

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAKLI VE KAYNAKSIZ OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN
KOROZİF ORTAMLARDAKİ ÇEKME DAVRANIŞLARI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Murat TÜRKAN**

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özler KARAKAŞ

HAZİRAN 2013

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 101111023 nolu öğrencisi Murat TÜRKAN tarafından hazırlanan “**KAYNAKLI VE KAYNAKSIZ OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KORUZİF ORTAMLARDAKİ ÇEKME DAVRANIŞLARI**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Alper GÜLSÖZ (PAÜ)




Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Özler KARAKAŞ (PAÜ)
(Tez Danışmanı)



Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Engin TAN (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 31/07/2013. tarih ve ...25/15..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza

: 

Öğrenci Adı Soyadı : Murat TÜRKAN

ÖNSÖZ

Bu çalışma süresince her aşamada çalışmayı yönlendiren ve benden özverili yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Özler KARAKAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılışı sırasında fikir alışverişinde bulunduğum değerli arkadaşım Araş. Gör. Ali Tekin GÜNER'e teşekkür ederim.

Malzemelerin temin edilmesi ve kaynak işlemlerinin yapılmasında yardımlarından dolayı GERMETAL firmasının tüm çalışanlarına teşekkür ederim.

2011FBE083 nolu proje ile finansal anlamda bu çalışmayı destekleyen Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Son olarak fakat öncelikle belirtmem gerektiğine inandığım; her türlü maddi ve manevi fedakarlıktan kaçınmadan beni bugünlere getiren sevgili babama, anneme ve ağabeyim Mehmet TÜRKAN'a çok teşekkür ederim.

Haziran 2013

Murat TÜRKAN
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	2
2. PASLANMAZ ÇELİKLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	7
2.1 Paslanmaz Çeliğin Tanımı ve Özellikleri.....	7
2.2 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması	8
2.2.1 Ostenitik paslanmaz çelikler	11
2.2.2 Ferritik paslanmaz çelikler	13
2.2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler	13
2.2.4 Ostenitik-ferritik paslanmaz çelikler.....	14
2.2.5 Çökeltme sertleştirmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler	15
3. KOROZYON	16
3.1 Korozyonun Tanımı ve Oluşum Nedeni	16
3.2 Korozyon Oluşum Mekanizmaları	16
3.2.1 Kimyasal korozyon	16
3.2.2 Elektrokimyasal korozyon	17
3.3 Korozyon Hızına Etki Eden Faktörler	18
3.3.1 Konsantrasyonun etkisi	18
3.3.2 Sıcaklığın etkisi.....	18
3.3.3 Korozif ortam akışkanında hızın etkisi	18
3.3.4 Korozif ortamda pH etkisi.....	19
4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KOROZYONU	20
4.1 Paslanmaz Çeliklerde Pasifleşme	20
4.2 Paslanmaz Çeliklerde Meydana Gelen Korozyon Türleri.....	21
4.2.1 Genel korozyon	22
4.2.2 Tanelerarası korozyon.....	22
4.2.3 Galvanik korozyon	22
4.2.4 Oyuklanma korozyonu	23
4.2.5 Aralık korozyonu	24
4.2.6 Gerilmeli korozyon	24
4.2.7 Eroziv korozyon.....	25
4.3 Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlardaki Korozyon Dayanımları	26
4.3.1 Atmosferik ortamlarda korozyon dayanımı	26
4.3.2 Sulu ortamlarda korozyon dayanımı	27
4.3.3 Kimyasal ortamlarda korozyon dayanımı	28
5. OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI	30
5.1 Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	30
5.1.1 Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında δ -ferrit oluşumu.....	30
5.1.2 Sigma (σ) fazı oluşumu	32
5.1.3 Krom karbür çökeltmesi ve tanelerarası korozyon	34

5.1.4 Sıcak çatlama hassasiyeti	36
5.2 Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Uygulanan Kaynak Yöntemleri.	36
5.2.1 Gaz ergitme kaynağı	37
5.2.2 Örtülü elektrot ile ark kaynağı	37
5.2.3 TIG kaynak yöntemi	39
5.2.4 MIG kaynak yöntemi	41
5.2.5 Plazma kaynak yöntemi	42
5.2.6 Tozaltı kaynak yöntemi.....	42
5.2.7 Lazer kaynağı	43
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
6.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	44
6.2 Kaynak İşlemlerinin Yapılması.....	45
6.2.1 Malzemelerin birleştirilme şekli	45
6.2.2 Kaynak parametreleri	47
6.3 Deneylerde Kullanılan Numuneler.....	48
6.4 Makro ve Mikro İyapı İncelemeleri.....	49
6.5 Mikrosertlik Ölçümleri.....	60
6.6 Korozyon Deneyleri	65
6.7 Çekme Deneyleri.....	70
6.8 Kırık Yüzey Analizleri	80
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
7.1 Sonuçlar.....	83
7.2 Öneriler.....	85
KAYNAKLAR	87

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
EM	: Esas Metal
EN	: European Standarts
HV	: Hardness Vickers
ITAB	: Isı Tesiri Altındaki Bölge
KM	: Kaynak Metali
MIG	: Metal Inert Gases
MPa	: Mega Pascal
pH	: Power of Hidrogen
ppm	: Parts Per Million
SEM	: Scaning Electron Microscope
TIG	: Tungsten Inert Gases
TS	: Türk Standardı

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1: Paslanmaz çelik seçimi için genel rehber	10
2.2: Yaygın olarak kullanılan ostenitik paslanmaz çelik türleri	12
2.3: Yaygın olarak kullanılan ferritik paslanmaz çelik türleri	13
2.4: Yaygın olarak kullanılan martenzitik paslanmaz çelik türleri.....	14
2.5: Yaygın olarak kullanılan ostenitik-ferritik paslanmaz çelik türleri.....	15
2.6: Yaygın olarak kullanılan çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelik türleri.....	15
4.1: Paslanmaz çeliğin oyuklanma korozyonu dayanımına, alaşım elementlerinin etkisi.....	24
4.2: Paslanmaz çeliklerin çeşitli ortamlardaki korozyon dayanımları	26
4.3: Sulu ortamlarda klorür miktarına göre paslanmaz çelik seçimi	27
4.4: Paslanmaz çeliklerin çeşitli kimyasallar karşısındaki korozyon dayanımları ..	29
5.1: Karbon içeriğine bağlı olarak çökeltme için gerekli kuluçka periyodunun sıcaklık ile değişimi	35
6.1: Deneylerde kullanılan paslanmaz çeliklerin, AISI ve EN Standartlarında gösterimleri	44
6.2: Deneylerde kullanılan paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	45
6.3: TIG kaynağında kullanılan ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşimleri	45
6.4: Örtülü elektrotların kimyasal bileşimleri.....	45
6.5: TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler.	47
6.6: Örtülü elektrot ile yapılan birleştirmelerde kaynak parametreleri.....	48
6.7: Deneylerde kullanılan numuneler.....	48
6.8: Schaeffler diyagramına göre kaynak metallerinde oluşan mikro yapılar ve δ -ferrit miktarları.	54
6.9: Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 304L malzemeden numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	71
6.10: Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 316L malzemeden numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	75

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1:	Krom ve nikel miktarlarına göre paslanmaz çeliklerin mikro yapıları.....	8
3.1:	Korozyon hücresi.....	17
4.1:	Çeliğin atmosferik korozyonuna kromun etkisi	20
4.2:	Kimya endüstrisinde paslanmaz çeliklerde görülen hasar türleri.....	21
4.3:	Oyuklanma korozyonunun şematik gösterimi	23
4.4:	Işık mikroskobu ile çekilmiş gerilmeli korozyon fotoğrafı	25
5.1:	Schaeffler diyagramı.....	31
5.2:	Fe-Cr faz diyagramı	33
5.3:	Paslanmaz çeliğin tane sınırlarında krom karbür çökmesi	35
5.4:	Örtülü elektrot ile ark kaynağı prensip şeması	38
5.5:	TIG kaynağı prensip şeması	40
6.1:	Malzemelerin birleştirilme şekli	46
6.2:	AISI 304L malzemelerin birleştirilmesi	46
6.3:	AISI 316L malzemelerin birleştirilmesi	47
6.4:	Parlatılmış numuneler	49
6.5:	AISI 304L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı	50
6.6:	AISI 304L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı.....	50
6.7:	AISI 304L malzemedan, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı	51
6.8:	AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı.....	51
6.9:	AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı.....	52
6.10:	AISI 316L malzemedan, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı	52
6.11:	AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin makro içyapı fotoğrafı...	53
6.12:	AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin makro içyapı fotoğrafı...	53
6.13:	Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde oluşan δ -ferrit.....	54
6.14:	AISI 304L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin mikro içyapı fotoğrafları	55
6.15:	AISI 304L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunenin mikro içyapı fotoğrafları	56
6.16:	AISI 304L malzemedan, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunenin mikro içyapı fotoğrafları.....	56
6.17:	AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikro içyapı fotoğrafları	57

6.18: AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikro içyapı fotoğrafları	58
6.19: AISI 316L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikro içyapı fotoğrafları.....	58
6.20: AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikro içyapı fotoğrafları	59
6.21: AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikro içyapı fotoğrafları	59
6.22: Mikrosertlik ölçüm noktalarının şematik olarak gösterimi	60
6.23: AISI 304L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri	61
6.24: AISI 304L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri	61
6.25: AISI 304L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri.....	61
6.26: AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri.....	62
6.27: AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri.....	63
6.28: AISI 316L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri	63
6.29: AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikrosertlik değerleri	64
6.30: AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikrosertlik değerleri	65
6.31: Deneylerde kullanılan tuz püskürtme kabini	66
6.32: Numunelerin tuz püskürtme kabini içerisindeki yerleşim düzeni	67
6.33: 1000 saat tuz püskürtme sonrası AISI 304L malzemededen çekme numuneleri	68
6.34: 1000 saat tuz püskürtme sonrası AISI 316L malzemededen haddeleme yönüne dik çekme numuneleri.....	69
6.35: 1000 saat tuz püskürtme sonrası AISI 316L malzemededen haddeleme yönüne paralel çekme numuneleri.....	70
6.36: Çekme deney numuneleri	71
6.37: AISI 304L malzemededen numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları.....	73
6.38: AISI 304L malzemededen numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak akma dayanımları.....	73
6.39: AISI 304L malzemededen, numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak kopma uzamaları.....	74
6.40: AISI 304L malzemededen örtülü elektrot ile birleştirilmiş çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri.....	74
6.41: AISI 316L malzemededen haddeleme yönüne dik numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları.....	76
6.42: AISI 316L malzemededen haddeleme yönüne dik numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak akma dayanımları	77
6.43: AISI 316L malzemededen haddeleme yönüne dik numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak kopma uzamaları.....	77

6.44: AISI 316L malzemedden örtülü elektrot ile birleştirilmiş çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri.....	78
6.45: AISI 316L malzemedden haddeleme yönüne paralel numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları.....	79
6.46: AISI 316L malzemedden haddeleme yönüne paralel numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak akma dayanımları.....	79
6.47: AISI 316L malzemedden haddeleme yönüne paralel numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak kopma uzamaları.....	80
6.48: AISI 304L malzemedden TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri	81
6.49: AISI 304L malzemedden TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri	81
6.50: AISI 304L malzemedden örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri	82

SEMBOL LİSTESİ

A	% kopma uzaması
R_m	Çekme dayanımı
$R_{p\ 0,2}$	% 0,2'lik kalıcı şekil değiştirmenin meydana geldiği gerilme
δ -ferrit	Delta ferrit

ÖZET

KAYNAKLI VE KAYNAKSIZ OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KOROZİF ORTAMLARDAKİ ÇEKME DAVRANIŞLARI

Paslanmaz çelikler yüksek korozyon dayanımına sahip oldukları için yaygın olarak kullanılırlar. Fakat ortamın sürekli agresif etkisi ile veya kimyasal ve fiziksel yapı hataları nedeni ile paslanmaz çelikler de korozyona uğrayabilir.

Ostenitik paslanmaz çelikten imal edilen kaynaklı ve kaynaklı olmayan konstrüksiyonların korozif ortamlardaki çekme davranışlarının belirlenmesi, konstrüksiyonun daha güvenli kullanımı açısından büyük önem taşır. Bu nedenle bu çalışmada, tuz püskürtmeye maruz bırakılan kaynaklı ve kaynaklı olmayan ostenitik paslanmaz çeliklerin çekme davranışları incelenmiştir.

İlk aşamada ticari olarak temin edilen 4 mm kalınlığındaki AISI 304L ve AISI 316L ostenitik paslanmaz çelik malzemeler TIG ve örtülü elektrot ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Kaynak bölgesinin yapısını karakterize etmek için tuz püskürtme deneylerinden önce kaynaklı numunelerin mikro-makro içyapısı ve mikrosertlik değerleri incelenmiştir.

Tuz püskürtme deneyi EN ISO 9227 standardına uygun olarak kaynaklı ve kaynaklı olmayan AISI 304L ve AISI 316L malzemelerden çekme numunelerinin, 24-96-240-480-720-1000 saatlik sürelerde tuz püskürtmeye maruz bırakılması ile gerçekleştirilmiştir. Tuz püskürtme deneyinden sonra çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme deneylerinden sonra ise kırık yüzeyler SEM ile incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ostenitik paslanmaz çelik, TIG, Örtülü elektrot ark kaynağı, tuz püskürtme deneyi, çekme davranışı

SUMMARY

TENSILE BEHAVIOURS OF WELDED AND UNWELDED AUSTENITIC STAINLESS STEELS IN CORROSIVE ENVIRONMENTS

Stainless steels have widely been used because they have high resistance to corrosion. However, stainless steels may also be corroded by continuous aggressive effect of environment or by defects in chemical and physical structure.

Determining tensile behaviours of constructions produced with welded and unwelded austenitic stainless steels has of great importance in terms of reliable usage of the construction. Then, in this work, tensile behaviours of welded and unwelded austenitic stainless steels exposed to salt spray at various times has been studied.

In the first step; commercially available AISI 304L and AISI 316L austenitic stainless steel materials 4 mm in thickness were welded using TIG welding method and using shielded metal arc welding method. To determine structure of weld zone, micro-macro structure and micro hardness values for welded samples have been investigated before salt spray tests.

Salt spray test were carried-out according to EN ISO 9227 Norm by exposing welded and unwelded tensile samples from AISI 304L and AISI 316L materials to salt spray for 24-96-240-480-720-1000 hours. After the salt spray test, tensile tests have been performed. Then, fractured surfaces have been investigated by SEM.

Key Words: Austenitic stainless steel, TIG, shielded metal arc welding, salt spray test, tensile behaviour

1. GİRİŞ

Günümüzde martenzitik, ferritik, ostenitik, çökelme sertleştirmeli ve çift fazlı olmak üzere beş grup altında toplanan paslanmaz çelikler; gıda endüstrisi, kimya ve güç mühendisliği, sağlık uygulamaları, yüksek veya sıfır altı sıcaklık uygulamaları, petrol, petrokimya ve tekstil alanları, taşımacılık ve mimari uygulamalar gibi birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Paslanmaz çelikler mekanik özellikler bakımından diğer çeliklerden çok farklılık göstermezler. Paslanmaz çeliklerin yüksek maliyetlerine rağmen yaygın olarak kullanılmasının ana sebebi yüksek korozyon dayanımına sahip olmalarıdır. Fakat paslanmaz çelikler de, ortamın sürekli agresif etkisi ile veya kimyasal ve fiziksel yapı hataları nedeni ile diğer çelikler gibi korozyona uğramaktadır.

Toplam paslanmaz çelik üretimi içinde ostenitik paslanmaz çeliklerin payı çok büyüktür. Çünkü ostenitik paslanmaz çelikler; biçimlendirme, mekanik özellikler ve korozyon dayanımı bakımından çok uygun bir kombinasyon sunarlar.

Ostenitik paslanmaz çelikler uygun şartlarda çeşitli kaynak yöntemleri ile birleştirilebilirler. Yalnız kaynak işlemleri sırasında kaynak bölgesinde bir takım metalürjik olaylar ve/veya kaynak hatalarından dolayı süreksizlikler meydana gelebilmektedir. Bu gibi durumlar ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını düşürmektedir.

Korozyon olaylarının çoğunda; kesitin zayıflaması ve bunun sonucunda yük altında meydana gelen yüksek zorlamalardan dolayı kırılma ya da yüzeyin hasar görmesi ve bunun sonucunda dinamik zorlamaya maruz kalan parçaların yorulma dayanımlarında büyük düşüşler meydana gelmektedir.

Ostenitik paslanmaz çelikten imal edilen kaynaklı ve kaynaklı olmayan yapıların korozyon ortamlardaki çekme davranışlarının belirlenmesi, yapıların daha güvenli kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı; tuz püskürtme ortamına maruz bırakılan AISI 304L ve AISI 316L ostenitik paslanmaz çeliklerin çekme davranışlarına kaynak işleminin etkilerini incelemektir.

1.2 Literatür Özeti

Jiang ve diğ. (1993), Cr içeriği %17-%28, Ni içeriği %9-%31 ve Mo içeriği %3-%6 arasında değişen çeliklerin %20 H₂SO₄ çözeltisindeki korozyon ve koroziyon aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Korozyon deneyleri sonucu; yüzeydeki pasif filmin kararlılığını artıran Cr, Ni ve Mo alaşım elementlerinin miktarlarının artması ile korozyon miktarında düşüş meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Ilevbare ve Burstein (2001), asidik klorür çözeltisinde paslanmaz çeliklerin oyuklanma korozyonu duyarlılığına alaşım elementi molibdenin etkisini incelemişlerdir. Paslanmaz çeliklerde alaşım elementi olarak molibden varlığının oyuklanma miktarında azalma meydana getirdiğini belirtmişlerdir.

Garcia ve diğ. (2008a), AISI 304 ve AISI 316L ostenitik paslanmaz çeliklerinden kaynaklı malzemelerin oyuklanma korozyonuna karşı davranışını araştırmışlardır. Bu çalışmada birleştirmeler MIG kaynak yöntemi ile AISI 304 malzeme için AISI 308L, AISI 316L malzeme için AISI 316L ilave kaynak metali kullanılarak yapılmıştır. Her iki malzeme için de ısı tesiri altında kalan bölgenin oyuklanma korozyonuna karşı en kritik bölge olduğunu ve AISI 316L'den kaynaklı numunenin beklenildiği gibi AISI 304'den kaynaklı numuneden her bölge için daha iyi oyuklanma korozyonu dayanımına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Dadfar ve diğ. (2007), AISI 316L paslanmaz çeliğinin korozyon davranışında TIG kaynağının etkisini incelemişlerdir. TIG kaynağı ile birleştirmeleri ilave kaynak metali kullanmadan gerçekleştirmişlerdir. Elektrokimyasal yöntemlerle paslanmaz çeliğin esas metal, kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgelerinin potansiyodinamik polarizasyon eğrilerini tuz çözeltisi için elde etmişlerdir. Kaynaklı olan numunede kaynak metalinin katot olduğunu ve kaynaktan sonra uygulanan çözündürme tavlama sürecinin, AISI 316L malzemenin korozyon dayanımını artırabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Garcia ve diğ. (2008b), AISI 304 ve AISI 316L ostenitik paslanmaz çeliklerinden kaynaklı numunelerin, tanelerarası korozyona karşı davranışlarını incelemiştir. Bu çalışmada birleştirmeler MIG kaynak yöntemi ile; AISI 304 malzeme için AISI 308L, AISI 316L malzeme için AISI 316L ilave kaynak metali kullanılarak yapılmıştır. Korozyon deneylerini ise elektrokimyasal metotlar kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, her iki malzeme için de ısı tesiri altında kalan bölgenin tanelerarası korozyona karşı en kritik bölge olduğunu ve AISI 316L'den kaynaklı malzemenin beklenildiği gibi AISI 304'den kaynaklı malzemenin her bölge için daha iyi tanelerarası korozyon dayanımına sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Cui ve Lundin (2007), AISI 316 paslanmaz çeliği kaynak metallerine %3 FeCl₃ çözeltisinde, daldırma korozyon testi gerçekleştirmişlerdir. Korozyon saldırılarının öncelikli olarak ostenit fazını etkilediğini belirtmişlerdir.

Lu ve diğ. (2005), AISI 304 paslanmaz çeliğinde TIG ve lazer ışını kaynağının yaptığı mikro yapısal değişikliklerin, oyuklanma ve gerilmeli korozyon çatlağına etkisini incelemiştir. TIG kaynağında kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgenin esas malzemeye göre oyuklanma korozyonuna daha hassas olduğunu, lazer ışını kaynağında ise TIG kaynağına oranla kaynak bölgesindeki oyuklanma korozyonuna duyarlılığın daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Çakır (2007), 12'nin üzerindeki pH değerinde paslanmaz çeliklerin göreceli olarak korozyon riski taşımadıklarını ve 18/8 (AISI 304) paslanmaz çeliğinin %4 NaCl çözeltisinde pH 4 ile pH 8 arasında en ağır oyuklanma korozyonuna uğradığını belirtmiştir.

Önal ve diğ. (2005), soğuk deformasyon oranı ve tav sıcaklığına bağlı olarak; 5083 Al-Mg alaşımının koroziv ortamdaki mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla %48, %35 ve %18 oranlarında soğuk deformasyon uygulanmış levhaları üretmişlerdir. Üretilen bu levhaların bir kısmını tavlamamışlar, diğer kısmını ise 180 °C, 270 °C ve 360 °C'de 20 dakika süre ile tavlamışlardır. Bu levhaların koroziv ortamdaki mekanik özelliklerinin tespiti için hazırlanan çekme deney numunelerini %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde maksimum 1440 saat bekletmişler ve koroziv ortamda bekletme süresine bağlı olarak mekanik özelliklerin değişimini tespit etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda; tav sıcaklığı ve soğuk deformasyon oranının artırılması

ile mukavemet kaybının arttığını ve 270 °C’de tavlanan numunelerde mukavemet kaybının en az olduğunu belirtmişlerdir.

Aydın ve Bayram (2010), farklı ısıl işlem koşullarındaki 2024 Al alaşımlarının korozyon sonrası mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. 510 °C sıcaklığında 2,5 saat bekleme süresinde katı eriyiğe alınan 2024 Al alaşımlarına “W”, “T4”, “T6 (100C-10h)”, “T6 (190C-10h)” ve “O” ısıl işlem koşullarını uygulamışlardır. Çekme deneyi için hazırlanan numuneleri 2 ay süre ile atmosfere açık koşullarda ve oda sıcaklığında %3,5’luk NaCl çözeltisi içerisinde statik daldırma korozyon deneylerine tabi tutmuşlardır. Numunelere korozyon öncesi ve sonrası çekme deneyleri uygulamışlar ve korozyon sonrası mukavemette ve uzama oranında meydana gelen kayıpları tespit etmişlerdir. En düşük kaybın “T4” koşulundaki numunelerde, en yüksek kaybın ise “W” koşulundaki numunelerde olduğunu belirtmişlerdir.

İnce ve diğ. (2004), İzmir-Balçova ısıtma sisteminde kullanılan S235 çelik malzemesinin düşük (0,002 m/s) ve yüksek (9,3 m/s) akışkan hızlarındaki korozyon davranışlarını ve korozyon sonucu oluşan mekanik özelliklerdeki değişimleri incelemişlerdir. Korozyon deneylerini İzmir-Balçova jeotermal sisteminde Bil kodlu kuyu akışkanı içerisinde gerçekleştirmişlerdir. Korozyona maruz kalma süresi arttıkça maksimum çekme gerilmesinin lineer olarak azaldığını ve malzemenin daha kırılgan olduğunu ayrıca düşük akışkan hızlarında homojen dağılmış korozyon hızının azaldığını ancak oyuklanma korozyon eğiliminin arttığını belirtmişlerdir.

Kappatos ve diğ. (2010), magnezyum alaşımı AZ31’de varolan korozyon hasarının çekme özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Korozyon deneylerini tuz püskürtme cihazında ASTM B117 standardına uygun olarak 0,5-3-6-12-24-48-72 saatlik periyotlarda gerçekleştirmişlerdir. Korozyon süresinin artmasına paralel olarak korozyon hasarının arttığını ve AZ31 alaşımının çekme özelliklerinde kademeli olarak azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Wang ve diğ. (2009), ağırlıkça %1 itriyum ile modifiye edilmiş AZ91 magnezyum alaşımının korozyon sonrası mukavemetini incelemişlerdir. Korozyon deneylerini %3,5 NaCl çözeltisinde 25 °C’de ve pH 7’de gerçekleştirmişlerdir. Korozyon sonrası mukavemetteki azalmanın ana sebebinin korozyon çukurlarının başlaması ve ilerlemesi olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve diğ. (2010), dökme AZ91 alaşımının çekme davranışında korozyonun etkisini incelemişlerdir. Korozyon deneylerini %3,5 NaCl çözeltisinde, 25 °C'de ve pH 7'de gerçekleştirmişlerdir. Korozyondan sonraki mukavemet ilk 40 saat lineer bir şekilde azalmıştır. 40 ile 372 saat arasında ise β fazının alaşım matrisinde korozyon çukurlarının ilerlemesini engelleyen etkin bir bariyer davranışında bulunmasından dolayı mukavemetteki azalma oranında düşüş görülmüştür.

Necşulescu (2011), 7075-T6 Al alaşımının statik mukavemeti ve yorulma ömrüne korozyonun etkisini incelemiştir. Korozyon süreci galvanik korozyon hücresi kullanılarak hızlandırılmış şekilde yapılmıştır. Korozyon başladıktan sonra kütle kaybındaki artışa paralel olarak statik mukavemette oyuklanma korozyonundan dolayı lineer bir düşüş meydana geldiğini belirtmiştir.

Tsay ve diğ. (2002), hidrojenli ortamlarda farklı mikro yapıları AISI 630 paslanmaz çeliğinin, çentikli çekme mukavemetini belirlemek için düşük deplasman oranında çekme deneyleri yapmışlardır. Çözündürme tavlı, maksimum yaşlandırılmış, aşırı yaşlandırılmış ve lazer tavlı numuneler üzerine çalışmışlardır. Havada çentikli çekme mukavemeti sonuçları baz alınarak hem gaz hidrojen hem de doymuş H₂S çözeltisindeki çentikli çekme mukavemetindeki kayıp, farklı işlemlere maruz kalan AISI 630 çeliğindeki hidrojenin zararlı etkilerine ulaşmak için kullanılmıştır. Test ortamlarında, bütün numuneler arasında en yüksek çentikli çekme mukavemeti maksimum yaşlandırılmış numunelerde elde edilmiştir.

Lai ve diğ. (2009), 80 °C'deki AISI 304L paslanmaz çeliğinin MgCl₂ çözeltisinde mikroyapı, çekme özellikleri ve gerilmeli korozyon çatlağı hassasiyetinde soğuk haddelemenin (%20 kalınlık azalması) ve duyarlılaştırma işleminin (600 °C/10h) etkilerini incelemişlerdir. MgCl₂ çözeltisinde duyarlılaştırılmış numunelerin çentikli çekme gerilmesindeki yüksek kayıp, tane sınırına yakın bölgelerdeki gerilmeye bağlı martenzit oluşumuna bağlanmıştır.

Komazaki ve diğ. (2005), 7 farklı çelik kullanarak otomobil yay çeliklerinin çevresel gevrekleşmeye hassasiyetini incelemişlerdir. Düşük uzama oranlı çekme deneyi ve termal desorpsiyon spektroskopik analiz NaCl çözeltisinde ıslak-kuru çevrimsel korozyon testlerine maruz kalan numunelere uygulanmıştır. Hidrojen emiliminin ve geometrik kusur olarak korozyon çukurunun yay çelikleri için çevresel gevrekleşmeye neden olduğunu belirtmişlerdir.

Luu ve diğ. (2002), 2205 dubleks paslanmaz çeliğinde hidrojen gevrekleşmesini, elektrokimyasal nüfuz etme ölçümü, hidrojen mikroprint tekniği ve çekme deneyi kullanarak belirlemişlerdir. 2205 dubleks paslanmaz çeliğinde, hidrojen nüfuz etme oranı ve yayılımının ferritik fazda ostenitik fazdan daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Mukhopadhyay ve diğ. (2010), nokta kaynaklı çelik sacların korozif ortamdaki mukavemeti üzerine çalışmışlardır. %3,5 NaCl çözeltisinde çekme-kayma numuneleri kullanılarak inceleme yapılmıştır. Deneyler; çeşitli zaman müddetlerinde çözeltiye numunelerin daldırılmasından sonra, çözeltide numuneleri muhafaza ederek çeşitli düşük uzama oranlarında ve yerinde hidrojen şarjı ile düşük uzama oranlarında olmak üzere üç farklı test koşulunda yapılmıştır. Çözeltide, düşük uzama hızlı testlerde yük taşıma kapasitesi önemli derecede azalmıştır.

Lai ve diğ. (2010) soğuk haddelenmiş (%20 kalınlık azalması) ve hassaslaştırma işlemine maruz bırakılmış (600 °C/10h) AISI 304L paslanmaz çelik kaynaklarının çentikli çekme mukavemetini 80 °C'de MgCl₂ (ağırlıkça %40) çözeltisinde ölçmüşlerdir. Soğuk işlemden sonra kaynağın hidrojen gevrekliğine hassasiyeti azalmıştır fakat soğuk haddelenmiş olan kaynaklar, ek olarak hassaslaştırma işlemine maruz bırakılınca hidrojen gevrekliğine hassasiyet artmıştır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Paslanmaz Çeliğin Tanımı ve Özellikleri

Paslanmaz çelikler, öncelikli olarak korozyona karşı dayanım amacıyla geliştirilen ve Fe-Cr, Fe-Cr-C ve Fe-Cr-Ni sistemine dayanan yüksek alaşımlı önemli bir çelik grubudur (Taban ve diğ., 2007).

Alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozif etkilere karşı dayanıklı değildir. Bileşimlerinde en az %10,5 Cr bulunan çelikler ise; yüzeylerine kuvvetle tutunan yoğun, tok ve çok ince bir krom oksit tabakası (Cr_2O_3) sayesinde pasifleşerek korozyona dayanıklı hale gelirler (Yüksel, 2002). Bu tür çeliklere paslanmaz çelik adı verilir. EN 10088-1: 2005 standardında, paslanmaz çeliklerin en az %10,5 Cr, en çok %1,2 C içermesi gerektiği belirtilmiştir.

Paslanmaz çelikte, korozyona ve oksidasyona karşı dayanım sağlayan ve mutlaka olması gereken element kromdur. Kromun oksijene karşı olan ilgisi demirden fazladır. Bu yüzden mevcut oksijenle kendisi birleşerek çeliğin yüzeyinde 20-30 μm kalınlığında pasif krom oksit tabakası oluşturur (Yüksel, 2002). Bu tabaka yüzeyde kaplama etkisi yaparak elektrolit ile anot-katot arasındaki bağlantıyı keser. %10,5 Cr içeren paslanmaz çelikte meydana gelen krom oksit tabakası orta seviyedeki korozif etkilere dayanım gösterir (Can, 2010).

Krom oksit tabakası oksitleyici ortamlarda stabil olurken, indirgen ortamlarda stabilitesini kaybeder ve tabaka incelmeye başlar. Bu oksit tabakası herhangi bir mekanik etkiyle hasar görebilir. Böyle bir durumda, eğer ortam oksitleyici ise tabaka kendi kendini tamir eder. Artan Cr, Ni, Mo miktarı ile bu tabakanın stabilitesi artar ve daha şiddetli korozif ortamlara karşı dayanım artar.

Krom, çeliğin yüksek sıcaklıklardaki mekanik özelliklerini korumasını sağlar. Bu yüzden kromlu paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda sürünmeye karşı dayanıklı çelikler olarak da kullanılmaktadır (Gürşimşir, 2000).

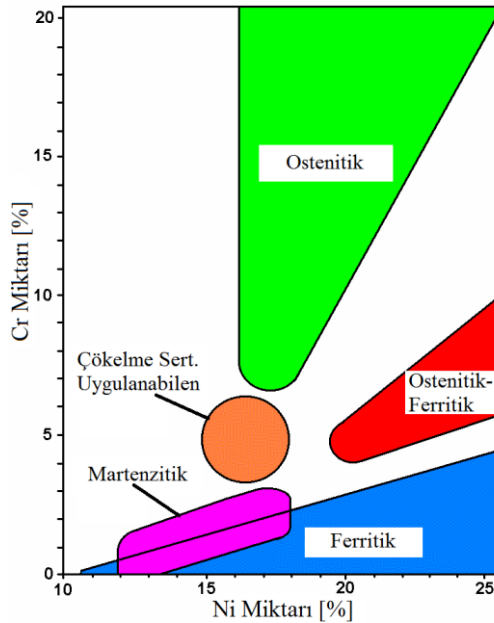
Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımlarına ek olarak, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilirleri, farklı mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, şekil verme kolaylığı ve estetik görünüm gibi özelliklere sahiptir. Günümüzde paslanmaz çelik tüketimi toplumların refah seviyesinin bir göstergesi sayılmaktadır (Aran ve Temel, 2004).

2.2 Paslanmaz Çeliklerin Sınıflandırılması

Paslanmaz çelikler mikro yapılarına göre 5 temel gruba ayrılırlar. Bu gruplar aşağıda belirtilmiştir (ASM Handbook, 1992).

1. Ostenitik Paslanmaz Çelikler
2. Ferritik Paslanmaz Çelikler
3. Ostenitik-Ferritik Paslanmaz Çelikler
4. Martenzitik Paslanmaz Çelikler
5. Çökeltme Sertleştirilmesi Uygulanabilen Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerde mikro yapı krom ve nikel miktarlarına bağlı olarak değişir. Krom ostenit bölgesini daraltır, nikel ise genişletir (Can, 2010). Şekil 2.1’de Krom ve nikel miktarlarına bağlı olarak paslanmaz çeliklerde oluşan mikro yapılar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Krom ve nikel miktarlarına göre paslanmaz çeliklerin mikro yapıları (Şematik), (Url-1).

Paslanmaz eliklerde bazı alaşım elementleri de krom veya nikel gibi davranır. Molibden, silisyum, niyobyum da krom gibi ostenit bölgesini daraltırken, karbon ve mangan ise nikel gibi ostenit bölgesini genişletir (Can, 2010).

Paslanmaz elik gruplarının her birinin tipik mekanik özellikleri farklıdır. Ayrıca her bir grup, belirli korozyon Őekillerine karşı hassasiyet/dayanım bakımından farklılık gösterir. Ancak, her bir grup belirli sınırlar içinde tatmin edici bir bileşim aralığına sahiptir. Bu yüzden, her bir grup geniş bir aralıktaki korozyon ortamlarında kullanılabilir (ASM Handbook, 1992).

Paslanmaz elikler içerisinde en yaygın olarak kullanılanlar ostenitik ve ferritik paslanmaz çelikler olup kullanım oranları tüm paslanmaz çelikler içinde %95'e ulaşmaktadır (Davis, 1994).

Günümüzde paslanmaz çeliklerin gösteriminde EN ve AISI standartları yaygın olarak kullanılmaktadır. AISI standardında ostenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300'l sayılarla, ferritik ve martenzitik paslanmaz çelikler ise 400'le başlayan sayılarla ifade edilir (Yüksel ve Meran, 2010).

Paslanmaz elik seçiminde kullanılmak üzere; paslanmaz elik grupları, temel alaşım elementi içerikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri, avantajları, dezavantajları ve uygulama alanları kısaca Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

Tablo 2.1: Paslanmaz çelik seçimi için genel rehber (Soncu, 2008).

Paslanmaz Çelik Türü	Bileşim	Mekanik Özellikler	Fiziksel Özellikler	Avantajlar	Dezavantajlar	Uygulama Alanları
Ostenitik	15-27 %Cr 8-35 %Ni 0-6 %Mo, Cu, N (Mn ve/veya N, Ni yerini alabilir)	Çekme Dayanımı: 490-860 MPa Akma Sınırı: 205-575 MPa 50mm'de uzama: %30-60	•Isıl işlem uygulanamaz •Manyetik değil	•Düşük sıcaklıkta iyi süneklik •İyi genel korozyon dayanımı •İyi kaynak kabiliyeti •Yüksek tokluk	•Yüksek maliyet •Sınırlı mekanik dayanım •Yerel korozyon eğilimi	•Genel uygulamalarda geniş kullanım alanı bulur
Ferritik	11-30 %Cr 0-4 %Ni 0-4 %Mo	Çekme Dayanımı: 415-650 MPa Akma Sınırı: 275-550 MPa 50mm'de uzama: %10-25	•Isıl işlem uygulanamaz •Manyetik	•Çok yüksek olmayan maliyet •Gerilmeli korozyon çatlamasına karşı dayanım	•Sınırlı mekanik dayanım •Tane büyümesi eğilimi	•Gerilmeli korozyon ve genel korozyona iyi dayanım gerektiren parçalar •Deniz uygulamaları
Martenzitik	11-18 %Cr 0-6 %Ni 0-2 %Mo	Çekme Dayanımı: 480-1000 MPa Akma Sınırı: 272-860 MPa 50mm'de uzama: %14-30	•Isıl işlem ile sertleştirilebilir	•Makul maliyet •Yüksek sertlik ve mekanik dayanım	•Sınırlı korozyon dayanımı •Sınırlı kaynak kabiliyeti	•Yüksek mekanik dayanımlı parçalar •Pompalar, valfler ve kağıt makineleri
Ostenitik-Ferritik	18-27 %Cr 4-7 %Ni 2-4 %Mo, Cu, N	Çekme Dayanımı: 680-900 MPa Akma Sınırı: 410-900 MPa 50mm'de uzama: %10-48	•Isıl işlem uygulanamaz	•Ostenitik çeliklerden daha iyi mekanik özellikler •Korozyon dayanımı	•Sigma fazı oluşması nedeniyle 475 °C'ye hassasiyet	•Doğalgaz tesislerinde •Kimya endüstrisinde •Isı değiştirgeçleri
Çökeltme Sertleşmesi Uygulanabilir	12-28 %Cr 4-7 %Ni 1-5 %Mo, Al, Ti, Co	Çekme Dayanımı: 895-1100 MPa Akma Sınırı: 276-1100 MPa 50mm'de uzama: %10-35	•Isıl işlem ile sertleştirilebilir	•Çok yüksek mekanik ve korozyon dayanımı	•Karmaşık ısıl işlem gerektirir	•Çok yüksek mekanik ve korozyon dayanımı gerektiren parçalar

2.2.1 Ostenitik paslanmaz çelikler

Ostenitik paslanmaz çelikler paslanmaz çeliklerin en çok kullanılan türüdür. Yüze merkezli kübik kafese sahip ostenitik içyapılarını hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda korudukları için normalleştirme ve sertleştirme ısıl işlemleri bu çeliklere uygulanamaz. Mekanik dayanımları sadece soğuk şekillendirme ile artırılabilir (Aran ve Temel, 2004).

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çelikler, martenzitik ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha iyi korozyon dayanımına sahiptir. İçyapının ostenit olması, geçiş sıcaklığı altında görülen gevrekleşmeyi ortadan kaldırır. Hem sıfır altı (-270 °C'ye kadar) hem de yüksek sıcaklıklardaki korozyon dayanımlarının ve mekanik özelliklerinin üstünlüğü, bu çeliklerin birçok alanda bir yapı çeliği olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır (Kaluç ve Taban, 2007).

Ostenitik paslanmaz çeliklerin yapısına katılan alaşım elementleri, bu çeliklerin mekanik ve korozyon özelliklerine çeşitli şekilde etki eder. C içeriğinin ostenitik paslanmaz çeliklerin korozyon davranışına olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu yüzden C içeriği %0,03'e kadar düşürülmüş ostenitik paslanmaz çelikler üretilmiştir.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde, korozyona dayanım amacıyla ilave edilen kromun ferrit yapıcı etkisi, ostenit yapıcı alaşım elementleri ilave edilerek giderilir. Nikel ve mangan temel ostenit oluşturuçularıdır. Ostenitik paslanmaz çelikler genellikle %16 ile %26 arasında Cr, %35'e kadar Ni ve %20'ye kadar Mn içerirler (Aran ve Temel, 2004).

Ostenitik paslanmaz çeliklere, krom ve nikel ilave olarak asitlere ve klorürlü çözeltilere karşı korozyon dayanımı sağlamak için molibden, karbür çökmesine karşı titanyum ve niyobyum, düşük sıcaklık (sıfır altı) dayanım özelliklerini iyileştirmek için azot ilavesi yapılır. Azot, ayrıca deformasyon sertleşmesi oranını artırır ve karbür çökmesini azaltır (Can, 2010).

Yüksek derecede deformasyon sertleşmesi ile ostenitik paslanmaz çelikler, yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olmaktadır. Ayrıca bu yüksek akma ve çekme dayanımında dahi sünekliklerinin ve tokluklarının bir kısmını korumaları önemli bir özelliktir (Aydemir, 2003). Yaygın olarak kullanılan ostenitik paslanmaz türleri Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2: Yaygın olarak kullanılan ostenitik paslanmaz çelik türleri
(Aran ve Temel, 2004).

AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Gösterimi
301	1.4310	X10CrNi18-8
304	1.4301	X5CrNi18-10
304L	1.4306 1.4307	X2CrNi19-11 X2CrNi18-9
304LN	1.4311	X2CrNiN18-10
310	1.4841	X15CrNiSi25-20
310S	1.4845	X12Ni25-21
316	1.4401 1.4436	X5CrNiMo17-12-2 X3CrNiMo17-13-3
316L	1.4404 1.4432 1.4435	X2CrNiMo17-12-2 X2CrNiMo17-12-3 X1CrNiMo18-14-3
316LN	1.4429	X2CrNiMoN17-11-2
316Ti	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2
321	1.4541	X6CrNiTi18-10
347	1.4550	X6CrNiNb18-10
	1.4361	X1CrNiSi18-15-4
	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5
	1.4373	X2CrMnNiN18-9-5

AISI 304 paslanmaz çeliği; korozyon dayanımı, kaynak kabiliyeti ve şekillendirilebilme özelliği iyi olduğu için gıda endüstrisinde, bira, şarap, süt gibi içeceklerin taşınmasında ve depolanmasında, kapı ve pencere çerçevelerinde, çatı olukları ve soğutma kapları gibi birçok uygulamada kullanılır. Ayrıca AISI 304 paslanmaz çeliğinde, tanelerarası korozyona karşı dayanımı artırmak için karbon içeriği azaltılmış olan AISI 304L paslanmaz çeliği geliştirilmiştir. AISI 304L paslanmaz çeliği, AISI 304 çeliğinin kullanıldığı tüm alanlarda başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Molibden içeren AISI 316 paslanmaz çeliği ise AISI 304 paslanmaz çeliğinden daha iyi korozyon dayanımına sahiptir. AISI 316 paslanmaz çeliğinde, tanelerarası korozyona karşı dayanımı artırmak için karbon içeriği azaltılmış olan AISI 316L paslanmaz çeliği geliştirilmiştir.

AISI 316 paslanmaz çeliği; denizcilik ve kimya endüstrisinde, yiyecek ve içeceklerin taşınması, depolanması ve üretilmesinde, düşük ve yüksek sıcaklık uygulamalarında ve mimari uygulamalarda yaygın bir şekilde kullanılır (Aydemir, 2003).

2.2.2 Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler, %11 ile %30 arasında Cr ve çok az miktarlarda C, N, Ni gibi ostenit yapıcı element içerirler. Ferritik paslanmaz çelikler oda sıcaklığında hacim merkezli kübik kafes yapısına sahiptirler. Manyetik olan bu çelikler ısı ile sertleştirilemezler. Bu çeliklerin düşük toklukları ve gevrekleşme hassasiyetleri olduğu için makine elemanı olarak kullanımı özellikle kaynaklı montajlar ve kalın kesitler için sınırlıdır (ASM Specialty Handbook, 1999).

Ferritik paslanmaz çeliklerin sertleştirilebilmeleri ancak soğuk şekil değiştirme ile mümkün olmaktadır. Ostenitik krom nikelli paslanmaz çeliklere nazaran şu üstün özelliklere sahiptirler;

1. Klorürlü çözeltilerde gerilmeli korozyon çatlamasına karşı dayanıklıdır,
2. Daha yüksek akma dayanımına sahiptirler,
3. Daha az soğuk şekil değiştirme sertleşmesi gösterirler,
4. 750 °C'ye kadar manyetikleşme özelliğine sahiptirler (Kanbolu, 1996).

Ferritik paslanmaz çelikler pahalı bir element olan nikel içermemelerinden dolayı krom nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerden daha ekonomiktirler (Fırat, 1998). Yaygın olarak kullanılan ferritik paslanmaz çelik türleri Tablo 2.3'de gösterilmiştir.

Tablo 2.3: Yaygın olarak kullanılan ferritik paslanmaz çelik türleri (Aran ve Temel, 2004).

AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Gösterimi
409	1.4512	X2CrTi12
430	1.4016	X6Cr17
439	1.4510	X3CrTi17
444	1.4521	X2CrMoTi18-2
	1.4605	X2CrAlTi18-2

2.2.3 Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, bileşimlerinde %11,5 ile %18 arasında Cr ve %0,15 ile %1,2 arasında C içerirler. Martenzitik paslanmaz çelikler Fe-C alaşımlarına benzer bir şekilde ostenitleştirilir ve su verme ile sertleştirilir. Daha sonra tokluk ve sünekliği artırmak için temperleme yapılır. Bu alaşımlar manyetiktir ve bu çeliklerin ısı ile işlem görmüş yapıları hacim merkezli tetragondur (ASM Specialty Handbook, 1999).

Martenzitik paslanmaz çeliklerde mekanik dayanım, alaşımın karbon miktarına bağlı olarak ısıl işlem ile elde edilir. karbon miktarının artması ile dayanım artar fakat süneklik ve tokluk düşer. Martenzitik paslanmaz çeliklerde aşınma dayanımı karbon miktarına oldukça bağlıdır. Martenzitik paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımını ve tokluk özelliklerini iyileştirmek için molibden ve nikel ilavesi yapılır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetleri düşüktür. Genellikle yüksek çekme, yorulma, sürünme dayanımı gerektiren ve fazla korozif olmayan ortamlarda tercih edilirler (Şen, 2010).

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerini geliştirmek için az karbonlu krom nikelli martenzitik paslanmaz çelikler üretilmiştir (Kanbolu 1996). Yaygın olarak kullanılan martenzitik paslanmaz çelik türleri Tablo 2.4’de gösterilmiştir.

Tablo 2.4: Yaygın olarak kullanılan martenzitik paslanmaz çelik türleri (Aran ve Temel, 2004).

AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Gösterimi
410	1.4006	X12Cr13
416	1.4005	X12CrS13
420	1.4021	X20Cr13
	1.4028	X30Cr13
440C	1.4125	X105CrMo17
	1.4104	X14Cr MoS17
440B	1.4112	X90CrMoV18
	1.4313	X3CrNiMo13-4

2.2.4 Ostenitik-ferritik paslanmaz çelikler

Ostenitik-ferritik paslanmaz çeliklerde içyapı ostenit ve ferrit fazlarından oluşur. Ostenitik-ferritik paslanmaz çelikler; %18-%28 oranlarında Cr, %4,5-%8 oranlarında Ni içermektedirler. Ayrıca ostenitik-ferritik paslanmaz çeliklerin çoğunluğu %2,5-%4 oranları arasında Mo içerir (Soncu, 2010).

Ostenitik-ferritik paslanmaz çeliklerin tavllanmış halde akma dayanımları 550 MPa ile 690 MPa arasında değişmektedir ki, bu değer sadece ostenitik veya sadece ferritik faza sahip paslanmaz çelikten elde edilebilecek akma dayanımının yaklaşık iki katıdır (ASM Specialty Handbook, 1999).

Ostenitik-ferritik paslanmaz çeliklerin yapıları ostenitik paslanmaz çeliklere göre daha iyi gerilmeli korozyon çatlakları dayanımı ve ferritik paslanmaz çeliklere göre

daha iyi tokluk ve süneklilik verir (ASM Specialty Handbook, 1999). Yaygın olarak kullanılan ostenitik-ferritik paslanmaz çelik türleri Tablo 2.5’de gösterilmiştir.

Tablo 2.5: Yaygın olarak kullanılan ostenitik-ferritik paslanmaz çelik türleri (Aran ve Temel, 2004).

AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Gösterimi
318	1.4462	X2CrNiMoN22-5-3
329	1.4460	X4CrNiMoN27-5-2
	1.4410	X2CrNiMoN25-7-4
	1.4028	X30Cr13
440C	1.4125	X105CrMo17
440B	1.4112	X90CrMoV18

2.2.5 Çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler

Çökeltme sertleştirilmesi, ikincil fazın küçük tanecikler şeklinde matris fazı içerisinde çökmesinin sağlandığı alaşım sistemlerinde dayanım artırmak için kullanılan en önemli sertleştirme yöntemlerinden biridir. Çökeltme sertleştirilmesi denge diyagramlarında solvüs eğrisi içeren alaşım sistemlerine uygulanabilir (Kayalı ve Ensari, 1986). Çökeltme ikincil faz taneciklerinin, dislokasyon hareketlerini engellemesiyle sertlik artışı meydana gelir.

Çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çeliklerin içyapıları ostenitik, yarı ostenitik veya martenzitik olabilir. Çökeltme oluşumu için Al, Ti, Nb ve Cu elementleri ile alaşımlama yapılır. Bu sayede dayanımları 1700 MPa’a kadar çıkan paslanmaz çelikler elde edilebilmektedir (ASM Specialty Handbook, 1999).

Çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler yüksek sünekliliğe, tokluğa ve orta ile iyi arasında değişen korozyon dayanımına sahiptirler. Bu çeliklerin martenzitik paslanmaz çeliklere göre daha yüksek mekanik ve korozyon dayanımları vardır (Şen, 2010). Yaygın olarak kullanılan çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelik türleri Tablo 2.6’da gösterilmiştir.

Tablo 2.6: Yaygın olarak kullanılan çökeltme sertleştirilmesi uygulanabilen paslanmaz çelik türleri (Aran ve Temel, 2004).

EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Gösterimi
1.4542	X5CrNiCuNb15-7-2
1.4568	X7CrNiAl17-2
1.4532	X5CrNiMoCuNb14-5

3. KOROZYON

3.1 Korozyonun Tanımı ve Oluşum Nedeni

Korozyon, kimyasal ve/veya elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu malzeme yüzeyinden başlayan ve malzemenin derinliklerine doğru etki ederek devam eden bir bozunma sürecidir. Bu süreç malzeme özelliklerinin değişimine yol açar ve büyük zararlara neden olur. Korozyon, önemli israf kalemlerinden birini oluşturmaktadır (Elçiçek ve diğ., 2011).

Bütün metaller doğada mineral olarak buldukları hale dönüşme eğilimindedirler. Doğada mineraller sözkonusu metalin en düşük enerji taşıyan yani en kararlı halinde bulunurlar. Bu metaller özel metalürjik yöntemlerle enerji harcanarak metal haline getirilirler. Ancak metallerin çoğu element halinde termodinamik olarak kararlı değildir. Metaller uygun bir ortamda üzerinde taşıdıkları kimyasal enerjiyi geri vererek tekrar minimum enerji taşıyan kararlı hallerine dönüşmek isterler. Bu sebeple korozyon olayı enerji açığa çıkararak kendiliğinden yürür. Bazı soy metaller haricindeki teknolojik öneme sahip bütün metaller ve alaşımlar korozyona uğrayabilir (Yılmaz, 2006).

3.2 Korozyon Oluşum Mekanizmaları

Korozif bir ortamın metaller ve alaşımlar üzerine etkisi kimyasal ve elektrokimyasal yollardan biri veya her ikisi ile olur.

3.2.1 Kimyasal korozyon

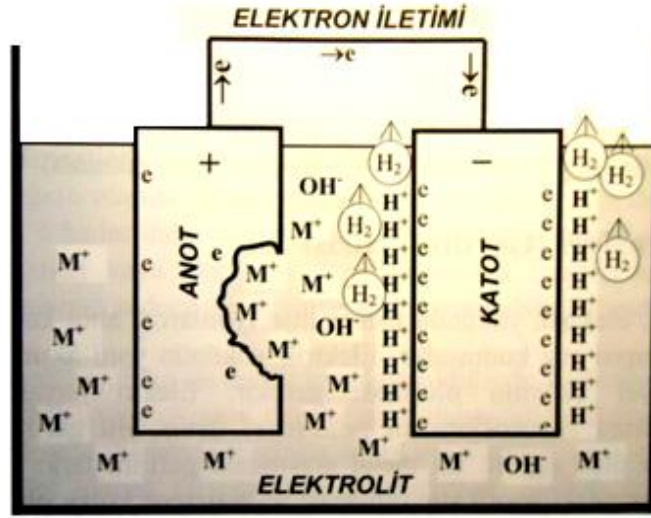
Kimyasal korozyonda, metal ve alaşımlarının kuru ve gazdan oluşan bir ortamda oksitlenmeleri söz konusudur (Yüksel, 2002). Oksitlenme özellikle yüksek sıcaklıklarda daha da etkilidir. Demirin en belirgin kimyasal korozyon ürünleri oksitleridir.

3.2.2 Elektrokimyasal korozyon

Elektrokimyasal korozyon, birbiri ile elektriksel ve elektrolitik teması olan ve aralarında potansiyel fark oluşan iki metalik bölge arasında meydana gelmektedir. Bu bölgelere elektrot denir. Potansiyel bakımından daha asil olan elektrotun yüzeyinde katodik reaksiyon, daha aktif olan elektrotun yüzeyinde ise anodik reaksiyon meydana gelir (Şekil 3.1).

Potansiyel farkın oluşum nedenleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

1. Metalin mekanik, yapısal, kimyasal ve ısıl farklılıklar gösteren bölgeleri arasında potansiyel fark oluşabilir.
2. Farklı iki metalin birbiri ile temas etmesi sonucu potansiyel fark oluşabilir.
3. Ortamdaki katodik olarak redüklenabilen bileşenlerin, metalin değişik bölgelerinde farklı oranlarda bulunması potansiyel fark oluşturabilir (Önal, 2012).



Şekil 3.1 : Korozyon hücresi (Yüksel ve Meran, 2010).

Anodik reaksiyonda, metal iyonlarının çözeltiliye geçerek metal bünyesini terketmeleri söz konusudur. Böylece metal kaybı gerçekleşir. İyonlaşma sonucu atom gövdesinden ayrılan elektronlar ise metal bünyesinde kalır (Yüksel ve Meran, 2010).



Katodik reaksiyonda; anodik reaksiyonda anot metali bünyesinde kalan elektronlar daha soy olan karşı elektrota iletilirler. Bu yüzden katotta elektron fazlalığı meydana gelir ve elektrolitte çözelti halinde bulunan en soy katyonlar (+ yüklü iyonlar) ile elektronlar reaksiyona girer (Yüksel ve Meran, 2010).



3.3 Korozyon Hızına Etki Eden Faktörler

Korozyon; önlenmesi zor, doğal bir olaydır. Fakat belirli sınırlar içerisinde korozyonu yavaşlatmak mümkündür. Korozyonun yavaşlatılması tasarım aşamasında başlar. Konsantrasyon, sıcaklık, pH ve ortamdaki akışkanın hızı gibi korozif ortamın özellikleri korozyon oluşum hızına doğrudan etki etmektedir.

3.3.1 Konsantrasyonun etkisi

Oksitleyici olmayan ortamlarda, korozyon hızını düşürmek için, asit konsantrasyonunun azaltılması gerekmektedir. Oksitleyici özelliği olan nitrik, sülfürik ve fosforik asitlerde, konsantrasyon yeterince azaltılarak metaller için zararsız hale getirilebilir.

3.3.2 Sıcaklığın etkisi

Sıcaklığın düşürülmesi genellikle korozyon hızında önemli derecede düşüşe sebep olur. Ama bu durum ortam şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Örneğin açık sistemlerde sıcaklığın artması ile oksijen çözünürlüğü azalır. Bu yüzden korozyon hızında düşüş meydana gelebilir.

3.3.3 Korozif ortam akışkanında hızın etkisi

Korozif sıvının hızının azaltılması erozif korozyonda azalma meydana getirir. Yalnız paslanmaz çelik gibi pasifleşen metaller, korozyona hareketli ortamlarda durgun ortamlara göre daha dayanıklıdır.

3.3.4 Korozif ortamda pH etkisi

Bir çözeltilinin asitlik derecesi pH olarak ifade edilir. pH hidrojen iyonu yoğunluğuna bağlıdır. Hidrojen iyon yoğunluğu arttıkça asitlik yükselir ve pH düşer. Çözelti; pH = 7 ise nötr, pH > 7 ise bazik, pH < 7 ise asidik olur.

pH < 4 olduğu zaman, çelik hidrojen çıkışı ile birlikte şiddetli korozyona uğramaktadır. 4 < pH < 10 olduğu zaman çeliğin korozyon hızı, yüzeye oksijen difüzyonuna bağlıdır. pH > 10 olduğu zaman çeliğin korozyonu büyük ölçüde azalmaktadır. Bu durumda korozyon hızı pasif film tabakasının bozulmasına bağlıdır (Önal, 2012).

4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KOROZYONU

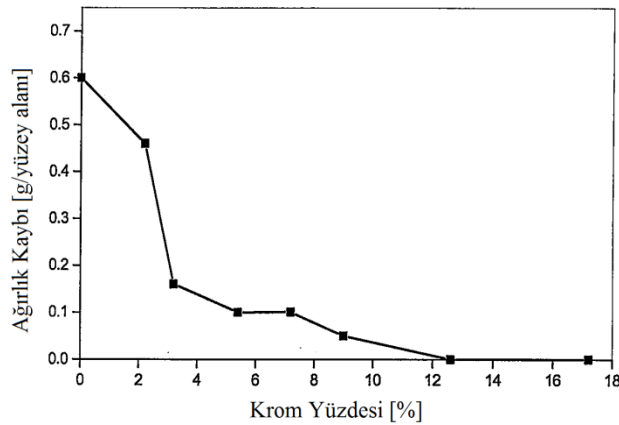
4.1 Paslanmaz Çeliklerde Pasifleşme

Pasifleşme, bir reaksiyon sonucu termodinamik olarak çözünmeye uğrayan metal veya alaşım için anodik reaksiyonun önlenmesidir. Bu olayın sonucunda metal veya alaşımın korozyon dayanımı büyük oranda artmaktadır (Şen, 2010).

Paslanmaz çeliklerde pasifleşme, yapıda bulunan krom atomlarının ortamdaki mevcut oksijenle reaksiyona girmesi sonucu yüzeyde pasif bir krom oksit tabakası oluşması şeklinde meydana gelir.

Paslanmaz çelikler normalde pasiftirler. Ancak oksitleyici özelliği düşük olan korozif ortamlarda aktifleşirler. Bu nedenle pasifliğin korunması, oksijen veren ortamların sürekliliğine bağlıdır (Şen, 2010).

Krom, paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran pasif tabakanın oluşmasını sağlayan ana elementtir. Paslanmaz çeliklere ilave edilen diğer elementler pasif tabakanın oluşmasında veya korunmasında kromun etkisine katkıda bulunabilir. Fakat bu elementlerin hiçbiri çeliğe paslanmazlık özelliğini tek başına kazandıramaz (Soncu, 2008). Şekil 4.1'de 52 aylık sürede çeliğin atmosferik korozyonuna krom yüzdesinin etkisi gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere çeliğin içerisinde %12'yi aşan miktarda krom bulunması, çeliği pasifleştirmekte bu sayede atmosferik ortamlarda korozyon oluşumu engellenmektedir.



Şekil 4.1 : Çeliğin atmosferik korozyonuna kromun etkisi (Aydemir, 2003).

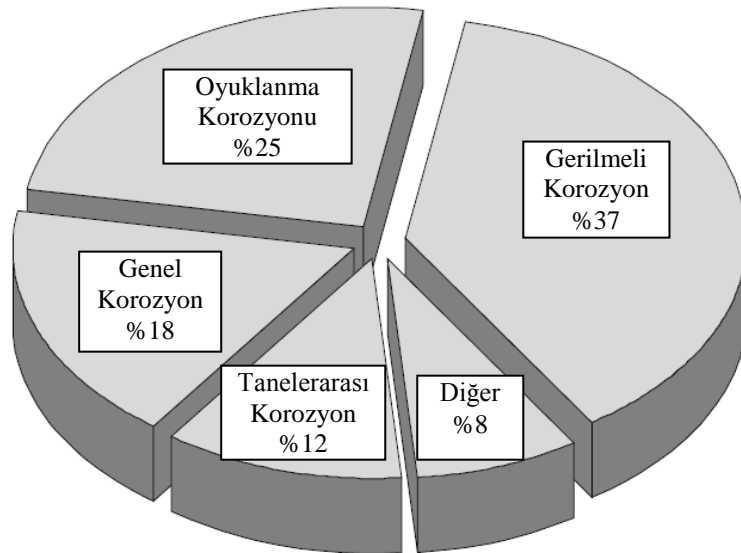
4.2 Paslanmaz Çeliklerde Meydana Gelen Korozyon Türleri

Paslanmaz çeliklerde karşılaşılan başlıca korozyon türleri aşağıda belirtilmiştir (Soncu, 2008).

1. Genel korozyon
2. Tanelerarası korozyon
3. Galvanik korozyon
4. Oyuklanma (pitting) korozyonu
5. Aralık korozyonu
6. Gerilmeli korozyon
7. Eroziyon korozyon

Paslanmaz çelikler tamamen adlarına uygun davranış gösteren malzemeler değildir. Korozyona uğramaları için kullanıldıkları yerlere göre çok dikkatli seçilmesi ya da kontrol edilmesi gereken malzemelerdir (Aydoğdu ve Aydınol, 2005).

Şekil 4.2'de kimya endüstrisinde kullanılan paslanmaz çelik malzemelerde görülen hasarların dağılımı verilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı üzere paslanmaz çeliklerde meydana gelen hasarların büyük bir kısmı korozyon nedenli olmaktadır.



Şekil 4.2 : Kimya endüstrisinde paslanmaz çeliklerde görülen hasar türleri (Roberge, 1999).

4.2.1 Genel korozyon

Genel korozyonda metal ve alaşımların yüzeyleri her yönde aynı şekilde etkilenir ve yaklaşık aynı kalınlıkta aşınmaya uğrar. Aşınmadaki eşit dağılımın nedeni, anodik ve katodik alanların sürekli yer değiştirmesidir. Bu korozyon türünde, diğer korozyon türlerine göre metal kaybı fazladır. Fakat laboratuvar koşullarında saptanabildiği yani önceden tahmin edilebildiği için nispeten diğer korozyon türlerine göre daha az tehlikelidir. Çoğu kez dış görünüm bozukluklarına neden olur (Ertek, 2006).

Paslanmaz çeliklerde genel korozyon yüzeydeki pasif filmi kaldıran ve yeniden oluşmasını engelleyen kuvvetli asitler ya da alkali ortamlarda meydana gelir. Böyle bir durum yanlış malzeme seçiminin sonucudur. Konsantrasyonu orta şiddette olan sıcak sülfürik asitli bir ortama, düşük kromlu ferritik paslanmaz çeliğin maruz kalması bu korozyonun oluşmasına neden olur (ASM Handbook, 1992).

4.2.2 Tanelerarası korozyon

Tanelerarası korozyon ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu yüzden, bir sonraki bölümde ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti başlığı altında detaylı olarak ele alınmıştır.

4.2.3 Galvanik korozyon

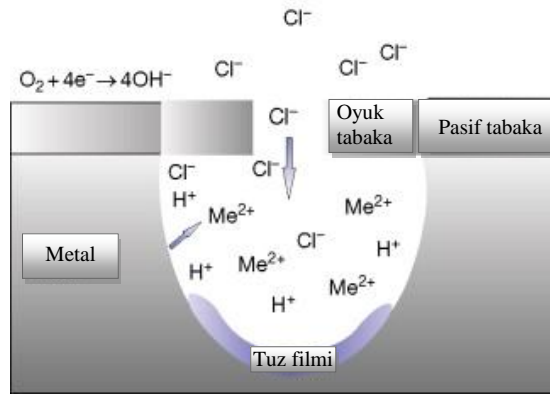
Galvanik korozyon; farklı iki metalin birbiri ile temas etmesi sonucu meydana gelen bir korozyon türüdür. Bu korozyonda temas eden metallere biri galvanik seride daha aktif iken diğeri daha pasiftir. Temas eden bu iki metal arasında potansiyel fark oluşur ve korozyon hızı bu potansiyel farka bağlı olarak değişir. Böyle bir durum paslanmaz çeliklerin temas bölgelerinde pasifliğin bozulmasına sebep olur (Şen, 2010).

Paslanmaz çeliklerde makro ve mikro temas korozyonu şeklinde genel ve noktasal korozyon türleri meydana gelebilir. Özellikle paslanmaz çelik kabın içindeki çözültide bulunabilecek bakır gibi metal parçacıklar mikro temas korozyonuna yol açar (Aran ve Temel, 2004).

4.2.4 Oyuklanma korozyonu

Oyuklanma korozyonunda, metal yüzeyinde bölgesel oyuklar veya delikler oluşur. Paslanmaz çeliklerde oyuklanma korozyonu pasif tabakanın bölgesel süreksizliğinden kaynaklanır ve oyuklanma başlangıcındaki pasif tabakanın kararlılığı öncelikle krom ve molibden elementleri tarafından kontrol edilir (ASM Handbook, 1992).

Oyuklanma korozyonu, küçük bir bölgede gizlice oluşması ve çoğu kez bir anda ortaya çıkmasından dolayı tehlikeli bir korozyon türüdür. Oyukların oluşması için, genellikle uzun bir başlama süresi gereklidir. Ama bir kez başladıktan sonra hızlı bir şekilde ilerler. Malzemede dayanım kaybına ve yük altında ani kırılma ile de malzemenin kullanılamaz hale gelmesine yol açarlar (Önal, 2012). Oyuklanma korozyonu şematik olarak Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Oyuklanma korozyonunun şematik gösterimi (Iversen ve Leffler, 2010).

Klorür, oyuklanma saldırılarının birincil nedeni olarak bilinir ve her tür malzeme için etkin klorür konsantrasyonu tespit edilebilir. Klorürlü çözeltinin korozif etkisi farklı kimyasal türlerinin varlığından etkilenebilir. Bu kimyasal türleri korozyonu hızlandırabilir veya önleyebilir. Ayrıca klorür konsantrasyonunun buharlaşmaların veya dökülmelerin olduğu yerlerde artabileceği de dikkate alınmalıdır (ASM Handbook, 1992).

Paslanmaz çelikler oyuklanma korozyonuna duyarlıdırlar. Paslanmaz çelikleri oyuklanma korozyonuna daha dayanıklı hale getirmek için birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda paslanmaz çelik yapısında bulunan elementlerin oyuklanma korozyonuna etkileri belirlenmiştir. Bu araştırmalardan elde edilen sonuçlar Tablo 4.1'de gösterilmiştir (Soncu, 2008).

Tablo 4.1: Paslanmaz çeliğin oyuklanma korozyonu dayanımına, alaşım elementlerinin etkisi (Soncu, 2008).

Element	Oyuklanma korozyonu dayanımına etkisi
Krom	Artırır
Nikel	Artırır
Molibden	Artırır
Azot	Artırır
Silisyum	Azaltır (Mo ile birlikte artırır)
Kükürt ve selenyum	Azaltır
Karbon	Azaltır
Titanyum ve niyobyum	FeCl ₃ içinde azaltır Diğer ortamlarda etkisi yoktur

4.2.5 Aralık korozyonu

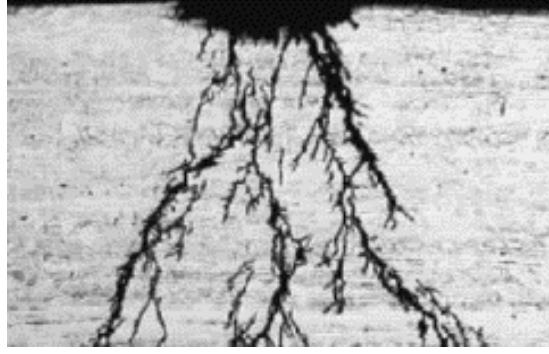
Aralık korozyonu, aynı ya da farklı türde metallerin birleştirilmesinde ve bağlanmasında meydana gelen bir korozyon türüdür. Bağlantı bölgelerinde veya aralıklarda hava ile temasın kesilmesi ya da yeterli temas sağlanamaması durumunda oksijen yetersizliğinden yüzeyde oluşan pasif tabaka onarılamamakta ve malzeme korozyona uğramaktadır. Korozyon hızı oyuklanma korozyonunda olduğu gibi değişkenlik göstermektedir (Şen, 2010).

Paslanmaz çeliklerin aralık korozyonuna dayanımları, oyuklanma korozyonuna göstermiş oldukları dayanım ile benzerlik göstermektedir. Cr, Mo ve Ni içeriğinin yüksek olması aralık korozyonuna karşı dayanımı artırmaktadır (Soncu, 2008).

4.2.6 Gerilmeli korozyon

Gerilmeli korozyonda, çekme gerilmesi ve korozyonun birlikte neden olduğu çatlama olayı meydana gelir. Çeşitli işlemlerde kullanılan paslanmaz çelikler, bu işlemler sırasında iç ve dış gerilmelere maruz kalırlar. Bu gerilmelerle birlikte korozyon, Şekil 4.4'de de görüldüğü gibi paslanmaz çeliklerde çatlak başlangıcına ve ilerlemesine neden olmaktadır. Gerilmeli korozyon tek başlarına malzemeye çok fazla etkisi olmayan hafif koroziv ortamlar ve çekme dayanımının çok altındaki gerilme değerlerinde dahi meydana gelebilmektedir (Önal ve diğ., 2005).

Kaynaklı konstrüksiyonlarda presleme, bükme ve kaynak işlemi ile oluşan çekme gerilmeleri bulunur. Ayrıca yüksek iç basınç ve çalışma esnasındaki yüksek sıcaklık bu gerilmeleri artırır. Klorürlü, bazlı ve halojen sülfürlü ortamlar gerilmeli korozyonu hızlandırır (Kanbolu, 1996).



Şekil 4.4 : Işık mikroskobu ile çekilmiş gerilmeli korozyon fotoğrafı (Iversen ve Leffler, 2010).

Paslanmaz çelikler özellikle klorürlü ortamlarda gerilmeli korozyona karşı hassasiyet gösterirler. Sıcaklığın yüksek olması ve ortamdaki oksijen varlığı, paslanmaz çeliklerin gerilmeli korozyona hassasiyetini artırmaktadır. Çatlamlar genellikle 60 °C üzerinde görülmekte, daha düşük sıcaklıklarda pek fazla rastlanılmamaktadır. Ferritik ve ostenitik-ferritik paslanmaz çeliklerin çoğu gerilmeli korozyona karşı yüksek ölçüde dayanıklıdır. Fakat ostenitik, çökelme sertleşmeli ve martenzitik paslanmaz çelikler klorürlü ortamlarda gerilmeli korozyona karşı hassastır (Soncu, 2008).

4.2.7 Eroziyon korozyon

Metal ve alaşımlarının korozyonu, koruyucu oksit tabakasından bir parça ayrıldığı zaman hızlanabilir. Saldırının bu şekilde olması özellikle oksit tabakası kalınlığının korozyon dayanımını belirlemede önemli bir etkisi olduğu zaman önemlidir. Paslanmaz çelikteki bu tür durumlarda; pasif tabakanın erozyonu, korozyonun bir miktar hızlanmasına yol açabilir (ASM Handbook, 1992).

Bir metal ile ortam arasındaki bağıl hareketin, metalin (pasif tabakanın) aşınma ya da parçalanma hızını artırmasıyla eroziyon korozyon meydana gelir. Genel olarak daha yüksek kromlu ve daha sert paslanmaz çelikler eroziyon korozyona karşı en iyi dayanımı gösterir (Soncu, 2008).

4.3 Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlardaki Korozyon Dayanımları

4.3.1 Atmosferik ortamlarda korozyon dayanımı

Hava kirliliğinin olmadığı durumlarda hemen hemen bütün paslanmaz çelik türleri, %100 nem altında bile yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Hava kirliliğinin olmadığı atmosferik ortamlarda paslanmaz çelik; temin edilebilirlik, maliyet, mekanik özellikler, şekillendirilebilirlik, kaynak edilebilirlik ve görünüm beklentilerine bağlı olarak seçilebilir. Havanın nemli olmadığı bölgelerde düşük maliyetli paslanmaz çelikler kullanılabilir. Tablo 4.2’de yaygın kullanılan paslanmaz çeliklerin çeşitli ortamlardaki korozyon dayanımları gösterilmektedir.

Tablo 4.2: Paslanmaz çeliklerin çeşitli ortamlardaki korozyon dayanımları (Odabaş, 2004).

Paslanmaz Çelik Türü		Atmosferik ortamlar				Sulu Ortamlar	
AISI	EN10088 Kısa Gösterimi	Sanayi atmosferi	Deniz kıyısı	Şehir Ortamı	Kırsal alanlar	Tatlı Su	Tuzlu Su
301	X10CrNi18-8	5	2	1	1	1	0
304	X5CrNi18-10	5	2	1	1	1	3
304L	X2CrNi19-11	5	2	1	1	1	3
309	X12CrNi26-5	5	2	1	1	1	3
310	X15CrNiSi25-20	5	2	1	1	1	3
316	X5CrNiMo17-12-2	3	1	1	1	1	3
316L	X2CrNiMo17-12-2	3	1	1	1	1	3
321	X6CrNiTi18-10	5	2	1	1	1	3
347	X6CrNiNb18-10	5	2	1	1	1	3
409	X2CrTi12	6	4	2	1	3	6
430	X6Cr17	3	4	1	1	1	6
410	X12Cr13	6	4	2	1	3	6
420	X20Cr13	6	4	2	1	3	6
1. Yüksek korozyon dayanımı 6. Düşük korozyon dayanımı							

Sanayi ortamında kullanılacak paslanmaz çelikler, hava kirliliğine ve görünüm beklentilerine bağlı olarak seçilir. Görünüm önemli ise kullanılacak en düşük alaşım AISI 430 serisidir. AISI 301 serisi paslanmaz çeliklerinde çoğu uygulamalar için yeterli olduğu bilinmektedir. Sanayi ortamında en çok sorun çıkaran durum, klorür veya bileşiklerinden dolayı olan kirliliktir. Paslanmaz çelikler, su ile yıkamanın mümkün olmadığı kapalı ortamlarda hızlı bir şekilde korozyona maruz kalırlar (Aran ve Temel, 2004).

4.3.2 Sulu ortamlarda korozyon dayanımı

Deniz suyu veya tuzlu sulu ortamlarda kullanılacak paslanmaz çeliklerin seçimi, atmosferde kullanılacak paslanmaz çeliklerin seçiminden daha karmaşıktır. Paslanmaz çelikler, içerisinde az miktarda klorür içeren temiz sulara karşı genellikle iyi korozyon dayanımı gösterirler. AISI 304 ve özellikle AISI 316 paslanmaz çelikleri deniz suyu ve benzeri klorürlü sulara en dayanıklı türlerdir. Yalnız AISI 316 da dahil hemen hemen bütün paslanmaz çelikler, akış hızı 1,5 m/s'nin altındaki durgun sulara (örneğin kirlili liman sularında) oyuklanma korozyonuna uğrarlar (Aran ve Temel, 2004).

Sulu ortamlarda korozyon hızını etkileyen klorür miktarı uygun malzeme seçiminde önemli bir faktördür. Tablo 4.3'de laboratuvar testleri ve kullanım deneyimlerine dayanarak, klorür miktarına bağlı kullanılabilir paslanmaz çelik türleri gösterilmiştir (Url-2).

Tablo 4.3: Sulu ortamlarda klorür miktarına göre paslanmaz çelik seçimi (Url-2).

Klorür Seviyesi [ppm]	Kullanılabilecek Paslanmaz Çelik Türleri
<200	304L, 316L
200-1000	316L, ostenitik-ferritik 2205
1000-3600	Ostenitik-ferritik 2205 %6 Mo içeren süper ostenitik ve süper ostenitik-ferritik paslanmaz çelikler
>3600	%6 Mo içeren süper ostenitik ve süper ostenitik-ferritik paslanmaz çelikler
15000-26000 (deniz suyu)	%6 Mo içeren süper ostenitik ve süper ostenitik-ferritik paslanmaz çelikler

Deniz suyunda yaklaşık olarak ağırlıkça %3,5 NaCl ile beraber önemli miktarda magnezyum, kalsiyum, potasyum, sülfat ve bikarbonat iyonları da bulunmaktadır. Deniz suyunun oksijen içeriği açık atmosferin içerdiği serbest oksijen miktarına yakın olup pH değeri 8,0-8,3 arasındadır. Deniz suyunun sahip olduğu yüksek iyon konsantrasyonunun bir sonucu olarak, metallerle olan temasında korozif bir etki göstermesi kaçınılmazdır. Özellikle klorür gibi saldırgan iyonlar, metalik yüzeyden başlayıp malzemenin iç kesitine doğru hızlı bir şekilde ilerleyip çoğunlukla oyuklanma olarak gözlemlenen korozyona neden olmaktadır. Özellikle yüksek kromlu çeliklerde, yüzeyde oluşan pasif krom oksit tabakasının bariyer rolü oynayarak oksijen difüzyonunu engellemesi beklenir. Ancak saldırgan ortam koşullarında çoğu kez hasarın oluşması kaçınılmazdır (Talbot ve Talbot, 1998).

4.3.3 Kimyasal ortamlarda korozyon dayanımı

Kimyasal ortamlarda paslanmaz çelikler genel korozyon, tanelerarası korozyon, gerilmeli korozyon, oyuklanma korozyonu, aralık korozyonu ve/veya galvanik korozyona maruz kalırlar. Ortamdaki küçük değişiklikler, malzemenin korozif ortamdaki davranışını değiştirebilir. Bu nedenle konstrüksiyonun tasarımı ve malzeme seçimi özenle yapılmalıdır (Aran ve Temel, 2004).

Çeliğin içinde alaşım elementi olarak %10,5'u (EN 10088-1, 2005) aşan miktarda Cr bulunması, çeliği atmosferin ve nitrik asit (HNO_3) gibi oksitleyici asitlerin korozif etkilerinden korur. Fakat sadece Cr içeren çelikler hidroklorik asit (HCl) ve sülfürik asit (H_2SO_4) gibi asitlere karşı dayanıklı değildir. Bu asitler yüzeyi koruyan krom oksit tabakasını ortadan kaldırır ve dolayısı ile çelik korozyona karşı korunmasız kalır. Günümüzde redükleyici asitlere karşı da iyi dayanım gösteren paslanmaz çelikler üretilmektedir. Bu tür çelikler yapılarında kromun yanı sıra yüksek miktarlarda Ni ve Mo içerirler. Ayrıca bu alaşım elementleri çeliklerin mikro yapılarını etkin bir şekilde değiştirir ve paslanmaz çeliklerin sınıflandırılmasına yardımcı olur (Kaluç ve Taban, 2007).

Tablo 4.4'de paslanmaz çeliklerin çeşitli kimyasallar karşısındaki korozyon dayanımları gösterilmektedir.

Tablo 4.4: Paslanmaz çeliklerin çeşitli kimyasallar karşısındaki korozyon dayanımları (Odabaş, 2004).

Kimyasal Çözelti Türü	Ortam Şartları		Paslanmaz Çelik Türü			
	Konsantrasyon [%]	Sıcaklık	AISI 410	AISI 430	AISI 304	AISI 316
Hidroklorik Asit (HCl)	<0,2	Oda Sıcaklığı			2°	2°
	>0,2	Oda Sıcaklığı			3°	3°
Nitrik Asit (HNO ₃)	1-20	Oda Sıcaklığı	1	1	1	1
		Kaynama Nok.	2	1	1	1
	40-60	Oda Sıcaklığı	2	2	1	1
		Kaynama Nok.	3	2	1-4	1-4
Sülfürik Asit (H ₂ SO ₄)	<0,5	Oda Sıcaklığı			1	1
		Kaynama Nok.			3	2
	30-60	Oda Sıcaklığı			2	2
		Kaynama Nok.			3	3
	95-100	Oda Sıcaklığı			1	1
		100 °C			3	3
Fosforik Asit (H ₃ PO ₄)	10	Oda Sıcaklığı			1	1
		Kaynama Nok.			2	1
	80	Oda Sıcaklığı			2	1
		Kaynama Nok.			3	2
Hidroflorik Asit (HF)		Oda Sıcaklığı	3	3	3	3
Borik Asit (B(OH) ₃)	Doymuş			1°	1°	1°
Asetik Asit (CH ₃ COOH)	0-100	Oda Sıcaklığı			1	1
Oksalik Asit (H ₂ C ₂ O ₄)	10	Oda Sıcaklığı			1	1
Sitrik Asit (C ₆ H ₈ O ₇)	15	Kaynama Nok.		1	1	1
Laktik Asit (C ₃ H ₆ O ₃)	5	Oda Sıcaklığı	2	1	1	1
Meyve Suyu					1	1
Yağ ve Süt					1	1
Sodyum Karbonat (Na ₂ CO ₃)	50	Kaynama Nok.			1	1
Sodyum Klorit (NaClO ₂)	10	Kaynama Nok.		1°	1°	1°

1 : 0,1 mm/yıl – yüksek dayanım
2 : 0,1-1,0 mm/yıl – orta dayanım
3 : 1 mm/yıl üstünde aşınma – düşük dayanım
4 : Yüksek basınç altında ise 3
° : Oyuklanma korozyonu görülebilir.

5. OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

5.1 Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Ostenitik paslanmaz çeliklerin bazı fiziksel özellikleri kaynak kabiliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu özellikler;

1. Isı iletim katsayıları oda sıcaklığında, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin ısı iletim katsayılarınının 1/3'ü kadardır.
2. Isıl genleşme katsayıları karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin ısıl genleşme katsayılarından %50 daha fazladır.
3. Elektrik iletme dirençleri alaşımsız çeliklerin elektrik iletme dirençlerine göre 4 ile 7 kat arasında daha büyüktür.

Bu fiziksel özelliklerden dolayı, krom nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağındakinden daha fazla kendini çekme meydana gelmektedir. Kaynak dikişinin soğuması sırasında büzölmelerin meydana gelmesi sonucunda kaynaklı bölgede oluşan şiddetli iç gerilmeler çatlama tehlikesine yol açmaktadır (Kaluç ve Taban, 2007).

Bahsedilen bu fiziksel özelliklerin yanında δ -ferrit fazının oluşumu, sigma fazının oluşumu, tanelerarası korozyona hassasiyet, sıcak çatlak oluşumu ve gerilmeli korozyon çatlama hassasiyet gibi metalürjik faktörler de ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerini etkilemektedir.

5.1.1 Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında δ -ferrit oluşumu

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerin üretimlerinde sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, ostenit ve δ -ferrit taneleri oluşmaya başlar. Bu ferrit, ostenitin dönüşümü sonucu oluşan ferritten farklıdır. Katılaşma normal olarak ingota dökülen bir sıvı metalin katılaşmasında görülen hızla oluştuğu zaman bu çeliklerin yapısı ostenit taneleri arasına serpilmiş δ -ferrit tanelerinden oluşmaktadır. Bu faz ferrit yapıcı elementler yönünden zengin, ostenit yapıcı elementler yönünden fakirdir. Bu faz, malzemenin sıcak şekillendirilmesini zorlaştırır ve malzemede çatlakların

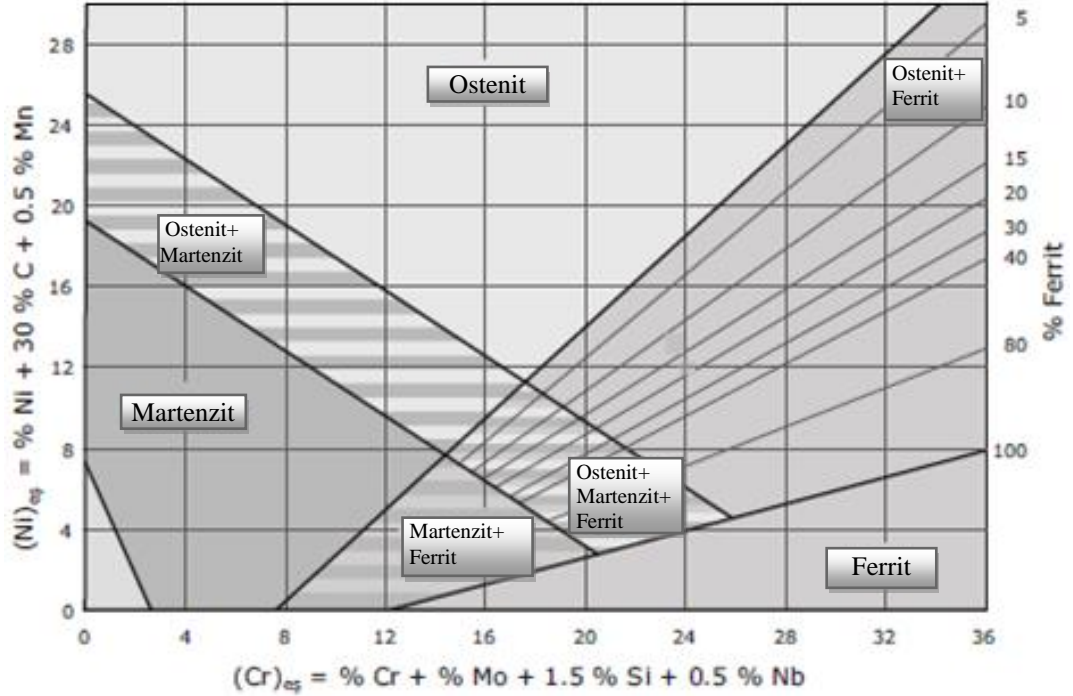
oluşumunu teşvik eder. Bu fazın sürekli tane sınırlarında bulunması çeliğin korozyon dayanımını azaltır (Kaluç ve Taban, 2007).

Ostenitik paslanmaz çelik kaynak metallere mikro yapıları esas metalin mikro yapısından farklılık göstermektedir. Tamamen ostenitik alaşımların eşdeğer bileşimindeki kaynak metallere az miktarda δ -ferrit bulunur. Değişik elektrot ve kaynak tellerinin kullanımı kaynak metalinin metalürjik yapısını değiştirebilir. Kaynak metalinin metalürjik yapısını belirlemek için çeşitli diyagramlar kullanılır (Kahraman ve diğ., 2004). Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı Schaeffler diyagramıdır (Şekil 5.1).

Schaeffler diyagramında ferrit yapıcı elementler krom eşdeğerliliği olarak yatay eksen, ostenit yapıcı elementler ise nikel eşdeğerliliği olarak dikey eksen yerleştirilmiştir.

$$(Cr)_{es} = \%Cr + \%Mo + 1,5.(\%Si) + 0,5.(\%Nb) \quad (5.1)$$

$$(Ni)_{es} = \%Ni + 30.(\%C) + 0,5.(\%Mn) \quad (5.2)$$



Şekil 5.1 : Schaeffler diyagramı (Odabaş, 2004).

Shaeffler diyagramındaki bölgelerin özellikleri:

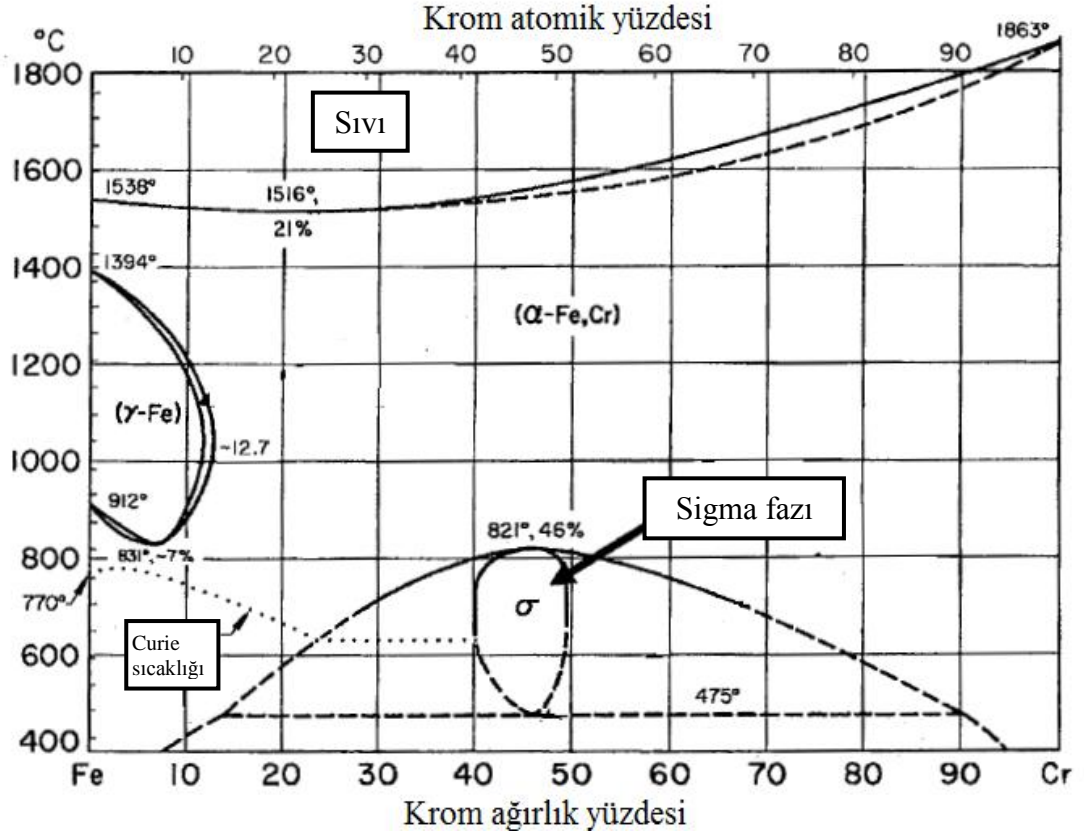
- a) Ostenit: Sıcaklık ve korozyona karşı dayanıklıdır. Fakat sıcak çatlak oluşma riski vardır.
- b) Ostenit + %5-%10 Ferrit: Korozyon dayanımı yüksektir. Çatlama karşı hassas değildir.
- c) Ostenit + %15-%30 Ferrit: Korozyon dayanımı orta seviyededir. Yüksek sıcaklıklarda çatlama karşı hassas bir yapı oluşmaya başlar.
- d) Ferrit: Yüksek sıcaklıklarda tane büyüme riski vardır.
- e) Ostenit + Martenzit: Çatlama riski vardır. Ön ısıtma uygulanması önerilir.
- f) Ostenit + Martenzit + Ferrit: Çatlama riski vardır. Ön ısıtma uygulanması önerilir.
- g) Martenzit + Ferrit: Çatlama riski vardır. Ön ısıtma uygulanması önerilir.
- h) Martenzit: Çatlama riski yüksektir. Kırılgan yapıya sahiptir (Odabaş, 2004).

δ -ferrit bulunduran kaynak metalleri tanelerarası korozyona hassastır. Fakat elektrot üreticileri δ -ferrit içeren kaynak metallerinin, δ -ferrit içermeyen kaynak metallerine oranla sıcak çatlaklara karşı daha dayanıklı olduklarını bulmuşlardır. Bu yüzden günümüzde paslanmaz elektrotlar ve kaynak telleri kaynak metalinde daima bir miktar δ -ferrit bulunacak şekilde üretilirler (Kaluç ve Taban, 2007).

5.1.2 Sigma (σ) fazı oluşumu

Ostenitik paslanmaz çeliklerin yapısında bulunan δ -ferritin uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kalması ile malzemenin şekillendirme kabiliyetini azaltan sigma fazı oluşur. Şekil 5.2'de Fe-Cr faz diyagramı içerisinde sigma fazının bulunduğu alan gösterilmektedir.

Sigma fazı, 550°C-925°C sıcaklık aralığında oluşan, sert (800 HV-1000 HV) ve kırılgan metaller arası bir bileşiktir. Sigma fazı, ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde görülmesinin yanı sıra, %9'dan daha az Ni içeren ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde de görülebilir. Bu durum ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini olumsuz etkilemektedir (Doruk, 2005).



Şekil 5.2 : Fe-Cr faz diyagramı (Lippold ve Kotecki, 2005).

Sigma fazı konusunda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

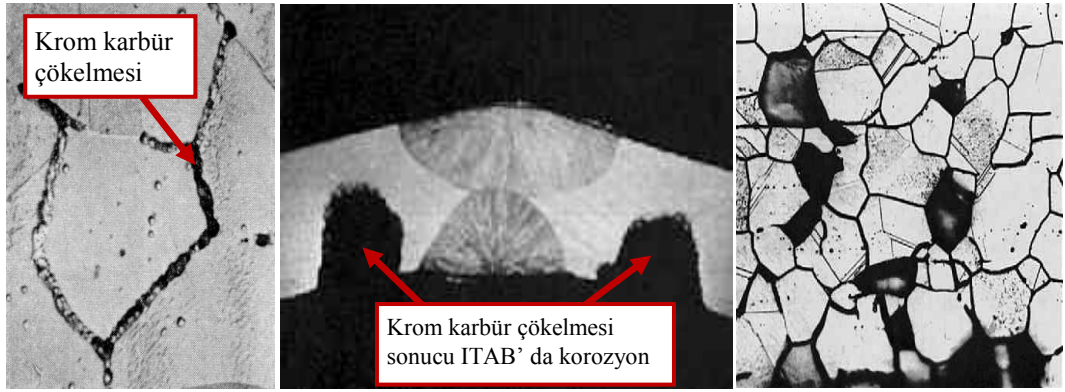
- Sigma fazı 750 °C'de, 650 °C'dekinden daha hızlı oluşmaktadır. 750 °C'de 30 saat gerekli iken bu süre 650 °C'de 1 haftaya çıkmaktadır.
- Sigma fazı oluşumu soğuk şekil değiştirme ile hızlanmaktadır.
- Sigma fazı oluşumuna kuvvetli olarak etki eden elementler; Mo, Cr, Nb ve Si'dir.
- Sigma fazının oluşumunu kuvvetlendiren elementlerin miktarı yüksek ise, belirli şartlar altında, kaynağa ve ısıl işleme bağlı olmadan da sigma fazı oluşabilir.
- Sigma fazı, 950 °C - 1100 °C arasında belirli bir süre ısıtma yapıldıktan sonra, suda hızlı soğutma ile giderilebilir.
- Sigma fazının giderilmesi için yapılan ısıl işlemde sonra yapıdaki ferrit miktarı, ısıl işlem uygulanmamış yapıdakine göre daha azdır.

- g) Malzemeye 1150 °C'de homojenleştirme tavlama uygulanarak ferrit miktarı daha da düşürülebilir. Bu durumda ferrit mikro toplanmalar şeklinde oluşmaktadır.
- h) Isıl işlem uygulanmamış %19 Cr %9 Ni ve %1,5 Mo içeren bir paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinde bulunan %15 ferrit sigma fazına dönüşünce, kaynak dikişinin dayanım özelliklerinde aşağıda belirtilen değişimler meydana gelir;
- Çekme dayanımı yükselir, akma dayanımı düşer.
 - Uzama, büzülme ve çentik darbe dayanımları önemli derecede azalır.
 - 24 saat 750 °C'de tavllanmış olan kaynak bölgesinin 0 °C'deki çentik darbe dayanımı, 650 °C'de bir hafta tavlanan kaynak bölgesinin çentik darbe dayanımı ile hemen hemen aynıdır. Buna karşın, yapısında %12 ferrit bulunan kaynak bölgesinin çentik darbe dayanımının 1/10'u kadardır. Aradaki bu fark, yüksek sıcaklıklarda daha da azalmaktadır.
- i) Sigma fazı bulunan kaynak bölgesinden, 300 °C - 400 °C'nin üzerinde oldukça iyi çentik darbe değerleri elde edilir. Bu yüzden yüksek işletme sıcaklığında kullanılan konstrüksiyonlarda, sigma fazının neden olduğu gevrekleşmeden korkulmamalıdır.
- j) Sigma fazının neden olduğu kırılmalık, kaynak bölgesinin tavlama yapılmadan önce içerdiği ferrit miktarına bağlıdır. Eğer kaynak bölgesi başlangıçta %6,5 ferrit içerirse, sigma dönüşmesi çentik darbe dayanımının azalmasına neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğu için, ferrit ostenitik yapı içerisinde ağ şeklinde değil, izole edilmiş odacıklar halinde meydana gelir. Bu yolla elde edilen sigma fazı, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır (Odabaş, 2004).

5.1.3 Krom karbür çökmesi ve tanelerarası korozyon

Ostenitik paslanmaz çelikler tavlama veya kaynak işlemleri esnasında, yeteri kadar bir süre 500°C-800°C aralığında kalırlarsa, tanelerarası korozyona hassas hale gelirler. Tanelerarası korozyon malzemenin dış görünüşünde değişiklik olmadan devam eder ve farkına varılmadan malzemeyi zayıflatır. Bu yüzden tehlikeli bir korozyon türüdür (Aydoğdu ve Aydınol, 2005).

Paslanmaz çeliklerin kaynaklı imalatında, sıcaklığın 450 °C'nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarı çıkaracak kadar artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı olan yüksek ilgisinden dolayı bu bölgede krom ile reaksiyona girer ve krom karbür oluşturur. Çok az karbon bulunması halinde bile tane sınırlarında kromca zayıflama meydana gelir (Şekil 5.3). Çünkü oluşan krom karbürün ağırlık olarak %90'ını krom oluşturur. Sonuç olarak malzeme korozif bir ortamda bulunduğu zaman kromca zayıflamış tane sınırlarında korozyon meydana gelir (Kaluç ve Taban, 2007).



Şekil 5.3 : Paslanmaz çeliğin tane sınırlarında krom karbür çökmesi (Odabaş, 2004).

Belirli bir karbon içeriğinde, karbür çökmesinin şiddeti sıcaklık ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Çökme başlamadan önce sıcaklık ile değişen bir kuluçka periyodu vardır. Çökmenin en kısa sürede başladığı sıcaklığa kritik sıcaklık denir (Kaluç ve Taban, 2007). Tablo 5.1'den görüldüğü üzere, karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzatmaktadır.

Tablo 5.1: Karbon içeriğine bağlı olarak çökme için gerekli kuluçka periyodunun sıcaklık ile değişimi (Kaluç ve Taban, 2007).

Karbon içeriği [%]	Kuluçka periyodu [min]	Kritik sıcaklık [°C]
0,03	11	650
0,05	7,0	650
0,06	2,5	670
0,08	0,3	750

Ostenitik paslanmaz çeliklerde tanelerarası korozyonun önlenmesi, krom karbür oluşumunun azaltılması ya da engellenmesiyle mümkündür. Bunun için ilk seçenek alaşımın karbon içeriğinin azaltılmasıdır. Bir diğer seçenek, çeliğe molibden ilavesidir. Molibden ilavesi, çeliği tanelerarası korozyona duyarlı hale getirecek

kuluçka periyodunun uzamasını sağlar. Diğer bir seçenek de, oluşmuş olan karbürleri yüksek sıcaklıkta çözdürdükten sonra hızlı bir soğutma yapılarak tekrar oluşmalarını önlemektir. Ayrıca titanyum veya niyobyum gibi kromdan daha iyi karbür yapıcılar ile alaşımlama yapılabilir. Titanyum veya niyobyum karbon ile reaksiyona girerek kendi karbürlerini oluştururlar. Bu sayede krom karbür oluşumu için gerekli olan serbest karbon miktarını düşürürler (Aydoğdu ve Aydınol, 2005).

5.1.4 Sıcak çatlama hassasiyeti

Sıcak çatlak oluşumunun temel nedeni; kükürt ve fosfor gibi elementlerin oluşturduğu, düşük ergime sıcaklığına sahip ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan metalik bileşimlerdir. Eğer kaynak dikişinde veya ısı tesiri altındaki bölgede bu bileşimler bulunuyorsa tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar (Odabaş, 2004).

Ostenitik paslanmaz çeliklerde, katılma sıcaklığından 980 °C'ye soğuma esnasında sıcak çatlama bir eğilim vardır. Sıcak çatlak oluşumunu önlemek için bu sıcaklıklarda kaynak metali üzerindeki çekme iç gerilmelerini azaltmak gerekir. Bunun dışında fosfor, kükürt gibi kalıntı elementlerin miktarları kontrol edilerek sıcak çatlama tehlikesi azaltılabilir. Ancak en etkili önlem, kaynak metalinde en az %3 ile %4 ferrit bulunmasını sağlamaktır (Çalığülü, 2009).

Alaşım ve ilave elementlerden; Ni, Ta, Si, Ti ve Ni çatlama eğilimini artırırken Cr, W, Mn, Mo ve N ise çatlama eğilimini azaltmaktadır (Doruk, 2005).

5.2 Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımları martenzitik kromlu ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımlarından daha yüksektir. Bu yüzden ostenitik paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılırlar. Bu çeliklerin yaygın olarak kullanılmaları, çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilmelerini önemli hale getirmektedir (Kaluç ve Taban, 2007).

Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak işlemi kaynak yapılacak ana metalden beklenen özelliklere, örneğin; korozyon ve ısı dayanımına göre değişiklik gösterebilir. Kullanılacak ilave kaynak malzemesi ana metalle aynı kompozisyonda veya bazı uygulamalar için daha yüksek alaşımlı olmalıdır. Ostenitik paslanmaz

Çelikler bazı sınırlamalar hariç alaişimsız ve duişuk alaişimli çeliklerde kullanılan ergitme ve basınçlı kaynak yontemleri ile kaynak yapılabilir (Url-3).

Paslanmaz elik yapı elemanlarının birbiri ile veya farklı çelikler ile birleştirmelerinde kullanılan kaynak yontemleri ergitme kaynak yontemleri ve basınçlı kaynak yontemleri olarak ikiye ayrılır.

1. Ergitme Kaynak Yontemleri

- a) Gaz ergitme kaynağı
- b) Örtülü elektrot ile ark kaynağı
- c) TIG kaynak yontemi
- d) MIG kaynak yontemi
- e) Plazma kaynak yontemi
- f) Tozaltı kaynak yontemi
- g) Elektron ışın kaynağı
- h) Lazer kaynağı

2. Basınçlı Kaynak Yontemleri

- a) Elektrik direnç kaynak yontemleri
- b) Sürtünme kaynağı
- c) Difüzyon kaynağı

Bu çalışmada endüstride ostenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde sık kullanılan ergitme kaynak yontemlerinden bahsedilmiştir.

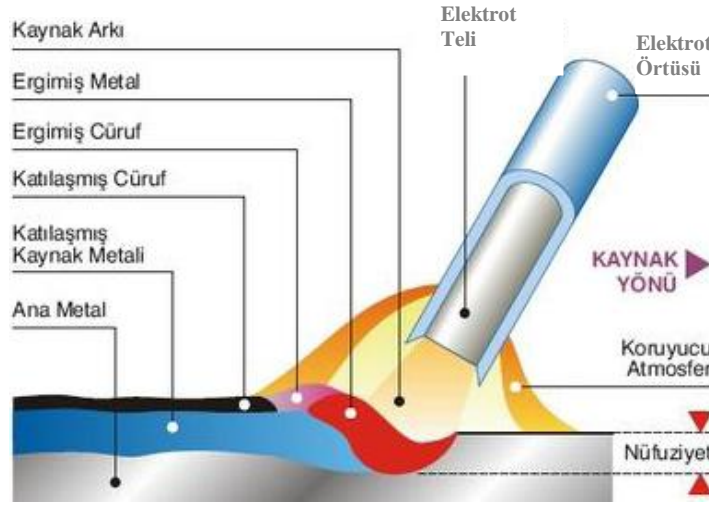
5.2.1 Gaz ergitme kaynağı

Gaz ergitme kaynağı, ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı için tavsiye edilen bir yontem değıldir. Gaz ergitme kaynağı, ince paslanmaz elik sacların birleştirilmesinde nadiren kullanılır (Doruk, 2005).

5.2.2 Örtülü elektrot ile ark kaynağı

Örtülü elektrot ile ark kaynağında, elektrik akımının iş parçası ile ergiyen elektrot arasından geçmesi sonucu ark oluşur. Bu ark sayesinde ergiyen elektrot kaynak metaline geçer. Ayrıca elektrot örtüsü de ergir ve ergime esnasında açığa çıkan gaz

ark bölgesini atmosferin zararlı etkilerinden korur. Oluşan cüruf da kaynak dikişini örterek kaynak metalinin korunmasını sağlar. Elektrotun örtü maddesine katılan alaşım elementleri ile kaynak dikişini alaşımlandırarak, istenilen özelliklerdeki kaynaklı bağlantının elde edilmesi mümkündür (Anık ve diğ., 1991). Örtülü elektrot ile elektrik ark kaynağı prensip şeması Şekil 5.4’de gösterilmektedir.



Şekil 5.4 : Örtülü elektrot ile ark kaynağı prensip şeması (Url-3).

Örtülü elektrot kullanılarak el ile yapılan ark kaynağında kaliteli bir birleştirme elde edilebilmesi, kaynak maliyetinin düşürülmesi ve kaynaklı konstrüksiyonun imalat süresinin kısaltılması kaynakçının bilgi ve deneyimlerine oldukça bağlıdır.

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerin örtülü elektrot ile ark kaynağında kullanılmak üzere rutil ve bazik örtülü elektrotlar geliştirilmiştir. Kaynak davranışı ve dikişin görünüşü elektrotu kaplayan örtü tarafından belirlenmektedir (Anık ve diğ., 1991).

Rutil örtülü paslanmaz elektrotlarda ince damlalı bir malzeme akışı vardır ve ince tırtıllı, düzgün dikişler elde edilebilmektedir. Doğru akım (elektrot +) veya alternatif akımla kaynak yapılabilirler. Bu tip elektrotlar ile yapılan kaynak sonrasında oluşan cürufu uzaklaştırmak kolaydır ve kısmen kendi ayrılır. Bu özelliklerinden dolayı paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında tercih edilirler (Aran ve Temel, 2004).

Bazik örtülü paslanmaz elektrotlar sadece doğru akımla (elektrot +) kaynak yapılabilirler. Kaynak işlemi sırasında damla geçişi daha iridir, bu nedenle kaynak edilmesi zor pozisyonlar için uygundur. Aralık kapama özelliği iyi olduğundan kök

dikişleri için tercih edilirler. Rutil örtülü elektrotlara göre kaynak dikişinin görünümü daha kabadır ve cüruf daha zor uzaklaştırılır (Aran ve Temel, 2004).

Her iki elektrot tipinde de mümkün olan en kısa ark ile kaynak yapılması gerekmektedir. Yüksek alaşımli elektrotun elektrik direncinin yüksek olması daha düşük akım şiddeti ile çalışmayı gerektirir. Elektrot örtüsünün nemli olması kaynak davranışını ve cüruf geçişini kötüleştirerek gözenekliliğe veya soğuk yırtılmalara neden olabilir. Bazik elektrotlar gözenek oluşumu bakımından daha az duyarlıdır (Aran ve Temel, 2004).

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çelikler sıcak çatlamaya karşı duyarlıdır. Bu yüzden ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında alınması gereken önlemler ve dikkat edilmesi gereken konular vardır. Bunlar şöyle sıralanabilir;

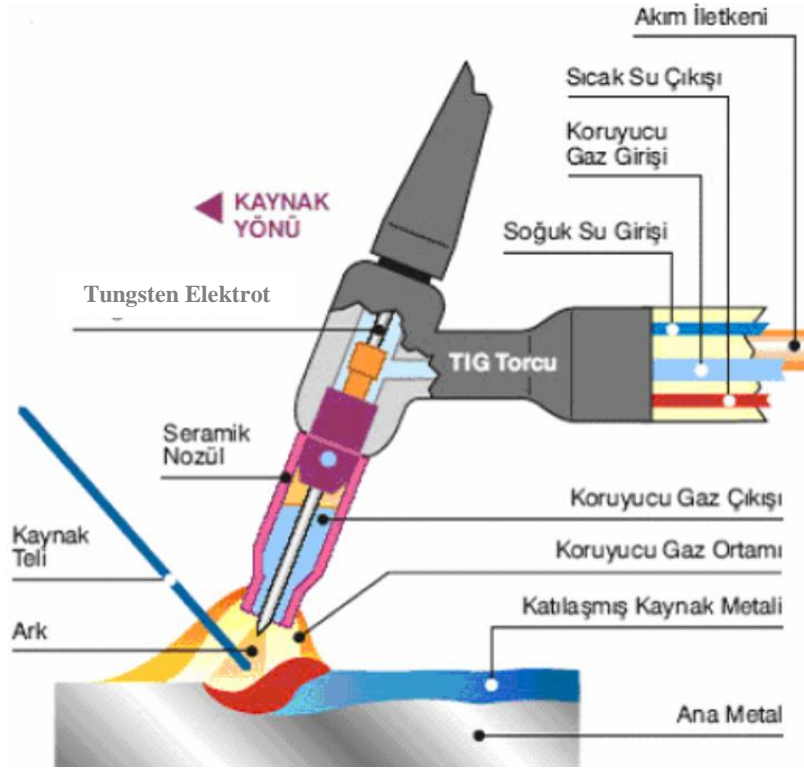
1. En küçük elektrot çapı seçilmelidir.
2. En düşük akım şiddeti ile çalışılmalıdır.
3. Elektrota zig zag hareketi verilmeli ve pasolar ince çekilmelidir.
4. Çok pasolu kaynaklarda her paso çekildikten sonra parça oda sıcaklığına kadar soğutulmalı ve ikinci paso sonra çekilmelidir. Soğuma olanaklar içerisinde hızlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir.
5. Kaynağın bitimindeki krater mutlaka doldurulmalı, kaynak sırasında çatlak saptanırsa taşlanarak yok edilmeli ve sonra tekrar kaynatılmalıdır (Kanbolu, 1996).

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılacak dolgu metalinin mekanik ve korozyon özellikleri ana metalin mekanik ve korozyon özellikleri ile aynı ya da daha üstün olması gerekmektedir. Bu yüzden örtülü elektrot üreticilerinin tavsiyeleri doğrultusunda kaynak yapılacak malzemeye uygun örtülü elektrot seçimi yapılmalıdır.

5.2.3 TIG kaynak yöntemi

Tungsten Inert Gas kelimelerinin ilk harflerinden oluşan TIG kelimesiyle anılan kaynak yönteminde, ergimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında oluşan elektrik arkı sayesinde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi elde edilmektedir. Bu yöntemde kaynak bölgesinin havanın olumsuz etkilerinden korunması, elektrot ile

merkezlenmiş konumda bulunan nozuldan gönderilen bir koruyucu gaz ile sağlanmaktadır (Kaluç, 2004). TIG kaynak yöntemi prensip şeması Şekil 5.5’de gösterilmektedir.



Şekil 5.5 : TIG kaynağı prensip şeması (Url-3).

TIG kaynak yöntemi ile hem ilave kaynak metali kullanılmadan hem de ilave kaynak metali kullanılarak birleştirmeler yapılabilir. Eğer ilave kaynak metali kullanmaya ihtiyaç duyulursa, kullanılacak ilave kaynak metali birleştirilecek metallerin kimyasal bileşimlerine, ısı iletkenliklerine ve ısıl genleşmelerine uygun olarak seçilmelidir (Karasakal, 2005).

Ostenitik paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayıları yüksektir. Bu yüzden kaynak işlemlerinden önce çarpılma ihtimalinin göz önünde bulundurulması gerekir. Kaynak ağzı tasarımı önemli bir konudur. Bağlantıyı oluşturacak kaynak metalinin hacmi gerekli mekanik özellikleri sağlayan boyutta olmalıdır. Eğer çift taraflı kaynak yapılma ihtimali varsa çift taraflı “V” şeklinde hazırlanan kaynak ağzı kullanılabilir. Bu şekilde kaynak metali hacmi azaltılabilir ve kaynak esnasında oluşan çekme gerilmelerinin dengelenmesi sağlanır. Düzgün bir şekilde alın altına getirilen kaynak ağzları, yüksek kaliteye sahip kaynak dikişlerinin elde edilebilmesi ve çarpılmaların azaltılması açısından çok önemlidir (Türkyılmazoğlu, 2006).

TIG yönteminde kaynak süresince kaynakçı kaynak banyosunu çok iyi bir şekilde görebilmekte ve bu sayede kaynak banyosu rahat bir şekilde kontrol altında tutulabilmektedir. Banyo üzerinde cüruf olmayışı, kaynak dikişinde cüruf kalma tehlikesini önlemektedir. TIG kaynağının en önemli üstünlüğü ısı girdisinin ve ergiyen ek kaynak metali miktarının birbirlerinden bağımsız olmasıdır (Tehçi, 2011).

TIG kaynak yöntemi prensip olarak her pozisyonda ve her kalınlıktaki parçalara uygulanabilmektedir. Fakat kalın parçalar için uzun süreli işlemler gerektiğinden ekonomik olmamaktadır. Bu yüzden 7 mm'den daha kalın parçaların birleştirilmesinde TIG kaynağı önerilmez. Diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi mümkün olmayan 0,1 mm kalınlığındaki çok ince saclar, bu yöntemle kaliteli bir şekilde birleştirilebilir (Ural ve Kaluç, 1996).

TIG kaynak yönteminde başlangıçta helyum, daha sonra argon gazı kullanılmıştır. Her iki gaz da, tek atomlu ve soydur. Bu yüzden diğer elementlerle birleşmezler. Helyum gazı havadan hafiftir bu yüzden uçar ve ergimiş metali koruma kabiliyeti azdır. Argon ise ağırdır bu yüzden ergimiş metali daha iyi korur. Yüksek akım şiddetinin kullanılması gereken durumlarda daha yüksek ark gerilimi vermesinden dolayı helyum gazı kullanılır (Anık, 1991).

5.2.4 MIG kaynak yöntemi

MIG kaynak yönteminde, soy gaz atmosferi altında sürekli olarak ergiyen kaynak teli ile ergiyen ana malzeme kaynak dikişini oluşturmaktadır. Bu kaynak yönteminin kaynak robotlarına adaptasyonu kolaydır.

MIG kaynağında, birleştirmeler her pozisyonda yapılabilir. Bu yöntemde metal yığılma hızı diğer kaynak yöntemlerine oranla oldukça yüksektir ve istenildiğinde derin nüfuziyet elde edilebilir. Ayrıca, cüruf kalıntılarının olmaması sebebiyle kaynak dikişinin temizlenmesine gerek yoktur, bu sayede üretimde zaman kaybı olmaz (Baran, 2007).

Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, koruyucu gaz olarak argon+helyum+karbondioksit içeren gazlar kullanılmaktadır. Argon+oksijen karışımı, kaynak banyosunda biraz oksidasyona neden olmaktadır. Fakat, saf argondan daha iyi ıslatma kabiliyeti ve ark dengesi sağladığı bilinmektedir (Yılmaz ve Uzun, 2002).

MIG kaynağında oksijenin karbondioksit oranla daha etkin olduğu ve argon + %1-2 oksijen kullanıldığında sprey ark geçişi sağlandığı görülmüştür (Yılmaz ve Uzun, 2002).

5.2.5 Plazma kaynak yöntemi

Plazma kaynak yöntemi TIG kaynağına benzerdir. Yalnız bu yöntemde arkın yoğunlaşmasıyla TIG kaynağına göre daha yüksek bir enerji yoğunluğu elde edilir. Paslanmaz çelikler için genellikle argon gazı kullanılır. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında az miktarda hidrojen katılabilir (Aran ve Temel, 2004).

Ostenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan plazma ark kaynağı hem yarı otomatik hem de otomatik olarak uygulanmaktadır. Plazma ark kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak uzun ve kaliteli dikişler elde edilmektedir. Ayrıca ince saclarda ilave kaynak metali kullanılmadan ve kaynak ağzı açılmadan alın birleştirmeleri yapılabilmektedir. Paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında, anahtar deliği tekniği ile birleştirilmesi, 10 mm'nin altındaki saclar için uygun olmaktadır. Eğer tüm kaynak parametreleri çok iyi kontrol edilirse bu yöntem ile 10 mm kalınlığındaki paslanmaz çelikler kolaylıkla birleştirilebilir (Abuç, 2006).

Plazma kaynağının; yüksek kaynak hızları, dar dikiş kalınlığı, dar ısı tesiri altındaki bölge, düşük ısı girdisi ve düşük çarpılma gibi avantajları vardır. Dezavantajları ise; TIG kaynağına oranla donanımının daha pahalı olması, hassas kaynak ağzı hazırlama gereği, tutma tertibatı ve kalifiye işçilik gereğidir (Çalgülü, 2009).

5.2.6 Tozaltı kaynak yöntemi

Tozaltı kaynak yöntemi; yüksek ergitme gücüne ve kaynak hızına sahip olması sebebiyle, günümüz endüstrisinde geniş uygulama alanı bulmuş olan bir yöntemdir. Bu kaynak yönteminde, bir bobinden gönderilen kaynak teli, bir motorun tahrik ettiği makaralar arasından ve bir memeden geçerek kaynak bölgesine iletilir. Kaynak akımını memeden alan tel ile iş parçası arasında ark oluşur. Bu ark ayrı bir kanaldan gelen bir toz tarafından atmosferin olumsuz etkilerinden korunur. Kaynak teli ve iş parçası arasında oluşan ark sayesinde tel ve esas metalin bir kısmı ergir ve birleşme sağlanır. Bu kaynak yöntemi daha çok kalın kesitli parçaların kaynağında tercih edilmektedir (Bos, 2007).

Tozaltı kaynak yöntemi, ısı girdisinin ve dolgu oranının oldukça yüksek olmasından dolayı, ostenitik paslanmaz çelikten kalın sacların birleştirilmesinde rahatlıkla kullanılmaktadır. Fakat oluşan banyonun büyüklüğü nedeniyle kaynak metalinin katılaşması oldukça yavaş olmaktadır. Bu yüzden alaşım elementlerinin segregasyonu ve mikro yapıda tane büyümesi gibi problemler ile karşılaşılır (Doruk, 2005).

Bu kaynak yönteminin en büyük dezavantajı, donanımının pahalı ve kaynak bölgesine ısı girdisinin yüksek olmasıdır. Ayrıca yalnız oluk ve yatay pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi gibi sınırlamalar da söz konusudur. Ancak uygun kaynak parametreleri kullanılarak oluşturulan kaynak dikişleri yüksek dayanımlı, değişmeyen kalitede ve çok iyi dış görünüme sahip olmaktadır (Abuç, 2006).

5.2.7 Lazer kaynağı

Bilinen yöntemlere göre, lazer kaynağı yeni ve otomasyona elverişli bir ergitme kaynak yöntemidir. Bu yöntemde odaklanmış ışın etkisiyle metal yerel olarak ertilmekte ve bir anahtar deliği oluşumu ile derin kaynama etkisi elde edilmektedir. Lazer kaynağında elde edilen kaynak dikişleri çok dar olmakla beraber, yüksek güçlü lazerlerin kullanımı ile 15 mm'ye kadar levha kalınlıkları kaynakla birleştirilmektedir. Lazer kaynağında ısı girdisi yerel olduğundan ve ısı hızlı bir şekilde uzaklaştığından aşağıdaki özellikler elde edilir.

- Derinlik/genişlik oranı çok büyük, dar kaynak dikişleri
- Dar, ısı tesiri altındaki bölge
- Düşük ısıl çarpılma
- İyi şekillendirilebilirlik (Aran ve Temel, 2004).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, tuz püskürtme ortamına maruz bırakılan ve bırakılmayan kaynaklı ve kaynaklı olmayan paslanmaz çeliklerin çekme davranışları incelenmiştir.

İlk etapta ticari olarak temin edilen paslanmaz çelik malzemeler TIG ve örtülü elektrot ark kaynak yöntemleri ile birleştirilmiştir. Daha sonra kaynaklı ve kaynaklı olmayan malzemelerden standartlara uygun olarak çekme, mikro yapı ve sertlik deney numuneleri lazer kesim ile çıkarılmıştır. Kaynak bölgesinin yapısını karakterize etmek için tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış kaynaklı numunelerin mikro-makro yapıları ve mikrosertlik değerleri incelenmiştir.

Tuz püskürtme deneyi, EN ISO 9227 standardına uygun olarak doğrudan çekme deney numunelerine uygulanmıştır. Tuz püskürtme deneyinden sonra her bir çekme deney numunesi için kütle kaybı hesabı yapıldıktan sonra çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çekme deneylerinden sonra kırık yüzeyler SEM ile incelenmiştir.

6.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, uygulamada sık olarak kullanılan 4 mm kalınlığındaki AISI 304L ve AISI 316L paslanmaz çelik yassı malzemeler kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan paslanmaz çeliklerin çeşitli standartlardaki gösterimleri Tablo 6.1’de, kimyasal bileşimleri ise Tablo 6.2’de gösterilmiştir.

Tablo 6.1: Deneylerde kullanılan paslanmaz çeliklerin AISI ve EN Standartlarında gösterimleri.

AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Gösterimi
304L	1.4307	X2CrNi18-9
316L	1.4404	X2CrNiMo17-12-2

Tablo 6.2: Deneyleerde kullanılan paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (% ağırlık).

Malzeme [AISI]	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Mo
304L	0,024	0,40	1,77	0,032	0,002	18,20	8,10	0,050	-
316L	0,025	0,39	0,88	0,033	0,001	17,05	10,05	0,059	2,03

Deneyleerde kullanılan; TIG kaynağı ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşimleri Tablo 6.3’de, örtülü elektrotların kimyasal bileşimleri ise Tablo 6.4’de gösterilmiştir.

Tablo 6.3: TIG kaynağında kullanılan ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşimleri (% ağırlık).

TIG İlave Kaynak Metali		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P+S
AWS A5.9	EN ISO 14343							
ER308L	W 19 9 L	<0,03	0,45	1,70	20	10	0,15	<0,035
ER316L	W 19 12 3 L	<0,03	0,45	1,70	18	12	2,50	<0,060

Tablo 6.4: Örtülü elektrotların kimyasal bileşimleri (% ağırlık).

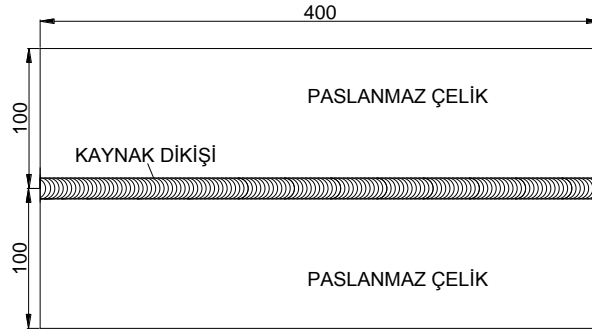
Örtülü Elektrot		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
AWS A5.4	EN ISO 3581						
ER308L-16	E 19 9 LR 12	0,03	0,80	0,70	19	10	-
ER316L-16	E 19 12 3 LR 12	0,03	0,70	0,80	17	11	2,9

6.2 Kaynak İşlemlerinin Yapılması

Bu çalışmada, endüstride paslanmaz çeliklerin kaynağında çok sık kullanılan TIG ve örtülü elektrot ark kaynak yöntemleri ile birleştirmeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca TIG kaynak yöntemi ile hem ilave kaynak metali kullanılarak hem de kullanılmadan birleştirmeler yapılarak, TIG kaynağında ilave kaynak metali kullanımının çekme ve korozyon davranışına etkisi incelenmiştir.

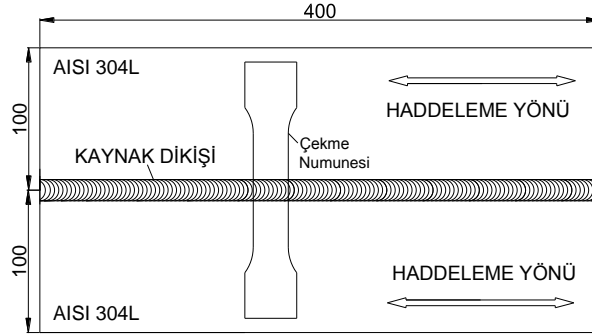
6.2.1 Malzemelerin birleştirilme şekli

4x100x400 mm ölçülerindeki paslanmaz çelik malzemeler Şekil 6.1’de gösterildiği gibi alın altına getirilerek birleştirilmiştir.



Şekil 6.1 : Malzemelerin birleştirilme şekli.

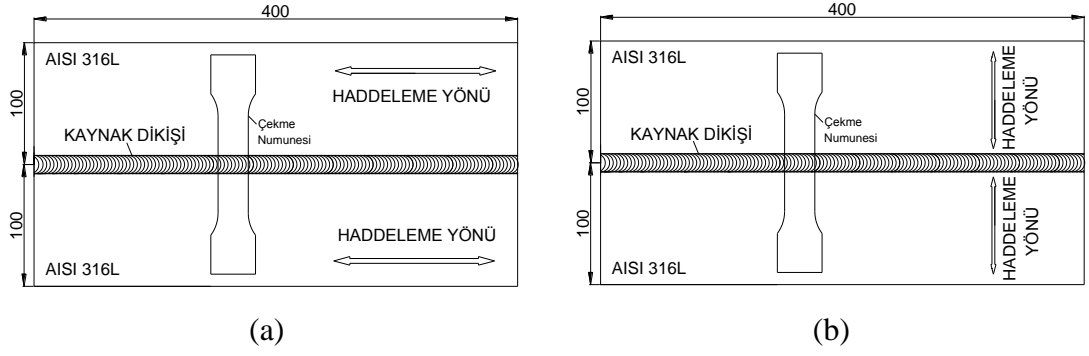
AISI 304L paslanmaz çelik malzemelerin tümünde birleştirmeler haddeleme yönüne paralel doğrultuda yapılmıştır. Bu malzemelerden çıkarılan numunelerin çekme deneyleri haddeleme yönüne dik doğrultuda yapılacağı için bu numuneler haddeleme yönüne dik numuneler olarak tanımlanmıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 : AISI 304L malzemelerin birleştirilmesi.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerin TIG kaynağı ile birleştirilmesi hem haddeleme yönüne paralel doğrultuda hem de haddeleme yönüne dik doğrultuda yapılmıştır. Haddeleme yönüne paralel doğrultuda birleştirilen malzemelerden çıkarılan deney numuneleri haddeleme yönüne dik olarak (Şekil 6.3a), haddeleme yönüne dik doğrultuda birleştirilen malzemelerden çıkarılan deney numuneleri ise haddeleme yönüne paralel olarak (Şekil 6.3b) tanımlanmıştır.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerin örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmesi sadece haddeleme yönüne paralel doğrultuda yapılmıştır. Bu malzemelerden çıkarılan numuneler haddeleme yönüne dik olarak tanımlanmıştır.



Şekil 6.3 : AISI 316L malzemelerin birleştirilmesi a) Çekme deney numuneleri haddeleme yönüne dik olacak şekilde birleştirme b) Çekme deney numuneleri haddeleme yönüne paralel olacak şekilde birleştirme.

6.2.2 Kaynak parametreleri

TIG kaynak yöntemi ile; ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilen hem AISI 304L, hem de AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerde ilerleme hızı dışında aynı kaynak parametreleri kullanılmıştır. Kaynaklar, aralıksız küt alın pozisyonunda çift taraflı yapılmıştır. Nüfuziyeti sağlayabilmek için nispeten düşük ilerleme hızlarında kaynak yapılmıştır.

TIG kaynak yöntemi ile; ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilen hem AISI 304L, hem de AISI 316L paslanmaz çelik malzemelerde ilerleme hızı dışında aynı kaynak parametreleri kullanılmıştır. Kaynaklar, çift taraflı “V” kaynak ağzı açılarak yapılmıştır. İlave kaynak metali seçimleri üretici firma Starweld’ in tavsiyeleri (Url-3) doğrultusunda yapılmıştır.

TIG kaynağı ile yapılan birleştirmelerde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 6.5’de gösterilmektedir.

Tablo 6.5: TIG kaynak yönteminde kullanılan parametreler.

Malzeme (AISI)	İlave kaynak metali cinsi	İlave kaynak metali çapı [mm]	Akım değeri [A]	Kaynak hızı [mm/s]	Akım tipi	Koruyucu gaz	Gaz debisi [l/min]
304L	Kullanılmadı	-	110	1,7	DC (-)	Ar	10
304L	ER 308L	2,4	180	4,0			
316L	Kullanılmadı	-	110	1,6			
316L	ER 316L	2,4	180	4,9			

Bu çalışmada TIG kaynağı ile yapılan bütün birleştirmelerde;

1. 2,4 mm çapında %2 toryum alaşımlı tungsten elektrot kullanılmıştır.
2. Kullanılan nozul 9,5 mm çapındadır.
3. İlk ve son gaz verme süresi 3 s'dir.

Örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirmeler, çift taraflı "V" kaynak ağızı açılarak yapılmıştır. Üretici firma olan Askaynak'ın tavsiyeleri (Url-3) doğrultusunda örtülü elektrot seçimi yapılmıştır. Örtülü elektrot ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerde kullanılan kaynak parametreleri Tablo 6.6'da gösterilmektedir.

Tablo 6.6: Örtülü elektrot ile yapılan birleştirmelerde kaynak parametreleri.

Malzeme (AISI)	Elektrot türü	Elektrot çapı [mm]	Akım değeri [A]	Akım tipi
304L	ER 308L-16	3,25	110	AC
316L	ER 316L-16	3,25	110	

6.3 Deneyleerde Kullanılan Numuneler

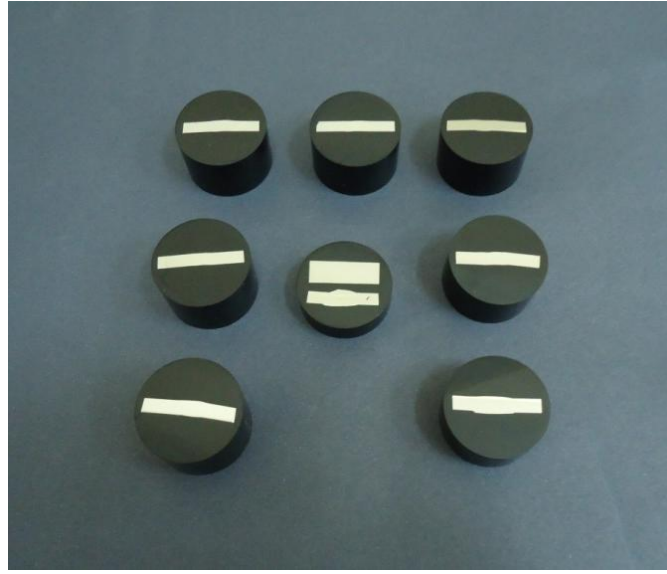
Kaynak işlemlerinden sonra kaynaklı ve kaynaklız malzemelerden standartlara uygun olarak çekme, mikro içyapı ve sertlik deney numuneleri lazer kesim ile çıkarılmıştır. Deneyleerde kullanılan numuneler Tablo 6.7'de gösterilmektedir.

Tablo 6.7: Deneyleerde kullanılan numuneler.

Malzeme (AISI)	Haddeleme Yönü	Numune
304L	Dik	Kaynaklız
		TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metallsiz)
		TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)
		Örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş
316L	Dik	Kaynaklız
		TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metallsiz)
		TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)
		Örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş
	Paralel	Kaynaklız
		TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metallsiz)
		TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)
		TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)

6.4 Makro ve Mikro İçyapı İncelemeleri

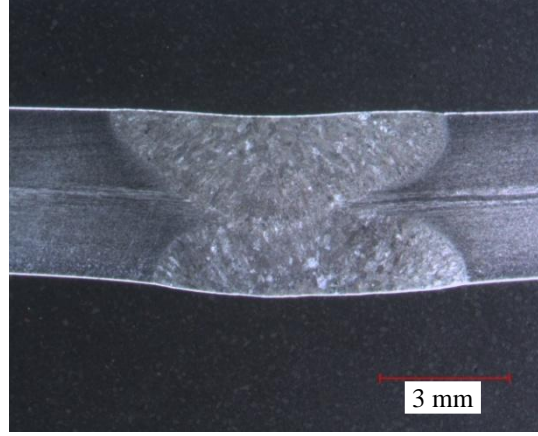
Kaynak bölgesinden enine kesitte alınan numuneler makro ve mikro içyapı incelemeleri için sırasıyla bakalite alma, kaba-ince zımparalama, parlatma ve dağlama işlemlerine tabi tutulmuşlardır. Bakalite alınan numuneler sırasıyla 240-400-800-1200 numaralı SiC su zımparası ile zımparalanmıştır. Parlatma kademesinde ise 3 μ 'luk elmas tozlu süspansiyon ile ayna parlaklığı elde edilene kadar parlatma işlemi yapılmıştır (şekil 6.4). Bu işlemler tamamlandıktan sonra Viella özeltisinin (45ml gliserin, 15ml HNO₃, 30ml HCl) numunelerin üzerine damlatılması ile dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir.



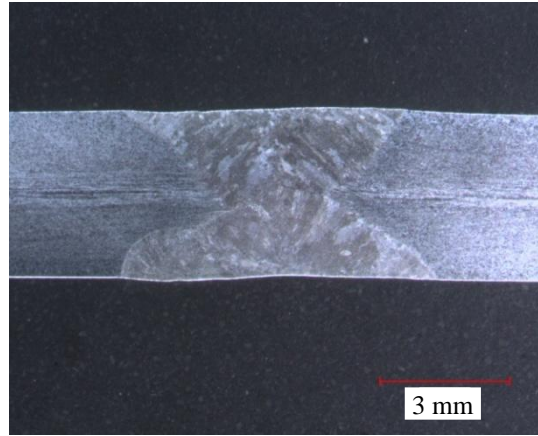
şekil 6.4 : Parlatılmış numuneler.

Dağlama işleminde sonra, her bir numuneden; stereo mikroskobu kullanarak 7,5 katlık büyütme ile makro içyapı fotoğrafları, metal mikroskobu kullanarak 200 katlık büyütme ile mikro içyapı fotoğrafları alınmıştır.

AISI 304L malzemenin, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı şekil 6.5'de, ilave kaynak metali kullanarak birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı ise şekil 6.6'da gösterilmektedir. AISI 304L malzemenin, TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen her iki numune içinde, tam nüfuziyetin sağlandığı ve makro düzeyde herhangi bir çatlak veya kalıntının bulunmadığı grlmektedir.

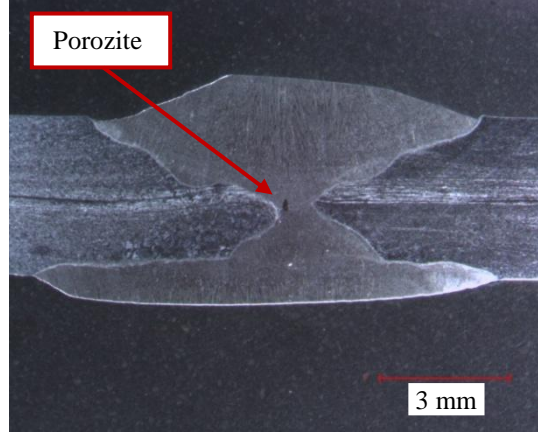


Şekil 6.5 : AISI 304L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı.



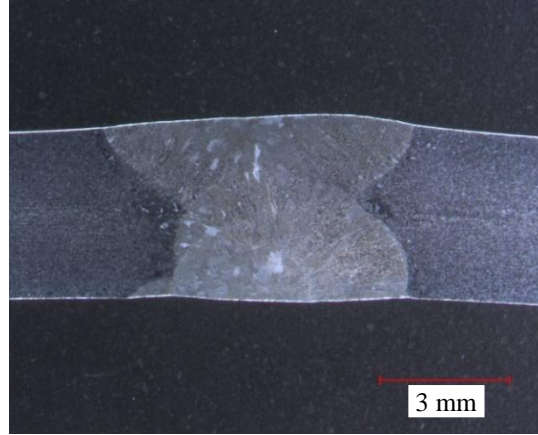
Şekil 6.6 : AISI 304L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı.

AISI 304L malzemedan, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunede, AISI 304L malzemedan, TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelere oranla daha geniş bir kaynak dikişi görülmektedir (Şekil 6.7). Kaynak dikiş genişliği kullanılan elektrot çapının büyüklüğünden kaynaklanmıştır. 3,25 mm'den daha küçük çaplı bir elektrot kullanılarak daha dar kaynak dikişleri elde edilebilir. Ayrıca bu birleştirmede, kaynak ağızlarının yeterli düzeyde temiz olmamasından dolayı kaynak dikişinde poroziteye rastlanılmıştır.

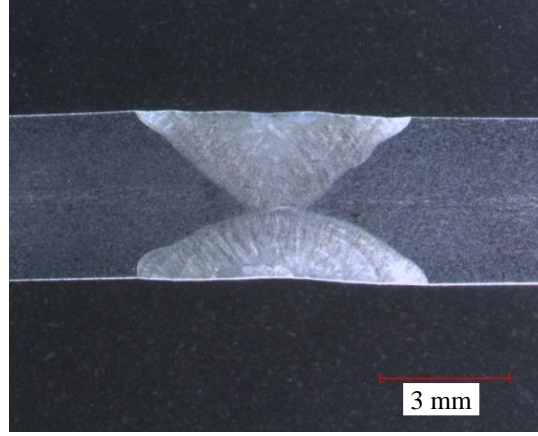


Şekil 6.7 : AISI 304L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunenin makro içyapı fotoğrafı.

AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı Şekil 6.8’de, ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı ise Şekil 6.9’da gösterilmektedir. Fotoğraflardan her iki birleştirme içinde tam nüfuziyetin sağlandığı ve makro düzeyde herhangi bir kaynak hatasının bulunmadığı görülmektedir.

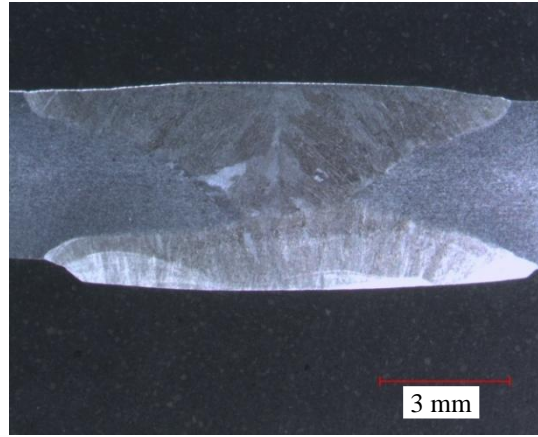


Şekil 6.8 : AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı.



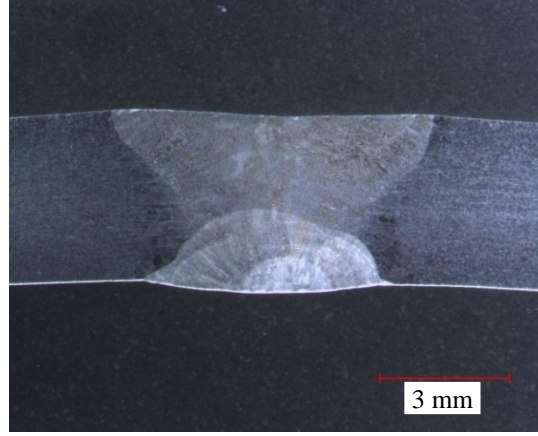
Şekil 6.9 : AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı.

AISI 316L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunede nüfuziyet sağlanmıştır. Kaynak dikişinde herhangi bir porozite veya çatlak bulunmamaktadır (Şekil 6.10). Yalnız, TIG kaynağı ile yapılan birleştirmelere göre daha geniş bir kaynak dikişi oluşmuştur.



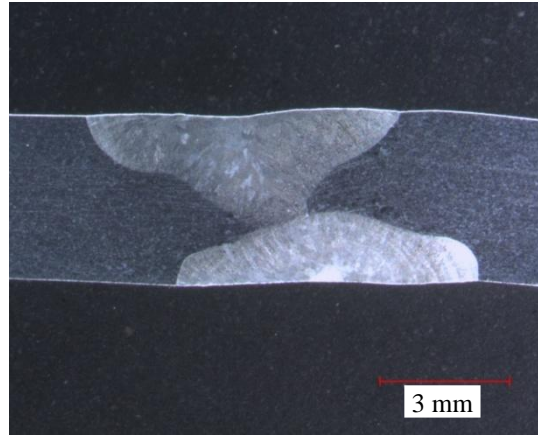
Şekil 6.10 : AISI 316L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin makro içyapı fotoğrafı.

AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin makro içyapı fotoğrafı Şekil 6.11'de görülmektedir. Bu birleştirmede de daha önce bahsedilen TIG kaynaklı birleştirmelere benzer şekilde makro düzeyde herhangi bir kaynak hatası bulunmamaktadır.



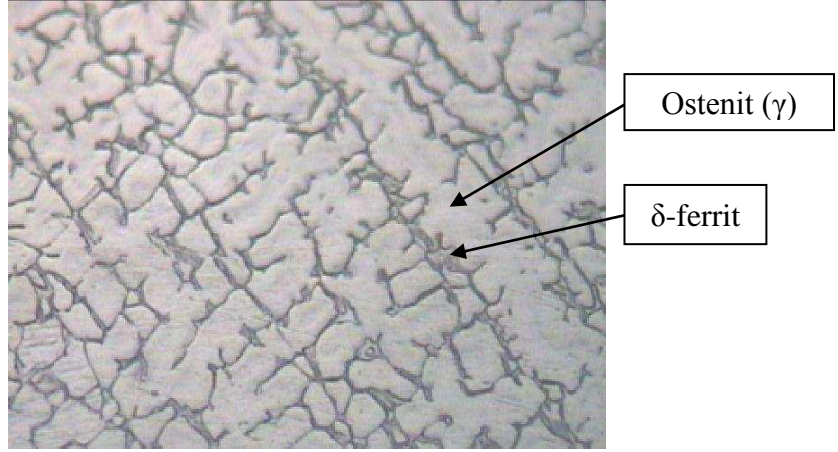
Şekil 6.11 : AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin makro içyapı fotoğrafı.

AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin makro içyapı fotoğrafı Şekil 6.12’de gösterilmektedir. Bu numunede kaynak ağızlarının düzgün açılmamasından dolayı kaliteli birleşme elde edilememiştir. Bu durumun malzemenin çekme dayanımına olumsuz etki etmesi beklenmektedir.



Şekil 6.12 : AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin makro içyapı fotoğrafı.

Ostenitik paslanmaz çelik kaynak metallere mikroyapıları esas metalin mikroyapısından farklılık göstermektedir. Esas metalde baskın olarak ostenitik bir yapı bulurken kaynak metalinde ise ostenit matris yapısı içerisinde dendritik bir yapı şeklinde δ -ferrit fazı yer almaktadır. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde oluşan δ -ferrit Şekil 6.13’de gösterilmektedir.



Şekil 6.13 : Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalinde oluşan δ -ferrit (Bos, 2007).

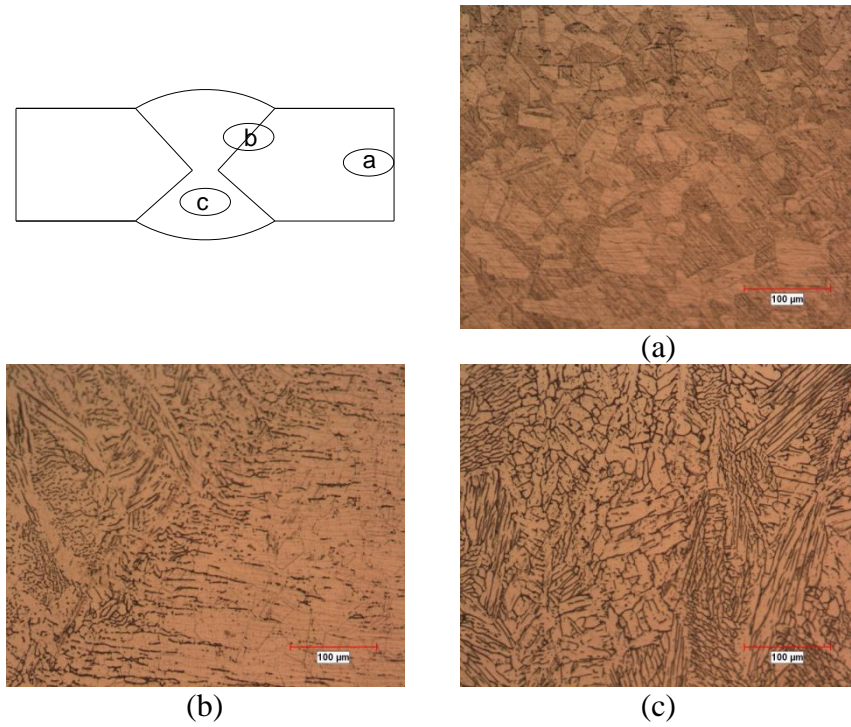
Kaynak metalinde oluşan mikro içyapı ve δ -ferrit miktarını saptamak üzere yaygın olarak Schaeffler diyagramı kullanılır. Schaeffler diyagramına göre, kaynak metallerinde oluşan mikro içyapılar ve δ -ferrit miktarları Tablo 6.8'de gösterilmektedir.

Tablo 6.8: Schaeffler diyagramına göre kaynak metallerinde oluşan mikro içyapılar ve δ -ferrit miktarları.

Malzeme (AISI)	Kaynak yöntemi	Oluşan mikro içyapı ve δ -ferrit miktarı
304L	TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalsiz)	Ostenit-Martenzit-Ferrit-% 10
	TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)	Ostenit-Ferrit-% 10
	Örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş	Ostenit-Ferrit-% 10
316L	TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalsiz)	Ostenit-Ferrit-% 8
	TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)	Ostenit-Ferrit-% 7-% 8
	Örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş	Ostenit-Ferrit-% 8

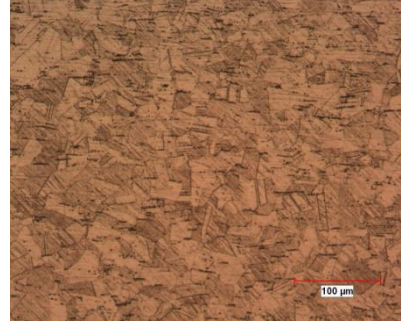
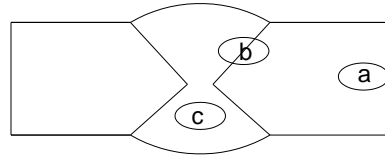
δ -ferrit miktarı önemli şekilde ostenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine etki etmektedir. Kaynak metalinde δ -ferrit miktarının en uygun değeri %5 ile %10 arasındadır. Bu değer aralığında sünekliği, tokluğu ve korozyon direnci ile kaynak metalinin soğuması sırasında oluşabilecek sıcak çatlama direncini artırmaktadır (Yılmaz ve Barlas, 2005). Deneylede kullanılan numunelerin, Schaeffler diyagramından elde edilen δ -ferrit miktarları %7 ile %10 arasında değişmektedir. Bu nedenle kaynak metallerinde oluşan δ -ferrit fazlarının, numunelerin mekanik ve korozyon özelliklerine olumsuz bir etkisinin olmayacağı söylenebilir.

AISI 304L malzemeden kaynaklı numunelerin; esas metal, geçiş bölgesi ve kaynak metalinden alınan mikro içyapı fotoğrafları Şekil 6.14 ile Şekil 6.16 arasında gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde bu numunelerin esas metalllerinde ostenitik bir mikro içyapı görölmektedir. Geçiş bölgedeki yapılar, her numune için benzer şekilde olup, ısının etkisi ile yönlendirilmiş ince δ -ferritler ile geçiş gerçekleşmiştir. Kaynak metalllerinde ise dendritik bir yapı şeklinde δ -ferrit fazı görölmektedir. Fotoğraflardan, TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kaynak metallindeki δ -ferrit miktarının, örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunenin kaynak metaline oranla bir miktar daha sık olduğu görölmektedir.

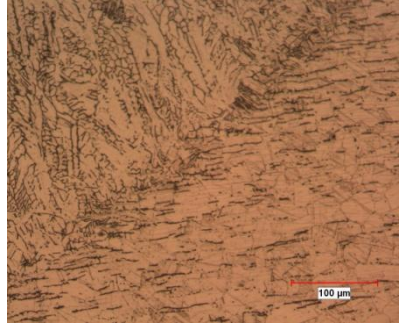


Şekil 6.14 : AISI 304L malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin mikro içyapı fotoğrafları.

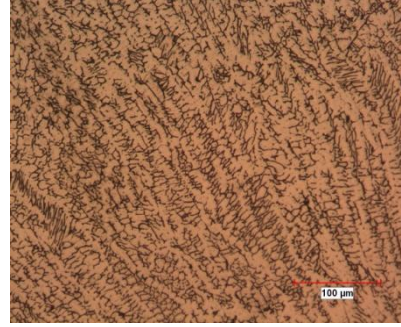
a) Esas metal b) Geiş bölgesi c) Kaynak metali.



(a)

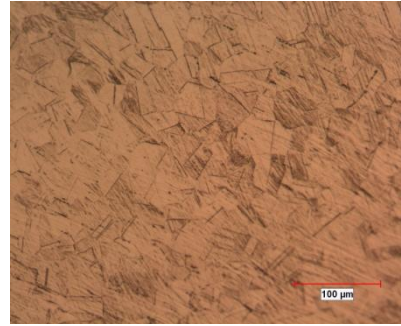
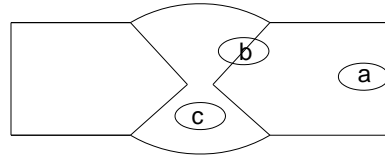


(b)

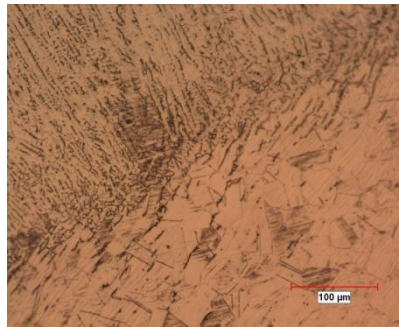


(c)

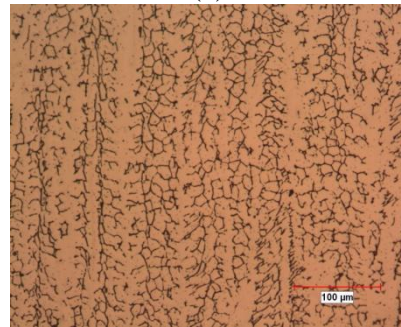
Şekil 6.15 : AISI 304L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunenin mikro içyapı fotoğrafları.
a) Esas metal b) Geçiş bölgesi c) Kaynak metali.



(a)



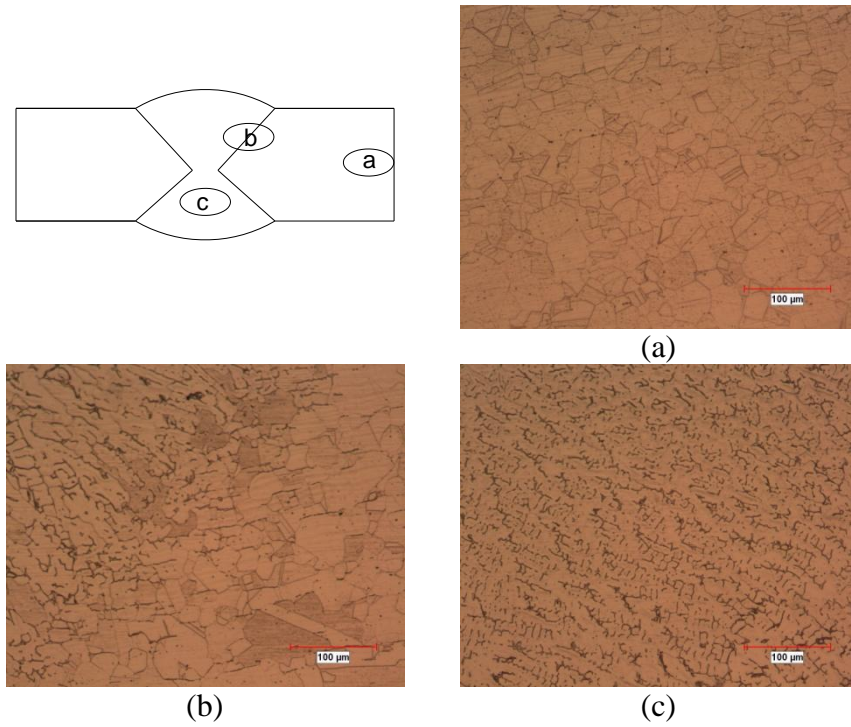
(b)



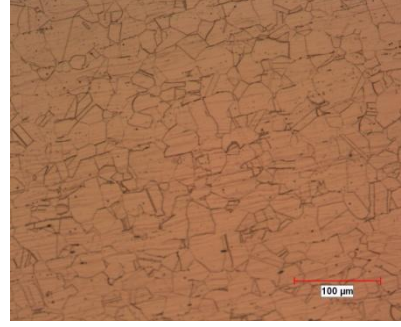
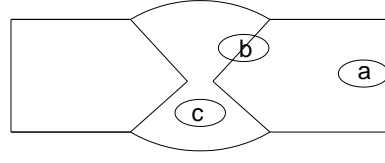
(c)

Şekil 6.16 : AISI 304L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunenin mikro içyapı fotoğrafları.
a) Esas metal b) Geçiş bölgesi c) Kaynak metali.

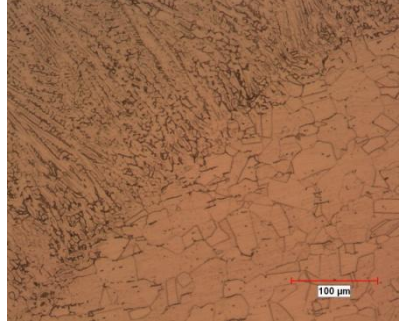
AISI 316L malzemeden kaynaklı numunelerin; esas metal, geçiş bölgesi ve kaynak metalinden alınan mikro içyapı fotoğrafları Şekil 6.17 ile Şekil 6.21 arasında gösterilmektedir. Fotoğraflardan, esas metallerdeki ostenit tanelerinin; haddeleme yönüne paralel numunelerde, haddeleme yönüne dik numunelere oranla kısmen daha büyük olduğu grlmektedir. Kaynak metallinde ise ısının kaçtığı yöne doğru yönlenmiş dendritik yapıda δ -ferrit fazı bulunmaktadır. TIG kaynağı ile ilave kaynak metalini kullanarak birleştirilmiş numunelerde, ilave kaynak metalini kullanılmadan birleştirilmiş numunelere oranla kaynak metalinde daha sık bir δ -ferrit yapısı grlmektedir.



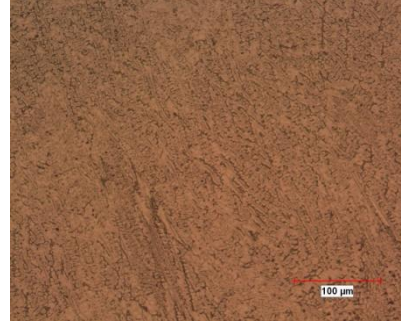
Şekil 6.17 : AISI 316L malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metalini kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikro iyapı fotoğrafları. a) Esas metal b) Geiş bölgesi c) Kaynak metalini.



(a)

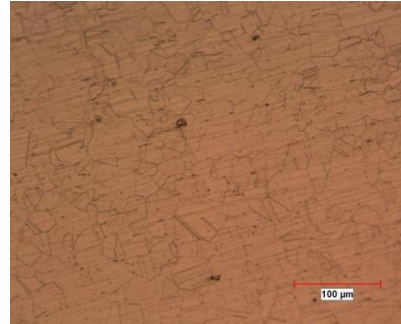
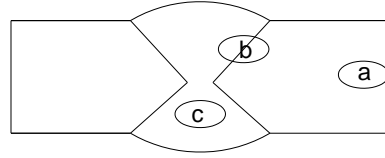


(b)

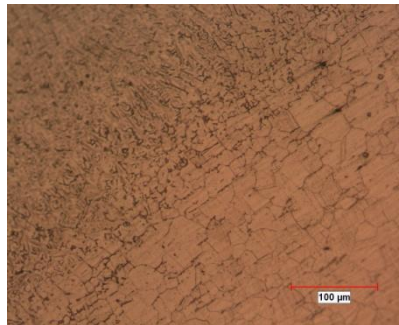


(c)

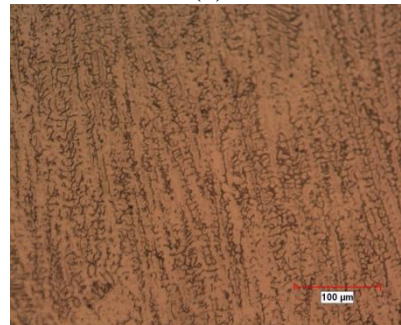
Şekil 6.18 : AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikro içyapı fotoğrafları. a) Esas metal b) Geçiş bölgesi c) Kaynak metali.



(a)

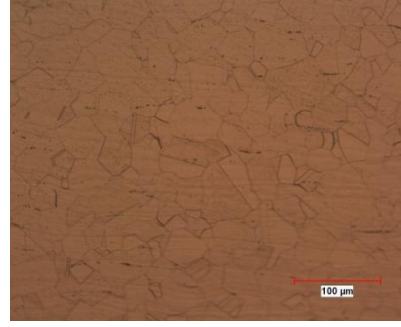
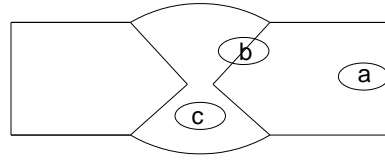


(b)

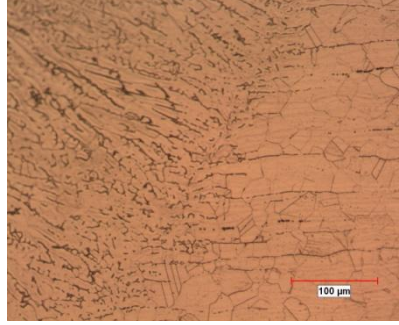


(c)

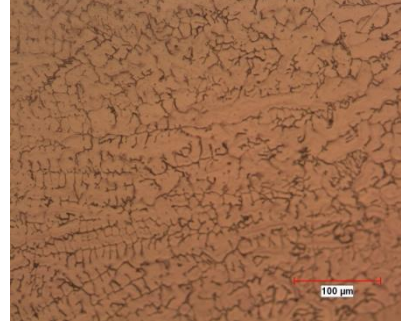
Şekil 6.19 : AISI 316L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikro içyapı fotoğrafları. a) Esas metal b) Geçiş bölgesi c) Kaynak metali.



(a)

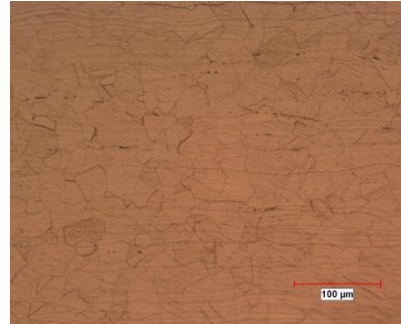
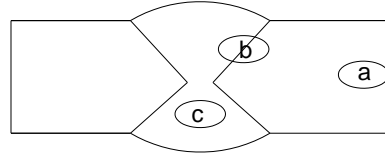


(b)

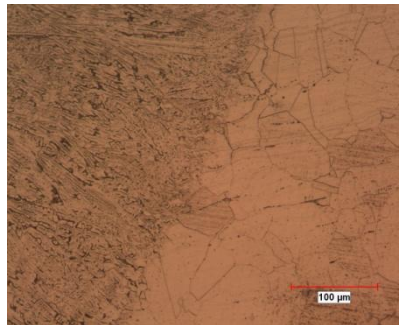


(c)

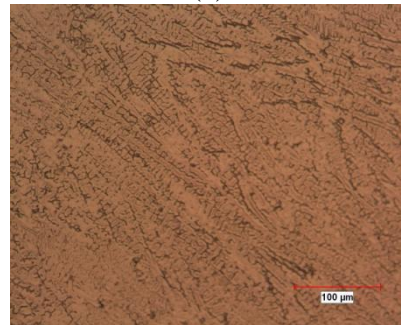
Şekil 6.20 : AISI 316L malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikro içyapı fotoğrafları. a) Esas metal b) Geçiş bölgesi c) Kaynak metali.



(a)



(b)

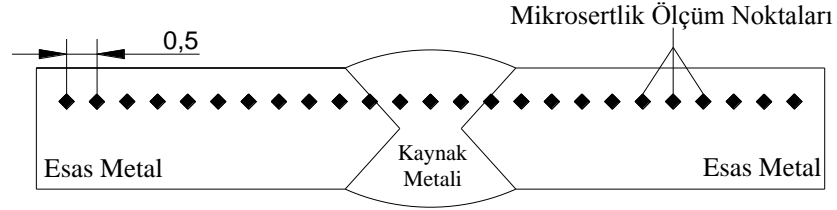


(c)

Şekil 6.21 : AISI 316L malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikro içyapı fotoğrafları. a) Esas metal b) Geçiş bölgesi c) Kaynak metali.

6.5 Mikrosertlik Ölçümleri

Mikrosertlik ölçümleri, kaynak merkezi ortada olacak şekilde kaynak bölgesinden alınan yaklaşık 25 mm'lik bir kesit boyunca, 0,5 mm aralıklarla 500 g yükün 15 s uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçüm (HV 0,5) noktaları şematik olarak Şekil 6.22'de gösterilmiştir.

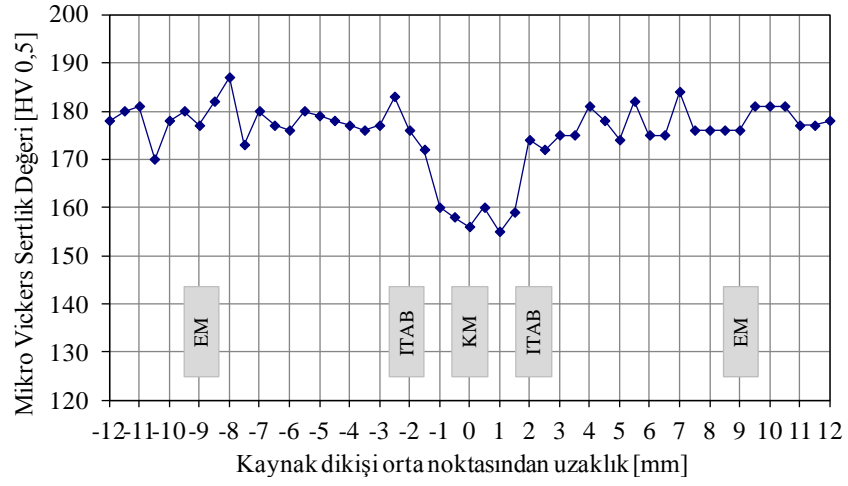


Şekil 6.22 : Mikrosertlik ölçüm noktalarının şematik olarak gösterimi.

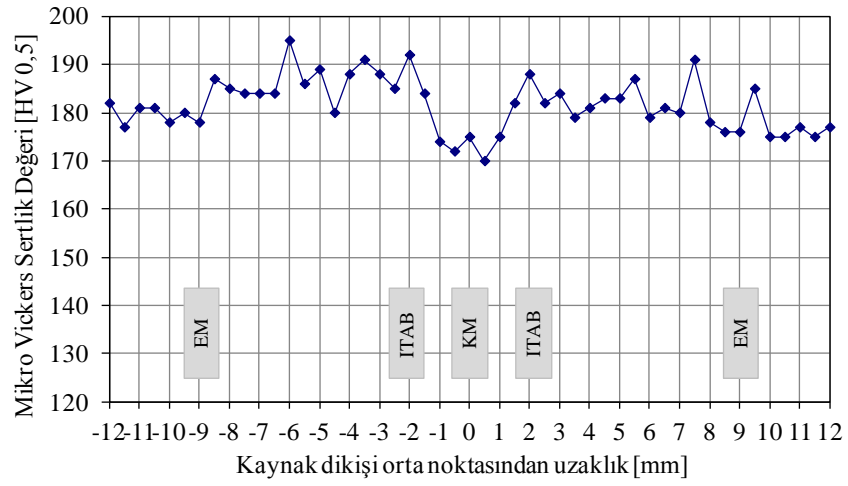
AISI 304L paslanmaz çelik malzemenen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.23'de görülmektedir. Bu numunenin kaynak metali bölgesinde sertlik değeri 155 HV ile 160 HV arasında değişmektedir. Bu numunede, ısı tesiri altındaki bölge ile esas metal arasında belirgin bir sertlik farkı meydana gelmemiştir.

AISI 304L paslanmaz çelik malzemenen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.24'de görülmektedir. Bu numunenin kaynak metali bölgesinde sertlik değeri 170 HV ile 176 HV arasında değişmektedir. Bu numunede, esas metale göre ısı tesiri altındaki bölgede bir miktar sertlik artışı meydana gelmiş olup, bu bölgede en yüksek sertlik değeri 193 HV'dir. AISI 304L paslanmaz çelik malzemenen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin kaynak metalinin sertlik değerlerine göre, bu numunenin kaynak metalinin sertlik değerleri bir miktar yüksektir. Bu durumun kullanılan ilave kaynak metalinin kimyasal bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

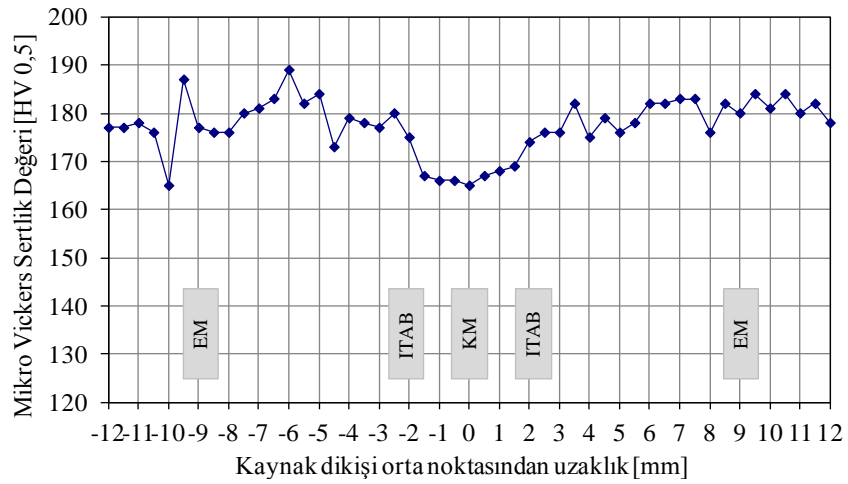
AISI 304L paslanmaz çelik malzemenen, örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.25'de görülmektedir. Bu numunenin kaynak metali bölgesinde sertlik değeri 164 HV ile 169 HV arasında değişmektedir. AISI 304L paslanmaz çelik malzemenen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numuneye benzer şekilde ısı tesiri altındaki bölge ile esas metal arasında herhangi bir sertlik farkına rastlanılmamıştır.



Şekil 6.23 : AISI 304L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri.



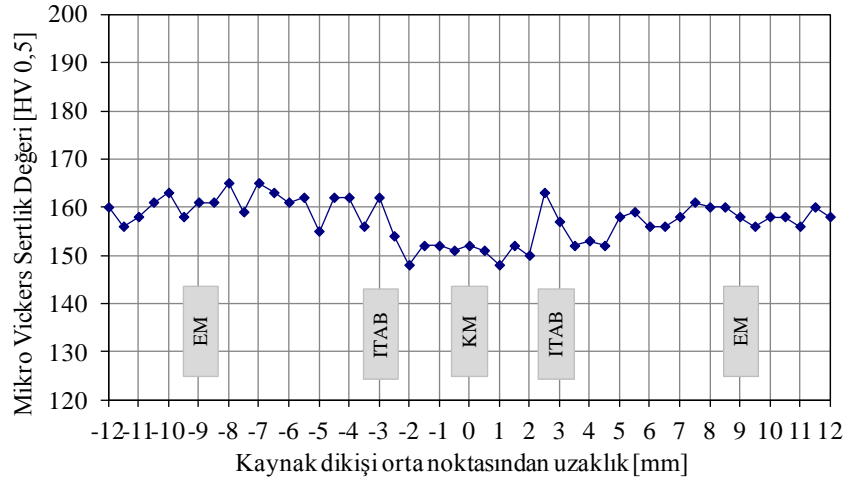
Şekil 6.24 : AISI 304L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri.



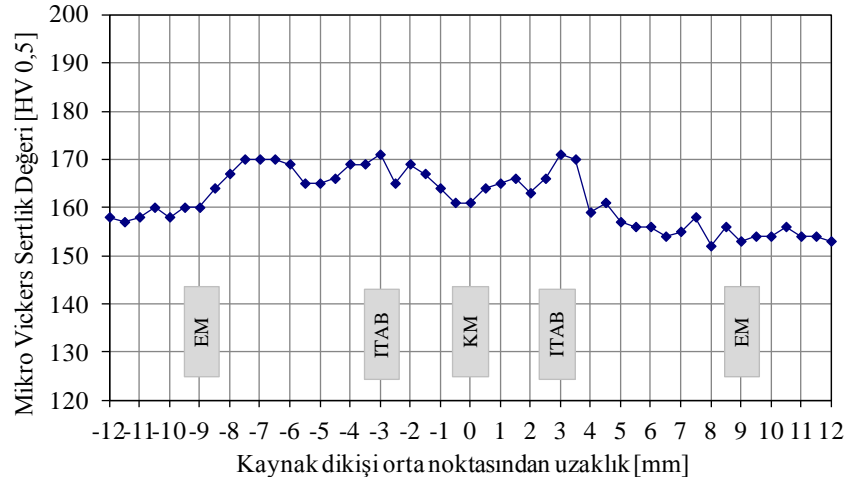
Şekil 6.25 : AISI 304L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunenin mikrosertlik değerleri.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.26'da görülmektedir. Bu numunenin kaynak metali bölgesinde sertlik değeri 149 HV ile 151 HV arasında değişmektedir. Bu numunede; AISI 304L malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numuneye benzer şekilde, ısı tesiri altındaki bölge ile esas metal arasında herhangi bir sertlik farkına rastlanılmamıştır.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.27'de görülmektedir. Bu numunenin kaynak metali bölgesinde sertlik değeri 160 HV ile 165 HV arasında değişmektedir. Bu numunede, ısı tesiri altındaki bölgede esas metale göre bir miktar sertlik artışı gözlenmiş olup; bu bölgede en yüksek sertlik değeri 171 HV'dir. AISI 316L paslanmaz çelik malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeme yönüne dik numunenin kaynak metalinin sertlik değerlerine göre bu numunenin kaynak metalinin sertlik değerleri bir miktar yüksektir. Bu durumun ilave kaynak metalinin kimyasal bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

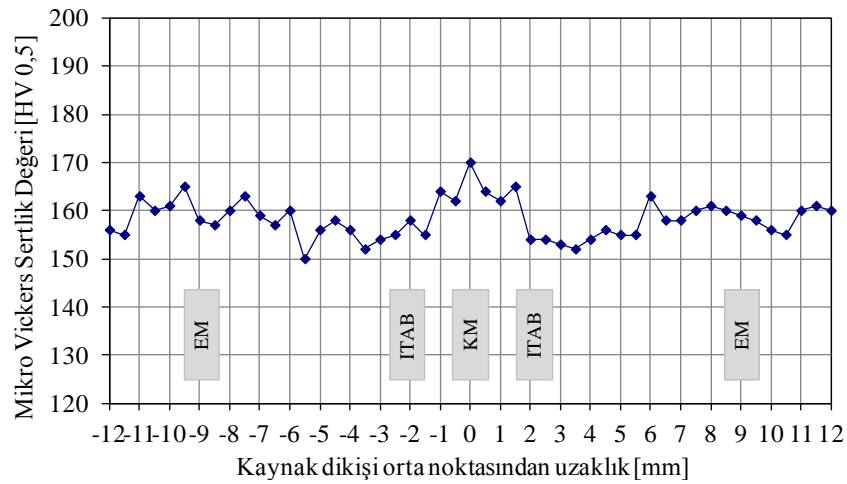


Şekil 6.26 : AISI 316L malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri.



Şekil 6.27 : AISI 316L malzemededen, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri.

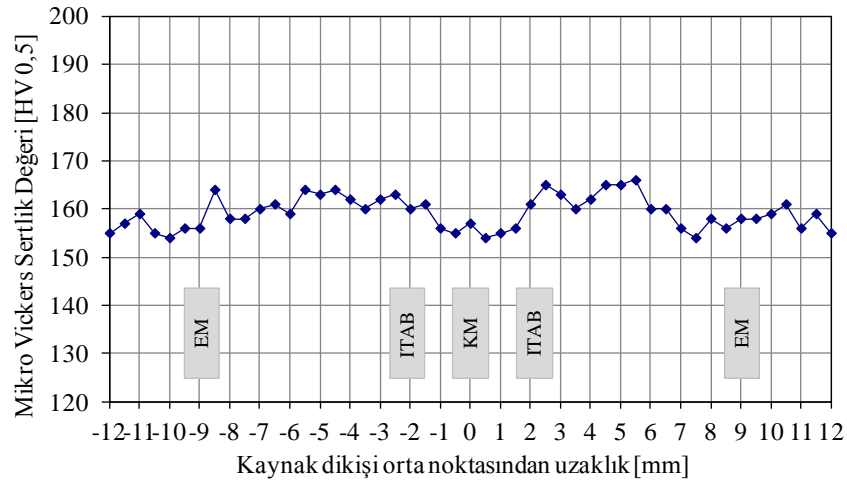
AISI 316L paslanmaz çelik malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.28'de görülmektedir. Kaynak metali bölgesinde sertlik değeri 161 HV ile 170 HV arasında değişmektedir. Bu birleştirmede kaynak metalinin sertliği esas malzeme ve ısı tesiri altındaki bölgenin sertliğinden bir miktar yüksektir. Bu durumun; kullanılan örtülü elektrotun kimyasal bileşiminden ve/veya kaynak metalinde oluşan iç gerilmelerden kaynaklandığı düşünülmektedir (Yılmaz ve Tehçi, 2012). Isı tesiri altındaki bölge ile esas metal arasında ise herhangi bir sertlik farkı meydana gelmemiştir.



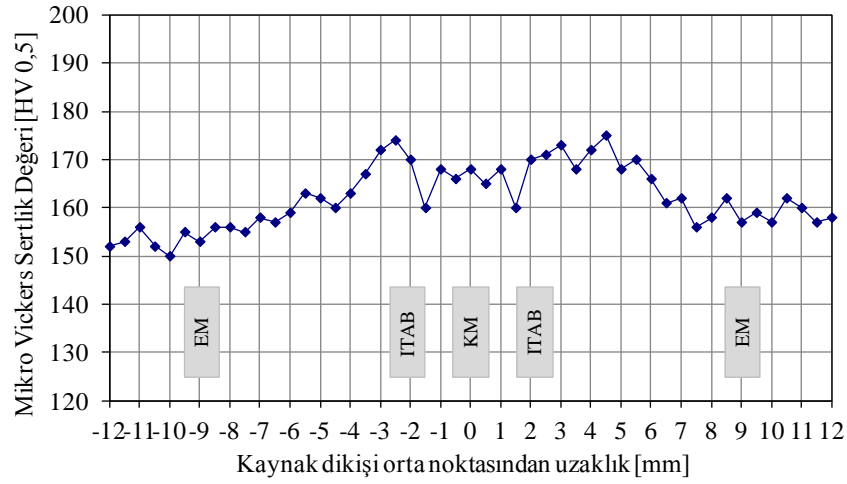
Şekil 6.28 : AISI 316L malzemededen, örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin mikrosertlik değerleri.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemedan TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.29'da görülmektedir. Bu numunede, kaynak metali bölgesinde sertlik dağılımı 155 HV ile 157 HV arasında değişmektedir ve ısı tesiri altındaki bölge ile esas metal arasında dikkate değer bir sertlik farkına rastlanılmamıştır. Bu numuneden elde edilen sertlik değerleri ile AISI 316L paslanmaz çelik malzemedan TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numuneden elde edilen sertlik değerleri arasında çok farklılık bulunmamaktadır.

AISI 316L paslanmaz çelik malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikrosertlik değerleri Şekil 6.30'da görülmektedir. Kaynak metali bölgesinde sertlik değeri 160 HV ile 169 HV arasında değişmektedir. Isı tesiri altındaki bölgede bir miktar sertlik artışı meydana gelmiş olup; bu bölgede en yüksek sertlik değeri 175 HV 0,5'dir. Bu numunede; AISI 316L paslanmaz çelik malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunenin sertlik değerlerine benzer değerler elde edilmiştir.



Şekil 6.29 : AISI 316L malzemedan, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikrosertlik değerleri.



Şekil 6.30 : AISI 316L malzemeden, TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunenin mikrosertlik değerleri.

Kaynaklı numunelerden elde edilen sertlik değerleri genel olarak değerlendirildiğinde; kaynak bölgesinde malzemenin çekme davranışlarını olumsuz etkileyecek sertlik değerlerine rastlanılmamıştır. Malzemelerin ostenitik bir yapıya sahip olmasından dolayı ısı tesiri altındaki bölge ile esas malzeme arasında önemli sertlik farklılıklarının bulunmaması normal karşılanabilir. Ayrıca numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde, 800 HV-1000 HV sertlik aralığında, kırılğan metaller arası bir bileşik olan sigma fazının hiçbir numunenin kaynak bölgesinde oluşmadığı söylenebilir.

6.6 Korozyon Deneyleleri

AISI 304L ve AISI 316L paslanmaz çeliklerinden kaynaklı ve kaynaklız çekme deney numuneleri, koroziif ortamdaki çekme davranışlarının belirlenebilmesi için farklı zaman dilimlerinde tuz püskürtme ortamına maruz bırakılmıştır. Deneylelerde kullanılan CW Equipment marka tuz püskürtme kabini Şekil 6.31'de gösterilmiştir.



Şekil 6.31 : Deneyleerde kullanılan tuz püskürtme kabini.

Tuz püskürtme deneyleri EN ISO 9227 “*Corrosion test in artificial atmospheres – Salt spray tests*” standardına uygun olarak yapılmıştır. İlgili standartta tavsiye edilen deney süreleri içerisinde; 24-96-240-480-720-1000 saat seçilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

Korozif ortam olarak ilgili standarda uygun olarak her 95ml suda 5g NaCl çözündürülerek elde edilen tuzlu su çözeltisi kullanılmıştır. Çözeltide saf su ve standartlara uygun, kimyasal analiz sertifikalı özel tuz kullanılmıştır.

Kabin içerisinde sıcaklığı 35 °C’dir. Kabin içerisinde toplanan çözeltinin pH’ı düzenli aralıklarla kontrol edilmiş ve gerekli durumlarda, 6,5 ile 7,2 arasında olacak şekilde ayarlanmıştır.

Kaynak işleminden sonra yüzeyde oluşan ısıl işlem lekeleri paslanmaz çeliğin korozyon dayanımını düşürmektedir. Bu yüzden kaynak işleminden sonra ısı tesiri altındaki bölgeye kaynak lekeli temizleyici pasta uygulanmış, daha sonra bol su ile durularak ısıl işlem lekeleri giderilmiştir.

Tuz püskürtmeye maruz bırakılacak çekme numunelerinin çapaklı yüzeyleri taşlanmıştır. Numunelerin etil alkolle yüzeyleri temizlendikten sonra deneye başlanmıştır. Numunelerin tuz püskürtme kabini içerisindeki yerleşim düzeni Şekil 6.32’de gösterilmektedir.



Şekil 6.32 : Numunelerin tuz püskürtme kabini içerisindeki yerleşim düzeni.

AISI 304L malzemelerden 1000 saat tuz püskürtmeye maruz bırakılan numunelerin fotoğrafları Şekil 6.33’de gösterilmektedir. Kaynaksız ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin kenar kısımlarında az miktarda yerel korozyon gözlemlenirken örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilen numunelerden birinin kaynak bölgesinde yoğun korozyon ürünü gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.33 : 1000 saat tuz püskürtme sonrası AISI 304L malzemedeki çekme numuneleri. a) Kaynaksız b) TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metallsiz) c) TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli) d) Örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş.

AISI 316L malzemelerden haddeleme yönüne dik alınan numunelerin 1000 saatlik tuz püskürtme sonrası fotoğrafları Şekil 6.34'de gösterilmektedir. Kaynaksız ve TIG kaynak yöntemi ile kaynaklı numunelerde korozyon gözlemlenmezken örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin kenar kısımlarında yerel korozyon gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 6.34 : 1000 saat tuz püskürtme sonrası AISI 316L malzemedен haddeleme yönüne dik çekme numuneleri. a) Kaynaksız b) TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave metalsiz) c) TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave metalli) d) Örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş.

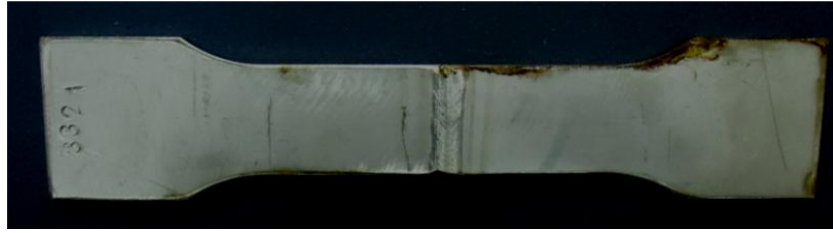
AISI 316L malzemelerden haddeleme yönüne paralel alınan numunelerin 1000 saatlik tuz püskürtme sonrası fotoğrafları Şekil 6.35’de gösterilmektedir. Kaynaksız ve TIG kaynak yöntemi ile kaynaklı numunelerin kenar kısımlarında yerel korozyon gözlemlenmiştir.



(a)



(b)



(c)

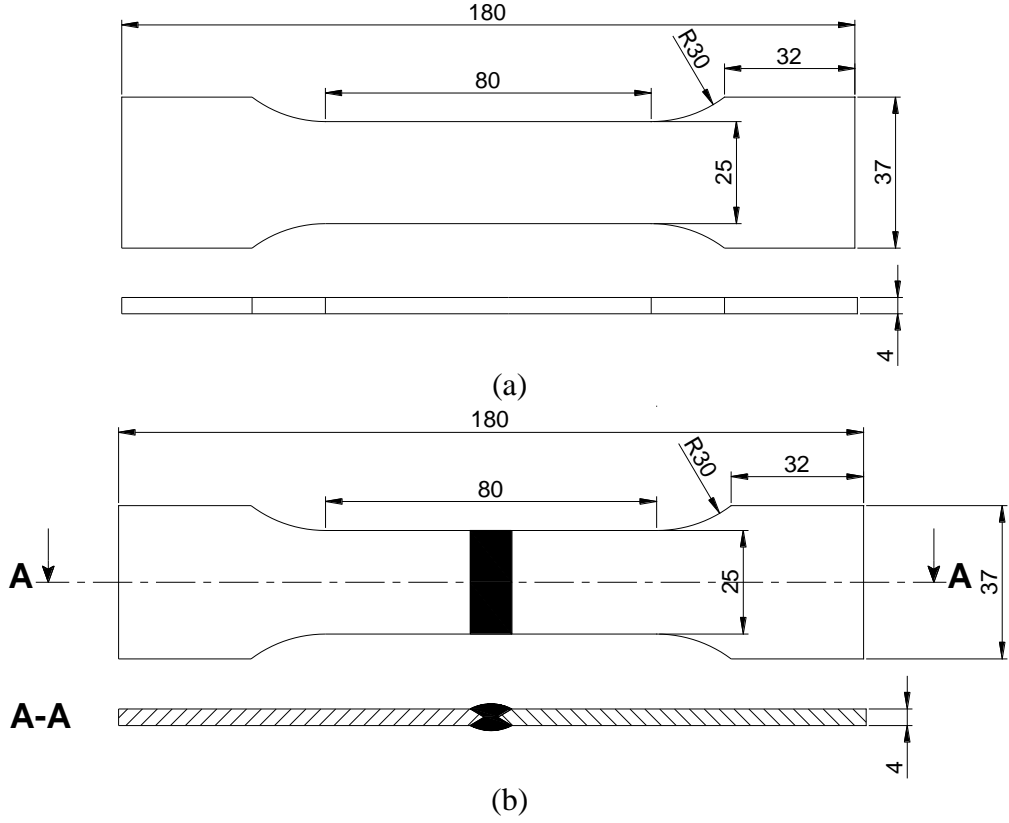
Şekil 6.35 : 1000 saat tuz püskürtme sonrası AISI 316L malzemedeki haddeleme yönüne paralel çekme numuneleri. a) Kaynaksız b) TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave metallsiz) c) TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave metalli).

Tuz püskürtme deneyleri tamamlanan numuneler; bol su altında yıkayıp, etil alkolle yüzeyleri temizlendikten sonra kütle kaybı hesabı yapılmıştır. Daha sonrada çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklı ve kaynaklı paslanmaz çeliklerin yüksek korozyon dayanımına sahip olmalarından dolayı, artan tuz püskürtme süresi ile numunelerin kütlelerinde kayda değer değişimler meydana gelmediği görülmüştür.

6.7 Çekme Deneyleri

Kaynaksız ve kaynaklı çekme deney numuneleri, sırasıyla TS EN ISO 6892-1 ve TS EN ISO 4136 standartlarına bağlı kalınarak aynı ölçülerde çıkarılmıştır. Deneylerde kullanılan çekme deney numunelerinin teknik resimleri Şekil 6.36'da gösterilmiştir.



Şekil 6.36 : Çekme deney numuneleri. a) Kaynaksız çekme deney numunesi
b) Kaynaklı çekme deney numunesi.

Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış ve maruz bırakılmış kaynaklı ve kaynaklı AISI 304L ve AISI 316L paslanmaz çelikten numunelerin çekme deneyleri yapılmıştır. 3'er adet numuneden elde edilen değerlerin ortalaması alınarak sonuçlar yorumlanmıştır.

Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 304L malzemeden numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması değerleri Tablo 6.9' da gösterilmiştir.

Tablo 6.9: Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 304L malzemeden numunelerin çekme deneyi sonuçları.

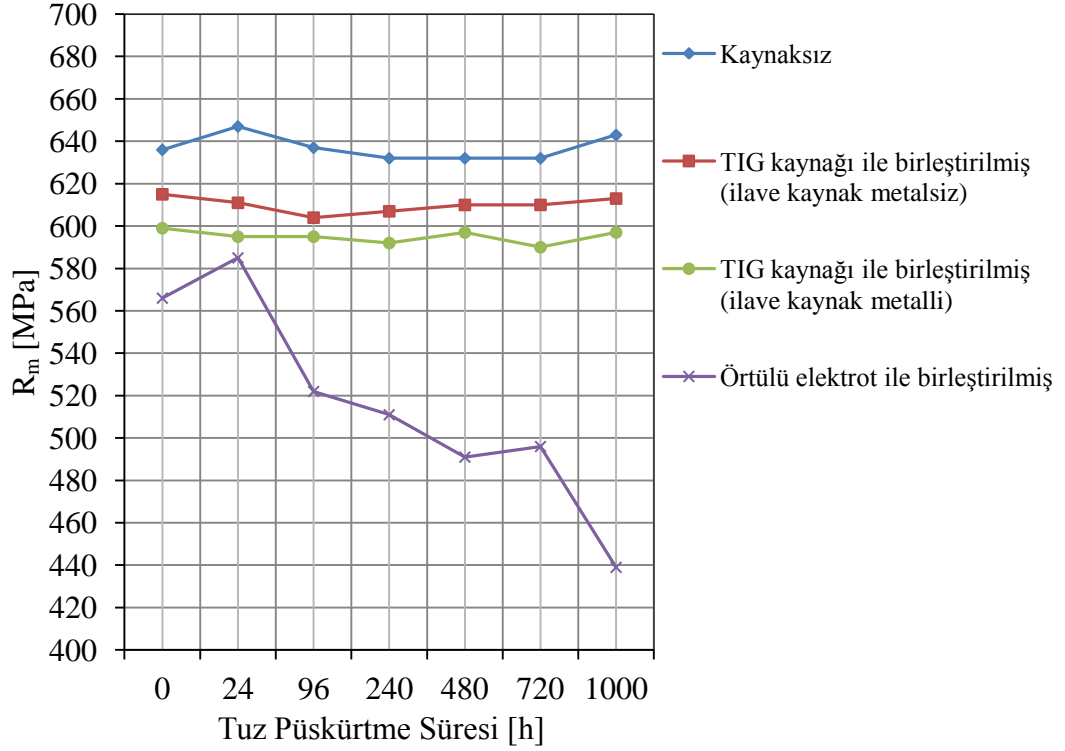
Numune	R_m [MPa]	$R_{p0.2}$ [MPa]	A [%]
Kaynaksız	636	256	63
TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalsiz)	615	320	61
TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)	599	323	46
Örtülü elektrot ile birleştirilmiş	566	300	43

Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 304L malzemedeki numunelerin içerisinde en yüksek çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri kaynaklı numunelerde elde edilmiştir. AISI 304L malzemedeki TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunelerden, ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunelere oranla daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. İlave kaynak metali kullanılmadan birleştirilen numunelerin kaynak metali sertlik değerlerinin düşüklüğü daha yüksek kopma uzaması değerleri elde edilmesini açıklamaktadır. Kaynak metali sertlik değeri düşüktüğü malzeme daha sünek davranış sergilemektedir. AISI 304L malzemedeki TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerden elde edilen çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması değerleri, örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunelere oranla daha yüksektir. TIG kaynak yönteminin en büyük avantajı hem ısı girdisinin, hem de derinlik/genişlik oranının kolaylıkla kontrol edilebilmesidir. AISI 304L malzemedeki TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş numunelerin örtülü elektrotla birleştirilmiş numunelere oranla daha yüksek çekme dayanımına sahip olması kaynak dikişinin derinlik/genişlik oranının daha büyük olmasına bağlıdır. Ayrıca örtülü elektrot kullanılarak el ile yapılan ark kaynağında kaliteli bir birleştirme elde edilebilmesi kaynakçının bilgi ve deneyimlerine oldukça bağlıdır. Makro içyapı incelemelerinde örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunede porozite gözlemlenmiştir. Porozite, gaz boşluğu gibi kaynak metalindeki süreksizlikler malzemelerin çekme dayanımlarını önemli ölçüde düşürmektedir.

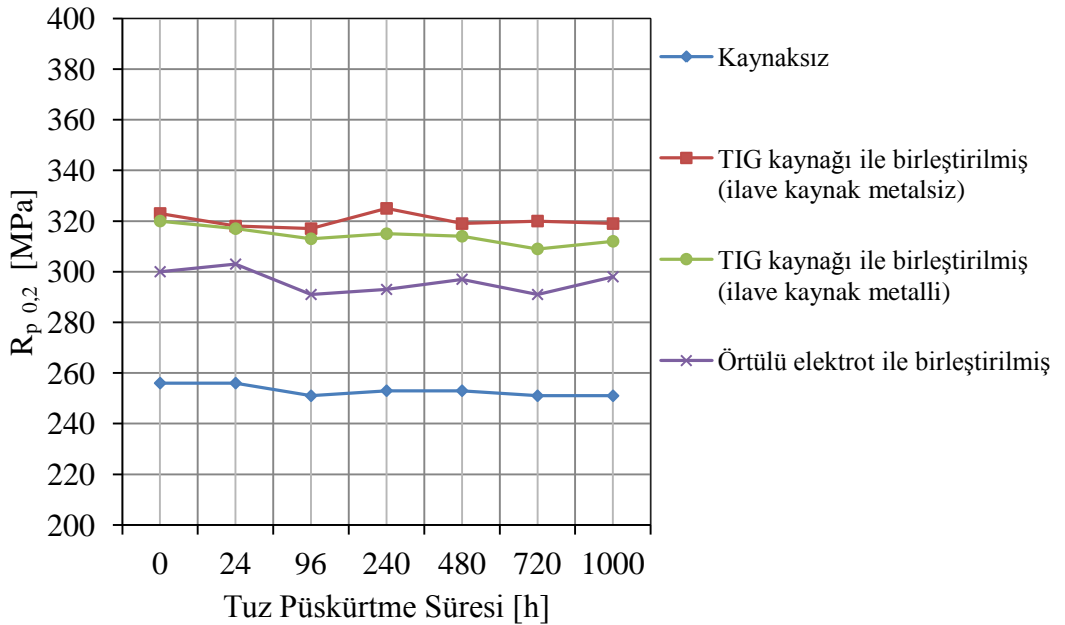
Kaynak işlemi sırasında ısı tesiri sonucu ana metalde ikizleme mekanizması devreye girmekte ve çekme deneyi sırasında oluşan kayma gerilmesini artırmaktadır. Ayrıca dislokasyon hareketleri, yüzey merkezli kübik ostenit fazı tarafından engellenmekte ve dislokasyon yoğunluğuna sebep olmaktadır (Yılmaz ve Uzun, 2002, Liao ve Chen, 1997). Bu yüzden kaynaklı numunelerde kaynaklı numunelere oranla daha yüksek akma dayanımı elde edildiği düşünülmektedir.

AISI 304L malzemedeki numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak; çekme dayanımları Şekil 6.37'de, akma dayanımları Şekil 6.38'de, kopma uzamaları ise Şekil 6.39'da gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde AISI 304L malzemedeki kaynaklı ve TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması değerlerinde tuz püskürtme süresine bağlı olarak kayda değer değişiklikler meydana gelmediği görülmektedir. AISI 304L malzemedeki örtülü

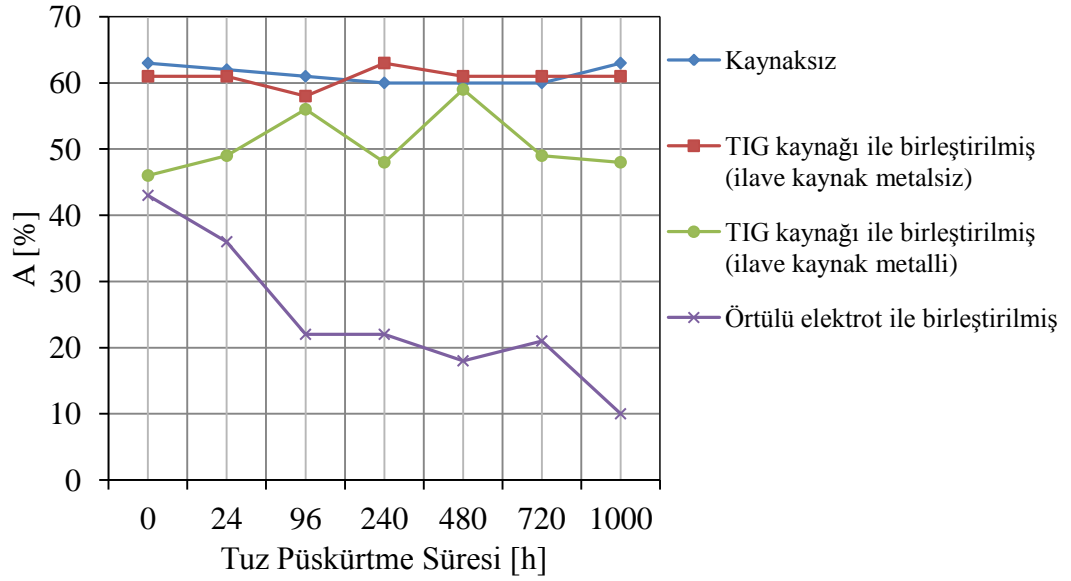
elektrot ile birleştirilmiş numunelerin ise 1000 saat tuz püskürtme sonucunda çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin sırasıyla 439 MPa ve %10'a azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.37 : AISI 304L malzemenen numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları.

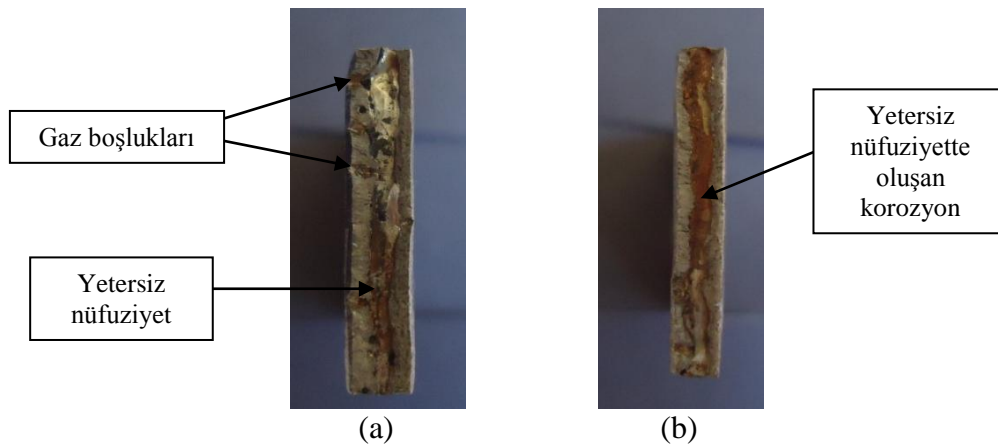


Şekil 6.38 : AISI 304L malzemenen numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak akma dayanımları.



Şekil 6.39 : AISI 304L malzemedeki numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak kopma uzamaları.

Şekil 6.40'da tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış ve 720 saat maruz bırakılmış AISI 304L malzemedeki örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunelerin kırık yüzey fotoğrafları gösterilmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde kaynak metallere yetersiz nüfuziyet ve gaz boşluklarının bulunduğu görülmektedir. Ayrıca tuz püskürtmeye maruz bırakılmış birçok numunede yetersiz nüfuziyet ve gaz boşluklarının bulunduğu bölgelerde aralık korozyonunun meydana geldiği görülmüştür. Artan tuz püskürtme süresinde, kaynak dikişinde bulunan nüfuziyet azlığı ve burada oluşan korozyonun ortak etkisi ile AISI 304L malzemedeki örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunelerin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde düşüş meydana gelmiştir.



Şekil 6.40 : AISI 304L malzemedeki örtülü elektrot ile birleştirilmiş çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri. a) Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış b) 720 saat tuz püskürtmeye maruz bırakılmış.

AISI 304L malzemeden örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunelerin tuz püskürtme süresinin artmasıyla çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde azalma olurken akma dayanımlarında azalma olmaması şöyle izah edilebilir:

Elektrotlar kaynak metalinin mekanik özellikleri esas metalin mekanik özelliklerinden daha üstün olacak şekilde üretilirler. Bu sayede statik yükleme altında kaynak dikişinde herhangi bir korozyon veya hata bulunması halinde bile kaynak dikişi esas metalin akma dayanımına yakın değerlere kadar kırılma olmaksızın dayanmaktadır. Akma sınırı aşılarak plastik deformasyon bölgesine geçildiğinde artan yük ile birlikte, sünek davranış sergileyen ostenitik paslanmaz çelik esas malzemesi plastik deformasyona uğramaktadır. Bu esnada kaynak dikişinde bulunan hatalarda ise gerilme yığılmalarının miktarları artmakta ve düşük çekme dayanımı ile kopma uzaması değerleri elde edilerek kırılma gerçekleşmektedir.

Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 316L malzemeden numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması değerleri Tablo 6.10' da gösterilmiştir.

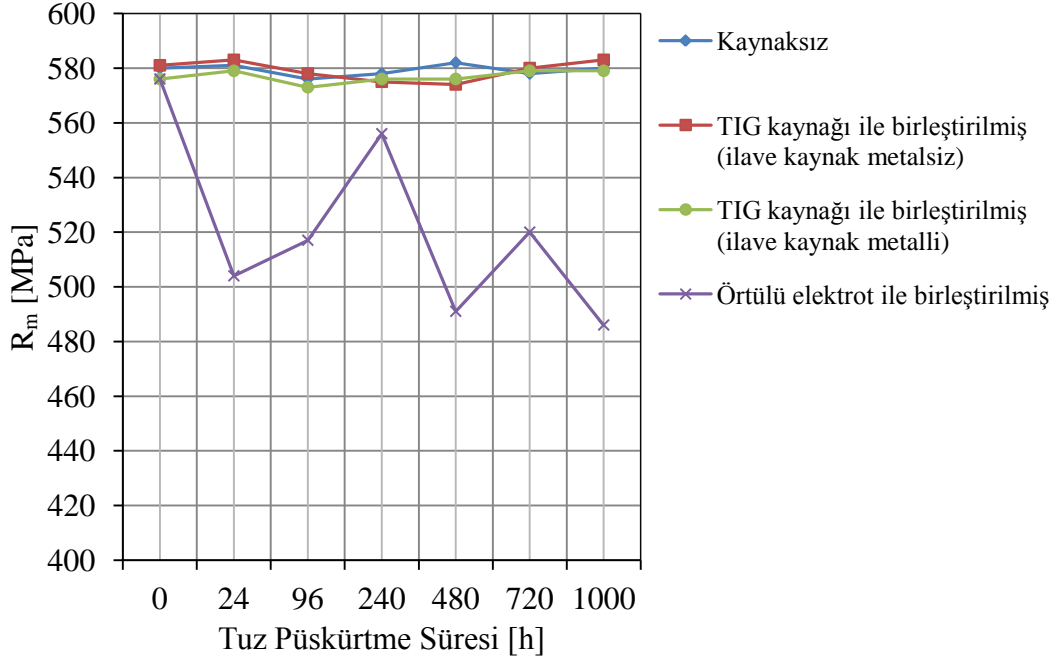
Tablo 6.10: Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 316L malzemeden numunelerin çekme deneyi sonuçları.

Numune	Haddeleme yönü	R _m [MPa]	R _{p 0,2} [MPa]	A [%]
Kaynaksız	Dik	580	307	62
TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalsiz)		581	333	61
TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)		576	328	43
Örtülü elektrot ile birleştirilmiş		576	326	48
Kaynaksız	Paralel	556	279	59
TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalsiz)		563	303	50
TIG kaynağı ile birleştirilmiş (ilave kaynak metalli)		560	311	46

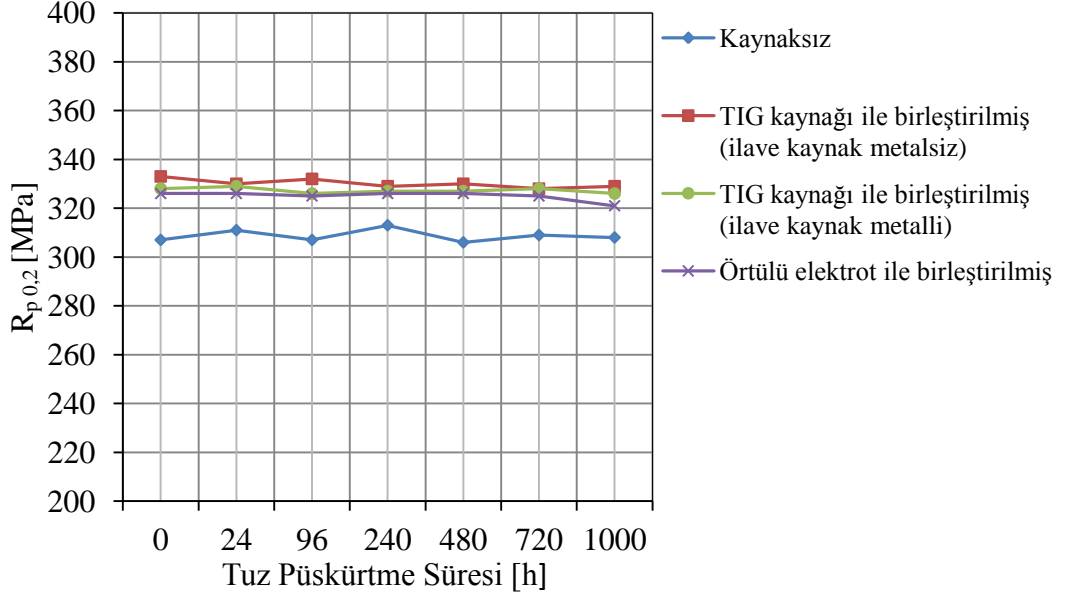
Tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış AISI 316L malzemeden kaynaklı ve kaynaklı numunelerden haddeleme yönüne dik olanlar haddeleme yönüne paralel olanlara göre daha yüksek çekme ve akma dayanımına sahiptir. 316L malzemeden kaynaklı ve kaynaklı numunelerde yaklaşık aynı çekme dayanımları elde edilmiştir. Bu durum birleştirmelerin kaliteli olduğunu göstermektedir. AISI 316L malzemelerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde ilave kaynak metali kullanımının çekme ve akma dayanımına herhangi bir etkisi yokken ilave kaynak metali kullanılmadan

birleştirilmiş numunelerde daha yüksek kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. Mikrosertlik incelemelerinde ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunelerin kaynak metalleri daha düşük sertlik değerleri ölçülmüştür. Çekme deneyi de sertlik ölçümlerini destekler niteliktedir. Kaynak metali sertliği düşük olan ilave kaynak metalsiz birleştirilen numuneler daha sünek davranış sergilemiş ve dolayısıyla daha yüksek kopma uzaması değerleri elde edilerek kırılma gerçekleşmiştir.

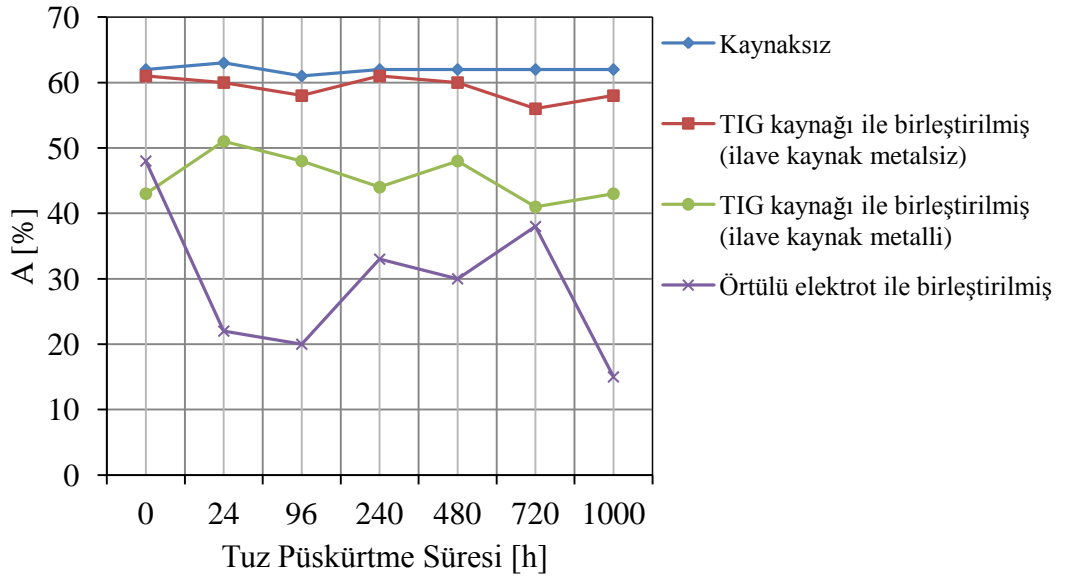
AISI 316L malzemedan haddeleme yönüne dik numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları Şekil 6.41’de, akma dayanımları Şekil 6.42’de, kopma uzamaları ise Şekil 6.43’de gösterilmektedir. Şekillerden AISI 316L malzemedan kaynaklı ve TIG kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne dik numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması değerlerinde tuz püskürtme süresine bağlı olarak kayda değer bir değişiklik meydana gelmediği görülmektedir. AISI 316L malzemedan örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunelerin ise 1000 saat tuz püskürtme sonucunda çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinin sırasıyla; 486 MPa ve %15’e azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.41 : AISI 316L malzemedan haddeleme yönüne dik numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları.



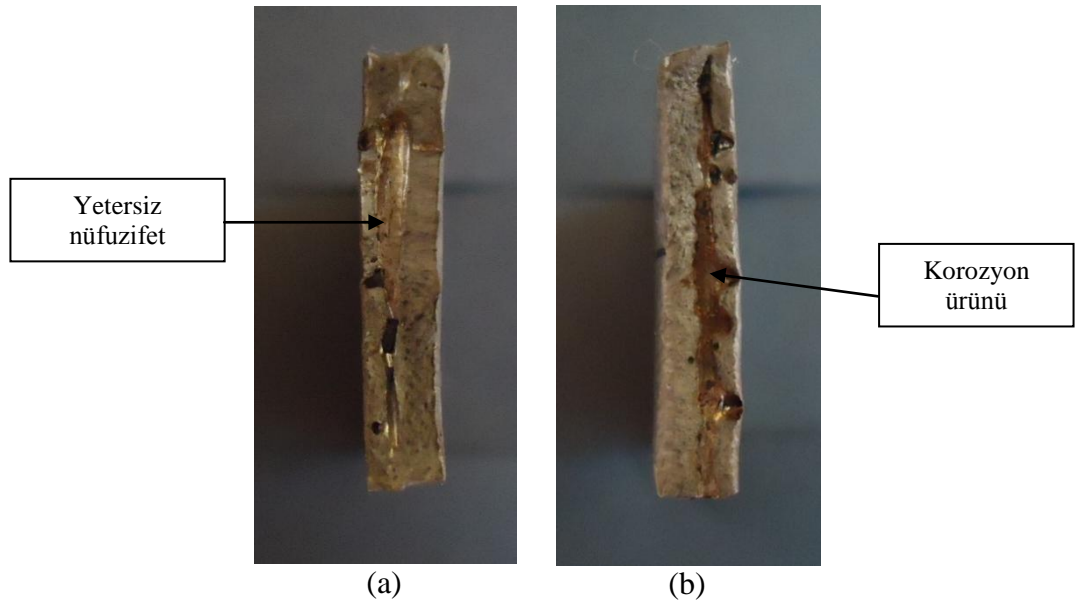
Şekil 6.42 : AISI 316L malzemeden haddeleme yönüne dik numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak akma dayanımları.



Şekil 6.43 : AISI 316L malzemeden haddeleme yönüne dik numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak kopma uzamaları.

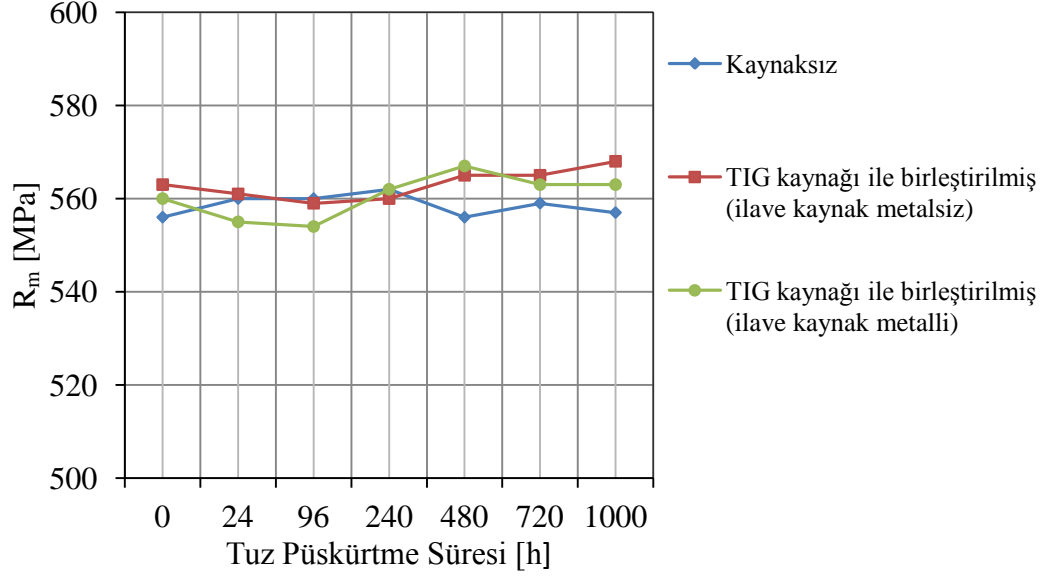
Şekil 6.44'de 24 saat ve 1000 saat tuz püskürtmeye maruz bırakılmış AISI 316L malzemeden örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunelerin kırık yüzey fotoğrafları gösterilmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde AISI 304L malzemeden örtülü elektrotla birleştirilmiş numunelere benzer şekilde kırılmaların kaynak metalindeki yetersiz nüfuziyetten kaynaklandığı görülmektedir. Bu numunelerin de birçoğunda yetersiz nüfuziyetin bulunduğu bölgelerde aralık korozyonunun meydana geldiği görülmüştür. Fakat bu numunelerde doğrudan korozyonun etkisiyle çekme dayanımı

ve kopma uzaması değerlerinde azalma olmuş demek zordur. Çünkü çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde artan tuz püskürtme süresi ile paralel olan azalmalar elde edilmemiştir. 24 ve 96 saat tuz püskürtme ile malzemelerin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde büyük düşüş yaşanırken, 240 saatte bu değerler tekrar yükselmiştir. Fakat tuz püskürtmeye maruz bırakılmış numunelerin tümünde tuz püskürtmeye maruz bırakılmamış numunelerden elde edilen çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri elde edilmemiştir. Bu durum çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerindeki düşüşte korozyonun etkisinin olduğunu fakat daha çok numunelerdeki yetersiz nüfuziyetten kaynaklandığını göstermektedir.

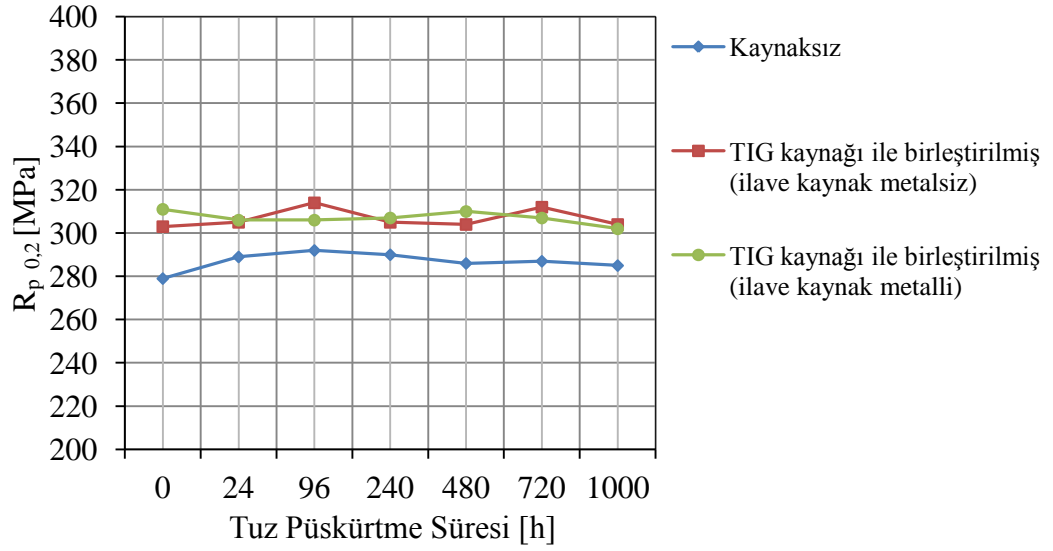


Şekil 6.44 : AISI 316L malzemedan örtülü elektrot ile birleştirilmiş çekme numunelerinin kırılma yüzeyleri. a) 24 saat tuz püskürtmeye maruz bırakılmış b) 1000 saat tuz püskürtmeye maruz bırakılmış.

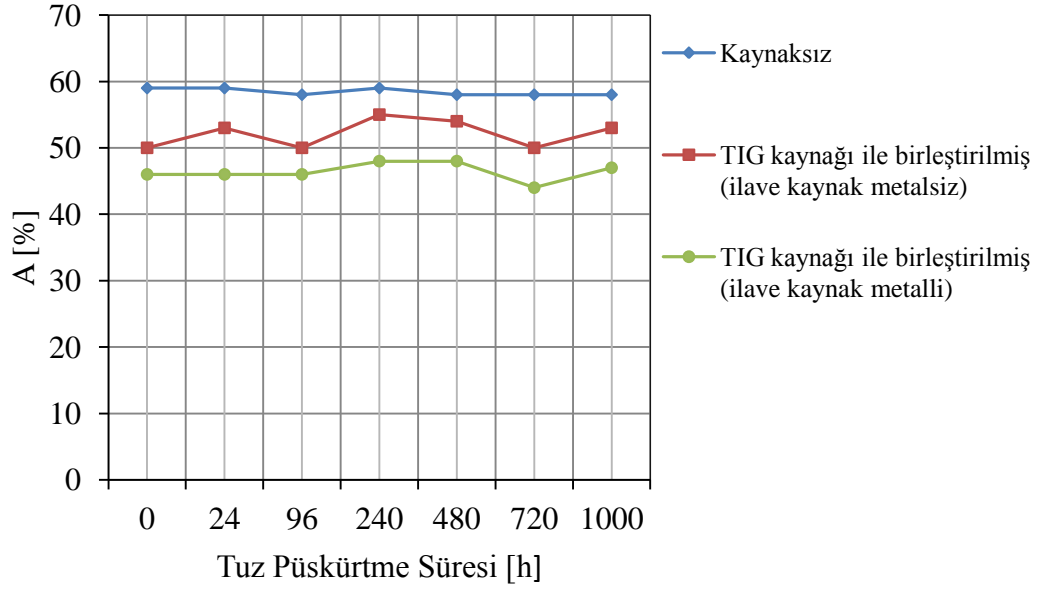
AISI 316L malzemedan haddeleme yönüne paralel numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları Şekil 6.45’de, akma dayanımları Şekil 6.46’da, kopma uzamaları ise Şekil 6.47’de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde AISI 316L malzemedan kaynaklı ve TIG kaynağı ile birleştirilmiş haddeleme yönüne paralel numunelerin çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması değerlerinde tuz püskürtme süresine bağlı olarak kayda değer değişiklikler meydana gelmediği görülmektedir.



Şekil 6.45 : AISI 316L malzemedan haddeleme yönüne paralel numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak çekme dayanımları.



Şekil 6.46 : AISI 316L malzemedan haddeleme yönüne paralel numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak akma dayanımları.

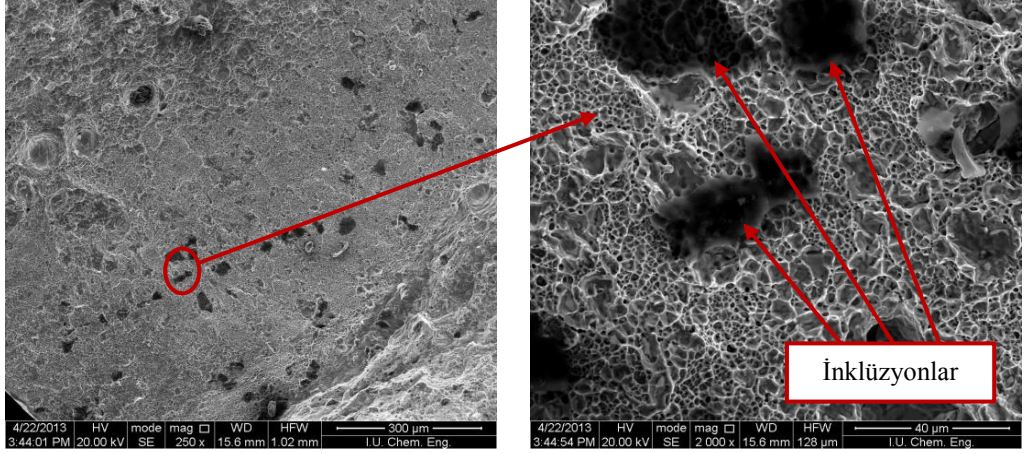


Şekil 6.47 : AISI 316L malzemeden haddeleme yönüne paralel numunelerin tuz püskürtme süresine bağlı olarak kopma uzamaları.

6.8 Kırık Yüzey Analizleri

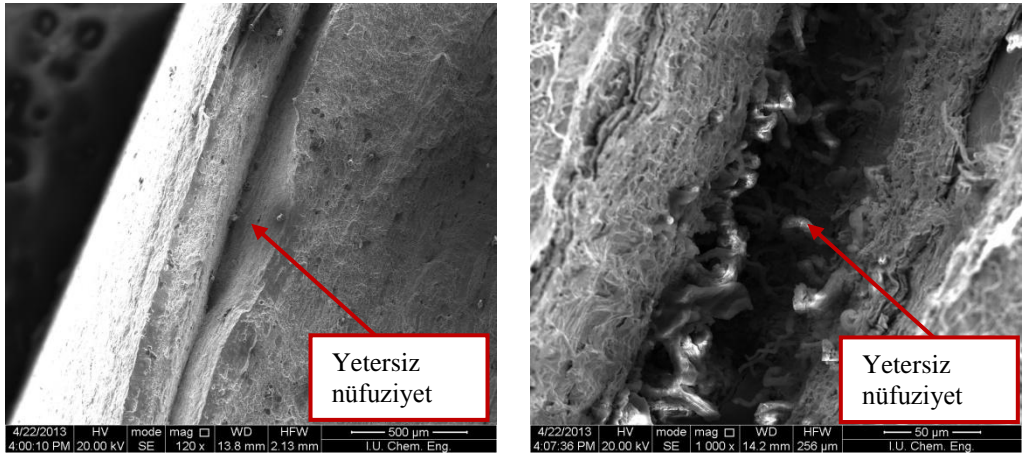
1000 saat tuz püskürtmeye maruz bırakılan ve çekme deneyleri sonucunda kaynak metalinden kırılan AISI 304L malzemeden numunelerin kırık yüzeyleri SEM ile incelenmiştir.

Şekil 6.48'de AISI 304L malzemeden TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri verilmiştir. Genel olarak kırılma yüzeyi petek yapısı nedeniyle sünek bir görünüm göstermektedir. Kırık yüzeyin bazı bölgelerinde inklüzyonlara (kalıntılara) rastlanılmıştır. Bu kalıntılar, kırılma ve çok değişik çatlak oluşumları gibi, tehlikeli ve ciddi malzeme hatalarının en önemli nedenlerinden biridir. Bu kalıntıların kaynak ağızlarının yeterli düzeyde yağ, kir, pastan arındırılmamasından kaynaklandığı ve bu kalıntıların, kırılmanın kaynak metalinden gerçekleşmesini tetiklediği düşünülmektedir. Kırık yüzeyde ise herhangi bir korozyon ürününe rastlanmamıştır.



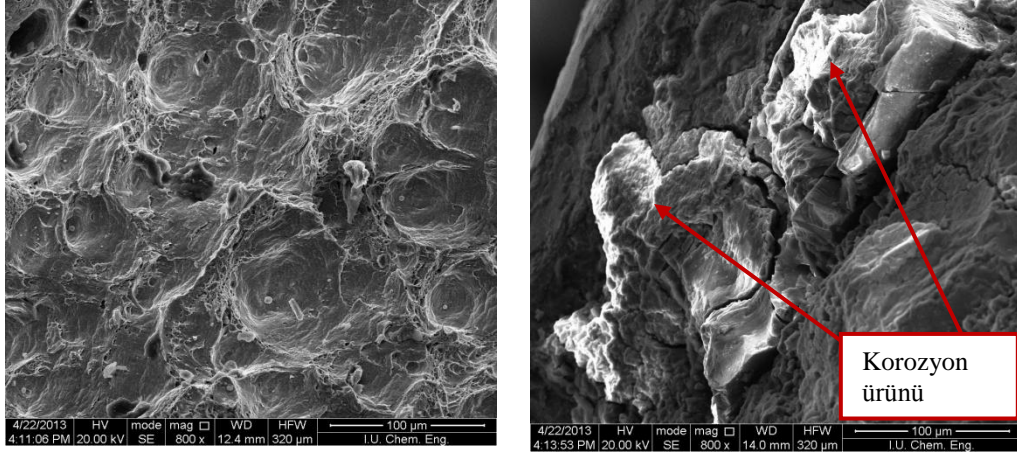
Şekil 6.48 : AISI 304L malzemedan TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri.

Şekil 6.49’ da AISI 304L malzemedan TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri verilmiştir. Fotograflardan kaynak metalinden gerçekleşen kırılmanın yetersiz nüfuziyetten kaynaklandığı görülmektedir. Çekme deneyi sırasında yetersiz nüfuziyetin bulunduğu bölge çatlak başlangıcı teşkil etmiştir. Çatlak bu bölgeden ilerleyerek numunenin kaynak metalinden kırılmasına neden olmuştur. Yetersiz nüfuziyet bölgesi yerel olup muhtemelen kaynak işlemi sırasında kaynak hızının bu bölgede diğer nüfuziyetin sağlandığı bölgelere göre daha hızlı olmasından kaynaklanmıştır. Yetersiz nüfuziyetin bulunduğu bölgelerde ise korozyon ürününe rastlanmamıştır.



Şekil 6.49 : AISI 304L malzemedan TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri.

Şekil 6.50’de AISI 304L malzemeden örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş çekme numunesinin SEM görüntüleri verilmiştir. Genel olarak yüzey gevrek kırılma görünümündedir. Kırık yüzeyde nüfuziyet azlığı bulunan bölgelerde lokal olarak korozyon ürünlerine rastlanmıştır. Nüfuziyet azlığının ve bu bölgede oluşan korozyonun malzemenin gevrek kırılmasına ve düşük çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri elde edilmesine sebep olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.50 : AISI 304L malzemeden örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş çekme numunesinin kırık yüzeyinin SEM görüntüleri.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 Sonuçlar

Günümüz endüstrisinde paslanmaz çelikler beş grup altında toplanır. Bu gruptaki paslanmaz çeliklerin her birinin korozif ortamlardaki davranışları farklıdır. Fakat tüm paslanmaz çelikler, karbonlu ve az alaşımlı çeliklerden daha yüksek korozyon dayanımına sahiptir.

Ostenitik paslanmaz çelikler; korozyon dayanımı, mekanik özellikler ve şekillendirilebilirlik özellikleri bakımından uygun bir kombinasyon sunarlar. Ayrıca ostenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri ile kaliteli bir şekilde birleştirilebilirler. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı imalatında, çarpılmaya ve kaynak bölgesindeki çok yönlü metalürjik dönüşümlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca kaynaklı ostenitik paslanmaz çelik konstrüksiyonların işletme koşullarında güvenilir olarak kullanılabilmesi için kaynak ağızlarının özenle ve temiz hazırlanması gerekmektedir.

4 mm kalınlığındaki AISI 304L ve AISI 316L yassı malzemeler, TIG kaynak yöntemi ile hem ilave kaynak metali kullanılmadan hem de ilave kaynak metali kullanılarak kaliteli bir şekilde birleştirilebilmektedir. Çok sayıda numuneden elde edilen benzer çekme deneyi sonuçları; kaynak dikişi boyunca sürekliliğin olduğunu ve kalitenin değişmediğini göstermiştir.

Örtülü elektrot ark kaynağı ile yapılan birleştirmelerde kaynak kalitesi kaynakçının bilgi ve deneyimlerine bağlı olarak değişmektedir. Örtülü elektrot ile yapılan birleştirmelerin çekme deney sonuçlarında, kaynak dikişinin her numunede aynı kalitede olmadığı görülmüştür. Örtülü elektrot ile birleştirilmiş numunelerin çekme deneyinde kırılan yüzeyleri incelendiğinde; birçok numunenin kaynak dikişinde yetersiz nüfuziyet ve gaz boşluklarının var olduğu görülmüştür. Bu bölgeler etkin olarak malzemenin çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerini düşürmektedir. Çekme deneyi sırasında bu bölgelerde gerilme yığılmalarının miktarları artmakta ve düşük çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri elde edilmektedir.

Kaynaklı numunelerin mikro içyapı incelemelerinde ostenitik paslanmaz çelik kaynak metallere mikro içyapılarının esas metalin mikro içyapısından farklı olduğu görülmüştür. Esas metalde baskın olarak ostenitik bir yapı bulunurken kaynak metalinde ostenit matris yapısı içerisinde δ -ferrit fazı dendritik bir yapı şeklinde yer almaktadır. δ -ferrit miktarının önemli şekilde ostenitik paslanmaz çeliklerin mekanik ve korozyon özelliklerine etki ettiği bilinmektedir. Kaynak metalindeki ferrit miktarını belirlemek üzere Schaeffler diyagramı kullanılmış ve numunelerin kaynak metallere oluşan δ -ferrit miktarının %7 ile %10 arasında değiştiği bulunmuştur.

Kaynaklı numunelerden elde edilen mikrosertlik (HV 0,5) değerleri genel olarak değerlendirildiğinde; kaynak bölgelerinde malzemelerin çekme davranışlarını etkileyecek düzeylerde sertlik değerlerine rastlanılmamıştır. TIG kaynağında ilave kaynak metali kullanımı kaynak metali sertlik değerlerini bir miktar artırmaktadır. Isı tesiri altındaki bölge ve esas metal arasında sertlik farklılıkları görülmemesi, malzemenin ostenitik bir yapıya sahip olmasından dolayı doğal karşılanmıştır. Ayrıca 800 HV-1000 HV sertlik aralığında kırılma metaller arası bir bileşik olan sigma fazının hiçbir numunenin kaynak bölgesinde oluşmadığı söylenebilir.

Tuz püskürtme deneylerinden sonra numuneler gözle incelendiğinde; genel olarak malzemenin kütlesini azaltmayan yerel korozyonlar gözlenmiştir. Korozyonun yerel olarak meydana gelmesi paslanmaz çelikte pasif tabakanın kararlılığının her bölgede aynı olmadığını göstermektedir. Bu yerel korozyonlar, AISI 304L ve AISI 316L malzemelerinden, kaynaklı ve TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş numunelerin çekme davranışlarında kayda değer bir değişikliğe yol açmamıştır.

AISI 304L malzemenin örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin 1000 saat tuz püskürtme sonucu çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde, birçok numunenin kaynak dikişinde bulunan yetersiz nüfuziyet ve bu bölgelerde oluşan korozyonun ortak etkisinden dolayı, sırasıyla %22 ve %77'lik azalma söz konusudur.

AISI 316L malzemenin örtülü elektrot ark kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin 1000 saat tuz püskürtme sonucu çekme dayanımı ve kopma uzaması değerlerinde sırasıyla %16 ve %69'luk azalma söz konusudur. Bu azalmalarda, korozyonun etkisi vardır. Fakat daha çok numunelerdeki yetersiz nüfuziyetten kaynaklandığı söylenebilir.

AISI 304L malzemeden TIG kaynağı ile ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmiş numunelerden, ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmiş numunelere oranla daha yüksek çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri elde edilmiştir. Bu durumun ilave kaynak metalinin kimyasal bileşiminden veya kaynak dikiş geometrisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

AISI 316L malzemelerden TIG kaynağı ile birleştirilmiş numunelerde ilave kaynak metali kullanımının çekme ve akma dayanımına herhangi bir etkisi yokken ilave kaynak metali kullanılmamış numunelerde kaynak metalinin daha sünek davranış sergilemesinden dolayı daha yüksek kopma uzaması değerleri elde edilmiştir.

AISI 316L malzemelerin mekanik özellikleri, haddelene yönüne paralel ve dik doğrultularda farklılık göstermektedir. AISI 316L malzemeden hem kaynaklı hem de kaynaklı haddelene yönüne dik numunelerde haddelene yönüne paralel numunelere oranla daha yüksek çekme ve akma dayanımı elde edilmiştir.

7.2 Öneriler

4 mm kalınlığındaki AISI 304L ve AISI 316L yassı malzemelerin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde, ilave kaynak metali kullanımının; malzemelerin ne çekme davranışına ne de 1000 saatlik tuz püskürtme ortamındaki korozyon dayanımına olumlu hiçbir etkisi yoktur. 4 mm kalınlığındaki AISI 304L ve AISI 316L yassı malzemelerin TIG kaynağı ile; ilave kaynak metali kullanılmadan birleştirilmesi, ilave kaynak metali kullanılarak birleştirilmesinden daha ekonomik olacaktır. Fakat paslanmaz çelik kaynak metallerinin farklı korozif ortamlara karşı farklı davranış gösterdikleri unutulmamalıdır. Ayrıca pH ve sıcaklık gibi korozif ortamın özellikleri de korozyon oluşumunda etkilidir. Ortamdaki küçük değişiklikler korozyona neden olabilir. Bu yüzden korozif ortamda çalışacak paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılacak yöntem ve ilave kaynak metali daha önceki deneyimlerden faydalanılarak seçilmelidir.

Örtülü elektrot kullanılarak el ile yapılan ark kaynağında kaliteli bir birleştirme elde edilebilmesi, kaynak maliyetinin düşürülmesi ve kaynaklı konstrüksiyonun imalat süresinin kısaltılması kaynakçının bilgi ve deneyimlerine bağlıdır. 4 mm kalınlığındaki AISI 304L ve AISI 316L yassı malzemelerin imkanlar dahilinde

modern bir yöntem olan TIG kaynağı ile birleştirilmesi konstrüksiyonun daha güvenilir kullanılmasını ve imalat süresinin kısaltılmasını sağlayacaktır.

Gaz boşluğu, yetersiz nüfuziyet gibi kaynak hatalarının bulunduğu bölgelerde hava ile temasın kesilmesi ya da yeterli temas sağlanamaması durumunda oksijen yetersizliğinden dolayı pasif tabaka onarılamamakta ve paslanmaz çelik korozyona uğramaktadır. Bu yüzden korozif ortamlarda çalışacak paslanmaz çelikten kaynaklı konstrüksiyonlarda kaynak hataları bulunmamalıdır.

Bu çalışmanın devamı olarak kaynaklı ve kaynaklı olmayan paslanmaz çeliklerin oksitleyici olmayan asidik çözeltilerde çekme, aşınma, yorulma, çentik darbe davranışları incelenebilir. Ayrıca korozyon mekanizmaları metalürjik olarak incelenip, özellikle kaynak bölgesindeki mikro yapısal değişimler nedenleriyle birlikte irdelenebilir.

KAYNAKLAR

- Abu, S.**, 2006: *Ostenitik Paslanmaz eliklerin Gazaltı Kaynak Yöntemi ile Kaynağında Koruyucu Gazın Mekanik Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Anık, S.**, 1991: *Kaynak Tekniğı El Kitabı*, İstanbul.
- Anık, S., Tülbentçi, K., and Kaluç, E.**, 1991: *Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı*, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul.
- Aran, A., and Temel, M. A.**, 2004: *Paslanmaz elik Yassı Mamuller, Üretimi Kullanımı, Standartları*, Sarıtaş Teknik Yayın No: 1, İstanbul.
- ASM Handbook**, 1992: *Corrosion*, ASM International.
- ASM Specialty Handbook**, 1999: *Stainless Steels*, ASM International.
- Aydemir, B.**, 2003: *17-4 PH ökeltme Sertleştirmeli Paslanmaz elik Kuvvet Dönüştürücü Yay Elemanlarının İç Yapısal Özelliklerinin Performans Üzerine Etkilerinin Araştırılması*, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Aydın, H., and Bayram, A.**, 2010: Farklı ısıtım koşullarındaki 2024 alüminyum alaşımlarının korozyon sonrası mekanik özelliklerindeki kaybın belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 15-1: 159-168.
- Aydoğdu, G. H., and Aydınol, M. K.**, 2005: AISI 316L tipi ostenitik paslanmaz çeliklerin tanelerarası korozyona duyarlılığının elektrokimyasal polarizasyon yöntemiyle belirlenmesi, *Metalurji Dergisi*, s:50.
- Baran, M.**, 2007: *Düşük Karbonlu elik ve Bakır Malzemelerin Elektrik Ark, TIG ve MIG Kaynağı ile Birleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Bos, E.**, 2007: *Ark Esaslı Kaynak Yöntemleriyle Kaynak İşleminde Isı Tüketimi ile Malzeme/Kalınlık İlişkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Can, A. .**, 2010: *Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Cui, Y., and Lundin, C. D.**, 2007: Austenite-preferential corrosion attack in 316 austenitic stainless steel weld metals, *Materials and Design*, 28: 324-328.
- akır, A.**, 2007: Jeotermal su kullanımında kabuklaşma ve korozyon problemleri, *Jeotermal Enerji Semineri*, 303-316.
- algülü, U.**, 2009: *AISI 304-430 Paslanmaz – AISI 1010 elik çiftlerinin Lazer Yöntemi İle Kaynağında Birleşme Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

- Dadfar, M., Fathi, M. H., Karimzadeh, F., Dadfar, M. R., and Saatchi, A.,** 2007: Effect of TIG welding on corrosion behavior of 316L stainless steel, *Materials Letters*, 61: 2343-2346.
- Davis, J. R.,** 1994: *Stainless Steels*, ASM International, Ohio.
- Doruk, İ.,** 2005: *Gıda Sanayinde Kullanılan Paslanmaz Çelikler ve Bu Çeliklere Uygulanan Kaynak Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Elçiçek, H., Karaoğlanlı, A. C., and Demirel, B.,** 2011: Gemicilik endüstrisinde korozyon problemi ve katodik koruma uygulamaları, *6th International Advanced Technologies Symposium*.
- EN 10088-1,** 2005: Stainless steels – Part 1: List of stainless steels, European Committee for Standardization, Brussels.
- Ertek, C.,** 2006: *Plazma Ortamında İyon Aşıl原因mış 304 ve 316L paslanmaz çeliklerin korozyon davranışlarının incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Fırat, M.,** 1998: *Isıl İşlemlerin AISI 304, 310, 316 ve 430 Tip Paslanmaz Çeliklerin Sulu Ortamdaki Korozyon Davranışına Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde.
- Garcia, C., Martin, F., de Tiedra, P., Blanco, Y., and Lopez, M.,** 2008(a): Pitting corrosion of welded joints of austenitic stainless steels studied by using an electrochemical minicell, *Corrosion Science*, 50: 1184-1194.
- Garcia, C., de Tiedra, M. P., Blanco, Y., Martin, O., Martin, F.,** 2008(b): Intergranular corrosion of welded joints of austenitic stainless steels studied by using an electrochemical minicell, *Corrosion Science*, 50: 2390-2397.
- Gürşimşir, C.,** 2000: *Gemi Yapımında, Paslanmaz Çelik Malzeme Kombinasyonlarının Birleştirilmesinde Kaynak Yöntemi, İşlem Sıraları ve Parametrelerin Seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ilevbare, G. O., and Burstein, G. T.,** 2001: The role of alloyed molybdenum in the inhibition of pitting corrosion in stainless steels, *Corrosion Science*, 43: 485-513.
- Iversen, A., and Leffler, B.,** 2010: 3.04 - Aqueous corrosion of stainless steels, *Corrosion and Degradation of Engineering Materials*, 3: 1802-1878.
- İnce, U., Toksoy, M., and Güden, M.,** 2004: İzmir-Bağcıva jeotermal doğrudan ısıtma sisteminde kullanılan St-37 karbon çelik malzemesinin değişik akışkan hızlarındaki korozyon davranışı ve mekanik özelliklerindeki değişimler, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 83: 3-12.
- Jiang, X. X., Li, S. Z., Tao, D. D., and Yang, J. X.,** 1993: Accelerative effect of wear on corrosion of high alloy stainless steel, *Corrosion Science*, 49: 836-842.

- Kahraman, N., Gülenç, B., and Akça, H.,** 2002: Ark kaynak yöntemi ile birleştirilen östenitik paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğin mekanik özelliklerinin incelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 17-2:75-85.
- Kaluç, E.,** 2004: *Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, Yayın No: 2004/356, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Kocaeli.
- Kaluç, E., and Taban, E.,** 2007: *Paslanmaz Çelikler Geliştirilen Yeni Türleri ve Kaynak Edilebilirlikleri*, Yayın No: 2007/461, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara.
- Kanbolu, S.,** 1996: *Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Kappatos, V., Chamos, A. N., and Pantelakis, Sp. G.,** 2010: Assessment of the effect of existing corrosion on the tensile behaviour of magnesium alloy AZ31 using neural networks, *Materials and Design*, 31: 336-342.
- Karasakal, E.,** 2005: *Ferritik, östenitik ve stabilize paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetlerinin araştırılması ve karşılaştırmalar*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kayalı, E. S., and Ensari, C.,** 1986: *Metallere Plastik Şekil Verme ve Uygulamaları*, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Lai, C. L., Tsay, L. W., Kai, W., Chen, C.,** 2009: Notched tensile tests of cold-rolled 304L stainless steel in 40 wt. % 80 °C MgCl₂ solution, *Corrosion Science*, 51: 380-386.
- Lai, C. L., Tsay, L. W., Kai, W., Chen, C.,** 2010: The effects of cold rolling and sensitisation on hydrogen embrittlement of AISI 304L welds, *Corrosion Science*, 52: 1187-1193.
- Liao, M. T., and Chen, P. Y.,** 1997: The effect of shielding-gas compositions on the microstructure and mechanical properties of stainless steel weldments, *Materials Chemistry and Physics*, 55: 145-151.
- Luu, W. C., Liu, P. W., and Wu, J. K.,** 2002: Hydrogen transport and degradation of a commercial duplex stainless steel, *Corrosion Science*, 44: 1783-1791.
- Komazaki, S., Kobayashi, K., Misawa, T., and Fukuzumi, T.,** 2005: Environmental embrittlement of automobile spring steels caused by wet-dry cyclic corrosion in sodium chloride solution, *Corrosion Science*, 47: 2450-2460.
- Lippold, J. C., and Kotecki, D. J.,** 2005: *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Lu, B. T., Chen, Z. K., Luo, J. L., Patchett, B. M., and Xu, Z. H.,** 2005: Pitting and stress corrosion cracking behavior in welded austenitic stainless steel, *Electrochimica Acta*, 50: 1391-1403.
- Mukhopadhyay, G., Bhattacharya S., and Ray, K. K.,** 2010: Strength of spot-welded steel sheets in corrosive environment, *Materials and Corrosion*, 61: 398-406.

- Necşulescu, D. A.**, 2011: The effects of corrosion on the mechanical properties of aluminium alloy 7075-T6, *U.P.B. Sci. Bull.*, 73: 223-229.
- Odabaş, C.**, 2004: *Paslanmaz Çelikler Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri*, İstanbul.
- Önal, E.**, 2012: *Gazaltı Özlü Telle Birleştirilmiş Çift-Fazlı Çeliklerin Mekanik Özellikleri ve % 3,5 NaCl Çözeltisindeki Korozyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Önal, G., Ünüvar, A., and Şimşek, T.**, 2005: 5083 Al-Mg alaşımında mekanik özellikler üzerine korozyon etkisinin araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 20-2: 191-196.
- Roberge, P. R.**, 1999: *Handbook of Corrosion Engineering*, McGraw-Hill Companies, America.
- Soncu, M.**, 2008: *G-X 10CrNiMoNb 18-10 Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Asidik Çözeltilerdeki Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Şen, M.**, 2010: *AISI 304 Tipi Ostenitik Paslanmaz Çeliklerde Soğuk Şekillendirme Miktarının Korozyon Üzerine Etkisinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Taban E., Kaluç, E., Deleu, E., and Dhooge, A.**, 2007: Yapısal uygulamalar için geliştirilen modifiye 12 Cr ferritik paslanmaz çeliğinin tozaltı kaynaklı bağlantılarının özellikleri, *Mühendis ve Makina*, 48: 3-9.
- Talbot, D., and Talbot, J.**, 1998: *Corrosion Science and Technology*, CRS Press, Boca Raton FL.
- Tehçi, T.**, 2011: *AISI 316 Serisi Ostenitik Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Parametrelerinin Nüfuziyete ve Mekanik Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Tsay, L. W., Lee, W. C., Shiue, R. K., and Wu, J. K.**, 2002: Notch tensile properties of laser-surface-annealed 17-4 PH stainless steel in hydrogen-related environments, *Corrosion Science*, 44: 2101-2118.
- Türkyılmazoğlu, A.**, 2006: *Dubleks, Martenzitik ve Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Ural, M., and Kaluç, E.**, 1996: Paslanmaz çeliklerin TIG yöntemi ile kaynağı, *Metal Makina*, Mart: 12-20.
- Url-1** <<http://www.atlassteel.com>> alındığı tarih 10.01.2013.
- Url-2** <<http://www.nickelinstitute.org>> alındığı tarih 01.02.2013.
- Url-3** <<http://www.askaynak.com.tr>> alındığı tarih 12.01.2013.
- Wang, Q., Liu, Y., Zhu, X., Li, S., Yu, S., Zhang, L., and Song, Y.**, 2009: Study on the effect of corrosion on the tensile properties of the 1.0 wt.% Yttrium modified AZ91 magnesium alloy, *Materials Science and Engineering A*, 517: 239-245.
- Wang, Q., Liu, Y. H., Zhang, L. N., Song, Y. L., Zhang, D. W., and Li, C. F.**; 2010: Study on the effect of corrosion on the tensile behavior of an AZ91 alloy, *Materials and Corrosion*, 61-3: 222-228.

- Yılmaz, N.**, 2006: *Çeşitli Paslanmaz Çeliklerin Biyokorozyonun İncelenmesi ve Direncinin Artırılması*, Bilim Uzmanlığı Çalışması, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Yılmaz, R., and Uzun, H.**, 2002: Mechanical properties of austenitic stainless steels welded by GMAW and GTAW, *Journal of Marmara for Pure and Applied Sciences*, 18:97-113.
- Yılmaz, R., and Barlas, Z.**, 2005: Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz kompozisyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi, *Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11-3: 391-400.
- Yılmaz, R., and Tehçi, T.**, 2012 : Ostenitik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında kaynak akımı ve kompozisyonun nüfuziyete etkisi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 16-1: 53-61.
- Yüksel, M.**, 2002: *Malzeme Bilgisi*, Yayın No: 2002/271-1, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara.
- Yüksel, M., and Meran, C.**, 2010: *Malzeme Bilgisi*, Yayın No: 2010/57, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Ankara.



ZGEMIŐ

Ad Soyad: Murat TÜRKAN

Doğum Yeri ve Tarihi: Burdur / 17 Temmuz 1986

Adres: Bahçelievler Mahallesi İbnisina Caddesi No: 3/6
BURDUR/Merkez

Lisans: Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık
Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü (2010)