

**FARKLI PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG
KAYNAĞINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Eyüp Can İÇLİ



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞINDA MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Eyüp Can İÇLİ
0000-0001-5972-5493

Prof. Dr. Hakan AYDIN
(Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Oğuz TUNÇEL
(2. Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAĞINDA MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Eyüp Can İÇLİ

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan AYDIN

2. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz TUNÇEL

Bu çalışmada, 304 östenitik paslanmaz çelikler, 420 martenzitik paslanmaz çelikler ve 430 ferritik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi Tungsten Inert Gaz (TIG) yöntemi ile kanal hazırlama ve dolgu metalleri olmadan alın konfigürasyonda dissimilar (benzer olmayan) ve similar (benzer) olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan kaynaklı birleştirmede koruyucu gaz olarak saf argon gazı tercih edilmiştir. Kaynak işlemi 100 A kaynak akımı ve 3.5 mm/s kaynak hızı parametreleri tercih edilerek alın kaynak olarak gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kombinasyonları 304-420, 430-420, 430-304 olacak şekilde farklı paslanmaz çelik grupları, 304-304, 420-420, 430-430 olacak şekilde aynı paslanmaz çelik grupları arasında gerçekleştirilmiştir. Kaynak işlemi yapılan bu numunelere çekme ve Vickers yöntemi ile mikro sertlik testleri uygulanarak mikro yapısı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Yapılan makro gözlemlerde kaynaklı birleştirilen parçaların erime bölgesi (EB) ve Isı Tesiri Altındaki Bölgesinde (ITAB) gözeneklilik ve çatlak gibi herhangi bir kaynak kusuru gözlemlenmemiştir. Yapılan mikro yapı incelemelerinde kaynaklı parçalarda, temel malzeme (TM), erime bölgesi (EB) ve Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) iç yapıları detaylı olarak incelenmiştir. Benzer malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde genel olarak erime bölgesinin faz fraksiyonları temel malzemenin faz fraksiyonlarına benzer dendritik yapılardan oluşmaktadır. Benzer olmayan malzemelerin kaynağında ise erime bölgesinde karışması ve hızlı soğuması sonucu karakterize edilen karmaşık heterojen mikro yapılar ortaya çıkarılarak detaylı incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelikler, TIG Kaynağı, Mikro Yapı, Mikro Sertlik

2023, ix + 73 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT STAINLESS STEELS IN TIG WELDING

Eyüp Can İÇLİ

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Hakan AYDIN

Second Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Oğuz TUNÇEL

In this study, the joining of 304 austenitic stainless steels, 420 martensitic stainless steels, and 430 ferritic stainless steels was carried out using the Tungsten Inert Gas (TIG) method in a butt joint configuration without any filler metals. The welding was performed in dissimilar (unlike) and similar (alike) combinations. Pure argon gas was used as the shielding gas in the welding process. The welding process was carried out using a welding current of 100 A and a welding speed of 3.5 mm/s. Welded joints were performed between different stainless steel groups as 304-420, 430-420, 430-304, and within the same stainless steel groups as 304-304, 420-420, 430-430. After welding, the welded specimens were subjected to tensile tests and microhardness tests using the Vickers method to examine the microstructure in detail. Microstructure examinations were conducted using microscopes at different scales.

Macroscopic observations revealed no welding defects such as porosity or cracks in the fusion zone (FZ) and Heat-Affected Zone (HAZ) of the welded parts. Microstructure examinations at different scales revealed detailed investigations of the internal structures of the base material (BM), fusion zone (FZ), and Heat-Affected Zone (HAZ) in the welded specimens. In the welded joints of similar materials, the phase fractions in the fusion zone generally consisted of dendritic structures similar to the phase fractions of the base material. In the welding of dissimilar materials, complex heterogeneous microstructures characterized by mixing and rapid cooling in the fusion zone were revealed and examined in detail.

Key words: Stainless Steel, TIG Welding, Micro Structure, Micro Hardness

2023, ix + 73 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca benimle bilgi birikimi ve deneyimlerini esirgemeyen yanımda olan hocalarım sayın Prof. Dr. Hakan AYDIN, Dr. Öğr. Üyesi Oğuz TUNÇEL ve Arş. Gör. Meryem ALTAY'a teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca severek geldiğim, bana farklı bakış açısı kazandıran Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne, fikirleri ve aktarımlarıyla bilgi birikimimi arttıran tüm hoca ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca malzeme tedarik ve testlerin gerçekleştirilmesinde olanak sağlayan başta amcama, babama ve bu süreç boyunca desteklerini esirgemeyen firma ve yöneticilerime teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tüm bu süreç boyunca maddi ve manevi her anlamda yanımda olan, beni cesaretlendiren, moral veren sevgili eşim ve aileme sonsuz şükranlarımı sunar, teşekkür ederim.

Eyüp Can İÇLİ
22/06/2023

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Paslanmaz Çelikler.....	4
2.2. Paslanmaz Çelik Türleri.....	6
2.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	6
2.2.3. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	11
2.2.4. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	14
2.2.5. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler.....	18
2.2.6. Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler.....	21
2.3. Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanları.....	24
2.4. Paslanmaz Çeliklere Alaşım Elementlerinin Etkisi.....	24
2.5. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	26
2.5.1. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	28
2.5.2. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	29
2.5.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	30
2.5.3.1. Delta Ferrit Fazının Oluşumu.....	31
2.5.3.2. Krom Karbür Çökeltmesi ve Taneler Arası Korozyon.....	31
2.5.3.3. Gerilmeli Korozyon.....	33
2.5.3.4. Sigma Fazının Oluşumu.....	34
2.5.4. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	35
2.5.5. Dupleks Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	35
2.6. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı.....	36
2.6.1. TIG Kaynağı Ekipmanları.....	38
2.6.2. TIG Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları.....	40
2.6.3. TIG Kaynağında Koruyucu Gazlar.....	41
3. MATERYAL YÖNTEM.....	43
3.1. Materyal.....	43
3.2. Yöntem.....	44
3.2.1. TIG Kaynak Yöntemi.....	44
3.2.2. Deney Tasarımı ve TIG Kaynak Uygulaması.....	45
3.2.3. Metalografik İncelemeler.....	45
3.2.4. Çekme Testi.....	47
3.2.5. Mikro Sertlik Testi.....	49
4. BULGULAR.....	50
4.1 Mikro Yapı İncelemeleri.....	50
4.2 Makro Yapı İncelemeleri.....	56
4.2 Çekme Testleri.....	59
4.4 Mikro Sertlik Testleri.....	62
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	67
KAYNAKLAR.....	70

ÖZGEÇMİŞ	73
----------------	----

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
C	Karbon
Fe	Demir
Cr	Krom
Ni	Nikel
Ar	Argon
He	Helyum
Si	Silisyum
Cu	Bakır
P	Fosfor
Al	Alüminyum
Ti	Titanyum
N	Azot
Nb	Niyobyum
Mo	Molibden
Mn	Mangan
S	Kükürt
SiC	Silisyum Karbür
HCl	Hidroklorik Asit
Al_2O_3	Alümina
H ₂ O	Su
CuCl	Bakır (I) Klorür
μ	Mikron

Kısaltmalar	Açıklama
TIG	Tungsten Inert Gas
MIG	Metal Inert Gas
MAG	Metal Active Gas
EB	Erime Bölgesi
ITAB	Isıdan Tesiri Altındaki Bölge
HT	High Tensile-Yüksek Dayanımlı
AISI	American Iron and Steel Institute-Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
KHM	Kübik Hacim Merkezli
AC	Alternative Current-Alternatif Akım
DC	Direct Current-Direkt Akım

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Paslanmaz çelik türleri nikel ve krom elementlerinin miktarları (Aran ve ark. 2004)	5
Şekil 2.2. Paslanmaz çelik türlerinin mikro yapıları (Aran ve Temel, 2003)	6
Şekil 2.3. Fe-Cr alaşımlarında karbon elementi miktarının östenit alanını genişletici etkisi (Kaluç ve Tülbentçi 1998)	7
Şekil 2.4. Martenzitik paslanmaz çeliklere element ilavesi (Saritaş Çelik 2012)	10
Şekil 2.5. Martenzitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı (Saritaş Çelik 2012)	11
Şekil 2.6. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklere element ilavesi (Saritaş Çelik 2012).....	13
Şekil 2.7. Ferritik yapıdaki paslanmaz çeliklerin mikro yapısı (Saritaş Çelik 2012)	14
Şekil 2.8. Östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı (Saritaş Çelik 2012).....	16
Şekil 2.9. Östenitik paslanmaz çelikler (Saritaş Çelik 2012).....	17
Şekil 2.10. Çökeltme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler (Saritaş Çelik 2012)	20
Şekil 2.11. Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler (Saritaş Çelik 2012)	23
Şekil 2.12. Çift fazlı (Dubleks) paslanmaz çeliğinin mikro yapısı (Gardi 2017)	23
Şekil 2.13. Kaynak işleminde oluşan bölgelerin şematik gösterimi (Weman ve Linden 2006).....	27
Şekil 2.14. Taneler arası korozyonun şematik gösterimi (Leffler 1996)	32
Şekil 2.15. Gerilmeli korozyonun gösterimi (Nilsson 2006)	33
Şekil 2.16. TIG ark kaynak yönteminin şematik gösterimi (Yıldırım 2010).....	38
Şekil 2.17. TIG ark kaynak yönteminin ekipmanları (Murat 2018)	39
Şekil 3.1. Kaynaklanan parçalardan çıkartılacak numunelerin şablonu ve kesilmiş hali.....	45
Şekil 3.2. (a) Su sirkülasyonlu kesim, (b) zımparalama ve parlatma cihazları, (c) Nikon eclipse MA100 ters metal mikroskobu	46
Şekil 3.3. Dağlama işlemi gerçekleştirilmiş bakalit numuneleri.....	47
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan Zwick-Roell universal çekme test cihazı	48
Şekil 3.5. Standart çekme testi için numune ölçüleri	48
Şekil 3.6. (a) Metkon Duroline-M sertlik ölçüm cihazı, (b) Sertlik ölçüm yönü.....	49
Şekil 4.1. 304-420 kalite çeliklerinin mikro yapı görüntüsü.....	51
Şekil 4.2. 430-420 kalite çeliklerinin mikro yapı görüntüsü.....	51
Şekil 4.3. 430-304 kalite çeliklerinin mikro yapı görüntüsü.....	53
Şekil 4.4. 304 östenitik paslanmaz çelik kaynaklı bağlantı mikro yapı görüntüsü.....	54
Şekil 4.5. 420 martenzitik paslanmaz çelik kaynaklı bağlantı mikro yapı görüntüsü.....	55
Şekil 4.6. 430 ferritik paslanmaz çelik kaynaklı bağlantı mikro yapı görüntüsü.....	55
Şekil 4.7. 304-420 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü	56
Şekil 4.8. 430-420 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü.....	57

Şekil 4.9.	430-304 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü.....	57
Şekil 4.10.	304-304 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü.....	58
Şekil 4.11.	420-420 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü.....	58
Şekil 4.12.	430-430 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü.....	59
Şekil 4.13.	304-420 kalite çeliklerinin çekme test numunesi.....	59
Şekil 4.14.	430-420 kalite çeliklerinin çekme test numunesi.....	60
Şekil 4.15.	430-304 kalite çeliklerinin çekme test numunesi.....	60
Şekil 4.16.	304-304 kalite çeliklerinin çekme test numunesi.....	60
Şekil 4.17.	420-420 kalite çeliklerinin çekme test numunesi.....	61
Şekil 4.18.	430-430 kalite çeliklerinin çekme test numunesi.....	61
Şekil 4.19.	304 östenitik paslanmaz çelik ve 420 martenzitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları.....	63
Şekil 4.20.	420 martenzitik paslanmaz çelik ve 430 ferritik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları.....	63
Şekil 4.21.	430 ferritik paslanmaz çelik ve 304 östenitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları.....	64
Şekil 4.22.	304-304 östenitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları	65
Şekil 4.23.	420-420 martenzitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları ...	66
Şekil 4.24.	430-430 ferritik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi.....	8
Çizelge 2.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	12
Çizelge 2.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi.....	15
Çizelge 2.4. Çökelme sertleşmeli çeliklerin kimyasal bileşimleri.....	19
Çizelge 2.5. Çift fazlı (Dubleks) çeliklerinin kimyasal bileşimleri).....	22
Çizelge 3.1. Paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık).....	43
Çizelge 3.2. Malzemelerin nominal mekanik özellikleri.....	44
Çizelge 3.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan parametreler.....	44
Çizelge 4.1. 304-420 kalite çekme test sonuçları.....	59
Çizelge 4.3. 430-420 kalite çekme test sonuçları.....	60
Çizelge 4.4. 430-304 kalite çekme test sonuçları.....	60
Çizelge 4.5. 304-304 kalite çekme test sonuçları.....	61
Çizelge 4.6. 420-420 kalite çekme test sonuçları.....	61
Çizelge 4.7. 430-430 kalite çekme test sonuçları.....	61

1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, endüstride geniş bir kullanım alanına sahip olan önemli yapı malzemeleridir. Bu malzemelerin farklı grupları, çeşitli uygulama gereksinimlerini karşılamak üzere geliştirilmiştir. Paslanmaz çeliklerin kaynağı, malzeme birleştirme sürecinde önemli bir adımdır ve kaynak sonrası özelliklerin doğru değerlendirilmesi, yapısal bütünlüğün ve performansın sağlanması açısından hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, farklı ve aynı paslanmaz çelik gruplarının Tungsten İner Gaz (TIG) kaynak yöntemi ile birleştirildikten sonra çekme ve mikro sertlik testlerine tabi tutulması ve mikro yapısının analiz edilmesi üzerine odaklanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, farklı paslanmaz çelik gruplarının ve aynı paslanmaz çeliklerin TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmesinin, kaynak sonrası mekanik özellikler üzerindeki etkisini belirlemektir. Çekme testleri, kaynak bağlantılarının dayanıklılığını ve çekme mukavemetini değerlendirmek için kullanılan standart bir yöntemdir. Sertlik testleri ise kaynak bölgesinde oluşan mikro yapı değişikliklerini ve malzeme sertliğini belirlemek için kullanılmaktadır.

Çekme testi, bir malzemenin dayanıklılığını, elastikiyet modülünü, çekme mukavemetini ve kopma uzamasını değerlendirmek için kullanılan yaygın bir test yöntemidir. Bu çalışmada, paslanmaz çeliklerin TIG kaynağıyla birleştirilen parçaların çekme testleri uygulanmış ve elde edilen sonuçlar, kaynak bağlantılarının mekanik performansını ve dayanıklılığını ortaya koymak için kullanılmıştır. Çekme testi sonuçları, kaynak bölgesinin mekanik özelliklerini, çekme mukavemetini ve kopma davranışını analiz etme imkanı sağlamıştır.

Bununla birlikte, Vickers mikro sertlik testi, bir malzemenin yüzey sertliğini belirlemek ve mikro yapı değişikliklerini değerlendirmek için kullanılan bir başka önemli test yöntemidir. Bu çalışmada, TIG kaynağıyla birleştirilen paslanmaz çelik parçaların yüzey sertliğini belirlemek için Vickers mikro sertlik testi uygulanmıştır. Uygulanan bu test, kaynak bölgesindeki mikro yapı değişikliklerini ve sertlik dağılımını analiz etmek için kullanılmıştır.

Ayrıca, mikro yapı incelemesi de kaynakla birleştirilen parçaların yapısal özelliklerini anlamak ve kaynak bölgesindeki olası kusurları tespit etmek için önemlidir. Bu çalışmada, kaynak bölgesindeki mikro yapılar optik ve binoküler mikroskop gibi görüntüleme teknikleri kullanılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Mikro yapı incelemesi, kaynak bağlantılarının kalitesini, mikro yapı değişikliklerini ve potansiyel hataları değerlendirmek için değerli bir bilgi sağlamıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, paslanmaz çeliklerin TIG kaynağıyla birleştirilmesinde yapılan çekme testi, Vickers mikro sertlik testi ve mikro yapı incelemesinin, kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerini, yüzey sertliğini ve yapısal bütünlüğünü belirlemek açısından önemli olduğunu göstermektedir. Elde edilen bu bilgiler, paslanmaz çeliklerin TIG kaynağıyla birleştirilmesi sürecinde deneysel olarak optimize edilmiş kaynak parametreleri ve yöntemlerinin geliştirilmesine katkıda bulunabilir ve endüstriyel uygulamalarda daha güvenilir ve dayanıklı kaynak bağlantıları sağlanmasına yardımcı olabilir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tez çalışması kapsamında incelenen paslanmaz çelik gruplarının kendileriyle ve birbirleriyle kaynak edilmesinde ortaya farklı mekanik özelliklerin çıktığı bilinmektedir. Bu mekanik özellikleri belirlemek adına numunelere çekme testleri ve mikro sertlik testleri uygulanmıştır. Bunun yanı sıra kaynak bölgesinde meydana gelen mikro yapılar incelenmiştir. Bu nedenle literatürde daha önce yapılan benzer çalışmalar incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir.

Bhanu ve ark. (2022), P91 ferritik-martenzitik çelik ve Incoloy 800 HT'nin dissimilar kaynağını incelemiştir. Farklı bölgelerde maruz kalınan maksimum sıcaklığa bağlı olarak, bileşen çözünen elementlerin tane boyutu dönüşümlerini, faz dönüşümlerini, difüzyonunu ve ayrışmasını araştırmak için karşılık gelen mikro yapı gözlemlenmiştir. Mikro yapı analizlerinde kaynak füzyon bölgesinde kararlı bir östenitik yapı gözlemlenmiştir. Oluşan kalıntı gerilmeler, kaynak sonrası ısıl işlem ile giderilmiştir. Mikro sertlik analizinde, çökeltilerin çözünmesi nedeniyle P91 Isı Tesiri Altındaki Bölgede maksimum değer göstermiştir. P91 ve Incoloy 800HT'nin kaynaklı bağlantısı, kazan borularında kullanım için dikkate alınmasını sağlamak için önemli bir kusur olmadan ve yeterli mekanik mukavemetle başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Huang ve ark. (2018) AISI 304 paslanmaz çelik ve Q345 düşük alaşımlı çelik birleştirmek için Tungsten İner Gaz kaynağı kullanmışlardır. Farklı kaynak hızlarındaki birleştirmelerin mikro yapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, nispeten yüksek bir kaynak hızında (300 mm/dk'dan fazla), 50A'lık bir akımla kaynak prosesi penceresinde farklı çeliklerin yüksek kaliteli kaynağının elde edilebileceğini göstermektedir. Kaynak mikro yapısı, çıta martenzitten oluşmaktadır, ayrıca kalıntı östenit de mevcuttur. Ferrit ve Widmanstätten yapısı Q345 Isı Tesiri Altındaki Bölge'de gözlenirken, AISI 304 ısıdan etkilenen bölgede belirgin bir tane büyümesi gözlemlenmemiştir. Kaynaktaki martenzit yapıdan dolayı kaynak metalinin mikro sertliği ana metale göre çok daha yüksek bulunmuştur. Sonuç, kaynağın gerilme mukavemetinin neredeyse Q345 ana metal ile aynı olduğunu ve uzamanın biraz azaldığını, bu da hem mukavemet hem de plastisite açısından iyi nitelikler olduğunu göstermektedir.

Saedi ve ark. (2018), yaptıkları çalışmalarda numunelere uygulanan kaynak gazının debisi ve kaynak akımı arttıkça malzemenin çekme dayanımı ve kaynak bölgesindeki çentik dayanımlarının arttığını belirlemiştir. Numunelere uygulanan sertlik deneyleri sonuçlarında en yüksek sertlik verisi kaynak bölgesinde elde edilmiş ve sırasıyla ısıdan etkilenen malzeme ITAB ve temel malzeme takip etmiştir. Mikro yapı incelemelerinde ise yüksek gaz debisine ve kaynak akımına sahip kaynak numunelerinde daha derin bir kaynak dikişi olduğu görülmüştür.

Vora ve ark (2017), çalışmasında kaynak akımı değerlerinin de mekanik özelliklere etkisinin incelendiği numunelerde gerçekleştirilen deney sonuçları ele alındığında, AISI 316 paslanmaz çeliğin TIG kaynağı ile birleştirilmesinde, kaynak akımı değerinin yükselmesi ile beraber, mekanik özelliklerin kısmen kötüleştiği gözlemlenmiştir.

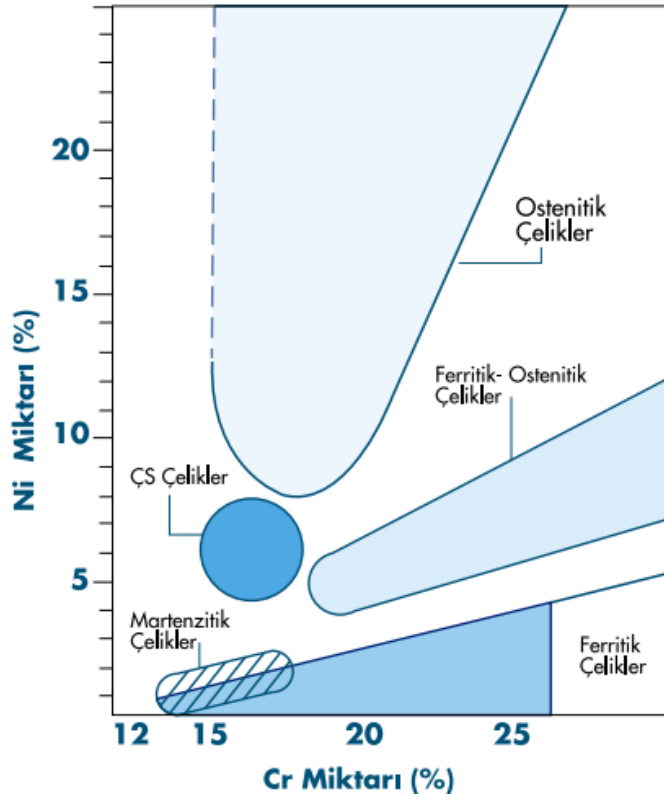
Kaya (2010), yaptığı çalışmasında üç farklı kaynaklı birleştirme çeşidini kullanarak 304 kalite östenitik paslanmaz çelik ve 430 kalite ferritik paslanmaz çelik levhalarını kaynak işlemi ile birleştirmiştir. Kaynaklı birleştirme işlemi biten numunelerin çekme mukavemeti, çentik darbe dayanımı, mikro sertlik ve mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Çekme testi sonucunda numunelerde kopmalar kaynak ısıdan etkilenen bölgesine (ITAB) yakın ferritik paslanmaz çelik numunenin bulunduğu tarafta meydana gelmiştir. Çekme mukavemetleri her üç kaynakta da yakın bir değer çıkmıştır. Testler sonucunda en yüksek çekme mukavemetleri sırasıyla; TIG, MIG ve ark kaynaklarında görülmüştür. Yapılan bu deneylerde kullanılan malzemelerde en yüksek mikro sertlik dayanım değeri 430 ferritik paslanmaz çelik tarafında ölçülmüştür.

2.1 Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler, paslanmazlık özelliği için malzeme bileşimlerinde en az %12 krom elementi içermek zorundadırlar. Malzemenin içerisinde bulunan krom elementi, paslanmaz çeliği küçük taneli hale getirerek kritik soğuma hızını azaltmaktadır. Bu azalma sonucu yapıya sertleştirici bir etkide bulunmaktadır. Paslanmaz çeliğin yapısındaki krom içeriği arttıkça, malzemenin oksitlenmeye karşı olan direnci artmaktadır.

Paslanmaz çeliklerde alaşım elementi olarak yalnızca krom elementi bulunduğu durumlarda bu paslanmaz çelikler asitlere karşı dayanıksız hale gelmektedirler. Aşındırıcı asit malzemeler yüzeyde oksidasyon direncini sağlayan krom oksit yüzeyini ortadan kaldırmaktadır. Bu sebeple paslanmaz çelikler asitlere dayanıksız hale gelmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmak için günümüzde asitli çalışma ortamlarına karşı iyi bir direnç gösterebilen, içerisinde molibden ve nikel gibi alaşım elementlerini barındıran paslanmaz çelikler imal edilmektedir. (Aydın 2002)

Paslanmaz çeliklere titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi alaşım elementleri ilave edilerek çeliğe farklı geliştirici etkiler kazandırılmaktadır. Paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri önem sıralamasına göre krom (Cr), nikel (Ni), molibden (Mo) ve mangan (Mn) elementleridir. Belirtilen bu alaşım elementlerinden krom ve nikel elementleri malzemenin iç yapısının ferritik veya östenitik olmasını belirlemektedir. (Aran ve ark. 2004)

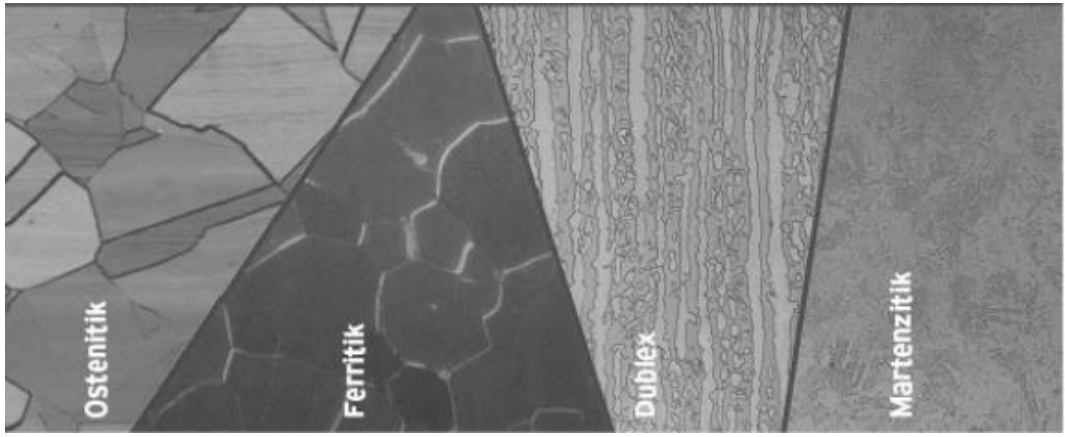


Şekil 2.1. Paslanmaz çelikler için nikel ve krom elementlerinin miktarları (Aran ve ark. 2004)

2.2 Paslanmaz Çelik Türleri

Paslanmaz çelikler beş ana grup altında toplanmaktadır:

- Martenzitik paslanmaz çelikler
- Ferritik paslanmaz çelikler
- Östenitik paslanmaz çelikler
- Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler
- Çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler (Aydın 2002)



Şekil 2.2. Paslanmaz çelik türlerinin mikro yapıları (Aran ve Temel 2003)

2.2.1 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

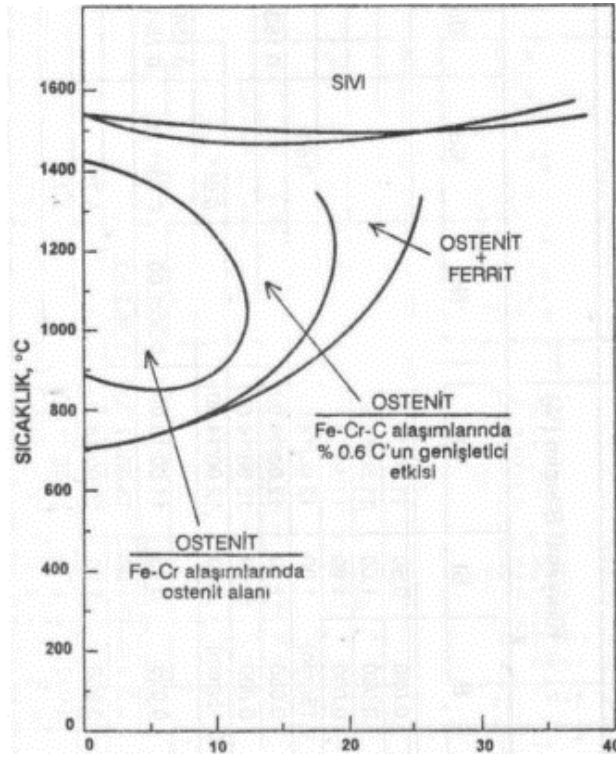
Paslanmaz çeliklerin iç yapıları ve özellikleri, bileşimlerine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Martenzitik paslanmaz çelikler, östenit yapısına sahip olabilir ve uygun soğutma prosesiyle oda sıcaklığında martenzitik yapıya dönüşebilir. Bu tür çelikler genellikle %11,5'tan fazla krom içerir. Yüksek karbon içeriğine sahip olan çelikler ise yüksek sıcaklıklarda tamamen östenitik yapıya dönüşebilir ve %18 krom içermeleri nedeniyle farklı bir sınıfa girer.

Paslanmaz çeliklerin iç yapıları ve davranışları, krom ve karbon gibi bileşenlerin miktarına bağlıdır. Martenzitik paslanmaz çelikler, yüksek krom içeriğiyle birlikte uygun soğutma işlemiyle martenzitik yapıya dönüşebilirken, yüksek karbon içeriğine sahip

çelikler yüksek sıcaklıklarda östenitik yapıya geçebilir. Bu tanımlamalar, paslanmaz çeliklerin bileşimlerindeki krom miktarının belirli sınırlarını vurgulamaktadır.

Paslanmaz çeliklerin martenzitik türüne ait olanlar için krom miktarı genellikle %11,5 ila %18 arasında sınırlanmıştır. Bu sınırlama, malzemenin korozyona karşı direncini belirleyen alt sınıra ve yüksek sıcaklıklarda tamamen östenitik yapıya dönüşebilme özelliğini belirleyen üst sınıra dayanmaktadır.

Dolayısıyla, bu sınırlamaların amacı, paslanmaz çeliğin belirli bir bileşimdeki krom içeriğiyle istenen korozyon direncini sağlamasını ve aynı zamanda yüksek sıcaklıklarda östenitik yapıya geçebilme yeteneğini korumasını sağlamaktır. Bu olay, malzemenin kullanım alanlarına ve talep edilen özelliklere göre belirlenen bir parametredir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)



Şekil 2.3. Fe-Cr alaşımlarında karbon elementi miktarının östenit alanını genişletici etkisi (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

Martenzitik paslanmaz çelikler, kübik hacim merkezli (KHM) veya sertleştirilmiş halde tetragonal kristal kafes sistemine sahip olan alaşımlardır. Bu çeliklerde krom ve karbon

elementleri bulunur ve sertleştirme işlemiyle transformasyona uğrayarak martenzitik yapıya dönüşebilirler. Genellikle atmosferik korozyona karşı direnç gösterirler.

Krom içeriği martenzitik paslanmaz çeliklerde genellikle %11 ila %18 arasında değişirken, karbon içeriği ise %1,2'ye kadar olabilir. Krom ve karbonun oranları, malzemeye uygulanan sertleştirme işlemi sonrasında baskın bir martenzitik yapı elde etmek için dengelenir.

Çizelge 2.1'de martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimlerinin yer aldığı tablo gösterilmiştir. Bu çeliklerin bileşimleri ve özellikleri, malzemenin belirli uygulamalara uygunluğunu ve performansını belirlemede önemlidir. (Davis 1993)

Çizelge 2.1. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi (Davis 1993)

Tipi	% Bileşim							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
403	0.15	1.0	0.5	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
410	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	-	0.04	0.03	-
414	0.15	1.0	1.0	11.5-13.0	1.25-2.25	0.04	0.03	-
416	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
416 Se	0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.03	0.15 Se
420	Min 0.15	1.0	1.0	12.0-14.0	-	0.04	0.03	-
420 F	Min 0.15	1.25	1.0	12.0-14.0	-	0.06	0.15	0.6 Mo
422	0.20-0.25	1.0	0.75	11.5-13.0	0.5-1.0	0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
431	0.20	1.0	1.0	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	0.15-0.3 V
440 A	0.60-0.75	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440 B	0.75-0.95	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo
440 C	0.95-1.20	1.0	1.0	16.0-18.0	-	0.04	0.03	0.75 Mo

Martenzitik paslanmaz çeliklerin özelliklerini elde etmek için su verme (quenching) veya hava soğutması gibi hızlı soğutma yöntemleri kullanılır. Martenzitik dönüşüm, malzemenin kritik soğuma hızını aşan bir hızda soğutulmasıyla gerçekleşir.

Normal sıcaklıklarda havada yavaş soğutma işlemi uygulandığında, martenzitik dönüşüm gerçekleşmez ve çelik östenitik veya ferritik yapıda kalır. Ancak hızlı soğutma işlemiyle malzeme martenzitik yapıya dönüşür ve sertleşir. Martenzitik yapı, çeliklere yüksek mukavemet ve sertlik kazandırır.

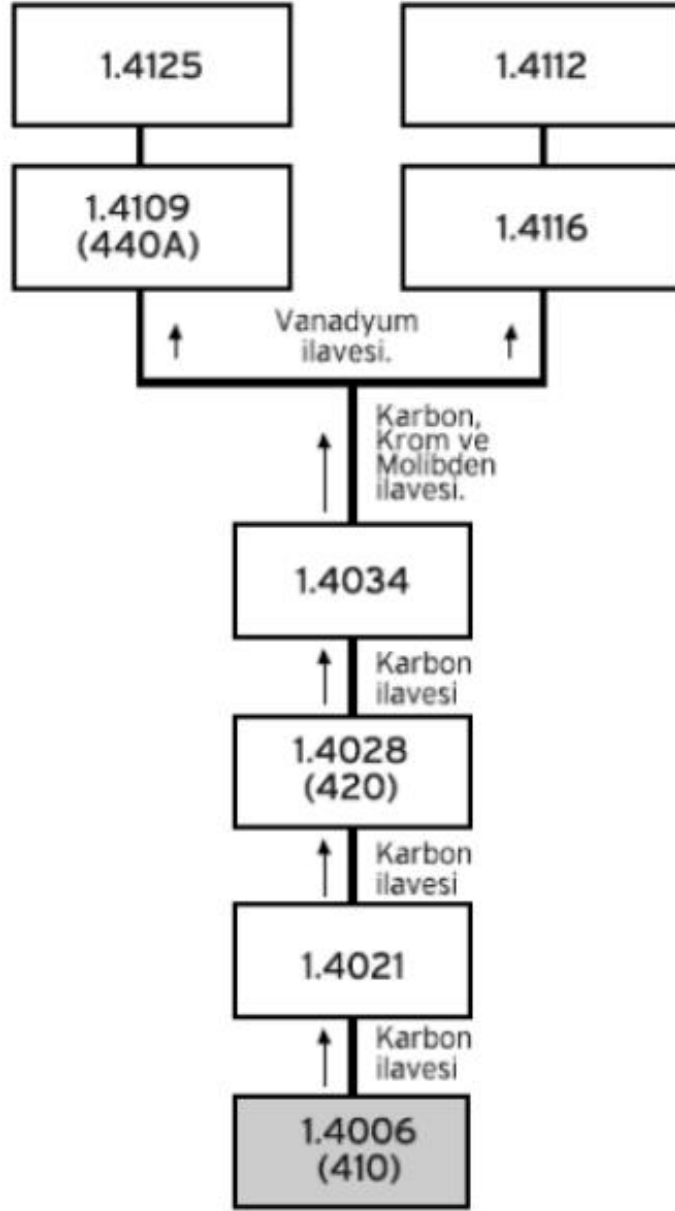
Bu nedenle, martenzitik paslanmaz çeliklerin istenen özellikleri elde etmek için uygun bir soğutma işlemi gerekmektedir. Su verme veya hızlı soğutma işlemleri, malzemenin yapısında martenzit oluşumunu sağlamaktadır. Bu işlemler sayesinde çelikler istenilen mukavemet ve sertliğe sahiptirler.

Martenzitik yapının oluşması durumunda malzemenin korozyona karşı direnci artmaktadır. 815°C'ye kadar korozyona karşı dirençlerini kaybetmezler. Fakat daha uzun sürelerde çalışma ortamında yüksek sıcaklıklara maruz kalmaları durumunda korozyon başlamaktadır. Bu sebeple bu çeliklerin 700°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılması önerilmemektedir. (Osmanoğlu 2012)

Martenzitik paslanmaz çelikler sertleştirilerek ardından temperleme işlemlerine tabi tutulmaları sebebiyle manyetik özellik kazanarak aynı yüksek alaşımlı çelikler gibi yüksek mukavemet değerlerine sahip olmaktadır. (Aydın 2002).

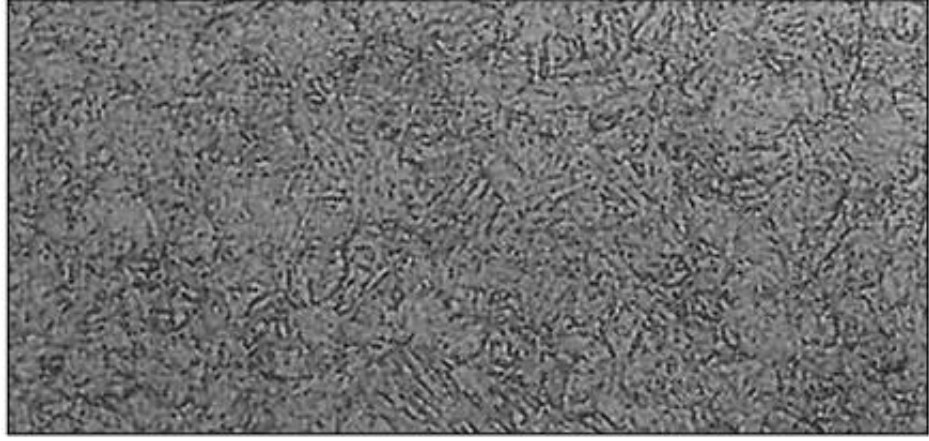
Martenzitik çeliklere çeşitli elementlerin etkisi ile farklı kalitedeki martenzitik çelik sınıfları ortaya çıkmaktadır. (Şekil 2.4)

Martenzitik yapıya sahip paslanmaz çeliklerin mikro yapıları Şekil 2.5'te görüldüğü gibidir.



Şekil 2.4. Martenzitik paslanmaz çeliklere element ilavesi (Saritaş Çelik 2012)

Martenzitik paslanmaz çelikler, yüksek mukavemet değerlerine sahip olmaları ve yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri sayesinde kendisine geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu çelik sınıfı yüksek sıcaklık değerlerine sahip olan türbinlerde jet motor ve ekipmanlarında kullanılmaktadır. Daha fazla karbon elementini malzeme bileşiminde bulduran martenzitik paslanmaz çelikler ise, cerrahi aletler, dişliler, kam, şaft, bilyeli yatak ve valf gibi ürün gruplarında tercih edilmektedir. (Davis 1993)



Şekil 2.5. Martenzitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı (Sarıtaş Çelik 2012)

2.2.3 Ferritik Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çelikler arasında ferritik çelikler, iç yapısında en az % 12 en fazla ise % 30 krom elementi içermektedir. Yapı itibari ile kübik hacim merkezli yapıya sahip alaşımlardır. Bu demir krom esaslı alaşımlar ferritik olarak adlandırılmaktadır. Ferritik yapıya sahip malzemelerin iç yapıları ısıl işlem uygulandığı şartlar altında çoğunlukla ferritik yapısını korumaktadır. Bu ferritik yapıya sahip alaşımlar genel olarak imal ve yapı malzemeleri olarak kullanılırlar. Ferritik paslanmaz çelikler iç yapısında pahalı olan nikel elementi bulunmaması sebebiyle ekonomiktirler. Nikel içeren paslanmaz çelikler ile aynı korozyon direncini sağlamaları sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir. Fakat bu ekonomik avantajına karşın ferritik paslanmaz çelikler süneklik dayanımının azlığı, darbe çentiğe karşı olan hassaslığı ve düşük kaynak kabiliyetinden dolayı endüstride kullanımları östenitik paslanmaz çeliklere göre daha azdır. (Osmanoğlu 2012)

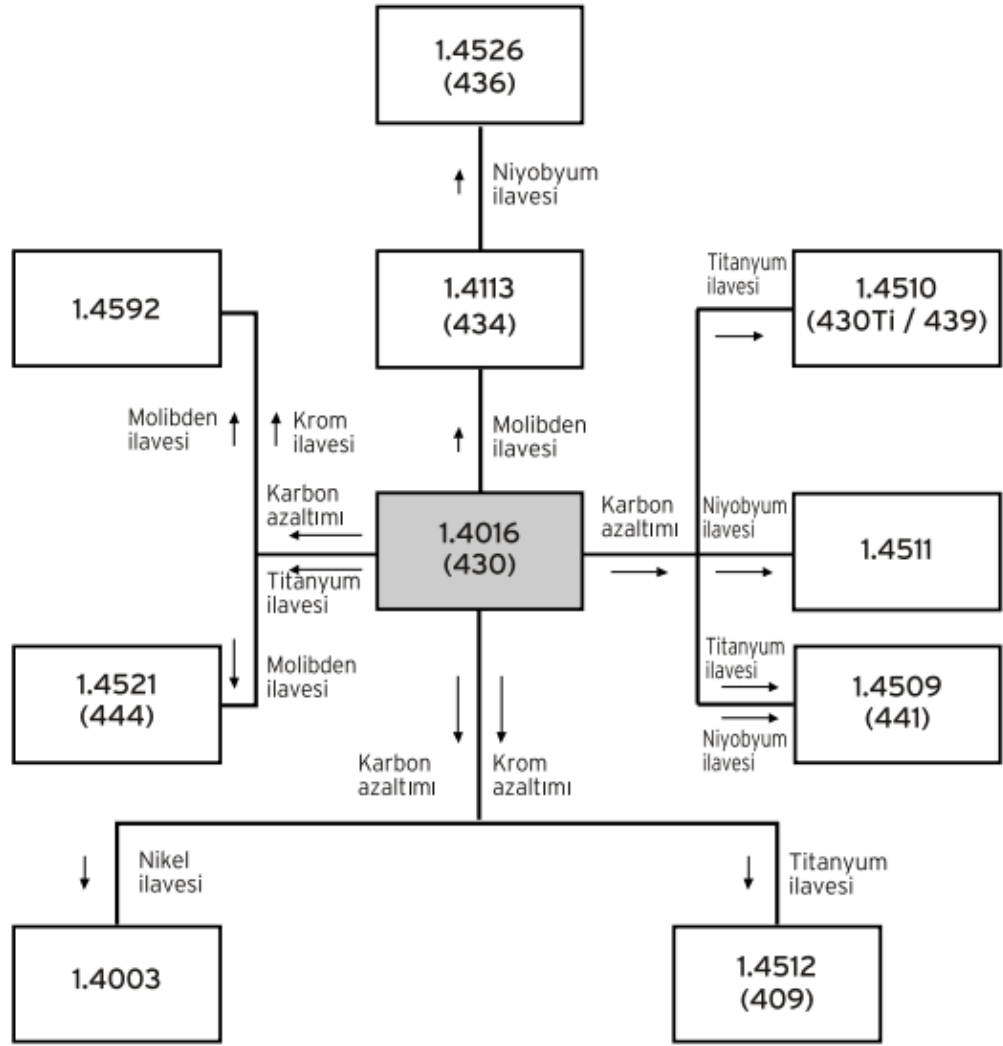
Mevcutta bulunan ferritik paslanmaz çeliklerin süneklik dayanımı problemini aşmak için düşük karbon içeriği ve azot elementli yeni ferritik yapıda alaşımlı paslanmaz çelikler geliştirilmiştir. Geliştirilen alaşımlar daha iyi korozyon direnci ve kaynaklanabilirlik sağlamıştır. (Erdoğan 2000).

Çizelge 2.2. Ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri (Palabıyık 2013)

Kalite	%C	%Cr	%Mn	%Mo	%Si	%S	%P	Diğer
405	0,08	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
409	0,03	10,5-12,5	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,65 Ti
410	0,08	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
430	0,08	16,0-18,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	
434	0,08	16,0-18,0	<1,0	0,9-1,40	<1,0	0,015	0,04	
439	0,05	12,0-14,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,8 Ti
444	0,025	17,0-20,0	<1,0	1,8-2,5	<1,0	0,015	0,04	0,8 Ti
446	0,02	26,0-29,0	<1,0	-	<1,0	0,015	0,04	0,5-1,0 Al

Çizelge 2.2'de ferritik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimlerinin yer aldığı tablo gösterilmiştir. Ferrit çelikleri, diğer paslanmaz çeliklere göre ekonomik ve üstün mekanik özelliklere sahip olması sayesinde kimya, otomotiv mutfak aletleri ve gıda endüstrisi gibi geniş çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

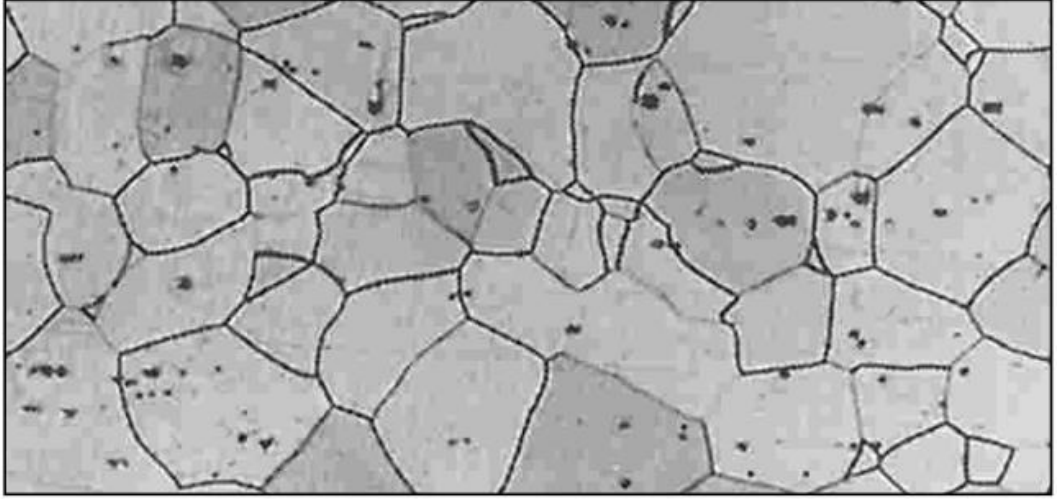
Ferritik paslanmaz çeliklere çeşitli elementlerin etkisi ile farklı kalitedeki ferritik paslanmaz çelik sınıfları meydana gelmektedir. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklere element ilavesi (Saritaş Çelik 2012)

Endüstride ferritik paslanmaz çelikler bazı özel durumlarda aşındırıcı bulunduran çevre şartlarında östenitik paslanmaz çeliklere göre daha fazla korozyon direncine sahip olabilmektedirler. Ayrıca Ferritik paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çelik türleri ile kıyaslandığında yüksek ısı iletkenliğine karşın daha düşük termal genleşme özelliklerine sahiptir. (Lai ve ark. 2012)

Ferritik paslanmaz çeliklerin mikro yapıları Şekil 2.7' de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.7. Ferritik yapıdaki paslanmaz çeliklerin mikro yapısı (Sarıtaş Çelik 2012)

2.2.4 Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelik grupları, bileşimlerinde oransal olarak % 12-25 Cr, % 8-25 Ni ve % 20'ye kadar Mn elementi içermektedirler. Nikel (Ni) ve mangan (Mn) elementleri temel olarak östenit yapısını oluşturan maddelerdir. Östenit yapıya sahip paslanmaz çelikler gerek sanayide kullanım alanı olarak gerek içerisinde bulundurduğu alaşım elementlerinin kalitelerinin bolluğu açısından en zengin paslanmaz çelik gruplarıdır. Bu içeriğe sahip çelikler hem yüksek çalışma sıcaklıklarında hem oda sıcaklığında yüzey merkezli kübik (YMK) kafes sistemine sahip östenitik iç yapılarını korumaları sebebiyle ısıtma işlemiyle sertleştirilemezler. Malzemelerin sahip olduğu süneklik dayanımı, tokluk değerleri ve şekil alma yeteneği düşük çalışma sıcaklıklarında bile üstündür. Manyetik özelliği bulunmayan bu çelik grubunun mekanik özellikleri sadece soğuk şekillendirme ile artış göstermektedir. (Erdoğan 2000).

Çizelge 2.3'te östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimlerinin yer aldığı tablo gösterilmiştir.

Çizelge 2.3. Östenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimi (Davis 1994)

ASTM	EN	Kimyasal Bileşim (% ağırlık, en fazla)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Diğer
201	14.372	0.15	5.5 7.5	1.00	0.06	0.03	16.0 18.0	3.5 5.5	-	0.25	-
301	14.310	0.15	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	6.0 8.0	-	-	-
304	14.301	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 10.5	-	-	-
304L	14.306	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 12.0	-	-	-
304LN	14.311	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	18.0 20.0	8.0 12.0	-	0.10 0.16	-
309	14.828	0.20	2.0	1.00	0.045	0.03	22.0 24.0	12.0 15.0	-	-	-
309S	14.833	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	22.0 24.0	12.0 15.0	-	-	-
310	14.841	0.25	2.0	1.00	0.045	0.03	24.0 26.0	19.0 22.0	-	-	-
310S	14.845	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	24.0 26.0	19.0 22.0	-	-	-
316	14.401	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	-
316L	14.404	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	-
316LN	14.406	0.03	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	0.10 0.16	-
316Ti	14.571	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	16.0 18.0	10.0 14.0	2.0 3.0	-	5x(C+N)Ti
321	14.541	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	17.0 19.0	9.0 12.0	-	-	(5xC)Ti
347	14.550	0.08	2.0	1.00	0.045	0.03	17.0 19.0	9.0 13.0	-	-	(10xC)Nb

Östenitik yapıya sahip paslanmaz çeliklerin sahip oldukları nominal mekanik özellikler genelde soğuk şekillendirme ile artmaktadır. Malzemeye ilave edilen alaşım katkıları sonucu ortaya çıkan alaşım bileşiminin; kaynak kabiliyeti ve kaynak edilen bölgenin mikro yapısı üzerinde büyük bir etkisi bulunmaktadır. (Brooks 1993)

Dünya üzerinde imal edilen paslanmaz çeliklerin %70'i östenitik çeliklerdir. Östenitik çeliklerin arasında kullanımı en yaygın olan tür ise 304 kalite östenitik paslanmaz çeliktir. (Singh 2020).

Östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapıları Şekil 2.8' de görüldüğü gibidir.

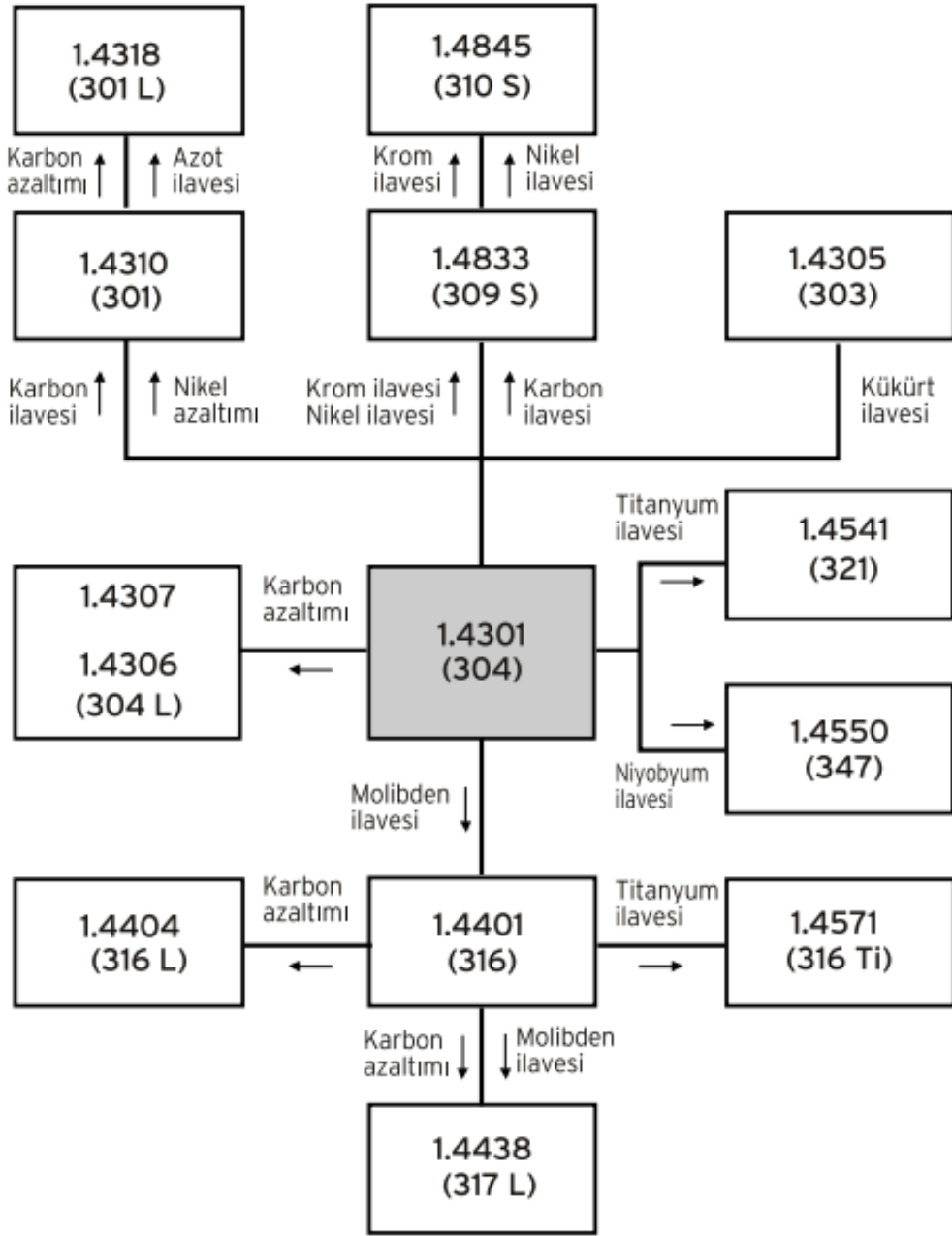


Şekil 2.8. Östenitik paslanmaz çeliklerin mikro yapısı (Saritaş Çelik 2012)

Östenitik paslanmaz çeliklerin korozyona karşı direnci, martenzitik ve ferritik yapıdaki paslanmaz çeliklere göre daha üstündür. Östenitik çeliklerde ferritik çeliklerde görülen tane sınırı korozyonuna neden olan gevrekleşme sorunu bulunmaz. Bu nedenle östenitik çelikler, sıfırın altındaki yaklaşık -300°C gibi soğuk koşullara ve yüksek sıcaklıklardaki korozyon dayanımları ve mekanik özelliklerinin üstünlüğü sayesinde birçok kullanım alanında tercih edilen paslanmaz çeliklerdir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

Ayrıca, östenitik çeliklerin çeşitli kaliteleri mevcuttur. Örneğin, AISI 304L kalitesi, düşük karbon içeriğine sahip olup, kaynak sırasında karbür çökmesini önlemek için kullanılırken, 309 ve 310 kaliteleri yüksek alaşım ve oksitleyici ortamlarda kullanılmaktadır. (Aran ve Temel 2003).

Östenitik yapıya sahip çeliklere çeşitli elementlerin etkisi ile farklı kalitedeki östenitik paslanmaz çelik sınıfları meydana gelmektedir. (Şekil 2.9)



Şekil 2.9. Östenitik paslanmaz çelikler (Sarıtış Çelik 2012)

Östenitik paslanmaz çelikler, çeşitli sektörlerde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan malzemelerdir. Bu çelikler, makine endüstrisinde, korozyon direnci beklenen gıda işleme ekipmanlarında, kimya sektöründe, tren vagonlarında, asansörlerde, yaylarda, antenlerde, ev aletlerinde, mutfak gereçlerinde, fırın parçalarında, yağmur oluklarında, pompa parçalarında, ısı değiştiricilerde, türbin kanatlarında, basınçlı kaplarda, kaynatma

kazanlarında, yüksek ısıda çalışan uçak egzoz bacalarında, jet motor parçalarında, günlük kullanılan korozyon direnci beklenen çatal, bıçak, kaşık gibi mutfak eşyalarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. (Aran 2003)

2.2.5 Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, içerdikleri bakır (Cu), molibden (Mo), niyobyum (Nb), titanyum (Ti) ve alüminyum (Al) gibi alaşım elementleri sayesinde çökelme sertleşmesi gösteren demir krom ve nikelli paslanmaz çelikler ailesinin içerisinde yer almaktadır. Bu çelikler, çeşitli alaşım elementlerinin etkisiyle sertleşme özelliği kazanır. Bu grup çelikler, çökelme sertleşmesi nedeniyle yüksek mukavemet ve sertlik seviyelerine sahiptir. Bu sayede, çeşitli endüstrilerde kullanım alanı bulurlar. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler, istenen mukavemet özelliklerini elde etmek için kontrollü bir şekilde çökelme sertleşmesi (yaşlandırma) işlemine tabi tutulurlar. Bu çeliklerde çökelti oluşumunun gerçekleştirilmesi için bazı elementler ile alaşımlama işlemi uygulanmaktadır. Alaşımlama işlemi uygulanan elementler alüminyum (Al), molibden (Mo), titanyum (Ti), niyobyum (Nb) ve bakır (Cu) gibi elementlerdir.

Çökelme sertleşmesi işlemi, bir alaşımın çözeltiye alınması ve hızlı soğutma ile başlayan bir yaşlandırma işlemidir. Bu işlem sırasında alaşım elementleri çözünerek matris içinde dağılır ve yaşlandırma sürecinde küçük çökelme parçacıkları oluşturur. Bu çökelme parçacıkları, matrisin sertlik ve mukavemetini artırır. Östenitik paslanmaz çeliklerin çökelme sertleşmesi işlemine tabi tutulması sonucunda, çelik martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine sahip olabilir. Martenzitik paslanmaz çeliklerin mukavemet değerleri genellikle yüksektir ve yaklaşık olarak 1700 MPa'ya kadar çıkabilir. Bu sayede, çökelme sertleşmesi işlemiyle östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemet değerleri, martenzitik çeliklerin mukavemet değerlerinin üzerine çıkabilir. Bu işlem, östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direncini korurken aynı zamanda daha yüksek mukavemet değerleri elde etmek için kullanılabilir. Çökelme sertleşmesi işlemi, alaşım

elementlerinin kontrollü bir şekilde çökmesiyle gerçekleşir ve bu çökelmeler çeliğin mekanik özelliklerini iyileştirir.

Çökme sertleşmesi işlemiyle östenitik paslanmaz çeliklerin mukavemet değerleri artırılabilir ve martenzitik paslanmaz çeliklere benzer mekanik özelliklere sahip olabilirler. Bu, paslanmaz çeliklerin çeşitli uygulama alanlarında daha yüksek mukavemet gereksinimlerini karşılamak için bir seçenek olarak kullanılabilirdiği anlamına gelir. (Baylan 2004).

Çizelge 2.4'te martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimlerinin yer aldığı tablo gösterilmiştir.

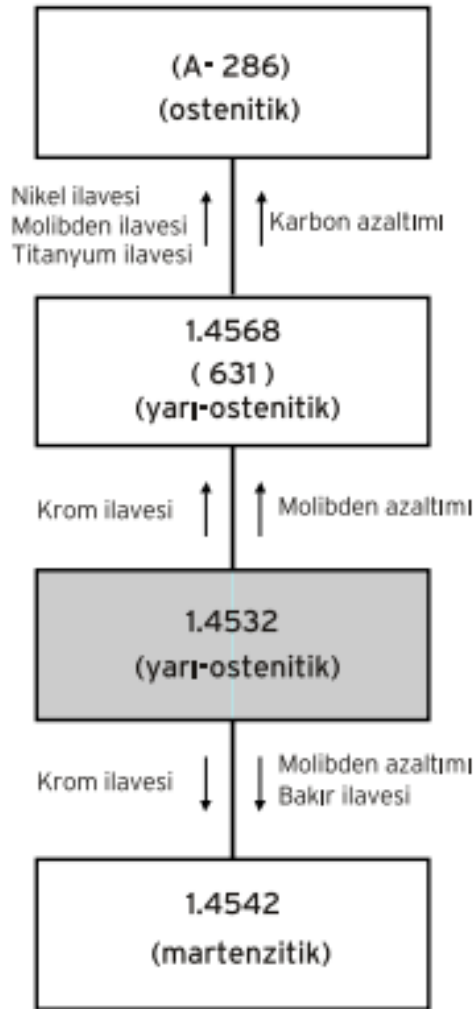
Çizelge 2.4. Çökme sertleşmeli çeliklerin kimyasal bileşimleri (Palabıyık 2013)

Kalite	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	%Diğer
PH 13-8 Mo	0,05	12,25-13,25	7,5-8,5	0,2	1,0-2,0	2,0-2,5 Mo/ 0,9-1,35 Al / 0,01 N
PH 15-5	0,07	14,0-15,50	3,5-5,5	1,0	6,0	2,5-4,5 Cu/0,15-0,45 Nb
PH 17-4	0,07	15,5-17,5	3,0-5,0	1,0	2,5-3,5	3,0-5,0 Cu/0,15-0,45 Nb
PH 17-7	0,09	16,0-18,0	6,5-7,75	1,0	2,9-3,9	0,75-1,0 Al

Çökme sertleşmesi işlemi, alaşımın çözeltiye alınmasından sonra hızlı soğutma ve yaşlandırma işlemiyle gerçekleştirilen bir yöntemdir. Yukarıda belirtilen alaşım elementleri, çözeltiye alma aşamasında çözünerek, yaşlandırma sırasında ise matris içinde çok küçük zerrecikler halinde çökerek sertlik ve mukavemet artışına neden olurlar. Bu sayede çelik, mekanik özellikleri bakımından martenzitik paslanmaz çeliklere ve östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direncine sahip olabilir. Özellikle AISI 304 kalite östenitik çelik, kolaylıkla işlenebilir ve şekillendirilebilir durumda olduğunda 480-600°C arasında yapılan bir ısıl işlemle mekanik özellikleri geliştirilebilir. Bu çeliklerin mukavemet değerleri çok yüksek seviyelere kadar çıkabilmektedir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

Son yıllarda, çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin gelişimiyle birlikte uçak, uzay ve savunma endüstrilerinde önemli bir yer edinmiştir. Bu sınıftaki çelikler, askeri savaş uçaklarının dış yüzeyleri, deniz ve hava taşıtları, yakıt ve kimya tankları, pompa, mil, somun, cıvata, kesici alet ve kavramalar gibi çeşitli yerlerde geniş bir kullanım sağlamaktadır. Bu çelikler, yüksek mukavemet, dayanıklılık ve korozyon direnci özellikleri sayesinde bu endüstrilerde tercih edilmektedir. (Aydın 2002)

Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çeliklere çeşitli elementlerin etkisi ile farklı kalitedeki paslanmaz çelik sınıfları ortaya çıkmaktadır. (Şekil 2.10)



Şekil 2.10. Çökelme sertleşmesi uygulanabilir paslanmaz çelikler (Sarıtaş Çelik 2012)

2.2.6 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çelikler

Dubleks yani çift fazlı olarak da bilinen bu çeliklerde, iç yapının içinde hem östenit hem de ferrit fazları bir arada bulunur. Bu çift fazın varlığı, bu çeliklerin östenit ve ferrit çeliklerine kıyasla iki kat daha yüksek akma mukavemetine sahip olmalarını sağlar. (Tülbentçi 1998)

Ayrıca, dubleks (çift fazlı) çeliklerin korozyon dirençleri de oldukça yüksektir. İç yapılarında, ferrit tane yapısının içinde östenit veya östenit tane yapısının içinde ferrit taneleri bulunur. Dubleks çelikler, östenit çeliklerine göre daha iyi gerilme korozyonu mukavemetine sahipken, ferritik çeliklerle karşılaştırıldığında daha üstün süneklik ve tokluk değerlerine sahiptirler. (Gooch 1992)

İlk dubleks paslanmaz çelikler, 1. Dünya savaşı sonrasında 1933 yılında Fransa'da yanlışlıkla yapılan bir alaşımlama hatası sonucu keşfedilmiştir. Bu hatanın sonucunda, %18 krom (Cr), %9 nikel (Ni) ve %2,5 molibden (Mo) içeren bir paslanmaz çelik üretilmiş ve yüksek oranda ferrit içeren bir östenitik matris oluşmuştur. Daha sonra yapılan araştırmalar ve patent başvurularıyla dubleks paslanmaz çelikler üzerinde çalışmalar devam etmiştir. İsveç ve ABD'de 1930-1940 yılları arasında dubleks paslanmaz çeliklerin geliştirilmesi ve endüstriyel üretimi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

İlk ticari dubleks paslanmaz çelik ise 1970'li yıllarda pazara sunulmuştur. Bu çeliğin kimyasal bileşimi yaklaşık olarak %18,5 krom, %5 nikel, %2,7 molibden ve %0,1 azottan oluşmaktadır. Ancak, yüksek karbon miktarı nedeniyle kaynak edilebilirliği düşük olduğundan kullanıcıların ilgisini çekmemiştir. Ancak, çelik üretim teknolojisindeki gelişmelerle birlikte karbon miktarı düşürülerek kaynak edilebilirlikleri iyileştirilmiş ve yüksek korozyon direncine sahip birçok dubleks paslanmaz çelik geliştirilmiştir. Günümüzde araştırmacılar, bu çelik türlerinin kaynak edilebilirliklerini, kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerini arttırmak ve korozyon dirençlerini daha da iyileştirmek üzerine çalışmaktadır. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

Dubleks paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.5'te görülmektedir.

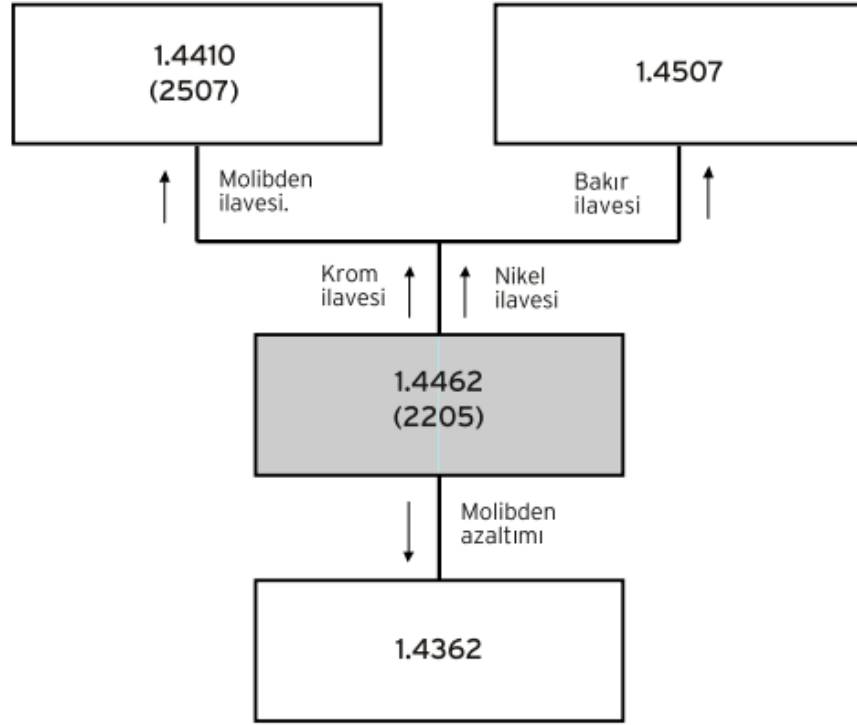
Çizelge 2.5 Çift Fazlı (Dubleks) çeliklerinin kimyasal bileşimleri (Palabıyık 2013)

Kalite (EN)	%C	%Cr	%Ni	%Mn	%Mo	%N	%Cu	%W
1.4460	0,08	23,0-28,0	2,5-5,0	1,0	1,0-2,0	1,0	0,03	0,06
1.4482	0,03	19,5-21,5	1,0-3,0	0,6	6,0	0,05-0,17	1,0	-
1.4362	0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,0	2,5-3,5	0,08-0,20	-	-
1.4507	0,04	24,0-27,0	4,5-6,5	1,5	2,9-3,9	0,10-0,25	1,5-2,5	-
1.4501	0,03	24,0-26,0	6,0-8,0	1,0	3,0-4,0	0,20-0,30	0,5-1,0	0,5-1,0
1.4462	0,03	21,0-23,0	4,5-6,5	2,0	2,5-3,5	0,08-0,20	-	-
1.4410	0,03	24,0-26,0	6,0-8,0	1,2	3,0-5,0	0,24-0,32	0,5	-

Dubleks paslanmaz çeliklerde hızlı soğuma sonucunda ferrit ve nitrür çökelmeleri gibi olaylar gerçekleşebilir. Bu durum düşük tokluk ve düşük korozyon direncine neden olabilir. Bu nedenle, bu türdeki paslanmaz çeliklerin kaynağı, içerdiği alaşım içeriklerinin özelliklerine göre kontrollü ve kademeli bir ısı girişi ile yapılmalıdır.

Endüstride, dubleks yapıya sahip çelikler için örtülü elektrotla ark kaynağı için çeşitli kaynak elektrot yapıları mevcuttur. Bu mevcut olan elektrotların karakterleri rutil ve bazik olarak ikiye ayrılmaktadır. Örtülü elektrotla gerçekleştirilen ark kaynağı, dubleks türündeki paslanmaz çelik plakaların birleştirilmesinde kullanılabileceği gibi farklı çaplardaki boruların kaynaklarında, kaynak dolgu pasolarının oluşturulmasında da tercih edilen bir yöntemdir.

Örtülü kaynak elektrotları, istenilen ferrit ve östenit dengesini sağlamak için aşırı alaşımlanmış nikel (Ni) ve/veya azot (N) içerebilirler. Bu sayede kaynak sonucunda istenen mekanik ve korozyon direnci özelliklerine sahip dubleks paslanmaz çelik birleşikleri elde edilebilir. (Kaluç 1999)



Şekil 2.11. Çift Fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler (Saritaş Çelik 2012)

Çift Fazlı (Dubleks) paslanmaz çeliklere çeşitli elementlerin etkisi ile farklı kalitedeki paslanmaz çelik sınıfları ortaya çıkmaktadır. (Şekil 2.11)

Çift Fazlı (Dubleks) paslanmaz çelikler yüksek korozyon direncine ve mukavemet değerlerine sahip olması sebebiyle denizcilik, boru ve gaz hatları, kimya ve kağıt endüstrisi gibi alanlarda kullanım imkanı sağlamaktadır. Mikro yapısı ise Şekil 2.12’de gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Çift Fazlı (Dubleks) paslanmaz çeliğinin mikro yapısı (Gardi 2017)

2.3 Paslanmaz Çeliklerin Kullanım Alanları

Paslanmaz çelikler, korozyona dayanıklılığı, yüksek mukavemeti, estetik görünümü ve geniş kullanım alanları nedeniyle çok geniş bir yelpazede hizmet verebilen malzemelerdir. Sağladıkları mekanik özellikler ve dayanımı sayesinde mutfak ve gıda işleme, otomotiv, kimya, petrokimya ve denizcilik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Paslanmaz çelikler, endüstriyel uygulamalarda güvenilir ve uzun ömürlü çözümler sunmaktadır.

- Mutfak ve Gıda İşleme Endüstrisi: Paslanmaz çelikler, gıda işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Hijyenik özellikleri, korozyona dayanıklılığı ve kolay temizlenebilirliği nedeniyle mutfak ekipmanları, depolama tankları ve boru hatları gibi uygulamalarda tercih edilirler.
- Otomotiv Endüstrisi: Paslanmaz çelikler, otomotiv endüstrisinde egzoz sistemleri, gövde parçaları ve süslemeler gibi birçok uygulamada kullanılır. Korozyona dayanıklı olmaları ve yüksek sıcaklıklara dayanabilmeleri, otomobillerde uzun ömür ve dayanıklılık sağlar.
- Kimya ve Petrokimya Endüstrisi: Paslanmaz çelikler, kimyasal malzemelerin işlenmesinde ve petrokimya endüstrisinde geniş bir kullanım imkanı bulmaktadır. Kimyasal maddelere dayanıklılığı ve korozyona karşı direnci nedeniyle boru hatları, tanklar, reaktörler ve ekipmanlar gibi uygulamalarda tercih edilirler.
- Denizcilik Endüstrisi: Paslanmaz çelikler, deniz suyuna, tuzlu havaya ve diğer deniz koşullarına dayanıklılıkları nedeniyle denizcilik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Gemilerin gövde parçaları, gemi donanımı ve denizcilik ekipmanları için ideal bir seçenektir.

2.4 Paslanmaz Çeliklere Alaşım Elementlerinin Etkisi

- Karbon, ferrit yapıcı değildir. Tam tersine, çeliklere sertlik ve mukavemet kazandırmak için kullanılır. Yüksek karbon içeriği olan çelikler sertleştirme işlemine daha elverişli olabilir, ancak korozyon direncini olumsuz yönde etkileyebilir.

- Krom, paslanmaz çeliklerde korozyon direncini sağlayan temel alaşım elementidir. Aynı zamanda ferrit yapıcı özelliği de bulunur. Yüksek sıcaklıkta mukavemet ve sürünme direncine doğrudan bir etkisi olmasa da korozyon direncini artırır.
- Mangan, östenit yapıcıdır ve kaynak metalinin çatlama direncini artırabilir. Ancak, çeliklere korozyon direnci veya mukavemet kazandırmak için kullanılmaz.
- Nikel, östenit yapıcı ve dengeleyici bir elementtir. Yüksek krom elementi ve düşük karbon içeren çeliklerde tane büyümesini önlemek için kullanılır. Düşük sıcaklıklardaki çalışma ortamında kaynak metalinin tokluğunu etkileyebilmektedir.
- Niyobyum, kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Bazı alaşımlara sertlik ve mukavemet kazandırmak için kullanılır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini dengelemek için kullanılabilir.
- Kükürt, fosfor ve selenyum, paslanmaz çeliklerin talaşlı işlemeye yatkınlığını artıran elementlerdir. Ancak, çatlama riskini artırabilirler.
- Alüminyum, ferrit yapıcı değildir. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme yani demir oksit tabakasının oluşum direncini artırabilir ve bazı alaşımlara katılarak yaşlanma sertleşmesini etkileyebilir.
- Silisyum, ferrit yapıcı bir alaşım elementidir. Bazı çeliklerde korozyon direncini artırmak için kullanılır. Demir oksit tabakasının oluşum direncini de artırabilir.
- Tungsten, ferrit yapıcıdır. Yüksek sıcaklıkta mukavemet ve sürünme direncini artırabilir.
- Titanyum, östenitik yapıdaki çeliklerin iç yapısında meydana gelen krom karbür çökme problemini dengelemek için kullanılır. Ayrıca ferrit yapıcı özelliği de bulunur.
- Azot, östenit yapıcıdır ve mukavemeti artırabilir. Yüksek krom elementi ve düşük karbon içeren paslanmaz çeliklerde tane büyümesi problemini önlemek için kullanılır. Düşük sıcaklıklardaki çalışma ortamında kaynak metalinin tokluğunu etkileyebilmektedir. (Aydın 2002)

2.5 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Kaynak edilebilirlik, mekanik özelliklerin yanı sıra kırılma, dayanım, süneklik, çentik darbe dayanımı, gerilme korozyon kırılması gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Ayrıca, malzemelerin korozyona karşı direnci ve düşük çalışma sıcaklıklarında gösterilen mekanik özellikler de kaynak edilebilirlik üzerinde etkili olabilir.

Kaynak edilebilirlik, bir malzemenin kaynak işlemi sırasında nasıl davrandığına ve kaynak sonrası performansına bağlıdır. Malzemenin kimyasal bileşimi, mikro yapısı, kristal yapı, östenit ve ferrit dengesi, ısı işlem geçmişi, kaynak yöntemi, kaynak parametreleri gibi faktörler kaynak edilebilirlik üzerinde etkili olabilir. Ayrıca, kaynak sonrası ısı işlemler, kaynak bölgesinde oluşan sıcaklık etkisi, deformasyon, çatlak duyarlılığı gibi faktörler de kaynak edilebilirliği etkileyebilir.

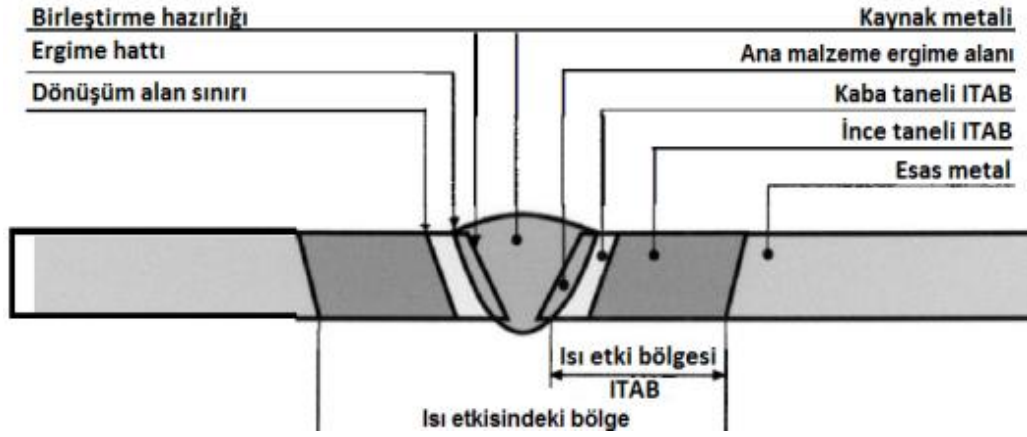
Bu nedenle, kaynak edilebilirlik mekanik özelliklerle doğrudan ilişkilidir ve belirli bir malzemenin kaynak edilebilirliği, mekanik özelliklerinin yanı sıra çeşitli diğer faktörlere bağlı olarak değişebilir. (Abuç 2006)

Malzemenin yüksek kaynak kabiliyeti özelliğine sahip olması, farklı kaynak şartları altında uygun kalitede bir kaynak yapılabilmesi anlamına gelir. Bu durumda, geniş bir kaynak şartları aralığında bile istenilen kaynak kalitesi elde edilebilir.

Öte yandan, düşük kaynak kabiliyeti, tatmin edici bir işlem yapabilmek için özel önlemlere ihtiyaç duyulduğunu gösterir. Bu durumda, kaynak yapılacak malzemeye ve kaynak şartlarına dikkat edilmesi, kontrollü sınırlar içinde kaynak işleminin gerçekleştirilmesi gereklidir.

Kaynak kabiliyeti, malzemenin özelliklerine, kimyasal bileşimine, mikro yapısına ve kristal yapıya bağlı olarak değişebilir. Aynı zamanda kaynak parametreleri, kaynak yöntemi, kaynak bölgesinde oluşan sıcaklık etkisi, deformasyon gibi faktörler de kaynak kabiliyetini etkiler.

Yüksek kaynak kabiliyeti, geniş bir kaynak aralığında uygun kalitede kaynak yapılabilmesine imkan sağlar, ancak düşük seviyede kaynak kabiliyeti için özel önlemler alınması ve kontrollü şartlar gereklidir. (Murat 2018)



Şekil 2.13. Kaynak işleminde oluşan bölgelerin şematik gösterimi (Weman ve Linden 2006)

Paslanmaz çeliklerin genellikle yüksek bir kaynak kabiliyetine sahip olduğu bilinmektedir. Bu çelikler, farklı kaynak yöntemleriyle birleştirilebilir. Bu yöntemler ark, direnç, elektron ışını, lazer, sürtünme ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Ancak, uygulanan bu yöntemlerin genelinde birleştirilecek yüzeylerin ve dolgu metalinin temiz olması önemlidir. Paslanmaz çeliklerin kaynak işlemi için temiz bir yüzey, kaliteli bir kaynak bağlantısı elde etmek için önemlidir.

Paslanmaz çeliklerin farklı bileşimleri, mekanik ve fiziksel özellikleri kaynak kabiliyetini etkileyebilir. Bu nedenle, farklı paslanmaz çelik bileşimlerinin kaynağı, farklı kaynak sıkıntılarını da ortaya çıkarabilmektedir. Bu sıkıntılar, kaynak yapılarının servis ömrü açısından da önem taşır.

Sonuç olarak, paslanmaz çelikler genellikle yüksek bir kaynak kabiliyetine sahiptir ve çeşitli kaynak yöntemleriyle birleştirilebilirler. Ancak, kaynağın kalitesini etkileyen faktörler arasında temiz yüzeylerin sağlanması, paslanmaz çelik bileşimlerinin özellikleri ve kaynak yapılarının servis ömrü gibi faktörler bulunur. (Baylan 2004)

2.5.1 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Martenzitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin kaynak işleminde karbon elementi önemli bir rol oynar. Karbon miktarı, kaynak sonrası ısıdan etkilenen bölgenin sertliği üzerinde etkilidir ve bu etki kaynak yöntemiyle belirli bir dereceye kadar kontrol edilebilir.

Kaynak sonrası ısıdan etkilenen bölgenin sertlik değerleri arttıkça, malzemedeki soğuk çatlama riski de artmaktadır. Malzeme tokluğu azalır. Bu nedenle, karbon içeriği az olan martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağı daha kolaydır, ancak yüksek karbon içeren çeliklerin kaynağı daha zordur ve bazı önlemler gerektirir.

Az karbonlu martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, uygun kaynak parametreleri ve kontrollü bir ısı girişi kullanmak önemlidir. Kaynak işlemi sırasında oluşabilecek aşırı ısınma ve soğuma hızını kontrol etmek, kaynak sonrası sertleşme ve soğuk çatlama önlemek için gereklidir.

Yüksek karbon içeren martenzitik paslanmaz çelikler ise olabildiğince kaynak edilmemelidir. Yüksek karbon içeriği, kaynak sonrası sertleşmeye ve çatlama riskine yol açabilir. Bu nedenle, bu tür çeliklerde kaynak işlemi yerine alternatif birleştirme yöntemleri tercih edilmelidir.

Sonuç olarak, karbon miktarı martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında önemli bir faktördür. Az karbonlu çelikler daha kolay kaynak edilebilirken, yüksek karbon içeren çeliklerin kaynağı daha zor olabilir ve bazı riskleri beraberinde getirebilir. Kaynak işlemi sırasında uygun parametrelerin kullanılması ve kontrollü bir ısı girişi sağlanması, kaynak kalitesini ve malzeme özelliklerini korumak için önemlidir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

Karbon içeriği az olan martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, çatlama eğilimini azaltmak için bazı önlemler alınması önemlidir. Normal olarak, kaynak işleminden önce, martenzitik paslanmaz çelikler ısı gerilmeleri azaltmak ve çatlama olasılığını minimize etmek için bir ön tavlama işlemi yapılması gerekmektedir.

Bu ön tavlama işlemi genellikle 200-400°C arasında bir sıcaklıkta gerçekleştirilir. Bu sıcaklık aralığı, malzemenin özelliklerini iyileştirmek için uygun bir seviyede ısı işlem yapmayı sağlar.

Kaynak işleminden hemen sonra, kaynak yapılan bölgede daha yüksek bir tokluk değerine ulaşabilmek için ve çatlama olasılığını en aza indirmek için gerilme azaltma tavlaması uygulanır. Bu işlemde, parça 800-820°C arasında dört saat boyunca tavllanır ve ardından çok yavaş bir şekilde soğutulur. Bu süreç, malzemenin süneklik ve tokluğunu artırır.

Az karbon içeriğine sahip martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında çatlama olasılığını azaltmak için ön tavlama ve gerilme azaltma tavlaması gibi işlemler uygulanır. Bu işlemler, malzemenin kaynak sonrası özelliklerini iyileştirir ve kullanım esnasında çatlama riskini ortadan kaldırır. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

2.5.2 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Ferritik yapıdaki krom içeren paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti martenzitik yapıdaki çeliklere göre genellikle daha üstündür. Ferritik çelikler, çeşitli kaynak yöntemleriyle başarıyla kaynak edilebilir. Ark, gazaltı, tozaltı ve elektrik direnç kaynağı gibi geleneksel kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilmektedir. Ayrıca günümüzde gerçekleştirilen modern kaynak yöntemleri de kullanılabilir.

Kaynak işlemi sırasında ortaya çıkabilecek problemler, uygun önlemler alınarak giderilebilir. Önceden alınacak önlemler, kaynak öncesi hazırlık ve malzeme seçimi gibi faktörleri içerir. Ayrıca, kaynak sonrasında da uygun ısı işlem ve tavlama yöntemleri kullanılabilir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, su verme yoluyla sertleştirilemezler, bu nedenle ısıdan etkilenmiş bölgelerde martenzit oluşumu tehlikesi düşüktür. Bu özellikleri, kaynak işlemini daha kolay hale getirir ve martenzitik paslanmaz çeliklere kıyasla daha rahat bir şekilde kaynak edilebilirler. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti genellikle iyidir ve çeşitli kaynak yöntemleriyle başarıyla kaynak edilebilirler. Kaynak

işlemi öncesinde ve sonrasında alınacak önlemler, olası problemleri ortadan kaldırmak için önemlidir. (Aydın 2002)

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında karşılaşılan önemli bir sorun, yüksek sıcaklıklarda tane büyümesine olan aşırı eğilimleridir. Bu çeliklerin belirli bir sıcaklık üzerinde tane büyümesi meydana gelir ve kaynak sırasında ısınmış bölgelerde tane irileşmesi oluşur. Bu durum, çeliklerin normalde ince taneli ve sünek bir yapıya sahip olduğu durumda değişiklik yapar ve tane irileşmesiyle birlikte çelikler kırılgan hale gelir, çentik-darbe dayanımları düşer.

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde, östenit-ferrit dönüşümü olmadığından tanelerin küçültülmesi için ısıtım işlemi yapılamaz. Ancak, bazı ferritik yapıdaki paslanmaz çeliklerin içeriğine azot gibi elementler ilave edilerek tane irileşmesi problemi önlenmeye çalışılır. Örnek verilecek olursa, AISI 444 kalite çeliği en fazla %0,035 azot içerirken, AISI 446 kalite çeliği en fazla %0,25 azot içerir. Belirtilen çeliklerdeki azot ilavesi, tane irileşmesini engellemeye yardımcı olur ve kaynağa daha uygun hale getirir. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında tane irileşmesi önemli bir sorundur. Azot gibi elementlerin ilave edildiği çelikler, tane irileşmesini önlemede daha etkilidir ve daha iyi kaynak kabiliyeti sağlarlar. Bu nedenle, uygun bileşime sahip ferritik kromlu paslanmaz çelikler kaynağa daha uygun seçeneklerdir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

2.5.3 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Östenitik yapıdaki çeliklerin korozyona karşı dayanımları diğer paslanmaz çeliklere kıyasla daha üstündür. Bu nedenle, östenitik paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılır ve kaynak edilmesi büyük önem taşır. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliğini etkileyen birçok önemli durum bulunmaktadır:

- Delta Ferrit Fazının Oluşumu
- Taneler Arası Korozyona Hassasiyet
- Gerilmeli Korozyona Hassasiyet:
- Sigma Fazının Oluşması

Bu faktörlerin dikkate alınması ve uygun kaynak prosedürlerinin uygulanması, östenitik yapıdaki çeliklerin başarılı bir şekilde kaynak edilmesini sağlar ve istenmeyen korozyon problemlerini minimize eder. (Kaluç 1990)

2.5.3.1 Delta Ferrit Fazının Oluşumu

Östenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin üretimi sırasında, sıvı haldeyken katılaşma süreci başlar. Bu süreçte iç yapı içerisinde östenitik ve delta ferrit taneleri meydana gelmektedir. Delta ferrit, normal östenit dönüşümüyle oluşan ferrit yapısı değildir. Direkt olarak katılaşma sürecinde oluşan bir fazdır. Katılaşma süreci, bir sıvı metalden katı bir yapıya dönüşme süreci gibi gerçekleştiğinde, östenit taneleri arasında delta ferrit tanecikleri oluşur. Delta ferrit fazı, kromu ve ferriti dengede tutan elementler açısından zengin, nikel ve östeniti dengede tutan elementler açısından ise fakirdir.

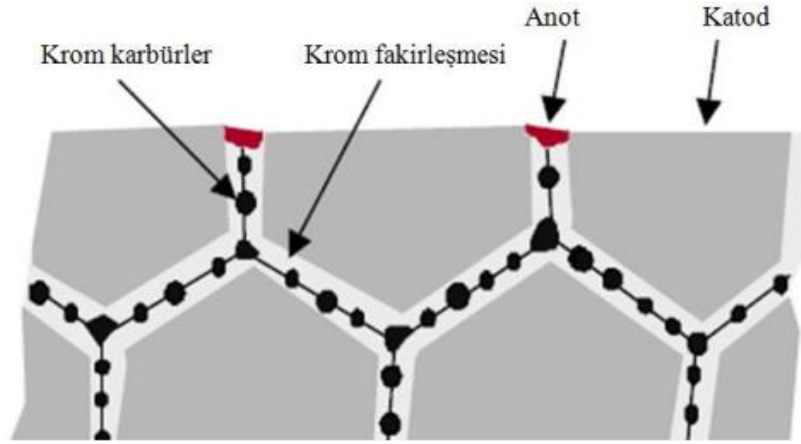
Delta ferrit fazının oluşması, çelik üreticiler tarafından istenmeyen bir durumdur. Çünkü sıcak şekil değişimini zorlaştırabilmektedir. Bu durum çatlak oluşumunu meydana getirebilir. Bu nedenle, östenitik krom ve nikelde sahip paslanmaz çeliklerin üretim sürecinde delta ferrit fazının oluşumunu minimize etmek için çeşitli önlemler alınır. Bunlar arasında uygun kimyasal bileşim ayarlamaları, kontrol edilen soğutma yöntemleri, ısıl işlemler ve döküm parametrelerinin optimize edilmesi bulunur. Bu şekilde, delta ferrit fazının oluşumu kontrol altına alınabilmektedir. Bu şekilde istenen yapıya ve özelliklere sahip östenitik yapıda paslanmaz çelikler elde edilebilir. (Kaluç 1990)

2.5.3.2 Krom Karbür Çökmesi ve Taneler Arası Korozyon

Östenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında karşılaşılan bir diğer problem, genellikle 18/8 çeliği gibi bazı krom ve nikel içerikli çeliklerde 450-850°C sıcaklık aralığında krom karbür çökmesi problemidir. Östenitik yapıdaki çeliklerin üretimi sırasında, östenit içerisinde krom ve karbürün çözündüğü 1100°C'den sonra hızla soğutulmaktadır. Bu hızlı soğutma sayesinde, krom ve karbür çökmesi riski ortadan kaldırılmaktadır. Oda sıcaklığında difüzyon hızı düştüğünden karbonun kullanım sırasında çökme olasılığı düşüktür.

Çalışma esnasında sıcaklık 450°C'nin üzerine çıktığında, difüzyon hızı artmaktadır. Karbon, difüzyon hızı artışı sebebiyle tane sınırlarından dışarıya çıkma eğilimi gösterir. Tane sınırları üzerinde karbon birikmektedir. Bu karbon ile krom birleşerek krom karbür bileşimini oluşturur. Krom karbür içeriğini ağırlıkça %90'ı kromdan oluşmaktadır. Bu sebeple tane sınırlarındaki krom miktarı aşırı derecede azalır. Bu durumda, malzeme korozyonun bulunduğu bir ortamda bulunduğu, krom içeriği zayıflamış tane sınırlarında korozyon ortaya çıkmaktadır. Taneler arası korozyon olduğundan bu durum, malzemenin hızla kullanılamaz hale gelmesine yol açar.

Çeliğin karbon içeriği arttıkça, bu olayın şiddeti de artar. Yüksek karbon içeriğine sahip çeliklerde krom karbür çökmesi ve tane sınırlarında oluşan korozyon daha belirgin hale gelir. Bu nedenle, östenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında, uygun önlemler alınarak bu krom karbür çökmesi riski minimize edilmeye çalışılır. Bu önlemler arasında düşük karbon element içeriği tercih edilmesi, optimum kaynak parametrelerinin kullanılması ve uygun ısıl işlemlerin uygulanması yer almaktadır. (Anık 1993)

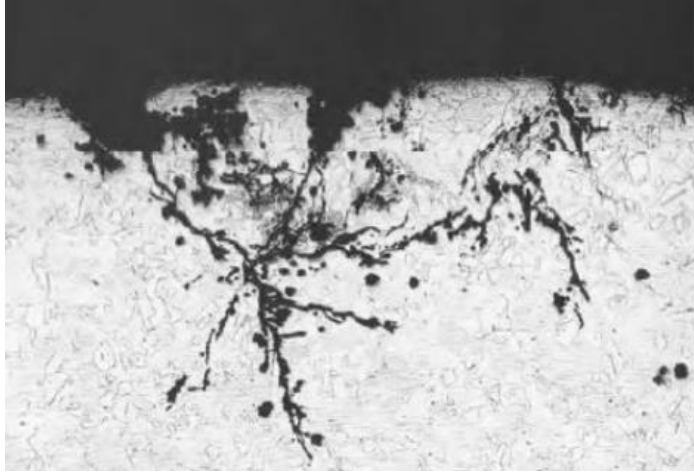


Şekil 2.14. Taneler arası korozyonun şematik gösterimi (Leffler 1996)

2.5.3.3 Gerilmeli Korozyon

Ostenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin taneler arası korozyonu, malzemenin korozyona uğrayacağı bir ortamda ve gerilme altında bulunması gibi durumlarda meydana gelmektedir. Bu durumlarda ortaya çıkan korozyon, iç yapıda taneler arası ve taneler içerisinde çatlaklar şeklinde kendini gösterir. Özellikle, östenitik yapıdaki çeliklerin kaynama halindeki klor içeren çözeltiler veya koyulaştırılmış hidroksitler gibi agresif kimyasal ortamlarda bulunması, bu tür korozyonun oluşma riskini artırır.

Kaynak artığı gerilmeleri ve malzemenin maruz kaldığı agresif ortam, çatlakların ilerlemesine sebep olmaktadır. Özellikle, deniz suyunda kullanılan yapılar ve bulunan tesisler gibi denizel ortamlarda bu tür korozyon sıkça ortaya çıkar. Bu korozyon sonucu, bağlantı noktalarının kırılması ve malzemenin tahrip olmasıyla sonuçlanabilir.



Şekil 2.15. Gerilmeli korozyonun gösterimi (Nilsson 2006)

Bu nedenle, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı ve kullanımı sırasında, uygun önlemler alınarak taneler arası korozyon riski minimize edilmeye çalışılır. Kaynak parametrelerinin doğru seçimi, uygun koruyucu kaplamaların kullanılması, malzemenin düzgün bir şekilde temizlenmesi ve uygun ısıl işlemlerin uygulanması gibi faktörler, taneler arası korozyonun önlenmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, malzemenin kullanılacağı ortamın kimyasal özellikleri ve gerilme durumları da dikkate alınmalıdır. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

2.5.3.4 Sigma Fazının Oluşumu

Östenitik yapıdaki paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde, özellikle %9'dan az nikel elementi içeren çeliklerde, sigma fazının meydana gelmesi sorunuyla karşılaşılabilir. Oluşan bu sigma fazı, sert ve gevrek bir metaller arası bileşik olup 550-900°C sıcaklık aralığında oluşur. Sigma fazının meydana gelebilmesi için östenitik yapı içinde az da olsa ferrit bulunması gerekmektedir. Bunlara ek olarak, soğuk şekil değiştirme ve alaşım elementlerinden niyobyum, molibden, silisyum gibi elementlerin varlığı da sigma fazının meydana gelmesine sebep olmaktadır.

Sigma fazının oluşması çeliğin uzama, büzülme değerlerini ve çentik-darbe mukavemetini düşürebilmektedir. karbür çökmesini yok etmek için uygulanan ısıl işlem sigma fazının ortadan kaldırılması için kullanılmaktadır. Östenitik yapıdaki paslanmaz çeliğin iç yapısındaki ferrit oranı %6.5'in altına düşürüldüğünde ve çeliğe homojenleştirme tavlama uygulandığında, malzemenin kaynak bölgesinde meydana gelecek sigma fazı çentik-darbe mukavemetini etkilememektedir. Yapılan bu işlemler durumunda, yapıdaki sigma fazı yalıtılmış odacıklar halinde bulunmaktadır. Bu durum yapıya süneklik kazandırmaktadır.

Fakat tavlama işlemi gerçekleştirilmiş durumda %7-8'den az ferrit içeren bir kaynak bölgesi, sigma fazının oluşmasıyla az da olsa gevreklik kazanmaktadır. Eğer yapı içerisinde sigma fazı oluşmuşsa, bu fazı gidermek için belirli bir süre boyunca tavlama işlemi ve suda soğutma işlemi uygulanabilir. Bu yapılan işlemler neticesinde sigma fazının etkisi azaltılabilir veya tamamen ortadan kaldırılabilir.

Kaynak sırasında sigma fazının oluşumunu engellemek için uygun kaynak parametreleri, uygun sıcaklık kontrolü, kaynak sonrası ısıl işlemler ve malzeme seçimi gibi önlemler alınması önemlidir. Bu sayede sigma fazının oluşumu ve olumsuz etkileri minimize edilebilir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

2.5.4 Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kaynaklı bağlantılarında, uygun üretim yöntemi ve ısı işlemler seçilerek arzu edilen özellikler elde edilebilir. Kaynak sonrasında malzemeye uygulanacak olan çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemleri, malzemeye maksimum mekanik özellik ve korozyon direnci sağlamak için önemlidir.

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerde, çözeltiler ve çökeltiiler arasındaki farklı fazların oluşması ve bunların sertleştirici etkileri vardır. Kaynak sonrası ısı işlemlerle bu fazlar kontrol edilir ve istenen özellikler elde edilir. Genellikle çözeltiye alma işlemi, kaynak sonrası çelikleri homojenleştirir ve çökelme fazlarını çözer. Bu işlem sıcaklık ve süre kontrollü olarak yapılır.

Yaşlandırma işlemi ise çözeltiye alma sonrasında uygulanır ve çözelti içindeki alaşımların çökelererek istenen mikro yapıyı oluşturmasını sağlar. Bu sayede çelik daha yüksek mukavemet, sertlik ve dayanıklılık kazanır. Yaşlandırma işlemi genellikle belirli bir sıcaklıkta ve sürede gerçekleştirilir.

Ancak çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerde çarpılmaların oluşma riski ve çatlama tehlikesi bulunabilir. Bu durumda çözeltiye alma tavının uygulanması sınırlanabilir. Bazı durumlarda sadece kaynak sonrası yaşlandırma işlemi yeterli olabilir. Bu işlemler, çeliklerin kullanım yerine ve talep edilen özelliklere bağlı olarak değişebilir.

Sonuç olarak, çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kaynaklı bağlantılarında uygun üretim yöntemleri ve ısı işlemler seçilerek üstün mekanik özellikler ve korozyon direnci elde edilebilmektedir. Bu süreçlerin malzemeye doğru şekilde uygulanması, çeliklerin kullanım ömrünü ve performansını artırabilir. (Kaluç ve Tülbentçi 1998)

2.5.5 Çift Fazlı (Dubleks) Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında, iç yapı içerisinde ferrit ve östenit dengesinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Kaynak metalinin katılaşması sırasında başlangıçta genellikle daha ferritik yapı oluşur. Daha sonra soğuma işlemi ilerledikçe, östenitik fazın

çekirdeklenme işlemi ferritik tane sınırlarında gerçekleşmektedir. Östenit fazının oluşumu, kaynağın soğuma hızıyla sınırlandırılmaktadır.

Bu süreçte azot, östenitin yeniden oluşmasında en etkili elementlerden biridir. Ayrıca, azotun östenit ve ferrit fazları arasındaki farklılığı azaltarak metaller arası faz oluşumunun tehlikesini azaltma rolü vardır. Azot, özellikle östenitik fazda korozyon direncini artırıcı etkisiyle önemlidir.

Dubleks paslanmaz çeliklerin kaynağında, ısıdan etkilenmiş bölgede iç yapıda ferrit içeriğinin artması beklenmektedir. Bu nedenle, düşük ısı girdisi ve bu ısı girdisine bağlı olarak hızlı soğuma işlemlerinden kaçınarak ısıdan etkilenen bölge içerisinde östenit fazının oluşumuna izin verilmelidir. Bu, çelikte istenen ferrit ve östenit dengesini korumaya ve mekanik özelliklerin, korozyon direncinin ve çatlak direncinin sağlanmasına yardımcı olur.

Sonuç olarak, dubleks paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında ferrit ve östenit dengesinin sağlanması ve östenit fazının oluşumuna dikkat edilmesi önemlidir. Bu, uygun ısı girdisi, soğuma hızı ve azot içeriği gibi faktörlerin kontrolünü gerektirebilir. Doğru işlemlerle, dubleks paslanmaz çeliklerin kaynak bağlantıları istenen mekanik özelliklere, korozyon direncine ve çatlak direncine sahip olabilir. (Canıgeniş 1999)

2.6 Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağı, adını kullandığı koruyucu gaz olan "inert" gazdan alır. TIG kaynağı, yaygın olarak kullanılan ve birçok alanda uygulanabilen bir kaynak yöntemidir. Özellikle paslanmaz çelik ve hafif metallerin kaynağında tercih edilir.

TIG kaynağı, elektrik ark kaynağıyla benzerlik gösterir. Ancak oksijen-gaz kaynağına benzer bir uygulama şekli vardır, ancak yanıcı bir gaz kullanılmaz. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar genellikle helyum ve argondur. Bu gazlar, kaynak bölgesindeki oksijen ve azot gibi atmosferik gazların nüfuz etmesini engeller ve böylece kaynak sırasında metalin oksidasyonunu ve kirlenmesini önler.

TIG kaynağı diğer kaynak yöntemlerine göre daha etkin ve sağlam bir kaynak sağlar. Bu yöntem, hassas ve ince kaynak uygulamalarında da kullanılabilir ve kaynak sırasında daha iyi kontrol sağlar. TIG kaynağı, yüksek kaliteli, temiz ve estetik bir kaynak sağlayabilir.

TIG kaynağı paslanmaz çelik ve hafif metallerin kaynağında yaygın olarak kullanılır. Helyum ve argon gibi koruyucu gazlar kullanılarak gerçekleştirilen TIG kaynağı, diğer kaynak yöntemlerine göre daha etkin, sağlam ve kontrol edilebilir bir kaynak sağlar. (Murat 2018)

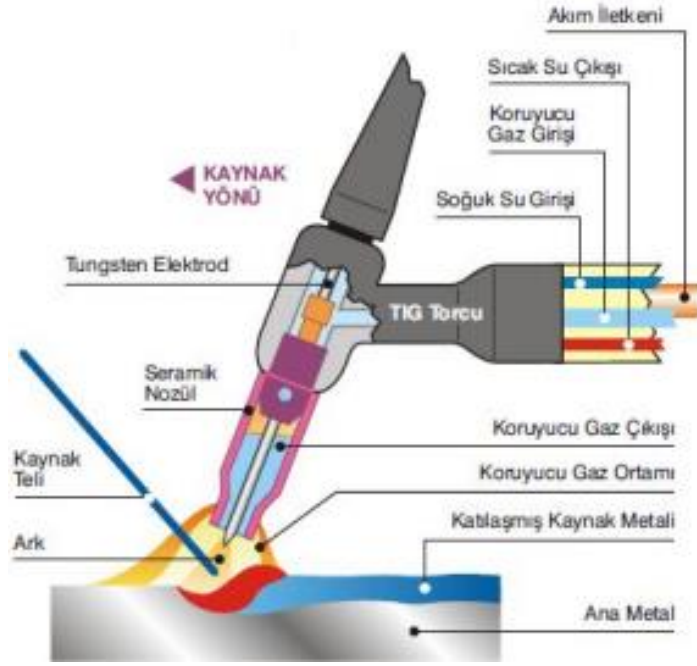
TIG (Tungsten Inert Gas) kaynağında, tüketilemeyen bir tungsten elektrot kullanılır. Kaynak işlemi sırasında elektrot ve ergitme banyosu, yüksek saflıkta inert gaz ile korunur. Helyum, argon ve bu gazların karışımları yaygın olarak kullanılır.

Kaynak yapılacak malzemeye bağlı olarak alternatif akım veya doğru akım elektrodu kullanılır. Daha yumuşak metaller olan alüminyum, magnezyum ve alaşımları için genellikle alternatif akım kullanılırken, orta ve yüksek alaşımlı çelik, bakır, nikel, zirkonyum gibi malzemeler için doğru akım tercih edilir.

Kaynak havuzunun oluşması için elektrot kaynağın negatif kutbuna bağlanırken, kaynak yapılacak malzeme pozitif kutba bağlanır. Bu şekilde elektrik arkı, elektrottan kaynak havuzuna doğru yönelir. Arkın yüksek sıcaklığı, elektrottan malzemeye aktararak ergitme ve kaynaşma sağlanır.

TIG kaynağında, elektrotta pozitif polarite ile kullanılan AC kaynağı, alüminyum ve magnezyum gibi malzemelerin kaynağında temizleme etkisi sağlar. Elektrot ile malzeme arasında katodik nokta oluşur ve bu nokta oksitlerin bulunduğu bölgelere yönelir. Oksitler daha düşük emisyon enerjisine sahip olduğundan, katot nokta ile temas ederek daha kolay buharlaşır.

Darbe akımı kaynağında ise akımın büyüklüğü, düzenli aralıklarla değişir. Darbe akımı, kaynak havuzunu ve dolgu malzemesini eritmek için kullanılır. Kaynak havuzunun boyutu, darbenin süresine bağlı olarak değişir. Darbe akımının süresi, baz akımının iki katından daha uzunsa, kaynak havuzu daha geniş bir alanda katılaştır.



Şekil 2.16. TIG ark kaynak yönteminin şematik gösterimi (Yıldırım 2010)

Sonuç olarak, TIG kaynağındaki gaz koruması ve elektrot kullanımıyla sağlanan elektrik arki, kaynak havuzunun ergimesini ve kaynaşmasını sağlar. Alternatif veya doğru akım kullanımı, malzeme türüne ve kaynak gereksinimlerine bağlı olarak değişir. Darbe akımı kaynağı ise belirli bir sürede darbeleri akım kullanarak daha geniş kaynak havuzları oluşturur ve temizleme etkisi sağlar. (Gözütok 2011)

2.6.1 TIG Kaynağı Ekipmanları

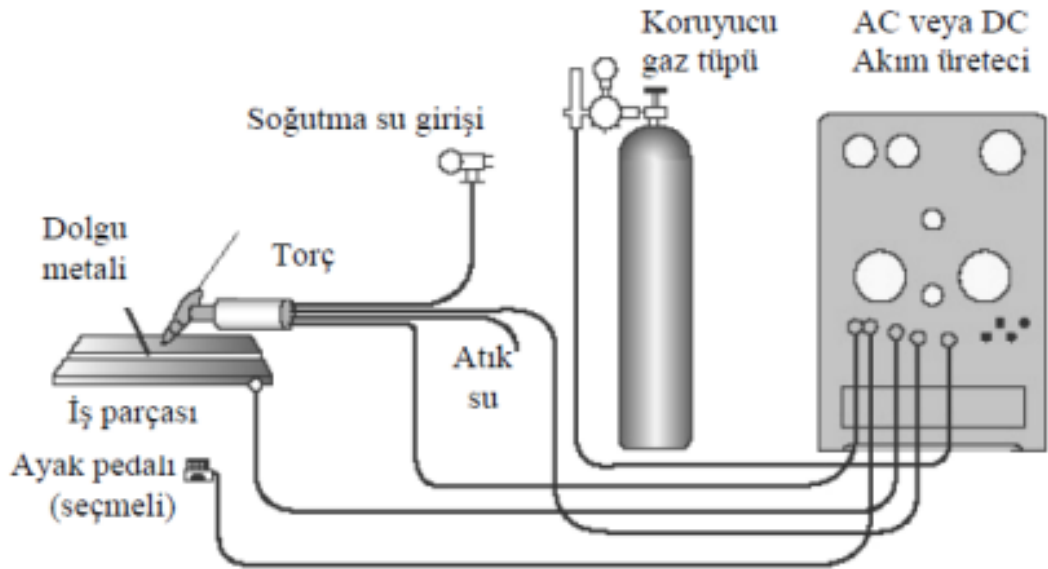
TIG kaynak makinesinin donanımı, aşağıdaki temel elemanları içerir:

- Kaynak Torcu: Kaynak işlemi sırasında elektrotu ve gaz akışını kontrol etmek için kullanılan bir el aletidir. Kaynak torcu, elektrotun yerleştirildiği ve gazın çıkışının sağlandığı bir başlığa sahiptir.
- Metal Spiral Takviyeli Torç Bağlantı Paketi: Kaynak torcunu, kaynak akım ve şalter kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve opsiyonel olarak bulunan soğutma

suyunun giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan bir pakettir. Bu paket, bağlantıları düzenli tutar ve torcun stabil bir şekilde kullanılmasını sağlar.

- Kumanda Dolabı: Kaynak akım değerlerinin, koruyucu gaz akış değerleri ve gerektiğinde soğutma suyunun giriş ve çıkışını kontrol eden devreleri içeren bir kontrol panelidir. Kumanda dolabı ayrıca yüksek frekans ünitesini, arkın tutuşmasını sağlayan ve alternatif akım kullanımında arkın sürekliliğini sağlayan bileşenleri de içerir.
- Kaynak Akım Üretici: Kaynak işlemi için gerekli olan akımı üreten bir güç kaynağıdır. Kaynak akım üretici, kaynak akımını istenen düzeyde ve istenilen karakteristiklere sahip bir şekilde sağlar.
- Koruyucu Gaz Tüpü: Kaynak sırasında kullanılan koruyucu gazı depolayan bir tüptür. Bu tüp üzerinde genellikle basınç düşürme ventili ve gaz debisini ölçmeye yarayan aparat bulunur. Koruyucu gaz, kaynak sırasında erimeyen elektrot ve ergitme banyosunu oksijen ve diğer atmosferik gazlardan korumak için kullanılır.

Bu donanım elemanları, TIG kaynak makinesinin işlevselliğini ve güvenliğini sağlamak için bir arada çalışır. Elektrotun kontrol edildiği, kaynak akımının üretildiği, gaz akışının ve soğutma suyunun yönetildiği bu elemanlar, verimli bir TIG kaynak işlemi gerçekleştirmek için önemlidir. (Kahraman 2009)



Şekil 2.17. TIG ark kaynak yönteminin ekipmanları (Murat 2018)

2.6.2 TIG Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yönteminin birçok avantajı vardır:

- Çok çeşitli metaller ve alaşımlar birleştirilebilir: TIG kaynağı, paslanmaz çelikler, dökme demir ve dökme çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları, titanyum, nikel, molibden, niyobyum, tungsten gibi farklı metalleri ve alaşımları birleştirebilir.
- Mükemmel birleşimler sağlar: TIG kaynağı ile yapılan kaynaklar, mekanik dayanımı ve kaynak kalitesi bakımından mükemmel birleştirmeler elde edilir. İşlem sırasında yapılan kaynak dikişleri genellikle ikinci bir düzeltme işlemi gerektirmez.
- Çarpımları azaltır: Minimum ısı transferi nedeniyle TIG kaynağı, minimum alanın ısıtılmasını sağlar ve diğer yöntemlere göre çarpımları azaltır.
- Az karbür ayrışması: Tungsten elektrot kullanımı, TIG kaynağında çok az miktarda karbür ayrışmasına neden olur. Bu, kaynak dikişinin kalitesini artırır.
- Hafif ve rahat çalışma: TIG kaynağı için kullanılan kaynak torcu hafiftir, bu da operatöre rahat bir çalışma imkanı sağlar.
- Farklı metallerin birleştirilmesi: TIG kaynağıyla farklı cins metaller ve alaşımlar birbirleriyle birleştirilebilir. Bu özellik, çeşitli uygulamalarda kullanılabilme esnekliği sağlar.
- Koruyucu gaz kullanımı: TIG kaynağında genellikle koruyucu argon gazı kullanılır. Bu gaz, erimeyen elektrotu ve ergitme banyosunu atmosferik gazlardan korur ve yüksek kaliteli kaynaklar sağlar.
- Temiz kaynak dikişi: TIG kaynağıyla elde edilen kaynak dikişinde genellikle kaba cüruf oluşmaz. Bu, temiz ve düzgün bir kaynak dikişi elde etmeyi sağlar.

Tüm bu avantajlar, TIG kaynağının geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlar ve birçok endüstride tercih edilen bir kaynak yöntemi haline gelmesini sağlar. (Kahraman 2009) (Grant 1998)

TIG (Tungsten Inert Gas) kaynak yönteminin bazı dezavantajları şunlardır:

- Metal yığıma hızı: TIG kaynağının diğer ark kaynak yöntemlerine göre metal yığıma hızı daha düşüktür. Bu durum, kalın kesitli malzemelerin kaynağında zaman alıcı olabilir ve işlem süresini uzatabilir.
- Ekonomiklik: TIG kaynağı, kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir. Büyük ölçekli projelerde maliyet göz önünde bulundurulmalıdır.
- Koruyucu gaz kullanımı: TIG kaynağı için koruyucu gaz, genellikle argon gibi inert gazlar kullanılır. Bu gazların sağlanması ve kullanılması ek maliyet ve gereksinimlerle birlikte gelir.
- Kaynak yüzey temizliği: TIG kaynağı için uygun ve sağlıklı bir kaynak yapabilmek için kaynak yüzeyinin temiz olması önemlidir. Yüzeydeki kir, yağ veya oksit tabakası kaynağın kalitesini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, önceden kaynak yüzeyinin uygun şekilde temizlenmesi gerekmektedir.
- Açık ortamlarda koruma: TIG kaynağı, koruyucu gazın etkin bir şekilde kullanılabilmesi için genellikle kapalı veya kontrol edilen ortamlarda tercih edilir. Açık ortamlarda hava akımı kaynak banyosunun korunmasını zorlaştırabilir ve verimliliği etkileyebilir.

Bu dezavantajlar, TIG kaynak yönteminin bazı uygulamalarda sınırlayıcı olabileceğini gösterir. Ancak, doğru koşullarda ve uygun projelerde TIG kaynağı hala çok yönlü ve etkili bir kaynak yöntemi olarak değerlendirilir. (Kahraman 2009) (Grant 1998)

2.6.3 TIG Kaynağında Koruyucu Gazlar

Koruyucu gazlar, TIG kaynak yönteminde kaynak bölgesini korumak için kullanılırken, gerçekten de kaynak banyosu ve kaynakta kullanılan tungsten elektrodu dış havanın olumsuz etkilerinden korumaktadırlar. Bu gazlar genellikle helyum, argon veya bu ikisinin karışımı olan asal gazlardır. Koruyucu gazların kimyasal olarak nötr karakterde olmaları, kokusuz ve renksiz olmaları önemli bir özelliktir.

Koruyucu gazların ana amacı, kaynak bölgesinde bir ısı katkısı sağlamak değildir. Ancak ısı girdisini bir dereceye kadar etkileyebilirler. Bu gazlar, yüksek ısıda bulunan tungsten

elektrot ve erimiş kaynak banyosuyla reaksiyona girmezler. Dolayısıyla, kaynak metalinin kalitesine olumsuz etkileri olmaz. Ancak, kaynak hızı ve kaynak yapılmış bağlantının kalitesi üzerinde önemli etkilere sahiptirler.

Koruyucu gazlar TIG kaynağı sırasında koruma sağlamak için kullanılır ve kaynak bölgesinde istenmeyen reaksiyonların oluşmasını engellerler. Ayrıca, kaynak hızı ve bağlantı kalitesi üzerinde de etkileri vardır.

Argon ve helyum, TIG kaynağı için kullanılan iki yaygın koruyucu gazdır ve her birinin farklı karakteristikleri vardır. Bununla birlikte, argonun daha ucuz olması ve kolay temin edilebilmesi nedeniyle, TIG kaynağında en yaygın olarak kullanılan gaz argondur.

Helyum doğada hidrojenden sonra en hafif ağırlığa sahip gazdır. Koruyucu gaz olarak kullanılan bir diğer gaz olan argon gazından özgül ağırlık olarak daha düşüktür. Bu farklılık, gaz tüketimini etkiler. Aynı korumayı sağlamak için helyum gazından daha fazla kullanılması gerekebilir. Ayrıca, kapalı alanlarda kaynak yapılırken argon ve helyumun farklı davranışları dikkate alınmalıdır. Argon, havadan daha ağırdır, bu nedenle kapalı bir alanda argon kullanılırken gazın yerlere çökebileceği ve gerekli önlemler alınmazsa kaynakçının boğulma riski vardır. Helyum ise üst kısımlarda birikme eğilimindedir.

Aynı kaynak akım şiddetinde, helyum gazının oluşturduğu atmosferdeki ark, argon atmosferinde oluşandan daha yüksek bir gerilime sahiptir. Bunun sonucunda kaynak ısı girdisini ve kaynak nüfuziyeti artırır. Bu nedenle ince kesite sahip malzemelerde, kalın kesitli ve yüksek ısı iletkenliğine sahip malzemelerin kaynağı ve otomatik kaynak uygulamalarında helyum tercih edilebilir.

Argon gazının oluşturduğu atmosferdeki kaynak arkı, helyuma göre daha sakin bir karaktere sahiptir. Bu durum, manuel kaynak uygulamalarında argon gazının tercih edilmesine neden olur. Çünkü arkın sakinliği ve ısı girdisi kaynakçıyı rahatsız etmez.

Her iki koruyucu gazın da farklı özellikleri nedeniyle farklı uygulamalarda tercih edildiğini söyleyebiliriz. Her bir gazın avantajları ve dezavantajları vardır ve kullanılacak olan metal veya alaşımın özelliklerine, kaynak tipine ve diğer faktörlere bağlı olarak en uygun gaz seçilmelidir. (Kurt 2006)

3. MATERYAL YÖNTEM

Bu kısımda, TIG kaynak uygulamasında kullanılan paslanmaz çelik malzemelerin özellikleri ve kaynak yöntemi hakkında bilgiler yer almaktadır. Paslanmaz çelik malzemelerin temin edilip deney numunelerinin oluşturulması boyunca gerçekleştirilen işlemlerde kullanılan cihazların bilgileri, uygulanan deneylerdeki parametreler, kaynaklı birleştirmeler sonucu ortaya çıkan yapının metalografik incelemeleri, mikro sertlik ölçümleri ve çekme testlerine yönelik analizler alt başlıklar olarak incelenmiştir.

3.1 Materyal

Bu çalışmada endüstride kullanımı yaygın olan kolay şekil verilebilen ve kaynak yapılabilen 304 östenitik paslanmaz çelik (1.4301), yüksek karbon oranına sahip ve yüksek sertlik değerlerine sahip 420 martenzitik paslanmaz çelik (1.4021), iyi korozyon direnci ve mekanik özelliklere sahip 430 ferritik paslanmaz çeliklerin (1.4016) kendi içerisinde benzer olarak (similar) ve benzer olmayan (dissimilar) kaynakları Tungsten Inert Gas (TIG) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Malzemelerin kimyasal kompozisyonları % ağırlık olarak Çizelge 3.1’de verilmiştir. Tedarik edilen malzemelerin nominal mekanik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Tüm malzemeler kaynak öncesinde 100X300 mm ölçülerinde kesilerek ile hazırlanmıştır. Malzemelerin birleştirilmesi sonucu üzerinden deney numunelerinin çıkartılacağı plakalar 200X300mm ölçülerinde hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1 Paslanmaz çeliklerin kimyasal kompozisyonu (% ağırlık)

Malzeme	C	Mn	P	Si	Cr	Ni
304 (1.4301)	0,08 max	2,0 max	0,046 max	0,75	18,0-20,0	9,0-10,0
420 (1.4021)	0,20	1,0 max	0,04 max	1,0 max	13,0	-
430 (1.4016)	0,12 max	1,0	0,045 max	1,0 max	16,0-18,0	0,75 max

Çizelge 3.2. Malzemelerin nominal mekanik özellikleri

Mekanik Özellikler	304 (1.4301)	420 (1.4021)	430 (1.4016)
Çekme Mukavemeti (MPa)	586	655	515
Akma Mukavemeti %0.2 (MPa)	241	345	310
Yüzde Uzama (%)	55	25	30

3.2 Yöntem

3.2.1 TIG Kaynak Yöntemi

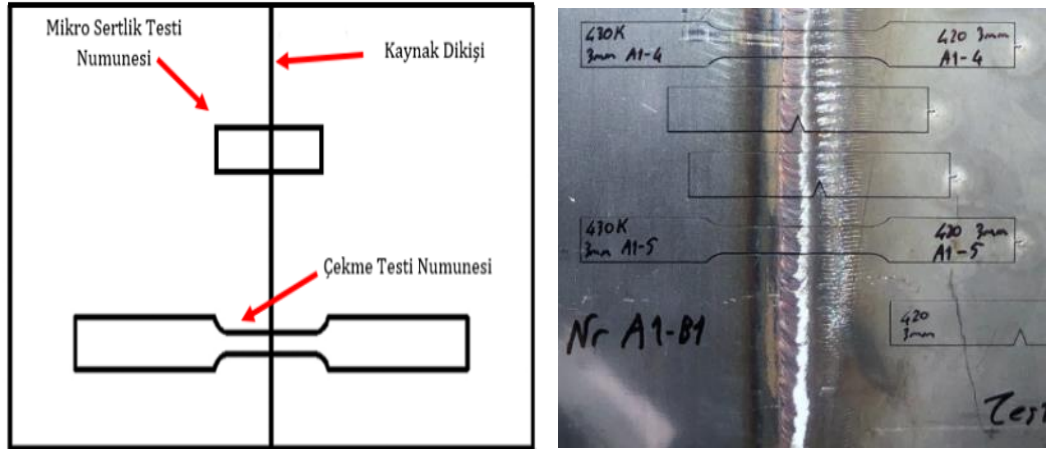
Bu çalışmada TIG kaynak yöntemi uygulanarak birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirme için alın tipi kaynak yöntemi tercih edilmiş olup herhangi bir kaynak ağzı işlemi uygulanmayarak, tek paso şeklinde gerçekleştirilmiştir. TIG kaynak işleminin parametreleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan parametreler

TIG Kaynak Makinesi	Franius Magic Wave 3000
Koruyucu Gaz	Argon
Koruyucu Gaz Debisi	17 lt/dk
Elektrot Malzemesi	Tungsten
Kaynak Akımı	100A
Kaynak Hızı	3.5 mm/sn
Dolgu Teli Tipi/ Çapı	308 Kalite / 2.4mm

3.2.2 Deney Tasarımı ve TIG Kaynak Uygulaması

Kaynaklanan parça üzerinde uygulanacak testler özelinde numunelerin çıkartılabilmesi için şablon hazırlanarak kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirilen parçaları belirlenen şablon üzerinden kesim işlemi uygulandıktan sonra sırasıyla mikro yapı incelemesi, çekme testi ve mikro sertlik testleri uygulanmıştır. kesim şablonu ve kesimi gerçekleştirilmiş parçanın gösterimi Şekil 3.1 de yapılmıştır.



Şekil 3.1. Kaynaklanan parçalardan çıkartılacak numunelerin şablonu ve kesilmiş hali

3.2.3 Metalografik İncelemeler

TIG kaynak işlemi uygulandıktan sonra hazırlanan malzemelere metalografik inceleme ve uygulanacak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere plakalar üzerinden su jeti ile kesilerek numuneler elde edilmiştir. Kaynak ile birleştirilen numunelerde geçirdiği işlemlerden dolayı yüzeyinde deformasyon meydana gelebilmektedir. Bu deformasyonların giderilerek kaynaklı birleştirilen malzemelerin mikro yapı özelliklerinin gözükmesi için deforme olan tabakanın kaldırılması gerekmektedir.

Metalografik incelemeler için TIG kaynağı birleştirilmesi yapılan ve elde edilen numuneler su sirkülasyonlu aşındırıcı metalografik kesme cihazı ile kaynak enine kesiti yönünde kesilmiştir. Ortaya çıkarılan bu numuneler uygun kalıplama cihazı yardımıyla bakalite alınmıştır. Bakalite alınmış numunelere sırasıyla zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.2. (a) Su sirkülasyonlu kesim, (b) zımparalama ve parlatma cihazları, (c) Nikon Eclipse MA100 ters metal mikroskobu

Zımparalama işleminde sırasıyla 180, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 2000 grit derecelerindeki SiC su zımparası kullanılmıştır. Parlatma işlemleri de sırasıyla 1 mikron ve 0,3 mikron Alümina (Al_2O_3) solüsyonları ile gerçekleştirilmiştir. Mikro yapının ortaya çıkarılabilmesi için Kallings-1 (1.5 g $CuCl_2$, 33 ml HCl, 33 ml Etanol, and 33 ml H_2O) solüsyonu ile dağlama işlemi yüzeye 5-10 s boyunca pamuk yardımıyla uygulanmıştır. Dağlama işlemiyle gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu işlem neticesinde iç yapısı ortaya çıkarılan numunelerin NIKON ECLIPSE MA100 ters metal mikroskobu yardımıyla çeşitli büyütmelerde ortaya çıkan görüntüleri incelenmiştir. Metalografik incelemelerde kesim için kullanılan su sirkülasyonlu kesim, zımparalama-parlatma cihazı ve optik mikroskop fotoğrafları Şekil 3.2’de gösterilmektedir.

Parlatılan numunelerin mikroskop üzerinde mikro yapıların görüntülenebilmesi için dağlama işlemi uygulanarak durulanmıştır. Dağlama işlemi yapıldıktan sonraki bakalitler Şekil 3.3'te gösterilmiştir



Şekil 3.3. Dağlama işlemi gerçekleştirilmiş bakalit numuneleri

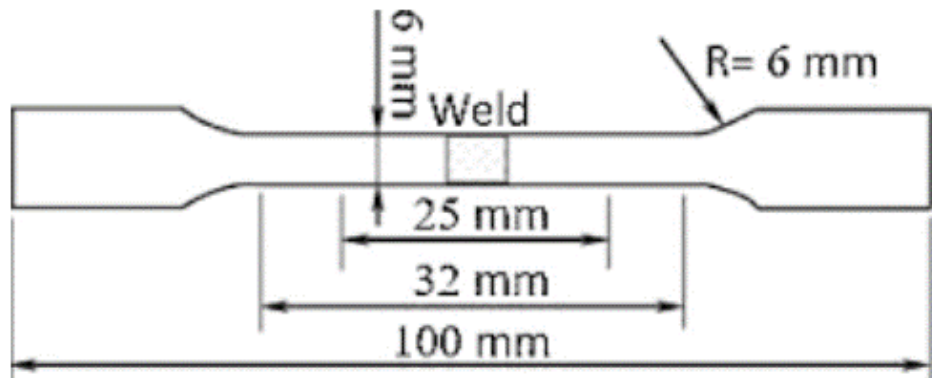
3.2.4 Çekme Testi

Kaynakla birleştirilmesi sağlanan numunelere TS 287 EN 895 standartlarına göre ZwickRoell marka çekme basma cihazı ile test hızı 0,0067 1/s olacak şekilde çekme testi uygulanmıştır. Bu test, kaynaklı birleştirmeden enine olarak alınan bir test numunesine ortam sıcaklığında kopma gerçekleşinceye kadar artan bir kuvvetin uygulanmasıdır. Çekme testinin yapıldığı cihaz Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan Zwick-Roell üniversal çekme test cihazı

Çekme testi numuneleri standartta verilen bilgiler doğrultusunda çıkartılmıştır. Kaynaklı birleştirme işlemi sonucunda parçadan çıkartılan çekme test numunesinin ölçüleri Şekil 3.5'te verilmiştir.



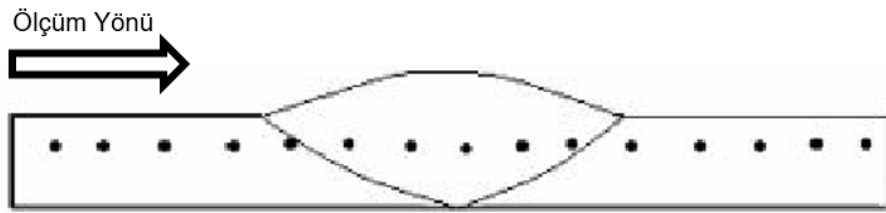
Şekil 3.5. Standart çekme testi için numune ölçüleri

3.2.5 Mikro Sertlik Testi

Vickers mikro sertlik ölçümleri için Metkon Duroline-M sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yapılan mikro sertlik testleri 10 saniye süre ile 50 g yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir, mikro sertlik ölçüm cihaz fotoğrafı Şekil 3.6a'da gösterilmiştir. Ölçümler arası mesafe 200 μm olarak alınmıştır, mikro sertlik ölçüm yönü Şekil 3.6b'de gösterilmiştir. Kaynaklı malzemelerin mikro sertlik ölçümünde, TS EN ISO 9015-1 standardı kullanılmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.6. (a) Metkon Duroline-M sertlik ölçüm cihazı, (b) Sertlik ölçüm yönü

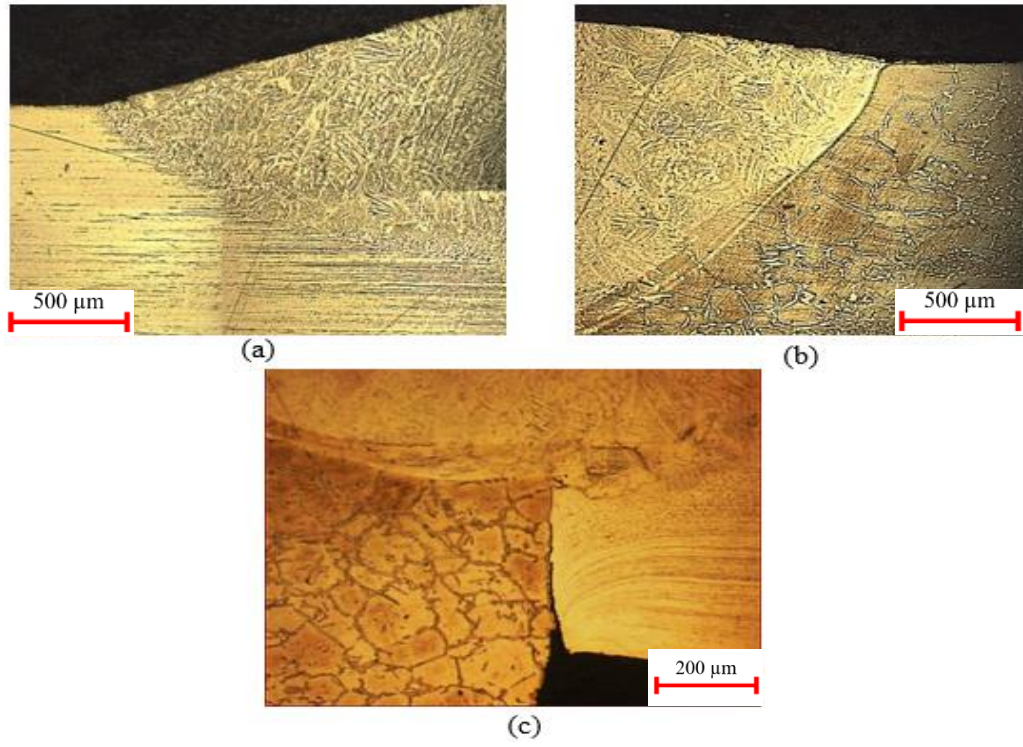
4. BULGULAR

4.1 Mikro Yapı İncelemeleri

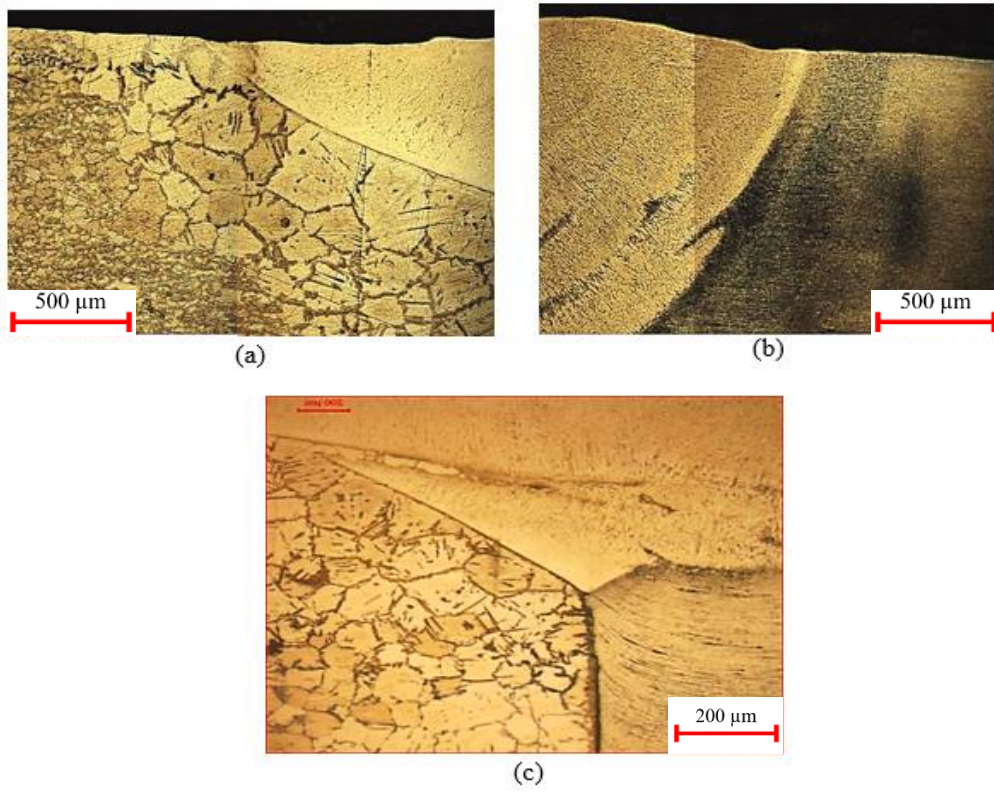
Kaynaklı bağlantıların mikro yapısı Erime Bölgesi (EB), Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ve temel malzeme bölgelerinden oluşmaktadır. Erime bölgesinde yüksek ısı girdisi ile birlikte erime gerçekleşmekte, farklı iki malzeme karışmaktadır. Kaynak merkezinden ITAB'a doğru epitaksiyel büyüme ile birlikte dentritik yapı oluşumları meydana gelmektedir. ITAB bölgesi kendi içerisinde dört alt bölgeye ayrılmaktadır: kaba taneli ITAB, ince taneli ITAB, interkritik ITAB, alt kritik ITAB. (Kulkarni ve ark. 2019)

Kaba taneli ITAB, termal döngü sırasında uzun tutma süresiyle A3 sıcaklığının üzerindedir, bu bölgede taneler irileşmiştir. İnce taneli ITAB bölgesinde maruz kaldığı sıcaklık da A3 sıcaklığından fazladır ancak daha kısa tutma süresine sahip olduğundan termal döngü farklılığı nedeniyle taneler incedir. İnterkritik ITAB sıcaklık aralığı Ac3 dönüşüm sıcaklığından daha az, Ac1'den daha fazladır. Alt kritik ITAB bölgesi ise Ac1 sıcaklığının altındadır. (Saedi ve ark. 2018)

Kaynak bölgesinde çatlak ve gözenek gibi kusurlar gözlenmemiştir ancak kök hatası mevcuttur. 304 östenitik paslanmaz çelikler ve 420 martenzitik paslanmaz çelikler kaynaklı bağlantısında erime bölgesinde östenit tane sınırları ile birlikte baskın çıta martenzit yapısı bulunmaktadır; çıta martenzit varlığı mikro çatlak oluşumunu engeller. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1. 304-420 kalite çeliklerinin mikro yapı görüntüsü

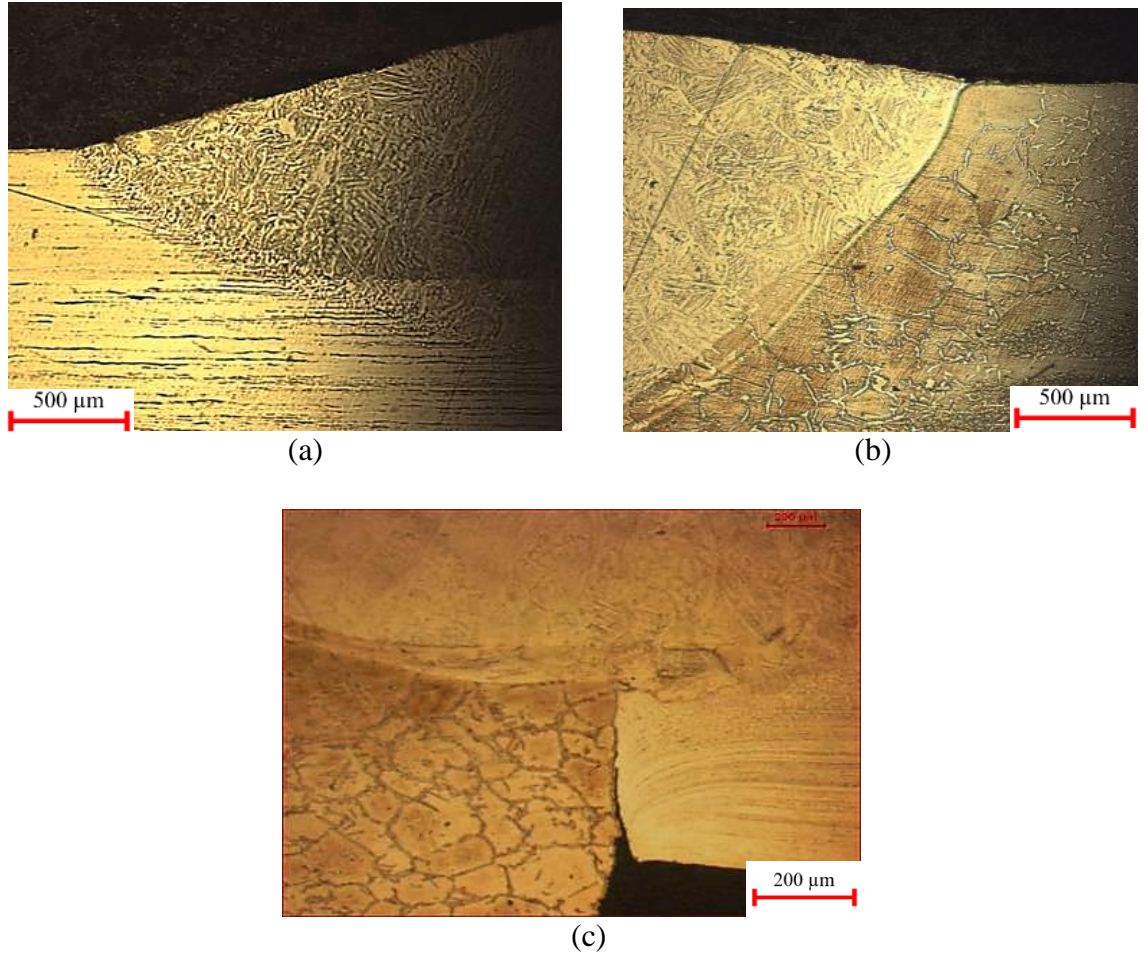


Şekil 4.2. 430-420 kalite çeliklerinin mikro yapı görüntüsü

430 ferritik paslanmaz çelikler ve 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı bağlantısında termal döngüde hızlı erime ve soğuma dolayısıyla martenzit oluşumu söz konusudur. Ferritik tarafta da erime bölgesi sınırına yakın bölgelerde martenzit oluşumu, ITAB bölgesi içerisinde ise iri taneli Widmanstatten yapısı bulunmaktadır. (Kumar ve ark. 2021) (şekil 4.2)

430 ferritik paslanmaz çelikler ve 304 östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmesinde kaynak merkezi matris yapısı ferrit ve östenit fazından oluşmuştur. Hızlı soğutma ferrit tane sınırlarında östenit fazının oluşumunu başlatır. Ferrit tane sınırlarında çekirdeklenen östenit dentritik olarak büyür ve tüm ferrit tane alanlarını kaplar, bu da mikro yapı içinde yüksek hacimli östenit fraksiyonuna yol açar. Erime bölgesi mikro yapısı sütunlu dendritik stenittir, ferrit fazı ise dendritik sınırda oluşur. Östenitin ısıl genleşme katsayısı ferritten daha yüksektir. Bu nedenle östenit tane büyümesi, tane sınırı boyunca büyüyen ferrit tarafından kısıtlanmaktadır. (Yipeng ve ark. 2018)

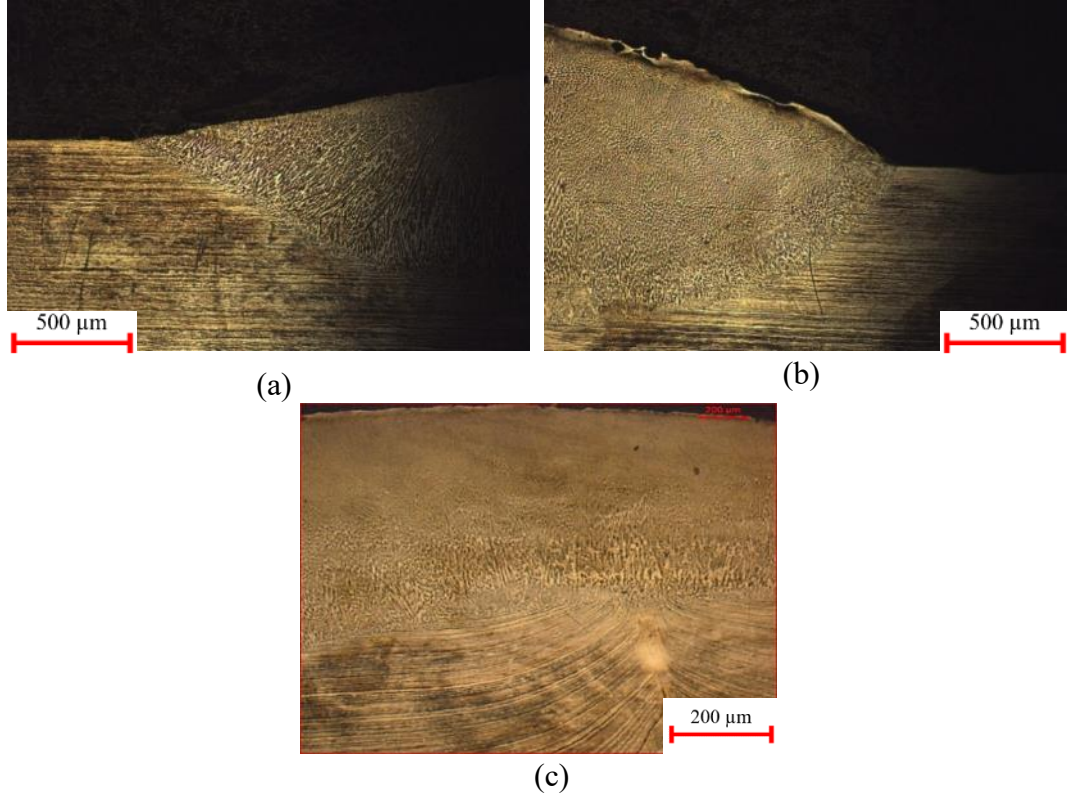
Bu nedenle 304 östenitik paslanmaz elik tarafında ITAB bölgesinde belirgin bir faz dönüşümü bulunmamaktadır. (şekil 4.3)



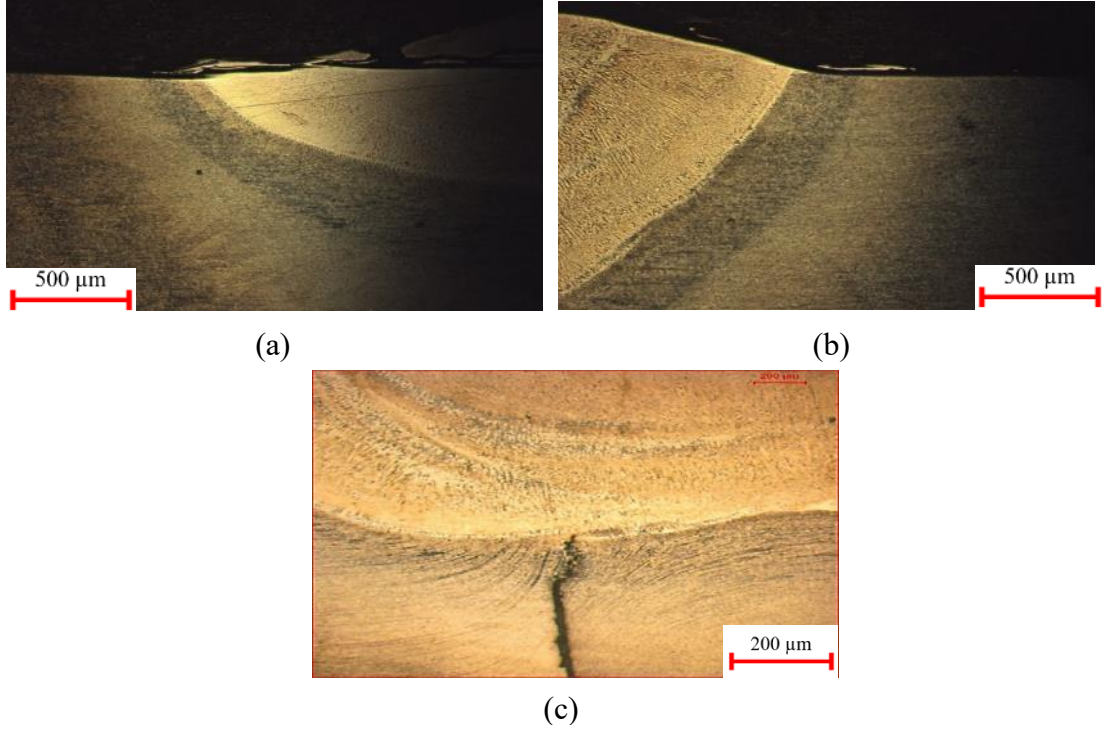
Şekil 4.3. 430-304 kalite çeliklerinin mikro yapı görüntüsü

Benzer malzemelerin kaynağında ise TIG kaynak mikro yapısı yine füzyon bölgesi, Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) ve temel malzeme bölgelerinden oluşmaktadır. Füzyon bölgesinde yüksek ısı girdisi ile birlikte erime gerçekleşmekte ve epitaksiyel büyüme ile dendritik yapı oluşumu meydana gelmektedir.

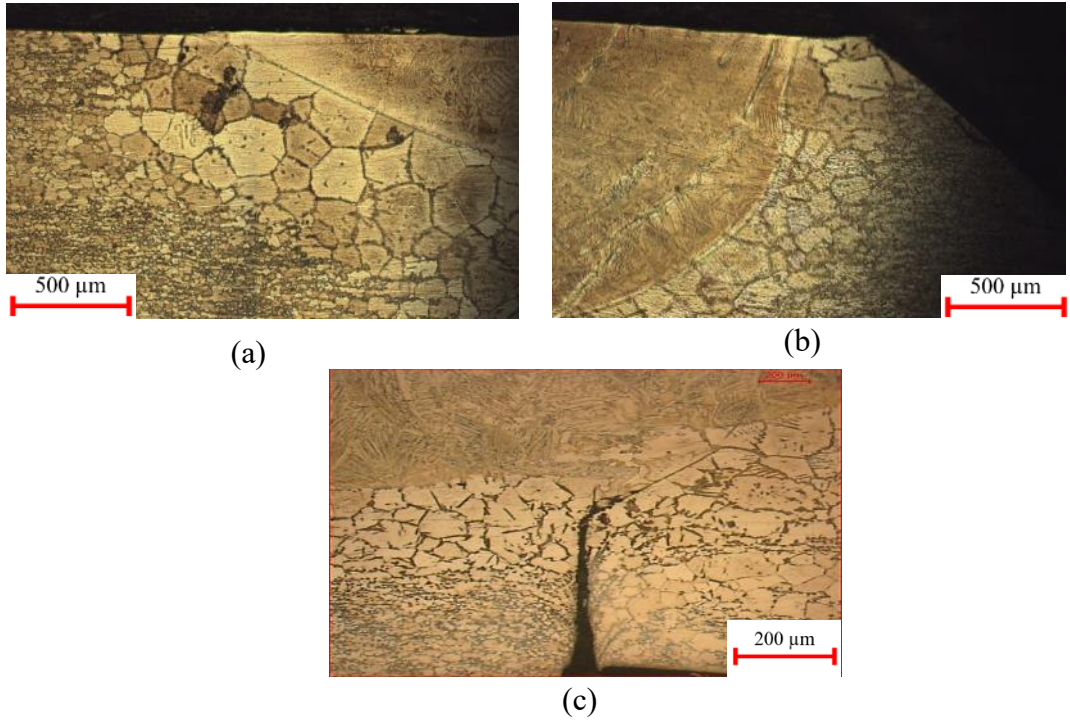
Şekil 4.4'te 304 östenik paslanmaz çeliğin kaynaklı birleşimi mikro yapı görüntüleri bulunmaktadır. Füzyon bölgesi mikro yapısı tamamen östenitik, hüresel ve sütunlu dendritlerden oluşmaktadır. Dendritik mikro yapıların çeşitli morfolojilerinin varlığı, kaynak metalinin farklı konumlarındaki katılaşma koşullarının bir sonucudur. Sıcaklık gradyanı, soğuma hızı kaynak metali mikro yapısı içindeki dendritlerin morfolojisini belirlemektedir. (Vora ve Badheka 2017)



Şekil 4.4. 304 östenitik paslanmaz çelik kaynaklı bağlantı mikro yapı görüntüsü



Şekil 4.5. 420 martenzitik paslanmaz çelik kaynaklı bağlantı mikro yapı görüntüsü



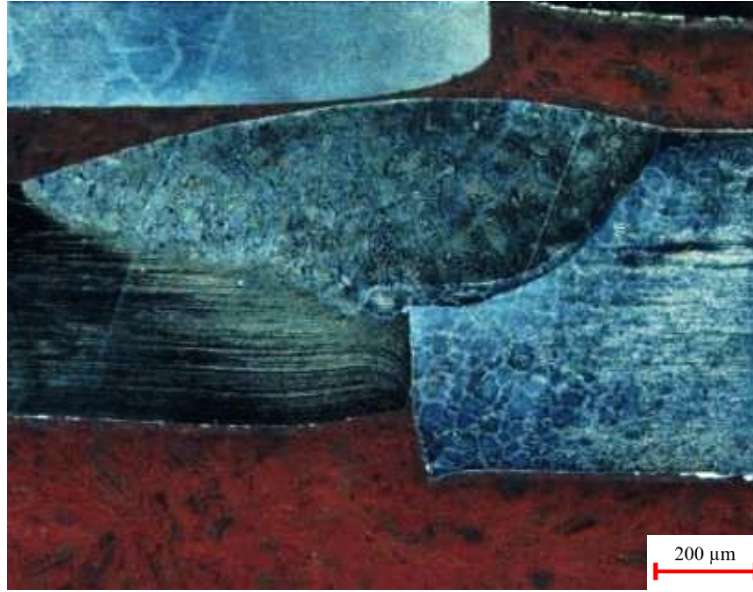
Şekil 4.6. 430 ferritik paslanmaz çelik kaynaklı bağlantı mikro yapı görüntüsü

Şekil 4.5'te 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TIG kaynak mikro yapısı gösterilmektedir. Füzyon bölgesinde dendritik martenzitik yapılar görülmekte, ITAB bölgesi net olarak gözlemlenmektedir.

430 ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmeleri mikro yapısı Şekil 4.6'da yer almaktadır. Füzyon bölgesi Widmanstatten yapısı morfolojisine sahip ferritik matristen oluşmuştur. ITAB bölgesinde kaba taneli ITAB ve ince taneli ITAB bölgeleri net olarak görülebilmektedir. (Huang 2021)

4.2 Makro Yapı İncelemeleri

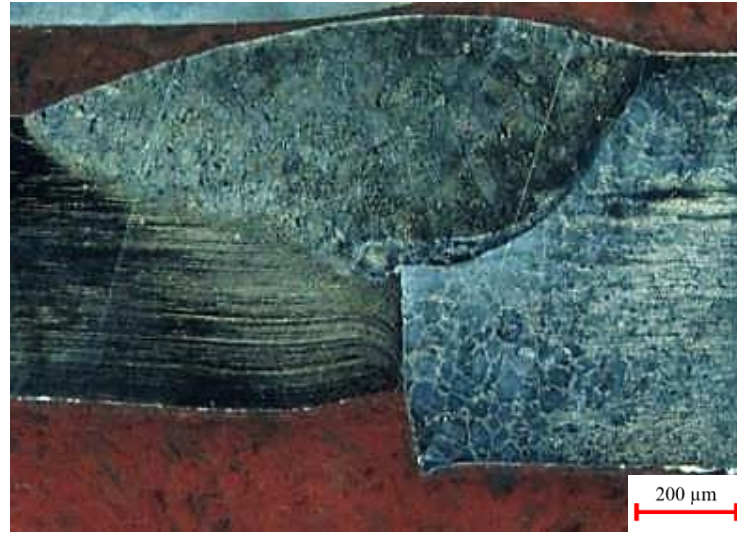
Kaynak bölgesine görsel muayene yapılarak kesit yüzeyinde süreksizlik, yapısal bozukluk, gözle görülebilen boşluklar oluşmadığı tespit edilmiştir. Yapılan makro incelemede numune kesit incelemelerinde kaynakta kök hatası tespit edilmiştir.



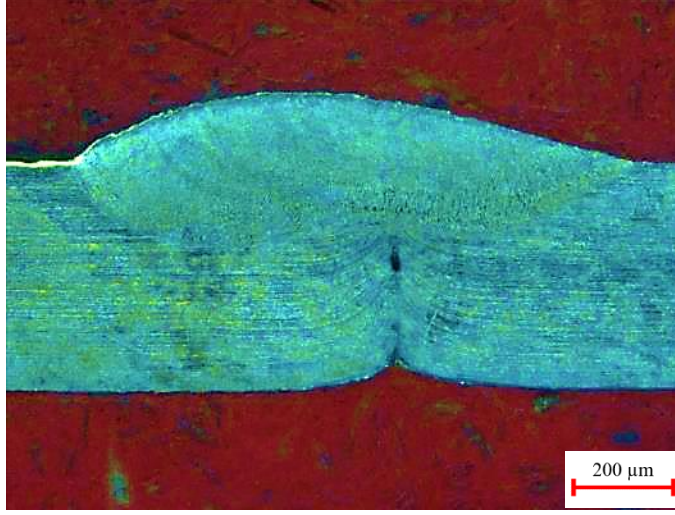
Şekil 4.7. 304-420 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü



Şekil 4.8. 430-420 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü



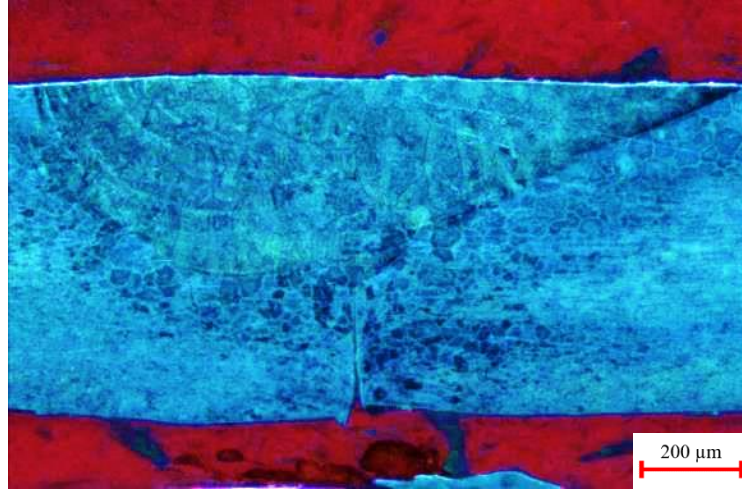
Şekil 4.9. 430-304 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü



Şekil 4.10. 304-304 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü



Şekil 4.11. 420-420 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü



Şekil 4.12. 430-430 kalite çeliklerinin makro yapı görüntüsü

4.2 Çekme Testleri

İlgili standartlara uygun olarak Oyak Renault Otomobil Fabrikaları, Metalurji bölümü laboratuvarında Zwick-Roell marka bilgisayar destekli çekme cihazında yapılan çekme deneyleri sonuçları sırasıyla verilmiştir.



Şekil 4.13. 304-420 kalite çeliklerinin çekme test numunesi

Çizelge 4.1 304-420 kalite çekme test sonuçları

Deney No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1.Test	408,6	0,31
2.Test	395,03	0,33
3.Test	407,93	0,38



Şekil 4.14. 430-420 kalite çeliklerinin çekme test numunesi

Çizelge 4.3 430-420 kalite çekme test sonuçları

Deney No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1.Test	495,66	0,98
2.Test	437,65	0,75
3.Test	457,76	0,42



Şekil 4.15. 430-304 kalite çeliklerinin çekme test numunesi

Çizelge 4.4 430-304 kalite çekme test sonuçları

Deney No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1.Test	455,59	8,92
2.Test	416,38	4,13
3.Test	450,59	1,38



Şekil 4.16. 304-304 kalite çeliklerinin çekme test numunesi

Çizelge 4.5 304-304 kalite çekme test sonuçları

Deney No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1.Test	392,67	1,36
2.Test	422,52	1,36
3.Test	365,70	0,97



Şekil 4.17. 420-420 kalite çeliklerinin çekme test numunesi

Çizelge 4.6 420-420 kalite çekme test sonuçları

Deney No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1.Test	423,44	5,82
2.Test	382,83	0,03
2.Test	418,49	-0,84



Şekil 4.18. 430-430 kalite çeliklerinin çekme test numunesi

Çizelge 4.7 430-430 kalite çekme test sonuçları

Deney No	Çekme Mukavemeti (MPa)	Yüzde Uzama (%)
1.Test	384,59	0,89
2.Test	312,52	0,47
2.Test	345	0,47

Yapılan testlerde kaynak bölgelerinde kırılmalar tespit edilmiştir. Ana malzemelerin kataloglarında belirtilen mekanik özellikleri sağladığını söylemek mümkündür. Kaynak bölgesine görsel muayene yapılarak kesit yüzeyinde süreksizlik, yapısal bozukluk, gözle görülebilen boşluklar oluşmadığı tespit edilmiştir. Optik makro incelemede bulgular kaydedilmiştir ve herhangi bir kaynak kusuru olmadığı numune kesitlerinden gözlemlenmiştir.

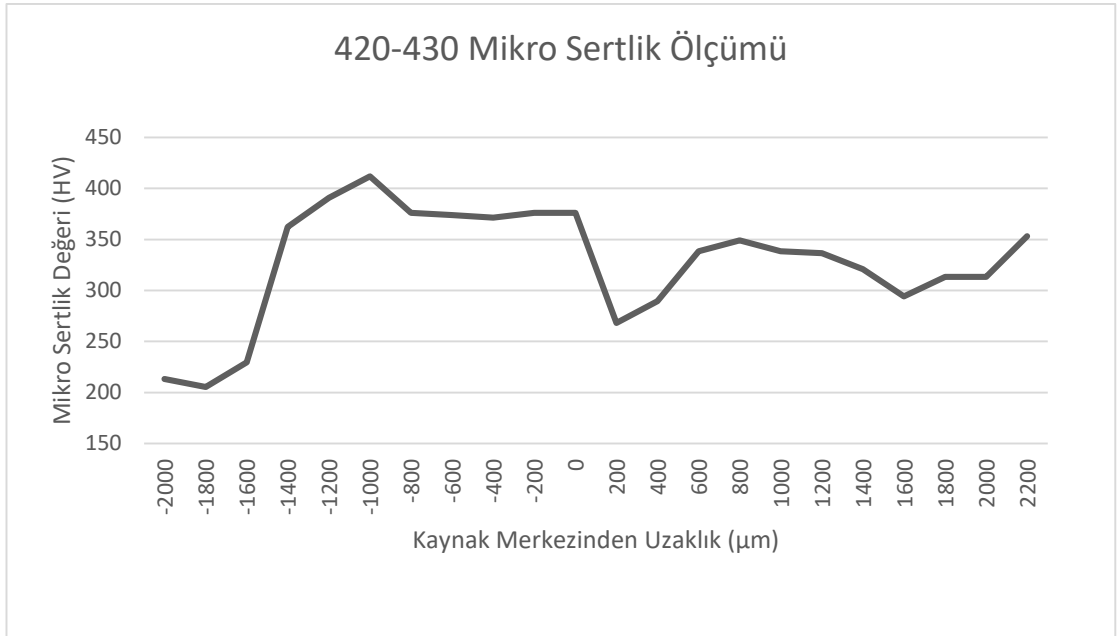
4.4 Mikro Sertlik Testleri

Yapılan mikro sertlik testleri 10 s süre ile 50 g yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki sertlik ölçümü arası mesafe 200 µm olarak alınmıştır. Ölçümler Erime Bölgesi (EB), Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB), Temel Malzeme (TM) bölgelerini kapsayacak şekilde yapılmıştır.

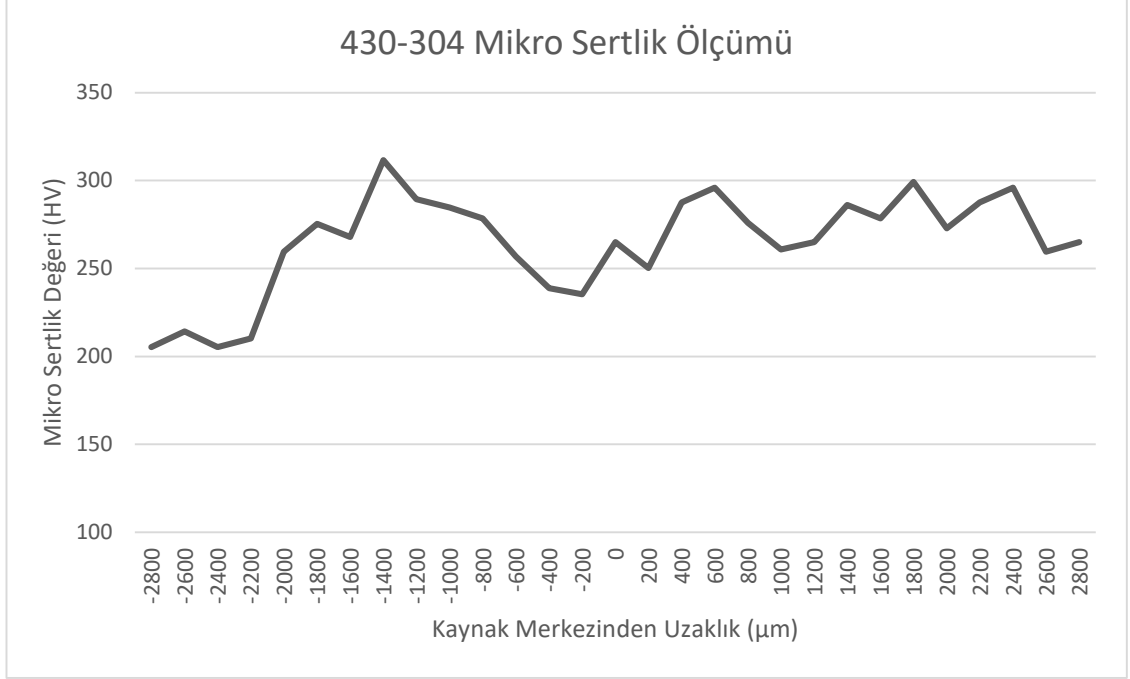
Benzer olmayan (dissimilar) malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin mikro sertlik ölçüm değerleri incelendiğinde, kaynak merkezinden başlayarak temel malzemeye doğru her iki malzeme tarafında farklı eğilim gözlemlenmektedir. Birleştirilen malzeme özelliklerine göre mikro sertlik değerleri değişkenlik göstermektedir. Malzeme sertliği temel olarak element bileşenlerinden, faz bileşimlerinden ve tane boyutundan etkilenmektedir. (Saedi ve ark. 2018)



Şekil 4.19. 304 östenitik paslanmaz çelik ve 420 martenzitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları



Şekil 4.20. 420 martenzitik paslanmaz çelik ve 430 ferritik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları

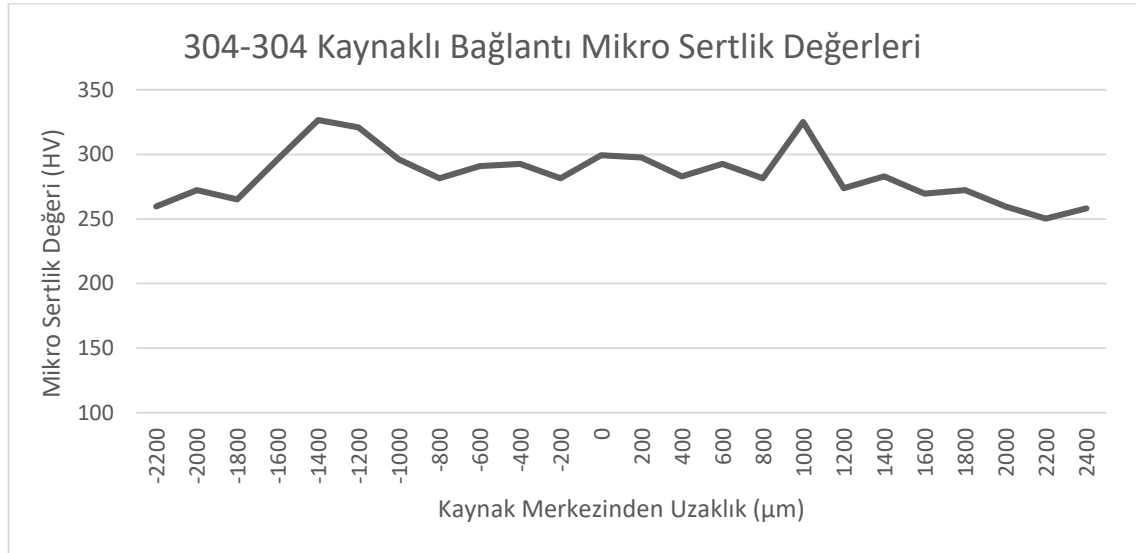


Şekil 4.21. 430 ferritik paslanmaz çelik ve 304 östenitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları

304 östenitik paslanmaz çelikler ve 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı bağlantısında mikro sertlik ölçüm sonuçları şöyledir: 304 östenitik paslanmaz çelik tarafı için elde edilen maksimum değer $342.6 HV_{0,05}$, 420 martenzitik paslanmaz çelik tarafı için $486.9 HV_{0,05}$ 'dir. Martenzitik paslanmaz çelik tarafındaki mikro sertliğin ferritik paslanmaz çelik tarafına göre daha yüksek olduğu Şekil 3.4'te açıkta görülmektedir. Yüksek soğuma hızı sayesinde oluşan çıta martenzitin yüksek tetragonalitesi yüksek mikro sertlik değerlerinin elde edilmesinde ferrit ile kıyaslandığında daha etkili olmuştur. 430 ferritik paslanmaz çelik tarafında maksimum $349 HV_{0,05}$, 420 martenzitik paslanmaz çelik tarafına maksimum $412 HV_{0,05}$ mikro sertlik değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.5). 430 ferritik paslanmaz çelikler ve 304 östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmesinde; ferritik paslanmaz çelik tarafında $311.6 HV_{0,05}$, östenitik paslanmaz çelik tarafında $299.3 HV_{0,05}$ mikro sertlik değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.6). Ferritik ve östenitik paslanmaz çelik bölgelerinde birbirine yakın mikro sertlik değerleri elde edilmiştir. Ferritik bölgede elde edilen nispeten daha yüksek sertlik, karbon oranının daha yüksek olması ve soğutma hızının yüksek olması ile açıklanabilir. Sertlik değerlerinde

dalgalanmalar kaynak bölgeleri, alaşım elementlerinin ayrışmasına neden olan dendritik yapıdan kaynaklanmaktadır. (Fei ve ark. 2019)

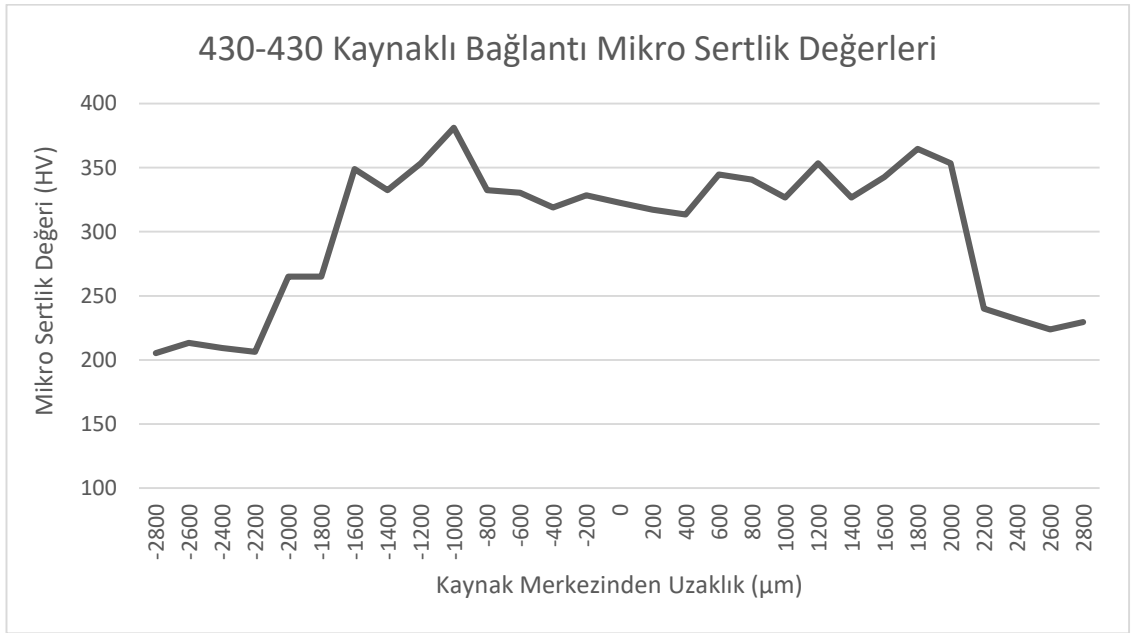
Benzer (similar) malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinin mikro sertlik ölçüm değerleri incelendiğinde de füzyon bölgesi mikro sertlik değerlerinin temel malzeme mikro sertlik değerlerinden yüksek olduğu görülmektedir. Füzyon bölgesinden ITAB bölgesine doğru gidildikçe mikro sertlik değerlerinde artış eğilimi gözlemlenmektedir. Mikro sertlik, yüksek sıcaklığa sahip ince taneli ITAB bölgesinde maksimum değerine ulaşmıştır. ITAB'tan temel malzemeye gidildikçe mikro sertlik düşüş yaşanmaktadır. Benzer malzemelerin (similar) birleştirmesi yapılmış olması dolayısıyla kaynağın her iki tarafında da aynı eğilim gözlemlenmektedir.



Şekil 4.22. 304-304 östenitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları



Şekil 4.23. 420-420 martenzitik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları



Şekil 4.24. 430-430 ferritik paslanmaz çelik mikro sertlik ölçüm sonuçları

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada 304 östenitik paslanmaz çelik, 420 martenzitik paslanmaz çelik ve 430 ferritik paslanmaz çeliklerin benzer (similar) ve benzer olmayan kaynağı (dissimilar) Tungsten Inert Gas (TIG) kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı birleştirmelerin kombinasyonları 304-420, 430-420, 430-304 olacak şekil de benzer olmayan (dissimilar), 304-304, 420-420 ve 430-430 olacak benzer (similar) şekildedir. Mikro yapı incelemeleri, çekme testleri ve mikro sertlik testleri yapılmıştır, elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

- 304 östenitik paslanmaz çelikler ve 420 martenzitik paslanmaz çelikler kaynaklı bağlantısında erime bölgesi östenit tane sınırlarında oluşmuş baskın çıta martenzit yapısındadır. Maksimum mikro sertlik değeri, çıta martenzit yapısının yüksek tetragonalitesi sayesinde $486.9 HV_{0,05}$ olarak martenzitik tarafta elde edilmiştir. Maksimum çekme mukavemeti değeri ise $408,6 MPa$ olarak ölçülmüştür. Yüzde uzama olarak en yüksek değer ise $\%0,38$ olarak elde edilmiştir.
- 430 ferritik paslanmaz çelikler ve 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında erime bölgesi martenzitik yapıdadır, ferritik tarafta ITAB bölgesinde iri taneli Widmanstatten yapısı bulunmaktadır. Elde edilen maksimum mikro sertlik martenzitik paslanmaz çelik tarafında $412 HV_{0,05}$ 'dir. Maksimum çekme mukavemeti değeri ise $495,66 MPa$ olarak ölçülmüştür. Yüzde uzama olarak en yüksek değer ise $\%0,98$ olarak elde edilmiştir.
- 430 ferritik paslanmaz çelikler ve 304 östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirmesinde kaynak merkezi matris yapısı ferrit tane sınırlarında çekirdeklenen dentritik östenit yapısından oluşmaktadır, östenit fraksiyonu daha fazladır. Östenitin ısıl genleşme katsayısı ferritten daha yüksek olması nedeniyle östenit tane büyümesi, tane sınırı boyunca büyüyen ferrit tarafından kısıtlanmıştır. Bu nedenle östenitik tarafta ITAB bölgesinde belirgin bir faz dönüşümü gözlemlenmemiştir. Nispeten birbirine yakın mikro sertlik değerleri elde edilmiştir. Ferritik bölgede elde edilen nispeten daha yüksek sertlik $311.6 HV_{0,05}$

Karbon oranının yüksek olması ve yüksek soğuma hızları ile açıklanmaktadır. Maksimum çekme mukavemeti değeri ise 455,59 Mpa olarak ölçülmüştür. Yüzde uzama olarak en yüksek değer ise %8,92 olarak elde edilmiştir.

- Çekme testleri gerçekleştirilen parçalarda kopmalar kaynak bölgesinden meydana gelmiştir. Kaynak bölgesine görsel muayene yapılarak kesit yüzeyinde süreksizlik, yapısal bozukluk, gözle görülebilen boşluklar oluşmadığı tespit edilmiştir. Optik makro incelemede bulgular kaydedilmiştir ve herhangi bir kaynak kusuru olmadığı numune kesitlerinden gözlemlenmiştir.
- Benzer malzemelerin kaynaklı birleştirmelerinde genel olarak erime bölgesinin faz fraksiyonları temel malzemenin faz fraksiyonlarına benzer dendritik yapılardan oluşmaktadır.
- 304 östenik paslanmaz çeliğin kaynaklı birleşimi erime bölgesi mikro yapısı tamamen östenitiktir ve hücresel ve sütunlu dendritlerden oluşmaktadır. Maksimum mikro sertlik değeri, 326.6 $HV_{0,05}$ olarak elde edilmiştir. Benzer malzemelerin kaynak edildiği numuneler arasında minimum olan bu değerinde elde edilmesinde ferritin yumuşak yapıya sahip olması etkili olmuştur. Östenitik çeliklerin birbirleriyle kaynağında elde edilen maksimum çekme mukavemeti değeri ise 422,52 MPa olarak ölçülmüştür. Yüzde uzama olarak en yüksek değer ise %1,36 olarak elde edilmiştir.
- 420 martenzitik paslanmaz çeliğin kaynak bölgesinde dentritik martenzitik yapılar gözlemlenmektedir. Maksimum mikro sertlik değeri, 483.4 $HV_{0,05}$ olarak elde edilmiştir. Maksimum değerinde elde edilmesinde martenzit yapısının yüksek tetragonaliteye sahip olması etkili olmuştur. Martenzitik çeliklerin birbirleriyle kaynağında maksimum çekme mukavemeti değeri ise 423,44 MPa olarak ölçülmüştür. Yüzde uzama olarak en yüksek değer ise %5,82 olarak elde edilmiştir.

- 430 ferritik paslanmaz çeliklerin kaynaklı bölge mikro yapısı Widmanstatten yapısına sahip ferritik matristen oluşmuştur. Maksimum mikro sertlik değeri, 381 $HV_{0,05}$ olarak elde edilmiştir. Ferritik eliklerin birbirleriyle kaynağında elde edilen maksimum çekme mukavemeti değeri ise 384,59 MPa olarak llmüştür. Yüzde uzama olarak en yüksek değer ise %0,89 olarak elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Abu, S. (2006). Östenitik paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile kaynağında koruyucu gazın mekanik özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Türkiye.
- Anık, S., Anık, E. S., ve Vural, M. (1993). 1000 soruda kaynak teknolojisi el kitabı. Birsen Yayınevi.
- Aran A. ve Temel M. A. (2004). Paslanmaz elikler. Acar Matbaacılık A.Ş, İstanbul.
- Aran, A. ve Temel M.A. (2003) Paslanmaz elik Yası Mamuller, Sarıtaş elik Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, 165 syf.
- Aydın, T. (2002). Paslanmaz eliklerin MIG kaynağında kullanılan gazlar ve etkileri Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Bhanu, V., Gupta, A. ve Pandey, C. (2022). Investigation on joining P91 steel and Incoloy 800HT through gas tungsten arc welding for Advanced Ultra Super Critical (AUSC) power plants. Journal of Manufacturing Processes, 80, 558-580.
- Brooks, J. A., ve Lippold, J. C. (1993). Selection of wrought austenitic stainless steels. ASM handbook, 6, 456-470.
- Canıgeniş, N. (1999). stenitik paslanmaz eliklerin MIG kaynağında kullanılan değişik gaz bileşenlerinin mekanik özelliklere etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye.
- elik, S. (2012). Paslanmaz eliklerin İ Yapı ve Türleri. Sarıtaş elik, İstanbul.
- Davis, J. R. (1993). Selection of wrought martensitic stainless steels. ASM Metals Handbook, 6, 432-441.
- Davis, J. R. (1994). Stainless steels. ASM international.
- Fei, Z., Pan, Z., Cuiuri, D., Li, H., Van Duin, S. ve Yu, Z. (2019). Microstructural characterization and mechanical properties of K-TIG welded SAF2205/AISI316L dissimilar joint. Journal of Manufacturing Processes, 45, 340-355.
- Gardi, R. H., Baban S. A. ve Ahmed A. 2017. Effect of rotational speed on intergranular corrosion resistance of friction welded SDSS SAF 2507 joints, Iraq.
- Gooch, T. (1992). Welding behaviour and weldability of superaustenitic stainless steels. In 8th Annual North American Welding Research Conference, TWI, Cambridge UK (pp. 1-3).
- Gztok, E. (2009). Paslanmaz eliklerin TIG kaynağında Argon-Hidrojen gaz karışımının birleştirmelerin mekanik ve mikro yapı özelliklerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, syf. 15-23, Karabük Üniversitesi, Türkiye.

- Grant, K. H. (1998). Gas-Tungsten Arc Welding. ASM Handbook, Welding, Brazing, and Soldering, 590-602.
- Huang, Y., Huang, J., Zhang, J., Yu, X., Li, Q., Wang, Z. ve Fan, D. (2021). Microstructure and corrosion characterization of weld metal in stainless steel and low carbon steel joint under different heat input. *Materials Today Communications*, 29, 102948.
- Huang, Y., Luo, Z., Lei, Y., Ao, S., Shan, H. ve Zhang, Y. (2018). Dissimilar joining of AISI 304/Q345 steels in keyhole tungsten inert gas welding process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96, 4041-4049.
- Kahraman, N., (2009). Modern Kaynak Teknolojisi Ders Notları, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, ss 1-10.
- Kaluç, E. (1990). Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı. *Gedik Kaynak Dünyası*, İstanbul.
- Kaluç, E. ve Tülbentçi, K., (1998). Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Seminer Notları, Kocaeli
- Kaluç, E. (1999). Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrot ile Ark Kaynağı. *Makine Magazin*, İstanbul, Türkiye.
- Kaya, Y. (2010). AISI 304 ve AISI 430 paslanmaz çeliklerin TIG, MIG ve Örtülü Elektrod Ark kaynağıyla birleştirilebilirliğinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(3), 549-557.
- Kırık, I. (2012). Sürtünme kaynağı ile birleştirilmiş AISI 1040/AISI 304L çelik çiftinin elektrokimyasal korezyon davranışının araştırılması Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji Eğitimi Anabilim Dalı, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Kulkarni, A., Dwivedi, D. K., ve Vasudevan, M. (2019). Effect of oxide fluxes on activated TIG welding of AISI 316L austenitic stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4695-4702.
- Kumar, A. V., Selvakumar, A. S., Balachandar, K., Ahmed, A. W., ve Arabath, A. Y. (2021). Correlation between material properties and free vibration characteristics of TIG and laser welded stainless steel 304 reinforced with Al₂O₃ microparticles. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 24(5), 1253-1261.
- Kurt, H. İ. (2006). TIG Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi Marmara Üniversitesi, Türkiye.
- Lai, J. K. L., Shek, C. H., ve Lo, K. H. (2012). *Stainless steels: An introduction and their recent developments*. Bentham Science Publishers.
- Leffler, B. (1996). *Stainless steels and their properties*. AvestaPolarit AB, 1-45.

- Murat, M. G. (2018). Savunma sanayinde kullanılan 420 ve 304L paslanmaz çeliklerinin TIG kaynağı sonrası korozyon ve mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi.
- Nilsson, K. (2006). Corrosion tests of stainless steels in automotive applications. Yüksek Lisans Tezi Lulea University of Technology
- Osmanoğlu, T. (2012). AISI 304 ve 430 kalite paslanmaz çeliklerin mikroyapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına soğuk deformasyonun etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Palabiyik, O. (2013). Soğuk deformasyonun AISI 304 ve AISI 204Cu kalite paslanmaz çeliklerin mikro yapılarına, mekanik özelliklerine ve korozyon davranışlarına etkisi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Saedi, A. H., Hajjari, E. ve Sadrossadat, S. M. (2018). Microstructural characterization and mechanical properties of TIG-Welded API 5L X60 HSLA steel and AISI 310S stainless steel dissimilar joints. Metallurgical and Materials Transactions A, 49, 5497-5508.
- Singh, R. (2020). Applied welding engineering: processes, codes, and standards. Butterworth-Heinemann.
- Tülbentci, K. (1998). MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemleri. Arctech A.Ş. Yayını, İstanbul.
- Vora, J. J. ve Badheka, V. J. (2017). Experimental investigation on microstructure and mechanical properties of activated TIG welded reduced activation ferritic/martensitic steel joints. Journal of Manufacturing Processes, 25, 85-93.
- Wang, Y., Qi, B., Cong, B., Zhu, M. ve Lin, S. (2018). Keyhole welding of AA2219 aluminum alloy with double-pulsed variable polarity gas tungsten arc welding. Journal of Manufacturing Processes, 34, 179-186.
- Weman, K., & Lindén, G. (2006). MIG welding guide. Woodhead Publishing.
- Yıldırım, G. (2010). AISI 321 Paslanmaz Çeliğin TIG Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesinde Kaynak İlave Metalinin ve Koruyucu Gazın Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Türkiye

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eyüp Can İÇLİ
Doğum Yeri ve Tarihi : BURSA / 02.01.1997
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Bursa Erkek Lisesi
Lisans : Uludağ Üniversitesi-Makine Mühendisliği
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi-Makine Mühendisliği

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Erdem Kaya Patent 2020-2021
Diniz Adient 2021-2022
Oyak Renault 2022-Halen

İletişim (e-posta) : eyupcanicli@gmail.com

Yayınları :

- İçli E., Aydın H., Altay M. 2023. Investigation Of Microstructure And Microhardness Properties In The Dissimilar Welding Of Stainless Steels Using The Tungsten Inert Gas Method. 4. International Antalya Scientific Research and Innovative Studies Congress, May 9-10, 2023, Antalya, Türkiye
- İçli E., Aydın H., Altay M. 2023. Investigation Of Microstructure And Microhardness Properties In The Similar Welding Of Stainless Steels Using The Tungsten Inert Gas Method. 4. International Black Sea Modern Scientific Research Congress 6-7-8 June 2023, Rize, Türkiye