluklu hale çevrilmiş olacaktır.



Şekil 3. 9. Sac-yolluk bütünlü TNT dolum arabası şematik görünümü

Obüs,havan ve top mühimmatı mermi gövdelerinin imla komplesi haline getirilme süreci sırasıyla ön ısıtma, dolum, şişleme ve huni sökme operasyonlarından oluşmaktadır. Bu süreç boyunca hem gövdeler hem de dolum arabası birlikte bulunmaktadır.

Ön ısıtma tünelinde arabalı gövdelerin ısıtılmasının sebebi,bir sonraki operasyonda dökümü yapılacak olan sıcak TNT'nin soğuk gövdeyle temas etmemesidir. Aksi taktirde,ani soğuma ve termal şok patlayıcının hızlı katılaşarak gövde içerisinde boşluk ve çatlaklar meydana getirmesine sebep olmaktadır.

Dolum sırasında da yaklaşık 80°C sıcaklığındaki TNT gövdelere imla edilirken dolum arabasının üst yüzeyi tüm gövdelerin dolumu bitene kadar sıcak TNT dolum kazanıyla ısı transferi yapmaktadır [30].

Şişleme ünitesinde ise, sıcak TNT'nin hızlı soğumasını engellemek için çok yavaş ve kademeli bir soğutma ile proses sonlanmaktadır.Görüldüğü üzere bu sürecin şişleme

hattındaki son noktasına kadar da gövdeler ve dolum arabası yüksek sıcaklığa maruz kalarak çalışmaktadır.

İmalatı yapılacak yolluk sistemindeki sac ve yollukların bütünlenmesinin muhtelif metal yapıştırıcılar ile yapılması, uzun süre sıcak ortamda çalışması nedeniyle bazı riskler teşkil etmektedir. Bu risklerin başında yapıştırıcı kimyasalın eriyerek patlayıcıya karışması gelir. Patlayıcıya bulaşan yapıştırıcı kimyasalı, TNT'nin yapısını bozar ve mühimmat patlama ve fragmantasyon fonksiyonlarını tam anlamıyla yerine getiremez hale gelebilmektedir. Bir diğer risk ise yapıştırıcının eridikten sonra yolluk sisteminin bütünlüğünü kaybetmesi, sistemin arabaya montajı esnasında yollukların devrilip dökülmesidir.

Üretilmesi beklenen yolluk sistemi birleştirilmesinin mekanik olarak civatalarla yapılması da bir takım handikaplar içermekte ve engellerle karşılaşmaktadır. Dolum sistemi ile dolum arabası arasında neredeyse hiç boşluk yoktur. Oysa civatalı sistemin fonksiyonel çalışabilmesi için belli bir et kalınlığına sahip yolluk tasarlanması ve bu yolluğu tutan civata başlıklarının da yüzeyde durması gerekmektedir. Bu iki etken de yolluk sistemi kalınlığını kaynaklı sisteme oranla arttırmakta ve dolum arabasının TNT dolum sisteminin altına yanaşmasını engellemektedir. Civatalı bağlantının bir zorluğu ise her bir yolluğa en az dört adet bağlantı yapmak gerektiğinden, yirmi dört adet yolluk için saca ve yolluklara doksan altışar adet delik açmak ve bu deliklerin birbirlerini eksenlemesini sağlamak gerekmesidir. Tüm bu etkenlerden dolayı, yolluk sisteminin birleştirilebilmesi için en doğru yöntem kaynaktır. Malzeme olarak paslanmaz çeliğin kaynak olarak da TIG kaynağının seçilmesinin sebebi ise, dolum hattının korozif bir ortama sahip olmasından ve her dolum sonrası dolum arabasının basınçlı sıcak su ile yıkanmasıdır.

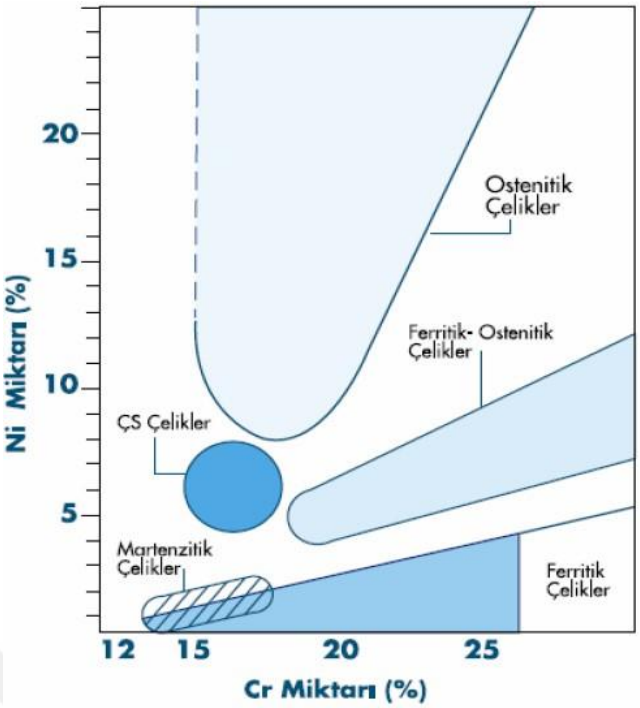
4. TNT DOLUMUNDA KULLANILAN PASLANMAZ ÇELİKLER

Patlayıcı dolumu esnasında yüksek sıcaklıktaki eriyik patlayıcılar kullanılmaktadır. Özellikle döküm TNT uygulamasında, yaklaşık 80°C sıcaklığındaki sıvı TNT, karıştırma kazanı, dolum kazanı ve dolum boru hattı gibi dolum ekipmanları ile temas halinde bulunmaktadır. Dolum sonrası tüm bu ekipmanların yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıkta su ile temizlenmesi gerekmektedir. Her üretim öncesi ve sonrası tekrarlanan bu süreç nedeniyle, patlayıcı dolum ekipmanları malzemesinde, yüksek korozyon dayanımına, işlenebilirlik ve kaynaklanabilirlik özelliğine sahip olan paslanmaz çeliklerin kullanılması gerekmektedir.

Demir alaşımlarının büyük çoğunluğu ile çelikler atmosferde oksitlenebilirken yüzeylerinde oksit tabakası oluşmaktadır. Paslanmaz çeliklerin, korozyon karşı dirençleri krom artış oranıyla doğru orantılıdır. Oluşan krom oksit tabakası korozyonun meydana gelmesine ve oksidasyona engel olmaktadır [31].

Nikel elementi dengeleyici bir alaşım elementi olup güçlü bir östenit yapıcı elementtir. Kromu yüksek ancak karbon oranı düşük çeliklerde mukavvemeti artttırmak, tane büyümesine engel olmak için ilave edilmektedir. Mangan ve azot östenit oluşturucu bir element iken, alüminyum ferrit oluşturucu özelliğiyle karşımıza çıkmaktadır. Mangan ve azot östenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama dayanımını yükselterek mekanik dayanımı arttırmaktadırlar. Alüminyum ise yüksek sıcaklıkta oksitlenme direncini artırmaktadır. Niyobyum, kuvvetli bir karbür oluşturucu olduğundan krom karbür çökelmesine karşı dengeleyici olarak kullanılmaktadır [32].

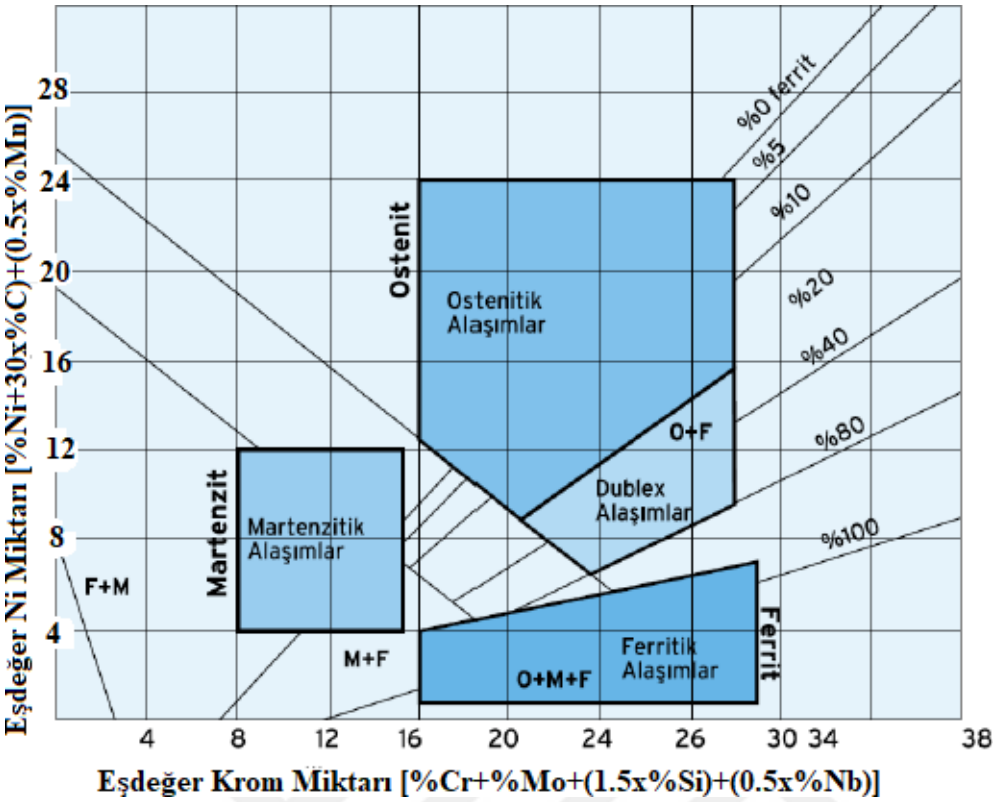
Titanyum elementi ise nikel gibi dengeleyeci bir element olup krom karbür çökelmesine engel olmak üzere ilave edilir. Bazı paslanmaz çeliklerde mukavemeti arttırıp akışkanlık direncini yükseltmek için Tungsten elementi kullanılır [33].



Şekil 4. 1. Bazı paslanmaz çeliklere ait krom ve nikel oranları [33]

4.1. Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çeliklerin kimyasal karışım yüzdeleri ve barındırdıkları elementler değiştirilerek değişik özelliklerde alaşımlar meydana gelmektedir. Korozyon direncini yükseltmek için nikel, molibden ya da krom miktarı arttırılabilmektedir. Farklı olarak selenyum, alüminyum, titanyum, silisyum ve bakır gibi bazı elementlerin ilavesiyle arzu edilen özellikler oluşturulabilmektedir. Mangan, krom, molibden ve nikel elementleri ise paslanmaz çeliklerin iç yapısını belirlemektedirler. İç yapıların östenitik veya ferritik veya östenitik olmasını nikel ve krom elementleri belirlemektedir. Şekil 4.2. Schaeffler-diyagramında yer alan fazlar, paslanmaz çeliklerdeki fazların oluşum mekanizmalarını göstermektedir [33].



Şekil 4. 2. Schaeffler diyagramı [33]

Beş gruba ayrılabilen paslanmaz çelikler:

a) Martenzitik paslanmaz çelikler

b) Östenitik paslanmaz çelikler

c) Ferritik paslanmaz çelikler

d) Çökeltme sertleşmesiyle sertleşebilen paslanmaz çelikler

e) Çift Fazlı paslanmaz çeliklerdir [34].

4.1.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Hacim merkezli kübik yapıda bulunan martenzitik paslanmaz çelikler, ısıl işlem uygulanarak dönüşüm yoluyla sertleştirilebilmektedirler. Atmosferik korozyona karşı mukavemetli olan martenzitik paslanmaz çeliklerin C içeriği %1,2'ye kadar çıkabilirken, Cr içerikleri %11-18 arasında olmaktadır. Yüksek mukavvemet özelliği ile çoğunlukla tercih edilen martenzitik tipi 410, %12 Cr içeriğine sahiptir. Nikel 431 ve 414 tipi martenzitik çeliklere, Molibden ise 422 tipi paslanmaz çeliklere, tane sınırı korozyonunu engelleyecek şekilde korozyon direncini yükseltmek için ilave edilmektedir [35].

Ortalama %13 Cr içeren düşük karbonlu martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirlik özellikleri çok yüksek olduğu için süper martenzitik paslanmaz çelikler olarak adlandırılmaktadırlar. Çekme mukavemetleri, 780-1000 MPa arasında bulunan kaynak edilebilir paslanmaz çeliklerin mikro-yapıları, yüksek dayanım ve tokluğa sahip düşük karbonlu temperlenmiş martenzitten meydana gelmektedir [35].

Düşük karbonlu martenzitik çelikler, gaz-buhar türbünlerinde ve jet motorları bıçaklarında kullanılmaktadır. Daha yüksek karbonlu martenzitik paslanmaz çelikler, şaftlar, bıçak-çatal takımları, yaylar, dişçilik ekipmanları, valfler, kamlar, bilyeli yataklar ve makaslarda kullanılmaktadırlar [36].

4.1.2. Östenitik Paslanmaz Çelikler

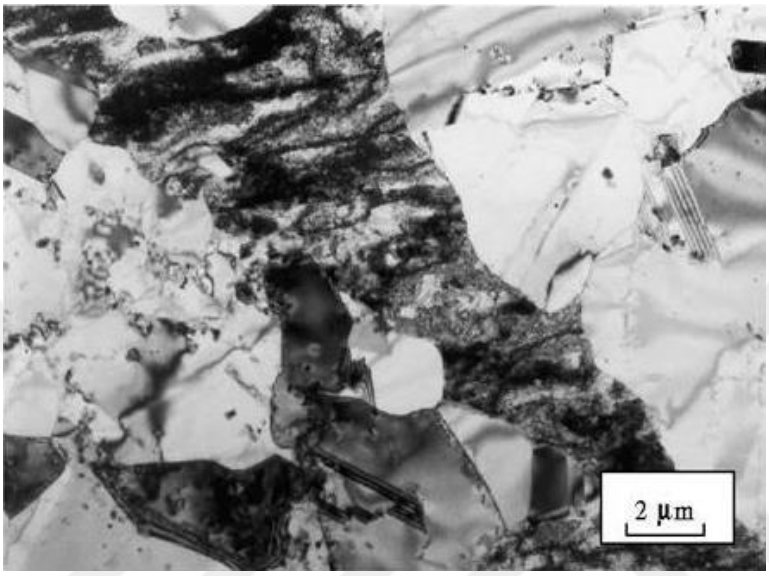
Alaşım çokluğu ve kullanım alanının genişliği açısından en zengin grup östenitik paslanmaz çelik grubudur. Östenitik paslanmaz çelikler; her sıcaklıkta yüzey merkezli kübik kafes sistemine sahip östenitik iç yapılarını muhafaza ettikleri için, sertleştirme ve normalleştirme ısıl işlemi ile sertleştirilememektedirler. Mukavemet değerleri soğuk şekillendirme ile arttırılabilmektedirler. Bileşimlerinde %16 ile %26 krom, %35'e kadar nikel ve %20'ye kadar mangan bulundurabilen östenitik paslanmazlar manyetik değildirler. Temel östenit yapıcı elementler mangan ve nikeldir. Östenitik paslanmaz çeliklerin, korozyon dirençleri, mekanik ve şekillendirilebilme özellikleri yüksektir [37,38]. Bu tip paslanmaz çeliklerin mekanik mukavemetleri, genellikle soğuk şekillendirme ile yükseltilebilmektedir. Alaşım bileşimleri, kaynak edilebilirlik özellikleri ve kaynak bölgesinin yapısı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir [39].

1.4310 östenitik paslanmaz çelik alaşımı, 1050 °C ' de suya atılır ve havada bekletilirse, östenit taneleri incelmektedir. Oda şartlarında çeliğin mikro-yapısı; (Cr,Fe)4C karbürlerinden ve (δ)-ferrit + östenitten meydana gelmektedir [40]. Soğuma sırasında, östenit-ferrit dönüşümü olmadığı için östenitik paslanmaz çelikler su verme yolu ile sertleştirilemezler [41].

Çok yüksek korozyon dayanımına sahip östenitik paslanmaz çelikler, çoğunlukla redükleyici ve/veya oksitleyici koşullar altında kullanılmaktadırlar [42].

Yüksek karbonlu çeliklerden daha fazla termal genleşme katsayısına sahip olan bu tip çelikler yüksek kaynak edilebilirlik, kolay şekillendirilebilirlik, yüksek korozyon direnci ve hijyenik şartlarda kullanılabilme gibi özelliklere sahiptirler [43,44].

Östenitik paslanmaz çelikler; kimya sanayinde, savunma endüstrisinde, gıda işleme sektöründe, asansörler, ev aletleri, uçak parçaları, soğuk kaplar, yaylar, mutfak gereçleri, antenler, meyve tankları, yağmur olukları, fırın parçaları, ısı değiştiricileri, pompa parçaları, basınçlı kazanlar, türbin kanatları, şaftlar, miller, gemi pistonları, kaşık-çatal takımları, jet motorları, likid malzeme karıştırma kazanları, uçak egzost bacaları malzemelerinde kullanılmaktadırlar [45,46].



Şekil 4. 3. Östenitik paslanmaz çeliğin mikro-yapısı [46]

4.2. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

4.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Martenzitik paslanmaz çelikler, ısıl işlemsiz 275 MPa'lık bir akma dayanımı sergilerler. Karbon muhtevası ile doğru orantılı olarak sertleştirme ve temperleme işlemleri sonrasında 1800 MPa'lık bir akma dayanımına ulaşabilmektedirler [47]. Martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

Çizelge 4. 1. Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [35]

TİPİ (AISI)	İŞLEM	ÇEKME DAYANIMI (MPa)	AKMA DAYANIMI %0.2 (MPa)	% UZAMA	SERTLİK
403	Sertleştirilmiş	485	275	20	88 HRB
410	Sertleştirilmiş	485	205	20	95 HRB
414	Temperlenmiş	795	620	15	-
416	Temperlenmiş	485	275	20	-
418	Temperlenmiş	965	760	15	-
420	Temperlenmiş	720	1480	20	52 HRC
440	Sertleştirilmiş	725	415	20	95 HRB
440	Temperlenmiş	1790	1650	5	51 HRC

4.2.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Östenitik paslanmaz çeliklerin saaadece soğuk deformasyonla dayanımları bir miktar yükseltilebilirken, her zaman östenitik yapısını koruyabildiği için ısıl işlem ile sertleştirilememektedirler. Soğuk deformasyondan sonra az miktar bir yapı martenzite dönüşebililyorsa ona yarı kararlı östenitik paslanmaz çelik denir [48]. Tavlanmış çeşitli östenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri Çizelge 4.2.'de verilmektedir.

Çizelge 4. 2. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [49]

TİPİ (AISI)	İŞLEM	ÇEKME DAYANIMI (MPa)	AKMA DAYANIMI %0.2 (MPa)	% UZAMA	SERTLİK
304	Tavlanmış	586	241	55	Rockwell B 80
304L	Tavlanmış	552	207	55	Rockwell B 76
309	Tavlanmış	620	276	45	Rockwell B 85
310	Tavlanmış	655	276	45	Rockwell B 87
316	Tavlanmış	586	241	55	Rockwell B 80
316L	Tavlanmış	538	207	55	Rockwell B 76
317	Tavlanmış	620	276	50	Rockwell B 85
317L	Tavlanmış	586	241	50	Rockwell B 80

Yaklaşık %0.03 karbon içeren AISI 304L tipi östenitik paslanmaz çeliğin akma dayanımı 207 N/mm^2 iken, %0.08 karbon içerikli AISI 304 östenitik paslanmaz çelikler 241 N/mm^2 akma dayanımına sahiptir. Östenitik paslanmaz çelik bileşenine ait karbon miktarındaki değişikliğin akma mukavemetine etkisi AISI 304 ve AISI 304L alaşımlarının akma dayanımlarından net olarak gözlemlenebilmektedir [49,50].

4.3. Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Edilebilirlik

Genel bir bakış açısıyla kaynak edilebilirlik; kırılma, genel korozyon dayanımı ve düşük sıcaklıklarda gösterilen çeşitli korozyon özellikleri ile süneklik, dayanım, ve çentik darbe dayanımı gibi mekanik özelliklerinin tamamını kapsamaktadır [51]. Bir malzemenin, kaynak koşulları geniş bir aralıkta değişirken ilave önleme gerek kalmaksızın yeterli seviyede bir kaynak kalitesine ulaşabilmesi, o malzemenin yüksek kaynak kabiliyetine sahip olması anlamına gelmektedir. Kaynak sırasında ek tedbirler ihtiyaç duyuluyor ve kaynak koşullarının belli bir kontrol altında tutulması talep ediliyorsa o malzemenin kaynak kabileyetinin düşük seviyede olduğu ifade edilebilmektedir [52].

Isı iletim katsayısı ve ısıl genleşme katsayıları paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetleri açısından dikkat edilmesi gereken malzeme özelliklerindendir. Paslanmaz çeliklerin ısı iletim katsayıları, düşük alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerin ısı iletim katsayılarının üçte biri kadarken, ısıl genleşme katsayıları ise yüzde elli daha yüksektir. Bahsi geçen bu özellikler nedeni ile paslanmaz çeliklerin kaynağında sade karbonlu veya düşük alaşımlı çeliklerin kaynağına göre kendini çekme olayı daha fazla meydana gelmektedir. Kaynak sonrası soğuma sırasında büyük oranda büzülme oluşmakta, bu nedenle kaynaklı bölgede çatlak riskine sebep olmaktadır. Bu sebeple, paslanmaz çeliklerin tedbirsiz yapılan kaynaklı bağlantılarında sıcak çatlakların oluşması ihtimali bulunmaktadır [53].

Düşük ısı ve elektrik iletkenliğine sahip östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında çarpılma ve çatlak olmaması için düşük ısı girdisi kullanılması önerilmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde daha hızlı uzaklaşan kaynak ısısı östenitik paslanmaz çeliklerde yavaşça uzaklaşmaktadır [54].

Kaynaklanabilirlik özellikleri iyi olan östenitik paslanmaz çelikler, kaynak bağlantılı paslanmaz çelik ekipmanlarının üretiminde en çok tercih edilen paslanmaz çeliktir. Diğer taraftan, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirilmelerinde çeşitli metalürjik etkiler korozyon özelliğinde önemli pay sahibi olmaktadırlar. Bu etkenlerin bazıları; sigma fazının oluşması, δ-ferrit oluşumu, gerilmeli korozyona ve taneler arası korozyona duyarlılıktır [55,56].

4.3.1. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı

TIG (Tungsten Inert Gas-Tungsten Asal Gaz) kaynağı; kaynak için gerekli ısı enerjisi iş parçası ve tungsten bir elektrod arasında oluşturulan ark tarafından sağlanan, kaynak bölgesinin ise elektrodu çevreleyen bir nozuldan gönderilen asal gaz tarafından korunarak uygulandığı kaynak yöntemidir. Yaygın olarak, hafif metallerin birleştirilmesinde TIG kaynak yöntemi tercih edilmektedir. Paslanmaz çelikler, titanyum alaşımları, yüksek çinkolu bronzlar, uranyum ve zirkonyum gibi kaynak kabiliyetleri zayıf metaller de bu yöntemle birleştirilebilmektedir. TIG kaynağı; havacılık, savunma, kimya, gıda sanayisinden tıbbi ekipmanlara çok ince konstrüksiyonlara otomotiv sektöründeki muhtelif işlere kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir [57,58].

TIG kaynağının; başta paslanmaz çelikler olmak üzere tungsten, nikel, titanyum, bakır, alüminyum, magnezyum ve ısıya dayanıklı çelikler gibi farklı cins metalleri ve alaşımları birbirleriyle birleştirme sağlanabilmektedir. TIG kaynağı uygulamaları ile kaynak kalitesi ve dayanımı açısından mükemmel sonuçlar elde edilebilmektedir. İkinci pasoya gerek kalmaksızın tek pasolu kaynak operasyonları yapılabilmektedir. Diğer kaynak yöntemlerine kıyasla daha az çarpılma olmasının sebebi ısının sürekli transferi ve minimum alanın ısıtılmasıdır. Karbür ayrışmasının minimum olması için genellikle tungsten elektrot tercih edilmektedir. Başka bir avantajı ise kaynak torçunun ağır olmaması ve kullanım kolaylığı sağlaması olarak görülmektedir. Koruyucu gaz olarak asal bir gaz olan argon gazı kullanıldığı için kaynak yolu üzerinde cüruf oluşması en az seviyede olmaktadır [59,60].

Diğer taraftan öteki ark kaynaklarına kıyasla, bu yöntemde düşük olan metal yığma hızı TIG kaynağının başlıca dezavantajı olarak görülmektedir. Ayrıca, malzeme kesitinin çok kalın olduğu uygulamalar için TIG kaynağı maliyetli bir yöntem haline dönüşmektedir. Kaynak uygulması sıraında argon gibi koruyucu gaz gerektiği gibi kaynak sonrasında da yüzeyde temizlik operasyonu yapılması gerekmektedir [61,62].

4.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Martenzitik paslanmaz çelikler, tavlanarak östenit oluşturulması ve meydana gelen östenitin soğutulması sırasında martenzite dönüştürülmesiyle sertleşebilmektedirler. Bu nedenle martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, soğuma sırasında kırılgan ve sert bir martenzitik yapı oluşacağından, kaynakta çatlama eğilimi gözlenebilmektedir [63].

En ideal birleşim için ana malzeme ile dolgu malzemesinin krom ve karbon oranları birbirleriyle yakın olarak seçilmelidir. Örneğin, 400 serisi martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında 410 tipi dolgu malzemesi kullanılabilir [64].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, çarpılma ve çatlamayı azaltmak için kaynak öncesi ön tavlama uygulaması tavsiye edilmektedir. Tokluk ve süneklik gibi önem arz eden mekanik özelliklerini arttırmak için ise kaynak sonrası ısıl işlem uygulanmalıdır. Bu işlemler için operasyon sıcaklığının genellikle 205-315 °C arasında olması gerekmektedir [65].

4.3.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Östenitik paslanamaz çelikleirn kaynak kabiliyetleri yeterli olmaısna rağmen sade karbonlu çeliklerin kaynağına kıyasla kendini çekme hadisesi daha fazla olduğundan, kaynak öncesinde elde edilmek ya da korunmak istenen korozyon direnci ve mekanik dayanımı özelliklerinin kaynak operasyonunun ardından da gözden geçirilmesi gerekmektedir.

Bu tip paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında karşılaşılabilecek bir diğer problem ise ITAB'da 510-890 °C arasında aşırı süre tavlı beklemesi sonucunda meydana gelen krom-karbür çökelmesi hadisesidir. Kaynaklı bağlantıların, taneler arası korozyon direncini düşüren krom-karbürler tane sınırlarında çökelmektedirler. Tüm bu gerekçeler nedeniyle kaynaklı bağlantı yapılmak istenen östenitik paslanmaz çeliklerin karbon oranları en fazla %0,06, en ideal olarak da %0,03 seviyelerinde olması gerekmektedir. Çökelmeleri önleyip korozyon direncini arttırmak için bu tip çeliklerin C oranlarını düşürme işlemleri de yapılabilmektedir. Krom karbür çökelmesini azaltmanın başka bir yolu ise östenitik paslanmaz çeliğe stabilizasyon elementlerinin (Nb, Ta, Ti vb.) ilave edilmesidir. Kaynaklı bağlantının, 1150 °C civarına kadar ısıtılıp ardından suda soğutulması ısıl işlemi ile de krom karbür oluşması engellenebilmektedir. Bu yöntemle, oluşan çökeltilerin östenit içerisinde çözünmesi sağlanıp hızlı soğutarak karbür oluşumu engellenmiş olur [66].

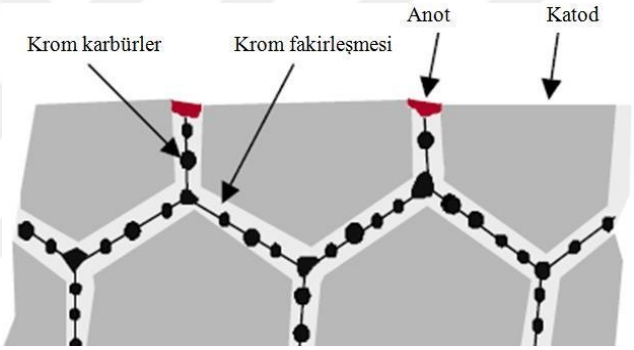
Krom nikelli östenitik paslanmaz çeliklerin örtülü elektrotlu ark kaynağı uygulamasında olabilecek en küçük çaplı elektrot ve en az akım şiddeti seçilmelidir. Birden fazla pasolu kaynak uygulamasında da her pasodan sonra diğer paso uygulanmadan kaynaklı bağlantı oda sıcaklığı seviyesine hızlı bir şekilde soğutulmalıdır [67].

4.4. Paslanmaz Çeliklerin Korozyon Özellikleri

Metal malzemenin bulunduğu ortam ile ya da başka bir metalle elektro kimyasal ya da kimyasal olarak etkileşim gösterip oksitlenmesine korozyon denilmektedir. Metalin çevresindeki ortam ile arasında meydana gelen elektron alışverişi neticesinde metal yüzeyinde oluşan oksit tabakasına kimyasal korozyon denirken, potansiyel fark olan aynı yüzeyin iki tarafı ya da iki farklı yüzeyin arasında oluşan korozyona elektrokimyasal korozyon denir. Genel olarak, elektrokimyasal korozyon paslanmaz çeliklerde görülmektedir ve korozyon çeşitleri beş başlık altında incelenmektedir [68].

4.4.1. Taneleraası Korozyon

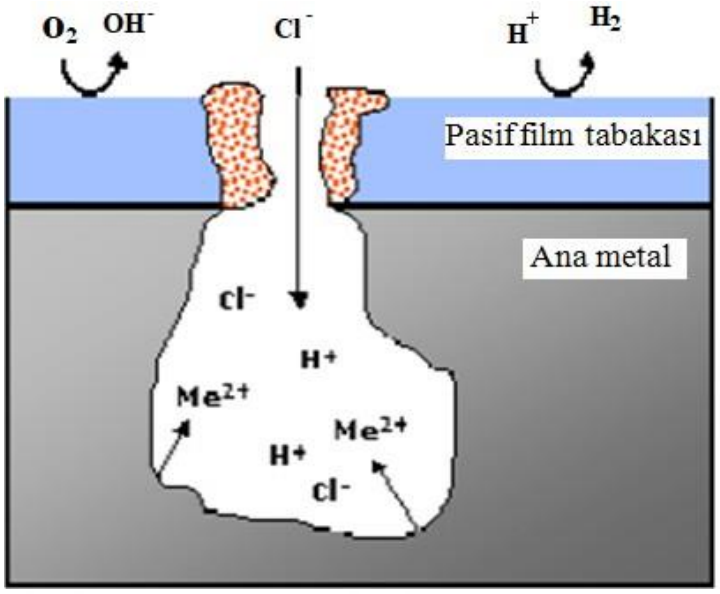
Taneleraası korozyonu karbon oranı %0,06'dan yüksek, krom oranı %10,5'ten düşük olan paslanmaz çeliklerin tane sınırlarında krom karbür çökeltisi oluşması ile meydana gelmektedir. Şekil 4.4.'de gösterilen taneleraası korozyonunu önleyebilmek için krom karbür oluşumu engellenmeli ya da en az seviyeye indirilmelidir. Çökelmeleri önleyip korozyon direncini arttırmak için bu tip çeliklerin karbon oranlarını düşürme işlemleri de yapılabilmektedir. Kaynaklı bağlantının, yüksek sıcaklığa ısıtılıp ardından suda hızlı soğutulması ısıl işlemi ile de krom karbür çözündüğünden oluşması da engellenebilmektedir. Çeliğe eklenecek kromdan daha fazla karbür yapacak olan stabilizasyon elementleride krom karbür çökelmesini önleyebilmektedir. Niyobyum gibi bir stabilizasyon elementi krom ile tepkimeye girerek, krom karbür çökelmesinden önce kendi karbürlerini oluşturduklarından krom karbür oluşumu minimum seviyeye indirilmekte, taneleraası korozyon direnci yükselmektedir [69].



Şekil 4. 4. Taneler-arası korozyonun şematik gösterimi [70]

4.4.2. Oyuklanma (Çukurcuk) Korozyonu

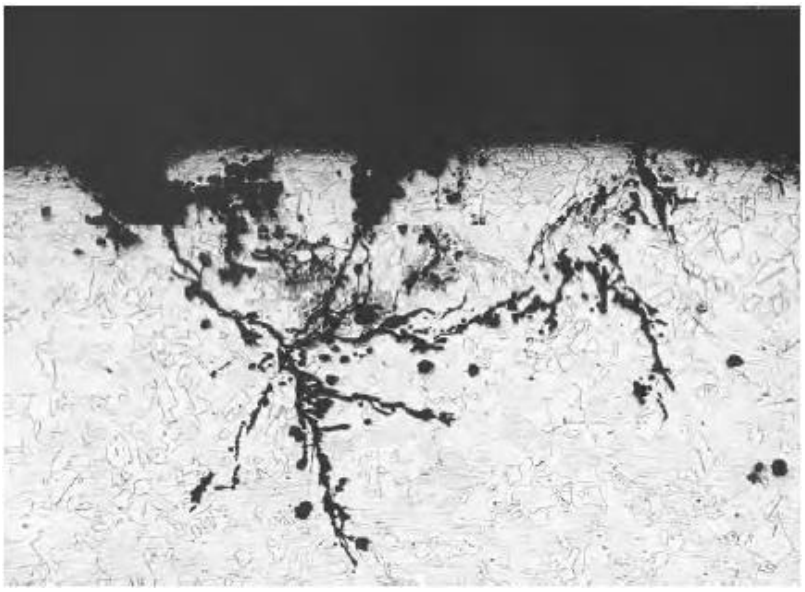
Metal malzemenin çevresinde kısmi lokal olarak oyuklar ya da deliklerin oluşmasına oyuklanma (çukurcuk) korozyonu denilmektedir. Şekil 4.5.'de gösterilen koşullarda olduğu gibi, ortamda halojenlerin (klorür iyonları vb.) bulunması, paslanmaz çelik yüzeyini belirli alanlarda pasif filme hassas hale dönüştürür ve ilgili korozyonunun meydana gelmesini sağlar. Paslanmaz çeliklerin oyuklanma korozyonuna dayanımını arttırmak için azot, krom ve molibden elementlerinin ilavesi yapılabilmektedir [71,72].



Şekil 4. 5. Oyuklanma korozyonunun şematik gösterimi [70]

4.4.3. Gerilmeli Korozyon Çatlağı

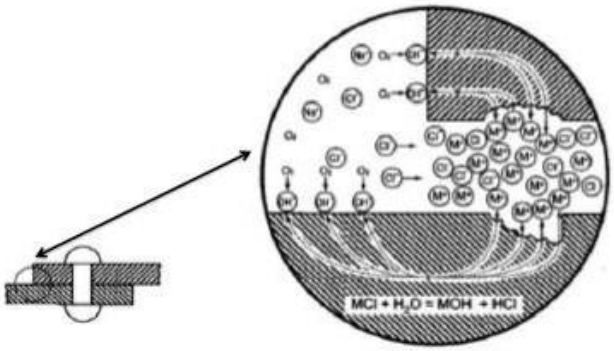
Bir metal malzemede korozyon ve çekme gerilmesi aynı anda gerçekleşiyorsa buna gerilmeli korozyon çatlağı denilmektedir. Herhangi bir sebepten (dış etkenler, kaynak vs.) iç ve dış gerilmelerle karşılaşan paslanmaz çeliklerde korozyon olması nedeniyle, Şekil 4.6.'da görüldüğü gibi gerilmeli korozyon çatlağı meydana gelmektedir. Halojenlerin (klorür iyonları vb.) olduğu ortamlarda ya da 60°C üstündeki sıcaklıklarda gerilmeli korozyon çatlakları daha fazla görülmektedir, 60°C 'nin altındaki sıcaklıklarda ise fazla oluşmamaktadır [71,73].



Şekil 4. 6. Gerilmeli korozyon çatlağı [70]

4.4.4. Aralık Korozyonu

Farklı ya da aynı çeşitteki iki metal malzemenin fiziksel olarak birleşmesi sonrasında, bağlantı aralıklarında oluşan korozyona aralık korozyonu denir. Yüzeyde oluşan pasif film, ilgili bölgenin atmosfer ile bağının kopmasıyla oluşan oksijen yetersizliği nedeniyle onarılamaz ve aralık korozyonu oluşur [71].



Şekil 4. 7. Aralık korozyonu şematik gösterimi [74]

Şekil 4.7.'de de görüldüğü gibi oyuk korozyonuna benzer şekilde aralık korozyonu da yüzeyler arasında olan elektrolit çözelti reaksiyonu ile meydana gelmektedir. Oyuk korozyonundan farkı korozyon hızının daha yavaş olmasıdır. Korozyon ürünleri ilgili bölgeden arındırılmadığı sürece aralık korozyonu sürekli bir biçimde oluşmaktadır. Hatta, bağlantı aralığında çözünen metal ortamdaki pozitif katyon miktarını arttıracağı için ilgili bölge dışındaki negatif iyonları da arttırmaktadır. Bu durum aralık korozyonu hızını ve miktarını da yükseltmektedir. Bağlantısı yapılmış olan iki malzeme de metal olmasa bile aralık korozyonu meydana gelebilmektedir. Bu nedenle, özellikle bağlantı elemanlarında aralık korozyonu görülmektedir [74].

4.4.5. Galvanik Korozyon

Birbirleri arasında potansiyel fark olan iki farklı metalin teması ya da iletken bir ortamda bulunması neticesinde gerçekleşen reaksiyon ile galvanik korozyon meydana gelmektedir. Galvanik korozyonu önleyebilmek için potansiyel farkı engelleyecek ipek bant ya da macun gibi yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır [71].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ağır silah mühimmatlarına sıvı TNT dolum hattında yer alan klasik sistemde kullanılan dolum arabası üzerine hem dökümü kolaylaştıracak hem de mühimmat gövdelerini TNT sıçramalarından koruyacak şekilde yolluk sistemi tasarımı için CNC Giyotin Makas ile ısıl işleme maruz kalmadan kesilmiş,ardından Universal Torna Tezgahı'nda dört ayaklı aynaya bağlanarak,önce matkapla delik delinip sonra da borlama takımı ile iç çap ölçüsüne getirilmiş 304L östenitik paslanmaz saca, yine aynı evsaflı ve Universal Torna Tezgahı'nda üretilmiş paslanmaz yolluklar kaynatılarak sıvı TNT dolum arabasına adapte edilmesiyle konvansiyonel dolum sistemi yolluklu hale dönüştürülmüş olacaktır.

Bu çalışmada; TIG kaynak yöntemi kullanılarak ER2209 ve ER316L TIG telleri ile kaynaklı bağlantının yapısında oluşabilecek farklı tipte metaller arası bileşik ve fazlar ile birlikte değişik miktarlarda oluşabilecek östenit, martenzit ya da ferrit gibi fazların tespit edilmesi ve bunların ilgili bağlantının korozyon dayanımlarına ve mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. 304L paslanmaz çelik sac ile aynı evsaflı çelik yollukların dolgu TIG telleriyle birleştirilmesinden ortaya çıkan kaynak metalinin içeriğinde oluşan metaller arası fazların oranının, kaynağın korozyon ve mekanik özelliklerine etkilerinin araştırılması temel olarak hedeflenmiştir.

Kaynak sonrası oluşan fazların kaynaklı bağlantının darbe dayanımına etkisi V-çentikli Charpy darbe testi ile tespit edilmiştir. Bakalitte mikro yapı incelenmesi yapılmış olup birleştirmelerin ana malzeme kaynak metalleri ve ITAB bölgelerindeki sertlik taramaları da gerçekleştirilerek, optik metalürjik mikroskop ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntülemeleriyle kaynak bölgesi, ITAB ve ana malzeme incelemeleri yapılmıştır.

Bununla birlikte kaynak metalinin içeriğinde oluşan metaller arası fazların korozyon özelliklerine etkileri korozyon testi ile tespit edilmiştir.

Son olarak kaynaklı numunelerin mekanik özelliklerinin tespit edilip kıyaslanabilmesi için çekme testleri icra edilmiştir.

5.1. Ana Malzemeler, İlave Metaller ve Koruyucu Gaz

5.1.1. Ana Malzemeler

Deneylerde birleşecek olan AISI/SAE 304L (1.4307) paslanmaz yolluk ve sac malzemelerinin kimyasal içerik analizi AMETEK Spectromax Argon Optical Spectrometer ile yapılmıştır. İlgili sonuçlar Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2. de verilmiştir.

Çizelge 5. 1. AISI/SAE 304L Paslanmaz sacın kimyasal bileşimi

	ÖLÇÜM NO	
Element (%)	**1**	**2**
C (%)	0,018	0,017
Si (%)	0,376	0,370
Mn (%)	1,830	1,820
P (%)	0,020	0,021
S (%)	<0,0005	<0,0005
Cr (%)	18,580	18,690
Mo (%)	0,210	0,209
Ni (%)	7,930	7,900
Al (%)	<0,0010	<0,0010
Cu (%)	0,336	0,335
Nb (%)	0,012	0,014
Ti (%)	0,005	0,005
V (%)	0,088	0,088
N (%)	0,073	0,076
Fe (%)	70,400	70,300
Diğerleri (%)	0,120	0,154

Çizelge 5. 2. AISI/SAE 304L Paslanmaz yolluğun kimyasal bileşimi

	ÖLÇÜM NO	
Element (%)	**1**	**2**
C (%)	0,014	0,013
Si (%)	0,356	0,357
Mn (%)	1,210	1,240
P (%)	0,020	0,022
S (%)	0,018	0,026
Cr (%)	18,310	18,460
Mo (%)	0,232	0,237
Ni (%)	7,870	7,990
Al (%)	<0,0010	<0,0010
Cu (%)	0,540	0,553
Nb (%)	0,009	0,009
Ti (%)	0,005	0,005
V (%)	0,063	0,064
N (%)	0,062	0,062
Fe (%)	71,100	70,800
Diğerleri (%)	0,190	0,161

Çizelge 5.1.'de görüldüğü üzere 304L östenitik paslanmaz çelik sac malzemesinin kimyasal içeriğinde yaklaşık %18.60 Cr ve %8 Ni bulunmaktadır.

Çizelge 5.2.'de de verildiği gibi 304L östenitik paslanmaz çelik yolluk malzemesinin kimyasal içeriğinde yaklaşık %18.40 Cr ve %8 Ni bulunmaktadır.

5.1.2. İlave Metaller

Kaynak operasyonunda kullanılan iki farklı ilave TIG telinin kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmektedir.

a) 2 mm çapında AWS A5.9 ER316L (1.4430) , EN ISO 14343-A W 19 12 3L kodlu TIG kaynak ilave teli kullanılmıştır. Kaynak ilave telinin üretici firma kimyasal bileşimi Çizelge 5.3.'de verilmektedir.

Çizelge 5. 3. AWS A5.9 ER316L TIG kaynak teli üretici kimyasal içeriği

Element (% ağırlıkça)					
C	Mn	Ni	Si	Cr	Mo
0.025<	1,7	12	0.3	19	2,8

AWS A5.9 ER316L, EN ISO 14343-A W 19 12 3L TIG Kaynak Telinin üretici firma minimum mekanik dayanım değerleri Çizelge 5.4.'de verilmektedir.

Çizelge 5. 4. AWS A5.9 ER316L TIG kaynak teli üretici mekanik özellikleri

Akma Dayanımı	Gerilme Dayanımı	Uzama	Darbe Enerjisi 20 °C (joule)
470MPa	600MPa	%32	175

b) 2 mm çapında AWS A5.9 ER2209 EN ISO 14343-A W 22 9 3 N L kodlu TIG kaynak ilave teli kullanılmıştır. Kaynak ilave telinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.5.'de verilmektedir.

Çizelge 5. 5. AWS A5.9 ER2209 TIG kaynak teli üretici kimyasal içeriği

Element (% ağırlıkça)						
C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	N
0.01<	1,5	0,5	8,5	22,75	3,2	0,17

AWS A5.9 ER2209 EN ISO 14343-A W 22 9 3 N L TIG Kaynak Telinin mekanik dayanım değerleri Çizelge 5.6.'da verilmektedir.

Çizelge 5. 6. AWS A5.9 ER2209 TIG kaynak teli üretici mekanik özellikleri

Akma Dayanımı	Gerilme Dayanımı	Uzama	Darbe Enerjisi 20 °C (joule)
600 Mpa	765 Mpa	%28	100

5.1.3. Koruyucu Gaz

Kaynak işleminde %99.998 saflıkta argon gazı birinci pasoda ve arka pasoda koruma gazı olarak kullanılmıştır.

5.2. Numunelerin Hazırlanması

5.2.1. Kesme işlemi

Şekil 5.1.'de yer alan 150x200x3 mm ebatlarında 4 adet AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz sac, Şekil 5.2.'de ki Cnc Giyotin Makas ile ısıl işleme maruz bırakılmadan kesilmiştir. Şekil 5.3.'de bulunan Universal Torna Tezgahı kullanılarak 111 mm çapında delik açılmış ve ardından 2x45°'lik kaynak ağzı açılmıştır. Numunelerin kesimi esnasında termal ısınma etkisi altında bırakılmadan soğutucu sıvı bor yağı (%7 B, % 93 H_2O) kullanılmıştır.



Şekil 5. 1. Kaynak öncesi AISI/SAE 304L paslanmaz sac numunesi



Şekil 5. 2. CNC giyotin makas



Şekil 5. 3. Universal torna tezgahı

Şekil 5.4.'de yer alan 110x95x3 mm ölçülerindeki 4 adet AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz yolluk numunesi, Şekil 3.8.'de ki yolluklar kullanılarak Şekil 5.3. de bulunan Universal Torna Tezgahı ile imal edilmiştir. Numunelerin kesimi esnasında termal ısınma etkisi altında bırakılmadan soğutucu sıvı bor yağı (%7 B, % 93 H_2O) kullanılmıştır.



Şekil 5. 4. Kaynak öncesi AISI/SAE 304L paslanmaz yolluk numunesi

5.2.2. Kaynak İşlemi

Şekil 5.1. ve Şekil 5.4.'de bulunan malzemeler Şekil 5.5.'de ki jig ve mengeneler kullanılarak sabitlenmeştir. Kaynak işlemi, dört takım numuneden ikisi için ER316L TIG teli, diğer ikisi için ise ER2209 TIG teli kullanılarak yapılmıştır. Kaynak işlemi ise Lincoln TIG Kaynak Makinası ile kaynak ağzı bulunan yüzeye kök paso, arka tarafa da son paso olmak üzere iki aşamalı olarak yapılmıştır.



Şekil 5. 5. Kaynak öncesi sabitlenmiş numuneler

Parametreleri Çizelge 5.7.'de verilen kaynak işleminde ısı girdisi;

$$H_{net} = (\eta . E . I)/V \qquad (5.1.)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır [39]. Burada;'η' ifadesi kaynak verimini, E; kaynak gerilimini (volt), I: kaynak akımını (Amper), V ise kaynak işlemi ilerleme hızını (mm/saniye) belirtmektedir. Kaynak işlemi kök ve son (ikinci) paso olmak üzere iki pasoda gerçekleştirildiğinden her iki paso için net ısı girdisi (5.1.) bağıntısı kullanılarak; 'η' katsayısı TIG kaynağı DC (-) için 0,7 (%70) alınmıştır [39].

Hnet-kök paso= (0.7x11Vx110A)/(1,81 mm/sn)= 467,96 joule/mm (ER316L-I)

Hnet-son paso= (0.7x10Vx105A)/(2,03 mm/sn)= 362,07 joule/mm (ER316L-I)

Hnet-kök paso= (0.7x11Vx110A)/(1,80 mm/sn)= 470,56 joule/mm (ER316L-II)

Hnet-son paso= (0.7x10Vx105A)/(2,01 mm/sn)= 365,67 joule/mm (ER316L-II)

Hnet-kök paso= (0.7x11Vx110A)/(1,92 mm/sn)= 441,15 joule/mm (ER2209-I)

Hnet-son paso= (0.7x10Vx105A)/(2,12 mm/sn)= 346,70 joule/mm (ER2209-I)

Hnet-kök paso= (0.7x11Vx110A)/(1,82 mm/sn)= 465,38 joule/mm (ER2209-II)

Hnet-son paso= (0.7x10Vx105A)/(2,11 mm/sn)= 348,34 joule/mm (ER2209-II)

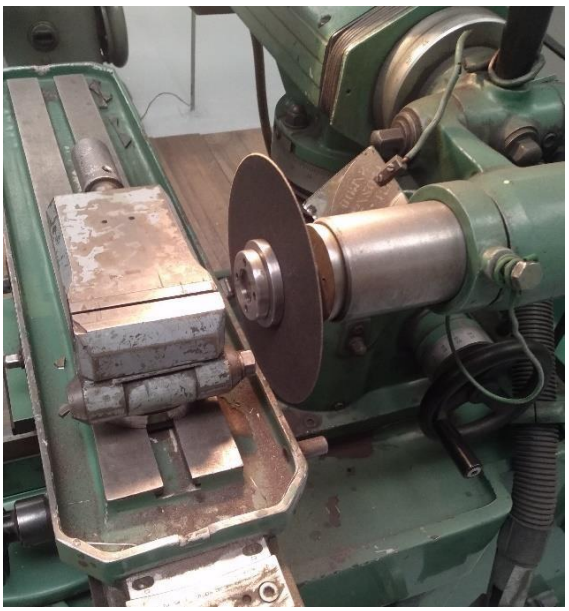
olarak bulunur.

Çizelge 5. 7. Kaynak işlemi parametreleri

İlave Tel	Akım DC(-) (Amper)		Kaynak Gerilimi (Volt)		Koruyucu Gaz Debisi (lt/dk)		Kaynak İlerleme Hızı (mm/sn)		Kaynak Isı Girdisi (Joule/mm)		Tungsten Elektrod
	Kök Paso	2. Paso	Kök Paso	2. Paso	Kök Paso	2. Paso	Kök Paso	2. Paso	Kök Paso	2. Paso	
ER316L I	110	105	11	10	12	10	1,81	2,03	467,96	362,07	WT 20 (%2 Th içeren) Ø2,4 mm kırmızı
ER316L II	110	105	11	10	12	10	1,80	2,01	470,56	365,67	
ER2209 I	110	105	11	10	12	10	1,92	2,12	441,15	346,70	
ER2209 II	110	105	11	10	12	10	1,82	2,11	465,38	348,34	

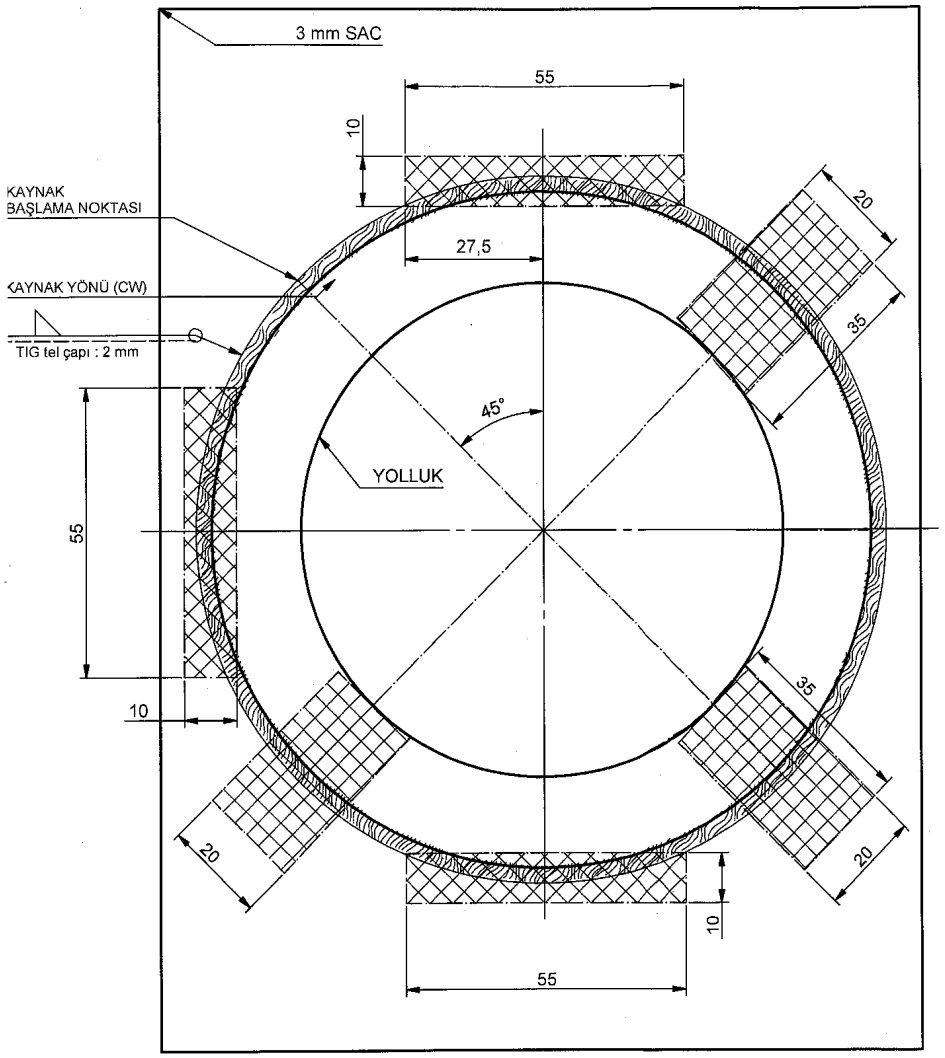
5.2.3. Kaynaklı Bağlantılardan Test Numunelerinin Çıkarılması

Test numuneleri Amerikan Makine Mühendisleri Topluluğu'nun kaynak yönetmeliği olan ASME BPVC.IX standardına göre Şekil 5.6.'da bulunan Dairesel kesme tezgahında %7 oranında bor yağı içeren saf su çözeltisi kullanılarak ısıl işleme maruz bırakılmadan, Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.'deki ölçülere uygun olarak çıkarılmıştır.



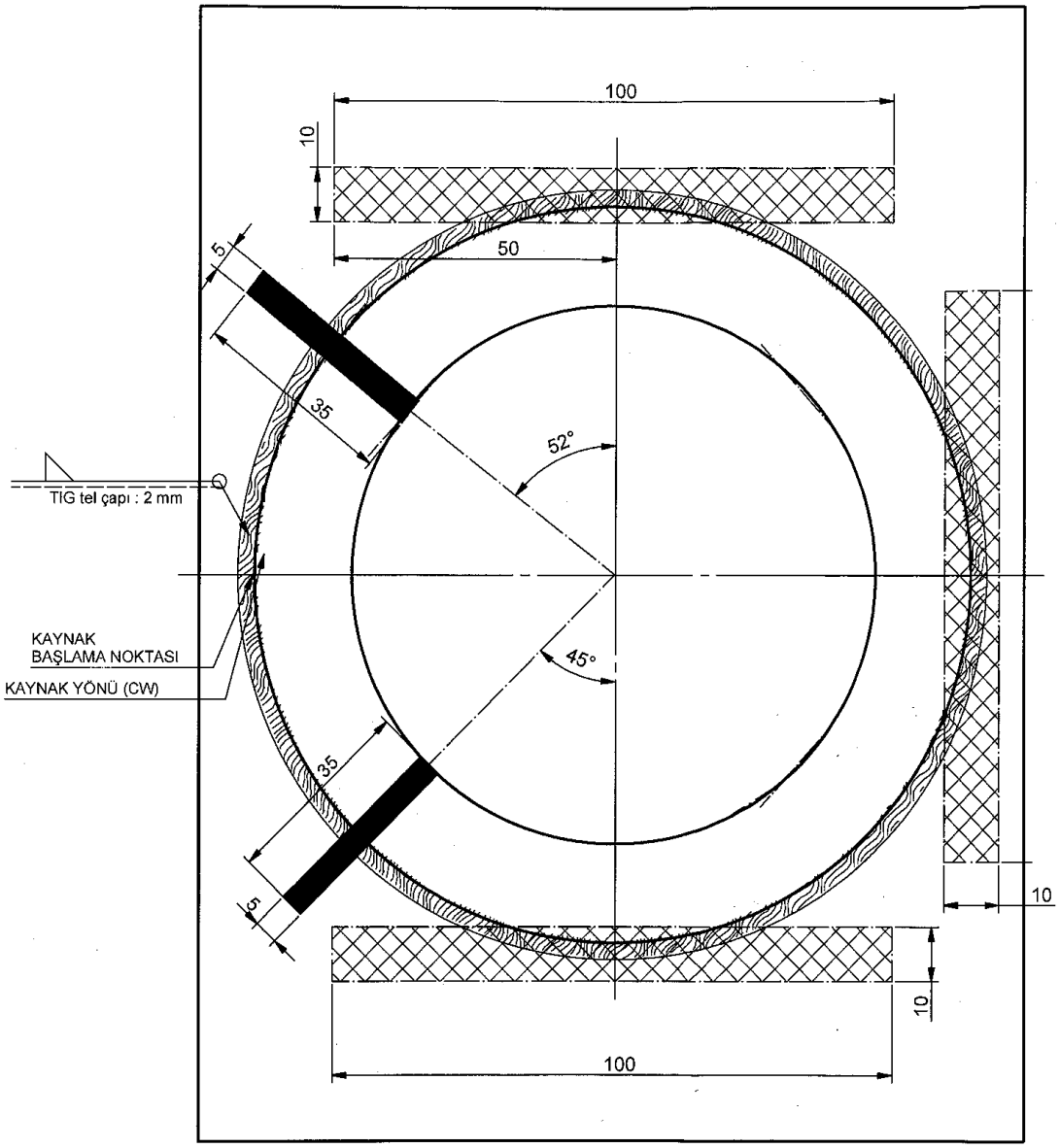
Şekil 5. 6. Dairesel kesme tezgahı

ASME standardının gerektirdiği 2.5 mm'lik kalınlığa ulaşmak ve yüzey pürüzlülüğünü azaltmak amacıyla satıh taşlama tezgahından yararlanılmıştır.



Şekil 5. 7. Çentik darbe ve korozyon test numunelerine ait yerleşim şeması

Bununla beraber, çentik darbe ve korozyon test numunelerini çıkartabilmek için Şekil 5.7.; çekme testi, mikro yapı ve sertlik tarama numunelerini elde edebilmek için Şekil 5.8. kullanılmıştır.



Şekil 5. 8. Çekme testi, mikro yapı ve sertlik tarama numunelerine ait yerleşim şeması

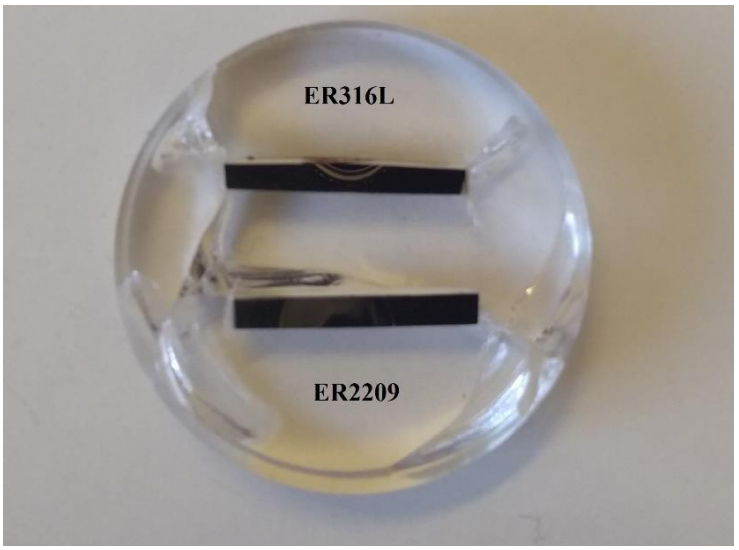
5.3. Mikro Yapısal İncelemeler

İki farklı ilave TIG kaynak teli ile kaynak işlemleri yapılmış numunelerin mikro yapısal değişimlerini araştırmak amacıyla her bir durum için mikro yapı inceleme numunesi oluşturulmuştur. Zımparalama ve parlatma proseslerini kolaylaştırmak için Şekil 5.9.'daki bakalite alma cihazı kullanılarak numuneler bakalit kalıba alınmıştır.



Şekil 5. 9. Metalografik sıcak bakalite alma cihazı

Şekil 5.10.'da bulunan bakalitteki mikro-yapı inceleme numuneleri, Şekil 5.11.'de yer alan parlatma cihazı kullanılarak, sırasıyla; 240, 320, 400, 600 ve 1200 elek numaralı zımparalarla zımparalanmış, ardından 6 µm ve 3 µm tane boyutundaki elmas parlatıcı solüsyon ile parlatılmışlardır.



Şekil 5. 10. Bakalit kalıba alınmış mikro yapı inceleme numuneleri



Şekil 5. 11. Bakalit kalıba alınmış numuneleri parlatma cihazı

Zımparalama ve parlatma işlemi sonrasında mikro yapısal inceleme için, numuneler literatürde belirtilen [75] saf su içerisindeki %20 derişimli sodyum hidroksit (NaOH) dağlama çözeltisinde 2,5 volt ve 0,3 amper akımda 15 saniye bekletilerek elektrolitik dağlama yöntemi ile dağlanmış ve mikro-yapıları metalürji mikroskobunda incelemeye hazır hale getirilmiştir. Şekil 5.12.'de elektrolitik dağlama operasyonunda kullanılan cihaz görülmektedir.

Şekil 5.13.'de bulunan 1000X büyütme kapasiteli LEICA DM 4000M optik metalürji mikroskobu ile incelenmiş olan elektrolitik dağlanmış numuneler üzerinden; kaynak metali, ana malzeme ve ITAB'dan mikro-yapı görselleri alınmıştır. Kameram yazılımı ile faz analizleri yapılmıştır.



Şekil 5. 12. Elektrolitik dağlama cihazı



Şekil 5. 13. Optik metalürji mikroskobu

5.4. Sertlik Testi

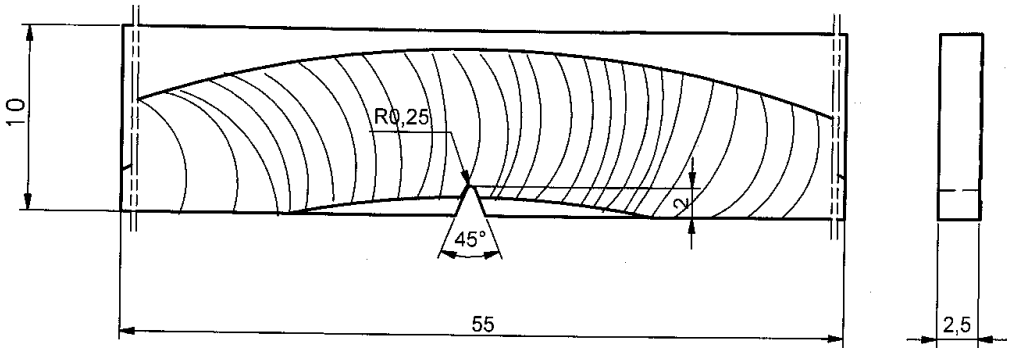
Kaynaklı numunelerin sertlik taramaları, Şekil 5.14.'de bulunan Emco Test DuraScan Mikro-Vickers sertlik ölçüm cihazı ile 300g hücre yükü kullanılarak $HV_{0.3}$ biriminden yapılmıştır. Kaynak metali merkezi, ana malzeme ve ısının tesiri altındaki bölgeler üzerinden üçer farklı yerden ölçüm taraması yapılmıştır.



Şekil 5. 14. Mikro-vickers sertlik ölçüm cihazı

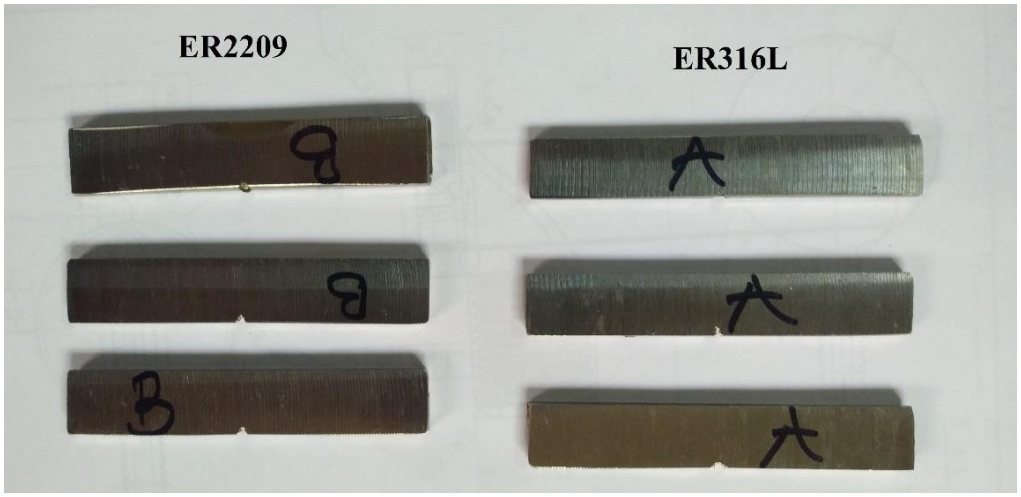
5.5. Çentikli Darbe Testi

Çentik darbe numuneleri TS 269'a göre kaynak metali merkez hattı boyunca iki farklı ilave TIG teli başına üçer adet olmak üzere Şekil 5.15.'de verilen ölçülere uygun bir biçimde hazırlanmıştır.



Şekil 5. 15. Çentikli darbe testi numunesi

Darbe testi öncesi numunelerin görüntüsü Şekil 5.16.'da verilmektedir.



Şekil 5. 16. Darbe testi öncesi numuneler

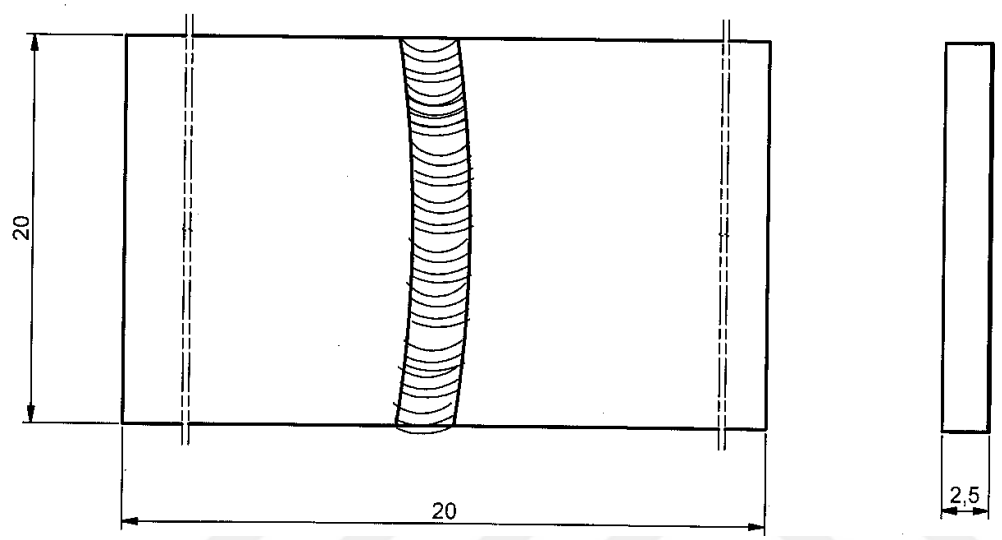
Darbe testi Şekil 5.17.'de yer alan Avery Impact Tester England marka cihaz ile oda sıcaklığında (22°C' de) ASTM A 370 standardına uygun bir şekilde uygulanmıştır.



Şekil 5. 17. Darbe test cihazı

5.6. Korozyon Testi

Birleştirme sonrası kaynaklı bağlantılardan, Şekil 5.18.'e uygun olarak, iki farklı ilave TIG teli başına üçer adet olmak üzere, korozyon testi numuneleri çıkarılmıştır. Numunelere ASTM B117 standardına göre tuzlu su sisi testi uygulanmıştır. İki farklı ilave TIG teli için üçer adet olmak üzere hazırlanan korozyon test numunelerinin test öncesi ve sonrası görünüşleri sırasıyla Şekil 5.19. ve Şekil 5.20.'de görülmektedir.

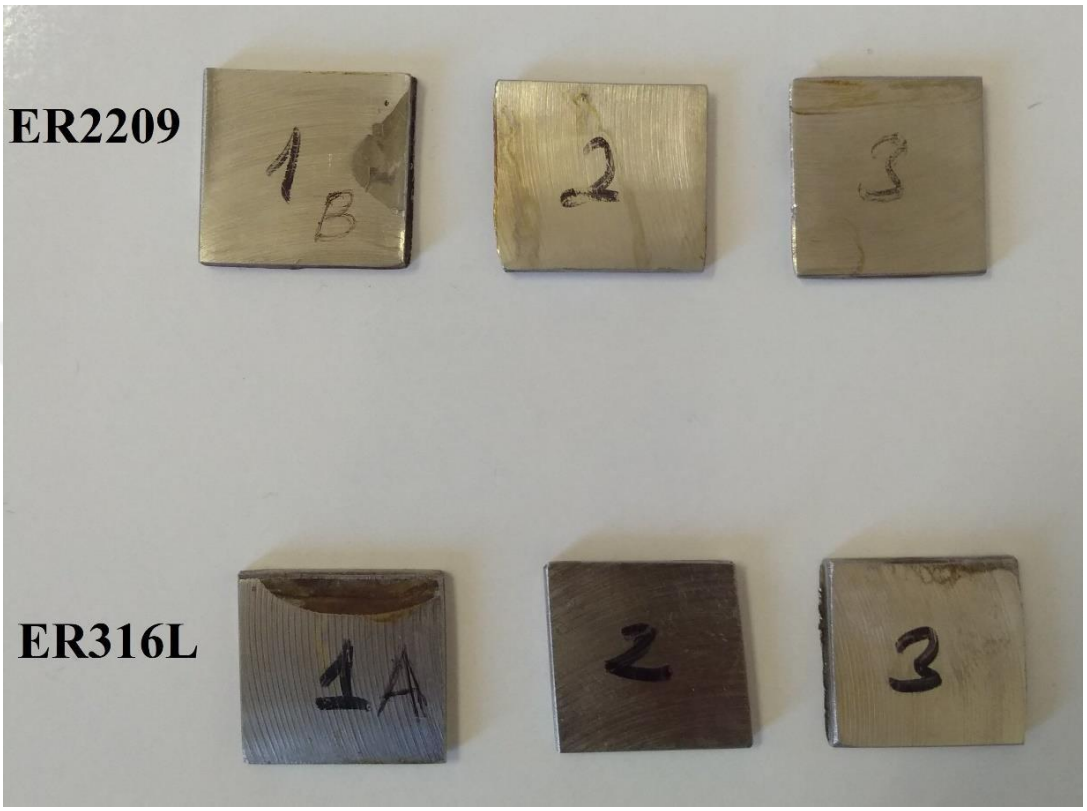


Şekil 5. 18. Korozyon testi numune ölçüleri



Şekil 5. 19. Numunelerin korozyon testi öncesi görüntüsü

Korozyon testi numuneleri, tuzlu su sisi test kabini içerisine yaklaşık 30° açı yapacak şekilde bırakılmıştır. Korozyon testi için ağırlıkça %5'lik saf sodyum klorür içeren tuzlu su çözeltisi kullanılmıştır. Çözücü olarak ise saf su kullanılmıştır. Püskürtme işlemi, 0,9-1 bar basınçlandırılmış suyla doymuş hava ile yapılmıştır. Yoğuşan çözeltinin ph değeri yaklaşık 6,7 ve sıcaklığı 35±2°C'dir.



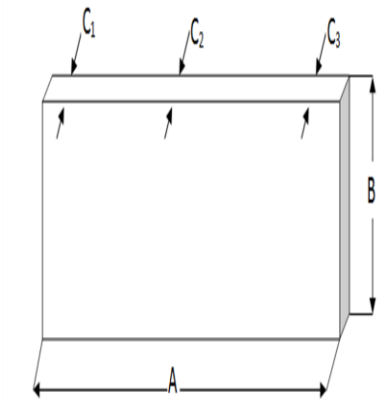
Şekil 5. 20. Numunelerin korozyon testi sonrası görüntüsü

ASTM G1 standardına göre ise korozyon testi numunelerinin uğradıkları ağırlık kayıpları korozyon ilerleme hızlarının tespit edilmesinde kullanılacağı için Çizelge 5.8.'de verilen her bir numunenin geometrik ölçüleri ölçülerek kayıt edilmiştir. Boyutları belirlenen numunelerin toplam yüzey alanları;

$$2x[(AxB)+(AxC)+(BxC)] \quad (5.2)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır.

Çizelge 5. 8. Korozyon testi numunelerine ait yüzey alanları



ER316L TIG Teli ile birleşmiş numuneler (ölçüler mm)							
KOD	**A**	**B**	**C_1**	**C_2**	**C_3**	**$C_{Ort.}$**	**YÜZEY ALANI (mm^2)**
A1	20,95	19,85	2,49	2,48	2,50	2,49	1034,899
A2	20,40	19,95	2,45	2,47	2,46	2,46	1012,482
A3	20,60	20,10	2,51	2,52	2,53	2,52	1033,248
ER2209 TIG Teli ile birleşmişmiş numuneler (ölçüler mm)							
KOD	**A**	**B**	**C_1**	**C_2**	**C_3**	**$C_{Ort.}$**	**YÜZEY ALANI (mm^2)**
B1	20,80	20,30	2,33	2,32	2,31	2,32	1035,184
B2	21,10	20,00	2,41	2,42	2,40	2,41	1042,102
B3	21,30	20,40	2,58	2,56	2,57	2,57	1083,378

Korozyon hızının tespit edilmesi için her numune ASTM G1'de belirtilen test öncesi 0.0001 g hassasiyetindeki Şekil 5.21.'de gösterilen elektronik terazide tartılmıştır.

Tartım güvenilirliğini tesis edilmesi için her numune aynı tartım koşullarında üçer defa tartılmıştır. Bu sonuçların ortalaması ile gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Ağırlık ölçüm sonuçları Çizelge 5.9.'da görülmektedir.



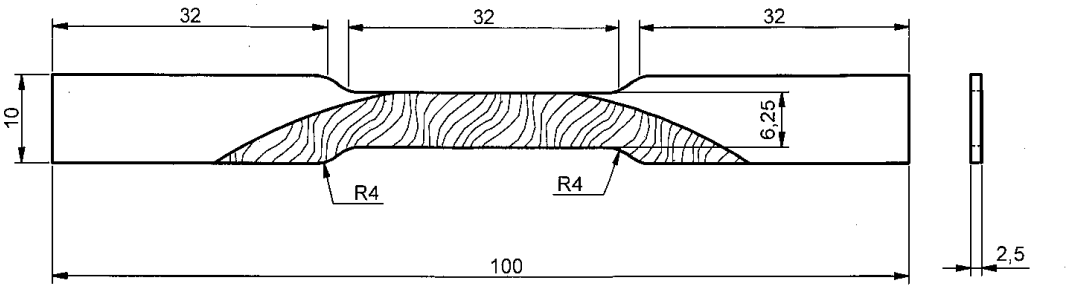
Şekil 5. 21. Elektronik terazi (0.0001 g hassasiyetli)

Çizelge 5. 9. Korozyon testi öncesi numune ağırlıkları

ER316L TIG Teli Kaynaklı Numuneler				
Kod	**1. Tartım**	**2. Tartım**	**3. Tartım**	**Ortalama**
A1	8,4759	8,4758	8,4760	8,4759
A2	7,8316	7,8317	7,8318	7,8317
A3	8,4742	8,4740	8,4741	8,4741
ER2209 TIG Teli Kaynaklı Numuneler				
Kod	**1. Tartım**	**2. Tartım**	**3. Tartım**	**Ortalama**
B1	8,3408	8,3406	8,3407	8,3407
B2	8,3902	8,3901	8,3903	8,3902
B3	8,8716	8,8715	8,8714	8,8715

5.7. Çekme Testi

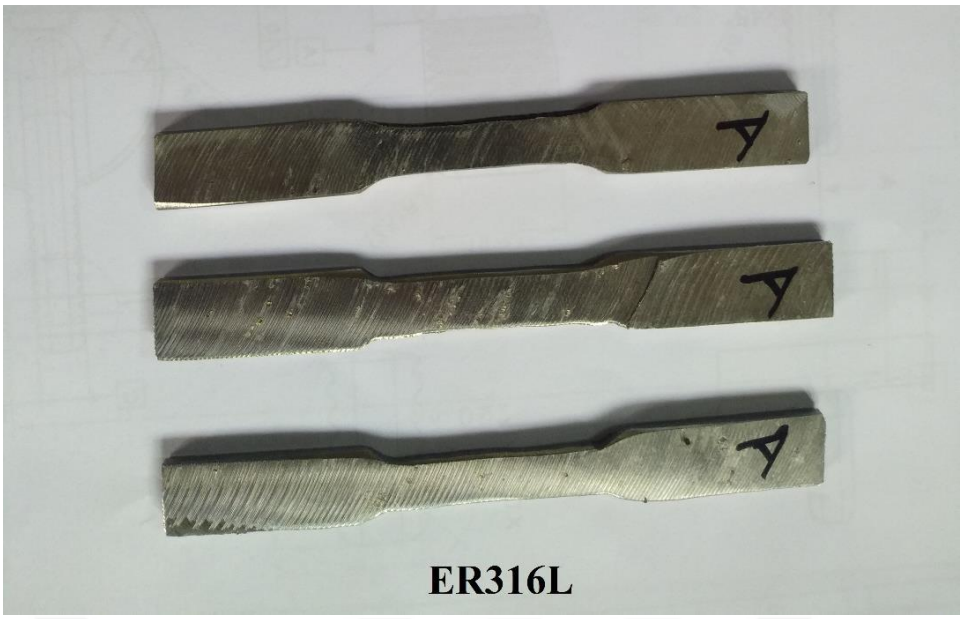
Çekme testi için; ASTM E8 standardına göre, Şekil 5.22.'deki ölçülere uygun olarak çıkarılan numunelere, Şekil 5.23.'de bulunan INSTRON çekme cihazı kullanılarak çekme testi uygulanmıştır. İki farklı ilave TIG teli için üçer adet olmak üzere hazırlanan çekme test numunelerinin test öncesi ve sonrası görünüşleri; ER316L için sırasıyla Şekil 5.24. ve Şekil 5.25.'de, ER2209 için ise Şekil 5.26. ve Şekil 5.27.'da görülmektedir.



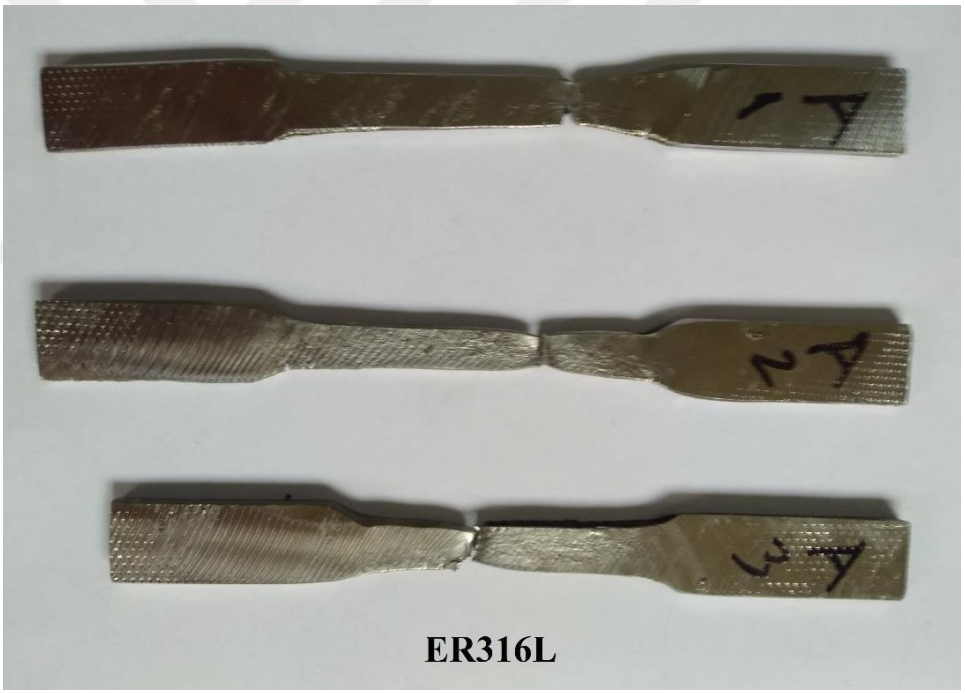
Şekil 5. 22. Çekme testi numune ölçüleri



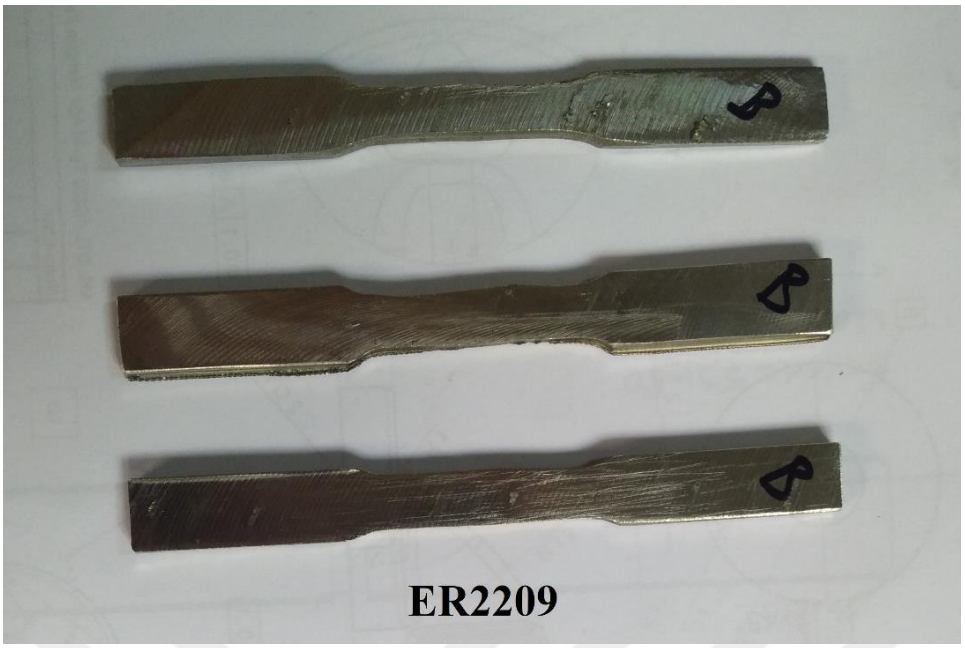
Şekil 5. 23. Çekme testi cihazı



Şekil 5. 24. Numunelerin çekme testi öncesi görüntüsü (ER316L)



Şekil 5. 25. Numunelerin çekme testi sonrası görüntüsü (ER316L)



Şekil 5. 26. Numunelerin çekme testi öncesi görüntüsü (ER2209)



Şekil 5. 27. Numunelerin çekme testi sonrası görüntüsü (ER2209)

6. DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel çalışmada kullanılan AISI/SAE 304L paslanmaz çelik malzemelerin ve iki farklı ilave TIG telleri ile birleştirilmiş kaynak metallerinin faz içeriklerinin tespiti için Schaeffler Diyagramındaki konumlarını belirlemek gerekmektedir. Diyagramdaki konumlarını tespit etmek için, nikel ve krom eşdeğerleri aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Ağırlıkça %Cr Eşdeğeri=%Cr+%Mo+(1,5x%Si)+(0,5x%Nb) (6.2)

Ağırlıkça %Ni Eşdeğeri=%Ni+(30x%C)+(0,5x%Mn) (6.3)

bağıntılarından;

304L sac malzemesi için;

Ağırlıkça %Cr Eşdeğeri=18,64+0,205+(1,5x0,373)+(0,5x0,013)= 19,41

Ağırlıkça %Ni Eşdeğeri=7,92+(30x0,018)+(0,5x1,825)= 9,38

304L yolluk malzemesi için;

Ağırlıkça %Cr Eşdeğeri=18,39+0,235+(1,5x0,357)+(0,5x0,009)= 19,16

Ağırlıkça %Ni Eşdeğeri=7,93+(30x0,014)+(0,5x1,225)= 8,96

ER316L ilave TIG teli için;

Ağırlıkça %Cr Eşdeğeri=19+2,8+(1,5x0,3)+(0,5x0)= 22,25

Ağırlıkça %Ni Eşdeğeri=12+(30x0,024)+(0,5x1,7)= 13,57

ER2209 ilave TIG teli için;

Ağırlıkça %Cr Eşdeğeri=22,75+3,2+(1,5x0,5)+(0,5x0)=26,70

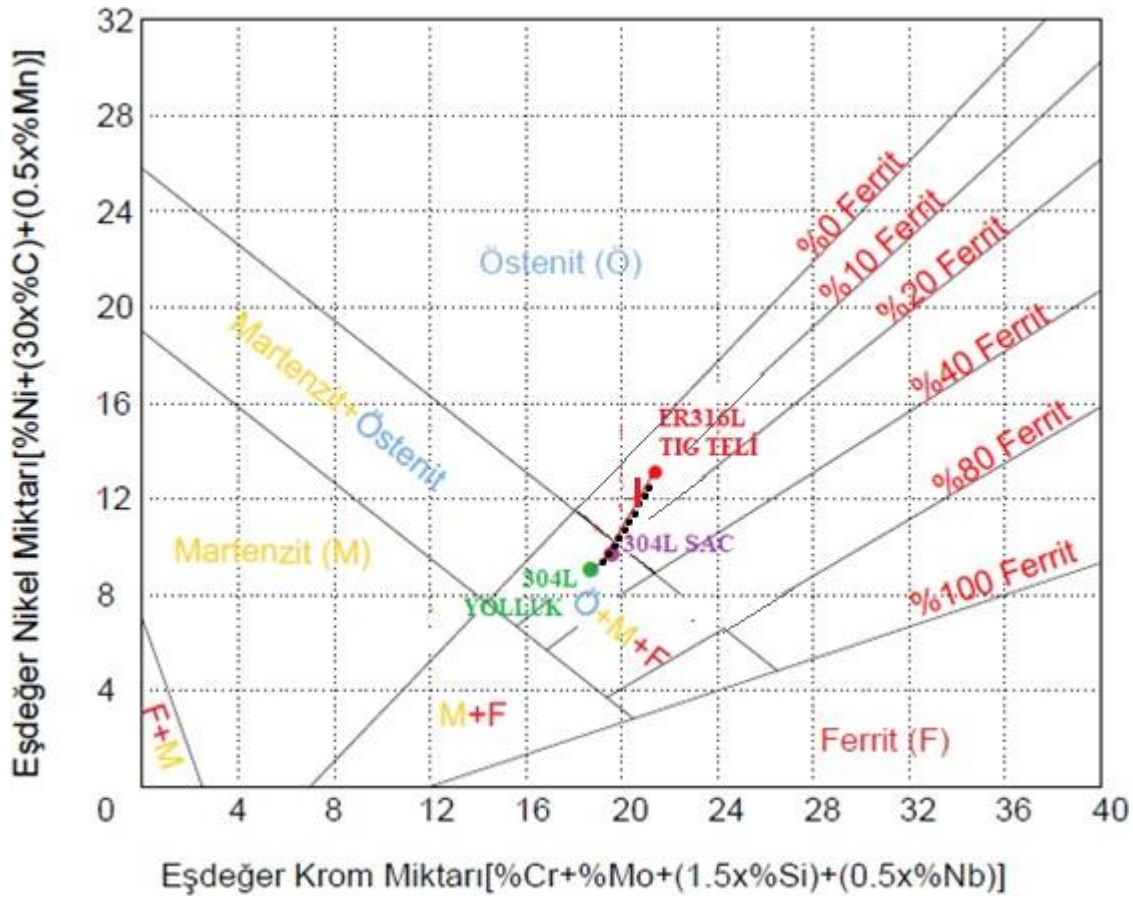
Ağırlıkça %Ni Eşdeğeri=8,5+(30x0,009)+(0,5x1,6)= 9,52

Hesaplanan krom ve nikel eşdeğerlikleri Çizelge 6.1.'de verilmektedir.

Çizelge 6. 1. Schaeffler Diyagramına göre krom nikel eşdeğer tablosu

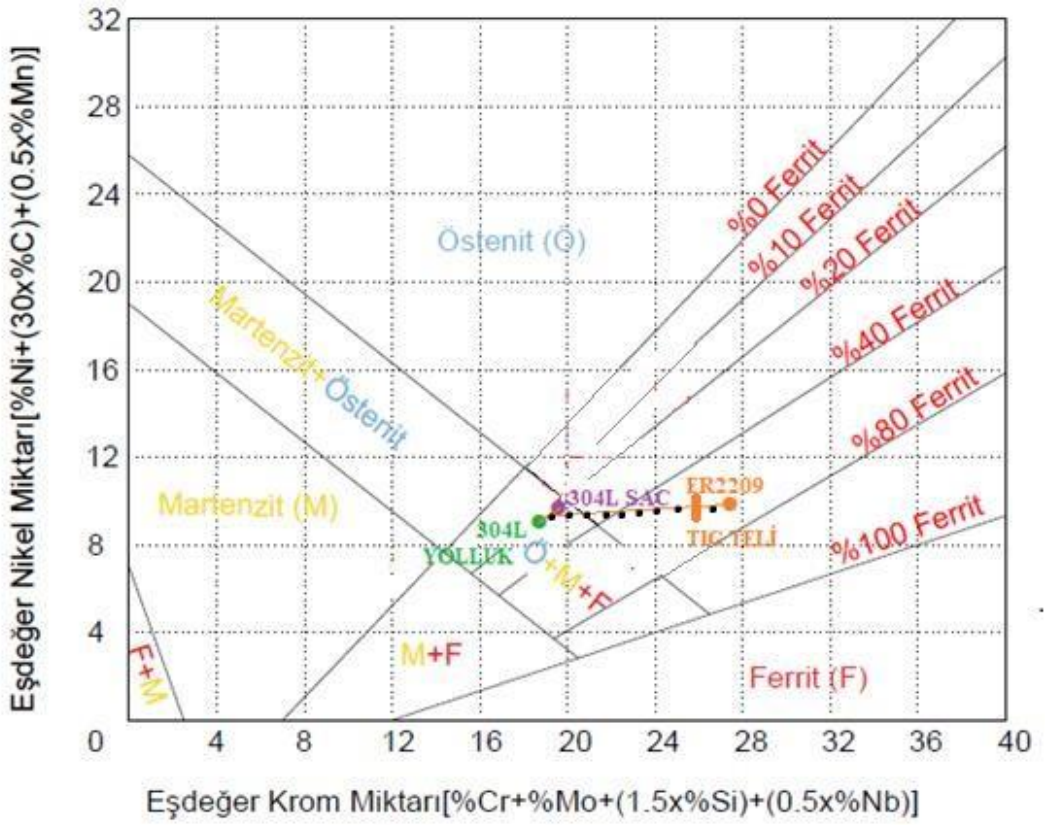
MALZEME	KROM EŞDEĞERİ	NİKEL EŞDEĞERİ
AISI/SAE 304L SAC	19,41	9,38
AISI/SAE 304L YOLLUK	19,16	8,96
ER316L	22,25	13,57
ER2209	26,70	9,52

Çizelge 6.1.'de verilen eşdeğerlikler Şekil 6.1. ve 6.2.'de gösterilen Schaeffler Diyagramına yerleştirilmiş ve ana malzemeler ile birlikte iki farklı kaynak metali bileşimlerinin konumları işaretlenmiştir.



Şekil 6. 1. Schaeffler diyagramında ER316L kaynak bölgesinin yapısı

Şekil 6.1.'de, ER316L kodlu TIG ilave telinin yaklaşık hacimsel olarak %10 oranında delta-ferrit mikro-yapı bileşimine sahip olduğu ve kaynak metalinin yaklaşık hacimsel olarak %15 oranında delta-ferrit içerdiği Schaeffler Diyagramındaki konumlarından anlaşılmaktadır.



Şekil 6. 2. Schaeffler diyagramında ER2209 kaynak bölgesinin yapısı

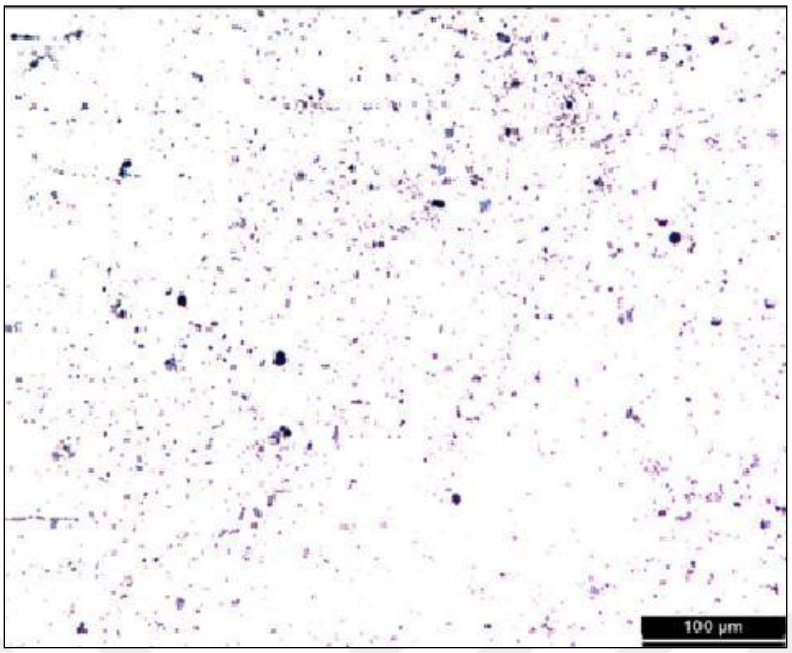
Şekil 6.2.'de, ER2209 kodlu TIG ilave telinin yaklaşık hacimsel olarak %70 oranında delta-ferrit mikro-yapı bileşimine sahip olduğu ve kaynak metalinin yaklaşık hacimsel olarak yaklaşık %66 oranında delta-ferrit içerdiği Schaeffler Diyagramındaki konumlarından anlaşılmaktadır.

6.1. Mikro Yapı İncelenmesi

JSM-5600LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve LEICA DM 4000M Optik Metalurji Mikroskobu kullanılarak numunelerin tamamına ait kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölgelerinin ayrı ayrı mikro-yapı görüntülerini elde edilmiştir.

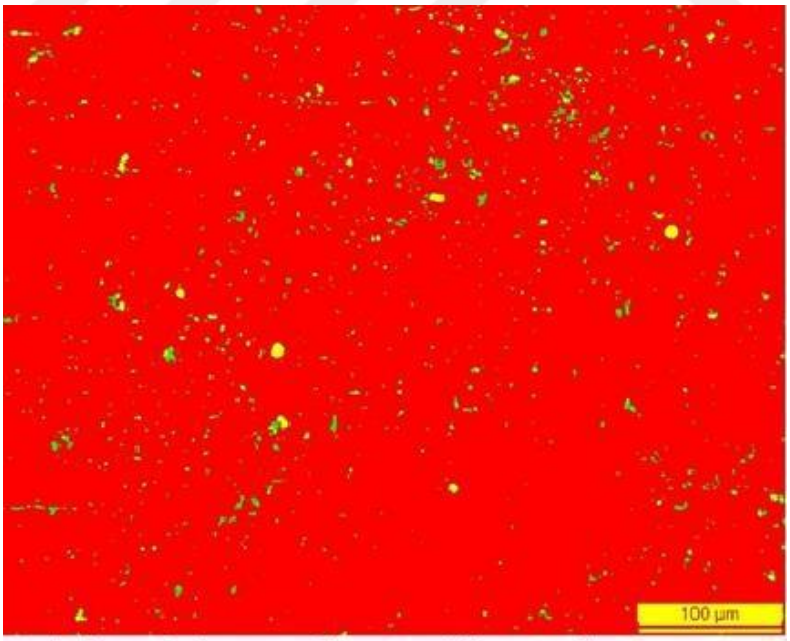
6.1.1. AISI/SAE 304L Ana Malzemenin Mikro Yapısı

Şekil 6.3.'de AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz çelik ana malzeme mikro-yapısını görülmektedir. Burada baskın olan tamamen östenitik faz içeriği görülmektedir. Açık kontrast östeniti, az oranda kısmen koyu kontrast ise tane sınırı delta-ferritini belirtmektedir.



Şekil 6. 3. AISI/SAE 304L ana malzeme mikro-yapısı (200x)

Şekil 6.4.'de ise ana malzemeye KameraM programı kullanılarak yapılan faz analizi görülmektedir. AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz çelik ana malzemenin faz analizlerine göre östenit oranı yaklaşık hacimsel olarak %97 olarak tespit edilmiştir.

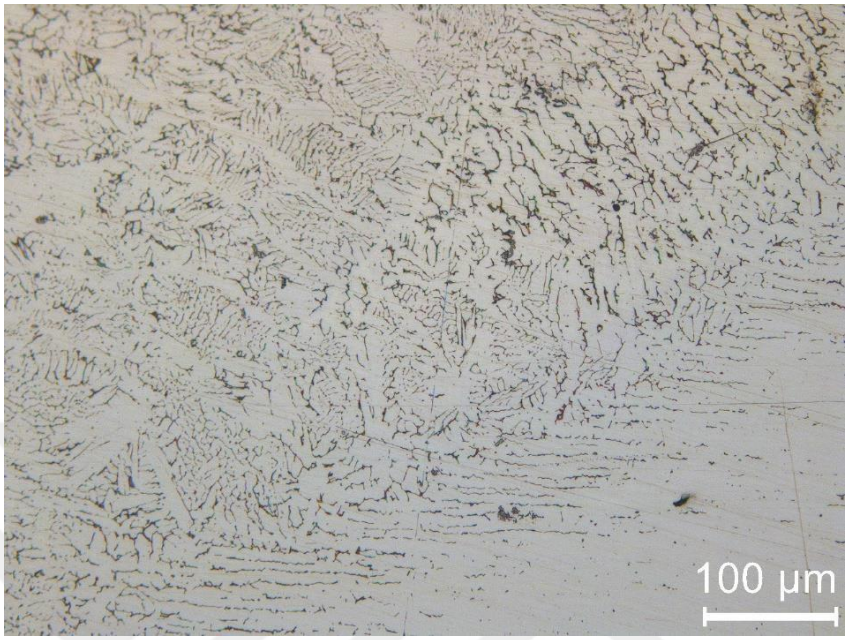


Açıklama	Başlangıç	Bitiş	% Alan	Alan
Çökeltiler	0	84	1,11	0,03
Delta-ferrit	85	169	1,92	0,05
Östenit	170	255	96,97	2,75
		Toplam	100	2,84

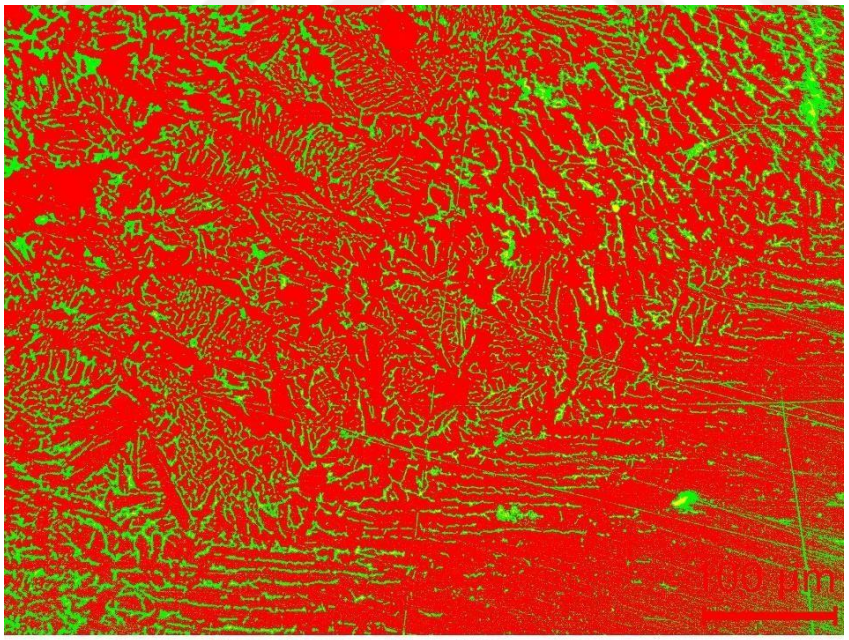
Şekil 6. 4. AISI/SAE 304L ana malzeme mikro-yapısal faz analizi (200x)

6.1.2. ER316L TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Mikro Yapıları

Şekil 6.5.'de ER316L TIG teli ile birleştirilmiş kaynaklı numunenin 304L kaynak metali ITAB geçiş bölgesi mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 6. 5. ER316L TIG teli ile kaynak yapılan numune 304L-kaynak metali geçişi ITAB bölgesi (200x)

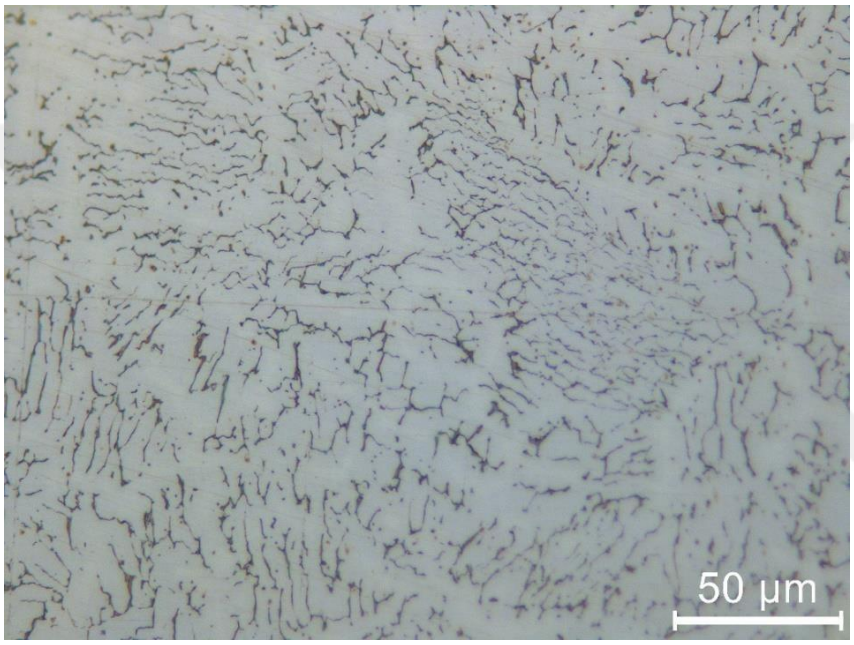


Açıklama	Başlangıç	Bitiş	% Alan	Alan
Çökeltiler	0	84	1,29	0,14
Delta-ferrit	85	169	21,32	2,24
Östenit	170	255	77,38	8,13
		Toplam	100	10,51

Şekil 6. 6. Şekil 6.5.'e ait mikro-yapısal faz analizi (200x)

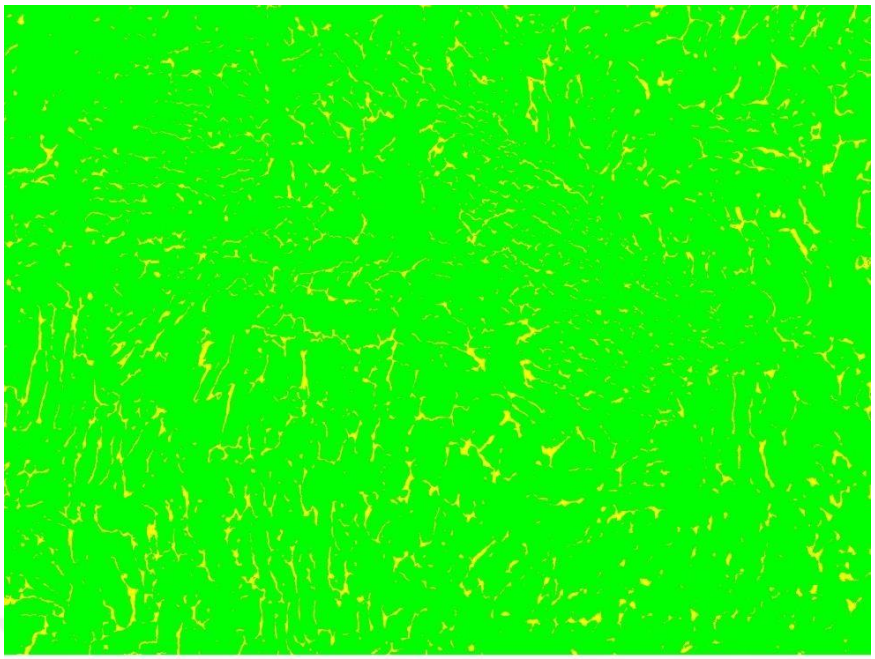
Mikro-yapıda hem kaynak metalinde hem de ITAB bölgesinde baskın olan faz (beyaz renk) östenit, koyu çizgiler ise tane sınırı delta-ferritini göstermektedir. Şekil 6.6.'da yapılan faz analizi sonuçları bu durumu doğrular nitelikte olup delta ferrit oranı yaklaşık hacimsel olarak %21, östenit oranı ise %77 olarak tespit edilmiştir. 304L ana malzeme tarafındaki (görüntüde sağ taraf) haddelenmiş faz yapısı ITAB'a doğru yaklaştıkça doğrusallığı bozulmakta kısmen dallantılı bir yapıya doğru gelişmektedir.

Şekil 6.7.'de ise ER316L TIG teli ile kaynak yapılan numunenin kaynak bölgesi mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 6. 7. ER316L TIG teli ile kaynak yapılan numune kaynak bölgesi (500x)

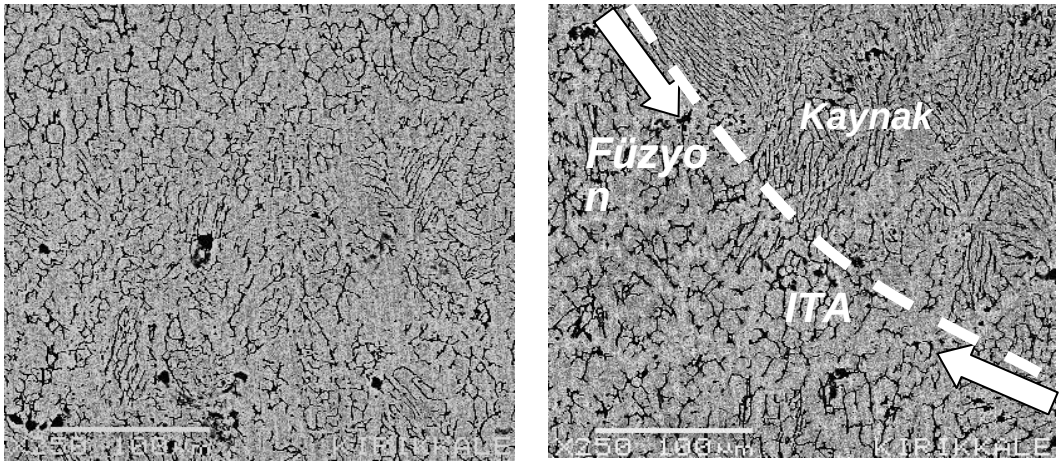
Şekil 6.7.'de görülen beyaz bölgeler östeniti, koyu renkli bölgeler ise tane sınırı delta-ferritini ifade etmektedir. ER316L TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak metaline uygulanan mikro-yapısal faz analizi sonuçları bu durumu desteklemekte olup delta ferrit oranı yaklaşık hacimsel olarak %7, östenit oranı ise yaklaşık %93 olarak tespit edilmiştir. Faz analizi sonuçları Şekil 6.8.'de yer almaktadır.



Açıklama	Başlangıç	Bitiş	% Alan	Alan
Delta-ferrit	0	127	6,4	0,67
Östenit	128	255	93,6	9,83
		Toplam	100	10,51

Şekil 6. 8. Şekil 6.7.'ye ait mikro-yapısal faz analizi (500x)

ER316L TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölgelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi sırasıyla Şekil 6.9.a ve 6.9.b'de gösterilmiştir.



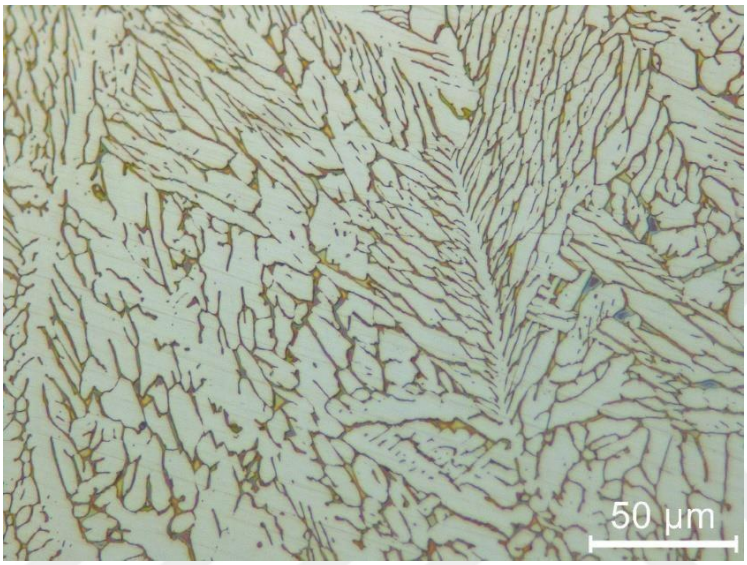
a) b)

Şekil 6. 9. ER316L TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali (a) ve ITAB'a (b) ait SEM incelemesi görüntüleri

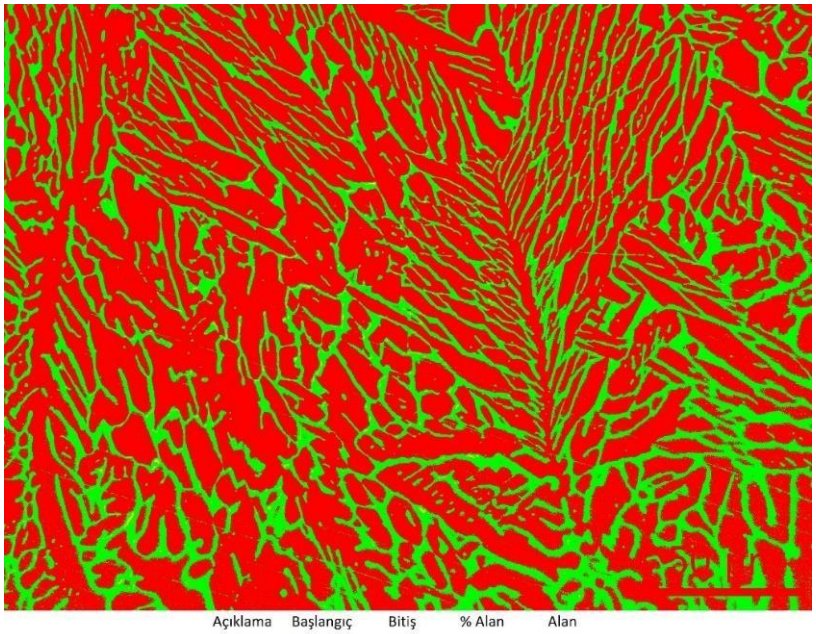
Şekil 6.9.a'da ER316L TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metalinde, yarı yönlendirilmiş dendritik mikro yapıya sahip yarı küresel bir yapı görülmektedir. Koyu delta ferritin sınırları görülebilmektedir. Şekil 6.9.b'de ise ITAB ile kaynak metali bölgeleri arasındaki füzyon sınırı açıkça görülmektedir.

6.1.3. ER2209 TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Mikro Yapıları

Şekil 6.10.'da ER2209 TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak metali merkezinin mikroyapısı görülmektedir. Mikro-yapıda beyaz renkli bölgeler östeniti, koyu çizgisel renkli bölgeler ise tane sınırı delta-ferritini göstermektedir. Yapının dendritik östenit formda olduğu görülmekte olup, Şekil 6.11'da bulunan mikro-yapısal faz analizlerinde yapının yaklaşık olarak hacimce %28 delta-ferrit, %71 östenitten meydana geldiği tespit edilmiştir.



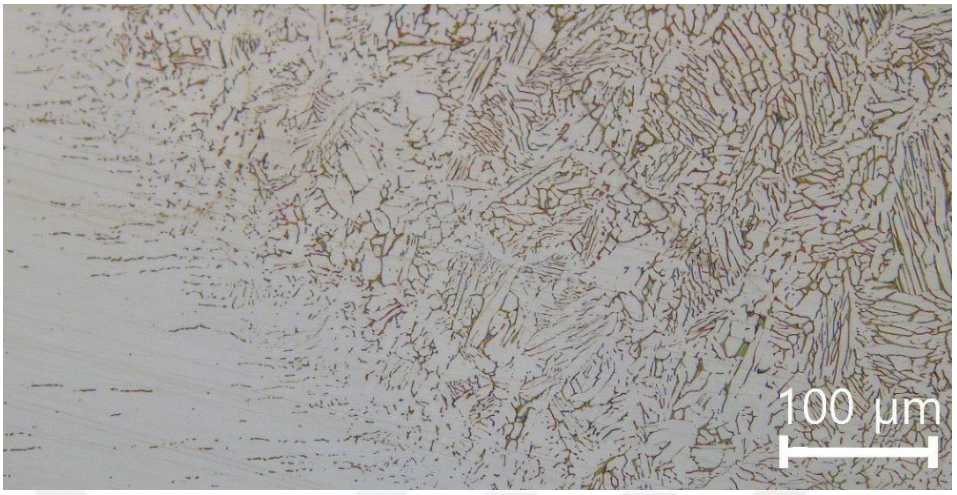
Şekil 6. 10. ER2209 TIG teli ile kaynak yapılan numune kaynak bölgesi (500x)



Açıklama	Başlangıç	Bitiş	% Alan	Alan
Çökelti	0	84	0,65	0,07
Delta-ferrit	85	169	28,34	2,98
Östenit	170	255	71,01	7,46
		Toplam	100	10,51

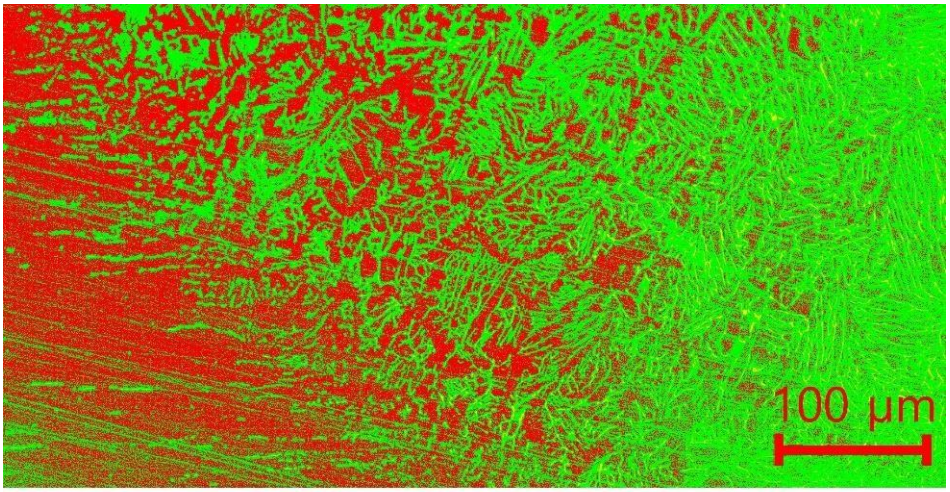
Şekil 6. 11. Şekil 6.10.'a ait mikro-yapısal faz analizi (500x)

Şekil 6.12.'de ise ER2209 TIG teli ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin 304L kaynak metali geçişi ITAB mikro-yapısı görülmektedir.



Şekil 6. 12. ER2209 TIG teli ile kaynak yapılan numune
304L-kaynak metali geçişi ITAB bölgesi (200x)

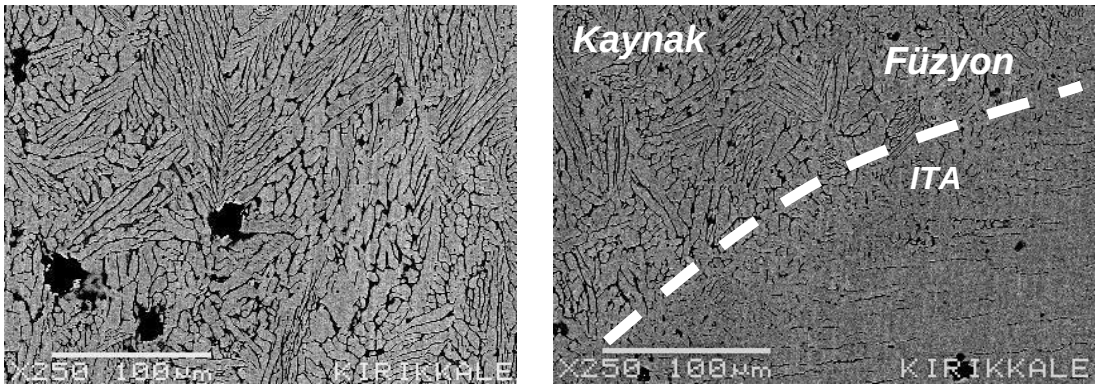
304L ana malzemenin haddelenmiş yapısından kaynak metaline (görüntüde soldan sağa) doğru yaklaştıkça hadde yapısının bozulduğu kaynak metalinde östenitin dallantılı forma dönüştüğü görülmektedir. Şekil 6.13.'de bulunan faz analizi sonuçlarına göre mikro-yapının %42 östenitik fazdan, %55 delta-ferritten meydana geldiği tespit edilmiştir.



Açıklama	Başlangıç	Bitiş	% Alan	Alan
Çökeltiler	0	84	2,67	0,15
Delta-ferrit	85	169	55,37	3,06
Östenit	170	255	41,97	2,32
		Toplam	100	5,54

Şekil 6. 13. Şekil 6.12.'ye ait mikro-yapısal faz analizi (200x)

ER2209 TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali ve ısının tesiri altındaki bölgelerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemesi sırasıyla Şekil 6.14.a ve 6.14.b'de gösterilmiştir.



a) b)

Şekil 6. 14. ER2209 TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali (a) ve ITAB'a (b) ait SEM incelemesi görüntüleri

Şekil 6.14.a'da görüldüğü üzere kaynak metalinin mikro yapısı dendritik formdadır. Şekil 6.14.b ele alındığında ise sağ alt taraftaki 304L ana malzemenin haddelenmiş yapısı ITAB'a yaklaştıkça yarı dendritik yapıya dönüşmektedir.

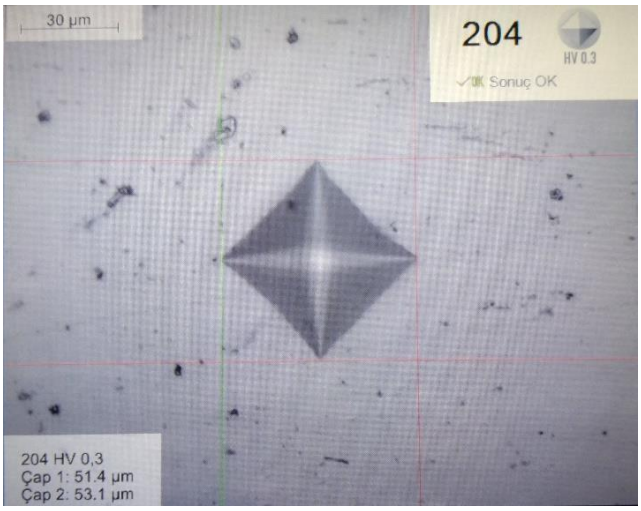
ER316L ilave teli ile birleştirilen numuneler ile karşılaştırıldığında, ER2209 ilave teli ile birleştirilen numuneler daha katmanlı ve dendritik mikro yapıya sahipken, ER316L ilave teli ile birleştirilen numuneler daha küresel mikro yapıya sahiptir.

Her iki kaynaklı bağlantının ITAB'ında füzyon hattı boyunca epitaksiyel katılaşma gözlemlenmiştir. Epitaksiyal katılaşma, östenitik ya da ferritik ana malzemenin füzyon hattı boyunca epitaksiyel olarak büyümesi şeklinde açıklanmaktadır [76].

6.2. Sertlik Testi

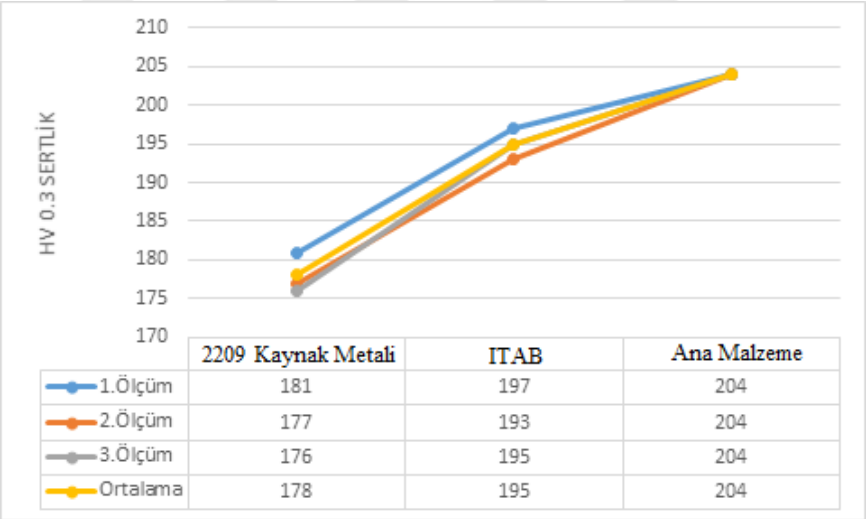
6.2.1. ER2209 TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Sertlik Taraması

Sertlik ölçüm cihazı kullanılarak $HV_{0.3}$ biriminden yapılan sertlik taramaları sonucunda östenitik paslanmaz çelik malzemenin 204 HV, ısının tesiri altındaki bölgenin 197 HV ve kaynak metalinin ise 181 HV olarak kayıt edildiği Şekil 6.15.'de görülmektedir.Çizelge 6.2.'de ise her bölgeye ait üç farklı noktadan alınan sonuçların yer aldığı grafik bulunmaktadır. Ana malzemeden kaynak metaline doğru gidildikçe sertliğin azaldığı, ITAB'ın kaynak metalinden daha yüksek ana malzemeden ise daha düşük sertlik profili sergilediği gözlemlenmiştir.



Şekil 6. 15. ER2209 kaynaklı 304L ana malzemenin sertlik testi sonuç görseli

Çizelge 6. 2. Sertlik taraması sonuç grafiği (ER2209)

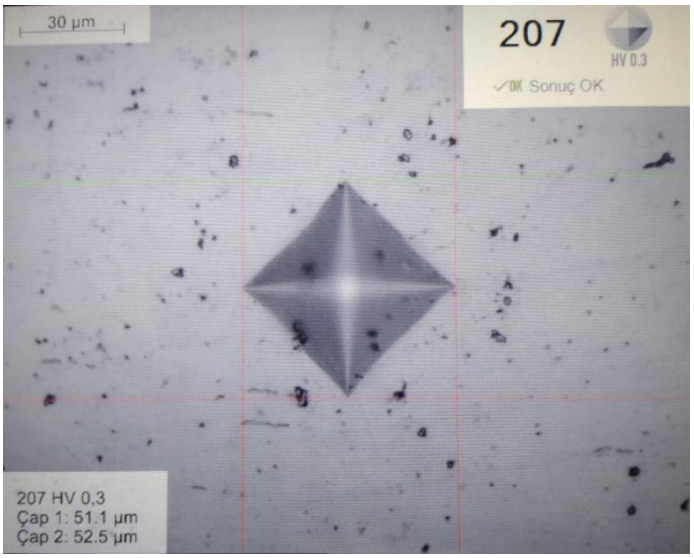


	2209 Kaynak Metali	ITAB	Ana Malzeme
1.Ölçüm	181	197	204
2.Ölçüm	177	193	204
3.Ölçüm	176	195	204
Ortalama	178	195	204

6.2.2. ER316L TIG Teli Kullanılan Test Numunelerinin Sertlik Taraması

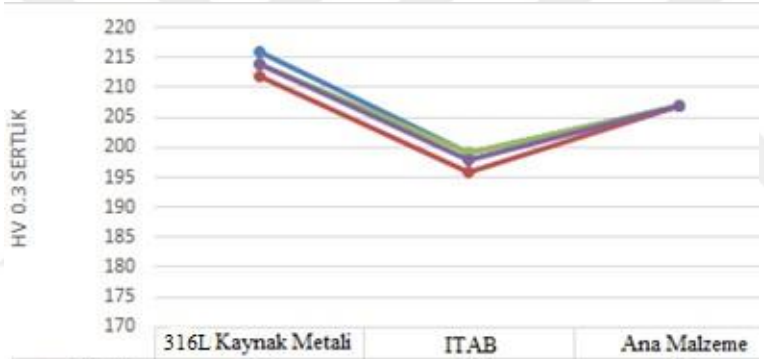
Sertlik ölçüm cihazı kullanılarak $HV_{0.3}$ biriminden yapılan sertlik taramaları sonucunda ısının tesiri altındaki bölgenin 199 HV, kaynak metalinin 216 HV ve östenitik paslanmaz çelik malzemenin 207 HV olarak kayıt edildiği Şekil 6.16.'da görülmektedir.

Çizelge 6.3.'de ise her bölgeye ait üç farklı noktadan alınan sonuçların yer aldığı grafik bulunmaktadır. Ana malzemeden ITAB'a geçerken sertliğin azaldığı, kaynak metaline doğru gidildikçe ise arttığı; kaynak metali bölgesinin en yüksek ITAB'ın en düşük sertlik profili sergilediği gözlemlenmiştir.



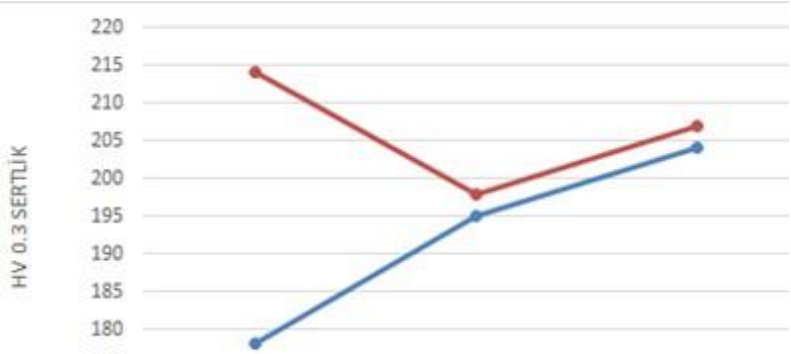
Şekil 6. 16. ER316L kaynaklı 304L ana malzemenin sertlik testi sonuç görseli

Çizelge 6. 3. Sertlik taraması sonuç grafiği (ER316L)



	316L Kaynak Metali	ITAB	Ana Malzeme
1.Ölçüm	216	199	207
2.Ölçüm	212	196	207
3.Ölçüm	214	199	207
Ortalama	214	198	207

Çizelge 6. 4. Mikrovickers sertlik testi taraması aritmetik ortalamaları (HV $_{0.3}$)



	Kaynak Metali	ITAB	Ana Malzeme
ER2209	178	195	204
ER316L	214	198	207

Yapılan mikro-sertlik taramalarının sonuçlarının yer aldığı Çizelge 6.4.'e göre; ER2209 ilave TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunenin kaynak metali merkezinin sertliği, ER316L TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali merkezi sertliğinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ancak 304L östenitik paslanmaz çeliğin dönüşüm yoluyla serleştirilememesinden dolayı hem ITAB hem ana malzeme mikro-sertlik değerlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu gözlemlenmiştir.

6.3. Çentikli Darbe Testi

İki farklı TIG teli kullanılarak birleştirilmiş kaynaklı numunelere ait darbe enerjilerini tespit etmek için ASTM A370 ve ASTM E23-12c standartları gereğince kaynak metali üçer adet V-çentikli Charpy darbe testi icra edilmiştir. İlgili numunelerin darbe enerji sonuçları Çizelge 6.5.'de görülmektedir.

Çizelge 6. 5. Çentikli darbe testi sonuçları

ER316L TIG Teli Kaynaklı Numuneler			**ER2209 TIG Teli Kaynaklı Numuneler**		
KOD	**kgm**	**JOULE ($kg.m^2/s^2$)**	**KOD**	**kgm**	**JOULE ($kg.m^2/s^2$)**
A1	3,00	29,42 J	**B1**	4,00	39,23 J
A2	2,90	28,44 J	**B2**	3,60	35,30 J
A3	3,10	30,40 J	**B3**	3,80	37,27 J

Darbe enerji testi numunelerinin Çizelge 6.5.'de verilen darbe enerjilerinin aritmetik ortalamaları Çizelge 6.6.'da verilmektedir. Buna göre; ER2209 ilave TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunenin darbe enerjisinin, ER316L ilave TIG teli ile birleştirilen numunelerin darbe enerjisinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çizelge 6.6.'da görüleceği üzere en yüksek darbe dayanımını yani sünekliği ER2209 TIG ilave teli ile birleştirilen test numuneleri göstermiştir.

Çizelge 6. 6. Kaynaklı numunelerin darbe enerjileri aritmetik ortalamaları

Numune	kgm	joule($kg.m^2/s^2$)
ER316L	3,00	29,4199
ER2209	3,80	37,2653

6.4. Korozyon Testi

İki farklı ilave TIG teli ile birleştirilmiş kaynaklı numunelerin korozyon dayanımlarını tespit etmek amacıyla ASTM B117 standardı kapsamında korozyon testi uygulanmıştır. Numuneler tuz püskürtme korozyon test cihazı içerisine 240 saat boyunca bırakılmışlar ve bu süre boyunca püskürtülen 35°C'deki %5'lik NaCl çözeltisinin oluşturduğu korozif atmosfere maruz kalmışlardır. Burada amaç, yoğun bir korozif ortam olan deniz atmosferine uyarlama yapabilmektir.

Çizelge 6. 7. Korozyon testi sonrası numune ağırlıkları

ER316L TIG Teli Kaynaklı Numuneler				
Kod	**1. Tartım (gram)**	**2. Tartım (gram)**	**3. Tartım (gram)**	**Ortalama (gram)**
A1	8,0194	8,0193	8,0195	8,0194
A2	7,3971	7,3973	7,3972	7,3972
A3	8,0188	8,0189	8,0190	8,0189
ER2209 TIG Teli Kaynaklı Numuneler				
Kod	**1. Tartım (gram)**	**2. Tartım (gram)**	**3. Tartım (gram)**	**Ortalama (gram)**
B1	7,9317	7,9319	7,9318	7,9318
B2	7,9775	7,9774	7,9776	7,9775
B3	8,4392	8,4390	8,4391	8,4391

Test sonrasında numunelerde oluşan korozyon ürünlerini gidermek amacıyla numuneler saf su ile fırçalanarak temizlenmiş ve ağırlıkları tartılmıştır. Çizelge 6.7.'de verilen sonuçlara göre tüm kaynaklı korozyon test numunelerinde korozyon tahribatının gözlendiği anlaşılmaktadır.

Diğer taraftan, korozyon test numunelerinin kendileri arasındaki korozyon hızlarının karşılaştırılabilmesi amacıyla korozyon hızlarını mm/yıl biriminden hesaplayan ASTM G1 standardı kullanılmaktadır. Bu standarda göre korozyon hızları;

$$K.H.=(KxW)/(AxTxD) \quad (6.4)$$

K.H.= Korozyon Hızı(mm/yıl)

$K=8,76x10^4$ (mm/yıl)

W=Ağırlık Kaybı(gram)

A=Yüzey Alanı(cm^2)

T=Zaman(Saat)

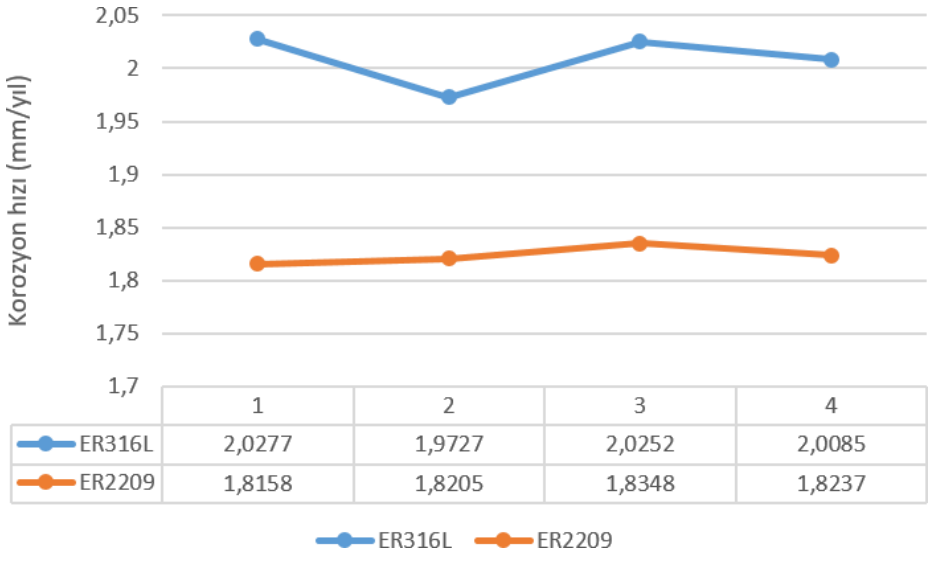
D=Yoğunluk($gram/cm^3$)

bağıntısıyla hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 6.8.'de verilmektedir.

Çizelge 6. 8. Kaynaklı numunelerin korozyon hızları ve aritmetik ortalamaları

ER316L TIG Teli Kaynaklı Numuneler			
Kod	**Yüzey Alanı (cm^2)**	**Korozyon Kaybı (gram)**	**Korozyon Hızı (mm/yıl)**
A1	10,34899	0,4565	2,0277
A2	10,12482	0,4345	1,9727
A3	10,33248	0,4552	2,0252
Ort.	10,26876	0,4487	2,0085
ER2209 TIG Teli Kaynaklı Numuneler			
Kod	**Yüzey Alanı (cm^2)**	**Korozyon Kaybı (gram)**	**Korozyon Hızı (mm/yıl)**
B1	10,35184	0,4089	1,8158
B2	10,42102	0,4127	1,8205
B3	10,83378	0,4324	1,8348
Ort.	10,53555	0,4180	1,8237

Çizelge 6. 9. Kaynaklı numunelerin korozyon hız grafiği

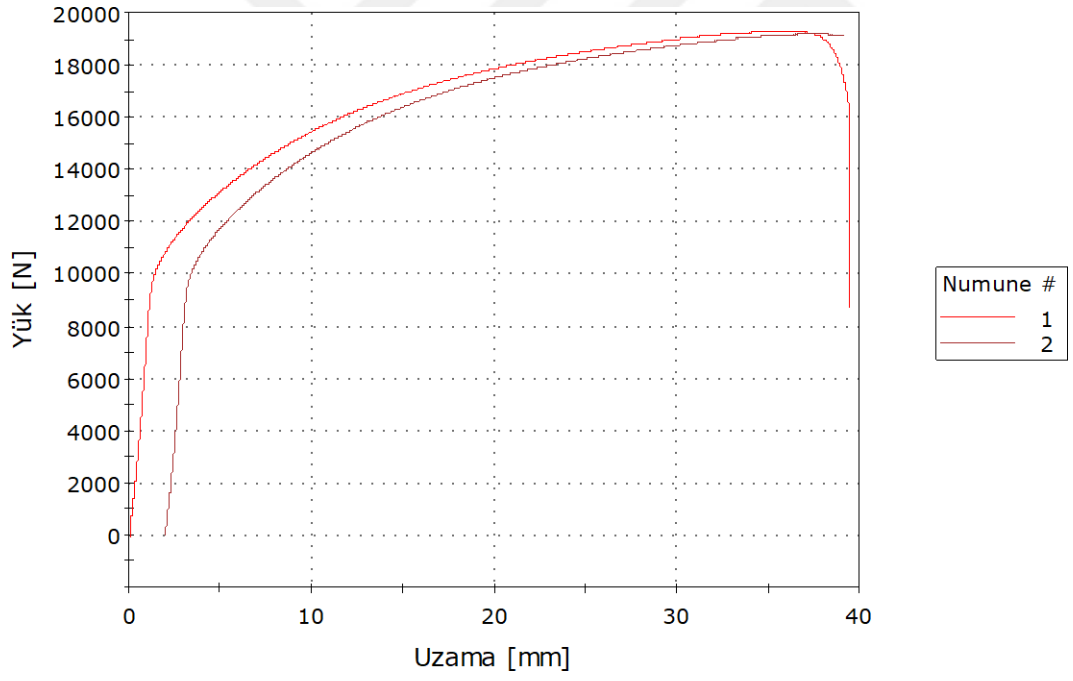


Çizelge 6.9. incelendiğinde; numunelerin tamamı ASTM G1 standardı uyarınca yetersiz korozyon direnci göstermişlerdir. Korozyon hızları birbirlerine yakın sonuçlar çıksa da çözünmenin büyük oranda kaynak metali bölümünde gerçekleşmesinden dolayı ER2209 TIG teli kaynaklı numunenin korozyon hızının daha düşük, korozyon dayanımının ise daha yüksek oduğu tespit edilmiştir.

6.5. Çekme Testi

İki farklı ilave TIG teli için üçer adet ve AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz çelik malzeme için ikişer adet olmak üzere hazırlanan çekme test numuneleri ASTM E8 standardına göre test edilmiştir. Çizelge 6.10.'da AISI/SAE 304L için elde edilen yük-uzama grafiği ile mekanik özellikleri görülmektedir.

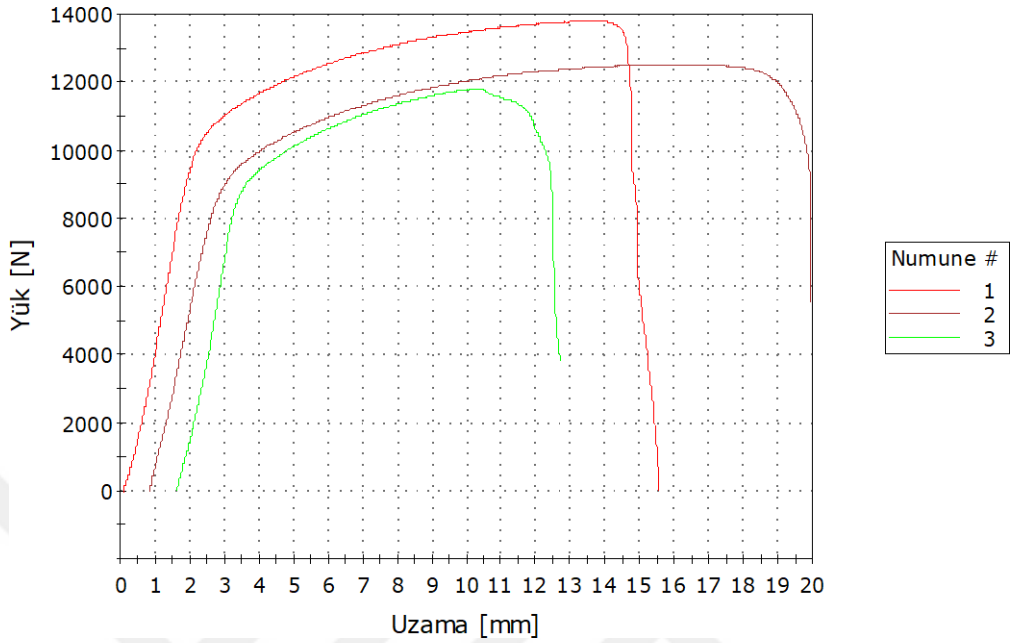
Çizelge 6. 10. AISI/SAE 304L ana malzeme numunelerine ait çekme testi grafiği ve mekanik özellikler



	Akma Dayanımı [MPa]	Çekme Dayanımı (Maksimum Yük) [MPa]	Birim Uzama [%]	Maksimum yükte uzama [mm]	Alan [mm^2]
1	332,51	645,62	71,60	39,43	29,85
2	335,00	642,25	69,19	37,10	29,85

Çizelge 6.11.'de ER316L TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numuneler için ve çizelge 6.12.'de ise ER2209 TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numuneler için elde edilen yük-uzama grafiği ile mekanik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 6. 11. ER316L TIG teli ile kaynak yapılan numunelere ait çekme testi grafiği ve mekanik özellikler

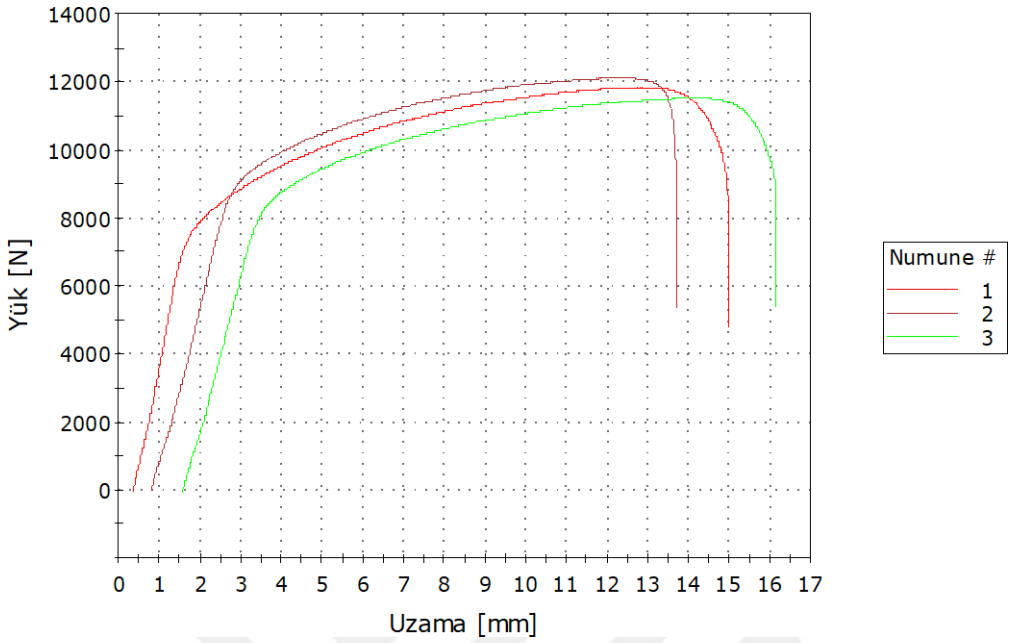


	Akma Dayanımı [MPa]	Çekme Dayanımı (Maksimum Yük) [MPa]	Birim Uzama [%]	Maksimum yükte uzama [mm]	Alan [mm^2]
1	433,67	634,26	48,56	15,56	21,73
2	424,00	648,98	59,50	19,08	19,28
3	458,58	620,56	34,49	11,07	19,03

Çizelge 6.11.'de yer alan mekanik özelliklere bakıldığında ER316L TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numuneler, AISI/SAE 304L ana malzemeden daha yüksek akma dayanımı sergilerken daha düşük % uzama ve yaklaşık benzer çekme dayanımı özellikleri göstermiştir. Kaynak numunelerine uygulanan çekme testlerinde numuneler kaynak dikişinin hemen yanındaki ITAB bölgesinden kopmuştur.

Kaynak teli üreticilerinden temin edilen % uzama değerlerine göre, her iki kaynaklı bağlantının da % uzama değerleri artmış olup, Çizelge 6.12.'de elde edilen mekanik özellikler ele alındığında ise ER2209 TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numuneler, ER316L TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunelerle benzer mekanik özellikler göstermekle beraber ER316L TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunelerin daha yüksek uzama değerlerine ulaştığı görülmüştür. Benzer şekilde kaynak numunelerine uygulanan çekme testlerinde numuneler kaynak dikişinin hemen yanındaki ITAB bölgesinden kopmuştur.

Çizelge 6. 12. ER2209 TIG teli ile kaynak yapılan numunelere ait çekme testi grafiği ve mekanik özellikler



	Akma Dayanımı [MPa]	Çekme Dayanımı (Maksimum Yük) [MPa]	Birim Uzama [%]	Maksimum yükte uzama [mm]	Alan [mm^2]
1	380,65	630,46	45,22	14,63	18,76
2	459,21	641,92	40,26	12,92	18,87
3	434,54	627,50	45,33	14,56	18,36

Çizelge 6.12.'de yer alan mekanik özelliklere bakıldığında ER2209 TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numuneler, AISI/SAE 304L ana malzemeden daha yüksek akma dayanımı sergilerken daha düşük % uzama ve çekme dayanımı özellikleri göstermiştir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Ağır silah mühimmatlarının TNT dolumu esnasında kullanılan yollukların malzemesi olan AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz çelik levhaların 3'er mm kalınlıktaki TIG kaynağında; ilave tellerinin kaynaklı bağlantının mekanik özelliklerini ve korozyon dayanımını değiştirdiği gözlemlenmiştir.
2. Numunelerin tamamı ASTM G1 standardı uyarınca yetersiz korozyon direnci göstermişlerdir. Korozyon hız sonuçları birbirine yakın değerlerde çıksa da ER2209 TIG teli kaynaklı numunenin korozyon hızının daha düşük, korozyon dayanımının ise daha yüksek olması çözünmenin büyük oranda kaynak metali bölümünde olduğunu göstermiştir. Bu sonucun, ER2209 TIG telindeki krom elementi oranının ER316L TIG telindeki krom elementi oranından fazla olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir.
3. Ana malzeme olan 304L paslanmaz çeliğin mikro-yapısı incelendiğinde baskın olarak östenitik faz içeriğine sahip olduğu yapılan faz analizleri ile tespit edilmiştir. Faz analizi sonuçları ile Schaeffler diyagramında bulunan yerlerin birbirlerinden çok uzak olmadığı tespit edilmiştir.
4. ER316L TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak metali merkezinin mikro-yapısı incelendiğinde, yarı yönlendirilmiş dendritik mikro yapıya sahip yarı küresel bir östenit yapı ile beraber koyu delta ferritin sınırları görülebilmektedir. SEM görüntülemeleriyle ITAB ile kaynak metali bölgeleri arasındaki füzyon sınırı açıkça görülmektedir.
5. ER2209 TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunelerin kaynak metali merkezinin mikro-yapısı incelendiğinde yapının dallantılı dendritik östenit formda olduğu, ER316L ilave teli ile birleştirilen numuneler ile karşılaştırıldığında, ER2209 ilave teli ile birleştirilen numuneler daha katmanlı ve dendritik mikro yapıya sahipken, ER316L ilave teli ile birleştirilen numuneler daha küresel mikro yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.
6. Kaynak ısı girdisinin nispeten daha düşük, kaynak hızının ise daha yüksek olduğu ER2209 ilave TIG teli ile birleştirilen numune ana metalinin tanelerinin aşırı büyüyememesi sonucunda ince yapılı bir kaynak metali oluşmuştur.
7. Kaynak ısı girdisinin daha yüksek, kaynak hızının ise daha düşük olduğu ER316L kullanılarak birleştirilen numune ana metal tanelerinin daha iri olduğu görülmüştür.

8. Mikro-sertlik tarama sonuçları incelendiğinde,; ER2209 ilave TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunenin kaynak metali merkezinin sertliği, ER316L TIG teli ile birleştirilen numunenin kaynak metali merkezi sertliğinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. 304L östenitik paslanmaz çelik ve ısı tesiri altındaki bölgesi ile farklı TIG telleri arasında dengeli bir sertlik dağılımının oluştuğu ve birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. Bu durumun, AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz çeliğin dönüşüm yoluyla serleştirilememesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

9. Çekme testi sonuçlarına göre; ER2209 TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numuneler, ER316L TIG teli ile birleştirilen kaynaklı numunelerden daha düşük mukavemet değerleri göstermiş olup sertlik değerlerini doğrular nitelikte olduğu tespit edilmiştir.

10. V-çentikli Charpy testine göre ise ER2209 ilave TIG teli kullanılarak birleştirilen kaynaklı numunelerin darbe enerjisinin, ER316L ile birleştirilen numunelerin darbe enerjisinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar sertlik ve çekme testi değerlerini de doğrular niteliktedir.

11. Tüm numunelerde epitaksiyel katılaşma gözlemlenmiştir. Paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında ana malzeme ile seçilen ilave dolgu malzemelerinin kimyasal içerikleri birbirine yakın olduğunda görülen ve kaynaklı bağlantının daha homojen olmasını sağlayan epitaksiyal katılaşma, östenitik ya da ferritik ana malzemenin füzyon hattı boyunca epitaksiyel olarak büyümesi şeklinde açıklanmaktadır.

12. AISI/SAE 304L östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ile birleşmesi durumunda kullanılan ER2209 ilave telinin daha yüksek korozyon dayanımı ve darbe enerjisi sağladığı tespit edilmiştir. Bu nedenle özellikle korozif çalışma koşulları altında daha yüksek tokluğun arandığı ortamlarda ER2209 ilave TIG telinin kullanılmasının daha uygun bir seçim olacağı düşünülmektedir.

13. Bununla birlikte; östenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında ER2209 ilave tel kullanılarak değişken akım, gerilim, koruyucu gaz debisi ve ilerleme hızı gibi kaynak parametreleri ile oluşturulacak kaynaklı bağlantının korozyon özelliklerine ve mekanik dayanıma olan etkilerinin de incelenmesinin yararlı olabileceği mütalaa edilmektedir.

KAYNAKLAR

[1] https://azimtic.com/paslanmaz-celiklerin-kullanim-ozellikleri_57.html (Erişim tarihi: 11.12.2020)

[2] Başyigit A. B., Kurt A., "Corrosion properties and impact toughness of 2205 duplex stainless steel after TIG welding", Materials Testing, *56* (10), pp. 786-794, 2014.

[3] Yaramış A., "Mehterhâne-i Âmire Ocağı'nın Islahı", Sosyal Bilimler Dergisi, c. 15, sayı 1, 2013.

[4] MIL-STD-444 , Military Standard Nomenclature and Definitions in the Ammunition Area , pp 4-5, 1959..

[5] Oyacı Y.E., "Mühimmat, Askeri Patlayıcı Ve Zırh Sistemlerine Dair Patentlerin Çözümlemesi" , Uzmanlık Tezi, T.C. Türk Patent Ve Marka Kurumu Patent Dairesi Başkanlığı, Ankara,ss. 21-30, 2019.

[6] Rajan K.M. , "Warheads for Missiles, Torpedoes and Rockets", DRDO Technol. Focus Magazine, Vol. 26, No. 3, s. 13 , 2018.

[7] Ertekin Ö. ve ark.: "Kara Platformları İçin Aktif Koruma Sistemleri", Defence Science Journal 10(1), s. 104 , 2011.

[8] Rowlatt J. ,"Tungsten: The Perfect Metal for Bullets and Missiles", BBC News Magazine, 2014

[9] Gite L.K. , Anandaraj A. , Deodhar R.S. , Joshi D.K. , Rajan K.M. , "Dispersion Sensitivity Analysis & Consistency Improvement of APFSDS" , Defence Technology 13 , s. 317 , 2017.

[10] Cross K. , "Explosive Weapons in Populated Areas:Technical Considerations Relevant to Their Use and Effects", ARES- Armament Research Services, ss. 20-23, 2016.

[11] https://www.britannica.com/technology/ammunition (Erişim tarihi: 11.10. 2020)

[12] Pezard S., Anders H., "Targeting Ammunition: A Primer", Small Arms Survey Graduate Institute of International Studies, s. 25, 2006 .

[13] http://www.kkk.tsk.tr/Siniflar/Topcu.aspx (Erişim tarihi: 11.10. 2020)

[14] Fisher M.R. , "Artillery Ammunition", US Marine Corps Base Camp Lejeune, s.11, 2018.

[15] Kbberud N., Oye I.J.: "Extended Range of 155 mm Projectile Using an Improved Base Bleed Unit", 26th International Symposium on Ballistics, Florida-USA, 2011.

[16] http://characterisationexplosiveweapons.org/studies/annex-c-81-82-120-mm-mortars/ (Erişim tarihi: 03.03.2021)

[17] ASELSAN, "ALKAR 120 mm Havan Silah Sistemi", Ürün Broşürü, 2018

[18] Cross K. , "Explosive Weapons in Populated Areas:Technical Considerations Relevant to Their Use and Effects", ARES- Armament Research Services, s. 19, 2016.

[19] https://www.globalsecurity.org/military/library/policy/army/fm/7-90/fig7-3.gif (Erişim tarihi: 09.10.2020)

[20] Çelik O. , "Muharebe Sahasında Kritik Olarak Belirlenmiş Bina, Köprü ve Tesislerin Askeri ve Ticari Patlayıcılarla Tahrip Edilmesinin Değerlendirilmesi", Okan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s.5 , 2015.

[21] Lopez M. , "Infrared and Raman Spectroscopy Techniques Applied to Identification of Explosives", TrAC Trends in Analytical Chemistry, Sayı 54, 2014.

[22] Leons J. , "Handbook for the Transportation, and Use of Explosives", National Park Service, Bölüm 2, s. 27, 1999.

[23] Cross K. , "Explosive Weapons in Populated Areas:Technical Considerations Relevant to Their Use and Effects", ARES- Armament Research Services, s. 29, 2016.

[24] http://lem.ch.unito.it/didattica/infochimica/2008_Esplosivi/Classification.html (Erişim tarihi: 16.11.2020)

[25] Akkoyun Ö. , "Delme-Patlatma Dersi Notları", Dicle Üniversitesi, 2009

[26] Headquarters Department of the US Army, "Military Explosives", Technical Manual Chapter 12 , 1984.

[27] U.S. Department of Defence-DoD, Age, b.2 s.2 , 1992.

[28] Sönmez U. , "Obüs Namlusu Yanma Odasinda Atiş Esnasinda Ortaya Çikan Gerilmelerin Matematiksel Modellenmesi Ve Analizi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, s.9 , 2009.

[29] Margolin M., Skettini E. , "Ammunition Loading Techniques", Explosive Development Section Feltman Research and Engineering Laboratories, s. 2, 1958.

[30] Srihakulung O. , Soongsumal Y. , "Improving TNT Curing Process by Using Infrared Camera", Conference Paper, s. 3, 2011.

[31] Oğuz, B., Karbonlu ve Alaşımlı Çeliklerin Kaynağı, Divit Yayınevi,İstanbul, 1987.

[32] Kaluç, E., Tülbentçi, K., Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Seminer Notları, Kocaeli, 1998.

[33] Sarıtaş Çelik, Paslanmaz Çeliklerin İç Yapı ve Türleri, Sarıtaş Çelik, İstanbul, ss 19-23, 2012.

[34] Aran, A., Temel, M. A., "Paslanmaz çeliklerin kaynağı", Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller Üretimi Kullanımı Standartları, Sarıtaş Teknik Yayını, Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, ss 58-65, 2004.

[35] Davis, J. R., Selection of Wrought Martensitic Stainless Stell, ASM Metal Handbook, V.6, ss 432-441, 1993.

[36] https://www.aubertduval.com/fr/ (Erişim tarihi: 06.11.2020)

[37] Kırık İ., Sürtünme Kaynağı İle Birleştirilmiş AISI 1040/AISI 304L Çelik Çiftinin Elektrokimyasal Korozyon Davranışının Araştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 2012.

[38] Davis, J.R., Satinless Steels, ASM International, Ohio, 1994.

[39] Brooks, J.A., Lippold, J.C., Selection Of Wrought Austenitic Stainless Steels, ASM Metal Handbooks, V.6, pp 456-469., 1993.

[40] Yıldırım, M. M., Malzeme Bilgisi, F.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 61., 1981.

[41] Kaluç, E., Tülbentçi, K., Paslanmaz Çelikler Ve Kaynaklanabilirliği, Seminer Notu, KOÜ Kaynak Teknolojisi Araştırma Uygulama Ve Eğitim Merkezi, Kocaeli, s 244, 1995.

[42] Kaluç, E., Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Gedik Kaynak Dünyası, İstanbul, 1990.

[43] Erdoğan, M., Malzeme Bilim Ve Mühendislik Malzemeleri, Cilt: 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, ss 326-331, 2002.

[44] Aran, A., Paslanmaz Çelik Üretimi Kullanımı Standartları, 3. Baskı, Sarıtaş Teknik Yayınları, No: 1, İstanbul, 2003.

[45] Lippold, J.C., Kotecki, D.J., Welding Metallurgy And Weldability Of Stainless Steels, A John Wiley Sons. Inc. Publication, ss 88-135, 2005.

[46] http://www.gozdempaslanmaz.com/paslanmaz-celik.asp?ha=1 (Erişim tarihi: 05.12.2020)

[47] Türkyılmazoğlu, A., "Dubleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

[48] Smith, W.F., Paslanmaz Çelikler, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Bölüm 5, Cilt 1, Çeviri: Erdoğan, M., Ankara, ss 169-214, 2000.

[49] Odabaş, C., Paslanmaz Çelikler, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Askaynak, 2.Baskı Tavaslı Matbaası, İstanbul, 2004.

[50] Abuç, S., "Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi İle Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.

[51] Kılıç, M., "AISI 304 Paslanmaz Çeliği ve 1040 Çelik Çifti'nin Plazma Kaynak Yöntemiyle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

[52] Pollard, B., "Selection Of Wrought Precipitation-Hardening Stainless Steels", ASM Metals Handbook, V.6, ss 482-493, 1993.

[53] Tülbentçi, K., "MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi", Arctech Yayını, İstanbul, 1998.

[54] Tülbentçi, K., "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Böhler Kaynak Dünyası, ss 5-10, 1985.

[55] Kaluç, E., " Östenitik Krom – Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Gedik Kaynak Dünyası, V. 2, ss 18–21, 1996.

[56] Castner, H. R., "Material and Procedure Considerations For Welded Austenitic Stainless Steels", 8th Annual North American Welding Research Conference, Edison Welding Institute, Columbus, Ohio, pp 1–6, 1992.

[57] Durgutlu, A., Kahraman, N., Gülenç, B., "Bakır Ve Çelik Levhaların Örtülü Elektrod Ve TIG Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilmesi Ve Arayüzey Özelliklerinin İncelenmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., V. 20 (2): ss 183-190, 2005.

[58] Althouse A. D., Turnquist C. H., Bowditch W. A., Bowditch K. E., "Gas Tungsten Arc Welding", Modern Welding, Goodheart-Willcox Pub., pp 327-328 1992.

[59] Doruk, İ., "Gıda Sanayinde Kullanılan Paslanmaz Çelikler ve Bu Çeliklere Uygulanan Kaynak Yöntemleri", Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, ss 71-74, 2005.

[60] Kahraman, N., Durgutlu, A., Gülenç, B., "316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması", Gazi Üniversitesi, Politeknik Dergisi, V 7(3): ss 223-228, 2004.

[61] Kahraman, N., "Modern Kaynak Teknolojisi Ders Notları", Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, ss 1-10, 2009.

[62] Grant, K.,H., "Gas-Tungsten arc welding", ASM Handbook, Welding, Brazing, and Soldering, London, V 6, pp 590-602, 1998.

[63] Department of the Army, Welding Design, Procedures and Inspection, Technical Manuel No:5-805-7,Washington DC. 1985.

[64] Henry O.H. and Clausssen G.E., Welding Metallurgy/Iron and Steel, pp 445-447. 1953.

[65] Askaynak, Çelikler İçin Elektrod Seçimi, Gazaltı Kaynağı, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, İstanbul, 2006.

[66] Yıldırım, M.M., Doğantan, Z.S., Çakan, A., Pakdil, M., Mühendislik Malzemeleri Iıı., Mkü Yayınları, Isbn 975-7989-16-9, İskenderun, ss 1-56, 2001.

[67] Li, Z. and. Fontana, G., Autogenous Laser Welding Of Stainless Steel To Free-Cutting Steel For The Manufacture Of Hydraulic Valves, Journal Of Materials Processing Technology, V. 74, pp 174–182, 1996.

[68] Streicher, M.A., Pitting Corrosion Of 18cr-8ni Stainless Steel, J. Electrochem. Soc. V.103, Issue 7, pp 375-390, 1956.

[69] Aydoğdu G.H., Aydınol M.K., AISI 316L Tipi Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Tanelerarası Korozyona Duyarlılığının Elektrokimyasal Polarizasyon Yöntemiyle Belirlenmesi, 12. Uluslararası Metalurji Ve Malzeme Kongresi, İstanbul, 2005.

[70] Nilsson K., "Corrosion Tests of Stainless Steels in Automative Applications", Doktora Tezi, Lulea University of Technology, İsveç, 2006.

[71] Leffler B., Stainless Steels And Their Properties, Avesta Sheffield AB Research Foundation, Finlandiya, 1998.

[74] Torkar M., Mandrino M., Lamut M., an AES Investigation of Brushed AISI Stainless Steel After Corrosion Testing, Materials And Technology, V. 42, pp 39-44, 2008.

[75] Brooks, J.A., Lippold, J.C., Selection Of Wrought Austenitic Stainless Steels, ASM Metal Handbooks, V. 8. p.424 , 1989.

[76] Kou, S., Welding Metallurgy, Department of Materials Science and Engineering, University of Wisconsin, John Wiley & Sons, Inc., Publication, Second Edition, pp 170-175, 2002.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Oğuz AKGÜL

Doğum Tarihi :1988

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu : Çukurova Üniversitesi Makine Mühendisliği (İngilizce) / 2011

Çalıştığı Kurumlar ve Yıllar: Çukurova Üniversitesi / Araştırma Görevlisi / 2011-2012

MKEK Mühimmat Fabrikası / Makine Mühendisi/ 2012-

Yayınları (SCI) :

Yayınları (Diğer) :

Akgül O., Başyi ğit A. B., Investigating the Microstructural Properties and Hardness Distributions of TIG Welded AISI/SAE 304L Stainless Steel Runners in TNT Filled Ammunutions, International Journal of Engineering Research and Development, 2022.

Araştırma Alanları : Patlayıcı dolum yöntemleri, buster presleme kalıpları tasarımı, paslanmaz çelikler.