

766563

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA İÇYAPININ
BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Mert UĞUR
(503031307)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Haziran 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Haziran 2005**

Tez Danışmanı :

Doç.Dr. Murat VURAL

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İTÜ)

Doç.Dr. C. Erdem İMRAK (İTÜ)

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Günümüz modern üretim endüstrilerinde maliyet en önemli plana oturmuştur. Endüstriyel uygulamalarda değişken koşulların sistemi ayrı etkilemelerinden dolayı, farklı malzemelerin kullanılması gerçeği ortaya çıkmıştır. Paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik çifti de bunlardan biridir. Bu farklı malzemelerin birleştirilmesi hususunda ise kaynak en önemli imalat yöntemlerinin arasında bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasını bana vererek gerek konu hakkında gerekse uygulaması sırasında engin bilgisini ve fikirlerini benimle paylaşarak ufkumu açan tez danışmanım Doç. Dr. Murat VURAL'a, deneylerin gerçekleştirilmesindeki yardımlarından ötürü Araş. Gör. Ahmet AKKUŞ'a, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Atölyesi çalışanlarına, maddi ve manevi desteklerini üzerimden esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2005

Mert UĞUR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİ	4
2.1. Genel Özellikleri	4
2.1.1. Paslanmaz çeliklerin üstünlükleri	4
2.1.2. Paslanmaz çeliklerin içyapısına alaşım elementlerinin etkisi	5
2.1.2.1. Ferrit oluşturan elementler	5
2.1.2.2. Ostenit oluşturan elementler	6
2.1.3. Paslanmaz çelik türleri	7
2.1.3.1. Ostenitik paslanmaz çelikler	7
2.2. Fiziksel Özellikleri	9
2.3. Mekanik Özellikleri	12
3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI	15
3.1. Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Ark Kaynağı	16
3.2. Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	17
3.2.1. Ostenitik paslanmaz çeliğin kaynağında karşılaşılan problemler	17
3.2.1.1. Krom karbür oluşumu	17
3.2.1.2. Sıcak çatlak oluşumu	20
3.2.1.3. Sigma fazı oluşumu	21
3.3. Paslanmaz Çeliklerin Farklı Metallerle Kaynağı	23
3.3.1. Çalışma koşullarının etkisi	25
3.3.2. Paslanmaz çeliğin farklı metallerle kaynak türleri	25
3.2.1.1. Farklı ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı	25
3.2.1.2. Ostenitik paslanmaz çeliğin karbon ya da düşük alaşımlı çelikle kaynağı	25
3.3.3. Bağlantı bütünlüğünü etkileyen faktörler	27

3.3.4. Dolgu metalinin seçimi	29
3.3.5. Olası kaynak hasarı faktörleri	30
3.4. Kaynak Bileşiminin Saptanması	31
3.4.1. Bileşimin saptanmasında kullanılan yapı diyagramları	32
3.4.2. Kaynak bölgesinin bulunduğu bölgeye göre özelliklerinin saptanması	36
3.4.3. Kaynak metalindeki ferritin ölçülmesi	37
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR	40
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
KAYNAKLAR	56
EKLER	58
ÖZGEÇMİŞ	60



KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Industry
ANSI	: American National Standards Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials
AWS	: American Welding Society
BS	: British Standards
DIN	: Deutsches Institut für Normung
EN	: European Norms
FN	: Ferrite Number
HRC	: Hardness Rockwell C
JIS	: Japanese Industrial Standards
NIST	: National Institute of Standards and Technology
NF	: Française de Normalisation
SAE	: Society of Automotive Engineers
SIS	: Standardiseringen i Sverige
TIG	: Tungsten Inert Gas
UNS	: Unified Numbering System
WRC	: Welding Research Council

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 : Paslanmaz çeliğin türlü fiziksel özellikleri için değerler	9
Tablo 3.1 : Avantaj ve dezavantajlarıyla kaynak metali bileşimini saptamada kullanılan 3 metod	31
Tablo 3.2 : Ostenitik paslanmaz çelikler için Cr eşdeğer ve Ni eşdeğer ilişkisinin tarihsel gelişimi	33
Tablo 4.1 : Kullanılan paslanmaz çelik türünün standartlarının karşılık tablosu	41
Tablo 4.2 : Deneylerde kullanılan ana malzemelerin kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri	42
Tablo 4.3 : Deneylerde kullanılan paslanmaz elektrodların kimyasal bileşimleri ve mekanik özellikleri	42
Tablo 4.4 : 304 kalite paslanmaz çelik ile düşük karbonlu çeliğinin kaynak karakteristiklerinin karşılaştırılması	43

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : 2002 yılı dünya paslanmaz çelik tüketim dağılımı	2
Şekil 2.1 : Ostenitik paslanmaz çeliğin mikroyapısı	9
Şekil 2.2 : 20-800 °C'de çeşitli paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin uzama kabiliyeti.....	10
Şekil 2.3 : 20-100°C'da paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin ısı iletim kabiliyetleri	11
Şekil 2.4 : 20°C'da paslanmaz çeliklerle karbonlu yapı çeliğinin özgül elektrik iletme direnci	12
Şekil 2.5 : Bazı paslanmaz çelik türleri için gerilme- birim şekil değiştirme eğrileri.....	13
Şekil 2.6 : Paslanmaz çeliklerin farklı türleri için darbe tokluğu değerleri....	14
Şekil 3.1 : Tanelerarasında krom karbür çökmesi.....	18
Şekil 3.2 : Krom karbür çökmesi sonucu hassas bölgede oluşan korozyon	19
Şekil 3.3 : Malzemenin bulunduğu sıcaklığa göre hassasiyet aralığı ve krom karbür oluşması	20
Şekil 3.4 : Farklı sıcaklıklarda ısıtıl işlem uygulanan ve 780°C'de 300 saat süresince tutulan 20 Cr/10 Ni ve 1 Nb'lu ostenitik bir yapıda bulunan ferrit miktarının gösterdiği etki.....	22
Şekil 3.5 : Paslanmaz çeliği karbon çeliğine kaynakta "sıvama" dizaynı.....	27
Şekil 3.6 : Ostenitik dolgu metalleri ve Schaeffler Diyagramı'ndaki yerleri.	29
Şekil 3.7 : Ana metalce oluşan seyrismenin hesaplanması.....	32
Şekil 3.8 : Kombine edilmiş Schaeffler ve DeLong Diyagramları	34
Şekil 3.9 : Katılaşma modu sınırlarını da içeren WRC-1992 Diyagramı.....	35
Şekil 3.10 : Schaeffler Diyagramı'nda malzemeye karşılık gelen bölgeye göre maruz kalabileceği problemler.....	36
Şekil 3.11 : Demir içeriği ile f faktörü arasındaki ilişki.....	38
Şekil 3.12 : Magne ölçüm cihazı.....	39
Şekil 4.1 : Birbirine kaynak edilen parçaların boyutları ve bağlantı dizaynı.	40
Şekil 4.2 : Kaynaklı parçalardan çıkarılan numune boyutları.....	41
Şekil 4.3 : Birbirine 5 farklı elektrodla kaynak edilmiş düşük karbonlu çelik ve paslanmaz çelik çiftleri.....	44
Şekil 4.4 : E 308-16 elektrodu ile yapılmış kaynağın makroyapısı.....	45
Şekil 4.5 : E 308 L-16 elektrodu ile yapılmış kaynağın makroyapısı.....	46
Şekil 4.6 : E 309 L-16 elektrodu ile yapılmış kaynağın makroyapısı.....	46
Şekil 4.7 : E 310-16 elektrodu ile yapılmış kaynağın makroyapısı	47
Şekil 4.8 : E 312-16 elektrodu ile yapılmış kaynağın makroyapısı.....	48
Şekil 4.9 : E 308-16 elektrodu için kaynak bölgesinin beklenen bileşimi.....	49
Şekil 4.10 : E 308 L-16 elektrodu için kaynak bölgesinin beklenen bileşimi..	49
Şekil 4.11 : E 309 L-16 elektrodu için kaynak bölgesinin beklenen bileşimi..	50
Şekil 4.12 : E 310-16 elektrodu için kaynak bölgesinin beklenen bileşimi.....	50

Şekil 4.13	: E 312-16 elektrodu için kaynak bölgesinin beklenen bileşimi.....	51
Şekil 4.14	: E 308-16 elektrodu ile yapılan kaynak metali mikroyapısı.....	51
Şekil 4.15	: E 308 L-16 elektrodu ile yapılan kaynak metali mikroyapısı.....	51
Şekil 4.16	: E 309 L-16 elektrodu ile yapılan kaynak metali mikroyapısı.....	52
Şekil 4.17	: E 310-16 elektrodu ile yapılan kaynak metali mikroyapısı.....	52
Şekil 4.18	: E 312-16 elektrodu ile yapılan kaynak metali mikroyapısı.....	52
Şekil 5.1	: Ferritik karbon çeliğinde kaynağa yakın bölgeye yaklaştıkça gözlenen tane büyümesi.....	55



SEMBOL LİSTESİ

σ	: Sigma fazı
$Cr_{eş}$	: Eşdeğer krom sayısı
f	: Kaynak metalindeki demir içeriğine bağlı faktör
L	: Düşük karbon içeriği
$Ni_{eş}$	: Eşdeğer nikel sayısı



PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA İÇYAPININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Paslanmaz çelikler içeriğindeki krom miktarı sayesinde metal yüzeyinde ince bir kromoksit tabakası oluşturarak oksidasyonun önlenmesini sağlamaktadır. Bu çeliklerin bir numaralı tercih sebebi korozyon dayanımı olsa da süneklik, kaynak edilebilirlik, çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda dahi dayanım bu türün geniş kullanım alanı bulmasındaki başlıca nedenlerdir.

Değişik mekanik özellikleri ile kaynak kabiliyeti vb. özelliklerinin iyileştirilmesi ve daha kararlı hale getirilmesi amacıyla, alaşım elementlerinin varlığı çeliğin farklı bir içyapıya ulaşmasını sağlar. Bu açıdan alaşım elementlerinin paslanmaz çeliklere kattığı özelliklerin bilinmesi faydalı olacaktır.

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır. Özellikle petro-kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, ısı değiştirgeçleri ve paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Bu konstrüksiyonların oluşturulmasında da kaynaklanabilirliği en yüksek olan ostenitik paslanmaz çelikler yaygınca kullanılır.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin düşük karbonlu çeliklerle kaynağı enerji dönüşüm sistemlerindeki çoğu yüksek sıcaklık uygulamalarında yaygınca kullanılır. Bu sistemdeki yüksek sıcaklıklara maruz parçalar için paslanmaz çelik kullanılırken daha düşük sıcaklıklara maruz parçalar için ekonomik sebeplerden ötürü karbon çeliği kullanılır. Dolayısıyla bu parçalar için bir geçiş bağlantısı gereklidir. Sonuç olarak farklı servis durumlarında sistem türlü kısımlara sahip olduğundan, dizaynda farklı yapısal alaşımlar kullanılır ve böylelikle farklı metal kaynaklı bağlantılar gerekebilir. Farklı metal kaynağındaki önemli nokta, ana metaller ve dolgu metallerinin birleşimiyle oluşan kaynak metalini temel alarak, özel araştırmalar yapılarak kaynak hatalarını ortaya çıkarmak, bunların önlenmesi ve kaynak metalinin özelliklerinin gerekli özelliklere karşılık gelmesi için ayarlanmasıdır.

Kaynak metali özelliklerini daha önceden tahmin etmek için yapı diyagramları gerçekleştirilmiştir. Schaeffler Diyagramı da bu diyagramlar arasında paslanmaz çelikler için bir yol gösterici olarak bilinir. Paslanmaz çeliklerde krom ve nikel eşdeğerleri konsepti alaşım elementlerinin mikroyapısal gelişim etkilerini normalize etmek için geliştirilmiştir. Ana metal ve elektrodla ait krom ve nikel eşdeğerleri Schaeffler Diyagramı'nda işaretlenerek seyrelme oranına göre bu noktalar arasındaki çizgi üzerinden kaynak metali bileşimi bulunmasını sağlarlar.

Bu bilgilerin ışığında Erdemir 3237 kalitesindeki düşük karbonlu çelik ile AISI 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik sac parçalar elektrik ark kaynağı yöntemiyle beş farklı elektrod tipi kullanılarak kaynaklanmıştır. Bu elektrodlar sırasıyla E 308-16, E 308 L-16, E 309 L-16, E 310-16 ve E 312-16 tiptedir. Bu elektrodların yalnızca bir tanesi tamamen ostenitik yapıda (E 310-16), diğerleri ise ostenit ve belli yüzdede δ-

ferrit içermektedir. Bu parçalar daha sonra kesilmiş, zımparalanmış ve parlatılarak mikroyapı numuneleri çıkarılmıştır. Daha sonra malzemeler dağlanmış ve hem makroyapı hem de mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Makroyapı fotoğraflarından ana malzemelerden kaynak metaline olan seyrelme oranı, kaynak metali ve ana malzemelerin alanlarını CAD programı yardımıyla sınırlayıp hesaplayarak bulunmuştur. Schaeffler Diyagramı'nda oluşturulan doğru üzerindeki % seyrelme oranına göre kaynak metalinin hangi bölgede olacağı tahmin edilmiştir. Daha sonra bu tahminler çekilen mikroyapı fotoğraflarıyla karşılaştırılmıştır. Görülmüştür ki E 308-16 ve E 308 L-16 ile yapılan kaynakta kaynak bölgesi ostenit + martenzit bir yapıya sahip olacak bu da kaynak metalinin gevrek ve kırılgan bir yapıya sahip olacağını gösterir. E 309 L-16 ve E 312-16 ise içlerindeki belli bir miktar % δ -ferritten ötürü sıcak çatlamaya dayanıklı, korozyona dirençli bir yapı sunar. E 310-16 elektrodu ile yapılan kaynakta ise sıcaklık ve korozyona karşı çok dayanıklı olsa da sıcak çatlak oluşma riski vardır.



ESTIMATION THE MICROSTRUCTURE OF STAINLESS STEEL WELDS

SUMMARY

Stainless steels give oxidation resistance by means of forming a thin chromium-oxide layer on the metal surface by its chromium content. Although its preference reason is corrosion resistance primarily, it's also preferable because of its ductility, weldability and good mechanical properties at elevated and cryogenic temperatures.

To improve and form more stable mechanical properties and welding characteristics, presence of alloying elements influence on the microstructure of these steels. So being known of the effects of alloying elements on stainless steels will be useful.

The requirement of stainless steels of our developing country is increasing day by day. Especially in manufacturing of container tanks, pressure vessels, heat exchangers and stainless piping used in petro-chemical, chemical and food industries, various types of stainless steels are used. In order to build these constructions, austenitic stainless steels are widely used because of its highest weldability among stainless steels.

Welding between austenitic stainless steel and low carbon steel are extensively utilized in many high temperature applications in energy conversion systems. In this systems the parts operating at higher temperatures are constructed with stainless steels while parts that are subjected to lower temperatures are made of carbon steels because of economic reason. Therefore, a transition joint is needed for this parts.

An important point to note that welding dissimilar metals is to take, the weld metal emerging from the base metals and filler metal a base, and performing special investigations to reveal weld defects, their preventions and adjusting the weld metal properties to fit up the requirements.

To estimate the weld metal properties before, some constitution diagrams were developed. The Schaeffler Diagram is known as the roadmap for stainless steels among these diagrams. In stainless steels, the concept of chromium and nickel equivalents were developed to normalize the effect of alloying elements on microstructural evolution. Plotting the chromium and nickel equivalents on Schaeffler Diagram, the weld metal composition can be found on the line between these points up to dilution ratio.

In the light of these knowledge, Erdemir 3237 low carbon steel plates and AISI 304 austenitic stainless steel plates were welded by electric arc welding using five different types of electrode. These electrodes are E 308-16, E 308 L-16, E 309 L-16, E 310-16 and E 312-16 types. Only one electrode have fully austenitic structure, the others have an austenitic structure with a specified percentage of ferrite. These plates were then cut, sandpapered, polished and microstructure samples were obtained. After these operations, samples were etched and both macrostructure and microstructure photographs were taken.

From the macrostructure photographs, the dilution ratios from base metals to weld metal was found by calculating the restricted weld metal and base metals areas with the help of a CAD program. The points of base metals and electrodes were obtained from Cr and Ni equivalents on Schaeffler Diagram, and the weld metal structures were predicted from the line between these points according to the dilution ratio. The predictions were compared with the microstructure photographs. The weld metals by using E 308-16 and E 308 L-16 electrodes will have an austenitic + martensite structure that leads to a brittle structure. The weld metals by using E 309 L-16 and E 312-16 electrodes will have an austenitic structure with a specified percentage of δ -ferrite, have resistance to hot cracking and corrosion. The weld metal using E 310-16 electrode is fully austenitic and have excellent resistance to high temperatures and corrosion but susceptible to hot cracking.



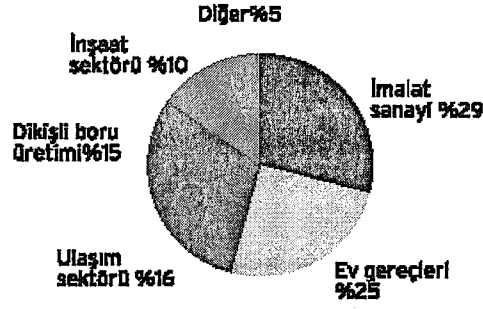
1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az % 10,5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar. Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan ince fakat yoğun kromoksit tabakası korozyona karşı yüksek dayanım sağlar ve oksidasyonun daha derine doğru ilerlemesini engeller [1]. Çok ince olan bu amorf tabaka sayesinde paslanmaz çelikler kimyasal reaksiyonlara karşı pasif davranarak indirgeyici olmayan ortamlarda korozyona karşı dayanım kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilerle (aşınma, kesme veya talaşlı imalat vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur.

Normal alaşımsız ve az alaşımlı çelikler korozyon etkilere karşı dayanıklı olmadıklarından, bu tür uygulamalar için genellikle paslanmaz çeliklerin kullanılması gerekir. Paslanmaz çelikler mükemmel korozyon dayanımları yanında, değişik mekanik özelliklere sahip türlerinin bulunması, düşük ve yüksek sıcaklıklarda kullanılabilmesi, şekil verme kolaylığı, estetik görünümü gibi özelliklere sahiptirler [2].

Paslanmaz çelikler geniş dizayn kriterlerini içine alabilen mühendislik malzemeleridir. Mükemmel korozyon direnci, artan sıcaklıklarda dayanım, iyi tokluk ve tüketim, ticari ve endüstriyel uygulamalar için seçilmiş üretim karakteristiklerine sahiptir [3]. Bu çelikler mühendislik alaşımları içinde hem dökme hem de dövme formunda kullanılabilen önemli bir sınıftır. Paslanmaz çelikler elektrik santralleri, kimyasal proses endüstrileri, petrokimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar ve ısı değiştirgeçlerinde yaygınca kullanılır. Şekil 1.1'deki grafik 2002 yılında dünya paslanmaz çelik tüketiminin oransal dağılımı hakkında bir fikir vermektedir.



Şekil 1.1 : 2002 Yılı Dünya Paslanmaz Çelik Tüketim Dağılımı

Temel olarak paslanmaz çelikler demir-krom, demir-krom-karbon ve demir-krom-nikel sistemlerine dayansalar da mikroyapılarını ve/veya özelliklerini değiştirebilen belli sayıda alaşım elementini de içerebilirler. Bu çeliklerin “paslanmazlık” özelliği % 12’den fazla miktarda krom içeriğiyle artış gösterir [4]. Mikroyapı ve özellikleri kontrol etmede krom, nikel, mangan, molibden, silisyum, niyobyum, titanyum ve azot gibi alaşım elementleri etkilidir. Paslanmaz çeliğin mikroyapısında bileşimin etkisini tanımlamak için krom ve nikel eşdeğerleri geliştirilmiştir. Schaeffler adı verilen diyagram, krom ve nikel eşdeğerlerine ait eksenlerce uzatılan doğruların kesiştiği nokta paslanmaz çeliklerin kaynağında bileşim ve mikroyapının arasındaki ilişkinin grafiksel bir gösterimidir.

Günümüzde 170’den fazla türü bulunan paslanmaz çelikler, değişik amaçlar için endüstride oldukça yaygın uygulama alanı bulmuşlardır. Endüstriyel uygulamada kullanılan malzemelerin çok çeşitli olması dolayısıyla, birbirinde farklı özelliklere sahip bu malzemeleri birbirleri ile birleştirmek zorunluluğu doğmaktadır. Bunun için de birbiri ile kaynak yapılarak birleştirilecek bu malzemelerin fiziksel, mekanik ve metalurjik özelliklerinin iyice bilinmesi gerekmektedir. Çok kere değişken zorlanma ve ortam şartları söz konusu olduğundan, birbirinden oldukça farklı iki malzeme kullanılır. Buhar boruları burada tipik örnek olarak alınabilir. Buhar taşıyıcı sistemin yüksek sıcaklıktaki sıcak ucunda ostenitik paslanmaz çelik gerekirken, nispeten düşük sıcaklıktaki soğuk uçta daha ucuz, düşük alaşımlı, ferritik bir çelik yeterli olmaktadır.

Farklı iki malzemenin kaynak ile birleştirilmesi ve bunun için de en uygun ilave (kaynak) metalinin seçilmesi, oldukça zor bir problemdir. Aynı iki cins malzemenin birleştirilmesi ile elde edilen kaynak dikişi yalnız ilave metalden meydana gelmez. Bağlantı bir geçiş bölgesini içerdiği gibi, iki esas malzemedan da önemli miktarda alaşım elementleri bulundurur [5].

Bu çalışmada farklı iki metalin birbirinden farklı beş ayrı elektrodla kaynak işlemi yapılmış, daha sonra kaynak metaline ana metalden ve dolgu metalinden gelecek % seyrelme oranları hesaplanmış ve Schaeffler diyagramında bu seyrelmeye bağlı noktalar malzemeye bağlı olarak hesaplanan Cr_{es} ve Ni_{es} bulunarak işaretlenmiş ve kaynak metalinin aranan içyapısı tahmin edilmiştir. Böylelikle mevcut beş elektrodan hangi elektrodun iki malzemenin birleştirilmesi için uygun olduğu saptanmıştır. Daha sonra parçalar mikroyapı incelemesine tabi tutulmuş ve hesaplanan değerlerle inceleme sonuçları karşılaştırılmıştır.



2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN ÖZELLİKLERİ

2.1 Genel Özellikleri

2.1.1 Paslanmaz çeliklerin üstünlükleri

a) Korozyon Dayanımı

Bütün paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımı yüksektir. Düşük alaşımlı türleri atmosferik korozyona, yüksek alaşımlı türleri ise asit, alkali çözeltileri ile klorür içeren ortamlara dahi dayanıklıdır. Bu çelikler ayrıca yüksek sıcaklık ve basınçlarda da kullanılabilir.

b) Yüksek ve Düşük Sıcaklıklar

Bazı paslanmaz çelik türlerinde, yüksek sıcaklıklarda dahi tufallanma ve malzemenin mekanik dayanımında önemli bir düşme görülmez. Bazı türleri ise çok düşük sıcaklıklarda dahi gevrekleşmezler ve tokluklarını korurlar.

c) İmalat Kolaylığı

Paslanmaz çeliklerin hemen hepsi kesme, kaynak, sıcak ve soğuk şekillendirme ve talaşlı imalat işlemleri ile kolaylıkla biçimlendirilebilirler.

d) Mekanik Dayanım

Paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu soğuk şekillendirme ile pekleşir ve dayanımın artması sayesinde tasarımlarda malzeme kalınlıkları azaltılarak parça ağırlığı ve fiyatta önemli düşüşler sağlanabilir. Bazı türlerde ise ısıtılma işlemleri ile malzemeye çok yüksek bir dayanım kazandırmak mümkündür.

e) Görünüm

Paslanmaz çelikler çok farklı yüzey kalitelerinde temin edilebilirler. Bu yüzeylerin görünümü ve kalitesi, bakımı kolay olduğundan kolaylıkla uzun süreler korunabilir.

f) Hijyenik Özellik

Paslanmaz çeliklerin kolay temizlenebilir olması, bu malzemelerin hastahane, mutfak, gıda ve ilaç sanayinde yaygın olarak kullanılmasını sağlar.

g) Uzun Ömür

Paslanmaz çelikler dayanıklı ve bakımı kolay malzemeler olduklarından, üretilen parçanın tüm kullanım ömrü dikkate alındığında ekonomik malzemelerdir.

2.1.2 Paslanmaz çelik içyapısına alaşım elementlerin etkisi

Paslanmaz çeliklerde kimyasal bileşim değiştirilerek farklı özelliklerde alaşımlar elde edilir. Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama ile ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri, önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya ostenitik olmasını belirler [2]. Alaşım elementlerinin her birinin çelik üzerinde belli etkileri vardır. Çeliğin özellik profilini belirleyen, alaşım elementlerinin kombine etkileridir. Farklı türden paslanmaz çeliklerin neden farklı bileşimlere sahip olduğunu anlamak için, alaşım elementlerinin yapı ve özelliklere olan etkilerinin bilinmesi faydalıdır. Alaşım elementleri ferrit oluşturanlar ve ostenit oluşturanlar olmak üzere iki grupta toplanır [1].

2.1.2.1 Ferrit oluşturan elementler

Krom: Ferrit oluşumunda etkili olur [1]. Paslanmaz çelik içindeki en önemli alaşım elementidir. Paslanmaz çeliğe temel korozyon dayanımını ve artan sıcaklıklarda oksidasyon direncini verir [6].

Molibden: Ferrit oluşumunda etkili olur. Yüksek sıcaklıklardaki dayanımı artırır ve redükleyici ortamlarda korozyona karşı dayanım sağlar.

Niyobyum: Tanelerarası korozyon hassasiyetini azaltmak amacıyla, karbonla birleşerek karbür oluşturma amacıyla yapıya eklenir. Tane küçültücü etkisi vardır. Ferrit oluşumuna katkıda bulunur [1].

Titanyum: Kuvvetli ferrit ve karbür yapıcı özelliği vardır. Ostenitik çeliklerde tanelerarası korozyon direncini arttırmak ve ayrıca yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri geliştirmede kullanılır [6].

Fosfor, Kükürt, Selenyum: İşlenebilme kabiliyetini yükseltirler. Ancak kaynak sırasında sıcak çatlak oluşmasına neden olur. Korozyon direncini bir miktar azaltır [1].

Silisyum: Tufallenmeye karşı dayanımı yükseltir. Yapıda % 1'den daha fazla olması durumunda ferrit ve sigma oluşumuna etki eder. Her tür paslanmaz çeliğe oksit giderme amacıyla düşük oranda eklenir. Akışkanlığı artırır ve kaynak metalinin ana metali daha iyi ıslatmasını sağlar.

2.1.2.2 Ostenit oluşturan elementler

Karbon: Ostenit oluşumuna kuvvetli etkide bulunur. Krom ile birlikte tanelerarası korozyonda başrol oynayan karbürlerin oluşumuna neden olur [1]. Bunun yanında mekanik dayanımı oldukça artırır [6].

Paslanmaz çeliklerde karbon % 0,02 ile 1 arasında olabilir, düşük karbon miktarları daha tipiktir, yüksek oranlar martenzitik çeliklerde söz konusudur. Çünkü paslanmaz çeliklerde karbonun varlığında krom karbür oluşur ve genellikle tane sınırlarında krom karbür olarak çöker, bu nedenle kafes içinde çözünmüş krom miktarı % 12'lik sınırın altına düşebilir ve malzemenin korozyona dayanıklılık özelliği kaybolur. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon yüzdesi yükseldikçe;

- Krom miktarı artırılmalı,
- Karbür yapma eğilimi kromdan fazla olan elementler katılarak krom karbürün meydana gelmesi ve kafeste çözünmüş kromun azalması engellenmelidir (stabilize etme) [2].

Nikel: Ostenit oluşumuna etkide bulunur. Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır [1].

Azot: Ostenit oluşumuna çok kuvvetli etkide bulunur. Bu konuda çoğu zaman nikel kadar etkilidir [1]. Azot özellikle molibdenle birleştiğinde yerel korozyona karşı dayanımı artırır. Ferritik çeliklerde tokluğu ve korozyon dayanımını önemli ölçüde düşürür [6].

Mangan: Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda ostenitin stabil (kararlı) olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturur. Bu ostenit/ferrit dengesine sıcaklığa bağlı etki ettiğini gösterir. Mangan azotun çözünürlüğünü artırır ve ostenitik paslanmaz çeliklerde yüksek azot içerikli yapı eldesinde kullanılır.

Bakır: Paslanmaz çeliklere, bazı ortamlardaki korozyon dayanımlarını arttırmak amacıyla katılır. Gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyeti azaltır ve yaşlanma yoluyla sertleşmeyi teşvik eder [1].

2.1.3 Paslanmaz çelik türleri

100'den fazla paslanmaz çelik alaşımı vardır. Paslanmaz çelikleri tanımlamada üç genel sınıflandırma mevcuttur. Bunlar;

- a) Metalurjik yapı
- b) AISI numaralandırma sistemi: 200, 300 ve 400 seri numaraları
- c) ASTM ve SAE tarafından geliştirilen ve tüm ticari metal ve alaşımlara uygulanan bütünleştirilmiş numaralandırma sistemi (UNS) [3].

Paslanmaz çelikler metalurjik yapılarına göre beş grupta toplanabilirler:

- a) Ferritik Paslanmaz Çelikler
- b) Ostenitik Paslanmaz Çelikler
- c) Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- d) Dupleks (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler
- e) Çökelme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler

2.1.3.1 Ostenitik paslanmaz çelikler

Ostenitik paslanmaz çelikler % 16-26 Cr, % 10-24 Ni+Mn, % 0.40'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge, % 90-100 ostenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler [1]. Şekil 2.1'de ostenitik paslanmaz çeliğin içyapısı görülmektedir.

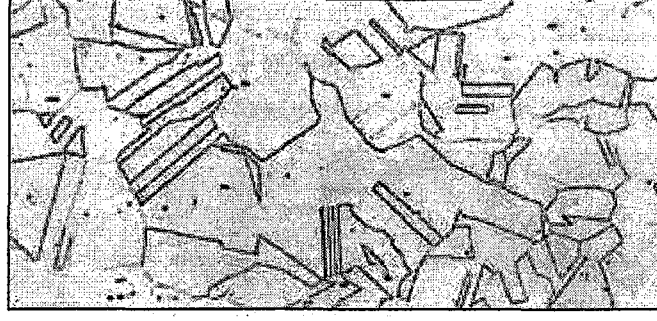
Gerek kullanım, gerekse alaşım kalitelerinin çokluğu açısından en zengin grup ostenitik çeliklerdir. Manyetik olmayan bu çelikler hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik kafese sahip ostenitik i yapılarını koruduklarından, normalleştirme ve sertleştirme ısıı işlemi yapılamaz. Tavlanmış halde süneklikleri, toklukları ve şekillendirilebilme kabiliyetleri düşük sıcaklıklarda bile mükemmeldir. Mukavemetleri ancak soğuk şekillendirme ile artırılabilir. Nikel ve mangan temel ostenit oluşturucularıdır [2]. Ostenitik paslanmaz çelikler temel alaşım elementi olarak krom ve nikel içerirler ve 300 serisi olarak gösterilirler (UNS'de S3xxxx). Krom, nikel ve mangan içerenler 200 serisi olarak gösterilirler (UNS S2xxxx). 2xx serisinde, en çok %7 nikel, % 5 ile % 20 arasında mangan bulunur ve azotun ostenit içinde çözünürlüğü sayesinde dayanım artırılabilir. Katı zeltide bulunan kristal kusurların içine yerleşen azot, ostenit iç yapının mukavemetini artırır. 3xx serisinin ana alaşımları % 8-20 arasında nikel ve % 16-25 arasında kromdan oluşmaktadır. Bunun yanında yaklaşık % 1 içerikli Si deoksitleyici olarak, % 0,02-0,08 C ostenit stabilizatörü olarak ve % 1,5 Mn hem ostenit stabilizatörü hem de kükürt ve silisyum bileşimi oluşurmada kullanılır [3].

Mkemmek şekillendirilebilirliği, snekleği ve yeterli korozyon dayanımı ile 304 kalite ostenitik elik en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çeliktir. Tavlanmış 3xx serisi çeliklerin akma dayanımı 200-275 MPa arasında iken yüksek azotlu 2xx serisinde akma dayanımı 500 MPa değerine kadar yükselir.

Bu eliklerde korozyonu önlemek için gerekli olan kromun ferrit yapıcı etkisi, ostenit yapıcı alaşım elementleri katılarak giderilir. 304 kalite çeliklere molibden katılarak 316 ve 317 kaliteleri üretilir.

Ostenitik paslanmaz çeliklerde mukavemeti artırmak için genellikle soğuk şekillendirmeden yararlanılır. Mukavemeti artırmak için bir diğer yol da alaşımlama yapmaktır. Bu açıdan karbon ve azot en etkili elementlerdir.

Ostenitik elikler sünek ve toktur, ayrıca ısı etkisiyle sertleşmediklerinden, kaynak bağlantıları için uygundur, ancak ısınan ve soğuyan bölgede karbür çökelmesi oluşmaması için stabilize edilmiş türleri seçilmelidir. Öte yandan ısı iletimleri düşük, genleşmeleri yüksek olduğundan kaynakta çarpılmayı önlemek için ısı girdisi düşük tutulmalıdır [2].



Şekil 2.1 : Ostenitik Paslanmaz Çeliğin Mikroyapısı

2.2 Fiziksel Özellikleri

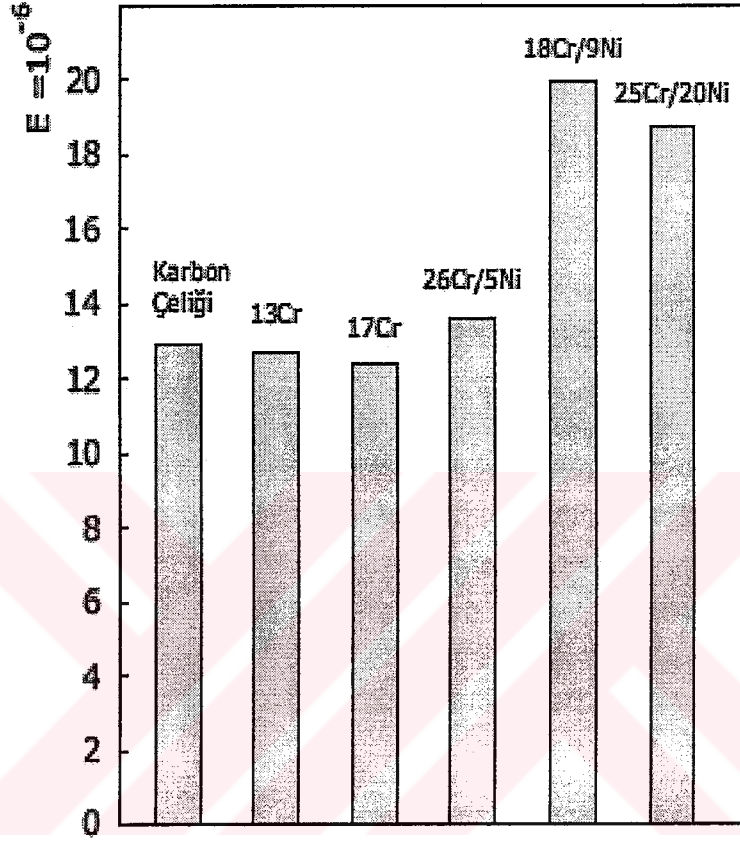
Fiziksel özellikler bakımından paslanmaz çelikler karbon çeliklerinden bazı hususlarda farklılık gösterir. Ayrıca paslanmaz çeliğin türlü kategorileri arasında kayda değer farklılıklar vardır. Tablo 1.1 ve Şekil 2.2 paslanmaz çeliğin fiziksel özellikleri için türlü değerleri göstermektedir.

Ostenitik paslanmaz çelikler genellikle diğer paslanmaz çelik türlerden daha yüksek yoğunluktadır. Her çelik kategorisi arasında yoğunluk, çoğunlukla molibden gibi ağır elementlerce artan alaşım seviyeleriyle artar.

Tablo 1.1 : Paslanmaz Çeliğin Türlü Fiziksel Özellikleri İçin Değerler

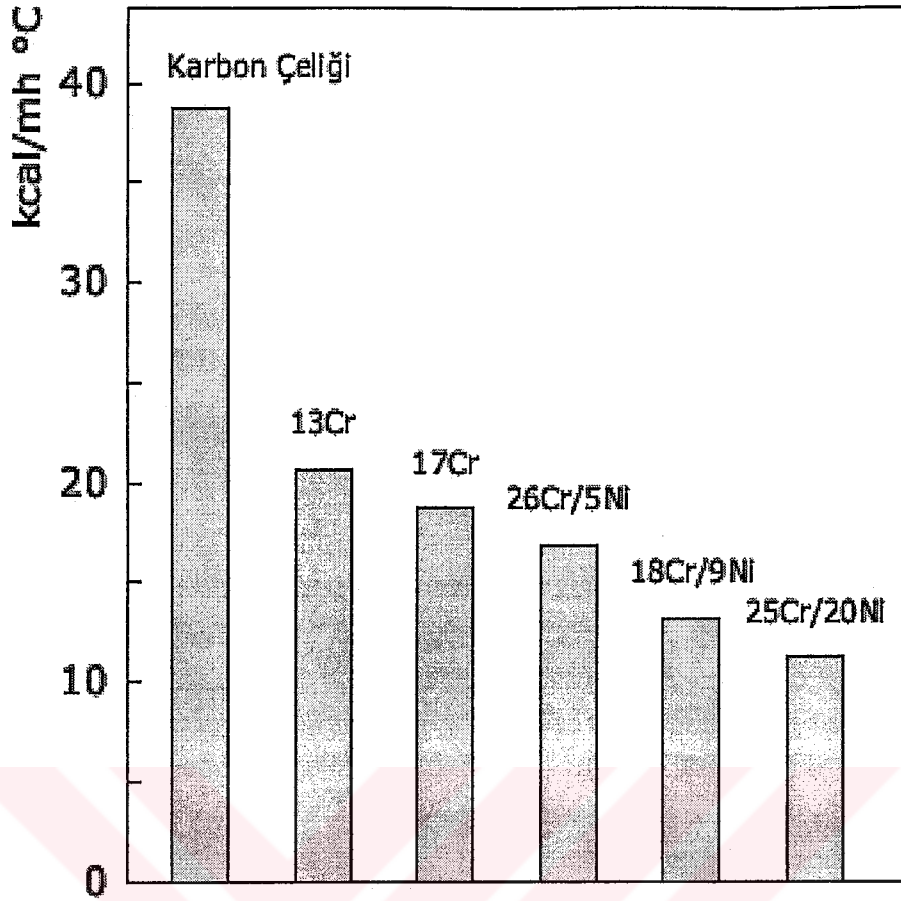
Fiziksel Özellikler	Martenzitik	Ferritik	Ostenitik
Yoğunluk (g/cm^3)	7.6-7.7	7.6-7.8	7.9-8.2
Elastisite Modülü (N/mm^2)	220000	220000	195000
Isıl Genleşme Katsayısı ($\mu\text{m/m}^\circ\text{C}$) 200-600°C	12-13	12-13	17-19
Isıl İletkenlik ($\text{W/m}^\circ\text{C}$)	22-24	20-23	12-15
Özgül Isı ($\text{J/kg}^\circ\text{C}$)	460	460	440
Elektriksel Direnç ($\text{n}\Omega\text{m}$)	600	600-750	850
Ferromanyetiklik	Var	Var	Yok
Ergime Aralığı ($^\circ\text{C}$)	1375-1450	1425-1530	1420-1530

Paslanmaz çelik tipler arasında büyük türölülük gösteren iki önemli fiziksel özellik ısı genleşme ve ısı iletkenliktir. Ostenitik paslanmaz çelikler diğler paslanmaz çelik tiplerine göre daha yüksek ısı genleşmeye sahiptir. Bu konu ısı iniş çıkışı gösteren uygulamalarda, yapının ısı işleminde ve kaynakta ısı gerilmelere neden olabildiğinden büyük önem teşkil eder.



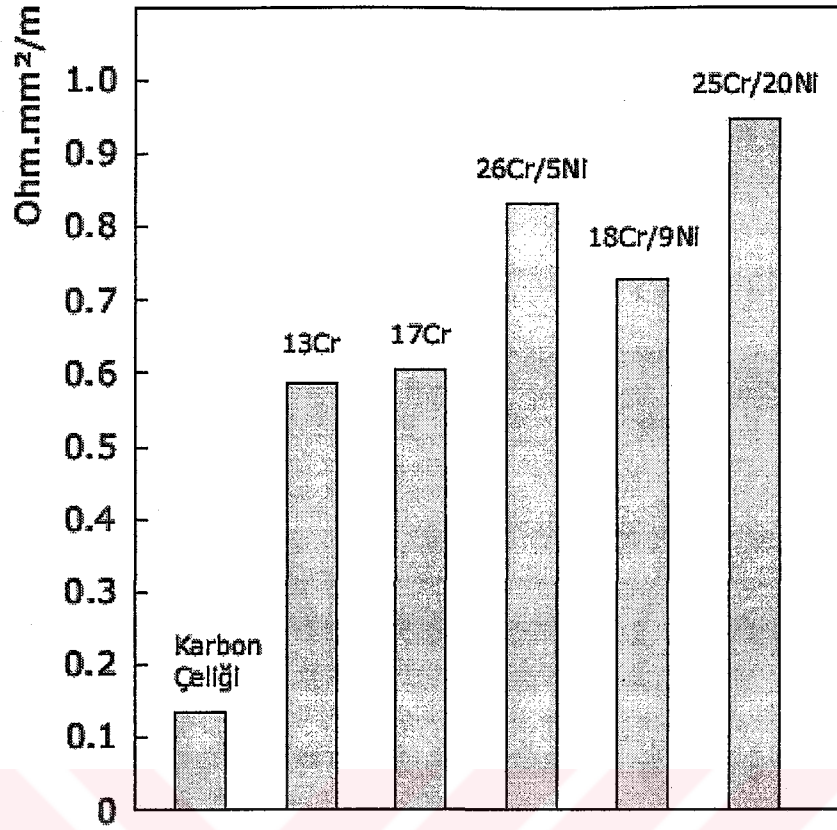
Şekil 2.2 : 20-800 °C’de Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Uzama Kabiliyetlerinin Karşılaştırılması

Paslanmaz çelikler için ısı iletkenlik karbon çelikleri için öngörölenden genellikle düşüktür ve her paslanmaz çelik kategorisi için artan alaşım seviyesiyle azalır. Isı iletkenlik şu sıraya göre azalır; martenzitik, ferritik, dubleks, ostenitik ise en düşük ısı iletkenliğe sahiptir [6] (Şekil 2.3.). Bu durum ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında oluşan sıcaklığın kaynak bölgesinde daha uzun kalacağı ve dolayısıyla bazı zorluklarla karşılaşabileceği anlamına gelmektedir [1].



Şekil 2.3 : 20-100 °C'da Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Isı İletim Kabiliyetlerinin Karşılaştırılması

Alaşımsız karbon çeliklerinin elektrik iletme direnci düşüktür. Paslanmaz çeliklerde ise bu değer karbon çeliklerinkinden 4-7 kat daha yüksektir. Bu nedenle paslanmaz çelik örtülü elektrodlar konvansiyonel elektrodlardan daha çabuk kızarırlar. Paslanmaz çelik elektrodların alaşımsız ve düşük alaşımlı demir elektrodlardan boy olarak daha kısa imal edilmelerinin ve % 25 kadar daha düşük akım şiddeti ile yüklenmelerinin temel nedeni de budur [1]. Şekil 2.4 çeşitli çeliklerin elektrik iletme dirençlerinin karşılaştırmasını göstermektedir.



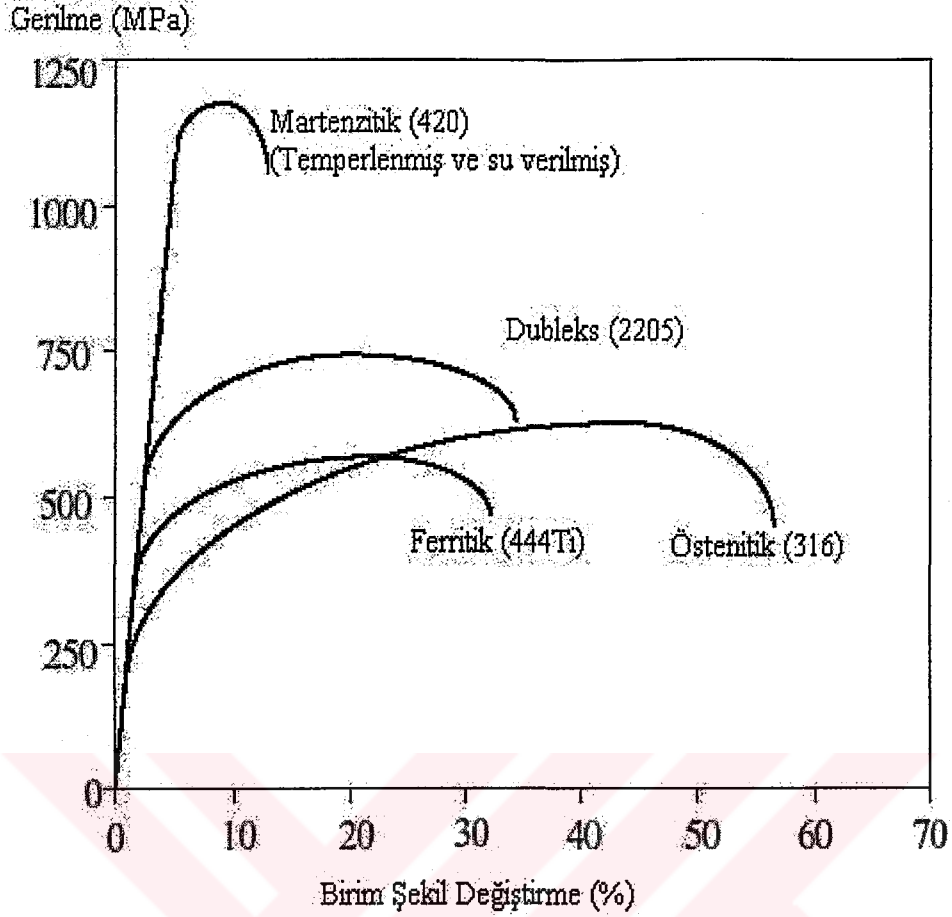
Şekil 2.4 : 20 °C'da Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Özgöl Elektrik İletme Dirençlerinin Karşılaştırılması

2.3 Mekanik Özellikleri

Paslanmaz çelikler çoğunlukla korozyon dirençleri için tercih edilirler ama aynı zamanda bunlar konstrüktif malzemelerdir. Dayanım, yüksek sıcaklıklarda dayanım, süneklik ve tokluk bu yüzden önemlidir.

Farklı paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerindeki farklılık Şekil 2.5'teki gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinde görülebilir. Martenzitik çeliklerin yüksek akma ve çekme dayanımları fakat düşük süneklikleri açıkken, ostenitik tipte düşük akma dayanımı ve mükemmel süneklik mevcuttur. Dubleks ve ferritik çelikler bu iki uç değerin arasında bir yeredirler [6].

Ostenitik tip paslanmaz çelikler, ferritik tip paslanmaz çeliklere oranla genellikle daha yüksek çekme dayanımına ve uzamaya, ancak buna karşın daha düşük akma dayanımına sahiptirler. Kesit daralması değeri her iki tip paslanmaz çelik türü için de hemen hemen aynıdır [1].

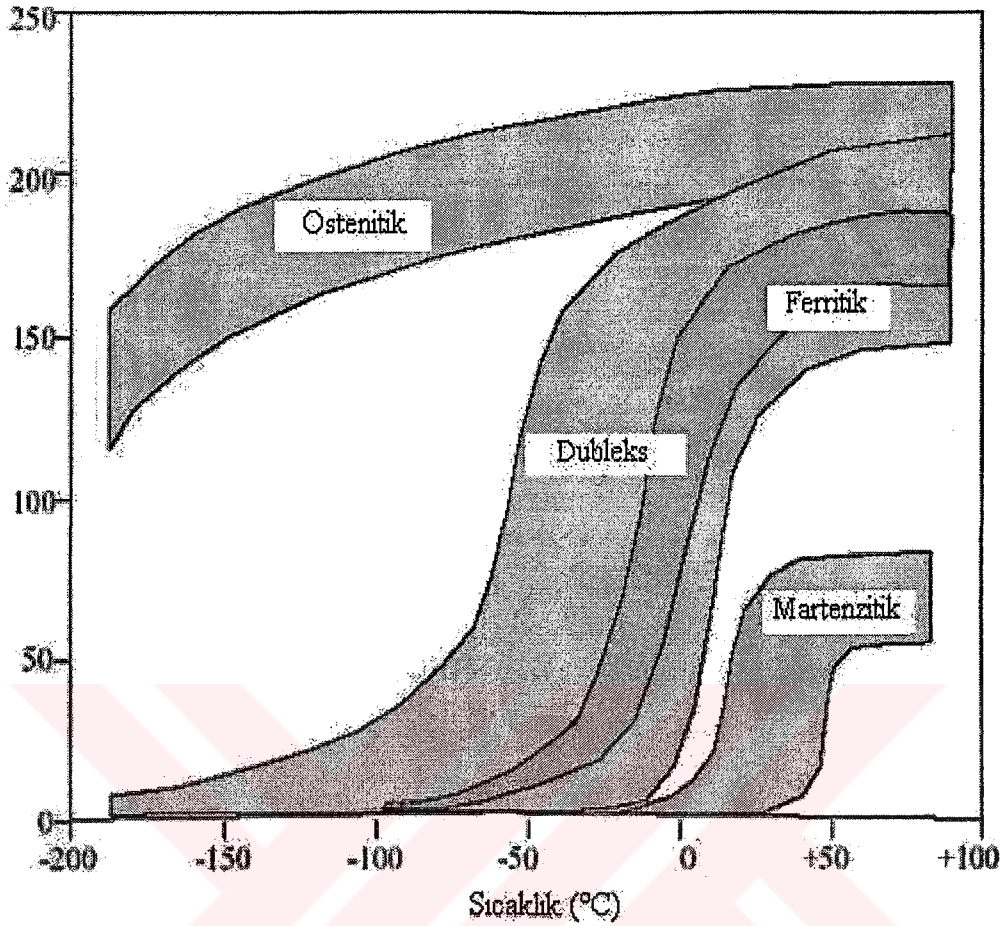


Şekil 2.5 : Bazı Paslanmaz Çelik Türleri İçin Gerilme-Birim Şekil Değişirme Eğrileri

Paslanmaz çeliklerin toklukları tüm sıcaklıklarda, ostenitik paslanmaz çelikler için mükemmel tokluktan martenzitik paslanmaz çelikler için bir miktar gevrek davranışa kadar çeşitlilik gösterir. Tokluk sıcaklığa bağlıdır ve genellikle artan sıcaklıkla artar.

Tokluğun bir ölçüm şekli darbe tokluğudur; örneğin tokluk hızlı yüklemeyle ölçülür. Şekil 2.6 farklı türdeki paslanmaz çeliklerin -200'den 100 °C'ye kadar darbe tokluklarını göstermektedir. Diyagramdan görüldüğü üzere düşük sıcaklıklarda ostenitik paslanmaz çelikte martenzitik, ferritik ve dupleks paslanmaz çelik arasında önemli fark vardır.

Darbe Dayanımı (KV), J



Şekil 2.6 : Paslanmaz Çeliklerin Farklı Türleri İçin Darbe Tokluğu Değerleri

Martenzitik, ferritik ve dubleks çelikler tokluk açısından belli sıcaklıkta sünekten gevrek davranışa doğru bir geçiş sıcaklığıyla karakterize edilirler. Ferritik paslanmaz çelikler için geçiş sıcaklığı artan karbon ve azot içeriğiyle artar. Dubleks paslanmaz çelikler için artan ferrit içeriği daha yüksek geçiş sıcaklığı verir. Ostenitik paslanmaz çelikler diğer çelik tipleri gibi tokluk geçişi göstermezler ve her sıcaklıkta mükemmel tokluğa sahiptirler. Böylelikle düşük sıcaklık uygulamaları için tercih edilirler.

3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

Paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünün kaynak kabiliyeti yüksektir ve ark kaynağı, direnç kaynağı, elektron ve lazer bombardıman kaynakları, sürtünme kaynağı ve sert lehimleme gibi çeşitli kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Bu yöntemlerin hemen hemen hepsinde birleştirilecek yüzeylerin ve dolgu metalinin temiz olması gerekmektedir.

Tüm paslanmaz çelikler herhangi bir ark kaynağı yöntemi ile birleştirilebilir, ancak kaynak metali ve ısı tesiri altındaki bölgedeki korozyon dayanımı, artık gerilmeler, çarpılma ve dikiş çatlaması gibi hususlara dikkat edilmelidir. Paslanmaz çeliklerin direnç kaynağı da oldukça yaygındır. Karbon çeliğinden sonra en çok direnç kaynağı uygulanan malzeme paslanmaz çeliklerdir. Ostenitik çeliklerin düşük ısı iletimi, yüksek elektrik direnci ve manyetik olmamaları sonucu, kaynak sırasında karbon çeliklerinden daha düşük kaynak akımları yeterlidir. Ancak ısıl genleşme katsayıları yüksek olduğundan çarpılma sorunu vardır. Kaynak süreleri çok kısa olduğundan karbür çökmesi nedeniyle korozyon dayanımında önemli bir düşüş olmaz. Ancak bindirme şeklinde yapılan nokta kaynaklarında belirli ortamlarda aralık korozyonu problem yaratabilir.

Bazı sınırlamalar dışında diğer çelikler için kullanılan tüm kaynak yöntemleri (gaz ergitme kaynağı dışında çünkü gaz kaynağında kaynak metalini oksidasyondan veya karbürasyondan koruyan bir kaynak atmosferi oluşturmak oldukça güçtür.) paslanmaz çelikler içinde kullanılır. En yaygın olarak kullanılan yöntemler şunlardır:

a) Ergitme Kaynağı Yöntemleri

- Elektrik ark kaynağı
- Gazaltı kaynağı
 - * TIG Kaynağı
 - * MIG/MAG Kaynağı

*** Plazma ark kaynağı**

- Lazer ışını kaynağı
- Tozaltı kaynağı

b) Elektrik Direnç Kaynağı Yöntemleri

- Direnç-basınç kaynağı (nokta, makaralı dikiş ve yakma alın)
- Saplama kaynağı

Paslanmaz çelikler arasında en çok kaynakla birleştirilen tür ostenitik çeliklerdir. Ancak bunlar diğer karbon ve az alaşımlı çeliklerden farklı kaynak davranışına sahiptirler. En çok dikkat edilmesi gereken husus, orta sıcaklıklarda tane sınırlarında karbür çökelmesinin önlenmesidir. Dikişe komşu ve 650-870 °C sıcaklıklarına ısınan bölgede süre kısa da olsa karbür çökebilir. Bu durum birçok ortamda, özellikle oksit gidermede kullanılan asidik ortamlarda korozyon direncini düşürür. Ancak bu bölge çok dar olduğundan, çoğu kez parçalar kaynak edildikleri şekilde kullanılırlar [2].

3.1 Paslanmaz Çeliklerin Elektrik Ark Kaynağı

Elektrik ark kaynağı yöntemleri, aşağıdaki avantajları nedeniyle paslanmaz çeliklerin kaynağında önemli bir yer tutarlar:

- Basitlik
- Alet ve teçhizat yatırımının düşük oluşu
- Atölye ve şantiyelerde uygulanabilirliği
- Değişik kullanımlar için özel elektrod türlerinin bulunması
- Zor pozisyonlarda da kullanılabilmesi
- Düşük ısı girdisi (özellikle ostenitikler için önemli)

Paslanmaz çelikler

- Büyük genleşme katsayıları,
- Düşük ısı iletim katsayıları ve
- Yüksek elektrik direnci değerlerine sahiptir.

Bu durum özellikle genleşme, çarpılmaya neden olur. Bunu önlemek için:

- Bakır raylarla ısıyı uzaklaştırma
- Düşük ısı girdisiyle çalışma
- Kaynak yaparken aparat kullanma

- Kısa aralıklarla puntalama gibi tedbirler alınabilir [2].

Paslanmaz çeliğin kaynağı sırasında, kaynağa bitişik ana metalin sıcaklığı mikroyapısal dönüşümün olduğu sıcaklıklara erişir. Bu değişimlerin olduğu derece ve bunların bitmiş kaynakta oluşturduğu etkiler (korozyona direnç ve mekanik özellikler bakımından) alaşım içeriğine, malzeme kalınlığına, dolgu metaline, bağlantı tasarımına, kaynak metoduna ve kaynakçının becerisine bağlıdır. Oluşan değişimlere bakmaksızın, paslanmaz çeliğin kaynağında ilk konu; ana metale eşit veya daha iyi kalitede kaynakta oluşabilecek metalurjik değişimlere izin veren kusursuz bir bağlantı oluşturabilmektir [3].

3.2 Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Ostenitik gruptaki paslanmaz çelikler farklı bileşimlere ve özelliklere ancak çoğu yaygın karakteristiklere sahiptir. Soğuk şekillendirmeye sertleştirilebilir ancak bu ısı işlemle sağlanamaz. Tavlanmış durumda hiçbir manyetik değildir. Oda sıcaklığında 300 ve 200 serileri paslanmaz çelikler ostenitik mikroyapıda bulunurlar.

Korozyona direnç bu çeliklerin birincil özelliği, ayrıca yüksek ve çok düşük sıcaklıklarda mükemmel dayanım özellikleri yüzünden de tercih edilirler [4]. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540 °C'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler [1]. Ayrıca yüksek alaşımlı çeliklerin en kaynak edilebilendir ve tüm ergitme, direnç kaynak prosesleriyle kaynak edilebilir [3].

Bu çelikler için geliştirilen dolgu malzemeleri genellikle ana metal ile benzer yapıdadır. Ancak birçok alaşım için, sıcak çatlak oluşumunu engellemek amacıyla, düşük miktarda ferrit içeren bir mikroyapının oluşmasına olanak sağlayan dolgu malzemeleri kullanılır [1].

3.2.1 Ostenitik paslanmaz çeliğin kaynağında karşılaşılan problemler

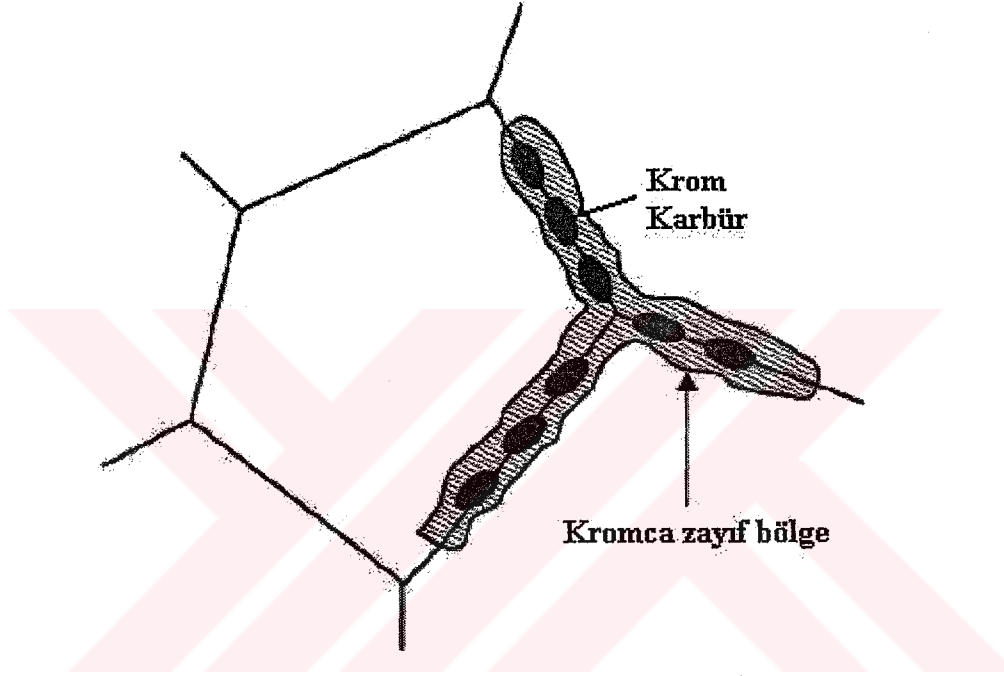
3.2.1.1 Krom karbür oluşumu

Isının etkisi altında kalan bölgenin 427-871 °C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yeralan tane sınırlarında çökelen ve tanelerarası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar. Bu oluşum sırasında bir miktar krom çözültüden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu

bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer (Şekil 3.2, Şekil 3.3) [1].

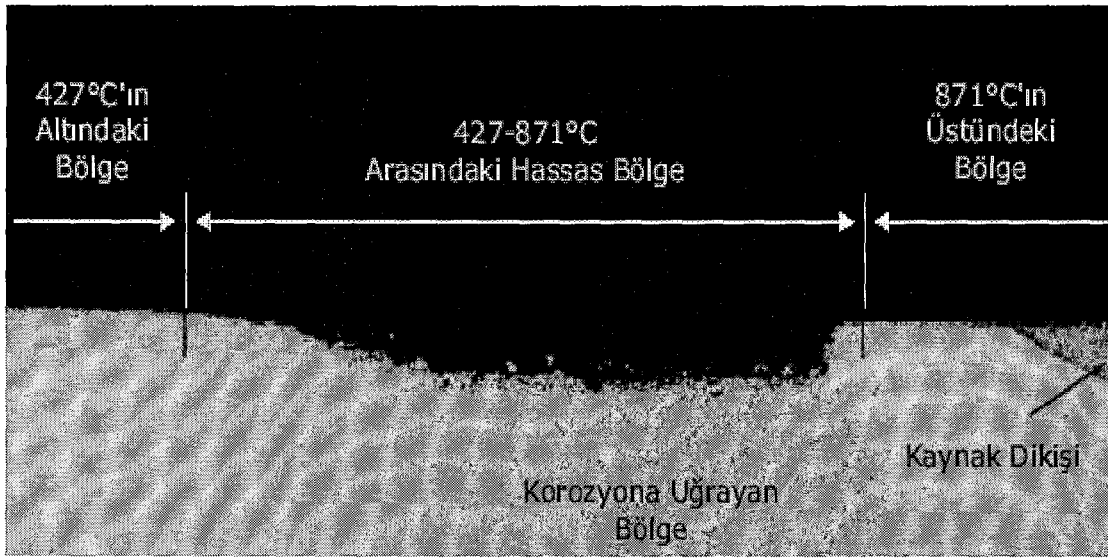
Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak çürüme etkisi; kaynak sonrası ısıtıl işlem, malzemenin karbon içeriğinin azaltılması ve güçlü karbür oluşturunucuların ilave edilmesi ile ortadan kaldırılabilir.

Tek paso ile yapılan elektrik ark kaynağında 650°C ila 750°C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan az bir süre maruz kalır. Buna karşın, çok pasolu kaynak halinde bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısıyla karbür çökelme tehlikesi kendini gösterir.



Şekil 3.1 : Tanelerarası Krom Karbür Çökelmesi

Sıcaklığın 450°C'nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarıya çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı yüksek ilgisinden dolayı bu bölgede krom ile birleşerek krom karbür oluşturur. Oluşan krom karbürün ağırlık olarak % 90'ını krom oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile ostenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır (Şekil 3.1) [7].

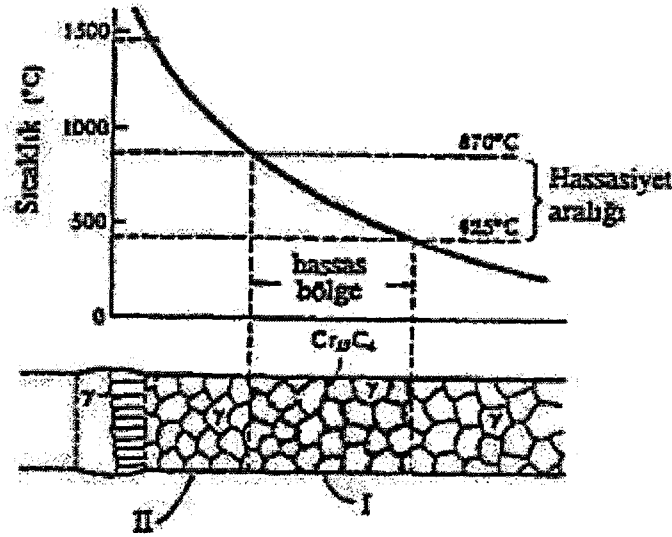


Şekil 3.2 : Krom Karbür Çökelmesi Sonucu Hassas Bölgede Oluşan Korozyon

Bu sorun, kromla birleşerek krom karbür oluşmasına neden olan karbonun yapıda düşük seviyelerde tutulduğu düşük karbonlu (L tipi) ana metallerin ve dolgu metallerinin kullanılmasıyla önlenabilir. Bunun yanında kaynak işleminin öntav uygulanmadan yapılması, ısı girdisinin düşük seviyede tutulmasına özen gösterilmesi ve bakır altlık kullanılarak hızlı soğuma sağlanması hassas sıcaklık aralığında kalma süresinin kısa tutulması açısından oldukça yararlıdır.

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

Bunların dışında kalan bazı ısıtım işlem yöntemleri pahalı olmaları, pratik olmamaları ve parçalarda çarpılmalara yol açmaları nedeniyle pek tercih edilmezler [1].



Şekil 3.3 : Malzemenin Bulunduğu Sıcaklığa Göre Hassasiyet Aralığı Ve Krom Karbür Oluşması

3.2.1.2 Sıcak çatlak oluşumu

Sıcak çatlama malzemenin kaynak, döküm veya sıcak şekillendirme sırasında erime noktasına yakın sıcaklıklarda çatlamasına karşılık gelir. Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir [1].

Sıcak çatlama fenomenini açıklamada birçok teori geliştirilmiştir. Bunlardan biri çatlamanın segregasyonla bağlantılı olduğudur.; en geniş sıvı-katı alaşım alanı, en fazla dayanıksızlığa sahiptir. Katılaşma çatlama farklı oryantasyonlarındaki dendritlerin birleşme yerinde oluşan ve gözle ya da sıvı penetran testiyle ve dendritik bölgeler arasında sadece gerilme uygulamasıyla ortaya çıkan mikroçatlaklar şeklinde gözlenebilen büyük çatlaklardır [8].

Katılaşmanın son zamanları sırasında tane sınırları boyunca düşük erime sıcaklığına sahip sıvı tabaka oluşumunun bir sonucudur. Duyarlılık sıvı faz oluşumunu destekleyen katışkı elementlerinin varlığıyla artar. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar.

Kaynak sırasında ısı girişi de sıcak çatlama özelliğini yani segregasyon miktarını ve ölçüsünü etkileyen bir faktördür. Artan ısı girdisi çatlama için gereken eşik gerilme değerini düşürmekte ve böylelikle çatlama duyarlılığı artmaktadır [8].

Sıcak çatlak oluşumu, dolgu metalinin ve ana metalin kimyasal analizinin ostenitik matrisde düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapı elde edilecek şekilde ayarlanmasıyla önlenabilir. Ferrit, kükürt ve fosfor bileşimlerini kontrol altında tutabilen ve ferritik-ostenitik yapıya sahip olan tane sınırları oluşturarak 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 [1].

Delta ferritin sıcak çatlama karşı yararlı etkisini açıklamak için bir dizi etken sıralanmıştır:

- 1) Delta ferritteki katışkı elementlerinin yüksek çözünürlüğü daha az dendritler arası segregasyona neden olur ve çatlama eğilimini düşürür.
- 2) Yüksek sıcaklıklardaki ferritin sünekliği ostenitten daha yüksektir bu da ısıl gerilmenin hafiflemesine neden olur.
- 3) Ferritin ostenitle kıyaslayınca daha düşük ısıl genleşme katsayısı daha düşük büzülme gerilmesi ve çatlama eğilimine neden olur.
- 4) Ferritin varlığı katılaşmış metaldeki tane boyutunu incelterek daha iyi mekanik özelliklere ve çatlama dayanımına neden olur [8].

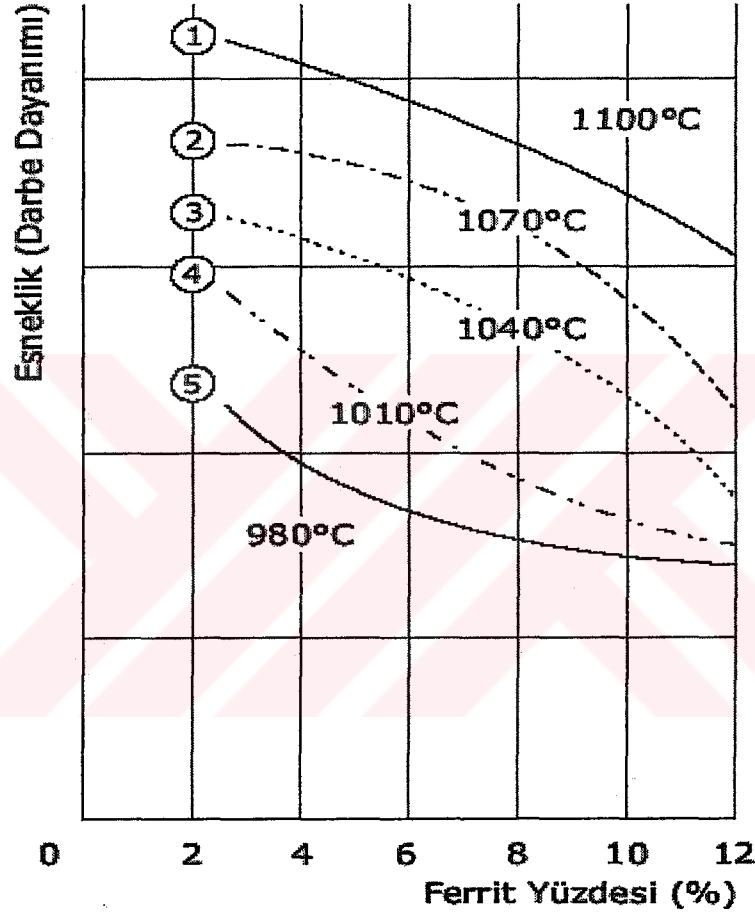
3.2.1.3 Sigma fazı oluşumu

"Sigma Fazı" (σ fazı), çok sert (700-800 Vickers) ve gevrek yapıya sahip metallerarası bir bileşiktir. Sigma fazı, kromlu veya krom-nikel esaslı paslanmaz ve ısıya dayanıklı çeliklerin kaynak bölgesinde oluşur. Sigma fazı kırılganlığı 650-850 °C sıcaklıklar arasında görülür ve bu sıcaklık aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720 °C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının % 3-4 ile sınırlı tutulması durumunda, ostenit tanelerinin etrafı ferrit ile çevrilemeyecek ve kırılganlık riski önlenecektir. Buna karşın ferrit miktarının % 12'yi geçmesi ile birlikte esneklik kabiliyeti hızla azalacaktır.

Ferritin sigma fazına dönüşmesi sonucu kaynak dikişinde oluşan çatlama eğilimini ölçmeye yönelik olarak gerçekleştirilen deneye ait veriler Şekil 3.4'teki grafikte belirtilmiştir.

Ferrit içerikleri % 3 ile % 12 arasında değişen ve 20 Cr/10 Ni/1 Nb'lu bir elektrodun kullanıldığı beş farklı deney parçası hazırlanmıştır. Daha sonra bu deney parçaları 980-1100°C arasındaki farklı sıcaklıklarda ostenitleştirilmiş, 730 °C'da 300 saat boyunca tutulmuş ve sigma fazı oluşturularak kırılma hale getirilmiştir.

Şekil 3.4'ten de görülmektedir ki; ferrit miktarındaki artışa bağlı olarak esneklik (darbe dayanımı) azalmakta ve ferrit yüzdesi ne olursa olsun ostenitleştirme sıcaklığındaki artış dikiş üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır [1].



Şekil 3.4 : Farklı Sıcaklıklarda Isıl İşlem Uygulanan ve 780 °C'de 300 Saat Süresince Tutulan 20 Cr/10 Ni ve 1 Nb'lu Ostenitik Bir Yapıda Bulunan Ferrit Miktarının Gösterdiği Etki

Sigma fazı oluşumundaki eğilim krom, molibden, silisyum miktarı artışı ile artar ve azot, nikel ve karbon varlığıyla düşer. Malzemeler artan sıcaklık çalışmalarında kullanıldığında sigma fazı oluşumu etkileri düşünülmelidir. Sigma fazı tamamen ostenitik yapı oluşturan dolgu metalleri kullanılarak azaltılabilir [4].

3.3 Paslanmaz Çeliklerin Farklı Metallerle Kaynağı

Farklı metal kaynağı iki farklı alaşım sisteminin birleştirilmesine karşılık gelir. Aslında tüm birleştirme kaynakları farklı metal kaynağıdır çünkü birleştirilen parçalar dövme yapısındayken kaynak tarafı döküm yapısındadır. Sık olarak uyuşan dolgu metali bileşimi, ana metallerinkine bağlı ayarlanır. Bu yüzden farklı metal kaynağı bu iki farklı alaşım sisteminin arasında yer alacaktır [9].

Düşük alaşımlı çelikler basit karbonlu çeliklerin dayanımını ve ısıya direncini arttırmak için dizayn edilmiştir ve paslanmaz çelikler korozyon dayanımı ve oksidasyon direnci sunarak termal ve nükleer güç santrallerinde ve kimyasal santrallerde yaygınca kullanılır. Modern çelik konstrüksiyon teknolojisinde önemli ve göz ardı edilemez gereksinim ise paslanmaz çeliklerin karbon ve düşük alaşımlı çeliklerle birbirine kaynağıdır (Farklı metallerin kaynağı) [10].

Bir elektrik santralindeki buhar kazanı 500-550 °C'de ve 16-20 MPa çalışma basıncına maruz binlerce bağlantı içerebilir. Geçiş bağlantıları ayrıca elektrik santralleri ana buhar hatlarında, nükleer reaktörlerde ve petrokimya endüstrilerinde de kullanılmaktadır.

Farklı metallerin kaynağıyla bir diğer karşılaşılan alan kaplanmış plakaların kaynağıdır. Bu çeşitli endüstriyel uygulamalardaki kapların ve ısı eşanjörlerinin konstrüksiyonudur. Burda bir yapı malzemesi (karbon ya da düşük alaşımlı çelik) alaşımlı bir malzemeyle kaplanmış olarak kaynağa ihtiyaç duymaktadır [11].

Eğer uygun kaynak prosedürleri ve dolgu metalleri kullanılırsa, çoğu ostenitik paslanmaz çelik memnun edici şekilde ferritik, çökelme sertleşmeli paslanmaz çelik, karbon çeliği ve düşük alaşımlı çelikler gibi kaynağa uygun çeliklerle kaynak edilebilir.

Genel bir kural olarak, kaynak metali en az, bağlantıdaki en zayıf bileşenin dayanımına ve korozyon özelliklerine eşit olmalıdır. Ek olarak, kaynak metalinin özelliklerini düşürücü metallerarası bileşenler ve fazlar bulunmamalıdır. Ayrıca, mikroyapı kırılmaya karşı dirençli olmalıdır [4].

Farklı metallerin kaynağında, üç metalin; birleştirilecek olan iki metal ve dolgu metali özellikleri göz önünde tutulmalıdır. Örneğin metallerden biri kendisine kaynak edilirken öntav gerektiriyorsa öntav farklı metallerin kaynağında da kullanılır.

Diğer bir değişken ısı girişi kontrolüdür. Arasına bir metal için uygun kontrol, diğeri için istenmeyen olarak bir uyuşmama oluşturabilir [9].

Kaynak dolgu malzemeleri genellikle büyük oranda ferrit içeren ostenitik malzemelerdir. Bununla birlikte kaynak eğer yükselen sıcaklıklara ya da şiddetli termal çevrime maruzsa, Ni alaşım esaslı katkı malzemeleri (örneğin Inconel 600) kullanılır. Ferritik paslanmaz çelik katkı malzemeleri yukarıda belirtilenlere ek olarak kullanılabilir.

Farklı metalleri birleştirmede uygun prosesler;

1) Eritme kaynağı: Bu yöntemler örtülü elektrod ark kaynağı, tozaltı, özlü elektrod ark kaynağı, gazaltı kaynağı ve TIG'dir. Bu prosesler ile dayanıklı dolgu metali içerikli iyi bir kaynak elde edilir. Bununla birlikte TIG kaynağı prosesiyle eklenen dolgu miktarı kaynakçı tarafından kontrol edilir.

2) Düşük seyreltide kaynaklar: Bunlar elektron ışın, lazer ve darbeli arkı içerip ana metal eriyiği miktarı daha az olup dolgu metali normal olarak eklenmez.

3) Eritmesiz birleştirme: Tipik eritmesiz birleştirme prosesleri sürtünme kaynağı ve patlamalı kaynak, lehimleme ile birlikte difüzyon birleştirmeleridir.

Farklı metal kaynaklarından güç ve proses endüstrisinde en çok karşılaşılan yaygın kaynak prosesleriyle yapılan eritme kaynağıdır.

Eritme kaynağında kaynak metali ana metallerin ve dolgu metalinin karışımıdır. Elektrodun tükendiği ark kaynaklarında, kaynak metali ark hareketiyle iyi karışır ve bir bölgeden diğerine bileşim üniformdur. Kaynak pasosunda herhangi bir yeri örnekleyerek, kaynak bileşimi saptanabilir ve kaynak özelliklerini önceden gösterebilir [9].

Benzer olmayan bağlantıların bileşenlerinin istenen tasarım ömrüne ulaşmadan hasara uğramalarından dolayı farklı metallerin kaynağında birçok çalışma yapılmıştır. Araştırmalar farklı bağlantılarda oluşan büyük ısı gerilmelerin sıcaklığın bir artıp bir azalması sırasında ısı genleşme farklılıklarına bağlı oluştuğunu göstermiştir. Ek olarak, farklı metallerin kaynağında mekanik özelliklere sertliğin etkisi alanında da çalışmalar yapılmıştır. Farklı metalleri yeni metodlarla birleştirmek son yıllarda yeni bir araştırma konusu olmuştur [12].

3.3.1 Çalışma koşullarının etkisi

Uygun farklı metal kaynağı, çalışma koşullarında kaynak özelliklerine uymalıdır. Göz önünde tutulması gereken önemli faktörler mekanik ve fiziksel özellikler ve kaynak korozyon/oksidasyon direncidir.

a) Mekanik özellikler: Kaynak metali, birleştirilen en zayıf malzemeye eşit ya da daha dayanıklı yapıda olmalıdır. Birleştirilen metallerin süneklik mukayesesi istenir ama her zaman mümkün değildir.

b) Fiziksel özellikler: Kaynak metali fiziksel özelliklerinin ana metale benzer olması istenir. Isı çevrimli bağlantılarda, ısı genleşme katsayısındaki büyük uyumsuzluk erken ısı yorulma hasarına neden olabilir.

c) Kaynak korozyon/oksidasyon direnci: Kaynak, birleştirilen ana metallerden en aşağı dirençlisine eşit dirence (korozyon/oksidasyon) sahip olmalıdır. Farklı metallerin bağlantısı sıvının elektrolit olduğu bir ortamda olduğunda, kaynak metali her iki ana metal için katodik (daha fazla korozyon direncine sahip) olmalıdır. Kaynak anodik ise (düşük korozyon dirençli), hızlandırılmış galvanik korozyona maruz kalabilir [9].

3.3.2 Paslanmaz çeliğin farklı metallerle kaynak türleri

3.3.2.1 Farklı ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı

Genel olarak farklı ostenitik paslanmaz çelikler birbirine kaynak edildiğinde, kaynak metali bileşimi neredeyse ana metal bileşimine yakın olur. Buna rağmen, 304 ve 347 tip ostenitik paslanmaz çelikleri birbirine kaynak etmek yaygın değildir. Genellikle, dolgu metali ana metalden daha yüksek alaşımlı olmalı fakat ortaya çıkacak kaynak metalinin ferrit içeriği korozyon ve yüksek çalışma sıcaklıkları için göz önüne alınmalıdır [4].

3.3.2.2 Ostenitik paslanmaz çeliğin karbon ya da düşük alaşımlı çelikle kaynağı

Düşük miktarda karbon içeren ostenitik paslanmaz çelik ve düşük karbonlu çelik arasındaki bağlantılar yüksek sıcaklık uygulamaları içeren enerji dönüşüm sistemlerinde yaygınca kullanılır. Merkezi elektrik santrallerinde, kazanların düşük sıcaklıklara maruz kalan bölümleri ekonomik nedenlerden dolayı karbon çeliğinden yapılır. Diğer parçalar daha yüksek sıcaklıklarda çalışır ve ostenitik paslanmaz

çelikten yapılır. Bu yüzden iki malzeme arasında geçiş kaynağına ihtiyaç duyulur [12].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin karbon ya da düşük alaşımlı çeliklerle kaynağı 370 °C'yi geçmeyen sıcaklıkta korunmasızlığa sahip uygulamalarında, aşırı yükleme altında kaynak sonucu oluşan sıcak çatlama olasılığını azaltmak, artık ferrit miktarını önlemek ve kaynak metalinde seyrelmenin ardından martenzit oluşumunu önlemek için yeterli yükseklikte tam alaşım içeriğine sahip paslanmaz çelik dolgu metali kullanılmalıdır. Seyrelme, dolgu metalinin kimyasal bileşiminin, ana metalle karışımı sonucu ya da daha önceki kaynak pasosundaki kaynak metaliyle karışımı sonucundaki değişimidir. Bu, ana metalin veya önceki pasodaki kaynak metalinin yüzdesiyle ölçülür [4].

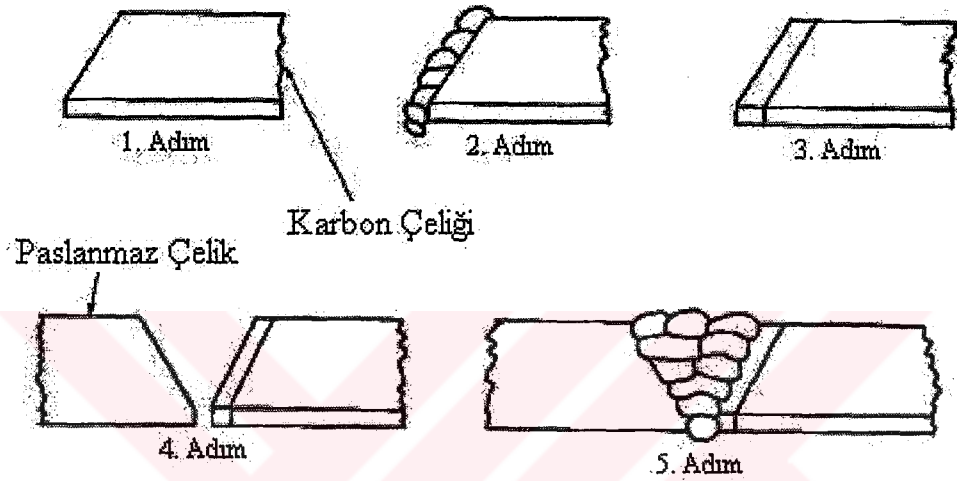
En yaygın farklı metal kaynağından biri 304 tip paslanmaz çelik ile düşük karbonlu ya da yumuşak çeliğin birleştirilmesidir. 308 tip elektrod, 304 tipi kendine kaynak etmek için standart dolgu metali, bu kaynağı yapmak için kullanılmamalıdır. Bazı tip 308 kaynakları memnun edici olabilir ama aslında demir seyrelmesinden dolayı kalite problemleri oluşabilir. Ferrit numarası 10'dan büyük yüksek alaşımlı 309 tip dolgu metali ya da ferrit numarası 25'ten büyük 312 tip kullanılmalıdır [9].

Ostenitik paslanmaz çeliğin karbon çeliğine birleştirilmesinde "sıvama" iyi bir uygulama olup (Şekil 3.5), 309 tip veya başka uygun paslanmaz çelik kaynak metali tabakalı karbon çeliği oluşturulur. Böylelikle zorlukların daha çok olduğu kaynak tarafında (karbon çeliği tarafı), kaynak metalinde az bir gerilme varken paslanmaz çelik dolgu metali ile doldurulur. Böylelikle paslanmaz çelik ile yüzeyde oluşturulmuş tabaka arasındaki bağlantı, konvansiyonel paslanmaz çelik dolgu metali ile kaynak edilebilecek paslanmaz-paslanmaz bağlantıya dönüşür. Bunun tam tersi olarak ostenitik paslanmaz çelik üzerine karbon ya da düşük alaşımlı çelik dolgu metali ile sıvamadan sakınılmalıdır. Bu mümkün olsa da sert ve gevrek bir yapı oluşturur. Sıvama şu adımlardan oluşur;

- 1.Adım: Karbon çeliği kenarının kaynak için hazırlanması
- 2.Adım: Karbon çeliğinden seyrelme sonucu oluşabilecek sorunları önlemek için uygun alaşım içerikli paslanmaz çelik kaynak metalinin kaplanması
- 3.Adım: Gerekli boyutlara getirmek için parçanın işlenmesi veya taşlanması. Gerekliyse bu aşamadan sonra gerilme giderme uygulanabilir.
- 4.Adım: Kaynak için parçaların sabitlenmesi

5.Adım: Paslanmaz çelik parçanın normal kaynağı için uygun dolgu metali veya karbon çeliği parçasına kaplanmada uygulanmış aynı dolgu metali kullanılarak paslanmaz-paslanmaz kaynağı uygun biçimde oluşturulur.

Bir başka metoddan ise, kısa paslanmaz çelik geçiş elemanı karbon çeliğine ya da paslanmaz kaplı karbon çeliğine kaynaklanır. Bu metod, karbon çeliği ana metalini son kaynak etkisinden korumada ve bağlantıda bir miktar yükleme varken gerilme giderme olabileceğini kanıtlar. Buna rağmen yöntem yüzey tabakası oluşturmada daha pahalı bir prosedürdür [4].



Şekil 3.5 : Paslanmaz Çeliği Karbon Çeliğine Kaynakta “Sıvama” Dizaynı

3.3.3 Bağlantı bütünlüğünü etkileyen faktörler

a) Kaynak metali: Farklı metallerin kaynağında, en önemli olgu kaynak metali bileşimi ve özellikleridir. Bu bileşim, ana metallerin ve dolgu metalinin bileşimlerine ve bunların ilgili seyrelmelerine bağlıdır. Kaynak metali bileşimi çoğunlukla üniform olmayıp özellikle birden fazla pasoludur ve bileşim gradyanı her ana metale komşu kaynak metalinde oluşur.

Alaşımlamanın temel kavramları, en son oluşan alaşımın metalurjik karakteristikleri ve bunların fiziksel ve mekanik özellikleri farklı metal bağlantısı dizaynında göz önüne alınmalıdır. Ayrıca iki metale ait faz diyagramı içeriği araştırılmalıdır. İki metalin karşılıklı çözünübilirliği varsa, bağlantı başarıyla oluşturulur. Eğer az var ya da hiç yoksa kaynaklı bağlantı başarısız olacaktır. Farklı metaller arasında oluşturulmuş metallerarası bileşenler çatlak duyarlılığı, süneklik, korozyona meyillilik vb. konularda araştırılmalıdır. Metallerarası bileşenlerin mikroyapısı da

önemlidir. Bazı durumlarda, her metalde çözünebilir üçüncü bir metal kullanmak iyi bir bağlantı oluşturmak için gereklidir.

b) Seyrelme: Farklı metallerin kaynağında, sürekli, sünek bir matriks fazına sahip kaynak metali oluşturmak için dolgu metali ana metal ile kolaylıkla alaşımlanmalıdır. Ayrıca dolgu metali, çatlağa duyarlı mikroyapı oluşturmadan ana metallerce oluşacak seyrelmeye izin verilmelidir. Kaynak metali mikroyapısı istenen servis koşullarında sürekli olmalıdır. Farklı metaller arasında başarılı bir kaynak bağlantıdaki iki metal arasında en zayıfı kadar güçlü olan şöyle ki yeterli çekme dayanımı ve sünekliğe sahip olandır.

Çok pasolu kaynakta, her pasonun bileşimi birbirine göre üniform olmalıdır. Buna rağmen, belli bileşim farklılıkları genellikle kaynak pasolarında özellikle de kök pasoları arasında, ana metale komşu pasolarda ve geri kalan doldurma pasolarında oluşur.

c) Erime sıcaklıkları: Birleştirilecek olan iki metalin erime sıcaklıkları arasındaki fark da dikkate alınmalıdır. Birleştirme kaynağı sırasında yararlanılan belli bir ısıda aynı ısı uygulandığında bir metal diğerinden daha önce erimiş olabilir. İki ana metal ya da ana metal ile kaynak metali arasındaki erime sıcaklıklarındaki önemli fark, metalin düşük erime sıcaklıklarında sürünmesine neden olabilir. Yüksek erime sıcaklıklarına sahip metalin katılaşması ve büzülmesi, diğer metalin daha zayıfken ve kısmen katılaşmış olması durumunda diğer metalde gerilmelere neden olur. Bu problem orta erime sıcaklığında bir ya da daha fazla dolgu metalinin, daha yüksek erime sıcaklığına sahip ana metal yüzeyine uygulanmasıyla çözülebilir. Bu prosedür “sıvama” olarak bilinir. Daha sonra kaynak sıvanmış yüz ve diğer ana metal arasında yapılır. Sıvama tabakası erime sıcaklığı diferansiyelini düşürmede uygulanır. Sıvama ayrıca çevrimsel sıcaklıklara dayanması zorunlu çok farklı ısı genleşme katsayılarına sahip malzemeler arasında bir geçiş sağlamak için kullanılır. Benzer olarak sıvama, kaynak sonrası ısı işlem veya artan sıcaklıklarda ana metalden kaynak metaline istenmeyen elementlerin taşınımını yavaşlatan bir bariyer tabaka oluşturmada kullanılır.

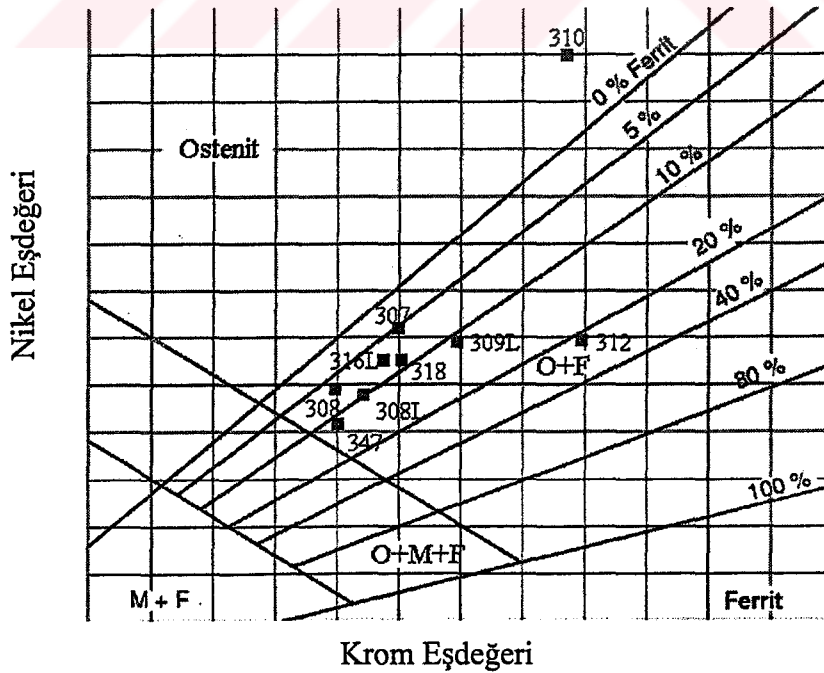
d) Isıl iletkenlik: Çoğu metaller ve alaşımlar iyi ısı iletkenleridir ama bazıları diğerlerinden daha iyidir. Erimiş kaynak banyosundan komşu ana metal ile hızlı ısı iletimi, ana metali yerel olarak eritmekte gerekli enerji girdisini etkileyebilir. Isıl iletkenlikleri birbirinden çok farklı iki farklı metal kaynaklandığında, kaynak

prosedürü bu farklılığı sağlamalıdır. Çoğunlukla kaynak ısı kaynağı, uygun ısı dengesi eldesi için yüksek ısıl iletkenliğe sahip olana yöneltilmelidir.

e) Isıl genleşme katsayısı: Soğuma sırasındaki ısı genleşme katsayılarındaki büyük farklılık, bir metalde çekme gerilmesi yaratırken diğerinde basma gerilmesi yaratır. Çekme gerilmesine maruz metal kaynak sırasında sıcak çatlayabilir ya da gerilmeler ısısal ya da mekanik olarak giderilmezse kullanım sırasında soğuk çatlayabilir. Bu faktör çevrimsel sıcaklık modundaki artan sıcaklıklarda kullanılan bağlantılar için önemlidir [4].

3.3.4 Dolgu metalinin seçimi

Schaeffler Diyagramı'nın orta kısmında gerek $Cr_{eş}$ gerekse $Ni_{eş}$ bakımından çok yüksek yüzdelere sahip olmayan ostenitik+ferritik yapıda, kaynak kabiliyeti yüksek bir bölge bulunmaktadır. Bunun temel nedeni ferritik bir yapının katışkı elementlerini bünyesinde tutabilme özelliğinin, ostenitik faza oranla daha yüksek olması ve bunun sonucunda mikroçatlak oluşum riskinin azalmasıdır. Diğer yandan, normal korozyon ortamında yapıda % 10 kadar ferrit bulunması korozyon direncini fazla düşürmezken % 8-10 ferrit sigma fazı oluşması açısından pek etkili olamamaktadır. İşte tüm bu nedenlerden dolayı paslanmaz çelik elektrodların büyük bir çoğunluğu Şekil 3.6'da belirtildiği gibi bu bölgede yer alacak şekilde imal edilmektedir [13].



Şekil 3.6 : Ostenitik Dolgu Metalleri ve Schaeffler Diyagramı'ndaki Yerleri

Ostenitik dolgu metallerini % 40'a kadar ferrit içeren ve tamamen ostenit kaynak metali oluşturan olmak üzere ikiye ayırabiliriz. % 40'a kadar ferrit içeriği oluşturan ostenitik dolgu metalleri en yaygın kullanılanlardır ve oda sıcaklığında 2-12 FN arasında kaynak metali üretir. Üstün kaynak özelliklerine sahiptir ve ısıtılma işlemi gerek duymazlar. Ancak Cr_{es} 20'den fazla olan yüksek alaşımlı dolgu metalleri eğer kaynak metali 550-950 °C arasında ısıtılırsa sigma fazı gevrekliği oluşturur. Çok pasolu kaynak da aynı etkiye sahiptir. Tamamen ostenitik kaynak metali oluşturan dolgu metalleri, ferrit içeriğinin çoğunlukla tercihli korozyon riskine neden olmasından dolayı gerekebilir. Tamamı ostenitik kaynak metalleri sıcak çatlamaya karşı içinde bir miktar ferrit bileşimi olanlardan daha dayanıksızdır. Ayrıca geniş kaynak banyosu sıcak çatlama riskini artırır. Çünkü bu haldeyken kaba taneli olarak daha yavaş soğur ve efektif tane sınırı alanı küçüktür. Dar kaynak banyosu hızlıca soğuyarak ince taneli yapı oluşturur [14].

Kaynak davranışı ve dikişin görünüşü elektrodu kaplayan örtü tarafından belirlenir.

Rutil Örtülü Elektrod: Bu elektrodların ince damlalı bir malzeme akışı vardır ve ince tırtıllı, düzgün dikişler elde edilir. Doğru akım (elektrod +) veya alternatif akımla kaynak yapılabilir. Cürufu uzaklaştırmak kolaydır ve kısmen kendi ayrılır. Bu özelliklerinden örtü paslanmaz çelik kaynağında tercih edilirler.

Bazik Örtülü Elektrod: Sadece doğru akımla (elektrod +) kaynak yapılabilir. Damlaları daha iridir, bu nedenle zor pozisyonlarda uygundur. Aralık kapama özelliği iyi olduğundan kök dikişleri için tercih edilir. Rutil elektrodla göre kaynak dikişinin görünümü daha kabadır ve cüruf daha zor uzaklaştırılır [2].

3.3.5 Olası kaynak hasarı faktörleri

Araştırmalar ısı iniş çıkışı sırasında ısı genleşme farklılığına bağlı olarak kaynak metali-ferritik çelik arayüzeyinde oluşan büyük ısı gerilmelerin rolüne dikkat çekmiştir. Bundan başka, uzun süre yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra yerel metalurjik değişimlerin (karbür çökmesi gibi) gözlemlendiğini göstermiştir [11].

Bu tür bağlantıların doğasında ortaya çıkan problemler uzun zamandır bilinmektedir. Bu hasarlar işlemiden 15 ya da 20 yıl sonra ortaya çıkar ve bu tesisat için biçilen ömür değerinden önceki bir zamana denk gelmektedir.

Neredeyse tüm ostenitik-ferritik, farklı alaşım kaynak hatalarında hasar ferritik alaşımda oluşur. Birçok araştırmacı tarafından görülmüştür ki hasara neden olan faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Çevrimsel termal gerilme
- 2) Düşük alaşımlı ferritik çeliğin düşük oksidasyon direnci
- 3) Karbon göçü
- 4) Artan çalışma sıcaklıklarının neden olduğu metalurjik kötüleşme [15].

Farklı metal kaynağının ısı davranışını geliştirmek için araştırmalar, metalurjik değişimlerin ve ısıl gerilmelerin kontrolüne sahip olmak için bileşenlerin faz dönüşümlerine, yeni kaynak prosedürleri ve dolgu malzemelerinin bilinmesine doğru ilerlemektedir. [11].

3.4 Kaynak Bileşiminin Saptanması

Çalışma performansı tahmin edilmeden önce yaklaşık kaynak metali bileşimini bilmek gereklidir. Tablo 3.1 avantaj ve dezavantajlarıyla birlikte kaynak metali bileşimini saptamada kullanılan 3 metodu listeler. Teknik 1 açıktır; kaynaktan metal kaldırılır ve analizi gerçekleştirilir. Teknik 2; Şekil 3.7’de alan ölçülmesiyle kaynak seyrelmesine yakınlaşmayı içerir. Teknik 3; yaygın kaynak prosesleri için ana metal seyrelme yüzdelerini kullanır.

Tablo 3.1 : Avantaj ve Dezavantajlarıyla Kaynak Metali Bileşimini Saptamada Kullanılan 3 Metot

Yöntem	Avantajları	Dezavantajları
1) Kaynağın kimyasal analizi	En doğru saptama bu yöntemle yapılır	Oldukça zaman alır, Pahalıdır.
2) Kaynak kesidi ve bileşiminin hesabıyla ana metal seyrelmesine yaklaşım	Daha ucuzdur ve genellikle kimyasal analizden daha kısa sürer.	Çok pasolu kaynaklarda yüzde tahmini çoğunlukla zordur.
3) Yaygın kaynak prosesleri için yaklaşık seyrelme yüzdeleri	“Kaba” bileşimi saptamada çok hızlı bir yöntem olup laboratuvar çalışması gerektirmez.	Bazı proseslerde kaynak tekniği seyrelme üstünde güçlü bir etkiye sahiptir.

Ana metalden seyrelme miktarı Tablo 3.1'deki 2. ya da 3. metodla saptanırsa, belli bir elementin (X) ortalama yüzdesi aşağıdaki formülle saptanır. (Şekil 3.7.) Bu örnekte A ve B her ana metalinden seyrelme % 15 iken, dolgu metali kaynak hacminin % 70'ini oluşturur [9].

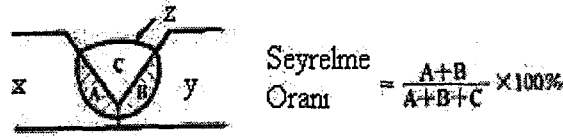
$$X_x = (X_A) \times 0,15 + (X_B) \times 0,15 + (X_F) \times 0,70 \quad (3.1)$$

X_x = Kaynak metalinde X elementinin ortalama yüzdesi

X_A = A metalinde X elementinin yüzdesi

X_B = B metalinde X elementinin yüzdesi

X_F = Dolgu metalinde X elementinin yüzdesi



Şekil 3.7. Ana metalce oluşan seyrelmenin hesaplanması

3.4.1 Bileşimin saptanmasında kullanılan yapı diyagramları

Ostenitik paslanmaz çelikler ağırlıklı olarak ostenit olsalar da özellikle kaynak metalinde küçük miktarda hacim merkezli kübik ferrit içerirler. Bu ferrit çoğunlukla “delta ferrit” olarak bilinir. Çünkü bu artan sıcaklıklarda oluşur ve demir esaslı alaşımlardaki düşük sıcaklık halindeki α -ferritten farklılık gösterir.

Bu alaşım sınıfında, kaynaklanabilirlik ve son kaynak performansı kaynak mikroyapısıyla, kaynak mikroyapısının etkisi ise belli sayıdaki ampirik ilişkiler ve yapı diyagramları ile geliştirilmiştir. Tüm durumlarda ferrit oluşturunucular ve ostenit oluşturunucuların üzerindeki alaşım elementlerinin etkilerini normalize etmek için Cr ve Ni eşdeğerleri kullanılmaktadır. Bu eşdeğerlerin kronolojik gelişimi Tablo 3.2.’de verilmiştir.

1949’da Anton Schaeffler, “Schaeffler Diyagramı” olarak bilinen diyagramı yayınlamıştır. Bu diyagram ferrit oluşumunu destekleyen alaşım elementleriyle ostenit oluşumunu destekleyen alaşım elementleri arasında bir ilişki ileri sürmektedir. Bu diyagramın kullanılabilmesi için verilmiş kaynak pasosuna ait bileşimden krom ve nikel eşdeğerleri hesaplanır. Daha sonra bu eşdeğerler Schaeffler

Diyagramı'nda koordinatlarına göre noktalanır. Bu, diyagramda verilen sınırlardan saptanan hesaplanacak kaynak metali mikroyapısına izin verir.

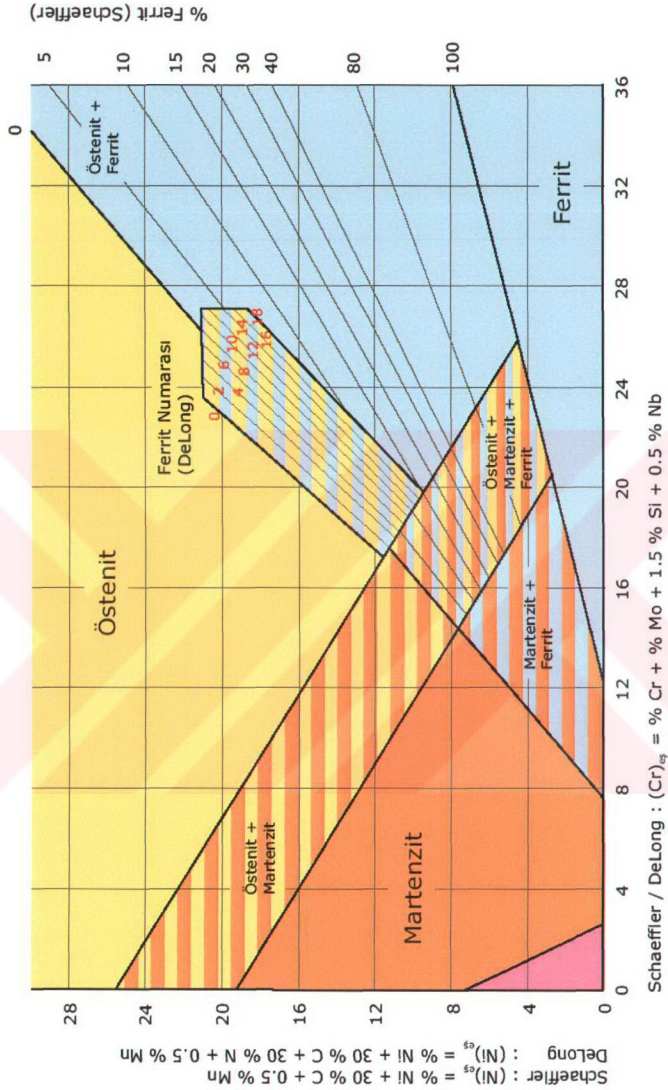
Bu diyagramı kullanıp kaynak metali yapısı doğasını saptamak için bilmemiz gerekenler;

- 1) Seyreltilmemiş dolgu metali bileşimi
 - 2) Ana metalin bileşimi
 - 3) Kaynak metalinin ana metale eklenmesi sırasında oluşan seyreltmenin miktarı [16]
- Deneyimler göstermiştir ki Schaeffler Diyagramı konvansiyonel 300 serisi paslanmaz çeliklerin örtülü elektrod kaynaklarında yeterli tamlıktadır. Buna rağmen yüksek miktarda azotun mevcut olduğu durumlarda sınırlı kullanıma sahiptir [4]. Schaeffler diyagramı sadece mikroyapıdaki ferrit miktarını saptamakla kalmaz, paslanmaz çelik kaynak metalinde aşırı ferrit ya da martenzit oluşumunu engelleyecek elektrod bileşimini bulmada da yardımcı olur [17].

W.T. DeLong ferritin harcandığında azotun ostenit oluşumuna neden olduğunu anlayıp daha kısıtlı bir bileşim aralığını çevreleyen ve azotun etkilerini içeren yeni bir diyagram geliştirmiştir. Belirgin olarak 30 x % N, nikel eşdeğerine eklenmiştir. Bu diyagramı kullanmak için yine kaynak metali analizinden krom ve nikel eşdeğerleri hesaplanır. 1974'te DeLong Diyagramı yayınlanmıştır (Şekil 3.8.) ve ostenitik paslanmaz çelik kaynak metalinde ferrit ölçümü Schaeffler Diyagramı'na saptanan "% ferrit" yerine ANSI/AWS A 4.2 ile standartlaştırılmış manyetik olarak ölçülen "ferrit numarası" ile gösterilmiştir [4].

Tablo 3.2 : Ostenitik paslanmaz çelikler için Cr eşdeğer ve Ni eşdeğer ilişkisinin tarihsel gelişimi

Yazar	Yıl	Cr eşdeğeri, % ağırlıkça	Ni eşdeğeri, % ağırlıkça
Schaeffler	1949	$Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb$	$Ni + 0,5Mn + 30C$
DeLong	1956	$Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb$	$Ni + 0,5Mn + 30C + 30N$
Hull	1973	$Cr + 1,21Mo + 0,48Si + 0,14Nb + 2,27V + 0,72W + 2,20Ti + 0,21Ta + 2,48Al$	$Ni + (0,11Mn - 0,0086Mn^2) + 24,5C + 14,2N + 0,41 Co + 0,44Cu$
Hammar & Svennson	1979	$Cr + 1,37Mo + 1,5Si + 2Nb + 3Ti$	$Ni + 0,31Mn + 22C + 14,2N + Cu$
Siewart	1992	$Cr + Mo + 0,7Nb$	$Ni + 35C + 20N + 0,25Cu$

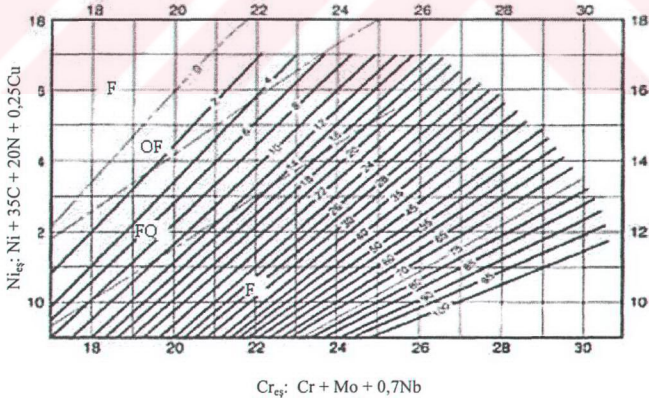


Şekil 3.8 : Kombine Edilmiş Schaeffler ve DeLong Diyagramları

DeLong Diyagramı'nın yüksek manganlı içeriklerde ferrit içeriğini düşük olarak ve 309 gibi yüksek alaşımlı kaynak metallerinde ferrit numarasını fazla tahmin ettiği keşfedilmiştir. Sonuç olarak Kaynak Araştırma Konseyi (WRC) yeni, daha tamlıkta bir diyagramın geliştirilmesi için hem finansal destek hem de bilgi toplamaya başlamıştır. Bu çabanın sonucu olarak WRC-1988 Diyagramı oluşturulmuştur ve DeLong diyagramından daha geniş bileşim aralıklarını içerir ve yukarıda belirtilen iki hatayı içermez.

WRC-1988 Diyagramı'nın düzeltilmesi nikel eşdeğerinin bakır için katsayı içermesine izin vermiştir. Bu modifikasyon ve krom eşdeğeri ile nikel eşdeğeri eksenlerinin uzanımı en son bünne diyagramı olan WRC-1992'ye dahil edilmiştir (Şekil 3.9.).

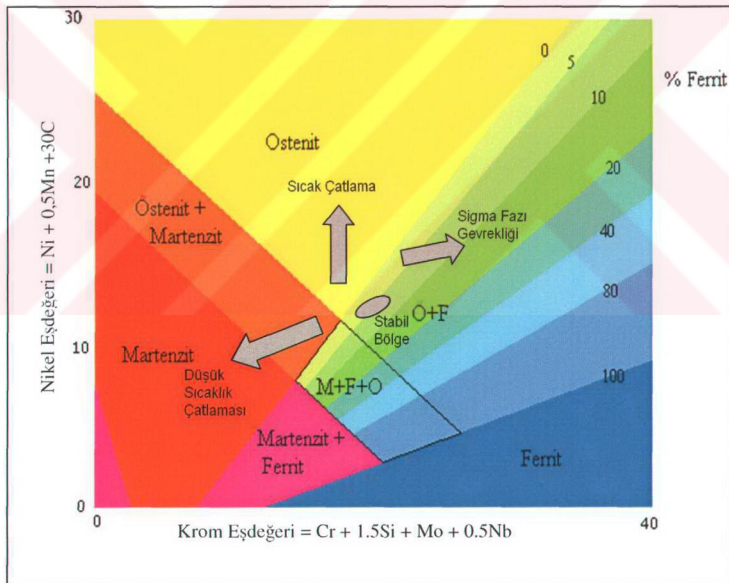
Çoğu kaynak metali için ferrit içeriğinin tahmininde WRC-1992 Diyagramı doğru tamlıkta olsa da, Schaeffler Diyagramı hala büyük yararlar sağlamaktadır. WRC-1992 Diyagramı mangani içermez. Mangan, ferritten ostenite yüksek sıcaklıklarda dönüşümünde hiçbir etkiye sahip değildir. Bu yüzden WRC-1992 Diyagramı'nın nikel eşdeğerinde yer almaz. Buna rağmen ileri soğutma sırasında düşük sıcaklıklarda ostenitten martenzite dönüşümde önemli etkiye sahiptir. Osteniti düşük sıcaklıklarda stabilize etme eğilimindedir. Mangan etkisi olmadan, WRC-1992 Diyagramı'nda martenzit fazı için bir sınır koymak mümkün değildir [4].



Şekil 3.9 : Katılaşma Modu Sınırlarını da İçeren WRC-1992 Diyagramı

3.4.2 Kaynak bölgesinin bulunduğu bölgeye göre özelliklerinin saptanması

- a) Ostenit: Sıcaklık ve korozyona karşı dayanıklıdır. Sıcak çatlak oluşma riski vardır.
- b) Ostenit + % 5-10 Ferrit: Korozyon dayanımı yüksektir. Çatlamaya karşı hassas değildir.
- c) Ostenit + % 15-30 Ferrit: Korozyon dayanımı orta seviyededir. Yüksek sıcaklıklarda ise çatlamaya karşı hassas bir yapı oluşmaya başlar.
- d) Ferrit: Yüksek sıcaklıklarda tane büyümesi riski vardır.
- e) Ostenit + Martenzit: Çatlama riski vardır. Öntav uygulanması önerilir.
- f) Ostenit + Martenzit + Ferrit: Çatlama riski vardır. Öntav uygulanması önerilir.
- g) Martenzit + Ferrit: Çatlama riski vardır. Öntav uygulanması önerilir.
- f) Martenzit: Çatlama riski yüksektir. Kırılgan yapıya sahiptir [1].



Şekil 3.10 : Schaeffler Diyagramı'nda Malzemeye Karşılık Gelen Bölgeye Göre Maruz Kalabilecek Problemler

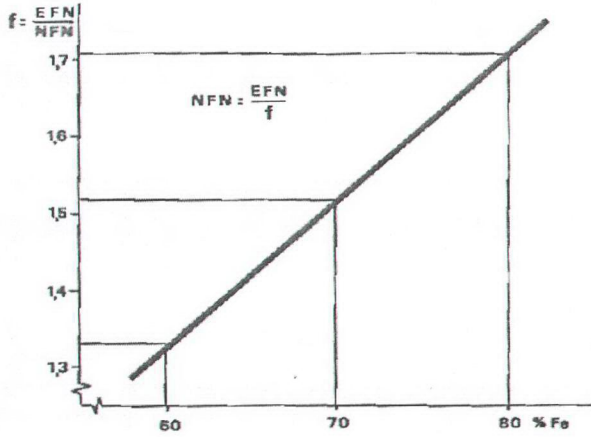
Saptanmış olan yapı tek ostenit olursa, sıcak çatlama kolaylıkla oluşur. Martenzit oluşumuyla seyrilme daha fazla artarken düşük sıcaklıkta çatlama da artmaktadır. Eğer ferrit içeriği aşırı artarsa kaynak sonrası ısıtılma işlemi veya yüksek sıcaklıkta kullanım sırasındaki ısıtılma, ferrit fazından yüksek kırılganlığa sahip sigma fazı oluşuma neden olabilir. Bu yüzden artan işletme sıcaklıklarında kullanılan kaynaklar için ferrit içeriği mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Şekil 3.10'daki Schaeffler diyagramı kaynak metali bileşimi ve yapısıyla, bu yapıya karşılık gelen problemlerin ilişkisini göstermektedir [10].

3.4.3 Kaynak metalindeki ferritin ölçülmesi

Kaynak metali ferrit içeriği önemli olarak hem kaynaklanabilirliği hem de ostenitik paslanmaz çeliklerin çalışma performansını etkiler. Kaynak metali ferrit içeriği WRC-1992 gibi yapı diyagramları kullanarak ya da ferrit fazının ferromanyetiklik özelliği avantajını kullanıp aletlerle ölçülmesiyle tahmin edilebilir.

Ferrit Numarası (FN), ferrit içeriğinin sayısal ölçümünü standartlaştırılmış manyetik teknikler kullanarak ölçümüyle ortaya çıkmıştır. FN yaklaşımı, farklı laboratuvarlarda farklı tekniklerle ölçülmüş deney parçasındaki ferrit seviyelerinin geniş varyasyonunu düşürmek için geliştirilmiştir. FN, 8 FN altındaki seviyelerde hacimsel yüzde ferrite yaklaşıp. Bu seviyenin üstünde sapma oluşarak, FN değeri gerçek hacimsel yüzde ferriti aşar. Örneğin 16 FN kaynak metali, hacimce % 13,8 ferrit içerir. [12] Ferrit içeriğinin tam değeri saptanamasa bile ferrit içeriğinin belli bir değeri Ferrit Numarası'nı "f" olarak simgelenen ve kaynak metalindeki demir içeriğine bağlı bir faktöre bölerek bulabiliriz (Şekil 3.11).

Belli sayıda ticari alet kaynağın ferrit içeriğini saptamak için uygundur. Bunlar Magne ve Severn ölçümü ve ferriteskoptur (Şekil 3.12). Ferriteskop elektron ışın kaynağı gibi küçük kesitli kaynakların ferrit ölçümünde yararlıdır. Manyetik ölçüm teknikleri için kalibrasyon prosedürleri AWS A 4.2'de tavsiye edilmiştir. Bu prosedürler Standartlar ve Teknoloji Ulusal Enstitüsü'nün (NIST) kalınlık standartlarını ya da gerçek kaynak metalinin onaylanmış kaynak metali ferrit seviyelerini kullanır.

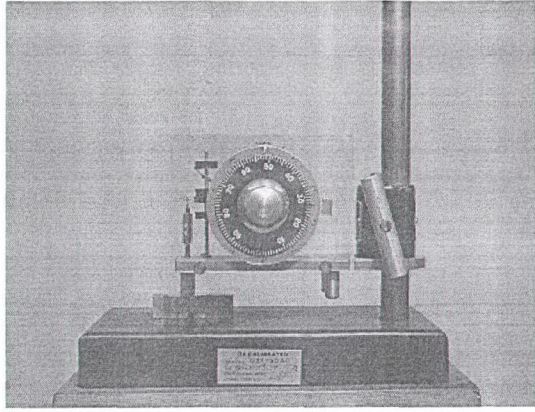


Şekil 3.11 : Demir İçeriği İle f Faktörü Arasındaki İlişki

Buna rağmen ostenitik paslanmaz çeliğin kaynak metalinin tam ferrit içeriğini saptamak imkansızdır. Ferrit varyasyonları ferrit bileşimlerine bağlıdır. Ferritin manyetik ilgisi kimyasal bileşimle önemli ölçüde değişebilir. Şöyle ki, aynı hacimsel yüzde ferrit için, farklı dolgu metalleri kullanarak yapılmış kaynaklardaki manyetik aletlerle ölçülmüş FN farklılık gösterebilir.

Ferrit içeriğini saptamada kullanılan uluslararası standartlaştırılmış metot, manyetik kuvvet ve kaynak ferrit içeriği arasındaki ilişki ile açıklanır. Tanımlanmış mıknatıs ile delta ferrit içeren kaynak metalindeki çekme kuvveti, bükülme dengesinin ölçülmesiyle saptanır. Değerler aynı mıknatısı kullanarak ölçülmüş değerlerle, manyetik olmayan belli kalınlıktaki bakır kaplamalı karbon çeliği ana metalini çekmesiyle kıyaslanır.

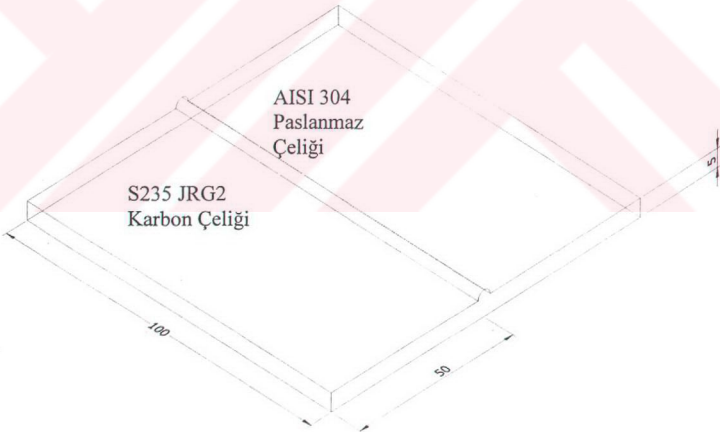
Ölçülen ve tahmin edilen kaynak metalinin ferrit içeriği arasındaki uyuşma büyük oranda kimyasal analizin tamlığına bağlıdır. Yapılan kimyasal analiz sonuçlarının değişimi, laboratuardan laboratuara özellikle bu varyasyonlar eğer karbon veya azot saptanırken oluşuyorsa tahmin edilen ferrit seviyesinde önemli etkilere sahiptir. [18]



Şekil 3.12 : Magne Ölçüm Cihazı

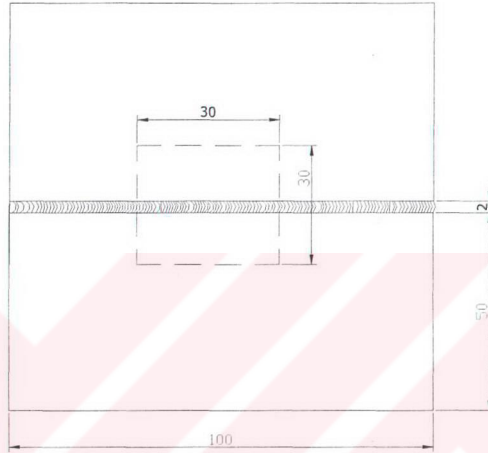
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada 304 kalite ostenitik paslanmaz çelik ve St 37-2 (S235 JRG2) (Erdemir 3237) kalite düşük karbonlu çelik birbirine 5 farklı bileşimde elektrodla elektrik ark kaynağı ile kaynak edilmiş ve mevcut yöntem ile içyapı tahmini yapılmıştır. Kaynak için 5 mm kalınlığında ve 50 mm'e 100 mm ölçülerinde numuneler alınıp kaynak ağzı açılmadan aşağıdaki şekilde alın kaynağı yapılmıştır (Şekil 4.1). Kaynak ağzı açılmamasının sebebi elektrod ve malzemeden gelen seyrelme miktarının kolaylıkla bulunabilmesidir. İki parça arasında 2 mm'lik boşluk bırakılmıştır. Malzemelerin kaynak işlemleri Gedik Kaynak Sanayi ve Ticaret A.Ş.'de yapılmıştır. Elektrod olarak Böhler ürünleri kullanılmıştır. Kullanılan elektrodlar rutil örtülü 3,25 mm çapında, 350 mm boyundadır ve kaynak için gerekli akım şiddeti elektrodlar için kataloglarda önerilen şekilde 80-120 Amper arasında değiştirilmiştir.



Şekil 4.1 : Birbirine Kaynak Edilen Parçaların Boyutları ve Bağlantı Dizayını

Daha sonra kaynak edilmiş parçalardan Şekil 4.2.'deki gibi gösterilmiş 30 mm-30 mm ölçülerinde mikroyapı numuneleri hazırlanmış ve bu numuneler kalıba alınmıştır. Bu işlemin ardından SiC su zımparasında 220, 400, 600 ve 1200'lük zımparalarla zımparalanmış ve çuha üzerinde 1 µm'lik alümina içeren katı-sıvı karışımıyla parlatma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.2 : Kaynaklı Parçalardan Çıkarılan Numune Boyutları

Ana malzemelerin ve elektrodların kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri aşağıdaki Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'te verilmiştir. Kullanılan paslanmaz çelik türünün standartlarının karşılık Tablo 4.1'de yer almaktadır.

Tablo 4.1 : Kullanılan Paslanmaz Çelik Türünün Standartlarının Karşılık Tablosu

ASTM	EN mal.no.	EN sembol	UNS	BS	JIS	NF	SIS
304	1.4301	X 12 CrNi18-10	S30400	304 S31	SUS 304	Z 7 CN 18-09	2332/33

Erdemir 3237 çeliği ise inşaat makineleri imalatı, iş makineleri imalatı, genel konstrüksiyon levhaları, muhtelif makine parçası imalatı, kara ve demiryolu araçları imalatı için genel yapı çeliklerinin imalatında kullanılır. Bu çeliğin standart karşılığı DIN EN 10025-94 kalite olarak ise S235 JRG2'dir.

Tablo 4.2 : Deneylerde Kullanılan Ana Malzemelerin Kimyasal Bileşimleri ve Mekanik Özellikleri

Ana Malzeme	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%N	Rp _{0,2} (MPa) (Akma)	Rm (MPa) (Çekme)	% Uzama
304	0,05	0,46	1,79	0,032	0,001	18,1	8,1	0,050	288	622	55
St 37-2	0,17		1,40	0,045	0,045			0,009	235	360-510	24

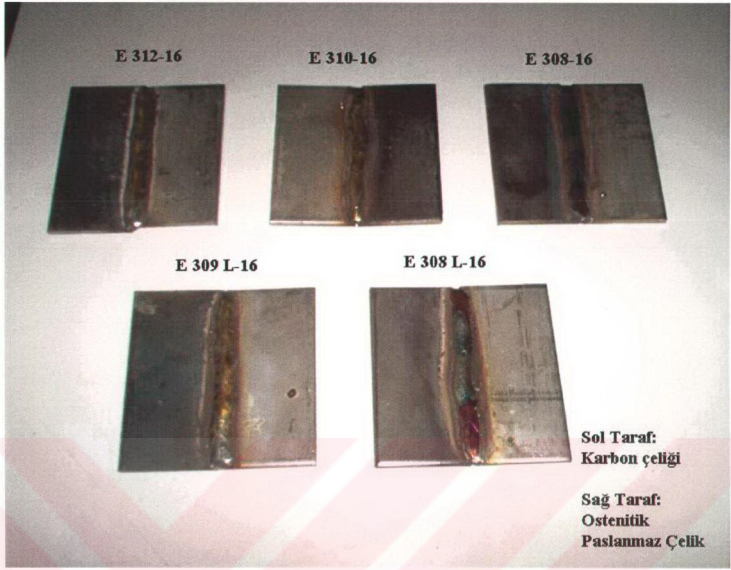
Tablo 4.3 : Deneylerde Kullanılan Paslanmaz Elektrodların Kimyasal Bileşimleri ve Mekanik Özellikleri [19]

Elektrod Malzemeleri	%C	%Si	%Mn	%Cr	%Ni	Rp _{0,2} (MPa) (Akma)	Rm (MPa) (Çekme)	% Uzama
1) E 308-16	0,07	1,0	1,0	18,0	9,0	410	670-710	30
2) E 308 L-16	0,03	0,8	0,8	19,8	10,2	350	520-660	35
3) E 309 L-16	0,02	0,7	0,7	22,7	12,5	440	550-700	30
4) E 310-16	0,14	0,7	2,5	26,0	20,5	350	540-690	30
5) E 312-16	0,11	0,8	0,7	29,0	10,7	490	690-830	20

Parça malzemelerinin işlem öncesinde kaynak özelliklerinin bilinmesinde fayda vardır. Çünkü karbon çeliği ve paslanmaz çelik arasında fiziksel özellikler bakımından Tablo 4.4'te de görüldüğü gibi farklılıklar mevcuttur.

Tablo 4.4 : 304 Kalite Paslanmaz Çelik İle Düşük Karbonlu Çeliğinin Kaynak Karakteristiklerinin Karşılaştırılması

Karbon Çeliği		304	Görüş
Erime Noktası (°C)	1537	1398-1454	304 erime için daha az ısıya ihtiyaç duyar. Bu da aynı ısı için daha hızlı kaynak veya aynı hız için daha az ısı girdisi demektir.
Elektriksel Direnç 20°C'de (mikroohm-cm)	12,5	72	304'teki daha yüksek elektriksel direnç aynı akım için daha fazla ısı oluşumuna veya düşük akımlarda aynı ısıyı oluşturmaya neden olur.
Isıl İletkenlik 100 °C'de	%100	%28	304 ısıyı karbon çeliğinden daha yavaş iletir bu da keskin ısı gradyanlarına neden olur. Bu yüksek genleşme oranlarında çarpılmayı hızlandırır.
Her °F'daki genleşme katsayısı (m)	0,0000065	0,0000098	304 karbon çeliğinden daha hızlı genişler ve büzülür. Bu da artan genleşme ve büzülmenin çarpılmanın ve termal gerilmenin kontrolüyle izin verilmesini mümkün kılar.



Şekil 4.3 : Birbirine 5 Farklı Elektrodla Kaynak Edilmiş Düşük Karbonlu Çelik ve Paslanmaz Çelik Çiftleri

Schaeffler Diyagramı'nca malzeme bileşimine bağlı kalınarak hesaplanan krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki gibidir. Bu işlemler hem ana malzemeler için hem de elektrod malzemeleri için ayrı olarak yapılmıştır.

Ana Malzemeler:

304 çeliği için; $Cr_{eq} = 18,1 + 1,5 \times 0,46 = 18,79$
 $Ni_{eq} = 8,1 + 0,5 \times 1,79 + 30 \times 0,05 = 10,49$
 Karbon çeliği için; $Cr_{eq} = 0$
 $Ni_{eq} = 0,5 \times 1,4 + 30 \times 0,17 = 5,8$

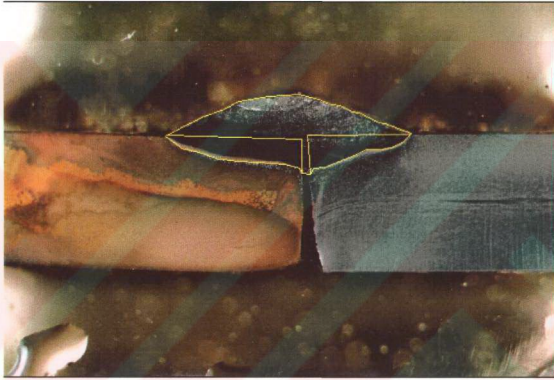
Elektrodlar:

E 308-16 elektrodu için; $Cr_{eq} = 18 + 1,5 \times 1 = 19,5$
 $Ni_{eq} = 9 + 0,5 \times 1 + 30 \times 0,07 = 11,6$
 E 308L-16 elektrodu için; $Cr_{eq} = 19,8 + 1,5 \times 0,8 = 21$
 $Ni_{eq} = 10,2 + 0,5 \times 0,8 + 30 \times 0,03 = 11,5$
 E 309L-16 elektrodu için; $Cr_{eq} = 22,7 + 1,5 \times 0,7 = 23,75$
 $Ni_{eq} = 12,5 + 0,5 \times 0,7 + 30 \times 0,02 = 13,45$

E 310-16 elektrodu için; $Cr_{eş}: 26 + 1,5 \times 0,7 = 27,05$
 $Ni_{eş}: 20,5 + 0,5 \times 2,5 + 30 \times 0,14 = 25,95$

E 312-16 elektrodu için; $Cr_{eş}: 29 + 1,5 \times 0,8 = 30,2$
 $Ni_{eş}: 10,7 + 0,5 \times 0,7 + 30 \times 0,11 = 14,35$

Malzemelerin $Cr_{eş}$ ve $Ni_{eş}$ değerleri hesaplandıktan sonra ana malzemelerden ve kaynak elektrodundan gelecek seyrelme miktarları hesaplanmıştır. Bunun için kaynak kesitinden alınmış makroskobik fotoğraflar beş kat büyütmeyle çekilmiştir. Kaynak metali bölgesi ve ana metallerden seyrelme bölgeleri çizilmiş ve alanları AutoCAD programı ile hesaplanmıştır. Aşağıda şekillerde tüm numunelerin belirlenmiş kaynak metali bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : E 308-16 Elektrodu İle Yapılmış Kaynağın Makroyapısı

E 308-16 elektrodu ile yapılan kaynak bölgesindeki alan hesabı sonuçları:

Kaynak bölgesi toplam alanı: $1636,5 \text{ mm}^2$

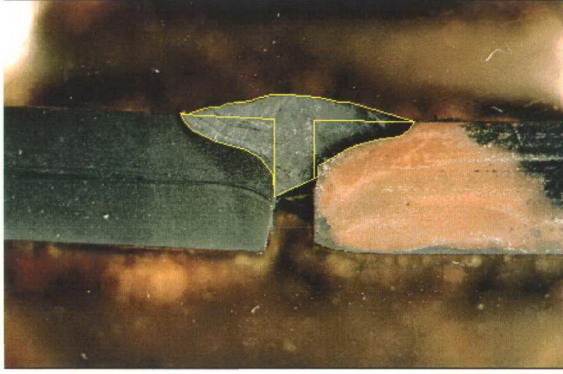
Paslanmaz çelik ana metalinden gelen seyrelme alanı: $288,73 \text{ mm}^2$

Karbon çeliği ana metalinden gelen seyrelme alanı: $396,60 \text{ mm}^2$

Toplam % Seyrelme:

Ana metallerden: % 42

Elektrodtan: %58



Şekil 4.5 : E 308 L-16 Elektrodu İle Yapılmış Kaynağın Makroyapısı

E 308 L-16 elektrodu ile yapılan kaynak bölgesindeki alan hesabı sonuçları:

Kaynak bölgesi toplam alanı: 729 mm²

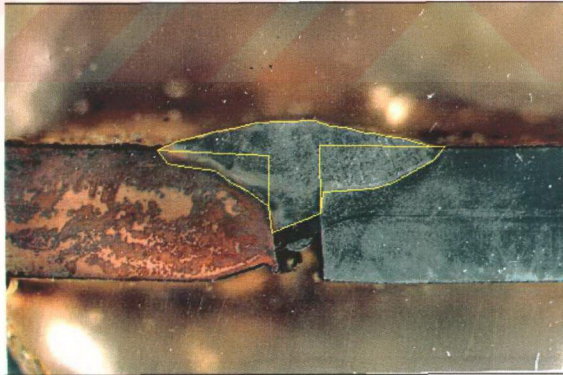
Paslanmaz çelik ana metalinden gelen seyrelme alanı: 174,44 mm²

Karbon çeliği ana metalinden gelen seyrelme alanı: 162,22 mm²

Toplam % Seyrelme:

Ana metallerden: % 46

Elektrodtan: % 54



Şekil 4.6 : E 309 L-16 Elektrodu İle Yapılmış Kaynağın Makroyapısı

E 309 L-16 elektrodu ile yapılan kaynak bölgesindeki alan hesabı sonuçları:

Kaynak bölgesi toplam alanı: 1447 mm²

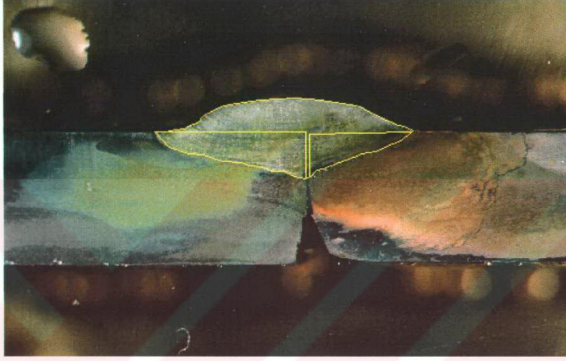
Paslanmaz çelik ana metalinden gelen seyrelme alanı: 391,63 mm²

Karbon çeliği ana metalinden gelen seyrelme alanı: 246,32 mm²

Toplam % Seyrelme:

Ana metallerden: % 44

Elektrodtan: % 56



Şekil 4.7 : E 310-16 Elektrodu İle Yapılmış Kaynağın Makroyapısı

E 310-16 elektrodu ile yapılan kaynak bölgesindeki alan hesabı sonuçları:

Kaynak bölgesi toplam alanı: 784,86 mm²

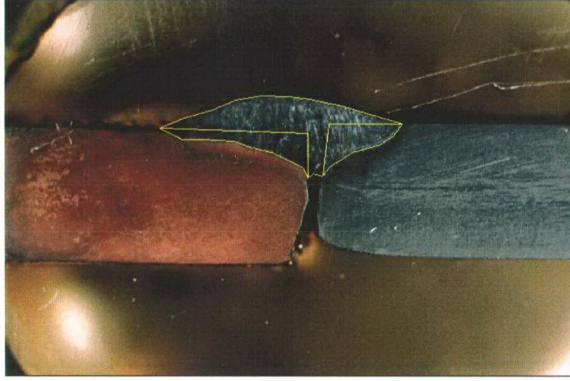
Paslanmaz çelik ana metalden gelen seyrelme alanı: 276,20 mm²

Karbon çeliği ana metalinden gelen seyrelme alanı: 143,15 mm²

Toplam % Seyrelme:

Ana metallerden: % 53

Elektroddan: % 47



Şekil 4.8 : E 312-16 Elektrodu İle Yapılmış Kaynağın Makroyapısı

E 312-16 elektrodu ile yapılan kaynak bölgesindeki alan hesabı sonuçları:

Kaynak bölgesi toplam alanı: $1046,50 \text{ mm}^2$

Paslanmaz çelik ana metalden gelen seyrelme alanı: $199,75 \text{ mm}^2$

Karbon çeliği ana metalinden gelen seyrelme alanı: $239,73 \text{ mm}^2$

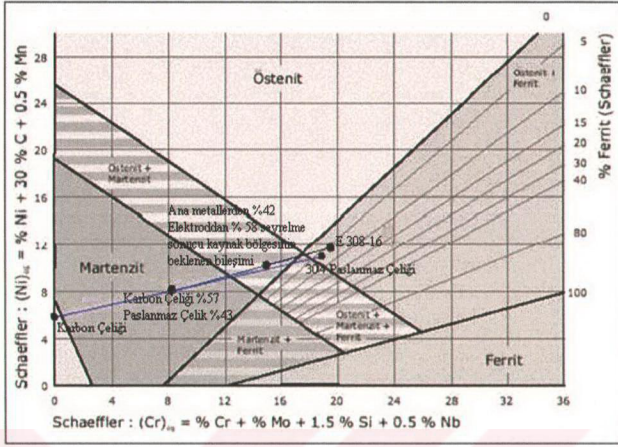
Toplam % Seyrelme:

Ana metallerden: % 42

Elektroddan: % 58

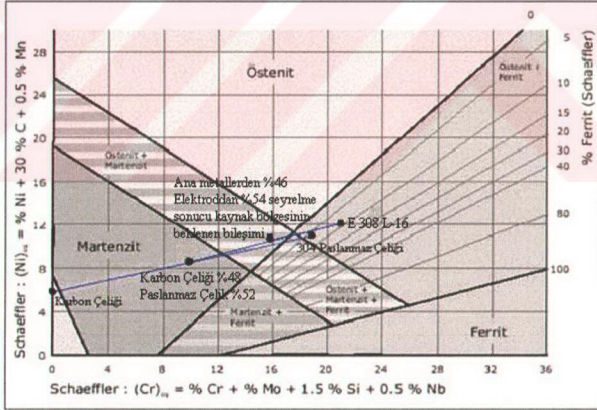
Bir sonraki aşamada ana malzemelere ait bulunan eşdeğer noktaları Schaeffler Diyagramı'nda işaretlendikten sonra bu malzemelere ait noktalar bir doğru ile birleştirilir. Bu doğrunun orta noktası eğer bu parçalar herhangi bir kaynak elektrodu kullanmadan % 50 - % 50 oranında birleştirilseydi oluşacak kaynak metalini temsil eder. Alan hesabından görülmüştür ki her iki ana metal de kendi arasında farklı oranlarda kaynak metaline karışmıştır. Bu oran farkı kendini ana metal ve elektrodlar arasındaki seyrelmede de göstermektedir. Kaynak kullandığımız 5 farklı elektrodan biriyle yapılmıştır ve kaynak metalinin bileşimi seyrelme derecesine bağlı olarak ana metal doğrusunda belirlenen nokta ile elektrod bileşimine ait noktanın birleştirilmesiyle oluşturulan çizgi üzerinde olacaktır.

Aşağıda şekillerde kaynak metalinin bileşiminin saptanması tüm elektrod bileşimleri için ayrı olarak gösterilmiştir.



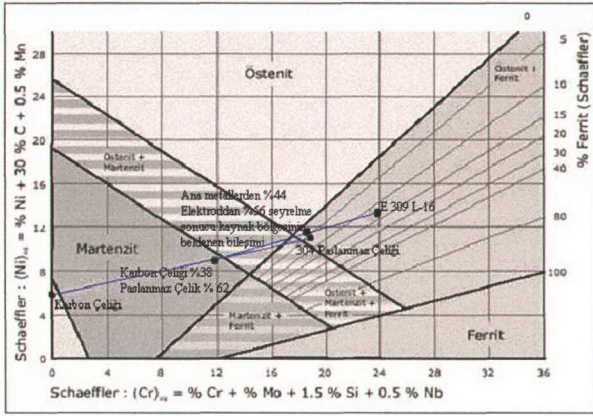
Şekil 4.9 : E 308-16 Elektrodu İçin Kaynak Bölgesinin Beklenen Bileşimi

Şekil 4.10'da E 308-16 paslanmaz elektrodu ile kaynaklanan parçaların kaynak metali ostenit + martenzit bölgesine denk düştüğü görülmektedir.



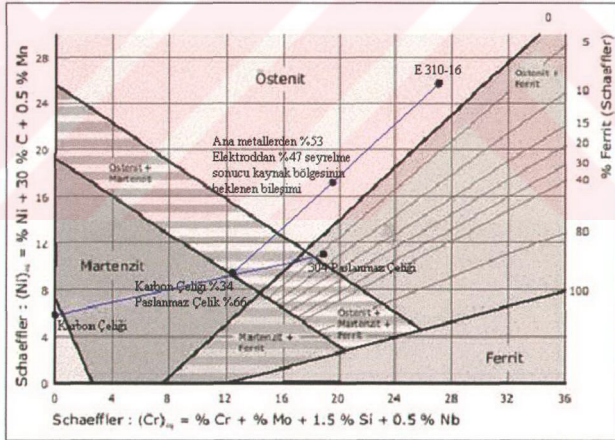
Şekil 4.10 : E 308 L-16 Elektrodu İçin Kaynak Bölgesinin Beklenen Bileşimi

Şekil 4.11'de E 308 L-16 paslanmaz elektrodu ile kaynaklanan parçaların kaynak metali ostenit + martenzit bölgesine denk düştüğü görülmektedir.



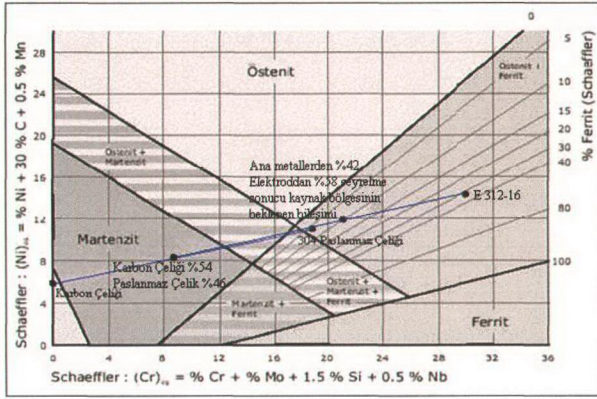
Şekil 4.11 : E 309 L-16 Elektrodu İçin Kaynak Bölgesinin Beklenen Bileşimi

Şekil 4.12'de E 309 L-16 paslanmaz elektrodu ile kaynaklanan parçaların kaynak metal % 4 ferrit içeren ostenit + ferrit bölgesine denk düştüğü görülmektedir.



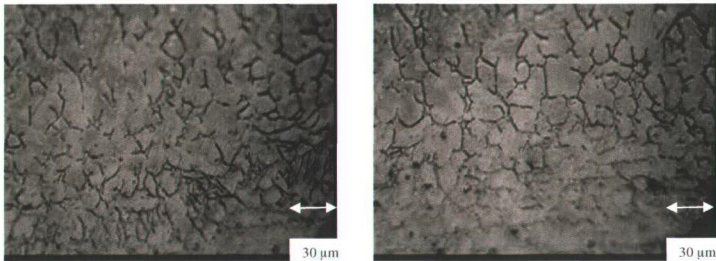
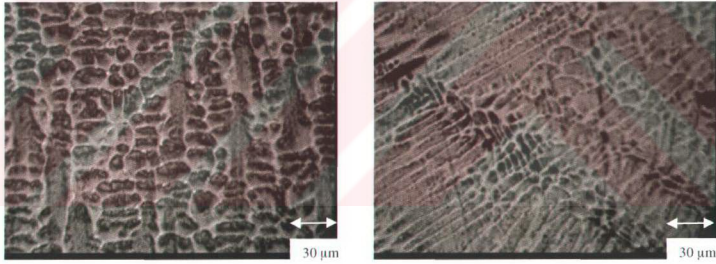
Şekil 4.12 : E 310-16 Elektrodu İçin Kaynak Bölgesinin Beklenen Bileşimi

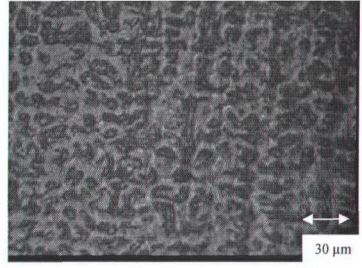
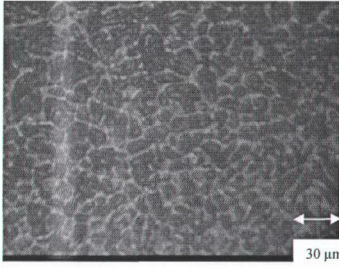
Şekil 4.13'te E 310-16 paslanmaz elektrodu ile kaynaklanan parçaların kaynak metal % 4 ferrit içeren ostenit + ferrit bölgesine denk düştüğü görülmektedir.



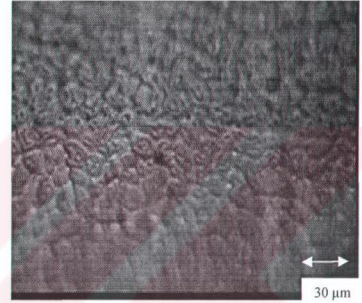
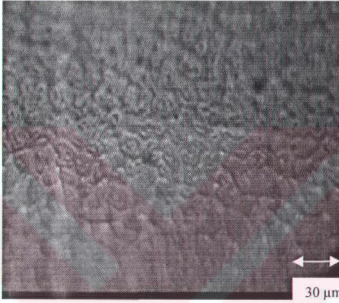
Şekil 4.14'te E 312-16 paslanmaz elektrodu ile kaynaklanan parçaların kaynak metali % 10 ferrit içeren östent + ferrit bölgesine denk düştüğü görülmektedir.

Malzemelerin mikroyapı incelemesi sonucu aşağıdaki fotoğraflar elde edilmiştir.

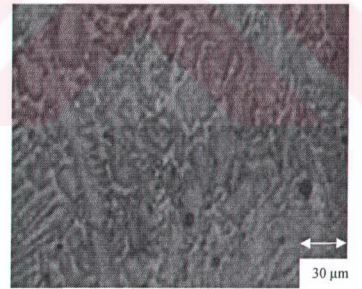
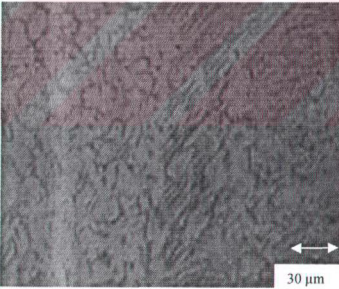




Şekil 4.16 : E 309 L-16 Elektrodu İle Yapılan Kaynak Metali Mikroyapısı



Şekil 4.17 : E 310-16 Elektrodu İle Yapılan Kaynak Metali Mikroyapısı



Şekil 4.18 : E 312-16 Elektrodu İle Yapılan Kaynak Metali Mikroyapısı

Numunelerin mikroyapı incelemeleri için ayaçlar hazırlanmıştır. Karbon çeliği için hazırlanan ayaç paslanmaz çelik için hazırlanan ayaçtan farklıdır. Çünkü deneyimler göstermiştir ki paslanmaz çelik ayaç karbon çeliğinde denendiğinde yüzeyi yakmaktadır. Bunun için karbon çeliği tarafına Nital II (% 98 etil alkol ve % 2 HNO₃ oranında oluşturulmuş karışım), paslanmaz çelik tarafına ise 4 gr CuSO₄, 20

ml HCl ve 20 ml H₂O'dan oluşan karışım lokal olarak uygulanarak iki tarafa da sürülen karışımın diğer bölgeyi etkilememesi sağlanmıştır.

5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

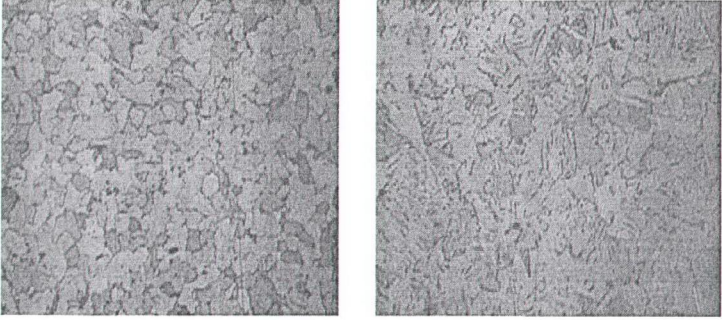
Bu sonuçlara göre yapılacak olan yorumlarda eğer tamamen ostenitik yapıda kaynak gereken bir durum mevcutsa, örneğin kaynağın non-manyetik olması gereken bir durum ya da korozif ortamlar söz konusu ise E 310-16 paslanmaz elektrodu uygundur. Ancak bu durumda çatlama eğilimi artacaktır.

Gerek E 308-16 gerekse E 308 L-16 paslanmaz elektrodu ile yapılan kaynaklarda kaynak metalinin martenzit içereceğinin görülmesi bu iç yapının kırılgan ve gevrek olacağını göstermiştir ki bu da çatlama riskinin varlığına işaretir.

E 309 L-16 ve E 312-16 elektrodları ile yapılacak kaynak metalinin bulunacağı bölge ostenit ve delta ferriti içerir ve bu sıcak çatlamaı engeller. E 309 L-16 ile yapılmış kaynak bölgesi % 4'lük ferrit içeriğine, E 312-16 ile yapılmış kaynak bölgesi % 10'luk ferrit içeriğine sahiptir. Ferrit fazının çatlama tehlikesine karşı bu kadar dirençli olmasının nedeni mikroyapısındaki çatalı yapıdır. Bu çatalı yapı, çatlakların oluşumuna karşı direnci artırmaktadır. Ancak bunun yanında ostenitik paslanmaz çeliklerde ferrit sigma fazı oluşumu açısından tehlikelidir. Çünkü sigma fazı malzemenin süneklik ve tokluğunda azalmaya neden olmaktadır. Burada hedef, sigma fazına dönüşme ihtimali olan ferritlerin yapı içerisinde bir ağ oluşturmayacak kadar az olması ve malzeme içerisinde homojen bir şekilde dağılmış olması olmalıdır. Yapılan çalışmalarda ferrit içeriğinin 3-8 FN aralığında olması gerektiği ve bu durumda yapı içerisinde bir ağ oluşmadığı sonucuna varılmıştır. Bu bilgiler ışığında E 309 L-16 elektrodu % 4'lük ferrit içeriği ile kullanılabilir en ideal elektrodur. E 312-16 elektrodu ise çatlamaı oldukça dirençli yapısıyla göze çarpar.

Ferritik çeliklerde malzemeye nüfuz eden yüksek sıcaklıklarda kaynakta ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak diğışinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesi bu malzemelerin kaynaklanabilirliğini düşürmektedir.. Tane büyümesini en aza indirmek için kaynak diğışindeki ısı girdisi mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır.

Bu durum tüm elektrodlar için yapılmış kaynaklarda görülmüştür. E 308 L-16 elektrodu ile yapılmış kaynakta gözlemlenmiş tane büyümesi Şekil 5.1'deki karbon çeliği içyapısında görülmektedir.



Şekil 5.1 : Ferritik Karbon Çeliğinde Kaynağa Yakın Bölgeye Yaklaştıkça Gözlenen Tane Büyümesi

KAYNAKLAR

- [1] **Odabaş C.**, 2004. Paslanmaz Çelikler; Temel Özellikleri, Kullanım Alanları, Kaynak Yöntemleri, Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., 2.Baskı, İstanbul.
- [2] **Aran, A. ve Temel, M.A.**, 2004. Paslanmaz Çelik Yassı Mamuller; Üretimi, Kullanımı, Standartları, Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. Teknik Yayın No:1, İstanbul.
- [3] **NIDI (Nickel Development Institute)**, 2002. Welding of Stainless Steels and Other Joining Methods, A Designer's Handbook Series No:9.
- [4] **ASM Handbook**, 1993. Welding, Brazing and Soldering, Volume 6.
- [5] **Anık S., Anık E. S., Vural M.**, 2000. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [6] **Leffler B.**, Stainless Steel and Their Properties.
- [7] **Kahraman N., Gülenç B. ve Akça H.**, 2002. Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilen Ostenitik Paslanmaz Çelik ile Düşük Karbonlu Çeliğin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, **17 (2)**, 75-85.
- [8] **Shankar V., Gill T. P. S., Mannan S. L. and Sunderasan S.**, 2003. Solidification Cracking In Austenitic Stainless Steel Welds, *Sadhana*, **28**, Parts 3 & 4, 359-382.
- [9] **Avery R.E.**, NIDI (Nickel Development Institute), Pay Attention to Dissimilar Metal Welds/Guidelines for Welding Dissimilar Metals, No:14.
- [10] **Maruyama T.**, 2003. Arc Welding Technology For Dissimilar Joints, *Welding International*, **17 (4)**, 276-281.
- [11] **Missori S. and Koerber C.**, 1997. Laser Beam Welding of Austenitic-Ferritic Transition Joints, *Welding Journal*, **76**, 125-133.
- [12] **Celik A. and Alsaran A.**, 1999. Mechanical and Structural Properties of Similar and Dissimilar Metal Joints, *Materials Characterization*, **43**, 311-318.
- [13] **Askaynak Kobatek**, 1998. Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ürün Kataloğu, 2.Baskı.

- [14] **Awesta Polarit Stainless**, Stainless Steel-Their Properties and Their Suitability For Welding.
- [15] **Klueh R.L. and King J.F.**, 1982. Austenitic Stainless Steel-Ferritic Steel Weld Joint Failures, *Welding Journal*, **61**, 302-311.
- [16] **Henry O.H. and Claussens G.E.**, 1953. Welding Metallurgy/Iron and Steel, 445-447.
- [17] **Department of the Army**, 1985. Welding Design, Procedures and Inspection, Technical Manual No: 5-805-7, Washington DC.
- [18] **Lincoln Electric**, Ferrit in Weld Metal, Schaeffler Diagram, WRC-1992 Constitution Diagram, 50-53
- [19] **Böhler**, Gedik Kaynak Sanayi ve Ticaret A.Ş., Ürün Kataloğu, 2. Baskı.
- [20] **J. W. Harris Co. References**, Brazing, Soldering and Welding Products, Filler Metal Selector Guide.

EKLER

EK A

Tablo A.1 : Farklı Metallerin Kaynağında Dolgu Metali Seçim Kılavuzu [20]

AISI Paslanmaz Çeliği No	442 446	430F 430 FSE	430 431	501 502	416 416 SE	403 405 410 420 414	321 348 347	317	316L	316 316	314	310 310S	309 309S	304L	303 303 SE	201 202 301 302 302B 304 305 308	Karbon Çeliği
201-202-301 302-302B-304 305-308	310 312 309	310 312 309	310 312 309	310 312 309	309 310 312	309 310 312	308	308	308	309 316	308	308	308	308	308	308	312 310 309
304L	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	308	308-L	308	308	308	308	308-L	308	308	312 310 309
309 309S	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	316 309	316	316	309	309	308	308	308	308	309 310 312
310 310S	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 316 309	317 316 309	316	316	310	310	309 310	309	309	309	310 309 312
314	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309 312	309 310 308	309 310	309 310	309 310	310- 15	310	309 310	309 310	309 310	309 310	310 309 312
316	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	316	316	316	309 316	310 316	309 310 316	309 316	309 316	309 316	309 310 312
316L	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	316 317 308	316L	316	310 316	309 316	316 309	308 316	308 316	308 316	308 310 312
317	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	308	317	316 308	309 308	317 317	317 309	317 309	308 317	308 317	308 317	309 310 312
321 348 347	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	309 310 312	347 308 347	308 347	347 308	347 308	309 310 347	347 308	347 308	347 308 -L	347 308	347 308	309 310 312
403-405 410-420 414	310 309 312	310 309 312	310 309 312	310 309 312	309 310 312	410† 309†† 310††	309 310 310	309 310 310	309 310 310	309 310 310	310 310 310	310 309	309 310 309	309 310 310	309 310 310	309 310 310	309 310 312
416 416SE	310 309	310 309	310 309	310 309	410 309†† 310††	410† 309†† 310††	309 310 312	309 310 312	309 310 312	309 310 312	310 310 312	310 309	309 310 312	309 310 312	309 310 312	309 310 312	309 310 312
501 502	310	310	310	502 310	310	310	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309
430 431	310 309	310 309	430 310 309	310	310	310	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309	310 309 312

† Önsütme gerekli

†† Önsütmeye gerek yok

İlk belirtilenler birinci tercihleri, sonraki belirtilenler ikinci ve üçüncü tercihleri göstermektedir. Seçim farklı uygulamalar ve iş tercihleri için değişiklik gösterebilir.



ÖZGEÇMİŞ

23 Mart 1981'de Kdz. Ereğli'de doğan Mert Uğur ilk, orta ve lise eğitimini Kdz.Ereğli'de tamamladı. 1999 yılında Kdz. Ereğli Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde eğitime başladı. 2003 yılında da bu bölümden mezun olup İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Malzeme ve İmalat lisansüstü programına girmeye hak kazandı. Halen bu yüksek lisans programında öğrenimine devam etmektedir.