

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN ROBOT
KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. Harun KORG

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Salim ASLANLAR

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**OSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN ROBOT
KAYNAĞI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Teknik Öğrt. Harun KORG

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 05/06/2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Salim ASLANLAR
Jüri Başkanı

Yrd.Doç.Dr.Uğur ÖZSARAÇ
Üye

Yrd.Doç. Dr. Erdal KARADENİZ
Üye

TEŞEKKÜR

Öncelikle yetiştirilmem sırasında emeklerini esirgemeyen değerli anneme, babama ve yardımlarından dolayı kardeşime sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu çalışmalarımı tamamlamamda yardımlarından ötürü değerli danışmanım Sayın Doç. Dr. Salim ASLANLAR 'a teşekkür ederim.

Yaptığım çalışmanın deneysel kısmında yardımlarından ötürü Kromel Makine Sanayi A.Ş çalışanlarından Gnl. Müd. İsmet ÇALIŞKAN, Mak. Müh. Ayhan ŞEKER ve kaynakçı Cengiz GENÇ'e teşekkür ederim. Çevirilerde bulunduğu yardımlarından dolayı Gizem TAŞOTURAN'a teşekkür ederim. Sınıf arkadaşım Gencer GENÇ'e, Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Araş. Görv. Murat ÇOLAK'a, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Araş. Görv. Yıldız YARALI ve Teknisyen Ersan DEMİR'e ayrıca teşekkür ederim

Haziran 2007

Harun KORG

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
PASLANMAZ ÇELİKLER	6
2.1. Paslanmaz Çelikler ve Özellikleri.....	6
2.2. Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapısına Etki Eden Elementler	6
2.2.1. Ferit oluşturan elementler	7
2.2.2. Östenit oluşturan elementler	8
2.2.3. Nötr elementler.....	8
2.3. Paslanmaz Çelikler Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri.....	9
2.4. Paslanmaz Çeliklerde Faz Diyagramları	9
2.5. Östenitik Paslanmaz Çelikler	14
2.5.1. Krom karbür oluşumu	16
2.5.2. Sıcak çatlak oluşumu.....	18
2.5.3. Sigma faz oluşumu (σ)	20
2.5.4. Östenitli paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri.....	22
2.5.4.1. Östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri.....	25

2.5.4.2. Ostenitik paslanmaz çeliklerin düşük sıcaklıklardaki mekanik özellikleri.....	29
2.5.5. Ostenitik yapının kaynak özelliği.....	30
2.6. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	31
2.7 Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	34
2.8 Çift Fazlı (Duplex) ve Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler ..	35
2.9. Kromun Demire katılımının Etkileri.....	36
2.10. Karbonun Fe-Cr Sistemine Etkileri.....	37
2.11. Nikelin Fe-Cr Sistemine Katılımının Etkileri	41

BÖLÜM 3.PASLANMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE

KAYNAĞI.....	44
3.1 TIG Kaynağı.....	44
3.2. Robot TIG Kaynak Makinesi.....	46
3.2.1. Tek eksenli robot TIG kaynak makinesi	47
3.2.2. Çok eksenli robot gaz altı kaynak makinesi.....	50
3.2.2.1. Robotsal kaynak süreci kontrolü.....	52
3.2.2.2. Kaynak robotunu programlama.....	52
3.2.2.3. Robot sistem algılayıcısı.....	53
3.3. Kaynak Parametrelerinin Damla Geometrisi Üzerine Etkileri.....	55
3.3.1. Nüfuz ve yayılmanın derinliğini etkileyen parametreler.....	55
3.3.2. Damla yüksekliğini ve genişliğini etkileyen parametreler.....	56
3.4. TIG Kaynağında Ek Kaynak Metalleri	56
3.5. TIG Kaynak Elektrotları	57
3.6. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Koruyucu Gazlar	58
3.7. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Ağız Hazırlığı.....	59
3.8. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı	61
3.8.1. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı.....	61
3.8.2. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı.....	62
3.8.3. Kaynak kabiliyeti	62

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	64
4.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler	64
4.2. Kaynak Parametreleri	64
4.3. Deney Numunelerinin Alınması	73
4.3.1. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması	73
4.3.2. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanması	74
4.3.3. Makro incelemeler, mikro yapı inceleme ve mikro sertlik numunelerinin hazırlanması	74
4.3.4. Çentik darbe deneyi numunelerinin hazırlanması	76

BÖLÜM 5.

DENEYSEL SONUÇLAR	77
5.1. Çekme Deneyi Sonuçları	77
5.2. Eğme Deneyi Sonuçları	86
5.3 Makro ve Mikroyapı İncelemeleri ve Sonuçları	88
5.4. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma	100
5.5. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları	102

BÖLÜM 6

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	103
6.1. Genel Sonuçlar	103
6.2. Öneriler	105

KAYNAKÇA	106
----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ	109
----------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ITAB	: Isının Tesiri Altında Kalan Bölge
TIG	: Tunsten İnerit Gas
MIG	: Metal İnerit Gas
α	: Ferrit
γ	: Östenit
δ	: Delta Ferit
σ	: Sigma Fazı
$\sigma_{\text{çekme}}$: Çekme Mukavemeti
σ_{Kopma}	: Kopma Mukavemeti
σ_{Akma}	: Akma Mukavemeti
PA	: Yatay kaynak pozisyonu
B_w	: Kaynak damlası genişliği
B_h	: Kaynak damlası yüksekliği
D_p	: Kaynak damlası derinliği
A_p	: Kaynak penetrasyon alanı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi	2
Şekil 2.1. Paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları	7
Şekil 2.2. Demir karbon faz diyagramı	10
Şekil 2.3. KC, K1, K2 olarak belirtilen karbürler $(Cr,Fe)_3$, $(Cr,Fe)_{23}C_6$ ve $(Cr,Fe)_7C_3$ 'dür	11
Şekil 2.4. a) %4 Ni b) %8 Ni içeren Fe % 18 Cr-C alaşımları faz diyagramı.....	12
Şekil 2.5. Katılma faz sınırlarını da içeren WRC-1992 Diyagramı.....	13
Şekil 2.6. SCHAEFFLER diyagramı	14
Şekil 2.7. 18 Cr /8 Ni (0,10 C)'lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi (x1200)[20].....	16
Şekil 2.8. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon.....	16
Şekil 2.9. Krom karbür çökmesi sonucu hassaz bölgede oluşan korozyon.....	17
Şekil 2.10. AISI 301 ve 304 çeliklerinin çekme eğrileri karşılaştırılması.	23
Şekil 2.11. AISI standart paslanmaz çeliklerinin pekleşme özellikleri.....	24
Şekil 2.12. Paslanmaz çeliklerin sürünme özellikleri	26
Şekil 2.13. Östenitli paslanmazlardan yapılmış dikişsiz boruların yüksek sıcaklık uygulamalarındaki en yüksek kullanım gerilimleri.....	28
Şekil 2.14. Sigma oluşumunun ostenitli paslanmazların tokluğuna etkisi.....	31
Şekil 2.15. Ferritli paslanmaz çeliklerin bileşim aralığını gösteren % 0.2 C kesitli Fe-Cr denge diyagramı	32
Şekil 2.16. Martensitli paslanmaz çeliklerin bileşim aralığını gösteren %1 C kesitli Fe-Cr denge diyagramı.....	35
Şekil 2.17. Fe-Cr denge çizgisi.	36
Şekil 2.18. %0.1 C içeren Fe-Cr -C alaşımlarının denge çizgisi.....	38
Şekil 2.19. Kromun γ bölgesine etkisi	38

Şekil 2.20. Değişik % Cr kesitlerinde Fe-C dengesi.....	39
Şekil 2.21. Fe-Cr alaşımlarında %C etkisi. Fe-Cr-C alaşımları.....	40
Şekil 2.22. a) %18 Cr içeren çeliklerde %4 Ni 'nin etkisi	42
Şekil 2.22. b) %18 Cr içeren çeliklerde %8 nikelin etkisi	43
Şekil 3.1. TIG kaynak donanımı prensip şeması.....	45
Şekil 3.2. a) Tek eksen robot kaynak makinesinin genel görünümü b)Tek eksen robot kaynak makinesinin kontrol paneli görünümü.	48
Şekil 3.3. Ekrandan Parametrelerin seçimi	49
Şekil 3.4. Procon marka tek eksenli robot TIG kaynak makinesi kurulum şeması.....	49
Şekil 3.5. Çok eksenli Fanuc marka kaynak robotu.....	50
Şekil 3.6. Daiden marka AutoTac 350 U Kaynak makinesi	51
Şekil 3.7. Fanuc robot R-G2 kontrolcüsü.....	51
Şekil 3.8. Yapılandırılmış ışık sisteminin prensibi	54
Şekil 3.9. 6 akslı eklemlili robot lazer görüntüleme sistemi.	54
Şekil 3.10. Gelişmiş bir gaz altı kaynak robotu sistem kurulumu	55
Şekil 4.1. Numunelerin kaynatılmış plakadan çıkarılmasında lazer kesim yerleşimi.....	73
Şekil 4.2. Çekme deneyi numune örneği	74
Şekil 4.3. Eğme deneyi numune örneği	74
Şekil 4.4. Mikro yapı numunelerinin kaynaklı bölgeden alınış yönü ve numune örneği	75
Şekil 4.5. Sertlik alınan bölgelerin şematik gösterimi	76
Şekil 4.6. Çentik darbe numune örneği.....	76
Şekil 5.1. A numunesi; robot TIG kaynak yöntemiyle 150 amperde, 4 mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi	78
Şekil 5.2. B numunesi; robot TIG kaynak yöntemiyle 160 amperde, 4mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, 308 L ilave tel kullanılarak önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi	78

Şekil 5.3. C numunesi; robot TIG kaynak yöntemiyle 150 amperde, 7.6mm/sn kaynak hızıyla, hidark5 koruyucu gaz altında, telsiz bir tarafı iki paso olarak önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi	79
Şekil 5.4. D numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 150 amperde, 4 mm/sn kaynak hızıyla, saf argon koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi	79
Şekil 5.5. E numunesi; robot TIG kaynak yöntemiyle 190 amperde, 4 mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi	79
Şekil 5.6. F numunesi; robot TIG kaynak yöntemiyle 190 amperde, 5.8mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi	80
Şekil 5.7. G numunesi; robot TIG kaynak yöntemiyle 200 amperde, 4 mm/sn Kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, 308 L ilave tel kullanılarak önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi	80
Şekil 5.8. Numunelerin çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması a) Akma dayanımlarının karşılaştırılması. b) Çekme dayanımlarının karşılaştırılması c) Kopma dayanımlarının karşılaştırılması.....	82
Şekil 5.9. Numunelerin çekme deneyi sonucunda % uzamalarının karşılaştırılması	83
Şekil 5.10. Çekme deneyinde koparılan numuneler.....	84
Şekil 5.11. Çekme deneyinde koparılan numunelerin yüzey fotoğrafları (harf sırasına göre eklenmiştir)	85
Şekil 5.12. Eğme deneyi sonrası numune fotoğrafları.....	86
Şekil 5.13. Numunelerin eğme deneyi sonucu gerilme uzama eğrileri (harf sırasına göre eklenmiştir)	87
Şekil 5.14. Numunelerin kaynak damla geometri fofografları. Harf sırasına göre eklenmiştir.....	89

Şekil 5.15. Kaynak damla geometrisi	90
Şekil 5.16. Numunelerin kaynak yüzey fotoğrafları	91
Şekil 5.17. (A numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin geçiş bölgesi, ana malzeme ve nüfuziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü.....	92
Şekil 5.18. (B numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak metali, geçiş bölgesi ve nüfuziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü.....	93
Şekil 5.19. (C numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi ve nüfuziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü.....	94
Şekil 5.20. (D numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi ve nüfuziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü.....	95
Şekil 5.21. (E numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi ve ön, arka kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü	96
Şekil 5.22. (F numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi, ana metal ve yüzey şekli bölgesi mikroyapı görüntüsü	97
Şekil 5.23. (G numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak metali, geçiş bölgesi, ana metal mikroyapı görüntüsü.....	98
Şekil 5.24. Mikro sertlik ölçülen yerler	101
Şekil 5.25. Mikro sertlik deney sonuçları	101
Şekil 5.26. Numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları.....	102
Şekil 5.27. Numunelerin darbe deneyi sonucu kırılmış bazı fotoğrafları.....	102

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Alışmsız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin Karşılaştırılması.....	9
Tablo 2.2. Bazı ostenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanımları.....	15
Tablo 2.3. AISI paslanmaz çeliklerinin sürünme özellikleri	27
Tablo 2.4. Ostenitik paslanmaz çeliklerin sıfır altı sıcaklığındaki mekanik Özellikleri.....	30
Tablo 3.1. Bazı TIG ilave tellerin kimyasal bileşimleri	57
Tablo 3.2. Tungsten elektrodların kimyasal kimyasal bileşimleri ve tanım renkleri (DİN 32528).....	58
Tablo 3.3. Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasitelerdir	58
Tablo 3.4. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı için kullanılan kaynak ağızları	60
Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan 304 ana malzeme ve 308L ilave telin kimyasal analiz değerleri	64
Tablo 4.2. 304 kalite ostenitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri	64
Tablo 4.3. İncelenecek numunelerin kaynak parametreleri	65
Tablo 5.1. A,B,C,D,E,F,G numuneleri çekme deney sonuçları	78
Tablo 5.2. Numunelerin eğme deneyi sonucu eğme dayanımları.....	86
Tablo 5.3. Numunelerin kaynak geometrileri	90
Tablo 5.4. Kullanılan malzemelerin çeşitli diyagramlarda $Cr_{eş}$, $Ni_{eş}$ ve δ - ferrit değerleri	100

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelikler, TIG, Koruyucu Gaz, Mekanik Özellikler, Mikroyapı, Robot kaynağı

Bu çalışmanın amacı, paslanmaz çeliklerin tek eksen robot Tungsten inert gas (TIG) kaynak yöntemi ile birleştirilmesi esnasında değiştirilen kaynak parametrelerinin kaynak damla geometrisine, mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisini araştırmaktır. Çalışmada, AISI 304 tipi ostenitik paslanmaz çelik malzemeler Robot TIG kaynak yöntemi ile küt alın kaynak dizaynında ve yatay pozisyonda birleştirilmiştir. Birleştirme işlemlerinde değişik kaynak hızı, amber, koruyucu gaz, telli ve telsiz, doğru ve darbeli akım kullanılmıştır. Birleştirilen parçaların çekme, eğme ve mikrosertlik mekanik deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmalara paralel olarak optik mikroskopta değişik büyütmelerde mikroyapı incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. Yapılan çalışmalarda kaynak yüzey şekilleri incelenmiş ve gıda endüstrisine en uygun kaynak parametreleri belirlenmiştir. Değiştirilen kaynak parametrelerinin mekanik özellikleri etkilediği gösterilmiştir.

MACHANNICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS WELDED BY ROBOT WELDING

SUMMARY

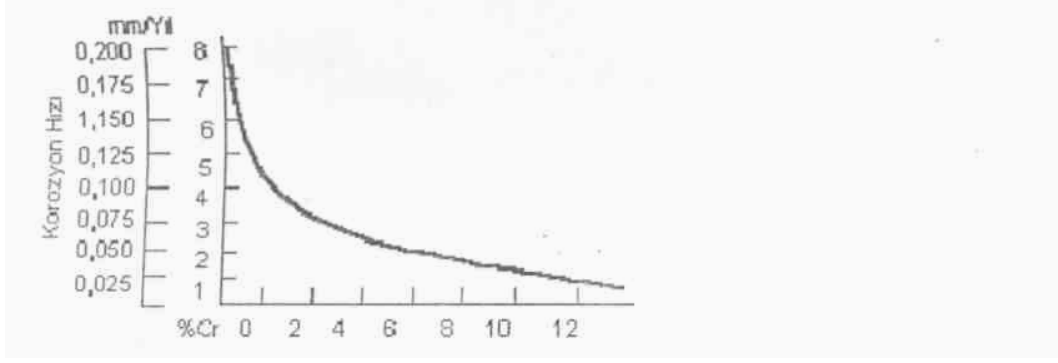
Key Words: Stainless Steels, GTAW, Shielding Gas, Mechanical Properties, Microstructure, Robotic Welding

The aim of this study is the investigation of the effect of some welding parameters changed during the Tungsten inert gas (TIG) welding process of the austenitic stainless steels; on the weld bead geometry, mechanical and micro-structural properties. In this study, AISI 304 type of austenitic stainless steels were welded by using the robot gas tungsten arc welding (GTAW) in PA and in flat position. During the welding process, various welding speed, amper, shielding gas, linear and non-linear, AC or DC were utilized. Various characterization techniques such as, tensile testing, bending testing and micro-hardness measurements were carried out for some of the workpieces. Parallel to these studies, microstructure was analyzed under different amplifications by using optical microscope and its pictures were taken. In the committed studies, the welding surface geometry was examined and the most suitable welding parameters to the food industry were determined. Also it was shown that the changed welding parameters affected the mechanical properties.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Ostenitik paslanmaz çelikler “bileşiminde korozyona karşı krom ve ostenitik bir yapı sağlamak amacı ile de nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan, ısı işlemi ile sertleştirilemeyen soğuk biçimlendirilmeye elverişli paslanmaz çeliktir” diye anılırlar [1]. Her türde ve biçimde bulunabilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen bu çeliklerin ergitme kaynak yöntemleri ile başarılı bir biçimde kaynak edilebilmeleri, uygulama alanlarını daha da genişletmektedir. Bu çeliklerin bileşimindeki krom oksitlenme ve korozyon direnci sağlarken nikel ve mangan, ostenit fazın yüksek soğuma hızlarına rağmen oda sıcaklığında dahi kararlı kalmasını sağlar [2,3]. Ostenitik paslanmaz çelik ailesinden; X5CrNi1810 (304) tip paslanmaz çelik, korozyon direnci ve iyi biçimlendirilme kabiliyeti bakımından çok yaygın kullanılan bir çeliktir. 304 çeliğin şekil değiştirme sertleşmesi de arttırılmış olduğundan yüksek mukavemet gerektiren makine parçalarının yapımında oldukça sık kullanılır. Bu tür çeliklerin kaynaklı birleştirilmelerinde fiziksel özellikleri dikkate almak gereklidir [4].

Paslanmaz çelikler; bileşimlerinde en az %11 oranında krom içeren çeliklerdir. Sahip oldukları üstün mekaniksel özellikleri ve korozyon dirençlerinden dolayı günümüz endüstrisinin en önemli malzemelerinden biri olup, 170’den fazla farklı paslanmaz çelik türü bulunmaktadır [5-7]. Şekil 1.1’de Krom miktarının korozyon direncine etkisi gösterilmektedir. 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 [5,6,8-10].



Şekil 1.1. Fe-Cr alaşımlarında Cr miktarının korozyon direncine etkisi [9]

Günümüzde paslanmaz çeliklerin orijini konusunda efsaneleşmiş bir hikaye anlatılır; Bu hikayeye göre 1. Dünya Savaşından sonra Avrupalı bir hurdacı paslı hurdalar arasında pırıl pırıl parlayan bir top namlusu görür ve bunun neden diğer çelikler gibi paslanmadığını merak ederek analiz ettirir ve sonuçta çeliğin içerisinde yüksek oranda krom bulunduğunu öğrenir. Meraklı hurdacının bu efsanevi keşfinden sonra Avrupa da paslanmaz çelik üretimi başlar.

Bu hikayede en önemli konu, kromlu demir alaşımlarının hurdacının keşfinden yıllar önce araştırıldığı, üretildiği, kullanıldığı, hurdaya ayrıldığıdır.

Paslanmaz çeliğe paslanmazlık özelliğini kazandıran alaşım elementi olan krom, ilk önce Alman Kimyager M.H Klaproth ve Fransız Louis Nicolas Vauguelin tarafından 1797 de Ural Dağlarından gelen Crooite adı verilen parlak kırmızı renkli bir mineralin analizi sırasında yeni bir element olarak kendisini göstermiştir. Birleşiminde Kurşun İçeren bu cevherden bu yeni elementi ayırıştırma çalışmaları sırasında mineralin çeşitli renkler alması üzerin Kristalograf Rene-just Hauy'ün önerisi ile, Vauguelin bu yeni elemente Yunanca renk kelimesinden türetilmiş, olan Krom adını vermiştir [7].

"Paslanmazlık", yanlıca bileşiminde en az %11 Cr bulunmakla sağlanmaz, aynı zamanda alaşımın EDİLGİNLİK (pasivite) özelliği de göstermesi gerekir. Edilginlik, korozyon yaratıcı ortamlarda metal yüzey ile ortam arasında doğan etkileşimsizlik durumuna verilen ad çeliğin paslanmaz olarak nitelendirilebilmesi için hem bileşiminde en az % 11 Cr içermesi ve hem de edilginlik özelliği

göstermesi gereklidir. Örneğin, AISI D3 yada Spezial K olarak tanınan yüksek kromlu (%12 Cr) ve yüksek karbonlu (%1.5-2.0 C) soğuk iş çeliği paslanmaz değildir; bileşimindeki yüksek karbon edilginlik doğmasını engeller. Özet olarak tanımlayacak olursak, paslanmaz çelikler bileşimlerinde en az %10.5 Cr içeren ve yükselten ortamlarda edilginlik özelliği gösteren çeliklerdir. Bu nedenle de paslanmaz çelikler, H₂SO₄ gibi indirgeyici ortamlarda iyi korozyon direnci göstermezler. H₂SO₄ gibi indirgeyici ortamlarda iyi korozyon direnci göstermezler.

Yüksek kromlu çeliklerin üretimleri oldukça zordur. Krom hem karbon ve hem de oksijen ile birleşmeye yatkınlığı yüksek olan bir metaldir. Çeliğe fazla karbon kaçarsa çeliğin paslanmazlık özelliği bozulabilir; çelik üretiminde oksitlenme krom kaybına yol açar. Bu nedenle paslanmaz çelikler özel yöntemlerle vakumlu ocaklarda ve argon atmosfer altında üretilirler [11].

Paslanmaz çelikler içerdikleri katkı elementlerine göre değişen ve tamamen ostenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan paslanmaz çelikleri beş ana başlıkta toplayabiliriz. Bunlar sırası ile;

- 1- Ostenitik krom-nikelli paslanmaz/ çelikler,
- 2- Ferritik kromlu paslanmaz çelikler,
- 3- Martenzilik kromlu paslanmaz çelikler,
- 4- Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler,
- 5- Çiti fazlı (duplex) paslanmaz çelikler.

Paslanmaz çelik türlerinde katkı elementlerinin farklı olması veya farklı oranlarda bulunması paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin de farklı olmasına sebep olur. Bu olayda paslanmaz çeliklerin kaynak işlemlerinde önemli rol oynamaktadır. Ostenitik paslanmaz çeliklerde iç yapıyı belirleyen en önemli elementler krom, nikel, molibden ve mangandır. Özellikle Krom ve nikel mikroyapının ferritik ve ostenitik olmasını sağlayan önemli elementlerdir. Ostenitik ve ferritik çelikler tüm paslanmaz çelikler içerisinde kullanım alanları % 95 değerlerine ulaşmaktadır. Ostenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde

farklı kaynak yöntemleri kullanılmasına rağmen ince ve orta kesitli parçaların birleştirilmesinde gazaltı kaynak yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [5, 12-15]. TIG kaynak yöntemi el ile ve otomatik olarak 6,5 mm'ye kadar kalınlıktaki saçların birleştirilmesinde başarılı olarak uygulanmaktadır [5,15,16]. Gazaltı kaynaklarında kaliteli bir birleştirmenin sağlanabilmesi için koruyucu gaz ve ilave metalin seçimi oldukça önemlidir. TIG kaynak yöntemi ile birleştirme işlemlerinde çeşitli soy gazlar ve bu gazların karışımları koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynatılmasında en çok kullanılan koruyucu gaz saf argondur [14,16].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi esnasında saf argona belli oranlarda hidrojen ilavesi kaynak hızının artmasına katkıda bulunmakta olup, kaynak esnasında eriyen metal miktarının artması kaynak banyosunun daha akışkan olması nedeniyle yapılan birleştirmenin estetik görünümüne sahip ve daha üstün mukavemet değerlerine sahip birleştirmeler elde edilmektedir [12,17].

TIG kaynak yöntemi kullanılarak birleştirilen ostenitik paslanmaz çelik konstrüksiyonların mekanik özelliklerin belirlenmesi imalatı yapılan konstrüksiyonun daha güvenli kullanılması açısından önemlidir. TIG kaynak yöntemiyle birleştirilen paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesindeki sertlik dağılımı, çekme mukavemeti ve eğme mukavemeti, kaynak damla geometrisinin bilinmesi gereken önemli özellikler olup, kaynak bölgesinin mikroyapısının bu özelliklere etkisi oldukça önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmada, endüstriyel açıdan önemi ve kullanım alanı büyük olan AISI 304 tipi ostenitik paslanmaz çelik, değişik gazlar kullanılarak, ilave telli ve telsiz, değişik kaynak hızlarında etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda gerçekleştirilen deney sonuçları yorumlanarak literatür bilgileri ve standartlarda verilen sınırlamalar ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Bu çalışma 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde paslanmaz çeliklerin tanımı ve önemi, çeşitleri ve çalışma gerekçesi hakkında bilgiler bu tezin giriş bölümünde verilmiştir. Giriş bölümüne takiben 2. bölümde ise paslanmaz çelikler hakkında genel bilgiler ile çeşitleri, kullanım yerleri ve çeşitli mekanik ve fiziksel

özellikleri hakkında bilgiler sunulmaktadır. Bölüm 3’de paslanmaz çeliklerin kaynağı, kaynaklı birleştirmelerde karşılaşılan problemler, robot kaynak yöntemi ve kaynak parametrelerinin etkilerine yer verilmiştir. Bölüm 4’de ise, bu çalışmada yapılan deneyler ve izlenen deneysel metotlar açıklanmıştır. Bölüm 5’de bu çalışmanın en can alıcı kısmını oluşturmakta olup kaynaklı parçaların sertlik, çekme, eğme deneyleri ile ilgili yapılan deneysel sonuçlar ile mikroyapı incelemesi sonuçları, kaynak hızı, koruyucu gaz, telli ve telsiz kaynağın, akım tipinin kaynak damla yüzey geometrisine etkilerinin yorumu yapıldı. Çalışmanın son kısmı olan 6. bölümde ise elde edilen genel sonuçlar ve gelecekte aynı konuda araştırma yapacaklara hitap eden öneriler kısmı bulunmaktadır.

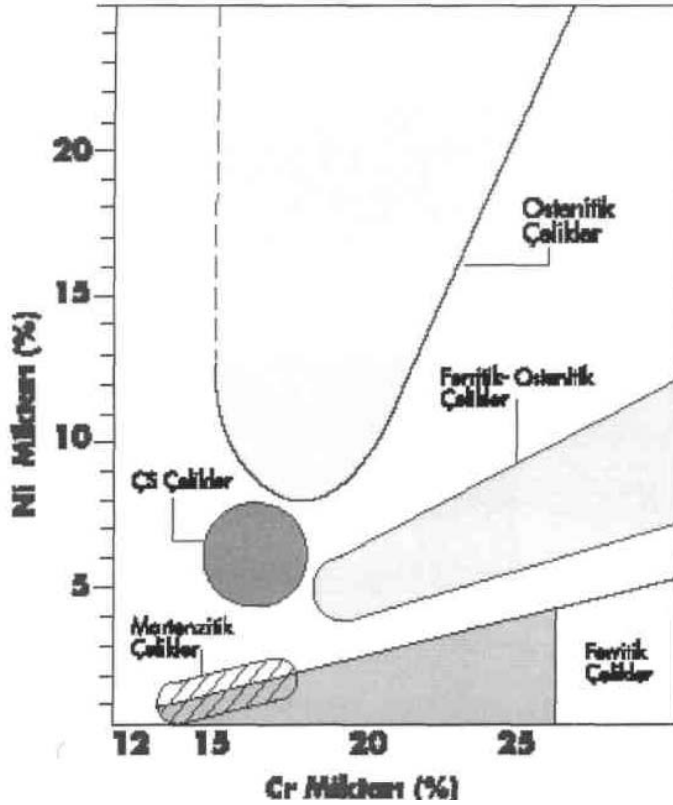
BÖLÜM 2. PASLANMAZ ÇELİKLER

2.1. Paslanmaz Çelikler ve Özellikleri

Paslanmaz çeliklere paslanmazlık özelliği kazandıran alaşım elementi krom; yunanca bir kelime olup, renk kelimesinden türetilmiştir ve bu alaşımlar metalografik dağlama araçlarına karşı dirençli olduklarından bu malzemelere paslanmaz çelik adı verilmiştir. Bu çelikleri tarih içerisindeki geliştirme çalışmalarında asitlere dayanıklılığı keşfedilmiştir. Aynı zamanda krom karbürleri çözelti haline getirerek bu alaşımı daha sünek hale getirilmiş ve 1914 yılında Krupp tarafından endüstriyel çapta ilk paslanmaz çelik üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonraları ferritik ve ostenitik tipler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. II. Dünya savaşı sonrasında ostenitik paslanmaz çelik için nikel bulunmakta zorluk çekildiğinden bu element yerine mangan ve azot kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda farklı ihtiyaçların karşılanması amacıyla dubleks ve çökeltme sertleşmeli çelik türleri de geliştirilerek üretilmeye başlanmıştır [18]. Günümüzde değişik amaçlarla kullanılan farklı paslanmaz çelik türleri vardır ve bu çelik türleri Şekil 2.1. de belirtildiği gibi nikel ve krom miktarlarına göre değişmektedir.

2.2. Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapısına Etki Eden Elementler

Paslanmaz çelik malzemelerin içerisindeki alaşım elementleri ferrit ve ostenit oluşturuca olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Elementlerin mikroyapıya olan etkileri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.1. Paslanmaz çelik türleri için Ni ve Cr miktarları [9]

2.2.1. Ferit Oluşturan Elementler

Krom: Ferrit oluşumunda etkili olup malzemenin korozyon ve oksidasyon direncini arttırmaktadır.

Molibden: Ferrit oluşumuna katkıda bulunmakta ve malzemenin yüksek sıcaklıklardaki direncini artırmakla beraber indirgeyici ortamlarda malzemenin korozyona karşı direncini de arttırmaktadır.

Niobyum ve titanyum : Malzeme içerisinde taneler arası korozyon hassasiyetinin azaltılması amacıyla malzeme içerisine ilave edilmekte olup, malzeme içerisindeki karbonla birleşerek krom karbür çökmesini önler. Çünkü, bu elementler özellikle niobyum kuvvetli karbür yapıcıdır. Ayrıca, bu elementlerin tane küçültücü etkisi olup, ferrit oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu elementler aynı zamanda

martenzitik paslanmaz çelik türlerinde karbonu bağlayarak çeliğin sertleşme eğilimini azaltmaktadır.

Fosfor, kükürt ve selenyum: Paslanmaz çeliklerin işlenebilme kabiliyetini arttırmakta olup, kaynak esnasında sıcak çatlak oluşumuna neden olduğundan paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini sınırlamaktadır. Bu elementler paslanmaz çeliklerin kaynağında nüfuziyetin artmasına katkı sağlamaktadır [5].

2.2.2. Ostenit Oluşturan Elementler

Karbon: Ostenit oluşumuna kuvvetli etkide bulunur. Krom ile birlikte taneler arası korozyonda başrol oynayan karbürlerin oluşumuna neden olur.

Nikel: Ostenit oluşumuna etkide bulunur. Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır.

Azot: Ostenit oluşumuna çok kuvvetli etkide bulunur, en az nikel elementi kadar etkilidir.

Bakır: Korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla paslanmaz çelik malzemelere katılmakta olup gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltmakta ve çökeltme sertleşmesini sağlamaktadır [5].

2.2.3. Nötr Elementler

Mangan: Oda sıcaklığı civarında ostenitin kararlı olmasını sağlamakla beraber yüksek sıcaklıkta ferrit fazının oluşmasına neden olmaktadır.

Silisyum: Paslanmaz çelik malzemelerin tufallaşmasını önlemektedir. Mikroyapı içerisinde %1 oranından daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma fazının oluşumunda etkili olmakta ve paslanmaz çelik malzemedeki oksit giderme amacıyla az miktarlarda eklenmektedir. Kaynak esnasında banyonun akışkanlığını arttırmakta ve kaynak metalinin ana metali daha iyi ıslatmasını sağlamaktadır [5].

2.3. Paslanmaz Çelikler Fiziksel ve Mekaniksel Özellikleri

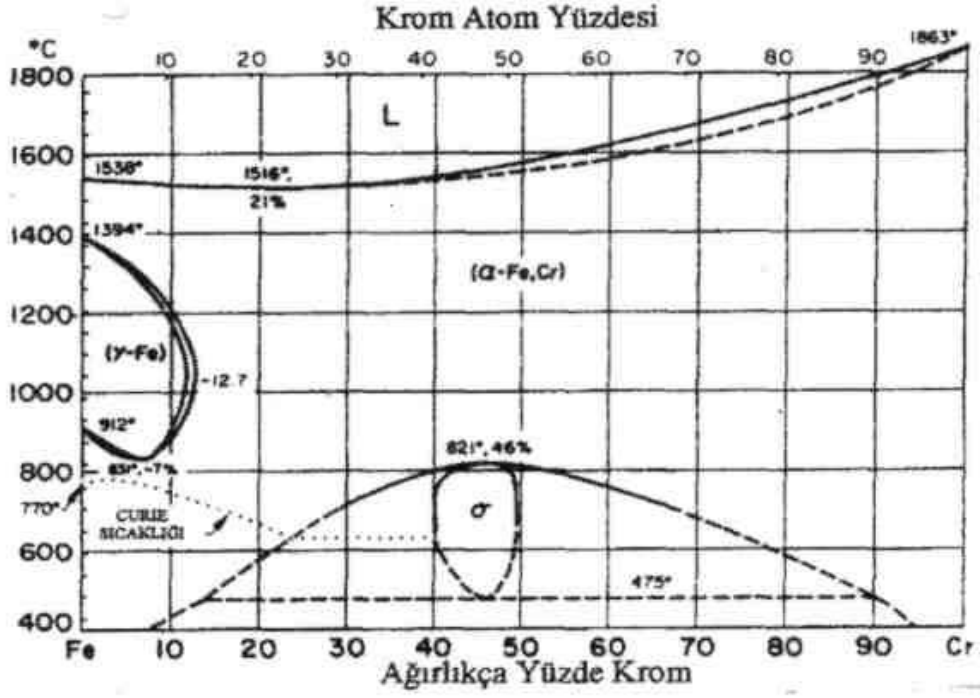
Paslanmaz çeliklerin sahip olduğu bazı fiziksel özellikler Tablo 2.1.'de verilmiştir. Tablodan anlaşıldığına göre paslanmaz çelikler ile adi karbonlu çeliklerin sahip olduğu bazı fiziksel özellikler farklılık göstermektedir. Ostenitik paslanmaz çeliğin sahip olduğu ısı iletkenliği adi karbonlu çeliklerin 1/3 'ü kadar olmasına rağmen ısıl genişleme katsayıları % 50 kadar daha fazladır. Bu durum bu tür malzemelerin kaynak esnasında ısının bir yerde yoğunlaşması ve malzemelerin distorsiyon oluşturması gibi bazı problemlerin oluşmasına neden olmaktadır [8]. Paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri az alaşımlı çeliklerden farklılık göstermektedir. Bu tür çeliklerin sertleşme kabiliyetleri malzemenin içerdiği karbon miktarına bağlı olarak artmaktadır. Daha önce belirtildiği gibi paslanmaz çeliklerin tercih edilmesindeki en büyük sebep mekanik özelliklerinden daha ziyade oksidasyon ve korozyona karşı dirence sahip olmalarıdır [12].

Tablo 2.1. Alaşımsız çelik ile paslanmaz çeliklerin fiziksel özelliklerinin karşılaştırılması [12]

Özelliği	Birimi	Alaşımsız çelik (St 37-3)	Ferritik kromlu paslanmaz çelik	Ostenitik Krom-Nikelli paslanmaz çelik
Isı iletkenliği	1 (cm.sK)	0.50	0.25	0.15
Isıl genişleme katsayısı	K ⁻¹	12.10 ⁻⁶	11.10 ⁻⁶	16.10 ⁻⁶
Elektrik iletme direnci	flmmV	0.107	0.475	0.769

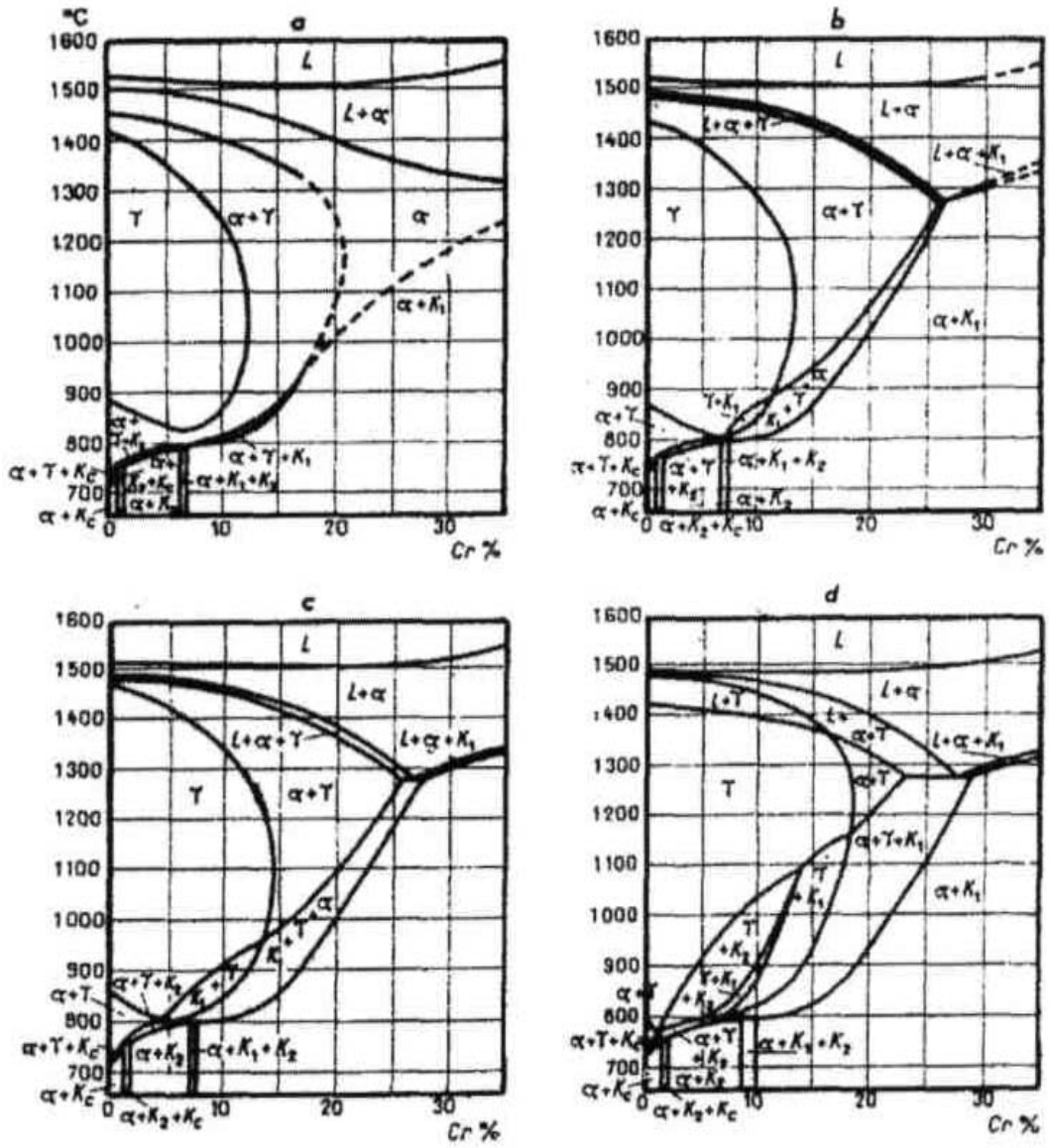
2.4. Paslanmaz Çeliklerde Faz Diyagramları

Paslanmaz çeliklerin temelini demir krom sistemi oluşturmakta olup, krom hacim merkezli kübik (HMK) yapısına sahip ferritiği kararlı hale gelmektedir. Ostenit yapıyı oluşturan bölgede 1000 °C sıcaklığında % 12 'ye kadar krom çözölmektedir [6].



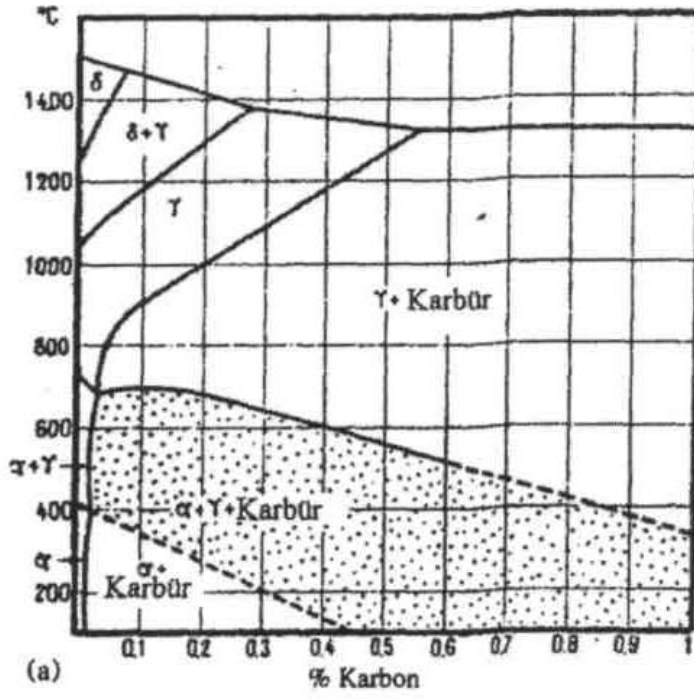
Şekil 2.2. Demir-karbon faz diyagramı [6]

Demir-karbon sistemi içerisinde karbon katıldığında Şekil 2.3.'te görüldüğü gibi karbon östenit kararlaştırıcı element olup, paslanmaz çelik malzeme içerisinde karbon miktarı % 0,05'ten % 0,4'de yükseldiğinde östenit faz alanının genişlediği görülmektedir. Daha sonraki ortamlarda değişik krom karbürleri oluşmaktadır.

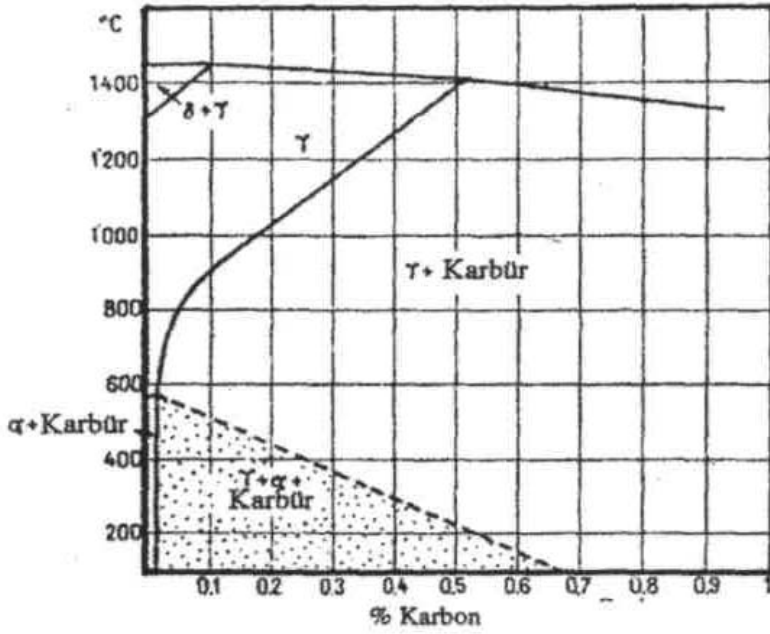


Şekil 2.3. KC, K1, K2 olarak belirtilen karbürler $(Cr,Fe)_3$, $(Cr,Fe)_{23}C_6$ ve $(Cr,Fe)_7C_3$ ' dür [6].

Demir nikel alaşımlarında ise; nikel yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip olduğundan nikel demire katıldığında ostenit fazını kararlı hale getirmektedir. Düşük karbonlu çeliklerde çeliklere yeterli miktarda nikel katılmadığı durumlarda paslanmaz çelik malzeme oda sıcaklığında bile ostenitik olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.4a.'b de demir krom Fe-Cr-C alaşımları faz diyagramı verilmektedir.



a)

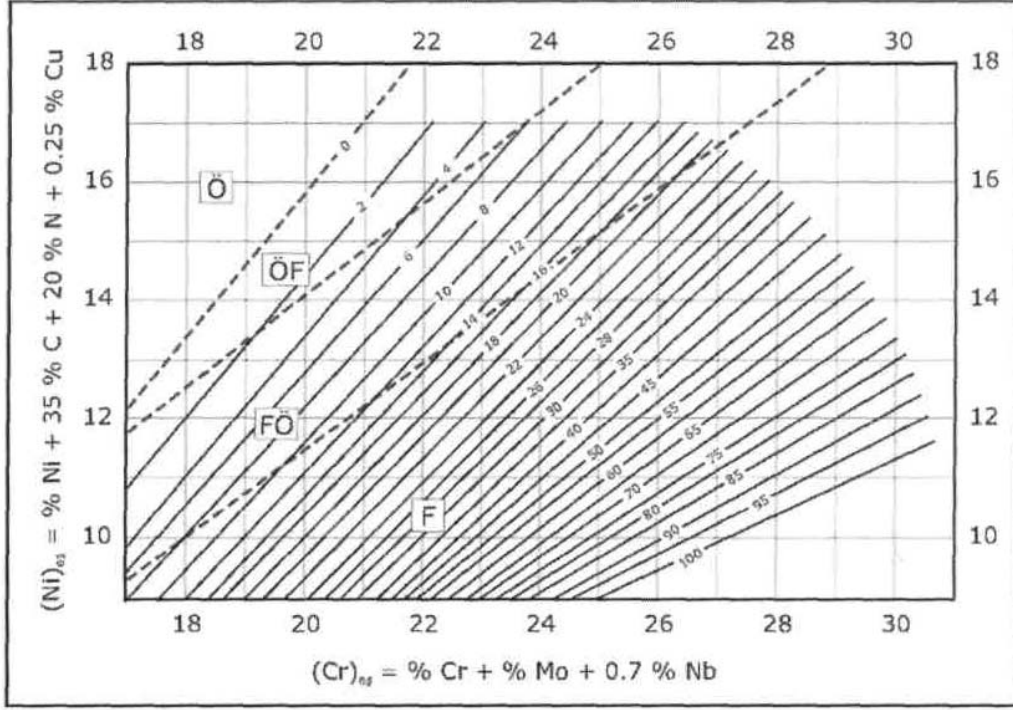


b)

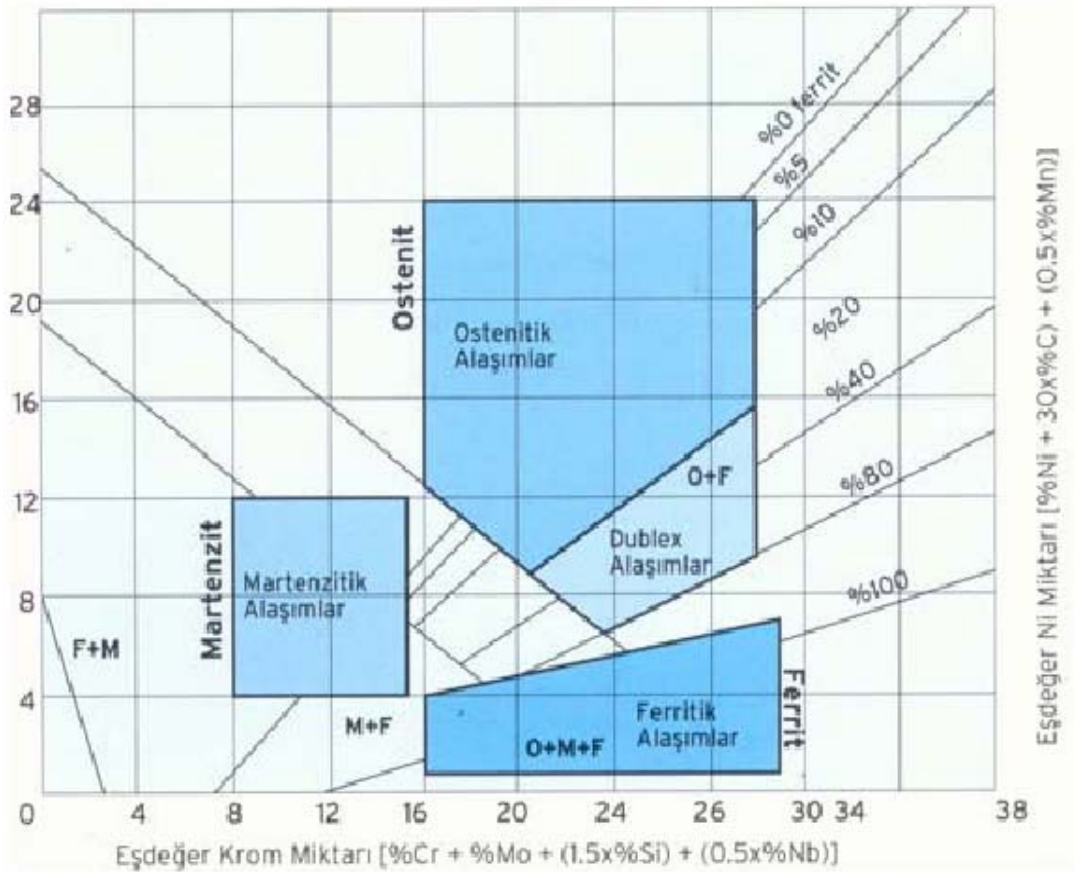
Şekil 2.4. a) %4 Ni b) %8 Ni içeren Fe % 18 Cr-C alaşımları faz diyagramı [6]

Paslanmaz çelik alaşım elementleri etkinlik dereceleri ferrit dengeleyicileri (Cr)_{eş} östenit dengeleyici (Ni)_{eş} şeklinde gruplayarak değerlendirilmektedir [5]. Yıllardan

beri araştırmaların sonucunda formüller geliştirilmiş olup, aşağıdaki tablolar nikel ve krom eşdeğeri olarak hazırlanmıştır [5] (şekil 2.5. ve 2.6).



şekil 2.5. Katılaşma faz sınırlarını da içeren WRC-1992 Diyagramı [5]



Şekil 2.6..SCHAEFFLER diyagramı [5]

2.5. Ostenitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler ferritik yada martenzitik paslanmaz çeliklerden daha karmaşıklardır. Bileşimlerinde Fe, C ve Cr elementlerinden başka bir de Ni ve bazılarında N vardır [19]. Ostenitik paslanmaz çelikler %16-20 Cr %10-24 Ni+Mn, %40,0'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementleri içerir. Cr ve Ni + Mn oranları arasındaki denge %90-100 östenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar geniş bir sıcaklık aralığına sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C 'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir. Bu çelikler için gerçekleştirilen dolgu malzemeleri genellikle ana metalle benzer yapıdadır. Ancak birçok alaşım için sıcak çatlak oluşumunu engellemek amacıyla

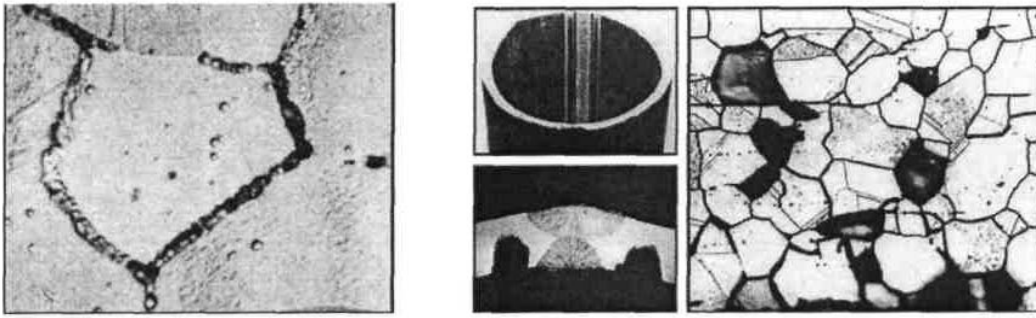
düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapının oluşmasına olanak sağlayan dolgu malzemeleri kullanılır. Bu şartı gerçekleştirebilmek için 308 türü dolgu malzemeleri 302 türü çeliklerin 304 ve 347 dolgu malzemeleri ise 321 türü çeliklerin kaynağında kullanılır. Diğer çelik türleri ise kendilerine benzer yapıdaki dolgu malzemeleriyle kaynak edilebilir, 347 türü çelikler 308 H türü dolgu malzemeleriyle de kaynak edilebilirler. Bu tür dolgu malzemeleri örtülü elektrot dolgu tel-ve özlü tel olarak kullanılır. 321 türü dolgu malzemeleriyle sınırlı olarak, sadece dolu tel ve özlü tel olarak üretilmektedir [20].

Tablo 2.2. Bazı ostenitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri ve kullanım alanları [6]

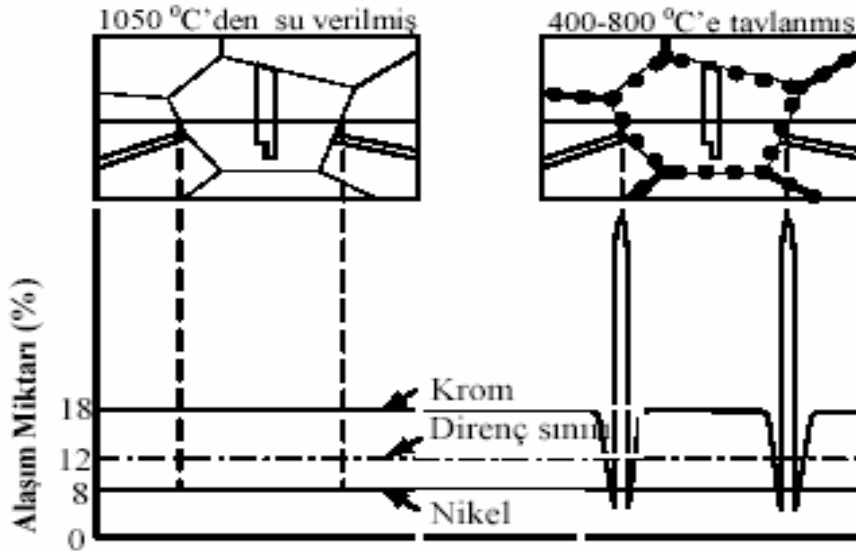
AISI Tip	Cr %	Ni %	C(mak.) %	Mn %	Diğerler %	Tipik uygulamalar
301	17	7	0.15			Yüksek pekleşme hızı, yüksek dayanım, yüksek sünekliğin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Tren yolu arabaları, treyler gövdeleri uçak parçaları, sıkma bilezikleri otomobil tekerlek kapakları, çeşitli süslemeler
304	19	9	0.08			Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 302'nin düşük modifikasyonu. Kimyasal ve yiyecek işleme ekipmanları, soğuk kaplar, sac kaplamalar
304L	19	10	0.03			Kaynak sırasında karbür çökmesi sınırlamak için tip 304'ün daha fazla düşük karbon modifikasyonu. Kömür silo hatları, sıvı gübreleme tankları
309	23	13.5	0.20			Yüksek sıcaklık dayanımı ve oksitlenme direnci, uçak ısıtıcıları, ısıtım ekipmanları, tavlama kapakları, fırın kaplamalar, pompa parçaları.
310	25	20.5	0.25			309'dan daha yüksek oksitlenme direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı, ısı değiştiricileri, kaynak dolgu metalleri, gaz türbin bıçakları
316	12	8	0,08	2,5		304'den daha yüksek korozyon direnci, yüksek sürünme dayanımı, kimyasal taşıma ekipmanları, maya tüpleri.
316L	12	8	0,03	2,5		Tip 316'nın daha fazla karbon modifikasyonu taneler arası karbür çökmesini önlemek zorunda olduğu kaynaklı yapılar, 316L yoğun kaynak gerektiren yerlerde kullanılır.
321	18	10.5	0.08		Ti5X C	Çok şiddetli korozyon şartlarına maruz kaynaklı bağlantılar, kaynatma kazanları, kabin ısıtıcıları.
347	18	11	0.08		Nb 10XC	Yüksek sürünme dayanımıyla birlikte tip 321'e benzer, uçak egzost bacaları, jet motor parçaları, kimyasal maddeler için kaynaklı tanker arabaları.

2.5.1. Krom karbür oluşumu

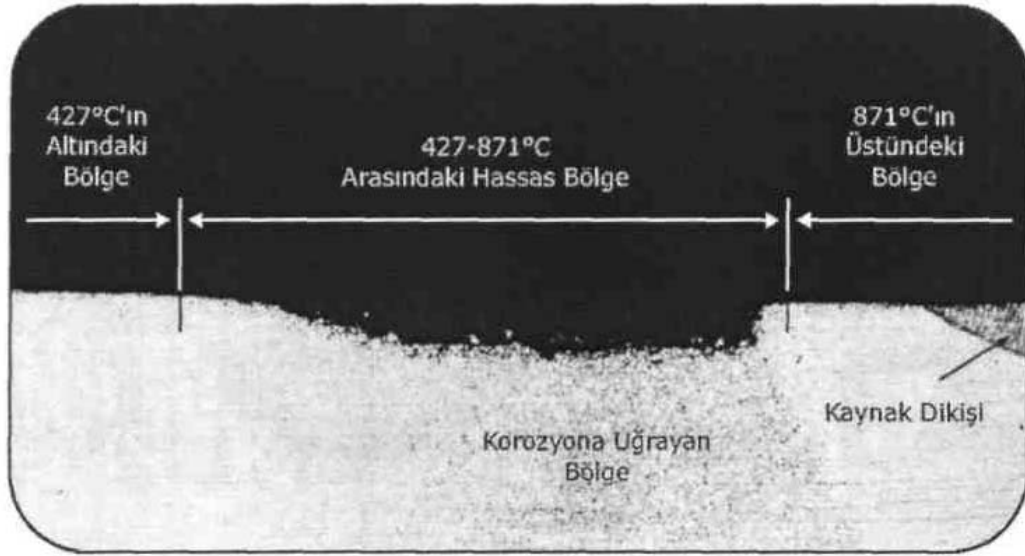
Isının etkisi altında kalan bölgenin 427-871 °C sıcaklığına kadar ısının bölümünde yer alan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran karbürler burarda hassas yapı oluşmasına neden olurlar. Bu oluşum sırasında bir miktar Cr çözültiden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda Cr miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer (Şekil 2.7) [20].



Şekil 2.7. 18 Cr / 8 Ni (0,10 C)'lu paslanmaz çeliğin tane sınırlarında oluşan karbür çökmesi (x1200) [20]



Şekil 2.8. Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon [20]



Şekil 2.9. Krom karbür çökmesi sonucu hassaz bölgede oluşan korozyon [20]

Bu sorun, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metalin ve dolgu metallerinin kullanılmasıyla önlenabilir. Bunun yanında kaynak işleminin ön tav uygulanmadan yapılması ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına ve bakır altlık kullanarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık arasında kalma süresinin kısa tutulması açısından önemlidir [20].

Diğer bir yöntem, stabilize edilmiş paslanmaz çelik ana malzemelerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıdır. Bu sayede stabilizatör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girecek ve Cr miktarının azalmadan yapıda kalması sağlanacağından korozyon dayanımında herhangi bir düşme ile karşılaşilmeyecektir. 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak (Ti) içerirken 347 türü paslanmaz çelikler Nb (Nb+Ta) ile stabilize edilmişlerdir. Her iki element de Cr' dan daha güçlü karbür oluşturma özelliğine sahiptir.

Bunların dışında kalan bazı ısı işlem yöntemleri pahalı olmaları, pratik olmaları ve parçalarda çarpılmalara yol açmaları nedeniyle pek tercih edilmezler. [20]

2.5.2. Sıcak çatlak oluşumu

Sıcak çatlamanın temel nedeni S ve P gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplama eğilimi yüksek olan düşük ergime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi kalan bölgede bulunuyorsa tane sınırlarına doğru yayılırlar. Kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar [20,24].

Sıcak çatlak oluşumu dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin ostenitik matriks de düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilecek ve ferritik ostenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturacak sıcak çatlak oluşumunu engeller. Bu sorun S ve P miktarlarının çok düşük seviyelerde tutulması ile de giderilebilir, ancak bu durumda, çeliklerin üretim maliyetleri belirgin bir şekilde artacaktır.

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 belirlenebilir. Bunun dışında dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal analizi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak da bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan en bilineni ve eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliştirilen diyagramdır (Şekil 2.6). Bu diyagramda Cr eşdeğeri yatay eksen, Ni eşdeğeri ise dikey eksen yer almaktadır.

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

$$(Ni)_{eş} = \%Ni + 30 \%C + 0,5 \%Mn \quad (2)$$

Schaeffler Diyagramı çok uzun yıllar kullanılmasına karşın, azotun (N) etkisini hesaba katmaması diyagramdan elde edilen verilerin, konusunda bilgili bir kaç 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 Ni eşdeğeri hesaplanırken yapıdaki azot (N) miktarının da göz önüne alınması ve sonucun ferrit yüzdesine ek olarak "FN-Ferrit Numarası" ile belirtilmesidir. [20]

Ferrit numaraları, özellikle düşük seviyelerde ferrit yüzdeleriyle yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram Şekil 2.5.'de belirtilen WCR-1992 diyagramıdır. ASME eklerinde WCR-1992 diyagramı WCR-DeLong diyagramının yerini almıştır. Kabul edilen bu en son diyagramda Cr ve Ni eşdeğerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

$$(Cr)_{eş} = \%Cr + \% Mo + 0,7 \% Nb$$

$$(Ni)_{eş} = \%Ni + 35 \% C + 20 \% N + 0,25 \% Cu$$

görüldüğü gibi Ni ve Cr eşdeğerleri Schaeffler WCR-DeLong Diyagramlarından daha farklı olarak hesaplanmaktadır.

Ferrit numarası diyagramın Ni eşdeğerini gösteren ekseninden sağa doğru yatay, Cr eşdeğerini gösteren ekseninden yukarı doğru dikey çizgiler çizerek bulunur. Yatay ve dikey doğruların kesiştiği noktadan geçen çapraz çizgiler ferrit numarasını vermektedir.

WCR-1992 ve WCR-DeLong diyagramları 308 gibi sık kullanılan paslanmaz çelikler benzer değerler verir. Ancak WCR-1992 diyagramı, özellikle yüksek alaşımlı malzemelerde, yüksek manganlı ostenitik tipteki ya da ostenitik-ferritik yapıdaki çift fazlı paslanmaz çelikler gibi daha seyrek kullanılan alaşımlar daha keskin ve doğru sonuçlar vermektedir.

Ferrit numarası ferritin manyetit olmama özelliğinden yararlanılarak kaynak metal üzerinden ölçülebilir. Bunun için ticari olarak satışa sunulan ve AVS A4.2'ye göre kalibre edilmiş olan ferrit numarasının direkt olarak okunabildiği manyetik ölçüm cihazlarından, ferrite scoplardan ve benzeri cihazlardan yararlanılabilir.

Ferrit miktarının sıcak çatlak oluşumundan korunmak için gereken orandan daha yüksek olmasından 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. [20]

2.5.3. Sigma faz oluşumu (σ)

Sigma fazı, çok sert manyetik olmayan ve gevrek yapıya sahip metaller arası bir bileşiktir. Röntgen ışını ile yapılan analizde bileşim yaklaşık % 52 Cr ve % 48 Fe'den oluştuğu ancak bunun yanında Mo gibi diğer alaşım elementlerini de içerebildiği görülmüştür. Sigma fazı Cr'lu ve Cr Ni esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur. Saf ostenitik yapıdaki sigma fazı oluşum hızı, ostenitik kütle içerisinde ferrit içeren yapıdakine oranla daha düşüktür.

Sigma fazı ile karbür çökmesi birbirinden tamamen farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılabilirliği 650-850 °C sıcaklıkları 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 ostenit tanelerin etrafı ferrit ile çevrilmeyecek ve kırılabilirlik riski önlenecektir. Buna karşın ferrit miktarının % 12 geçmesiyle birlikte elastiklik kabiliyeti hızla azalacaktır.

Ferrit içerikleri %3 ile % 12 arasında değişen ve % 20Cr / %10 Ni / %1Nb'lu bir elektrodun kullanıldığı 5 farklı deney parçası hazırlanmıştır.

Kaynak işleminde banyonun çok hızlı soğuması nedeniyle sigma fazı kolay oluşmaz. Bu sorun esas olarak ferrit içeriği çok yüksek olan bir kaynaklı bağlantının kaynak işleminden sonra uzun süre yüksek sıcaklık değerlerinde kalacak bir çalışma ortamlarında kullanılması durumunda ortaya çıkar.

Sigma fazı konusunda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- a) Sigma fazının oluşumu 750 °C de 650 "C 'kinden daha çabuk meydana gelir. 750 "C 'de 30 saat gibi bir zamana gereksinim varken bu süre 650 "C'de bir haftaya çıkar.
- b) Sigma fazı oluşumu soğuk şekil değiştirme ile hazırlanır.
- c) Sigma fazı oluşumuna kuvvetli olarak etki eden elementler; Mo, Cr, Nb ve Si'dur.
- d) Sigma oluşumunu kuvvetlendiren elementlerin miktarı yüksek ise, belirli şartlar altında, kaynağa bağlı olmadan ve ısıl işlem uygulamadan da sigma fazı meydana gelebilir.
- e) Sigma fazı, 950-1100°C sıcaklıkları arasında belirli bir süre tavlandıktan sonra suda hızlı olarak soğutularak giderilebilir.
- f) Sigma fazının giderilmesi için uygulanan ısıl işlemlerden sonra oluşan ferrit miktarı, ısıl işlem uygulanmamış yapıdakine oranla daha fazladır.
- g) Ferrit miktarı, parçaya 1150 °C 'de homojenleştirme tavlama uygulanarak daha da düşürülebilir. Bu durumda ferrit mikro toplanmalar şeklinde oluşur.

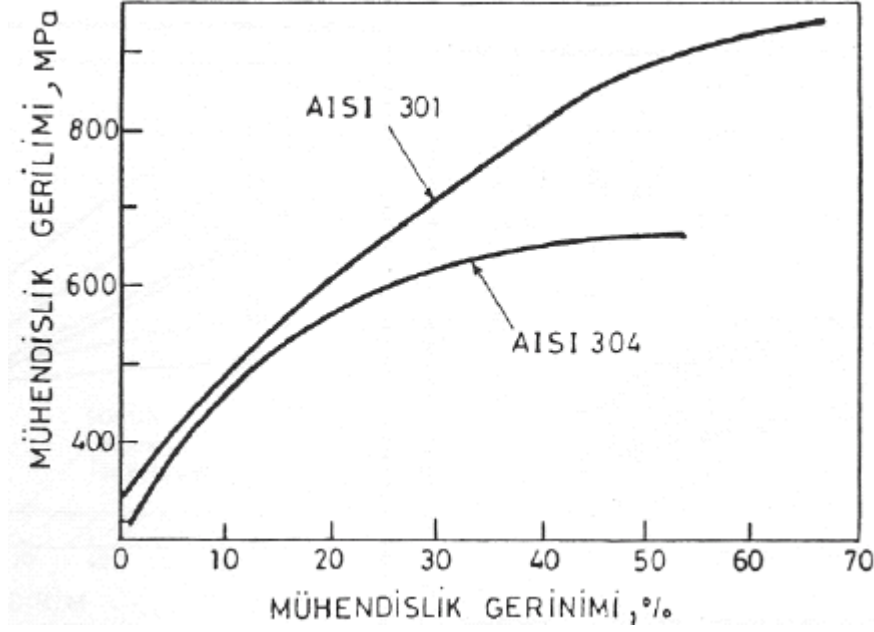
h) Isıl işlem uygulanmamış %19 Cr / %9 Ni / %1,5 Mo tipi çeliğe ait kaynak bölgesinin yapısında bulunan % 15 ferrit sigma fazına dönüşünce, kaynak dikişinin mukavemet özelliklerine aşağıda belirtilen değişimler meydana gelir:

- Çekme dayanımı yükselir, akma sınırı düşer.
 - Uzama, büzülme ve çentik dayanımları önemli derecede azalır.
 - 24 saat 750 °C 'de tavllanmış olan kaynak bölgesinin 0 °C 'deki çentik dayanımı, 650 °C 'de bir hafta tavlanan kaynak yerinin çentik dayanımı ile hemen hemen aynıdır. Buna karşın yapısında % 12 ferrit bulunan kaynak bölgesinin çentik dayanımının 1/10'u kadardır. Aradaki bu fark, yüksek sıcaklıklarda daha da azalmaktadır.
- i) 300-400 °C 'nin üzerinde oluştukça iyi çentik değerleri elde edildiği için, yüksek işleme sıcaklığında çalışan konstrüksiyonlarda, sigma fazının neden olduğu gevrekleşmeden korkulmamalıdır.
- j) Sigma fazının neden olduğu kırılmalık, kaynak bölgesinin tavlama yapılmadan önceki durumunda içerdiği ferrit miktarına bağlıdır. Eğer kaynak bölgesi başlangıçta % 6,5 ferrit içerirse, sigma dönüşmesi çentik darbe dayanımının azalmasına neden olmaz . Burada ferrit miktarı az olduğu için ferrit ostenitik yapı içerisinde ağ şeklinde değil, izole edilmiş odacıklar halinde meydana gelir. Bu yolla elde edilen sigma yapıya bir süneklik kazandırmaktadır. [20]

2.5.4. Ostenitli Paslanmaz Çeliklerin Mekanik Özellikleri

Ostenitli paslanmaz çelikler ısıl işlemle sertleştirilemezler fakat soğuk işlemlerle sertleştirilebilirler. Bu nedenle de ezme oranına bağlı olarak değişik oranlarda sertleştirilmeleri olanaklıdır. Bileşimlerine ve soğuk işlem miktarına göre oda sıcaklıklarında bu çeliklerin çekme dayanımı 200 MPa-1380 MPa aralığında değerler alabilmektedir. Yüksek dayanç düzeylerinde bile süneklik ve tokluk özelliklerini yitirmezler. Daha da önemlisi tokluk özelliklerini çok düşük sıfır altı yada dondurucu sıcaklıklarda da korurlar.

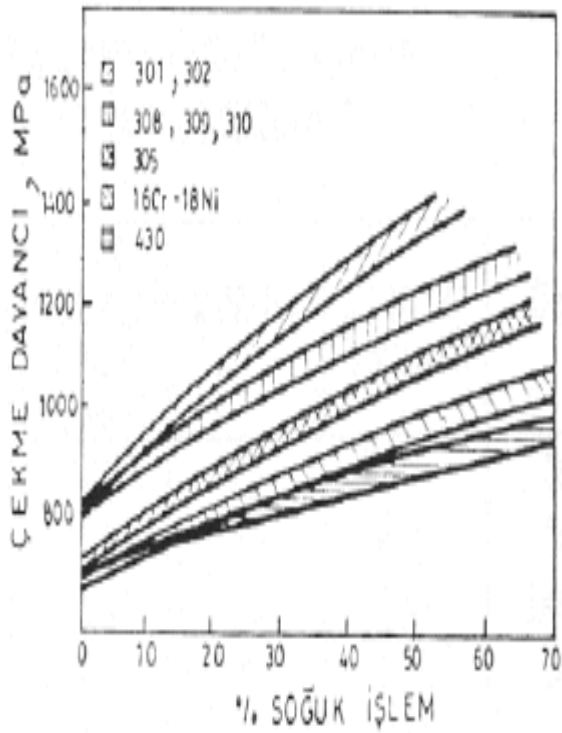
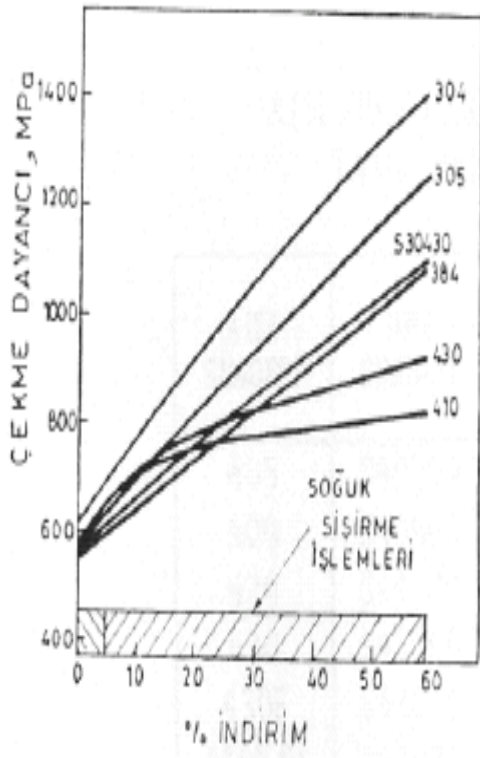
Ostenitli paslanmaz çeliklerin AISI 301 ve AISI 304 türlerini çekme eğrileri Şekil 2.10 'de karşılaştırılmaktadır.[19]



Şekil 2.10. AISI 301 ve 304 çeliklerinin çekme eğrileri karşılaştırılması [19]

AISI 304 mutfak eşyalarından kimya fabrikalarına dek çok geniş bir kullanım alanında genel amaçlı paslanmaz çelik olarak kullanılır. En çok kullanılan paslanmaz çelik budur. Bileşimindeki %18 Cr + %8 Ni 'den ötürü genellikle 18/8 çeliği diye anılır. Soğuk biçimlenebilirlik özeliği iyi olduğundan sıvama, şişirme ve sıkma işlemlerine çok uygundur.

Buna karşın, AISI 304, tüm ostenitli paslanmaz çelikler gibi, soğuk biçimleme işlemi sırasında işlem sertleşmesine uğrayıp pekleşir; yani, soğuk işlendikçe sertliği artar. Bu nedenle de soğuk biçimleme arttıkça bu çeliğin daha fazla biçimlenmesi zorlaşır. Ara tavlama uygulanmadıkça da buna daha fazla soğuk işlem uygulaması olanaksızlaşır. Bu bakımdan, bazı uygulamalarda pekleşmesi daha az olan AISI 305 ya da AISI 384 türü ostenitli paslanmaz çelikler yeğlenir (Şekil 2.11.).



Şekil 2.11. AISI standart paslanmaz çeliklerinin pekleşme özellikleri [19]

En yüksek pekleşme 301 ve 304 türü çeliklerde, en düşük ne ise 430 ve 410 türlerinde görülmektedir. Bu nedenle aynı orandaki soğuk işlem, 301 ve 304 türlerinde akma ve çekme dayanımları 305 ile 310 ve 430 ile 410 türlerindekiinden daha fazla yükseltir.

Östenitli paslanmazlar yalnızca soğuk mekanik işlemlerle sertleştirilebilirler. Sertleştirilmiş östenitli paslanmazlar, oldukça yüksek sertlik ve mukavemet düzeylerine erişebilmektedir. Örneğin 301 türü, 40 HRC sertlik ve 1250 MPa çekme dayancı düzeyine ulaşmaktadır. Östenitli paslanmazlarda % Ni arttıkça pekleşme (işlem sertleşmesi) azalır. Bu nedenle 301 türü (%9 Ni), 305 türünden (%12 Ni) daha çok pekleşir [19].

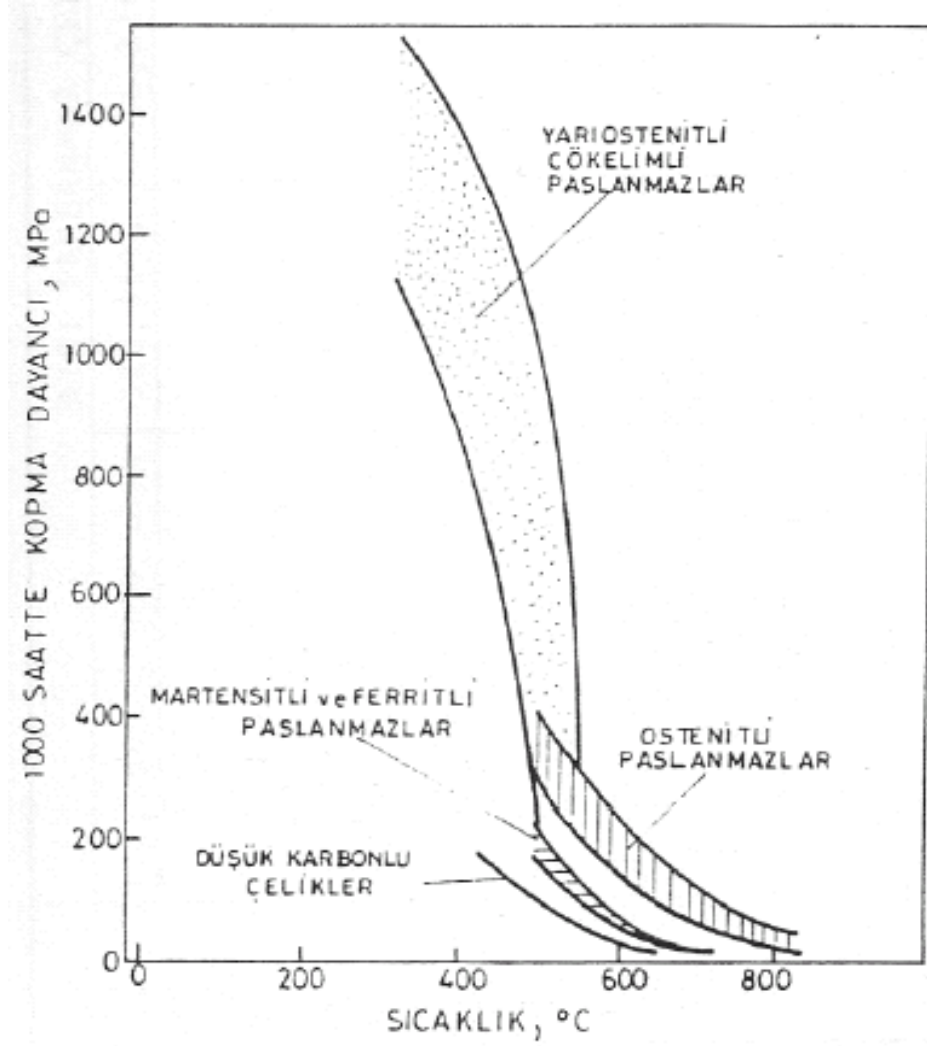
2.5.4.1 Östenitik paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri

Karbonlu çelikler ile paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklıklarda kullanım kısıtlarını karşılaştırdığımızda paslanmaz çeliklerin 1100°C sıcaklıklara dek kullanılabilirliklerini görürüz. (Şekil 2.12) Bu durum, onların yalnızca o sıcaklıklardaki yüksek korozyon direnci ve oksitlenme dirençlerinden kaynaklanmaz; paslanmaz çeliklerin sürünme dirençleri de yüksektir.

Gerek buhar türbinlerinde gerekse uçak ve uzay uygulamalarında yüksek sıcaklıklardaki dayanımları çok önemlidir. Ayrıca ısı değıştircilerde basınç uygulaması söz konusu olan yerlerde korozyon direnci kadar yüksek sıcaklıktaki dayanımı, yani, sürünme direnci de önemlidir. Nükleer santrallerde süper ısıtıcılar, kazanlar, besleme suyu ısıtıcıları, vanalar ve ana buhar borularında da yüksek basınç ve sıcaklık uygulaması söz konusudur.

Bu tür uygulamalarda genellikle sıcaklık 550°C üzerinde ise paslanmaz çelikler kullanılır. Şekil 2.12'de paslanmaz çeliklerin genel sürünme davranımları

görülmektedir. Yarı östenitli çökelimli paslanmazlar düşük sıcaklıklarda çok yüksek sürünme direnci gösterebilirler de bu özellik birden düştüğünden, bu çelikler yüksek sıcaklık uygulamaları için pek güvenilir değildirler. Bazı standart AISI paslanmaz çeliklerinin sürünme özellikleri ayrıca tablo 2.3'da verilmektedir.[19]



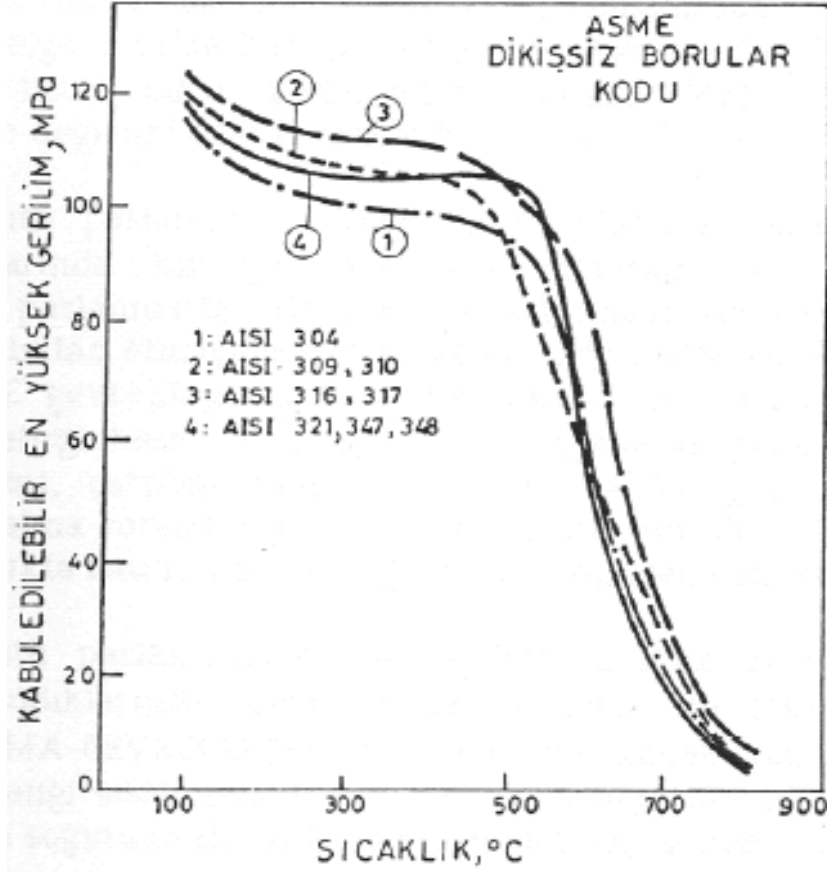
Şekil 2.12. Paslanmaz çeliklerin sürünme özellikleri [19]

Tablo 2.3. AISI paslanmaz çeliklerinin sürünme özellikleri [19]

AISI STANDARD PASLANMAZ ÇELİKLERİN SÜRÜNME DAYANÇLARI (MPa)
(10000 Saatte $\frac{1}{2}$ uzama yaratan gerilim)

SICAKLIK	AISI PASLANMAZ ÇELİKLERİ									
	304,304L	309,309S	310,310S	316,316L	317	321	347,348	410	430	446
540°C	137	114	228	172	159	124	221	179	59	44
590°C	83	86	159	120	116	117	159	30	32	20
650°C	52	69	103	80	77	62	110	14	18	10
705°C	28	41	69	52	48	34	69	10	10	4
815°C	10	21	21	17	14	10	14	-	-	3
TUFALLEŞME SICAKLIĞI										
SÜREKLİ KULLANIM	900	1065	1120	900	925	900	900	700	840	1065
RESİNTİLİ KULLANIM	840	1010	1038	840	870	840	840	790	900	1120

Amerikan Makine Mühendisleri Derneği'nin (ASME) östenitli paslanmaz çelikten yapılmış, dikişsiz borular için verdiği en yüksek kabul edilebilir gerilim değerleri kullanım sıcaklıklarına göre Şekil 2.13'da verilmiştir.



Şekil 2.13. Östenitli paslanmazlardan yapılmış dikişsiz boruların yüksek sıcaklık uygulamalarındaki en yüksek kullanım gerilimleri [19]

Tüm paslanmaz çeliklerde kaynaklama işlemi sürünme özelliklerini etkiler. Bu bakımdan yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılacak paslanmazların kaynaklanmalarına özen gösterilmelidir [19].

2.5.4.2 Ostenitik paslanmaz çeliklerin düşük sıcaklıklardaki mekanik özellikleri

Tokluk özeliğinin temel olgusu bir çok çeliğin sıfır altı sıcaklıklarında gevrek kırılmaya yatkınlığıdır. Bir çok çelik oda sıcaklıklarında tok davranırsa da düşük sıcaklıklarda çok gevrek davranmaktadır. Düşük sıcaklıklardaki gevrek kırılmalar önceden şişme, bel verme, uzama yada bükülme gibi herhangi bir yoğruk plastik deformasyon belirtisi göstermeksizin birden oluşur. Sünek diye bilinen çelikler birden cam gibi davranım içine girebilirler.

Özellikle donma sıcaklıklarında sıvı gazların depolanması, taşınması ve aktarılmasında ancak belirli çelikler kullanılabilir. Bu çeliklerin en önemli ve en yaygınları -253°C donma sıcaklığında bile süneklik ve tokluğunu koruyabilen östenitli paslanmaz çeliklerdir, tablo 2.4.'de bazı AISI standart paslanmaz çeliklerinin sıfır altı sıcaklıklarındaki mekanik özellikleri verilmektedir. Östenitli paslanmaz çeliklerin bu sıcaklıklarda yalnızca toklukları ve süneklikleri yüksek kalmaz; aynı zamanda, çekme ve akma dayanımları da artar.

Bu sonuçlardan görüldüğü gibi AISI 304 çeliği tokluk özeliğini çok düşük sıcaklıklara dek koruyabilmektedir. Özenli olarak kaynaklama yapılmış parçalarda da tokluk özeliği donma sıcaklıklarında da yüksek kalabilmektedir.

Soğuk işleme sertleştirilmiş östenitli paslanmaz çelikler de düşük sıcaklık uygulamaları için kullanılabilirler. %85 soğuk işlem görmüş AISI 310 çeliği -253°C sıcaklıklara dek kullanılabilir tokluk özeliği göstermektedir.[19]

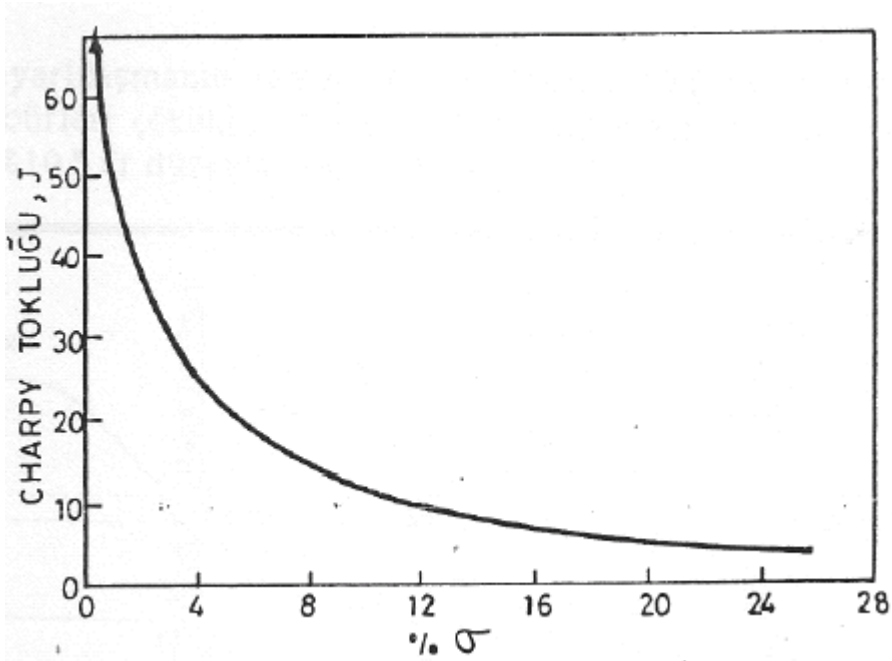
Tablo 2.4. Ostenitik paslanmaz çeliklerin sıfır altı sıcaklığındaki mekanik özellikleri [19]

AISI SİMGESİ	DENEY SICAKLIĞI °C	AKMA DAYANCI (%0.2) MPa	ÇEKME DAYANCI MPa	% UZAMA	IZOD TOKLUĞU J
304	-40	234	1.069	47	149
	-62	234	1.172	39	149
	-196	269	1.524	40	149
	-252	344	1.675	40	149
310	-40	269	655	57	149
	-62	276	689	55	149
	-196	510	1.048	54	115
	-252	745	1.213	56	
316	-40	283	717	59	149
	-62	303	814	57	149
	-196	517	1.276	59	
	-252	579	1.448	52	
347	-40	303	807	63	149
	-62	310	896	57	149
	-196	324	1.379	43	129
	-252	379	1.572	39	81
410	-40	621	841	23	34
	-62	648	883	22	34
	-196	1.020	1.089	10	7
430	-40	283	524	36	14
	-62	303	558	36	11
	-196	607	614	2	3

2.5.5. Ostenitik yapının kaynak özelliği

Sigma'nın, ötesinde dengeli olmadığı bileşim kısıtları nikelsiz çeliklerde %21 Cr; %3 Ni içerenlerde %16 Cr; %8 Ni içerenlerde %17.5 Cr ve %25 Ni içerenlerde ise %20 Cr 'dur. Eğer sigma gevrekleşmesi istenmiyorsa uzun süre 650°C sıcaklıkta sürekli kullanılacak çeliklerin bileşimlerinde bu kısıtlar göz önüne alınmalıdır. Ancak, daha düşük krom düzeyleri de yeterince oksitlenme ve yenim direnci göstermeyebilir.

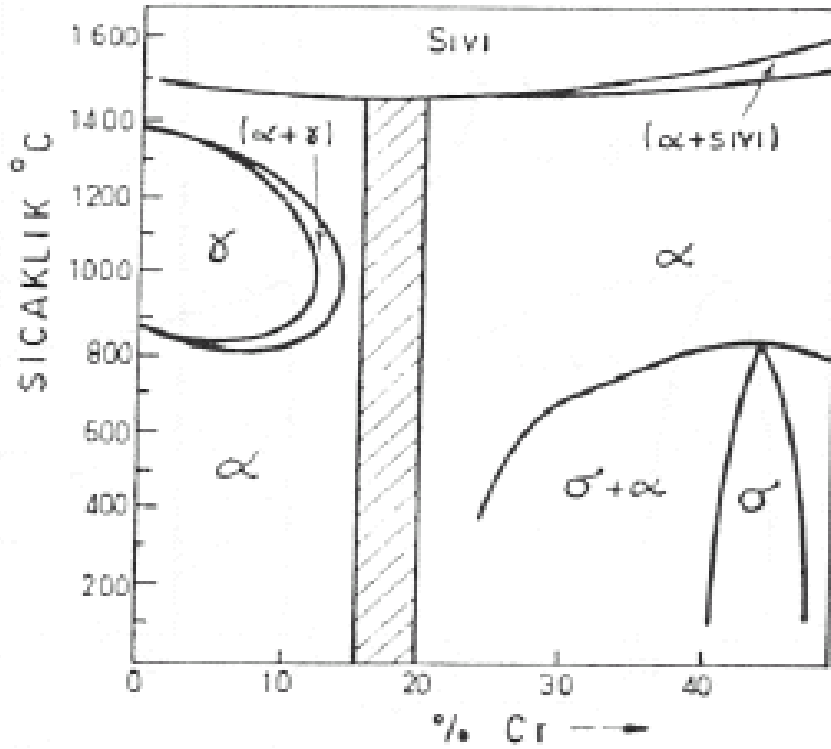
%42 Cr ile %16-18 Cr arasında krom içeren ostenitli çeliklerde sigma çok yavaş oluşur. Kısa süreli ısıtmalarda sigma oluşmaz; uzun süreli ısıtmalarda ortaya çıkar. Sigma, ferritte, ostenittekinden çok daha hızlı oluşur. Ostenitli paslanmaz çelikler soğuk işlenmiş iseler sigma oluşumu hızlanır. Sigma oluşumunun ostenitli paslanmaz çeliklerin tokluğunu ne denli bozduğu, şekil 2.14'de açıkça izlenmektedir [19].



Şekil 2.14. Sigma oluşumunun Ostenitli paslanmazların tokluğuna etkisi [19]

2.6. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Bunlar % 16-30 Cr ve % 0.05-0.25 C içeren düşük karbonlu paslanmaz çeliklerdir. Karbon, bu çeliklerin ostenit bölgesini genişletme görevi görür, %12 Cr değerinin üzerinde katı durumda iken tüm sıcaklıklarda bu çeliklerin iç yapıları yalnızca ferrit içerir.



Şekil 2.15. Ferritli paslanmaz çeliklerin bileşim aralığını gösteren %0.2 C kesitli Fe-Cr denge diyagramı

Bileşimlerinden ötürü bu çelikler sıcaklık değişimleri sonucu bir evre dönüşümüne uğramazlar ve su verilerek sertleştirilemezler. Fakat bileşimlerindeki %Cr arttıkça, örneğin AISI 446 (%27 Cr), bunların içyapılarında soğuma sırasında sigma çökeltileri oluşabilir. Bu durumda tokluk özellikleri düşer ve çelikler aşırı gevreklik kazanırlar. Yüksek sıcaklıklara ısıtıldıklarında tane büyümesine yatkındırlar bu da onların sünekliğini düşürür [19].

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermeleri nedeni ile de krom nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerden daha ekonomiktirler ve bu da günümüz koşullardan oldukça önemli bir üstünlüktür.

Ayrıca ostenitik krom-nikel çeliklere nazaran şu üstünlüklere sahiptir;

- Klorürlü çözeltilerde gerilme korozyon çatlamaına karşı daha dirençlidirler,
- Daha yüksek akma mukavemetine sahiptirler,
- Daha az şiddette soğuk şekil değiştirme serleşmesi gösterirler,
- Manyetikleşme özelliğine sahiptirler.

Oldukça parlak ve dekoratif görünüşe sahip olan bu tür paslanmaz çelikler, dünya paslanmaz çelik türlerinde ostenitik paslanmaz çeliklerden hemen sonra en büyük pazar payı ile ikinci sıradadırlar [21].

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, ekonomiklikleri ve yukarıda belirtilmiş olan üstün özellikleri nedeni ile çok çeşitli kullanım alanları bulmuşlardır;

- Cihaz yapımı,
- Otomotiv endüstrisi,
- Mutfak ve ev aletleri, Kimya ve petrol-kimya endüstrisi, Gıda endüstrisi,,
- Kaynak su kap ve boruları,
- İç ve dış mimari,
- Buhar üretim ve iletim donanımları,

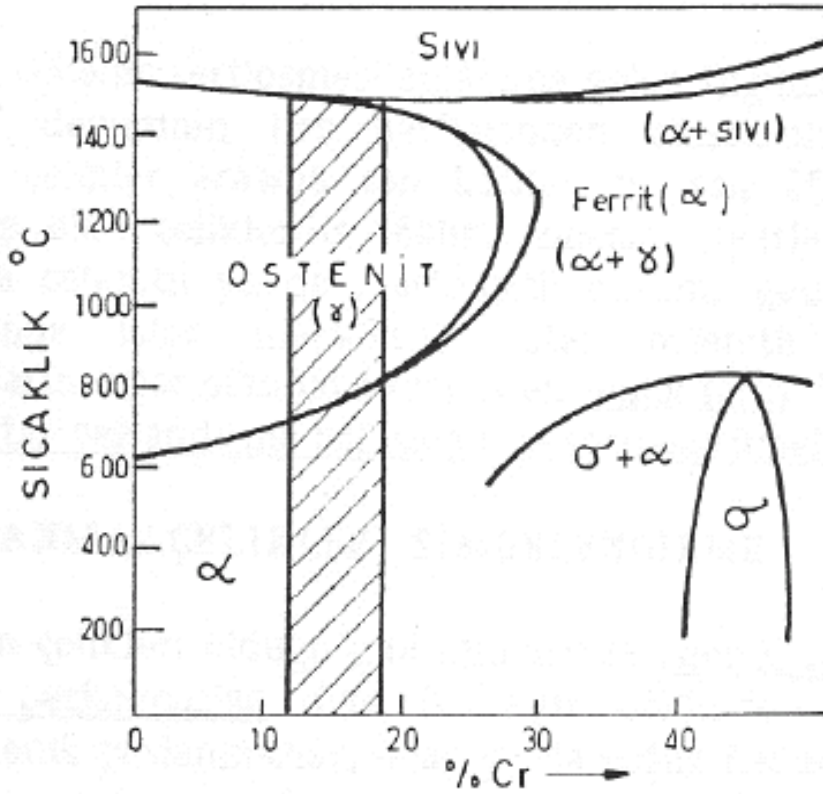
Bu tür çeliklerin ısıl genleşme kat sayıları, az alaşımli çeliklerinkine yakındır; bu özellik, mimari yapılarda olduğu gibi büyük konstrüksiyonlarda sade karbonlu çelikler ile bir arada kullanımların halinde ısıl genleşme farkının doğuracağı sorunları önler. Buna karşın, bu tür çeliklerin ısıl iletkenlik katsayıları normal çeliklerin yarısı kadardır.

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler bileşimlerinde korozyon direncini sağlayacak yeterli miktarda krom veya kroma ilaveten yüksek sıcaklıklarda ostenit oluşumunu önleyici Al, Nb ve Mo ve Ti gibi ferrit dengeleyici elementler içeren

Fe-Cr-C alaşımlarıdır. AISI standartlarına göre martenzitik çelikler gibi 4XX serisi içinde gruplandırılan bu tür çelikler DİN 17440, EU 95 ve TS 253 5'e göre yüksek alaşımlı çelikler halinde olduğu gibi X6Cr17 (430),X10CrN28 (446) olarak simgelenmelidir. TS 2535, ferritik paslanmaz çelikleri "bileşiminde % 11.5 ila 18Cr en çok %0.2 C bulunan nikelsiz, genellikle ferritik kristal yapılı paslanmaz çeliktir. 750°C'ye kadar manyetiktir, ısıl işlem ile sertleştirilemezler" diye tanımlarken günümüzde %30'a krom ve hatta yeni geliştirilen bazı türlerinde %4'e kadar Ni içeren ferritik paslanmaz çelikleri kapsam dışı bırakmaktadır. Bu olay TS 2535'in 1976' da hazırlanmış olmasından kaynaklanmaktadır [22].

2.7 Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Bu çelikler, genelde, ferritli çeliklerden daha az krom içerirler %12-17 Cr ve %0.1-1.2 C içerirler. Karbonlar bazılarında düşük (en çok %0.15) ve diğerlerinde oldukça yüksektir (%1.2 C). Özellikle yüksek karbonlularda ostenit bölgesi o denli genişlemiştir ki %1 C içeren türleri 1200°C sıcaklıklarda %30 Cr çözüdürebilen ostenit bölgelerine sahiptir (Şekil 2.16). Bu nedenle, martensitli paslanmaz çelikler 1000-1100°C sıcaklıklarda ostenitlenip su verilerek sertleştirilebilirler. Bu çeliklerde kromun çok yüksek düzeylerde bulunması, bunların sertleşebilirlik özelliklerini çok artırır. Düşük karbonlu martensitli paslanmaz çeliklerde bile %100 martensitli içyapı oluşturmak olasıdır. Yüksek karbonlu martensit paslanmaz çeliklerde ise hem martensit ve hem de sert krom karbürleri oluşur; bu nedenle yüksek karbonlu martensitli paslanmaz çelikler aynı zamanda yüksek ısınma direnci istenen uygulamalar için de seçilirler [19].



Şekil 2.16. Martensitli paslanmaz çeliklerin bileşim aralığını gösteren % 1 C kesitli Fe-Cr denge diyagramı [19]

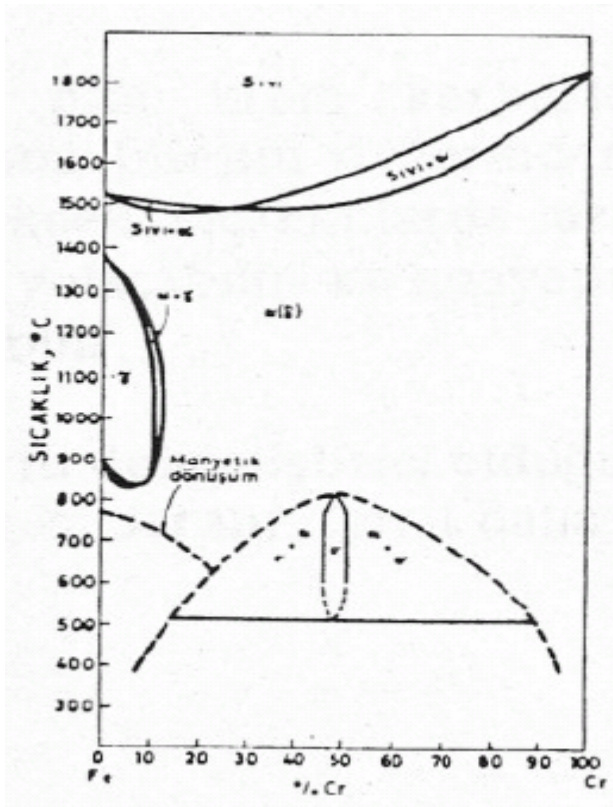
2.8. Çift Fazlı (Dublex) ve Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı paslanmaz çelikler yaklaşık olarak eşit oranda ferrit ve östenit içeren bir mikroyapıya sahiptir. Çift fazlı paslanmaz çelikler daha yüksek akma dayanımına sahip olmaları ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha fazla direnç göstermeleri nedeniyle konvansiyonel tipteki östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklere oranla daha üstün avantajlar sunarlar. Çift fazlı mikro yapı %21-25 Cr ve %5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050°C sıcaklıkta tavlınması ve ardından hızlı bir şekilde soğutulmasıyla elde edilirler. [23]

Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler çeşitli uygulamalar için ihtiyaçların önemi ölçüde arttığı 1940'lı yıllarda geliştirilmiştir. En önemli özellikleri, kolay üretim, yüksek dayanım nispeten iyi süneklik ve mükemmel korozyon direncidir. Çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı ostenitik ve ostenitik olmak üzere üç gruba ayrılır [23].

2. 9. Kromun Demire katılımının Etkileri

Paslanmaz çeliklerin yüksek kromlu çelikler olduğunu belirtmiştik. Çeliklere krom eklendikçe çelikte oluşan fazlar ve faz diyagramı değişir. Krom, ferriti dengeleştirici bir metaldir, Bu nedenle de, oda sıcaklıklarında, yalın Fe-Cr alaşımları %20 Cr değerine dek hep ferritli bir iç yapıya sahiptir (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Fe-Cr denge çizgisi [19]

Krom %20 Cr değerini aşınca sigma evresi baş gösterir. Sigma fazı Fe ile Cr arasında oluşan bir (FeCr) metaller arası bileşiktir; bu bileşik çok sert ve gevrek bir bileşiktir. Fe-Cr denge çizgisinden anlaşıldığı gibi γ evresi oldukça geniş bir sıcaklık ve bileşim aralığında oluşabilmektedir. Ancak, γ içeren bir alaşım yüksek sıcaklıklarda ferrit bölgesinde ısıtılacak olursa, γ çözünür ve alaşım tümünden ferritli bir iç yapıya dönüşür. γ evresi 520°C sıcaklıkta demirce zengin α_1 ile kromca zengin α_2 evrelerine ayrışır [19].

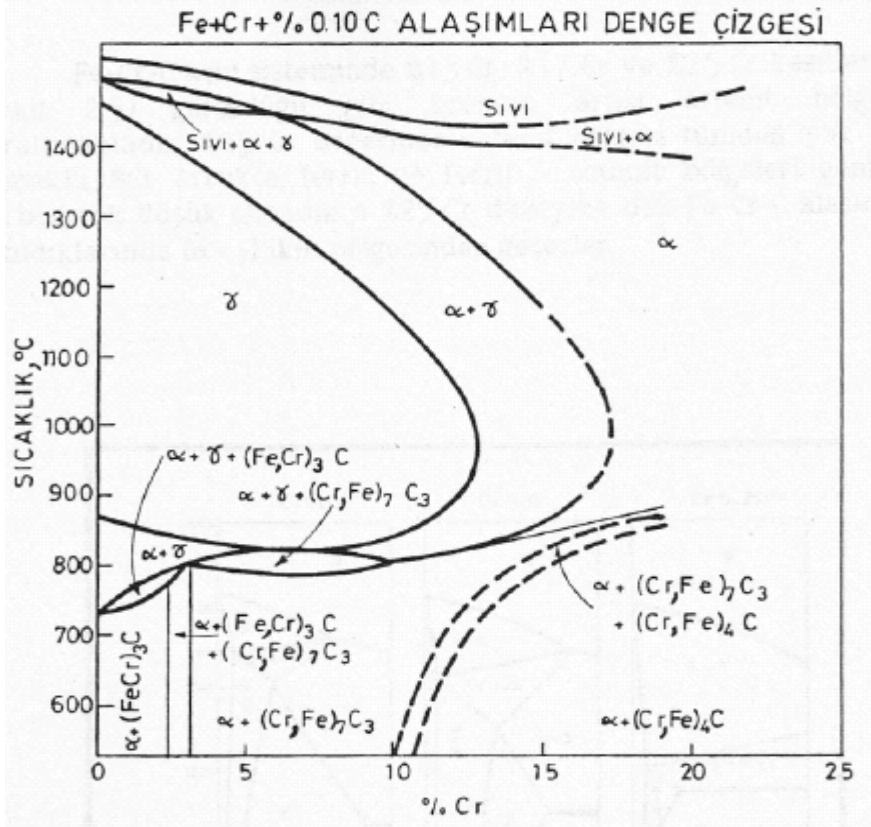
2.10. Karbonun Fe-Cr Sistemine Etkileri

Fe-Cr alaşımlarının tümü çok yada az karbon içerebilir. Bu nedenle, paslanmaz çeliklerin incelenmesinde ilk adım Fe-Cr-C üçlü denge sisteminde hangi evrelerin oluştuğunu bilmekle başlar. Bilindiği gibi krom bir karbür oluşturunucudur. Fe-Cr-C alaşımlarında her ne zaman çözünürlük sınırı aşılsa bu karbürler alaşımın iç yapısında çökeler [19].

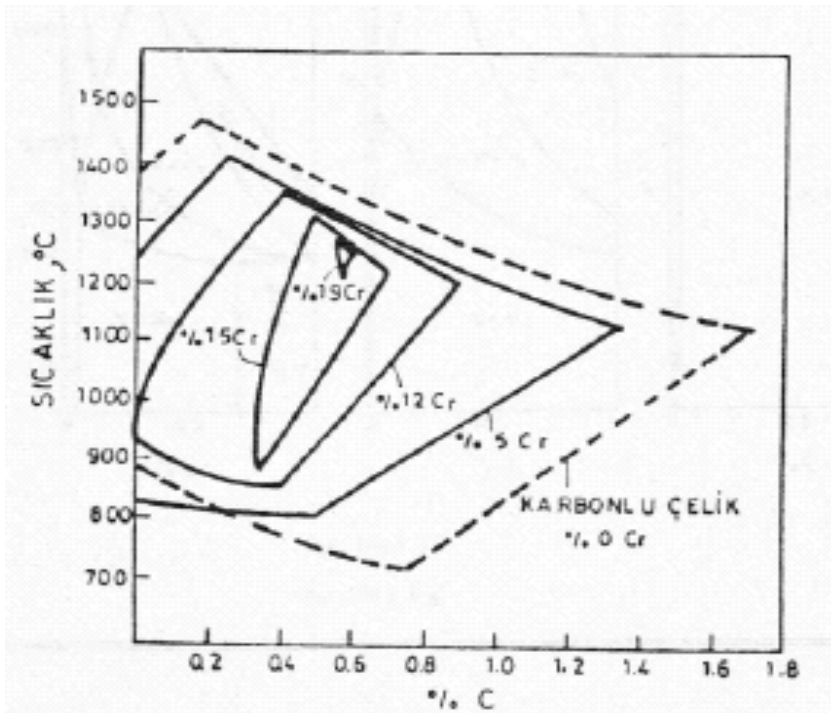
%0.1 C içeren Fe-Cr-C alaşımlarının içyapılarında oluşan evreleri şekil 2.18'de verilen denge diyagramından izleyebiliriz. Değişik bileşimlerde ve sıcaklıklarda ferrit, ostenit ve karbürler oluşabilir. Ostenit evresi 800°C altında dengeli değildir.

Anlaşılacağı gibi krom karbürleri çökeldikçe ana yapının içerdiği %Cr, ortalama bileşim değerlerinden daha aza düşer. Özellikle 500-800°C gibi yüksek sıcaklıklarda uzun süre ısıtmalar o denli karbür çökeline yol açabilir ki ana yapıdaki krom oranı %10.5 Cr değerinin altına inebilir.

Kromun ferriti dengeleştirici olduğunu belirtmiştik. Krom oranı arttıkça ostenit bölgesi daralır, ferrit daha dengeli duruma geçer (Şekil 2.19).

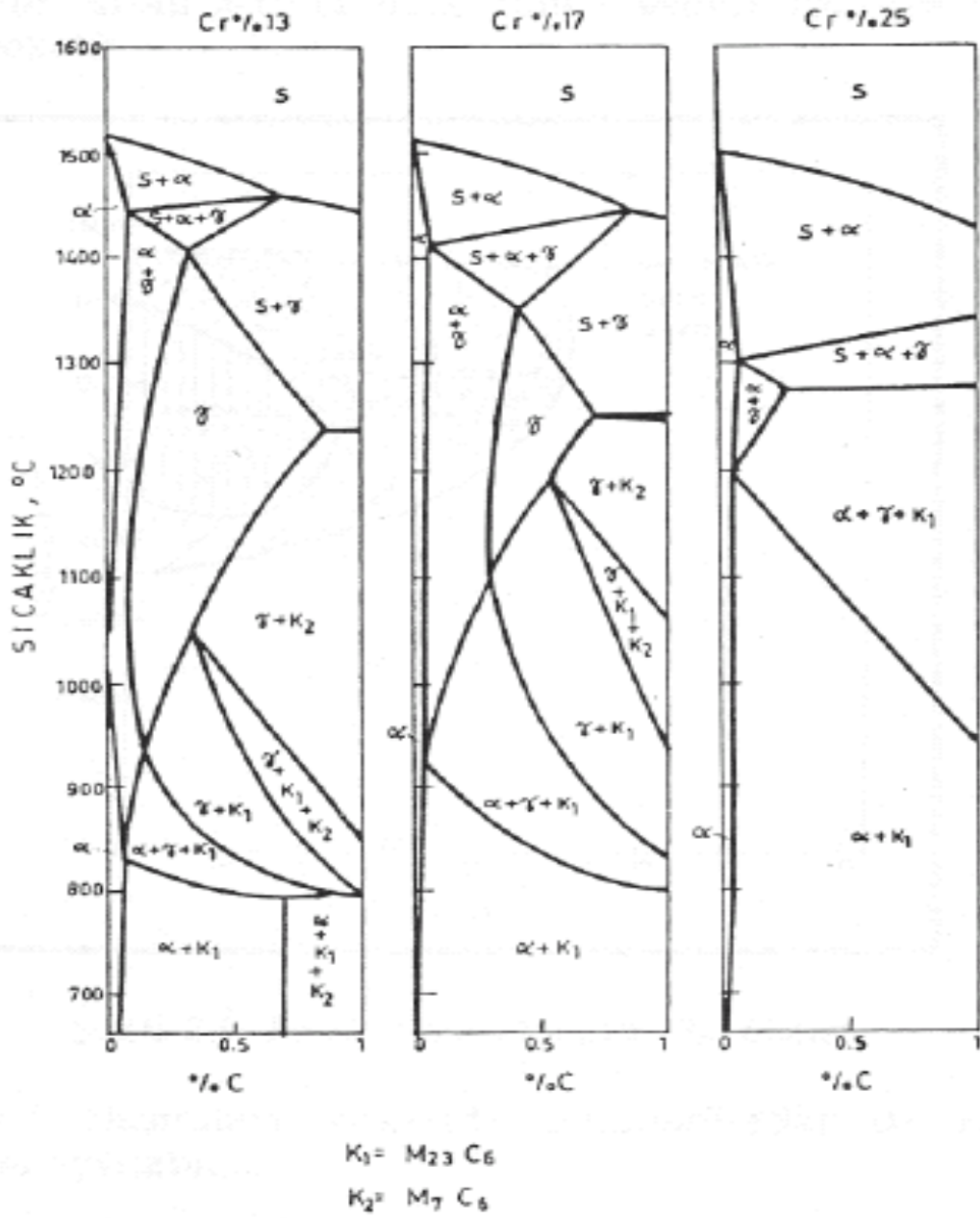


Şekil 2.18. %0.1 C içeren Fe-Cr -C alaşımlarının denge çizgisi [19]



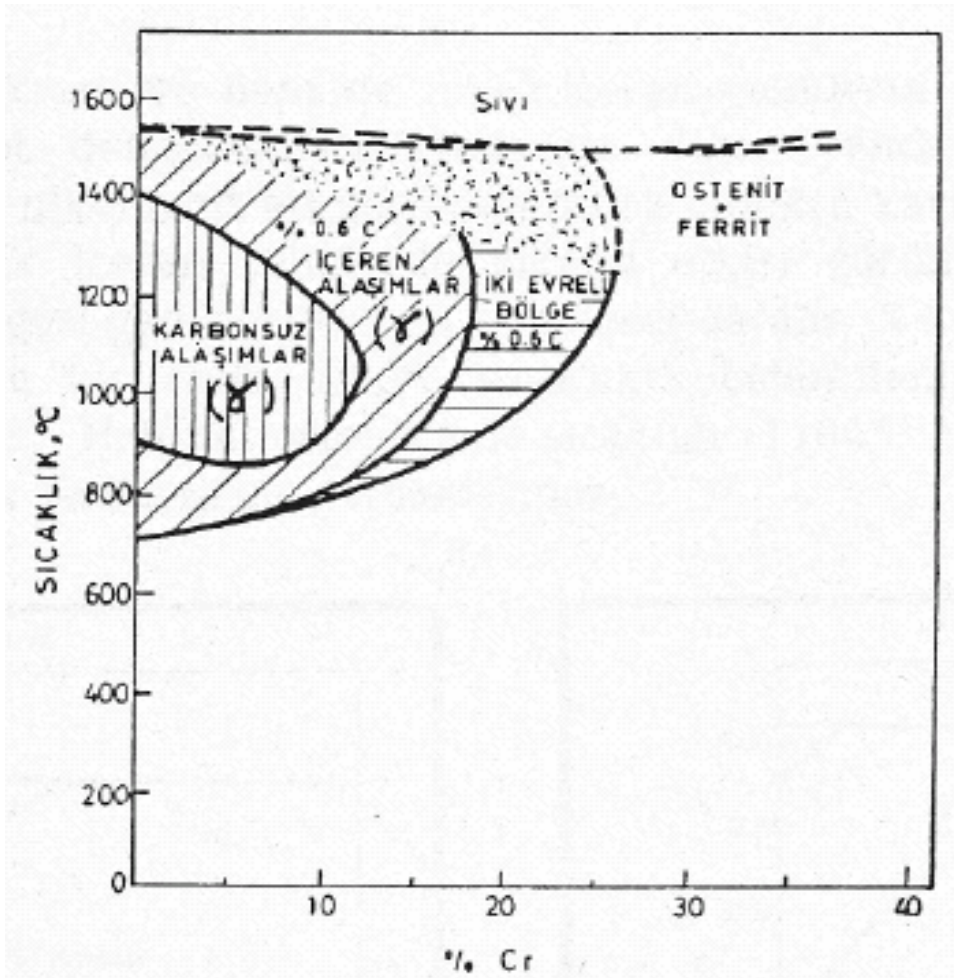
Şekil 2.19. Kromun γ bölgesine etkisi [19]

Fe-Cr-C üç lü sisteminde %13 Cr, %17 Cr ve %25 Cr kesitlerinde (Şekil 2.20) görüldüğü gibi kromun artışı ostenit bölgesini daraltmaktadır. %25 Cr değerinde ostenit bölgesi tümden yok olur. Demek ki %Cr arttıkça ferrit ve ferrit + ostenit bölgeleri genişler. Karbon çok düşük olmadıkça %25 Cr düzeyine dek Fe-Cr-C alaşımları ısıtıldıklarında ($\alpha+\gamma$) ikili bölgesinden geçerler [19].



Şekil 2.20. Değişik % Cr kesitlerinde Fe-C dengesi [19]

Karbon, Fe-Cr-C alaşımlarında ostenit bölgesini daha yüksek krom değerlerine kaydırır ve ikili ($\alpha+\gamma$) bölgesini de genişletir. En geniş γ bölgesine %0.6 C değerinde ulaşılır (Şekil 2.21); daha yüksek karbonun etkisi ise krom karbürlerinin çökmesine yol açar. Bu kısıt değerine tekabül eden krom düzeyi %18 Cr' dir %18Cr ile %26-27 Cr değerine dek ısıl işleme yalnızca ($\alpha+\gamma$) evreleri elde edilebilir. Krom %27 Cr değerini geçtiğin de ise, %C ne olursa olsun, alaşımın içyapısını ferrit kalır. Özet olarak şunu söyleyebiliriz: Karbon da bir ostenit dengeleyici elementtir ve Fe-Cr alaşımlarında γ -bölgesini genişletir. Ayrıca, %10 düzeyine dek krom içeren Fe-Cr alaşımlarında karbon sementit içinde çözünür ve $(Fe, Cr)_3C$ çökeler; bu karbür %15 Cr çözündürülebilir. Krom %10 Cr düzeyinin ötesinde ise, M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ karbürleri çökeler [19].



Şekil 2.21. Fe-Cr alaşımlarında %C etkisi [19]

Fe-Cr-C alaşımları, yukarıda anlatılanlardan da anlaşılacağı gibi, 3 bölüme ayrılabilir:

a) Martensitli Fe-Cr -C alaşımları Bunlar, %12-18 Cr içeren ve %C içerikleri de krom ile artan alaşımlardır. Genel bir yaklaşımla bileşimi ($\%Cr-17x \%C < 12.5$) eşitliğine uyan çelikler su verilerek sertleştirilebilir.

b) Ferritli Fe-Cr-C alaşımları. Bunlar %16-30 Cr içerirler, düşük krom düzeylerinde %C'da çok düşük olmak zorundadır. Bileşimleri ($\%Cr-17x 5C > \%12.5$) eşitliğine uyan çelikler γ bölgesi dışına düşerler ve sertleştirilemezler.

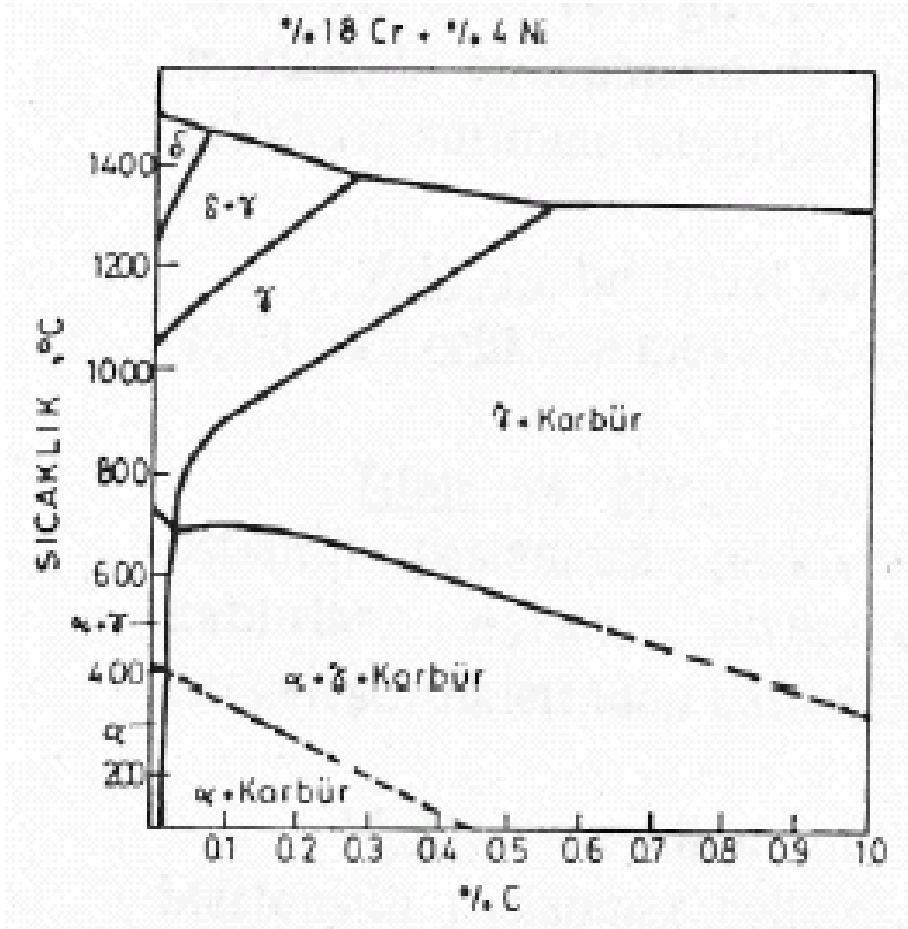
c) İkili (martensitli + ferritli) Fe-Cr-C alaşımları. Bunlar şekil 2.21'de gösterilen ikili bölgeye girebilen alaşımlardır [19].

2.11. Nikelin Fe-Cr Sistemine Katılımının Etkileri

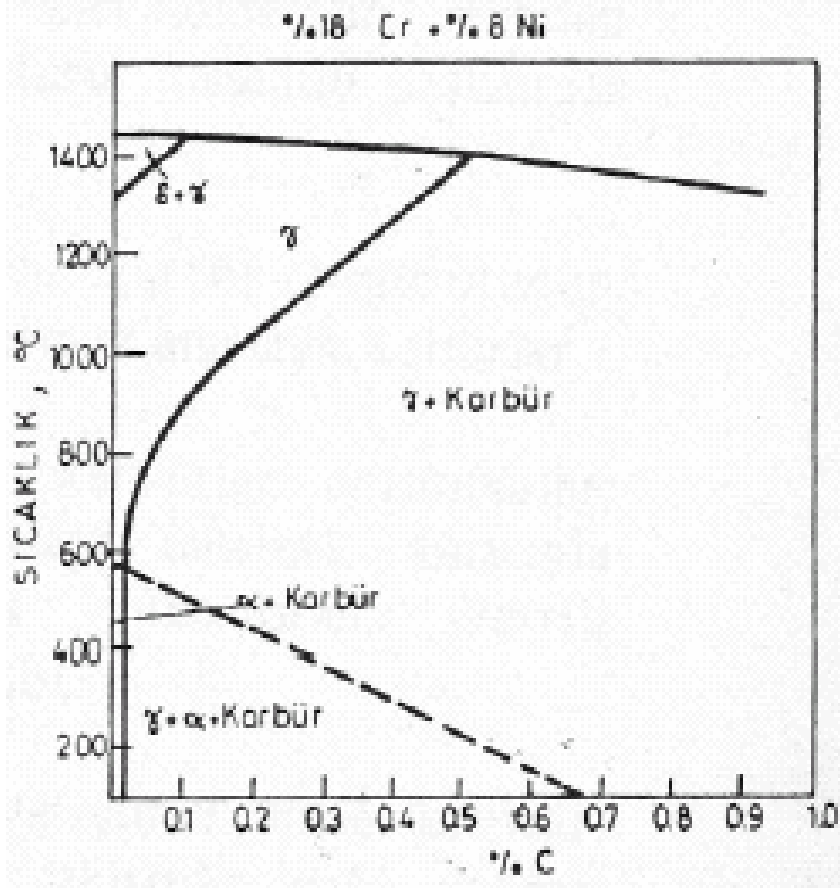
Nikel ostenit evresini dengeleştirici bir etki yaratır; γ bölgesini genişletir. Örneğin, düşük karbonlu sade karbon niteliklerine %24 Ni katılsa içyapıları oda sıcaklıklarında bile östenitli kalır. %C arttıkça bu etkiyi yaratacak %Ni de düşer. Nikel, kromun aksine, karbür oluşturmaz.

Hem krom hem de nikel içeren çeliklerin içyapıları, bir yandan ferrit dengeleştirici krom diğer yandan da ostenit dengeleştirici nikelin zıt etkilerinden ötürü oldukça karmaşıktır. şekil 2.22 'da %18 Cr içeren çeliklerde nikelin etkisi görölmektedir: %Ni arttıkça γ bölgesi genişler ve ($\alpha + \gamma$) bölgesi daralır %4 Ni + %18 Cr + %0.2 C içeren bir çelik, 900°C sıcaklıkta östenitlenip su verilerek sertleştirilebilir. Halbuki östenitleme sıcaklığı $> 1100^\circ\text{C}$ ise, δ bölgesine gireleceğinden sertleştirme gerçekteşmez.

Nikel %8 düzeyine ulaştığında ise ostenit bölgesi iyice genişler ve oda sıcaklığında da içyapısı ostenitli kalır. %18 Cr + %8 Ni içeren çelik, ostenitli paslanmaz çeliklerin en belirgin örneğidir. Östenitli paslanmaz çelikler de, ferritli paslanmaz çelikler gibi, dönüşüme uğramazlar bu bakımdan, ısıtıldıklarında tane büyümesine yatkındırlar, iri taneli içyapı ısıtılıp düzeltilemez, sıcak yada soğuk mekanik işlem gereklidir. Ferritli paslanmazlar tane irileşmesi sonucu sünekliklerini yitirir ve gevrekleşirler; östenitli paslanmaz ise sünek kalırlar.[19]



Şekil 2.22. a) %18 Cr içeren çeliklerde %4 Ni 'nin etkisi [19]



Şekil 2.22. b) %18 Cr içeren çeliklerde %8 nikelin etkisi [19]

Nikel, γ bölgesini daha düşük %Cr değerlerine ve daha yüksek sıcaklıklara kaydırır [19].

BÖLÜM 3. PASLANAMAZ ÇELİKLERİN TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE KAYNAĞI

3.1 TIG Kaynağı

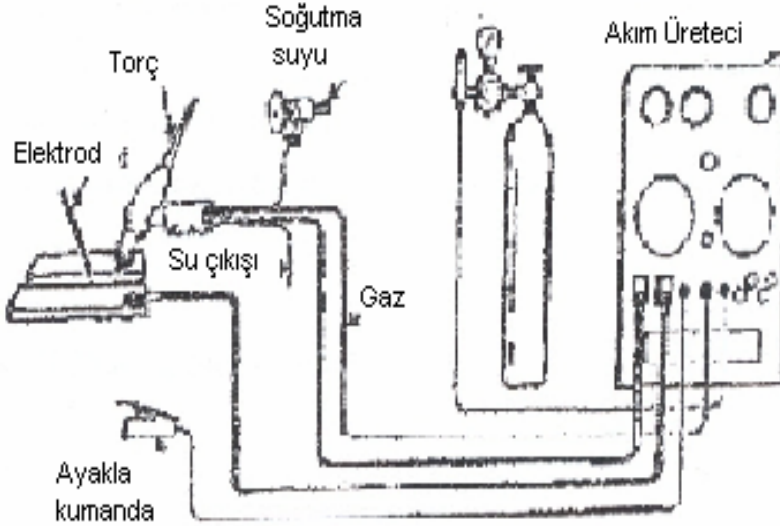
Bu yöntemde kaynak için gerekli olan ısı enerjisi bir tungsten elektrot ve iş parçası tarafından sağlanmakta ve kaynak bölgesinde havanın olumsuz etkilerinden elektrot ile konsantrik konumda bulunan bir lüleden gönderilen koruyucu gaz akımı tarafından korunmaktadır. A.B.D.'de doğal kaynaklardan bol miktarlarda He elde edilerek kullanılmış olduğundan yöntem önceleri Heliark adı ile anılmıştır. Avrupa'da He'un bulunmayışı, yöntemin havada ayrıştırılan Ar ile uygulanmasına neden olmuş ve bu bakımdan da yöntem, "Argon Ark" adı ile tanınmıştır.

TIG kaynak yöntemi çok geniş bir uygulama alanına sahiptir, kaynakçı tarafından kullanılması kolaydır, prensip olarak gaz eritme kaynağını aynıdır, ancak torç değişik olup yanıcı ve yakıcı gaz yoktur, ısı enerjisi elektrik arkı tarafından sağlanmaktadır.

Bu yöntemde erimeyen elektrot kullanıldığı için kıvrık alın ağızı hazırlanmış parçalar, ek kaynak metaline gereksinim göstermeden birleştirilebilir, gerektiğinde esas metalin eritilerek ortadan kaldırılması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden bir tanesidir. Kaynak bağlantısı için ek kaynak metali gerektiğinde, aynen oksii-asetilen kaynağında olduğu gibi, tel halinde kaynakçı tarafından kaynak bölgesine sokulmaktadır.

TIG kaynak yönteminin diğer bilinen ve endüstride sık uygulanan eritme kaynağı yöntemlerine göre en önemli üstünlüğü burada ısı girdisinin ve eriyen ek kaynak metali miktarının birbirinden bağımsız oluşudur. Bu önemli özellik, yöntemin çok ince parçalara uygulanabilmesine olanak sağlamakta, kök pasoların çekilmesinde ve tamir işlerinde kaynakçıya büyük kolaylıklar getirmektedir. [30]

TIG kaynak yöntemi her pozisyonda ve prensip olarak ta her kalınlıktaki parçalara uygulanabilirse de, fazla kalın parçalar için işlem süresinin uzaması, yöntemin ekonomikliğini yitirmesine neden olmaktadır. Bu bakımdan 7 mm 'den kalın parçaların kaynağı için önerilmez; bununla beraber yüksek kalite ve kaynak emniyetinin gerekli olduğu uçak ve uzay endüstrisinde çok pasolu kaynak uygulayarak bu olumsuzluğun etkisi azaltılmaya çalışılır. Akım şiddeti azaltılarak diğer eritme kaynak yöntemleri ile birleştirilmesi olanaksız olan 0,1 mm kalınlığa kadar ince saclar bu yöntem ile çok sağlıklı olarak birleştirilebilmektedir.



Şekil 3.1. TIG kaynak donanımı prensip şeması [30]

TIG kaynak donanımı Şekil 3.1'de görüldüğü gibi uygun bir akım üretici, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç ve debi ayar tertibatı, tungsten elektrodu taşıyan torç, akım kabloları ve gaz hortumu ile genelde akım üretici üzerine monte edilmiş bir kontrol panelinden oluşur; ayrıca yüksek akım şiddeti ile çalışma

halinde birde torcu soğutmak için soğutma suyu devresi vardır. El ile kaynak halinde torcun hareketi ve ek kaynak metali beslemesi kaynakçı tarafından yapılır. Yarı otomatik TIG kaynak yönteminde torç gene kaynakçı tarafından hareket ettirilir, buradaki tek fark ek kaynak metalini sağlayan telin ark bölgesine otomatik olarak bir tertibat tarafından sokulması ve sürekli olarak sabit bir hızda beslenmesidir. Yarı-otomatik TIG kaynak yöntemi geniş bir uygulama alanı bulamamasına karşın otomatik TIG yöntemi oldukça yaygın kullanılır. Bu uygulamada, sisteme kaynakçının etkisi söz konusu değildir, tüm işlem sistem tarafından gerçekleştirilmektedir. Yöntemin başarılı olabilmesi için bağlantının konumunun sistem tarafından erişilebilir olması ve ekonomiklik açısından da çok sayıda parçanın kaynatılması gereklidir.

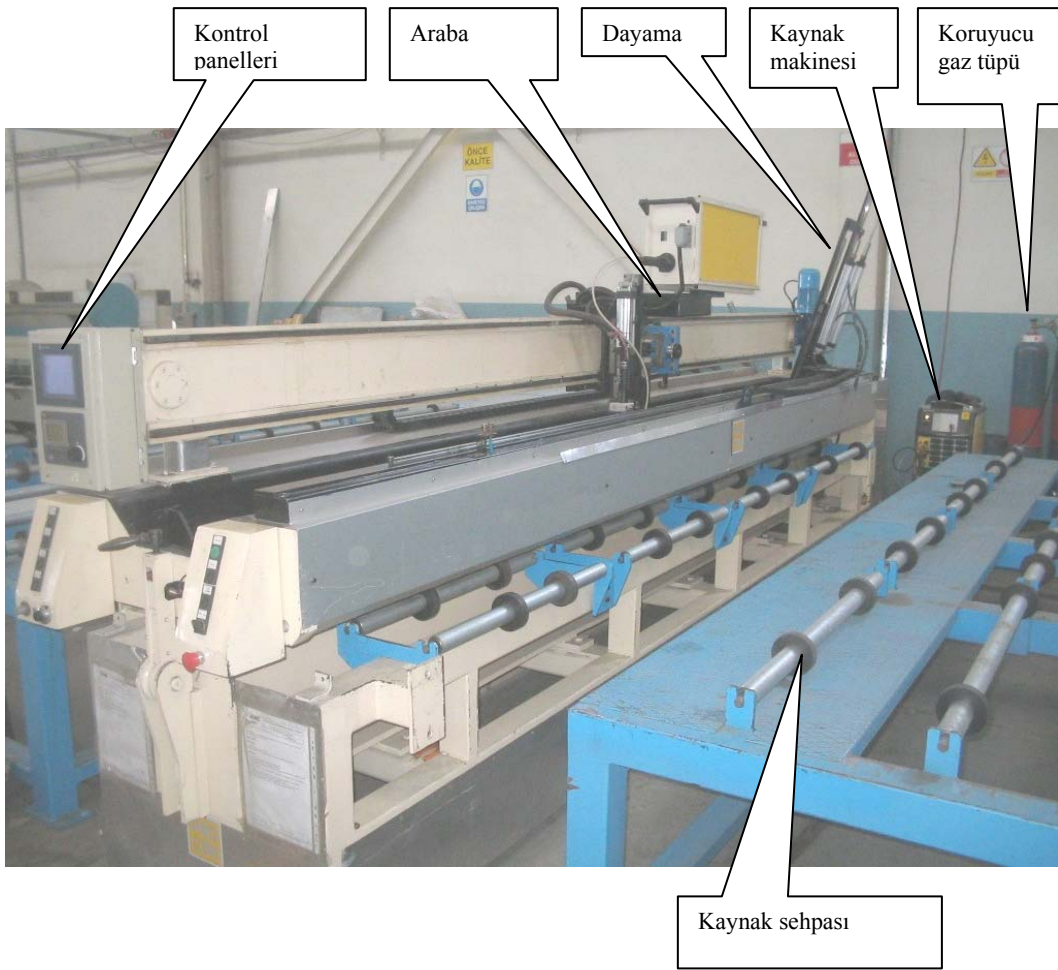
TIG kaynak yönteminin ilk uygulamalarında elektrotlar pozitif kutba bağlanarak kaynak yapılmış ve aşırı ısınan elektrottan tungsten damlacıklarının kaynak dikisine geçtiği görülmüş ve elektrot negatif kutba bağlanarak bu problem ortadan kaldırılmıştır; bu durumda paslanmaz çeliklerin kaynağında başarı sağlanmasına karşın, alüminyum ve magnezyum gibi refrakter bir oksit tabakası ile kaplı metallerin kaynağı problemi ile karşılaşmıştır. Alternatif akımın sürekliliğini sağlayan yüksek frekans üreten jeneratör ve devrelerin keşfi sonucu, alternatif akım yardımı ile bu tür metal ve alaşımlarının çok kaliteli bir şekilde kaynağı gerçekleştirilmiştir. [30]

3.2. Robot TIG Kaynak makinesi

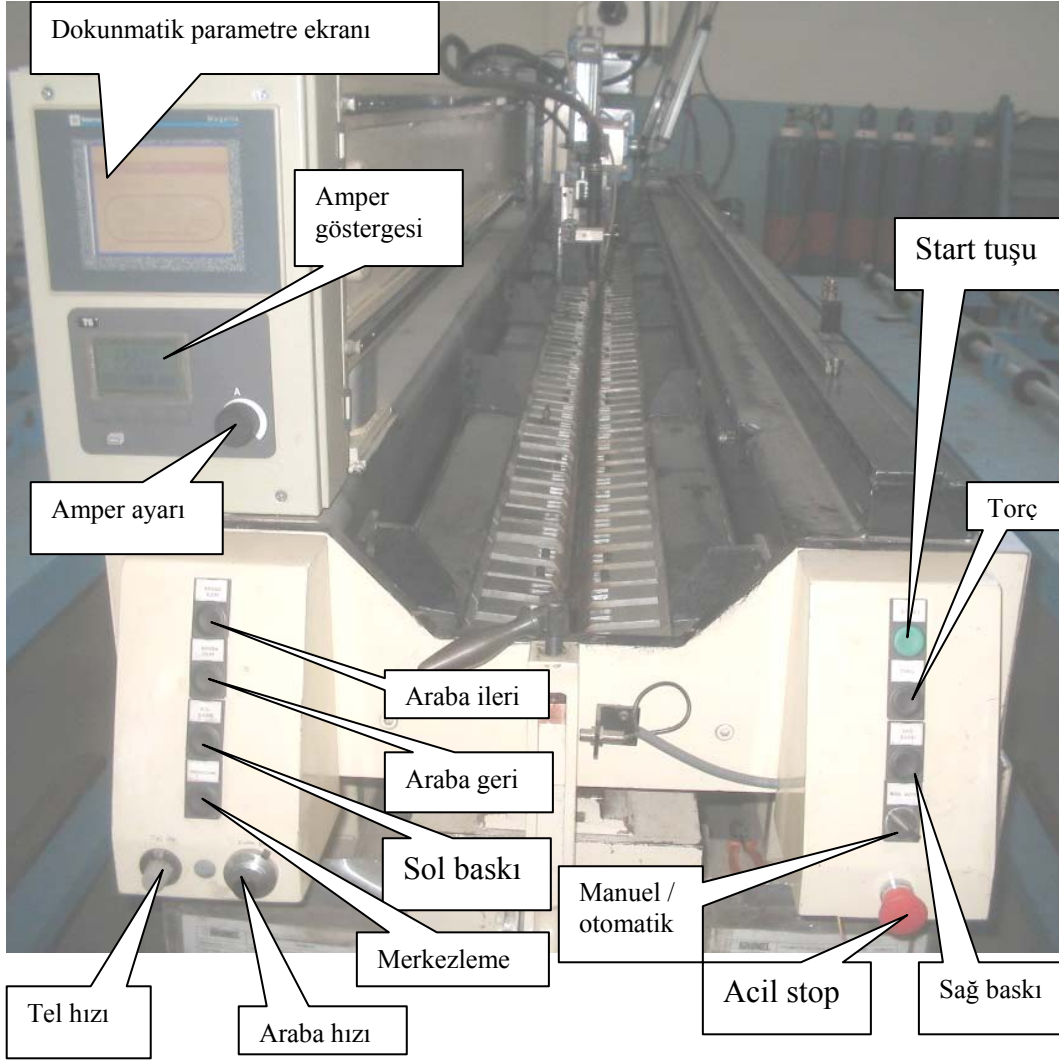
Gelişen teknoloji ve kaynaklı bağlantıların en iyi şekilde gerçekleştirmesi için duyulan ihtiyaç, robot teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte kaynak torçlarının robotlara akuple edilerek bir kaynak sistemi halinde endüstride kullanım alanı bulmaktadır. Bu teknolojinin getirdiği avantajlar kaynak hızı, kaynak kalitesi ve sürekli homojen bir kaynağın elde edilebilmesidir.

3.2.1. Tek Eksenli Robot TIG Kaynak Makinesi

Bu çalışmada kullanılan kaynak makinesi Procon marka tek eksenli kaynak robotudur. Bu makine şekil 3.1’de verilmiştir. TIG kaynak yönteminin diğer gaz altı kaynak yöntemlerine göre daha hassas olması nedeniyle 3 eksen kaynak robotlarında kullanılması önerilmemektedir. Bu yöntem için tek eksen kaynak robot tezgahlarında iyi sonuçlar alınabilmektedir.



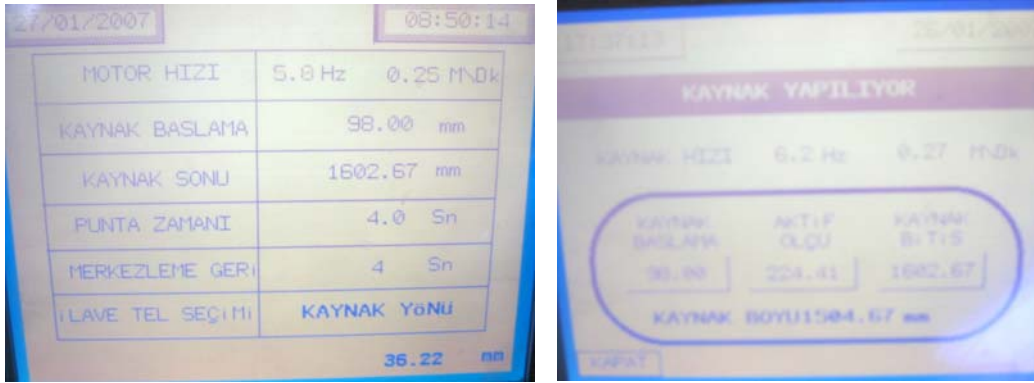
a)



b)

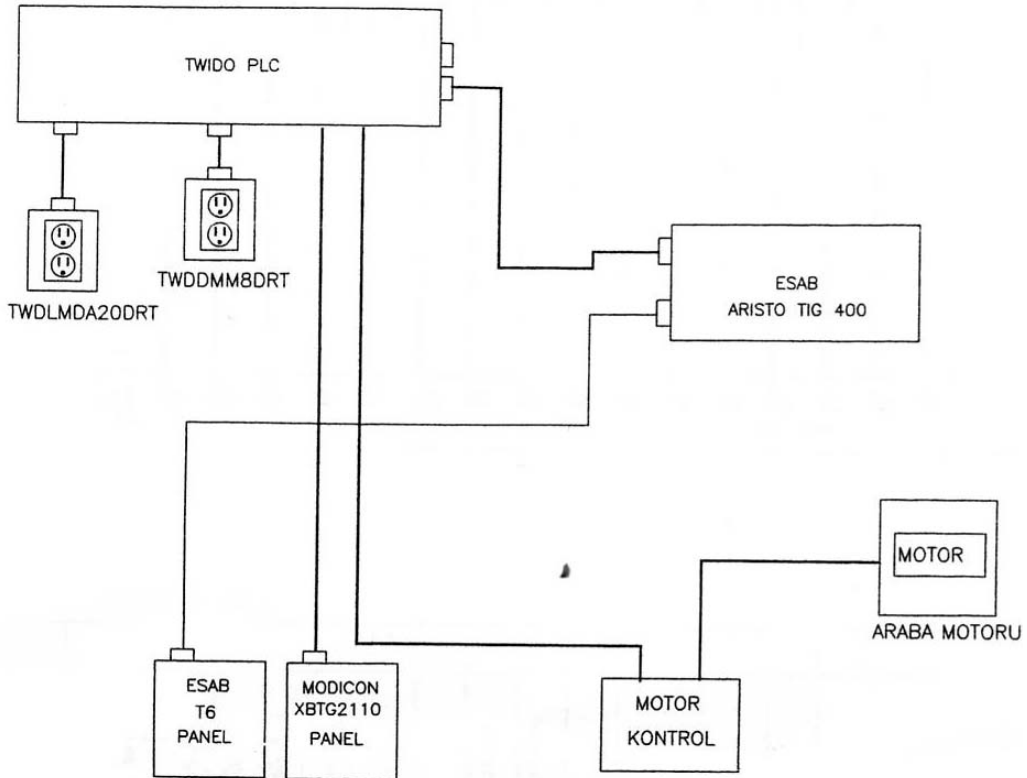
Şekil 3.2. a) Tek eksen robot kaynak makinesinin genel görünümü. b) Tek eksen robot kaynak makinesinin kontrol paneli görünümü.

Bu makinede kaynak hızı, telli ve telsiz kaynak edilebilme, akım tipi, darbeli akım ayrıntıları, merkezleme dayaması, havayla çalışan sabitleme ayakları, punta zaman ayarı, kaynak başlangıç ve bitimi gibi parametreler çoğu dokunmatik ekrandan girilerek işlem gerçekleştirilmektedir. Dokunmatik ekrandaki parametre seçimleriyle ilgili resimler Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. Ekrandan parametrelerin seçimi

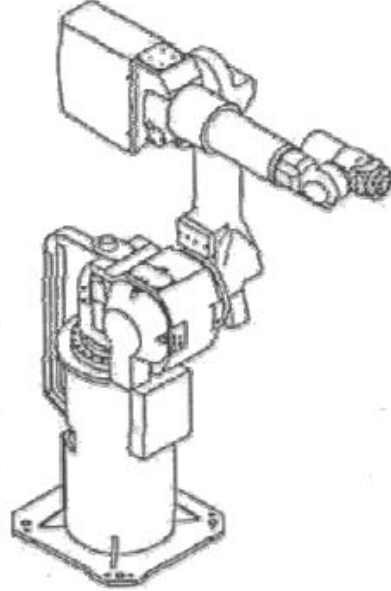
Sistem kaliteli bir kaynak elde etmek için gerekli hassasiyete sahip ekipmanlar kullanılmış olup temel TIG yöntemi prensipleri burada da geçerlidir. Sistemin kurulumu Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Procon marka tek eksenli robot TIG kaynak makinesi kurulum şeması

3.2.2. Çok eksenli Robot Gaz Altı Kaynak Makinesi

Çok eksenli robot gaz altı kaynak makineleri genelde MIG ve MAG yöntemlerinde kullanılmaktadır. Robot koluna akuple edilmiş kaynak torç tertibatı sayesinde, programlanmış olan robot kaynak işlemini her pozisyonda gerçekleştirebilmektedir. Robot kolları ihtiyaca yönelik büyüklükte ve hareket kabiliyetinde üretilebilmektedir. Şekil 3.5’de örnek olarak çok eksenli bir robot kaynak makinesi, Şekil 3.6’de sistemde kullanılan kaynak makinesi ve Şekil 3.7’de robot kontrolcüsünün resmi verilmiştir.



Şekil 3.5. Çok eksenli Fanuc marka kaynak robotu [35]



Şekil 3.6. Daiden marka AutoTac 350 U Kaynak makinesi [35]



Şekil 3.7. Fanuc robot R-G2 kontrolcüsü [35]

3.2.2.1. Robotsal Kaynak Süreci Kontrolü

Robot kontrolcüde kaynak voltajını ve kablo besleme hızını kontrol ederken analog iletişim kanalları kullanmak en sık kullanılan metodudur. Tipik bir analog kanal menzili sıfırdan 10 V a kadar olan bir sinyali işleyebilir. Bu sinyal alanı, güç kaynağından gelen çıktıya uymak adına genellikle robot ve kaynak yapan güç kaynağı arasındaki bir arayüz kutusu üzerinden programlanır. Bir analog kanal voltajı kontrol etmek için bir diğeri kablo besleme hızı için kullanılır. 10 V sinyallerden biri güç kaynağının kaynak voltajı çıkış menziline uyar. Eğer, mesela, belirli bir kaynak makinesi için maksimum çıktı menzili 50 V ise, robottan gelen sıfırdan 10 v a analog çıkış güç kaynağından gelen sıfırdan 50 V a kadar olan çıktıya karşılık gelir. Eğer güç kaynağından 25 V lık bir çıkış voltajı istenirse (maksimumun yarısı), robot güç kaynağına 5 V lık (toplam değerinin yarısı) bir analog sinyal göndermek durumundadır. Aynı şekilde, kablo besleme analog sinyali, sıfırdan 19 m/dakika (9)lık bir kablo besleme çıkış alanına uyabilir. Bazı daha yeni robot kontrolcüler kaynak parametrelerini kontrol etmek için eski moda analog metod yerine dijital iletişimi kullanmaktadırlar. Bu güç kaynakları ve robot arasındaki arayüz kutusuna olan ihtiyacı ortadan kaldırabilir ve kaynak parametrelerinin kontrolüne esneklik kazandırabilir. Fakat sonuç yine de aynıdır, robot güç kaynağını her bir kaynak için kullanılacak olan çıkış hakkında bir operatör tarafından programlanmış olan talimatlar doğrultusunda yönlendirir [35].

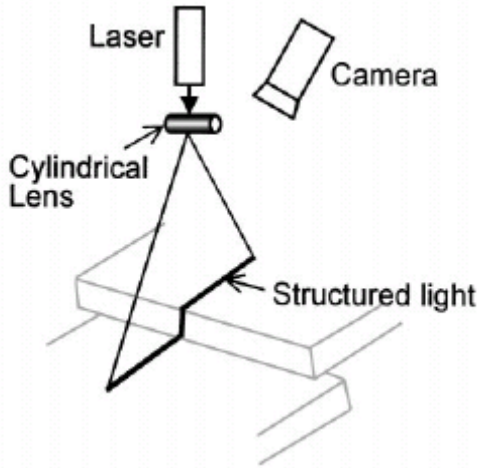
3.2.2.2 Kaynak Robotunu Programlama

Robotu programlarken, robot kolunu ve kaynak torcunu sıkıştıran veya dar bir genişlik yaratabilecek bir konuma yerleştirmemeye azami dikkat gösterilmelidir. Kablodaki dar bir yarıçap kablo besleme sorunları yaratabilir ve meşale kablosunu ve astarı olgunlaşmadan (erkenden) aşındırabilir.

Torç kablosu ve kablo besleyici ile kablo bobini arasındaki elektrik telleri borusu astar içerisindeki kablo deneyimlerinin sürüklenme derecesini en aza indirmek için olabildiğince kısa olmalıdır. Eğer kablo uzun bir mesafede beslenmek durumundaysa, birincil kablo besleyiciye ek olmak üzere kablo beslenmesini arttırmak için ikinci bir kablo besleme motorunun eklenmesi düşünülmelidir [35].

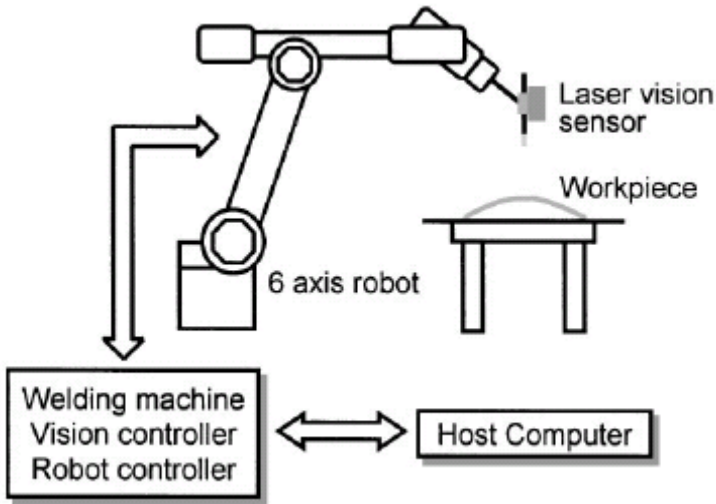
3.2.2.3 Robot sistem algılayıcısı

Yapılandırılmış ışık tipinin lazer görüntüleme sensörü dağılım datasının çalışılan parça üzerinde elde edilebilir. Lazer görüntüleme sensörü şekil 3.8'de görüldüğü gibi bir lazer diot, silindirik bir lens ve CCD kameradan oluşur [36]. Silindirik lens tarafından çıkarılan paylandırılmış ışık nesnenin üzerine yansıtılır. Kamera görüntüleri yakalar ve nesnenin dağılım datası üçgenleme/triangulation prensibi ile oluşturulur [37]. Görüntüsel alan ve lazer görüntüleme sensörünün çözünürlüğü CCD kamera ve lazer arasındaki geometri tarafından belirlenir. Robot ve lazer görüntüleme sensörü arasında uygun kalibreleme prosedüründen sonra sensörden elde edilen dağılım datası robotun koordine ettiği bir çerçeve olarak tanımlanabilir. Dağılım datasının elde edilmesi için tarama yolu çalışılan parçanın CAD datasından çıkmaktadır. Lazer görüntüleme sensörü nesnelerin ardışık dağılım datalarını toplar ve geometrik modelleme gerçekleştirilir. Geometrik modelden çıkan robot yolu robot kontrolcüye aktarılır ve kaynak işlemi gerçekleştirilir.

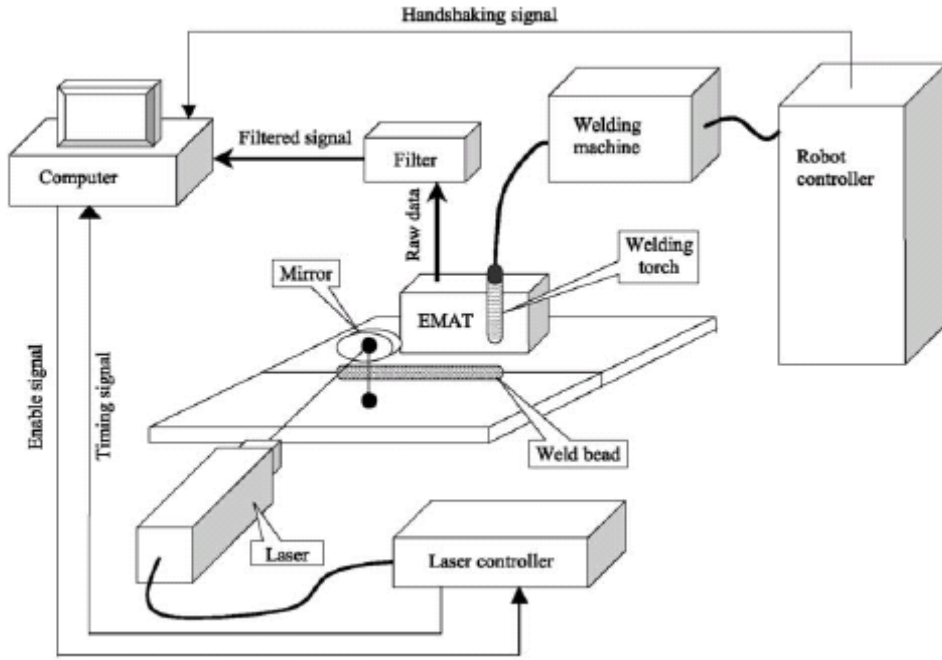


Şekil 3.8. Yapılandırılmış ışık sisteminin prensibi [38]

Kaynak için otomatik öğretim sistemi, şekil 3.9’de gösterildiği gibi, 6 akslı eklemli robot, lazer görüntüleme sistemi, kaynak makinesi ve ana bilgisayar ihtiva eder. Lazer görüntüleme sistemi üzerinden elde edilen dağılım datası ana bilgisayara BUS üzerinden aktarılır ve robot sistemi ana bilgisayara RS-232c ile bağlanır. Şekil 3.10’de farklı bir Gaz altı robot kaynağı sistem kurulumu verilmiştir [38].



Şekil 3.9. 6 akslı eklemli robot lazer görüntüleme sistemi [38]



Şekil 3.10. Gelişmiş bir gaz altı kaynak robotu sistem kurulumu [38]

3.3. Kaynak Parametrelerinin Damla Geometrisi Üzerine Etkileri

Damla geometrisi üzerine kaynak parametrelerinin etkilerini bulmak adına daha önce yapılmış olan çalışmaların yüzeysel bir taraması yoluyla edinilen aşağıdaki açıklamalar kaynak parametreleri ve damla geometrisi arasındaki ilişkilerin genel trendleri olarak düşünülebilir [35].

3.3.1. Nüfuz ve Yayılmanın Derinliğini Etkileyen Parametreler

- Daha büyük ark yüksekliği sıcaklığın daha az konsantrasyonunda toplanmasından dolayı sığ nüfuz etmeye ve yayılmaya neden olur. Çok küçük ark uzunluğunda eğer ark gücü çok düşük ise daha zayıf nüfuza ve yayılmaya neden olur.
- Hızlı ilerleme veya düşük ark gücü genellikle zayıf difüzyon meydana getirir.
- Akım ve ark voltajındaki artış ile nüfuziyet derinliği yükselir.

- Ana metalin termal iletkenliği daha yüksek ise nfzun ve yayılmanın derinliği daha aşağıdır.
- İletken metal damlaların sıcaklık bileşkeni yayılmanın toplam bölümlü alanını belirlemede iken damlaların likit kaynak havuzu üzerindeki etkisi yayılmanın derinliğini belirler [35].

3.3.2. Damla Yüksekliğini ve Genişliğini Etkileyen Parametreler

- Ark uzunluğu kaynak karakterini belirleyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Uzun arklar geniş bir alana yayılır ve damla genişliğini arttırır.
- Damla genişliği çalışmada kullanılan ısı ile paralel olarak artar ve gezinme hızı veya akım artışı ile azalır.
- Yüksek elektrot besleme oranlarında daha büyük genişliklerde, daha yayvan damlalar elde edilir.
- Damla genişliği ve yüksekliği dolaşım hızı arttıķa azalır. Ark uzunluğu arttıķa damla genişliği artar. Ark uzunluğu arttıķa damla uzunluğu azalır.
- İlave tel besleme hızı arttıķa hem damla genişliği hem de yüksekliği artar [35].

3.4. TIG Kaynağında Ek Kaynak Metalleri

Paslanmaz eliklerin TIG kaynağında DIN, AWS ve TS I1197'ye göre tanımlanmış belirli çap ve boylarda TIG kaynak telleri kullanılır (Tablo 3.1). İnce salar halinde, bu malzemelerden kesilecek şeritlerde kullanılabilir. [5,33]

Tablo 3.1. Bazı TIG ilave tellerin kimyasal bileşenleri [5,33]

İlave Tel	C	Cr	Ni	Mo	Cb&'la	Mn	Si	P	S	Cu
ER308	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER308L	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER308LSI	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.75		1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	0.75
ER309	0.12	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER309L	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER309LSI	0.03	23.0-25.0	12.0-14.0	0.75		1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	0.75
ER310	0.08-0.15	25.0-28.0	20.0-22.5	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER312	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.75		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER316	0.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER316L	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER316LSI	0.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0		1.0-2.5	0.65-1.00	0.03	0.03	0.75
ER317L	0.03	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0		1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75
ER347	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0	0.75	10xC min-1.0 max.	1.0-2.5	0.30-0.65	0.03	0.03	0.75 0.75
ER410	0.12	11.5-13.5	0.6	0.75		0.6	0.5	0.03	0.03	3.25-4.00
ER630	0.05	16.0-16.75	4.5-5.0	0.75	0.15-0.30	0.25-0.75	0.75	0.03	0.03	

3.5. TIG Kaynak Elektrotları

TIG kaynak yöntemi ile diğer kaynak yöntemi arasındaki en önemli fark, ek kaynak metalinin elektrottan sağlanması ve elektrotun sadece ark oluşturma görevini üstlenmiş olmasıdır; bu bakımdan burada, erime sıcaklığı 3350°C olan tungsten elektrot malzemesi olarak seçilmiştir yüksek erime sıcaklığının yanı sıra tungsten çok kuvvetli elektron yayıcıdır ve yayılan elektronlar ark sütunu içinde kuvvetli bir elektron akımı oluşturur ve ark sütundaki atomlar iyonize ederek arkın kararlılığını sağlar. TIG kaynak elektrotları AWS A5.12 ile DİN 32528'de bileşimlerine göre sınıflandırılmış ve bunları birbirlerinden kolaylıkla ayırabilmek için de renk kodları kullanılmıştır. (Tablo 3.2.- 3.3.) [30]

Tablo 3.2. Tungsten elektrodların kimyasal kimyasal bileşikleri ve tanım renkleri (DİN 32528)[30]

İşareti	Malzeme No	Oksit İçeriği %	Katışkılar %	Renk Koku
W	2,6005	-	≤0.20	Yeşil
WT 10	2,6002	0,90-1,20 ThO ₂	≤0.20	Sarı
WT 20	2,6026	1,80-2,20 ThO ₂	≤0.20	Kırmızı
WT 30	2,6030	2,80-3,20 ThO ₂	≤0.20	Leylak
WT 40	2,6036	3,80-4,20 ThO ₂	≤0.20	Portakal
WZ 4	2,6050	0,30-0,50 ThO ₂	≤0.20	Kahverengi
WZ 8	2,6062	0,70-0,90 ThO ₂	≤0.20	Beyaz
WL10	2,6010	0,90-1,20 ThO ₂	≤0.20	Siyah

Tablo 3.3. Tungsten elektrodların bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasiteleridir [30]

Elektrod çapı mm	Alternatif Akım A		Doğru Akım A	
	W Elektrod	WT Elektrod	W ve WT Elektrod	W ve WT Elektrod
0,5	5...15	5...20	5...20	-
1,0	10...60	15...80	15...80	-
1,6	50...100	70...150	70...150	10...20
2,4	100...160	140...235	150...250	15...30
3,2	150...210	225...325	250...400	25...40
4,0	200...275	300...425	400...500	40...55
4,8	250...350	400...525	500...800	55...80
6,4	325...425	500...700	800...1100	80...125

Uygulamada elektrot çapı, elektrodun yüklenebileceği en yüksek akım kapasitesi göz önüne alınarak seçilmelidir, bu değere yaklaşıldığında arkın ısı yoğunluğu artmakta, daha kararlı bir ark ile nüfuziyeti fazla, dikmiş yüksekliği az bir dikmiş elde edilebilmektedir.[30]

3.6. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Koruyucu Gazlar

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında Ar çok tercih edilir. Ar'a H₂ eklenmesi ile kaynak hızı ve nüfuziyet artar, bunun yanı sıra daha temiz ve

kaliteli dikişler elde edilmiş olur. Mekanize kaynak işlemlerde, özellikle yüksek kaynak hızları istendiği durumlarda He, He+Ar veya ArH-H₂ karışım gazları önerilir. Örneğin, sürekli boru kaynaklarında da He+Ar veya Ar+H₂ koruyucu gazları saf Ar'a tercih edilir, zira yüksek kaynak hızlarında üstün özelliklere sahip kaynak dikişlerinde yanma olayı azalır. Hatta incelemeler sonucu, He 'ca zengin gazlar, örneğin; % 80 He + % 20 Ar veya % 5 H₂ eklenen Ar + He karışımı (% 70 He + % 25 Ar + % 5 H₂) kullanılması halinde çeliğin üretiminden gelen birleşim değişimlerinden kaynaklanan nüfuziyet farklılıklarının da giderildiği saptanmıştır. [30,29]

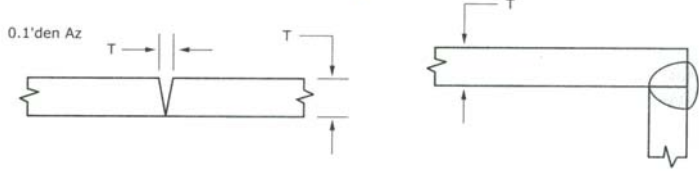
Ferritik paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında Ar'a hidrojen eklenmesi ostenitik paslanmaz çeliklerde benzer yararlar sağlanabilir, daha akıcı kaynak banyosu ve daha temiz dikiş oluşur. Martenzitik paslanmaz çelikler için ise gazda hidrojen bulunması halinde hidrojen çatlakları tehlikesi vardır.

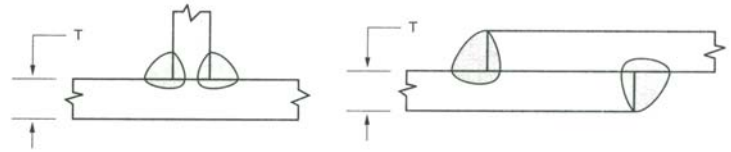
Ostenitik-ferritik iç yapıya sahip paslanmaz çeliklerin TIG kaynağında koruyucu gazla eklenen H₂ kaynağın verimliliğini artırıcı etkide bulunursa da kaynak metalinde H₂ çatlakları tehlikesi yaratır. Ar + % 2 + 4 N₂ karışım gazı kaynak metalinin azot içeriği üzerinde etkili olmamasına karşın saf Ar'a nazaran çukurcuk korozyonu direncini artırır [29].

3.7. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Ağız Hazırlığı

Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı için ağız hazırlamada gerekli işlemler özenle uygulanır. İnce saclar halinde çok yaygın kullanılan bu yöntemde özellikle kök alını tasarımı dikkatle yapılmalıdır. Tablo 3.4'de TIG kaynağında kullanılacak ağız türleri ve öneriler sıralanmıştır.

Tablo 3.4. Paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı için kullanılan kaynak ağızları [5]

						
Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (amp) DC (-)	80-100	100-120	120-140	200-250	200-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.1	5.1	5.1	4.2	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0548	0.0548	0.0548	0.0656	0.0820	0.0820

						
Parça Kalınlığı "T" (mm)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2
Akım (amp) DC (-)	90-100	110-130	130-150	225-275	225-350	225-375
Gaz Debisi Argon (lt/dak)	4.7	4.7	4.7	7.1	9.4	11.8
Tel Çapı (mm)	1.6	1.6	2.4	3.2	3.2	3.2
Kaynak Hızı (mm/sn)	4.2	4.2	4.2	3.4	3.4	3.4
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0656	0.0656	0.0656	0.0820	0.0820	0.0820

Dik aşağıdan yukarıya ve tavan pozisyonlarında kaynak akımı % 10 - 20 azaltılarak kullanılabilir.

3.8. Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağı

3.8.1. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı

TIG kaynağı, bütün kaynak pozisyonlarında ve tüm kalınlıklardaki ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi için çok uygun bir yöntemdir. Ancak, diğer ark kaynağı yöntemlerine nazaran pahalıdır zira doldurma oranı çok düşüktür. Bu tür paslanmaz çelikler, bu yöntem ile doğru akımda elektrot negatif kutba bağlanarak kaynak edilir. Kaynak makinesi düşen volt-amper karakteristiğine veya sabit akım çıkışına sahip olmalıdır.

Ostenitik 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 [25-27].

TIG yönteminde Ar, He ve bu gazların karışımları koruyucu gaz olarak kullanılır. Ar genellikle yarı otomatik kaynak için tercih edilir. Zira arkın başlaması ve kaynak banyosunun kontrolü kolaydır. Ayrıca kaynak banyosu üzerinde iyi bir gaz örtüsü sağlar. Ar özellikle ince ostenitik paslanmaz çelik saçların kaynağı için tercih edilir, zira seçilen bir kaynak akımı için ısı girdisi He ile sağlanandan daha düşüktür.

Daha iyi bir dikiş formu ve daha az yanma çentiği oluşması dolayısıyla yüksek kaynak hızlarında özellikle mekanize kaynaklarda He kullanılır. Ancak He'da arkın tutuşması daha zordur. Koruyucu gaz debisinin yetersiz olması durumunda kaynak metalinde azot birikmesi oluşabilir. Bu kaynak metali bileşiminin ferrit miktarında etkilidir. [28]

3.8.2. Ferritik kromlu paslanmaz eliklerin TIG kaynağı

Ferritik kromlu paslanmaz eliklerin TIG kaynağında doğru akım ve elektrodun negatif kutupta olması tercih edilir. Alternatif akım tercih edilmez. Koruyucu gaz olarak helyum argon veya ikisinin karışımı gaz kullanılır.

Bu yöntemde erimeyen elektrod kullanıldığı için kırık alın ağzı hazırlanmış parçalar, ek kaynak metaline gereksinim göstermeden birleştirilebilir. Gerektiğinde esas metalin ergitilerek ortadan kaldırılması da yöntemin göz önüne alınması gereken üstünlüklerinden biridir.

Ferritik paslanmaz eliklerin TIG kaynağında argona hidrojen eklenmesi kaynak hızı ve nufziyeti artırır bunu yanı sıra daha temiz ve kaliteli dikişler elde edilmiş olur [29].

3.8.3. Kaynak Kabiliyeti

Kaynak kabiliyeti, bir kaynak bağlantısının çatlaktan arındırılmış ve verilen şartnamedeki özelliklere uygun olarak gerçekleştirilebilme kolaylığıdır.

Her birleştirme işlemi için doğru parametrelerin seçimi önemli olmakla beraber parametrelerde seçim olanağımızın fazla olması o birleştirmenin kaynak kabiliyetinin yüksek olduğunu gösterir.

Kaynak edilen metaller tatbikatta, pek az istisnası ile bütün kaynak usullerinde, kaynak yerinin erime veya solidsne üsten yakın bir sıcaklığa kadar ısıtmak mecburiyetindedir. Burada, kaynak tekniğinde kullanılan ısı membamın tatbik edilen kaynak usulüne göre değiştiğini de unutmamak gerekir. Diğer taraftan

metallerin yüksek sıcaklığa kadar ısıtılması, esas metalde bir iç yapı değişikliği meydana getirir. Ve çevresindeki atmosferle sıcak veya erimiş haldeki metal veya alaşım elemanları arasında bazı kimyasal reaksiyonlarının meydana gelmesine sebep olur [30].

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Çalışmalar için 4 mm kalınlığında 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik saclar ve 308 L ilave tel kullanılmıştır. Kullanılan ana malzemelerin ve ilave telin spektro analiz sonuçları Tablo 4.1 da verilmiştir. Tablo 4.2. de ise fiziksel özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Deneylerde kullanılan 304 ana malzeme ve 308L ilave telin kimyasal analiz değerleri

Malzeme	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğerleri
AISI 304	0.08	2.0	1	18	10	0,045	0,03	-
ER 308L	0.03	1.0-2.5	0.30-0.65	19.5-22.0	9.0-11.0	0.03	0.03	0.75 Mo 0.75 Cu

Tablo 4.2. 304 kalite ostenitik paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri [34]

Fiziksel Özellikler	
Elastisite Modülü (GPa)	195
Yoğunluk (g/cm ³)	7.9
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16.6
Isıl İletkenlik (W/mk)	15.7
Özgül Sıcaklık (J/k°K)	500
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74
Manyetik Geçirgenlik	1.02
Ergime Aralığı (°C)	1375-1450

4.2. Kaynak Parametreleri

Kaynak parametreleriyle ilgili bilgiler tablo 4.3’de özet olarak gösterilmiş olup, her inceleme için bir şartname şeklinde toplam 7 şartname olarak ayrıca

verilmiştir. Kaynatılan malzemeler 150, 160, 190 ve 200 amper 2 si telli olup diğerleri telsiz kaynatılmış ve sadece G numunesine kaynak ağzı açılmıştır. Tüm birleştirmeler önlü arkalı yapılmıştır.

Numuneler	Amper	Volt	İlave tel	Koruyucu gaz	İlerleme Hızı mm/sn	Akım Tipi	Paso sayısı
A	150	14,2	-	Hidark 5	4	AC	Önlü arkalı
B	160	15,2	308L	Hidark 5	4	DC	Önlü arkalı
C	150	14,2	-	Hidark 5	7.6	AC	Önlü arkalı
D	150	14,2	-	Argon	4	AC	Önlü arkalı
E	190	18,2	-	Hidark 5	4	AC	Önlü arkalı
F	190	18,2	-	Hidark 5	5.8	AC	Önlü arkalı
G	200	19,2	308L	Hidark 5	4	DC	Önlü arkalı

Tablo 4.3. İncelenecek numunelerin kaynak parametreleri

Yapılan her birleştirme tanımlanmış şartnamelere aktarılarak A,B,C,D,E,F,G numuneleri elde edilmiştir.

Şartnamelerden ilk olarak A olarak tanımlanmış birleştirme baz alınarak B, C ve D birleştirmeleri gerçekleştirilmiştir. B olarak tanımlanmış şartnamede A'dan farklı olarak ilave tel kullanılarak ve amper 10 artırılarak gerçekleştirilmiştir. C şartnamesi A'nın sahip olduğu parametrelerden kaynak hızı değiştirilerek oluşturulmuş olup D olarak tanımlanan birleştirmede koruyucu gaz olarak saf Argon kullanıldığı görülmektedir.

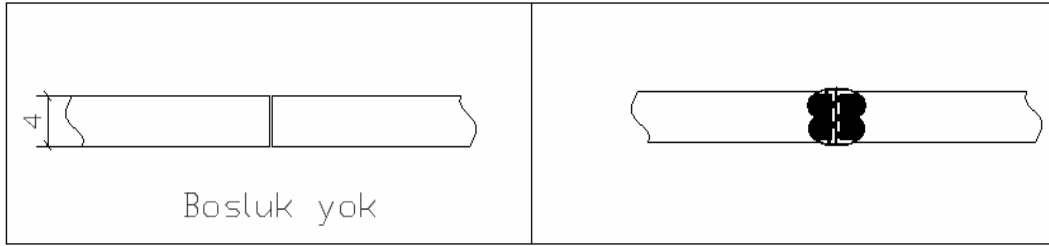
E tanımlı birleştirme A'dan farklı olarak amper değişikliği, F'de kaynak hızı eklenmiş ve G'de ise ilave telli kaynak ağzı açılmış bir birleştirme parametresi kullanılmıştır.

KAYNAK ŞARTNAMESİ “A”

Hazırlama uygulama ve temizleme metodu : Kaynatılacak malzeme kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak edilecek parçaların koruyucu naylonu kaynak yapılacak yerden 7 şer cm uzaklıktan yanmaması için kesilerek sökülür. Kaynak edilecek parçalar havaya çalışan kollar tarafından sabitlendi. Parçanın sonuna ek sac konuldu, daha sonra kaynak işlemi yapıldı. Havada soğutulduktan sonra temizlendi.

Esas metalle ilgili şartname : AISI 304 (125x350x4mm)
 Kaynak işlemi : Puslu TIG
 Birleştirme tipi : PA (Küt alın birleştirme)
 Teknik resimde gösterilişi : ||

Kaynak ağzı ayrıntıları (ŞEMA):



Kaynakla ilgili ayrıntılar

Paso	İşlem	İlave metal boyutu	Akım A	Gerilim V	Akım tipi / kutuplama	Tel sürme hızı	İlerleme hızı mm/sn
1	Puslu TIG	-	150	14,2	AC (-)	-	4
2	Puslu TIG	-	150	14,2	AC (-)	-	4

Kaynak sarf malzemesi : -
 Özel altlık veya kurutma : Bakır altlık 12x100mm
 Gaz/toz : Hidark5 (%5 hidrojen %95 Argon)
 Gaz akış hızı : 8 lt/dk
 Nozul çapı : 10 mm
 Kaynak makinası : Aristo TIG 400
 Elektrod salınımı : 0 mm
 Tungsten elektrod tipi/boyutu: Kırmızı 2.4mm AWS ye göre EWTH2
 Darbeli kanak ayrıntıları : Tepe akım (237 A) Tepe akım zamanı (0,15 s)
 Dip akım (65 A) Dip akım zamanı (0,15 s)

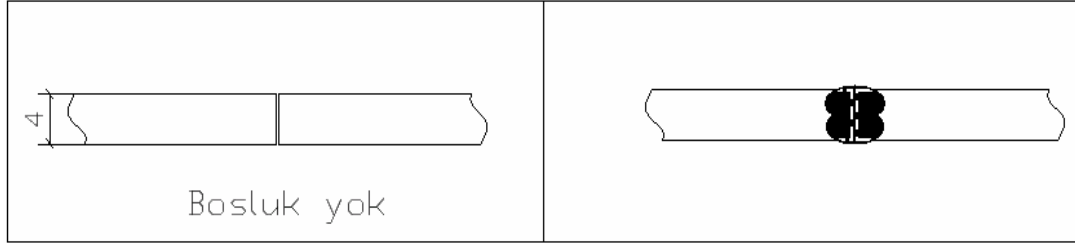
Temas ucu/iş parçası mesafesi : 2 mm
 Torç / ilave metal açısı : 90 °

KAYNAK ŞARTNAMESİ “B”

Hazırlama uygulama ve temizleme metodu : Kaynatılacak malzeme kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak edilecek parçaların koruyucu naylonu kaynak yapılacak yerden 7 şer cm uzaklıktan yanmaması için kesilerek sökülür. Kaynak edilecek parçalar havaya çalışan kollar tarafından sabitlendi. Parçanın sonuna ek sac konuldu, daha sonra kaynak işlemi yapıldı. Havada soğutulduktan sonra temizlendi.

Esas metalle ilgili şartname : AISI 304 (125x350x4mm)
 Kaynak işlemi : TIG
 Birleştirme tipi : PA (Küt alın birleştirme)
 Teknik resimde gösterilişi : ||

Kaynak ağzı ayrıntıları (ŞEMA):



Kaynakla ilgili ayrıntılar

Paso	İşlem	İlave metal boyutu	Akım A	Gerilim V	Akım tipi / kutuplama	Tel sürme hızı	İlerleme hızı mm/sn
1	TIG	Ø8	160	15,2	DC (-)	-	4
2	TIG	Ø8	160	15,2	DC (-)	-	4

Kaynak sarf malzemesi : 308 L
 Özel altlık veya kurutma : Bakır altlık 12x100
 Gaz/toz : Hidark5 (%5 hidrojen %95 Argon)
 Gaz akış hızı : 8 lt/dk
 Nozul çapı : 10 mm
 Kaynak makinası : Aristo TIG 400
 Elektrod salınımı : 0 mm
 Tungsten elektrod tipi/boyutu: Kırmızı 2.4mm AWS ye göre EWTH2
 Darbeli kanak ayrıntıları : -

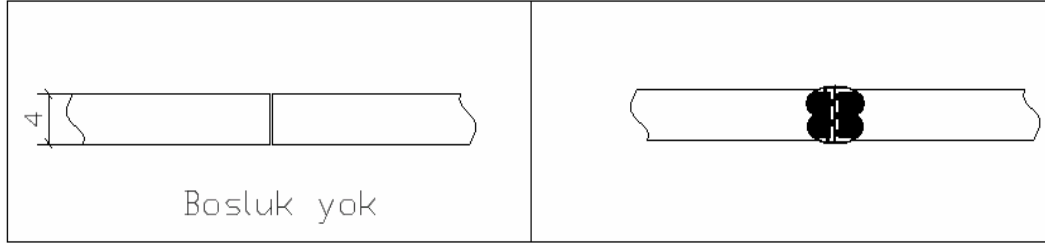
Temas ucu/iş parçası mesafesi : 3 mm
 Torç / ilave metal açısı : 90 °/ 45 °

KAYNAK ŞARTNAMESİ “C”

Hazırlama uygulama ve temizleme metodu : Kaynatılacak malzeme kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak edilecek parçaların koruyucu naylonu kaynak yapılacak yerden 7 şer cm uzaklıktan yanmaması için kesilerek sökülür. Kaynak edilecek parçalar havaya çalışan kollar tarafından sabitlendi. Parçanın sonuna ek sac konuldu, daha sonra kaynak işlemi bir tarafı çift pasolu olarak önlü arkalı gerçekleştirildi. Havada soğutulduktan sonra temizlendi.

Esas metalle ilgili şartname : AISI 304 (125x350x4mm)
 Kaynak işlemi : Puslu TIG
 Birleştirme tipi : PA (Küt alın birleştirme)
 Teknik resimde gösterilişi : ||

Kaynak ağzı ayrıntıları (ŞEMA):



Kaynakla ilgili ayrıntılar

Paso	İşlem	İlave metal boyutu	Akım A	Gerilim V	Akım tipi / kutuplama	Tel sürme hızı	İlerleme hızı mm/sn
1	Puslu TIG	-	150	14,2	AC (-)	-	7.6
2	Puslu TIG	-	150	14,2	AC (-)	-	7.6

Kaynak sarf malzemesi : -
 Özel altlık veya kurutma : Bakır altlık 12x100
 Gaz/toz : Hidark5 (%5 hidrojen %95 Argon)
 Gaz akış hızı : 8 lt/dk
 Nozul çapı : 10 mm
 Kaynak makinası : Aristo TIG 400
 Elektrod salınımı : 0 mm
 Tungsten elektrod tipi/boyutu: Kırmızı 2.4mm AWS ye göre EWTH2
 Darbeli kanak ayrıntıları : Tepe akım (237 A) Tepe akım zamanı (0,15 s)
 Dip akım (65 A) Dip akım zamanı (0,15 s)

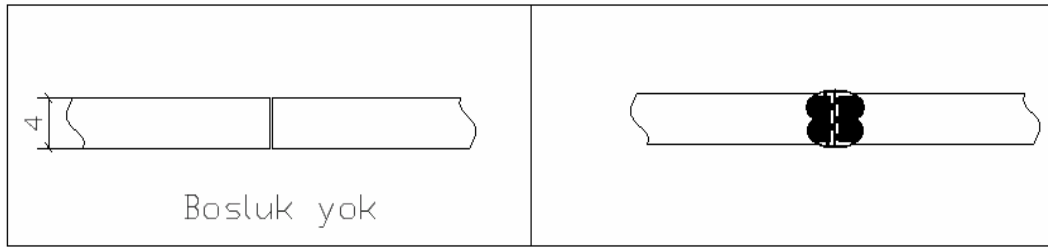
Temas ucu/iş parçası mesafesi : 2 mm

Torç / ilave metal açısı : 90 ° / °

KAYNAK ŞARTNAMESİ “D”

Hazırlama uygulama ve temizleme metodu : Kaynatılacak malzeme kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak edilecek parçaların koruyucu naylonu kaynak yapılacak yerden 7 şer cm uzaklıktan yanmaması için kesilerek sökülür. Kaynak edilecek parçalar havaya çalışan kollar tarafından sabitlendi. Parçanın sonuna ek sac konuldu, daha sonra kaynak işlemi yapıldı. Havada soğutulduktan sonra temizlendi.

Esas metalle ilgili şartname : AISI 304 (125x350x4mm)
 Kaynak işlemi : Puslu TIG
 Birleştirme tipi : PA (Küt alın birleştirme)
 Teknik resimde gösterilişi : ||



Kaynak ağızı ayrıntıları (ŞEMA):

Kaynakla ilgili ayrıntılar

Paso	İşlem	İlave metal boyutu	Akım A	Gerilim V	Akım tipi / kutuplama	Tel sürme hızı	İlerleme hızı mm/sn
1	Puslu TIG	-	150	14,2	AC (-)	-	4
2	Puslu TIG	-	150	14,2	AC (-)	-	4

Kaynak sarf malzemesi : -
 Özel altlık veya kurutma : Bakır altlık 12x100
 Gaz/toz : Argon (%100 Ar)
 Gaz akış hızı : 8 lt/dk
 Nozul çapı : 10 mm
 Kaynak makinası : Aristo TIG 400
 Elektrod salınımı : 0 mm
 Tungusten elektrod tipi/boyutu: Kırmızı 2.4mm AWS ye göre EWTH2
 Darbeli kanak ayrıntıları : Tepe akım (237 A) Tepe akım zamanı (0,15 s)
 Dip akım (65 A) Dip akım zamanı (0,15 s)

Temas ucu/iş parçası mesafesi : 2 mm

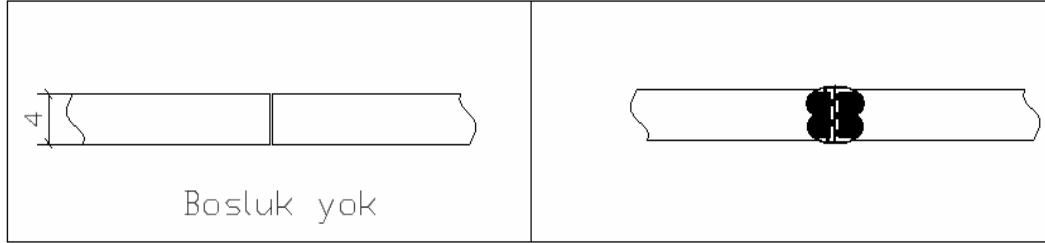
Torç / ilave metal açısı : 90 ° / °

KAYNAK ŞARTNAMESİ “E”

Hazırlama uygulama ve temizleme metodu : Kaynatılacak malzeme kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak edilecek parçaların koruyucu naylonu kaynak yapılacak yerden 7 şer cm uzaklıktan yanmaması için kesilerek sökülür. Kaynak edilecek parçalar havaya çalışan kollar tarafından sabitlendi. Parçanın sonuna ek sac konuldu, daha sonra kaynak işlemi yapıldı. Havada soğutulduktan sonra temizlendi.

Esas metalle ilgili şartname : AISI 304 (125x350x4mm)
 Kaynak işlemi : Puslu TIG
 Birleştirme tipi : PA (Küt alın birleştirme)
 Teknik resimde gösterilişi : ||

Kaynak ağzı ayrıntıları (ŞEMA):



Kaynakla ilgili ayrıntılar

Paso	İşlem	İlave metal boyutu	Akım A	Gerilim V	Akım tipi / kutuplama	Tel sürme hızı	İlerleme hızı mm/sn
1	Puslu TIG	-	190	18,2	AC (-)	-	4
2	Puslu TIG	-	190	18,2	AC (-)	-	4

Kaynak sarf malzemesi : -
 Özel altlık veya kurutma : Bakır altlık 12x100
 Gaz/toz : Ar+%5 hidrojen
 Gaz akış hızı : 8 lt/dk
 Nozul çapı : 10 mm
 Kaynak makinası : Aristo TIG 400
 Elektrod salınımı : 0 mm
 Tungsten elektrod tipi/boyutu: Kırmızı 2.4mm AWS ye göre EWTH2
 Darbeli kanak ayrıntıları : Tepe akım (290 A) Tepe akım zamanı (0,15 s)
 Dip akım (90 A) Dip akım zamanı (0,15 s)

Temas ucu/iş parçası mesafesi : 2 mm

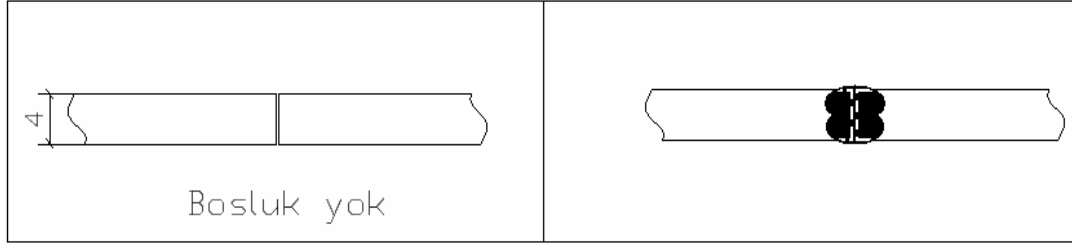
Torç / ilave metal açısı : 90 ° / °

KAYNAK ŞARTNAMESİ “F”

Hazırlama uygulama ve temizleme metodu : Kaynatılacak malzeme kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak edilecek parçaların koruyucu naylonu kaynak yapılacak yerden 7 şer cm uzaklıktan yanmaması için kesilerek sökülür. Kaynak edilecek parçalar havaya çalışan kollar tarafından sabitlendi. Parçanın sonuna ek sac konuldu, daha sonra kaynak işlemi yapıldı. Havada soğutulduktan sonra temizlendi.

Esas metalle ilgili şartname : AISI 304 (125x350x4mm)
 Kaynak işlemi : Puslu TIG
 Birleştirme tipi : PA (Küt alın birleştirme)
 Teknik resimde gösterilişi : ||

Kaynak ağızı ayrıntıları (ŞEMA):



Kaynakla ilgili ayrıntılar

Paso	İşlem	İlave metal boyutu	Akım A	Gerilim V	Akım tipi / kutuplama	Tel sürme hızı	İlerleme hızı mm/sn
1	Puslu TIG	-	190	18,2	AC (-)	-	5.8
2	Puslu TIG	-	190	18,2	AC (-)	-	5.8

Kaynak sarf malzemesi : -
 Özel altlık veya kurutma : Bakır altlık 12x100
 Gaz/toz : Ar+%5 hidrojen
 Gaz akış hızı : 8 lt/dk
 Nozul çapı : 10 mm
 Kaynak makinası : Aristo TIG 400
 Elektrod salınımı : 0 mm
 Tungsten elektrod tipi/boyutu: Kırmızı 2.4mm AWS ye göre EWTH2
 Darbeli kanak ayrıntıları : Tepe akım (290 A) Tepe akım zamanı (0,15 s)
 Dip akım (90 A) Dip akım zamanı (0,15 s)

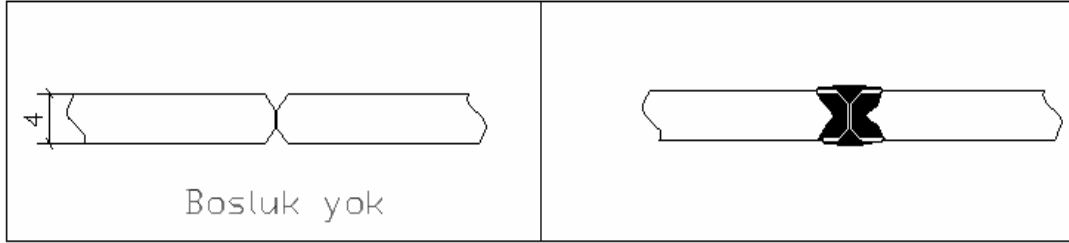
Temas ucu/iş parçası mesafesi : 2 mm
 Torç / ilave metal açısı : 90 ° / °

KAYNAK ŞARTNAMESİ “G”

Hazırlama uygulama ve temizleme metodu : Malzemeye aşağıdaki şekilde belirtildiği gibi 1x1,5 mm 60° lik açıyla X kaynak ağzı açılmıştır. Kaynatılacak malzeme kir, nem ve yağdan temizlendi. Kaynak edilecek parçaların koruyucu naylonu kaynak yapılacak yerden 7 şer cm uzaklıktan yanmaması için kesilerek sökülür. Kaynak edilecek parçalar havaya çalışan kollar tarafından sabitlendi. Parçanın sonuna ek sac konuldu, daha sonra kaynak işlemi yapıldı. Havada soğutulduktan sonra temizlendi.

Esas metalle ilgili şartname : AISI 304 (125x350x4mm)
 Kaynak işlemi : Puslu TIG
 Birleştirme tipi : PA (Küt alın birleştirme)
 Teknik resimde gösterilişi : X

Kaynak ağzı ayrıntıları (ŞEMA):



Kaynakla ilgili ayrıntılar

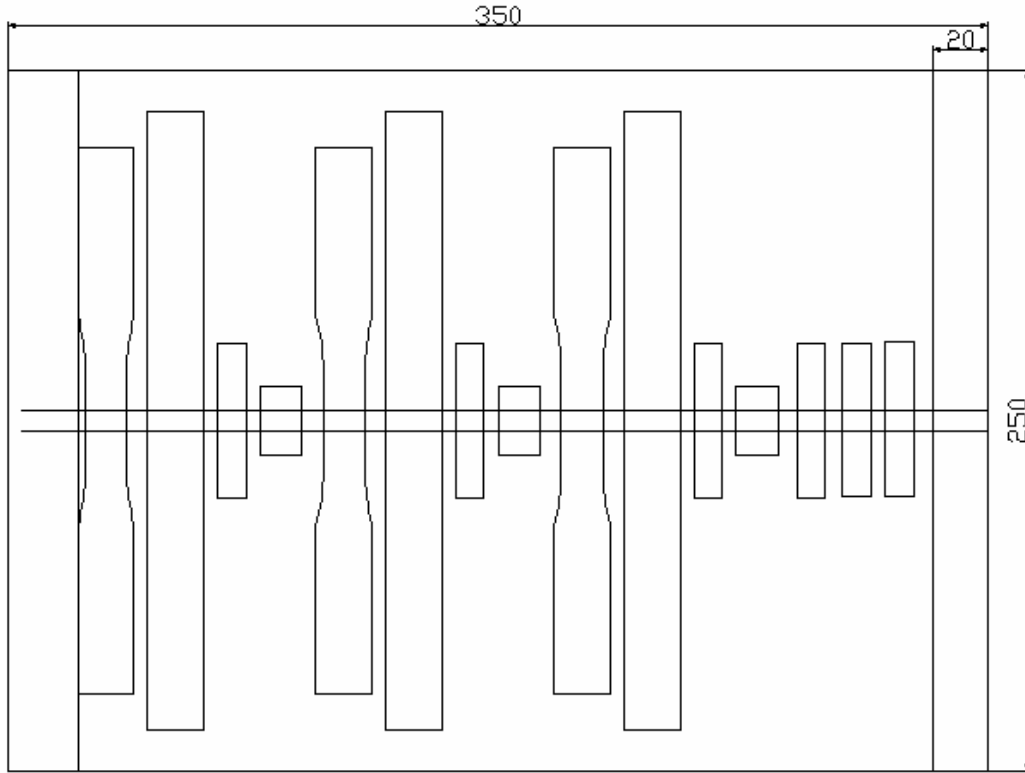
Paso	İşlem	İlave metal boyutu	Akım A	Gerilim V	Akım tipi / kutuplama	Tel sürme hızı	İlerleme hızı mm/sn
1	Puslu TIG	-	200	19,2	DC (-)	-	4
2	Puslu TIG	-	200	19,2	DC (-)	-	4

Kaynak sarf malzemesi : 308 L
 Özel altlık veya kurutma : Bakır altlık 12x100
 Gaz/toz : Ar+%5 hidrojen
 Gaz akış hızı : 8 lt/dk
 Nozul çapı : 10 mm
 Kaynak makinası : Aristo TIG 400
 Elektrod salınımı : 0 mm
 Tungsten elektrod tipi/boyutu: Kırmızı 2.4mm AWS ye göre EWTH2
 Darbeli kanak ayrıntıları : -

Temas ucu/iş parçası mesafesi : 2,5 mm
 Torç / ilave metal açısı : 90 °/ 45 °

4.3. Deney Numunelerinin Alınması

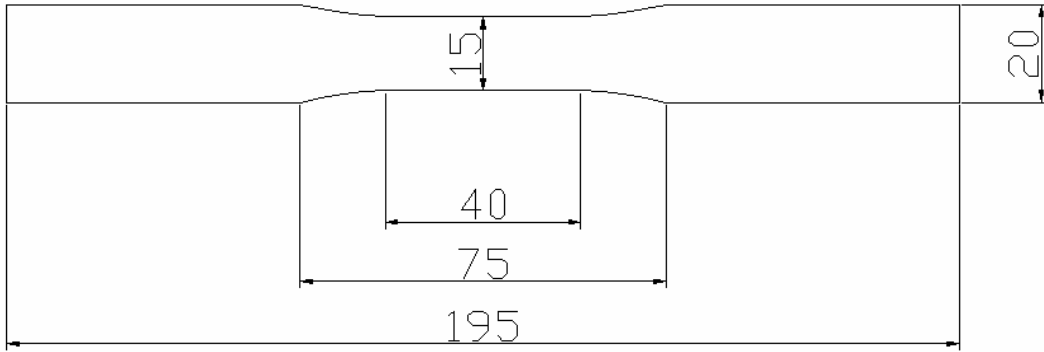
Yapılan çalışmada çekme dayanımı, eğme dayanımı, mikro sertlik, çentik darbe ve mikro yapı olmak üzere beş değişik özellik araştırılmıştır. Bu araştırmalar için gereken numunelerin 125x250x4 mm lik kaynatılmış iki plakadan çıkarılma işleminde öncelikle numunelerin çizimleri autocad programında çizildi. Şekil 4.1’de numunelerin yerleşim resmi verilmiştir. Kesim işleminde Fanuc marka lazer kesim tezgahından faydalanılmış olup, malzeme kalınlığına ve paslanmaz çeliğe özel lazer uç kesim esnasında kullanılarak ısı etkisinde kalan bölge en aza indirilerek pürüzsüz bir kesim ile numuneler çıkarılmıştır. Deney numune ölçüleri standartlarda ve literatürdeki ölçülere göre çıkarılmıştır [39].



Şekil 4.1. Numunelerin kaynatılmış plakadan çıkarılmasında lazer kesim yerleşimi

4.3.1. Çekme deneyi numunelerinin hazırlanması

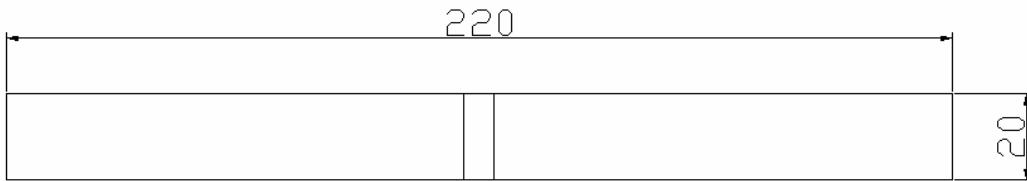
Kaynaklı numuneler, çekme deneyi için Şekil 4.2’de verilen ölçülere uygun olarak her kaynaklı parçadan 3 er adet lazerde kesildi. Deney için DARTECT marka deney cihazı kullanılmış olup, çekme hızı olarak 0.2 mm/s seçilmiştir.



Şekil 4.2. Çekme deneyi numune örneği

4.3.2. Eğme deneyi numunelerinin hazırlanması

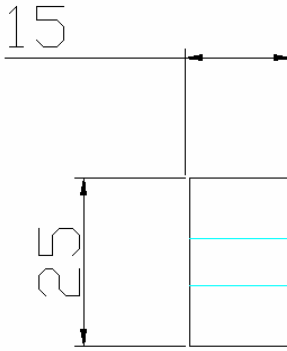
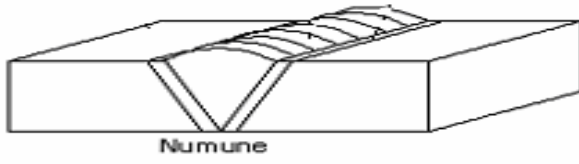
Her plaka için 3 adet eğme deneyi numunesi çıkarılmıştır. Eğme deney numunesi ölçüleri şekil 4.3’de verilmiştir. Üç nokta eğme deneyinde DARTECT marka deney cihazı kullanılmış olup, basma hızı olarak 0.2 mm/s seçilmiştir.



Şekil 4.3. Eğme deneyi numune örneği

4.3.3. Makro incelemeler, Mikro yapı inceleme ve mikro sertlik numunelerinin hazırlanması

Mikro yapı incelemeleri için, kaynak bölgesine önden bakmak amacıyla hazırlanan kaynak metali, ITAB ve esas metalin görülebildiği her plaka için 2 adet numune hazırlanmıştır. Bu tip numuneler, kaynak numunesinden kaynak dikişine dik ve nüfuziyetsizlik bulunan numunelerde ek olarak kaynağa paralel yönde enine kesit alınmak suretiyle hazırlanmıştır. Numune Şekil 4.4’de gösterilmektedir.

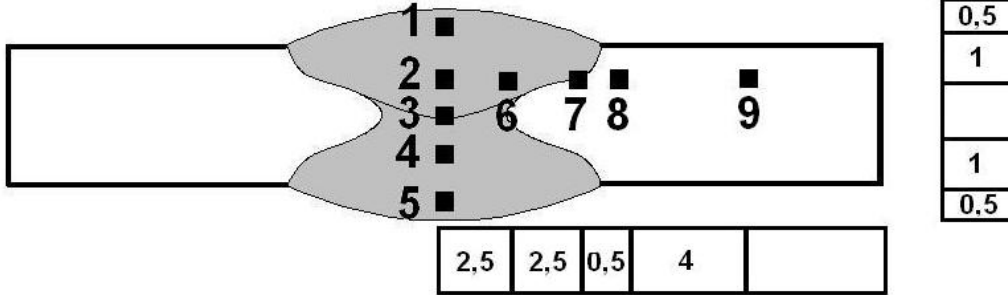


Şekil 4.4. Mikro yapı numunelerinin kaynaklı bölgeden alınış yönü ve numune örneği

Numuneler 4 mm kalınlığında olduğundan numuneler kaynak dikişinin sağından ve solundan 12 mm alınarak kesilmiş ve bakalitle kaplanmışlardır. Bu işlemin ardından zımparalama işlemi birkaç kademeden oluşmaktadır, bu kademeler 150-320-400-500-600-800-1000-1200-1500 numaralı zımparalar makinenin disklerine takılarak otomatik olarak zımparalana işlemi bol su ile yapıldı. Ardından parlatma işlemine geçildi. Parlatma işlemi numunenin parlatma çarkına tutulmasıyla gerçekleştirilir. Parlatma için çadır bezi ve tüylü kumaşlar kullanılır. Aşındırıcı olarak ise alümina kullanılır. Kumaş disk'e takıldıktan sonra bez nemlenecek kadar suyla ıslatılır ardından 1µ luk alümina pasta ile sırayla tek tek yüzeyde zımpara, v.b çizik kalmayınca kadar parlatıldı. Parlatılmış numunelerin mikroskopta incelenebilmesi için dağlanması gerekir. Dağlama işleminde önemli nokta dağlanacak malzeme için en uygun dağlama reaktifini seçmektir. Yaptığımız bu çalışmada dağlayıcı olarak 15ml lik klorik asit, 5 ml nitrik asit içeren altın suyu olarak bilinen dağlama çözeltisi ve 10 gr okzalit ile 100 ml su çözeltisi 15 volt akım altında elektrolitik dağlama kullanılarak dağlandı. Bu numunelerin optik mikroskopta mikro yapılarının fotoğrafları ve makro inceleme amacıyla canon marka dijital fotoğraf makinesiyle 3X yakınlaştırmada fotoğrafları çekilmiştir.

Numunelerin fotoğraflarının çekilmesinin ardından Vickers sertlik deneyi ile malzemelerin sertlikleri alınmıştır. Bu işlem 200 gr yükü 15 sn süre yüklemekle 9

adet sertlik bölgesi seçilip deney gerçekleştirilmiştir. Sertliğin alındığı bölgeler şekil 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.6’de mikro sertlik cihazının resmi bulunmaktadır.

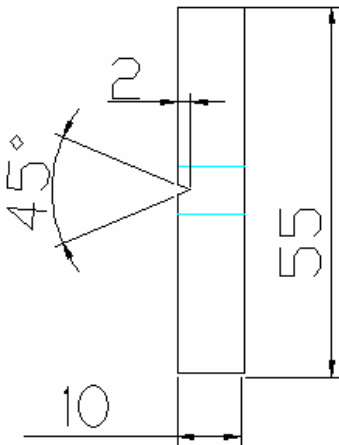


Şekil 4.5. Sertlik alınan bölgelerin şematik gösterimi

4.3.4. Çentik darbe deneyi numunelerinin hazırlanması

Darbe deneyi, metallerin özellikle gevrek kırılmaya müsait şartlardaki mekanik özellikleri hakkında fikir elde etme amacıyla uygulanır.

Numunelere Charpy çentik darbe deneyi uygulanmıştır. Deneylerde “RKP450 450J Hammer” marka test cihazı kullanılmıştır. Numunelere 2 mm derinliğinde 45°’lik, R 0,25 radüslü çentik açılmıştır.



Şekil 4.6. Çentik darbe numune örneği

BÖLÜM 5. DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Çekme Deneyi Sonuçları

Çekme deneyi ; tek eksenle, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta kopuncaya kadar çekilmesidir. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test yöntemlerinden biridir. Çekme kuvveti uygulandı da aynı zamanda numunenin uzaması da kaydedilir.

Çekme deneyi sonunda malzemeye ait şu mekanik özellikler tespit edilmiştir.

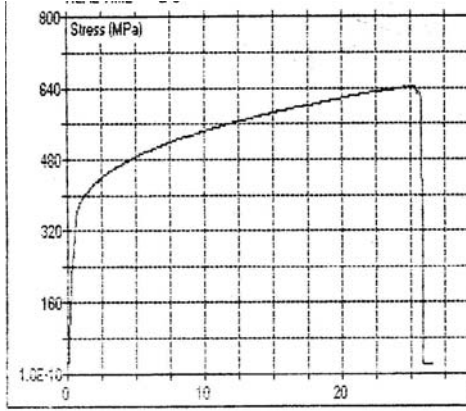
- Akma mukavemeti
- Çekme mukavemeti
- Kopma mukavemeti
- Tokluk
- Rezilyans
- % Uzama

Çekme deneyi ile elde edilecek değerler ve bu değerlerin birbirleriyle karşılaştırılması üzerinde çalışmış olduğum konu hakkın da bilgi edinilmesini sağlayacaktır.

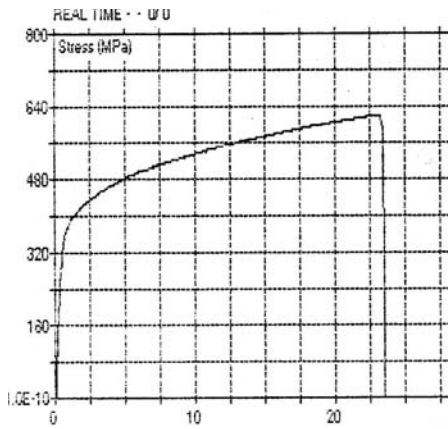
Yapılan çekme deneyinde çekme numunelerinden A, B, C, D kaynağın ortasından boyun vermeden kopmuştur. E, F, G numunelerinin tamamı ITAP bölgesinden boyun vererek kopmuştur. Kopma noktalarındaki kesit daralmaları numunelerin kısmi süneklik özelliğine sahip olduklarını göstermektedir.

Tablo 5.1. A,B,C,D,E,F,G numuneleri çekme deney sonuçları

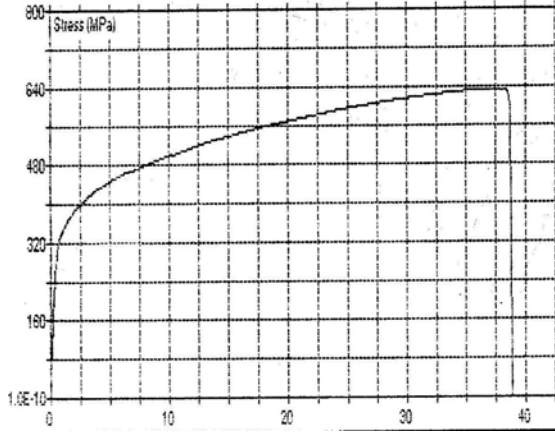
Numune	Akma mukavemeti (σAkma)	Çekme mukavemeti (σçekme)	Kopma mukavemeti (σkopma)	Boyca uzama %	Tokluk N/mm ²	Rezilyans N/mm ²
A	383	646	629	35	70	3.83
B	386	625	613	29	54	3.84
C	329	619	570	47	85	3.28
D	357	581	565	27	55	3.69
E	353	642	588	53	102.3	3.52
F	360	647	549	55	107	3.60
G	365	652	578	50	98	3.64



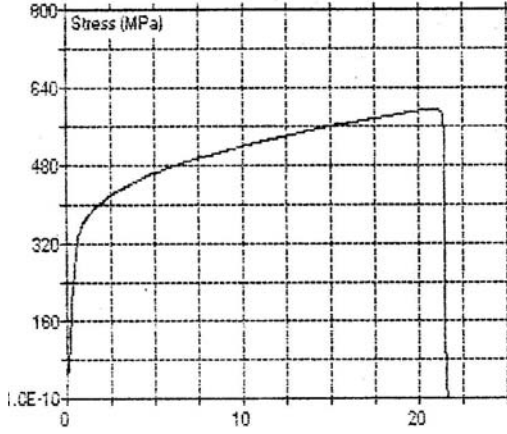
Şekil 5.1 A numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 150 amperde, 4mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi



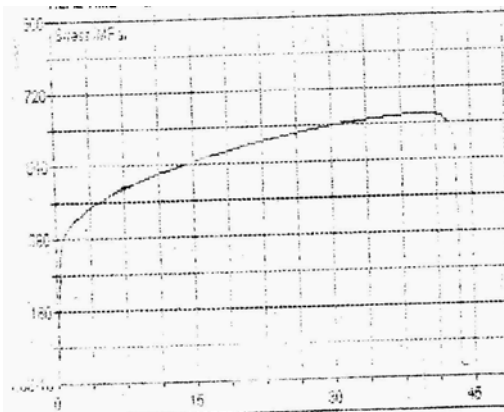
Şekil 5.2 B numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 160 amperde, 4mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, 308L ilave tel kullanılarak önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi



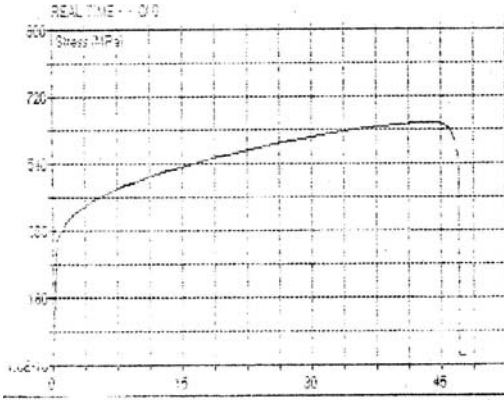
Şekil 5.3 C numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 150 amperde, 7.6mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, telsiz bir tarafı iki pas olarak önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi



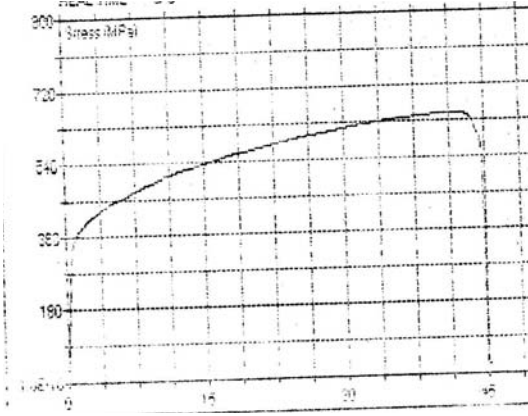
Şekil 5.4 D numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 150 amperde, 4mm/sn kaynak hızıyla, saf argon koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi



Şekil 5.5 E numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 190 amperde, 4mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi



Şekil 5.6 F numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 190 amperde, 5.8mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, telsiz önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi



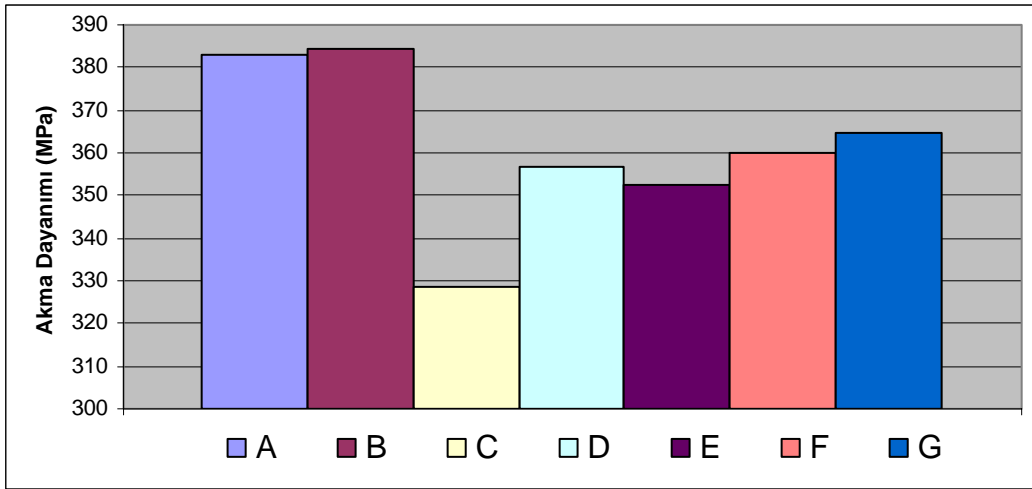
Şekil 5.7. G numunesi ; robot TIG kaynak yöntemiyle 200 amperde, 4mm/sn kaynak hızıyla, hidark 5 koruyucu gaz altında, 308L ilave tel kullanılarak önlü arkalı kaynatılmış 304 kalite paslanmaz çeliğin çekme deneyinden elde edilen gerilme uzama eğrisi

Şekil 5.8.a'da numunelerin akma dayanımı değerleri şematik olarak verilmiştir. Şekiller incelendiğinde en yüksek akma dayanımı 384 Mpa ile A numunesine ait olduğu görülmektedir. En düşük akma dayanımına 329 Mpa ile C numunesi sahiptir. Akma dayanımı grafiğinden her numune kendi amper sınıfı içerisinde değerlendirildiğinde B ve G ilave telli numunelerin akma dayanımlarında bir miktar yükselme olduğu görülmektedir.

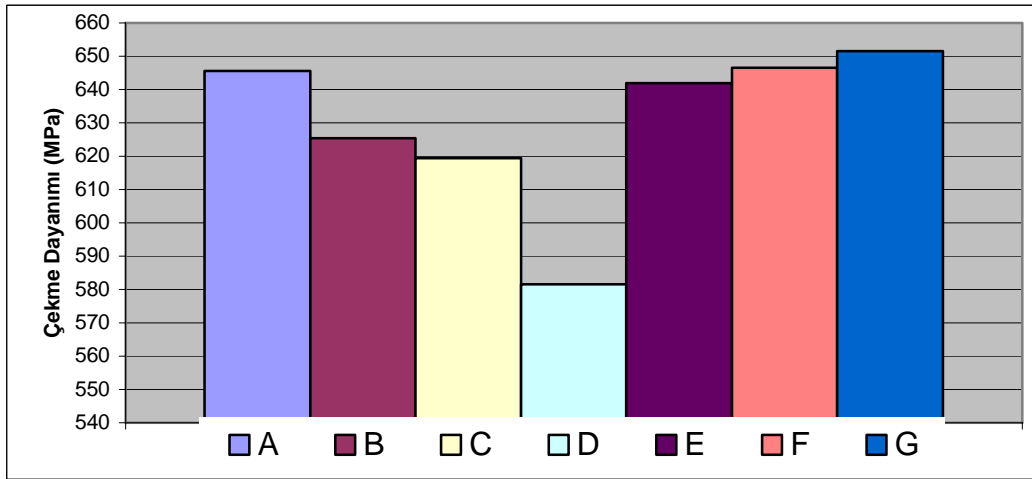
Şekil 5.8.b'da numunelerin çekme dayanımı değerleri şematik olarak verilmiştir. Şekiller incelendiğinde en yüksek çekme dayanımı değeri 652 Mpa ile G olarak kodlanan ilave telle 200 amperde kaynatılmış kaynaklı birleştirmede elde edilmiştir. Buna karşılık en düşük çekme dayanım değeri ise D olarak kodlanan

Argon koruyucu gazı ile kaynatılan birleştirmede elde edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan argon+%5hidrojen gazı kullanılarak yapılan birleştirmede saf argon gazı kullanılarak yapılan birleştirmelere göre daha yüksek çekme dayanım değerleri elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak argon gazının daha düşük ısı iletim katsayısına sahip olmasıdır [40]. C olarak kodlanan birleştirme 619 Mpa ile ikinci en düşük çekme dayanımına sahiptir. Kaynak hızı çekme dayanımını düşürmektedir. G ile E numuneleri karşılaştırıldığında ilave tel eklenmesinin çekme dayanımını bir miktar arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

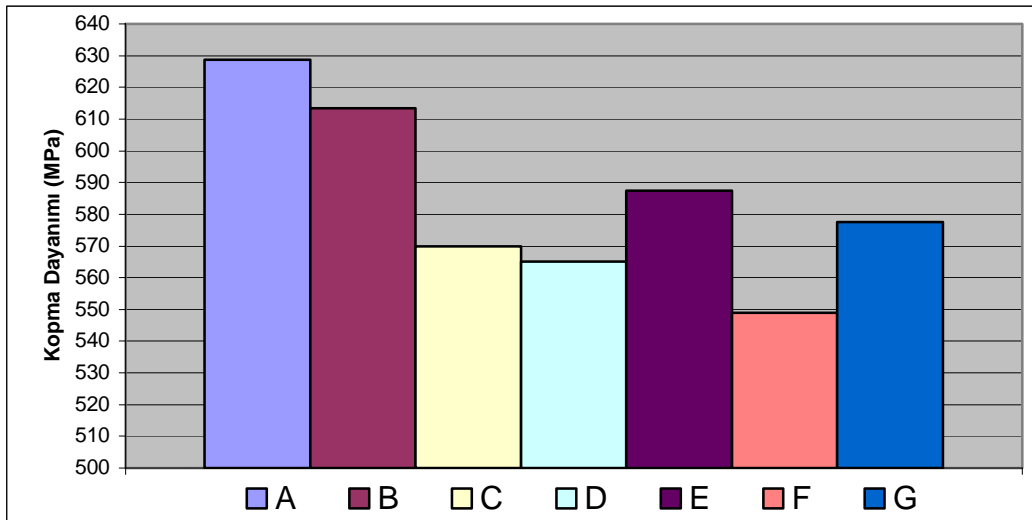
şekil 5.8.c'de numunelerin kopma dayanımı değerleri şematik olarak verilmiştir. Buradaki incelemelerden en yüksek kopma dayanımına 629 MPa ile A numunesi sahip olup, en dşğine ise 549 MPa ile F numunesi sahiptir. Bu konuda genel bir değerlendirme yapacak alınırsa kaynak hızının kopma dayanımını büyük lde olumsuz yönde etkilediği görülmektedir. Aynı şekilde, ilave telin azda olsa kopma dayanımına olumsuz yönde etki ettiği görülmektedir.



a)

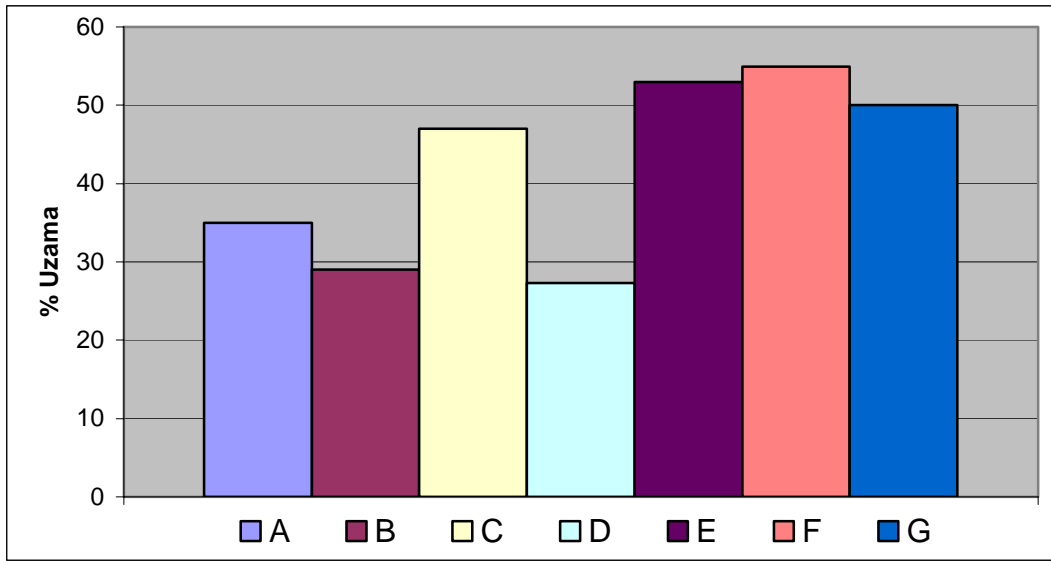


b)



c)

Şekil 5.8. Numunelerin çekme deneyi sonuçlarının karşılaştırılması a) Akma dayanımlarının karşılaştırılması. b) Çekme dayanımlarının karşılaştırılması c) Kopma dayanımlarının karşılaştırılması

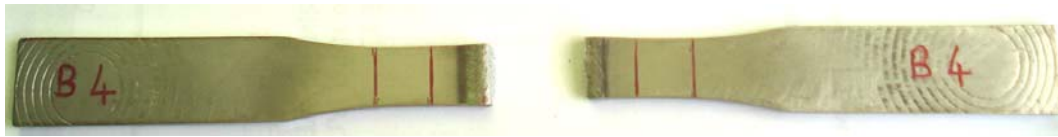


Şekil 5.9. Numunelerin çekme deneyi sonucunda % uzamalarının karşılaştırılması

Çekme deneyinden çıkarılan bir diğer sonuç ise % uzamalar olup şekil 5.9 da şematik olarak verilmiştir. Burada en yüksek uzama %55 ile F numunesindedir. F numunesindeki bu uzama malzemenin % uzamasıyla aynıdır. Bu durumda diğer bağlantılardaki uzamalar ana malzemeden daha düşük olmuştur. En düşük uzama ise %27 ile D numunesinde görülmektedir. Düşük uzamanın sebebi koruyucu gaz olarak kullanılan Argon gazın etkisidir. C ve F numuneleri dikkatli incelendiğinde kendi amper sınıfları içerisinde oldukça yüksek uzamalar gösterdikleri açıktır. Bu durumda kaynak hızının uzamaya büyük etkisi olmuştur. Bu yorumlara ek olarak şekil 5.10 ve 5.11'deki verilmiş olan bazı numune fotoğraflarının incelenmesi faydalı olacaktır. Fotoğraflardaki numunelerin kopuş biçimleri ve yüzey şekilleri onların mekanik ve kaynak özelliklerini göstermektedir. Örneğin şekil 5.11.c'de C numunesinin kaynak bölgesinden katmanlı bir şekilde kopması, kaynak şartnamesinde belirtildiği üzere bir tarafın iki paso kaynak yapılmak suretiyle önlü arkalı kaynatılmasının bir sonucudur. Bir diğeri ise şekil 5.10.a,b,c,d'de görüldüğü gibi A,B,D,E numunelerinin kaynaktan kopmasıdır. Bunun oluşma sebebi yetersiz nüfuziyet olarak açıklanabilir.



a)



b)



c)



d)



e)

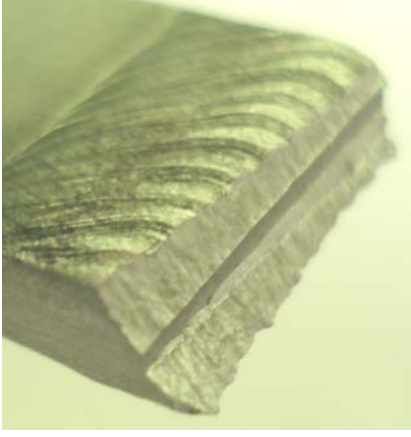


f)

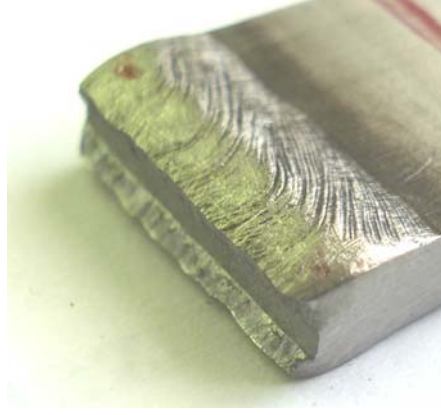


g)

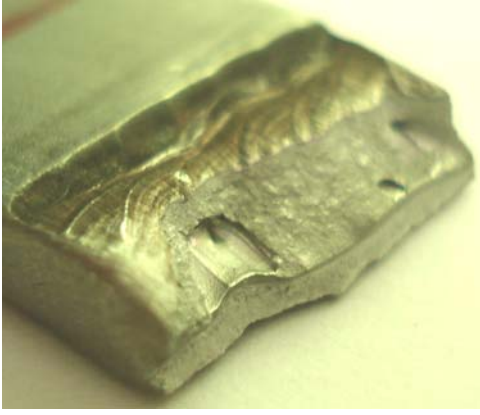
Şekil 5.10 Çekme deneyinde koparılan numuneler



a)



b)



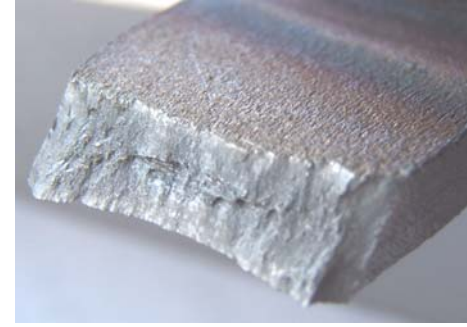
c)



d)



e)



f)



Şekil 5.11 Çekme deneyinde koparılan nunelerin yüzey fotoğrafları (harf sırasına göre eklenmiştir)

5.2. Eğme Deneyi Sonuçları

Eğme deneyi; üç noktadan yükün binmesiyle belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta tek noktadan basılmasıdır.. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde kullanılan test yöntemlerinden biridir. Bu deney bize malzemenin eğmeye karşı gösterdiği davranışı ve dayanımını verecektir [39].

Yapılan eğme deneyinde eğme numunelerinden hiçbirinde çatlama görülmemiştir. Şekil 5.12 de numunelerin eğme deneyi sonucu gerilme uzama eğrileri verilmiştir. Tablo 5.2’de eğme deneyi sonucunda numunelerin eğme dayanımları verilmiştir

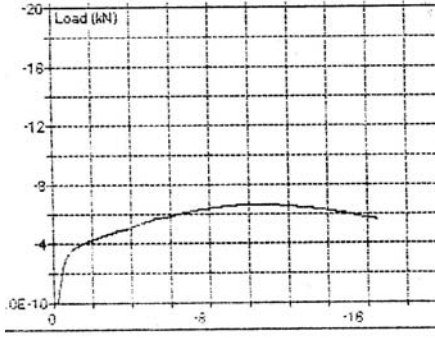
Tablo 5.2. Numunelerin eğme deneyi sonucu eğme dayanımları

Numuneler	σ Basma (KN)
A	6.6
B	8
C	7
D	6.3
E	6.3
F	6.1
G	7.3

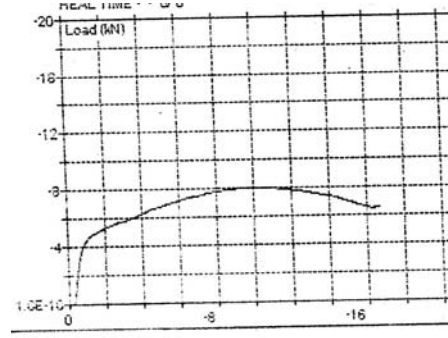
Yapılan eğme deneylerinde en yüksek değer olarak 8 KN ile B numunesi ve ikinci yüksek değer olarak 7.3 KN ile G numunesi bulunmuştur. Bu iki numunenin kaynağı telli diğerlerinin ise telsiz yapılmıştır. Bu çalışmadaki kaynaklı bağlantılar için ilave tel kullanımı numunelerin eğme dayanımlarını arttırmıştır. Şekil 5.12’de bir eğme numunesinin deney sonrası fotoğrafı verilmiştir.



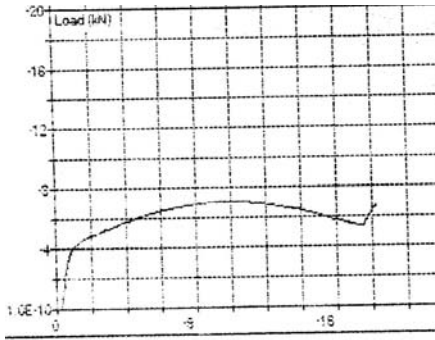
Şekil 5.12. Eğme deneyi sonrası numune fotoğrafları



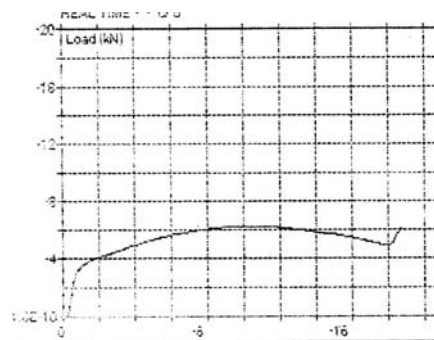
a)



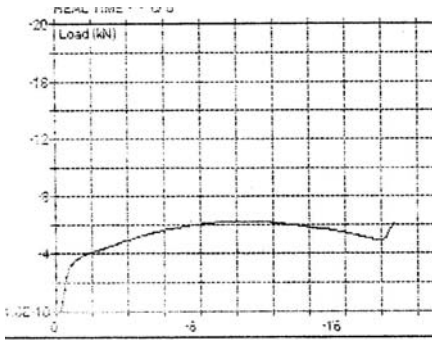
b)



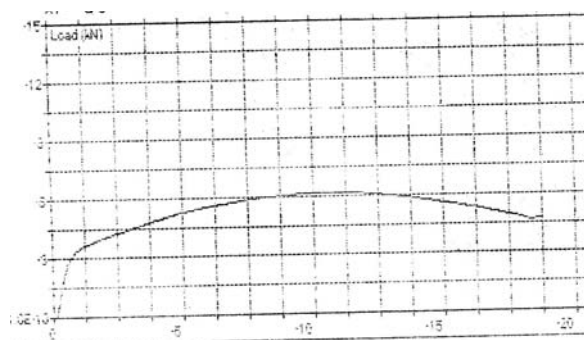
c)



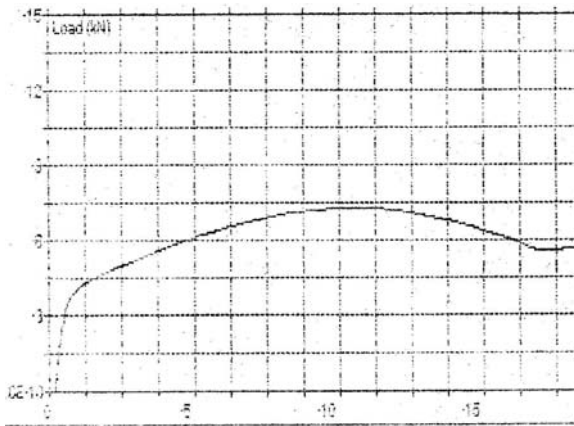
d)



e)



f)



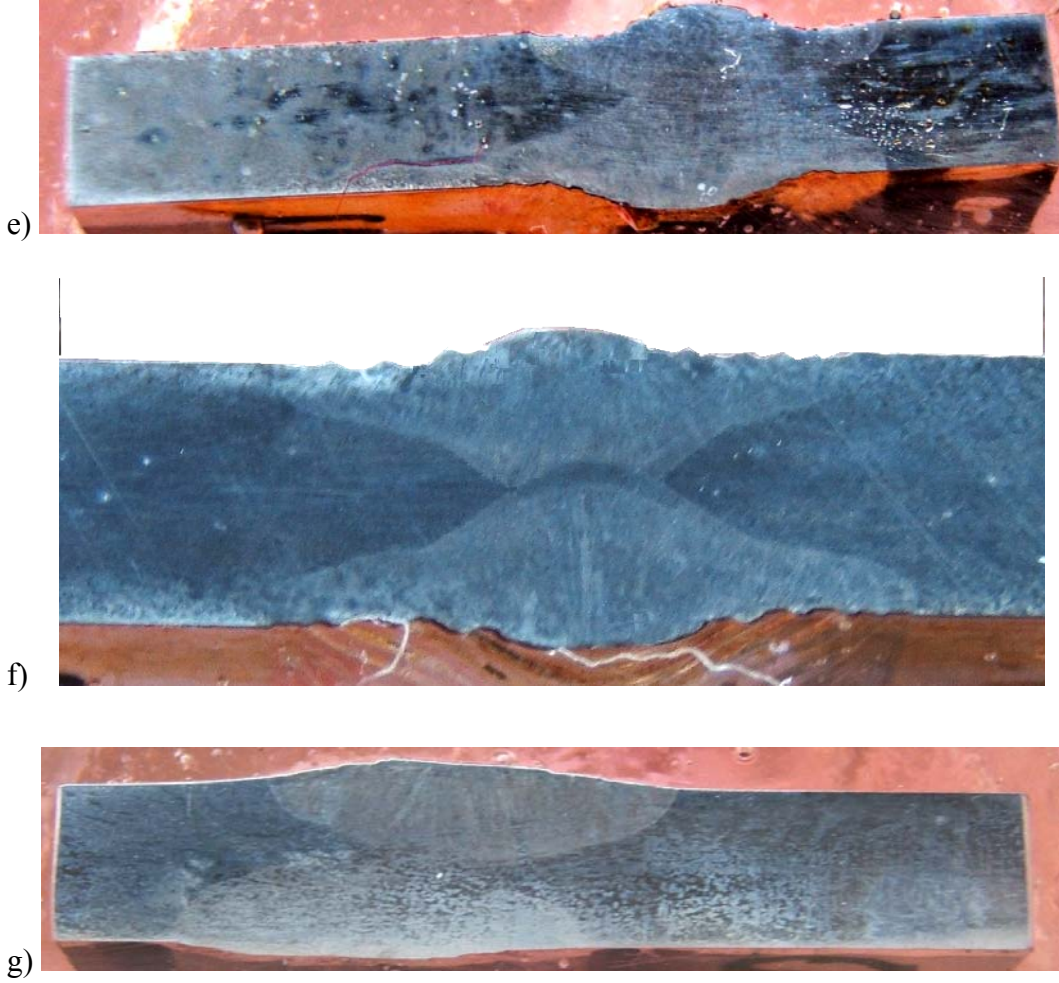
g)

Şekil 5.13. Numunelerin eğme deneyi sonucu gerilme uzama eğrileri (harf sırasına göre eklenmiştir)

5.3 Makro ve Mikroyapı İncelemeleri ve Sonuçları

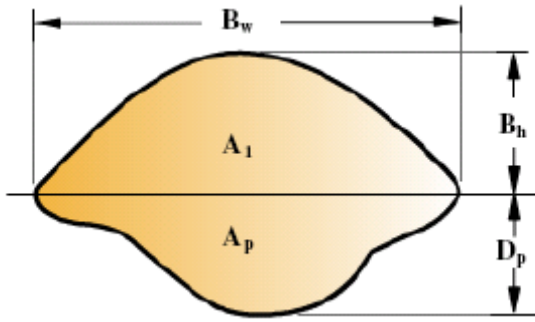
Makro incelemelerde çeşitli parametrelerdeki numunelerimizin nüfuz şekli, kaynak damla geometrisi incelenmiş fotoğrafları şekil 5.14'te verilmiştir. Kaynaklı malzemelerin kaynak yüzeyleri incelenmiştir. Bu incelemede ise parametrelerin kaynak genişliği yüzey şekline etkileri ve kaynak hızıyla beraber akım çeşitlerine göre yüzey şekilleri incelenmiş fotoğrafları şekil 5.14'te sunulmuştur. Şekil 5.17-5.23'lerde mikroyapı fotoğrafları verilmiştir.





Şekil 5.14. Numunelerin kaynak damla geometri fotoğrafları. Harf sırasına göre eklenmiştir.

Şekil 5.14.d deki fotoğraflarda görüldüğü gibi saf argon koruyucu gaz ile yapılan D kaynağındaki damla geometrisi daha geniş, az nüfuziyete sahip ve oval bir şekle sahiptir. Argon+%5 Hidrojen karışımlı koruyucu gaz ile yapılan diğer kaynaklarda (şekil 5.14.a) ise nüfuziyet daha çok ve ovalikten çok kavisli bir şekle sahiptir, aynı kaynak damla geometrisine ilave telli birleştirmelerde sahiptir. Şekil 5.14.a-d’de görüldüğü gibi tüm kaynaklarda nüfuziyetsizlik bulunmaktadır. Nüfuziyet bulunan A,B,C numuneleri 150 amper ile kaynatılmış D numunesi ise 160 amper ile kaynatılmıştır. Amper yükseltılarak yapılan E,F ve G numunelerinde ise tam nüfuziyet açıkça görülmektedir. Arttırılan akımla beraber E,F ve G numunelerinin kaynak yüzeylerinde bir tümsekleşme olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin kaynak damla geometrileri tablo 5.3’de verilmiştir. Kaynak damla geometrisi şekil 5.15’de verilmiştir.



A_p : Penetrasyon alanı
 Damla alanı : $A_1 + A_p$

Şekil 5.15. Kaynak damla geometrisi

Tablo 5.3. Numunelerin kaynak geometrileri

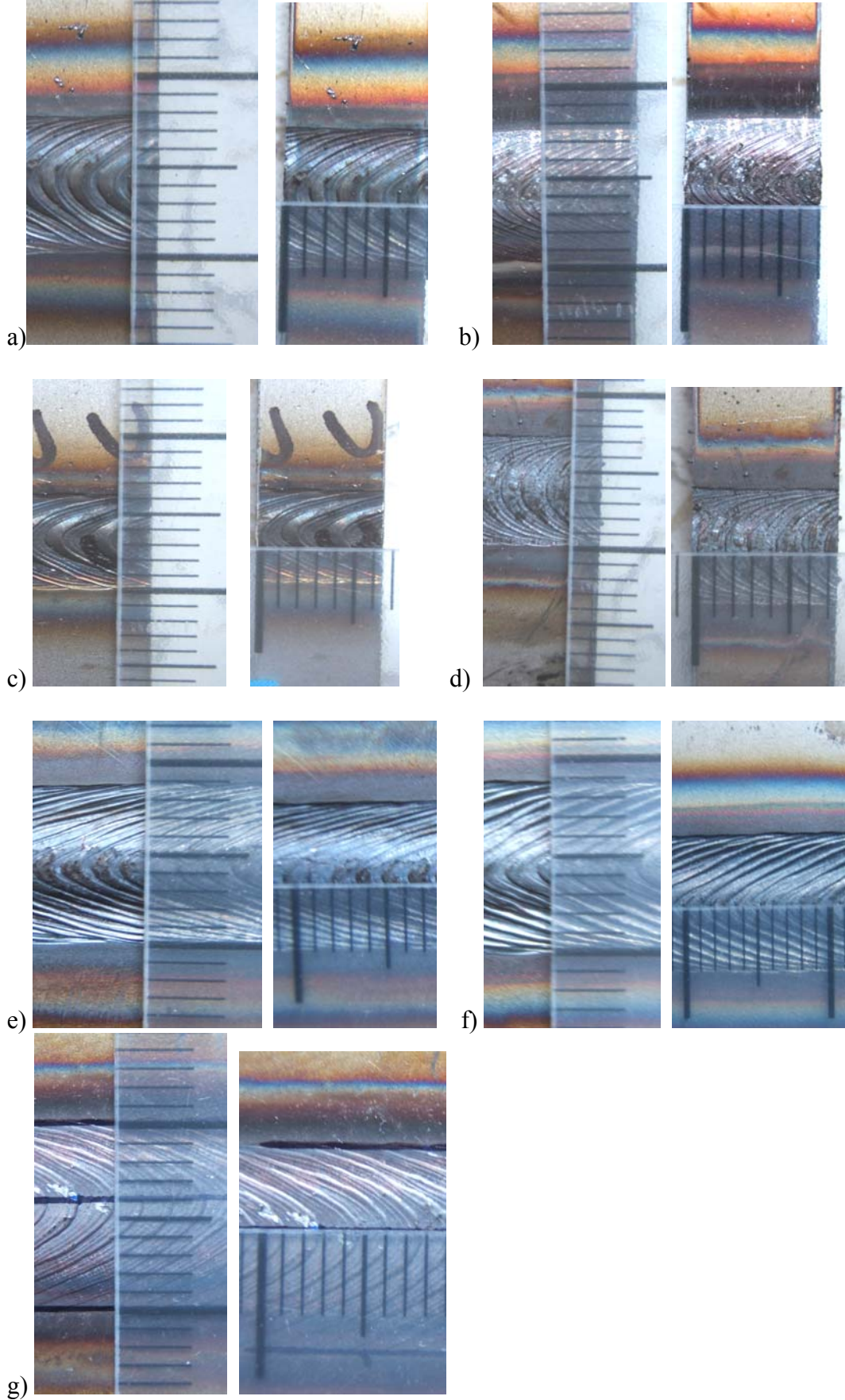
Numuneler	B_h	B_w	D_p	A_1	A_p	Damla Alanı mm^2
A	0.1	8.4	1.6	0.42	6.72	7.14
B	0.9	8.4	1.4	3.78	5.88	9.66
C	0.4	6.0	1.0	1.20	3.00	4.20
D	0.2	6.5	1.2	0.65	3.00	3.65
E	0.6	9.5	2.6	2.85	12.35	15.20
F	0.4	9.0	2.1	1.80	9.45	11.25
G	0.6	10	2.2	3.00	11.00	14.00

Not: C numunesi için tek paso olan damla baz alınmıştır.

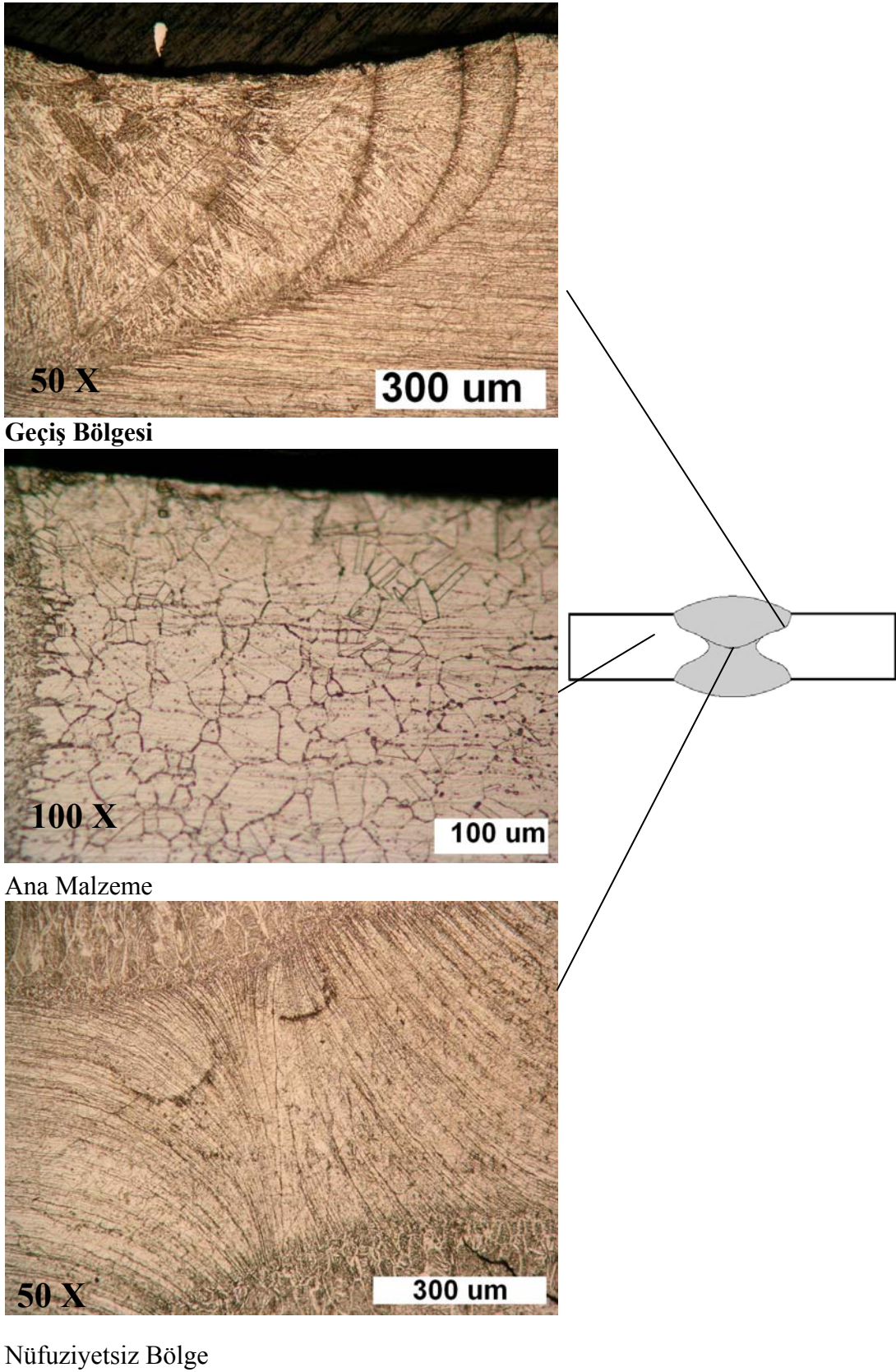
Numunelerin kaynak damla geometrileri incelendiğinde, parametrelerden biri olan kaynak hızının damla geometrisine etkisi hızın artmasıyla damla alanının azalması şeklinde olmuştur. Aynı şekilde koruyucu gazın çeşiti de damla geometrisini etkilemektedir. Örneğin A ve C numunesi incelendiğinde hız %90 arttırılmış, buna karşılık damla alanı % 41 azalmıştır. A ve D numuneleri karşılaştırıldığında D numunesinde koruyucu gaz olarak Ar kullanılması damla geometrisini %49 azaltmıştır. E ve F numunesi karşılaştırıldığında hız %45 arttırılmış buna karşılık damla alanı % 26 azalmıştır.

Tüm numunelerin yetersiz nüfuziyet hariç kaynak damla geometrilerinin tamamı TS 7830 kalite seviye kılavuzunun en sıkı seviyelerine uygundur [41].

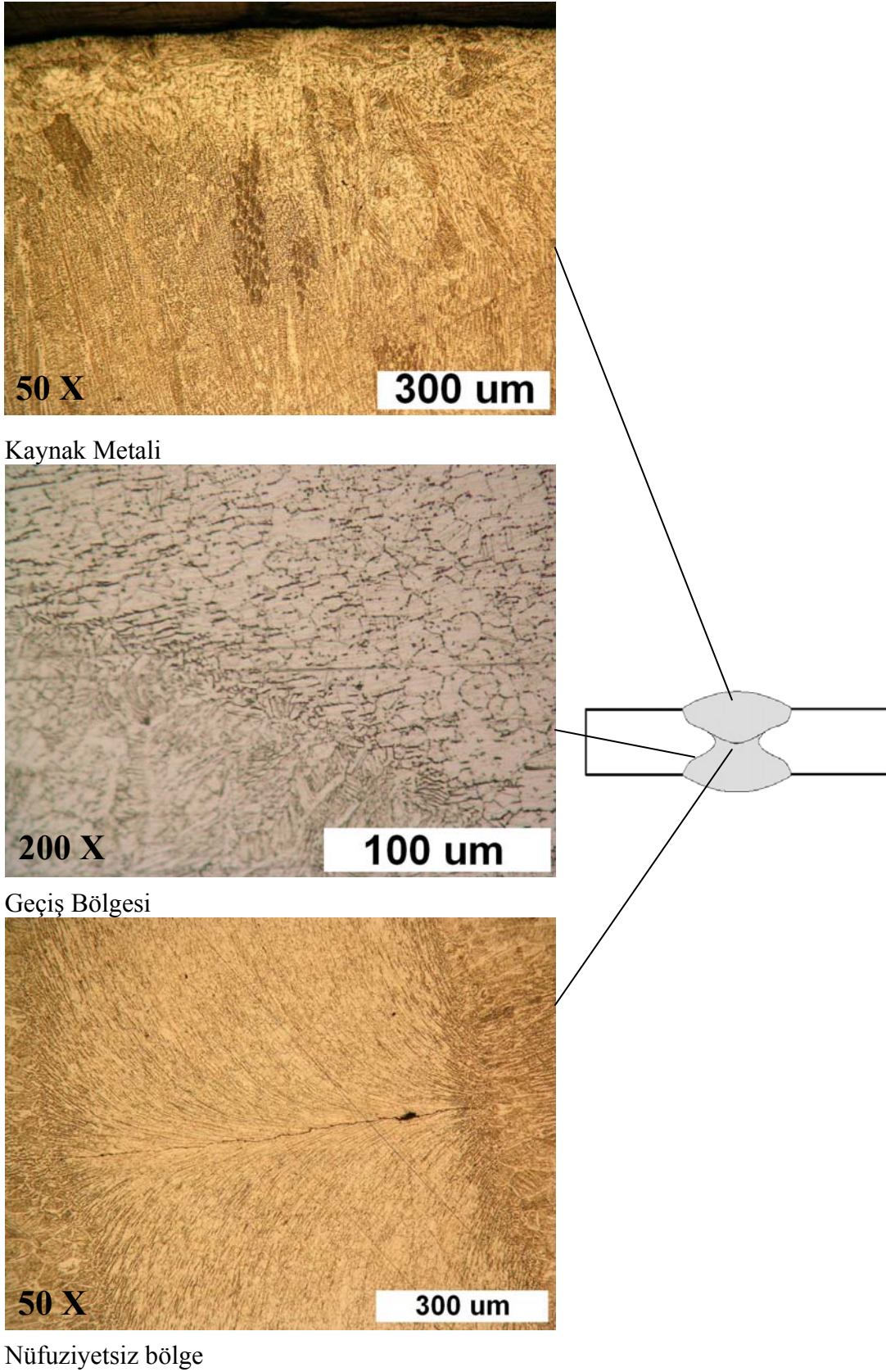
Şekil 5.16'de akım şekline ve kaynak hızına göre değişmelerin açıkça görüldüğü kaynakların yüzey fotoğrafları verilmiştir.



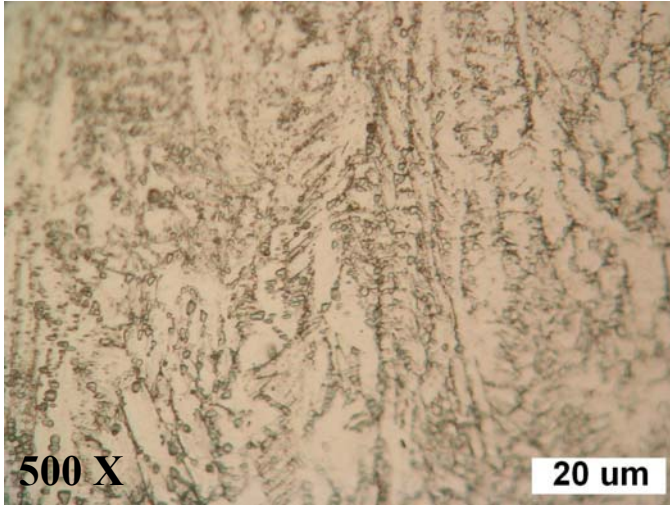
Şekil 5.16. Numunelerin kaynak yüzey fotoğrafları



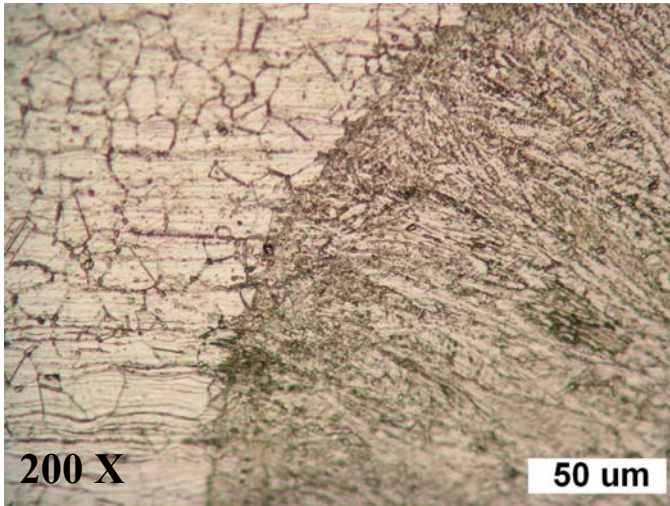
Şekil 5.17. (A numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin geçiş bölgesi, ana malzeme ve nüfuziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü



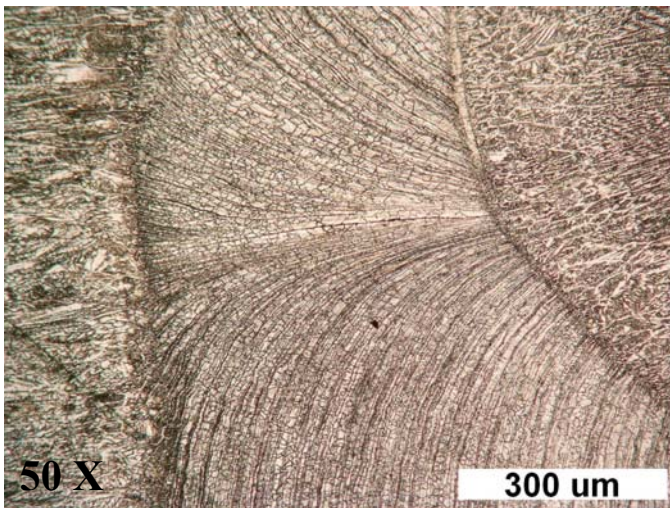
Şekil 5.18. (B numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak metali, geçiş bölgesi ve nüfuziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü



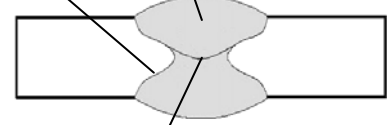
Kaynak bölgesi



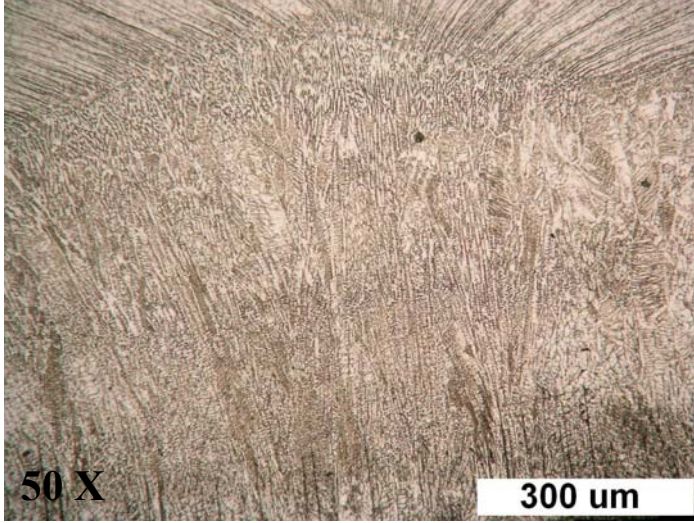
Geçiş bölgesi



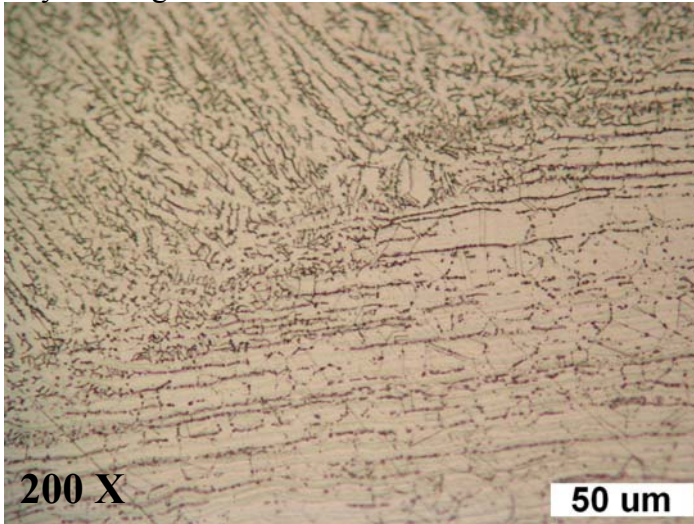
Nüfuziyetsiz bölge



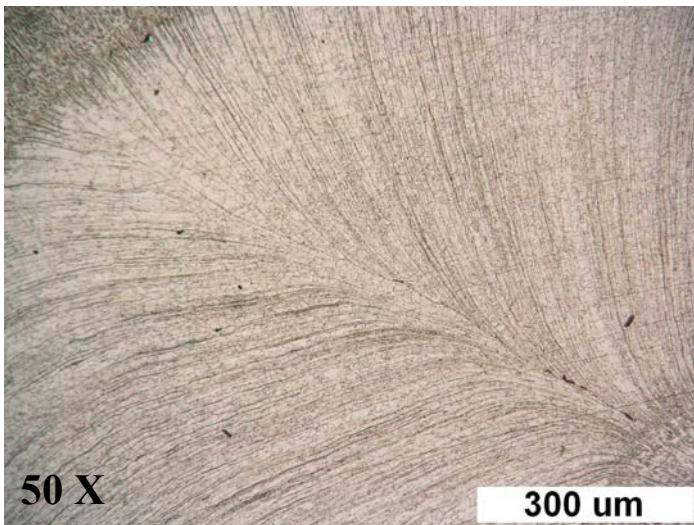
Şekil 5.19. (C numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi ve nüfuziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü



Kaynak bölgesi



Geçiş bölgesi

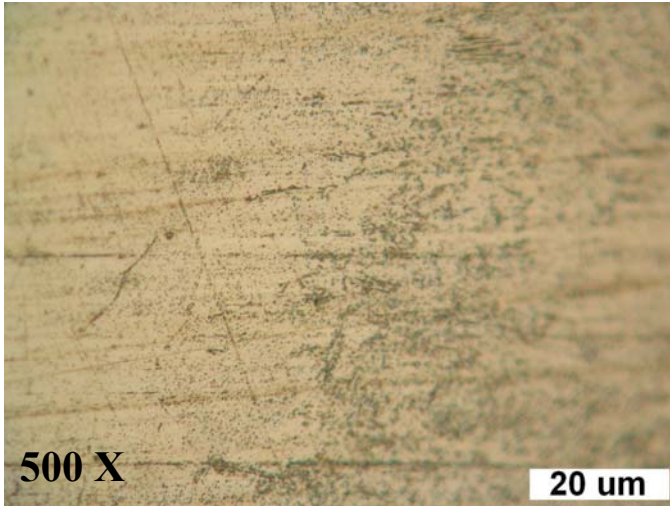


Nufüziyetsiz bölge

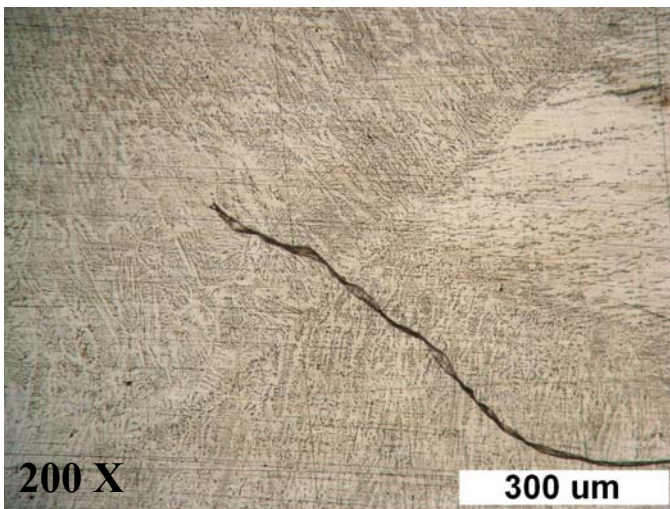
Şekil 5.20. (D numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi ve nüfüziyetsizlik bölgesi mikroyapı görüntüsü



Kaynak bölgesi



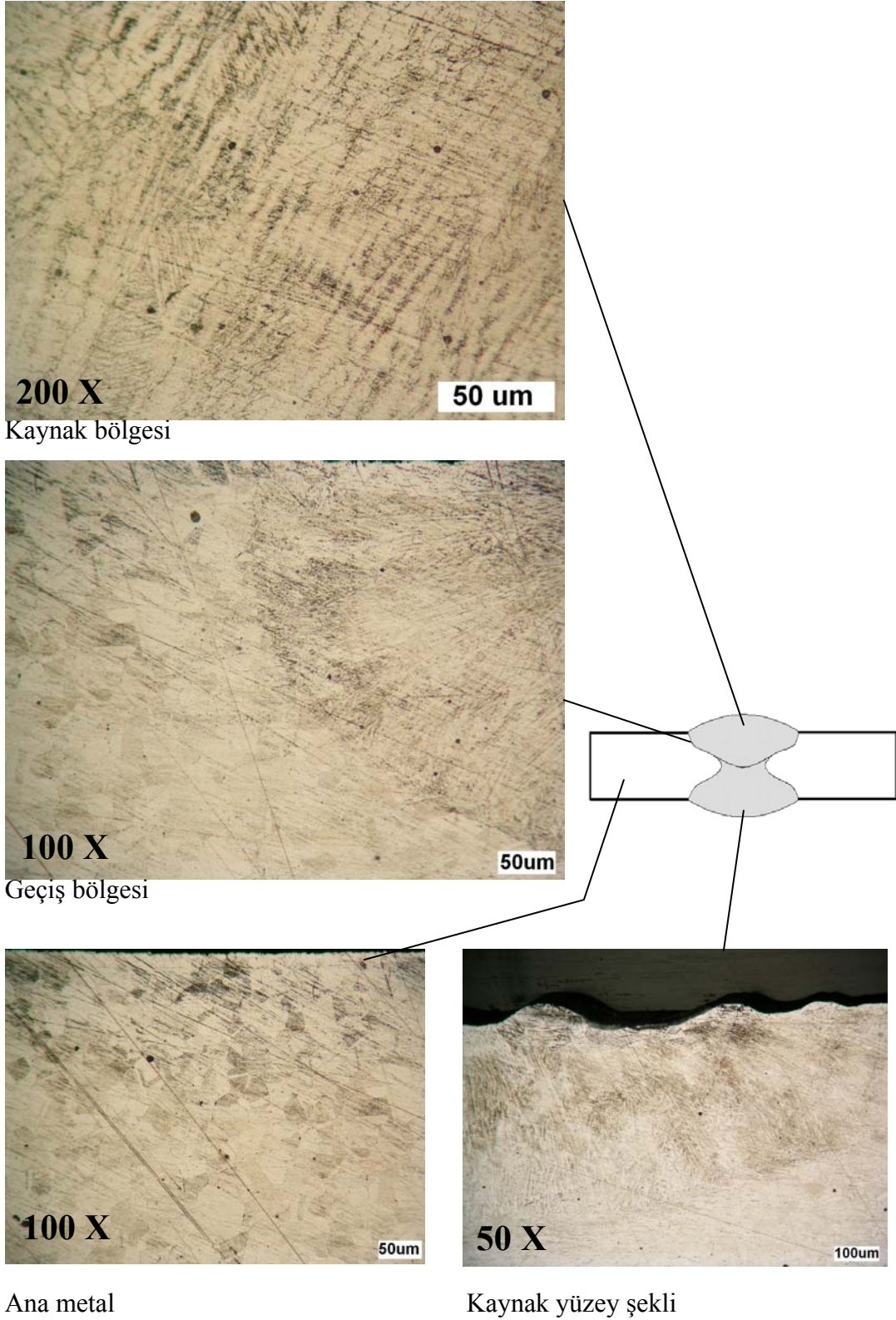
Geçiş bölgesi



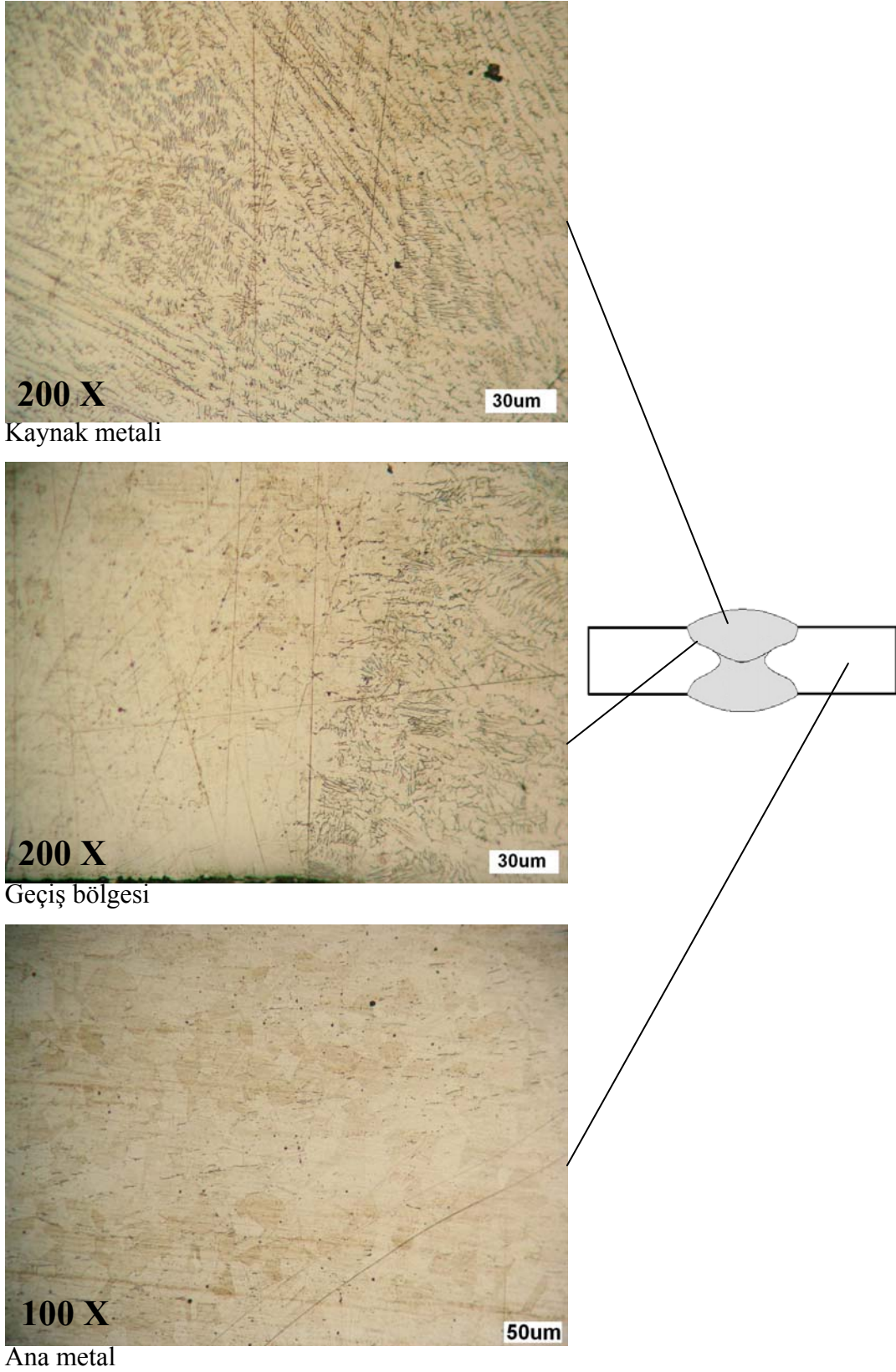
Geçiş bölgesi



Şekil 5.21. (E numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi ve ön, arka kaynak geçiş bölgesi mikroyapı görüntüsü



Şekil 5.22. (F numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak bölgesi, geçiş bölgesi, ana metal ve yüzey şekli bölgesi mikroyapı görüntüsü



Şekil 5.23. (G numunesi) Robot TIG kaynağıyla birleştirilmiş 304 kalite çeliğin kaynak metali, geçiş bölgesi, ana metal mikroyapı görüntüsü

Şekil 5.16 de numunelerin yüzey şekillerinin parametrelere göre ne şekilde değiştiği görülebilmektedir. Darbeli akımda değişik hızlardaki A ve C numuneleri kaynaklı bağlantının dikine ölçüm yaptığında, A numunesi C ye göre iki kat kadar fazla kaynak darbesi bulundurmakta buda darbeli akım yüzey şekillerinin kaynak hızıyla doğru orantılı olarak arttığını göstermektedir. Aynı örnek E ve F numuneleri içinde verilebilir. Darbeli akımda kaynak hızının artması yüzey şekillerinin değişimine bağlı olarak birim kesitte dalgalı bir yüzeyin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu şekil 5.21 de görülmektedir. Şekil 5.20 Yetersiz nüfuziyete sahip olan kaynağın nüfuz etmeyen ana malzemede preste sac malzemenin kesim esnasında oluşan tane yönelmeleri görülmektedir. Yukarıdaki numunelerin mikro yapıları incelendiğinde genel olarak; esas metallerin eş taneli oldukları görülmektedir. Esas metalden kaynak bölgesine doğru gidildikçe mikro yapıda yönelmiş yapı oluşumları görülmüştür. Yönelmiş yapıların en yoğun bulunduğu bölge kaynak banyosunun merkezinde olmaktadır. Isının tesiri altındaki bölgede taneler en büyük hacmi almaktadır. Literatürlerde de bahsedildiği üzere tane büyümesi mukavemeti düşürücü etkide bulunmaktadır. Mikroyapıda görülen yetersiz nüfuziyetsizlik mekanik özelliklere de olumsuz yönde yansımaktadır. Bu çalışmada kullanılan ostenitik paslanmaz çelik malzeme ve ilave metale ait $Cr_{eş}$, $Ni_{eş}$ ve δ -ferrit değerleri Schaeffler ve WRC diyagramları kullanılarak tablo 5.4'te verilmiştir.

WRC formülleri;

$$Cr_{eş} = \%Cr + \%Mo + 0,7Nb$$

$$Ni_{eş} = \%Ni + 35\%C + 20\%N + 0.25\%Cu$$

SCHAEFFLER formülleri;

$$Cr_{eş} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb$$

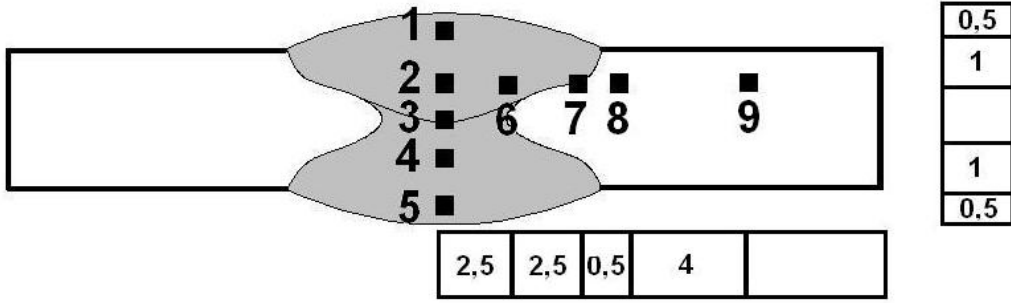
$$Ni_{eş} = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn$$

Tablo 5.4. Kullanılan malzemelerin çeşitli diyagramlarda $Cr_{eş}$, $Ni_{eş}$ ve δ -ferrit değerleri

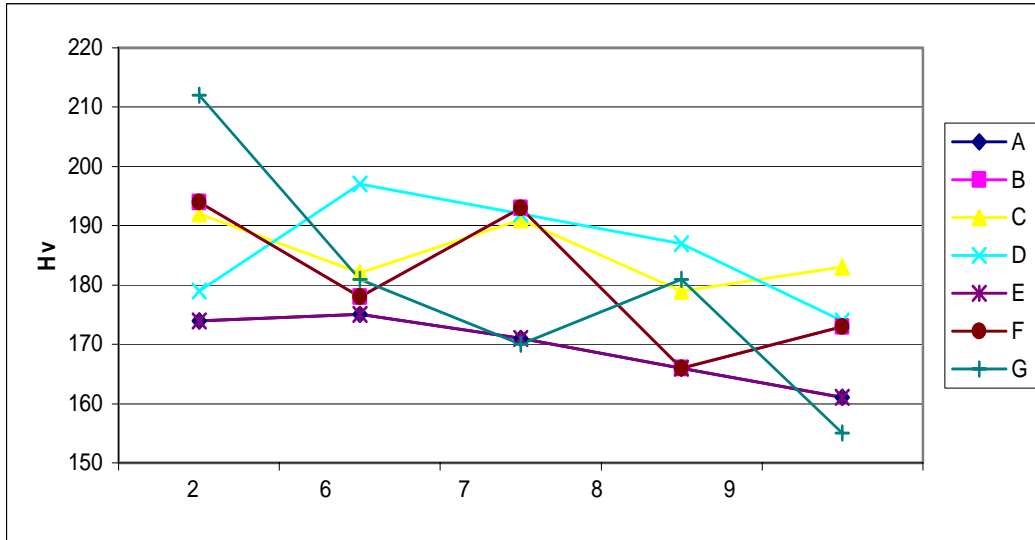
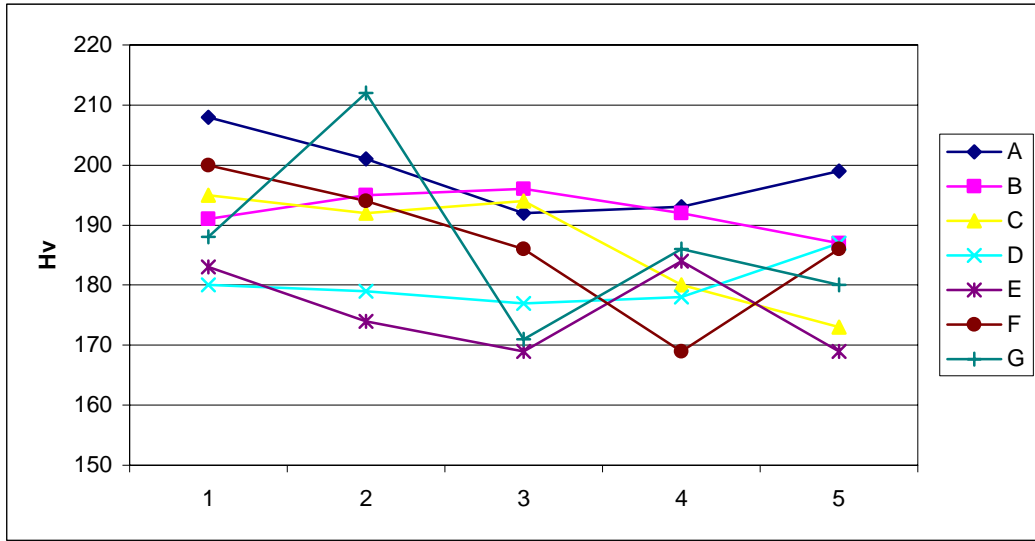
Malzeme ve ilave metal	Schaeffer			WRC-1992		
	$Cr_{eş}$	$Ni_{eş}$	Mikroyapı ve % ferrit miktarı	$Cr_{eş}$	$Ni_{eş}$	Ferit No
304	19.5	13.4	Östenit+ %2 ferrit	18.7	12.8	2
308 L	22.5	11.9	Ostenit+ %10 ferrit	27.7	11.2	20
304-308L	21	12.7	Ostenit+ % 6 ferrit	23.2	12	18

5.4. Mikro Sertlik Sonuçları ve Tartışma

Birleştirilen tüm numunelerin kesit yüzeylerinden sertlik ölçümleri alınmıştır. Şekil 5.24'de mikro sertlik ölçüm yerleri verilmiştir. Şekil 5.25'de ise mikro sertlik ölçüm sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde eksik nüfuziyete sahip olan numunelerde düzensiz değerler alınmıştır. ITAB bölgesindeki kaba taneli yapıya yakın bölgelerde sertlik değeri biraz artmıştır. Genel olarak sertlik değeri birbirine yakındır. En yüksek sertlik değeri G numunesinin 2 numaralı bölgesinden elde edilmiştir.



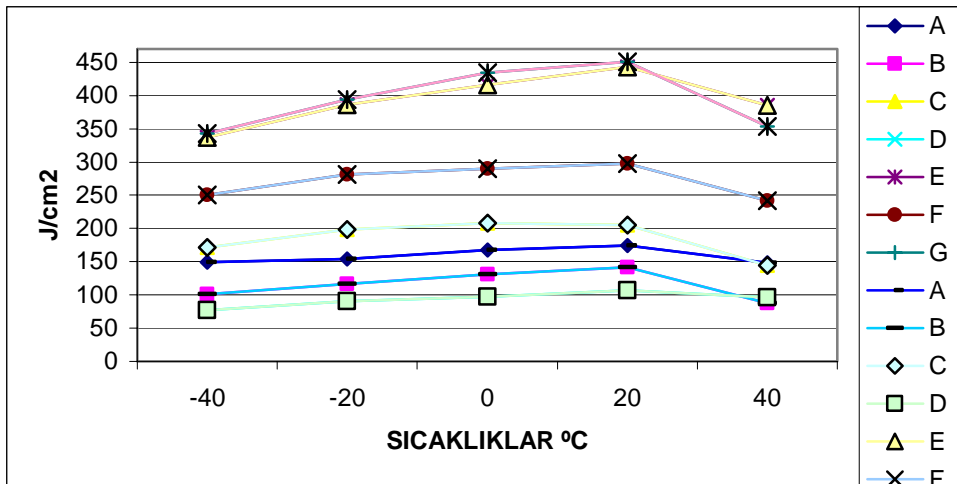
Şekil 5.24. Mikro sertlik ölçülen yerler



Şekil 5.25. Mikro sertlik deney sonuçları

5.5. Çentik Darbe Deneyi Sonuçları

Çentik darbe deneyinde o malzemenin bir zorlama altında kırılması için gereken enerji miktarı tayin edilir. Yapılan çentik darbe deneylerinde -40°C , -20°C , 0°C , $+20^{\circ}\text{C}$, $+40^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkları seçilmiştir. Bu sıcaklıkların seçilmesindeki sebep 304 malzemesinin gıda sektöründe yaygın olarak kullanılması ve kullanım alanlarının içerisine pişirme kazanları, soğutma tankları gibi değişik çalışma sıcaklıklarının olmasıdır. Şekil 5.26'da görüleceği gibi nüfuziyetsizliği az olan numunelerim (A,B,C,D) kırılma enerjileri belirgin şekilde düşük çıkmıştır. F numunesi de kaynak hızının yüksek E ve G numunelerine nazaran büyük ölçüde düşük çıkmıştır. Genel olarak bakılacak olursa -40 ve $+40$ derecelerinde kırılma enerjileri bir miktar düşmüştür. Bu deneylerde en yüksek kırılma enerjisine 451 J/cm^2 ile 20°C 'de G numunesi sahiptir. En düşük kırılma enerjisi ise 77 J/cm^2 ile -40°C 'de D numunesi sahip olmuştur.



Şekil 5.26. Numunelerin çentik darbe deneyi sonuçları



Şekil 5.27. Numunelerin darbe deneyi sonucu kırılmış bazı fotoğrafları

BÖLÜM 6. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada paslanmaz çeliklerin TIG kaynağı ve robot gaz altı kaynağı konusunda literatür araştırması yapılarak teorik bilgiler kazanılmıştır. Deneysel çalışmalarda ise 304 kalite paslanmaz çelikler kullanılarak robot TIG kaynağı yöntemi ile kaynaklı birleştirmesi yapılmıştır. Yapılan birleştirmelere çekme, eğme, sertlik, çentik darbe, makro ve mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1) Yapılan çekme deneyleri sonucunda numunelerin akma, çekme, kopma mukavemetleri, % uzamaları, tokluk ve rezilyansı bulundu. Elde edilen değerlerin karşılaştırmasında en yüksek çekme dayanımının 652 MPa ile G numunesi sahip olmuştur. Bu değer kaynak parametrelerinden amperin yükseltilerek 200'e çıkarılması ve ilave tel eklenmesi ile elde edilmiştir. Çekme dayanımı grafiklerinde görülmüştür ki ilave metal kullanımı çekme dayanımını bir miktar arttırmaktadır. Argon koruyucu gazı ile birleştirilen numuneler incelendiğinde Ar+%5 Hidrojen gazı ile birleştirilenlere göre mekanik özelliklerinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

2) % uzama olarak incelenen numunelerin karşılaştırılmasında arttırılan kaynak hızını % uzamaya büyük oranda etkilediği görülmüştür. Aynı amper sınıfındaki numunelerin en yüksek % uzamaya kaynak hızı arttırılmış olanlar sahiptir.

3) Tüm numunelerin çekme grafiklerinden elde edilen bilgilere dayanarak numunelerde belirli bir değere kadar plastik deformasyon görülmüştür. Grafiğin tepe noktası çekme mukavemetini belirleyen noktadır. Bu noktadan itibaren

numuneler kısa süre sonra kopmuştur. Bu nüfuziyeti eksik olan A,B,C,D numuneleri için daha kısa ve gevrek bir kopma şeklinde olmuştur.

4) Gerçekleştirilen eğme deneyi sonuçlarında en yüksek dayanıma 7.3 KN ile ilave tel ve yüksek ampere sahip numune sahiptir. En düşük eğme dayanımına ise 6.1 KN ile kaynak hızı arttırılmış numune sahiptir.

5) Yapılan makro incelemeler göstermiştir ki her parametrenin kaynak yüzeyini etkilediği özellikle yüksek hızlarda kesit alandaki yüzey pürüzlülüğünün değişmesi fotoğraflarla açıklanmıştır.

6) 304 kalite paslanmaz çelik gıda sektöründe yaygın olarak kullanılan bir malzeme olduğu için gıda kodeksine uygun bir malzeme yüzeyi temin edebilmek için bu malzemelerin bağlantılarının da pürüzsüz olması istenir. Bunun içinde kaynak damla geometrisi ile birlikte her parametre incelenerek doğru şekilde bağlantılar gerçekleştirilmelidir. İncelemelerde darbeli akımın yerine doğru akımın kullanılması kaynak yüzey pürüzlülüğü için gerekli olduğu ve bağlantıların gıda açısından robot kaynağıyla yapılması gereklidir.

7) Sertlik ölçümlerinde çoğu numunelerde kaynak bölgesi ile esas metal arasında sertlik değerleri çok yakın hatta bazı numunelerde aynı olduğu görülmüştür.

8) SCHAEFFLER ve WRC diyagramından yararlanılarak Cr eşdeğeri ve Ni eşdeğeri hesaplanmıştır. Cr ve Ni eşdeğeri kullanılarak kaynaklı birleştirmeden elde edilecek mikro yapının özellikleri tayin edilmiştir.

9) Yapılan Çentik darbe deneyi sonuçlarında görülmüştür ki birleştirmelerdeki nüfuziyetsizlik kırılma enerji değerlerine olumsuz yönde etki etmiştir.

6.2. Öneriler

Bu tez çalışmasında, 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik tek eksenli robot kaynak makinesi ile kaynatıldı. Yapılan birleştirmelerde mekanik özellik, makro ve mikro incelemeler yapıldı. Gelecekte aynı konu ile ilgili çalışma yapacak olan kişilere öneriler ise;

- 1) Bir çok değişik kaynak hızının etkileri değişik pozisyonlarda incelenebilir
- 2) Çeşitli değişik bileşimlerdeki paslanmaz çelik malzemeler birbirleri ile kaynaklanabilir.
- 3) Değişik kaynak pozisyonlarında çok eksenli robot kaynak makinesi kullanılarak kaynak damla geometrisi incelenebilir.
- 4) Mikro yapı incelemesi için hazırlanan numunelerin SEM ve TEM de fotoğrafları çekilerek mikro yapı incelemesi yapılabilir.
- 5) Yapılan çalışmalar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] TSE 2535, 1976, Biçimlenebilen Paslanmaz Çelikler, TSE, Ankara
- [2] Kaluç, E., Tülbentçi, K., 1995, Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, Seminer Notları, Kocaeli Üniversitesi, Kaynak Teknolojisi Araştırma, Eğitim ve Uygulama Merkezi, Kocaeli
- [3] Committee., 1984, Welding Handbook, V.4.7. Edition AWS, U.S.A
- [4] Tekin, A., 1981, Çeliklerin Metalürjik Dizaynı, Doyuran Matbaası, İstanbul
- [5] ODABAŞ, C., “Paslanmaz Çelikler”, Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri”, Askaynak-İstanbul, 2004.
- [6] SMITH W.F.: “Paslanmaz Çelikler”, Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Bölüm 5, Cilt 1., Çeviri: Erdoğan, M., Ankara, (2000) 169-214.
- [7] TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E. 1994. Geçmişten Günümüze Paslanmaz Çelikler, META, sayı 20, 47-52
- [8] LIN, Y.C., CHEN, P.Y., “Effect of Preheating on The Residual Stress in Type 304 Stainless Weldment”, Journal of Materials Processing Technology, 1997, 145-151
- [9] ARAN, A., TEMEL, M.A., “Paslanmaz Çelik”, Acar Matbacılık A.Ş., İstanbul, 2004.
- [10] KARSLI, G., SEŞEN, M.K., 1991, “Paslanmaz Çelikler ve Üretimi”, Meta 44, sayı 2, 20-22
- [11] Prof. Dr. Erdoğan TEKİN “Korozyon ve Paslanmaz Çelikler” O.D.T.Ü Metalurji Mühendisliği Bölümü ANKARA 1994
- [12] KALUÇ, E., “Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı”, Gedik Holding Kaynak Dünyası. S:1-22
- [13] “Ark Welding of Stainless Steel”, Metal Handbook, 8th Edition, Vol 6, Welding and Brazing, American Society for Metal, 245-276.
- [14] URAL, M., KALUÇ, E., “Paslanmaz çeliklerin TIG Yöntemi ile Kaynağı”, Metal Makine, Mart 1996., 12-20

- [15] KOTECKI D.J.: "Welding of Stainless Steel", ASM Handbook Vol. 6, Welding and Brazing and Soldering (1993) 677-709.
- [16] LOTHONGKUM, G., VIYANIT, E., BHANDHUBANYONG, P., "Study on The Effects Pulsed TIG Welding Parameters on Delta-Ferrite Content, Shape Factor and Bead Quality in Orbital Welding of AISI 316L Stainless Steel Plate", Journal of Materials Processing Tecnology, 2001, pp.233-238.
- [17] DURGUTLU, A. 2004, "Experimental Investigation of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas on TIG welding of Austenitic Stainless Steel", *Materials and Design*, 25, 19-23
- [18] KANBOLLU, S., "Ostenitik Krom Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Özellikleri" Marmara Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Haziran 1996
- [19] Prof. Dr. Erdoğan TEKİN "Korozyon ve Paslanmaz Çelikler" O.D.T.Ü Metalurji Mühendisliği Bölümü ANKARA 1994
- [20] TÜLBETÇİ K, "Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı", Böhler Kaynak Dünyası.
- [21] GÜLEÇ,Ş., " Malzeme Ders notları", İ.T.Ü. Makine Fakültesi Ofset Atölyesi,1980. İstanbul.
- [22] N.N, "TS 2535 Biçimlendirilebilen Paslanmaz Çelikler" TSE, Şubat 1976, Ankara
- [23] TÜLBENTÇİ, K, KALUÇ, E, SARI, N.Y., "Dublex ve Süper Dublex Paslanmaz Çelikler ve Kaynağı", III. Balıkesir Mühendislik Mimarlık Sempozyumu Bildiri Özetleri
- [24] TÜLBENTÇİ, K., 1998. MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arctech Yayını, İstanbul
- [25] 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
- [26] KALUÇ, E. 1996. Ostenitik Krom- Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, Gedik Kaynak Dünyası, Sayı:2, s.18-21
- [27] ANIK, S., VURAL, M. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi, Cilt-2, Birsen Yayınları, İstanbul, 1993, s.355-357
- [28] KALUÇ., "Paslanmaz Çeliklerin MIG ve TIG Kaynağı" Gedik Holding Kaynak Dünyası, Ocak 1989, s.8-12
- [29] GÜLTEKİN, N., "Kaynak Tekniği", Y.Ü.Yayını Sayı 184, İst, 1984
- [30] TOPBAŞ, A, "Çeliklerin Isıl İşlemi"
- [31] KALUÇ, E ., " Örtülü elektrodlar İle paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kaynak Ağızları Ve Kaynağın Uygulanması", Gedik Holding Kaynak Dünyası Sayı:91/3 İst,29-34
- [32] Çeliklerin ısı İşlemleri Yrd.Doç. Dr. Cemal MERAN 23.02.2004
- [33] www.jwharris.com/welref/techguide/alloy_for_stain_steel/solid_wire/
- [34] ASM Handbook, 9. Baskı, Cilt 3
- [35] YAVUZ ERENER "ANALYSIS OF WELDING PARAMETERS IN GAS METAL ARC WELDING BY A WELDING ROBOT" Yüksek lisans tesi Eylül 2006, ODTÜ
- [36] Pyunghyun Kim!, Sehun Rhee!*, Chang Hee Lee" "Automatic teaching

of welding robot for free-formed seam using laser vision sensor”
!Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, 17,
Haengdang-dong, Sungdong-gu, Seoul 133-791, South Korea, Elsevier 5
haziran1999

- [37] Wang YF, Aggarwal JK. An overview of geometric modeling using active sensing, IEEE Control Systems Mag 1988; June; 5}13.
- [38] Matthew Miller, Bao Mi, Akio Kita, I.Charles Ume “Development of automated real-time data acquisition system for robotic weld quality monitoring” Georgia Institute of Technology, School of Mechanical Engineering, Atlanta, GA 30332, USA, PERGAMON
- [39] E. Sabri KAYALI, C. ENSARI, F. DİKEÇ, İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi İstanbul-1996
- [40] CARY, H. B. 1994, Modern Welding Technology, 3rd ed., Prentice-Hall Inc., 417, London
- [41] TS 7830 EN 25817 Çeliklerde Ark Kaynaklı Birleştirmeler- Kusurlar İçin Kalite Seviyeleri Kılavuzu, TSE, Ankara, Nisan 1996

ÖZGEÇMİŞ

03.10.1983 tarihinde SAKARYA' da doğdu. İlköğretimini Orhangazi, lise öğrenimini Adapazarı End. Mes. ve Teknik Lis. Makine eğitimi bölümünde yapmıştır. 2001 yılında Sakarya Üniversitesi teknik eğitim Fakültesinde Yüksek öğrenim hayatına başladı ve 2005 yılında mezun olarak yine aynı bölümde yüksek lisan öğrenimine başladı ve hala üniversitenin son sınıf öğrencisi olarak öğrenimine devam etmektedir.