

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK
KABİLİYETİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Gökhan Emre KÜKÜRTCÜ

Enstitü Anabilim Dalı : **METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKÇİL**

Ocak 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK
KABİLİYETİ VE MEKANİK ÖZELLİKLERE
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gökhan Emre KÜKÜRTCÜ

Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ

24/01/2014
Bu tez / tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

M. Akçil
Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKÇİL

Jüri Başkanı

Salim Aslanlar
Prof. Dr. Salim
ASLANLAR

Üye

Sinan Serdar
Doç. Dr. Sinan Serdar

ÖZKAN

Üye

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı titizlikle yöneten, fikir ve önerilerinden faydalandığım, şahsıma kazandırdığı katma değerlerden ötürü bir hocadan çok çok daha fazlası olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa AKÇİL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme tedariki konusunda kolaylık sağlayan SİSTEM TEKNİK SANAYİ FIRINLARI A.Ş. firmasına, numunelerin standartlara göre hazırlanmasında yardımcı olan ÜRMAKSAN MAK. İNŞ. TAAH. SAN. VE TİC. LTD. ŞTİ. firmasına, malzeme analizinde yardımcı olan TÜVESAŞ çalışanı Metalurji ve Malzeme Mühendisi Yusuf KÜPRAY'a, mekanik testlerde bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Arş. Gör. Ramazan KARSLIOĞLU'na, metalografi çalışmalarında yardımcı olan Arş. Gör. İbrahim ALTINSOY'a şükranlarımı sunarım.

Bugünlere gelmemde manen ve madden desteklerini sürekli yanımda hissettiğim ablalarım; Burcu KÜKÜRTCÜ'ye ve Asuman KARAGÖZOĞLU, dualarını bir an olsun eksik etmeyen, desteğini can-ı gönülden hissettiğim, varlık sebebim kıymetli annem Dilek KÜKÜRTCÜ'ye ve aramızda olmayan, rahmet ile andığım babam Murat Şahin KÜKÜRTCÜ'ye en kalbi duygularım ile teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

PASLANMAZ ÇELİKLER	4
2.1. Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi	4
2.2. Paslanmaz Çelikler ve Özellikleri.....	5
2.3. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri.....	6
2.4. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri	9
2.5. Paslanmaz Çeliklerin Sahip Olduğu Faz Diyagramları	11
2.6. Alaşım Elementlerinin Paslanmaz Çeliklere Etkisi	15
2.6.1. Karbon.....	16
2.6.2. Azot.....	16
2.6.3. Alüminyum	16
2.6.4. Molibden	16
2.6.5. Niyobyum.....	17
2.6.6. Krom	17
2.6.7. Silisyum	17

2.6.8. Nikel	17
2.6.9. Kükürt, fosfor ve selenyum.....	17
2.6.10. Titanyum	18
2.7. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	18
2.8. Östenitik Paslanmaz Çelikler	21
2.9. Martenzitik Paslanmaz Çelikler	25
2.10. Dupleks Paslanmaz Çelikler	27
2.11. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler	28

BÖLÜM 3.

ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER.....	30
3.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	30
3.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanabilirliği.....	31
3.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Kaynak Yöntemleri	33
3.4. TIG Kaynağı	34
3.4.1. TIG kaynak donanımı	37
3.4.2. TIG kaynak elektrotları.....	39
3.4.3. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar.....	41
3.4.4. TIG Kaynak Yönteminin Uygulama Alanları	46
3.4.5. TIG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları	47
3.5. Diğer Kaynak Yöntemleri	48
3.5.1. MIG kaynağı	48
3.5.2. Elektrik ark kaynağı	51
3.5.3. Toz altı kaynağı	52
3.5.4. Plazma ark kaynağı	53
3.5.5. Lazer ışını ile kaynak	54
3.5.6. Gaz eritme kaynağı	55
3.6. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler.....	55
3.6.1. Krom karbür çökelmesi ve taneler arası korozyon	56
3.6.2. Sıcak çatlak oluşumu	59
3.6.3. Sigma faz oluşumu.....	62

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	66
4.1. Kaynak İşlemi	68
4.2. Numunne Hazırlama	68
4.3. Çekme Testi	69
4.4. Eğme (Üç Nokta) Testi.....	69
4.5. Sertlik Testi	71
4.6. Mikroyapı Çalışmaları	71

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR.....	73
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları	73
5.2. Sertlik Testi 80	
5.3. Eğme (üç nokta) Testi	82
5.4. Mikroyapı ve EDS İncelemeleri	84
5.4.1. Optik mikroskop incelemeleri.....	84
5.4.2. SEM mikroyapı incelemeleri	87
5.4.3. EDS incelemeleri	89

BÖLÜM 6.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	106
6.1. Sonuçlar	106
6.2. Öneriler	107

KAYNAKLAR.....	108
----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	115
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing Materials
AWS	: Amerikan Kaynak Derneği
DIN	: Alman Endüstri Normları
E	: Elastiklik modülü
EDS	: Enerji dağılımı spekrometresi
EN	: Avrupa Normu
FN	: Ferrit numarası
HMK	: Hacim merkezli kübik
ITAB	: Isının tesiri altındaki bölge
MPa	: Megapascal
SEM	: Taramalı electron mikroskobu
TS	: Türk Standartları
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
YMK	: Yüzey merkezli kübik
α	: Ferrit
α'	: Kromca zengin ferrit
γ	: Östenit
δ	: Delta ferrit
σ	: Sigma fazı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. 20-100 °C çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin ısı iletim kabiliyeti.....	7
Şekil 2.2. Çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin uzama kabiliyeti.....	8
Şekil 2.3. Çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin özgül elektrik iletme direnci	8
Şekil 2.4. İkili demir krom denge diyagramı.	12
Şekil 2.5. Demir – Krom alaşımlarının denge diyagramı.	13
Şekil 2.6. %4 Ni içeren Fe %18Cr-C alaşımları faz diyagramı.	14
Şekil 2.7. %8 Ni içeren Fe %18Cr-C alaşımları faz diyagramı.	14
Şekil 2.8. Schaeffler ve DeLong diyagramları.....	15
Şekil 2.9. Sektörde en çok kullanılan ferritik paslanmaz çelikler.....	20
Şekil 2.10. Ferritik paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü.....	21
Şekil 2.11. Östenitik paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü	22
Şekil 2.12. Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri.....	24
Şekil 2.13. Martenzitik paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü	25
Şekil 2.14. Dupleks paslanmaz çeliğin mikroyapısı	27
Şekil 3.1. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi.....	35
Şekil 3.2. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi.....	36
Şekil 3.3. TIG kaynak donanım şeması	38
Şekil 3.4. Elektrot çapına göre elektrot uçları (alternatif akımda)	41
Şekil 3.5. Çeşitli koruyucu gazların kaynak dikişinin şekline ve nüfuziyetine etkisi.....	42
Şekil 3.6. Ar - O ₂ , Ar - CO ₂ ve CO ₂ gazlarının dikiş şekline ve nüfuziyete etkisi	43
Şekil 3.7. Gaz altı kaynak yönteminde kullanılan gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliklerinin değişimi.....	46
Şekil 3.8. 18Cr/8Ni (0.10 C)' lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi (X 1200).	57
Şekil 3.9. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon.....	57

Şekil 3.10. Taneler arası korozyon oluşan bölge	57
Şekil 3.11. Katılaşıma faz sınırlarını da içeren WCR - 1992 diyagramı.....	61
Şekil 3.12.Paslanmaz çeliklerde sıcaklık ve zamana bağlı sigma fazı oluşumu a)780°C 'de 100 saat ısıtılma işlemi uygulama sonrası x1600 içyapı incelemesi b)780°C 'de 500 saat ısıtılma işlemi uygulama sonrası x1600 içyapı incelemesi	63
Şekil 3.13. Fe-Cr denge sistemi içinde sigma fazının (σ ve $\sigma + \alpha$) bulunuş alanları .	64
Şekil 3.14 Optik mikroskop altında sigma fazının görünüşü.....	65
Şekil 3.15 Taramalı elektron mikroskobu altında sigma fazının görünüşü	65
Şekil 4.1. Numunelerin Schaeffler diyagramında gösterimi.....	67
Şekil 4.2. Çekme test numunesi ölçüleri.....	69
Şekil 4.3. Eğme deneyinin uygulanışı.....	70
Şekil 5.1. AISI 304L numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği.....	74
Şekil 5.2. AISI 304L numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği.....	74
Şekil 5.3. AISI 316Ti numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği.....	75
Şekil 5.4. AISI 316Ti numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği	75
Şekil 5.5. AISI 310S numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği	76
Şekil 5.6. AISI 310S numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği.....	76
Şekil 5.7. AISI 321 numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği	77
Şekil 5.8. AISI 321 numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği.....	77
Şekil 5.9. AISI 304L kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri.....	80
Şekil 5.10. AISI 316Ti kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri	80
Şekil 5.11. AISI 310S kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri.....	81
Şekil 5.12. AISI 321 kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri	81
Şekil 5.13. AISI 304L numunesine ait optik mikroskop görüntüleri.....	84
Şekil 5.14. AISI 316Ti numunesine ait optik mikroskop görüntüleri.....	85
Şekil 5.15. AISI 310S numunesine ait optik mikroskop görüntüleri	85
Şekil 5.16. AISI 321 numunesine ait optik mikroskop görüntüleri	86
Şekil 5.17. AISI 304L numunesine ait SEM görüntüleri	87
Şekil 5.18. AISI 316Ti numunesine ait SEM görüntüleri.....	88
Şekil 5.19. AISI 310S numunesine ait SEM görüntüleri	88
Şekil 5.20. AISI 321 numunesine ait SEM görüntüleri	89
Şekil 5.21. AISI 304L numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları	90

Şekil 5.22. AISI 304L numunesine ait ana metal noktasal EDS analiz grafikleri	90
Şekil 5.23. AISI 304L numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları	91
Şekil 5.24. AISI 304L numunesine ait ITAB noktasal EDS analiz grafikleri	91
Şekil 5.25. AISI 304L numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları.....	92
Şekil 5.26. AISI 304L numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri	92
Şekil 5.27. AISI 316Ti numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları	94
Şekil 5.28. AISI 316Ti numunesine ait ana metal EDS grafikleri	94
Şekil 5.29. AISI 316Ti numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları	95
Şekil 5.30. AISI 316Ti numunesine ait ITAB EDS grafikleri	95
Şekil 5.31. AISI 316Ti numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları	96
Şekil 5.32. AISI 316Ti numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri	96
Şekil 5.33. AISI 310S numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları	98
Şekil 5.34. AISI 310S numunesine ait ana metal bölgesi EDS grafikleri.....	98
Şekil 5.35. AISI 310S numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları.....	99
Şekil 5.36. AISI 310S numunesine ait ITAB EDS grafikleri	99
Şekil 5.37. AISI 310S numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları.....	100
Şekil 5.38. AISI 310S numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri.....	100
Şekil 5.39. AISI 321 numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları.....	102
Şekil 5.40. AISI 321 numunesine ait ana metal EDS grafikleri.....	102
Şekil 5.41. AISI 321 numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları.....	103
Şekil 5.42. AISI 321 numunesine ait ITAB EDS grafikleri.....	103
Şekil 5.43. AISI 321 numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları	104
Şekil 5.44. AISI 321 numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri	104

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Paslanmaz çelik gruplara ait fiziksel özellikler	7
Tablo 2.2. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri	9
Tablo 2.3. Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri	10
Tablo 2.4. Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri	11
Tablo 2.5. Yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelik türleri	22
Tablo 2.6. Yaygın olarak kullanılan martenzitik paslanmaz çeliklere ait uluslararası standartlar	26
Tablo 3.1. Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri, renk kodları ve bazı özellikleri.....	39
Tablo 3.2. Argon ve helyum gazlarının TIG kaynak yöntemindeki davranışlarının karşılaştırılması	44
Tablo 3.3. Gaz altı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	45
Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan numunelerin ölçüleri.....	66
Tablo 4.2. Deney numunelerinin kimyasal analiz değerleri.....	67
Tablo 4.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan parametreler	68
Tablo 5.1. Çekme testi değerleri	73
Tablo 5.2. Sertlik ölçüm değerleri.....	81
Tablo 5.3. Eğme testi değerleri	83
Tablo 5.4. AISI 304L numunesine ait noktasal EDS sonuçları	93
Tablo 5.5. AISI 316Ti numunesine ait noktasal EDS sonuçları	97
Tablo 5.6. AISI 310S numunesine ait noktasal EDS sonuçları.....	101
Tablo 5.7. AISI 321 numunesine ait noktasal EDS sonuçları.....	105

ÖZET

Anahtar kelimeler: Östenitik Paslanmaz Çelik, TIG Kaynağı, Mekanik Özellikler, Mikroyapı

Son yıllarda ülkemizin, dünyaya paralel olarak paslanmaz çelik ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bunun yanında ağır sanayinin de gelişmesi ile kaynaklı imalat da hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır.

Demir esaslı malzemeler arasında paslanmaz çelikler son 25 yılda kullanımı hızla yaygınlaşan çok önemli bir malzeme gurubudur. Paslanmaz çeliklerin üst düzeydeki korozyon dayanımları, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilir olmaları, kolay şekillendirilebilmeleri ve estetik görünümleri bu malzemeye geniş bir kullanım alanı sağlamaktadır.

TIG Kaynak yöntemi ülkemizde kullanımı gün geçtikçe artan bir kaynak yöntemidir. Bu yöntemde erimeyen bir tungsten elektrot ile iş parçası arasında ark oluşturulmakta ve ark bölgesi lüleden gönderilen asal gaz tarafından korunmaktadır. İlave metal ise aynen oksijen gaz kaynağında olduğu gibi teldir ve kaynakçı tarafından kaynak bölgesine dışarıdan verilmektedir.

Bu çalışmada endüstride büyük bir önem arz eden östenitik paslanmaz çeliklerden olan 304L, 316Ti, 321 ve 310S kalitelerinin TIG kaynak yöntemi ile birleştirilerek kaynaklanabilirliği, mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi incelenmiştir.

WELDABILITY OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS AND INVESTIGATION OF THE EFFECTS ON MECHANICAL PROPERTIES

SUMMARY

Key Words: Austenitic Stainless Steel, TIG Welding, Mechanical Properties, Microstructure

In recent years our country – parallel with the world – demand of stainless steel is increasing with each passing day. Besides with the development of industry also welding fabrication has spread quickly. Stainless steel, which is rapidly spreading use of the last 25 years, is a very important material group.

High level of corrosion resistance in stainless steels, to be used in low and high temperature, easy to be shaped and aesthetic appearance provide these materials a wide area of use.

TIG welding method has a wide area of application in our country and this is increasing day by day. In this process, an arc is generated between a non consumable tungsten electrode and the work pieces. The arc zone is protected from atmospheric contamination by an inert shielding gas which is sent from nozzle. The filler rod is a wire like other methods and it is given by a welder to weld area.

In this study, AISI 304L, 316Ti, 321 and 310S type austenitic stainless steels which were great importance in industry were joined with TIG welding method and the effects on weldability, mechanical properties, and microstructure were investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Paslanmaz çelikler, esas olarak mükemmel korozyon dirençlerinden dolayı tercih edilmektedirler. Bileşimlerinde en az %12 Cr bulunan çelikler “paslanmaz çelik” olarak adlandırılırlar. Tüm paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, çok yoğun ve koruyucu bir krom oksit (ince pasif yüzey) tabakasının oluşmasına dayanır. Korozyona karşı korumayı sağlayan bu mekanizmanın anlamı şudur; çeliğin yüzeyindeki pasif tabaka kırıldığında çelik bölgesel olarak korozif saldırıya uğrar ve bu şekilde aktif hale gelen bölgede metalin korozyonu devam eder. Bu yüzden oyuklanma ve çatlak korozyonu, gerilmeli ve tane sınırı korozyonu gibi bölgesel korozyon tipleri genellikle genel korozyondan daha kritiktir. Bu nedenlerle çeliğe ilave edilen bazı alaşım elementleri, bölgesel saldırılara oldukça etkili karşı koyabilme özelliği kazandırmaktadır. Oyuklanma ve çatlak korozyonuna karşı direnç, katı çözeltiler şeklindeki Cr, Mo, Ni içerikleri ile arttırılır. Paslanmaz çelikler genellikle beş ana grupta toplanırlar: Bunlar; ferritik paslanmaz çelikler, martenzitik paslanmaz çelikler, çift fazlı (dubleks) paslanmaz çelikler, çökeltme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler ve östenitik paslanmaz çeliklerdir [1].

Östenitik paslanmaz çelikler, paslanmaz çelik ailesi içinde en çok kullanım alanı bulanlardan bir tanesidir. AISI 304 ve AISI 316 östenitik paslanmaz çeliklerin en önemli olanlarıdır. 304'ün içerisinde %18 Cr - %10 Ni bulunur ve bu tür paslanmaz çelikler mükemmel korozyon direnci gösterirler. 316 bileşiminde %17 Cr, %12 Ni ve %2 Mo içeren bir östenitik paslanmaz çelik türüdür ve AISI 304'ün yetersiz kaldığı klorürlü ortamlar gibi çok daha ciddi korozif ortamlarda kullanım alanı bulurlar. Östenitik paslanmaz çeliklerin diğer önemli özelliklerinden birisi de, genellikle çeliklerde görülenin tersine manyetik özelliği olmamasıdır.

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır. Özellikle petro kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değıştiricileri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Bu konstrüksiyonların oluşturulmasında da alışılmış veya modern kaynak yöntemleri kullanılmaktadır.

Günümüzde paslanmaz çelik türlerinin kaynak işlemleri ark kaynak yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kullanılan ark kaynak yöntemleri içinde en yaygın kullanılan metod ise TIG kaynak yöntemidir. Bazı sınırlamalar dışında diğer çelikler için kullanılan tüm kaynak yöntemleri paslanmaz çelikler için de kullanılır. Paslanmaz çelikler; elektrik ark kaynağı, MIG kaynağı, TIG kaynağı, tozaltı ark kaynağı, plazma ark kaynağı ve lazer ışın kaynağı ile kaynaklanabilmektedirler. Günümüzde, paslanmaz çeliklerin birleştirilmelerinde en yaygın kullanılan kaynak yöntemi, TIG kaynak yöntemidir.

TIG kaynağı; paslanmaz çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve diğer demir dışı metaller gibi kaynak işlemi zor olan metallerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. TIG kaynağı; kaynak için gerekli olan ısı enerjisinin bir tungsten elektrot ve iş parçası arasında oluşturulan ark tarafından sağlandığı ve kaynak bölgesinin elektrotu çevreleyen bir nozuldan gönderilen asal gaz tarafından korunduğu bir kaynak yöntemidir. TIG kaynağında başlangıçta helyum daha sonraları ise argon gazı kullanılmaya başlamıştır. Hafif metal ve alaşımlarının kaynağında kullanılan argon gazının çok saf olması gerekir. Aksi takdirde gaz içerisinde bulunabilecek su buharı, oksijen ve azot gibi safiyetsizlikler kaynağın kalitesini düşürür [2].

Östenitik paslanmaz çelik kaynak metallerinin mikroyapıları esas metalinkinden bir miktar farklılık gösterir. Tamamen östenitik alaşımların eşdeğer bileşimindeki kaynak metalinde az miktarda ferrit içerdiği görülür. Çeşitli elektrotların kullanımı kaynak metalinin metalurjik yapısını değıştirebilir. Bu amaçla kaynak metalinin kimyasal bileşimini saptamak üzere Schaeffer ve De Long diyagramlarından yararlanılır.

Gaz altı kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen östenitik paslanmaz çelik konstrüksiyonların mekanik özelliklerinin belirlenmesi, imalatı yapılan konstrüksiyonun daha güvenli kullanılması açısından önemlidir. TIG kaynak yönteminin kullanıldığı bu çalışmada östenitik paslanmaz çeliklerin (304L, 316Ti, 310S, 321) sertlik dağılımı, çekme mukavemeti, eğme mukavemeti ve tane morfolojisini incelemek amacı ile mikroyapı özelliklerinin ne şekilde değişim gösterdiği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür bilgileri ile yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER

2.1. Paslanmaz Çeliklerin Tarihçesi

Paslanmaz çeliklerin doğuşu demir ile başlayan demir alaşımlarının gelişimine dayanır. Curie'nin demir yapım metotlarını geliştirmesi ve haddelenmiş parçaları elde edebilmek amacıyla merdaneleri ortaya çıkarması ile çeliğin kitle halinde üretimine başlanmıştır. Daha önceleri başarılı araştırmalar yapılmasına rağmen 19.yy ortalarında kromlu çeliklerin paslanmaz özellikte oldukları anlaşılmıştır. Metalurjik özellikleri incelemek için 1920 yıllarında X ışınları difraksiyon metotları kullanılmaya başlanarak çeliklerde krom ve karbon miktarının mekanik özelliklere olan etkileri incelenmiştir [2].

Hadfield, 1892 yılında %17 Cr ve %1 C içeren çelikleri üretmiştir. Hadfield bu çelikleri sülfürik asitle incelediği için hata yapmıştır. Çünkü ferritik paslanmaz çeliklerin sülfürik aside dirençleri iyi değildir. Bu durumda Hadfield kromun korozyon dayanımını düşürdüğü fikrine vardı. 1900-1915 yılları arası, metalurjik keşifler bakımından çok hareketlidir. Karbonun demirin özelliklerine olan etkisi sistemli bir halde toplandı. Burada belirlenen prensipler endüstride uygulandı [3].

1911 yılında C. Dantsizen, General Elektrik Firmasında, elektrik ampullerinde flaman olarak kullanılmak üzere %14–16 Cr içeren bir Fe-Cr alaşımı, yine aynı yıllarda İngiltere'de Harry Brearley Fe-Cr alaşımlarının yüksek korozyon direncinden yararlanarak çatal, kaşık, bıçak yapmak üzere %12,8 Cr içeren bir alaşım geliştirmiştir. H. Brearly, çalışmaları sırasında bu alaşımların ısıtma işlem sonucu sertleşebildiklerini gördükten sonra bunların aşınma ve karıncalanmasını önlemek için top namlularında kullanılabileceği kanaatine varmıştır.

Aynı araştırmacı tarafından bu alaşımların metalografik dağlama ayıraçlarına dirençleri olduklarından bu malzemelere “paslanmaz çelik” adı verilmiştir [1].

Bu östenitik alaşımların asitlere dayanıklılığı 1912'de Eduard Maurer'in ve Benno Strauss'un yapmış olduğu alaşımların laboratuvarında asit buharlarına karşı dayanıklı olduklarını fark etmesi sonucu keşfedilmiştir. Aslında bu alaşımlar işleme sırasında çatlamaktadır. Maurer bu alaşımlara ısıl işlem uygulayıp krom-karbürleri çözeltili haline getirerek alaşımı sünek hale getirmeyi başardı. Uzun çalışmalar sonucu geliştirilmiş bu alaşımların patenti alındıktan sonra 1914 yılından itibaren Krupp, V2A çeliğini (%20 Cr, %7 Ni, %0,25 C) adı altında endüstrinin hizmetine sunarak, endüstriyel çapta ilk paslanmaz çelik üretimi gerçekteştirilmiştir. 1920'li yıllardan itibaren üretim tekniklerinin geliştirilmesi, üretim miktarlarının artması sonucu %17 Cr'lu ferritik, %18 Cr - %8 Ni içeren östenitik paslanmaz çelikler kimya endüstrisinde geniş çapta kullanılmaya başlanmıştır [1].

Savaş şartları sonucu 1950'li yıllarda östenitik paslanmaz çelik için Ni bulunmasında karşılaşılan güçlükler, bu element yerine Mn ve N kullanılarak, bugün AISI 200 paslanmaz çelik serisi geliştirilmiştir. Farklı gereksinimleri karşılamak için dubleks (çift fazlı) ve çökeltme sertleşmeli çelik türleri yanı sıra çok az karbon ve azot ile çok az alaşım elementleri içeren ferritik paslanmaz çelikler ve süper-östenitik (tam östenitik) paslanmaz çelikler üretilmiştir [1].

2.2. Paslanmaz Çelikler ve Özellikleri

Paslanmaz çelikler; bileşimlerinde en az %11 oranında krom içeren çeliklerdir. Sahip oldukları üstün mekanik özellikleri ve korozyon dirençlerinden dolayı günümüz endüstrisinin en önemli malzemelerinden biri olup, 200 kadar farklı paslanmaz çelik türü bulunmaktadır [1, 3]. Bu malzemeler günümüzde gıda endüstrisinde, depolama tankı olarak, basınçlı kaplar yapımında, fırın parçalarında, çeşitli dekoratif işlemlerde kullanılmakta olup, kullanma alanları da her geçen gün biraz daha artmaktadır [4, 5, 7, 8].

Paslanmaz çelik 540 °C'ye kadar oksidasyona dayanım gösterir. Östenitik paslanmaz çelikler en çok kullanılan paslanmaz çelik türleri olup, bu çeliklerden en çok AISI 304 ve AISI 316 tipi paslanmaz çelikler yaygın olarak kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin uygulanma alanları yukarıda bahsedilmiş olup, bunlara ilave olarak paslanmaz çelikler ev eşyalarından başlayarak, kimya, petro kimya, gıda, fırın parçaları, yanma odaları, ısıl işlem ekipmanları, ısıtıcılar, çeşitli taşıtların kasalarının imalatı ve pompa milleri gibi birçok alanda yaygın kullanıma sahiptirler [6, 8, 9, 11]. Esasında, paslanmaz çelikler her geçen gün biraz daha önem kazanan ve uzay endüstrisinden tıp alanına kadar geniş bir kullanım alanına sahip olup, her türde ve biçimde bulunabilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen bu çeliklerin geliştirilmiş kaynak yöntemleri ile başarılı bir şekilde birleştirildiklerinden uygulama alanları her geçen gün daha da genişlemektedir [1].

Mekanik özellikler açısından ekonomik olarak üretilebilen düşük alaşımlı çeliklerle benzer mekanik özellikler gösteren paslanmaz çeliklerin, yüksek maliyetlerine rağmen yaygın kullanılmalarının esas nedeni yüksek korozyon direncine sahip olmalarıdır. Korozyona ve oksidasyona karşı direncin artırılabilmesi çelik içerisindeki krom miktarının %12'den fazla olmasına bağlıdır. Krom çeliği ince taneli yapmakta, kritik soğuma hızını azaltmakta ve dolayısıyla çelik üzerinde sertleştirici etki yapmaktadır [10].

2.3. Paslanmaz Çeliklerin Fiziksel Özellikleri

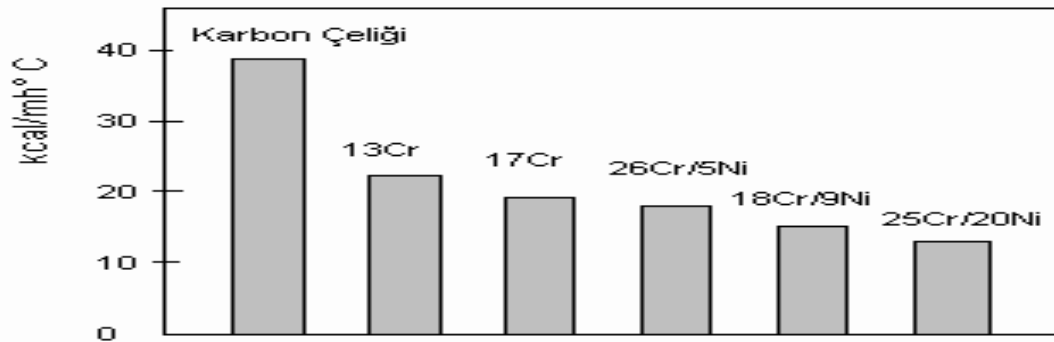
Tablo 2.1'de her bir paslanmaz çelik grubuna ait ortalama fiziksel özellikler verilmiştir. Bu tabloda elastisite modülü, yoğunluk, ısıl genişleme katsayısı, ısıl iletkenlik, özgül sıcaklık, elektriksel direnç, manyetik geçirgenlik ve ergime aralığı gibi veriler yer almaktadır [4]. Termal genişleme, termal iletkenlik ve elektrik öz direnci çeliklerin kaynaklanabilirliğini etkiler [13].

Sahip oldukları fiziksel özelliklerden dolayı paslanmaz çeliklerin kaynağında karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin kaynağından daha fazla kendini çekme oluşur. Kaynak dikişinin soğuması sırasında bu bölgede oluşan şiddetli iç gerilmeler çatlama tehlikesine yol açar [12].

Tablo 2.1. Paslanmaz çelik gruplara ait fiziksel özellikler [4]

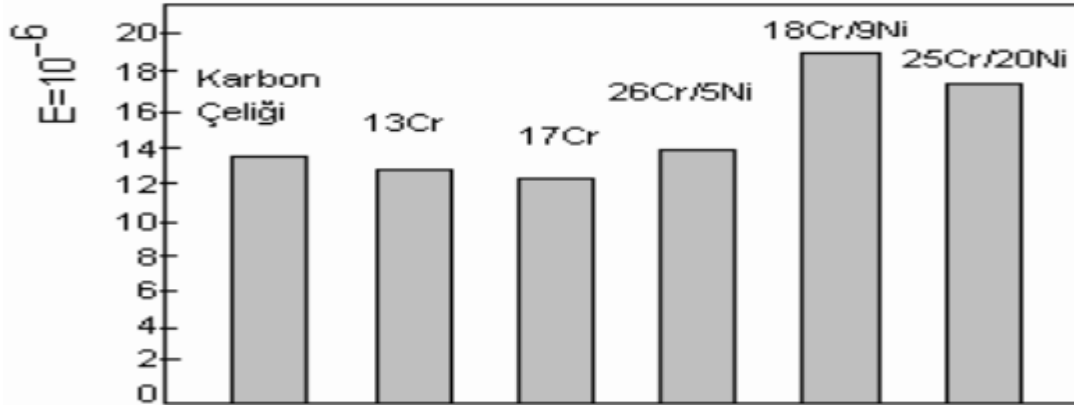
Fiziksel Özellikler	Ferritik Paslanmaz Çelikler	Östenitik Paslanmaz Çelikler	Martenzitik Paslanmaz Çelikler	Çökelme İle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
Elstisite modülü (Gpa)	195	200	200	200
Yoğunluk(gr/cm ³)	8,0	7,8	7,8	7,8
Isıl genleşme katsayısı (µm/m °C)	16,6	10,4	10,4	10,8
Isıl iletkenlik (W/mk)	15,7	25,1	25,1	22,3
Özgül sıcaklık (j/k°K)	500	460	460	460
Elektriksel direnç (µΩcm)	74	61	61	80
Manyetik geçirgenlik	1,02	600-1100	700-1100	95
Ergime aralığı (°C)	1375-1450	1425-1530	1425-1530	1400-1440

Paslanmaz çeliklerin ısı iletimi özelliği karbon çeliklerinden farklıdır. Örneğin yüksek kromlu çeliklerin ısıyı iletme kabiliyetleri karbon çeliklerinkinin yaklaşık yarısı kadardır. Östenitik tip paslanmaz çeliklerde bu durum daha da belirgin olup, ısı iletim kabiliyeti karbon çeliklerinkinin üçte birine kadar düşmektedir. Bu durum Şekil 2.1’de görülmektedir. . Bu durum kaynak sırasında oluşan sıcaklığın kaynak bölgesinde daha uzun süre kalacağı ve dolayısı ile bazı zorluklarla karşılaşılabileceği anlamına gelmektedir.



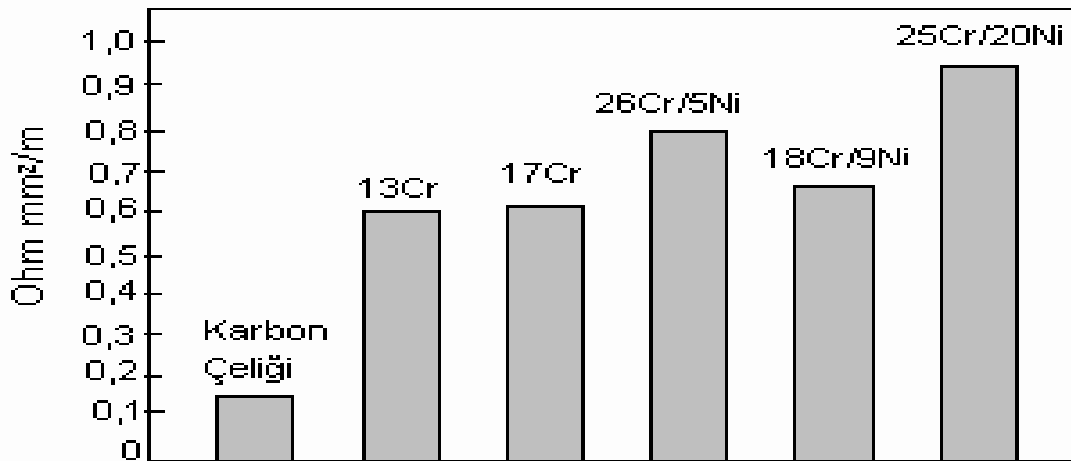
Şekil 2.1. 20-100 °C çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin ısı iletim kabiliyeti [4]

Yüksek kromlu paslanmaz çelikler genellikle karbon çelikleri ile aynı genişleme katsayısına sahiptir. Östenitik tip paslanmaz çeliklerde ise bu değer karbon çeliklerinkinden %50 daha fazla olduğu Şekil 2.2’de görülmektedir. Bu konu sadece kaynakçıyı değil aynı zamanda konstrüksiyonu yapan mühendisi de yakından ilgilendirilmektedir.



Şekil 2.2. Çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin uzama kabiliyeti [4]

Alaşımsız karbon çeliklerinin elektrik iletme kabiliyetleri düşüktür. Paslanmaz çeliklerde ise bu değer karbon çeliklerinkinden 4-7 kat daha yüksektir. Şekil 2.3’de görüldüğü gibi. Bu nedenle paslanmaz çelik örtülü elektrotlar konvansiyonel elektrotlardan daha çabuk kızarırlar. Paslanmaz çelik elektrotların alaşımsız ve düşük alaşımlı demir elektrotlardan boy olaraktan daha kısa imal edilmelerinin ve %25 kadar daha düşük akım şiddeti ile yüklenmelerinin temel nedeni budur.



Şekil 2.3. Çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin özgül elektrik iletme direnci [4]

2.4. Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Malzemenin mekanik özellikleri mukavemet, sertlik ve tokluk değerleridir. Bu özellikler, öncelikle malzemenin bileşimine daha sonrada üretim sırasında gördüğü ısı ve mekanik işlemlere ve kullanım sırasında karşılaştığı sıcaklığa göre değişir. Korozyon malzemenin mekanik özelliklerine bazen ters etki yaptığından bu özelliklerin korozyonla ilişkisi mutlaka değerlendirilmelidir [16].

Malzemelerin uygulanan gerilme altında, biçimlerini kalıcı olarak değiştirmeleri, mekanik davranışları ile ilgilidir. Malzemelerin biçimlerini ne zaman kalıcı olarak değiştirebileceğini bilmek çok önemlidir. Mekanik özellikler yalnız atom türleri ve kristal yapılarına değil, büyük ölçüde içyapılarına yani tane büyüklüğüne de bağlıdır. En önemli mekanik özellikler, şekil değiştirme kabiliyeti ile dayanım olup, malzemenin kırılma davranışı ile bilinmelidir. Malzemelerin mekanik davranışları, malzemenin şekline ve boyutuna bağlıdır [1].

Ferritik ve östenitik tip paslanmaz çeliklerin tavllanmış durumdaki mekanik özellikleri Tablo 2.2’de ve Tablo 2.3’te her ürün için detaylı olarak verilmiştir. Kimyasal tesisler; tanklar, boru, basınçlı kaplar, valfler, pompalar, damıtıcılar ve benzerleri için paslanmaz çelikler kullanırlar. Bu tip uygulamalar için genellikle iyi dayanım, tokluk ve şekillenebilme gerekir. Bu tip endüstrilerde kullanılan en popüler paslanmaz çelikler 300 serisi östenitiklerdir. Tip 304 ve 316 en yaygın kullanılanıdır.

Tablo 2.2. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [4]

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı %0.2 (MPa)	Uzama (%) (Min)	% Kesit Daralması	Sertlik (Vickers)
304	Tavlı	586	241	55	65	160
304L	Tavlı	552	207	55	65	145
309	Tavlı	620	276	45	65	170
310S	Tavlı	655	276	45	65	178
316	Tavlı	586	241	55	70	160
316L	Tavlı	538	207	55	65	145
316Ti	Tavlı	580	240	55	65	152

Tablo 2.2. Bazı östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri (devamı) [4]

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı %0.2 (MPa)	Uzama (%) (Min)	% Kesit Daralması	Sertlik (Vickers)
317	Tavlı	620	246	50	55	171
317L	Tavlı	586	241	50	55	158
321	Tavlı	599	241	55	65	160
347/348	Tavlı	634	241	50	65	165

Östenitik tip paslanmaz çelikler, ferritik tip paslanmaz çeliklere oranla genellikle daha yüksek çekme dayanımına ve uzamaya, ancak buna karşın daha düşük akma dayanımına sahiptirler. Kesit daralması değeri her iki tip paslanmaz çelik türü için de hemen hemen aynıdır.

Tablo 2.3. Bazı ferritik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [4]

Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı %0.2 (MPa)	Uzama (%) (Min)	% Kesit Daralması	Sertlik (Vickers)
405	Tavlı	480	275	30	60	155
409	Tavlı	450	240	25	65	138
429	Tavlı	490	310	30	65	182
430	Tavlı	515	310	30	60	164
430F	Tavlı	550	380	25	60	178
430Ti	Tavlı	515	310	30	65	176
434	Tavlı	530	365	23	65	164
436	Tavlı	530	365	23	65	164
442	Tavlı	550	310	25	50	171

Martenzitik tip paslanmaz çeliklerin hem tavlanmış hem temperlenmiş durumdaki mekanik özellikleri Tablo 2.4'de verilmiştir. Temperleme işlemi; östenit oluşum sıcaklığına ısıtmayı takiben martenzit oluşum sıcaklığına doğru soğutmayı ve tokluğu yükseltmek amacıyla uygun bir sıcaklığa kadar tekrar ısıtmayı içerir.

Mükemmel toklukları östenitik paslanmaz çeliklerin en önemli göze çarpan özelliğidir. Östenitin YMK yapısı klasik karbonlu çeliklerin HMK yapısı gibi düşük sıcaklıklarda gevrek olmaz.

Östenitik paslanmaz çeliklerin tokluğu çok düşük sıcaklıklarda dahi iyi kalır. Kromlu paslanmaz çelikler, yüksek sıcaklıklarda sürünmeye dayanıklı çelikler olarak da kullanılırlar [14].

Tablo 2.4. Bazı martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri [4]

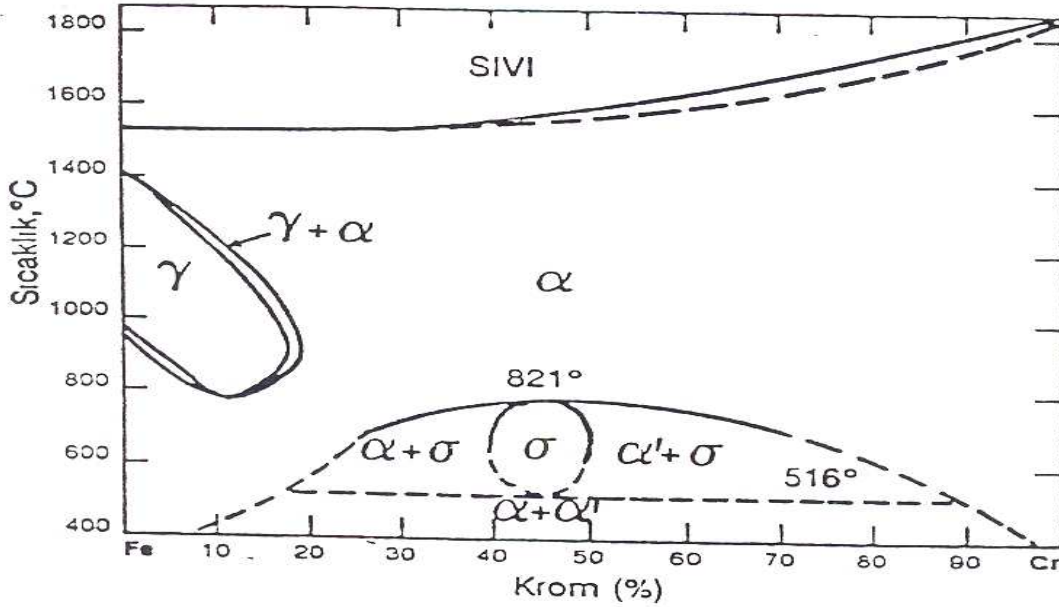
Çelik Türü (AISI)	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı %0.2 (MPa)	Uzama (%)	% Kesit Daralması	Sertlik (Vickers)
403	Tavlı	517	276	30	65	165
403	Temperlenmiş (427°C)	1344	1034	17	55	395
410	Tavlı	517	276	30	65	165
410	Temperlenmiş (427°C)	1344	1034	17	55	410
410S	Tavlı	414	207	22	45	220
414	Tavlı	827	655	17	58	253
414	Temperlenmiş (427°C)	1379	1034	16	60	420
420	Tavlı	655	345	25	55	210

2.5. Paslanmaz Çeliklerin Sahip Olduğu Faz Diyagramları

Paslanmaz çelikler grubunun temelini demir-krom ikilisi oluşturur. Krom, hacim merkezli kübik kristal kafes (HMK) yapısına sahip olan ferriti kararlı hale getirmektedir. Demir-krom denge diyagramında yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapısına sahip olup, östenitin oluşturduğu bölge olan (γ) alanını kapalı hale getirmekte ve bu faz en büyük krom çözünürlüğünü (%12), 1000 °C civarında göstermektedir. Demir-krom denge diyagramından da görüldüğü üzere, 1390 °C'nin üzerinde ve 830 °C'nin altındaki sıcaklıklarda hiç bir bölgede östenite rastlanmaz [1].

Saf demir-krom alaşımları Şekil 2.4'deki ikili faz diyagramından da görüldüğü üzere %12'den fazla krom içermesi halinde sıvı halden itibaren katılaştıklarında HMK kristal kafesli ferrit halinde katılaşmaktadır ve soğuma sırasında da hiç bir dönüşüm göstermemektedir. Bu olay kararlı östenit alanını da keskin bir şekilde sınırlandıran kromun ferrit oluşturma yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Diyagramın sol üst tarafında bulunan bir cep biçimindeki γ alanı alaşımın içeriğindeki karbon miktarına bağlı olarak genişlemektedir. γ alanını genişleten diğer bir element de azottur.

Çok kuvvetli birer östenit dengeleyici olan C ve N, γ alanını genişleterek östenit içinde kromun çözünürlüğünü arttırmaktadır [19].



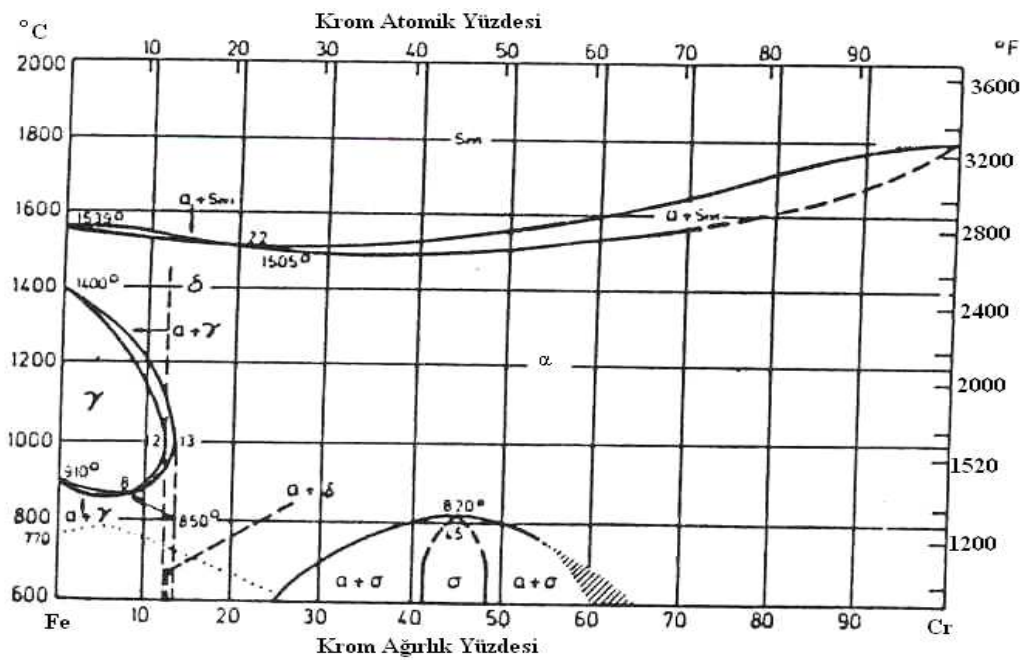
Şekil 2.4. İkili demir krom denge diyagramı [19].

Şekil 2.5'te demir-krom denge diyagramı gösterilmektedir. Bu diyagramın katı hale karşılık gelen kısmında üç bölge bulunmaktadır (diyagramın sol tarafı). Kaynak metali ve ITAB sertliğinin yüksek olması, birleştirmelerin tokluk değerlerini düşürdüğü ve gevrekliğe neden olduğu için istenmeyen bir olaydır.

- γ fazının sınırlamış olduğu bölgede dengedeki faz östenit olup bunun yapısı YMK dır.
- γ fazını çevreleyen bir ikinci kıvrımın dışında bulunan bölgede HMK yapıları ferrit (α veya δ) çevre sıcaklığından alaşımın ergimesine kadar dengededir. Demir ve adi çeliklere benzeterek δ ferriti katılaşmada oluşana, α ferriti de soğumada östenitin dönüşümünde meydana gelene denmektedir.
- İçinde ferrit ve östenit fazlarının aynı zamanda bulunduğu iki kıvrımın arasındaki bölgede bu fazların oranları ile ilgili denge diyagramlarındaki kanunlar geçerlidir.

Krom oranının yükselmesi sonucu östenitin stabil olduğu sıcaklık alanı daralır. %11 kroma kadar Ac3 (Isıtmada ferrit→östenit) ile Ac4 (Isıtmada östenit→ferrit) noktalarının krom oranının artışı ile yaklaşmalarına rağmen alaşımın tutumu demirin tutumu ile aynıdır.

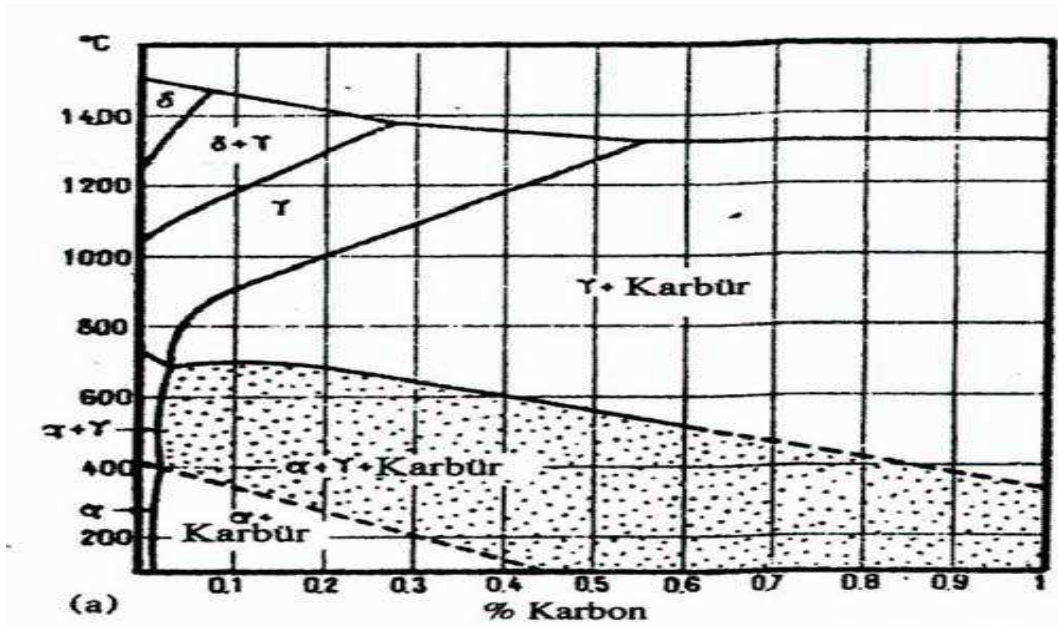
Yaklaşık %13 Cr'dan itibaren artık ne ısıtma esnasında ne de soğuma esnasında dönüşüm olmaktadır. Alaşım bütün sıcaklıklarda ferritik kalmaktadır. Bu diyagramdan iki paslanmaz çelik tipi ayrılabilir [20].



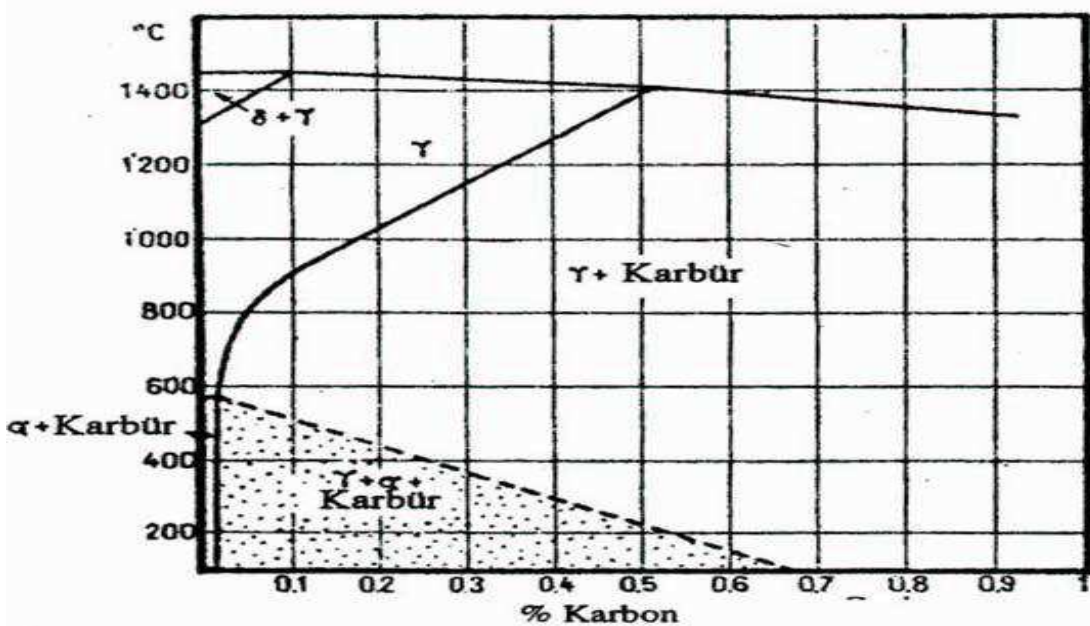
Şekil 2.5. Demir - Krom alaşımlarının denge diyagramı [20].

Demir - krom denge diyagramının alt ve orta bölgesinde görülen σ fazı, tetragonal bir kafes yapısına sahiptir. Bu faz çok yavaş bir hızla 800–600 °C sıcaklık aralığında oluşur. Zaman zaman çeşitli ticari paslanmaz çelik türlerinde, uzun süre belirli sıcaklıklara maruz kalma sonucu görülen sert ve gevrek metaller arası bir bileşik olan bu σ fazının demir-krom ikili alaşım sisteminde oluşum aralığı çok dardır. 520 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bu faz ötektoid bir dönüşüm ile $\alpha+\alpha'$ fazlarına ayrılmaktadır. Bu katı hal reaksiyonunun oluşum ve gelişme hızı çok yavaştır. Hızlı soğuma σ fazının oluşumunu önler ve bu durumda α fazı 520 °C'nin altında ayrılarak ortaya çıkar. α' fazı yaklaşık olarak %90 Cr içerir, gevrek bir fazdır ve bunun çökmesi sonucu 475 °C gevrekliği diye adlandırılan bir olay ile karşılaşılır [18, 20].

Demir nikel alaşımlarında ise; nikel yzey merkezli kzbik (YMK) yapıya sahip olduğundan nikel demire katıldığında ostenit fazını kararlı hale getirmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde çeliklere yeterli miktarda nikel katılmadığı durumlarda paslanmaz elik malzeme oda sıcaklığında bile ostenitik olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de demir krom Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı gsterilmektedir.



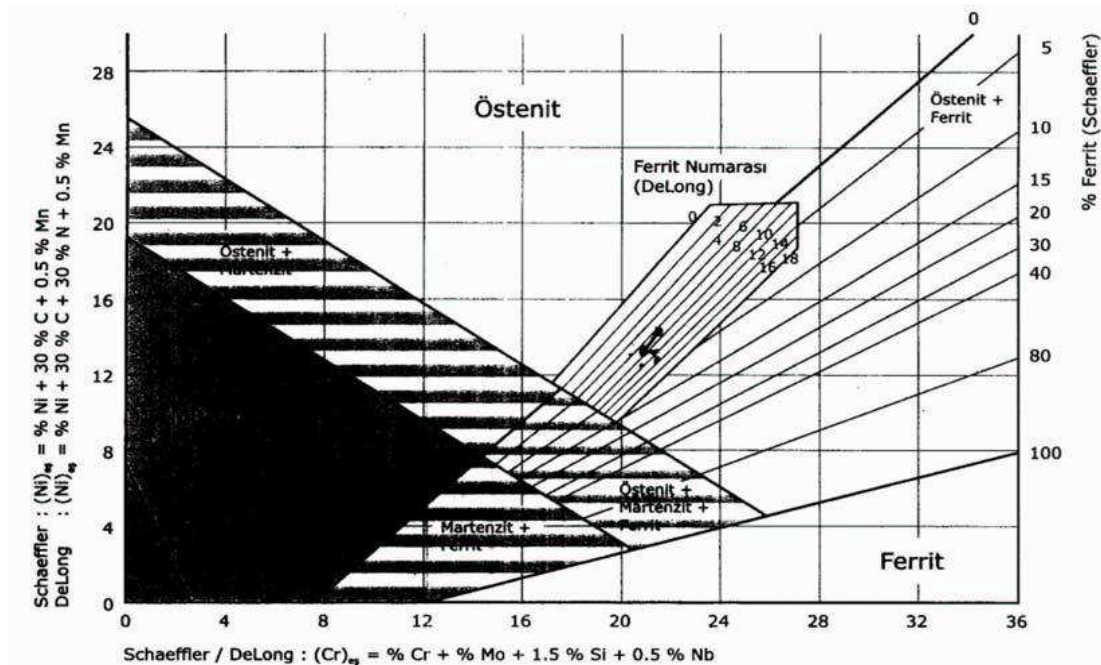
Şekil 2.6. %4 Ni içeren Fe %18Cr-C alaşımları faz diyagramı [20].



Şekil 2.7. %8 Ni içeren Fe %18Cr-C alaşımları faz diyagramı [20].

Paslanmaz çelik alaşım elementlerinin etkinlik dereceleri, ferrit dengeleyicileri ($Cr_{eş}$) ve östenit dengeleyicileri ($Ni_{eş}$) şeklinde gruplandırılarak değerlendirilmektedir. Yıllarca süren araştırmaların sonucunda formüller geliştirilmiş olup, Thomas bu amaçla max. Ni konsantrasyonunu çelikteki diğer alaşım elementlerinin bir fonksiyonu olarak ifade etmiş ve çelikteki ferrit miktarı (FN) aşağıdaki şekil yardımı ile hesaplanmıştır (Şekil 2.8).

Schaeffler diyagramına göre söz konusu çeliğe ait herhangi bir nokta Cr ve Ni eşdeğerleri hesaplandıktan sonra belirlenmektedir.



Şekil 2.8. Schaeffler ve DeLong diyagramları [4].

2.6. Alaşım Elementlerinin Paslanmaz Çeliklere Etkisi

Karbonlu çeliklerin normal olarak sağlanamayan kendine has özelliklerini kazanması için, bir veya birden fazla alaşım elementi katmak suretiyle yapılan çelikler alaşımli çeliklerdir. Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya birden fazlasının, çeliğin içindeki değerleri Mn %1,65, Si %0,60'dan fazla olan ve bunlara öteki elementlerden Al, B, Cr, Co, Mo, Ni, Ti, W, V ve Zr elementlerinin birinin veya birkaçının bulunması istenen çelikler, alaşımli çelikler sınıfına girer.

Paslanmaz çeliklerin içerisinde paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanı sıra, diğer bazı gereksinimleri karşılamak üzere isteyerek katılan alaşım elementleri ve karbon bulunmaktadır. Bu alaşım elementlerinin etkileri şu şekilde sıralanır [21, 22, 23, 24].

2.6.1. Karbon

Kuvvetli östenit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli alaşımlara sertlik ve mukavemet artırıcı etki için katılmaktadır. Kaynak metalinin korozyon direncini ve düşük sıcaklıktaki tokluğunu olumsuz yönde etkiler.

2.6.2. Azot

Kuvvetli östenit yapıcıdır. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Sıfır altı sıcaklıklarda kaynak metali tokluğunu ters yönde etkiler. Mukavemeti artırır.

2.6.3. Alüminyum

Kuvvetli ferrit yapıcıdır. %12 krom içeren kaynak metaline katılarak yapıyı ferritik yani sertleşmez hale getirir. Titanyum ile bazı yüksek mukavemetli alaşımlara katılarak yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltır. Kuvvetli nitrür yapıcıdır.

2.6.4. Molibden

Bir karbür ve ferrit yapıcıdır. Yüksek sıcaklık mukavemetini ve sürünme direncini artırır. Oksitleyici olmayan ortamlarda genel korozyon direncini, diğer ortamlarda çukurcuk korozyon direncini arttırmak için kullanılır.

2.6.5. Niyobyum

Kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çelikleri krom karbür çökmesine karşı dengelemede kullanılır. Orta şiddette ferrit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli bazı alaşımlara, sertliği ve mukavemeti etkilemek için katılmaktadır.

Bazı martenzitik paslanmaz türlerinde karbonu bağlayarak, çeliğin sertleşme eğilimini azaltmak amacı ile katılır. Taneler arası korozyonu önler.

2.6.6. Krom

Bir karbür ve ferrit yapıcıdır. Korozyon ve tufalleşme direncini sağlayan alaşım elementidir. Bu elementin paslanmaz çeliklerde yüksek sıcaklıkta mukavemet ve sürünme mukavemetine belirgin bir etkisi yoktur.

2.6.7. Silisyum

Islah edilebilir su verilmiş çeliklerde, çekme mukavemeti ve orantılılık sınırını yükseltir. Soğuk şekillendirilme kabiliyetini azaltır. Çeliklerin elektrik direncini yükseltir.

2.6.8. Nikel

Kuvvetli östenit yapıcı ve dengeleyicidir. Oksitleyici olmayan sıvılara karşı genel korozyon direncini arttırmak için kullanılır. Östenitik paslanmaz çeliklere mekanik özellikleri geliştirmek için yeter miktarda eklenir. Genel olarak kaynak metali tokluğunu yükseltici etkisi vardır.

2.6.9. Kükürt, fosfor ve selenyum

Bu elementlerden bir tanesi az bir miktarda molibden veya zirkonyum ile paslanmaz çeliğe katılarak paslanmaz çeliğin talaşlı üretime yatkınlığı artırılır. Bu üç elementte kaynak metalinde çatlamayı teşvik eder.

2.6.10. Titanyum

Kuvvetli karbür ve nitrür yapıcıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde krom-karbür çökmesini önlemek için dengeleme elementi olarak kullanılır.

Kuvvetli ferrit yapıcıdır. Yüksek sıcaklıklara dayanımlı çeliklere sertlik ve mukavemeti arttırmak amacıyla kullanılır. Yüksek mukavemetli ve ısıya dayanımlı alaşımlara yaşlanma sertleşmesini etkilemek için alüminyum ile beraber ilave edilir.

2.7. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler %11,5-30,5 Cr, %0,20' ye kadar C ve düşük miktarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar ve katı halde faz dönüşümü yoktur. Bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısı ile sertleştirilmezler. Bu grupta yer alan ürünlerin başında 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. Ferrit yapıcı elementlerin (Cr, Al, Ti) oranı artırılarak ve östenit yapıcı (C, Ni) elementler sınırlandırılarak oda sıcaklığı ve ergime noktası arasındaki tüm sıcaklıklarda ferritik olan paslanmaz çelikler geliştirilmiştir [23]. Bu çelikler klorlu ortamlarda çukurcuk ve aralık korozyonuna iyi direnç gösterirler ve mükemmel gerilmeli korozyon çatlaması (SCC) direncine sahiptirler [25,28].

Talaşlı şekillendirilebilme kabiliyetleri ve korozyon dayanımları martenzitik paslanmaz çeliklerden daha iyidir [26]. Ferritik paslanmaz çeliklere Mo ilavesi korozyona karşı direnci artırmak, Nb ve Ti ise, çelikte ergimiş bulunan C ve N'nin oranlarını düşürerek taneler arası korozyona karşı çeliği kararlı yapmak için ilave edilir. Böyle bir ilave aynı zamanda sünenlik ve darbe direncini geliştirici etki gösterir. Darbe direncinde gelişme, bu çeliklerin kimya endüstrisinde kullanılan tankların imalinde çok fayda sağlar.

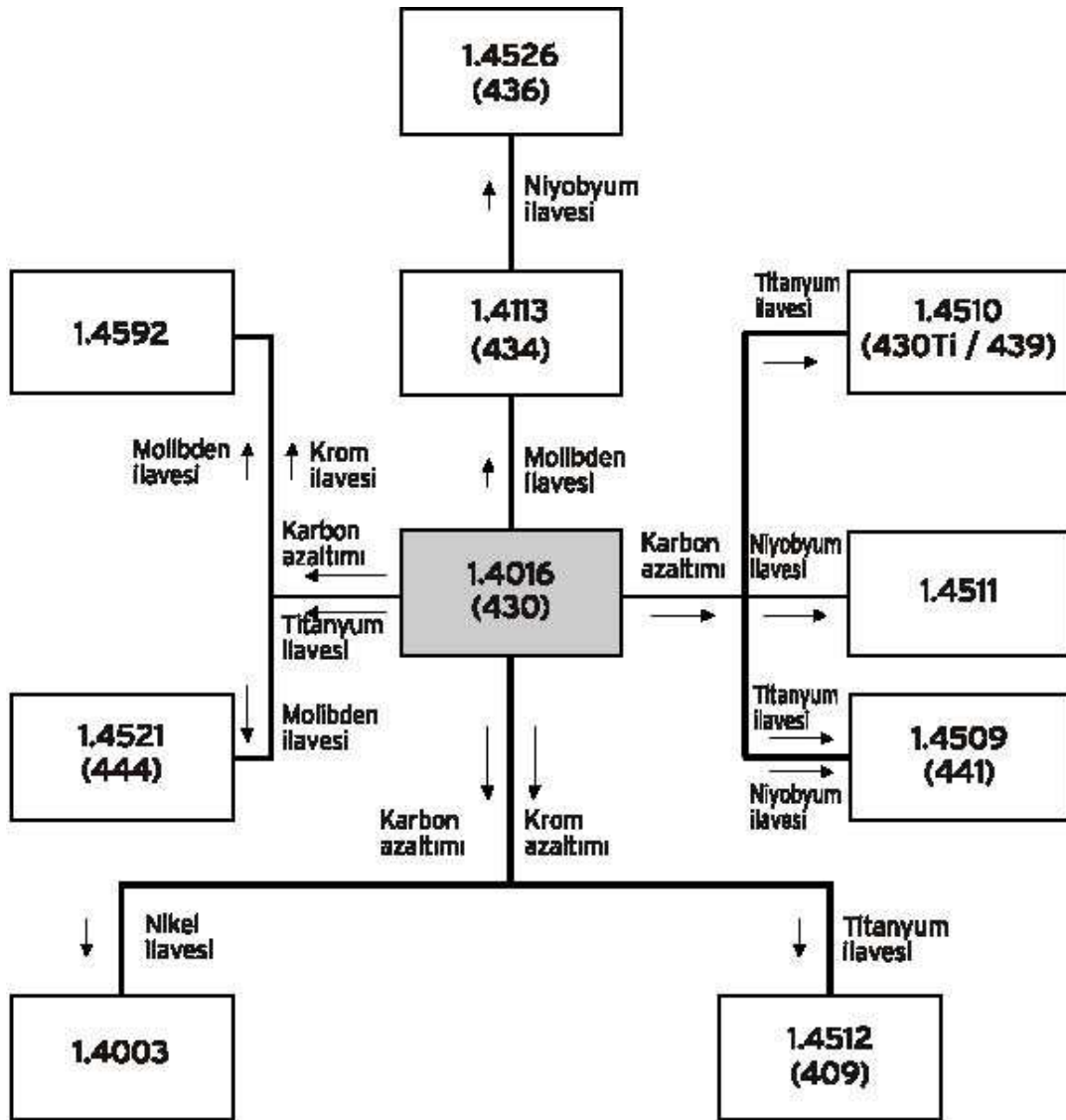
Ferritik paslanmaz çelikler, pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermemeleri nedeniyle östenitik paslanmaz çeliklerden daha ucuzdurlar ve bu önemli bir avantajdır [8,10]. Ayrıca oldukça parlak ve dekoratif bir görünüme sahiptirler. Bu tür paslanmaz çelikler, dünya paslanmaz çelik tüketiminde östenitik paslanmaz

Çeliklerin ardından %30'luk bir pay ile ikinci sırayı almaktadır. Kolay şekillendirilebilmeleri ve atmosferik korozyona iyi dayanım göstermeleri sebebiyle mimari iç ve dış dekorasyonlarda kullanılır. Temizlik ve sterilizasyon maddelerinin korozif etkisine dayanımları sebebiyle toplu yaşam yerlerinde mutfak tezgahı ve donanımlarının, yemek kaplarının, çamaşır ve kurutma makinelerinin kazanlarının, gıda depolama tanklarının, süt ve içecek tanklarının imalatında kullanılır [29].

Temel ferritik paslanmaz çeliklerin en çok kullanılanı %17 Cr içeren tip 430 dur. 430 tipi ferritik paslanmaz çelikler iyi gerilmeli korozyon atlamaşı direnci gösterirler, fakat sınırlı genel ve çukurcuk korozyon direncine sahiptirler. 430 tipi paslanmaz eliğın uygulama alanları; otomotiv endüstrisi, nitrik asit tankları ve gıda işleme ekipmanlarıdır. Ayrıca bünyelerine katılan alaşım elementleriyle geliştirilmiş türlerinde talaşlı şekillendirilebilme özellikleri iyileştirilerek paslanmaz makine elemanlarının imalatında da kullanılmaktadır [25].

Ferritik paslanmaz çeliklerin krom içeriği azaltılarak kaynaklanabilirliğı geliştirilir fakat bu kez de korozyon direnci düşer. %15 Cr içeren 429 tipi daha iyi kaynaklanabilirlik için geliştirilmiştir ve genellikle nitrik asit ve azot tespit ekipmanlarında kullanılır. Tip 434 ve 436 korozyon direncini geliştirmek için %1 Mo ilaveli tip 430 un geliştirilmiş halidir. Tip 430' un genel ve çukurcuk korozyon direncini geliştirmede Cr miktarı artırılır. Tip 442 ve 446 %20 ve %25 Cr içerir, yüksek sıcaklıkta iyi korozyon direnci verir [25].

Tip 442 fırın parçaları ve ateşleme odası yapımında kullanılır. Tip 446 en iyi oksidasyon ve korozyon direnci sağlar, genellikle kükürtlü atmosferlerde ve tavlama kutuları yapımında kullanılır. Bugün ferritik paslanmaz çelikler güneş kolektör panellerinde, otomobil katalitik dönüştürücülerde, petro kimya endüstrilerinde ve deniz suyu uygulamalarında da kullanılmaktadır.



Şekil 2.9. Sektörde en çok kullanılan ferritik paslanmaz çelikler [8]

Ferritik paslanmaz çelikler, ekonomiklikleri yanında üstün özellikleri nedeni ile de çok çeşitli kullanım alanları bulmuşlardır. Yaygın kullanım alanları aşağıdaki gibidir.

- Otomobil egzoz sistemi (AISI 409)
- Otomobil sanayi (kalıplama, iç döşeme, şekil verme) (AISI 441)
- Yüksek ısı tankları ve kazan boruları (AISI 444)
- Mutfak ekipmanları (AISI 430) [30].



Şekil 2.10. Ferritik paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü [8].

2.8. Östenitik Paslanmaz Çelikler

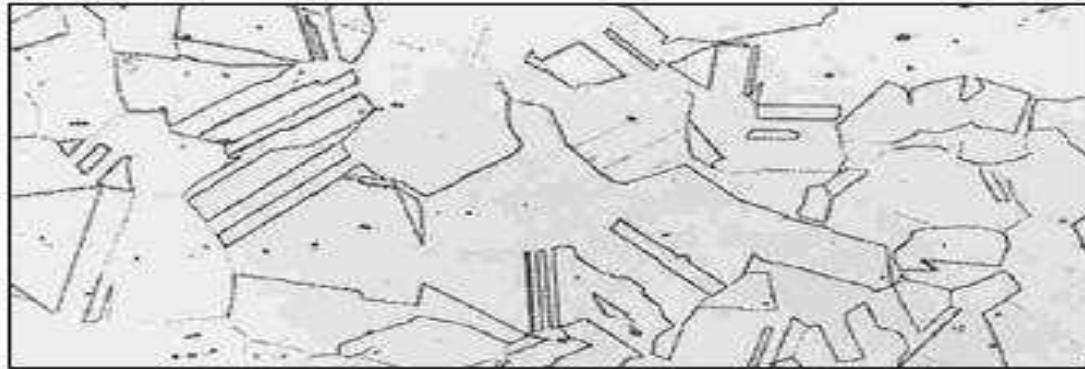
%16-%25 Cr ve %20'ye kadar Ni içeren yüzey merkezli kübik (ymk) kristal yapısına sahip çelikler östenitik paslanmaz çeliklerdir. Korozyona dayanıklı çeliklerin en önemlilerindendir. Kromun ferrit yapıcı etkisi östenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. Sertlik sadece soğuk şekillendirme ile artırılabilir [32, 33].

Paslanmaz çelik üretiminin yaklaşık %70'ini östenitik paslanmaz çelik oluşturur. Östenitik paslanmaz çeliklerde yapılan iyileştirmeler sonucunda C içeriği %0,03 seviyesine indirilmiştir. Çeliğin alaşımına Ti, Mo ve Nb elementleri katılarak sürünme dayanımı ve taneler arası korozyon minimum seviyeye indirilmiştir [30].

Bu alaşımların yapıları bütün ısıl işlemlerde östenitik (YMK) yapıda kaldığı için östenitik olarak adlandırılır. Ni kuvvetli bir östenit yapıcı olduğundan, bu çeliklerde katılma sırasında ortaya çıkan östenit oda sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda bile dönüşmeden kalır. Soğuma esnasında östenit-ferrit dönüşümü olmadığından bu tür paslanmaz çelikler su verme yolu ile sertleştirilemezler. Bu çelikler anti manyetikdir [12, 31, 18].

Korozyon dirençleri bakımından karşılaştırdığımızda; östenitik paslanmaz çeliklerin korozyon direnci, martenzitik ve ferritik paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. İçyapının östenitik olması, geçiş sıcaklığı altında görülen gevrekleşmeyi ortadan

kaldırır. Gerek sıfır altı (-270 °C'ye kadar) ve gerekse yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri, mekanik özelliklerinin üstünlüğü bu çelik grubunun birçok alanda rakipsiz bir yapı çeliği olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır [34]. Şekil 2.11'de östenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısına ait görüntü ve Tablo 2.5'te yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelikler gösterilmektedir.



Şekil 2.11. Östenitik paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü [8]

Tablo 2.5. Yaygın olarak kullanılan östenitik paslanmaz çelik türleri [8]

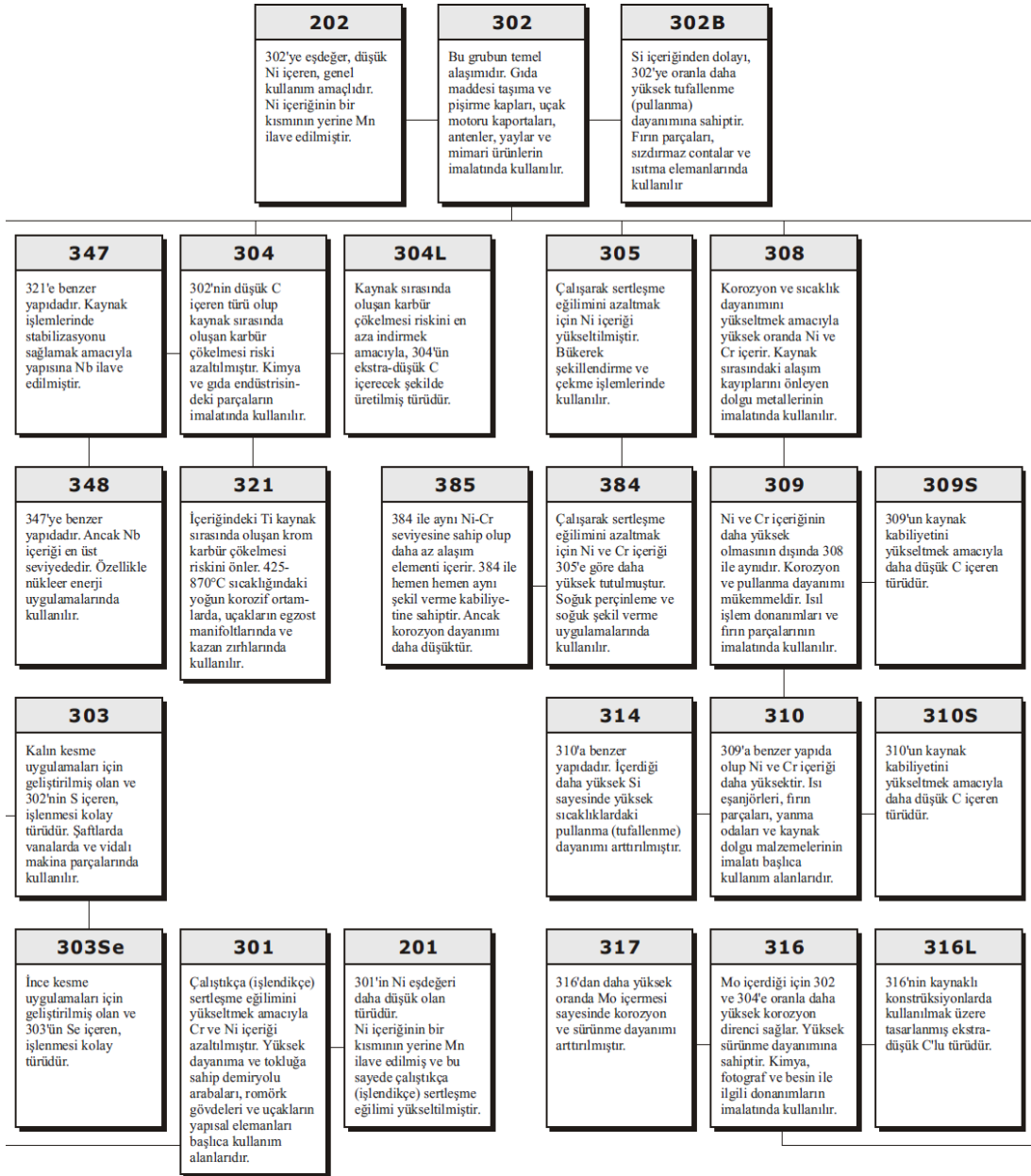
ASTM AISI	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Adı
301	1.4310	X10CrNi18-8
304	1.4301	X5CrNi18-10
304L	1.4306	X2CrNi 19-11
	1.4307	X2CrNi 18-9
304LN	1.4311	X2CrNiN18-10
309	1.4828	X15CrNiSi20-12
310	1.4841	X15CrNiSi 25-20
310S	1.4845	X12Ni 25-21
316	1.4401	X5CrNiMo 17-12-2
	1.4436	X3CrNiMo 17-13-3
316L	1.4404	X2CrNiMo 17-12-2
	1.4432	X2CrNiMo 17-12-3
	1.4435	X1CrNiMo 18-14-3
316LN	1.4429	X2CrNiMoN 17-11-2
316Ti	1.4571	X6CrNiMoTi 17-12-2
321	1.4541	X6CrNiTi 18-10
347	1.4550	X6CrNiNb 18-10

Östenitik paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılır. Çelikte yüksek nikel içeriği gerilmeli korozyon çatlamaına karşı riski azaltır. Bu çeliklerin, katılan alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak genel korozyona, çukurcuk ve aralık korozyonuna dirençleri artan molibden ve krom ile artar. Östenitik paslanmaz çelikler soğuk haddelenmiş veya çekilmiş halde yüksek mukavemetli ve yüksek korozyon dirençli çeliklerdir [35].

Bu çelikler Fe-Cr sisteminde östenit faz alanını genişletici Ni ve Mn gibi elementlerin katılmasıyla geliştirilmiştir. En yaygın türü 304 ve 316 tipleri gibi 300 serisi alaşımlardır [10]. Paslanmaz çeliklerin çeşitleri çok fazla olmasına rağmen en çok üretilen türü östenitik tipte olanlarıdır. Bu tip gıda sanayinde yaygın kullanıma sahiptir. Bu türün de çok fazla sayıda çeşidi olmasına rağmen ülkemizde tamamı bulunamamaktadır.

Östenitik paslanmaz çelikler düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerden daha zor işlenirler. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklere göre dayanımlarının ve sünekliklerinin yüksek olması, yüksek deformasyon sertleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlikleri östenitik paslanmaz çeliklerin zor işlenmelerinin nedenleri olarak kabul edilir [36].

300 serisi çelikler içinde yaklaşık %18 Cr ve %8 Ni içeren çelikler genellikle 18-8 paslanmaz çelik olarak bilinir. 303 ve 303Se türleri eş tiplerdir, 303Se selenyum (Se) içerirken 303 fosfor (P) ve kükürt (S) içerir. 304 ve 304L tipleri çok yaygın östenitik türlerdir ve farkı sadece karbon içeriğidir; 304L maksimum %0,03 C içerir. 316 ve 316L bazı koşullar altında korozyon direnci ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı geliştiren molibden içerirler. 347 tipi kararlı paslanmaz çelik olarak bilinir ve yeterli miktarlarda Nb veya Ta içerirler. Minimum Nb + Ta toplamı $10 \times C$ kadardır [15]. Bazı östenitik paslanmaz çelikler, nikelin yerine %4'den %15,5'e kadar Mn ve %0,06'ya kadar N içerirler ve bu alaşımlar AISI 200 serisi olarak gösterilirler [15, 25].



Şekil 2.12. Östenitik paslanmaz çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri [4]

Östenitik paslanmaz çelikler içyapılarına göre kararlı veya yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler olarak iki grupta incelenir. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çelikler soğuk şekillendirme sonucu iğnemsiz veya martenzitik türde bir içyapı gösterirler. Kararlı östenitik paslanmaz çelikler ise oldukça yüksek derecede soğuk şekil değiştirme sonucunda bile östenitik içyapılarını korurlar. Bu iki tür arasındaki belirgin fark, gayet açık bir biçimde bunların çekme diyagramlarından görülebilir. Kararlı östenitik paslanmaz çeliklere örnek olarak AISI 304 çeliği normal gerilme - genleşme diyagramında bir östenitik davranış gösterir.

Çekme eğrisinin parabolik değişimi gerilme uygulandıkça şekil değiştirme sertleşmesinin devam ettiğinin işaretidir. Buna karşın AISI 301 östenitik paslanmaz çeliği yarı kararlı östenitik paslanmaz çeliklere güzel bir örnek olmaktadır. Yaklaşık olarak %10-15'lik bir % uzamadan sonra şekil değiştirme sertleşmesi hazırlanan bir şekilde kendini belli eder. Yarı kararlı östenitik paslanmaz çeliklerde şekil değiştirme sertleşmesinde görülen bu artış doğrudan östenitin dengesizliğinin bir göstergesidir [37, 38].

2.9. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler, bileşiminde %11,5 - %18 Cr ve %0,15 - %1,5 C içeren sertleştirme koşullarında hacim merkezli kübik (HMK) kristal yapısına sahip ve ısı işlem ile sertleştirilebilen martenzitik yapıya paslanmaz çeliklerdir. Bu çelikler tavlansın östenit oluştururlar ve oluşan östenitin soğuma sırasında martenzite dönüştürülmesiyle sertleştirilebilirler [13]. Şekil 2.13'te martenzitik paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görülmektedir.



Şekil 2.13. Martenzitik paslanmaz çeliğe ait mikroyapı görüntüsü [8]

Martenzitik paslanmaz çelikler demir-krom çelikleridir. Diğer alaşım elementlerinin ilavesi düşük miktarlardadır. Kuvvetli östenit yapıcı olan karbon belirli bir miktara ulaşıncı kromun ferrit yapıcı etkisi ortadan kalkar ve yüksek sıcaklıkta oluşan östenitin soğuma hızına bağlı olan dönüşüm ürününe göre genellikle havada su alan martenzitik paslanmaz çelik elde edilir [32].

En yaygın martenzitik alaşımlarda Si, Mn, N ve Ni oranları nispeten düşük düzeyde ve sabit tutulur. Buna karşılık karbon miktarı geniş sınırlar içinde değişebilir; zira bu element bu çeliklerin mekanik karakteristiklerini geniş ölçüde değiştirme imkanı verir [40].

Martenzitik paslanmaz çelikler genellikle su verilmiş, menevişlenmiş veya tavlanmış halde kullanılırlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok yavaş olması, yavaş soğuma halinde, örneğin havada soğuma durumunda, martenzit oluşumuna neden olur. Martenzitik durumda bu çeliklerin korozyon dirençleri çok iyidir. 815 °C'ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler. Ancak uzun süre yüksek sıcaklıklarda kalırlarsa hafif bir korozyon başlangıcı olur. Dolayısı ile bunlar endüstride 700 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılmazlar. [26, 31, 40].

Yüksek alaşımlı çelikler gibi sertleştirilip temperlenen bu çelikler manyetikler ve oldukça üstün mukavemet özelliklerine sahiptirler. Martenzitik paslanmaz çeliklerin derin çekme mukavemeti, aynı karbon içeriğine sahip karbonlu ve alaşımlı çeliklerden çok daha yüksek, kaynak kabiliyetleri ise düşüktür. Yaygın olarak kullanılan martenzitik paslanmaz çelik türleri Tablo 2.6'da verilmiştir [39].

Tablo 2.6. Yaygın olarak kullanılan martenzitik paslanmaz çeliklere ait uluslararası standartlar [8]

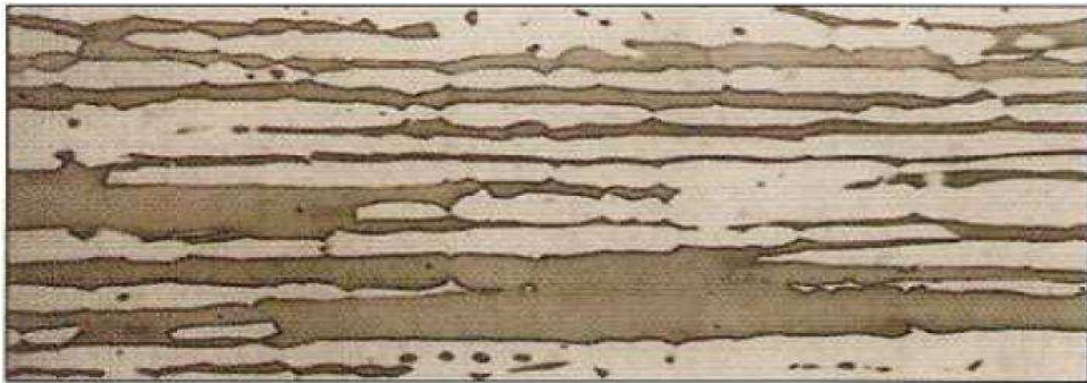
ASTM	EN 10088 Malzeme No	EN 10088 Kısa Adı
410	1.4006	X12Cr 13
416	1.4005	X12CrS13
420	1.4021 1.4028	X20Cr 13 X30Cr 13
440C	1.4125 1.4104	X105CrMo 17 X14CrMoS17
440B	1.4112 1.4313	X90CrMoV18 X3CrNiMo13-4

Martenzitik çelikler yüksek çekme, sürünme ve yorulma dayanımı gerektiren, orta derecede korozif ve en çok 650 °C'a kadar sıcaklıktaki uygulamalarda tercih edilirler. Örnek olarak düşük ve orta miktarda karbon içeren 410 kalite çelik ve türevleri, buhar ve gaz türbinlerinde ve jet motorlarında kullanılır. 420 ve benzeri alaşımlar

bıçak ve diğer kesici aletlerde, vana parçalarında, dişli, rulman ve millerde tercih edilir. Martenzitik çelikler petrol ve petrokimya makine teçhizatında da kullanılır. 420 kaliteye ek olarak, 440 ve benzeri alaslmlar cerrahi ve dişçilik aletlerinin, makas, yay, kam ve rulman bilyelerinin en çok tercih edilen malzemeleridir [4].

2.10. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Dupleks (Çift fazlı) çelikler olarak adlandırılan bu çeliklerin içyapısında her iki faz bir arada bulunur ve bu sayede östenitik ve ferritik çeliklerin her birinin de ötesinde iyileştirilmiş özellikler gösterirler. Böylece östenitik çeliklere kıyasla daha iyi gerilme korozyonu dayanımına; ferritik çeliklerle kıyaslandığında ise daha iyi tokluk ve süneklığe sahip olurlar. Ayrıca, iki fazın bir arada bulunması halinde tavlanmış durumda bile 550 ile 690 MPa akma dayanımı gösterirler ki, bu değer, fazların tek başına bulunduğu türdeki çeliklerin akma dayanımının yaklaşık iki katıdır [41]. Şekil 2.14'te dupleks paslanmaz çeliklere ait mikroyapı görüntüsü mevcuttur.



Şekil 2.14. Dupleks paslanmaz çeliğin mikroyapısı [8]

Günümüzde dupleks paslanmaz çelikler 3 gruba ayrılır. Birinci tip %22 Cr, %5 Ni, %3 Mo içerir ve tipik olarak %0.16 N bulundurur. İkinci tür %23 Cr, %4 Ni, %0,1 N içerir. Zayıf bir dupleks alaşımdır ve bu alaşım dayanımın gerekli olduğu ve gerilmeli korozyon çatlama ortamlarda nispeten yapısal uygulamalar için önerilir.

Son grup genellikle süper dubleks paslanmaz çelik olarak bilinir ve %25 Cr, %7 Ni, %4'e kadar Mo, Cu ve W ilaveleriyle %0,28 N içerirler. Diğer türlerden daha yüksek korozyon direnci ve dayanım gösterirler [43].

Dubleks ve süper dubleks paslanmaz çelikler örtülü elektrot ile ark, TIG, MIG, tozaltı, özlü elektrot ile ark ve plazma ark kaynağı yöntemleri ile uygun ek kaynak metalleri ve uygun prosedürleri kullanılarak başarılı bir biçimde kaynak edilebildiği gibi, elektron ışın ve lazer ışın hatta katı hal kaynak yöntemleri ile de kaynak edilebilmektedirler [42].

Bu çelikler genellikle petro kimya, kağıt endüstrisi ve gaz iletim endüstrisinde kullanılır. Dubleks paslanmaz çelikler yüksek korozyon direnci ve dayanımının çok iyi bir kombinasyonu olarak deniz suyu, tuzlu su ve seyreltik asitlerde kullanım için valf endüstrisinde de uygulama alanı bulur [44]. Dubleks paslanmaz çelikler korozyon direnci ve mekanik özelliklerinin çekici birleşimleri nedeniyle yıllardır yağ ve gaz endüstrisinde kullanılmaktadır. Diğer endüstrilere benzemeyen gaz ve yağ endüstrilerinde, deniz altından geçen boru hatlarında da kullanılmaktadır [45]. Kaynaksız halde 280 °C, kaynaklı halde ise 250 °C sıcaklıklara kadar güvenle kullanılabilirler [41].

2.11. Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum gibi alaşım elementleri içeren ve bu elementlerin bir veya bir kaçının etkisiyle çökelme sertleşmesi yapılabilen demir, krom, nikel içeren paslanmaz çeliklerdir [5].

Bu paslanmaz çeliklerin içyapıları östenitik, yarı östenitik veya martenzitik olabilir. Çökelme işleminin gerçekleştirilebilmesi için bazen önceden soğuk şekil verme işlemi gerekebilir. Çökelme oluşabilmesi için alüminyum, titanyum, niyobyum ve bakır elementleri ile alaşımlama işlemine maruz kalan çelikler bu sayede 1700 MPa'a çıkan mukavemet değerlerine erişebilirler.

Genellikle bu çelikler piyasaya çözme tavrı görmüş şekilde sunulup çeşitli imalat işlemleri yapıldıktan sonra tek kademeli bir düşük sıcaklık yaşlandırmasıyla sertleştirilebilmektedir. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler aşağıda belirtilen özelliklere sahiptir:

- a) Bu tür paslanmaz çelikler orta ile iyi derecede korozyon dayanımına sahiptir.
- b) ok yüksek mekanik dayanım göstermektedir.
- c) Oldukça iyi kaynak kabiliyetine sahiptir.
- d) Mıknatıslanma özelliğine sahiptir.

Günümüzde üretilen çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, cıvata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [6].

BÖLÜM 3. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI VE KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

3.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Bu bölümde östenitik paslanmaz çeliklere uygulanabilen kaynak yöntemleri, kaynak esnasında karşılaşılabilecek problemler ve bu problemlerin ortadan nasıl kaldırılabilceği anlatılacaktır.

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır. Özellikle petro kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değıştiricileri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Bu konstrüksiyonların oluşturulmasında da alışılmış veya modern kaynak yöntemleri kullanılmaktadır [46].

Paslanmaz çelikler son yılların keşfi değildir. Faraday 1822 yılında, demir içine krom katıldığında atmosferik oksidasyona karşı oldukça dayanıklı bir alaşım oluştuğunu göstermiştir. 1838 yılında Mallet kromlu çeliklerin bazı ortamlarda korozyona dayanıklı özellik gösterdiğini keşfetmiştir. 19'uncu asrın sonuna kadar kromlu çelikler yalnızca sıcak sülfirik asit kapları için kullanılmıştır. 1904 yılında Monnartz krom ilave edilmiş çeliklerin oksitleyici ortamlarda pasifleşme özelliğinin daha belirgin hale geldiğini ortaya koymuştur. Bu metallerin korozyon dayanıklılığının metal yüzeyinde oluşan pasif tabakadan ileri geldiğini ispatlamıştır [47]. Fakat pasif filmin oluşması alaşımların her ortamda korozyona karşı dirençli olabilmeleri için yeterli değildir. Paslanmaz çelikleri ortama daha dirençli kılmmanın yollarından birisi krom, nikel gibi ana alaşım elementlerinin oranını arttırmak, karbon içeriğini azaltmaktır [48].

Östenitik paslanmaz çelikler, bileşimlerinde %12-25 Cr ve %8-25 Ni içeren ve paslanmaz çelik ailesinin en yaygın kullanım alanına sahip olan çeliklerdir [46, 49, 13, 10]. Östenitik paslanmaz çeliklerdeki krom, nikel ve mangan miktarının toplamı %24 veya daha fazla ve genellikle krom içeriği %16 veya daha fazladır. Krom, oksitlenme ve korozyon direnci sağlarken, nikel ve mangan, östenit fazın yüksek soğuma hızlarına rağmen oda sıcaklığında dahi kararlı olmasını sağlamaktadır [48,49]. Östenitik paslanmaz kaynak metallere mikroyapıları esas metalinkinden bir miktar farklılık gösterir. Tamamen östenitik alaşımların eşdeğer bileşimindeki kaynak metalinde az miktarda ferrit içerdiği görülür. Bu amaçla kaynak metalinin kimyasal bileşimini saptamak üzere Schaeffer ve De Long diyagramlarından yararlanılır [10, 50, 51, 52].

Günümüzde çok yaygın olarak uygulama alanı bulan paslanmaz çelikler, değişik kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Ancak paslanmaz çeliklerin farklı bileşimlerin, mekanik ve fiziksel özelliklerini etkilemesi, kaynak kabiliyetiyle birlikte kaynak problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu problemler, oluşturulacak yapıların servis ömrü açısından da önem taşır.

Paslanmaz çeliklerin temel karakteristik özelliklerini şöyle sıralayabiliriz [53].

- a) Paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletme katsayıları,
- b) Yüksek ısıl genleşme katsayıları,
- c) Yüksek elektrik iletme direnci,
- d) Soğuk şekillendirmeye karşı hassasiyet,
- e) Kaynakta izlenen yapısal değişimler (tane irileşmesi, karbür oluşumu, sigma fazı, delta ferrit),
- f) Korozyona karşı hassasiyet.

3.2. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklanabilirliği

Tüm kaynaklı paslanmaz çelik imalatlarının %90'dan daha fazlasında östenitik paslanmaz çeliklerin kullanılmasının nedeni iyi kaynaklanabilirliğidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde kaynaklar, çoğunlukla ana metalle karşılaştırılabilen kimyasal

bileşimlere ve mekanik özelliklere sahiptirler. Östenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri ile kolaylıkla kaynaklanabilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti açısından en önemli özellikleri şunlardır:

- a) Isıl iletme katsayıları oda sıcaklığında, az alaşımlı ve karbonlu çeliklerin yaklaşık üçte biri kadardır,
- b) Isıl genişleme katsayıları karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin yaklaşık 1,5 katı yani %50 fazladır,
- c) Bu tür çeliklerin elektrik iletme dirençleri, alaşımsız çeliklere karşın dört ila yedi kat daha büyüktür.

Bahsedilen bu özellikler nedeni ile östenitik paslanmaz çeliğin kaynağında kendini çekme olayı sade karbonlu çeliklerin kaynağına göre daha fazladır. Kaynak dikişinin soğuması esnasında büzülme meydana gelmekte böylece kaynaklı bölgede oluşan şiddetli gerilmeler çatlama tehlikesine yol açmaktadır. Bundan dolayı paslanmaz çeliklerin çift taraflı iç köşe dikişlerinde sıcak çatlakların meydana gelme ihtimali fazladır [46, 54, 55].

Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlı olup kaynak esnasında düşük ısı girdisi ile çalışılması tavsiye edilmektedir. Çünkü oluşan ısı, kaynak bölgesinden, düşük karbonlu çeliklerde olduğu gibi hızlı bir şekilde uzaklaşmamaktadır. Malzemenin direnci yüksek olduğundan direnç kaynaklarında düşük akım değerleri ile kaynak yapılabilir [31, 56].

Östenitik paslanmaz çelikler çeşitli kaynak yöntemleri kullanılarak kolaylıkla kaynak edilebilirler [57]. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilerek birleştirilmesinde daha önceden bahsedilen fiziksel özellikleri dikkate alınması gerekli olup, bu özelliklerin yanında bir dizi metalürjik etkenlerde bu tip paslanmanın kaynağında önemli rol oynamaktadır. Bunlar; δ -ferrit oluşumu, taneler arası korozyona duyarlılık, gerilmeli korozyona duyarlılık ve sigma fazının oluşmasıdır [57, 58].

3.3. Östenitik Paslanmaz Çeliklere Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Paslanmaz çelikler, çağımız endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına girmişlerdir ve kullanım alanları artmaktadır. Her türde ve biçimde bulunabilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen bu çeliklerin geliştirilmiş kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilmeleri uygulama alanlarını daha da genişletmektedir [19].

Paslanmaz çelikler uygulamadaki tüm kaynak yöntemleri ile uygun bir şekilde birleştirilebildiği söylenebilir. Kaynak yönteminin tercih edilmesinde aşağıdaki faktörler göz önüne alınır;

- a) Cihazların varlığı, kurulması ve kullanılabilirliği,
- b) Malzemenin kalınlığı,
- c) Kaynağın gerçekleştirileceği ortam,
- d) Kaynak pozisyonu,
- e) Paslanmaz çelik malzemenin türü,
- f) Yardımcı donanım ve ekipmanların durumu ve sağlanması [59].

Paslanmaz çelik yapı elemanlarının birbiri ile veya farklı çelikler ile birleştirilmelerinde kullanılan kaynak yöntemleri ergitme kaynak yöntemleri ve basınçlı kaynak yöntemleri olarak ikiye ayrılır.

- Ergitme Kaynak Yöntemleri

- a) Gaz ergitme kaynağı
- b) Örtülü elektrot ile ark kaynağı
- c) Ergiyen elektrot ile gaz altı kaynağı (MIG/MAG)
- d) Ergimeyen elektrot ile ark kaynağı (TIG)
- e) Plazma arkı ile kaynak
- f) Toz altı kaynağı
- g) Elektron ısın kaynağı
- h) Lazer ısın kaynağı

- Basınçlı Kaynak Yöntemleri

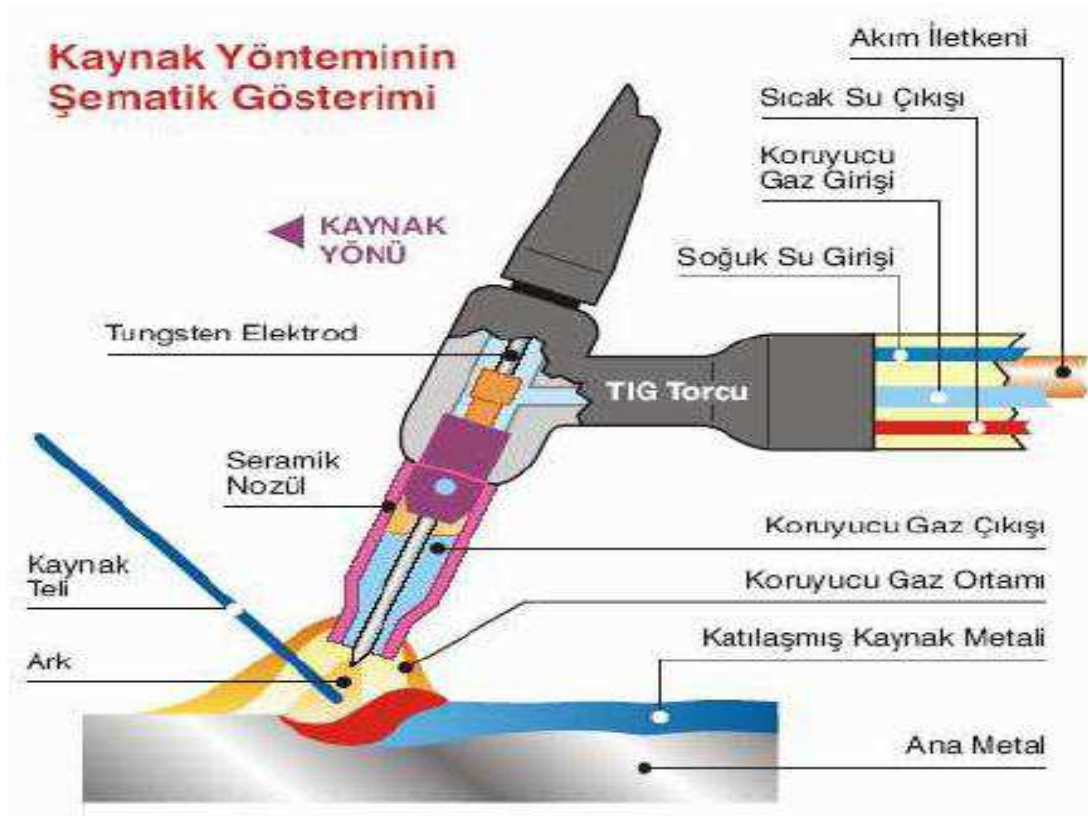
- a) Elektrik direnç kaynak yöntemleri
- b) Sürtünme kaynağı
- c) Difüzyon kaynağı [60].

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan yöntem olan erimeyen elektrot ile gazaltı kaynak yöntemi detaylı olmak üzere paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan kaynak yöntemlerinden bahsedilmektedir.

3.4. TIG Kaynağı

Tungsten Inert Gaz (TIG) kelimelerinin ilk harflerinden oluşmuş olan bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi tungsten elektrot ve iş parçası tarafından sağlanmakta olup, kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden koruması için genelde argon ve çeşitli karışım gazlar kullanılır. ABD’de bol miktarda helyum gazı çıkarıldığından bu yöntem ilk başlarda “Heliark” olarak anılmıştır. Avrupa’da yapılan çalışmalarda koruyucu gaz olarak daha çok argon kullanıldığından bu yöntem daha çok “Argon ark” şeklinde isimlendirilmiştir [61].

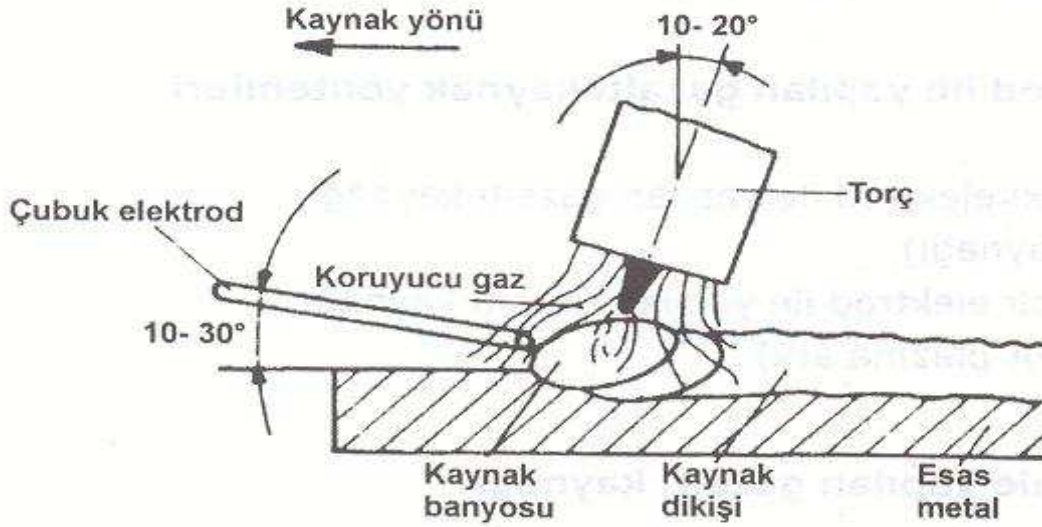
Yöntem yaygın olarak TIG (GTAW/WIG)) adıyla anılır. TIG kaynağı, elektrik ark kaynak yönteminin daha ileri bir aşamasıdır. Bu prosesin tam adında Tungsten kelimesi, arka elektrik akımını iletmeyi sağlayan, erimeyen elektrotu, Inert kelimesi, diğer elementlerle kimyasal olarak birleşmeyen bir gazı ve Gaz kelimesi de, erimiş banyo ve arkı örten, kaynak bölgesini çevreleyen havayı uzak tutan malzemeyi simgeler. TIG yöntemiyle, genellikle diğer kaynak yöntemleriyle oluşturulan kaynaklara göre daha üstün özellikte dikişler elde edilir [62]. Şekil 3.1’de kaynak yönteminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.1. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi [63]

TIG kaynak yönteminin kaynakçı tarafından kullanılması kolay olup prensip olarak gaz eritme kaynağına oldukça benzemektedir ve çok geniş, uygulama alanına sahiptir. Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığından bazı durumlarda ilave kaynak metaline gerek olmadan birleştirme yapılabilir. Gerekliğinde gaz kaynağında olduğu gibi ilave metal kullanılmaktadır. Endüstride bu kaynak yöntemi daha çok kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylık sağladığından kullanım alanı her geçen gün yaygınlaşmaktadır.

Bu yöntemde, erimeyen bir elektrot kullanıldığı için kıvrık alın kaynak ağızı hazırlanmış ince parçalar, ek kaynak metaline ihtiyaç göstermeden birleştirilebilir; gerektiğinde esas metalin eritilerek, ek kaynak metaline olan ihtiyacı ortadan kaldırması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden bir tanesidir. Kaynak bağlantısı için ek metal gerektiğinde, aynen oksisasetilen yönteminde olduğu gibi, bir tel çubuk biçimindeki kaynak metali kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulmaktadır [17].



Şekil 3.2. TIG kaynak yönteminde ark bölgesi [17]

Bu yöntemde kaynak süresince kaynakçı kaynak banyosunu çok iyi bir biçimde görebilmekte, dolayısı ile de kontrol altında tutulabilmektedir; banyo üzerinde cüruf olmayışı da dikişte cüruf kalma tehlikesini ortadan kaldırmaktadır. Aşağıda TIG kaynağı ile elektrik ark ve oksitli kaynağı arasındaki farklılıklar verilmiştir:

- Bir dekapan (örtülü elektrotların örtüsü, toz altı kaynağındaki toz vs...) gerektirmez, bitmiş kaynaklardan korozif artıkların temizlenmesine gerek duyulmaz.
- Kimyasal bileşim bakımından kaynak metalinin bileşimi, kaynak edilen esas metal ile hemen hemen aynıdır. Diğer yöntemlerle oluşturulan kaynaklara göre genellikle daha yüksek dayanımlı, korozyona karşı daha dirençli ve daha sünektir. İnert gaz, diğer maddelerle birleşmez ve kaynak metalinin bu tip maddelerle kirlenmesine müsaade etmez.
- Kaynak tüm pozisyonlarda kolaylıkla yapılabilir.
- Kaynak işlemi kolaylıkla gözlenebilir. Görüşü engelleyen herhangi bir duman veya sis oluşmaz ve kaynak banyosu temizdir.
- Kaynağa bitişik esas metaldeki distorsiyon miktarı minimumdur. Isı, küçük bir alanda yoğunlaşır ve dolayısı ITAB daha küçük boyuttadır.
- Metal temizleme problemine yol açan sıçrama olayı yoktur. Ark sırasında herhangi bir metal taşınmadığından bu probleminden kaçınılmaktadır [62].

3.4.1. TIG kaynak donanımı

Bir TIG kaynak donanımı şu kısımlardan oluşur [64]:

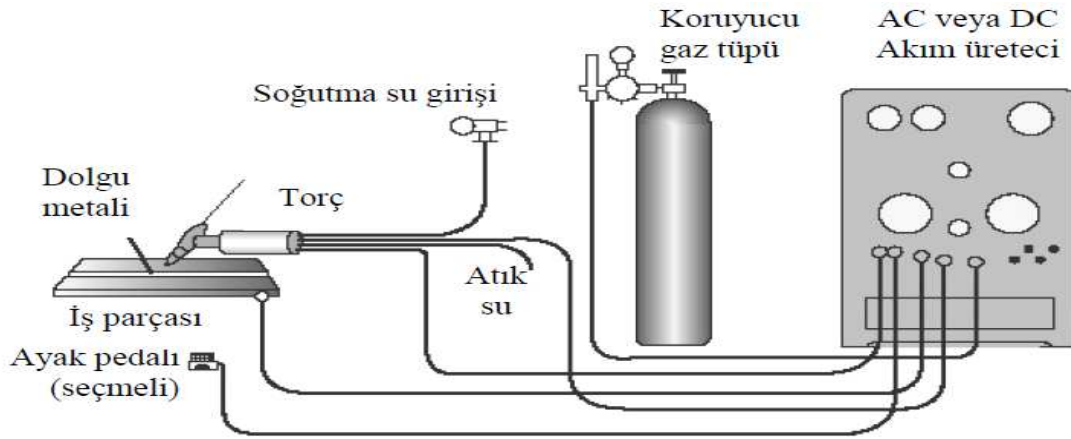
- a) Kaynak torcu.
- b) Kaynak akım ve kumanda şalter kablosunu, gaz hortumunu ve gerektiğinde soğutma suyu giriş ve çıkış hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli, torç bağlantı paketi.
- c) Kaynak akımının, gaz akışının ve gerektiğinde soğutma suyunun devreye giriş ve çıkışını, yüksek frekans ünitesini, arkın tutuşmasını ve alternatif akım ile çalışma halinde arkın sürekliliğini sağlayan devreleri de bünyesinde toplayan kumanda dolabı.
- d) Kaynak akım üretici.
- e) Üzerinde basınç düşürme ventili ve gaz debisi ölçme tertibatı bulunan koruyucu gaz tüpü [64].

TIG kaynak yönteminde bu temel donanımların yanı sıra gerek duyulduğunda veya sistemin, otomatik olarak çalışması arzu edildiğinde aşağıda belirtilmiş olan ek donanımların kullanılmasına gereksinim vardır.

- a) Yüksek akım şiddetleri ile çalışıldığında, ısınan torcu soğutmak için soğutma suyu sirkülasyon sistemi,
- b) Özellikle doldurma işlerinde kullanılmak üzere akımın kontrol ve ayarı için ayak pedalı,
- c) Otomatik kaynak uygulamalarında gerektiğinde torca salınım hareketleri yaptıracak bir osilatör,
- d) Otomatik kaynak uygulamalarında kullanılmak üzere tel besleme tertibatı,
- e) Otomatik kaynak uygulamaları için torç veya iş parçasını ilerletme tertibatı,

TIG kaynak yöntemi prensip olarak her kalınlık ve her pozisyondaki parçalara uygulanabilmekte olup, daha kalın parçalar için uzun süreli işlemler gerektiğinden ekonomik olmamakta ve tercih edilmemektedir. Bundan dolayı 7 mm'den daha kalın parçaların birleştirilmesinde önerilmemekle beraber bu kaynak yöntemi ile çok

kaliteli ve daha emniyetli birleştirmeler sağlanabilmektedir. Bu nedenle uçak ve uzay endüstrisinde çok geniş kullanım alanı bulmaktadır. Akım şiddeti azaltılarak diğer kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi imkansız olan çok ince saclar bu yöntemle kaliteli bir şekilde birleştirilebilmektedir. Hatta 0,1mm kalınlığına sahip parçalar bile bu yöntemin kaynak edebildiği parçalardır. Şekil 3.3'te TIG kaynak donanımının şeması verilmektedir [65].



Şekil 3.3. TIG kaynak donanım şeması [65]

Şekil 3.3'ten de görüldüğü gibi bu donanım; akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç debi ayar donanımı, torç ve kontrol panelinden oluşmaktadır. Yüksek akım şiddetleri durumlarında torcu soğutmak için soğutma suyu devresi kullanılmaktadır. TIG kaynak yönteminde el ile kaynak yapıldığı gibi yarı otomatik ve tam otomatik olarak kaynak yapılabilir [65].

TIG kaynağı östenitik paslanmaz çelik ince saclar tüm kaynak pozisyonlarında uygulanabilir ancak erime gücü dolayısı ile dolgu oranı düşük olmaktadır. Yöntem doğru akımda, tel negatif kutuba bağlanarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemde argon, helyum, azot veya bu gazların karışımı kullanılır.

Argon genellikle yarı otomatik kaynak işlemleri için uygundur, çünkü bu yöntemde arkın başlaması ve kaynak banyosunun kontrolü kolay olup, banyo üzerinde iyi ve etkili bir örtü sağlamaktadır. Argon gazı kullanılarak yapılan kaynak işlemlerinde (özellikle östenitik ince saclar) akım oluşturmak için gereken ısı girdisi, helyum gazı kullanılan kaynak işlemine nazaran düşük olduğundan daha uygundur.

Yüksek kaynak hızlarında, özellikle otomatik olarak yapılan kaynaklı birleştirmelerde daha iyi bir kaynak dikiş biçimi ve nufuziyet elde etmek için helyum kullanılır. Ancak helyum kullanılması durumunda arkın tutuşturulması daha zor olmaktadır [61].

3.4.2. TIG kaynak elektrotları

TIG kaynak yöntemi ile diğer kaynak yöntemleri arasındaki en önemli fark, ilave elektrotun kullanılması ve elektrotun sadece ark oluşturma işlemi gerçekleştirilmesidir. Bundan dolayı erime sıcaklığı 3350 °C olan tungsten elektrot kullanılmaktadır [74]. Bu elektrotlar yüksek ergime sıcaklığına sahip olmakla beraber çok önemli bir elektron yayıcı olup yayılan elektronlar ark sütunu içinde elektrik akımı oluşturmakta ve ark sütunundaki atomları iyonize ederek arkın kararlılığını sağlamaktadır. TIG kaynak elektrotları AWS (Amerikan Kaynak Derneği), DIN (Alman Standart Enstitüsü) göre sınıflandırılmış ve bunların birbirinden kolayca ayırt edilebilmesi için uç kısımları çeşitli renklere boyanarak belirlenmesinde farklı renk kodları kullanılmıştır [17]. Bu renk ve kodlar Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri, renk kodları ve bazı özellikleri [61]

Elektrot Tipi	İşareti	Oksit İçeriği (%)	Katışkılar (%)	Renk Kodu	Bazı özellikleri
Katkısız	w	–	<0.20	Yeşil	Alternatif akımda ark kararlılığı iyi, elektrot ucu düzgün yarı küre şeklinde olmalı
Zirkonyum oksit	WZ 4	0.30-0.50 ZrO ₂	<0.20	Kahverengi	Kaynak banyosu elektrot tarafından daha az kirletilir.
Zirkonyum oksit	WZ 8	0.70-0.90 ZrO ₂	<0.20	Beyaz	
Lantan oksit	WL 10	0.90-1.20 LaO ₂	<0.20	Siyah	Toryum oksitli elektrotlara oranla daha uzun dayanma süreleri.

Tablo 3.1. Tungsten elektrotların kimyasal bileşimleri, renk kodları ve bazı özellikleri (devamı) [61]

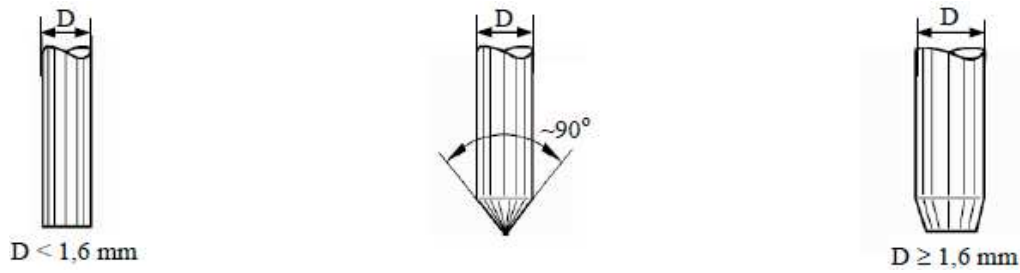
Toryum oksit	WT 10	0.90-1.20 ThO ₂	<0.20	Sarı	Toryum oksit oranı yükseldikçe, elektron çıkışında açığa çıkan enerji azalmaktadır. Bu nedenle tutuşma özellikleri, dayanma süresi ve akım yüklenebilme kapasitesi artmaktadır.
Toryum oksit	WT 20	1.8-2.20 ThO ₂	<0.20	Kırmızı	
Toryum oksit	WT 30	2.80-3.20 ThO ₂	<0.20	Leylak	
Toryum oksit	WT 40	3.80-4.20 ThO ₂	<0.20	Portakal	

DIN 32528'de TIG kaynak elektrotlarının çapları 0,5, 1, 1,6, 2,0, 2,4, 3,0, 3,2, 4,0, 5, 6, 6,4 ve 8 mm boyları ise 50, 75, 150, 175 mm olarak belirlenmiştir. AWS A5.12'de ise elektrotların çapları 0,01, 0,02, 0,04, 1/16, 3/32, 1/8, 5/32, 3/16, 1/4 inç boyları ise 3, 6, 7, 12, 18 ve 24 inç olarak saptanmıştır. 7 inçten daha uzun olanlar sadece mekanize ve otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılırlar. Uygulamada elektrot çapı, elektrotun maksimum akım yüklenebilme kapasitesi göz önüne alınarak seçilmelidir; bu değere yaklaşıldığında arkın ısı yoğunluğu artmakta, daha kararlı bir ark ile nüfuziyeti fazla, yüksekliği az bir dikiş elde edilebilir [66].

TIG kaynak yönteminde kullanılan elektrotların akım yüklenebilme kapasitesi çok sayıdaki etkene bağlı olarak oldukça geniş bir aralık içinde değişmektedir. Bu etkenleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Elektrotun bileşimi,
- Koruyucu gazın türü,
- Elektrotun, elektrot tutucusunun dış kısmında kalan boyu,
- Elektrota uygulanan soğutma sisteminin etkinliği,
- Akım türü ve kutuplama,
- Kaynak pozisyonu [64].

TIG kaynağında kullanılan tungsten elektrotlar, kural olarak boylamasına taşlanmalıdır. Aksi halde dönel taşlama izleri arkın sapmasına ve akımın sınırlanmasına neden olur. Gerekli durumlarda taşlama tozlarının parlatılarak uzaklaştırılması gereklidir. TIG kaynak elektrotunun uç formunu uzun süre koruyabilmek için kaynak parametrelerinin uygun seçilmesi gereklidir. Kaynak esnasında (elektrot uçlarını koruyabilmek için) akımın doğru ayarlandığı elektrot ucunun aldığı şekilden kolayca anlaşılabilir. Şekil 3.4'te alternatif akımda elektrot çaplarına göre elektrot uç formları görülmektedir.



Şekil 3.4. Elektrot çapına göre elektrot uçları (alternatif akımda) [64]

3.4.3. TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar

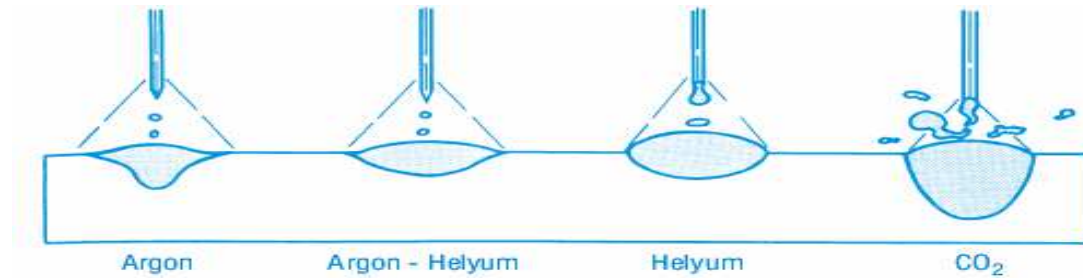
Koruyucu gazın görevi çevredeki atmosferin erimiş kaynak banyosuna kötü etkisini engellemektir. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır:

- Arkın karakteristiği,
- Metal transferinin şekli,
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin şekli,
- Kaynak hızı,
- Yanma oluşu oluşma eğilimi,
- Temizleme etkisi,
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri olarak sıralanabilir.

Argon ve helyum soy gazlar olup, bu gazlar ve bunların karışımları paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Argonun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 1,4 katı iken helyumun yoğunluğu 0,14 katıdır. Koruyucu gaz ne kadar ağır ise verilen bir debide arkı koruma ve kaynak alanının örtme o kadar etkilidir bu nedenle helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğinde debi gerekmektedir [68].

Şekil 3.5'te çeşitli koruyucu gazların kaynak dikiş sekline ve nüfuziyetine olan etkisi verilmektedir. Helyum argondan daha yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir ve aynı zamanda içinde ark enerjisinin daha üniform şekilde dağıldığı bir ark plazması oluşturur. Argonun oluşturduğu ark plazmasında iç bölgede çok yüksek bir enerji mevcuttur. Bu fark kaynak dikişi profilini önemli ölçüde etkiler helyum arkı derin, geniş parabolik kaynak dikişi oluşturur. Argon arkı ise sise emziğine benzer bir nüfuziyet oluşturur [68].

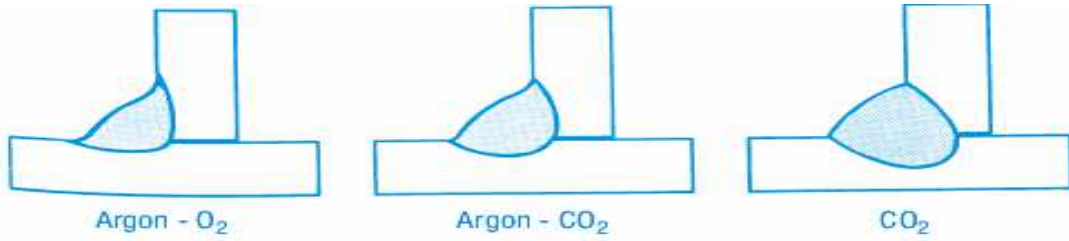


Şekil 3.5. Çeşitli koruyucu gazların kaynak dikişinin sekline ve nüfuziyetine etkisi [68]

Paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek ısı girdisi elde edebilmek için argon gazına CO₂ ilavesi yerine helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikisin mekanik özelliklerini ters yönde etkileyen kaynak metali reaksiyonları oluşturmamasıdır.

Saf argon ve belli dereceye kadar helyum demir dışı malzemelerin kaynarında mükemmel sonuçlar sağlar. Ancak bu koruyucu gazlar saf halde demir esaslı malzemelerin kaynağında başarılı çalımsa özellikleri sağlamaz. Ark kararsız olma eğilimi gösterir. Helyumla korumada buna ilave olarak sıçrama meydana gelir. Saf argonla korumada “yanma oluğu” oluşma olasılığı büyük ölçüde artar. Şekil 3.6’da argon gazına oksijen ve karbondioksit gazlarının ilavesinin köşe birleştirmelerde kaynak dikiş sekline ve nüfuziyetine etkisi verilmektedir. Argon gazına %1-5 O₂ veya %3-10 CO₂ (ve %25’e kadar CO₂) ilavesi önemli ölçüde iyileştirme sağlar.

Saf gaza katılacak en uygun O_2 ve CO_2 miktarı kaynak edilecek parçanın yüzey durumu, bağlantı geometrisi, kaynak metali ve esas metalin bileşimine bağlıdır. Argona CO_2 ilavesi aynı zamanda dikiş profilinin şeklini de iyileştirir [68]. İçersinde helyum oranı fazla olan koruyucu gazlar kısa devreli metal transferi ve yüksek voltaj artışı sağladığından daha iyi ısıtma oluşur, bu sayede kaynak esnasında kaynak metali içerisinde oluşabilecek hatalar minimize edilir [34, 69].



Şekil 3.6. Ar - O_2 , Ar - CO_2 ve CO_2 gazlarının dikiş şekline ve nüfuziyete etkisi [68]

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında en çok tercih edilen gaz argondur [71]. Ayrıca hidrojen eklenmesiyle kaynak hızı ve nüfuziyeti artar [61]. Daha temiz ve kaliteli dikişler elde edilir. Hidrojen gazı ile argon gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklı olup her iki gazın bileşimi sonucu kaynak işlemlerini ve kaynak metaline ait özellikleri korumaktadır [70].

Helyum atmosferi ısıyı daha iyi iletmediğinden koruyucu gaz olarak kullanıldığında daha derin nüfuziyetli kaynak dikişi elde edilmektedir. Bundan dolayı bu kaynak atmosferi çoğunlukla kalın kesitli parçaların kaynağında kullanılmaktadır.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında argona hidrojen eklenmesi sonucu östenitik paslanmaz çelikte görülen faydalar sağlanabilir. Daha akıcı kaynak banyosu ve daha temiz kaynak dikişi elde edilir. %5'e kadar hidrojen ilavesi tam ferritik paslanmaz çelikler için önerebilir. Martenzitik paslanmaz çelikler kaynağında gazda hidrojen bulunması halinde hidrojen çatlaklarının oluşması tehlikesi vardır. Dupleks paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan hidrojen gazı karışımı kaynağın verimini arttırmakla beraber hidrojen çatlaklarının oluşmasına neden olmaktadır. Argona %2-4 azot karışım gazı kullanıldığında kaynak metalinin azot içeriğini arttırmamaktadır. Ancak saf argona göre çıkacak korozyon direncini arttırmaktadır [34, 64].

Tablo 3.2’de TIG kaynak yönteminde en sık kullanılan gazlardan olan argon ve helyum gazlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Tablo 3.2. Argon ve helyum gazlarının TIG kaynak yöntemindeki davranışlarının karşılaştırılması [67]

Argon	Helyum
<p>a) Düşük ark gerilimi sonucu ısı girdisinin azalması, 1.5 mm'den ince parçaların el ile kaynağında büyük bir üstünlük sağlar.</p> <p>b) Alüminyum ve alaşımları gibi yüzeyleri refrakter bir oksit tabakası ile kaplı malzemelerin kaynağında temizleme etkisi daha şiddetlidir.</p> <p>c) Arkın tutuşması daha kolaydır. Ark daha sakin ve daha stabil yanar.</p> <p>d) Havadan ağır olması nedeni ile daha az koruyucu gaz ile daha etkin bir koruma sağlar.</p> <p>e) Dik ve tavan kaynaklarında, gaz sarfiyatının fazla olmasına karşın, ısı girdisinin azlığı sonucu oluşan, daha ufak kaynak banyosuna kaynakçının kolaylıkla hakim olabilmesine olanak sağlar.</p> <p>f) Otomatik kaynak işlerinde hızın yükselmesi, gözenek oluşumuna neden olur.</p> <p>g) Farklı metallerin kaynağında daha iyi sonuçlar alınır.</p>	<p>a) Yüksek ark gerilimi sonucu oluşan daha sıcak ark, ısı iletkenliği yüksek malzemeler ile kalın parçaların kaynağında daha üstün sonuçlar verir.</p> <p>b) Yüksek ısı girdisi ve yüksek kaynak hızı, daha dar bir ITAB oluşturur ve bunun sonucu olarak kaynak bağlantısının mekanik özellikleri iyileşir. Böylece çarpılma ve kendini çekmeler azalır.</p> <p>c) Havadan çok daha hafif olması sonucu koruyucu gaz sarfiyatı yüksektir ve torcun memesinden çıkan gaz akımı hava hareketlerine hassastır.</p> <p>d) Otomatik kaynak işlemlerinde yüksek kaynak hızlarında karşılaşılan gözenek ve yanma çentikleri oluşumu kontrol altına alınabilir.</p> <p>e) Havadan daha hafif olması sonucu tavan kaynaklarında daha iyi koruma sağlar ve bu yüzden altlık olarak kullanımı uygundur.</p>

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların kaynak fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.3'te verilmiştir. Bu gazların ısı iletkenlikleri Şekil 3.7'de görülmektedir. Kaynak arkında yaygın olarak oluşan sıcaklık 3000 – 4500 °C aralığında değişmektedir. Hidrojen gazının iletkenliği argon gazına göre 10 kat daha yüksektir [73]. Arkın ısı iletkenliği arkın şekli ve kaynak işleminin şekli bakımından önemlidir.

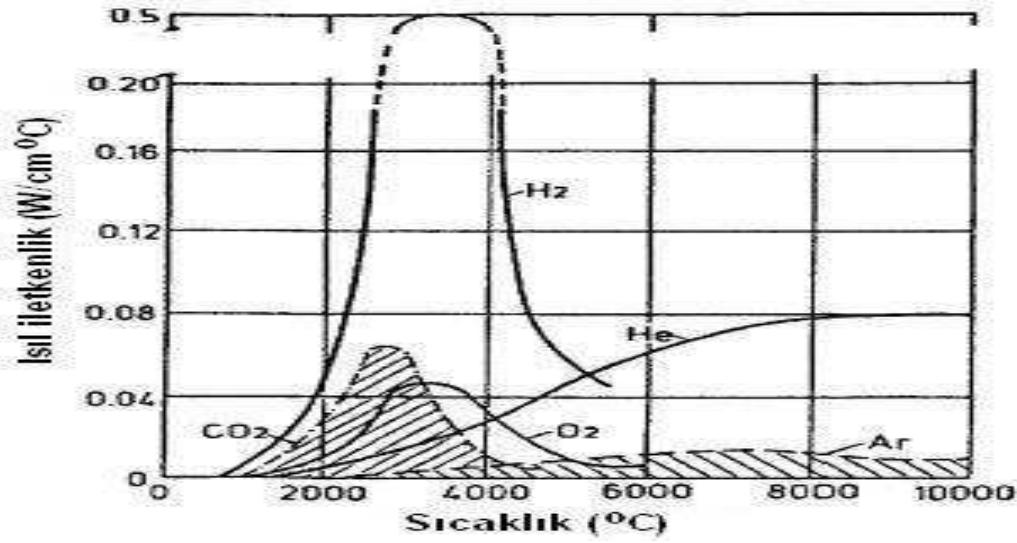
Tablo 3.3. Gaz altı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların kimyasal ve fiziksel özellikleri [72]

Gaz tipi	Havadaki içerik (%hacim)	1.013 bar'da kaynama noktası (°C) (%)	Atomik ağırlık ve ortalama molekül ağırlığı	15 °C ve 1 bar'da yoğunluk (kg/m ³)	15 °C ve 1 bar'da havaya (-1) göre bağıl yoğunluk	Ayrılma ve iyonizasyon enerjisi (eV) ^c	Kimyasal davranış
Hidrojen (H ₂)	0.5×10 ⁻⁶ ^a	-252.9	2.016	0.085	0.06	4.48 13.59	İndirgeyici
Argon (Ar)	0.934	-185.9	39.948	1.669	1.38	15.76 27.50	İnert
Helyum (He)	5.2×10 ⁻⁶ ^a	-268.9	4.002	0.167	0.14	24.56 54.10	İnert
Azot (N ₂)	78.084	-195.8	28.013	1.170	0.91	9.76 14.55 29.60	Reaktif
Karbondioksit (CO ₂)	0.033 ^a	-78.5 ^b	44.011	1.849	1.44		Oksitleyici
Oksijen (O ₂)	20.946	-183.0	31.998	1.337	1.04	5.08 13.62 35.20	Oksitleyici

^a Atmosferden elde edilmiştir.

^b Buharlaşma sıcaklığı.

^c 1 eV = 1.6×10⁻⁶ J; 6 ve 9 eV arasındaki değerlerde başlıca metallerin iyonizasyon enerjisi



Şekil 3.7. Gaz altı kaynak yönteminde kullanılan gazların sıcaklığa bağlı olarak ısı iletkenliklerinin değişimi [72]

3.4.4. TIG Kaynak Yönteminin Uygulama Alanları

Bu yöntem genellikle hafif metallerin birleştirilmesinde kullanılır. Çeşitli büyüklükteki torçlarla 15 mm'ye kadar kalınlıktaki parçaları kaynatmak mümkündür. Bu yöntemde yukarıdan aşağıya doğru dikey ve tavan kaynaklarının da uygulanması mümkündür [64].

TIG kaynak yönteminin kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Her çeşit alüminyum konstrüksiyonlar; mutfak takımları, boru tesisatları, tanklar, taşıt imalatı, teleferik kabinleri, gemi inşaatı v.s.
- Paslanmaz çelikler; kimya ve gıda sanayinde kullanılan cihazlar, buzdolabı, boru tesisatı, tıbbi aletler, ısı eşanjörleri, tanklar, gaz ve buhar türbinleri, meme donanımları, uçak motorları, kaynatma kazanları, çamaşır makineleri v.s.
- Dezokside edilmiş bakır ve alaşımları; kimya endüstrisinde ve elektroteknikte kullanılan bakır donanımlar v.s.
- Sert tabaka dolgu kaynağı; subapların oturma yüzeyleri, aşınan parçaların doldurulması v.s.
- DKP çelik saclar; karoseri işleri, çok ince saclarla yapılan konstrüksiyonlar, uçak inşaatı vs. [64].

3.4.5. TIG Kaynak Yönteminin Avantaj ve Dezavantajları

TIG kaynak yönteminin uygulamalar için avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür:

- a) Bütün metal ve alaşımları kaynatılabilir. Paslanmaz çelikler, ısıya mukavim çelikler dökme demir ve çelik, alüminyum, magnezyum, bakır ve alaşımları, titanyum, nikel, molibden, niobyum, tungsten gibi.
- b) Bu yöntemle yapılan kaynaklarda mukavemet ve kalite bakımından mükemmel dikişler elde edilir.
- c) Dekapana ihtiyaç yoktur.
- d) Kaynak dikişleri genellikle kaynaktan sonra olduğu gibi kullanılır.
- e) Çok küçük alanın ısıtılması ve ısının sürekli transferi dolayısıyla diğer yöntemlere göre çarpılmalar daha azdır.
- f) Tungsten elektrotla dikişte çok az bir karbür ayrışması meydana gelir.
- g) Her çeşit birleştirme şekli uygulanabilir; yatay, dik ve tavan pozisyonlarında kaynak yapılabilir.
- h) Kaynak torcu hafiftir ve dolayısıyla rahat bir çalışma olanağı sağlar.
- i) Bu yöntem sayesinde ayrı cins metalleri ve alaşımları birbirleriyle kaynatmak mümkündür.
- j) TIG kaynak yönteminde genellikle koruyucu gaz olarak Argon kullanılır.
- k) Kaynak dikişi üzerinde curuf yoktur.

Tig kaynak yönteminin dezavantajlarını da şu şekilde sıralayabiliriz:

- a) TIG kaynağının metal yığıma hızı diğer ark kaynak yöntemlerine göre düşüktür.
- b) Kalın kesitli malzemelerin kaynağında ekonomik bir yöntem değildir.
- c) Koruyucu gaz gerekir.
- d) Kirliliğe hassastır bu yüzden yüzey temizliği gerektirir.
- e) Açık havada zor kullanılır.
- f) Kimyasal yapı düzeltilemez [64,74].

3.5. Diğer Kaynak Yöntemleri

3.5.1. MIG kaynağı

Örtülü elektrot kullanılarak yapılan birleştirmede bağlantı kalitesi için kaynakçının bilgi ve becerisinin çok daha iyi olması gerekmektedir. Kaynak maliyetinin düşürülmesi, imalat süresinin kısaltılması ve kaynakçı faktörünün kaynak dikişine olan etkisinin minimuma indirilmesi için günümüzde farklı kaynak yöntemleri geliştirilmektedir. Bunlardan biri MIG kaynağıdır. Alüminyum, bakır ve alaşımlarının, yüksek alaşımlı çelik kaynağında kullanılmaktadır [75, 71, 76].

Ferritik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında normal şartlarda doğru akımda elektrot pozitif kutba bağlanarak gerçekleştirilir. Bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında spreyc ark, Ar + %1-3 O₂ karışım koruyucu gazı ve kısa ark ise He + Ar + %2 CO₂ karışım gazı ile uygulanır. Koruyucu gaz seçimi, pratikte metal damla geçişinin yanı sıra esas metale de bağlıdır. Kısa ark, düşük ark gerilimi ve kaynak akımı ile küçük çaplı elektrot kullanılmasını gerektirdiğinden ince kesitlerin kaynağı için çok uygundur. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa arkın kullanılmasının bir üstünlüğü de ITAB'a düşük ısı girdisi verilmesiyle tane irileşmesinin önlenmesidir. Ancak, düşük ısı girdisi yetersiz erimeye neden olabilir ve sonuç olarak kısa ark kritik olmayan durumlarda sınırlı kullanılmalıdır. Bu ark türü ile ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında östenitik ilave metali kullanılması avantajlar sağlamaktadır. Düşük ısı girdisi ile %10 ve daha az erime oranları elde edilmektedir.

Spreyc arkı ile MIG kaynağı halinde, ferritik paslanmaz çeliklerin birleştirilmelerinde uygun östenitik ilave metali bulunmayabilir. Spreyc ark, genellikle büyük çaplı teller ve kısa arktan daha yüksek gerilim ve kaynak akımlarında kullanılmaktadır. Bu tekniğin, kısa arka nazaran daha nüfuziyetli ve yeterli erime oluşmuş güvenilir bağlantılar elde edilmesine karşın yatay ve dik pozisyonlarda kullanımlarında bazı sınırlamalar vardır. Darbeli ark ise, tüm kaynak pozisyonlarında ve büyük çaplı teller ile kullanılabilir ve kaynak banyosu daha iyi kontrol edilir.

Dolgu oranının spray arka nazaran daha az olmasına karşın toplam ısı girdisi daha düşük olacağından bu tür paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan tane irileşmesi en aza inmektedir [75].

Dubleks paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde ve dolgu pasolarında MIG kaynak yöntemi oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde Ar + %1-3 O₂, Ar + %30 He + %1-3 O₂ veya Ar + %15 He + %1-3 CO₂ karışım gazları kullanılır. Kök gazı olarak saf Ar veya %3 N₂ eklenen karışım gaz önerilir. Bu yöntemde yüksek ısı girdisi ile kaynak yapılır. Pasolar arası sıcaklık maksimum 150°C ile sınırlandırılmıştır [77].

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler ile martenzitik ve östenitik paslanmaz çeliklere uygulanabilen tüm kaynak yöntemleri kullanılabilir.

6 mm'den daha kalın çökelme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde spray metal geçiş tekniği kullanılır. TIG kaynağına göre dolgu oranı yüksek olduğundan daha hızlı biçimde kaynak yapılabilir. Koruyucu gaz olarak, arkın kararlılığını sağlamak için %1-2 O₂ içeren argon gazı kullanılır. Ancak oksidasyon sonucu arktan metal geçişi sırasında Al ve Ti kaybı oluşur. Nüfuziyetin artması istendiği durumlarda He+Ar karışım gazı önerilir. Kısa ark veya darbeli ark ile çok az oksijen veya karbondioksit katılmış Ar+He karışım gazları kullanılır [75].

Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, yeterli koruyucu gaz atmosferi altında ek kaynak metalinin ark içindeki taşınımı sırasında alaşım elementlerinin kayıpları oldukça azdır. Titanyum gibi reaktif elementler de ark içinde çok az kayba uğrayarak kaynak banyosuna geçer. Böylece bu yöntemde titanyum ile stabilize edilmiş östenitik paslanmaz ilave metalleri de kullanılabilir. Argon koruması altında %95'in üzerinde geçiş verimi sağlanmaktadır. Bu tür çeliklerin MIG kaynağında kullanılan ilave tel çapları malzeme kalınlığına ve ark türüne göre 0,6-3,0 mm arasında değişmektedir [77].

Doğru akımda elektrot pozitif kutupta ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında arkta metal taşınımı spray ark ile gerçekleştirilebilir. Bunun için 26-33 volt ark gerilimi gerekmektedir. Bu değerlerin altındaki bir çalışmada arkta metal taşınımı, büyük damlalar halindedir ve bu da aşırı sıçramalara ve ark dengesizliğine neden olmaktadır. Dengeli bir spray ark için akım değeri 1,6 mm tel çapı için 300 Amper civarında seçilmesi gerekmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde kısa ark, darbeli ark kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Bu ark türleri, düşük akım şiddetlerinde ve 18-24 Volt arasındaki ark gerilimlerinde oluşur. Bu ark türü ile 0,25 mm kalınlığındaki paslanmaz çelik saçların kaynağında bile kullanılabilir. Bu tekniklerde ısı girdisi spray ark haline karşın daha düşük olduğundan çarpılmaları en az seviyede kalmaktadır [77].

Östenitik paslanmaz çelikler için genel olarak Ar-O₂ veya CO₂ gibi oksitleyici bileşen içeren karışım koruyucu gazlar kullanılır. Argon, oksijen veya karbondioksit katılarak arkın dengelenmesi sağlanmaktadır. Oksijen, karbondioksit'e göre 2-3 kat daha etkin olmaktadır. Saf argon veya helyum ile bunların karışımlarının kullanılması sonucu kararsız bir ark oluşmaktadır. Koruyucu asal gaza az bir miktar O₂ ve CO₂ katılması sonucu is parçasında arkın bulunduğu yere çok yakın bölgelerde oksit tabakası oluşmaktadır. Buna ilave olarak O₂ ve CO₂ erimiş metal damlacıkları yüzey gerilimini düşürmekte ve spray ark ile çalışılması durumunda arkın kararlılığını sağlamaktadır. Bu karışım gazlarının kullanımı saf argon kullanılması ile karşılaştırıldığında esas metalin ısıtma özeliğinin de oldukça geliştiği görülmektedir [78, 8, 75].

Dolgu tellerinin kullanılması halinde karışım gazların içeriğinde %1 O₂ ve %2-4 CO₂ bulunabilir. Oksijen miktarı %1'den, karbondioksit miktarı %2'den az olduğu zaman etkileri arkın dengelenmesinde yetersiz kalmaktadır. Oksijen miktarı %2'den, karbondioksit miktarı %4'den fazla olur ise banyonun oksitlenmesi şiddetlenir. Özellikle çok yüksek nikel alaşımlı östenitik veya nikel alaşımlarında saf argon kullanılması önerilir [75, 7].

Östenitik paslanmaz çeliklerin özlü teller ile kaynağında ise, birçok özlü tel ile %20-100 CO₂ içeren gazlar kullanılır. %20'den az CO₂ içeren gazlar kullanılması halinde arzu edilen ark kararlılığı elde edilemez [4].

Argona göre daha yüksek ısı iletkenliğe ve daha düşük yoğunluğa sahip olan helyum MIG kaynak yönteminde kullanıldığında belirli bir kaynak akımı ve ark boyu için daha yüksek bir ark gerilimi elde edilmektedir. Böylece sabit kaynak hızında daha fazla ısı girdisi olmaktadır. Argon + helyum karışımları daha iyi olduğundan, argona helyum eklenmesi sonucu nüfuziyet artmaktadır. Argon ark içinde metal alaşım kararlılığına etkisi olmaktadır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında ilave metal seçiminde metal alaşım türü koruyucu gaz seçimi ile alaşım elementleri dikkate alınması gerekmektedir. Tel seçiminde kaynak-metal bileşimi esas metal ile uyum göstermesine göre yapılmaktadır. Böylece kaynak metalinin içeriği δ -ferrit miktarı önceden saptanabilmektedir [4].

3.5.2. Elektrik ark kaynağı

Örtülü elektrot ile ark kaynağında ark eriyen elektrot kaynak metaline karışarak birleştirmeyi sağlamaktadır. Genel olarak paslanmaz çeliklerin elektrik ark kaynak yöntemi ile birleştirilmesinin tercih edilmesine aşağıdaki faktörler neden olmaktadır.

- a) Basit bir yöntem olması,
- b) Donanımın yatırım maliyetinin düşük olması,
- c) Atölye ve şantiyelerde uygulanabilme kolaylığı,
- d) Farklı uygulamalar için özel elektrot türlerin bulunması,
- e) Her türlü pozisyonda kullanılabilmesi,
- f) Düşük ısı girdisi (özellikle östenitik paslanmaz çelikler için) sağlanabilmesi,
- g) Malzeme kalınlığı,
- h) Malzemenin kimyasal bileşimi ve paslanmaz çeliğin her türünün kaynak edilebilmesi şeklinde sıralanabilir.

Örtülü paslanmaz çelik elektrotu ile malzeme kalınlığı 1.5 mm'den daha fazla olduğunda birleştirilmektedir. Erimiş akışkan bir kaynak banyosu tercih edilir.

Böylece dikisin yüzeyi oldukça düzgün olduğundan kaynak sırasında temizleme işlemi kolaylaşmaktadır [76].

Rutil tipi örtülü paslanmaz çelik elektrotların ince damlalı bir malzeme akısı sahip olup ve ince tırtırlı, düzgün dikişler elde edilmektedir. Doğru akım (elektrot +) veya alternatif akımla kaynak yapılabilir. Bu tip elektrot ile yapılan kaynak sonrasında oluşan cürufun uzaklaştırılması kolaydır ve kısmen kendiliğinden ayrılır. Bu özelliklerinden dolayı paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında tercih edilirler [4].

Bazik tip örtülü paslanmaz çelik elektrotlar sadece doğru akımla kaynak yapılabilir. Kaynak işlemi esnasında damla geçişi daha iri olduğundan kaynak edilmesi zor pozisyonlar için daha uygundur. Aynı zamanda aralık kapama özelliği daha iyi olduğundan kök dikişler için tercih edilmektedir. Her iki elektrot tipinde de mümkün olan en kısa ark ile çalışılması gerekmektedir. Yüksek alaşımli olan elektrotun elektrik direnci yüksek olduğundan bu malzemelerde daha düşük akım şiddeti ile çalışmak gerekir. Elektrot örtüsünün nemli olması kaynak davranışını ve cüruf geçişini kötüleştirerek gözenekliliğe veya soğuk yırtılmalara neden olabilir. Bazik elektrotlar iç kısımlarda gözenek oluşumu açısından daha az duyarlıdır [76].

Ark oluşumunun kolay ve arkın kararlı olması, düzgün eritme, düşük akım şiddetlerinde kullanılabilirlik, cürufun kolay temizlenmesi, sıcak çatlamaya karşı dirençli dikisin oluşturulmasının yanında esas metal ile kaynak metali arasında kimyasal bileşim ve mekanik özellikler açısından çok farklılık göstermezler [76].

3.5.3. Toz altı kaynağı

Açık ark kaynak yöntemlerine göre ısı girdisi ve dolgu oranının oldukça yüksek olduğu tozaltı kaynak yöntemi, östenitik paslanmaz çelik kalın sacların birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kaynak metalinin katılaşması, oluşan banyonun büyüklüğü nedeni ile çok yavaş olmaktadır. Dolayısı ile alaşım elementlerinin segregasyonu ve mikroyapıda tane irileşmesi gibi problemler ile karşılaşmaktadır.

Bu kaynak yönteminin en büyük dezavantajlarından birisi donanımın pahalı olmasıdır. Yüksek ısı girdisi, yalnız oluk ve yatay pozisyonlarda kaynak yapılabilmesi gibi sınırlamalar olmaktadır. Ancak oluşturulan bağlantılar yüksek mukavemetli, değişmeyen kalitede ve çok iyi dış görünüşe sahip olmaktadır.

Toz altı kaynak yönteminin kullanılması halinde kaynak metalinin bileşimini ayarlamak MIG, TIG, plazma arkı ile kaynak veya elektron ısın kaynağına nazaran çok zor olmaktadır. Bu tür çeliklerin tozaltı kaynak yöntemi ile birleştirmelerde kaynak metali, Si içeriği, diğer yöntemlerde olduğundan daha yüksek olabildiğinden, sıcak çatlak veya mikro çatlakların oluşumuna eğilimlidir. Bu olay bazik tür tozların kullanımı ile önlenabilir. Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında bazı durumlarda tozdan geçen alaşım elementleri, kaynak metalinin sıcak çatlama eğilimini ve korozyon direncini olumsuz etkilediğinden tel ve tozun bileşimlerine çok dikkat edilmesi gerekmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin toz altı kaynağında hem doğru akım hem de alternatif akım kullanılabilir. Doğru akım özellikle ince sacların kaynağı için tercih edilmekte ve akım şiddetinin aynı kalınlıktaki kaynak işlemindeki sade karbonlu çelik saçlara uygulananandan %20 daha düşük ayarlanması gerekmektedir. Dolgu oranı da bu tür çeliklerin yüksek elektrik dirençlerinden dolayı diğer malzemelere oranla %20-30 daha düşük değerler elde edilmektedir [79].

3.5.4. Plazma ark kaynağı

Östenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan plazma ark kaynağı hem yarı otomatik hem de otomatik olarak uygulanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında ek kaynak teli kullanılarak uzun ve kaliteli dikişler elde edilmektedir. İlave kaynak teli kullanılmadan da ince saclar halinde ağız hazırlanmadan alın birleştirmeleri yapılabilmektedir.

Tüm kaynak parametreleri çok iyi kontrol edildiğinde bu yöntem ile 10 mm kalınlığındaki paslanmaz çelikler kolaylıkla birleştirilebilmektedir [79].

Östenitik paslanmaz çeliklerin plazma ark kaynağında plazma gazı olarak argon veya helyum kullanılabilirdiği gibi %99,5 Ar + %0,5 O₂, %92,5 Ar + %7,5 H₂, %95 Ar + %5 H₂ karışım gazları anahtar deliği tekniğinde; %75 He + %25 Ar karışımı da eritme tekniğinde kullanılmaktadır.

Uygulanan tekniğe bağlı olarak kullanılan koruyucu gazlar ise, %75 He + %25 Ar, Ar + %1-5 H₂ anahtar deliği tekniğinde, Ar, He veya Ar + %1-5 H₂ eritme tekniğinde kullanılmaktadır.

Kök gazı kullanımı genellikle istenir ve en çok kullanılan kök gazları da Ar+H₂ karışım gazlarından seçilmektedir [79].

3.5.5. Lazer ışını ile kaynak

Bilinen yöntemlere göre, lazer ısıyı ile kaynak yöntemi yeni ve otomasyona elverişli bir eritme kaynağı yöntemi olarak dikkati çekmektedir. Odaklanmış ısı etkisiyle metal yerel olarak ergitilmektedir.

Elde edilen kaynak dikişleri çok dar olmakla beraber, yüksek güçlü lazerlerin kullanımı ile 15 mm'ye kadar levha kalınlıklarının kaynakla birleştirilmesi mümkün olmaktadır. Isı girdisi yerel olduğundan ısı hızla uzaklaşmaktadır. Bu kaynak yönteminin başlıca özellikleri aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Derinlik/genişlik oranı çok büyük olan dar kaynak dikişleri,
- Dar ITAB,
- Düşük ısıl çarpılma,
- İyi şekillendirilebilirliktir.

Günümüzde endüstriyel alanlarda iki tip lazer kullanılmaktadır:

- CO₂ lazeri 1 – 15 mm kalınlıklar için
- YAĞ lazeri 0,2 – 4 mm kalınlıklar için

İlk tip lazerde ısın ayna yansımaları ile parça üzerine odaklanmaktadır. İkincisinde ışın bir cam elyaf yardımıyla kaynak noktasına iletiildiğinden bu ısının parça üzerine hareketi çok daha kolay olmakta ve örneğin robotlar yardımıyla 3 boyutlu bir işlem yapılabilir [8].

3.5.6. Gaz eritme kaynağı

Östenitik paslanmaz çeliklerin oksit - asetilen kaynağı, yavaşlığı ve kaynakçı becerisinin çok önemli ve gerekli olması nedeniyle özellikle de 3 mm'den daha düşük kalınlıklardaki ince saçların birleştirilmesinde uygulamaları bulunmaktadır. Gaz eritme kaynağı yönteminde dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıda sıralanmaktadır [8, 80].

- a) Kullanılan bekin numarası, aynı kalınlıktaki bir yalın karbonlu çeliğin kaynağında kullanılan 1-2 numara daha küçük olmalı ve özellikle mızrak türü alev veren bekler seçilmelidir.
- b) Nötr kaynak alevi kullanılmalıdır.
- c) Kaynak sırasında oksidasyon önlemesi için florür bazlı dekapanlar kullanılmalıdır.
- d) Kaynak sırasında kullanıla ilave metal ile esas metal bileşimi uyumlu olmalıdır.

3.6. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Karşılaşılan Problemler

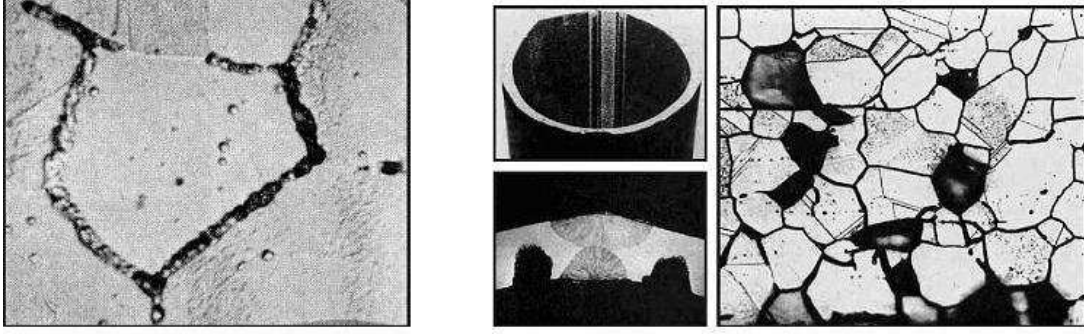
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında genelde üç temel problemle karşılaşılır. Bunlar;

- a) Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon
- b) Sıcak çatlak oluşumu
- c) Sigma fazı oluşumu

3.6.1. Krom karbür çökmesi ve taneler arası korozyon

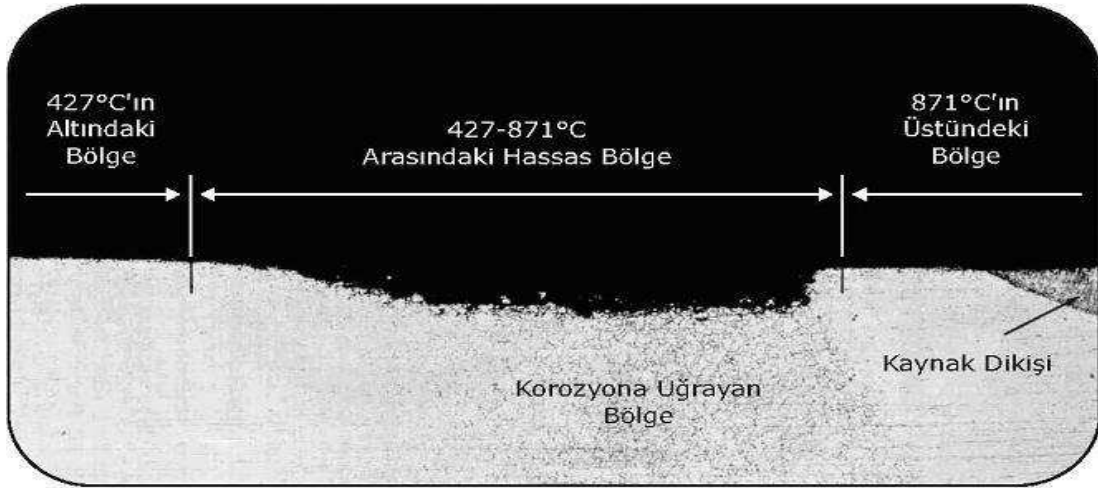
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklı birleştirilmesinde ortaya çıkan bir sorun olup, özellikle 18/8 çeliği gibi bazı paslanmaz çeliklerin 450–850 °C sıcaklıklar arasında uzun süre kalmaları sonucunda krom karbür çökmesi meydana gelebilir. Bu tip paslanmaz çelikler üretimleri esnasında krom ve karbürün östenit içerisinde çözüldüğü 1100 °C'den hızla soğutulduklarında bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olmakta ve oda sıcaklığında karbonun difüzyon hızı çok düşük olduğundan, paslanmaz çeliklerin kullanımı esnasında oluşma durumu olmamaktadır. Ancak sıcaklığın 450 °C'nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı karbonun tane sınırlarında biriken karbonun kroma karşı olan yüksek ilgisi nedeniyle bu bölgede krom ile birleşerek krom karbür $[(Fe, Cr)_{23}C_6]$ oluşturmaktadır. Oluşan krom karbürün ağırlık olarak %90'ını krom oluşturduğundan tane sınırlarında bulunan çok az orandaki karbon bile östenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır (Şekil 3.10). Bu olay sonucunda paslanmaz çelik malzeme korozif bir ortamda bulunduğu kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşmaktadır. Bu şekilde ortaya çıkan taneler arası korozyon paslanmaz çelik malzemeyi çok kısa bir süre içerisinde kullanılmaz hale getirmektedir. Paslanmaz çelik malzeme içerisinde karbon miktarının artışına paralel olarak bu olay şiddetlenmektedir [81].

Östenitik paslanmaz çeliğin kaynağı esnasında eriyen bölge çok kısa bir süre içerisinde katılaştığından ve elektrot olarak kullanılan kısımların karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak dikişi için karbür çökme tehlikesi yoktur. Ancak ısı tesiri altında kalan bölge (ITAB) kaynak süresi boyunca, 500–900 °C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda karbon içeriğinin yüksek olması halinde östenit tane sınırları içerisinde taneler arası korozyona neden olan karbür çökmesi meydana gelmektedir. Başka bir çalışmada ısı tesiri altında kalan bölgenin 427–871 °C sıcaklığa kadar ısınan bölgede yer alan tane sınırında meydana gelen krom karbür çökmesi Şekil 3.8'de verilmiştir [4].

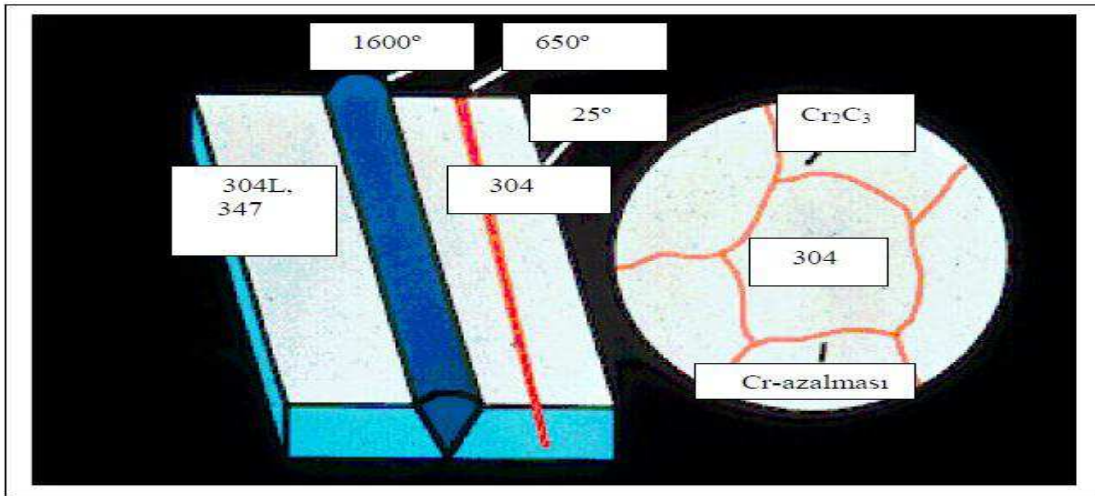


Şekil 3.8. 18Cr/8Ni (0.10 C)' lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi (X 1200) [4].

Krom karbür çökme esnasında bu bölgesel alanlarda Cr miktarında azalma olacağı için Şekil 3.9 ve 3.10'de görüldüğü gibi korozyon dayanımı düşmektedir.



Şekil 3.9. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon [4]



Şekil 3.10. Taneler arası korozyon oluşan bölge [84]

Tek paso ile yapılan ark kaynağında ITAB 650–750 °C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan daha az bir süre maruz kalmaktadır. Buna karşın çok pasolu kaynak yapılması halinde bu süre 3 dakikanın üzerine çıkmakta ve krom karbür çökmesi tehlikesi meydana gelmektedir. Karbür çökmesinin meydana gelebilmesi için, paslanmaz çeliğin içerisindeki karbonun belli bir miktarının üzerinde olması gerekmektedir. Karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzatacağından krom karbür çökme tehlikesi ortadan kaldırılacaktır. Bundan dolayı, kaynak ile birleştirilen östenitik paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğinin maksimum %0,06 optimum olarak da %0,03 civarında olması gerekmektedir. Bundan dolayı, bazı östenitik paslanmaz çeliklerde içerikteki karbon miktarı düşünülürse korozyon direncinin artırılması amaçlanmaktadır. Bu tip paslanmaz çelikler ELC (Extra Low Carbon) çelikleri olarak adlandırılmakta olup L tipi düşük karbonlu paslanmaz çelik malzemeler ve ilave materyallerin kullanılması ile krom karbür çökmesi önenebilir. Bunun yanında kaynak işleminin ön tav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulması, özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı bir soğuma sağlanması kritik sıcaklık aralığında kalma süresini kısa tutması açısından oldukça yararlıdır [4, 13, 82].

Taneler arası korozyonun oluşmasını önlemek amacıyla uygulanan diğer bir yöntem de stabilize edilmiş olan paslanmaz çelik malzemelerinin ve dolgu metallerinin kullanılmasıdır. Bu şekilde stabilizör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girerek krom miktarının azalmadan yapıda kalmasını sağlayacağından korozyon direncinde herhangi bir düşüş olmayacaktır. Paslanmaz çelik malzemelerinin içerisine stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niyobyum ve tantalyumdur.

Bu karbürler tane sınırları boyunca değil östenit taneleri içerisinde ince parçacıklar halinde dağılmış olduklarından çeliğin mekanik özelliklerinde herhangi bir değişiklik oluşturmazlar.

ITAB veya esas metalde krom karbür çökmesi oluştuğunda parça 1100 °C'ye kadar tavlansın su içinde yeniden soğutulduğunda yüksek sıcaklıkta östenit fazı içerisinde çözülmüş bulunan karbürler hızlı bir soğuma esnasında tekrar oluşamazlar.

Pratikte böyle bir işlemin uygulanması zor olduğundan krom karbür çökmesine eğimli olan %0,03'ten fazla karbon içeren östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynakçının alacağı en iyi önlem kaynak dikişini çektikten hemen sonra kaynak edilen parçayı ıslak bir bez ile hızla soğutmasıdır [81, 83].

3.6.2. Sıcak çatlak oluşumu

Östenitik paslanmaz çeliklerin üretiminde sıvı halden katılaşmaya başlandığında yapı içerisinde östenit ve ferrit taneleri oluşmaya başlar. δ -ferrit katılaşma esnasında meydana gelen ferrit olup bu yapı östenitin normal dönüşümü sonucunda oluşan ferrit değildir. Katılaşma esnasında östenit taneleri arasına serpilmiş δ -ferrit tanecikleri oluşmakta olup oluşan bu faz, krom ve ferriti dengeleyen elementler yönünden zengin, nikel ve östeniti dengeleyen elementler yönünden fakirdir. Bu faz sıcak şekil değiştirmeyi zorlaştırdığından malzemedeki sıcak çatlak oluşumunu teşvik etmektedir. Sıcak haddelemenin rahatlıkla gerçekleştirilmesi için malzeme içerisindeki nikel, mangan gibi östenit yapıcı element miktarlarının artırılması gerekmektedir. Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt ve fosfor gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük ergime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bahsedilen bu bileşimler kaynak sonrasında kaynak dikişinin içinde veya ısı tesiri altında kalan bölgede bulunduğu, tane sınırlarına doğru yayılmakta ve kaynak dikişinin soğuması esnasında çekme gerilimleri oluştuğunda sıcak çatlamalara neden olmaktadır.

Sıcak çatlak oluşumu ilave metalin ve ana metalin kimyasal bileşiminin östenit matrisle düşük oranlarda ferrit içeren bir mikroyapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenabilir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik – östenitik yapıya sahip tane sınırları oluşturarak sıcak çatlak oluşumunu engellemektedir [4].

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında oluşan δ -ferrit fazı sıcak çatlama eğilimini arttırmaktadır. Bu bakımdan δ -ferrit kristallerinin oluşumu katılaşmanın ilk safhasında kontrol edilmelidir. Bu durum östenitik paslanmaz çelik metalin sıcak çatlama direncinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak metalllerinde, kaynak metalinin kimyasal bileşiminin yardımıyla δ -ferritin miktarı kontrol altında tutulmaktadır [19].

Sıcak çatlama riskine karşı dayanım elde edebilmek için yapıdaki ferrit miktarının en az %4 olması önerilmektedir. Ferritin varlığı AWS A4.2'ye göre kalibre edilen manyetik ölçüm aletleriyle sağlıklı bir şekilde ölçülebilir. Bunun dışında; dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal analizi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak da bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan en bilineni ve en eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliştirilen "Schaeffler Diyagramı"dır. Bu diyagramda Cr eşdeğeri yatay ekseninde, Ni eşdeğeri ise dikey ekseninde yer almaktadır.

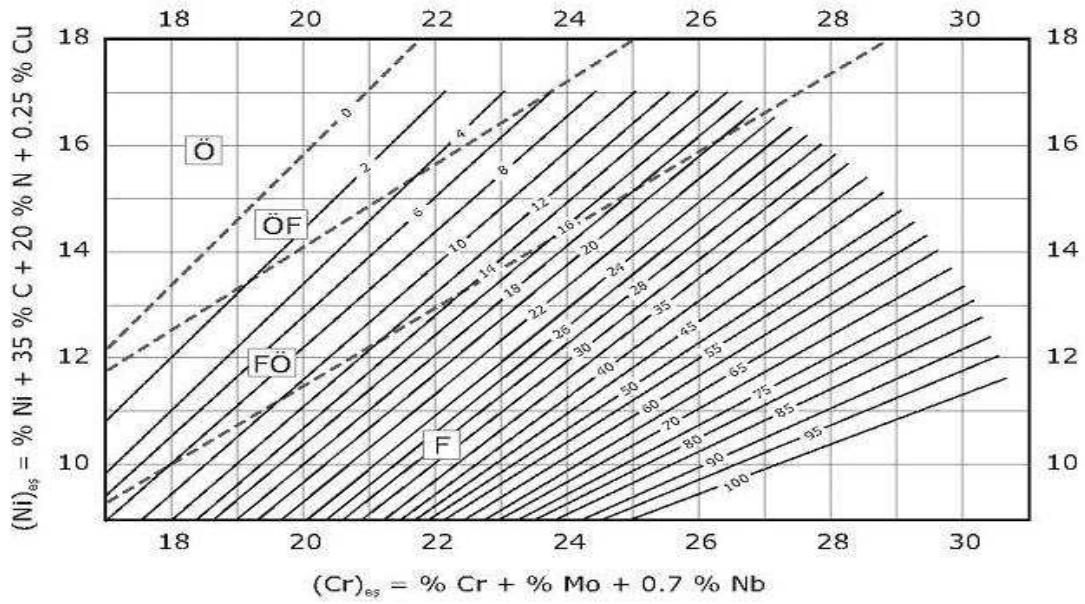
$$(Cr) e\text{ş} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb \quad (1.1)$$

$$(Ni)e\text{ş} = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn \quad (1.2)$$

Schaeffler diyagramı çok uzun yıllar kullanılmasına karşın, azotun etkisini hesaba katmaması ve diyagramdan elde edilen verilerin, konusunda bilgili birkaç ölçüm uzmanı tarafından belirlenen ferrit yüzdeleri ile farklılıklar göstermesi nedeniyle günümüzde etkinliğini kaybetmiştir.

1973 WCR-DeLong Diyagramı'nı Schaeffler Diyagramı'ndan ayıran en önemli özellik nikel eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN - Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir.

Ferrit numaraları, özellikle düşük seviyelerde, ferrit yüzdeleri ile yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagramıdır. Şekil 3.11.'de gösterilen WCR – 1992 Diyagramı'dır. ASM şartnamelerinin 1994–1995 kış döneminde yayınlanan eklerinde WCR-1992 diyagramı WCR, DeLong diyagramının yerini almıştır.



Şekil 3.11. Katılaşma faz sınırlarını da içeren WCR - 1992 diyagramı [85]

$$(Cr)_{eş} = \%Cr + \%Mo + 0.7 \%Nb \quad (1.3)$$

$$(Ni)_{eş} = \%Ni + 35 \%C + 20 \%N + 0.25 \%Cu \quad (1.4)$$

Görüldüğü gibi nikel ve krom eşdeğerleri Schaeffler ve WCR-DeLong diyagramlarından daha farklı olarak hesaplanmaktadır.

Ferrit numarası diyagramın nikel eşdeğerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay, krom eşdeğerini gösteren ekseninden yukarıya doğru dikey çizgiler çizilerek bulunur. Yatay ve dikey doğruların kesiştiği noktadan geçen çapraz çizgiler ferrit numarasını vermektedir [4].

WCR-1992 ve WCR-DeLong diyagramları 308 gibi sık kullanılan paslanmaz çelikler için benzer değerler verir. Ancak WCR-1992 diyagramı, özellikle yüksek alaşımlı malzemelerde, yüksek manganlı östenitik tipteki ya da östenitik-ferritik yapıdaki çift fazlı paslanmaz çelikler gibi daha seyrek kullanılan alaşımlarda daha kesin ve doğru sonuçlar vermektedir [4].

Ferrit numarası, ferritin manyetik olma özelliğinden yararlanılarak kaynak metali üzerinden ölçülebilir.

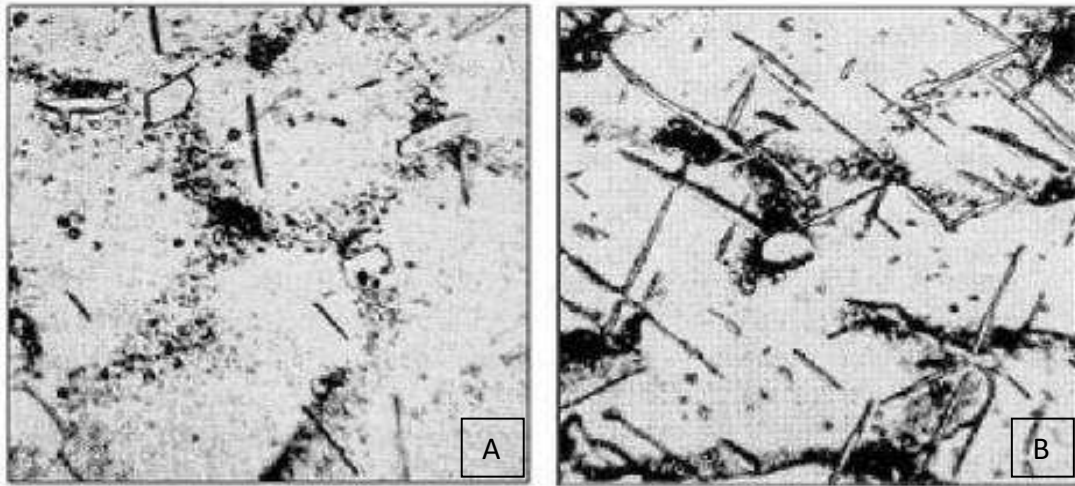
Bunun için ticari olarak satışa sunulan ve AWS A 4.2'ye göre kalibre edilmiş olan ve ferrit numarasının direkt olarak okunabildiği manyetik ölçüm cihazlarından, ferritescoplardan ve benzeri cihazlardan yararlanılabilir [4].

Ferrit miktarının sıcak çatlak oluşumundan korunmak için gereken orandan daha yüksek olmamasında ve belirli güvenlik sınırları içerisinde tutulmasında yarar vardır. Çünkü ferrit, bazı korozif ortamlarda, malzemelerin korozyon dayanımını düşürür ve yapıdaki aşırı ferrit miktarı süneklik ve tokluğu azaltır [4].

3.6.3. Sigma faz oluşumu

"Sigma Fazı", çok sert (700–800 Vickers), manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metaller arası bir bileşiktir. Röntgen ışını ile yapılan analizde bileşiminin yaklaşık olarak %52 krom ve %48 demirden oluştuğu ancak bunun yanında molibden gibi diğer alaşım elementlerini de içerebildiği görülmüştür. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur. Saf östenitik bir yapıdaki sigma fazı oluşum hızı, östenitik kütle içerisinde ferrit içeren yapıdakine oranla daha düşüktür.

Sigma fazı ile krom karbür çökmesi birbirinden tamamen farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılabilirliği 650-850 °C sıcaklıklar arasında görülür ve bu sıcaklık aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720 °C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının %3-4 ile sınırlı tutulması durumunda, östenit tanelerinin etrafı ferrit ile çevrilemeyecek ve kırılabilirlik riski önlenecektir. Buna karşın ferrit miktarının %12'yi geçmesi ile birlikte esneklik kabiliyeti hızla azalacaktır (Şekil 3.12) [86].



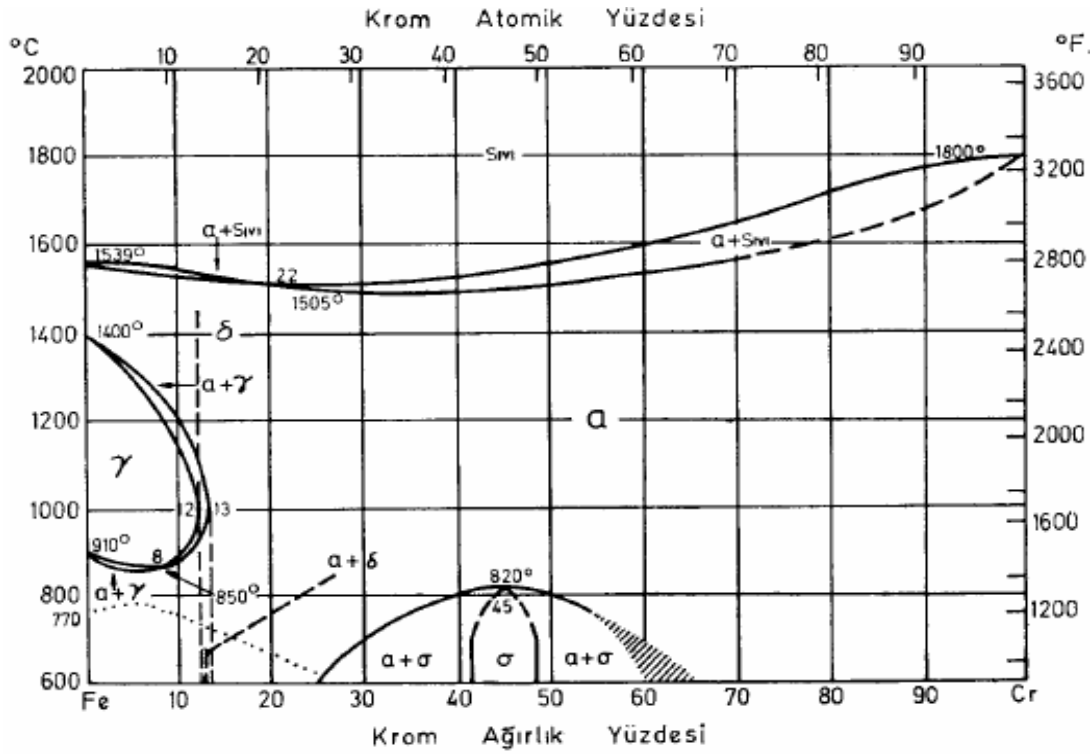
Şekil 3.12. . Paslanmaz çeliklerde sıcaklık ve zamana bağlı sigma fazı oluşumu a)780°C 'de 100 saat ısıtma işlemi uygulanması sonrası x1600 içyapı incelemesi b)780°C 'de 500 saat ısıtma işlemi uygulanması sonrası x1600 içyapı incelemesi

Bu sigma fazı çok sert, kırılabilir ve manyetik olmayan bir metaller arası bileşiktir (eşit atomlu Fe-Cr bileşiğinin çevresinde oluşur). Fe-Cr-Ni gibi üçlü alaşımlarda, belirli oranlarda bir üçüncü elementi eritebilir [40].

Sıcaklık arttıkça bu fazın mevcut olduğu alan azalır, 820°C civarında da hemen hemen yok olur. Her iki yönde $\alpha \rightarrow \sigma$ dönüşümü çok yavaş olur. 775 °C'ta $\alpha \rightarrow \sigma$ dönüşümü 36 saatte tamamlanırken 790 °C'ta 100 saat gerekmektedir. 810 °C'ta ise 300 saat sonra bu dönüşüm ancak başlar.

Çevre sıcaklığında çok kırılabilir olup ciddi çatlamalara yol açması, bu sert fazın sertlik değerinin belirlenmesini güçleştirmektedir. %48 Cr'lu bir alaşımda $\alpha \rightarrow \sigma$ tam dönüşümü ile elde edilmiş bir sigma fazının sertliği 68 Rockwell C mertebesindedir. Sigma fazı, onu meydana getiren alfa fazından daha yoğun olup $\alpha \rightarrow \sigma$ dönüşümü bir büzülme ile sonuçlanır.

Şekil 3.13'te gösterilen diyagramda Fe-C denge sistemi içinde sigma fazının (σ ve $\sigma + \alpha$) bulunuş alanlarını göstermektedir.



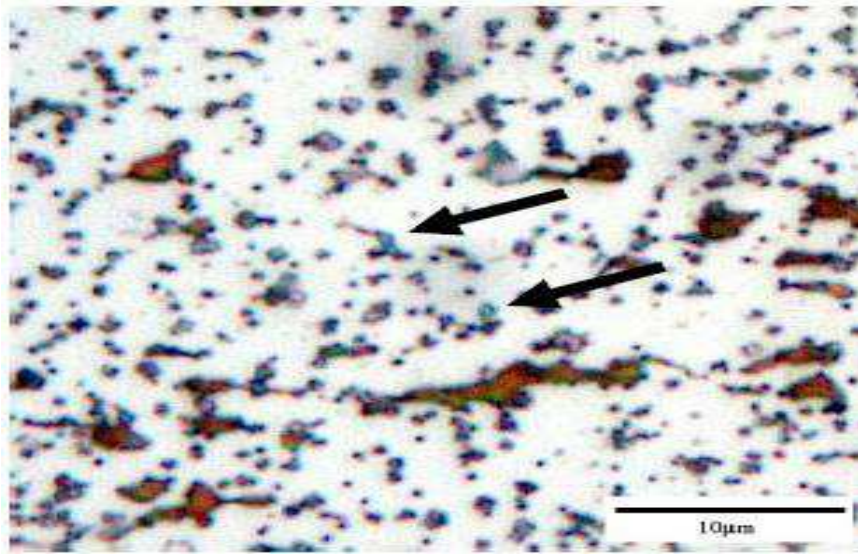
Şekil 3.13. Fe-Cr denge sistemi içinde sigma fazının (σ ve $\sigma + \alpha$) bulunuş alanları [40]

Sigma fazı konusunda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

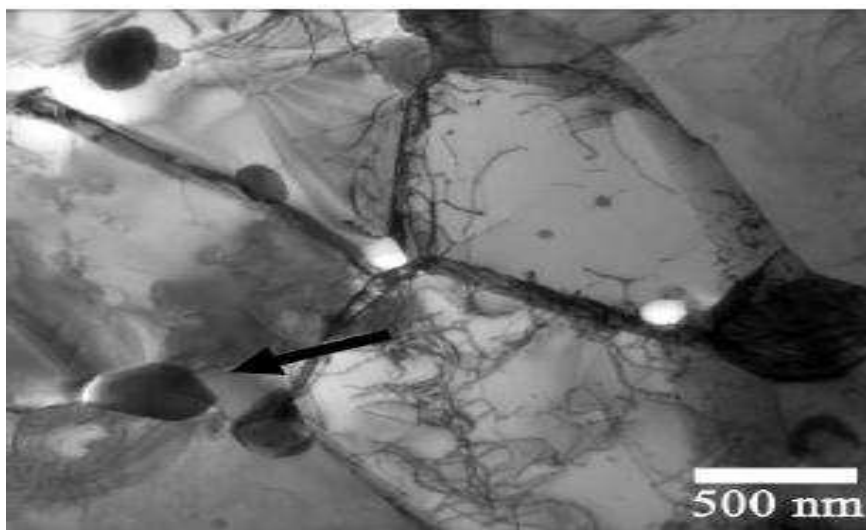
- Sigma fazının oluşumu için 750 °C'da 30 saat gibi bir zamana gereksinim varken bu süre 650 °C'da 1 haftaya çıkar.
- Sigma fazı oluşumu soğuk şekil değiştirme ile hızlanır.
- Sigma fazı oluşumuna kuvvetli olarak etki eden elementler; molibden, krom, niobyum ve silisyum'dur.
- Sigma oluşumunu hızlandıran elementlerin miktarı yüksek ise, belirli şartlar altında, kaynağa bağlı olmadan ve ısıl işlem uygulamadan da sigma fazı oluşabilir.
- Sigma fazı, 950–1100 °C sıcaklıklar arasında belirli bir süre tavlandıktan sonra, suda hızlı olarak soğutularak giderilebilir.
- Sigma fazının giderilmesi için uygulanan ısıl işlemde sonra oluşan yapıdaki ferrit miktarı, ısıl işlem uygulanmamış yapıdakine oranla daha azdır.
- Ferrit miktarı, parçaya 1150 °C'da homojenleştirme tavlaması uygulanarak daha da düşürülebilir. Bu durumda ferrit mikro toplanmalar şeklinde oluşur.

Sigma fazının neden olduğu kırılmalık, kaynak bölgesinin tavlama yapılmadan önceki durumunda içerdiği ferrit miktarına bağıdır. Eğer kaynak bölgesi başlangıçta %6,5 ferrit içerirse, sigma dönüşmesi çentik darbe dayanımının azalmasına neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğu için, ferrit östenitik yapı içerisinde ağ şeklinde değil, izole edilmiş odacıklar halinde meydana gelir. Bu yolla elde edilen sigma, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır [86, 87].

Aşağıdaki şekillerde oluşan sigma fazının optik mikroskop (Şekil 3.14) ve elektron mikroskobu (Şekil 3.15) ile görünüşleri verilmiştir.



Şekil 3.14 Optik mikroskop altında sigma fazının görünüşü [88]



Şekil 3.15 Taramalı elektron mikroskobu altında sigma fazının görünüşü [88]

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, yüksek korozyon direnci ve iyi biçimlendirilme kabiliyeti bakımından, östenitik paslanmaz çelik ailesi içinde en çok tercih edilen AISI 304L, 316Ti, 310S ve 321 türü malzemeler kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar için östenitik paslanmaz çelik malzemeler Tablo 4.1'deki ebatlarda lazerde kesilerek hazırlanmıştır.

Tablo 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin ölçüleri

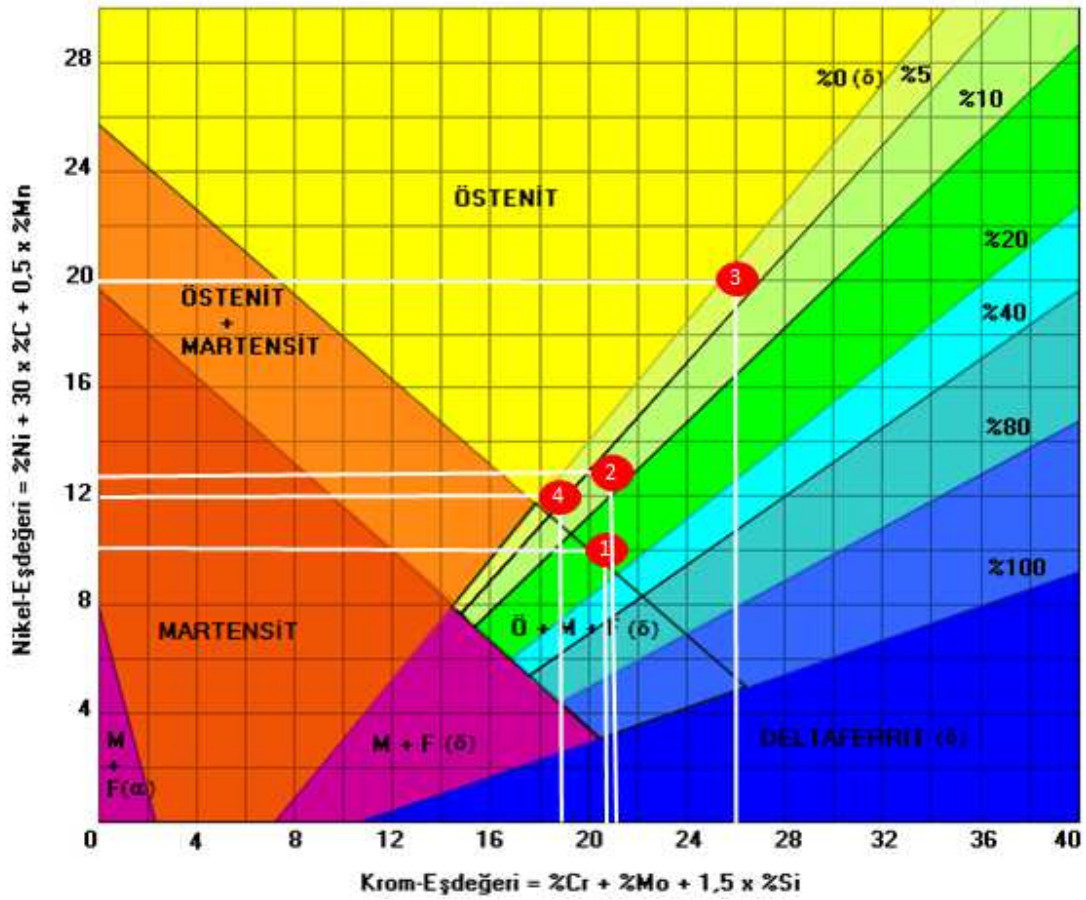
	Uzunluk (mm)	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
AISI 304L	220	140	1
AISI 316Ti	220	140	1
AISI 310S	220	140	1,5
AISI 321	220	140	2

Deneysel çalışmalar öncesinde, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynaklanabilirlikleri hakkında bir literatür araştırması yapılmış ve bu çeliklerin kaynak ile birleştirilmesinde başlıca üç çeşit problemin oluşabileceği sonucuna varılmıştır. Bunlar sırası ile; ısının etkisi altında kalan bölgede "Krom Karbür" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı, kaynak dikişinde görülen "Sıcak Çatlak" oluşumu ve yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "Sigma Fazı" oluşumu riskleridir.

Deneysel çalışmalara başlamadan önce bu problemleri daha kapsamlı irdeleyebilmek amacı ile numunelerin spektral analizi yapılmıştır. Bu veriler ışığında Schaeffler diyagramından yararlanarak krom ve nikel eşdeğerlikleri hesaplanmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Deney numunelerinin kimyasal analiz değerleri

Malzeme Adı	% C	% Cr	%Ni	%Si	%Mn	%Mo	%Ti	%Nb	Cr _{es}	Ni _{es}
AISI 304L	0,03	19,20	8,3	0,8	1,6	0,025	-	0,03	20,8	10
AISI 316Ti	0,05	17,6	10,96	0,81	1,49	2,04	0,307	0,02	20,85	13
AISI 310S	0,06	25,1	18,37	0,6	1,8	0,05	-	0,02	26,05	20,6
AISI 321	0,08	18,36	9,24	0,5	1,8	0,03	0,38	0,02	19,15	12,5



Şekil 4.1. Numunelerin Schaeffler diyagramında gösterimi

Şekil 4.1’de Schaeffler diyagramındaki konumları gösterilen numunelerin ferrit oranı aşağıda sıralanmıştır.

- 304L (1) kalite numune schaeffler diyagramına göre yaklaşık %10 ferrit içermektedir
- 316Ti (2) kalite numune schaeffler diyagramına göre yaklaşık %7 ferrit içermektedir.

- c) 310S (3) kalite numune schaeffler diyagramına göre yaklaşık %1 ferrit içermektedir.
- d) 321 (4) kalite numune schaeffler diyagramına göre yaklaşık %5 ferrit içermektedir.

Bu bilgiler ışığında numunelerin hiçbirinde sıcak çatlak oluşum tehlikesinin olmadığı sunucuna varılmıştır. Aynı şekilde δ - ferrit oranının % 12'yi geçmemesi süneklik açısından olumlu olarak değerlendirilmiştir.

4.1. Kaynak İşlemi

Deney numunelerinin tamamı 220x70 ebatlarında lazer ile ortadan kesilerek kaynak işlemine hazırlanmıştır. Numuneler Tablo 4.3'te görüldüğü üzere TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kaynak işlemi her bir kalite paslanmaz çelik numunesi için alın kaynağı ile tek paso şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4.3. Kaynak işlemlerinde kullanılan parametreler

Kullanılan TIG Kaynak Makinesi:	Franius Magic Wave 3000
Kullanılan Akım:	DC (Doğru Akım)
Kullanılan Gaz:	Argon
Gaz Akış Debisi:	17L/dk
Elektrot Çapı / Tipi:	Tungsten/2,4mm
Nozul Çapı:	7,9mm
Kaynak Hızı:	3,5mm/s
Kaynak Akımı:	80A
Dolgu Teli Tipi / Çapı:	308 Kalite/2,4mm
Elektrot kutbu:	Negatif (-)

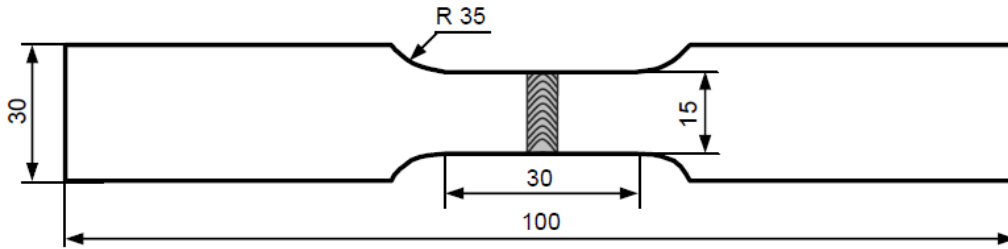
4.2. Numune Hazırlama

Kaynakla birleştirilmiş numunelerin zarar görmemesi için kesme işlemleri lazer ile gerçekleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerden dörder adet çekme, üçer adet eğme, birer adet mikroyapı ve sertlik deneyleri için numuneler çıkarılmıştır.

4.3. Çekme Testi

Kaynakla birleştirilmiş parçalar için TS 287 EN 895'e göre çekme testi uygulanmıştır. Bu standard, bir alın kaynaklı birleştirmenin çekme dayanımını ve kırılma yerini tespit etmek için yapılan enine çekme deneylerinde kullanılan deney numunelerinin ölçülerini ve deney prosedürünü kapsamaktadır. Kaynaklı bir birleştirmeden, enine olarak alınan bir deney numunesine, ortam sıcaklığında (23 ± 5 °C) kopuncaya kadar artan bir çekme yükünün sürekli uygulanmasıdır. Standarda göre fazla kaynak metali giderilecek şekilde talaş kaldırma işlemine tabi tutulmalıdır. Ayrıca, deney numunesini çıkarmak için kullanılan mekanik veya ısıl işlemler deney numunesinin özelliklerini hiçbir şekilde değiştirmemelidir.

Numuneler standartta verilen bilgiler doğrultusunda lazer ile kesilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan çekme test numunesinin ölçüleri Şekil 4. 2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çekme test numunesi ölçüleri

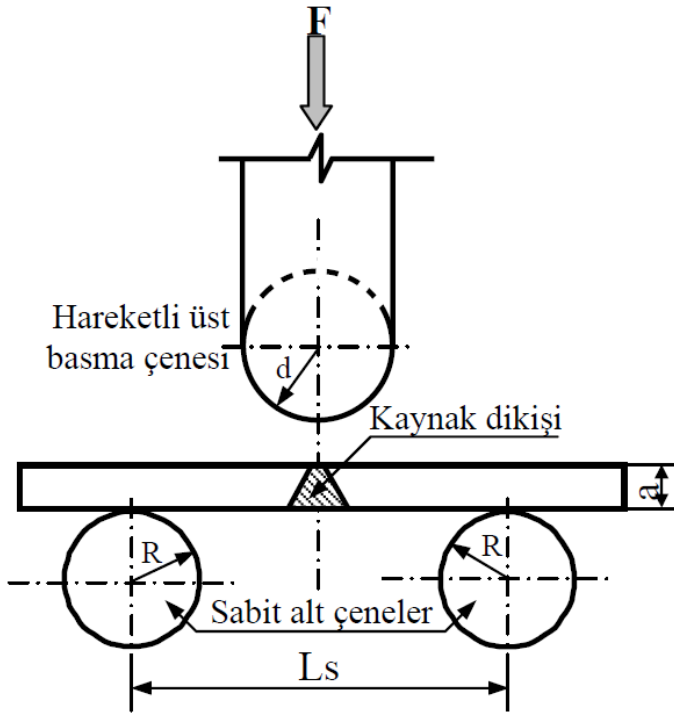
Her bir kalitenin kaynaklı bölgesinden 4, ana malzemesinden ise 3 adet olarak hazırlanan çekme numuneleri, oda sıcaklığında INSTRON 5900 tipi cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında teste tabi tutulmuştur. Test video ekstensometre ile de takip edilmiştir.

4.4. Eğme (Üç Nokta) Testi

İki destek üzerine serbest olarak yerleştirilen daire veya dikdörtgen kesitli bir deney parçasının ortasına bir kuvvet uygulandığında meydana gelen şekil değişimine eğme denir. Standartlarda (TS 282 EN 910) eğme deneyinin yapılışının sebebinin; kaynaklı birleştirmenin yüzeyindeki veya yakınındaki sünekliliğini ve/veya

birleştirme yüzeyinde veya yüzeye yakın kusurların mevcut olup olmadığını değerlendirmek için yapıldığı belirtilmektedir. Ayrıca bu standartta, herhangi bir ergitme ark kaynak işlemiyle yapılmış kaynaklı birleştirmelere sahip metalik malzemelerin bütün mamul biçimlerine uygulanır olduğu belirtilmektedir.

Eğme deney numuneleri 20x120 mm ebatlarında lazer ile kesilerek TS 282 (EN 910)'da belirtilen şartlara göre hazırlanmıştır (Şekil 4.3). Deney INSTRON 5900 tipi cihaz ile 2 mm/dk ilerleme hızında uygulanmıştır. Mesnetler arası mesafe 35mm ve silindir uçların çapı da 10mm'dir. Her bir kaynaklı deney parçasından 3'er adet eğme deneyi numunesi hazırlanmıştır.



Şekil 4.3. Eğme deneyinin uygulanışı.

Deney esnasında kaynaklı numunelerin kaynak dikişinin sabit alt çeneler arasındaki açıklığın tam ortasında olmasına ve uygulanan yükün sürekli olmasına özen gösterilmiştir. Uygulanan kuvvetin etkisi ile deney parçası kesitinin bir kısmında basma gerilimi, geri kalan kısmında da çekme gerilimi meydana gelmektedir. Eğme işlemine numuneler 90°'ye ulaşıncaya kadar devam edilmiştir.

4.5. Sertlik Testi

Bu çalışmada, TIG kaynak yöntemiyle birleştirilmiş alın kaynaklı numunelerin sertlik ölçümleri, LEICA VMHT MOT marka cihaz ile Vickers cinsinden ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde 15sn sürede 50 g yük kullanılmış ve her bir bölgede gerçekleştirilen 3 ölçüm sonucunun ortalaması alınmıştır.

4.6. Mikroyapı Çalışmaları

Bilindiği gibi numunelerin yüzeyinde, kesilen aletin kesme izleri bulunur. Ayrıca kesme esnasında numunenin yüzeyi bir miktar deforme olur. Numuneyi orijinal yapı temsil ettiğinden, toplam deformasyona uğramış tabakanın ortadan kaldırılması zımparalama ve parlatmanın amacıdır.

Kaynaklı deney numuneleri incelenmek üzere, su sirkülasyonlu, abrasif diskli, STRUERS marka kesme makinesi yardımıyla kesilerek kalıplamaya hazır hale getirilmiştir.

Kesilen numuneler metalografik incelemeyi kolaylaştırmak adına STRUERS LABO PRESS-1 marka cihaz ile bakalite alınmıştır. Bakalit olarak iletken bakalit tozu tercih edilmiştir.

Bakalite alınan numuneler SiC zımpara kağıtları ile zımparalandı. Bu çalışmada METASERV 2000 cihazında 60, 120, 180, 240, 320, 400, 500, 600, 800 ve 1000 no'lu zımparalar kullanılmıştır.

Parlatma işlemi, dönen bir disk üzerine yerleştirilmiş çuha ile gerçekleştirilmiş ve bu çuha üzerine de 1 µm'lik alümina çözeltisi emdirilmiştir. Parlatma işlemleri esnasında 300 dev/dk hız kullanılmış olup, her bir numune 20 dakika süreyle disk üzerinde yük uygulanmaksızın tutulmuştur. Bu işlem STRUERS DAP-3 cihazında gerçekleştirilmiştir.

Parlatma işlemi tamamlanan numunelerin mikroyapılarının görülebilmesi için dağlama işlemi uygulanmıştır. Dağlama işlemi, numunelerin kral suyu (10ml HNO₃ + 30ml HCL) çözeltilisine 15sn daldırılması ile gerçekleştirilmiştir.

Dağlama işleminden sonra saf alkol ile temizlenen numunelerin mikroyapıları NIKON EPIPHOT 200 marka optik mikroskop ile aracılığı ile incelenmiştir.

Optik mikroskopta mikroyapı incelemesinin ardından ana metal, ITAB ve kaynak bölgesine ait mikroyapıları ve fazları çok daha net bir şekilde incelemek amacıyla SEM ve EDS analizleri yapılmıştır. Bu analizler JEOL JSM-6060LV marka SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

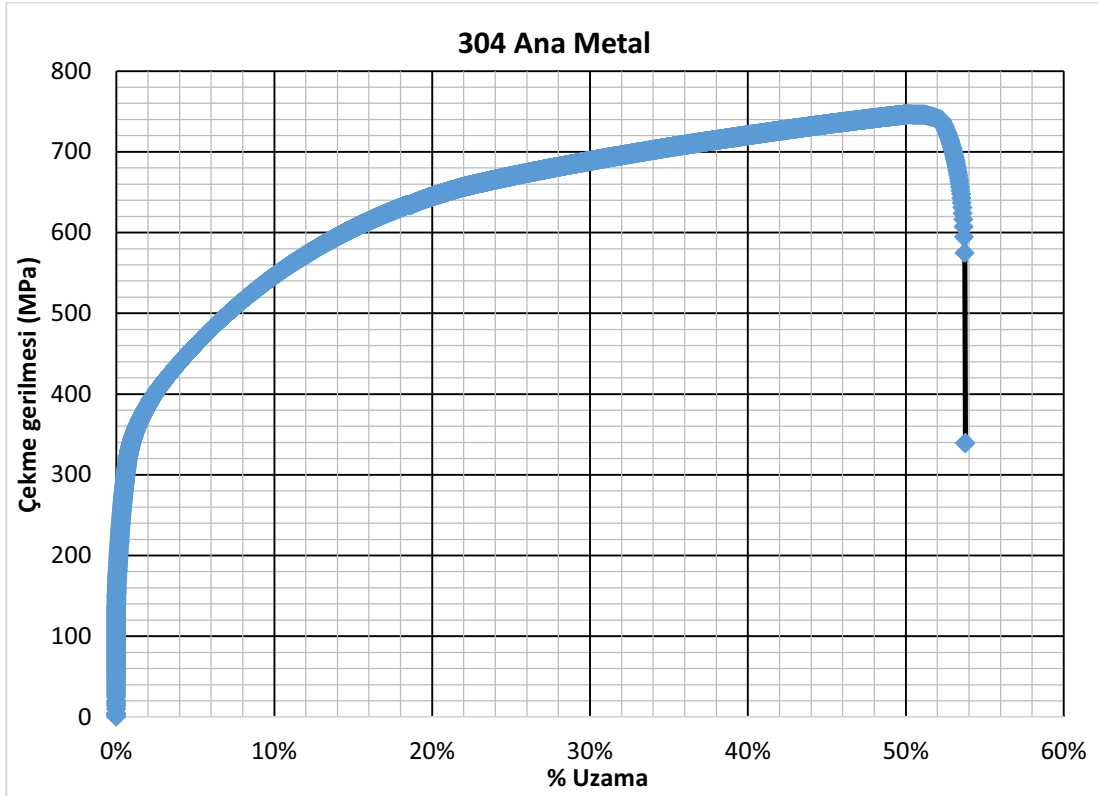
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

TIG kaynak yöntemiyle aynı parametreler kullanılarak yapılan her bir kaynaklı numuneden dörder adet ve ana metalden üçer adet çekme numunesi alınıp oda sıcaklığında test edilerek ortalama değerleri alınmıştır.

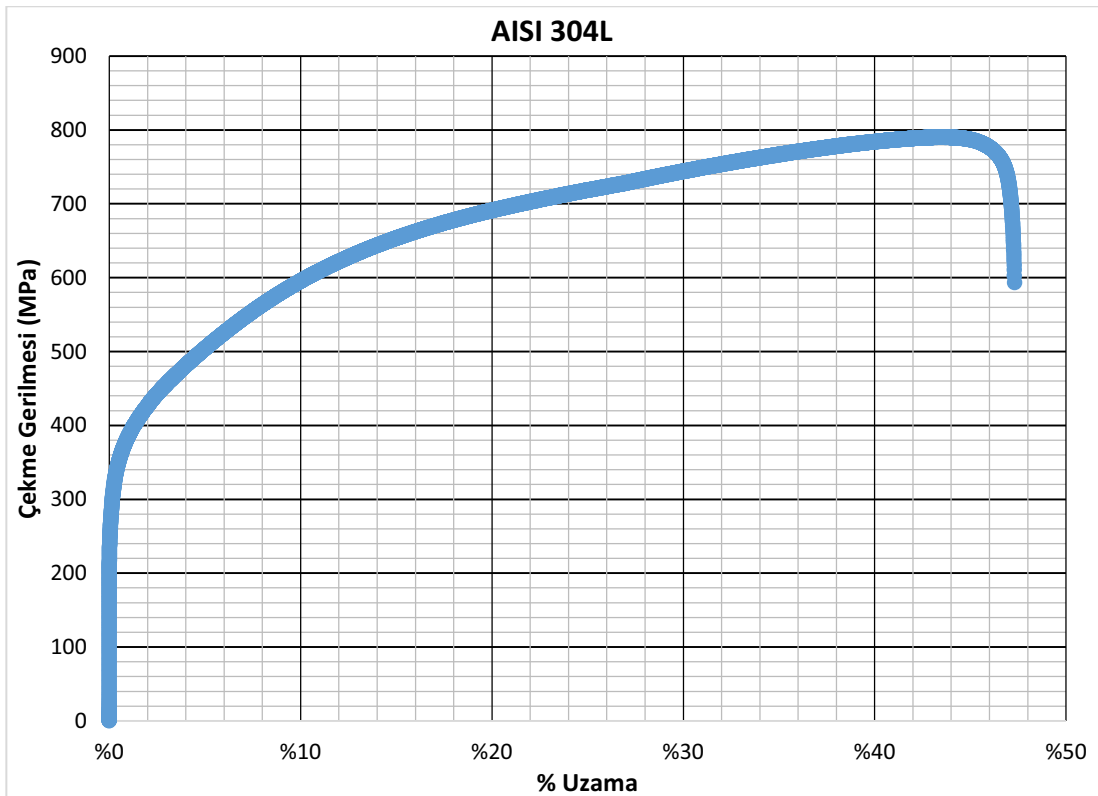
TS 287 EN 895'e uygun olarak gerçekleştirilen çekme deneylerinde elde edilen sonuçlar Tablo 5.1'de ve grafiksel olarak Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Çekme testi değerleri

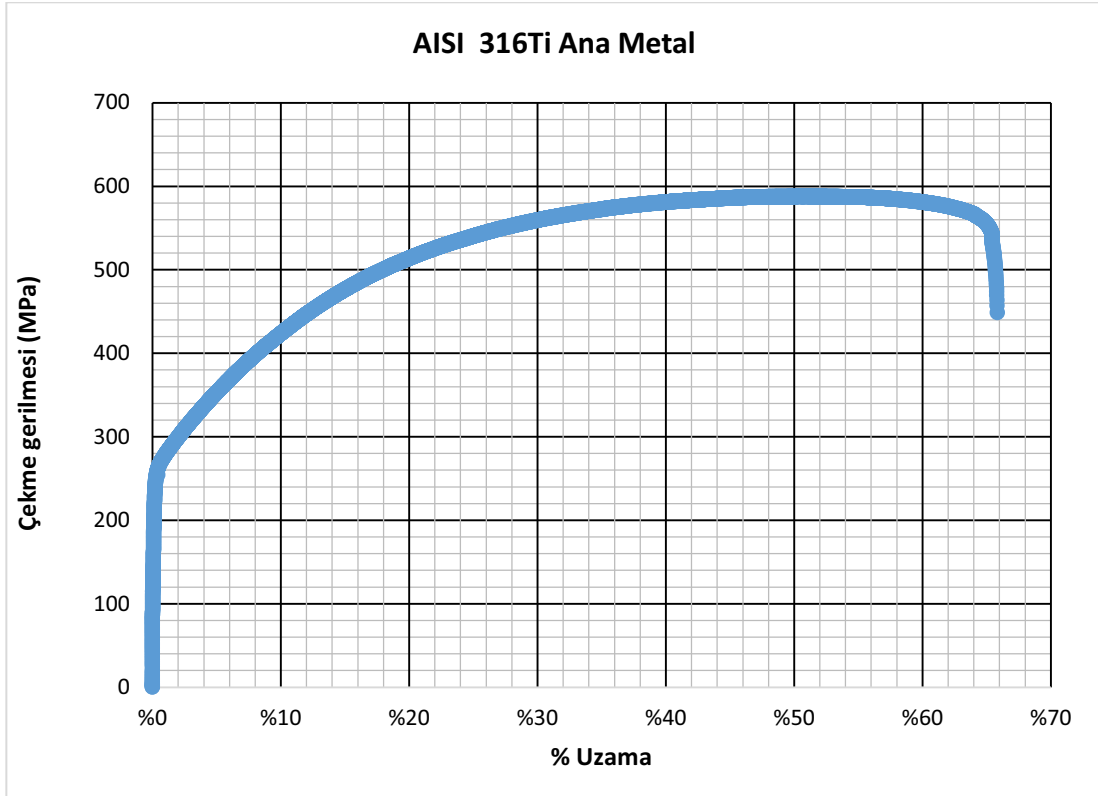
Numune Adı	Çekme Mukavemeti (Mpa)	Akma Mukavemeti (Mpa)	% Uzama
AISI 304L	790	315 ±5	47,3
AISI 304L Ana metal	735	245 ±5	53,85
AISI 316Ti	603	270	53,8
AISI 316Ti Ana metal	587	235	65,85
AISI 321	608	290	55
AISI 321 Ana metal	595	250	67
AISI 310S	623	335	37
AISI 310S Ana metal	590	276	47



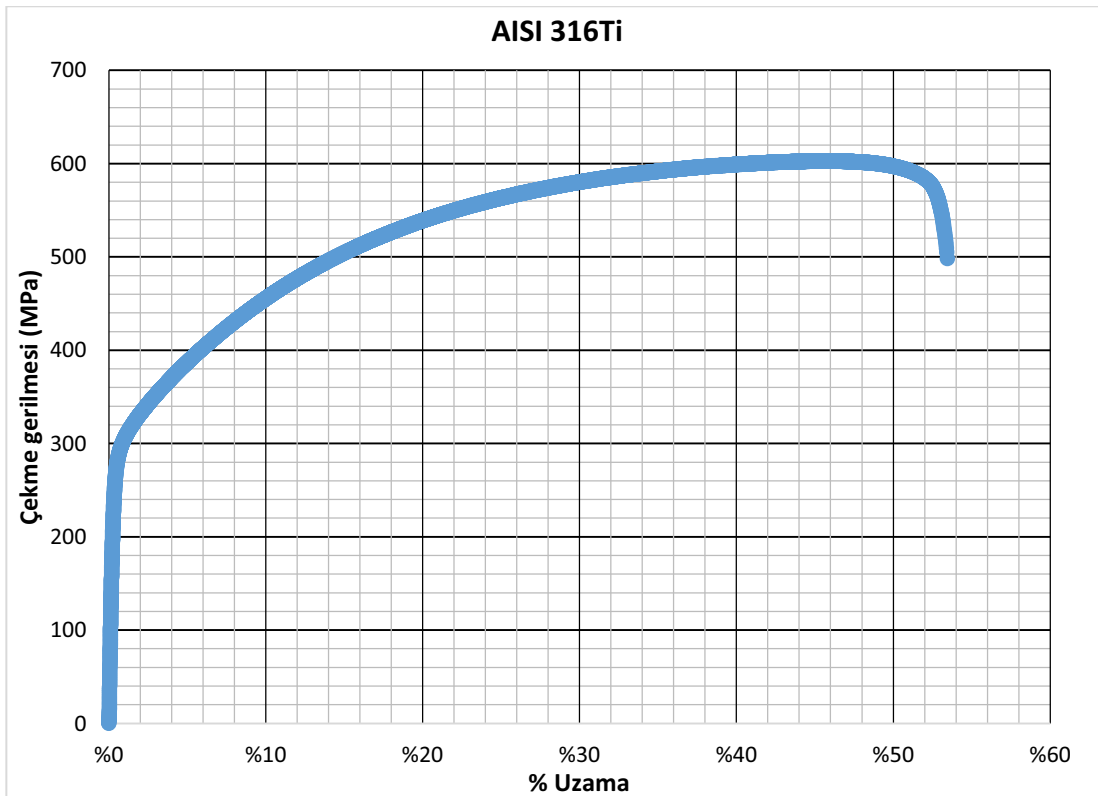
Şekil 5.1. AISI 304L numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği



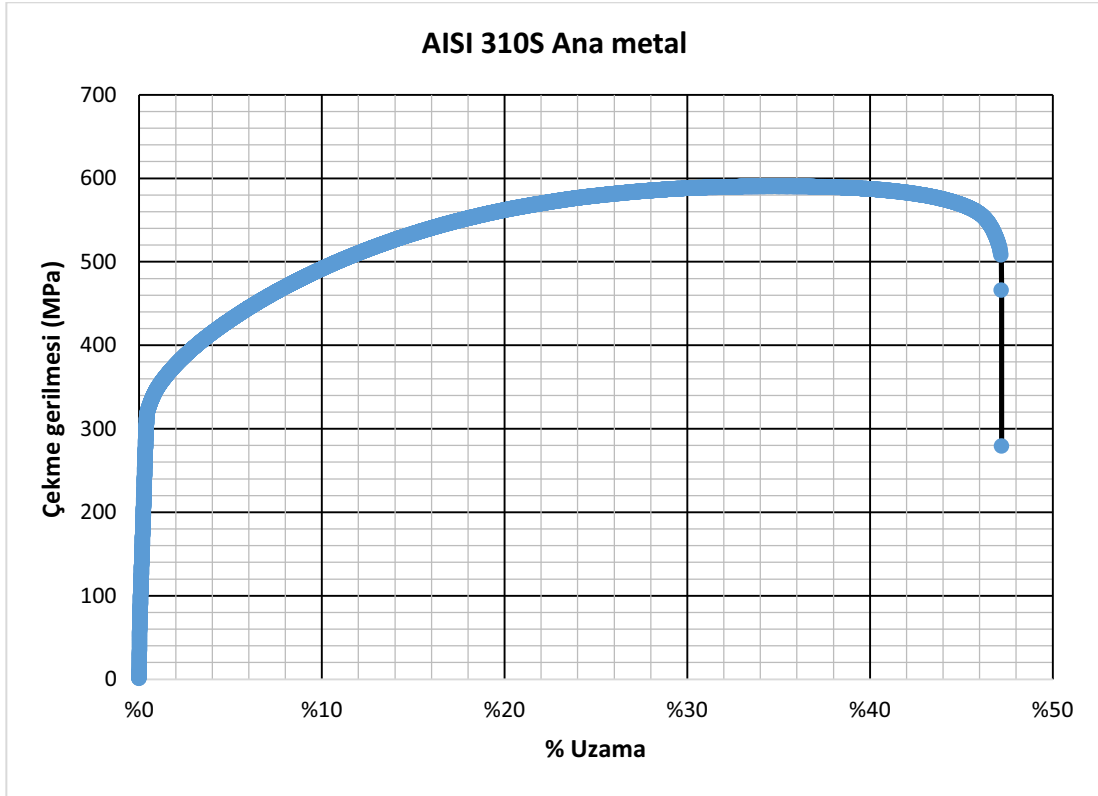
Şekil 5.2. AISI 304L numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği



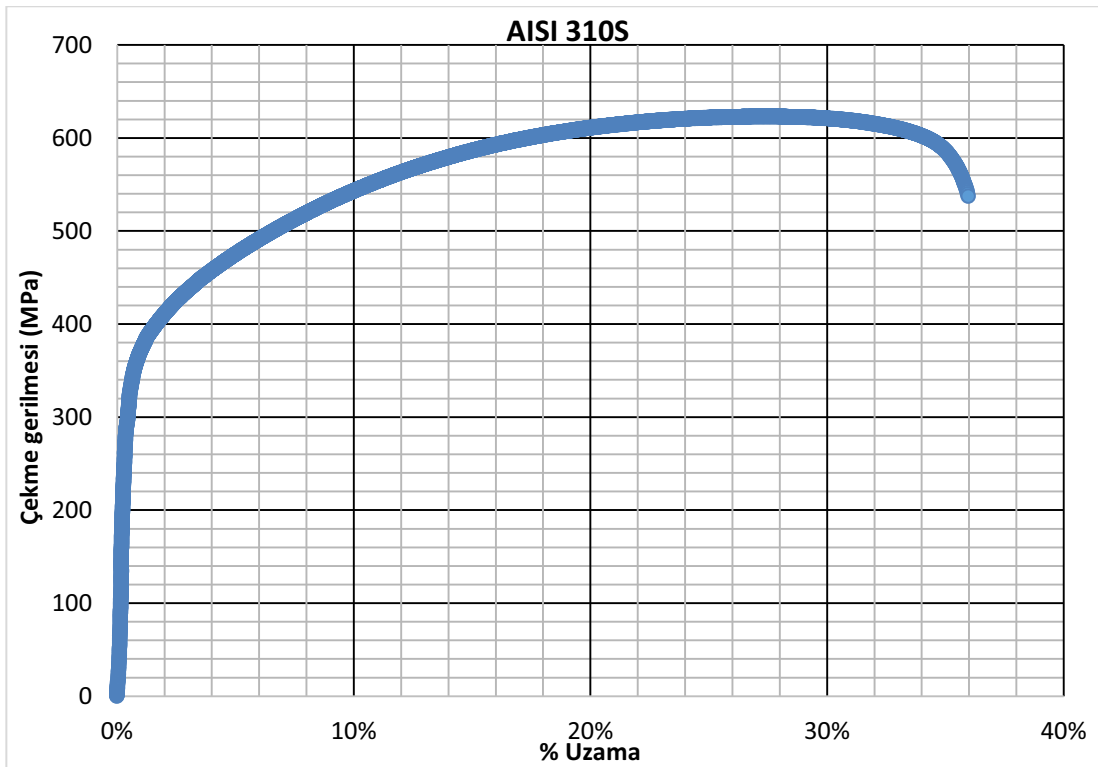
Şekil 5.3. AISI 316Ti numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği



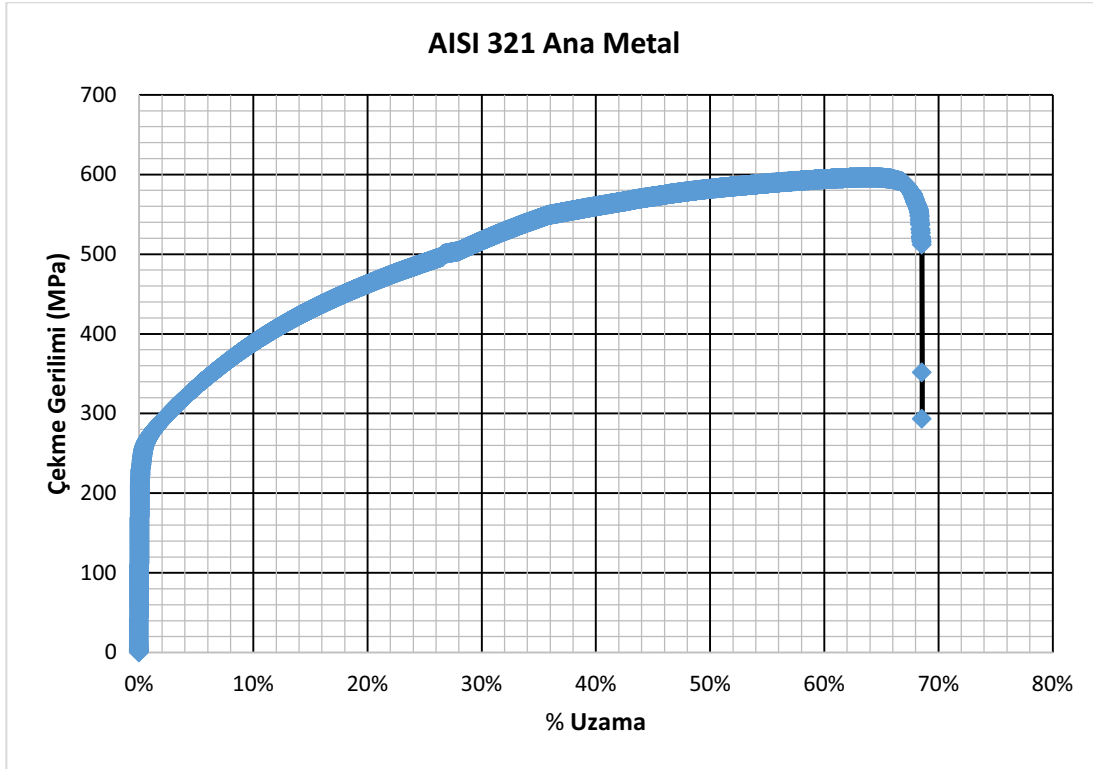
Şekil 5.4. AISI 316Ti numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği



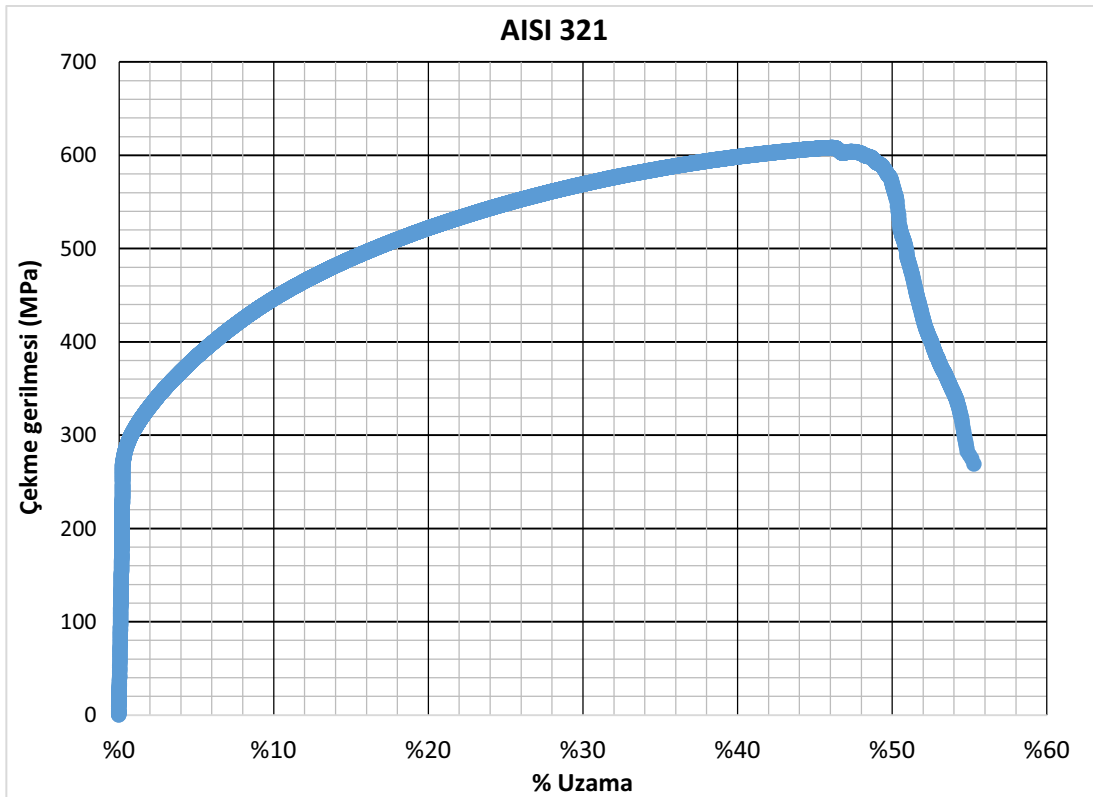
Şekil 5.5. AISI 310S numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği



Şekil 5.6. AISI 310S numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği



Şekil 5.7. AISI 321 numunesine ait ana metal gerilme - uzama grafiği



Şekil 5.8. AISI 321 numunesine ait kaynaklı gerilme - uzama grafiği

Çekme deneyi uygulanan tüm numunelerde kopma durumu ITAB bölgesinde gözlenmiştir. Bu durum bize kaynağın sağlıklı olduğu bilgisini vermektedir. Kaynak esnasında malzemelere verilen ısı en çok ITAB'da etkili olmakta ve bu bölgede ısı girdisi artışına bağlı olarak tane irileşmesi de artmaktadır. Bilindiği gibi iri taneli yapıların dayanımı ince taneli yapılara göre daima düşük olmaktadır.

Kaynaklı bağlantılarda, kaynak dikişi mukavemetinin, her zaman esas metale nazaran daha sağlam olması istenmektedir. Aksi takdirde kaynak metalinden kopma oluşması halinde kaynak metalinde büyük hata olduğu ya da ilave metalin veya kaynak parametrelerinin uygun seçilmediği anlaşılır. Kaynaklı numunelerin tümünde, ölçülen çekme dayanımlarının ana metalden ölçülen çekme dayanımlarından daha yüksek olduğu Tablo 5.1'de görülmektedir.

AISI 304L kalite numunenin orijinal çekme dayanımı 735 MPa, % uzaması ise 53,85'tir. Bu numunenin TIG kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda çekme dayanımı 790 MPa, % uzaması ise 47,3 olarak ölçülmüştür. Çekme dayanımında görülen farklılık kaynak metalinde oluşan δ -ferritler, kaynak işleminde kullanılan ilave metalin çekme dayanımının ana malzemedn daha yüksek olması ve karbürlerin kaynak metali içerisinde dağılmasından kaynaklanabilir. AISI 304L kalite paslanmaz çeliklerin içeriğindeki karbon oranının çok düşük olmasına rağmen niyobyum oranının diğer numunelere nazaran daha yüksek olması çekme dayanımının yüksek çıkmasındaki sebeplerden biridir. Ayrıca içerisindeki yaklaşık %10 δ -ferrit fazı da deformasyon özelliklerini olumsuz etkileyip eğme mukavemetini arttırmıştır. % Uzama kaynaklı metalde daha düşük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre kaynak işlemi sonrası ana metalin sünekliği bir miktar azalma göstermiştir. Bu durum kaynak işleminden dolayı oluşan ısı girdisinden ve ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşiminin farklılığından kaynaklanabilir.

AISI 316Ti kalite numunenin orijinal çekme dayanımı 587 MPa, % uzaması ise 65,85 olarak ölçülmüştür. Bu numunenin TIG kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda çekme dayanımı 603 MPa, % uzaması ise 53,8 olarak ölçülmüştür. Bu durum kaynak metalinde oluşan δ -ferritler, kaynak işleminde kullanılan ilave metalin çekme dayanımının ana malzemedn daha yüksek olması ve karbürlerin kaynak

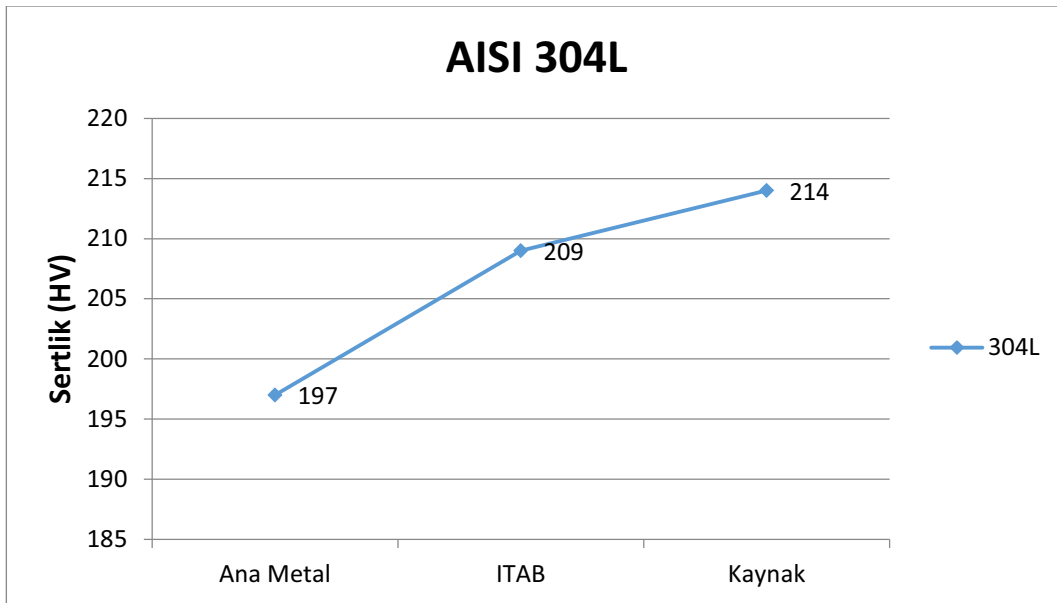
metali içerisinde dağılmasından kaynaklanabilir. % Uzama kaynaklı metalde daha düşük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre kaynak işlemi sonrası ana metalin sünekliği bir miktar azalma göstermiştir. Bu durum kaynak işleminden dolayı oluşan ısı girdisinden ve ilave kaynak metallerinin kimyasal bileşiminin farklılığından kaynaklanabilir. Bu numunenin AISI 304L numunesine göre daha yüksek uzama göstermesinin sebebi içerisinde sünekliği artırıcı bir element olan Titanyum barındırması olabilir.

AISI 321 kalite numunenin orijinal çekme dayanımı 595 MPa, % uzaması ise 67 olarak ölçülmüştür. Bu numunenin TIG kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda çekme dayanımı 608 MPa, % uzaması ise 55 olarak ölçülmüştür. Kaynak işlemi sonrası çekme dayanımının artması; kaynak metalinde oluşan δ - ferritler, kaynak işleminde kullanılan ilave metalin çekme dayanımının ana malzemedenden daha yüksek olması ve karbürlerin kaynak metali içerisinde dağılmasından kaynaklanabilir. Ayrıca ana metal bileşimindeki Ti ve Nb miktarı nedeniyle çökmesi muhtemel olan karbürlerinde dislokasyon hareketini zorlaştırması nedeniyle, akma ve çekme dayanımlarını artırmış olabileceği de düşünülmektedir. % Uzama kaynaklı metalde daha düşük çıkmıştır. Bu durum kaynak işlemi sonrası ana metalin sünekliğinin bir miktar azaldığını göstermektedir. % uzamanın daha düşük çıkması kaynak işleminden dolayı oluşan ısı girdisinden ve ilave kaynak metalinin kimyasal bileşiminin farklı olması ile açıklanabilir.

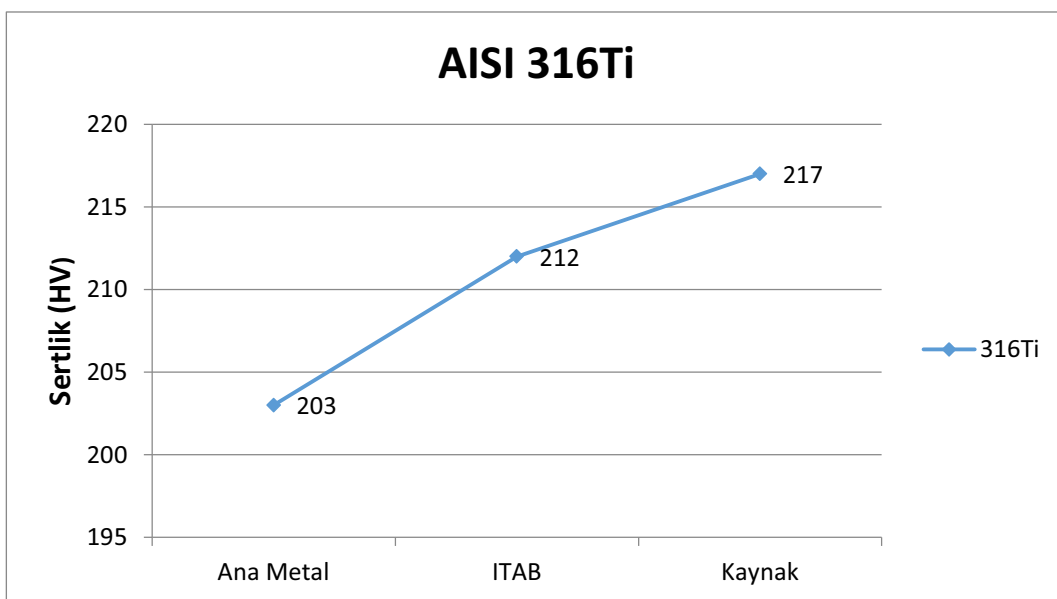
AISI 310S kalite numunenin orijinal çekme mukavemeti 590 MPa, % uzaması 47 olarak ölçülmüştür. Bu numunenin TIG kaynağı ile birleştirilmesi sonucunda çekme dayanımı 623 MPa, % uzaması ise 37 olarak ölçülmüştür. % Uzama kaynaklı metalde daha düşük çıkmıştır. Bu sonuçlara göre kaynak işlemi sonrası ana metalin sünekliği bir miktar azalma göstermiştir. Bu malzemenin % uzama verilerinin dört numune içerisinde en düşük olmasının sebebi olarak içerdiği oldukça düşük δ - ferrit oranı ile açıklanabilir.

5.2. Sertlik Testi

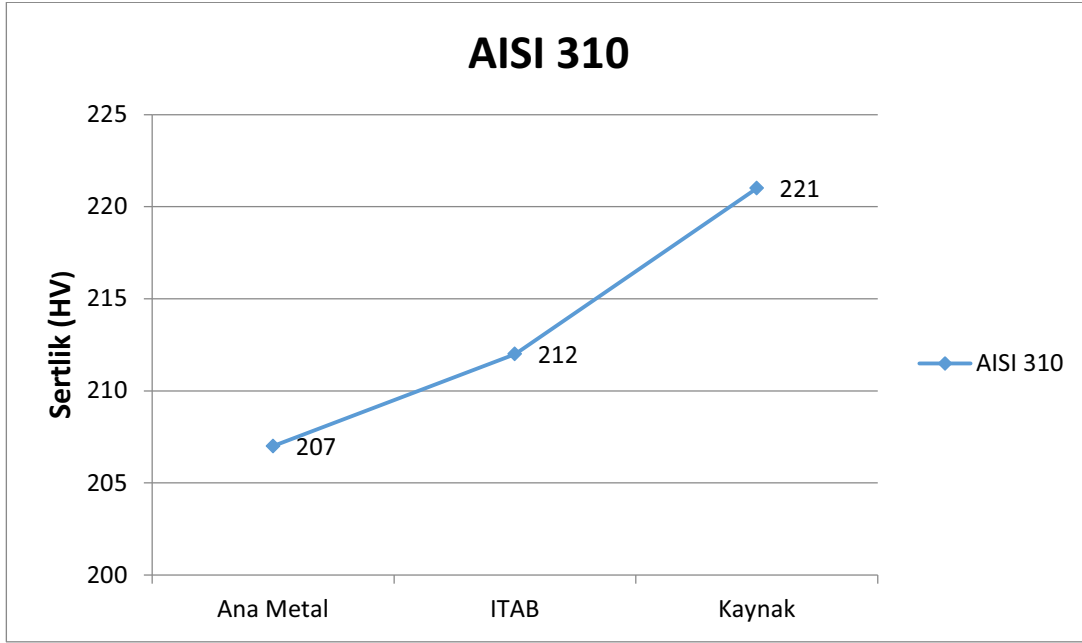
TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen 304L, 316Ti, 321 ve 310S kalite östenitik paslanmaz çelik malzemelerde sertlik ölçümleri Vickers yöntemiyle yapılmıştır. Numunelerin sertlik ölçümünde 50g ağırlık kullanıldı. Her bir bölgeden üçer adet ölçüm alınmıştır. Ana malzemeden, kaynak bölgesinden ve ITAB'dan alınan sertlik ölçümlerinin ortalamaları Şekil 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 ve Tablo 5.2'de verilmiştir.



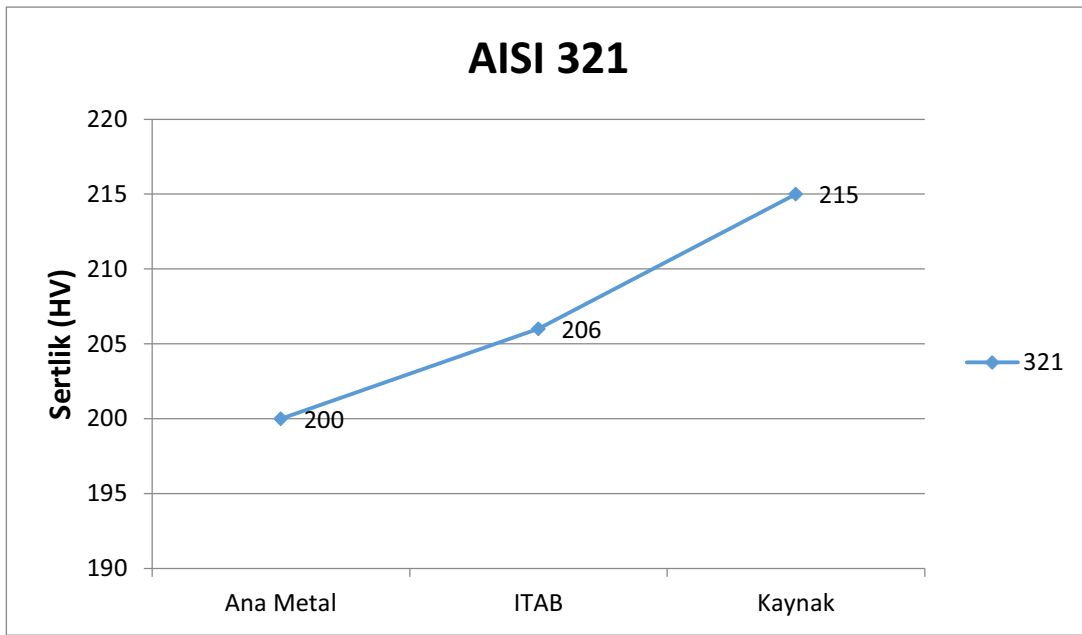
Şekil 5.9. AISI 304L kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri



Şekil 5.10. AISI 316Ti kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri



Şekil 5.11. AISI 310S kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri



Şekil 5.12. AISI 321 kalite paslanmaz çelik sertlik değerleri

Tablo 5.2. Sertlik ölçüm değerleri

Numune Adı	Ana Metal (HV)	ITAB (HV)	Kaynak Bölgesi (HV)
AISI 304L	197	209	214
AISI 316Ti	203	212	217
AISI 310S	207	212	221
AISI 321	200	206	215

Sertlik deneyinin sonuçları genel olarak incelendiğinde kaynak bölgesinden esas metale doğru sertlikte bir düşüş göze çarpmaktadır. Malzemeler arasında en yüksek ana metal sertliğine sahip malzemenin AISI 310S kalite numunesi olduğu görülmektedir.

Malzemeler arasında en yüksek ana metal sertliğine sahip malzemenin AISI 310S kalite numunesi olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak ana metalin kimyasal kompozisyonundaki Cr oranının, diğer numunelere oranla yüksek olması gösterilebilir. En düşük ana metal sertliği ise AISI 304L kalite numunede görülmektedir. Düşük C oranı bu durumun oluşmasında etkili olmuş olabilir.

Her numune için ayrı ayrı bakacak olursak, sertlik değerleri ana metalden kaynak bölgesine gittikçe artmaktadır. ITAB bölgesinin ana metalden daha yüksek bir sertliğe sahip olmasının sebebi olarak ısı girdisinden dolayı büyüyen taneler gösterilebilir. Kaynak metalinin en sert bölge olması ise ilave metalin kimyasal içeriğine ve ısı girdisi ile birlikte meydana gelen kalıntı gerilmeler ile açıklanabilir.

5.3. Eğme (üç nokta) Testi

TIG kaynak yöntemiyle aynı parametreler kullanılarak yapılan her bir kaynaklı numuneden dörder adet eğme numunesi alınıp oda sıcaklığında test edilerek ortamala değerleri alınmıştır.

TS 282 EN 910'e uygun olarak gerçekleştirilen eğme deneylerinde elde edilen sonuçlar Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Eğme testi değerleri

Numune Adı	Numune Boyu (L) (mm)	Numune Eni (w) (mm)	Numune Kalınlığı (t) (mm)	Eğme Yüğü (P) (kg)	Eğme Gerilmesi (kg/mm ²) Te= $3 * p * L / 2 * w * t^2$	Eğilme Momenti (kg.mm) Me=P*L/4	Göz İle Muayene Sonucu
AISI 304L	120	20	1	89,1	802	2673	Çatlama Gözlenmedi
AISI 316Ti	120	20	1	72	648	2160	Çatlama Gözlenmedi
AISI 310S	120	20	1,5	162	660	4860	Çatlama Gözlenmedi
AISI 321	120	20	2	273	614	8190	Çatlama Gözlenmedi

90° olarak yapılan eğme deneyleri sonucunda göz ile yapılan incelemelerde numunelerin kaynak bölgelerinde herhangi bir çatlama, yırtılma vb. hatalar görülmemiştir.

Yapılan eğme deneyleri sonucunda en yüksek eğme gerilimi AISI 304L numunesinde görülmüştür. Bu durum AISI 304L kalite paslanmaz çeliklerin içeriğindeki karbon oranının çok düşük olmasına rağmen niyobyum oranının diğer numunelere nazaran daha yüksek olması ve nikel miktarının düşük olması ile açıklanabilir. Ayrıca içerisindeki yaklaşık %10 δ -ferrit fazı da deformasyon özelliklerini olumsuz etkileyip eğme mukavemetini arttırmıştır.

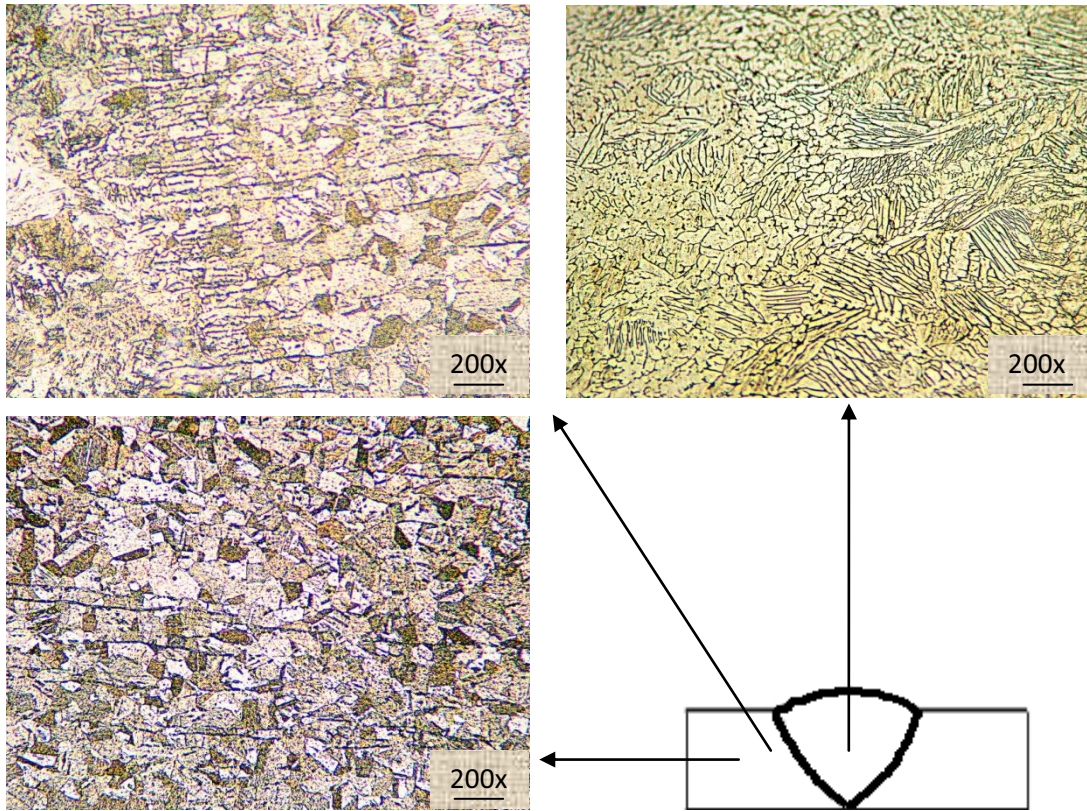
AISI 321 kalite numunenin; deformasyon yeteneğinin yüksekliği ve eğme dayanımının en düşük olduğu görülmektedir.

İnce numunelerde hadde esnasında deformasyon sertleşmesi meydana gelmektedir. Bu durum eğilme dayanımını arttırmaktadır. .

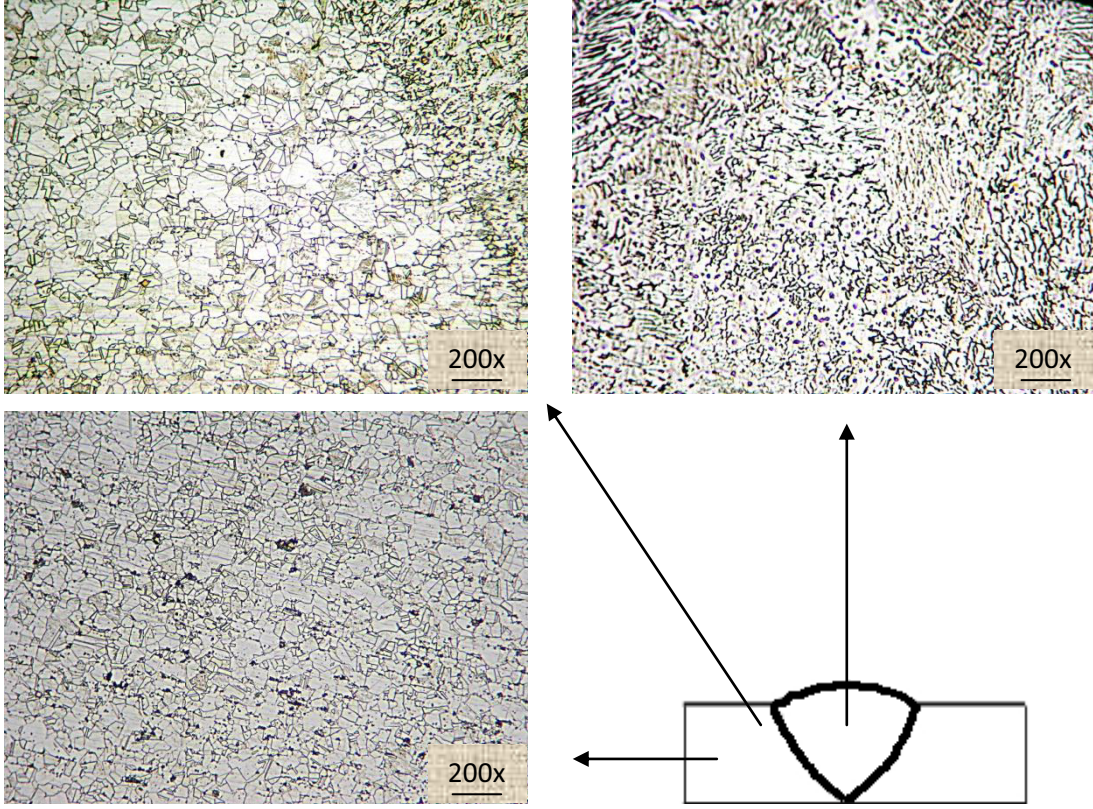
5.4. Mikroyapı ve EDS İncelemeleri

5.4.1. Optik mikroskop incelemeleri

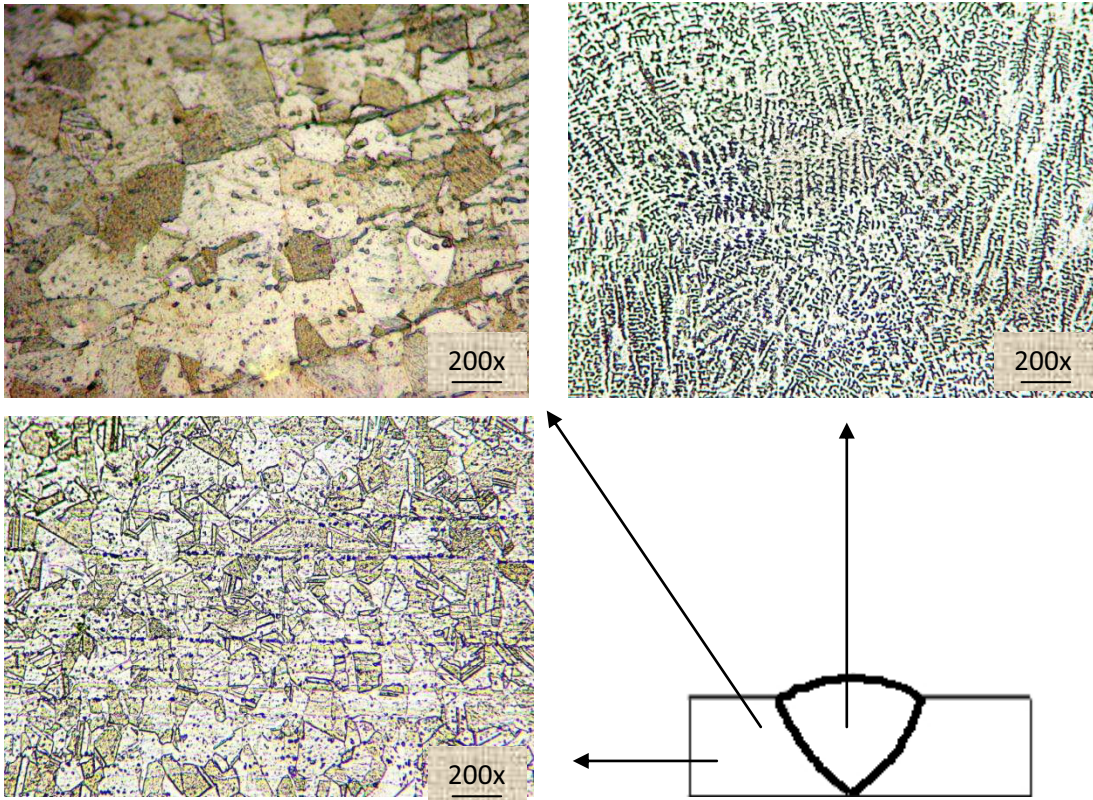
TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin mikroyapıları Şekil 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16'da gösterilmektedir.



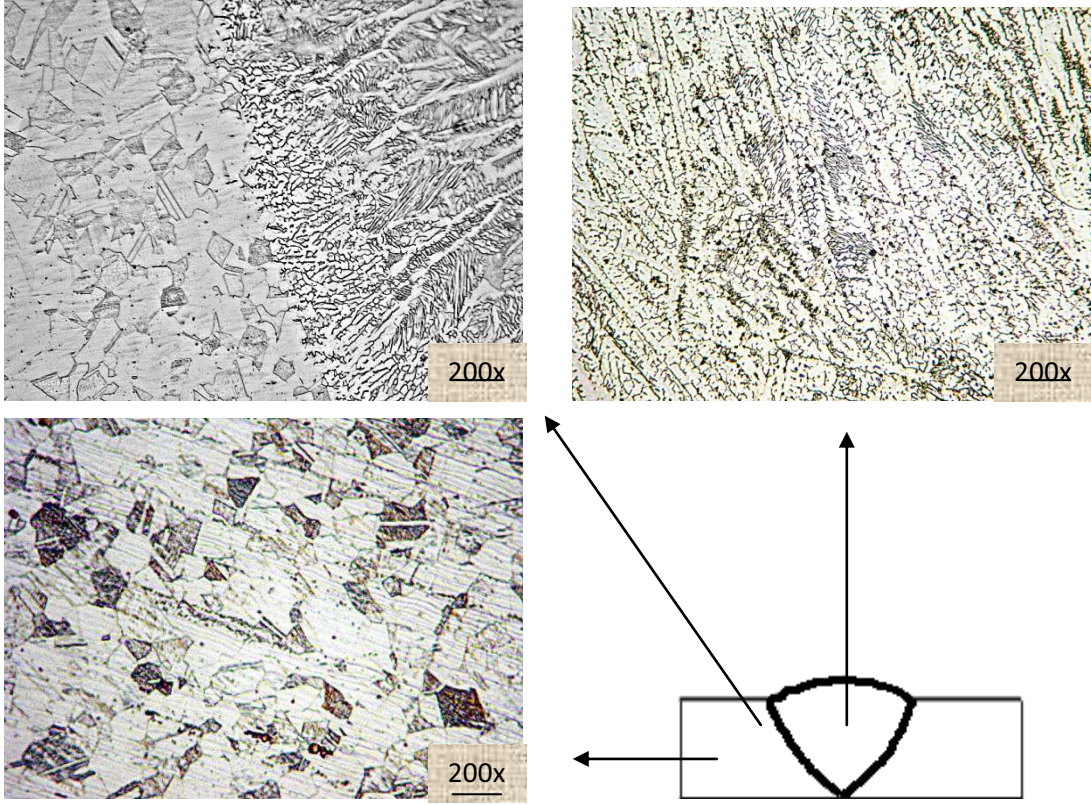
Şekil 5.13. AISI 304L numunesine ait optik mikroskop görüntüleri



Şekil 5.14. AISI 316Ti numunesine ait optik mikroskop görüntüleri



Şekil 5.15. AISI 310S numunesine ait optik mikroskop görüntüleri



Şekil 5.16. AISI 321 numunesine ait optik mikroskop görüntüleri

Mikroyapı görüntüleri tane morfolojisinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından 200X büyütme olarak verilmiştir. Mikroyapı görüntüleri genel olarak değerlendirildiğinde ITAB dışında kalan ana malzeme yapısı tipik östenitik paslanmaz çelik mikroyapısıdır. ITAB'da ise daha farklı bir yapı mevcuttur. Bu bölgede iri taneler görüldüğü gibi yer yer orijinal tane yapısına da rastlanmıştır.

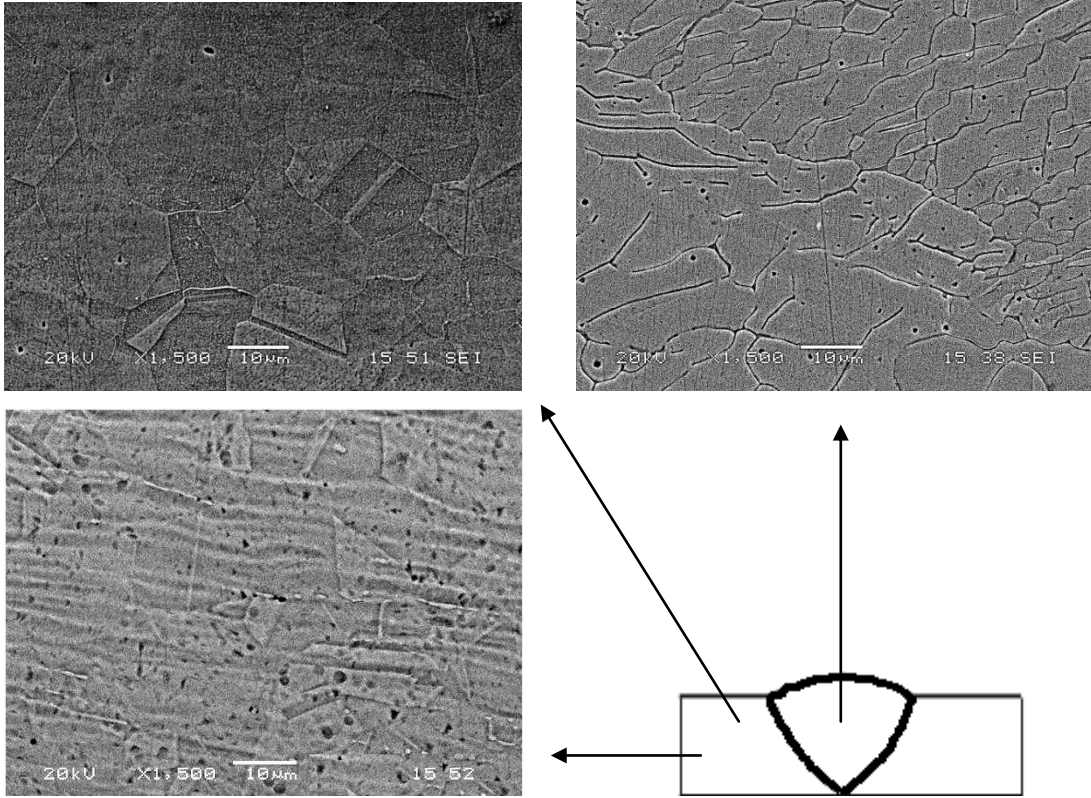
Kaynak metalinin mikroyapı fotoğrafları incelendiğinde ise geçiş bölgesinde ITAB'daki girift yapıdaki tanelerin yerini, bu bölgede tamamen homojen olarak dağılmış dendritik tanelerin aldığı görülmüştür. Kaynak bölgesinde oluşan bu dendritler soğuma hızına bağlı olarak farklı boyutlarda oluştuğu görülmüştür. AISI 304L, 310S ve 321 numunelerinde bu durum çok net bir şekilde görülmektedir.

Paslanmaz çeliklerde sıklıkla krom karbür çökeletilerine rastlanmaktadır. Östenitik paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında problem teşkil eden krom karbür çökeletilerinin ITAB tane yapısı içerisinde dağınık olarak bulunduğu görülmektedir. Geçiş bölgesinde krom karbür çökeletilerinin yoğunluğunun arttığı da ayrıca

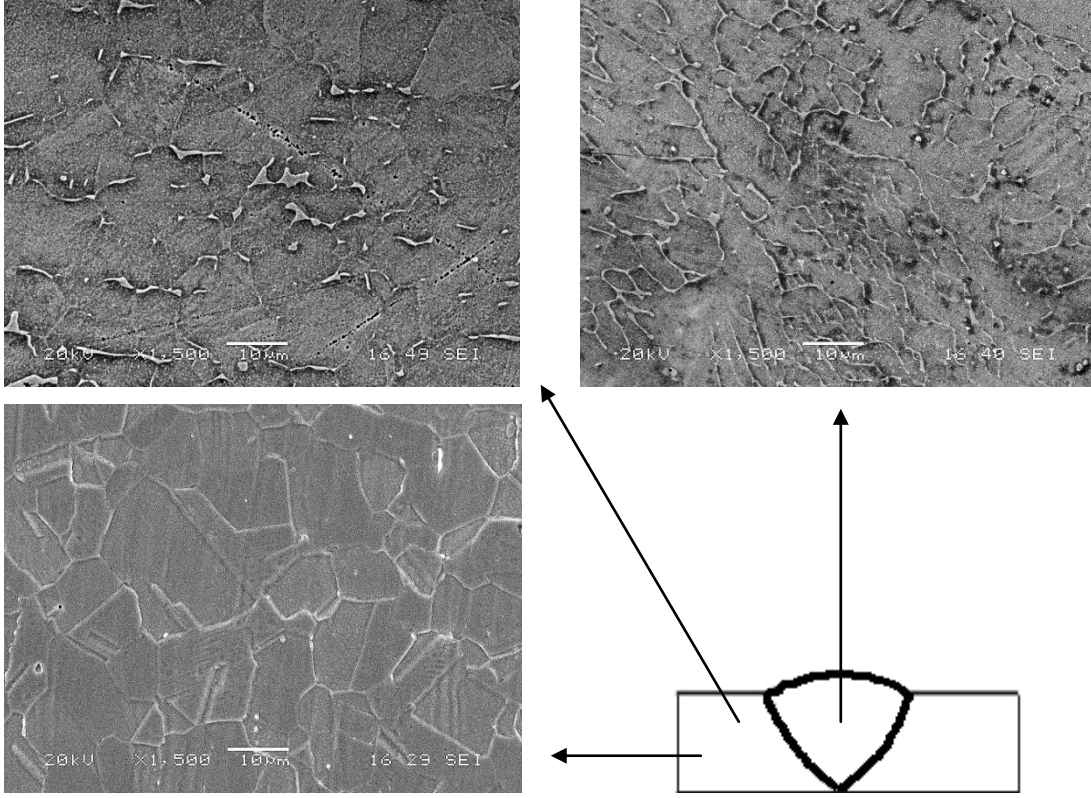
görülmektedir. Kaynak bölgesinde ise bu çökeletiler hemen hemen hiç oluşmamıştır. Şekil 5.14, 5.15 ve 5.16’da bu durum oldukça net bir şekilde görülmektedir.

5.4.2. SEM mikroyapı incelemeleri

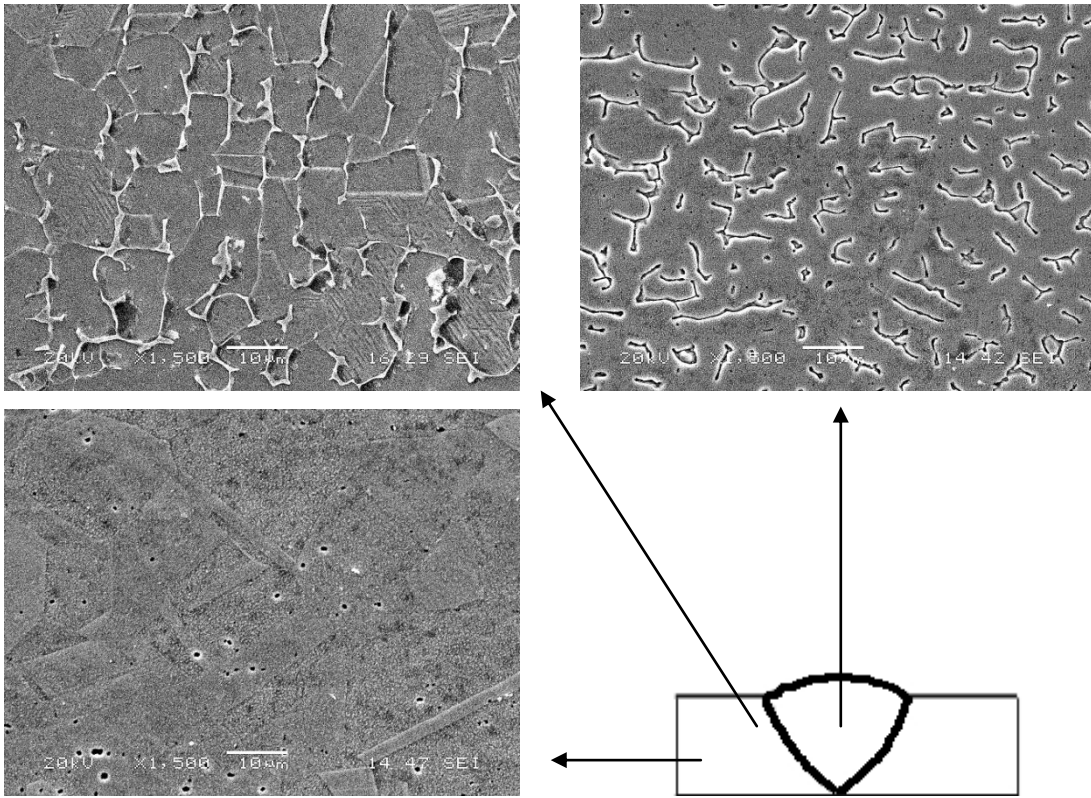
TIG kaynak yöntemi ile birleştirilen numunelerin SEM mikroyapıları Şekil 5.17, 5.18, 5.19 ve 5.20’de gösterilmektedir.



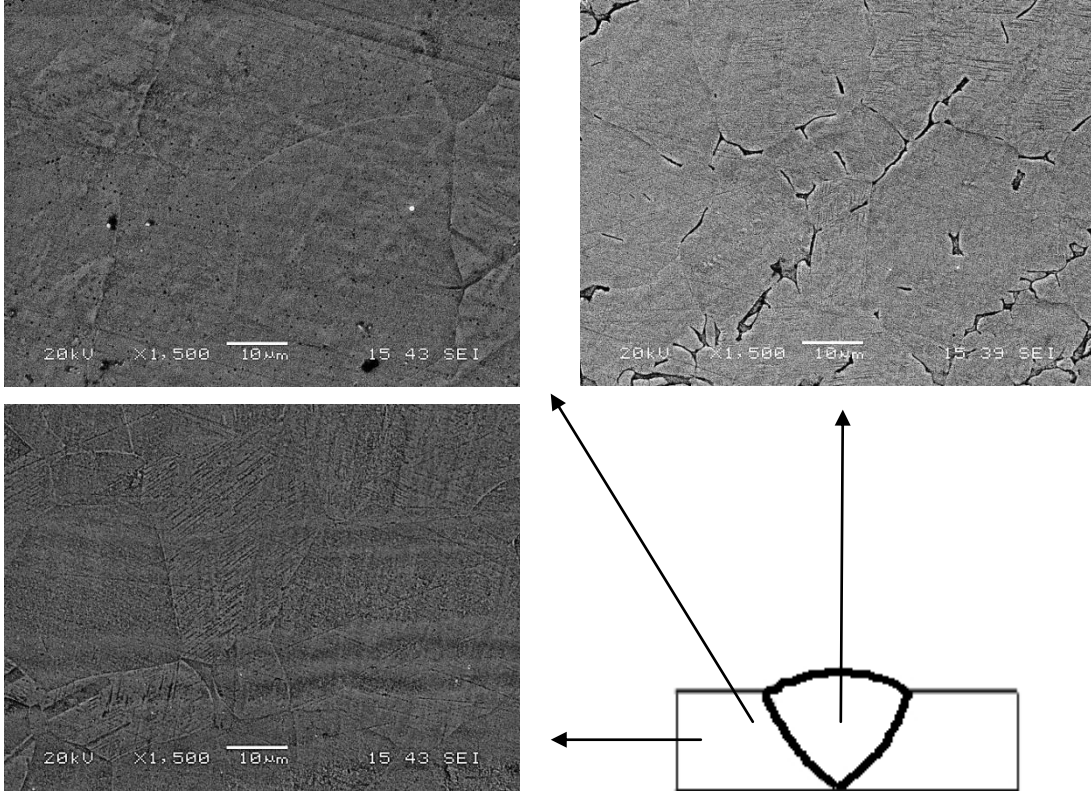
Şekil 5.17. AISI 304L numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.18. AISI 316Ti numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.19. AISI 310S numunesine ait SEM görüntüleri



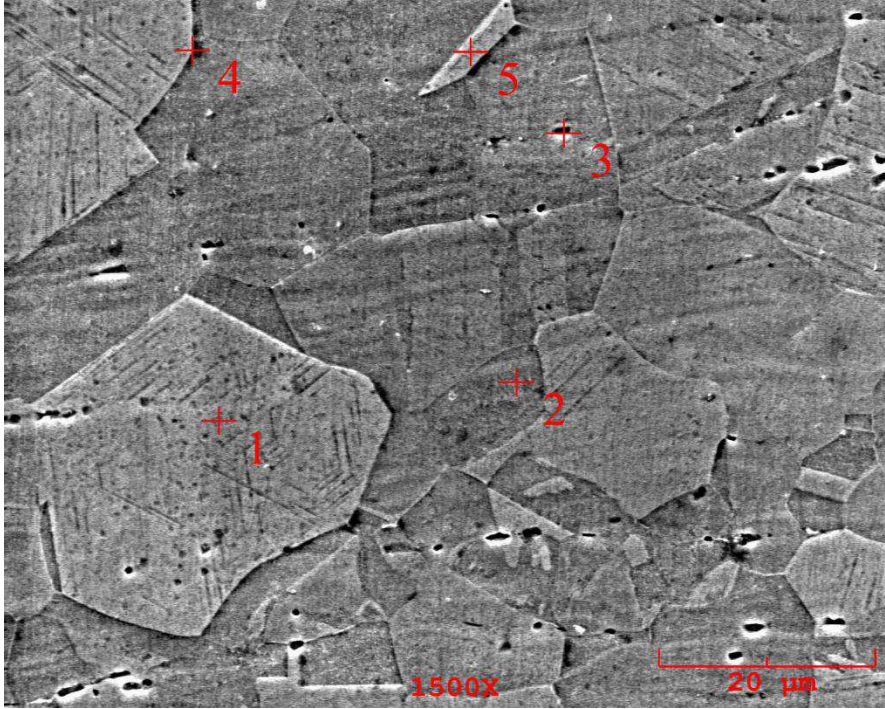
Şekil 5.20. AISI 321 numunesine ait SEM görüntüleri

Tüm numunelere ait SEM görüntüleri incelendiğinde optik mikroskop sonuçlarından farklı olarak tane sınırlarında çökelti partikülleri görülmüştür.

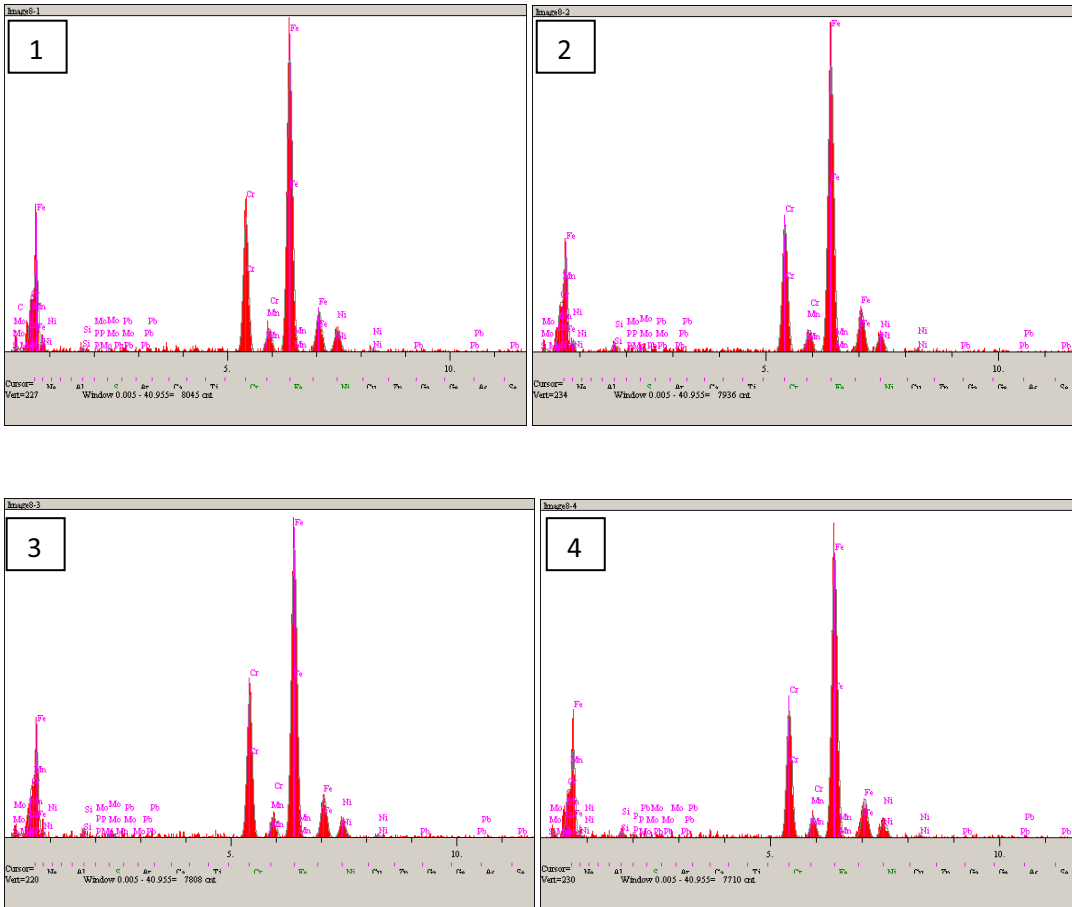
Şekil 5.17 ve 5.18 incelendiğinde ITAB bölgesinde faz ayrışması görülmektedir. Şekil 5.18’de 316Ti içerisindeki molibden etkisinden dolayı tane sınırlarında çökelti partikülleri görülmektedir. Şekil 5.19’da 310S içerisindeki yüksek krom etkisinden dolayı tane sınırlarında çökelti partikülleri görülmektedir.

5.4.3. EDS incelemeleri

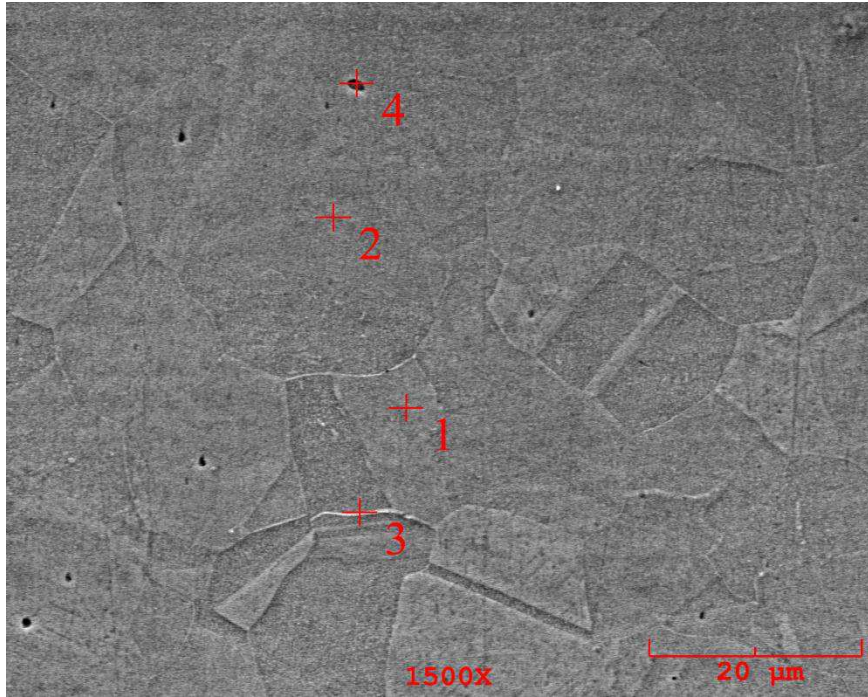
Kaynakta oluşan ısıl etkinin ve ilave metalin kaynaklı malzemedeki kimyasal kompozisyonunda meydana getirdiği etkiyi görmek amacıyla ana malzeme, ITAB ve kaynak metalinden EDS analizleri alınmıştır. Analizler tablo ve şekil olarak aşağıda gösterilmiştir.



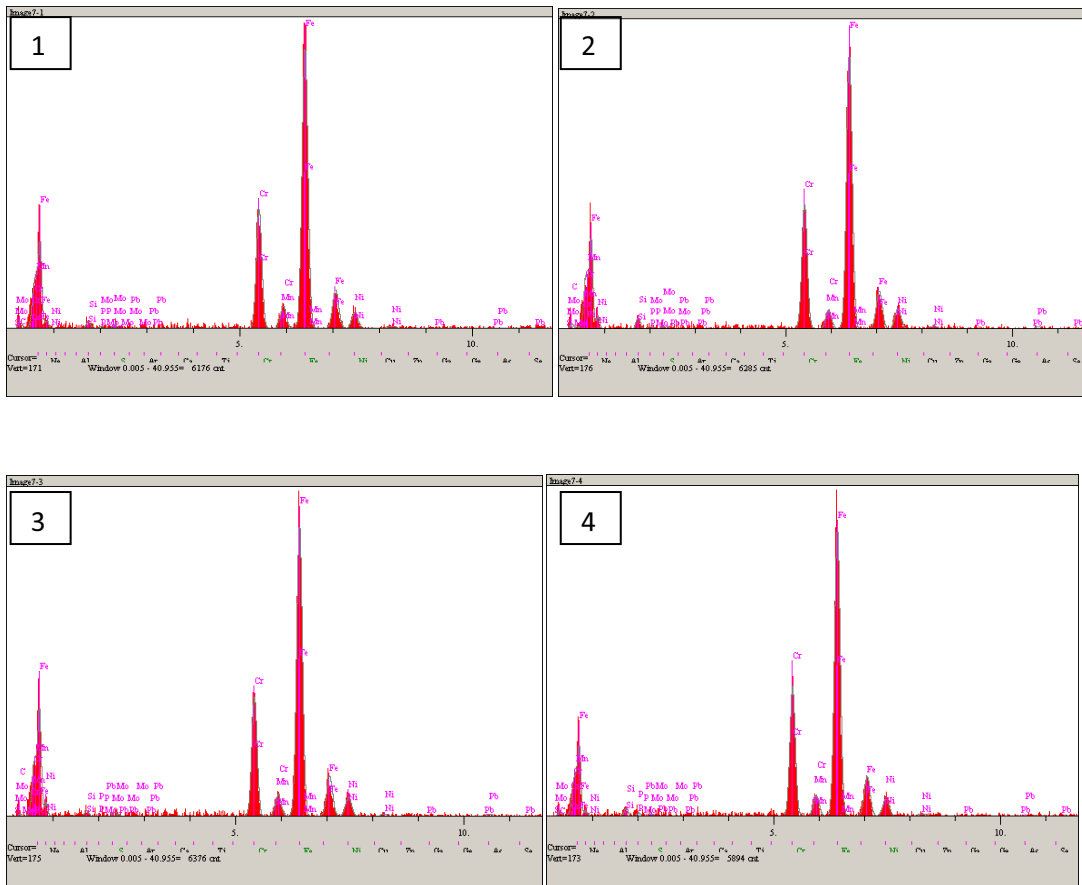
Şekil 5.21. AISI 304L numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları



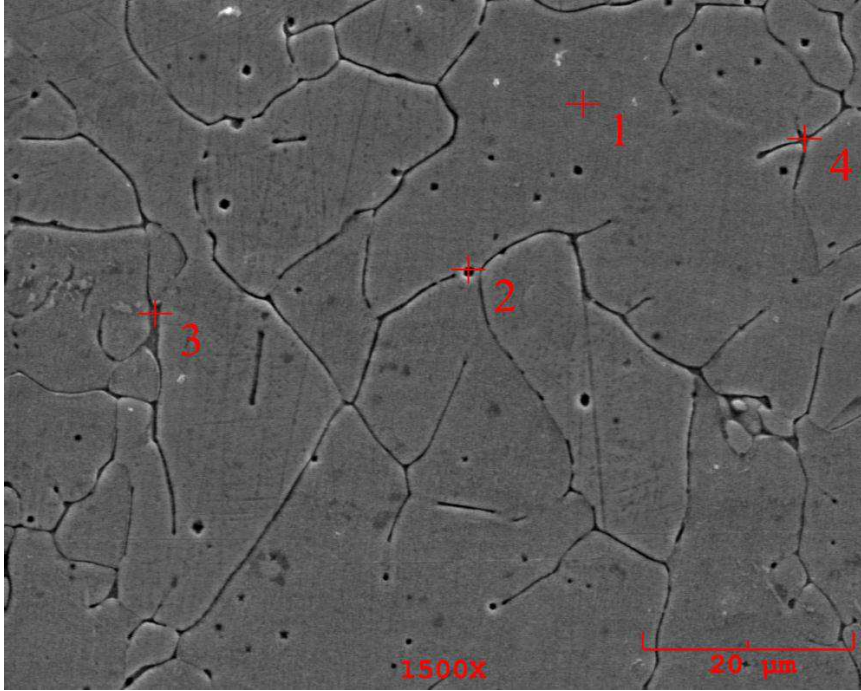
Şekil 5.22. AISI 304L numunesine ait ana metal noktasal EDS analiz grafikleri



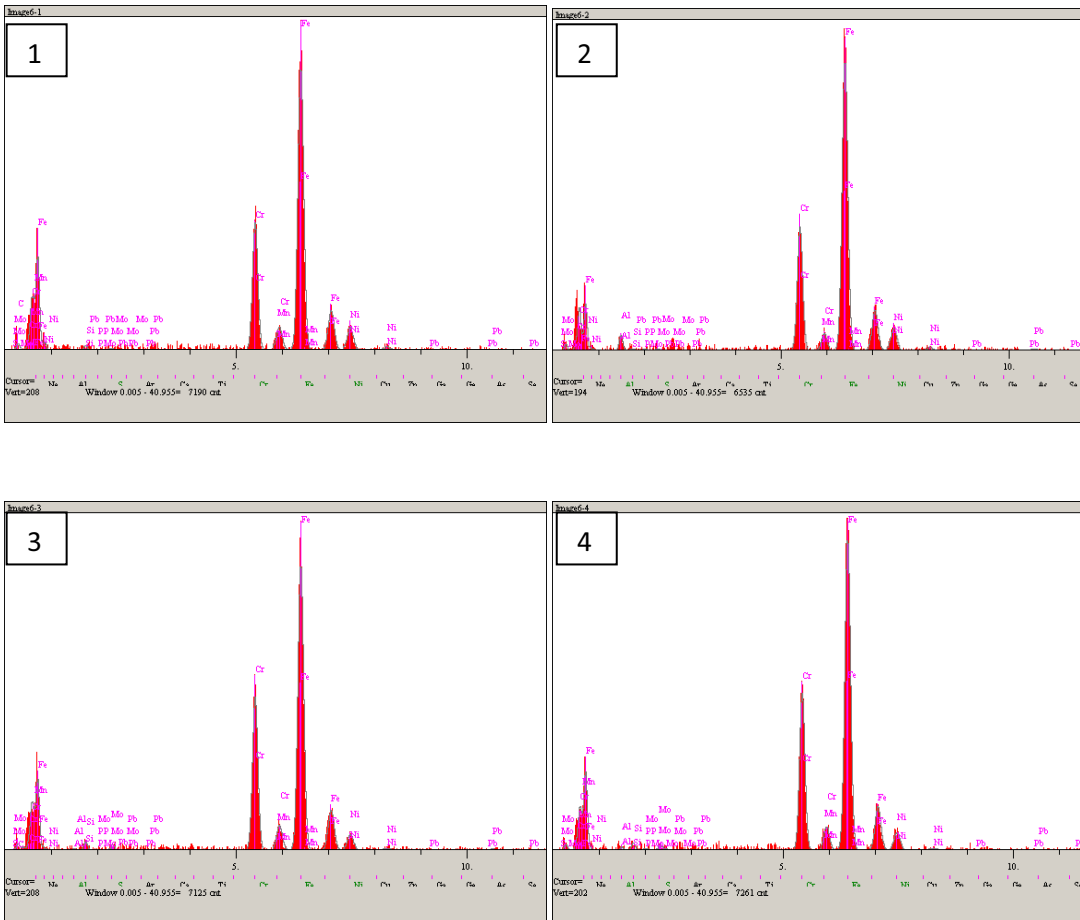
Şekil 5.23. AISI 304L numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları



Şekil 5.24. AISI 304L numunesine ait ITAB noktasal EDS analiz grafikleri



Şekil 5.25. AISI 304L numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları

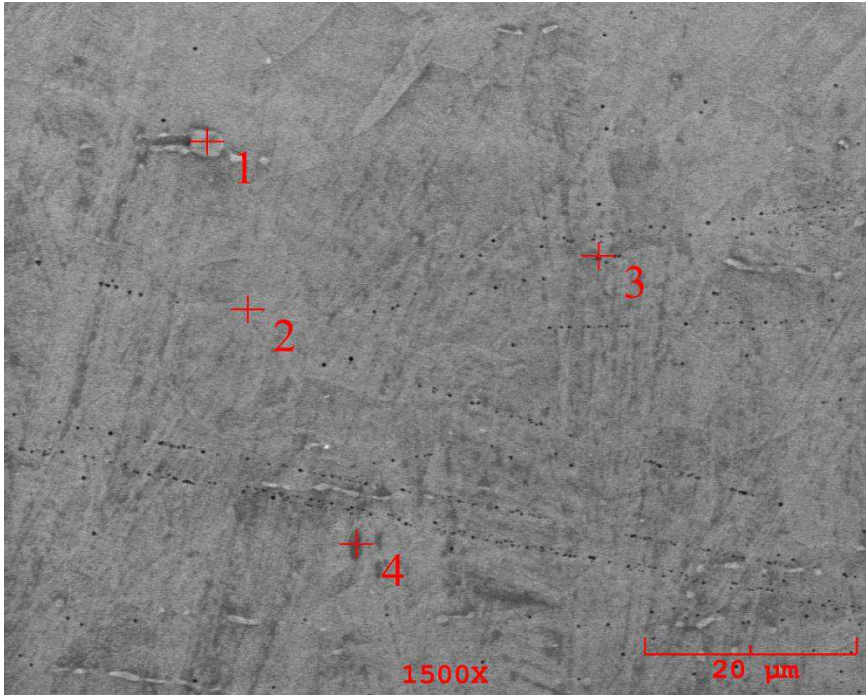


Şekil 5.26. AISI 304L numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri

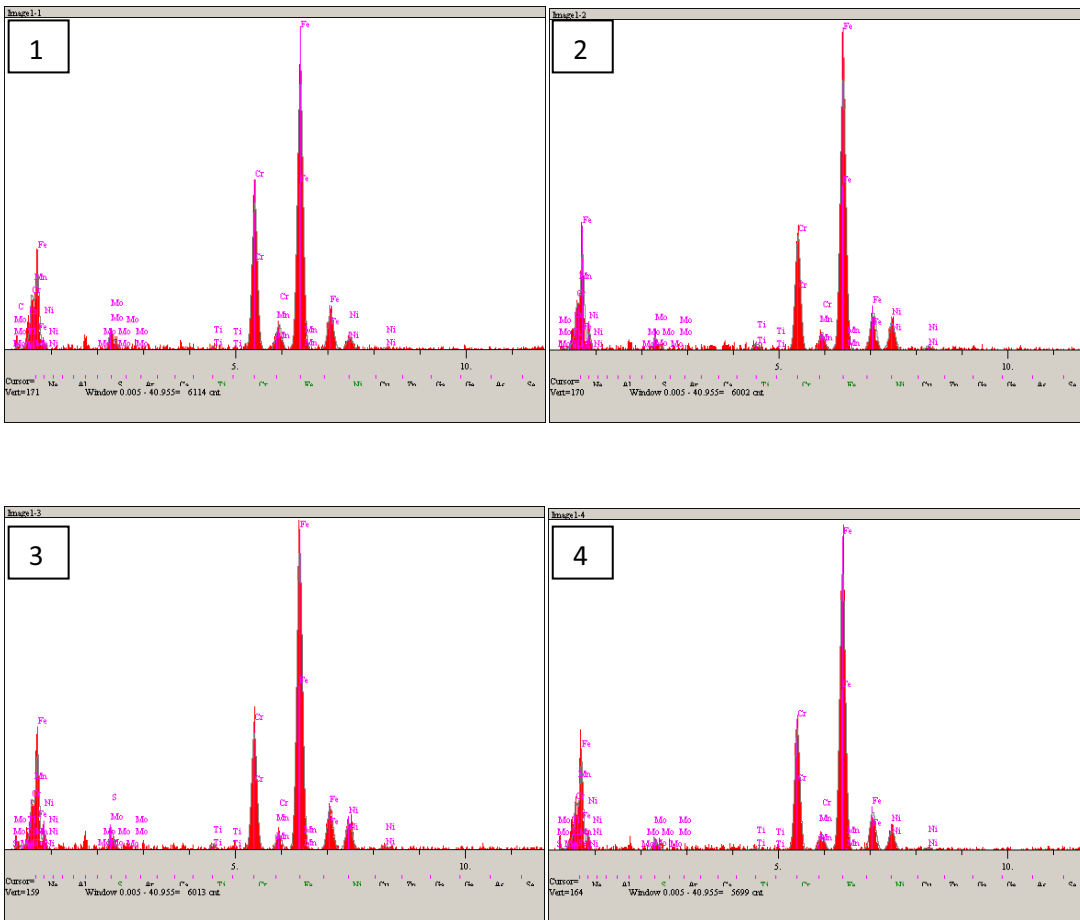
Tablo 5.4. AISI 304L numunesine ait noktasal EDS sonuçları

Bölge		Cr	Ni	C	Mn	Mo	Si	Nb	Ti
Ana Malzeme	1	18,9	8,1	0,028	1,5	0,3	0,74	0,027	0
	2	18,4	7,9	0	1,38	0,02	1	0,032	0
	3	19,3	7,6	0	0,9	0,08	0,85	0,03	0
	4	18	7	0,04	0,98	0,1	0,73	0,037	0
ITAB	1	17,2	6,8	3,7	1,51	0	0,78	0,024	0
	2	17,8	7,7	0	0,7	0	1,2	0,35	0
	3	17	7	0,028	1,2	0	0,7	0,049	0
	4	17,9	7	4	0,89	0	0,87	0,058	0
Kaynak Bölgesi	1	17,9	8,2	2,9	1,3	0	0,5	0,034	0
	2	18	7,5	0	0,13	0,03	0,3	0,021	0
	3	20,7	5	0,05	0,83	0,3	0,87	0,041	0
	4	20,17	5,7	0,09	0,55	0,3	0,67	0,017	0

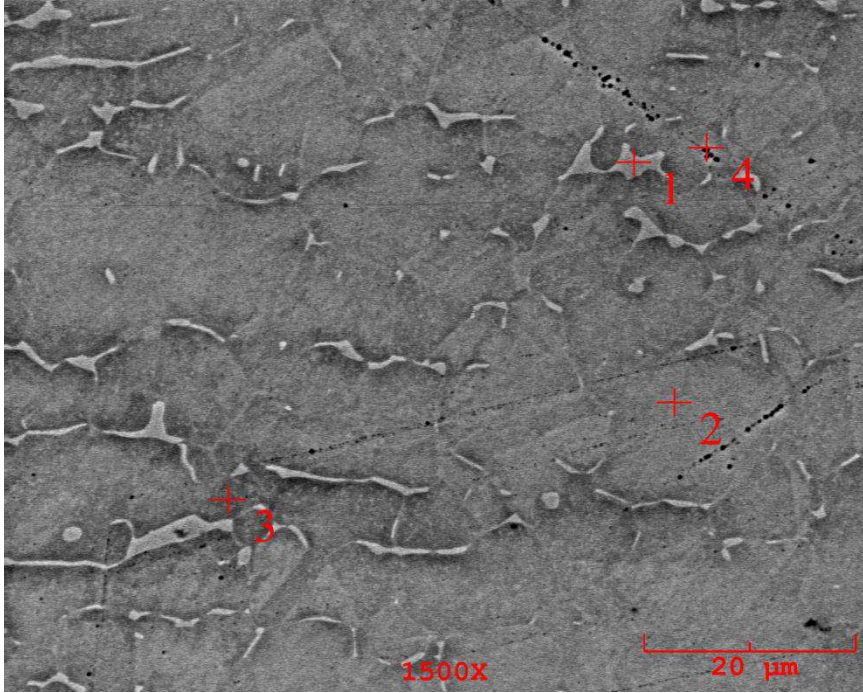
AISI 304L numunesine ait EDS sonuçları Tablo 5.4'te görülmektedir. Ana metal bölgesi sonuçları spektral analiz sonuçları ile paralellik göstermiştir. ITAB'a ait 1. ve 4.noktalarda C oranı standardın çok üzerinde çıkmıştır. Kaynak bölgesine ait 1. Nuktada C oranı yüksek çıkmıştır. 3 ve 4. noktalarda ise Ni oranı oldukça düşük çıkmıştır. Burada ferritik bir fazından söz etmek mümkündür.



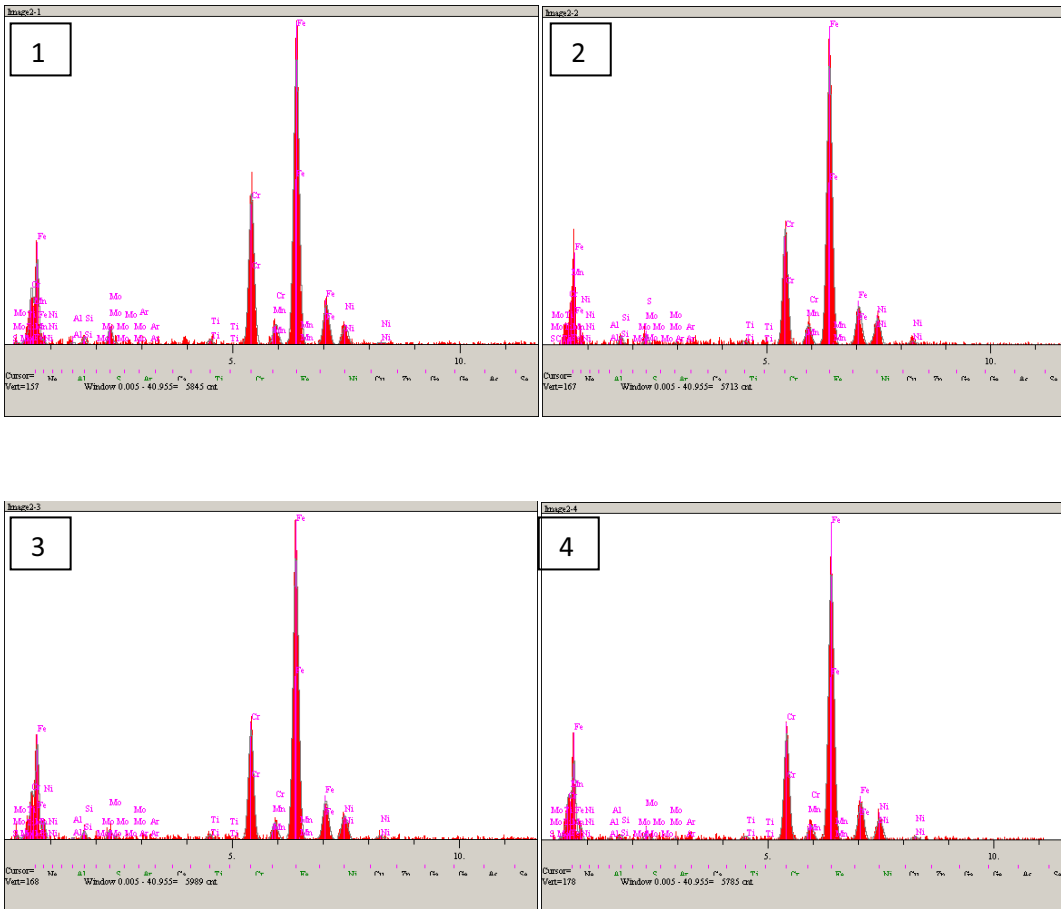
Şekil 5.27. AISI 316Ti numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları



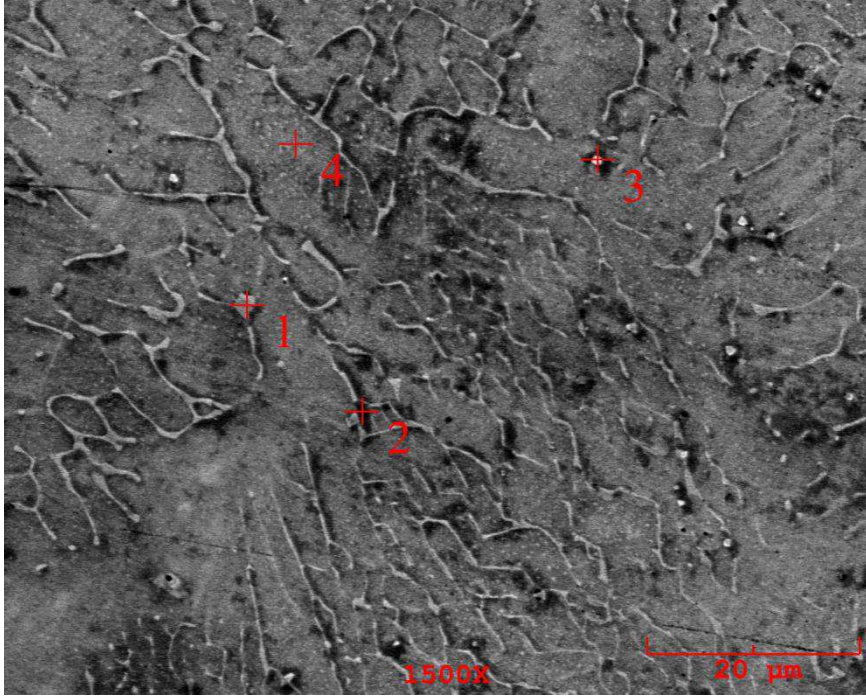
Şekil 5.28. AISI 316Ti numunesine ait ana metal EDS grafikleri



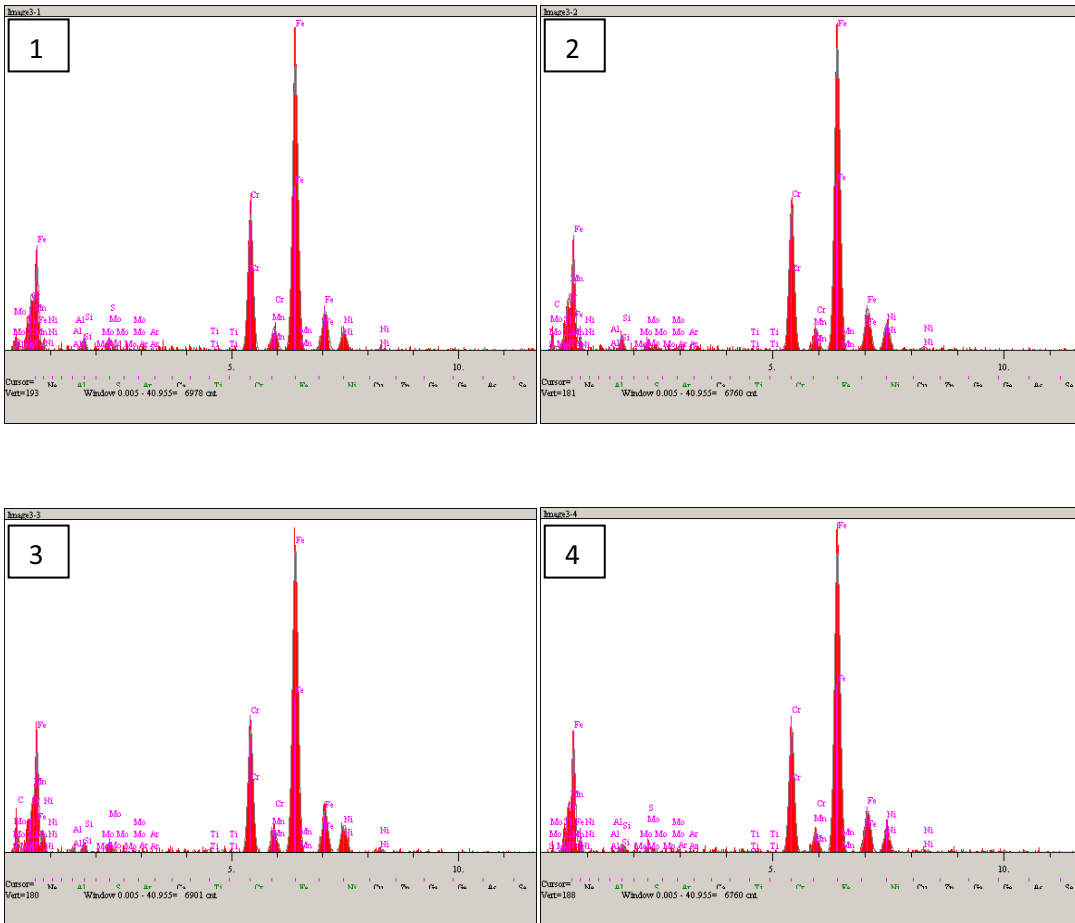
Şekil 5.29. AISI 316Ti numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları



Şekil 5.30. AISI 316Ti numunesine ait ITAB EDS grafikleri



Şekil 5.31. AISI 316Ti numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları

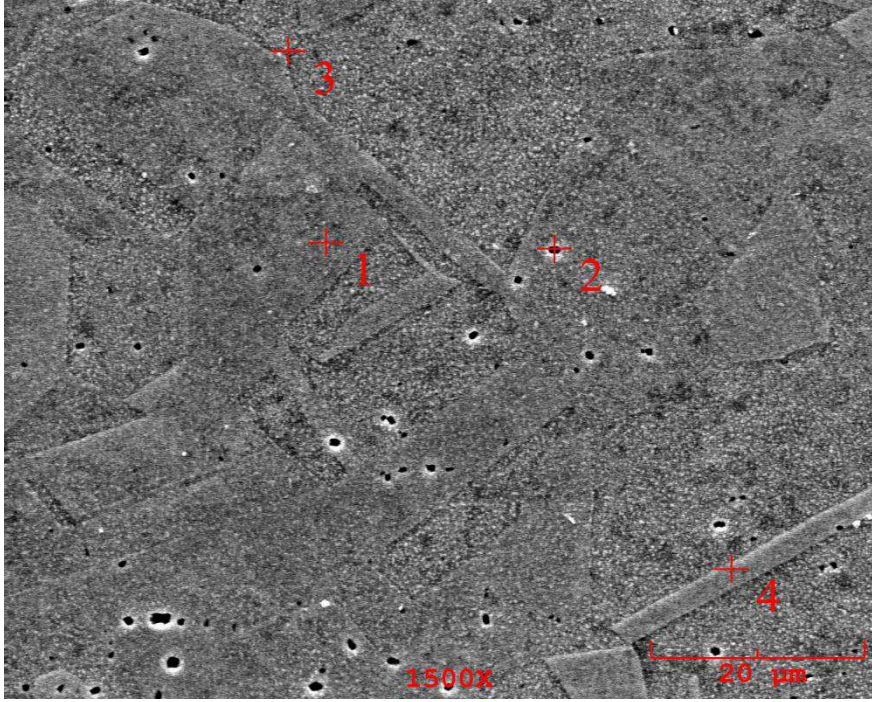


Şekil 5.32. AISI 316Ti numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri

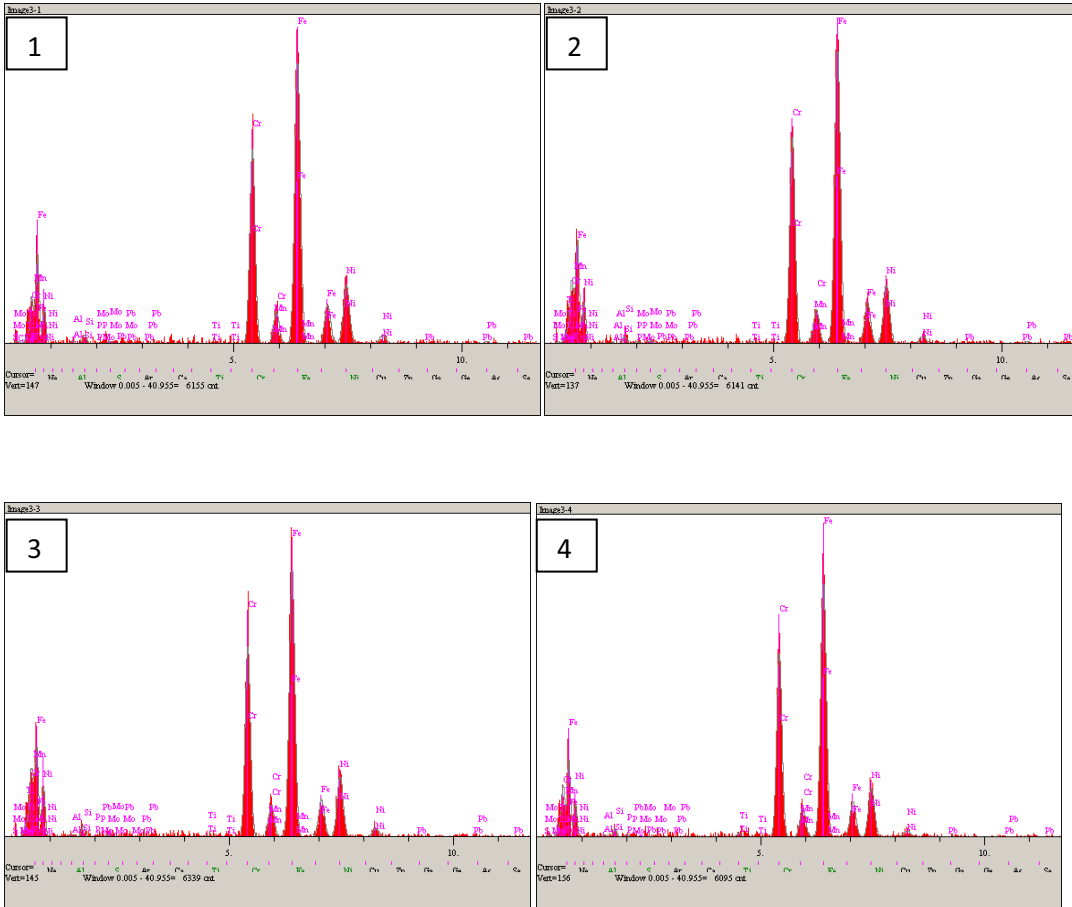
Tablo 5.5. AISI 316Ti numunesine ait noktasal EDS sonuçları

Bölge		Cr	Ni	C	Mn	Mo	Si	Nb	Ti
Ana Malzeme	1	21,9	4,5	0,029	1,39	3,5	0,75	0,021	0,3
	2	16,9	10	0,041	1,7	2,3	0,8	0,017	0,7
	3	16,2	9	0,048	0	2,3	1,05	0,048	0,5
	4	18	8	0,05	1,45	2,05	0,86	0,02	0,21
ITAB	1	20,9	6,8	0,06	0,4	1,4	0,78	0,031	0,53
	2	16,79	10,59	0	1,67	0	1,06	0,046	0,47
	3	15,9	9,73	0,084	0,86	3,59	1	0,18	0,51
	4	16,9	8,95	0	0,16	1,72	0,59	0,24	0,19
Kaynak Bölgesi	1	18,34	6,59	4,14	0,85	1,76	1,28	0,01	0,1
	2	18,28	8,88	0,089	0,49	1,69	1,53	0	0,084
	3	15,05	9,8	5,1	1,47	1,12	1	0	0,36
	4	17	8,41	0,02	0,78	1,25	0,91	0,019	0,19

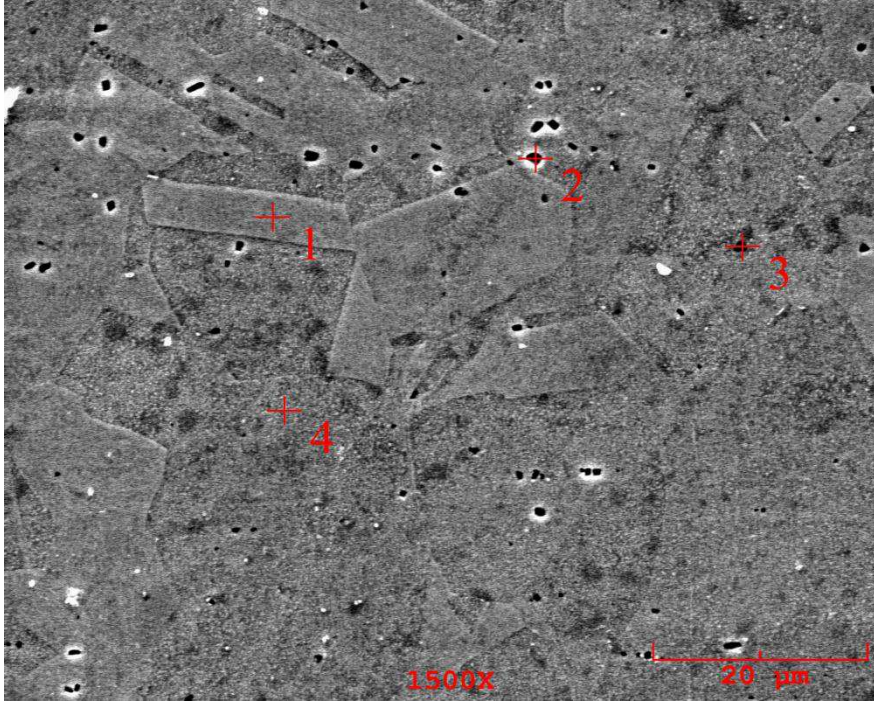
AISI 316Ti numunesine ait EDS analizlerinin tamamı Tablo 5.5'te gösterilmiştir. Ana metal sonuçları incelendiğinde spektral analiz sonucuyla paralellik göstermiştir. Ana malzemeye ait 1. noktada Ni oranı standardın altında ölçülmüştür. Burada ferrit fazından bahsetmek mümkündür. ITAB'da Ti oranı diğer bölgelere nazaran daha yüksek çıkmıştır. ITAB'da 3. noktada Mo oranı yüksek çıkmıştır. Kaynak bölgesinde 3. noktada C oranı oldukça yüksek çıkarken Cr oranı düşük çıkmıştır.



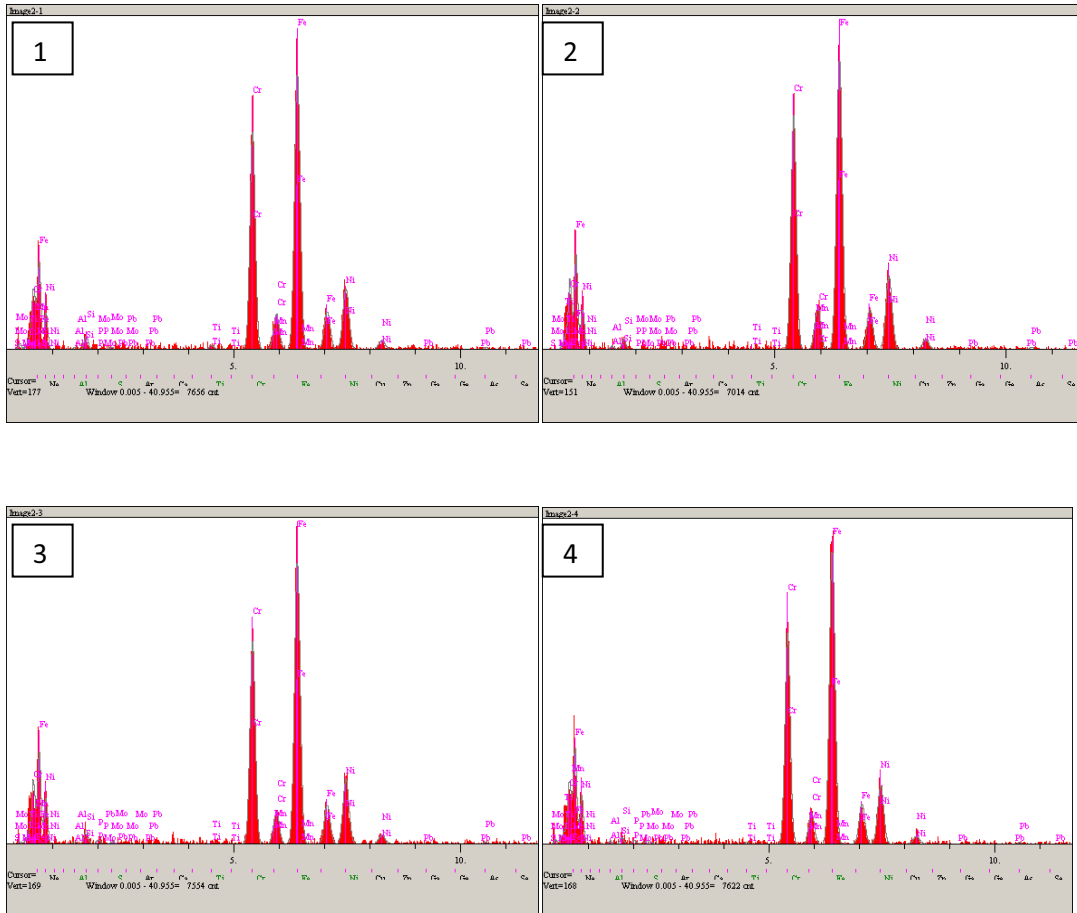
Şekil 5.33. AISI 310S numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları



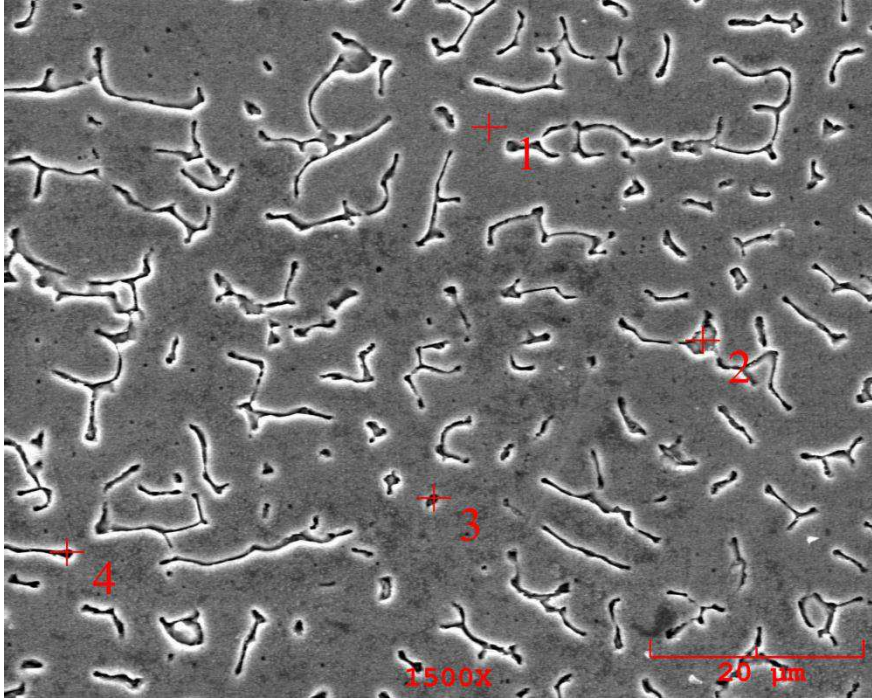
Şekil 5.34. AISI 310S numunesine ait ana metal bölgesi EDS grafikleri



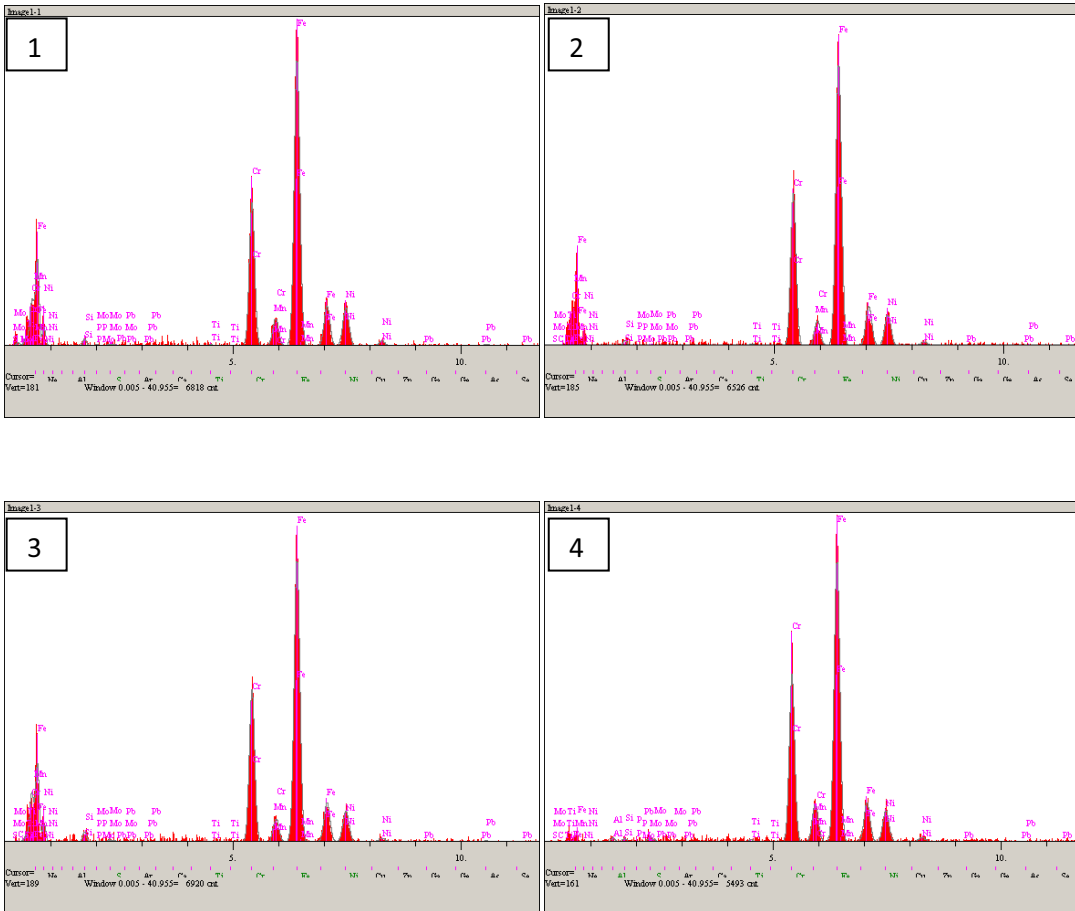
Şekil 5.35. AISI 310S numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları



Şekil 5.36. AISI 310S numunesine ait ITAB EDS grafikleri



Şekil 5.37. AISI 310S numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları

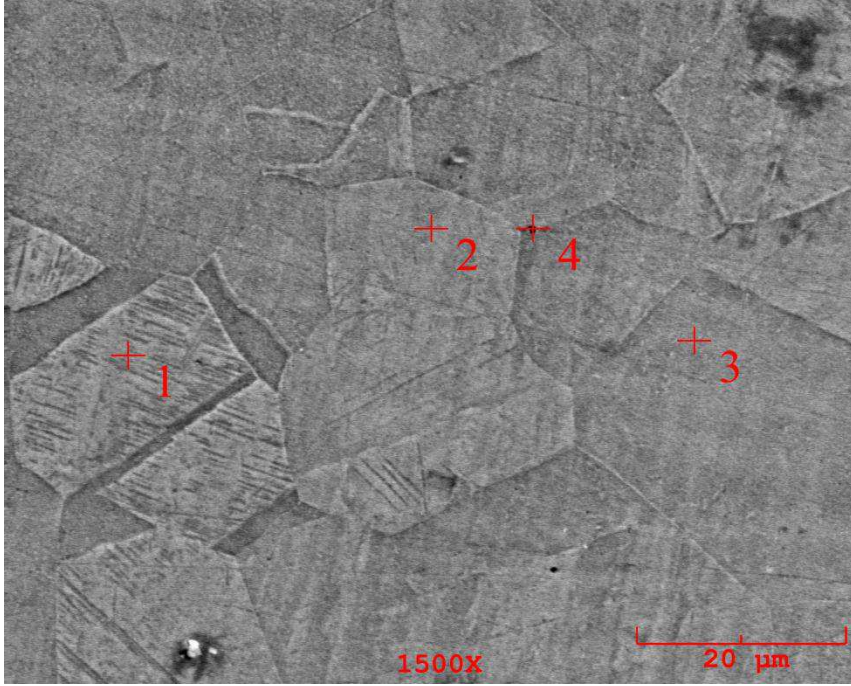


Şekil 5.38. AISI 310S numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri

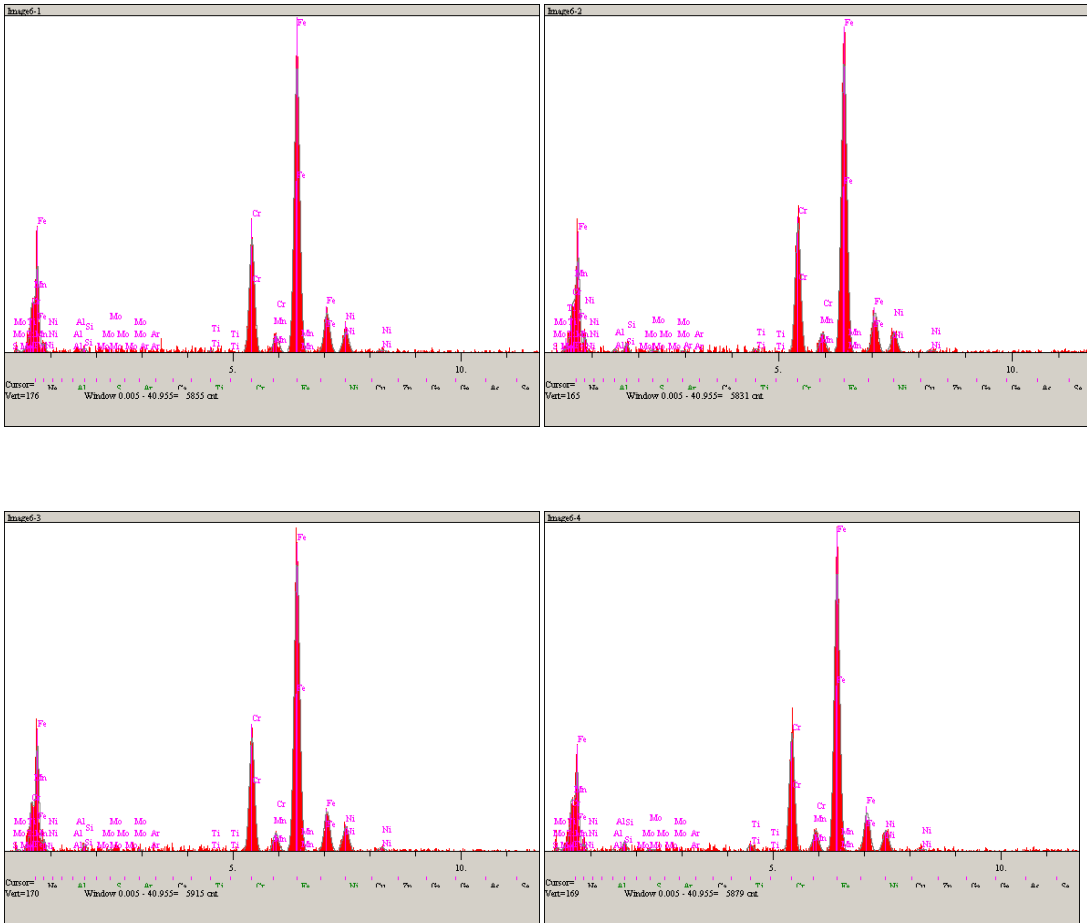
Tablo 5.6. AISI 310S numunesine ait noktasal EDS sonuçları

Bölge		Cr	Ni	C	Mn	Mo	Si	Nb	Ti
Ana Malzeme	1	23,9	16,9	0,04	1,8	0	0,75	0,025	0,18
	2	24,9	16,9	0,07	1	0	0,69	0,02	0,2
	3	26	18	0	1,14	0	0,9	0,02	0
	4	24,8	16,8	0,09	1,95	0	0,85	0	0
ITAB	1	24,8	16,8	0	1	0	1,14	0	0,35
	2	24,9	19	0	1,78	0	0,92	0,018	0
	3	23,5	18	0,7	1	0	1,24	0,025	0
	4	23,5	15,9	1,4	0,65	0,4	0,57	0	0
Kaynak Bölgesi	1	18,3	12,7	1,69	1,64	0,45	0,71	0,07	0
	2	20,8	10,9	0	0,8	0	0,65	0,01	0
	3	20,9	10,8	0,02	0,6	0,5	1	0,03	0
	4	24,9	10,7	0	3,15	0,6	0,3	0,023	0

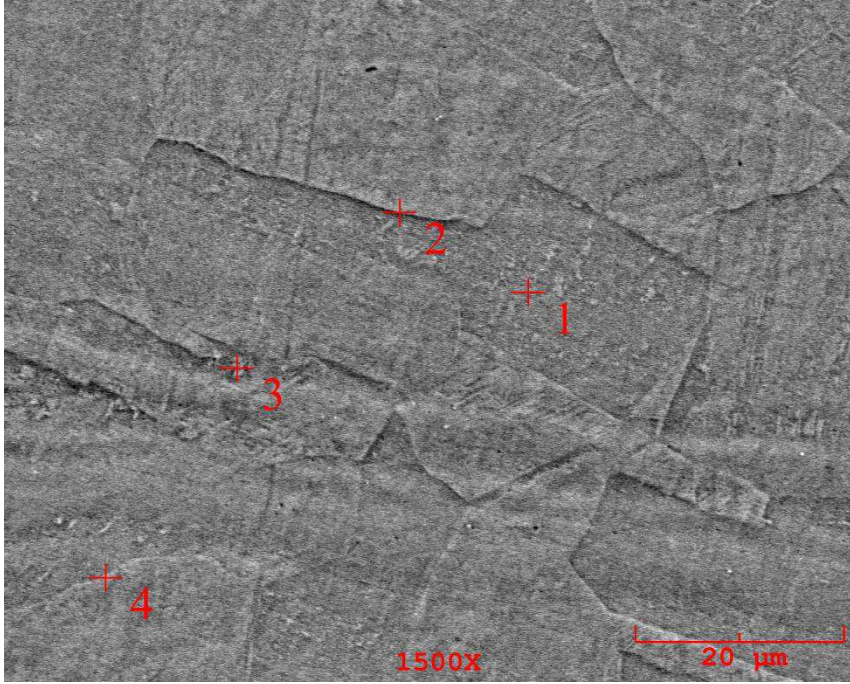
AISI 310S numunesine ait EDS sonuçları Tablo 5.6'da verilmiştir. Ana metal sonuçları spektral analiz sonuçları ile paralellik göstermiştir. ITAB'dan alınan 4.noktada C oranı yüksek çıkmıştır. Kaynak bölgesinde ise genel olarak Ni oranı düşük çıkmıştır. Kaynak bölgesinden alınan 1.noktada C oranı standardın üzerinde bir değerde ölçülmüştür.



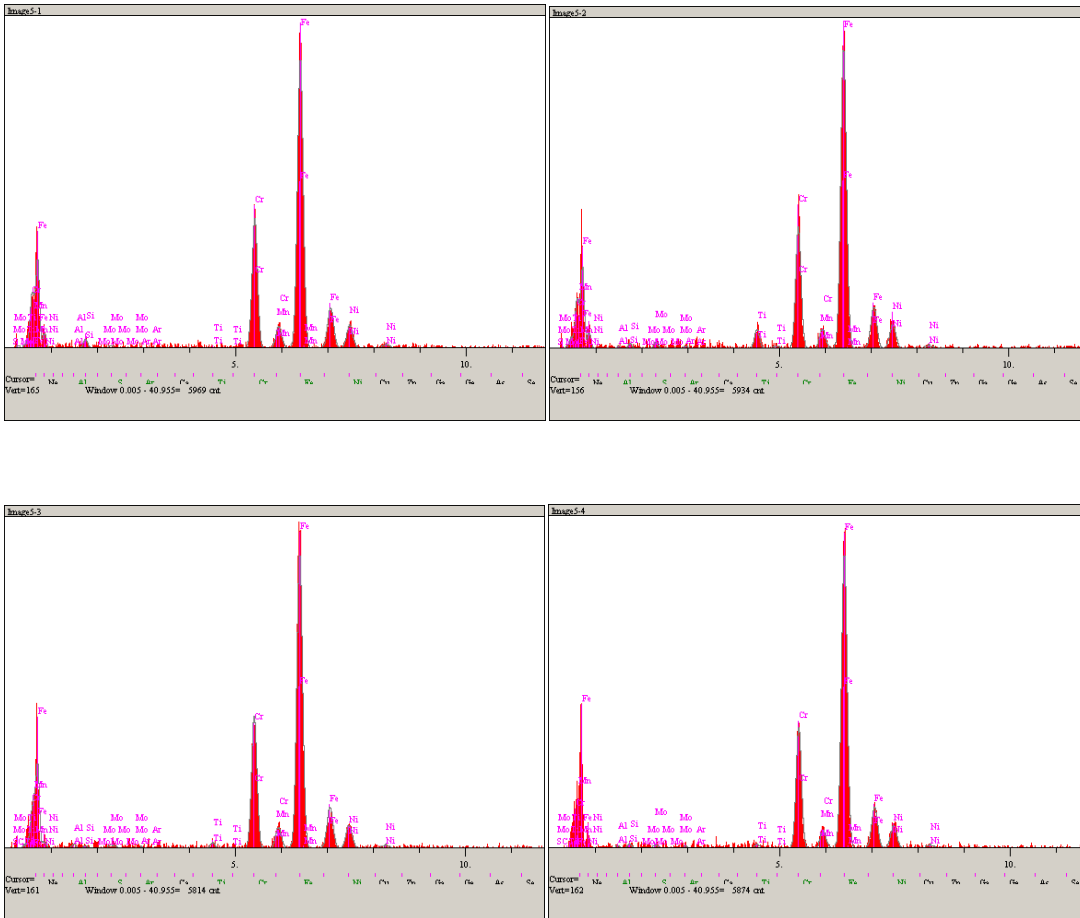
Şekil 5.39. AISI 321 numunesine ait ana metal EDS analiz noktaları



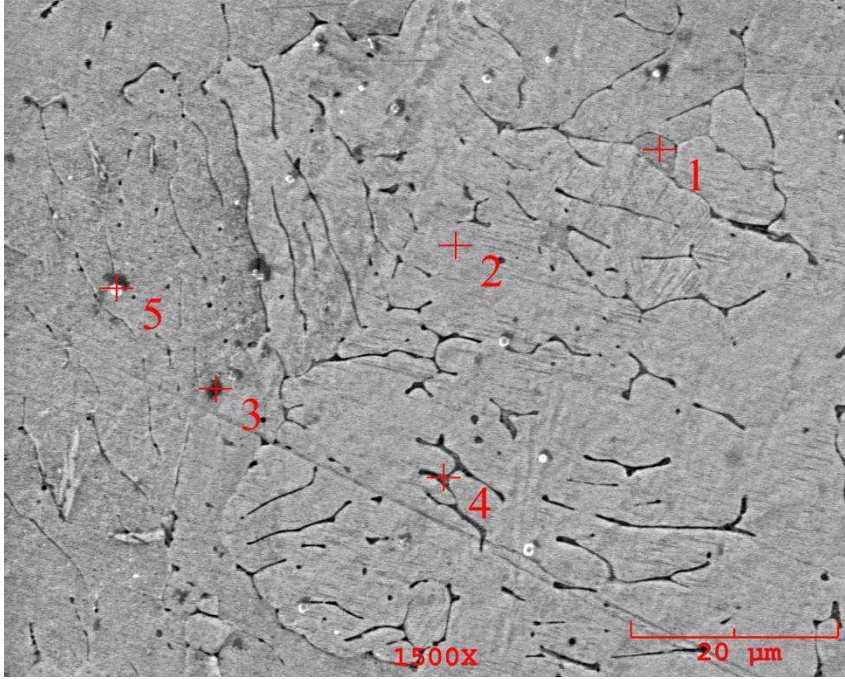
Şekil 5.40. AISI 321 numunesine ait ana metal EDS grafikleri



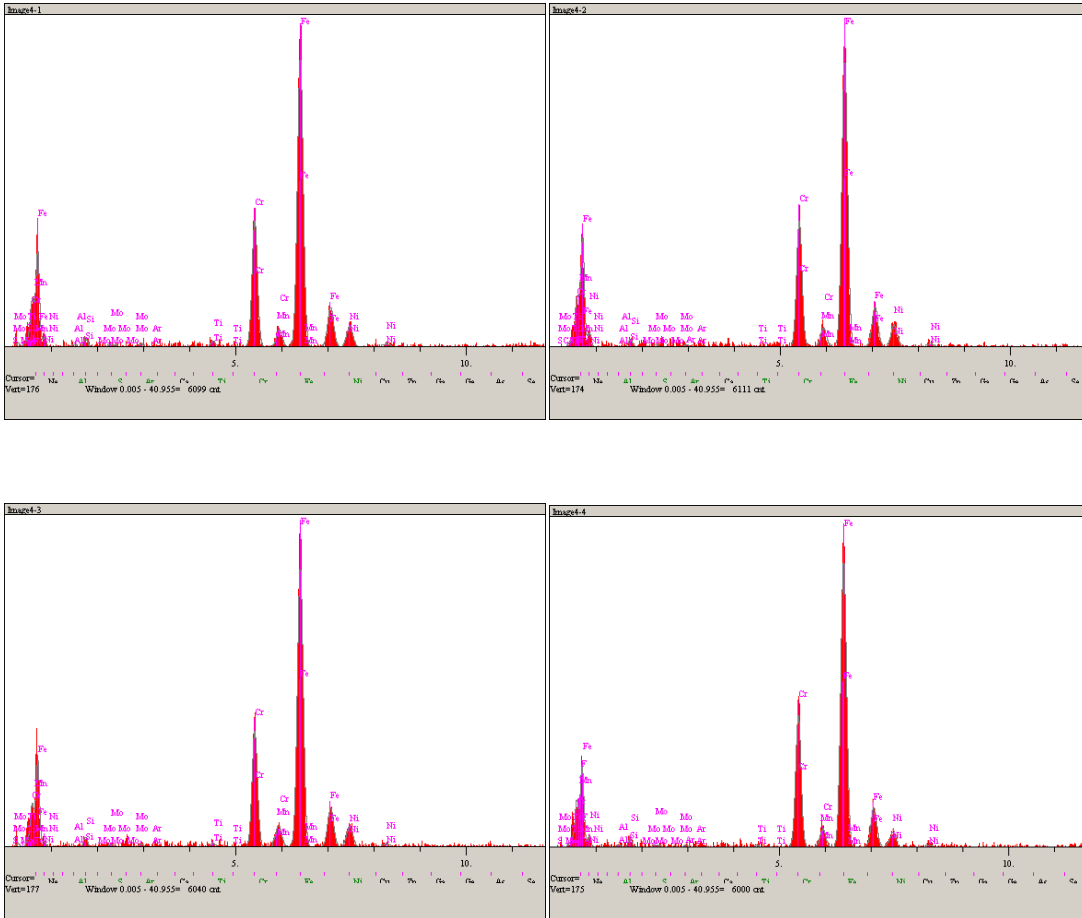
Şekil 5.41. AISI 321 numunesine ait ITAB EDS analiz noktaları



Şekil 5.42. AISI 321 numunesine ait ITAB EDS grafikleri



Şekil 5.43. AISI 321 numunesine ait kaynak bölgesi EDS analiz noktaları



Şekil 5.44. AISI 321 numunesine ait kaynak bölgesi EDS grafikleri

Tablo 5.7. AISI 321 numunesine ait noktasal EDS sonuçları

Bölge		Cr	Ni	C	Mn	Mo	Si	Nb	Ti
Ana Malzeme	1	17,9	8	0,07	1,85	0	0,5	0,02	0,28
	2	18,45	7,65	0	0,7	0,6	1,14	0	0,4
	3	16,4	9,6	0	1,7	0	0,88	0,29	0,2
	4	17,8	8,9	1	1,25	0	1,11	0	0,7
ITAB	1	18,7	8,48	0,09	0,98	0	1	0,04	0
	2	16,8	8,5	0,04	1,2	0	0,59	0	2
	3	18,49	8,45	0,02	0,8	0,7	0,26	0,03	0,53
	4	17	8,58	0	0,5	0	0,9	0,04	0,37
Kaynak Bölgesi	1	17,8	7,7	1,9	0,6	0	1	0	0,57
	2	18,23	8,5	0	0,9	0	0,89	0	0
	3	16,9	7,9	1	1,5	0	1,12	0,03	0,37
	4	18,25	5,4	0,04	0,1	0,5	1	0,04	0,1
	5	16,9	6,9	0,35	0,4	0	0,56	0	12,54

AISI 321 numunesine ait EDS sonuçları Tablo 5.7’de verilmiştir. Ana metal sonuçları spektral analiz sonuçları ile paralellik göstermiştir. ITAB’da 2.noktada Ti oranı yüksek çıkmıştır. Kaynak bölgesinde 4.noktada Ni oranı düşük seviyelerde ölçülmüştür. Burada ferrit fazından bahsetmek mümkündür. 5.noktada ise Ti oranı çok yüksek çıkmıştır. Bu noktada Ti içeren ikinci bir faz oluştuğu söylenebilir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada AISI 304L, AISI 316Ti, AISI 310S ve AISI 321 kalite östenitik paslanmaz çelikler aynı parametreler ile TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş ve çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- a) TIG kaynak yöntemi ile birleştirilmiş bağlantılardan yapılan çekme testleri sonucunda, en yüksek çekme dayanımı AISI 304L malzemesinde görülmüştür.
- b) Yapılan çekme testleri sonucu tüm malzemeler ITAB'dan kopmuştur.
- c) Kaynaklı numunelerin tümünde, ölçülen çekme dayanımlarının ana metalden ölçülen çekme dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmüştür.
- d) Tüm malzemelerin % uzama oranları kaynak işlemi sonra azalmıştır. Sünekliklerinde düşüş meydana gelmiştir.
- e) Eğme deneyleri sonucunda hiçbir malzemedede çatlama, yırtılma vb. hatalar görülmemiştir. En yüksek eğme mukavemeti AISI 304L malzemesinde ölçülmüştür.
- f) Sertlik deneyleri sonucu tüm malzemelerde ana metalden kaynak metaline doğru sertliğin arttığı görülmüştür. En yüksek ana metal ve kaynak bölgesi sertliğe sahip malzemenin AISI 310S olduğu tespit edilmiştir.

- g) Optik mikroskop çalışması sonucunda tüm malzemelerde belirgin bir ITAB görülmüştür. Ergiyip katılmış kaynak metalinin dendritik tanelerden meydana geldiği görülmüştür. AISI 310S ve AISI 321 kalite östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde dendritik yapı net bir şekilde görülmektedir.
- h) SEM incelemesi sonuçları ile optik mikroskop görüntüleri karşılaştırıldığında optik mikroskop sonuçlarından farklı olarak tane sınırlarında çökelti partikülleri görülmüştür.
- i) EDS noktasal analiz sonucu ölçülen ana metal değerleri ile spektral analiz değerlerinin de paralelik gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı oranlarda alaşım element değerleri bulunmuştur.

6.2. Öneriler

- a) Aynı malzemeler TIG kaynağı ile fakat farklı kaynak parametreleri ile birleştirilerek mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılabilir.
- b) Kaynak bölgesi farklı korozyon şartlarına maruz bırakılarak mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.
- c) Yapılan bu kaynaklı birleştirmeler XRD analizine tabi tutulup faz analizleri incelenebilir.
- d) Bu malzemelerin kaynak parametreleri sabit tutularak yorulma dayanımları incelenebilir. Ayrıca çentik darbe deneyi ve çekme deneyi sonrası kırılma yüzeyi morfolojileri incelenebilir.
- e) Farklı malzeme çiftleri seçilerek elde edilen kaynaklı birleştirme numunelerinin mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılabilir

KAYNAKLAR

- [1] KANBOLLU, S., “Östenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri ” Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1996.
- [2] KURT, U., Paslanmaz Çelik Kaynak Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.1-9, 1988.
- [3] ALDEMİR, Ü., Paslanmaz Çeliklerin Türkiye’de Tercihli Uygulama Alanlarına Göre Optimum Kullanım Önerilerinin Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, s. 3-98, 2000.
- [4] ODABAŞ, C., ‘‘Paslanmaz Çelikler’’, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri’’, Askaynak-İstanbul, 2004.
- [5] SMITH W.F., “Paslanmaz Çelikler”, Mühendislik Alaşımalarının Yapı Ve Özellikleri, Bölüm 5, Cilt 1., Çeviri: ERDOĞAN, M., Ankara, s. 169-214, 2000.
- [6] TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E. Geçmişten Günümüze Paslanmaz Çelikler, Meta, Sayı 20, s. 47-52, 1994.
- [7] LIN, Y.C., CHEN, P.Y., “Effect Of Preheating On The Residual Stress İn Type 304 Stainless Weldment”, Journal Of Materials Processing Technology, pp. 145- 151, 797-801, 1997.
- [8] ARAN, A., TEMEL, M.A., "Paslanmaz Çelik", Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 2004.
- [9] KARSLI, G., SEŞEN, M.K., “Paslanmaz Çelikler Ve Üretimi”, Meta 44, Sayı 2, s. 20-22, 1991.
- [10] KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Gedik Holding Kaynak Dünyası, 1996.
- [11] ANIK, S., Kaynak Tekniği, Cilt 3, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, 1981.
- [12] KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrot İle Ark Kaynağı”, Makine Magazin, İstanbul, Türkiye, 1999.

- [13] “Metals And Their Weldability”, Welding Handbook, Volume 4, Seventh Edition, Amerivan Welding Society, Miami, Usa, 1982.
- [14] “Asm Metals Handbook”, Paslanmaz Çeliklerin Takım Malzemelerinin Ve Özel Amaçlı Metallerin Özellikleri Ve Seçimi, 9. Baskı, Cilt 3, Asm International.
- [15] Abington Publishing: “Welding Metallurgy Of Stainless Steels”, Abington Welding Training Module, Cambridge, Uk, 1994.
- [16] DİLLON C.P. Vd., Stainless Steels For Bioprocessing, Biopharm, Nidi Materials Engineering Workshop, April-July, 1992.
- [17] KALUÇ, E., Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Cilt 1: “Ergitme Esaslı Kaynak Yöntemleri”, Makine Mühendisleri Odası Kocaeli Şubesi, Kocaeli, 2004.
- [18] ERDOĞAN, M., “Mühendislik Alaşımlarının Yapı Ve Özellikleri”, Ankara, 2000.
- [19] KALUÇ, E., TÜLBENTÇİ, K., “Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği” Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, s. 170-178, 1995.
- [20] Asm., Metals Handbook 6, Welding And Brazing, Ohio, 1971.
- [21] KALUÇ, E., TÜLBENTÇİ, K., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Kocaeli Üniversitesi Kaynak Teknolojisi, Eğitim Ve Uygulama Merkezi, Kocaeli, 1998.
- [22] GÜRLEYİK, M.Y., Malzeme Bilgisi Ve Malzeme Muayenesi, 1988
- [23] SERFİÇELİ, Y.S., Malzeme Bilgisi, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000.
- [24] Asm Metals Referance Book, Asm Publuser, 1984.
- [25] CAMPBELL, “R.D. Ferritic Stainless Steels Welding Metallurgy”, Ferrous Alloy Weldments, Englewood Colorado, Usa, 1992.
- [26] CEYHUN, V., “Ferritik-Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Karbonlu Çelik İle Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Bağlantının Çekme-Makaslama Dayanımına Ve Taneler Arası Korozyona Etkisi”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 1992.
- [27] WOOLLİN, P., “Developments İn Fusion Welding Of Stainless Steels”, Welding&Metal Fabrication, Cambridge,Uk(1994).

- [28] Anon.; “Metallurgy Of Fusion Welding Pt3”, Stainless Steels, Welding&Metal Fabrication, 1994.
- [29] TEKİN, A.; “Çeliklerin Metalurjik Dizaynı”, Doktora Tezi,İ.T.Ü. Metalurji Fakültesi, İstanbul, Türkiye, 1981.
- [30] Asm Specialty Handbook, Stainless Steels, Asm International, 1990.
- [31] TÜLBENTÇİ, K.; “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Böhler Kaynak Dünyası, Sayı:11, İstanbul, 1985
- [32] BARGEL H.J., SCHULZE G., Malzeme Bilgisi, Çeviren: GÜLEÇ S., ARAN A., 1987.
- [33] ROTHMAN M. F., High-Temperature Property Data: Ferrous Alloys, Asm International, Metals Park, Ohio, 1989.
- [34] TÜLBENTÇİ K., MIG-MAG Eriyen Elektrod İle Gazaltı Kaynağı, Gedik Holding A. Ş. Yayınları, İstanbul, 1990.
- [35] Nickel Development Institute, Design Guidelines For The Selection And Use Of Stainless Steels, Nidi Designer Handbook Series No.9014, Toronto, 1985
- [36] ÇİFTÇİ, İ., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin İşlenmesinde Kesici Takım Kaplamasının Ve Kesme Hızının Kesme Kuvvetleri Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20, 2005.
- [37] ÇAKIR, C., "Modern Talaşlı İmalatın Esasları", Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı.
- [38] Sandvik Coromand, "Modern Metal Cutting-A Practical Handbook", Isbn, 1994.
- [39] YÜKSEL, M., Malzeme Bilgisi, Yayın No: 2002/271-1, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara, 2002.
- [40] OĞUZ, B.: “Karbonlu Ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı”, Oerlikon Yayınları, İstanbul, Türkiye, 1985.
- [41] GOOCH, T., Welding Behaviour And Weldability Of Superaustenitic Stainless Steels, 8th Annual North American Welding Research Conference, Cambridge Uk, 1992.
- [42] DEVELİ, K., “Östenitik Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Argon Hidrojen Karışımının Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, [2003].

- [43] GUNN, R.N., "The Influence Of Composition And Microstructure On The Corrosion Behaviour Of Commercial Duplex Alloy", 8th Annual North American Welding Research Conference, Tw1, Cambridge,Uk, 1992.
- [44] ATKINSON, R.F.; KING, R.W., "The Propertions And Applications Of Two Cast Duplex Stainless Steels", Duplex Stainless Steels, Conference Proceedings American Society For Metals, Ohio,Usa, 1982.
- [45] NOBLE, D.N.: "Oil And Gas Industry Experience With Duplex Stainless Steel Fabrication", 8th Annual North American Welding Research Conference, Arco Alaska, Usa, 1992.
- [46] TÜLBENTÇİ, K., "MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi", Arctech Yayını, İstanbul, 1998.
- [47] YALÇIN, H., KOÇ, T., Mühendisler İçin Korozyon, Tmmob Kimya Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 1998.
- [48] ÜRGEN M., ÇAKIR, A., F., Molibdenin Paslanmaz Çeliklerin Korozyonu Üzerindeki Etkisi, I. Korozyon Sempozyumu, Odtü, Ankara, 1990.
- [49] KÖLÜK, F., Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Yönteminin Isı Tesiri Altında Kalan Bölgeye Etkisinin İncelenmesi, G.Ü.F.B.E., Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2000.
- [50] WOOD, D. S., The Stress Rupture Properties Of Austenitic Steel Weld Metals, Nuclear Science And Technology, Eur 10124 En, Luxembourg, 1985.
- [51] Farrar, J. J., Influence Of Microstructure And Composition On Mechanical Properties Of Some A1s1 Series Weld Metals, International Materials Rewiews, Vol. 38, Num. 1., 1993.
- [52] ODABAŞ, C., Cr-Ni'li Ostenitik Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti, Metal Kaynak, Makine Ve Otomasyon Teknolojileri Dergisi, İstanbul, 1998.
- [53] BAYLAN, O., Elektrik Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Östenitik-Martenzitik Farklı Paslanmaz Çeliklerin Kaynaklı Bağlantılarında, Mikroyapı İle Özellikler Arasında İlişkinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Zonguldak, 2004.
- [54] LOTHONGKUM, G., VIYANİT, E., BHANDHUBANYONG, P., "Study on the effects of pulsed TIG welding parameters on delta-ferrite content, shape factor and bead quality in orbital welding of AISI 316L stainless steel plate.", J Mater Process Technol, Chulalongkorn University, Thailand, 110(2): 233 –238, 2001.
- [55] HICKEN G. K., Gas-tungsten arc welding, ASM Handbook, Vol. 6. 190 – 193, 1993.

- [56] GÜLENC, B., DEVELİ, K., KAHRAMAN, N., DURGUTLU, A., “Experimental study of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas in MIG welding of austenitic stainless steel” International Journal of Hydrogen Energy, vol. 30, pp.1475 – 1481, 2005.
- [57] CASTNER, H. R., “Material and Procedure Considerations for Welded Austenitic Stainless Steels”, 8th Annual North American Welding Research Conference, Edison Welding Institute, Columbus, Ohio, pp. 1–6, 1992.
- [58] ANIK, S., VURAL, M. “1000 Soruda Kaynak Teknolojisi, Cilt-2”, Birsen Yayınları, İstanbul, 355-357, 1993.
- [59] KALUÇ, E. “Örtülü Elektrodlar ile Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Ağzıları ve Kaynağın Uygulanması”, Gedik Kaynak Dünyası, Sayı:3, 29, 1991.
- [60] GERKEN, J.M., KOTECHKİ, D., Stainless steels Properties how to weld them where to use them, Lincoln Electric Co., Ohio, 1990.
- [61] GÜRÇAN, M., “TIG Kaynağı”, SEGEM (Sanayi Eğitim ve Geliştirme Merkezi Müdürlüğü, Ankara, 1987.
- [62] ANIK, S., VURAL, M., “Gazaltı Ark Kaynağı(TIG.MIG.MAG)” Gedik Holding Yayınları, 3. Baskı, İstanbul, 111–125, 1997.
- [63] DURGUTLU, A., KAHRAMAN, N., GÜLENC, B., “Bakır ve çelik levhaların örtülü elektrod ve TIG kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi ve arayüzey özelliklerinin incelenmesi”, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, sayı. 20, 183-190, 2005.
- [64] KAHRAMAN, N., “Modern Kaynak Teknolojisi Ders Notları”, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, 1-10, 2009.
- [65] SINDO, K., “Welding Metallurgy, Second Edition”, John Wiley & Sons Inc., New Jersey, pp. 8-19, 2003.
- [66] NORBERTO, J., PIRES, A.L., GUNNAR, B., “Welding robots, technology, system issues and applications”, British Library Cataloguing in Publication Data Pires, pp. 25-35, 2006.
- [67] YILMAZ, R., BARLAS, Z., “Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynak yöntemi ile birleştirilmesinde koruyucu gaz kompozisyonunun mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, sayı. 11, 391-400, 2005.
- [68] ERYÜREK, B., “ Gazaltı Kaynağı”, Askaynak Yayınları, Mart, 2003.

- [69] LANCASTER, J.F., “Metallurgy Of Welding, Chapman & Hall”, London, 1993.
- [70] SUBAN, M., TUSEK, J., “Dependence of Melting Rate in MIG-MAG Welding on the Type of Shielding Gas Used”, J. Mater. Proc. Tech, pp. 119, 1-3, 185-192, 2001.
- [71] URAL, M., KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin TIG Yöntemi İle Kaynağı”, Metal Makine, 12-20, Mart, 1996.
- [72] TUSEK, J., SUBAN, M., “Experimental Research of the Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding gas in Arc Welding of Highalloy stainless steel”, Int J. Hydrogen Energy, pp. 369–376, 2000.
- [73] GÜLTEKİN, N., “Kaynak Tekniği”, Y.Ü. Yayını Sayı 184, İstanbul, 1984.
- [74] GRANT, K.H., “Gas-Tungsten arc welding”, ASM Handbook, Welding, Brazing, and Soldering, London, vol. 6, pp. 590-602, 1998.
- [75] KALUÇ, E., SARI, N., “Paslanmaz Çeliklerin MIG Yöntemi ile Kaynağı”, Metal ve Kaynak, 32-75, 1996.
- [76] ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., “Örtülü Elektrot ile Elektrik Ark Kaynağı”, Gedik Holding Yayını, İstanbul, 1991.
- [77] FOLKHARD, F., “Welding Metallurgy of Stainless Steel”, Springer-Verlag, Vien, Newyork, 1984.
- [78] A.BAGGERUD .: “Çelikler İçin Kaynak Metalurjisi”., Çeviri: ANIK S., TÜLBENTÇİ K, İstanbul, 1966.
- [79] LIAO, M.T., CHEN, P.Y., “The Effect of Shielding-Gas Compositions on The Microstructure and Mechanical Properties of Stainless Steel Weldments”, Materials Chemistry and Physics, pp. 55, 145-151, 1998.
- [80] ANIK, S., ANIK, E.S., VURAL, M., “Kaynak Teknoloji El Kitabı”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [81] KALUÇ, E. “Östenitik Krom – Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Gedik Kaynak Dünyası, Sayı:2, 18–21, 1996.
- [82] TAKUDA, H., MORİ, K., MASACHİKA, T., YAMAZAKİ, E., WATANABE, Y., “Finite element analysis of the formability of an austenitic stainless-steel sheet in warm deep drawing.” J Mater Process Technol, Department of Production Systems Engineering, Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, pp. 143–144, 2003.

- [83] A Designers' Handbook Series, No 9002, Welding of Stainless Steels And Other Joining Methods, Distributed by Nickel Development Institute, Produced by American Iron And Steel Institute, 2005.
- [84] COATES, G., Basics of corrosion, Ppt. presentation, NiDI Materials Engineering Workshop, 2003.
- [85] KAHRAMAN N., DURGUTLU, A., GÜLENÇ. B., "316L Paslanmaz Çeliğin TIG Kaynağında Koruyucu Argon Gazına Hidrojen İlavesinin Kaynak Bölgesi Tane Morfolojisine Etkilerinin Araştırılması". Politeknik Dergisi, C:73, 223-228, 2004.
- [86] Metals Handbook, Paslanmaz Çeliklerin, Takım Malzemelerinin ve Özel Amaçlı Metallerin Özellikleri ve Seçimi, 9. Baskı, Cilt 3. ASM International, 617-622, 2001.
- [87] American Welding Society, Welding Handbook Materials and Applications, Part2, Volume 4, Miami-Florida, pp.278-279, 1994.
- [88] DORUK, İ., Gıda Sanayinde Kullanılan Paslanmaz Çelikler ve Bu Çeliklere Uygulanan Kaynak Yöntemleri, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli, 2005.

ÖZGEÇMİŞ

Gökhan Emre Kükürtcü, 15.06.1989 da İstanbul' da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2007 yılında Halide Edip Adıvar Lisesinden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü 2011 yılında bitirdi. 2012 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.