

Mehmet Ali EZER



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**GAZ METAL ARK
KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN
AISI 304 ÖSTENİTİK
PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN
İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Mehmet Ali EZER

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

OCAK 2021

OCAK 2021



**GAZ METAL ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI 304 ÖSTENİTİK
PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN İÇYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet Ali EZER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

Mehmet Ali EZER tarafından hazırlanan “GAZ METAL ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile İskenderun Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Gürel ÇAM

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Başkan: Doç. Dr. Ahmet ÇAKAN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Doç. Dr. Önder ALBAYRAK

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Doç. Dr. Erdoğan KANCA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Doç. Dr. Ali GÜNEN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 22/01/2021

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

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülediğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Mehmet Ali EZER

22/01/2021

GAZ METAL ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN AISI 304 ÖSTENİTİK
PASLANMAZ ÇELİK LEVHALARIN İÇYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Mehmet Ali EZER

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

ÖZET

Östenitik paslanmaz çelikler düşük sıcaklıklarda bile şekil verilebilme, üstün mekanik özellikler ve yüksek korozyon dayanımı gibi oldukça iyi özelliklere sahiptir. Tüm paslanmaz çelikler arasında en fazla üretilen östenitik çeliklerdir ve östenitik paslanmaz çelikler arasında da en yaygın kullanılan AISI 304 kalitedir. Bu çelikler kimya ve petro-kimya sanayi, gıda işleme sanayi, makine ve imalat sanayi, dişçilik ve tıbbi cihazlar, mutfak gereçleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ancak, bu çeliklerin ergitme kaynağında ısıdan etkilenmiş bölgede karbür çökmesi, kaynak dikişinde sıcak çatlama ve kırılğan sigma fazı oluşumu kaynak bölgesinde aşırı mukavemet kaybı gibi problemlerle karşılaşmaktadır. Ark kaynağında söz konusu olan aşırı ısı girdisi bu problemlerin oluşumunu daha da artırmaktadır. Dolayısıyla, bu alaşımların başarılı bir şekilde ticari ergitme kaynakları ile kaynaklanabilir olması oldukça önemlidir.

Bu çalışmanın amacı AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhaların gaz metal ark kaynağında ısı girdisinin kaynak bölgesindeki içyapı oluşumuna ve kaynaklı bağlantının mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesidir. Buna yönelik, 5 mm kalınlığındaki AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhalar farklı ısı girdisi kullanılarak birleştirilmiştir. Kaynaklı levhaların kaynak bölgesindeki içyapılar ve mekanik özellikleri detaylı optik mikroskop çalışmaları, mikrosertlik ölçümleri, çekme ve bükme deneyleri ile incelenmiştir. Böylece, bu çeliklerin gaz metal ark kaynağında hatasız kaynaklı bağlantı elde etmek için gerekli optimum ısı girdisi belirlenmeye çalışılmıştır

Anahtar Kelimeler : Paslanmaz çelik, AISI 304, ark kaynağı, ısı girdisi, karbür çökmesi

Sayfa Adedi : 54

Danışman : Prof. Dr. Gürel ÇAM

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF GAS
METAL ARC WELDED AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL PLATES
(Master's Thesis)

Mehmet Ali EZER

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
ENGINEERING AND SCIENCE INSTITUTE

January 2021

ABSTRACT

Austenitic stainless steels exhibit very good properties such as very good formability even at low temperatures, good mechanical properties and high corrosion resistance. Austenitic steels are the grades which are produced the most in quantity among all stainless steels and AISI 304 is the most widely used grade among the austenitic stainless steel grades. They are used widely in several industries such as chemistry and petro-chemistry industries, food processing industry, machinery and manufacturing industry, medical and dental equipments and kitchenware. However, several difficulties such as carbide precipitation along the grain boundaries in heat affected zone, and hot cracking and formation of brittle sigma phase in the fusion zone are encountered in fusion joining of these steels. High heat inputs involved in arc welding may even increase the occurrence of these problems. Thus, successful joining of these alloys using conventional fusion welding methods is rather important.

This study aims at investigating the influence of heat input on microstructural evolution in the weld region and the mechanical properties of the welded joints in gas metal arc welding of AISI 304 austenitic stainless steel plates. For this purpose, AISI 304 austenitic steel plates with a thickness of 5 mm were joined using different heat input values. The microstructures in the weld region and mechanical properties of the welded plates were investigated by detailed optical microscopy investigations, micro-hardness measurements, tensile and bending tests. Thus, it was attempted to determine the optimum heat input required for obtaining sound welded joints in gas metal arc welding of these steels

Key Words : Stainless steel, AISI 304, arc welding, heat input, carbide precipitation
Page Number : 54
Supervisor : Prof. Dr. Gürel ÇAM

TEŞEKKÜR

Yaşama, üretme ve çalışma azmi ile her zaman kendime örnek aldığım, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi ve birikimleri ile bana her zaman yol gösterici olan çok kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Gürel Çam'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca, tez çalışmamda sahip olduğu tecrübeleri ile desteğini hiç esirgemeyen Dr. H. Tarık SERİNDAĞ ve Dr. Mehmet DEMİR'e de teşekkürleri sunarım. Tez kapsamındaki deneysel çalışmalar (içyapı incelemeleri, çekme ve bükme deneyleri) için gerekli teknik imkanların sağlanması konusunda bana yardımcı olan Noksel Çelik Boru A.Ş.'den Tuğrul YAZGAN beye ve kaynak işlemlerindeki yardımları için Kahraman Sarsılmaz Makine'den kıymetli arkadaşım H. Gizem Sarsılmaz'a müteşekkirim.

Son olarak, hayatım boyunca desteklerini benden bir an olsun esirgemeyen kıymetli aileme (babam Yusuf Ezer, annem Emire Ezer ve abim Ahmet Esat Ezer) sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Paslanmaz Çelik Türleri ve Kullanım Alanları.....	3
2.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler.....	5
2.1.2. Martenzitik paslanmaz çelikler.....	5
2.1.3. Çökelme sertleştirilmesi yapılan paslanmaz çelikler.....	5
2.1.4. Dupleks paslanmaz çelikler.....	5
2.1.5. Östenitik paslanmaz çelikler.....	6
2.2. Gaz Metal Ark Kaynağı Yöntemi.....	7
2.3. Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kaynak Kabiliyeti ve Karşılaşılan Problemler.....	9
2.3.1. Sıcak çatlama.....	10
2.3.2. Gevrek sigma fazı oluşumu.....	10
2.3.3. Isıdan etkilenen bölgede (IEB’de) krom karbür çökmesi.....	12
2.4. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Ark Kaynağı Konusundaki Çalışmalar.....	13

	Sayfa
3. MATERYAL VE METOD.....	16
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	20
4.1. İçyapı Özellikleri.....	20
4.2. Mekanik Özellikler.....	27
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	34
5.1. Sonuçlar.....	34
5.2. Öneriler.....	36
KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ.....	39

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanılan paslanmaz çelik türleri ve kullanım alanları	4
Çizelge 3.1. Bu çalışmada kullanılan AISI 304 kalite östenitik çelik plakının ve ilave telin kimyasal bileşimi	16
Çizelge 3.2. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri.....	17
Çizelge 4.1. Çekme deneyi sonuçları.....	29



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. AISI 304 malzemeden üretilen bir süt tankı.....	6
Şekil 2.2. Bazı östenitik paslanmaz çelik türleri.....	8
Şekil 2.3. Gaz metal ark kaynağının şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.4. Nikel-kromlu çelikler için Schaeffler diyagramı.....	10
Şekil 2.5. Tane sınırlarında oluşan krom karbür çökmesi.....	12
Şekil 3.1. Plakaların kaynak denemeleri için hazırlanması.....	16
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan seramik altlık.....	17
Şekil 3.3. Birleştirilen levhalardan test numunelerinin çıkarılışının şematik gösterimi.....	18
Şekil 3.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktaları gösteren şematik çizim...	19
Şekil 4.1. Baz levha içyapısını gösteren optik mikroskop görüntüleri: (a) 10X büyütme (b) 20X büyütme.....	21
Şekil 4.2. İki farklı ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak kesitlerini gösteren makro resimler: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi.....	22
Şekil 4.3. Düşük ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantının ergime bölgesinde oluşan içyapıyı gösteren optik mikroskop görüntüleri: (a) 10X büyütme ve (b) 20X büyütme.....	23
Şekil 4.4. Yüksek ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantının ergime bölgesinde oluşan içyapıyı gösteren optik mikroskop görüntüleri: (a) 10X büyütme ve (b) 20X büyütme.....	24
Şekil 4.5. İki farklı ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantıların IEB'lerini gösteren düşük büyütme (10X) mikro resimler: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi.....	25
Şekil 4.6. İki farklı ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantıların IEB'lerini gösteren yüksek büyütme (20X) mikro resimler: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi.....	26
Şekil 4.7. Her iki bağlantıda farklı bölgelerde yapılan sertlik ölçümleri ile belirlenen sertlik dağılımları: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi.....	28

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. Baz plakadan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonrası görünümü.	30
Şekil 4.9. Düşük ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonrası kırılmanın baz plaka içerisinde gerçekleştiğini gösteren makro resimler.....	30
Şekil 4.10. Yüksek ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonrası kırılmanın baz plaka içerisinde gerçekleştiğini gösteren makro resimler.....	30
Şekil 4.11. Baz plakadan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen gerilme-yüzde uzama eğrileri.....	31
Şekil 4.12. Düşük ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen gerilme-yüzde uzama eğrileri.....	31
Şekil 4.13. Yüksek ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen gerilme-yüzde uzama eğrileri.....	32
Şekil 4.14. Düşük ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan bükme numunelerinin test sonrası görünümü: a) Yüzey bükme ve (b) Kök bükme.....	32
Şekil 4.15. Yüksek ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan bükme numunelerinin test sonrası görünümü: (a) Yüzey bükme ve (b) Kök bükme.....	33

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

mm^2	Milimetre kare
MPa	Mega Pascal
mm	Milimetre
$^{\circ}C$	Santigrat derece
χ	Chi
σ	Sigma

Kısaltmalar

Açıklamalar

AISI	American Iron and Steel Institute
GMAW	Gas Metal Arc Welding
GMAK	Gaz Metal Ark Kaynağı
MIG	Metal İnert Gaz
MAG	Metal Aktif Gaz
IEB	Isıdan Etkilenen Bölge
ISO	International Organization for Standardization
(Cr _{eş})	Krom Eşdeğeri
(Ni _{eş})	Nikel Eşdeğeri
C	Karbon
Si	Silisyum
Mn	Mangan
P	Fosfor
Ni	Nikel
Nb	Niobyum
Cu	Bakır

Cr

Krom

S

Kükürt

Mo

Molibden



1. GİRİŞ

Günümüzde paslanmaz çelik üretimini ve kullanımını etkileyen en genel ve en büyük makro-çevresel faktör dünya nüfusunun devamlı olarak bir artış eğiliminde olmasıdır. Uygarlığın insan yapımı maddelerine baktığımızda paslanmaz çelik parçalar mutlaka karşımıza çıkacaktır. Nüfus arttıkça, bu maddelere olan talep de artmaktadır. Paslanmaz çelikler uzun ömürlü olmaları, korozyona karşı dirençleri ve hijyenik özellikleri dolayısı ile inşaat, gıda üretimi, altyapı ve otomotiv sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanının bu denli geniş olması bu konuda farklı birleştirme yöntemleri ve farklı malzemeler kullanılarak çalışmalar yapılmasına olanak sağlamıştır.

Yaşar (2017), yaptığı çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliğinin nokta direnç kaynağı kullanılarak birleştirilmesi işleminde kaynak parametrelerinin bağlantı mukavemetinin yanı sıra estetik açıdan istenmeyen kaynak izi üzerine etkisini araştırmıştır. İzsiz direnç nokta kaynağı için en uygun ekipmanın ve kaynak parametrelerinin seçilmesinin önemi vurgulanmış, ancak optimum kaynak parametreleri rapor edilmemiştir. (Yaşar, 2017)

Çimen (2015), gerçekleştirdiği çalışmada AISI 304, AISI 430 ve AISI 1050 tip paslanmaz çelikleri yakma alın kaynağı yöntemi ile kaynak parametrelerini sabit tutarak bir araya getirmiş ve bir araya getirilen malzemelerin sertlik, çekme mukavemeti ve mikroyapı özelliklerini inceleyerek kıyaslamasını yapmıştır. AISI 304 ve AISI 1050 çeliklerin kaynaklı bağlantılarında en yüksek sertlik değerleri ısıdan etkilenen bölgede (IEB'de) tespit edilirken, diğer bir deyişle kaynak bölgesinde sertlik artışı gözlenirken, AISI 430 paslanmaz çelik bağlantıda kaynak bölgesinde sertlik değerinde düşüş gerçekleşmiştir. Ayrıca, en yüksek çekme dayanımı AISI 1050 kaynaklı bağlantı tarafından gösterilirken, en düşük çekme dayanımını AISI 304 kaynaklı bağlantı göstermiştir. (Çimen, 2015)

Yiğittürk (2016), çalışmasında yüksek toklukta balistik bir zırh çeliği olan Ramor 500 ile AISI 304 tip östenitik paslanmaz çeliği plazma transfer ark kaynağı yöntemini kullanarak herhangi bir ilave tel kullanmaksızın birleştirmiş, içyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Birbirinden farklı kimyasal kompozisyonlara sahip bu iki çeliğin plazma transfer ark kaynağı yöntemi ile kaynağında, akım şiddeti, plazma gaz debisi, kaynak ilerleme hızı gibi faktörlerin kaynak dayanımını belirlediği tespit edilmiştir. En iyi sonuç

(hatasız tam nüfuziyetli kaynaklı bağlantı elde edilmesi ve en yüksek çekme dayanımı) 140A'lık bir akım kullanılarak yapılan birleştirmede elde edilmiştir. (Yiğittürk, 2016)

Kaya (2010), yüksek maliyetli AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin sarfiyatının azaltılması amacı ile AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ile genel yapı çeliği St 60 çeliklerini sürtünme kaynağı ile birleştirmiş, kaynaklı bağlantı numunelerinde yürüttüğü EDS (energy dispersive spectrometry) analizleri ve çekme deneyleri ile kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere etkilerinin belirlenmesini hedeflemiştir. Bu kapsamda, artan sürtünme basıncı ve yığıma basıncı ile sürtünme kaynaklı bağlantının çekme dayanımının arttığı tespit edilmiştir. (Kaya, 2010)

Kullanımları giderek yaygınlaşan paslanmaz çeliklerin tüketimi, günümüzde toplumlarda refah seviyesinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Dünyada yılda 20 milyon ton civarında paslanmaz çelik tüketilmektedir. Bunların büyük çoğunluğu yassı mamul biçimindedir. Daha az miktarlarda ise; çubuk, tel, boru, dövme parça ve döküm parça olarak kullanımı yapılmaktadır. Paslanmaz çelikler diğer çeliklere oranla fiyat bakımından daha pahalıdır, ancak bakımlarının ucuz ve kolay olması, uzun ömürlü olmaları, tümüyle geri kazanılabilmeleri ve çevre dostu bir malzeme olmaları çok büyük avantajlar sunar. Bunun neticesinde bir parçanın tüm ömrü dikkate alınarak yapılacak fiyat analizlerinde, tasarımlarda paslanmaz çelik kullanmanın daha ekonomik olduğu görülmüştür. (Aran & Temel, 2004)

Bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmakta olup birinci ve ikinci bölümde paslanmaz çelikler hakkında genel bilgiler ve geçmiş dönem çalışmaları verilmiştir. Daha sonra çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde ise birleştirme sonrası bağlantı bölgesinden numuneler alınıp incelenmiştir. Beşinci ve son bölümde çalışma ile ilgili bir değerlendirme yapılmış ve konu hakkında öneriler paylaşılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, dört alt başlıkta altında sırasıyla, paslanmaz çelik türleri ve kullanım alanları, gaz metal ark kaynağı yöntemi, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti ile östenitik paslanmaz çeliklerin ergitme kaynağında karşılaşılan problemler ve östenitik paslanmaz çeliklerin ark kaynağı konusunda daha önce yapılmış çalışmalar göz önünde bulundurularak tartışılacaktır.

2.1. Paslanmaz Çelik Türleri ve Kullanım Alanları

Demir-krom alaşımlarının paslanmaya karşı olan direnci 1821 yılında Pierre Berthier tarafından fark edilmiştir. O dönemdeki teknoloji, bugünkü gibi krom ile demiri işlemeye yetmediği için kullanıma geçilememiştir. 1890'lı yıllarda Hans Goldschmidt araştırmalarında karbonsuz krom üretiminin başlamasına ışık tutan aluminotermik yöntemini bulmuştur. Bu tarihten sonrasında paslanmaz çelikler ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. (Baran, 2019)

Paslanmaz çelikler yüksek alaşımlı çeliklerin yüksek korozyon direncine sahip bir grubu olarak ortaya çıkmıştır. Çeliklerde ana alaşım elementi olan kromun yüzdesi genel olarak %15'in üzerindedir. Alaşımda krom ince bir oksit tabakası oluşturarak yüzeyi korozif etkilere karşı muhafaza eder. Bazı paslanmaz çelik türlerinde nikel paslanma direncini arttıran bir diğer element olarak alaşıma ilave edilir. Karbon ise metalin sertliğini ve dayanıklılığını artırırken alaşım içerisindeki karbon miktarının yükselmesi alaşımdaki serbest krom miktarını krom karbür oluşumu sebebiyle azaltacağından paslanmaya karşı direnci de düşürecektir. Paslanma dirençlerinin yanı sıra paslanmaz çelikler dayanım ve süneklikleri ile de dikkat çekerler. Bu özellikleri ile birçok uygulamada tercih sebebi olsalar da imalat sırasında işleme zorluğu yaratırlar. Ayrıca paslanmaz çelikler sade karbonlu veya düşük alaşımlı çeliklere nazaran oldukça maliyetlidirler. Sık kullanılan paslanmaz çelik türleri ve kullanım alanları Çizelge 2.1 de verilmiştir. Paslanmaz çelikler genel olarak 5 ana gruba ayrılırlar. Bunlar:

- Ferritik
- Martenzitik
- Çökelme sertleştirilmesi yapılan
- Dupleks ve
- Östenitik paslanmaz çeliklerdir.

Çizelge 2.1. Endüstriyel uygulamalarda yaygın kullanılan paslanmaz çelik türleri ve kullanım alanları (Emet, 2019)

AISI Gösterimi	Özellikleri	Uygulama Alanları
304	Paslanmaz çeliğin en yaygın çeşididir. 450° C'ye kadar yüksek oksidasyon mukavemeti sağlar.	Gıda, mutfak, mutfak eşyaları, ev eşyaları, otomotiv ve tıp endüstrisinde, evye üretiminde kullanılmaktadır.
304L	AISI 304'ün düşük karbonlu versiyonudur.	Depolama tankları ve kazanlar için uygunluk gösterir. Genellikle 400° C'nin altındaki sıcaklıklarda kullanılır.
316	İçerdiği molibden sayesinde mukavemeti çok yüksektir. 650° C'ye kadar yüksek oksidasyon mukavemeti sağlar.	Kimya, petro-kimya ve gıda sanayinde kullanılır. Buhar kazanlarında, mutfaklarda ve cephe kaplamalarında kullanılır.
316L	AISI 316'nın düşük karbonlu versiyonudur. Ancak 450° C'ye kadar yüksek oksidasyon mukavemeti sağlar.	Kimya, petro-kimya, gıda endüstrisinde, deniz ve endüstriyel atmosfer şartlarında kullanılmaktadır.
316Ti	İçerdiği titanyum sayesinde korozyon hassasiyeti oluşmaz. 650° C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda sürekli kullanılabilir.	Kimya, petro-kimya, kömür, selüloz, tekstil, reçine ve lastik sanayinde kullanılır.
309/309S	1050° C'ye kadar olan sıcaklıklarda oksidasyon mukavemeti yüksektir. Kükürtlü ve azotlu gazlara karşı mukavemet gösterir. Çekme dayanımı ve sürünme özellikleri iyidir	Fırın yapımında, ısıtıcılarda, sementasyon kutularında ve yüksek sıcaklıkta kullanılacak malzemelerde kullanılır
310/310S	AISI 304'e benzerlik gösterse de yüksek sıcaklık malzemesidir. 1200° C'ye kadar kullanılır. Özellikle kaynak kabiliyeti ve korozyon dayanımı yüksektir.	Fırın yapımında, buhar kazanlarında, petrol tesislerinde ve boru hatlarında kullanılır.
321	İçerdiği titanyum sayesinde korozyon hassasiyeti oluşmaz. 1000° C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda sürekli kullanılabilir. Kaynak kabiliyeti gaz eritme dışındaki yöntemler için çok iyidir.	Gıda, içki ve fotoğraf sanayinde kullanılır. Ayrıca kimya endüstrisinde de kullanılır.
430	Temel ferritik paslanmaz çelik kalitesidir. Korozyon dayanımı yeterlidir.	Otomotiv sanayinde, mutfak aletlerinde ve dekoratif uygulamalarda kullanılır.
430Ti	İçerdiği titanyum sayesinde korozyon hassasiyeti oluşmaz. Isı iletkenliği iyidir. Yüksek sıcaklık dayanımı iyidir. Kaynak kabiliyeti orta seviyededir.	Sıcak su sistemlerinde, eksoz borularında ve de çamaşır makinelerin de kullanılabilir.

2.1.1. Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonlarında %15 ile % 20 arlığında krom, düşük miktarda karbon bulunur ve bu türde nikel bulunmaz. Bu kimyasal kompozisyon onların oda sıcaklığında ferritik fazda kalmalarını sağlar. Ferritik paslanmaz çelikler manyetik olup süneklikleri düşüktür. Ayrıca, östenitik paslanmaz çeliklere göre paslanmaya karşı daha dirençlidirler. Mutfak malzemelerinden jet motorlarına varana kadar geniş bir kullanım alanları mevcuttur. (Groover, 2016)

2.1.2. Martenzitik paslanmaz çelikler

Martenzitik paslanmaz çeliklerde ferritik paslanmaz çeliklerde olduğu gibi krom bulunur fakat nikel bulunmaz fakat bu türde krom miktarı %18 in altındadır. Bu türdeki çelikler oldukça dayanıklıdır ve oldukça yüksek yorulma direncine sahiptir fakat diğer iki gruba kıyasla paslanma dirençleri daha kötüdür. Tipik kullanım alanları arasında bıçaklar ve ameliyat ekipmanları bulunur bunlar haricinde sürünme dayanımı gerektiren uygulamalarda, petrol ve gaz endüstrilerinde yüksek erozyon ve korozyon direnci gerektiren alanlarda tercih edilebilirler. (Groover, 2016)

2.1.3. Çökeltme sertleştirme yapılan paslanmaz çelikler

Bu tür paslanmaz çelikler kimyasal bileşimlerinde genellikle %17 krom ve %7 nikel ihtiva ederler (Groover, 2016). Kimyasal bileşimlerinde az miktarda bakır, alüminyum, molibden ve titanyum gibi alaşım elementleri de bulunur. Paslanmaz çeliklerin bu türünü diğerlerinden ayıran özellikleri çökeltme sertleştirme yoluyla dayanımlarının artırılmasıdır. Isıl işlem sonucunda bir kısmında 850 ile 1700 MPa arasında bir çekme dayanımı ve 520 ile 1500 MPa arasında bir akma dayanımı elde edilir. Bu mukavemet değerleri 304, 316 tipi östenitik paslanmaz çeliklerin neredeyse 3,5 katıdır. Paslanmaz çeliklerin bu türü petrol ve gaz, nükleer enerji ve havacılık endüstrisinde yüksek mukavemet ve korozyon direnci gerektiren yerlerde tercih edilir. (Çam, 2020)

2.1.4. Dupleks paslanmaz çelikler

Bu tür çeliklerin içyapısı %50 ferrit ve % 50 östenit oluşturacak şekilde yapılandırılmıştır. Bu tür çelikler ferritik olarak katılaştır ve katı halde ısı kaybettikçe ferritin bir kısmı östenite dönüşür ve %50ferrit-%50östenit yapısı çözeltiye alma tavı sonrasında su verme

yolu ile oda sıcaklığında oluşur. Dupleks (çift fazlı) paslanmaz çeliklerde östenitik sınıflarinkine benzer bir paslanma direnci görülür ayrıca stres-paslanma çatlamlarına karşı iyileşmiş bir direnç görülür. Kullanım alanları arasında ısı eşanjörleri, pompalar, atık su arıtma tesisleri örnek olarak gösterilebilir. (Çam, 2020)

2.1.5. Östenitik paslanmaz çelikler

Bu tür paslanmaz çelikler demire oda sıcaklığında östenit fazını kararlı hale getiren alaşım elementlerinin eklenmesi yolu ile üretilirler. Mangan, karbon ve azot östenit fazını stabilize eden elementlerdir. Östenitik paslanmaz çelikler kimyasal kompozisyonlarında %16-%26 aralığında krom ve %7-%22 aralığında da nikel başta olmak üzere çeşitli alaşım elementleri içerebilirler. Bu sebeple östenitik paslanmaz çelikler sahip oldukları kimyasal kompozisyon sayesinde diğer paslanmaz çelik türlerine oranla paslanmazlık dirençlerini daha yüksek değerlere taşımaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler manyetik değildirler ve oldukça sünekler fakat belirgin bir şekilde çalışma sertleşmesi gösteren bir türdür. Bu tür paslanmaz çelikler kimya ve gıda işleme cihazları gibi yüksek paslanma direnci gerektiren alanlarda yaygın olarak kullanılırlar (Şekil 2.1). AISI 301, AISI 302, AISI 316, AISI 321 ve bu çalışmada kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik grubundadır. (Çam, 2020) Östenitik paslanmaz çelikler yüzey merkezli kübik (YMK) kafes yapısına sahiptirler. (Emet, 2019)



Şekil 2.1. AISI 304 malzemeden üretilen bir süt tankı (Anonim, 2020)

Alaşım türleri ve kullanım alanlarının yaygınlığı nedeniyle östenitik paslanmaz çelikler piyasada en fazla tercih edilen elik türü olmaktadır. 300 serisi östenitik paslanmaz çelikler nikel ve krom ihtiva ederken 200 serisi paslanmaz çeliklerde manganez ve nikel bulunmaktadır. Bu nedenle 300 serisi çelikler, 200 serisi çeliklere göre soğuk şekillendirmeye elverişli değildir. (Baran, 2019)

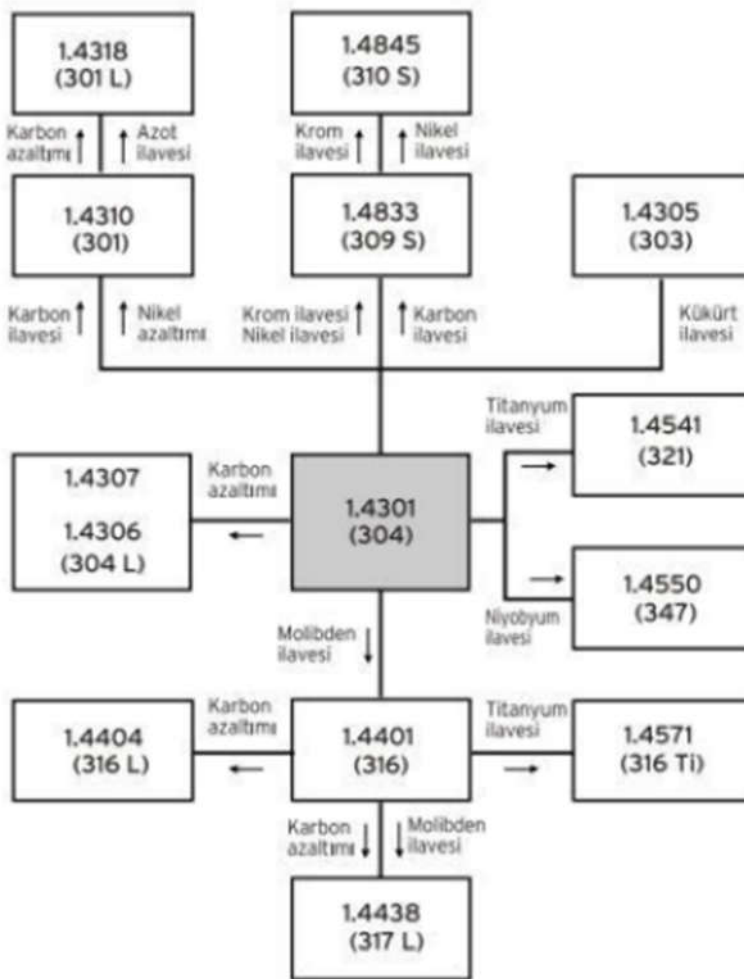
Bu eliklerde korozyonu önlemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı etkisi, östenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, 304 kalite çeliklere molibden katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir ve klorürlü ortamda noktasal korozyona dayanım sağlanır. 309 ve 310 kaliteleri gibi yüksek kromlu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda ve oksitleyici ortamlarda kullanılır. Yüksek oranda nikelli alaşımlar ise indirgeyici asidik ortamlarda tercih edilirler. Ancak bu amaçla, kuvvetli bir östenit yapıcı olmasına karşın karbon miktarı artırılmaz, çünkü bu element karbür oluşturarak korozyon dayanımını zayıflatır. Bunun yerine aynı zamanda oksitleyici ve indirgeyici asitlere de dayanıklı olan nikelden yararlanır. 904L gibi yüksek oranda nikel, yüksek molibden (> %6) ve azot (nitrojen) içeren alaşımlara süper stenitikler de denir. 321 ve 347 kalitelerde karbonu stabilize etmek ve dolayısıyla yüksek sıcaklıkta taneler arası korozyonu önlemek amacıyla titanyum ve niyobyum eklenir. ‘‘L’’ ve ‘‘S’’ uzantılı alaşımlarda (304L, 309S gibi) taneler arası korozyonu önlemek için karbon oranını düşük tutma yoluna gidilmiştir. (Yorulmazel, 2007)

2.2. Gaz Metal Ark Kaynağı Yöntemi

Kaynağın tanımı iki veya daha fazla malzemenin temas halindeki yüzeyleri arasında uygun bir ısı veya basınç kullanılarak malzemelerin birleştirilmesi olarak yapılabilir. Kaynak işlemi kalıcı bir birleştirme yöntemidir ve kaynak ile birleştirilen malzemeler tek parça haline getirilir. Kaynak işlemi malzemelerin birleştirilmesi için genellikle en ekonomik yöntemdir ve uygulanması sadece fabrika ortamı ile sınırlı olmayıp sahada da uygulanabilir.

Bu çalışmada bir gazaltı ark kaynak yöntemi olan gaz metal ark kaynağı (GMAK) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, 1940’lı yılların başında geliştirilmiş olan bir ark kaynağı metodudur. Bu yöntemde makaraya sarılı olan çıplak tel sürekli ve otomatik bir şekilde beslenirken kaynak dikişini atmosferin olumsuz etkilerinden korumak için kaynak torçunun tel elektrot çevresindeki delikler yardımıyla bir koruyucu gaz ile beslenir. Bu

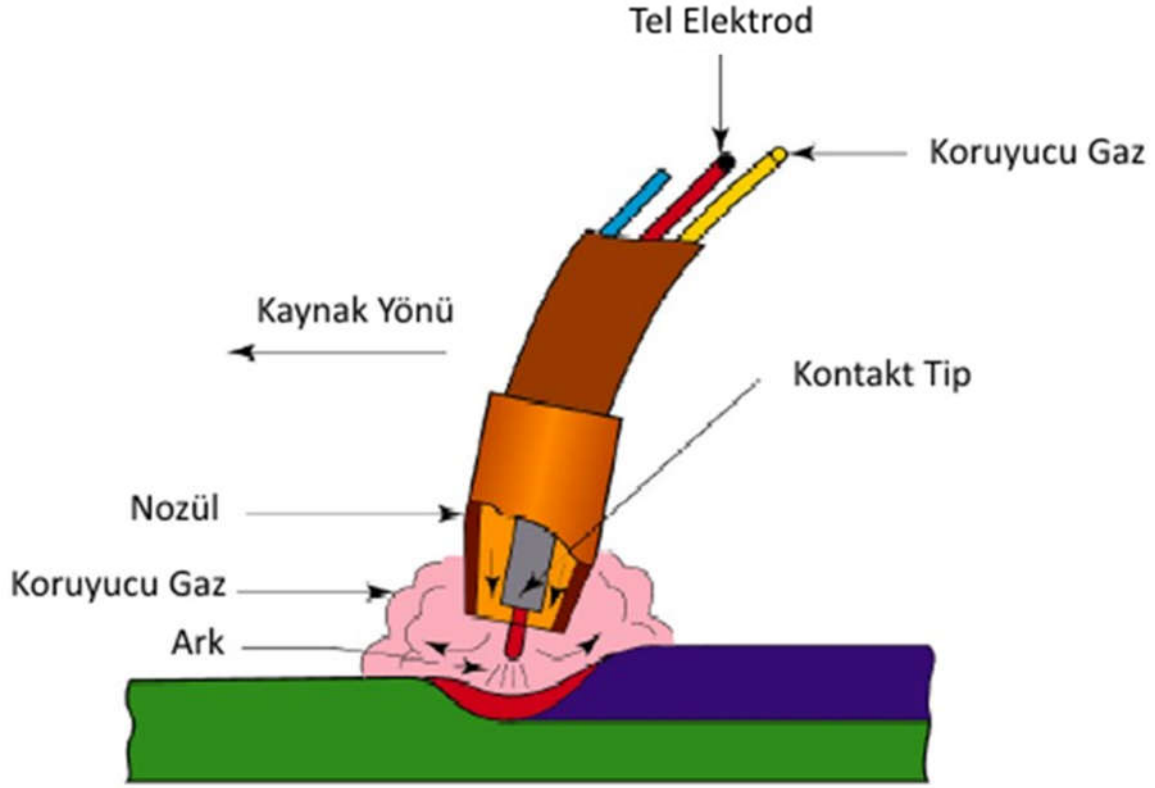
yöntemde kullanılan çıplak tel elektrot aynı zamanda bir dolgu malzemesidir, yöntemde kullanılan tel elektrotların çapı 0.8 ile 6.5 mm arasında değişir. Kullanılacak olan telin çapı kaynak yapılacak olan malzemenin kalınlığına ve istenilen kaynak hızına göre ayarlanır. Kaynak işlemi sırasında koruyucu gaz olarak argon ve helyum gibi inert gazlar ya da bazı durumlarda karbondioksit gibi aktif gazlar kullanılabilir. Alüminyum alaşımları ve paslanmaz çeliklerin kaynağında inert gazlar kullanılır iken çeliklerin gaz metal ark kaynağında sıvı metal sıçramasını engellemek ve arkın kararlılığını sağlamak adına iner gazlara bir miktar karbondioksit ve oksijen ilavesi yapılır.



Şekil 2.2. Bazı östenitik paslanmaz çelik türleri (Yorulmazel, 2007)

Bu yöntem ilk çıktığı zamanlarda alüminyumı kaynak etmek için inert bir gaz olan argon gazı kullanıldığı için yönteme MIG (metal inert gaz) adı verilmiştir. Aynı yıllarda bu yöntemin çelik malzemelere uygulanmasında daha az maliyetli bir gaz olan karbondioksit

kullanılmış ve bu yöntem daha yaygın olarak MAG (metal aktif gaz) olarak isimlendirilmiştir. Gaz metal ark kaynağının şematik gösterimi Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Gaz metal ark kaynağının şematik gösterimi (Çam, 2020)

2.3. Östenitik Paslanmaz Çeliğin Kaynak Kabiliyeti ve Karşılaşılan Problemler

Kaynaklı yapılarda karşılaşılan kırılma olaylarında, kırılmanın, kaynak bölgesinde her zaman ısıdan etkilenmiş bölgede mevcut olan bir hatadan veya meydana gelen bir çatlaktan başlayarak geliştiği saptanmıştır. Kaynaklı yapılarda bu tür kırılmaların oluşmaması için, kaynak sırasında, ısıdan etkilenmiş bölgede oluşan olayların iyi bilinmesi, ortaya çıkan yapının mekanik özelliklerinin hassas bir şekilde saptanması ve bunların bir dizayn kriteri hesaba katılması çok önemlidir. Bu konuya daha uygun bir çözüm ise, ısıdan etkilenmiş bölgenin özellikleri, bu tür olaylara neden olmayacak türde malzemelerin geliştirilmesi yolunda çaba göstermektir. (Aydın, 2002)

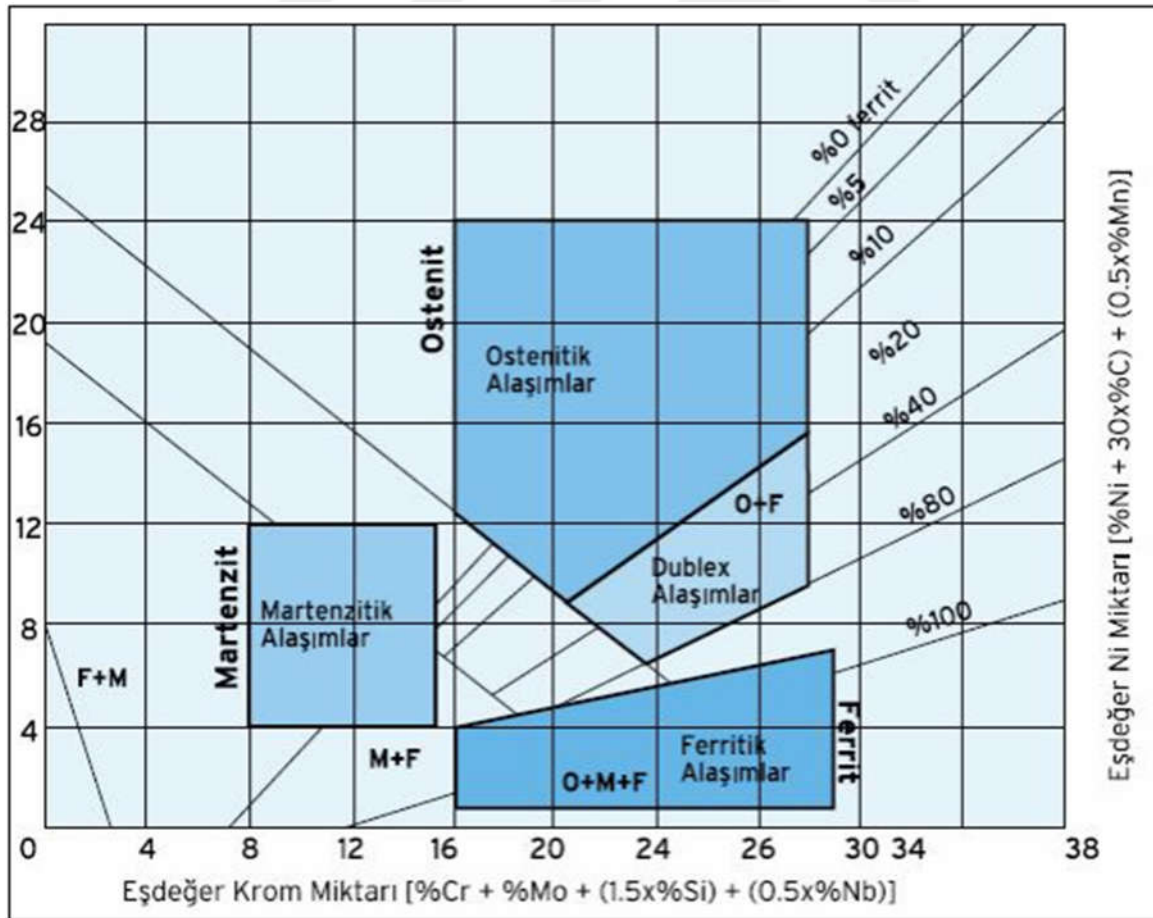
Östenitik paslanmaz çeliklerde alaşım elementleri östenit fazı oluşumunu tetikleyen ve ferrit fazı oluşumunu destekleyenler olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu alaşım elementlerinden Ni, C, Mn ve N ana östenit oluşum fazını kararlı kılarken Cr, Si, Mo ve Nb ferrit fazını kararlı kılmaktadır. Bu elementlerin alaşımın kimyasal kompozisyonundaki

oranları ayarlanarak iç yapı tamamı ile östenitik ya da çok az delta ferrit içeren bir yapı elde edilebilir. Anton Schaeffler 1949 yılında bu elementlere bağlı olarak fazların oranlarını gösteren bir diyagram oluşturmuştur. Schaeffler diyagramı olarak bilinen bu diyagram Şekil 2.3 de gösterilmiş olup bu diyagramdan faydalanılarak kaynak dikişindeki iç yapının belirlenmesi mümkündür. Bu diyagramı kullanarak paslanmaz çeliğin ve eğer kullanılmış ise ilave telin kimyasını göz önünde bulundurmak kaydıyla Krom eş değeri ($Cr_{eş}$) ve nikel eş değeri ($Ni_{eş}$) aşağıda sunulan eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir.

$$(Cr)_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5(\% Si) + 0.5(\% Nb) \quad (2.1)$$

$$(Ni)_{eş} = \% Ni + 30(\% C) + 0.5(\% Mn) \quad (2.2)$$

Bu hesaplardan çıkan değerler kullanılarak ($Ni_{eş}$) değerinden yatayda ($Cr_{eş}$) değerinden dikey doğrultuda iki doğrusal çizgi çekilir ve bu çizgilerin kesişim noktası bize kaynak bölgesinde oluşacak iç yapının belirlenmesine olanak sağlar.



Şekil 2.4. Nikel-kromlu çelikler için Schaeffler diyagramı (Yorulmazel, 2007)

Bu diyagram ark kaynağı gibi geleneksel kaynak metotlarında kullanıma uygunken yüksek soğuma hızının olduğu lazer kaynağı gibi türlerde kullanılmamalıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında genel olarak üç problemle karşılaşmaktadır. Bunlar:

- Sıcak çatlama
- Gevrek sigma fazı oluşumu ve
- Isıdan etkilenen bölgede (IEB'de) krom karbür çökmesidir.

2.3.1 Sıcak çatlama

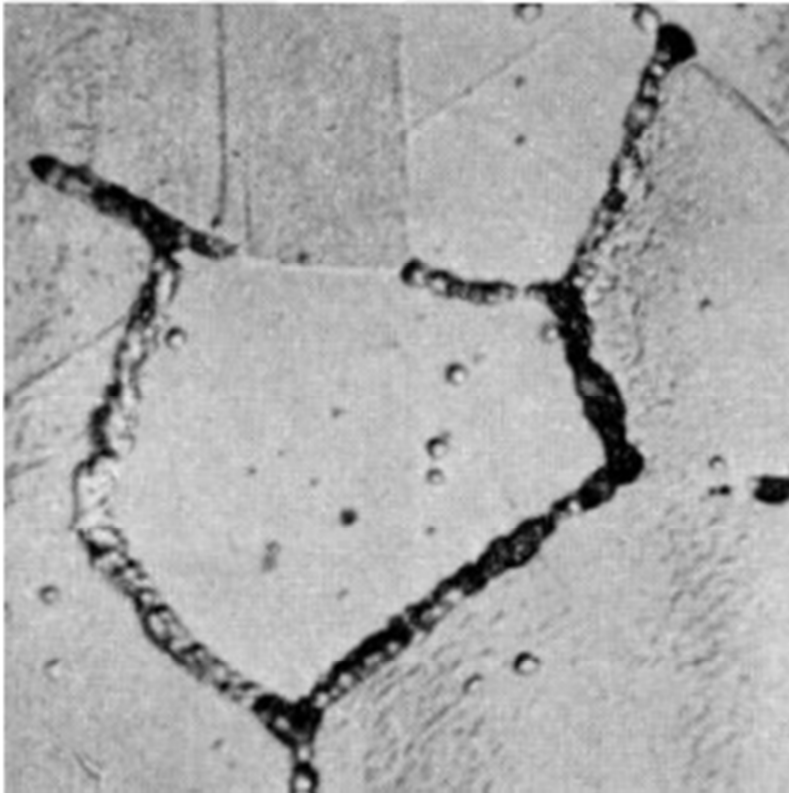
Sıcak çatlama olarak tanımlanan sorunun ana nedeni kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler oluşturması ve bu bileşiklerin tane sınırlarında toplanma eğilimi göstermeleridir. Östenitik paslanmaz çeliklerin tamamında sıcak çatlama görülür fakat Schaeffler diyagramında tamamen östenitik bölgede kalan türler diğerlerine oranla daha fazla sıcak çatlama eğilimi gösterirler. Kükürt ve fosfor elementlerinin oluşturduğu bu bileşimler kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede meydana gelmişse bunlar tane sınırlarına doğru yayılım gösterir ve kaynak dikişinde soğuma gerçekleşirken çekme gerilmeleri oluşur bunun neticesinde çatlamlar meydana gelir. Sıcak çatlama S ve P elementlerinden kaynaklandığı için bu elementlerin düşürülmesi ile bu sorun giderilebilir.

2.3.2 Gevrek sigma fazı oluşumu

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde görülmesinin yanı sıra, %9'dan daha az nikel içeren östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde de kaynak bölgesinde sigma fazının oluşması, bu tür çeliklerin de kaynak edilebilirliklerini olumsuz yönde etkiler. (Aydın, 2002). 'Sigma' (σ) ve 'çi' (γ) chi fazlarının oluşumu kaynak bölgesinde gevrekleşmeye diğer bir deyişle gevrek faz oluşumuna neden olur. Bu gevrek fazlar 500-900 °C arasındaki sıcaklıklarda meydana gelir fakat bu fazlar oldukça yavaş bir şekilde meydana gelir. Bundan ötürü bu fazlar östenitik paslanmaz çelik türlerinde kaynak esnasında değil gerilim giderme tavı esnasında meydana gelir. Cr ve Mo gibi ferrit oluşturan elementler bu gevrek fazın oluşumunda hızlandırıcı bir etki yapar. Bu sebeple sigma fazı oluşumuna 310 ve 316 tipi östenitik paslanmaz çelik tiplerinde rastlanır.

2.3.3 Isıdan etkilenen bölgede (IEB'de) krom karbür çökeltmesi

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında sıcak çatlama ve gevrek sigma fazı oluşumunun haricinde görülebilecek bir diğer kusurda IEB'de tane sınırlarına krom karbür çökeltmesi ve bunun sonucunda kaynaklı parçanın tane sınırında oluşabilecek korozyona karşı hassas bir yapı oluşmasıdır. Bu yapılar kaynak işlemi sırasında birleştirilen parçaların ısınması ve IEB'ler deki krom karbürlerin çözünüp kaynak bölgesinin soğuması ile beraber tekrar oluşmaya başlaması ile ortaya çıkar. Soğuma esnasında tekrar bir araya gelen bu krom karbür yapıları tane sınırlarına çökerler. Bu oluşum esnasında tane sınırlarına yakın olan bölgelerden bir miktar Cr çözüldüğü tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bu yer değişimi sonucunda bölgesel alanlarda Cr miktarında bir düşüş yaşanır bu düşüşle beraber korozyon dayanımı da olumsuz yönde etkilenir. Bu sorun kaynak sonrası ısıtma işlemi uygulanarak veya krom ile birleşip krom karbür oluşturan karbon elementinin yapıda minimal seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve dolgu metallerinin kullanımı ile önlenir. Şekil 2.5'de tane sınırlarında oluşan krom karbür çökeltmesi görülmektedir.



Şekil 2.5. Tane sınırlarında oluşan krom karbür çökeltmesi (Oğuz, 2018)

2.4. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Ark Kaynağı Konusundaki Çalışmalar

Östenik paslanmaz çeliklerin gaz metal ark kaynağı (GMAK) ile birleştirilmesi konusunda daha önce yapılmış olan çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu kısımda östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı konusunda yapılmış olan çalışmalar ele alınacaktır.

Ramdan ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada, AISI 304 paslanmaz çelik ile ASTM 53 (karbon çeliği olarak adlandırmışlardır) çeliği ile AISI 308 ilave tel kullanarak GMAK yöntemi ile birleştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yazarlar, iki farklı amper ve voltaj değerleri kullanarak kaynak dikişine farklı ısı girdileri uygulamışlar ve kaynak performansını belirlemeye çalışmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, karbon çeliği tarafında IEB' de (ısıdan etkilenen bölge) bir martenzit fazı oluşmazken genel olarak ince perlit yapısı elde edilirken paslanmaz çelik tarafında tipik bir ikizlenmeli östenit fazı ve hassasiyet gözlemlenmiştir. Yine elde ettikleri sertlik profilinde her iki tarafta IEB'de bir sertlik artışı olmasına rağmen bu durumun çekme testinde herhangi bir olumsuz etkisinin olmadığını ve paslanmaz çelik tarafında oluşan duyarlılığı kontrol etmenin karbon çeliği tarafında oluşan martenzit dönüşümünün kontrolünden daha zor olduğu tespitinde bulunmuşlardır. (Ramdan ve ark., 2018)

Ramdan ve ark. (2018), yukarıda bahsi geçen çalışmalarında kullandıkları malzemeler ve ilave aynı tel kullanımı ile yine GMAK yöntemi ile birleştirmeler yaparak yaptıkları bu kaynak işleminden sonra bağlantılara ısıl işlem uygulayarak paslanmaz çelik tarafında meydana gelen tane sınırlarındaki östenit ve δ -ferrit fazı arasında krom-karbür oluşumu hassasiyetini azaltmak istemişlerdir. Yaptıkları ısı işlem ile de bu hassasiyet de göreceli bir düşüş meydana geldiğini rapor etmişlerdir. (Ramdan ve ark., 2018)

Tasalloti ve ark. (2014), 5 mm kalınlığında S355MC yapı çeliği ile AISI 304L östenitik paslanmaz çeliklerini üç farklı ilave tel kullanarak (Esab OK Autrod 16.54, Esab OK Autrod 16.55 ve Elga Cromarod 316LSi) robotik GMAK metodu ile köşe kaynağı yaparak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, kullandıkları ilave tellerden biri hariç (Esab OK Autrod 16.54) elde edilen kaynaklı bağlantıların ferritik tarafında kaynak dikişi sınırına komşu bölgede martenzitik bir bölge meydana geldiğini ayrıca 316L Si ilave tel kullanılarak yapılan kaynakta da martenzitik yapıda mikro çatlakların oluştuğunu gözlemlediklerini belirtmişlerdir. (Tasalloti ve ark., 2014)

Moslemi ve ark. (2015), AISI 316 östenitik paslanmaz çelik boruları 316L ilave tel kullanarak GTAK (gaz tungsten ark kaynağı) yöntemi ile birleştirebilirliği üzerine çalışma yapmışlardır. Yazarlar yaptıkları çalışma sonucunda, kaynak esnasında oluşan ısı girdisinin kaynak performansı açısından kritik olduğunu ayrıca bazı noktalarda krom karbür ve sigma fazının oluştuğunu bu durumun da paslanmaz çeliği daha gevrek bir yapıya dönüştürdüğünü ek olarak da ısı girdisi arttıkça yapı içinde meydana gelen sigma fazında arttığını rapor etmişlerdir. Dolayısı ile ısı girdisi ile krom karbür ve sigma fazının oluşumu arasında bir denge durumunun söz konusu olduğunu ortaya koymuşlardır. (Moslemi ve ark., 2015)

Barrick ve DuPont (2020), kimyasal kompozisyonunda %9 Ni bulunduran çelik malzemeyi yine ilave tel kullanarak üç farklı kaynak işlemi (GTAK ve iki farklı koruyucu gaz kullanılarak GMAK yöntemi ile) gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, GTAK ile yapılan kaynaklı numunede GMAK ile yapılan numuneden daha ince taneli martenzitik bir içyapının oluştuğunu ayrıca yine GTAK ile edilen numunede de daha az oksit kalıntılarının meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Dolayısı ile GTAK ile edilen numunenin tokluğunun GMAK ile elde edilen numuneden daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Barrick & DuPont, 2020)

Gülenç ve ark. (2005), 10 mm kalınlığında, 304L östenitik paslanmaz çelikleri 3 farklı akım (140A, 180A, 240A) ve üç farklı koruyucu gaz altında (saf argon, HYLITE (%1.5 H + %98.5 Ar) ve HYPLAS (%5 H + %95 Ar) kaynak işlemleri gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar, en yüksek çekme mukavemet değerini HYLITE koruyucu gaz ve 240 A parametresi ile gerçekleştirilen kaynaklı birleştirmede ve en iyi tokluk değerini yine 240 A parametresi ve HYPLAS koruyucu gaz ile yapılan birleştirmede elde edildiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca, kaynak bölgesinde tane iriliğinin ısı girdisi arttıkça büyüdüğünü ifade etmişlerdir ve çalışma sonucunda kaynak dikişlerinde sertlik düşüşünü gözlemlemişlerdir. (Gülenç ve ark., 2005)

Durgutlu (2004), 4 mm kalınlığında 316L östenitik paslanmaz çelikleri GTAK yöntemi ile üç farklı koruyucu gaz altında (Saf argon, %1.5 H + %98.5 Ar ve %5 H + %95 Ar) birleştirmiştir. En iyi çekme mukavemeti değerini yine %1.5 H + %98.5 Ar koruyucu gaz altında yapılan kaynaklı birleştirmede elde edildiğini ayrıca kaynak dikişinde IEB ve baz malzemeye göre daha düşük bir sertlik profili elde edildiğini rapor etmiştir. (Durgutlu, 2004)

Mukherjee ve Pal (2017), 4 mm kalınlığında sıcak haddelenmiş düşük nikelli östenitik paslanmaz çelikleri 1.2 mm çapında üç farklı östenitik paslanmaz çelik ilave tel (304L, 308L, 316L) kullanarak GMAK yöntemi ile birleştirmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda, kaynak bölgesinde dendritik bir içyapı elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan ilave tel türüne bağlı olarak kaynak dikişinde daha yüksek oranda δ -fazı meydana geldiğini ve örnek olarak da 304L ilave tel kullanılarak elde edilen kaynaklı bağlantıda daha yüksek oranda δ -fazı meydana geldiğini ortaya koymuşlardır. (Mukherjee & Pal, 2017)



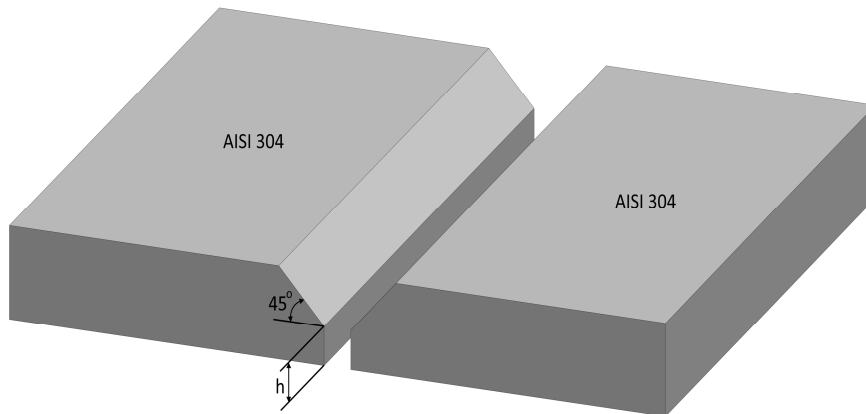
3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 5 mm kalınlığında soğuk haddelenmiş AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhalar kullanılmıştır. 1500x1000x5 mm³ ebadında büyük bir plaka olarak temin edilen paslanmaz çelik malzeme kaynak yapılmak üzere 250x190x5 mm³ lük plakalar şeklinde kesilmiştir. Kullanılan paslanmaz çelik levhanın ve ilave telin tedarikçi firmalar tarafından verilen kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bu çalışmada kullanılan AISI 304 kalite östenitik çelik plakanın ve ilave telin kimyasal bileşimi

Kimyasal Kompozisyon (ağ. %)										
Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Mo	Cu
Baz Metal (AISI 304)	0,019	0,42	1,56	0,035	0,002	18,2	8,1	0,053	--	--
İlave Tel (ER308LSi)	0,025	0,804	1,95	0,010	0,023	20,016	9,966	0,035	0,181	0,287

Kaynaklanacak plakalarda, kaynak öncesi kaynak mukavemetini arttırmak için ergimiş bölgenin enini genişletmek amacı ile Şekil 3.1’de görüleceği üzere EN ISO 9692-1 standardı uygun biçimde kaynak ağzı açılmıştır. Kaynak işlemi öncesi kaynak ağzı açılan levhalar paslanmaz çelik tel fırça kullanılarak mekanik olarak temizlenerek kaynak işlemine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.1. Plakaların kaynak denemeleri için hazırlanması

Bu çalışma kapsamında yapılan tüm kaynak işlemlerinde, kimyasal bileşimi Çizelge 3.1’de verilen 1.2 mm çapında ER308LSi ilave tel (dolgu teli) kullanılmıştır. Levhaların birleştirme işleminde kaynak yöntemi olarak GMAK (Gaz Metal Ark Kaynağı) yöntemi uygulanmıştır. Isı girdisinin kaynak kalitesine etkilerinin incelenmesi amaçlandığından iki farklı kaynak parametresi (iki farklı akım seviyesi) kullanılmış ve bunlar Çizelge 3.2’ de verilmiştir. Ayrıca, birleştirme işleminin daha iyi sonuç verebilmesi için (kaynak tabanından sıvı metal akması sonucu yetersiz doldurma hatası oluşmaması için) Şekil 3.2’ de şematik olarak gösterildiği gibi paslanmaz levhaların altına seramik altlık kullanılmıştır.

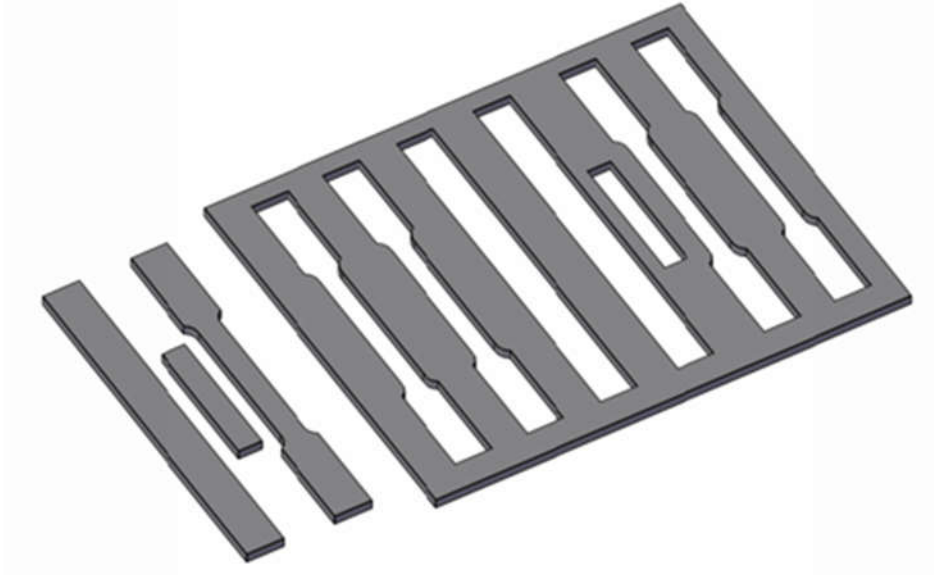
Çizelge 3.2. Kaynak işlemlerinde kullanılan kaynak parametreleri

Kaynak İşlemi	Akım (A)	Gerilim (V)	Kaynak Hızı (mm/s)	Tel Besleme Hızı (mm/s)	Koruyucu Gaz
Düşük Isı Girdisi	Ort. 385	28	4,5	17,5	Argon (99,95%)
Yüksek Isı Girdisi	Ort. 465	27	4,0	17,5	Argon (99,95%)



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan seramik altlık

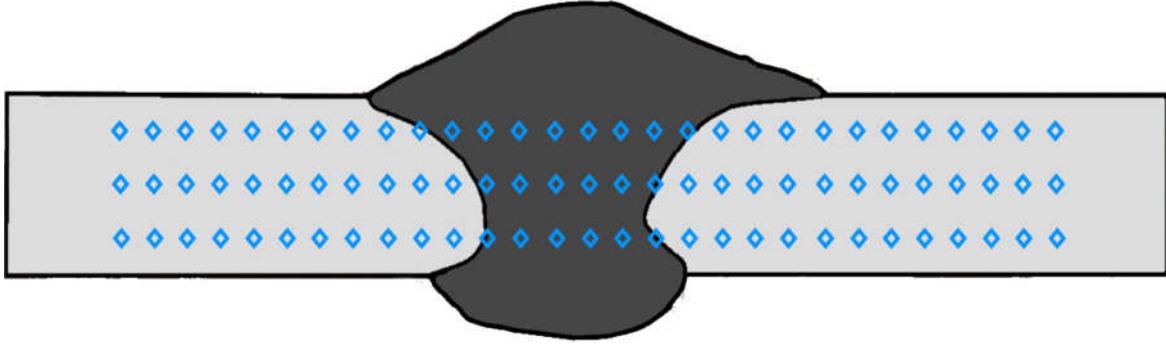
Kaynaklı her bir levhadan içyapı ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için bir adet metalografi numunesi, dört adet çekme numunesi ve iki adet bükme numunesi, Şekil 3.3'te şematik olarak gösterildiği gibi, talaşlı imalat (frezeleme) ile çıkarılmıştır.



Şekil 3.3. Birleştirilen levhalardan test numunelerinin çıkarılışının şematik gösterimi

Hem baz malzeme içyapısı hem de kaynaklı levhaların kaynak bölgesinde mikroyapısal değişimleri optik mikroskop ile detaylı olarak incelemek üzere metalografi numuneleri aşağıdaki işlemlerden geçirilmiştir: Gerek baz malzeme gerekse kaynaklı levhalardan çıkarılan metalografi numuneleri polyster ile kalıplanarak zımparalamaya hazır hale getirilmiştir. Kalıplanmış metalografi numuneleri sırası ile 240, 400, 800 ve 1200 gridli SiC zımpara kâğıtlarında zımparalanmış ve daha sonra 1 mikron elmas pastası ile parlatılmıştır. Son olarak, 50 ml HCl ve 150 ml HNO₃' den oluşan solüsyon ile 15 s süreyle dağlanmıştır.

Detaylı içyapı incelemeleri yapılan metalografi numuneleri üzerinde ayrıca, Şekil 3.4'te şematik olarak gösterildiği gibi (kaynak merkezinde, kaynaklı levhaların yüzeyinden 1 mm aşağıda ve kaynak kökünün 1 mm üzerinde olmak üzere kaynak kesiti boyunca üç farklı bölgede), detaylı Vickers mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri, her bir ölçüm noktası arasında standartlara uygun şekilde aralık olacak şekilde (kaynak bölgesinde minimum 0,5 mm), 500 g'lık bir yük altında ve 10 saniye yükleme süresi kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.4. Mikrosertlik ölçümlerinin yapıldığı noktaları gösteren şematik çizim

Kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numuneleri sonuçları ile mukayese yapmak üzere baz malzemeden de dört adet çekme numunesi hazırlanmıştır. Gerek baz malzemeden gerekse de kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numuneleri Zwick/Roell Z600 model çekme cihazında 15 mm/min çekme hızında test edilerek akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve yüzde uzama gibi mekanik özellikler tespit edilmiştir. Ayrıca, baz malzeme ve kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen yüzde uzama ve çekme dayanımları değerleri aşağıdaki formülde yerlerine yazılarak kaynaklı levhaların süneklik performansı (SP) ve mukavemet performansı (MP) hesaplanmıştır.

$$SP(\%) = \frac{\text{Kaynaklı levhanın ortalama yüzde uzaması}}{\text{Baz levhanın ortalama yüzde uzaması}} \times 100 \quad (3.1)$$

$$MP(\%) = \frac{\text{Kaynaklı levhanın ort.çekme mukavemeti}}{\text{Baz levhanın ortalama çekme mukavemeti}} \times 100 \quad (3.2)$$

Buna ek olarak, farklı ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı levhalardan çıkarılan ikişer adet bükme numunesi biri yüzey bükme (surface bend) ve diğeri kök bükme (root bend) şartlarında test edilerek her iki konfigürasyonda da kaynak bölgesinde çatlama olup olmadığı belirlenmiştir.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde elde edilen deneysel bulgular, içyapı özellikleri ve mekanik özellikler olmak üzere iki alt başlık altında tartışılacaktır.

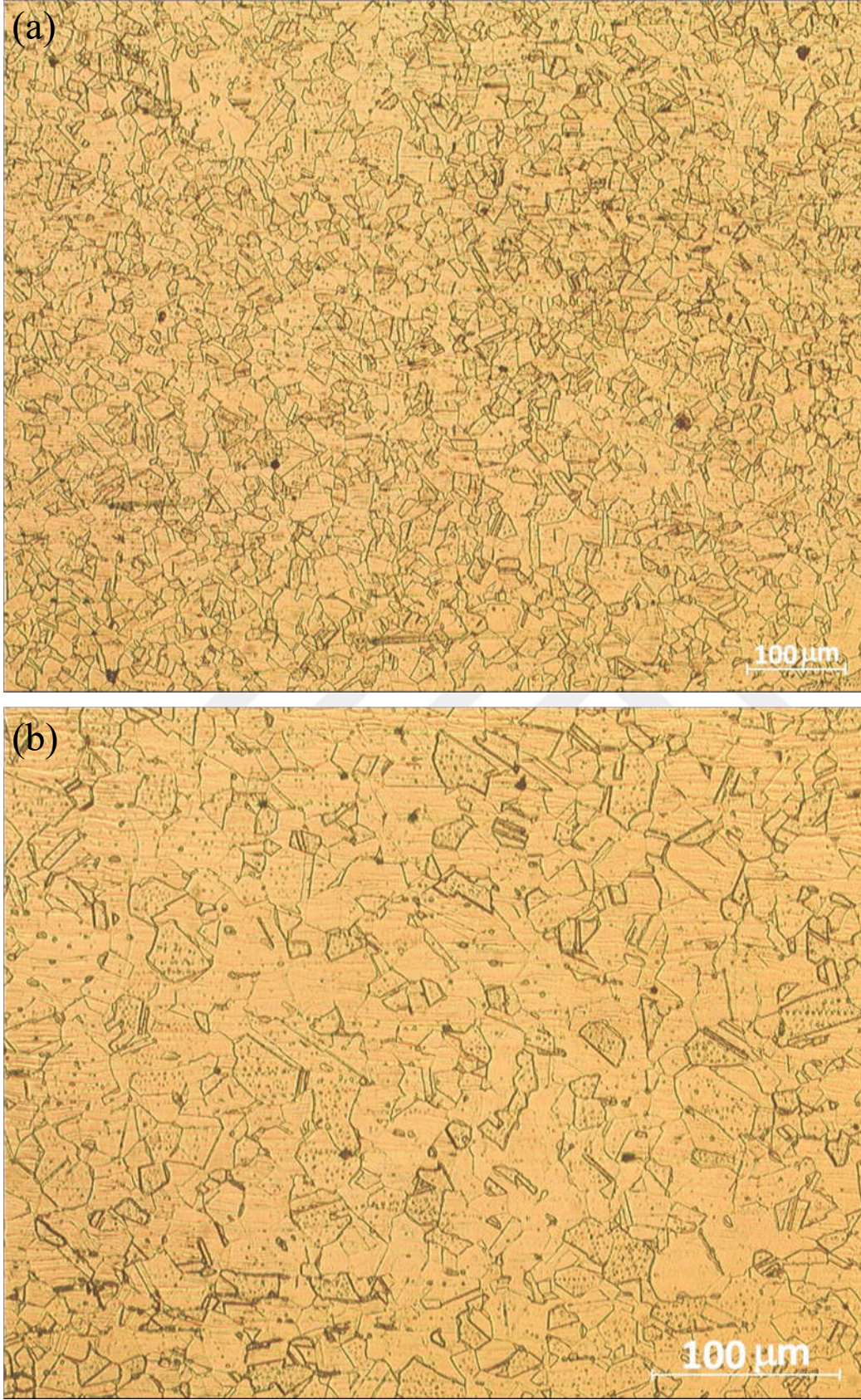
4.1. İçyapı Özellikleri

Bu bölümde, hem baz malzeme içyapısı hem de iki farklı ısı girdisi ile üretilen kaynaklı bağlantılardan çıkarılan metalografi numuneleri ile belirlenen kaynak bölgelerindeki içyapı değişimleri ele alınacaktır.

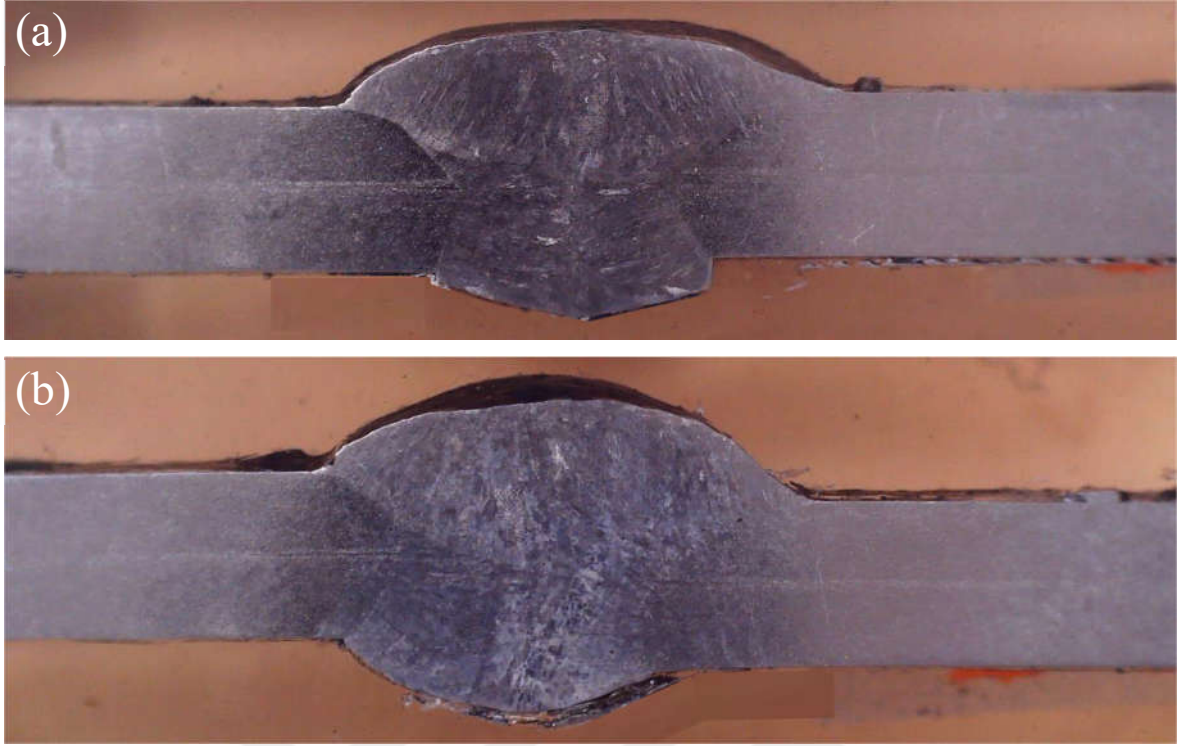
Şekil 4.1’de bu çalışmada kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhanın içyapısını gösteren optik mikroskop görüntüleri verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, baz plaka içyapısı östenit tanelerinden oluşan tek fazlı bir yapıdır.

Şekil 4.2’de iki farklı ısı girdisi ile elde edilen AISI 304 östenitik paslanmaz çeliklerdeki kaynaklı bağlantıların kesit görüntüleri verilmektedir. Şekilden görüleceği üzere, kaynaklı bağlantıların her ikisinde de porozite ve çatlak gibi herhangi bir kaynak hatası tespit edilmemiştir.

Ayrıca, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 de görüleceği üzere, her iki kaynaklı bağlantının da kaynak dikisinde (ergime bölgesinde) döküm yapısına benzer ince taneli dendritik bir yapı oluşmuştur. Kaynaklı östenitik paslanmaz çelik bağlantıların ergime bölgesinde ince taneli dendritik içyapı oluşumu oldukça yaygındır (Lippold & Kotecki, 2005). Nitekim Mukherjee & Pal (2017), 4 mm kalınlığında sıcak haddelenmiş düşük nikelli östenitik paslanmaz çeliklerde üç farklı östenitik paslanmaz çelik dolgu teli (304L, 308L ve 316L) kullanılarak yapılan gaz metal ark kaynaklı bağlantıların ergime bölgelerinde de ince taneli dendritik bir içyapı oluştuğunu rapor etmişlerdir. (Mukherjee & Pal, 2017) Buna ilaveten, 316L östenitik ilave tel ile gaz tungsten ark kaynaklı 4 mm kalınlığındaki 316L östenitik paslanmaz çelik levhaların ergime bölgesinde dendritik yapı oluştuğu gözlemlenmiştir (Durgutlu, 2004). Benzer şekilde, Çam ve arkadaşları (1998), 6 mm kalınlığında östenitik paslanmaz çeliklerin lazer kaynaklı bağlantılarının ergime bölgesinde de ince taneli dendritik bir içyapı oluştuğunu gözlemişlerdir (Çam ve ark., 1998).



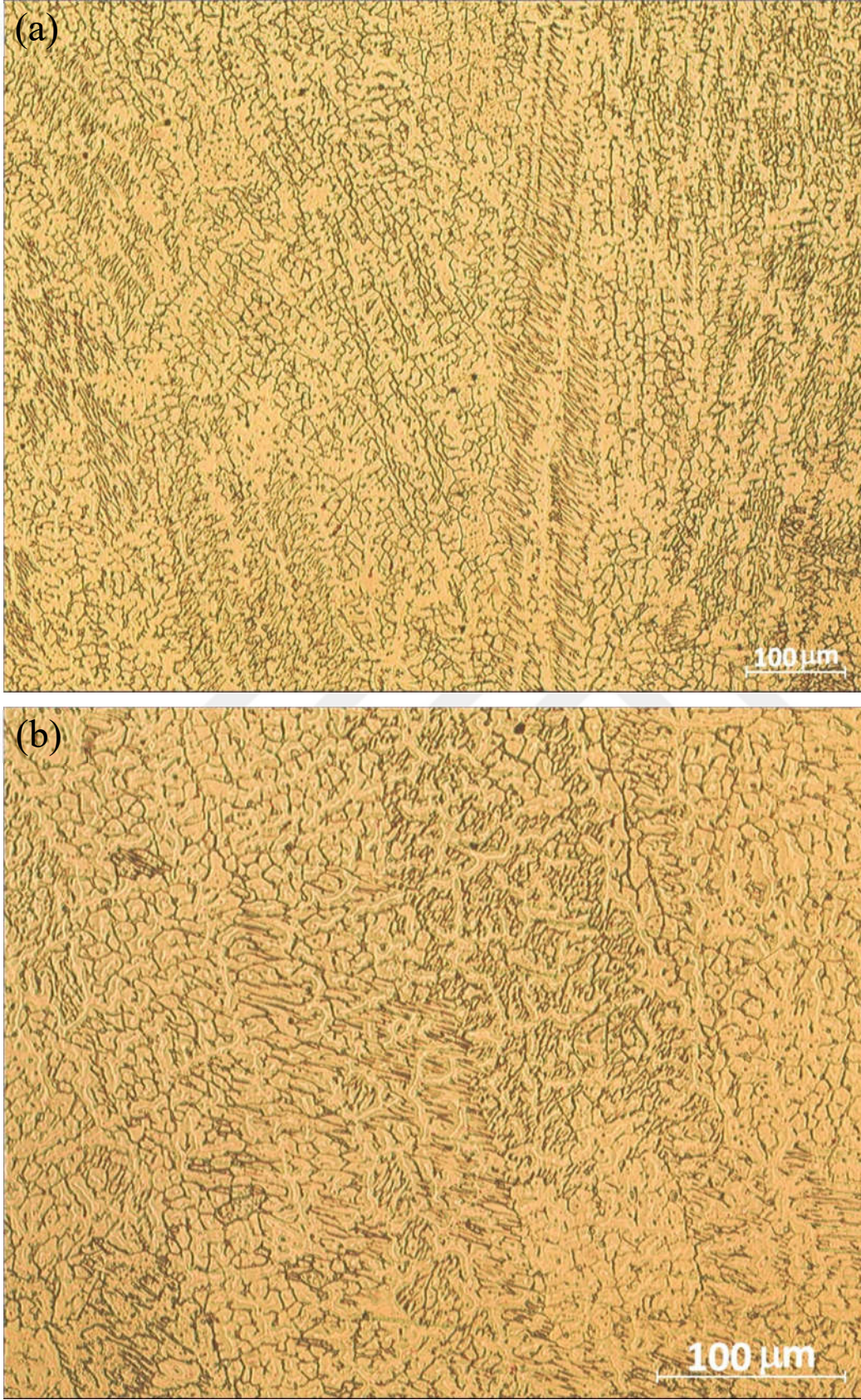
Şekil 4.1. Baz levha içyapısını gösteren optik mikroskop görüntüleri: (a) 10X büyütme ve (b) 20X büyütme



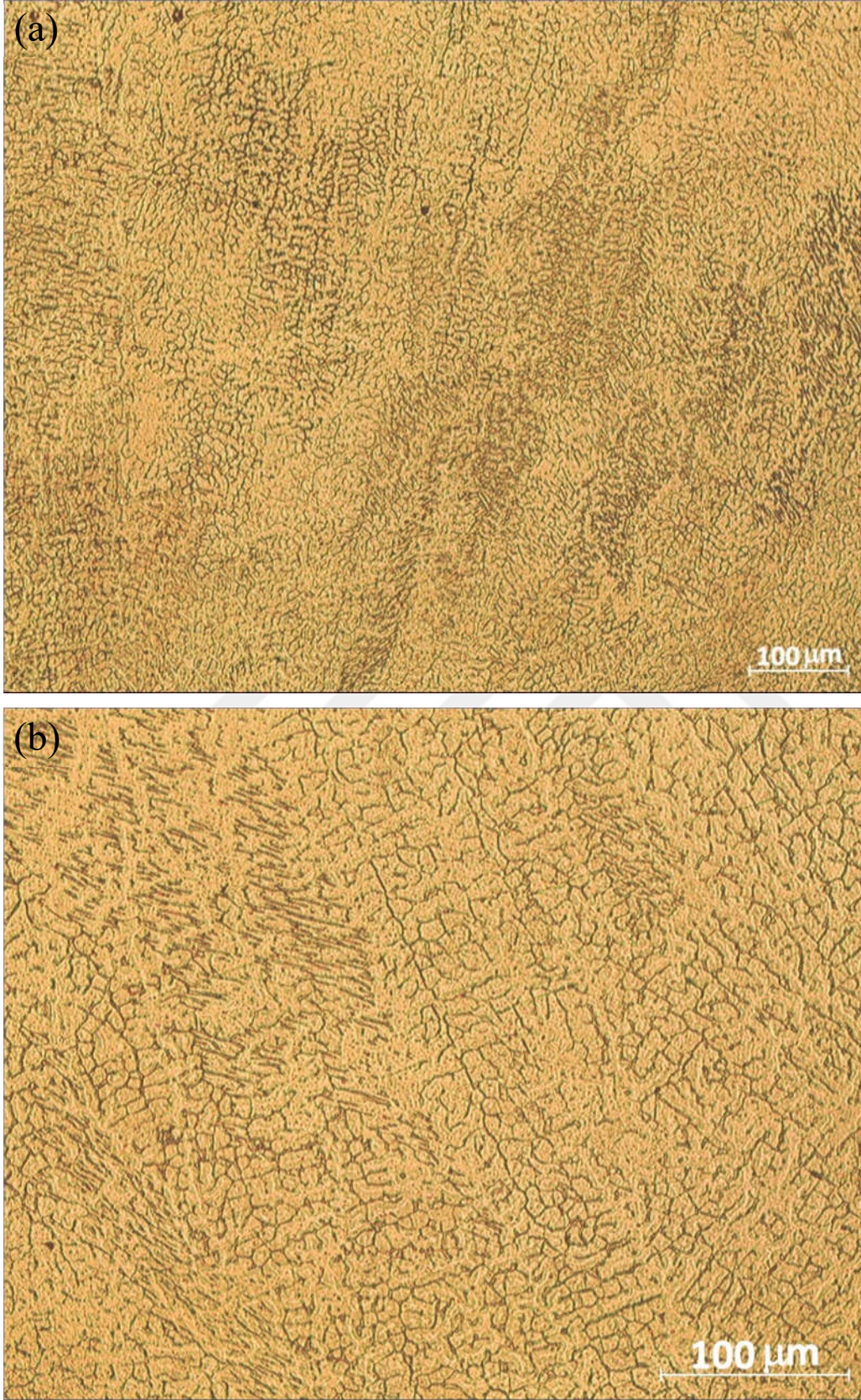
Şekil 4.2. İki farklı ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak kesitlerini gösteren makro resimler: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi

Bu bulgulara ilaveten, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 dikkatli incelendiğinde görüleceği üzere, bu çalışmada kullanılan ısı girdisi farkı nedeni ile kaynaklı bağlantının ergime bölgesinde oluşan dendritik yapının tane boyutunda belirgin bir değişim söz konusu değildir. Diğer bir deyişle, artan ısı girdisi ergime bölgesinde oluşan dendritik yapının tane boyutunda gözle görülür bir değişime yol açmamıştır.

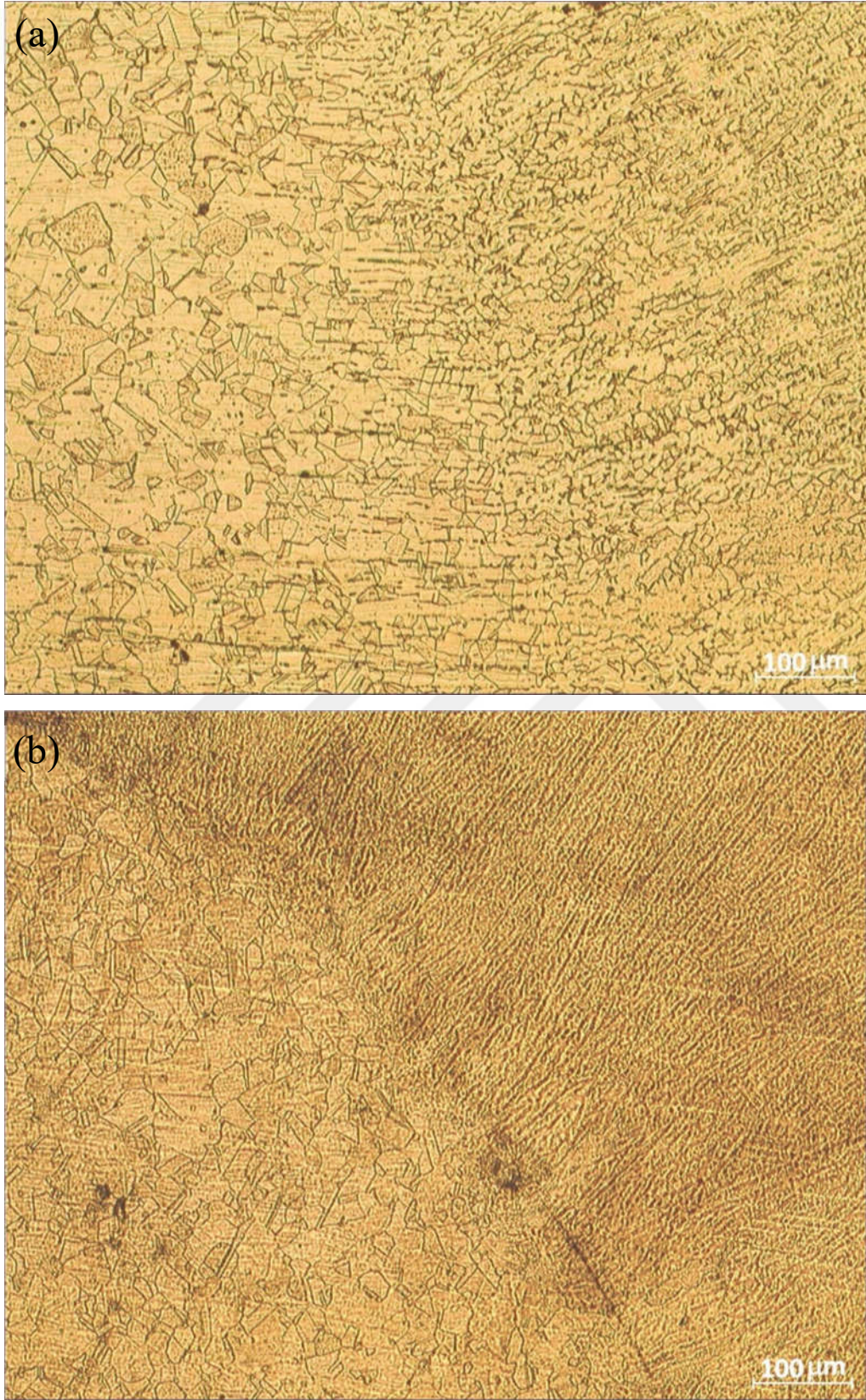
Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da, sırasıyla düşük ısı girdisi ve yüksek ısı girdisi ile üretilen kaynaklı bağlantıların ısıdan etkilenmiş bölgelerinde (IEB'de) içyapıda meydana gelen değişimleri gösteren optik mikroskop görüntüleri verilmektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere farklı ısı girdisi ile elde edilen iki bağlantının IEB'de oluşan içyapı birbirinden farklıdır. Şekil 4.6'da net bir şekilde görüldüğü üzere, yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantının IEB'de daha kaba taneli yeniden kristalleşmiş östenit taneleri oluşmuştur. Diğer taraftan, bu bölgedeki yeniden kristalleşmiş östenit taneleri düşük ısı girdisi ile yapılan bağlantıda daha ince tanelidir (Şekil 4.5).



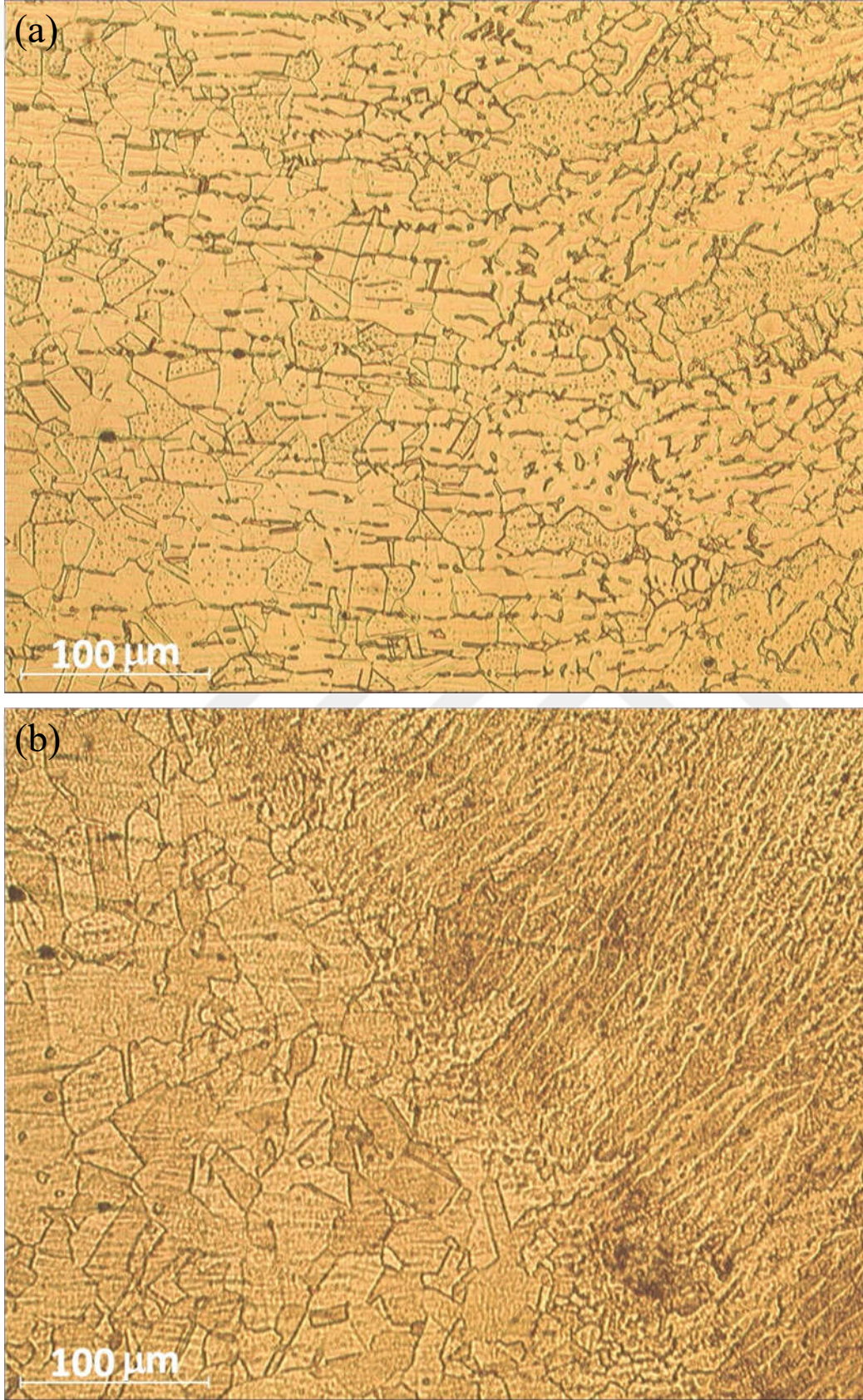
Şekil 4.3. Düşük ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantının ergime bölgesinde oluşan içyapıyı gösteren optik mikroskop görüntüleri: (a) 10X büyütme ve (b) 20X büyütme



Şekil 4.4. Yüksek ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantının ergime bölgesinde oluşan içyapıyı gösteren optik mikroskop görüntüleri: (a) 10X büyütme ve (b) 20X büyütme



Şekil 4.5. İki farklı ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantıların IEB'lerini gösteren düşük büyütme (10X) mikro resimler: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi



Şekil 4.6. İki farklı ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantıların IEB'lerini gösteren yüksek büyütme (20X) mikro resimler: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi

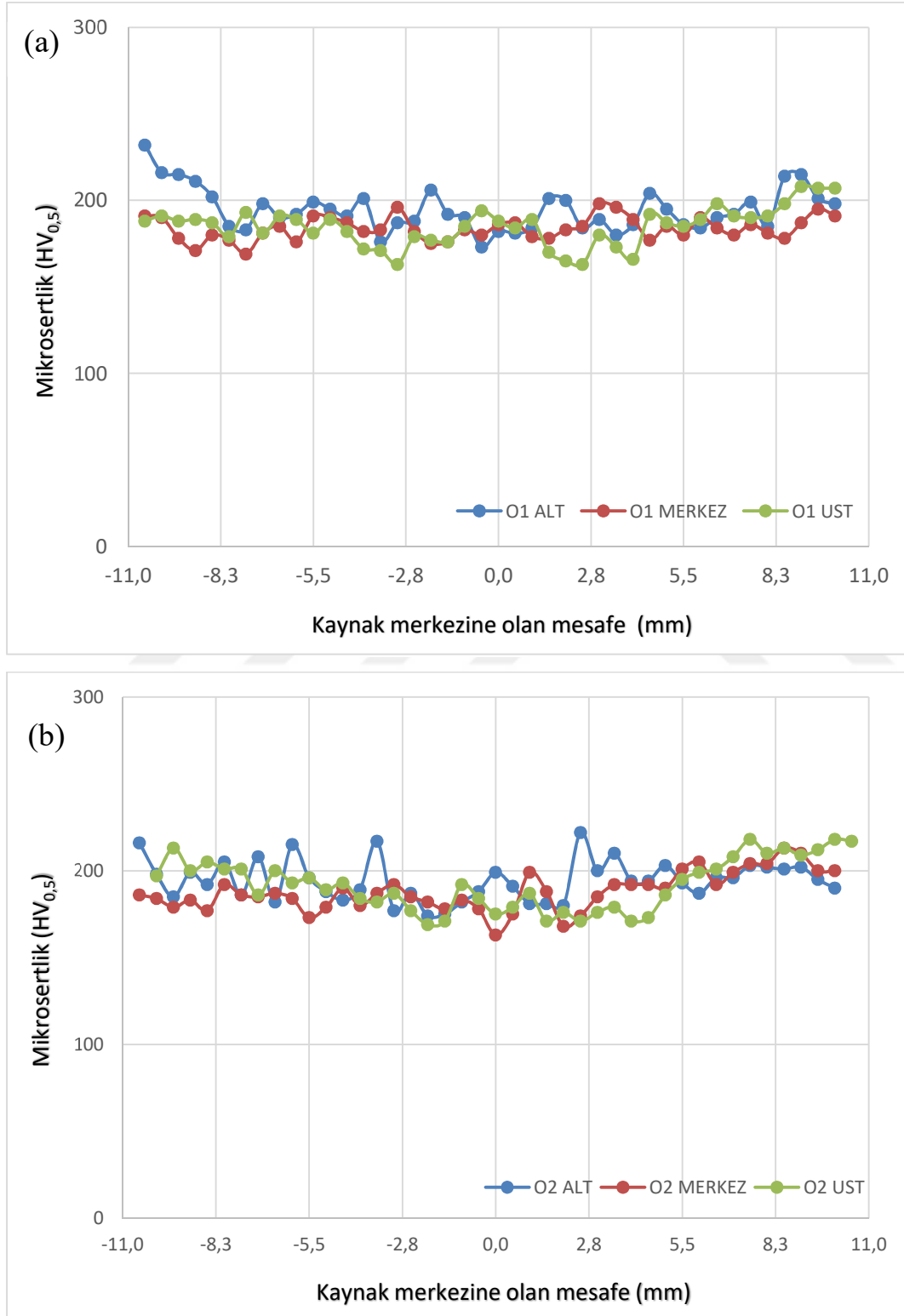
Ayrıca, Şekil 4.5'ten görüleceği üzere daha düşük ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantının IEB'de soğuk haddeleme yönünde dizilmiş (uzamış) partiküller gözlenmiştir. Buda, bu bağlantının IEB'de yetersiz ısı girdisi nedeniyle yeniden kristalleşmenin tamamen gerçekleşmediği, diğer bir deyişle kısmi yeniden kristalleşme gerçekleştiğini göstermektedir. Buna ilaveten, yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantının geçiş bölgesindeki ergime ara yüzeyinin düşük ısı girdili bağlantıdan daha belirgin olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Bununda, bu bağlantıda yeniden kristalleşmenin daha yüksek sıcaklıklarda gelişmesi sonucu IEB'deki östenit tanelerinin daha iri taneli olmasıdır. Yüksek ısı girdisi ile elde edilen bağlantının IEB'de, düşük ısı girdili bağlantının aksine, herhangi bir partikül çökmesi de gözlenmemiştir.

4.2. Mekanik Özellikler

Sertlik

Materyal ve Metot bölümünde bahsedildiği ve Şekil 3.3'te şematik olarak gösterildiği üzere her bir kaynaklı bağlantıdan çıkarılan metalografi numunesinde üç bölgede kaynak kesiti boyunca çok sayıda mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Bu sertlik ölçümlerinin amacı baz malzemedeki kaynak dikişinin diğer tarafındaki baz malzemeye kadar kaynak kesiti boyunca sertlik dağılımlarını gösteren sertlik profillerini belirlemektir. Bu sertlik ölçümlerinin üç farklı bölgede yapılmasının nedeni ise, sertliğin kaynak kesitinde bölgeden bölgeye (levhaların yüzeyinden tabanına) değişip değişmediğini tespit etmektir. Şekil 4.7'den görüleceği üzere her iki kaynaklı bağlantıda da kaynak kesiti boyunca kaynak dikişi bölgesinde baz malzemeye nazaran dikkate değer bir sertlik değişimi gözlenmemiştir. Dolayısıyla her iki kaynaklı bağlantıda kaynak bölgesinde herhangi bir sertlik düşüşü veya artışı göstermemiştir. Ayrıca, kaynak kesitinde yüzeyden kaynak köküne farklı bölgelerde elde edilen sertlik değerlerinde de dikkate değer bir sertlik değişimi söz konusu değildir. Bu sonuçların aksine, Gülenç ve ark. (2005), 10 mm kalınlığında 304L östenitik çelik levhaların gaz metal ark kaynaklı bağlantılarında kaynak bölgesinde sertlik düşüşü tespit etmişlerdir (Gülenç ve ark., 2005). Bunun nedeni daha yüksek ısı girdisi sonucu ergime bölgesinde daha iri dendritik yapı oluşumu olabileceği düşünülmektedir. Diğer taraftan soğuma hızının daha yüksek olduğu ve bu nedenle ergime bölgesinde oluşan dendritik yapının daha ince taneli olduğu lazer kaynaklı östenitik

bağlantıların kaynak bölgesinde az miktarda da olsa sertlik artışı gerçekleştiği gözlemlenmiştir (Çam ve ark., 1998; Çam ve ark., 1999).



Şekil 4.7. Her iki bağlantıda farklı bölgelerde yapılan sertlik ölçümleri ile belirlenen sertlik dağılımları: (a) düşük ısı girdisi ve (b) yüksek ısı girdisi

Çekme ve Bükme Deneyleri

Kaynaklı levhaların ve baz plakanın mekanik özelliklerini tespit etmek ve kaynaklı bağlantıları süneklik ve mukavemet performans değerlerini belirlemek için gerçekleştirilen çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmektedir. Baz plakadan ve kaynaklı bağlantılardan çıkarılan çekme numunelerinin test sonrası görünümü sırasıyla Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmektedir. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’dan görüleceği üzere, her iki kaynaklı bağlantıdan çıkarılan tüm çekme numuneleri kaynak bölgesinden değil baz plaka içerisinden kopmuştur.

Çizelge 4.1 ile Şekil 11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’ten görüleceği üzere, kaynaklı levhalardan çıkarılan numunelerin tamamı baz plaka numunelerinden biraz yüksek çekme mukavemeti gösterirken, sadece yüksek ısı girdisi ile elde edilen kaynaklı bağlantıdan çıkarılan numunelerin akma gerilmesi baz levha akma gerilmesinden düşüktür. Dolayısıyla düşük ve yüksek ısı girdili kaynaklı levhaların mukavemet performans değerleri sırasıyla % 102 ve % 101 olarak bulunmuştur. Her iki kaynaklı levha yaklaşık aynı mukavemet performansı değeri sergilemiştir. Diğer taraftan, her iki kaynaklı levhanın da süneklik performansı da %80 civarında olup, kaynaklı levha numunelerinin tamamı baz plakadan çıkarılan numunelerden daha düşük % uzama değerleri göstermiştir. Bunun nedeni, çekme numunelerinin homojen plastik şekil değiştirmemesidir. Bu sonuçlar çalışmada kullanılan ısı girdisi değişiminin çekme deneyinde kaynak performansına önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Kaynaklı bağlantıların baz plakadan daha yüksek mukavemet ve daha düşük yüzde uzama gösterdikleri Şekil 11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’ten görülmektedir. Bu sonuç, kaynaklı levhalarda çekme numunesi homojen olmadığından ötürü olup, normaldir.

Çizelge 4.1. Çekme deneyi sonuçları

Numune	R _{P0.2} (MPa)	R _m (MPa)	Süneklik (%)	Mukavemet Performansı (%)	Süneklik Performansı (%)
Baz malzeme	366, 358, 359 (361)	643,631,633 (636)	48, 48, 49 (48)	---	---
Düşük ısı girdisi	357, 374, 376, 362 (367)	650, 653, 649, 652 (651)	39, 38, 40, 40 (39)	102	81
Yüksek ısı girdisi	349, 366, 353 (356)	631,648, 641 (640)	38, 38, 40 (38)	101	79



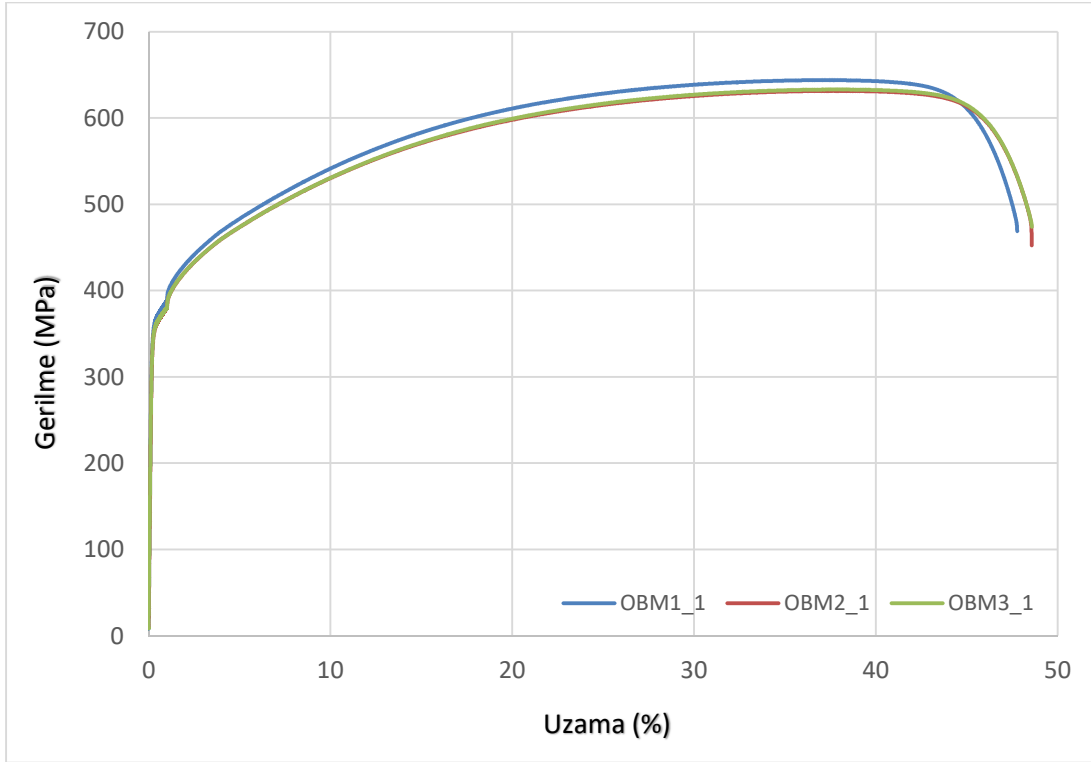
Şekil 4.8. Baz plakadan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonrası görünümü



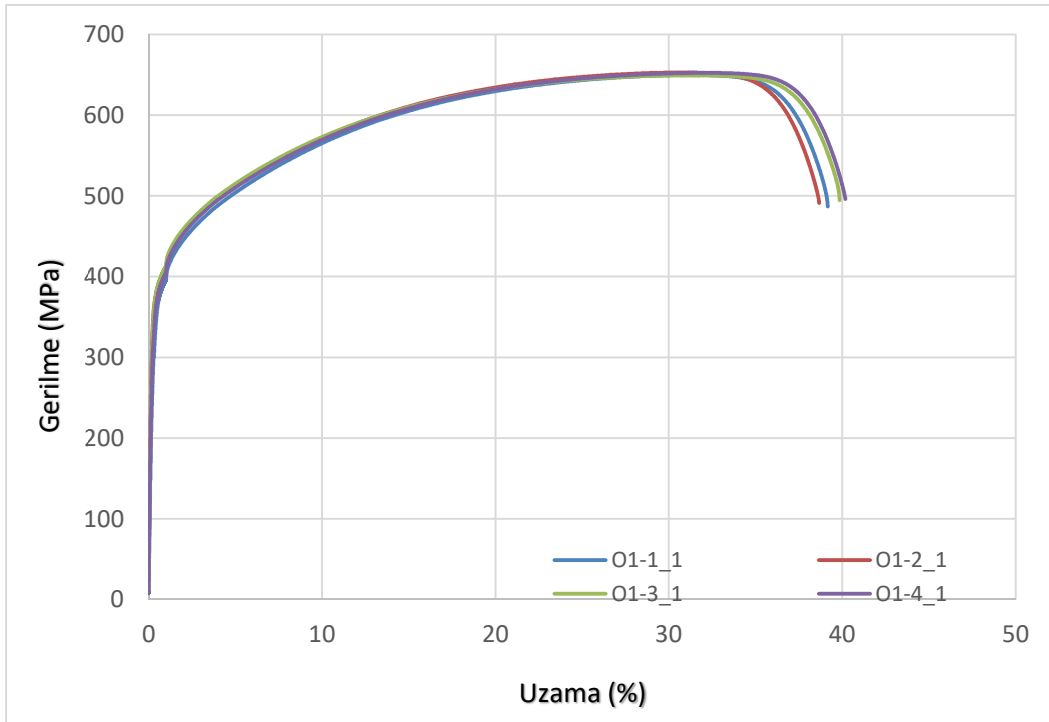
Şekil 4.9. Düşük ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonrası kırılmanın baz plaka içerisinde gerçekleştiğini gösteren makro resimler



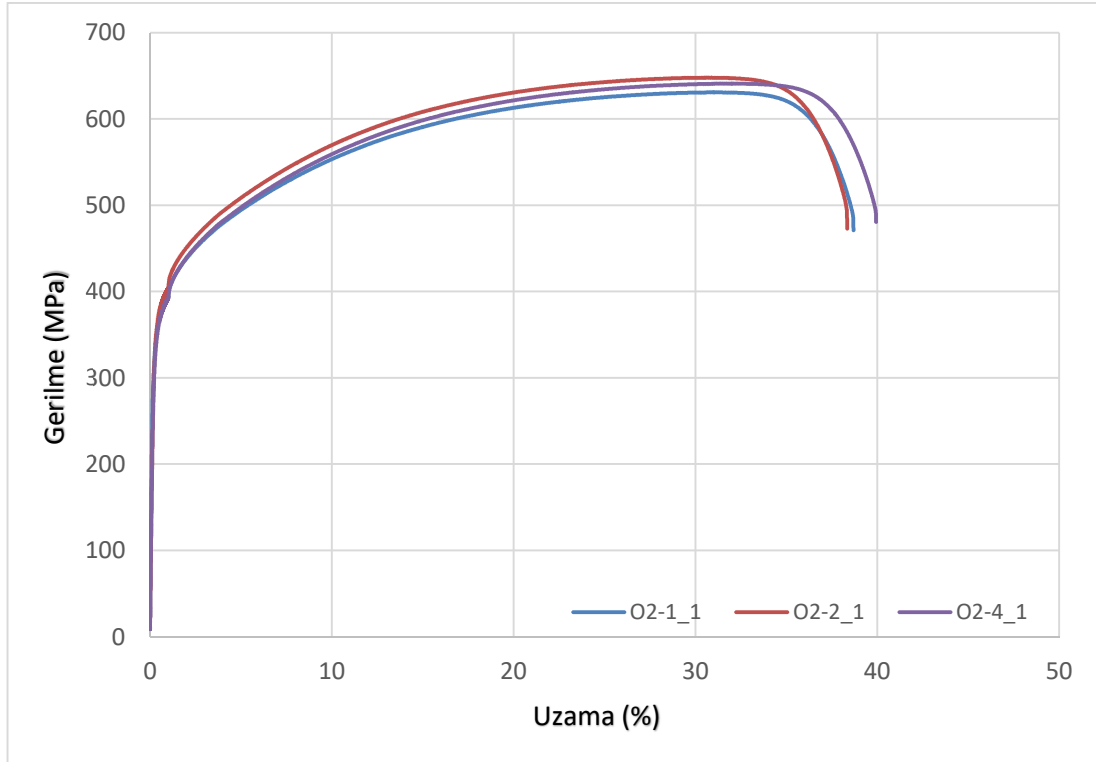
Şekil 4.10. Yüksek ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinin deney sonrası kırılmanın baz plaka içerisinde gerçekleştiğini gösteren makro resimler



Şekil 4.11. Baz plakadan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen gerilme-yüzde uzama eğrileri

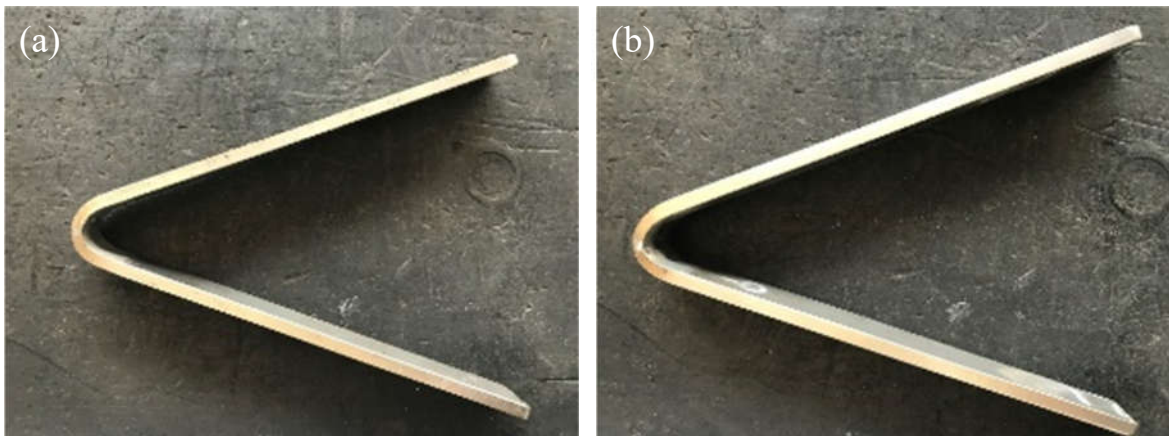


Şekil 4.12. Düşük ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen gerilme-yüzde uzama eğrileri



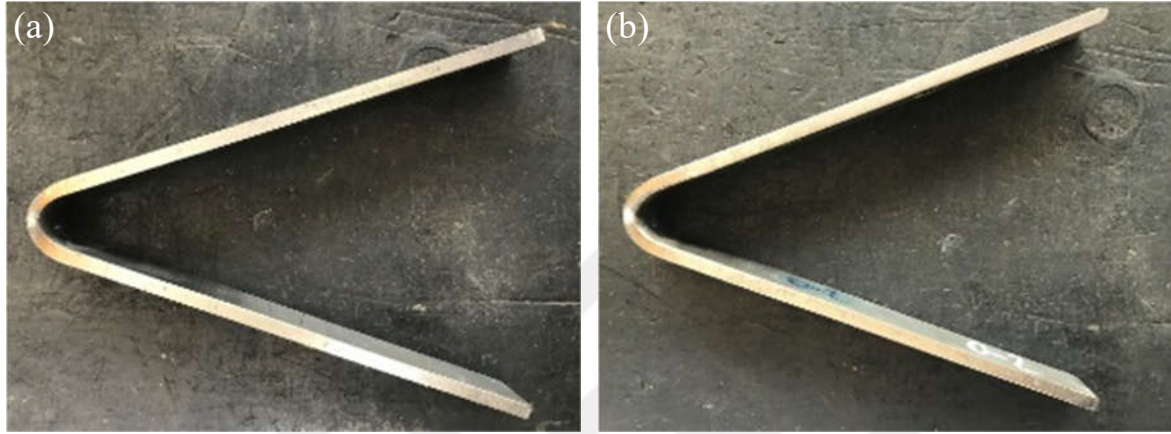
Şekil 4.13. Yüksek ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen gerilme-yüzde uzama eğrileri

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'ten görüleceği üzere, her iki kaynaklı bağlantıdan (düşük ve yüksek ısı girdili) çıkarılan bükme numuneleri gerek yüzey bükme gerekse de kök bükme şartlarında çatlama göstermemişlerdir.



Şekil 4.14. Düşük ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan bükme numunelerinin test sonrası görünümü: (a) Yüzey bükme ve (b) Kök bükme

Bu sonuçlar, çekme deneyinde olduğu gibi, bükme deneyinde de çalışmada kullanılan ısı girdisi değişiminin kaynaklı levhanın davranışına önemli bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Bükme deneylerindeki diğer bir bulgu da, düşük ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan numunelerin bükme deneyinde, Şekil 4.5(a) ve Şekil 4.6(a)'dan görüleceği üzere bu bağlantının IEB'de çökelmiş partiküller olmasına rağmen, çatlama olmamasıdır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Yüksek ısı girdili kaynaklı bağlantıdan çıkarılan bükme numunelerinin test sonrası görünümü: (a) Yüzey bükme ve (b) Kök bükme

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, bu tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar özetlenecek ve AISI 304 östenitik paslanmaz levhanın gaz metal ark kaynağı (GMAK) ile birleştirilmesi konusunda bundan sonra yürütülebilecek çalışmalar ile ilgili bazı öneriler yapılacaktır.

5.1. Sonuçlar

AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhalarda farklı iki ısı girdisi ve 1.2 mm çapında ER308LSi ilave tel (dolgu teli) kullanılarak iki pasoda yapılan gaz metal ark kaynaklı (GMAK) bağlantılar üzerinde yürütülen bu çalışmada elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

- 5 mm kalınlığındaki AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhalar GMAK yöntemi ile iki pasoda ve iki farklı ısı girdisi kullanılarak başarılı bir şekilde kaynak edilmişlerdir.
- Bu çalışmada kullanılan ısı girdisi aralığında elde edilen tüm bağlantılarda çatlak, porozite ve ısıdan etkilenen bölgede (IEB'de) karbür çökmesi gibi herhangi bir kaynak hatasına rastlanmamıştır. Diğer bir ifadeyle, bu çalışmada kullanılan ısı girdisi farkının bu çalışmada çalışılan 5 mm kalınlığındaki AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhaların kaynak performansı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.
- Farklı ısı girdisiyle üretilen her iki kaynaklı bağlantının kaynak dikişinde (ergime bölgesinde - EB) de döküm yapısına benzer ince taneli dendritik bir yapı oluşmuştur. Farklı ısı girdileri ile üretilen iki kaynaklı bağlantının ergime bölgesinde oluşan dendritik yapının tane boyutu birbirine çok yakın olup, aralarında belirgin bir tane boyutu farkı gözlenmemiştir.
- Diğer taraftan, farklı ısı girdisi ile elde edilen bağlantıların ısıdan etkilenmiş bölgelerindeki (IEB'lerindeki) içyapı birbirinden farklıdır.
- Düşük ısı girdisi ile üretilen bağlantının IEB'deki östenit tane boyutu baz levhaya benzemekte ve bu bölgede soğuk haddeleme yönünde uzamış partiküller (karbür partikülleri) bulunmaktadır. Bu da, düşük ısı girdisi nedeniyle IEB'de tam bir yeniden kristalleşme yerine kısmi bir yeniden kristalleşme gerçekleştiğini ve baz levha içyapısında tane boyutu açısından önemli bir değişim gerçekleşmediğini göstermektedir. Ayrıca, bu bağlantının ergime bölgesi sınırı da belirgin değildir.

- Düşük ısı girdili bağlantının aksine, yüksek ısı girdisi ile üretilen kaynaklı bağlantını IEB'de yeniden kristalleşme tam olarak gerçekleşmiş ve yeniden kristalleşen östenit tane boyutunda da büyüme gerçekleşmiş, bunun sonucu daha iri taneli yapı gözlenmiştir. Ayrıca, bu yeniden kristalleşmiş iri östenit taneleri nedeniyle bu bağlantıdaki ergime bölgesi sınırı oldukça belirgindir.
- Her iki kaynaklı bağlantıda gerçekleştirilen mikrosertlik ölçümleri ile elde edilen sertlik profilleri arasında dikkate değer bir fark gözlenmemiştir. Her iki sertlik profilinde de kaynak bölgesinde belirgin bir sertlik artışı (strength overmatching) veya sertlik düşüşü (strength undermatching) gözlenmemiş olup, kaynak bölgesinin bir tarafındaki baz malzeme bölgesinden kaynak kesidi boyunca diğer taraftaki baz levha kısmına kadar sertlik dağılımı oldukça homojendir (strength evenmatching). Diğer bir deyişle kaynak dikişinde sertlik baz levha sertliği düzeyindedir.
- Her iki kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme deneyi numunelerinin hepsinde kopma (kırılma) kaynak dikişi dışında ve kaynak dikişinden oldukça uzak bir mesafede baz levha içerisinden gerçekleşmiştir. Bu da her iki kaynaklı levhanın mekanik performansının iyi olduğunu ve bu çalışmada çalışılan ısı girdisi farkının kaynak performansı üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.
- Her iki kaynaklı bağlantı da baz levhaya benzer mukavemet değerleri göstermiştir. Nitekim, her iki kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme numunelerinden elde edilen çekme mukavemeti değerleri baz malzeme çekme mukavemetinin biraz üzerinde olup, her iki kaynaklı bağlantının mukavemet performansı değerleri %100'ün üzerindedir.
- Diğer taraftan, her iki kaynaklı bağlantıdan çıkarılan çekme deneyi numuneleri baz levha numunelerinden daha düşük % uzama değerleri göstermiş olup, her iki kaynaklı bağlantının süneklik performansı değerleri %80 civarındadır. Bu da kaynaklı levhalardan çıkarılan çekme numunelerin boyları boyunca içyapının homojen olmaması ve muhtemelen kaynak dikişi bölgesinde çekme deneyi boyunca plastik deformasyon gerçekleşmediğinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak, tüm kaynaklı bağlantılarda süneklikte (% uzama'da) böyle bir düşüş gözlenmekte olup, bu durum oldukça doğaldır.
- Bunlara ilaveten, her iki kaynaklı bağlantıdan çıkarılan bükme numunelerinin hem yüzey bükme hem de kök bükme deneylerinde numunelerde herhangi bir çatlama olmamıştır. Bu da, bu çalışmada kullanılan ısı girdisi farkının kaynaklı

bağlantıların bükme şartlarındaki davranışları üzerinde de belirgin bir etkisi olmadığını göstermektedir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmanın devamı olarak yapılması yararlı olacak öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Kaynak bölgesinde meydana gelen içyapı değişimleri ile alakalı, özellikle de baz levha içyapısındaki ve düşük ısı girdili kaynaklı levhanın ısıdan etkilenmiş bölge'deki (IEB'deki) soğuk hadde yönünde uzamış partiküller ile ilgili daha detaylı inceleme yapılabilir. Bu kapsamda, taramalı elektron mikroskopunda (SEM'de) EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) ve X-ışını difraksiyonu çalışmaları ile partiküllerin tam olarak ne olduğu veya başka bir deyişle kimyasal kompozisyonu tam olarak tespit edilebilir.
- Daha yüksek ısı girdisi kullanılarak gaz metal ark kaynağı (GMAK) yapılarak veya çok pasolu oksii-asetilen gaz daha yüksek ısı girdili bir kaynak yöntemi kullanılarak aynı levhalar kaynak edilerek IEB'de krom karbür çökmesi oluşup oluşmadığı tespit edilebilir.
- Bunlara ilaveten, bu çalışmada GMAK yöntemiyle başarılı bir şekilde kaynak edilen 5 mm kalınlığındaki AISI 304 östenitik paslanmaz çelik levhalar, daha düşük ısı girdisinin söz konusu olduğu bir ergitme kaynağı olan lazer kaynağı ile veya daha da düşük ısı girdisinin malzemeye aktarıldığı bir katı hal kaynağı olan sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile birleştirilebilir ve elde edilen kaynaklı bağlantıların kaynak bölgesinde gerçekleşen içyapısal değişimler incelenebilir. Ayrıca, elde edilen lazer veya SKK'lı AISI 304 östenitik paslanmaz çelik bağlantıların mukavemet ve süneklik performansları bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Anonim, (2020). <https://www.b2bvietnam.vn/xem-san-pham/he-thong-bon-lanh-1296.html>
- Aran, A., & Temel, M. (2004). Paslanmaz çeliklerin kaynağı, paslanmaz çelik yassı mamuller üretimi kullanımı standartları, Sarıtaş Teknik Yayını, İstanbul.
- Aydın, T. (2002). Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan gazlar ve etkileri. Yüksek Lisan Tezi (İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 57.
- Baran, B. (2019). AISI 304 Paslanmaz çeliğin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinde kaynak parametre etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Barrick, E. J., & DuPont, J. N. (2020). Microstructural characterization and toughness evaluation of 10 wt% Ni steel weld metal gas tungsten arc and gas metal arc weld fusion zones. *Materials Science & Engineering A*, 796, 140043.
- Çam, G. (2020). Kaynak bilimi ve teknolojisi, Nobel Akademik Yatıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti., Ankara
- Çimen, M. Y. (2015). AISI 1050, AISI 304 VE AISI 430 tip çeliklerin yakma alın kaynak yöntemiyle kaynatılması ve mekanik özelliklerin incelenmesi. Yüksek Lisan Tezi (Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Durgutlu, A. (2004). Experimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel. *Materials and Design*, 25(1), 19-23.
- Emet, A. O. (2019). Lazer ve tıg kaynağı ile birleştirilmiş AISI 304 paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerinin ve gerilmeli korozyon davranışının incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi (Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)*.
- Groover, M. P. (2016). *Modern imalatın prensipleri*. Nobel Akademik Yatıncılık Eğitim Danışmanlık Tic.Ltd.Şti., Ankara
- Gülenç, B., Develi, K., Kahraman, N., & Durgutlu, A. (2005). Experimental study of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in MIG welding of austenitic stainless steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30, 1475-1481.

- Kaya, N. (2010). AISI 304 paslanmaz çelik ile genel yapı çeliğinn sürtünme kaynak kabiliyetinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi (Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Moslemi, N., Redzuan, N., Ahmat, N., & Hor, T. N. (2015). Effect of current on characteristic for 316 stainless steel welded joint including microstructure and mechanical properties, *Procedia CIRP*, 26, 560-564.
- Mukherjee, M., & Pal, T. K. (2017). Evaluation of microstructural and mechanical properties of Fe-16Cr-1Ni 9Mn-0.12N austenitic stainless steel welded joints. *Materials Characterization*, 131, 406-424.
- Oğuz, H. (2018). Paslanmaz çelik-galvanizli çelik çiftinin elektrik nokta direnç kaynağında kaynak parametrelerinin kaynaklı birleştirmenin dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisan Tezi (Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 21.
- Ramdan, R. D., Kariem, M. A., Neswan, O., Wiriawan, F., Suratman, R., Widyanto, B., & Wirawan, R. (2019). Mechanical properties and microstructure at stainless steel HAZ from dissimilar metal welding after heat treatment processes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 553, 012034.
- Ramdan, R., Koswara, A., Surasno, Wirawan, R., Faturohman, F, Widyanto, B., & Suratman, R. (2018). Metallurgy and mechanical properties variation with heat input, during dissimilar metal welding between stainless and carbon steel. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 307, 012056.
- Tasolloti, H., Kah, P., & Martikainen, J. (2014). Effects of welding wire and torch weaving on GMAW of S355MC and AISI 304L dissimilar welds. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1-4), 197-205.
- Yaşar, H. (2017). AISI 304 paslanmaz çeliğin direnç nokta kaynağı yöntemi ile izsiz kaynak parametrelerinin araştırılması. Y. Lisan Tezi (Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yiğittürk, N. (2016). Ramor zırh çeliği ile aısı 304 paslanmaz çelik çiftlerinn plazma transferii ark kaynak yöntemi ile birleştirilebilirliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi (Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Yorulmazel, S. C. (2007). Paslanmaz çelik konstrüksiyonlarda oluşan distorsiyonların etüdü. Yüksek Lisan Tezi (Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü), s. 13.



DİZİN

A

AISI 304 · 1, 2, iv, v, ix, xiv, 5, 6, 8, 10, 17, 20, 24, 38,
40, 41, 42
ark kaynağı · vii, xv, 11, 17, 21

C

çekme deneyi · 33, 39

I

ilave tel · 5, 17, 18, 19, 21, 24, 38
ısı girdisi · iv, xiv, 18, 23, 24, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32,
33, 37, 38, 39, 40
ısıdan etkilenen bölge · 17

K

kaynak dikişi · 17, 31, 39
kaynak performansı · 18, 38, 39
krom karbür çökmesi · vii, xiv, 16, 40

M

mikrosertlik ölçümü · 31
mikroyapı · 5, 42
mukavemet performansı · 23, 33, 39

O

östenitik paslanmaz çelik · iv, 10, 15, 24, 40

P

paslanmaz çelik · iv, ix, xiv, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 17, 18,
19, 20, 24, 38, 40, 41, 42

S

sertlik düşüşü · 31, 39
sertlik profili · 18

Y

yeniden kristalleşme · 31, 38, 39



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

