



**KAYNAKLANMIŞ PASLANMAZ ÇELİK VE
KARBON ÇELİĞİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNE TANELER ARASI
KOROZYONUN ETKİSİ**

FURKAN ACAR

**2020
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**KAYNAKLANMIŞ PASLANMAZ ÇELİK VE KARBON ÇELİĞİNİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TANELER ARASI KOROZYONUN ETKİSİ**

Furkan ACAR

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**KARABÜK
TEMMUZ 2020**

Furkan ACAR tarafından hazırlanan “KAYNAKLANMIŞ PASLANMAZ ÇELİK VE KARBON ÇELİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TANELER ARASI KOROZYONUN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

.....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10/07/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Üye : Prof. Dr Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Yunus TÜREN (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Furkan ACAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYNAKLANMIŞ PASLANMAZ ÇELİK VE KARBON ÇELİĞİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TANELER ARASI KOROZYONUN ETKİSİ

Furkan ACAR

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Temmuz 2020, 91 sayfa

Bu tez çalışmasının konu kapsamınca nükleer enerji & petrol-doğalgaz rafineri vb. önemli ve hacimli tesislerde kullanılan 300 serisi östenitik paslanmaz çeliklerin içinde %10,5 ile %26 arasında Cr ve minimum %8 ile %36 arasında değişen Ni bulunmaktadır. Ancak östenitik paslanmaz çelikler ısıl işlem veya kaynak etkisi altında kaldıklarında stabilize edilmemiş olan kalitelerde çok hızlı ve yoğun bir şekilde malzeme termal olarak hassaslaşıyor. Bu olayın nedeni 600 °C gibi bir minimum sıcaklığın belirli bir süre malzemeye maruz kalmasıyla tane sınırlarındaki Cr elementi serbest C ile krom-karbür adı verilen bileşiği oluşturur. Dolayısıyla paslanmazlık özelliğini sağlayan Cr tane sınırlarında azalmış olacağından bu sınırlar artık korozyona karşı hassaslaşmıştır. Malzemenin bu denli hasar gördüğünün bilinmesinin ardından farklı önlemler alındı ama bunların dışında; alaşıma az bir miktar stabilizör olarak Ti ve Nb ilavesi yapılmasıyla AISI321 ve AISI347 kalite çelikleri meydana gelmiştir. Bu stabilizatör elementler Cr' a fırsat vermeyip önce kendileri C ile bileşik oluşturarak

serbest dolaşan karbon miktarını düşürüyor. Böylece taneler arası korozyondan engellediği veya yavaşlattığı iddia ediliyor. Üstelik kaynak çürümesine yani taneler arası korozyona karşı stabilize edildiği halde yine de bu stabilize elementlerin yapıda oluşturduğu bir tehdit ihtimali bulunmaktadır. Stabilizör elementlerin oluşturduğu karbür sıcaklığın düşük olduğu iklimlerde kaynak yapısının iki yanındaki dar bir bölgede taneler arası korozyon olayına benzer “Bıçak Hattı Etkisi” meydana gelir. Tüm bunlar düşünüldüğünde bu çalışma neticesinde “321-321”, “316-316”, “321-1020” test borularından alınan numunelere belirli periyotlarda taneler arası korozyon uygulandı ve elde edilen veriler tablo, grafik yoluyla paylaşıldı. Elde edilen genel sonuç neticesinde stabilize edilmiş test numunelerinin çözeltide bekleme sürelerine göre mekanik özelliklerinde azalma meydana geldiği ve kırık yüzey SEM incelemelerinde yüzeyler arasında ciddi farklılıkların olduğu anlaşıldı.

Anahtar Sözcükler : Paslanmaz çelik, TIG kaynağı, östenitik paslanmaz çelik, taneler arası korozyon, çekme testi, charpy test, makro-mikro inceleme.

Bilim Kodu : 91513

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF INTERGRANULAR CORROSION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED STAINLESS STEEL AND CARBON STEEL

FURKAN ACAR

Karabuk University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgy and Materials Engineering

Thesis Advisor

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

July 2020, 91 pages.

In this thesis study scope 300 series stainless steel which are used at the nuclear santrals and oil- natural gas refineries were review. 300 series stainless steels contain Cr between % 10,5 and %26 and Ni with a min of % 8 and % 36. However, when austenitic stainless steels are subjected to heat treatment or welding, the material becomes thermally sensitive very quickly and intensely in unstabilized grades. The reason for this event is that a minimum temperature of 600 ° C is exposed to the material for a certain period of time, and the Cr with free C in the grain borders forms the compound called chromium-carbide. Therefore, since the Cr element, which provides the feature of stainless, will be decreased in the grain boundaries, these boundaries are now sensitive to the corona. After knowing that the material was so damaged, different measures were taken, but apart from these, AISI321 and AISI347 quality steels were formed by adding Ti and Nb as a small amount of stabilizer to the alloy. These stabilizer elements do not allow Cr, but first create a compound with C and reduce the amount of free-running carbon.

Thus, it is claimed to prevent or slow down intergranular corrosion. Moreover, although it is stabilized against welding rot, that is, intergranular corrosion, there is still a possibility of a threat posed by these stabilized elements in the structure. In the climates where the carbide temperature formed by the stabilizer elements is low, a "Knife Line Effect" occurs similar to the intergranular corrosion phenomenon in a narrow area on both sides of the welding structure. Considering all this, as a result of this study, intergranular corrosion was applied to the samples taken from the test tubes "321-321", "316-316", "321-1020" in certain periods and the data obtained were shared by the table and graphics. As a result of the general result obtained, it was understood that the stabilized test samples had a decrease in their mechanical properties compared to the waiting times in the solution and there were serious differences between the surfaces in the broken surface SEM examinations.

Key Words : Stainless steel, TIG weld, intergranular corrosion, austenitic steels, macro-mikro review, tensile test.

Science Code : 91513

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütölmesi ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım yönlendirmeleri ve tavsiyeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Hayrettin AHLATI' ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bu yüksek lisans tez çalıőmasını FYL-2020-2172 proje numarası ile maddi olarak desteklerini esirgemedikleri için Karabük Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Koordinatörlüğü (KBÜ-BAP) birimine teşekkür ederim.

Sevgili aileme ve manevi kardeőtım Fatma KÖZ' e hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları ve olacakları için tüm kalbimle teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
ENERJİ SANTRALLERİNDE VE PETROL-DOĞALGAZ RAFİNELERİNDE KULLANILAN PASLANMAZ ÇELİKLER VE KARBON ÇELİK TÜRLERİ	6
2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ	6
2.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN TANIMI.....	9
2.3. PASLANMAZ ÇELİK KALİTELERİ	14
2.3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler	18
2.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	19
2.3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler (AISI 321 – AISI316- AISI304)	20
2.4. ALAŞIMSIZ KARBON ÇELİKLERİ	29
2.4.1. Düşük Karbonlu Çelikler ($C < 0,25$).....	30
2.4.2. Orta Karbonlu Çelikler ($0,25 < C < 0,55$).....	33
2.4.3. Yüksek Karbonlu Çelikler ($0,55 < C$).....	33
BÖLÜM 3	34
PASLANMAZ VE KARBON ÇELİKLERİNE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	34
3.1. KAYNAK KABİLİYETİ.....	34

	<u>Sayfa</u>
3.2. KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	36
3.2.1. Örtülü Elektrod Ark Kaynağı	37
3.2.2. Gaz Altı Kaynak Yöntemleri	39
BÖLÜM 4	42
KOROZYON TÜRLERİ VE TANELER ARASI KOROZYON	42
4.1. ÜNİFORM KOROZYON (HOMOJEN DAĞILIMLI)	43
4.2. GALVANİK KOROZYON	44
4.3. ARALIKLI KOROZYON (ÇATLAK KOROZYONU)	45
4.4. ÇUKURCUK KOROZYONU (OYUKLU KOROZYON)	46
4.5. SEÇİMLİ KOROZYON.....	48
4.6. GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAĞI	49
4.7. TANELER ARASI KOROZYON	50
BÖLÜM 5	53
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	53
5.1. TANELER ARASI KOROZYON TESTİ	54
5.2. METALOGRAFİK ÇALIŞMALAR	58
5.3. MAKRO/MİKRO ANALİZ.....	59
5.4. SEM-EDX ANALİZİ	60
5.5. BRİNELL SERTLİK DENEYİ.....	60
5.6. ÇEKME/BÜKME TESTİ.....	61
BÖLÜM 6	63
DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUCU	63
6.1. METALOGRAFİK ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI	63
6.2. MAKRO- KIRIK YÜZEY ANALİZ SONUÇLARI	65
6.2.1. 321/321 Numunelerinin Çekme Deneyi Makro Görüntüleri.....	66
6.2.2. 316/316 Numunelerinin Çekme Deneyi Makro Görüntüleri.....	67
6.2.3. 321/St20 Numunelerinin Çekme Deneyi Makro Görüntüleri	69
6.3. BRINELL SERTLİK SONUÇLARI.....	71
6.3.1. 321/321 Numunelerinin Brinell Sertlik Sonuçları	72
6.3.2. 316/316 Numunelerinin Brinell Sertlik Sonuçları.....	73

	<u>Sayfa</u>
6.3.3. 321/St20 Numunelerinin Brinell Sertlik Sonuçları.....	74
6.4. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI	75
6.4.1. 321/321 Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları.....	75
6.4.2. 316/316 Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları.....	76
6.4.3. 321/St20 Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları	77
6.5. EĞME DENEYİ VE GÖZLE MUAYENE SONUÇLARI	78
6.5.1. 321/321 Numunelerinin Eğme Deneyi Gözle Muayene Sonuçları	78
6.5.2. 321/St20 Numunelerinin Eğme Deneyi Gözle Muayene Sonuçları	82
6.6. SEM-EDX SONUÇLARI	84
BÖLÜM 7	87
GENEL SONUÇLAR	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Antik çağlarda kullanılan demir çelik örnekleri	6
Şekil 2.2. Harry Brearley (18 Şubat 1871 - 14 Temmuz 1948), Genellikle " paslanmaz çelik" (daha sonra anglophone dünyasında "paslanmaz çelik" olarak anılacaktır) icadına tanınan bir İngiliz metalürji uzmanıydı.....	8
Şekil 2.3. Medikal paslanmaz çeliklere örnek olarak “kalça protezi”	12
Şekil 2.4. Petrokimya Rafineri Şantiyesi- GazpromNeft Onpz CDU/VDU Complex Project Rusya/Omsk Oblast	12
Şekil 2.5. Kaynaklı Boru Montajı- GazpromNeft Onpz CDU/VDU Complex Project Rusya/Omsk Oblast.....	13
Şekil 2.6. Nükleer enerji santrallerinde kullanılan soğutma sistemlerinin örnek gösterimi	14
Şekil 2.8. Schaeffler diyagramı.....	15
Şekil 2.9. Kimyasal içeriklerine göre paslanmaz çelik kalitelerinin gösterimi.....	16
Şekil 2.10. Ferritik, östenitik, martenzitik ve duplex paslanmaz çeliklerinin morfolojik yapıları	17
Şekil 2.11. AISI 1020 Kalite çeliğin sektördeki kullanılan formları	31
Şekil 2.12. AISI 1020 Kalite karbon çeliğinden TIG kaynaklı kaynakçı test boruları .	32
Şekil 3.1. Kaynak faktörlerinin bağlı olduğu temel faktörler ve onların ilişkisi	35
Şekil 3.2. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler	36
Şekil 3.3. a) Güç kaynağı ve elektrod pensesi, b) örtülü elektrod örneği	37
Şekil 3.4. Elektrod ark kaynağının şematik gösterimi	38
Şekil 3.5. a) TIG kaynak telleri, b) TIG kaynak dikişi, tungsten elektrot ve torç fincanı	40
Şekil 3.6. TIG (Tungsten Inert Gaz) kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	41
Şekil 4.1. Üiform korozyona örnek görseller.....	44
Şekil 4.2. Galvaniz kaplanmış su borularında bağlantılı farklı metaller olmalarından dolayı oluşan galvanik korozyona örnek	45
Şekil 4.3. Aralık korozyonun gerçekleşme prensibi ve bu korozyon tipine örnek	46
Şekil 4.4. Metal malzeme yüzeyinde meydana gelen çukurcuk korozyonu	47
Şekil 4.5. Paslanmaz çelik malzemede korozyona maruz kalan yüzeyde gerçekleşen reaksiyon döngüsü	48
Şekil 4.6. Pirinç vanada oluşan seçici korozyon sonucunda çinkonun alaşımdan uzaklaşması.....	49

Şekil 4.7. Gerilmeli korozyon çatlak morfolojisine örnek.....	50
Şekil 4.8. Tane sınırlarında krom-karbür oluşum mekanizması	51
Şekil 4.9. Kaynak bölgesinin her iki yanında meydana gelen yoğun bıçak hattı etkisi.....	52
Şekil 5.1. Kaynaklı çekme test numunelerinin korozyon deneyi öncesi hazırlanması	53
Şekil 5.2. Taneler arası asit deneyi yönteminin düzeneği.....	55
Şekil 5.3. Hassas terazide ölçülen 50 gr CuSO ₄ (Bakır Sülfat)	56
Şekil 5.4. Çözelti etkileşimini arttırmak için erlenmeyer beherin tabanını kaplayacak şekilde serilen metalik bakır	56
Şekil 5.5. Hazırlanan çözeltinin erlenmeyer behere aktarılmış ve içine numunelerin yerleştirildiğini anlatan görseller	57
Şekil 5.6. Kararmış bakır talaşının nitrik asit çözeltisi içinde bekletilerek yeniden kullanılabilir hale getirilmesi	57
Şekil 5.7. Struers Tegramin-30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.....	58
Şekil 5.8. Elektrolitik dağlama ve çözelti içindeki anot & katot uçları	59
Şekil 5.9. %10 Oksalik asit çözeltisi içerisinde elektrolitik olarak 8.5V ve 60 sn dağlanan kaynaklı numuneler	59
Şekil 5.10. Zoom-70BW Makroskop ve Nikon MA200 mikroskop.....	59
Şekil 5.11. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem.....	60
Şekil 5.12. Jinan Testing HBRV-187.5 Brinell rockwell vickers hardness tester	61
Şekil 5.13. Jinan Testing WAW-600B Universal tensile/bending hydraulic test machine”	62
Şekil 6.1. a) 100x b) 200x Büyütmede AISI 321 kalite çeliğin; HAZ, kısmen ergimiş bölge ve kaynak bölgesini içeren mikro yapı görüntüleri	63
Şekil 6.2. a), b) 200x Büyütmede AISI 321 kalite çeliğin; HAZ, kısmen ergimiş bölge ve kaynak bölgesini içeren mikro yapı görüntüleri	64
Şekil 6.3. a), b) 200x Büyütmede AISI 321 kalite çeliğinin dentririk kaynak yapısı .	65
Şekil 6.4. a)-b) AISI 321 Çeliğinin korozyon çözeltisine daldırılmamış çekme test numunesinin kopma bölgeleri, c)-d) bu bölgelerden alınan yakın görüntüler.....	66
Şekil 6.5. a)-b) AISI 321 Paslanmaz çeliğinin korozyon çözeltisinde 210 saat beklemiş çekme test numunesinin kopma bölgeleri (50x), c)- Kopma bölgesi (100x), d) yoğun korozif aşınmaya uğramış bölgeden alınan yakın görüntü (200x)	66
Şekil 6.6. a)-b)-c)-d) AISI 316 Kaynaklı paslanmaz çeliğinin korozyon çözeltisine daldırılmamış çekme test numunesinin kopma bölgeleri	67

Şekil 6.7. a)-b)-c)-d) AISI 316 Kaynaklı paslanmaz çelik çekme deneyi test numunesinin 56 saat kaynar korozif çözeltide beklemesi sonucu oluşan makro yüzey görüntüleri.....	68
Şekil 6.8. 56. Saat sonunda kaynak bölgesinde korozyon direnci düşük bir noktadan başlayan malzeme kaybının metalin içinde doğru ilerleyerek oyuklaşması	69
Şekil 6.9. Çözeltide bekletilmemiş 321/St20 kaynaklı numune, a)-b) Kopma bölgesinin üst ve yan açılardan görünüşü, c)-d) bu bölgeler ki girinti ve çıkıntılarının yakından görünüşü	70
Şekil 6.10. a)-b)-c)-d) 32 Saat çözeltide bekletilmiş 321/St20 çekme test numunesi kopma bölgesi.....	71
Şekil 6.11. Numune üzerinde sertlik ölçümü yapılan bölgelerin gösterimi.....	72
Şekil 6.12. AISI 321 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre malzeme, HAZ ve kaynak bölgelerinde meydana gelen sertlik değişimleri	72
Şekil 6.13. AISI 316 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre malzeme, HAZ ve kaynak bölgelerinde meydana gelen sertlik değişimleri	73
Şekil 6.14. AISI 321/ St20 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre malzeme, HAZ ve kaynak bölgelerinde meydana gelen sertlik değişimleri	74
Şekil 6.15. AISI 321 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre çekme mukavemetlerinde ve % uzama değerlerinde meydana gelen değişim.....	75
Şekil 6.16. AISI 316 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre çekme mukavemetlerinde ve % uzama değerlerinde meydana gelen değişim.....	76
Şekil 6.17. 321/St20 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre çekme mukavemetlerinde ve % uzama değerlerinde meydana gelen değişim.....	77
Şekil 6.18. AISI 321 Kalite kaynaklı test numunesinin 122 saat çözeltide bekledikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi	78
Şekil 6.19. AISI 321 Kalite kaynaklı test numunesinin 192 saat çözeltide bekledikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi	79
Şekil 6.20. AISI 321 Kalite kaynaklı test numunesinin karbon çeliği eklenerek hassaslaştırılmış çözelti ortamında 212 saat bekledikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.....	80
Şekil 6.21. AISI 321/St20 Kalite kaynaklı test numunesinin 8 saat asit test çözeltisinde bekledikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.....	82
Şekil 6.22. AISI 321/St20 Kalite kaynaklı test numunesinin 8 saat asit test çözeltisinde bekledikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.....	83

Sayfa

Şekil 6.23. Kaynaklı AISI 321 kalite östenitik paslanmaz çelik numunedен alınan SEM görüntüsü	85
Şekil 6.24. Kaynaklı AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelik numunedен alınan SEM görüntüsü	86

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	19
Çizelge 2.2. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	20
Çizelge 2.3. Alaşım ilavelerine göre östenitik paslanmaz çeliklerin gösterimi	22
Çizelge 2.4. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal içerikleri	23
Çizelge 2.5. 321 Östenitik paslanmaz çeliğinin diğer ülkelerdeki gösterimi	23
Çizelge 2.6. 321 kalite östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.....	24
Çizelge 2.7. 321 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri.....	25
Çizelge 2.8. 316 Östenitik paslanmaz çeliğinin diğer ülkelerdeki gösterimi	26
Çizelge 2.9. 316 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.....	26
Çizelge 2.10. 316 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri.....	27
Çizelge 2.11. 304 & 304L Kalite östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi.	28
Çizelge 2.12. 304 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri.....	28
Çizelge 2.13. 304L Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri	29
Çizelge 2.14. AISI 1020 Düşük karbon çeliğinin diğer ülkelerdeki gösterimi.....	31
Çizelge 2.15. AISI 1020 Kalite alaşımsız karbon çeliğinin kimyasal bileşimi	32
Çizelge 2.16. AISI 1020 Kalite alaşımsız karbon çeliğinin mekaniksel özellikleri ..	33
Çizelge 6.1. SEM görüntüsü üzerinde belirtilen noktalardan alınan EDX değerleri	85
Çizelge 6.2. SEM görüntüsü üzerinde belirtilen noktalardan alınan EDX değerleri	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: alüminyum
Mn	: mangan
Si	: silisyum
Fe	: demir
Cu	: bakır
Zn	: çinko
Ti	: titanyum
E	: elastiklik modülü
MPa	: mega paskal
mm ²	: milimetre kare
SEM	: scanner electron microscope

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
AWS	: American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
IIW	: International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)
ITAB	: Isı Tesiri Altında Kalan Bölge
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Paslanmaz çelikler yapısı içerisinde min. %11 oranında (kütlece) Cr elementi ihtiva eden demir alaşımları şeklinde bilinirler. Çelik yüzeyinin üzerinde oluşan ince fakat yoğun CrO tabakası korozif etkiye olan direnci önemli ölçüde artırarak yüksek mukavemet ile birlikte olası oksidasyonun malzeme içine doğru ilerlemesini engeller. Oldukça ince olan bu amorf tabaka sayesinde kimyasal tepkilere karşı aktif olmayan özellik göstererek indirgeme yönü bulunmayan ortamlarda korozyona karşı direnç kazanırlar. Yüzeyde varlığından bahsedilen oksit katmanı oksijen varlığında oluşur. Dış etkenler ile zarar görse bile kendisini onararak ilk haline geri döner. İçerdiği alaşım elementi ilavesine göre farklılık gösteren ve tamamen östenitik veya ferritik aralığında östenitik, ferritik, martenzitik, çift fazlı(dubleks), çökeltme yoluyla sertleşen paslanmaz çelikler olmak üzere beş ayrı sınıfta paslanmaz çelik türü vardır. Tamamen östenitik iç yapıya sahip bir çelik üretmek metalurjistlerin en büyük uğraş alanı olmuştur. Bu çalışma kapsamında da incelenen paslanmaz çelik grubu östenitik gruba ait olan 300 serisi; AISI 304 (08X18H10), AISI 316 (03X17H14M3) ve AISI 321(08X18H10T / 12X18H10T) kalite paslanmaz çeliklerdir. Östenitik paslanmaz çelikler genel itibariyle yapısı içinde %11 ile %27 arasında Cr ve min %8 ile %36 arasında Ni ihtiva ederler. Östenitik yapıda bulunan paslanmaz çelikler piyasada 200 ve 300 serisi olarak da bilinmekte olup manyetik özelliğe sahip değildir. Bu alaşımlar çok iyi seviyede şekillene-bilirlik, korozyon dayanımı ve kaynaklanabilirliğe sahiptirler. İçerdikleri düşük C sebebiyle ısı işleme tabi tutulamazlar. Östenitik yapıda Cr-Ni'li paslanmaz çeliklerin korozyon karşı gösterdikleri dayanım martenzitik ve ferritik yapıdaki Cr'lu paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Ferritik çeliklerde görülen geçiş sıcaklığı altında meydana gelen gevrekleşme östenitik yapı çeliklerde görülmez. Bu tür çeliklerin hem -270 °C'ye kadar (sıfır-altı) olan ve tam tersi yüksek sıcaklıklarda gösterdikleri yüksek mekaniksel özellikler bu çelikleri birçok alanda rakipsiz kılmaktadır.

Kaynaklanabilirlik yetenekleri bakımından paslanmaz çeliklerin genel olarak kaynak kabiliyeti iyi seviyede olup tüm kaynak yöntemleriyle uyum içindedir. Kaynak işlemi sırasında her zaman düşük ısı girdisi ile çalışılması tavsiyesi edildiği için östenitik yapılı paslanmaz çeliklerin düşük elektrik ve ısı iletkenlikleri kaynaklanabilirlik için oldukça yararlıdır.

Endüstride yaygın olarak her alanda kullanılan paslanmaz çelikler (AISI 302, 304, 316, 321, 347) bu gruba dâhillerdir. Çok iyi seviyede mekaniksel özellikler ve korozyon dayanımı sebebiyle doğalgaz, petro-kimya rafinerileri, nükleer enerji santralleri, havacılık ve gıda sektörlerinde paslanmaz çeliklerin kullanımı yaygındır.

304 kalite östenitik paslanmaz çelik bu grup içerisinde dünyada ve günlük hayatımız da en çok kullanılan ve tercih edilen bir kalitedir. Bu kalite aşırı zorlu koşullar için uygun olmasa dahi standart koşullar altında hem korozyon dayanımı hem de mekaniksel özellikler açısından fiyat-performans ürünü olmaktadır. Ancak bu çalışmada da incelenen malzemelerden beklenen; soğuk iklimler de yüksek çalışma sıcaklığında yüksek basınç altında mekaniksel ve korozif özelliklerini koruyabilmek gibi özelliklere sahip olan alaşımlar geliştirme ihtiyacı doğmuştur. Bunun üzerine 304 kalite çeliklere Ni, Mo ve Ti ilave edilerek 316 ve 316L kalite alaşımlar elde edilmiş olup asitli ortamlarda noktasal paslanmaya karşı direnç sağlanmış oldu. Böylece korozif etki sonucu çeliği aşındıran sıvıların tank, saklama ve buhar kazanlarında ve endüstriyel tesislerde kullanılır.

Östenitik çeliğin stabilizasyonu farklı alaşım elementleri ilavesiyle geliştirilmiştir. İlk zamanlarda Rusya ve Alman pazarı için piyasaya AISI 321 (08X18H10T- GOST) kalite östenitik paslanmaz çelik kalitesi sunulmuş olup şuan ülkemizde de birçok önemli projede kullanılmaktadır. AISI 321 östenitik paslanmaz çelik içerik bakımından AISI 304' e Ti ilave edilerek (maksimum %0,7 Ti) stabilize hale getirilmiş olup AISI 304 çeliğinin korozyona ve çok yüksek sıcaklıklarda kullanılmaması (yaklaşık 1100°C gibi) şartıyla 800°C altındaki çalışma sıcaklıklarına ve yüksek basınca dayanabilen versiyonudur. AISI 321 kalite çeliğin yüksek korozyon direncine, iyi derecede sürünme mukavemetine ve yapısında bulunan Ti 'un homojen dağılımından kaynaklanan az da olsa işleme kolaylığından ötürü ısıtma elemanı

boruları, endüstriyel rafineriler gibi yüksek sıcaklık ve korozyon dayanımı gerektiren alanlarda tercih sebebi olmaktadır. AISI 321 östenitik paslanmaz çelik ile ilgili sınırlama ark kaynağında Ti' un ark boyunca iyi aktarılamamasıdır. Bundan dolayı AISI 321 malzeme için kaynak dolgu metali olarak 347 kalite tercih edilir. AISI 347 yapısında bulundurduğu Nb sayesinde AISI 321' deki Ti elementinin yerini alarak karbür oluşumuna engel olur üstelik Nb elementi ark boyunca aktarılabildiğinden dolayı kaynağa engel olmaz. Bu nedenle AISI 347 malzeme nadiren ana malzeme olarak kullanılır.

Bu çalışmanın asıl konusunu oluşturan taneler arası korozyon, metalin tane sınırlarında veya bitişik olan bölgelerinde meydana gelen korozyon türüdür. Metaller genelde kristal yapıdadırlar. Bu kristaller yani taneler arasında kalan dar bölgeler (sınırlarda) atomlar düzensiz halde yer almaktadır. Bu bölgeler metalin korozyona olan dayanımının en düşük olduğu bölgelerdir. Bu korozyon türünü bu çalışma kapsamında açıklamak gerekirse, taneler arası korozyon açısından %18Cr- %8Ni östenitik yapılı paslanmaz çelik oldukça istisnai bir durum sergiler. Bu çelik normal şartlarda korozyona karşı çok dayanıklı olduğu halde 500-800 °C' ye ısıtıldığında korozyona duyarlı hale gelir. Bu konuda yapılan önceki literatür çalışmalarına bakıldığında korozyona olan direncin en zayıf anı 650°C'de bir saat bekletildiğinde kendini gösterdiği belirtilmektedir. Bilindiği üzere paslanmaz çelik paslanmazlık özelliğini sürdürebilmesi için yapısı içinde minimum %12 Cr ihtiva etmesi gerekiyor. Dolayısıyla belirtilen sıcaklık aralığının da tane sınırlarında Cr oranı azalmasına bağlı olarak hassasiyet oluşur. Eğer östenitik paslanmaz çelik bu sıcaklık aralığına ısıtılırsa, bileşiminde bulunan krom, C (karbon) ile etkileşime girerek krom-karbür ($C_{23}C_6$) bileşiği oluşturmaktadır. Oluşan bu bileşik çelik yapısı içinde çözünme göstermeyerek taneler-arasındaki sınır hattı boyunca birikir. Bu birikme eğer çelik %0,02'den daha fazla C ihtiva ediyorsa geçerli olur. Tane sınır hattında biriken $C_{23}C_6$ korozyona uğramaz ancak tane sınır hattında karbür oluşumu sonrası meydana gelen Cr azalması bu sınırları korozyona karşı dayanıksız hale getirir. Östenitik paslanmaz çeliklerde bu olayı en aza indirmek için üç yol bulunmaktadır. Bunlar;

- Isıl işlem uygulanması
- Alaşıma stabilizör elementler ilavesi yaparak karbür oluşumunu engellemek

- Paslanmaz çeliğin ihtiva ettiği karbon oranını %0,03'ün altına düşürmek

Uygulamada en fazla birinci yöntemin popülaritesi fazla olsa bile örneğin bir rafineri inşaatında montaja hazırlanan kaynaklanmış bir boru hattını 1100°C' e kadar ısıtıttıktan sonra suda veya yağda soğutma imkanı mümkün olmamaktadır. Üçüncü seçenek de ise 304L, 316L vb. isimlendirmelerin sonundaki "L" ifadesi "Low Carbon" anlamına gelmektedir. Bu tip çelikler çalışma ortamında bazen istenilen mekaniksel şartları sağlayamaması dışında üretim maliyeti yüksek olması da bir olumsuzluk oluşturmaktadır. İkinci yöntemde belirtilen seçenek aslında bu çalışmada incelenen çeliklerin nasıl oluştuğunu ifade etmektedir; kromdan daha iyi karbür yapıcılar olan Ti ve Nb gibi metaller katılarak AISI321 ve AISI347 çelikler üretilmiştir. Böylece malzemenin kaynak işlemi sırasında uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunun da karbonla bileşik oluşturup serbest karbon miktarını düşürerek krom-karbür oluşumunu engellendiği belirtiliyor.

Ancak literatür taramalarından ve saha gözlemlerinden elde edilen verilere bakıldığında enerji & rafineri tesislerinde oluşan arızaların büyük çoğunluğu imalat/montaj sırasında termal olarak hassaslaşan yüksek karbonlu 300 serisi östenitik paslanmaz çeliklerden oluşmuştur. Boru hatlarının imalatı ve montajı sırasında yapılan kaynak WPS'ine göre yapılan kaynaklı birleştirmeler her şantiyede olduğu gibi inspektörlerin onayından geçtikten sonra satışa gönderilmeden tahribatsız muayene testlerinden "OK" almak zorundadır. Bu aşamada kaynak bağlantısına Radyografik Muayene ve Ultrasonik Muayene ile gözenek, nüfusiyetsizlik gibi iç yapıdaki kaynak hataları incelenir ve ardından yüzeydeki çatlak, gözenek vs. hataları belirlemek için sıvı penetrant muayenesi yapılır. Ama eğer malzeme yüksek ısıdan dolayı tane sınırlarında oluşabilecek karbür birikimiyle termal olarak hassaslaştı ise bu durumda bunun belirlenebilmesi mümkün değildir. Östenitik paslanmaz malzemeler ısıl işlem sonucu sertleşebilen çelikler olmadığı için yüzey sertlik ölçümlerinde de uygun değerler arasında çıkma ihtimali bulunmaktadır.

Dolayısıyla tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda taneler arası korozyona karşı Ti ilavesi ile stabilize edilmiş AISI 321 kalite Ø219mm çapında ve 6 mm kalınlığında test borusu Nb ilavesiyle stabilize edilmiş ER347Si kalite tel kullanılarak TIG kaynağı

ile birleştirilmiştir. Bu test numunesinin yanında korozyon testinin mekanik özelliklere etkisini farklı malzeme gruplarında görmek ve kıyaslamak için “AISI316”, “AISI321-1020(C22) / Сталь20” ve “1020 (C22) / Сталь20” boruların alın kaynakları TIG yöntemiyle kaynatılmıştır.

Boruların kaynaklanması, numunelerin hazırlanması, testlerin gerçekleştirilmesi Rusya'nın Omsk Bölgesinde devam eden doğalgaz işleme rafinerisi şantiyesine tahribatlı test laboratuvar hizmeti veren akredite bir laboratuvar bünyesinde bizzat proje araştırmacısı tarafından gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı yapılan tüm testler ve bunların numuneleri GOST standartlarına uygun olarak hazırlandı.

Ardından “321-321” test borusundan 6 adet çekme ve 6 adet eğme test numunesi ile 6 adet çentik darbe test numunesi ve makro/mikro analiz/ sertlik testleri için numuneler alındı. GOST 6032-2017 [EN ISO 3651-2:1998] standardında belirtilen prosedürde AMU metoduna göre; 1000 ml Saf su + 250 ml H₂SO₄ (Sülfürik Asit) + 50 gr CuSO₄ bileşenleri karıştırılıp süreci hızlandırmak için erlenmeyer şişenin tabanına bakır talaşı serilerek asit test çözeltisi hazır hale getirildi. Kaynar asit test çözeltisi içerisinde aynı kalitede çelikler olmak şartıyla bakıra temas halinde birden fazla numune bekletilebilir. Dolayısıyla numuneler bağlanarak şişenin içine bırakıldı. Maksimum 24 saat kaynar çözelti içinde bekletilen ilk deneme de mekaniksel özelliklerde önemli değişiklikler meydana gelmemiştir. İkinci deneme de literatür taramaları da dikkate alınarak ilk çekme testi 110 saat bekledikten sonra yapılmış olup 20 şer saatlik periyotlarla 210'uncu saate kadar devam ettirildi. Bu proses periyotları aynı olmamak ile tüm test gruplarına uygulanmıştır. Test sonuçlarını genel olarak bakıldığında her malzeme grubunda çekme testi, kırık yüzey analizi, çentik darbe deneyi ve sertlik ölçümlerinin ilk ve son değerlerinde ciddi değer kayıpları görüldüğü saptanmış olup ayrıntılı olarak makro-mikro incelemelerin desteğiyle tartışılıp değerlendirilerek tez içeriğinde ifade edilen çözüm önerileri belirlenmiştir.

BÖLÜM 2

ENERJİ SANTRALLERİNDE VE PETROL-DOĞALGAZ RAFİNELERİNDE KULLANILAN PASLANMAZ ÇELİKLER VE KARBON ÇELİK TÜRLERİ

2.1. PASLANMAZ ÇELİKLERİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Paslanmaz çeliklerin geçmişi ve ilk üretimi yaklaşık olarak 1700'lü yılların sonuna uzanmaktadır. Bu yılların başında Farraday, Storrard ve Pierre Berther girişimiyle ilk defa Fe-Cr içeren alaşımların asitlere karşı dirençli olduğu saptanmış ancak ihtiva ettikleri Cr oranının yetersiz kalması istenilen paslanmazlığa ulaşmayı geciktirdi. Dolayısıyla bunun karşısında çeliğin ihtiva etmesi gereken karbon miktarı nihai miktara ulaşamamıştır. Çeliklerin içerisinde bulundurduğu karbon oranı artışı da ne kadar fazla olursa çeliklerin korozyon dayanımı bu durumdan her zaman olumsuz etkilenmiştir.



Şekil 2.1. Antik çağlarda kullanılan demir çelik örnekleri.

Antik çağlardan bu yana kullanılan tüm çelik malzemelerin korozyona karşı gösterdikleri direncin düşük olması her zaman için sorun teşkil etmiştir. Çok eski

zamanlarda çeliğin direncini arttırmak için yetersiz olsa bile fosfor gibi elementler çelik içine eklenmekteydi. Çeliklerin özelliklerini geliştirmek için bu amaçla antik çağlardan bu yana çok sayıda deneme gerçekleştirilmiştir. Bu elde edilen bütün tecrübelerin ardından tarihte kaydedilmiş ilk paslanmaz özellikte çelik patentini 1871 yılında M. Wwoods ve J. Clark bilim adamlarının girişimiyle alınmıştır. Patenti alınan bu paslanmaz çelik yaklaşık olarak %30-35 arasında Cr ve %2 oranında W ihtiva etmekteydi. Patenti alınan bu paslanmaz çelik asit ile yağmur sularına karşı direncini korumaktaydı ancak paslanmazlık açısından randımanlı bir dayanım gösteremiyordu.

Bu çalışmaların ardından paslanmaz çelik üzerine yapılan araştırmalar hız kazandı ve 1874 yılının sonlarına doğru bilim insanı Brustlein paslanmaz çeliklerin yapısında ihtiva etmesi gereken C ve Cr oranı üzerine çalışmalarına başladı. Test ve araştırmaların sonucunda bu bilim insanı paslanmaz çelik yapısındaki C/Cr oranının çok önemli olduğuna ve hatta bu oranın malzemenin içyapısına dahi etki ettiğine kanaat getirdi. Brustlein'in saptadığı en önemli sonuçlardan birisi, paslanmaz çeliklerde C oranının %0,15'i geçmeyecek şekilde ayarlanması gerektiğidir. Brustlein' in bulunduğu bu bulgular günümüzde üretilen paslanmaz çeliklerin temelini oluşturmaktadır.

Demir alaşımlarının ve paslanmaya karşı dayanıklı çeliklerin kullanımının global manada giderek yaygınlaşması birçok bilim insanının ilgisini çeken bir hadiseydi. Tüm bu çalışmaların neticesinde 19. Yüzyılın sonlarına doğru Alman bir bilim adamı olan Hans Goldschmidt çok az miktarda karbon içeren çeliğin üretmeyi başarmıştır. Böylece ilk ferro-krom malzemelerin üretimi bu bilim insanının ürettiği eser değerinde C içeren paslanmaz çelikler ile gerçekleşti. Paslanmazlık ve korozyon dayanımı gibi kritik özelliklere sahip olan ferro-krom malzeme Cr ve Fe baz elementlerinden elde edilmiştir. Bu malzemelerin üretimi ve kullanımı paslanmaz çeliklerin gelişmesi için çok önemli bir aşama olmuştur. Leon Gulliet, Fransız asıllı bir bilim insanı olarak yaklaşık 1904 yılında, şu an günümüzde kullandığımız birçok martenzitik ve ferritik yapılı paslanmaz çelik kalitelerini ilk kez üreten kişidir. Bu çelikleri AISI standartlarına göre üreten Gulliet 1800'lü yılların sonuna doğru AISI 410, 420, 440, 442 ve 446 gibi martenzitik yapılı paslanmaz çelikler üretmiştir.

Martenzitik yapılı paslanmaz çeliklerin imalinin ardından Gulliet 1905 yılının sonuna doğru üretilen 300 serisi östenitik yapılı paslanmaz çeliklerin üretimine önemli katkıları olmuştur.

Globalleşen dünyada kullanımları giderek artan paslanmaz çelikler bu alanda yapılan araştırmaların ve geliştirmelerin artmasına sebep olmuştur. I. Dünya Savaşı'ndan hemen önceki sıkıntılı yıllarda İngiltere'de silah üretiminde önemli artışlar yaşandı ancak silah fiçilerinin iç yüzeyinin erozyonu (aşırı aşınma) nedeniyle uygulamada sorunlar yaşandı. Harry Brearley, bu yüksek sıcaklıkların neden olduğu erozyona daha iyi dayanabilecek yeni çelikler araştırmaya başladı. Buradan yol çıkarak malzemenin ergime noktasını yükselttiği bilinen çeliğe standart karbon çeliklerine kıyasla krom (Cr) eklenmesini incelemeye başladı.



Şekil 2.2. Harry Brearley (18 Şubat 1871 - 14 Temmuz 1948), Genellikle "paslanmaz çelik" (daha sonra anglophone dünyasında "paslanmaz çelik" olarak anılacaktır) icadına tanınan bir İngiliz metalürji uzmanıydı.

Bu araştırmada, karbon (C, ağırlıkça %0,2 civarındaki konsantrasyonlarda) ve krom (Cr, ağırlıkça %6 ila 15 aralığında) seviyelerinin değiştirilmesinin etkilerini ölçmeye odaklandı. Deneysel alaşımların (bir çeliğin mekanik özelliklerinden sorumlu ana faktör) mikro yapısını incelemek için metalografi yapmak için üretilen metalik numunelerin parlatılması ve aşındırılması gerekiyordu. Bir karbon çeliği için, gerekli dağlamayı üretmek için alkol içinde seyreltik bir nitrik asit çözeltisi yeterlidir, ancak

Brearley yeni krom çeliklerinin kimyasal saldırılara karşı çok dirençli olduğunu keşfetti [1].

Bu aşamadan sonra korozyona karşı bir miktar direnç kazanmasına rağmen halen üreticilerin ihtiyaçlarını karşılamayan noktalar vardı. Dolayısıyla bu alandan oldukça fazla ARGE çalışması yapan alman Krupp Iron Works firması Brearley'in ürettiği çelik alaşımına Ni elementi ilavesi yaparak yeniden testlere tabi tuttu. Yapılan testler sonucunda C-Cr-Ni ihtiva eden bu çelik süneklik, mukavemet, sertlik ve korozyon direnci bakımından önceki çeliklerden çok daha iyi özellikler sergilemekteydi. Ancak bu girişim Almanya'nın I. Dünya Savaşına girmesiyle oldukça ertelendi ve sekteye uğradı.

Günümüz endüstrilerinde kullanılan çoğu paslanmaz çelik kalitelerinin temellerinin 1913-1935 yılları arasında olduğu kabul edilmektedir. Şu anda günümüzde aktif olarak kullanılan 150'den fazla paslanmaz çelik kalitesi bulunmaktadır.

2.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN TANIMI

Günümüzde nükleer enerji santralleri, termik santraller ve doğalgaz-petrol işleme rafinerilerin de bu malzemelerin tercih edilmesinin en önemli sebepleri yüksek sıcaklıklara (maks. <1000 °C), yüksek basınçlara ve korozyif ortamlara karşı dayanıklı olmalarındandır. Bu özelliklerin en başında korozyif ortamda çeliğin mekanik özelliklerini kaybetmeden sergiledikleri korozyon direnci gelir. Paslanmaz çelikler buldukları çeşitli formlarda dahi sahip oldukları işlenebilme, şekil verilebilme ve çeşitli kaynak yöntemleri ile başarılı bir biçimde kaynaklanabilmelerinden dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptirler. Genel olarak tanımlamak gerekirse:

Paslanmazlık özellik gösteren çeliklerin hava ile teması halinde yüzeyinde ayrılması zor, sünek, çok ince ve yoğun yapılı saydam bir CrO katmanı oluşur. Bu katman korozyif etkilere karşı yüksek direnç sağlamakla birlikte oluşabilecek oksidasyonun da malzemenin içine doğru ilerlemesine engel olarak paslanmayı durdurur. Malzemenin işlenmesi veya kullanılmasına bağlı olarak bu tabakanın bütünlüğü bozulduğu durumlarda kendi kendini onararak aynı özelliklere tekrar kavuştuğu gözlemlenmiştir.

Düşük alaşımlı paslanmaz çelik kaliteleri daha çok atmosferik etkenlere (doğal su, hava vb.) karşı dayanım gösterirken yüksek alaşımlı kaliteleri ise klorür ve alkali çözeltiler içeren ortamlara bile direnç gösterir.

Paslanmaz çelikler bilindiği haliyle yüksek mekaniksel özellikler sergilediği bilinirken farklı uygulama alanları için farklı mekanik özelliklere sahip kalite türleri de mevcuttur. Yapıları içinde bulunan C, Ni, Mo, S, Ti, Cu, V, Nb, N, W, Mn gibi alaşım elementlerinin ilavesi veya çıkarılması durumunda çelik farklı mekaniksel özelliklere kavuşmaktadır [2].

Krom (Cr): Paslanmazlık özelliği gösteren çeliklerin ihtiva ettiği başrol elementi olarak bilinmektedir. Yapı içinde ferrit oranını dengeleyici olarak görev yaptığından dolayı %20' ye kadar Cr içeren çelikler ferritli bir morfolojiye sahip olup, %20 ve daha fazla Cr ihtivasisi ile sigma evresi başlar. Ayrıca Cr elementi güçlü bir karbür yapıcıdır.

Karbon (C): Çelik yapısı içinde östenit dengeleyici özelliğe sahiptir. Malzemeni akma, çekme ve sertlik değerlerini artırmasıyla malzeme dayanımı artar.

Nikel (Ni): Yapı içerisinde %8' e ulaştığında diyagram üzerindeki östenit bölgesini iyice genişletir ve çelik östenitik iç yapıya kavuşur. Alaşım elementi olarak ilavesiyle birlikte düşük ve yüksek sıcaklıklarda malzeme dayanımını arttırmasıyla birlikte korozyona karşı direnci de artırır.

Silisyum (Si): Oksitlenme olan direnci artırmasıyla birlikte ısıya dayanıklı çelik kalitelerinde mutlaka kullanılır. Ayrıca ferrit miktarını dengeleme özelliği vardır.

Alüminyum (Al): Isıya karşı dayanım gerektiren alaşımlarda kullanılır. Yapı içine katılan Si' un etkisini güçlendirir.

Molibden (Mo): Asit ve klorür içeren ortamlarda paslanmazlık özelliği gösteren çeliğin korozyon ortamına karşı direncini arttırır.

Wolfram (W): Yapı içinde karbür oluşturucu ve ferrit miktarını dengeleyici olarak bulunur. İlave edildiği malzemenin mekanik özelliklerinde olumlu değişim sağlar.

Titanyum (Ti) ve Niobyum (Nb): Yapıda karbür oluşturduklarından dolayı östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon ortamda duyarlılaşmasını önlemek için eklenirler.

Mangan (Mn): Östenit miktarını dengeleme açısından Ni elementi ile benzerdir. Paslanmaz çeliğin mekaniksel özelliklerini geliştirdiğinden Ni elementinin ekonomik muadili olarak da kullanılabilir.

Nitrojen (N): Yapı içinde C elementine benzer bir işlev görerek östenit oranını dengeler. Bazı durumlarda Ni elementinin ekonomik muadili olarak da kullanılabilir.

Bakır (Cu): Etkisi oldukça düşük bir östenit miktarı dengeleyicidir. Korozyon direncini arttırmak için bazı durumlarda östenitik paslanmaz çeliklerin yapısına katılır.

Sülfür (S): Paslanmaz çeliklerin işlenebilme kabiliyetini artırır ancak korozyona olan direnci ve kaynak edilebilmeyi düşürür [2].

Şekillendirme ve talaşlı imalat proseslerinin her biri için uygun olarak imal edilmiş paslanmaz çelik kaliteleri mevcuttur. Paslanmaz çeliklerin uygun biçimde kullanımı için, amaç ve ihtiyaçları karşılayacak en uygun paslanmaz çelik kalitesinin seçilmesi gerekmektedir.

Paslanmaz çelikler farklı alaşım elementleri ilavesiyle sahip oldukları mekaniksel özellikler sayesinde diğer malzemelere nazaran daha küçük boyut ve çaplar aynı işlevi sağladıklarından dolayı maliyet yükünden de tasarruf oluşturmaktadır. Doğru yerde doğru kalite de kullanılan paslanmaz çelikler ne olursa olsun alternatiflerine göre daha randımanlıdır. Fiyat bakımından sıradan çeliklerden maliyetli olmasına karşın burada söz edilen tasarruf uzun vadede hesaplanan miktardır çünkü paslanmaz çelikler az bakım istemesi, bakım maliyetlerinin düşük olması ve uzun ömürlü olması gibi herkesin beklediği avantajlara sahiptir. Bu sebeple toplam ömür maliyetleri düşük olduğu için uzun vadede sıradan karbon çeliklerinden daha ekonomiktir. Ayrıca

paslanmaz çelikler farklı ortamlarda dahi oksitlenmediğinden dolayı medikal, gıda vb. sektörlerde çok yaygın kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Medikal paslanmaz çeliklere örnek olarak “kalça protezi”.

Paslanmaz çeliklerin diğer bir önemli endüstriyel kullanım alanı ise petrokimya, doğalgaz ve enerji rafinerileridir. Yapı çeliği ve çoğunlukla boru şeklinde kullanılan bu çelikler bu sektörde kaynaklı imalat ile kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. Petrokimya Rafineri Şantiyesi- GazpromNeft Onpz CDU/VDU Complex Project Rusya/Omsk Oblast.

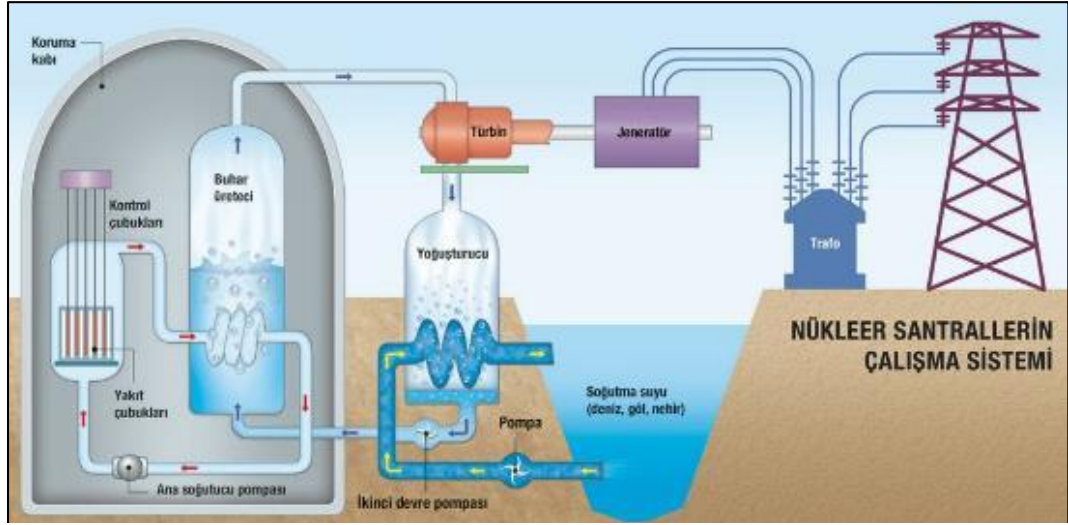
Özellikle bu tip tesislerde sık kullanılan çelik ve paslanmaz çelik borulamaların diğer kullanım alanları gemi inşa sanayi, gıda endüstrisi, savunma sanayi, rafineriler, petrokimya sanayi, inşaat, yangın söndürme sistemleri başlıca alanlar olarak sayılabilir.



Şekil 2.5. Kaynaklı Boru Montajı- GazpromNeft Onpzd CDU/VDU Complex Project Rusya/Omsk Oblast.

Liman işletmeleri, petrokimya ürünlerinin üretimi, transfer ve saklanması, fabrika ve barajlarda kullanılan vazgeçilmez malzemelerdendir. Asit, tuz, petrol ve bazalt içerikli kimyevi ürünler ile uygun kalitede malzeme kullanıldığı takdirde sorunsuz çalışır. Bu boruların en büyük avantajı yıllar geçse dahi korozyona uğramaması ve dış etkenlerden kendini koruyabilmesidir.

Örneğin birçok nükleer enerji santrali kıyılarda bulunmakta olup bunun asıl sebebi soğutma suyu ihtiyacını deniz suyundan karşılamaktır. Ve bu tuzlu suyun aşındırma etkisine dayanabilecek korozif direnci yüksek paslanmaz çelik borular kullanılmaktadır. Nükleer güç kaynağı olan borular, denizden çektiği soğutma suyunu reaktör teknesine ve harcanmış yakıt havuzuna taşır ardından buharın ana türbine taşınması, ana jeneratörlerin soğutulması için hidrojen gazı sağlanması, acil dizel jeneratörlere yakıt ve yağlama yağı tedarik edilmesi, yangın sprinklerin söndürülmeye hazır hale getirilmesi gibi birçok hayati bölümlerden geçer.

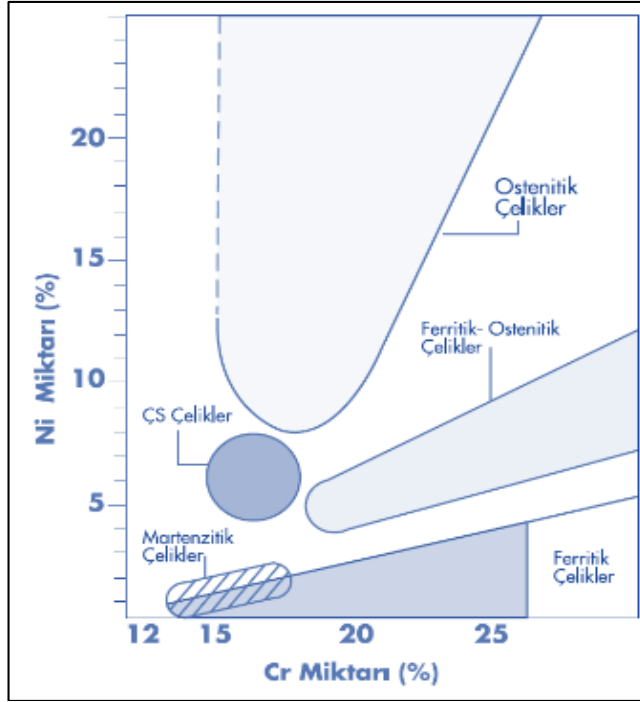


Şekil 2.6. Nükleer enerji santrallerinde kullanılan soğutma sistemlerinin örnek gösterimi.

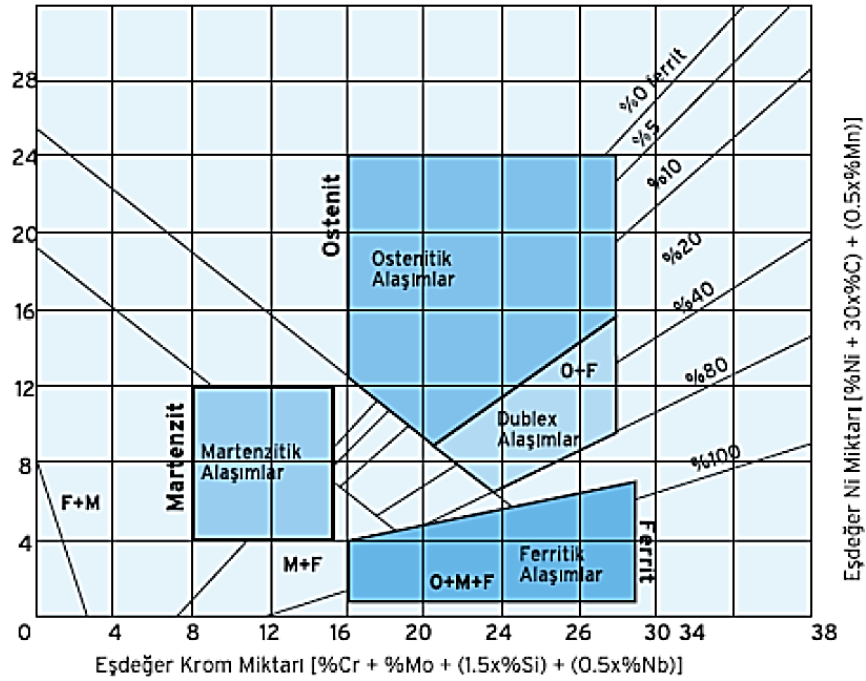
Paslanmaz çelik borular sahip oldukları yüksek mekanik dayanım sayesinde yüksek gerilimli noktalarda ya da yüksek basınç altında da güvenli kullanım imkânı sunar.

2.3. PASLANMAZ ÇELİK KALİTELERİ

Paslanmaz çelikler farklı alaşım elementleri ile alaşımlanarak farklı kimyasal ve mekanik özellikte malzemeler elde edilmesine imkân verir. Örneğin yapısındaki Cr, Mo ve Ni gibi alaşım elementleri eklenerek çeliğin korozyona olan dayanımında pozitif değişimler sağlanabilir. Bunların dışında Cu, Ti, Al, Si, N, S ve Se gibi elementlerde ilave edilerek farklı özelliklerde malzemeler elde edilebilirler. Bu şekilde mekanik özelliklerde tercihe göre farklı opsiyonların olması makine tasarımcıları için en uygun çelik kalitesini seçebilmeleri anlamına gelir. Ancak bu çeliklerin morfolojisini tayin eden en önemli elementler Cr, Ni, Mo ve Mn'dır. Öncelikli olarak Cr ve Ni ise iç yapının östenitik olmasını belirler [3].



Şekil 2.7. İçerdikleri %Cr ve %Ni element miktarlarına göre paslanmaz çelik türlerini gösteren diyagram.

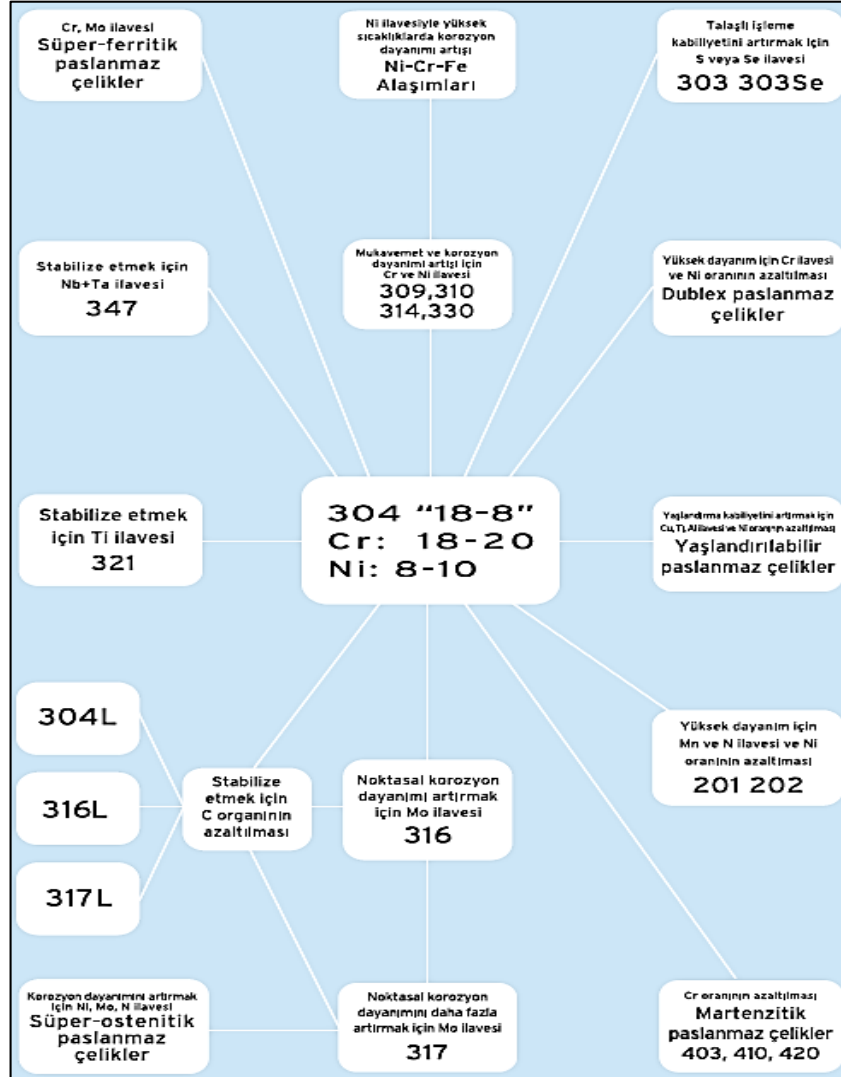


Şekil 2.8. Schaeffler diyagramı.

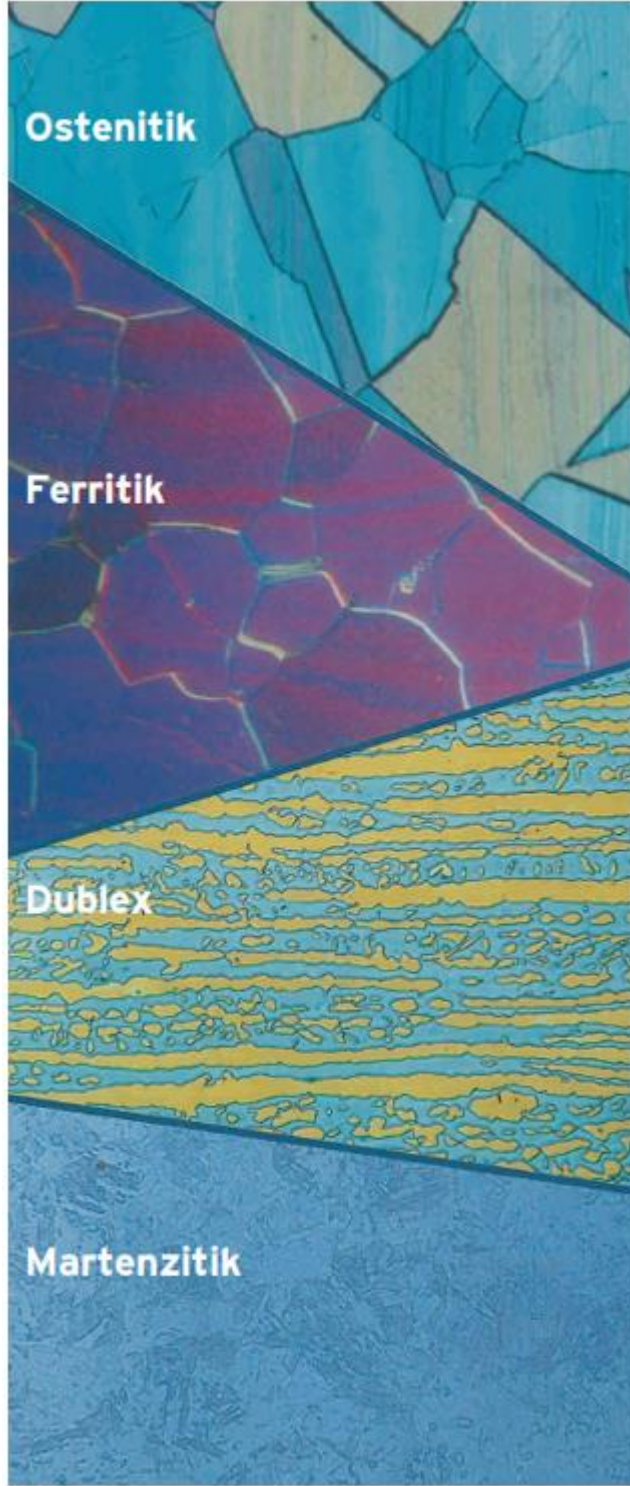
Paslanmaz çelikler morfolojilerine göre beş ana sınıf altında toplanır:

- Ferritik
- Martenzitik
- Ostenitik
- Ferritik-Östenitik (Dubleks)
- Çökelme sertleşmesi uygulanabilen alaşımlar

Östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler hem sınıflandırma en yaygın kullanılan olup tüm paslanmaz çelik türleri içinde kullanım alanları %95 dolaylarındadır.



Şekil 2.9. Kimyasal içeriklerine göre paslanmaz çelik kalitelerinin gösterimi.



Şekil 2.10. Ferritik, östenitik, martenzitik ve duplex paslanmaz çeliklerinin morfolojik yapıları.

2.3.1. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bu grup çelikler düşük C' lu ve %12-18 Cr ihtiva eden paslanmaz çeliklerdir. YMK tane yapısına sahip ostenitik paslanmaz çelikler ile karşılaştırıldığında, ferritik çelikler HMK yapıya sahiptir. Başka bir deyişle bu tip çeliklerin kristal yapısı, merkezinde atom bulunan kübik bir yapıdan oluşur.

Bu tane yapısı α -Fe' e özgü olup ferritik çeliklerin manyetik özelliğe sahip olmasını sağlayan durumdur. Ferritik paslanmaz çeliklerin katı halde faz dönüşümü olmadığından ısıtılma işlemiyle sertleştirilemez veya daha mukavemetli hale getirilemezler.

Bunun sebebi içerdikleri karbon (C) oranının %0,2 den düşük olmasıdır. %0,2 den daha az karbon içeren çelikler ısıtılma yoluyla sertleştirilmezler.

Ancak gerilmeli korozyon çatlağına karşı iyi direnç göstermekte olup tavlama ile soğuk işlenebilir ve yumuşatılabilir [4].

Ayrıca kaynak edilebilme kabiliyetleri düşük olup ostenitik çelikler kadar kolayda şekillendirilemezler. Talaşlı şekillendirilebilme kabiliyetleri de martenzitik paslanmaz çeliklerden daha iyidir [5]. Akma gerilmeleri de ısıtılma işlemi gördükten sonra yaklaşık olarak 275-350 MPa aralığındadır.

Ferritik yapılu paslanmaz çelikler mekanik özellikleri değiştirilemediği için iyi bir mekaniksel özelliklere sahip olmaları için ince taneli iç yapıya sahip olmaları gerekir. %11-30 arasında Cr ve düşük miktarda C (~ %0,08) içerirler. Karbon (C) kuvvetli östenit yapıcı olduğundan dolayı yapı içinde belli bir orana ulaşıncaya Cr elementinin ferrit oluşturucu etkisi azalır, bu yüzden perlitik veya martenzitik morfolojiye sahip paslanmaz çelikler oluşur. Ferritik iç yapıya sahip çelik isteniliyorsa C ile Cr oranında artırılması gerekir. Bu mantıkla üretilen ferritik iç yapıya sahip paslanmaz çeliklerin kullanım alanları tamamen ihtiva ettiği Cr oranına bağlıdır [6].

Çizelge 2.1. Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.

TİP	BİLEŞİM %							
	C	Mn	Cr	Ni	Si	P	S	DiĞER
405	0,08	1,00	11,5-14,75	-	1,00	0,04	0,03	0,10-0,30 Al
409	0,08	1,00	10,5-11,75	-	1,00	0,04	0,03	6X%C Ti min
429	0,12	1,00	14,0-16,0	-	1,00	0,04	0,03	-
430	0,12	1,00	16,0-18,0	-	1,00	0,04	0,03	-
434	0,12	1,00	16,0-18,0	-	1,00	0,04	0,03	0,75-1,25 Mo
436	0,12	1,00	16,0-18,0	-	1,00	0,04	0,03	0.75-1.25Mo,5X%C Nb+Ta
442	0,20	1,00	18,0-23,0	-	1,00	0,04	0,03	1.75-2.5Mo,0.035N, 0.2+4X%(C+N) Nb+Ti
444	0,025	1,00	17,5-19,5	1,00	1,00	0,04	0,03	-
446	0,20	1,50	23,0-27,0	-	1,00	0,04	0,03	0.25N

Ferritik paslanmaz çelikler maliyetli bir element olan Ni elementi içermediğinden dolayı önemli bir avantaja sahip olarak östenitik paslanmaz çelikten daha ekonomiktir [5]. Bu çelik türü dünya paslanmaz çelik tüketiminin %30'unu oluşturarak ikinci sırada yer almakta olup kolayca şekillendirilerek levha ve sac haline getirildikten sonra yüksek korozyon direncine de sahip olmanın etkisiyle toplu yaşam yerlerinde, mutfak ve gıda eşyalarında, depolama tanklarında, iç ve dış dekorasyonlarda kullanılır.

2.3.2. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik iç yapılı paslanmaz çelikler yüksek sıcaklıklarda YMK kafes yapısındaki östenitin ani soğutulması sonucu HMT kafes yapısına martenzit olarak dönüşür. Bu grup çelikler bileşimlerinde Cr <%16 ve %0,15-1,2 oranlarına karbon (C) içermekte olup genellikle tavlama ısıl işleminden geçmiş halde kullanılırlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hız eğrilerinin diyagramda sağ tarafa yakın olmalarından dolayı sakin hava ortamında yavaş soğuma halinde dahi yapılan soğutma işlemlerinde

çelik martenzitik iç yapıya kavuşabilir. Dönüşen iç yapının korozyona karşı dirençleri çok iyi olup 820 °C' ye kadar paslanmazlık özelliklerini kaybetmezler. Fakat kullanım alanına göre uzun süre üst sıcaklıklara maruz kaldıklarında korozyon başlangıcı görülebilir. Bu sebeple martenzitik paslanmaz çeliklerin endüstride 700 °C'nin üzerinde uzun süre kullanımları önerilmez bunun yerine yüksek çekme, yorulma, aşınma ve sürünme dayanımı gerektiren, orta derecede korozif ve maksimum 649 °C' ye kadar olan aşanjörler, buhar türbinleri, subaplar, tatlı sularda, kimya ve petro-kimya alanlarında kullanılmaları önerilir. Martenzitik paslanmaz çelikler ayrıca manyetik olup kaynak edilebilme kabiliyetleri düşüktür [7].

Çizelge 2.2. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.

TİP	BİLEŞİM %							
	C	Mn	Cr	Ni	Si	P	S	DiĞER
403	0,15	1,00	11,5-13,0	-	0,50	0,04	0,03	-
410	0,15	1,00	11,5-13,0	-	1,00	0,04	0,03	-
414	0,15	1,00	11,5-13,5	1,25-2,50	1,00	0,04	0,03	-
416	0,15	1,25	12,0-14,0	-	1,00	0,04	0,03	-
420	0,15 min	1,00	12,0-14,0	-	1,00	0,04	0,03	-
422	0,20-0,25	1,00	11,0-13,0	0,5-1,0	0,75	0,25	0,025	0,75-1,25Mo, 0,25-0,15W, 0,15-0,3 V
431	0,20	1,00	15,0-17,0	1,25-2,50	1,00	0,04	0,03	-
440A	0,60-0,75	1,00	16,0-18,0	-	1,00	0,04	0,03	0,75Mo
440B	0,75-0,95	1,00	16,0-18,0	-	1,00	0,04	0,03	0,75Mo
440C	0,95-1,20	1,00	16,0-18,0	-		0,04	0,03	0,75Mo

2.3.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler (AISI 321 – AISI316- AISI304)

Östenitik paslanmaz çelikler endüstride en çok kullanılan paslanmaz çelik türü olup 200 ve 300 serisi kaliteleri içerirler bunlar içerisinde piyasada en çok rağbet göre 304 kalite östenitik paslanmaz çeliktir. Oda sıcaklığında ve daha yüksek sıcaklıklarda

yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip bundan dolayı manyetik özellik göstermezler bu grup içerisinde günlük yaşamımızda ve gıda araç gereçlerinde sıklıkla kullandığımız % 18 Cr, %8 Ni içeren çeliklerdir. Her bir östenitik paslanmaz çelik içerdiği alaşım elementi ilavesine göre farklı kalite isimleriyle anılır ancak genellikle % 12-%25 aralığında Cr, %8-%35 aralığında Ni ve yaklaşık %2'ye kadar Mn içerirler. Ni ve Mn elementleri temel östenit yapıcı elementler olarak görev yapar. Ni elementi malzemeye süneklik, geniş sıcaklık aralığında çalışma imkânı ve iyi kaynaklanabilirlik kazandırır.

Östenitik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklarda aynı iç yapıya sahip olduklarından dolayı ısı işlem yoluyla su verilerek sertleştirilemezler ancak tavlama yoluyla şekillendirebilme kabiliyetleri, süneklikleri, tokluklarında gelişme görülebilir. Bu tip çeliklere mukavemet kazandırmak ancak soğuk şekillendirme yoluyla mümkün olabilir ancak bu yöntemde şekil değişimine bağlı olarak pekleşme sırasında martenzit oluşumu görülebilir ve bu oluşum çeliği az da olsa manyetikleştirir. Yine de gerek kalite yönünden gerekse alaşım elementlerinin oran çokluğu açısından hem en zengin paslanmaz çelik grubu olup hem de en çok tercih edilen çelik kalitelerini içerirler.

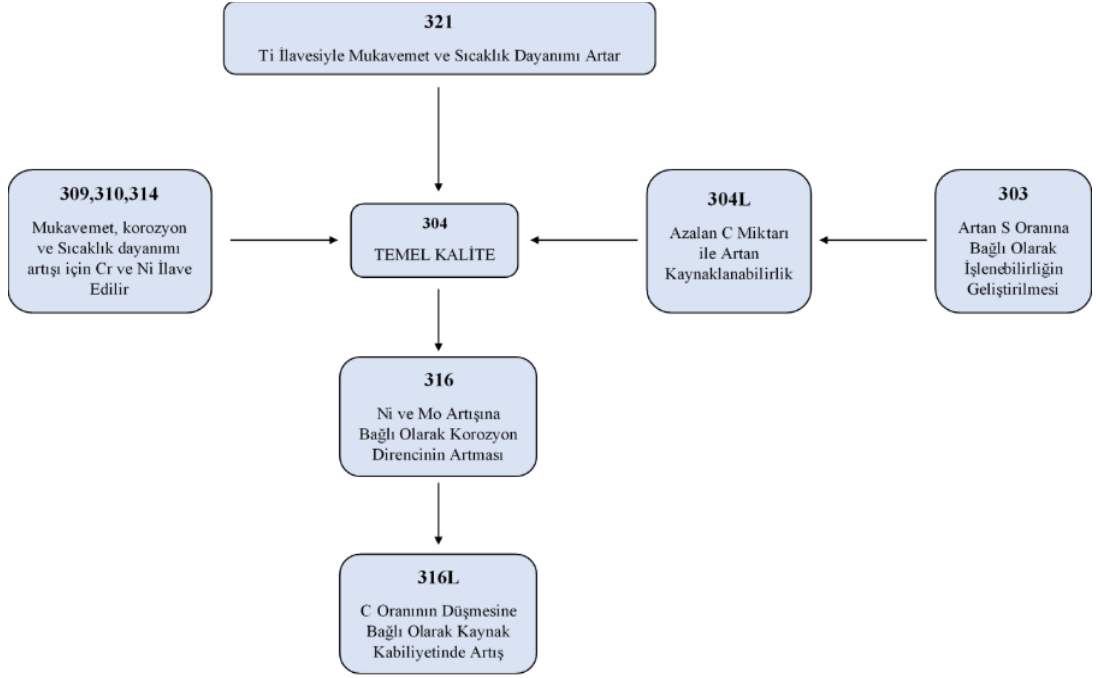
En çok tercih edilen AISI 304 temel kalitesine Ni ve Mo katılarak 316 ve 316L kaliteleri elde edilir. Elde edilen bu çeliklerin asitli ortamlarda noktasal paslanmaya karşı dirençleri vardır. Ti ilavesiyle elde edilen 316Ti ise yüksek sıcaklıklarda 3016L'ye göre daha iyi mekanik özellikler sergiler.

AISI 321 ise temel kalite olan 304'ün kimyasal bileşiminde Ni oranı artırılıp, C azaltılarak ve Ti ilave edilerek üretilmiş versiyonudur. Böylece daha yüksek sıcaklıklara dayanabilen ve iyi aşınma direncine ve taneler arası korozyon direncine sahip çelik elde edilmiş olur.

309S ve 310S yüksek Cr ve Ni içeriğine sahip kaliteler olduğundan dolayı yüksek sıcaklık kullanımı ve ateş ile temas gerektiren alanlarda kullanılır.

Bu tip paslanmaz çeliklerin termal iletkenliği alüminyumdan 10 kat, normal bir çelikten ise 4 kat daha düşük olduğundan dış cephelerde soğğun yalıtımı için uygundur.

Çizelge 2.3. Alaşım ilavelerine göre östenitik paslanmaz çeliklerin gösterimi.



Çelik kalitelerinde isimlendirmelerin başında yer alan “L” ifadesi bu çeliğin ilk haline göre daha karbon (C) içerdiği bu sebeple kaynaklanabilme özelliklerinin de daha iyi olduğu anlamını taşımakta olup soğuk halde bile şekillenebilmeleri yüksektir. Bu tip çeliklerin düşük oranda karbon içerdikleri için genelde ısıl işleme sertleştirilmediklerini belirttik ancak kaynak kabiliyetine olumlu etkisi vardır. Ancak bu malzemelerin ısı iletimi düşük genleşmeleri yüksek olduğu için malzemenin eğilmesini veya çarpılmasına engel olmak için kaynak sırasında ısı girdisi düşük olmalıdır.

Çizelge 2.4. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal içerikleri.

TİP	BİLEŞİM %									
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	DiĞER
201	0,15	5,5-7,5	1,00	0,06	0,03	16,0-18,0	3,5-5,5	-	0,25	-
301	0,15	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	6,0-8,0	-	-	-
304	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-10,5	-	-	-
304L	0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	18,0-20,0	8,0-12,0	-	-	-
309	0,2	2,00	1,00	0,045	0,03	22,0-24,0	12,0-15,0	-	-	-
310	0,25	2,00	1,00	0,045	0,03	24,0-26,0	19,0-22,0	-	-	-
316	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
316L	0,03	2,00	1,00	0,045	0,03	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	-	-
321	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	17,0-19,0	9,0-12,0	-	-	(5XC)Ti
347	0,08	2,00	1,00	0,045	0,03	17,0-19,0	9,0-13,0	-	-	(10XC)Nb

AISI 321 (ГОСТ 12Х18Н10Т)

Östenitik paslanmaz çelik grubunda yer alan Alman ve Rusya pazarı için geliştirilmiş olan 321; EN, Almanya, Japonya (JIS) ve Rusya (Gost) standartlarında farklı isimler ile anılmaktadır (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. 321 Östenitik paslanmaz çeliğinin diğer ülkelerdeki gösterimi.

ÜLKE STANDARDI	ADLANDIRMA
Almanya	X10CrNi18-9
Japonya (JIS)	SUS 321
Avrupa (EN)	1.4541
Rusya (GOST)	12X18H10T

Bu kalite paslanmaz çelik mühendislik alanında en yaygın kullanılan 20 çelik kalitesinden birisi olmasıyla birlikte korozyona, oksidasyona karşı direnç göstermesi ve yaklaşık 800°C gibi yüksek sıcaklıklar da bile mekanik değerlerini kaybetmemesinden dolayı tercih sebebi olmaktadır.

321 kalite östenitik paslanmaz çelik tanıdık kalitelerle çok yakından ilişkisi var örneğin 316Ti’ da bulunan Ti içeriği 321 kalite paslanmaz çelikte de bulunur. Aynı şekilde içerik bakımından incelendiğinde de 321 tip kalite çelik için 304 kalite çeliğe Ti ilave edilmesiyle korozyona ve sıcaklığa karşı daha dayanıklı hale getirilmiş modeli olarak görülebilir (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6. 321 kalite östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.

AISI 321 (1.4541) / GOST 12X18H10T Kalite Çeliğinin % Kimyasal Bileşimi								
C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Ti	Fe
<0,08	<2,0	<0,045	<0,03	<1,0	17,0-19,0	9,0-12,0	<0,5	Diğer

Korozyon direnci bakımından 321 kalite çelik içerdiği maksimum %0,07 Ti ilavesinden dolayı bu konuda yüksek dayanım gösterir. Bunu teyit etmek amacıyla 304 kalitenin standart var olan özelliklerini geliştirmek amacıyla üretildiği düşünüldüğünde korozyon ve sıcaklık direncinin her ortamda olmamak kaydıyla bir hayli yüksek olduğu düşünülebilir. Yine de 321 kalitenin aşırı korozif ortamlarda kullanılması tavsiye edilmez.

Hu, Dan & Li, Shu & Lu, Sheng isimli araştırmacıların hazırladığı “321 Paslanmaz Çelik Kaynak Bağlantı Eklemlerinin Korozyon Dayanımı Üzerindeki TIG Prosesinin Etkisi” konulu çalışmalarında da; bir teksit makinası üzerinde oluşan çok katlı çatlakların sebebini araştırmaya dayalı olarak, farklı akım değerlerinde 321 kalite çelik üzerinden yapılan TIG kaynaklarının farklı korozif ortamlarda sergilediği davranışları belirlemek amacıyla deneyler yapılmış ardından gerilmeli korozyon çatlama ve SEM gibi incelemeler çekme deneyi sonucu elde edilen kırık yüzeylerden yapılmıştır. Onlarda çalışmalarının literatür kısmında sıradan paslanmaz çeliklerin (18-8) taneler arası korozyon dayanımının zayıf olduğu; Ti ve Nb ilavesiyle kaynak sonrası tane sınırlarında çökecek olan karbürlerin daha az krom içerdiğine ve bu sebeple 321 kalite paslanmaz çeliğin taneler arası korozyona olan direncinin yüksek olduğuna değinmişlerdir [8].

Mekanik özellikleri bakımından incelendiğinde ise 321 kalite çelik alaşım elementi içeriği açısından da 304 kaliteye benzediği için çok farklı üstün mekanik özelliklere sahip değildir (Çizelge 2.7).

Çizelge 2.7. 321 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri.

AISI 321 (1.4541) / GOST 12X18H10T Kalite Çeliğinin Mekaniksel Özellikleri	
Mukavemet (min.) MPa	515
Akma Dayanımı (% 0,2) MPa	205
Brinell Sertliği (HB)	163
Yorulma Mukavemeti N/mm ²	260
% Uzama Miktarı	40

Kaynak özellikleri bakımından 321 paslanmaz çelik 316Ti ile benzerlikler taşımaktadır. Buna ilaveten doğru kaynak elektrotunun tercih edildiği durumlarda kaynak performansı artmaktadır. Östenitik çeliklere mevcut olan tüm kaynak yöntemleri ile kaynak yapılabilir. Östenitik alaşım grubundaki çoğu çelik kalitesi için eşleşen dolgu metali vardır. Ancak iş parçası ile kaynak torcu arasında oluşan ark boyunca Ti elementinin aktarılamamasından dolayı 321 ve 304 malzemenin dolgu metali olarak kullanımı bulunmamaktadır. Yani bu metaller dolgu metali olarak kullanılamaz. Genelde bu sebepten dolayı 321 östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında dolgu metali olarak 347 kalite dolgu metali tercih edilir. Kaynaktan sonra ısıtma işlemi gerekli değildir ve dikiş ölçekten temizlenerek pasifleştirilmelidir.

347 kalite yapısı içinde bulunan Nb ilavesinden dolayı karbür yapıcı olarak Ti' un yerini alır ve aynı zamanda bir arkı boyunca aktarılabilir. Bu nedenle 347 kalite malzeme 321 kaynağı için temel sarf malzemedir, ana plaka malzemesi olarak kullanımı nadirdir.

AISI 321 östenitik paslanmaz çeliğinin sıkça kullanıldığı belirtilmişti. İçerdiği nispeten yüksek karbon (C) oranından dolayı hem sıcaklık şartlarının yüksek olduğu (800 °C'ye kadar) hem de sürtünme ortamının söz konusu olduğu durumlarda 321 kalite çelik rahatlıkla kullanılır. Diğer yönden en önemli avantajlarından birisi de maliyet olup zaten malzemenin sunduğu özellikler göz önünde bulundurulduğunda bu kıyas net olarak yapılabilir.

Bu kullanım alanları;

- Petrokimya, kimya ve tekstil endüstrilerinde
- Gıda üretim hatlarında
- Cıvata ve vida imalatında
- Tıp ve eczacılıkta
- Kaynaklı ekipmanların üretiminde (borular, muflalar, vb)
- Otomobil ve Uçak Endüstrisi
- Kazan gövdeleri, fırın armatürleri, gaz havalandırma cihazları
- Tahliye monifoldları, dengeleme bağlantıları, elektrikli ısıtma elemanları
- Isı eşanjörleri ve kaynak ekipmanı üretiminde

AISI 316 (ГОСТ 03X17H14M3)

AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelik EN, Almanya, Japonya (JIS) ve Rusya (Gost) standartlarında farklı isimler ile anılmaktadır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. 316 Östenitik paslanmaz çeliğinin diğer ülkelerdeki gösterimi.

ÜLKE STANDARDI	ADLANDIRMA
Almanya	XCrNiMo17-12-2
Japonya (JIS)	SUS 316
Avrupa (EN)	1.4401
Rusya (GOST)	03X17H14M3

316 Paslanmaz çelik, östenitik paslanmaz çelikler için temel kalite özelliği gösteren 304 paslanmaz çeliğine Mo ve ekstra Ni eklenerek elde edilmiş bir çelik kalitesidir. Bu ilaveler sayesinde 316 kalite paslanmaz çeliklerin korozyona karşı olan dayanımları asidik sıvılar, deniz suyu vb. zorlu etkenler altında dahi yüksek olup manyetik özellik de sergilemez (Çizelge 2.9).

Çizelge 2.9. 316 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi.

AISİ 316 (1.4401) / GOST 03X17H14M3 Kalite Çeliğinin % Kimyasal Bileşimi								
C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Fe
<0,08	<2,0	<0,045	<0,03	<1,0	16,0-18,0	10,0-14,0	2,0-3,0	Diğer

316 kalite paslanmaz çelik mükemmel mukavemet, ısı direnci, süneklik ve herhangi bir aside karşı direnciyle karakterize edilmiştir. Mekanik özellikler bakımından 316 çeliği 304 kalite çeliğin geliştirilmiş versiyonudur. Dolayısıyla benzer mekanik özelliklere sahip olmak ile yüksek sıcaklıklarda sergilediği yüksek aşınma direnci ile avantajlıdır (Çizelge 2.10).

Çizelge 2.10. 316 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri.

AISI 316 (1.4401) / GOST 03X17H14M3 Kalite Çeliğinin Mekaniksel Özellikleri	
Mukavemet (min.) MPa	515
Akma Dayanımı (% 0,2) MPa	205
Brinell Sertliği (HB)	165
Yorulma Mukavemeti N/mm ²	260
% Uzama Miktarı (min)	40

Özellikleri;

- Yüksek korozyon direnci
- Yüksek çukurcuk (pitting) korozyon direnci
- Mo ilavesi ile sıcaklığa karşı dayanım
- Sert koşullarda, deniz suyu veya asidik sıvılara karşı direnç
- 304 kalite çeliğe nazaran yüksek kopma dayanımı

Kullanım alanları;

- Deniz suyu ile temas içinde olan parçalarda
- Kimyasal sıvılar ile temas içinde olan parçalarda ve rafinerilerde,
- Boya, gübre, asetik asit ve kağıt üretim endüstrisinde
- Halat, çubuk, cıvata, somunlarda

AISI 304 (ГОСТ 08Х18Н10)

304 serisi östenitik paslanmaz çelikler sektörde 18/8 (bileşimindeki Cr/Ni oranı olarak) ve temel paslanmaz çelik kalitesi olarak bilinen ve kullanım alanı oldukça geniş olan bir çelik kalitesidir. Kullanım alanının geniş olması mekanik özelliklerinin,

kaynak yapılabilirliğin, bulunabilirlik, şekil verilebilirlik, korozyon ve oksidasyon direncinin fiyatına oranla çok iyi olmasından dolayıdır.

“L” eklentisi ile ifade edilen versiyonu 304L ise 304’ e göre karbon (C) oranı düşürülmüş versiyonudur. 304L serisi östenitik paslanmaz çelikler 304 kalite çeliğe göre taneler arası korozyona daha fazla direnç gösterir. Bunun başlıca sebebi yeteri miktarda karbon bileşimde bulunmadığından dolayı tane sınırlarında krom karbür (CrC) oluşum görülmez. Üstelik kaynak kabiliyeti bakımından azalan karbon oranına rağmen nikel içeriğinin artması 304L çeliğine yüksek avantaj sağlar (Çizelge 2.11).

Çizelge 2.11. 304 & 304L Kalite östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi.

AISI 304 & 304L (GOST 08X18H10) Kalite Çeliğinin % Kimyasal Bileşimi								
AISI	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Fe
304	<0,08	<2,0	<0,045	<0,03	<1,0	18,0-20,0	8,0-10,5	Diğer
304L	<0,03	<2,0	<0,045	<0,03	<0,75	18,0-20,0	8,0-12,0	Diğer

304L tipi paslanmaz çeliğin korozyon direnci, 304 kalite paslanmaz çelik ile hemen hemen aynı seviyede olup tavlama ve kaynak sonrası oluşabilecek taneler arası korozyona karşı dirençlidir. Kullanım aralığı da -196 °C ile 800 °C olup genellikle 400 °C ve altında kullanılması tavsiye edilir.

304 ve 304L tipi paslanmaz çelikler soğuk şekillendirme sonrası kısmen de olsa manyetiklik kazanabilseler bile normalde diğer östenitik paslanmaz çelikler gibi manyetik değildir.

304 ve 304L tipi östenitik paslanmaz çelikler tüm paslanmaz çelik üretiminin yaklaşık olarak %50’sini ve genel paslanmaz tüketiminin de yarısını oluşturarak endüstriyel uygulamaların hemen hemen hepsinde kullanılır.

Çizelge 2.12. 304 Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri.

AISI 304 / GOST 08X18H10 Kalite Çeliğinin Mekaniksel Özellikleri	
Mukavemet (min.) MPa	515
Akma Dayanımı (% 0,2) MPa	205
Brinell Sertliği (HB)	201
% Uzama Miktarı (min)	40

Her iki metalde aynı miktarda krom bulunması korozyona aynı direnci sağlar ve her iki çeliğinde paslanmaz ve ısıya dayanıklılık sınıfına ait olduğu ve artan nikel oranına rağmen karbon oranının azalması 304L çeliği için kaynak sırasında önemli bir avantaj olduğu belirtilmişti. Bu nedenle 304L çeliğinin kaynak işlemi sırasında karbür birikimi büyük ölçüde önlenerek kaynak prosesi için ısıl işlem ve zaman tasarrufu sağlanmış olur.

Çizelge 2.13. 304L Kalite östenitik paslanmaz çeliğin mekaniksel özellikleri

AISI 304L / GOST 08X18H10 Kalite Çeliğinin Mekaniksel Özellikleri	
Mukavemet (min.) MPa	485
Akma Dayanımı (% 0,2) MPa	170
Brinell Sertliği (HB)	201
% Uzama Miktarı (min)	40

304 ve 304L çeliklerinin genel kullanım alanları:

- Gıda endüstrisinde boru sistemleri
- Destek yapıları
- Kimyasal sıvı tankları
- Otomotiv ve beyaz eşya üretimi
- Petrokimya sanayi
- Endüstriyel mutfak ortamları

2.4. ALAŞIMSIZ KARBON ÇELİKLERİ

Kimyasal kompozisyonlarında az miktarda Mn, Si, S ve P gibi çelik üretimi sırasında yapısına karışan elementleri ihtiva eden Fe-C alaşımlarıdır. Endüstriyel kullanım alanları imalat ve yapı sektörü olmasından dolayı piyasada imalat çelikleri olarak da bilinirler. Bu çelik tipi yapısı içinde önemli başka bir alaşım elementi içermediği için tüm özellikleri ihtiva ettiği C oranına bağlı olarak önemli derecede değişim gösterir. Örneğin içerdikleri C oranının artmasıyla birlikte çekme, akma ve sertlik dayanımları artış gösterirken süneklik ve darbe dayanımı gibi yönleri de negatif seyretmektedir. Buna karşın su verme ısıl işlemi sonucunda iç yapılarının martenzite dönüşümünü

kolaylaştırarak sertleştirilebilmelerini sağlar. C miktarının artmasıyla çeliğin sertleşme kabiliyeti artarken kaynak kabiliyeti düşer. Alaşımız karbonlu çelik türleri kendi içinde üç gruba ayrılırlar [9]. Bunlar:

2.4.1. Düşük Karbonlu Çelikler (C <%0,25)

Bu grup çeliklerin içerdikleri C oranı <%0,2 dolaylarındadır. Bu çelikler mekanik özelliklerine bakıldığı zaman piyasada yumuşak çelikler olarak da bilinmelerinin yanı sıra küresel manada çelik üretim hacminin en yüksek hacimli oranını oluşturur. Özellikle yassı mamuller ile inşaat sektörü ve temel yapılarda kullanılan çelik çubuk ve profiller düşük karbonlu çelik sınıfındadırlar.

Ayrıca bu gruba dahil olan çelikler %0,20' den daha az karbon (C) içerdikleri için ısıtılıp soğutulma işlemi ile yeterince sertleştirilemezler. Ancak semantasyon, nitrasyon vb. yüzey işlemleri ile malzeme yüzeyinin kimyasal kompozisyonu değiştirilerek akabinde su verme ile yüzeysel olarak sertleşebilecek hale getirilir. Kullanım alanlarına göre yapılacak olan sınıflandırma da genel yapım çelikleri grubunda yer almakta olup minimum çekme mukavemetlerine göre adlandırılırlar [9].

Bu tez araştırması kapsamında da petrokimya rafinerisi inşaatında, GOST olarak “Сталь 20”, AISI olarak da 1020 çeliği adlandırılması ile bilinen boru malzemesinden alınan numunelere kıyas yapılabilmesi açısından yer verilmiştir. Dolayısıyla takip eden konu boşluğu altın bu çelik kalitesi ile ilgili olarak literatür taraması sunulmaktadır.

AISI 1020 // C22 (GOST Stal 20)

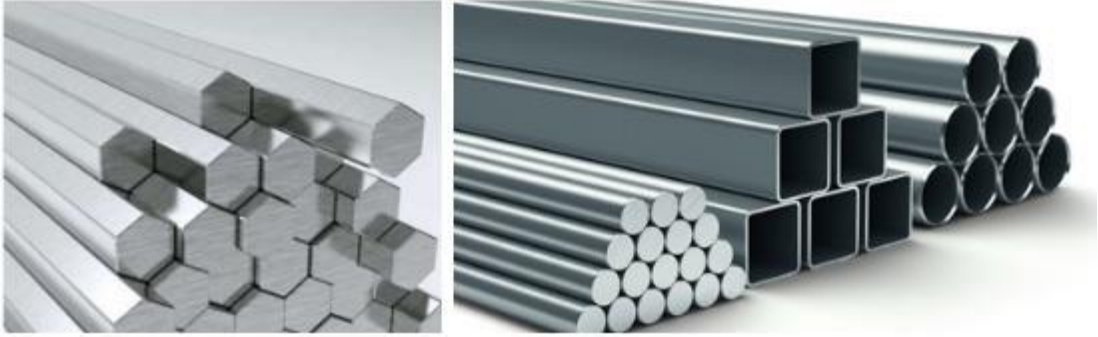
AISI 1020 çeliği düşük sertleşebilme özelliğine sahip olup alaşımız karbon çeliği olarak biline grup içerisinde yer alır. Yüksek işlenebilirlik, yüksek mukavemet, yüksek süneklik ve iyi kaynaklına birliğe sahiptirler. Özellikle malzeme mukavemetinin çok kritik olmadığı yerlerde sertleştirilmiş şekilde kullanılırlar [10].

Çizelge 2.14. AISI 1020 Düşük karbon çeliğinin diğer ülkelerdeki gösterimi.

ÜLKE STANDARDI	ADLANDIRMA
Almanya	1.0402 [C22]
ABD (AISI/SAE)	1020
Japonya (JIS)	S20C
Avrupa (EN)	1.1151 [C22]
Rusya (GOST)	Сталь 20

Büyük oranda sertleştirilmeye tabi tutulmamış büyük kesitli takım tezgâhları, ana milleri, orta sertlik ve aşınmaya müsait dişlilerde, sertleştirilmiş pim ve zincirlerde, kazan yapımında, endüstriyel rafinerilerde ısıtma boruları ve boru hatlarında kullanılmakta olup genel kullanılan ürün şekilleri (Şekil 2.9.);

- Boru (endüstriyel rafineriler vb.)
- Yuvarlak çubuklar
- Kare çubuklar
- Altı köşe çubuklar



Şekil 2.11. AISI 1020 Kalite çeliğin sektörlerde kullanılan formları.

Kaynaklanabilirlik açısından en yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemleri ile kolayca kaynaklanabilir ancak semantasyon ve ısıtma işlemi gördükten sonra kaynak edilmesi önerilmez.



Şekil 2.12. AISI 1020 Kalite karbon çeliğinden TIG kaynaklı kaynakçı test boruları.

Paslanmazlık özelliği kazandıran alaşım elementlerini ihtiva etmeyişinden dolayı oksidasyona ve paslanmaya karşı herhangi bir direnç sergilemez. Polimer kaplama, boyama vb. koruma yöntemleri uygulanmadıkça paslanır (Çizelge 2.15).

Çizelge 2.15. AISI 1020 Kalite alaşımsız karbon çeliğinin kimyasal bileşimi.

AISI 1020 // C22 (GOST Сталь20) Kalite Çeliğinin % Kimyasal Bileşimi										
AISI	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	As	Fe
1020	0,17-0,24	0,17-0,37	0,35-0,65	<0,25	<0,004	<0,004	0,25	<0,25	0,08	≈98

AISI 1020 kalite alaşımsız karbon çeliği kritik mekanik dayanım gerektirmeyen yerlerde kullanımı ile mukavemet ve sünekliğin iyi bir kombinasyonudur. Aynı zamanda semantasyon, nitrasyon, borüleme vb. yüzey işlemlerinden sonra yapılan su verme ısıl işlemi ile dış sert kabuktan sünek iç çekirdeğe doğru uzanan bu yapıya kavuşabilir (Çizelge 2.16).

Çizelge 2.16. AISI 1020 Kalite alaşımsız karbon çeliğinin mekaniksel özellikleri.

AISI 1020 / GOST Сталь20 Kalite Çeliğinin Mekaniksel Özellikleri	
Mukavemet (max.) Mpa	394,72
Akma Dayanımı (% 0,2) Mpa	294,74
Brinell Sertliği (HB)	111
% Uzama Miktarı (min)	36,5

2.4.2. Orta Karbonlu Çelikler (%0.25<C<%0.55)

Bu sınıfta bulunan çelikler yapılarında %0,2-0,6 arasında C içerirler. İçerdikleri karbon oranına bağlı olarak orta değerlerde mekanik özelliklere sahiptir. Bu sınıftaki çeliklerin düşük karbonlu çeliklere göre en önemli avantajı içerdiği karbon oranının ısıtma işlemiyle sertleşmeye müsait olmasıdır. Bu sebeple orta karbonlu çeliklerin kullanım alanı oldukça önem arz eder ve genellikle makine imalat sanayisinin tercih ettiği çeliklerdir. İşlenebilme ve plastik şekil alabilme kabiliyetleri ve kaynaklanabilme kabiliyetleri düşük karbonlu çeliklere nazaran daha düşüktür. Çeliğin kaynağı sırasında oluşan dengesiz ısıtma etkileri çeliği yapısal olarak çarpılmasına sebep olmakla birlikte hem kaynakta hem HAZ bölgesinde kırılma yapı oluşumlarına sebep olarak yüksek sertlik değerleri kaydedilir. Bu sebepten dolayı eğer kaynak işlemi yapılacaksa ve ilaveten alaşım elementi varlığı da söz konusu ise kaynak için özel itina gösterilmesi gerekir.

2.4.3. Yüksek Karbonlu Çelikler (%0.55<C)

%0,60' dan daha fazla C içeren çeliklerdir. Normal şartlarda mukavemeti yüksek ancak sünekliği düşük olan çeliklerdir. Su verme yani ısıtma işlemiyle sertleştirilmeleri neticesinde yüksek sertlik kazanırlar. Bundan dolayı aşınmaya olan direnci yüksek olup kesici özellikleri yüksektir. İşlenebilme kabiliyetleri düşük ve orta karbonlu çelik sınıflarına göre çok daha düşüktür. Dolayısıyla kaynak kabiliyetleri de zayıf olup özel ortam şartları altında olmayı gerektirir.

BÖLÜM 3

PASLANMAZ VE KARBON ÇELİKLERİNE UYGULANAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

Kaynak teknolojisinin geçmişini inebilmek için antik zamanlara kadar gitmek gerekir. Günümüzden yaklaşık 2000 yıl evvel küçük altın kapların basınç kullanarak bindirmeli ve katlamalı olarak bir araya getirildiği bilinmektedir. Demir çağı boyunca, Mısırlılar ve Doğu Akdeniz bölgesindeki insanların demir parçaları kaynakla bir araya getirmeyi öğrenmişlerdi. M.Ö yaklaşık 1000 yılına ait bu durumu ispat eden birçok alet bulunmuştur. Orta çağlar boyunca demircilerin sanatı gelişti ve demirden pek çok nesneyi çekiçleme yöntemiyle kaynatarak ürettiler. 19. Yy' ın başına kadar bugün ki bildiğimiz manada kaynak henüz bulunamamıştı [12]. Günümüzde kullanılan kaynak yöntemlerinin keşfi ise 1920-1940 yılları arasında dayanmaktadır.

3.1. KAYNAK KABİLİYETİ

Kaynak prosesi sırasında çelik değişken ısı girdilerine maruz kalmasından dolayı malzemede bazı değişimler meydana gelir. Bir çelik malzeme geniş önlemler almayı gerektirmeden oluşabilecek bu tip değişimlerden kaynaklı konstrüksiyon da sakıncalar yaratmadan kaynak edilebiliyorsa bu çeliğin “kaynak kabiliyeti” iyi olarak tanımlanır. Bunu rağmen normal bir kaynak işlemi malzemede, konstrüksiyondan beklenenleri ciddi tehlikeye sokacak şekilde değişimlere yol açar veya bu işlemde hemen sonra çatlaklar gibi malzeme kusurları meydana getirirse özel önlemlerin alınması veya bazı kaynak öncesi ve/veya kaynak sonrası işlemleri gerektirir. Bu tip çeliklere de sınırlı kaynak kabiliyetli çelikler denir [13].

Bu bilgilerden hareketle “kaynaklanamaz” çelik diye bir malzeme yoktur. Doğru metalürjik koşulların yerine getirilmesi şartıyla her çelik kaynaklanabilir. Ancak bu

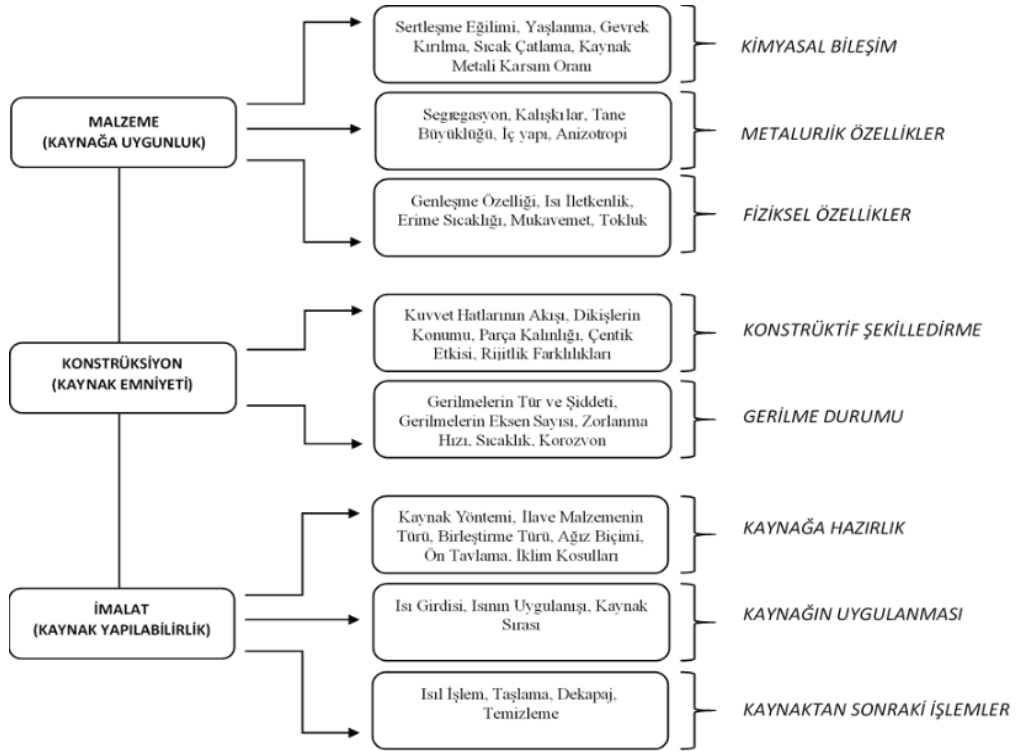
koşullar bazen o kadar spesifik olabilir ki bu şartların pratikte uygulanması gerçekçi olmaz [13,14].

Bir metalik malzeme belirli bir proses altında belirli bir dereceye kadar kaynak edilebilir olarak tanımlanır. Kaynak prosesi sonucunda kaynaklı bağlantı elde edildiğinde kaynak bölgesi konstrüksiyona olan etkisi göz önüne alındığında tüm yetkinliklere sahip olmalıdır. Çünkü kaynaklı bağlantılarla imal edilen bir yapı kendisinden beklenen tüm ihtiyaçları karşılayabiliyor ve işletmede uzun süreler kullanılabilir olması gerekmektedir. Kaynak kabiliyeti üç ana esas olan imalat, konstrüksiyon ve malzemeye aynı oranda bağlılık gösterir. Dolayısıyla kaynak yetisi ile bu üç temel esas arasında bu üç özellik yer alır [14]:

- Malzemelerin kaynak ile uyumu
- Konstrüksiyonun kaynak emniyeti
- İmalatın kaynaklanabilirliği



Şekil 3.1. Kaynak faktörlerinin bağlı olduğu temel faktörler ve onların ilişkisi.



Şekil 3.2. Kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler.

3.2. KAYNAK YÖNTEMLERİ

Bu başlık altında yapılacak olan sınıflandırmalar kaynaklanan malzemenin cinsine, kaynak prosesine ve kaynak işleminin amacına bağlı olarak yapılır:

- Uygulandığı malzeme türüne göre; “plastik malzeme kaynağı” ve “metal malzeme kaynağı” olmak üzere,
- Yapılış gayesine göre; “birleştirme kaynağı” ve “dolgu kaynağı” olmak üzere,
- Prosesin uygulanış biçimine göre; “yarı mekanize kaynak”, “el kaynağı”, “otomatik kaynak” ve “tam mekanize kaynak” olmak üzere,
- Prosesin cinsine göre; “eritme kaynağı” ve “basınç kaynağı” olmak üzere,

Bu tez çalışması kapsamında kaynaklanan test numunelerinde elektrod ark kaynağı ve gaz altı kaynak yöntemleri kullanıldığı için; kaynak yöntemleri başlığı bu şekilde iki alt başlık altında incelenecektir [15].

3.2.1. Örtülü Elektrod Ark Kaynağı

Elektrot ark kaynağı yöntemi ilave metallerin ergitilerek iki veya daha fazla parçanın birbirine kaynaklanması amacıyla kullanılan bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi günümüz sektörlerinde geniş ölçekte kullanılan kaynak yöntemidir. [16,17] Bu kaynak yönteminin adından da anlaşılacağı üzere bir elektrik akımının anot (+) ve katot (-) uçları üzerinden birbirini tamamlaması ile oluşan elektron bombardımanı sonucu meydana gelen prosestir. Temel ekipman bakımından bir adet güç kaynağı, güç kaynağında (+) kutba bağlı elektrot pensesi ve (-) kutba bağlı şase yardımı ile yapılır (Şekil 3.3).



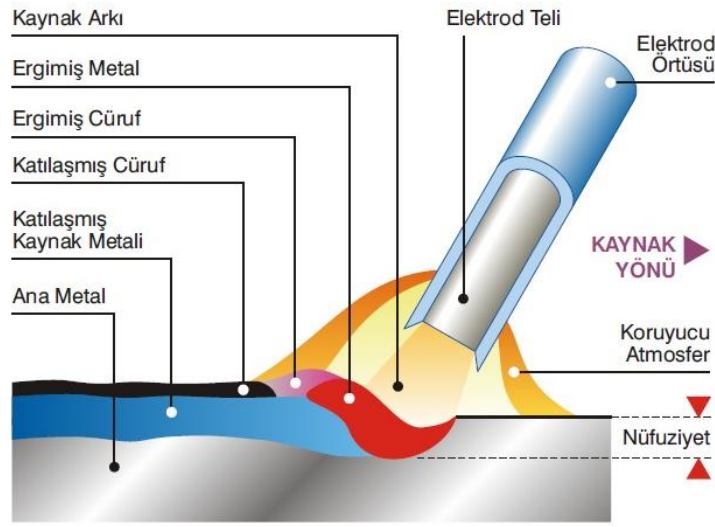
Şekil 3.3. a) Güç kaynağı ve elektrod pensesi, b) örtülü elektrod örneği.

Az miktarda donanıma gereksinim duyan bu kaynak yöntemi özellikle inşaat sektöründe sıkça kullanılmaktadır. Rüzgârdan etkilenen koruyucu gazın olmaması, düşük maliyetle uygulanabilirliğe rağmen elde edilen kaliteli sonuçlarda bu ilgiyi desteklemektedir.

Örtülü elle kaynakta oluşan arkın ve dolgu malzemesinin taşıyıcısı kaynak elektrotlarıdır. Bu kaynak yönteminde kaynak elektrotları çubuk elektrot olarak tanımlanır (Şekil 3.3). Örtülü elektrot ark kaynağı kaynak yönteminde proses için gereken ısı enerjisi üzeri örtü kaplı tükenen bir elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen ark sayesinde elde edilmekte olup el ile manuel olarak yapılan bir kaynak

prosesidir. Elektrod örtüsünün kaynak işlemi sırasında yanmasıyla oluşan gazlar elektrodun ucu, kaynak banyosu, ark ve iş parçasının kaynak bölgesine yakın kısımlarını örtmesiyle atmosferin zararlı etkilerinden korunmuş olurlar.

Ayrıca ergime sonucunda elektrod örtüsünün oluşturduğu cüruf kaynak bölgesinde ergiyik durumda bekleyen metal içinde ek bir koruma görevi üstlenir. Kaynak işlemi sırasında gereken ilave dolgu metali ihtiyacı elektrod çekirdek telinden veya bazı elektrod türlerinde örtüde bulunan metal tozlarından karşılanır.



Şekil 3.4. Elektrod ark kaynağının şematik gösterimi.

Örtülü elektrod ark kaynak yönteminin avantajları:

- Bu kaynak yöntemi açık ve kapalı alanlarda kullanıma uygundur
- Alüminyum dışında neredeyse tüm metaller için uygundur
- Elektrodun ulaşabildiği her nokta ve pozisyonda kaynak imkânı sağlar
- Diğer kaynak prosesleri ile mümkün olmayan pozisyonlarda kaynak
- Ek ekipmanlar ile kaynak cihazından uzakta dahi kaynak yapılabilir
- Hafif ve taşınabilir kaynak ekipmanları
- Birçok malzeme kalitesiyle uyumlu olan örtülü elektrod türleri bulunur
- Doğru akım kullanıldığı için düşük gürültü

Örtülü elektrod ark kaynak yönteminin dezavantajları:

- Diğer yöntemlere nazaran düşük metal yığılma hızı ve verimlilik
- Mekanize edilememe
- Her kaynak pasosu ardından oluşan cürufu temizleme gereği

3.2.2. Gaz Altı Kaynak Yöntemleri

Kaynak bölgesinin ilave olarak oluşturulan bir gaz atmosferi tarafından korunduğu ergitme kaynağı yöntemleri “gaz altı kaynak yöntemleri” olarak isimlendirilir.

Koruyucu gaz ile kaynak yöntemi olarak bilinen bu kaynak yöntemi ilk defa 1926 yılında gaz atmosferi olarak metanolün kullanıldığı “Alexander” usulü olarak ortaya çıkmıştır. Bunun haricinde yine 1926 yılında kaynak banyosunun hidrojen gazıyla korunduğu “ark atom” ve 1928’de oksijen-asetilen aleviyle korunan “Arcogen” yöntemleri geliştirilmiştir.

Tüm bu yöntemlerin dar bir uygulama alanına sahip olması ve özellikle demir dışı ve alaşımlarının kaynağında verimli olmamaları araştırmacıları yeni yöntemler bulmaya yönlendirmiştir. Bu sebeple sonraki yıllarda yapılan AR-GE çalışmalarıyla ilave koruyucu gaz olarak He ve Ar gibi soy gazlar ve CO₂ gibi aktif gazların kullanılmasına başlanmıştır [18].

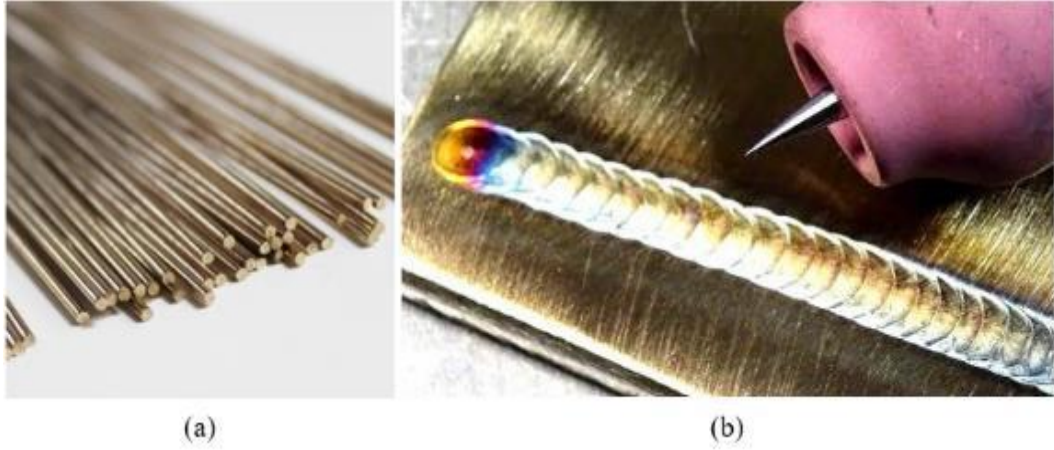
Gaz altı kaynak yöntemlerinde sınıflandırmalar arkın oluşturulması için gereken elektrodun ve koruyucu gazların kimliklerine göre sınıflandırılır:

- Ergimeyen elektrodla yapılan gaz altı kaynak yöntemleri;
 - Ergimeyen bir elektrod ile gaz altı kaynağı (TIG yada PA-plazma ark kaynağı)
- Ergiyen elektrod ile gaz altı kaynak yöntemleri;
 - Ergiyen elektrod ile soygaz altında yapılan gaz altı kaynağı (MIG)
 - Ergiyen elektrod ile aktif gaz altında yapılan gaz altı kaynağı (MAG)

- Özlü tel elektrod ile yapılan gaz altı kaynağı
- Elektrogaz kaynağı

TIG Kaynak Yöntemi (Tungsten Inert Gaz)

Bu yöntemde kaynak prosesinin başlayabilmesi için gerekli olan ısı enerjisi bitmeyen bir tungsten elektrod ve iş parçası arasında meydana getirilen elektrik arkı tarafından sağlanmakta olup kaynak bölgesinin havanın olumsuz etkilerinden korunması için merkezinde tungsten elektrot bulunan ve fincan adı verilen parçanın içinde bulunan bir nozuldan (lüleden) gönderilen koruyucu gaz ile korunmaktadır. Bu gazlar Ar, He veya bunların karışımı olabilir [19].

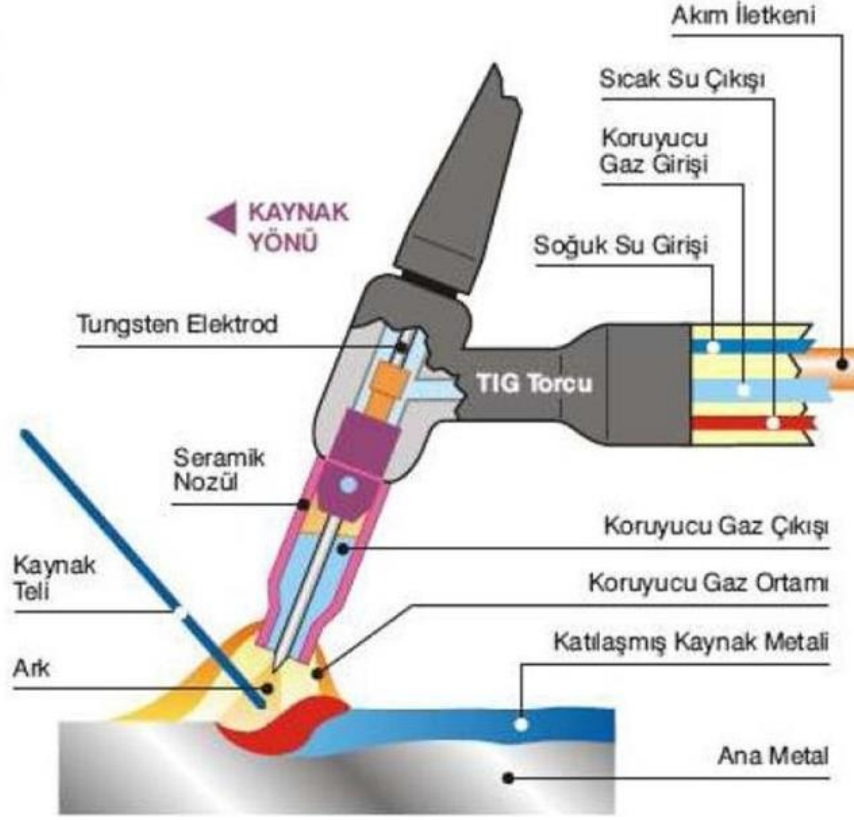


Şekil 3.5. a) TIG kaynak telleri – b) TIG kaynak dikişi, tungsten elektrot ve torç fincanı.

TIG kaynağında en başta He, daha sonraları Ar gazı kullanılmıştır. Bu iki gazda tek atomlu ve soy olup diğer elementler ile birleşmez, kokmaz ve yanmazlardır. He gazı havadan hafif ancak Ar gazı ağırdır. Bu sebeple He uçtuğu için kaynak banyosunu koruma kabiliyeti azalır, argon ise ağır olduğu için kaynak banyosundaki ergimiş metali daha iyi muhafaza eder (Şekil 3.5).

Helyum gazı daha yüksek ark gerilimi sağladığı için yüksek akım şiddeti gerektiren durumlarda kullanılır. Ayrıca hafif metal ve alaşımların kaynağında kullanılan Ar

gazının %99,99 oranında saf olması gerekir. Aksi takdirde içinde bulunabilecek su buharı, O ve N gibi içerikler koruma atmosferini bozduğu için kaynağın kalitesini düşürür [18] (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. TIG (Tungsten Inert Gaz) kaynak yönteminin şematik gösterimi.

TIG kaynak yönteminin endüstride diğer bilinen ergitme kaynak yöntemlerine kıyasla en önemli üstünlüğü ısı girdisinin ve eriyen ek kaynak metal miktarının birbirinden bağımsız oluşudur. Bu sebepten dolayı TIG kaynak yöntemi çok ince kesitli parçalara uygulanabilmesine imkân sağlar. Ayrıca kök pasoların atılmasında, pozisyon gerektiren kaynaklarda ve tamir/bakım işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağlar [19].

BÖLÜM 4

KOROZYON TÜRLERİ VE TANELER ARASI KOROZYON

Korozyon, metallerin ortam ile kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyona girmesi sonucu malzemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin olumsuz yönde etkilenmesidir. Ancak sadece fiziksel anlamda meydana gelen değişimlere korozyon yerine erozyon veya aşınma demek daha doğru olacaktır [20].

Bir metalin bulunduğu ortamdaki diğer bir elementle birlikte doğrudan elektron alışverişinin gerçekleştiği reaksiyonlar kimyasal korozyon olarak bilinmekte olup literatürde “kuru korozyon” olarak da bilinmektedir. Metal genellikle bulunduğu ortamdaki oksijenle reaksiyona girerek ona elektron vermek suretiyle metal oksit oluşturur. Bu tip bir oksidasyon özellikle çok yüksek sıcaklıklarda malzeme yüzeyinde belirgin bir şekilde kendini belli ederek “tufal” oluşumuna neden olur. Buna sebep olarak; birkaç istisna haricinde teknolojik öneme sahip olan metallerin çoğunun tabiattaki var oluş biçimleri bileşik halindedir. Bu tip bileşiklere enerji-emek-malzeme faktörlerini kapsayan belirli proseslerin uygulanması sonucunda metal veya alaşımları elde edilir. Üretilen bu metal ve alaşımları ise kullanım ömürleri boyunca sürekli olarak kararlı hal olan bileşik haline dönme eğilimlerini devam ettirirler ve sonuç olarak malzemelerde fiziksel veya kimyasal değişimler oluşur. Bu yüzden malzemelerin buldukları ortamlarda korozyona maruz kalmaları bu döngünün bir sonucudur. Genel olarak; korozyon meydana geldiği ortamlar çoğunlukla nemli hava, tuzlu su, asidik veya bazik ortam, alkalın ortam ve kirli hava olarak sıralanabilir [21].

Metal ve alaşımlarının sulu ortamlardaki korozyonu ise “elektrokimyasal korozyon” veya “ıslak korozyon” olarak adlandırılır.[20] Elektrokimyasal korozyonun gerçekleşmesi için ise gerekli koşullar anot, katot, elektrolit (iletken çözelti) ve metalik iletim yolu şeklinde sıralanabilir. Metal, anotta oksitlenerek metal iyonları iletken çözeltiliye geçer ve oksijen katot da indirgenir. Metal iyonlarının oksidasyonu

sonucunda oluşan elektronlar metalin iletkenliği ile katota transfer olur. Bunun sonucunda indirgenme tepkimesi gerçekleşerek elektrokimyasal döngü tamamlanmış olur. Gerçek anlamda ise her iki korozyon türü de (kimyasal ve elektrokimyasal korozyon) temelde aynı ve elektrokimyasal esastır [20].

Literatürde karşılaşılan korozyon türleri aşağıda belirtildiği gibidir:

- Üniform Korozyon (Homojen Dağılımlı)
- Galvanik Korozyon
- Aralık Korozyon (Çatlak Korozyonu)
- Oyuklu Korozyon (Çukurcuk Korozyon)
- Seçimli Korozyon
- Gerilmeli Korozyon
- Taneler arası Korozyon

Devam eden konu akışında bu başlıklar tek tek anlatılacak izah edilmesiyle birlikte tez araştırmasının asıl konusu oluşturmasından dolayı “Taneler arası Korozyon” başlığı ayrıntılı olarak “Deneyisel Çalışmalar” başlığı altında GOST standardı başta olmak üzere EN ve ASTM standartlarına atıf yapılarak izlenen yöntemler üzerinden ayrıntılı anlatılacaktır.

4.1.ÜNİFORM KOROZYON (HOMOJEN DAĞILIMLI)

Bir metallin bulunduğu ortam koşullarından dolayı malzeme yüzeyinin her noktasında eşit oranda ilerleyen bir homojen bir korozyon tipi olup korozyon sonrası kalınlık her noktada eşit şekilde azalmış olur. Örneğin sulandırılmış sülfürik asit çözeltisine bırakılmış bir çelik veya çinko parçası da bu şekilde korozif etkiye maruz kalır.

Diğer korozyon çeşitleri içerisinde en yaygın rastlanan üniform korozyon yüzünden meydana gelen metal kaybı çok daha fazla ve etkilidir.

Fakat endüstriyel anlamda en az endişe duyulan korozyon tipidir. Bu tip bir korozyonun hızı basit laboratuvar deneyleri ile saptanabilir. Böylelikle metal parçanın aktif kullanım ömrü yüksek bir oranla tahmin edilebilmektedir [22].

Üniform korozyonu kontrol edebilmek için:

- Uygun yüzey kaplamaları
- Ortama ilave edilen inhibitörler
- Katodik koruma şeklinde sıralanan üç yöntem kullanılabilir [22].



Şekil 4.1. Üniform korozyona örnek görseller.

4.2. GALVANİK KOROZYON

İletken bir ortamda bulunan iki farklı metal malzeme arasında sürekli bir potansiyel fark mevcuttur. Bu iki malzeme eğer temas veya akım geçişine müsait bir ortam

içindeler ise elektron akışı başlar. Bu tip bir korozyona çok sık rastlanır. Bu sistemde az dayanıklı ve daha aktif olan metal ANOT, daha dayanıklı olan ve soy olan metal ise KATOT olarak isimlendirilir. Böylece bir korozyon hücresi meydana gelir. Katot olarak davranan metalde çok az korozyon meydana gelmekte olup asıl ve yoğun korozyon anot üzerinde gerçekleşir.

Galvanik korozyon:

- Tek ortamda çalışacak olan malzeme gruplarının birbirinden farklı olması durumunda galvanik seride yakın olanların seçilmesi
- Reaktifliği yüksek olan (anodik malzemenin) yüzey alanının olabildiğince büyük olması
- Ortama anodik karakterde üçüncü bir metal bağlanarak katodik koruma oluşturulması
- Ortama korozyon hızını düşürücü inhibitör ilavesi yapılması
- Ortamdaki malzemeler arasında güçlü bir yalıtım yapılması

şeklinde sıralanan maddeler doğrultusunda galvanik korozyon önlenabilir veya yavaşlatılabilir [23].



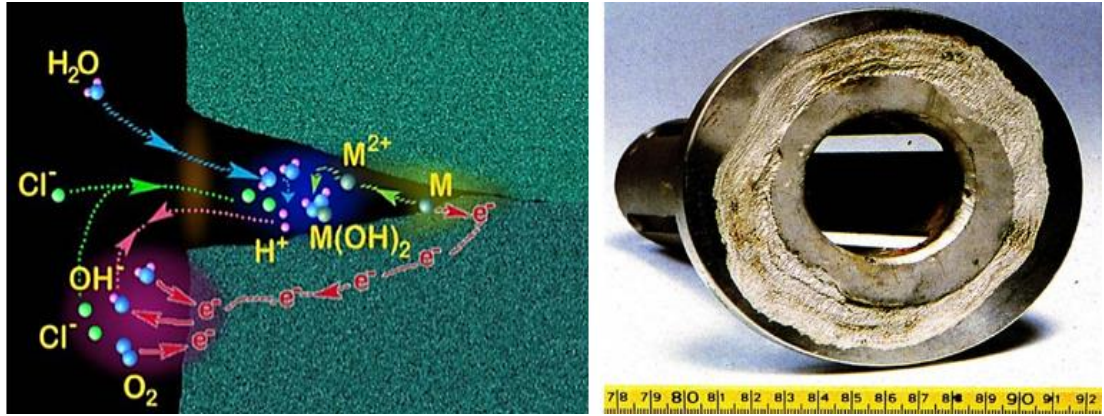
Şekil 4.2. Galvaniz kaplanmış su borularında bağlantılı farklı metaller olmalarından dolayı oluşan galvanik korozyona örnek.

4.3. ARALIKLI KOROZYON (ÇATLAK KOROZYONU)

Metal yüzeyinde bulunan bir çatlak veya aralıkta gerçekleşen korozyon türüdür. Yüzeydeki söz konusu aralık sıvıyı içine alabilecek kadar geniş fakat akıp gitmesini

önleyecek kadar da dar olmalıdır. Çözelti aralık veya çatlak yapısı içinde sabit kaldığından dolayı oksijen geçişini engeller. Dolayısıyla oksijene ulaşamayan bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki diğer bölgeler katot görevi görür. Bu korozyon türü özellikle korozyon direncini arttıran oksit tabaka veya pasif katmana bağlı metal alaşımlarında gözlemlenmektedir [24].

Böylesine bir korozyonu önlemenin en etkili yöntemi malzeme tasarımı sırasında bölgesel farklılığa önlemektir. Buna bölgesel farklılığa örnek olarak perçinli civatalar gösterilebilmekte olup kaynaklı bağlantı daha kalıcı bir çözüm olarak sunulmaktadır. Ancak bu önlem ile sonuç alabilmek için tüm birleştirmelerin kaynak ile yapılması gereklidir [23].



Şekil 4.3. Aralık korozyonunun gerçekleşme prensibi ve bu korozyon tipine örnek.

4.4. ÇUKURCUK KOROZYONU (OYUKLU KOROZYON)

Çukurcuk korozyonu malzeme yüzeyinde çukurlar ve oyuklar şeklinde kendini belli eden son derece lokalize olmakla birlikte aktif olmayan koruyucu bir tabakaya sahip malzemelerde bulunur. Bu korozyon tipi diğer korozyon türlerine rağmen oldukça yavaş ilerlemekte olup kantitatif olarak da ayırt etmek güç olduğu için en tehlike olandır [24,25].

Malzemenin içinde bulunduğu ortamdaki iyonlar veya yüzeydeki koruyucu olarak bilinen tabakaya dış etkenlerden gelen bir hasar o bölgenin anodik olarak

davranmasına ve bulunduğu ortam ile galvanik ikili oluşturmasına neden olarak korozyonun malzemenin içine doğru ilerlemesine izin verir.

Çukurcuk korozyonunu tetikleyen durumlar [24]:

- Asidik ortamdaki agresif iyonlar; bu halde yüzeydeki katmanın karalı olduğu potansiyel değerlerinde korozyon meydana gelir.
- Yüksek sıcaklık ve aşırı korozif ortamda; oksijen oluşumunun potansiyel değerlerine yakın yerlerde korozyon oluşur.
- Aktif-pasif geçiş bölgelerinde oksit tabakası yok olur ve bölgesel çukurcuk korozyonu oluşur. Bu şekilde oluşan korozyon çoğunlukla üniform korozyona dönüşür.
- Malzeme aktif polarizasyona tabi tutulduğunda yüzeyde bir ayrışma durumu meydana gelir. Bu durumda da çoğunlukla çukur korozyonun yerini üniform korozyon alır. Bu model alüminyumu ve alaşımlarında en çok rastlanan bir korozyon tipi olup önlem alınmazsa çok tehlikeli hasar sonuçları doğurabilir (şekil 4.4).

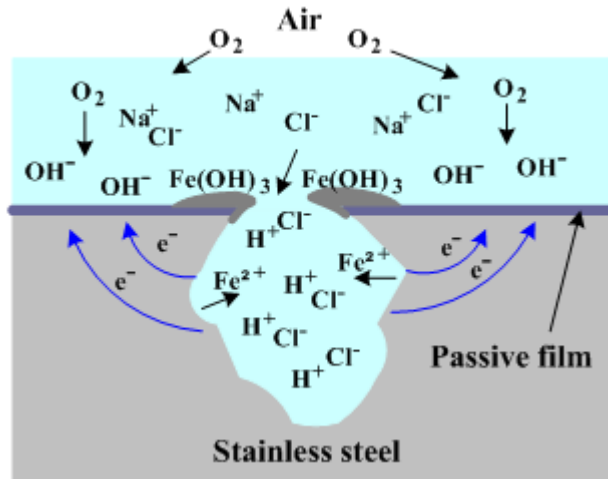


şekil 4.4. Metal malzeme yüzeyinde meydana gelen çukurcuk korozyonu.

Çukurcuk korozyonunun önlenmesi bakımından aralık korozyonu için geçerli olan yöntemler burada da etkili olabilir. Ancak en iyi yol malzemenin kullanılacağı ortamda oyuklu korozyona karşı direnç gösterecek malzeme tercihinde bulunmaktır. Örneğin 304 kalite paslanmaz çeliğe yapılan molibden ilavesi ile 316 kalite malzeme oyuklu korozyona karşı daha dayanıklıdır [26].

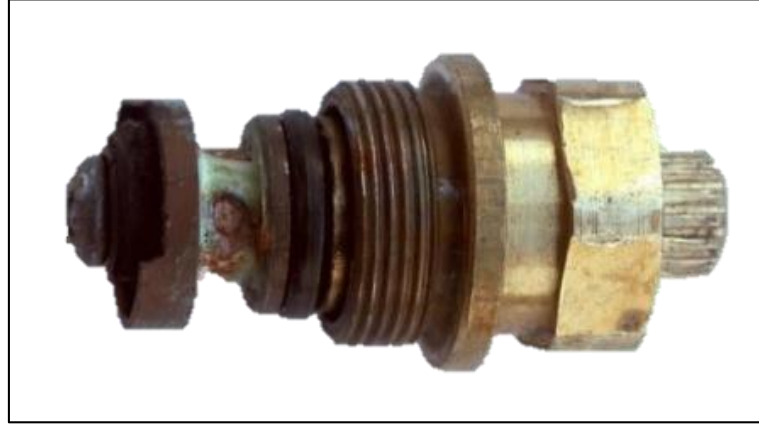
4.5. SEÇİMLİ KOROZYON

Seçimli korozyon alaşım metali içerisinde bulunan bir element veya alaşımın korozyona uğrayarak uzaklaşması olayıdır. Bu korozyon tipi en çok pirinç alaşımlarında görülmekte olup alaşım içerisinde bulunan çinkoyu bakırdan önce korozyona uğratarak alaşımdan uzaklaştırır. Pirinçten çinkonun uzaklaşması ile alaşımda kalan bakır metali gözenekli bir yapıda kalır ve başlangıçtaki pirinç alaşımının mekanik dayanımından çok daha düşük hale dönüşür [24].



Şekil 4.5. Paslanmaz çelik malzemede korozyona maruz kalan yüzeyde gerçekleşen reaksiyon döngüsü.

Aşağıdaki örnek görselde pirinç vana üzerinde oluşan dezinkifikasyon, yani çinkonun yüzeyden, alaşımdan uzaklaştığı gösterilmiştir (Şekil 4.6).



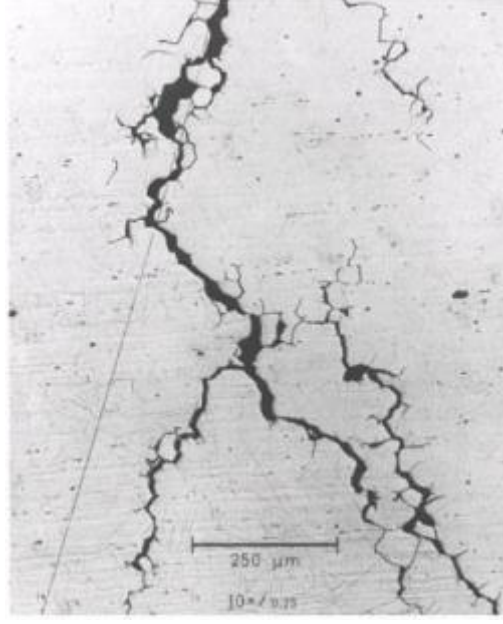
Şekil 4.6. Pirinç vanada oluşan seçici korozyon sonucunda çinkonun alaşımdan uzaklaşması.

4.6. GERİLMELİ KOROZYON ÇATLAĞI

Gerilmeli korozyon; bir malzeme üzerinde aynı anda hem mekaniksel gerilmelerin hemde korozif ortam etkisinin birleşmesinden meydana gelir. Çeşitli amaçlarla farklı yükler altında farklı ortamlarda kullanılan paslanmaz çelikler iç ve dış mekanik gerilmelere maruz kalmaktadırlar. Korozif ortam etkisi altında oluşan bu gerilmeler malzeme yüzeyinde başlayan ince kılcal çatlaklara sebep olur ve buralardan ilerleyen korozyon malzeme içine kadar ulaşabilir. Başa bir açıdan bakılacak olursa korozyon ortamında malzeme de minimum çekme mukavemeti altında bile gerilmeli korozyon çatlamaşı yaşanabilir [27].

Gerilmeli korozyon çatlamaşı, bazı alaşımların yalnızca az sayıda kimyasal ortama maruz kaldıklarında korozyona uğrama ihtimallerinin yüksek olması sebebiyle kimyasal yönden oldukça spesifikdir. Bazı alaşım grupları için bu tip bir korozyona neden olan kimyasal ortam metal yüzeyini hafifçe aşındırır. Gerilmeli korozyon çatlamaşı alaşımlarda başta olmak üzere metal yapısı içinde hızlı ilerler.

Gerilmeli korozyon çatlamaşı, özellikle Cl iyonları gibi halojenlerin bulunduğu ortamlarda yani özellikle östenitik yapılı paslanmaz çeliklerde ve alüminyum alaşımlarda daha çok görülmektedir.



Şekil 4.7. Gerilmeli korozyon çatlak morfolojisine örnek.

4.7. TANELER ARASI KOROZYON

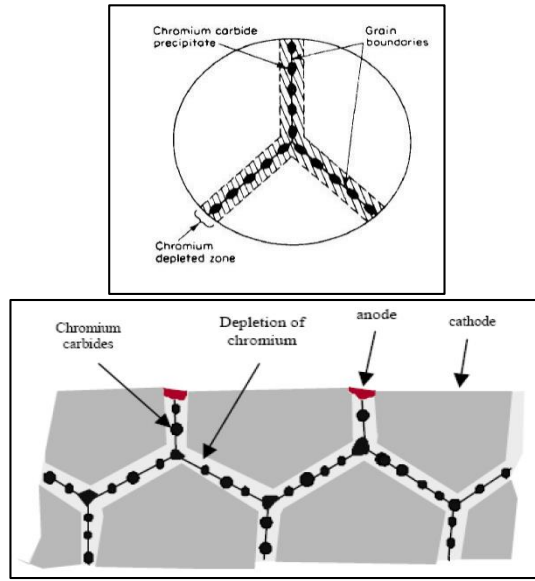
Taneler arası korozyon, metalin tane sınırlarında veya bitişik olan bölgelerinde meydana gelen korozyon türüdür. Ergimiş metal soğumaya bırakıldığında morfolojisinde kristal yapı oluşturacak şekilde katılaşır. Çok sayıda meydana gelen kristaller birbirinden tane sınırları ile ayrılmaktadır. Dolayısıyla bu bölgelerde (yani tane sınırlarında) bulunan tane yapısı tane içine göre daha düzensiz durumda olup metalin iç yapısında korozyon dayanımı en düşük bölgelerini oluşturur.

Taneler arası korozyon tane sınırlarında bulunan herhangi bir safsızlıktan oluşur. Bu safsızlıklar herhangi bir alaşım elementinin daha fazla bulunması veya eksik olmasından kaynaklanır. Bu duruma örnek olarak östenitik paslanmaz çeliklerde taneler arası sınır bölgelerinde Cr miktarı çok azdır. Dolayısıyla bu bölgeler Cr elementinin azlığından dolayı korozyona karşı zayıflardır.

Taneler arası korozyon 18-8 paslanmaz çelikler için çok özel bir durum gösterir. Bu çelik kalitesi normal koşullar altında korozyona karşı ciddi direnç gösterirken, 500-800 °C gibi bir sıcaklığa ısıtıldığında korozyona karşı duyarlı hale gelir. Bu konuda yapılan akademik çalışmalar bu etkinin 650 °C 'de 1 saat bekletildiğinde pik yaptığını

deneyimlemiştir. Bunun nedeni olarak bu sıcaklık seviyesinde tane sınırlarının kromca fakirleşmesidir. Herhangi bir paslanmaz çelik türünün paslanmazlık özelliğini sürdürebilmesi için yapısında minimum %12 oranında Cr bulundurmalıdır. Eğer paslanmaz çelik yukarıda belirttiğimiz sıcaklık aralığına çıkartılırsa çeliğin yapısı içinde bulunan Cr, C ile reaksiyona girerek tane sınırlarında birikecek olan krom-karbür ($C_{23}C_6$) bileşiğini oluşturur. Krom-karbür bileşiği çelik içinde çözünmez ve taneler arası sınır çizgileri boyunca toplanır. Eğer söz konusu çelik %0,02 ve üzerinde C oranına sahipse bu durum etkili olacaktır.

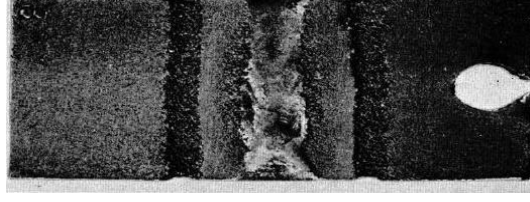
Bu tip bir kimyasal etkileşmenin sonucunda oluşacak olan krom-karbürün kendisi korozyona uğramaz ancak tane sınırlarındaki Cr oranını düşürdüğü için bu sınırlar korozyon etkisine karşı savunmasız kalırlar.



Şekil 4.8. Tane sınırlarında krom-karbür oluşum mekanizması.

Bıçak Hattı Etkisi (Knife Line Effect)

Kaynak işlemi sonrası kaynak bölgesinde taneler arası korozyona bağlı olarak gelişen bir etkidir. Kaynak işleminin uygulandığı bölgenin her iki yanında dar ve uzun bir form boyunca kendisini gösterir. Buna etkiye bıçak hattı etkisi adı verilir. Bıçak hattı etkisi özellikle kaynak çürümesine karşı alaşım elementi ilavesiyle stabilize edilmiş çeliklerde görülmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Kaynak bölgesinin her iki yanında meydana gelen yoğun bıçak hattı etkisi.

Bunun başlıca sebebi olarak; çelik içerisine stabilizör olarak ilave edilen elementlerin oluşturduğu karbürün sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde tanelerin sınır hattı boyunca çökmesidir.

Taneler arası korozyonun önlenmesi için üç yöntem mevcuttur. Bunlar;

- Isıl İşlem; Çelik malzeme yaklaşık 1000 °C'ye ısıtılır. Ardından suya & yağa daldırılarak aniden soğutmaya maruz bırakılır. Yüksek sıcaklıkta Cr-C bileşiği yapı içinde halen çözelti halindeyken ani soğuma etkisiyle çelik yapısı içine homojen olarak dağılır.
- Stabilizör Alaşım Elementlerinin İlave Edilmesi; Çelik yapısına eser miktarda Ti ve Nb gibi elementler ilave edilerek mevcut Cr miktarı değişmeden fazla karbon karbür bileşiği şeklinde stabilize edilir. 321 ve 347 paslanmaz çelikleri bu duruma örnek olarak gösterilebilir.
- Paslanmaz Çelik İçerisinde Karbon (C) Miktarının %0,03'in Altına İndirilmesi; 304L tipi paslanmaz çelikler de bu amaç doğrultusunda üretilen çeliklerdir. Bu tip paslanmaz çelikler ELC çeliği olarak adlandırılırlar. Normal 18Cr-8Ni paslanmaz çelikler %0,2 civarında C içerir. Bu oranı %0,08' e kadar indirmek zor bir uygulama değildir. Ancak C yüzdesinin %0,03 gibi değerlerin altına indirmek oldukça zahmetli ve maliyetli olup özel yöntemler kullanılması gerekir.

BÖLÜM 5

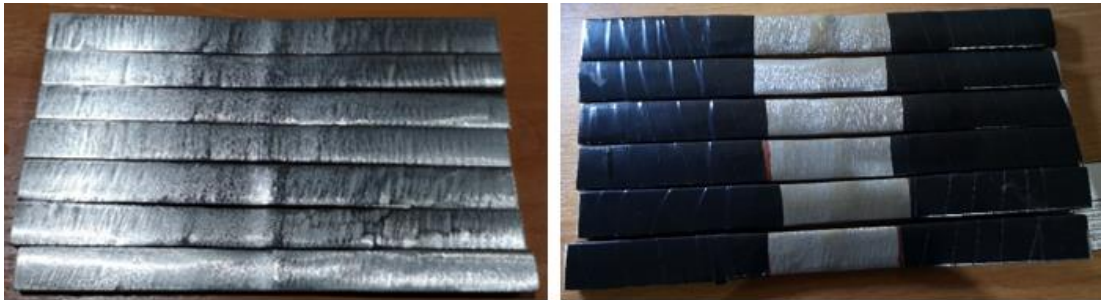
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışması Rusya Federasyonu – Omsk bölgesinde kurulan petrol rafinerisinde borulama hatlarında kullanılan 321, 316 ve St20 kalite çelik boru malzemelerinin TIG kaynaklı taneler arası korozyon davranışı GOST standartlarına göre incelemektedir.

Yapılan test ve analizler başlıklar halinde aşağıda sıralanmıştır;

- Taneler arası korozyon testi
- Çekme Testi
- Bükme Testi
- Brinell sertlik deneyi
- Makro Analiz
- Mikro Analiz

İncelenen numuneler TIG yöntemiyle kaynatılmış 219 mm çapında 6 mm et kalınlığında boru mamulden elde edilmiş olup, bu boruların kaynakları kaynakçı test atölyelerinde yaptırılmış ve ardından talaşlı imalat ile GOST-6996' da belirtilen ölçü ve boyutlarda talaşlı imalat ile işlenmiş Şekil 5.1' de gösterildiği gibi sadece kaynak bölgesinin korozyona uğraması için açık bırakıldığı şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 5.1. Kaynaklı çekme test numunelerinin korozyon deneyi öncesi hazırlanması.

5.1. TANELER ARASI KOROZYON TESTİ

Taneler arası korozyon deneyleri söz konusu endüstriyel tesis için istenilen test standartları kapsamında GOST 6032-2017 “Paslanmaz Çeliklerin Taneler Arası Korozyon Dayanımının Belirlenmesi” ’a standardında belirtilen “AMU” test metoduna göre gerçekleştirilmiştir.

Bu metot korozyon testi metalik bakır varlığında H_2SO_4 (sülfürik asit) ve $CuSO_4$ (Bakır Sülfat) çözeltisi içinde gerçekleştirilmesini anlatır. Ancak bu yöntemin uygulanabilirliği sadece “ferritik, östenitik-ferritik, östenitik” çelik kaliteleri ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmada karşılaştırma amacıyla paslanmaz çelik ve karbon çelik şeklinde kaynaklanan numunelere bu test uygulanmıştır.

Gerekli Ekipmanlar (Şekil 5.2):

- İkili Elektrikli Isıtıcı
- Erlenmeyer Beher (1 lt)
- Dört Boğumlu Geri Akış Kondensatörü
- Lateks Hortum (3 mt)
- Akvaryum Su PoMPası
- 1000 ml Saf Su
- H_2SO_4 (Sülfürik Asit)
- $CuSO_4$ (Bakır Sülfat) [Tuz Formunda]



Şekil 5.2. Taneler arası asit deneyi yönteminin düzeneği.

Çözeltinin Hazırlanması:

İlk aşamada belirtilen oranda saf suya tuz formundaki bakır sülfat eklenir ve karıştırılması suretiyle çözeltinin içinde tamamen çözünmesi sağlanır. Akabinde sülfürik asit çözeltiliye yavaşça ilave edilir. Bu sırada başlayan ekzotermik reaksiyon sonucu beherin içinde bulunan çözeltinin sıcaklığı artacak ve müdahale edilmeden soğumaya bırakılacaktır.



Şekil 5.3. Hassas terazide ölçülen 50 gr CuSO₄ (Bakır Sülfat).



Şekil 5.4. Çözelti etkileşimini arttırmak için erlenmeyer beherin tabanını kaplayacak şekilde serilen metalik bakır.

GOST standardında anlatılan bu asit test yöntemi yöntem özü aynı kalmak şartıyla ASTM- A262 ve EN ISO 3651-2:1998 standartlarında da ayrıntılı olarak izah edilmiştir.

Deney Aşaması:

Deney geri akış kondensatörlü bir cam şişe içinde gerçekleştirilmiştir. Aynı kalite çelikler birbirlerine değemeyecek şekilde birden fazla numune teste tabi tutulur. Aynı şişe içinde farklı kalite çeliklerin test edilmesine izin verilmemiştir. Reaksiyon şişesinin dibine tamamen örtecek şekilde bakır talaşı serilmiştir. Talaş miktarı numuneleri saracak kadar veya onlara değecek kadar olabilir. Deney süresi çözeltinin kaynar durumda olması ile başlar.



Şekil 5.5. Hazırlanan çözeltinin erlenmeyer behere aktarılmış ve içine numunelerin yerleştirildiğini anlatan görseller.

Erlenmeyer şişenin dibine serilen metalik bakır talaşları test sonrası kararlığı için %20-30 nitrik asit çözeltisi içinde bekletilerek yeniden kullanılacak duruma getirilir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Kararmış bakır talaşının nitrik asit çözeltisi içinde bekletilerek yeniden kullanılabilir hale getirilmesi.

Değerlendirme Aşaması:

Normal deney koşulları altında GOST-6032-2017'e göre test süresi 8 saat olmakta ve ardından numuneler $90 \pm 5^\circ$ derece bükülerek büküm yüzeyine bakılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında olduğundan dolayı farklı paslanmaz çelik kalite gruplarının hem çekme hem de eğme test numuneleri üzerinde belirli saat periyotları boyunca korozyon

testine maruz bırakıldıktan sonra hem çekme hem de eğme testlerine tabi tutulmuşlardır Akabinde yapılan diğer mekanik testle ile periyodik değişimler saptandı.

5.2. METALOGRAFİK ÇALIŞMALAR

Bu bölümde incelenen numunelerin zımparalama ve parlatma kademeleri Struers Tegramin-30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı üzerinde yapılmıştır (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Struers Tegramin-30 otomatik zımparalama ve parlatma cihazı.

Zımparalama aşamasında standart 400, 600, 800, 1000, 1200 zımpara kağıtları kullanılırken, parlatma için 3 mikron yağlayıcı etkili elmas parlatıcı kullanılmıştır.

Akabinde hazırlanan saf suyla hazırlanan %10'luk oksalik asit çözeltisi içinde elektrolitik dağlama cihazı ile katot (+) uç kaynaklı numuneye, ucunda rezistans teline bağlı anot (-) uç çözelti içinde daldırılması suretiyle dağlama işlemi yapıldı. Bu şartlar altında dağlama süresi yaklaşık olarak 60 sn olarak tecrübe edilmiştir (Şekil 5.8).



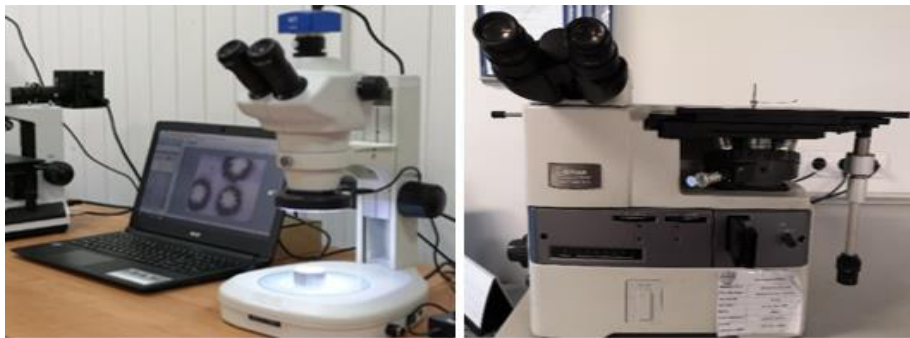
Şekil 5.8. Elektrolitik dağlama ve çözelti içindeki anot & katot uçları.



Şekil 5.9. %10 Oksalik asit çözeltisi içerisinde elektrolitik olarak 8.5V ve 60 sn dağlanan kaynaklı numuneler.

5.3. MAKRO/MİKRO ANALİZ

Makro ve mikro analizler, ZOOM-70BW (makroskop) ve Nikon MA200 optik mikroskop cihazlarından alınan görüntüler üzerinden yapılmıştır. Numuneler GOST 10243-75' da belirtilen ölçü boyutlarda işlenerek şartlara uygun biçimde makro ve mikro analizlere tabi tutulmuşlardır (Şekil 5.10.).



Şekil 5.10. Zoom-70BW Makroskop ve Nikon MA200 mikroskop.

5.4. SEM-EDX ANALİZİ

SEM analizi oldukça özel bir inceleme olup; EDX- in lens SE, SE2, BSE (EsB) ve STEM detektörleri, sıcak tabla ve yük dengeleyici modüllere sahip yüksek çözünürlüklü FESEM cihazında incelenmiştir. SEM analizi aşınma testlerinden sonra aşınma yüzeylerinin daha iyi tahlil edilebilmesi amacıyla yapılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem.

5.5. BRİNELL SERTLİK DENEYİ

Brinell sertliği tek cihaz üzerinden Rockwell (A-B-C), Brinell, Vickers türlerinde ölçüm yapma imkânı veren “Jinan Testing HBRV-187,5 Hardness Tester” cihazında gerçekleştirildi. Numuneler GOST 2999-75’ da belirtilen ölçü ve boyutlarda işlenerek şartlara uygun şekilde teste tabi tutulmuştur (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. Jinan Testing HBRV-187.5 Brinell rockwell vickers hardness tester.

5.6. ÇEKME/BÜKME TESTİ

Çekme ve bükme testleri “Jinan Testing WAW-600B Universal Tensile/Bending Hydraulic Test Machine” cihazında gerçekleştirilmiştir. Numuneler GOST 6996-66’ da belirtilen ölçü ve boyutlarda işlenerek aynı uygunluk şartları içerisinde testlere tabi tutulmuştur (Şekil 5.13).

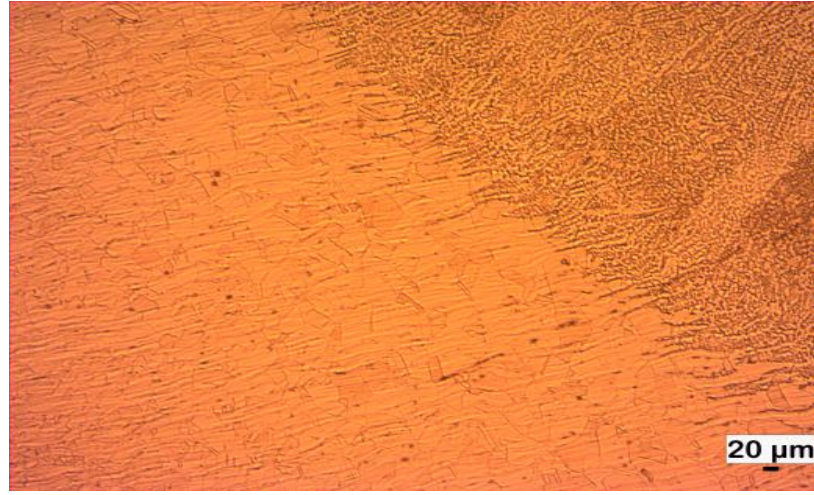


Şekil 5.13. Jinan Testing WAW-600B Universal tensile/bending hydraulic test machine”.

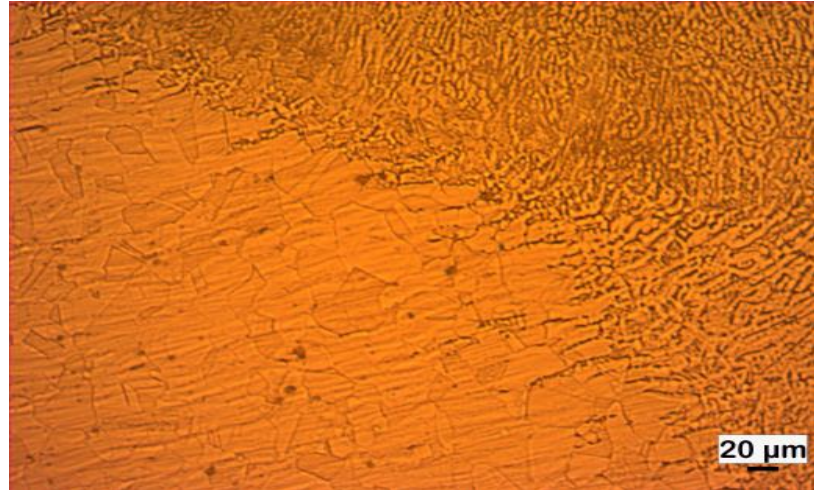
BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALARIN SONUCU

6.1. METALOGRAFİK ÇALIŞMALARIN SONUÇLARI

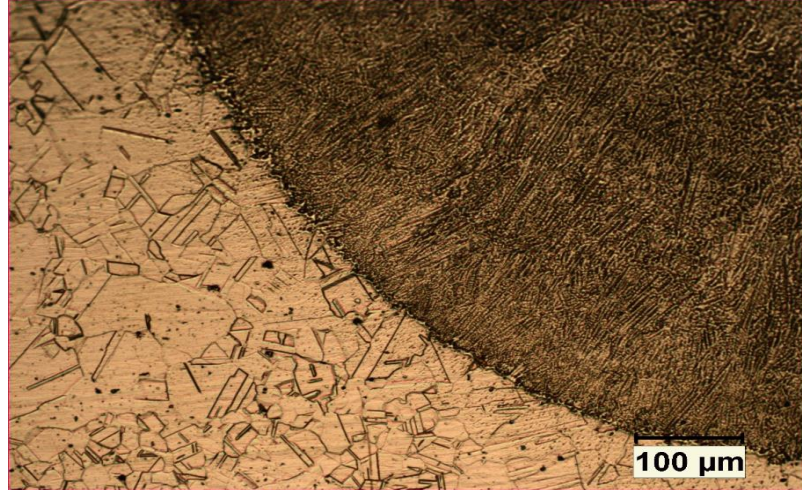


(a)

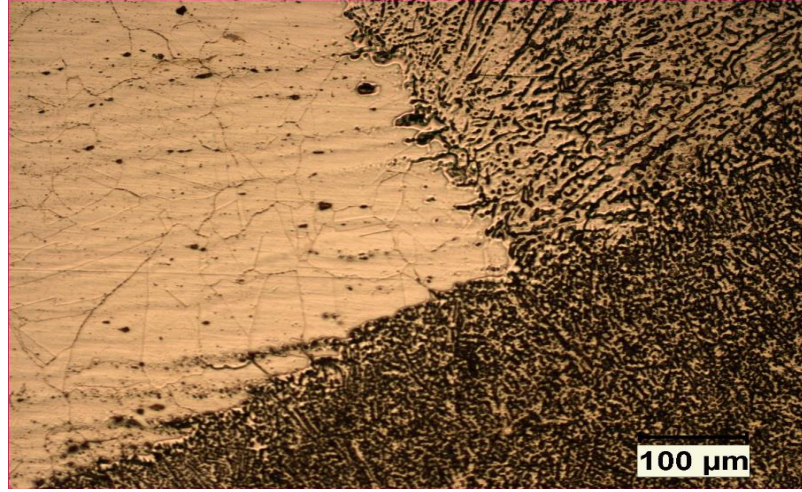


(b)

Şekil 6.1. a) 100x b) 200x Büyütmede AISI 321 kalite çeliğin; HAZ, kısmen ergimiş bölge ve kaynak bölgesini içeren mikro yapı görüntüleri.



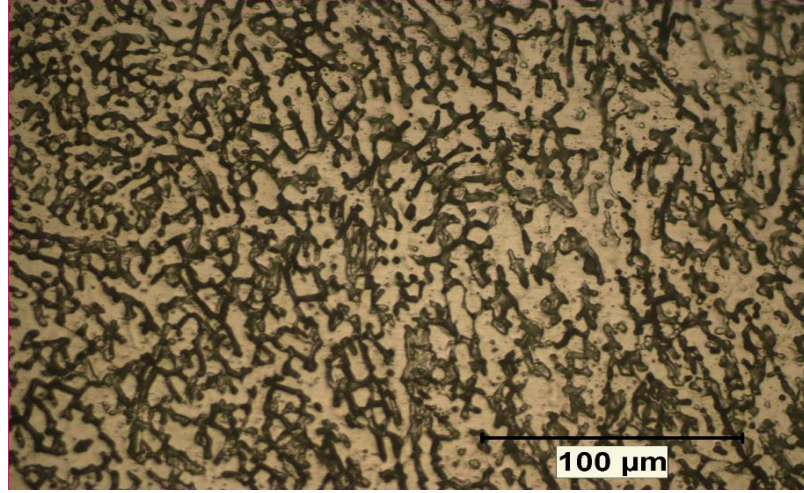
(a)



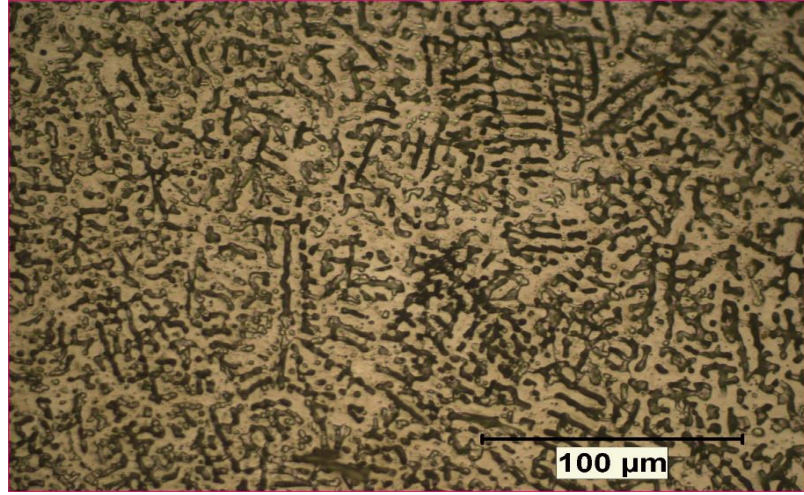
(b)

Şekil 6.2. a), b) 200x Büyütmede AISI 321 kalite çeliğin; HAZ, kısmen ergimiş bölge ve kaynak bölgesini içeren mikro yapı görüntüleri.

Şekil 6.1 (a)' da verilen mikro yapı görüntüsünde yeşil çerçeve içerisinde gösterilen bölgede kaynak yapısının ince dentritik, mavi çerçeveli bölgede eriyen kaynak metalinin katılma esnasında soğuk malzeme yapısına doğru uzamış tane yapısı, kırmızı bölgede kabalaşmış östenitik tane yapısı ve devamında yine ince taneli malzeme yapısına geçiş, Şekil 6.2' de verilen (a) ve (b) görsellerinde kaynak pasoları arası geçişler ve Şekil 6.3. ise dentritik kaynak yapısı görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 6.3. a), b) 200x Büyütmede AISI 321 kalite çeliğinin dentirik kaynak yapısı.

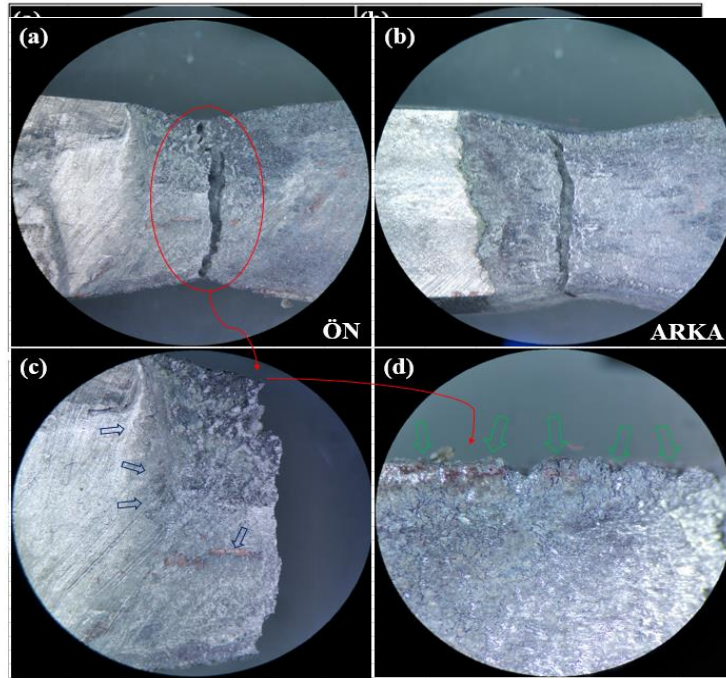
AISI 321 kalite çelik yapısında güçlü karbür yapıcılar Ti ve Nb bulundurduğu için mikroyapı görüntülerinden de anlaşılacağı üzere tane sınırlarında krom karbür oluşumu beklenmez.

6.2. MAKRO- KIRIK YÜZEY ANALİZ SONUÇLARI

$\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Saf su}$ çözeltilisinde belirli periyotlar boyunca bekletilen test numunelerinin (çekme/ eğme) kopma ve bükülme yüzeylerinden oluşabilecek herhangi bir deformasyonu saptamak için makro görüntüleri alındı ve gruplar kendi

içlerinde kıyaslamalara tabi tutuldular. Bunun sonucunda malzeme kalitesinde bağlı olarak bükme ($>90^\circ$) testlerinde herhangi bir çatlak, kırılma, kopma oluşumu veya bariz bir deformasyon görülmedi ancak çekme deney sonuçlarında özellikle kopmaların HAZ bölgelerinde gerçekleştiği ve korozyon aşınmalarının ciddi bir kısmının bu bölgelerde meydana geldiği görülmektedir.

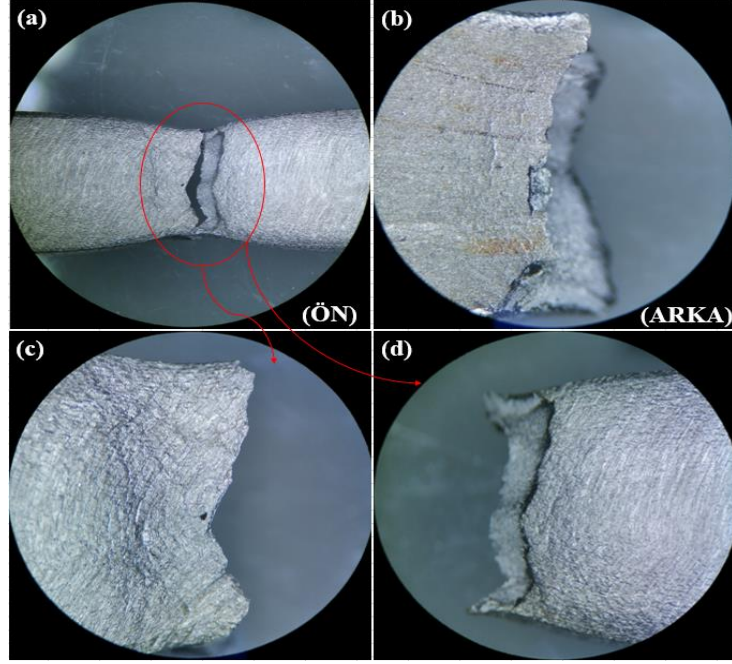
6.2.1. 321/321 Numunelerinin Çekme Deneyi Makro Görüntüleri



Şekil 6.5. a), b) AISI 321 Paslanmaz çeliğinin korozyon çözeltisinde 210 saat beklemiş çekme test numunesinin kopma bölgeleri (50x), c) Kopma bölgesi (100x), d) yoğun korozif aşınmaya uğramış bölgeden alınan yakın görüntü (200x).

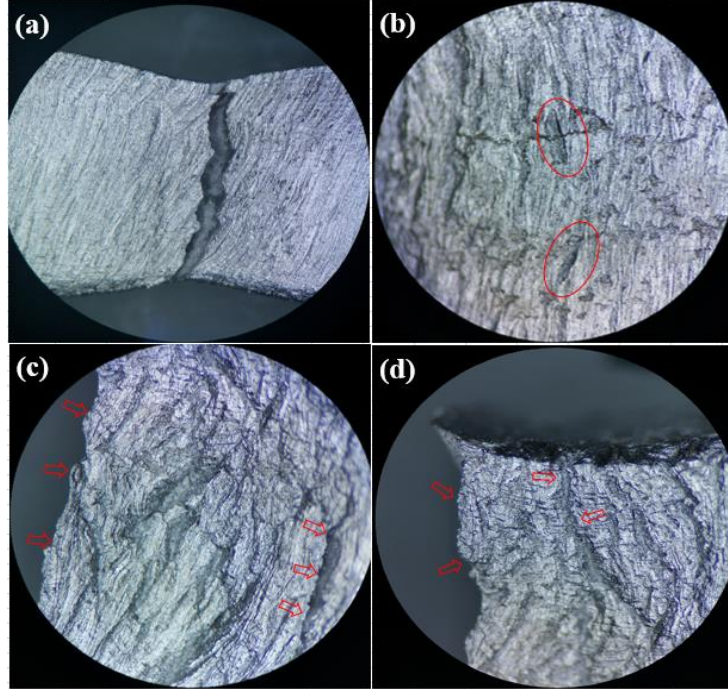
Yukarıda belirtilen makro görüntüleri verilen 321 kalite östenitik paslanmaz çelik numunesi, kaynar $\text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Saf su}$ çözeltisi içinde maksimum 210 saat bekletilerek taneler arası korozyona maruz bırakılmıştır. Bu süreçte çözelti içinde bulunan Cu^{+2} iyonları yapı içinde tane sınırlarını hedef almasıyla özellikle HAZ bölgesinde yüzeysel metal kayıplarına yol açmış ve çekme deneyi sonucu da kopmalar genellikle bu bölgelerde gerçekleşmiştir.

6.2.2. 316/316 Numunelerinin Çekme Deneyi Makro Görüntüleri



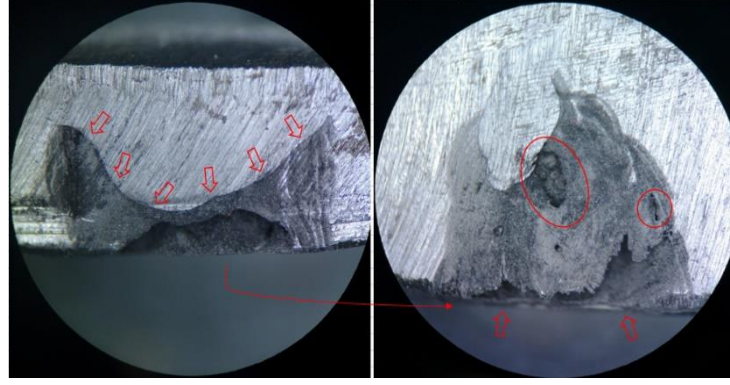
Şekil 6.6. a), b), c), d) AISI 316 Kaynaklı paslanmaz çeliğinin korozyon çözeltisine daldırılmamış çekme test numunesinin kopma bölgeleri.

Şekil 6.6.' de görüldüğü üzere herhangi bir korozif ortama maruz kalmamış test numunesinin kopma bölgesi oldukça temiz durumdadır. Kopma ağzındaki girinti-çıkıntı görüntüsü az ve geniş yüzeylerdedir.



Şekil 6.7. a), b), c), d) AISI 316 Kaynaklı paslanmaz çelik çekme deneyi test numunesinin 56 saat kaynar korozif çözeltide beklemesi sonucu oluşan makro yüzey görüntüleri.

Bu malzeme grubu için çözeltide maksimum bekleme süresi 56 saat olmuştur. Bu numuneye ait çekme deneyi sonrası makro görüntüler Şekil 6.7’de verilmiştir. Şekil 6.6. ve Şekil 6.7. kıyaslanacak olursa malzemenin korozif ortamda beklediği net olarak ayırt edilebilmektedir. Resim üzerinde işaretlenen bölgelerde belirgin olması ile genel olarak da malzeme yüzeyinde oyuklaşmalar şeklinde kayıplar görülmektedir. Bu nedenle yüzeyde meydana gelen bu hasar çekme deneyi sırasında da çentik etkisi oluşturup çekme mukavemetini düşürdüğü şeklinde yorumlanacaktır.

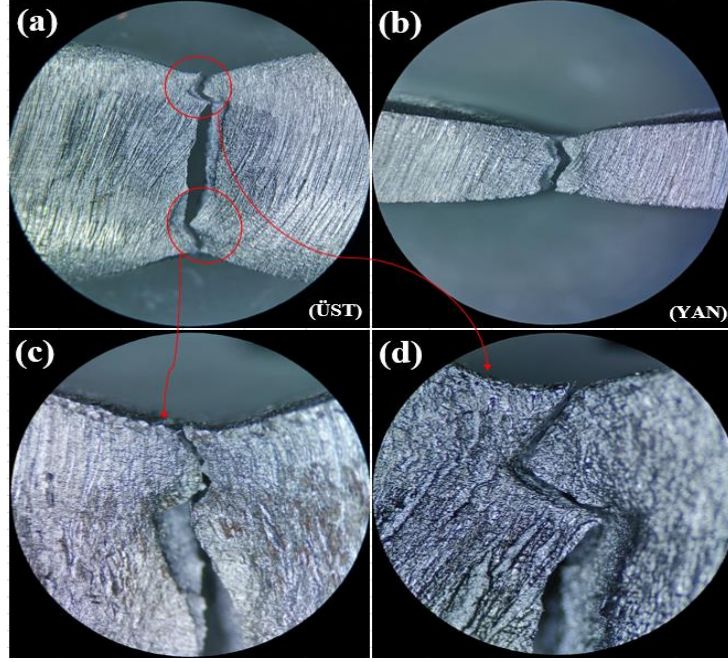


Şekil 6.8. 56. Saat sonunda kaynak bölgesinde korozyon direnci düşük bir noktadan başlayan malzeme kaybının metalin içinde doğru ilerleyerek oyuklaşması.

Kaynar bakır-sülfat ve sülfürik asit çözeltisi içinde bekleyen kaynaklı numunelerde korozyon aşınma etkisi kaynak bölgesini HAZ bölgesini etkilediği kadar etkileyememektedir. Ancak Şekil 6.7.' de verilen görselde 56 saat çözeltide bekleyen numunenin kaynak bölgesinde ciddi bir oyuklaşma meydana gelmiştir. Bunun nedeni olarak kaynak metali döküm katılaşmasına benzer bir şekilde katılaşır ve bu esnada oluşabilecek ısıl dengesizlikler ve elementlerin heterojen dağılım göstermesi bunun gibi lokalize bölgelerde bu tip bir aşınmaya etkisine karşı zayıf kalabilir.

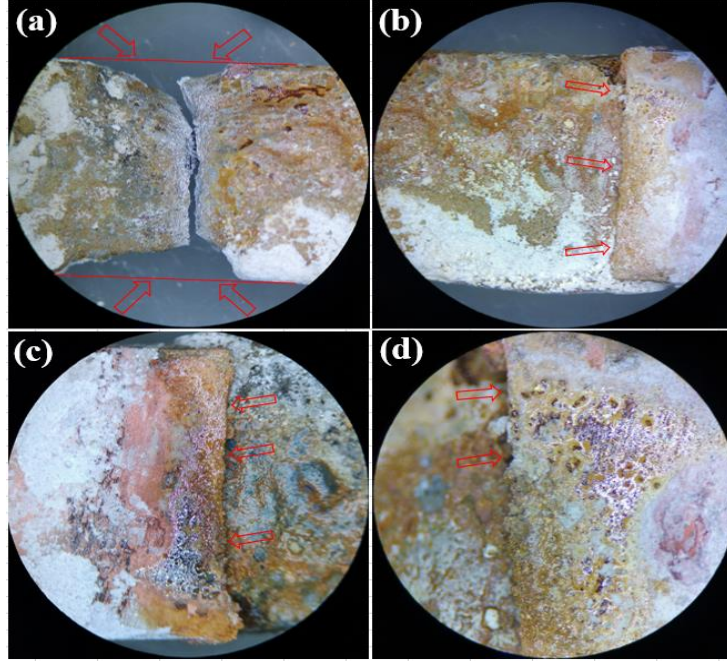
6.2.3. 321/St20 Numunelerinin Çekme Deneyi Makro Görüntüleri

Şekil 6.8.'de görülen makro görüntüler paslanmaz çelik ile kaynak yapılan düşük alaşımlı karbon çelik numunesinin çekme deneyi sonucu kopma bölgesini göstermektedir. Bu numuneler daha düşük mukavemet ve akma dayanımlarına sahip olan karbon çeliği tarafında yer alan HAZ bölgesinden kopmuştur.



Şekil 6.9. Çözeltide bekletilmemiş 321/St20 kaynaklı numune, a), b) Kopma bölgesinin üst ve yan açılardan görünüşü, c), d) bu bölgeler ki girinti ve çıkıntuların yakından görünüşü.

Literatür taramalarında da bilindiği üzere bu tip korozyon çözeltisinin sadece östenitik paslanmaz çeliklerin taneler arası korozyon davranışını belirlemeye yönelik olduğu sabitti ancak aynı çözelti içinde düşük alaşımlı karbon çeliklerinin sergileyeceği davranışı gözlemlmek için paslanmaz çeliklere ilaveten deneylere dahil edildiler (Şekil 6.9).

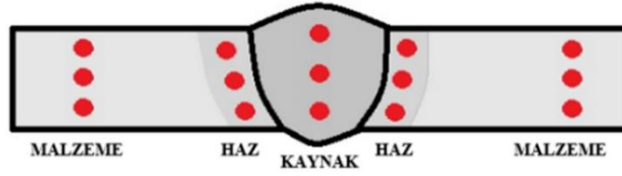


Şekil 6.10. a), b), c), d) 32 Saat çözeltide bekletilmiş 321/St20 çekme test numunesi kopma bölgesi.

AISI 321/ St20 kaynaklı numunelerde maksimum 40 saate kadar çözeltide bekletme uygulanmış olup 40. saatin sonunda St20 malzemenin aşırı korozyona bağlı olarak meydana gelen malzeme kaybından dolayı numune kendiliğinden ikiye ayrıldı. Bu grupta mekanik teste tabi tutulan son numune ise 32 saat çözeltide bekleyen olup Şekil 6.10.'da görüntüleri verilmiştir. Şekil 6.9. (a) karesinde kopma bölgesinde meydana gelen malzeme kaybı net olarak kendini göstermektedir. (b), (c) ve (d) görsellerinde ise yüzeyde yoğun bir şekilde tutunmuş olan Cu^{+2} iyonlarının oluşturduğu katmanlar görülmektedir. Oluşan bu katmanlar ile metal arasında ise bakır-sülfat tuzları tutunmuşlardır.

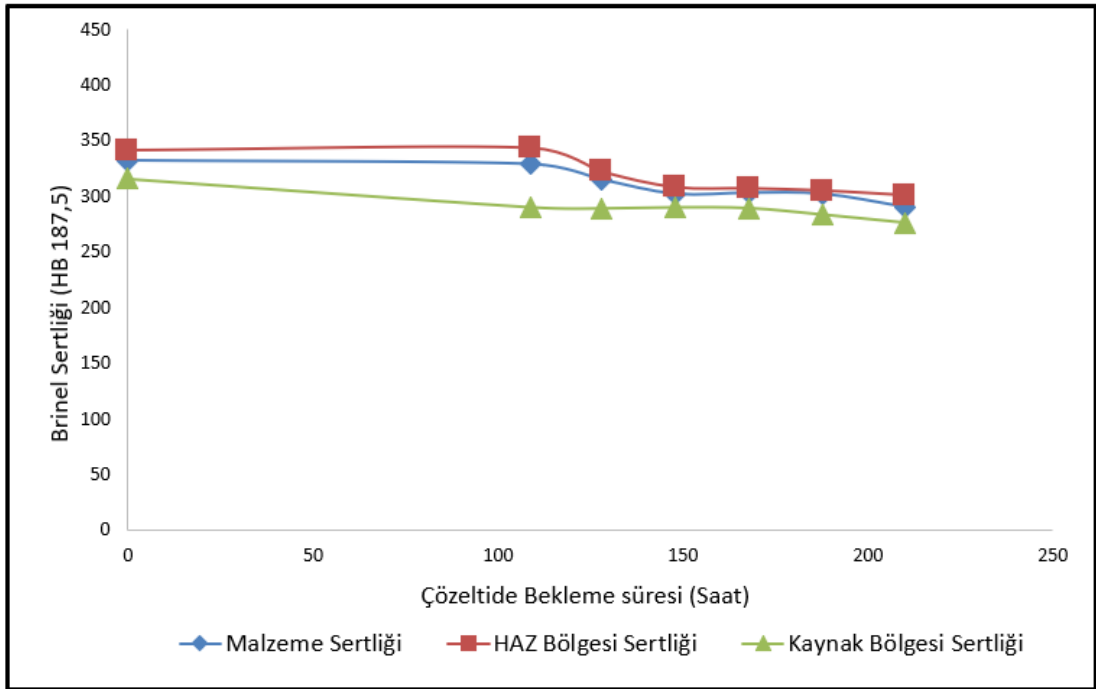
6.3. BRINELL SERTLİK SONUÇLARI

Brinell sertlik değerleri kaynaklı test numuneleri üzerinden Şekil 6.1.'de gösterilen noktalardan üçer set şeklinde alınmış olup ortalama değerleri kaydedilmiştir.



Şekil 6.11. Numune üzerinde sertlik ölçümü yapılan bölgelerin gösterimi

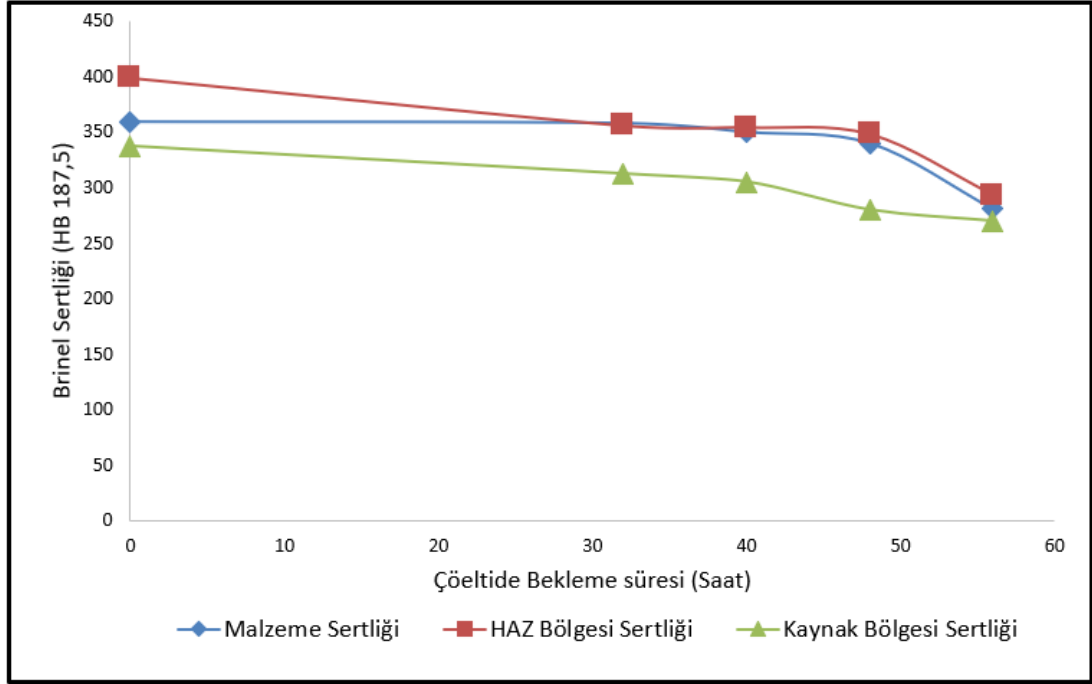
6.3.1. 321/321 Numunelerinin Brinell Sertlik Sonuçları



Şekil 6.12. AISI 321 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre malzeme, HAZ ve kaynak bölgelerinde meydana gelen sertlik değişimleri.

Şekil 6.12.'da belirtilen sertlik değerlerinin değişimlerine bakıldığında bazı periyotlarda artış şeklinde görülen değerler kaydedilse bile genel anlamda taneler arası korozyona maruz kalma süresi uzadıkça malzeme, HAZ ve kaynak bölgelerinde sertlik azalışı net olarak gözükmemektedir. 0 saat ve 210. saat arasında sertlik değerlerinde yaklaşık olarak malzeme de %12, HAZ 'da %11 ve kaynakta %12 azalma görüldü.

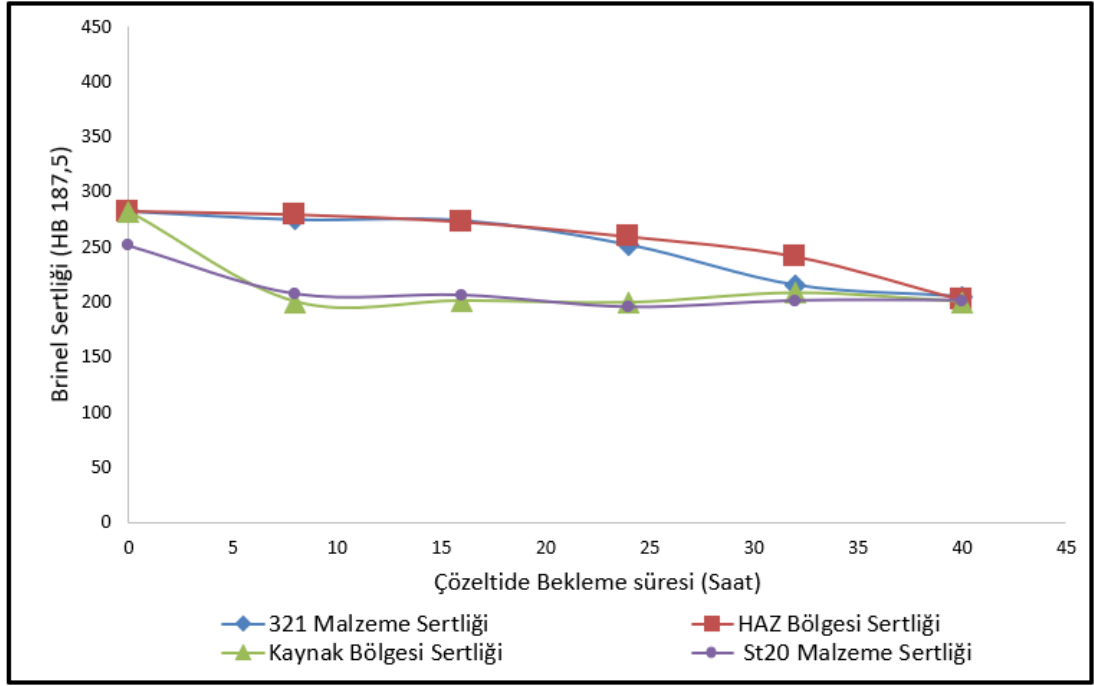
6.3.2. 316/316 Numunelerinin Brinell Sertlik Sonuçları



Şekil 6.13. AISI 316 Kaynaklı numunelerinin çöeltide bekleme periyotlarına göre malzeme, HAZ ve kaynak bölgelerinde meydana gelen sertlik değışimleri.

Şekil 6.13.' de verilere bakıldığında çöelti içinde bekletilen 316/316 kaynaklı numunelerin kaynak bölgesinde ölçülen değerler 40. saatin sonunda, malzeme ve HAZ bölgesi sertlikleri de 48. saatin sonuna kadar gidışata aykırı artışlar gözlemlense bile ilk ve son değerler baz alındığında sertlik değerlerinde ciddi düşüşler söz konusudur. Dolayısıyla genel manada yaklaşık olarak malzeme de %21, HAZ'da %26 ve kaynak bölgesinde %11 oranlarında düşüşler kaydedilmiştir.

6.3.3. 321/St20 Numunelerinin Brinell Sertlik Sonuçları

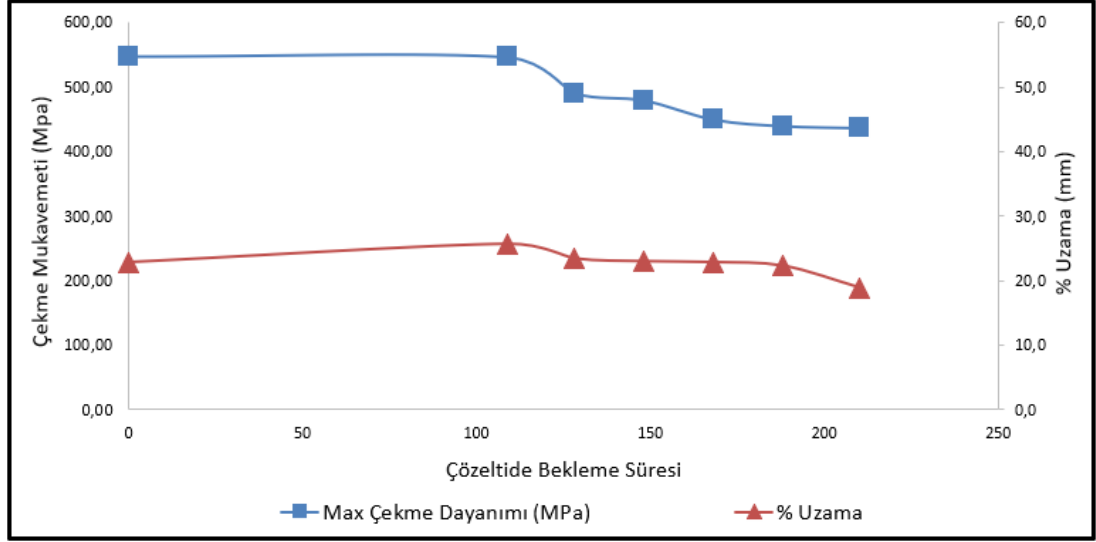


Şekil 6.14. AISI 321/ St20 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre malzeme, HAZ ve kaynak bölgelerinde meydana gelen sertlik değişimleri.

Şekil 6.14.'de belirtilen veriler paslanmaz çelik ve karbon çelik kaynak bağlantılı numunelere ait sertlik değerleridir. Bu numune grubunun taneler arası korozyon çözeltisinde bekletilme amacı tamamen düşük alaşımlı karbon çeliğinin çözelti içinde vereceği tepkileri gözlemlemek ve mekanik sonuçları gözlemlemek içindir. Verilere bakıldığında tüm bölgelerden alınan sertlik değerleri genel olarak düşüşlerini devam ettirmiş durumdadır. AISI 321 kalite malzeme sertliğinin daha önceki numunelerde ölçülenlere nazaran daha düşük seyretmesinin sebebi olarak düşük alaşımlı karbonlu malzeme ile kaynatılmasından dolayı şeklinde yorumlanabilir. Ortamdaki karbon bulunabilirliğinin artması hem kaynağın hem de malzemenin korozyona karşı olan dirençleri olumsuz yönde etkilemiştir.

6.4. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

6.4.1. 321/321 Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları

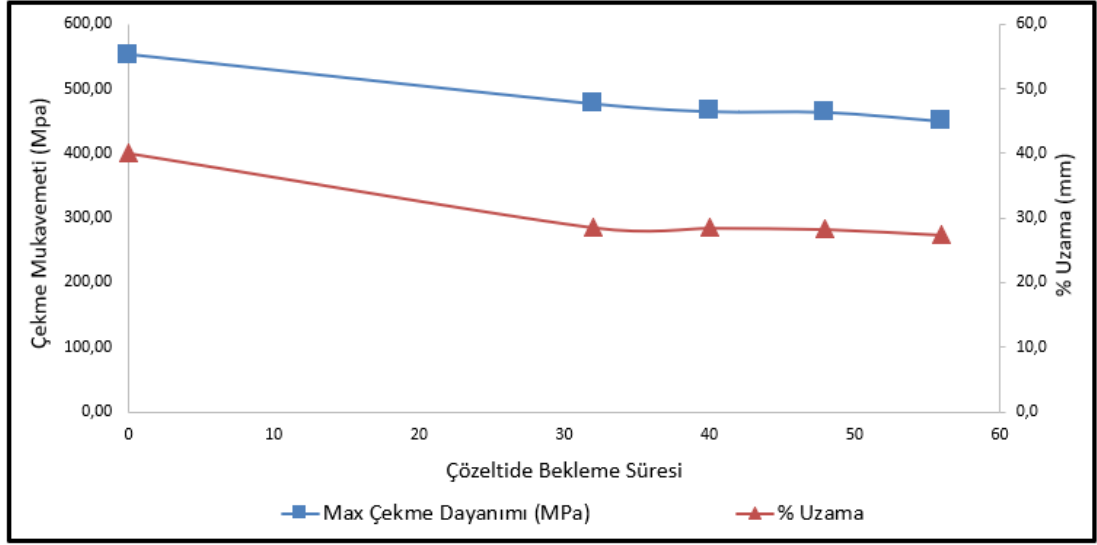


Şekil 6.15. AISI 321 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre çekme mukavemetlerinde ve % uzama değerlerinde meydana gelen değişim.

Şekil 6.15.' de görülen grafikte “kare” veri etiketli egride çözeltide bekleme sürelerine çekme mukavemetindeki değişim gösterilmektedir. Yaklaşık 188. saatin sonunda küçük çaplı bir artış görülse bile ilk ve son numunelere bakıldığı zaman net olarak bir düşüş görülmekte olup yaklaşık %18’lik bir kayıp kaydedilmiştir.

“Üçgen” veri etiketli egride ise numunelerin %uzama değerleri gösterilmekte olup 149. saatin sonunda bir dalgalanma yaşansa bile genel anlamda ilk ve son numune arasında malzeme de %4’lük bir kayıp görülmektedir.

6.4.2. 316/316 Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları

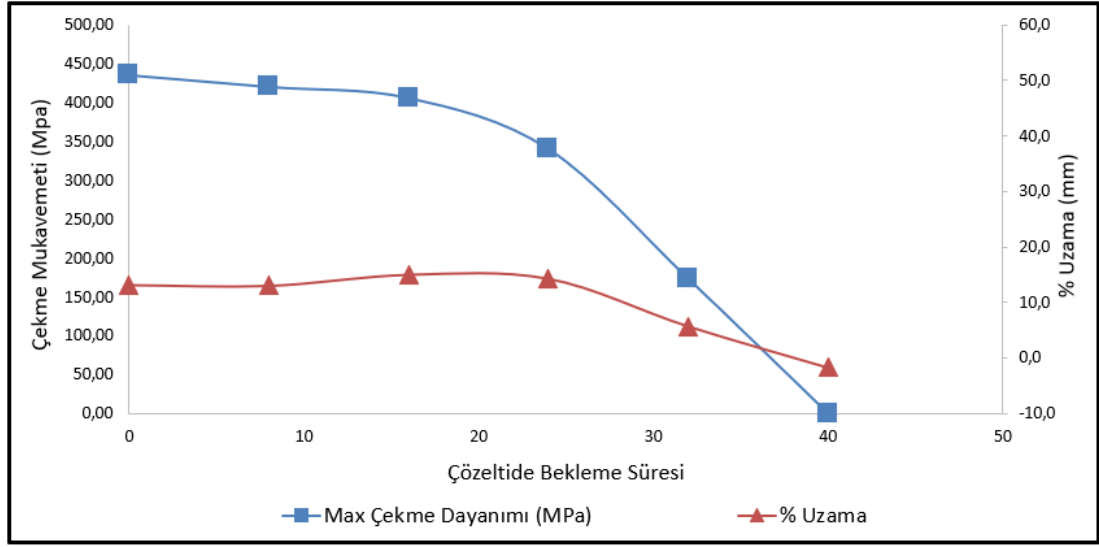


Şekil 6.16. AISI 316 Kaynaklı numunelerinin çözültide bekleme periyotlarına göre çekme mukavemetlerinde ve % uzama değerlerinde meydana gelen değişim.

Şekil 6.16’da görülen verilerde çekme mukavemetini temsil eden “kare” veri etiketli eğride yaklaşık 48. saatin sonunda pozitif yönde bir dalgalanma yaşanırken genel anlamda ilk ve son veriler kıyaslandığında yaklaşık %9,5’luk kayıp saptanmıştır.

“Üçgen” veri etiketli eğride ise numunelerin % uzama değerleri verilmekte olup çekme mukavemet değerlerinde olduğu gibi 48. saatin sonunda pozitif yönlü bir hareketlenme görülmektedir. Ancak genel anlamda bakılacak olursa ilk ve son numune arasında malzeme de %12,6’lık bir uzama kaybı görülmektedir.

6.4.3. 321/St20 Numunelerinin Çekme Deneyi Sonuçları



Şekil 6.17. 321/St20 Kaynaklı numunelerinin çözeltide bekleme periyotlarına göre çekme mukavemetlerinde ve % uzama değerlerinde meydana gelen değişim.

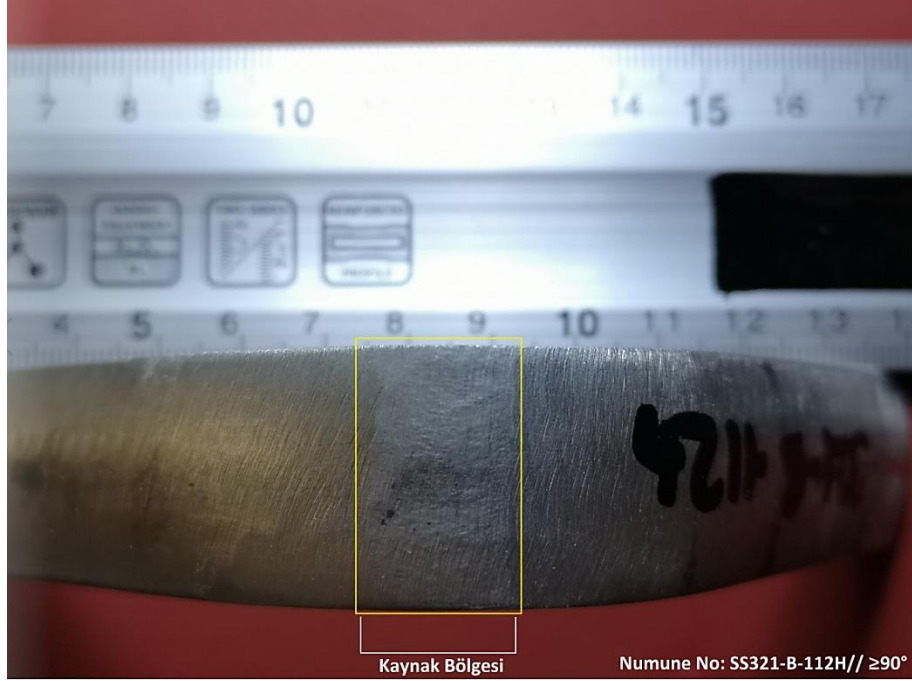
Şekil 6.17’da görülen verilerde çekme mukavemetini temsil eden “kare” veri etiketli eğride yaklaşık 16. saatin sonunda pozitif yönde bir dalgalanma yaşanırken genel anlamda ilk ve son veriler kıyaslandığında yaklaşık %60’lık kayıp saptanmıştır.

“Üçgen” veri etiketli eğride ise numunelerin % uzama değerleri verilmekte olup çekme mukavemet değerlerinde olduğu gibi 16. saatin sonunda pozitif yönlü hafif bir hareketlenme içinde görülse bile genel anlamda bakılacak olursa ilk ve son numune arasında malzeme de yaklaşık %14,8’lik bir uzama kaybı görülmektedir.

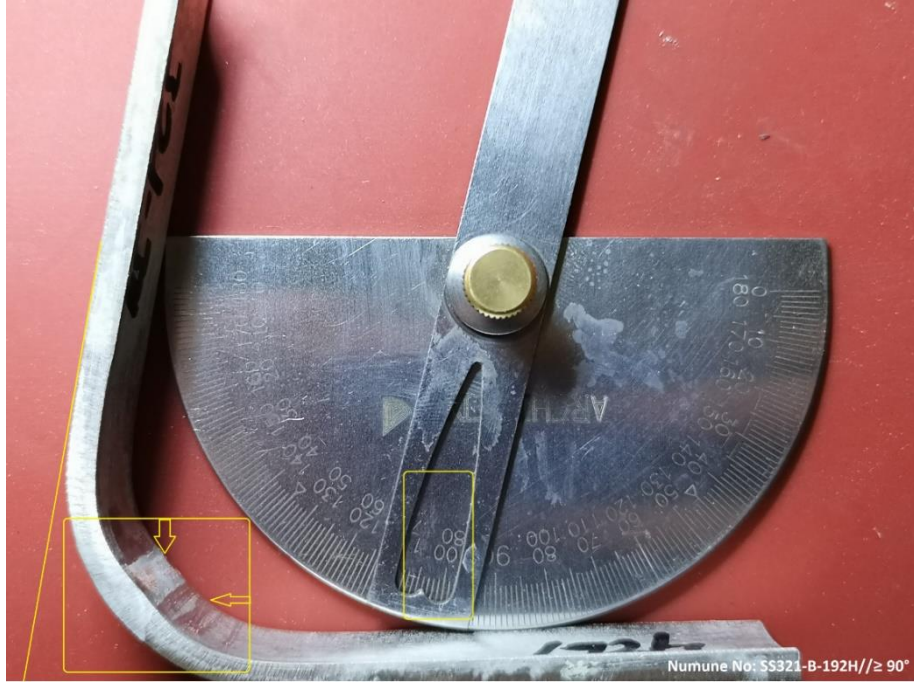
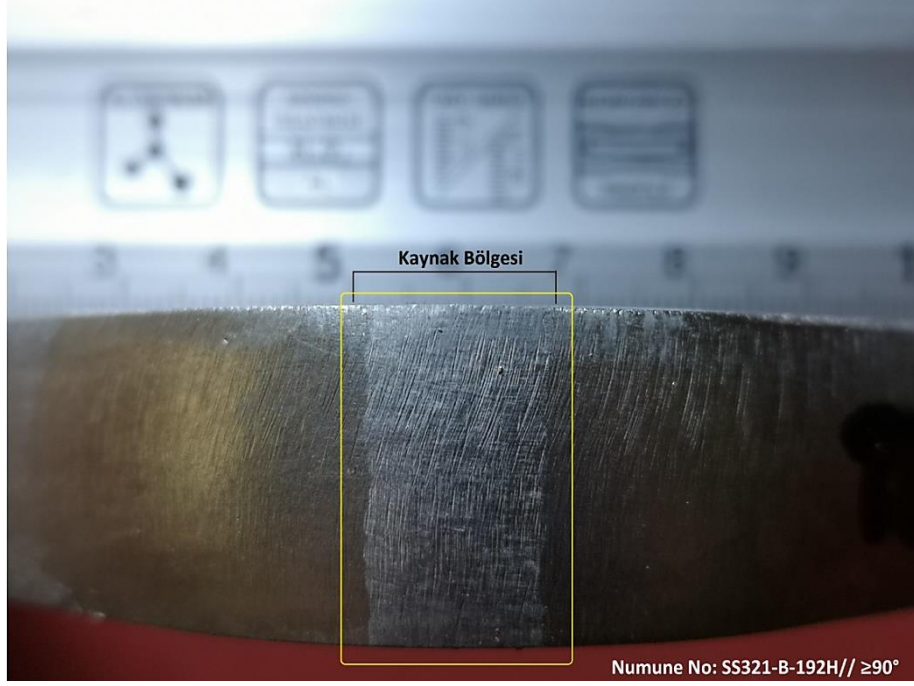
Ancak paslanmaz ve karbon çeliklerinin kaynakla birleştirildiği bu numuneler söz konusu çözeltide test edilmek için uygun olmamalarına karşın verecekleri tepkiler ölçülmek için bu şekilde bir test yapılması amaçlandı. Dolayısıyla elde edilen mekaniksel sonuçlar malzemede aşırı derecede oluşan malzeme kayıpları da gözetilerek saptandı.

6.5. EĞME DENEYİ VE GÖZLE MUAYENE SONUÇLARI

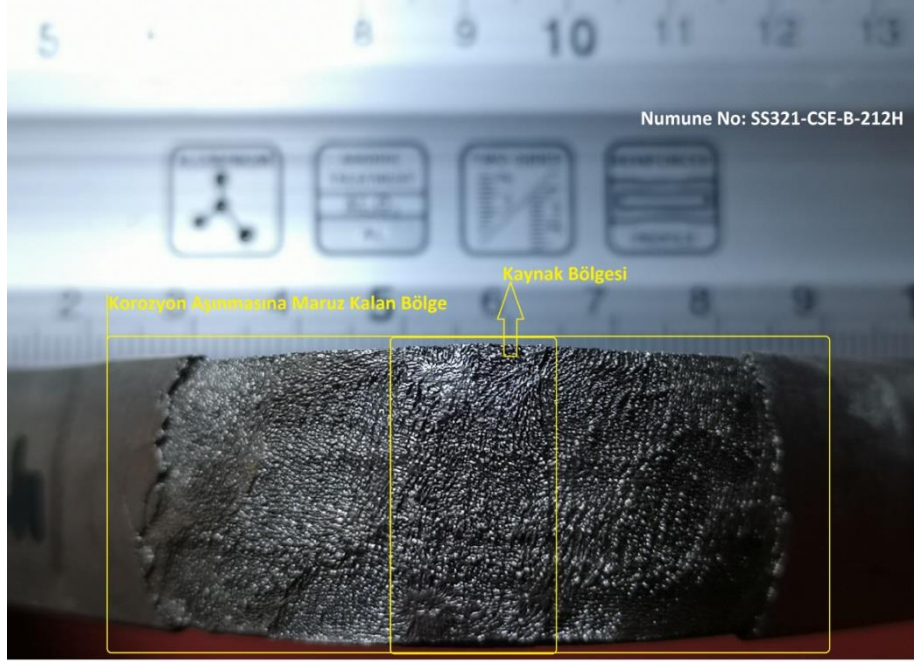
6.5.1. 321/321 Numunelerinin Eğme Deneyi Gözle Muayene Sonuçları



Şekil 6.18. AISI 321 Kalite kaynaklı test numunesinin 122 saat çözeltide bekledikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.



Şekil 6.19. AISI 321 Kalite kaynaklı test numunesinin 192 saat çözültide bekledikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.



Şekil 6.20. AISI 321 Kalite kaynaklı test numunesinin karbon çeliği eklenerek hassaslaştırılmış çözelti ortamında 212 saat bekleddikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.

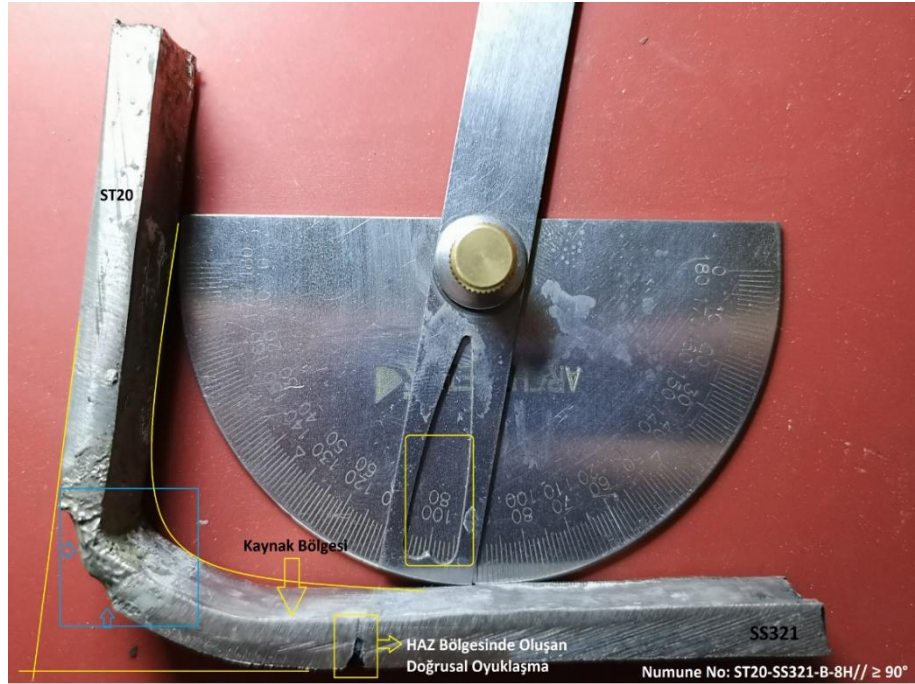
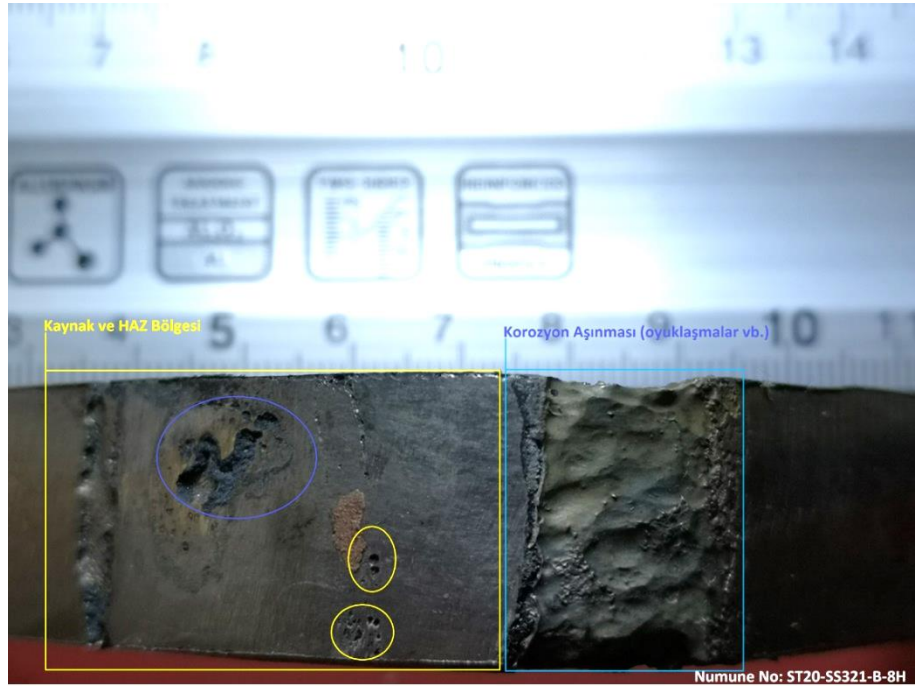
Şekil 6.18' de verilen makro görsellerde yaklaşık 112 saat korozif etkiye maruz kalmış kaynaklı test numunesi görülmekte olup gözle yapılan muayene sonucunda >90° kep bükülen numunedeki herhangi bir çatlak, yırtılma veya kaynak bölgesinde bir ayrılma

görülmemiştir. Sadece asitli çözelti etkisiyle kaynak bölgesi kendisini net olarak belli etmektedir.

Şekil 6.19'da verilen makro görsellerde yaklaşık 192 korozif etkiye maruz kalmış kaynaklı test numunesi görülmekte olup gözle yapılan muayene sonucunda $>90^\circ$ kep bükülen numunede herhangi bir çatlak, yırtılma veya kaynak bölgesinde bir ayrılma görülmemekle birlikte Şekil 6.18'deki görsellere nazaran daha derin yüzeysel çizikler dikkat çekmektedir.

Şekil 6.20'de verilen görselde ise AISI 321 kalite kaynaklı numunelerin çekme deneylerinden elde edilen tecrübelerden yola çıkarak korozif etki altında aşırı bir malzeme kaybı yaşamadığı ve dolayısıyla bükme testi sonrasında da hasara uğramayacağı öngörülmüştü. Bu sebepten dolayı malzemenin korozyon etkisine karşı daha hassas davranmasını sağlamak için çözelti içerisine alaşımsız karbon çeliği dahil edildi ve 212 saat bekletildi. Bu süreç sonunda ise görsellerden de anlaşılacağı üzere malzemede bükme testiyle çatlama, ayrılma vs. durumlar görülme bile yüzeyde çok ciddi bir tahribat oluşturduğu açıktır. Buradan hareketle ortamdaki C ortamındaki artış korozyona ataklarına karşı güçlü bir şekilde alaşımlandırılmış 321 paslanmaz çelik kalitesinde dahi tahribata sebep olmuştur.

6.5.2. 321/St20 Numunelerinin Eğme Deneyi Gözle Muayene Sonuçları



Şekil 6.21. AISI 321/St20 Kalite kaynaklı test numunesinin 8 saat asit test çözeltisinde beklendikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.



Şekil 6.22. AISI 321/St20 Kalite kaynaklı test numunesinin 8 saat asit test çözeltisinde bekleddikten sonra uygulanan 90° bükme test numunesi.

Şekil 6.21.'de verilen makro görsellerde yaklaşık 8 saat boyunca korozif etkiye maruz kalan paslanmaz çelik ve karbon çeliği kaynaklı test numunesi verilmiş olup gözle yapılan muayene sonucunda >90° kep bükülen numunede paslanmaz çelik tarafında ciddi bir tahribat görülmemekle kaynak bölgesine geçişte oldukça küçük ve az sayıda

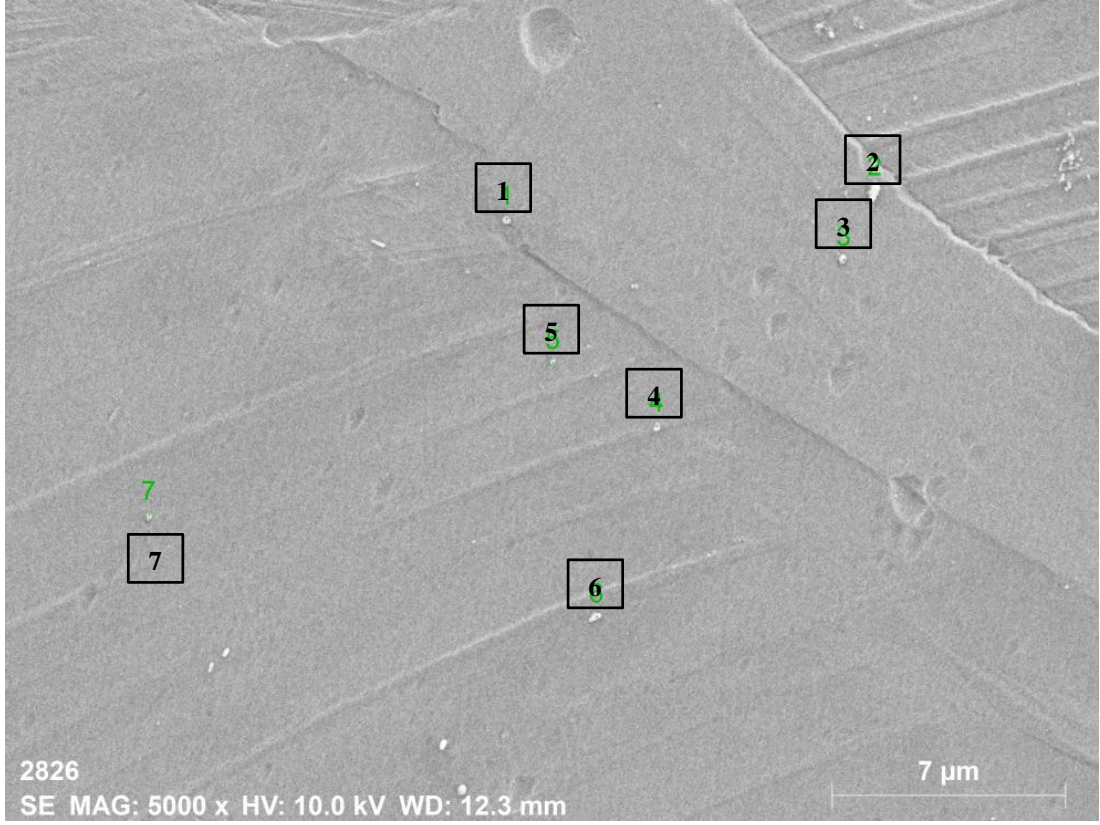
delikler görünmekle birlikte alaşımsız karbon çeliği tarafında oldukça derin ve homojen malzeme kaybı görülmektedir.

Şekil 6.22’de verilen makro görselde ise yaklaşık 24 saat boyunca asit çözeltisinde bekleyen numunenin paslanmaz çelik tarafında ortamdaki C fazlalığından dolayı ciddi yüzeysel tahribatlar gözükürken koroziye karşı oldukça dayanıksız olan alaşımsız karbon çeliği tarafında büyük ölçüde malzeme kayıpları geniş çaplı oyuklaşmalar meydana gelmiştir.

6.6. SEM-EDX SONUÇLARI

Taneler arası korozyon deneyine maruz bırakılmak için kaynaklanmış ve herhangi bir koroziye maruz kalmamış AISI 321 ve AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelik numunelerin yapılarında kaynak sonrası krom-karbür veya inklüzyonların varlığına ilişkin şüpheyi söndürmek için SEM-EDX analizi yapıldı.

Şekil 6.23’ de kaynaklı AISI 321 malzemeye ait SEM görüntüsü verilmiş olup herhangi bir karbür oluşumuna rastlanmamakla birlikte inklüzyon benzeri noktalardan alınan ve Çizelge 6.1’ de gösterilen EDX verilerinde ise bu noktalarda yüksek oranda Ti elementinin varlığı göze çarpmaktadır.



Şekil 6.23. Kaynaklı AISI 321 kalite östenitik paslanmaz çelik numunedan alınan SEM görüntüsü.

Şekil 6.24.'te ise kaynaklı AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelikten alınan SEM görüntülerine yer verilmiş olup bu görüntüde belirtilen noktalardan alınan EDX analizleri ise Çizelge 6.2.'de tablo halinde verilmiştir. Şekil 6.24., Şekil 6.23.'de olduğu gibi yüzeyde herhangi bir karbür oluşumuna rastlanmamıştır.

Çizelge 6.1. SEM görüntüsü üzerinde belirtilen noktalardan alınan EDX değerleri.

BÖLGE	ELEMENTLER (%)				
	C	Ti	Fe	Nb	Mo
1	32,13	57,09	9,03	0,13	1,61
2	24,98	67,46	5,81	0,42	1,33
3	17,61	45,42	35,20	0,00	1,77
4	18,84	36,42	43,55	0,00	1,18
5	13,02	9,45	77,53	0,00	0,00
6	29,73	59,95	8,11	0,00	2,21
7	29,12	61,55	7,90	0,00	1,44



Şekil 6.24. Kaynaklı AISI 316 kalite östenitik paslanmaz çelik numunedan alınan SEM görüntüsü.

Çizelge 6.2. SEM görüntüsü üzerinde belirtilen noktalardan alınan EDX değerleri.

BÖLGE	ELEMENTLER (%)				
	C	Ti	Fe	Nb	Mo
1	7,18	1,33	89,50	0,73	1,26
2	11,04	1,02	87,22	0,21	0,52
3	11,15	11,18	75,95	1,16	0,56

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR

Özellikle östenitik paslanmaz çelikler de uygulanan kaynaklı birleştirme işlemlerinden sonra yapı içerisinde krom karbür oluşumuyla yapı içindeki Cr düşüşüne bağlı olarak korozif etkilere karşı direnç kaybının endüstriyel işlerde ciddi sıkıntılar doğuran sebeplerden biri olduğu bilinmektedir. Bunun üzerine Ti ve Nb gibi güçlü karbür yapıcılar ile alaşım oluşturularak üretilen AISI 321 kalite östenitik paslanmaz çeliğin taneler arası korozyon özelliklerini belirlemek hem de korozyon sınırını öğrenmek amacıyla farklı çelik kalitelerinin de dahil olduğu tez çalışması ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın genel çıktıları aşağıda listelenmektedir;

- Kaynar asit çözeltisi içerisinde taneler arası korozyon testine tabi tutulan AISI 321/AISI 321 kalite östenitik paslanmaz çelik düşük periyotlarda gözle yapılan muayenelerde yüzeyde herhangi bir tahribat olmamasından dolayı bu numunelerin testleri 210 saate (8-9 gün) varan sürelerle kadar devam etmiştir.
- Çekme deneyi sonuçlarına bakıldığında bazı numunelerde sıçramalar olsa bile korozif ortama maruz kalmamış ve 210 saat için korozyona maruz kalmış numunenin çekme mukavemetleri arasında %18' lik bir kayıp saptandı. Aynı şekilde bu numuneler üzerinde alınan brinell sertlik değerlerine bakılacak olursa malzeme de %12, HAZ 'da %11 ve kaynakta %12 azalma görüldü.
- AISI 316/AISI 316 ve AISI321/St20 kaynaklı numunelerin çekme mukavemetlerinde değerlerinde düşüşler sırasıyla %10 ve %60 oranında yaşanmıştır.
- 90° bükme testlerinde ise gözle görülebilir bir çatlak, kopma vs. gözlemlenmemiştir.

- AISI 321 kalite paslanmaz eliklerin Ti ve Nb elementleri ile alaşımlı olduğu için mikro yapısında zaten herhangi bir karbőr oluşumu beklenmemektedir. Yapılan metalografik çalışmalarda da tane sınırlarında uzayan karbőr yapıları gőrőlmemiř olup ince taneli martenzitik & dentritik kaynak yapısı ve iri taneli ۆstenitik yapısı ile geniş bir ITAB bۆlgesi kendisini gۆstermektedir.
- SEM-EDX analizlerinden ise yapı içerisinde kaynak sonrası herhangi bir krom-karbőr oluşumunun meydana gelmediği ancak malzemelerin taneler arası korozyonu tetikleyen korozif ortamda uzun sőre kalmaları sonucunda yapı içinde oluşması muhtemel krom-karbőrlerden bağımsız olarak dőřtőėő dőřőnőlebilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Worldkings, “First True Stainless Steel Was Cast in Sheffield, England in 1913”, <http://worldkings.org/news/world-almanac-event-academy/worldkings-on-this-day-august-13-2018-the-first-true-stainless-steel-was-cast-in-sheffield-england-in-1913> (2018).
2. İnternet: Teknik Metal, “Paslanmaz Çelik Nedir?”, <https://www.teknikmetal.com/tr/paslanmaz-celik/paslanmaz-celik-nedir>.
3. Aran, A. ve Temel, M. A. “Paslanmaz Çelikler Yassı Mamüller” *Sarıtaş Teknik Yayın*, 2.Baskı, İstanbul, (9-12).
4. İnternet: ThoughtCo., “Characteristics of Ferritic Stainless Steel”, <https://www.thoughtco.com/metal-profile-ferritic-stainless-steel-2340133>, (2020).
5. İnternet: Metal Uzmanı, “Ferritik Paslanmaz Çelikler”, <https://www.metaluzmani.com/ferritik-paslanmaz-celikler/> (2015).
6. Şen, M. “AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliklerde soğuk şekillendirme miktarının korozyon üzerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 7-9, (2010).
7. Şen, M. “AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliklerde soğuk şekillendirme miktarının korozyon üzerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-15, (2010).
8. Hu, Dan., Li, Shu., “Effects of tıg process on corrosion resistance of 321 stainless steel welding joint”, *Materials Science Forum* (2013).
9. İnternet: Etna Çelik, “Karbonlu çelikler”, <https://www.etnacelik.com.tr/karbonlu-celikler/> (2020).
10. İnternet: Azom, “AISI 1020 Low carbon/low tensile steel”, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6114> (2012).
11. İnternet: Kanat Çelik, “SAE (AISI) 1020 Çelik veri sayfası”, <https://www.kanatacelik.com/1020> (2019).
12. İnternet: Weld Wolf, “Kaynak teknolojisinin tarihi”, <https://weldwolf.com/kaynak-teknolojisinin-tarihi/>

13. Oğuz, B., “Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı”, *Oerlikon Yayını*, 1-10 (1985).
14. Vural, M., Piroğlu, F., Çağlayan B. Ö., Uzgider, E., “Yapı çeliklerinin kaynaklanabilirliği”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, S 426, 47-51 (2003).
15. Hayat, F., “Kaynak Metalürjisi Ders Notları”, *Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, Karabük, 1-5.
16. İnternet: Magmaweld, “Ark kaynak yöntemleri”, <https://www.magmaweld.com.tr/ark-kaynak-yontemleri/i/12>.
17. İnternet: Malzeme Bilimi, “Elektrik ark kaynak prosesi”, <https://malzemebilimi.net/elektrik-ark-kaynak-prosesi.html>.
18. Anık, S., “Kaynak tekniği el kitabı”, Gazaltı ark kaynağı, 83-86 İstanbul, (1991).
19. “Kaynak Mühendisliği Ders Notları 1/6”, *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Merkezi*, 2-5 Ankara (2003).
20. Şengil, A., “Korozyon”, Giriş, 1-5 İstanbul, (1992).
21. İnternet: Düzce Üniversitesi Dökümanları, “Korozyon ve türleri”, <http://www.kmyocorrosionlab.duzce.edu.tr/Dokumanlar/e512e1fa-88f2-45b2-9bf0-0a17e88be90d.pdf>.
22. Şengil, A., “Korozyon”, Giriş, 107-108 İstanbul, (1992).
23. İnternet: StmCoatech, “Korozyon türleri”, <https://www.stmcoatech.com/korozyon-turleri>.
24. İnternet: Malzeme Bilimi, “Korozyon nedir? Korozyon türleri nelerdir?” <https://malzemebilimi.net/korozyon-nedir-korozyon-turleri-nelerdir.html> (2018).
25. Şengil, A., “Korozyon”, Giriş, 128-129 İstanbul, (1992).
26. Şengil, A., “Korozyon”, Giriş, 139-140 İstanbul, (1992).
27. Şen, M. “AISI 304 Östenitik paslanmaz çeliklerde soğuk şekillendirme miktarının korozyon üzerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-20, (2010).

ÖZGEÇMİŞ

Furkan ACAR 1995 yılında Kocaeli’ de doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Fatih Sultan Mehmet Anadolu Lisesi’nden 2013 senesinde mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği lisans eğitim programına başladı. Bu süre içerisinde yaptığı çalışmalar “3. Uluslararası Demir-Çelik Sempozyumu” ve “1. Uluslararası Hafif Alaşımlar ve Kompozit Malzemeler Sempozyumu”nda yayınlandı. 2018 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde iyi bir dereceyle mezun oldu. 2018 yılında Karabük Üniversitesi Yüksek Lisans Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başladı. Ardından iki yıl boyunca Rusya’nın Omsk eyaletinde özel bir şirket bünyesinde tahribatlı test laboratuvarı mühendisi olarak çalıştıktan sonra proje bitimi nedeniyle tekrardan ülkeye geri döndü. Halen 2018 yılında başlamış olduğu yüksek lisans eğitimine Karabük Üniversitesi bünyesinde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ;

Adres : Şirinköy Mahallesi Dicle Caddesi
No:46/B Daire:3 Gölcük/KOCAELİ
Tel : + 90 532 727 71 94
E-posta : acarfurkan@gmail.com