

766557

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA
OLUŞAN ÇARPILMALAR VE AZALTMA YÖNTEMLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak. Müh. Onur ARSLAN
(503031317)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 10 Haziran 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Haziran 2005**

Tez Danışmanı :

Prof.Dr. H. Oktay BODUR

Diğer Jüri Üyeleri

Prof.Dr. Tahsin KUT (İ.T.Ü.)

Prof.Dr. Adnan DİKİCİOĞLU (İ.T.Ü.)

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Hayatın her alanında kullanılan paslanmaz çeliklerle ve yine her alanda kullanılan kaynaklı birleştirme yöntemleriyle daha yakından tanışma imkanı bulduğum bu tez çalışmasını hazırlamamda bana yardımcı olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. H. Oktay BODUR'a, İstanbul Tersanesi'nde araştırma yapmama imkan sağlayan sayın Üsteğmen Murat YILMAZ'a ve İstanbul Tersanesi yetkililerine, bilgilerini benimle paylaşmaktan esirgemeyen Sayın Mak. Müh. Özgür Cihan Berk'e ve son olarak odamda kitaplarımın dağınık olarak durmasına izin veren anneme sonsuz teşekkürler ederim.

Mayıs 2005

Onur Arslan



İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
2. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER	2
2.1. Östenitik Paslanmaz Çeliklere Eklenen Alaşım Elementleri ve Bu Alaşım Elementlerinin Özellikleri	2
2.1.1. Karbon	3
2.1.2. Krom	4
2.1.3. Nikel	4
2.1.4. Manganez	4
2.1.5. Molibden	4
2.1.6. Azot	4
2.1.7. Niyobyum ve titanyum	4
2.1.8. Fosfor	5
2.1.9. Kükürt	6
2.2. Süperöstenitik Paslanmaz Çelikler	6
2.3. Mekanik Özellikler	7
2.4. Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	8
2.4.1. Genel kaynak karakteristikleri	9
2.4.2. Mikroyapısal gelişim	10
2.4.2.1. Katılma davranışı ve kaynak mikro yapısı	10
2.4.2.2. Ferrit numarasının ölçülmesi	12
2.4.3. Azot içeren paslanmaz çelikler	13
2.4.4. Kaynak hatalarının oluşumu	15
2.4.5. Sigma fazı gevrekleşmesi	17
2.5. Korozyon Davranışı	17
2.5.1. Karbür oluşumu ve taneler arası korozyon	17
2.5.2. Gerilmeli korozyon çatlaması	19
2.5.3. Çukurcuk ve çatlak korozyonu	19
2.6. Dolgu Metali Seçimi	20
2.7. Nüfuziyet Özelliği	22
3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ	23
3.1. Elle Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı	23

3.2. Koruyucu Gaz Kaynak Yöntemleri	23
3.2.1. Argon-ark kaynağı	24
3.2.2. Metal soygaz kaynağı	25
3.2.3. CO ₂ ile koruyucu gaz kaynağı	25
3.3. Kaynak Yönteminin ve Kaynak Parametrelerinin Seçimi	27
4. KAYNAKLI BAĞLANTILARDA OLUŞAN ÇARPILMALAR	29
4.1. Çarpılmaların Nedenleri	29
4.2. Çarpılmaların Ölçülmesi	31
4.3. Çarpılma Tipleri	33
4.4. Malzeme Özelliklerinin Artık Gerilmeler ve Çarpılmalar Üzerindeki Etkisi	34
4.5. Koruyucu Gaz Kaynak Yöntemlerinde Ark Oluşumu ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Isı Girişinin Azaltılması	36
4.6. Kaynak Ağzı Genişliğinin Çarpılmalara Etkisi	38
4.7. Gerilmelerin Dengelenmesi ve Kaynak Sırasının Önemi	39
4.8. Artık Gerilmelerin ve Çarpılmaların Kaynak Sonrası İşlemleriyle Giderilmesi	40
4.8.1. Mekanik düzeltme	40
4.8.2. Alevle düzeltme	41
4.9. Östenitik ve Süperöstenitik Paslanmaz Çeliklerin Gemi Gövdesi Yapımında Kullanımı	43
4.10. Gemi İmalatında Kullanılan Panellerde Oluşabilecek Olası Çarpılma Tipleri	45
4.11. Burkulma	45
4.11.1. Parçaların kısıtlanması	46
4.11.2. Baskı plakaları kullanımı	46
4.11.3. Termal gerilmelendirme yöntemi	49
4.12. Açısal Çarpılma	51
4.12.1. Ön gerilme yükleme	53
4.12.2. Çift taraflı ark kaynağı yöntemi	54
4.12.3. Koruyucu gaza azot eklenmesi ve delta ferrit fazının açısal çarpılmaya etkisi	55
5. SONUÇ	56
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ	59

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institue
Cr_{eş} ve Ni_{eş}	: Eşdeğer Krom ve Nikel sayıları
ÇKDN	: Çukurcuk Korozyonu Dayanımı Numarası
ÇİTAK	: Çift Taraflı Ark kaynağı
EN	: European Norms
FN	: Ferrit Numarası
GMAW	: Gas Metal Arc Welding
GTAW	: Gas Tungsten Arc Welding
GKÇ	: Gerilmeli Korozyon Çatlamaşı
ITAB	: Isıya Tabi Bölge
MAG	: Metal Active Gas
MIG	: Metal Inert Gas
MMA	: Manuel Metal Arc
UNS	: Unified Numbering System
TIG	: Tungsten Inert Gas

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	: Bazı östenitik paslanmaz çelikler ve yüzde bileşimleri.....	5
Tablo 2.2	: Süperöstenitik paslanmaz çeliklerde kullanılan alaşım elementlerinin oranları.....	6
Tablo 2.3	: Değişik mikro yapıya sahip alaşımların mekanik özellikleri.....	7
Tablo 2.4	: Bazı östenitik dolgu metalleri ve yüzde bileşimleri.....	21
Tablo 3.1	: Elektrod çeşidine göre değişen düzeltme katsayısı değerleri.....	27
Tablo 3.2	: 1.3964 çeliği için önerilen kaynak parametreleri.....	27
Tablo 4.1	: Değişik tipteki çeliklerin fiziksel özellikleri.....	35



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Fe-C denge diyagramı	3
Şekil 2.2 : Çeşitli paslanmaz çelik türleri için darbe dayanımı değerleri..	8
Şekil 2.3 : Değişen krom ve nikel eşdeğerlik sayıları için oluşan mikro yapılar.....	11
Şekil 2.4 : Schaeffler diyagramı.....	12
Şekil 2.5 : Delong diyagramı.....	12
Şekil 2.6 : 304 tipi paslanmaz çelikteki azot içeriğinin FN'ye etkisi.....	14
Şekil 2.7 : 304 ve 310 tipi paslanmaz çeliklerde koruyucu gaze eklenen azot miktarı ile değişen çözünmüş azot miktarları.....	15
Şekil 2.8 : Östenitik paslanmaz çeliklerde çeliğin korozyona karşı hassas hale gelmesi.....	18
Şekil 2.9 : 1.4541 tipi bir paslanmaz çelikte gerilmeli korozyon ve çukurcuk korozyonu	19
Şekil 2.10 : Östenitik dolgu metallerinin Schaeffler diyagramındaki yerleri	21
Şekil 3.1 : Elektrik ark kaynağı.....	23
Şekil 3.2 : Argon ark kaynağı.....	24
Şekil 3.3 : Metal soygaz kaynağında ark bölgesi.....	25
Şekil 3.4 : Karbondioksit gazı ile koruyucu gaz kaynağı.....	26
Şekil 4.1 : 135 dereceye ısıtılıp soğutulan parçada oluşan gerilme değerleri.....	29
Şekil 4.2 : (a) 925 C'ye ısıtılan parçada sıcaklık-gerilme değişimi ilişkisi (b) Isıtılan parçanın pres altında ve preslenmemiş durumda alacağı tahmin edilen şekiller.....	30
Şekil 4.3 : (a) Soğutma sırasında kendini çekmeden dolayı parça küçülmek isteyecektir (b) Soğuma esnasında sıcaklık-gerilme değişimi.....	30
Şekil 4.4 : Artık gerilmeleri ölçmek için kullanılan "parselleme" yöntemi.....	32
Şekil 4.5 : V-ağızlı alın kaynağında oluşan kendini çekme gerilmeleri.....	32
Şekil 4.6 : Çarpılma tipleri.....	33
Şekil 4.7 : Paslanmaz çelik türlerinde gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi.....	35

Şekil 4.8	: Küresel, sprej ve darbeli ark ile oluşturulan metal transferi şekilleri.....	37
Şekil 4.9	: Darbeli akım yönteminde damlaların oluşumu ve banyoya geçişi.....	37
Şekil 4.10	: Kaynak ağzı şekilleri.....	38
Şekil 4.11	: Tek paso ve çok pasoda tamamlanmış kaynak dikişleri.....	40
Şekil 4.12	: Mekanik düzeltme yöntemleri.....	41
Şekil 4.13	: Çarpımların düzeltilmesi amacı ile uygulanan (a) alevle ısıtma işlemi,(b) soğutma işlemi (c) Soğutma işlemi bittikten sonra düzelmiş parça.....	42
Şekil 4.14	: Alevle ısıtma işlemi uygulanmış 1.3964 tipi paslanmaz çeliğin su ile soğutulması.....	42
Şekil 4.15	: Pendik'te bulunan İstanbul Tersanesi'nde üretimi gerçekleştirilen askeri amaçlı gemi.....	43
Şekil 4.16	: 1.3964 çeliğinden imal edilen bir gemi gövdesinde alevle ısıtma işleminden sonra oluşan lekeler	44
Şekil 4.17	: Alın ve T-birleştirmelerde kullanılabilecek kısıtlama yöntemleri.....	46
Şekil 4.18	: Büyük gemi saclarının birleştirilmesi için kullanılan baskı plakaları yöntemi.....	47
Şekil 4.19	: (a) kaynak işlemi için kesilen parçalar,(b)kesilen parçanın baskı plakaları kullanılarak kaynak yapılan bakır altlıklı tezgaha yerleştirilmesi,(c)kaynak işlemi	48
Şekil 4.20	: Kaynak yapılan parçalarda (a) önden görünüm,(b) soldan görünüm	49
Şekil 4.21	: Geçici termal gerilmelendirme prosesiyle kaynak işlemi	50
Şekil 4.22	: T-şekilli ve alın birleştirmeli kaynaklarda oluşan açısallık çarpılma.....	51
Şekil 4.23	: Sürekli olmayan bindirme tipi kaynak bağlantıları	52
Şekil 4.24	: Açısallık çarpılmayı önlemek için alınabilecek konstrüktif önlemler.....	53
Şekil 4.25	: Ön gerilme yüklemesi için kullanılabilecek bir yöntem	53
Şekil 4.26	: Çift taraflı ark kaynağı yönteminin şematik gösterimi.....	54
Şekil 4.27	: Azot miktarı ve açısallık çarpılma arasındaki ilişki.....	55

SEMBOL LİSTESİ

c	: malzemenin özgül ısısı
d	: ısıtma bandının genişliği
d_e	: elektrod çekirdek çapı
E	: malzemenin oda sıcaklığındaki elastisite modülü
I_k	: Kaynak akımı değeri
K	: katsayı (kaynak dikişinin şekline göre belirlenen düzeltme katsayısı)
K_e	: elektrod tip ve çapına bağlı düzeltme katsayısı
q_e	: ısı kaynağının efektif gücü
T	: şeritin ısıtma sıcaklığı
α	: malzemenin ısı genleşme katsayısı
σ_t	: ısı bantları tarafından yaratılan gerilme
Δb	: ısı bantları tarafından oluşturulacak çekme miktarı
Δx_a	: kaynak dikişinin alt kısmındaki kendini çekme
Δx_{Π}	: kaynak dikişinin üst kısmındaki kendini çekme
δ	: malzemenin kalınlığı
γ	: malzemenin yoğunluğu

ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA OLUŞAN ÇARPILMALAR VE AZALTMA YÖNTEMLERİ

ÖZET

Östenitik ve süperöstenitik paslanmaz çelikler günümüzde çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk ve yüksek sıcaklıklarda yüksek korozyon direnci ve östenitik yapının çok geniş bir sıcaklık aralığında muhafaza edilebilmesi özellikle deniz suyuna maruz kalan gemilerde bu tip çeliklerin kullanımının önemini bir kat daha artırmaktadır.

Ancak östenitik paslanmaz çelikler yüksek ısı genleşme katsayısına sahip olduklarından ve bu çeliklerin kaynaklı birleştirmelerinde malzemeler bölgesel olarak yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarından, malzemede çarpılma adı verilen şekil değişikliklerinin boyutu fazla olmaktadır. Bu çarpılmalar imalat aşamasında kaynak sonrası işlemleriyle düzeltilmektedir ve zaman ve işçilik maliyeti açısından büyük problemler yaratmaktadır.

Bu çalışmada östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında oluşan metalurjik dönüşümler ve çarpılmaların oluşum mekanizması açıklanmış olup, çarpılmaları azaltmak için kullanılabilecek yöntemlerde araştırılarak sunulmuştur. Kaynak prosesi sırasında kullanılacak yöntemlerin ve kaynak parametrelerinin doğru seçilmesi ve birleştirilecek parçaların en az seviyede çarpılma yaratacak şekilde tasarlanması kaynak sonrası işlemlerini azaltacak ve buda maliyet ve zaman açısından büyük kazanımların elde edilmesini sağlayacaktır.

DISTORTIONS IN AUSTENITIC STAINLESS STEELS WELDMENTS AND MINIMIZATION METHODS

SUMMARY

Austenitic stainless steels are widely used in today's world. High toughness at very low temperatures and high corrosion resistance at elevated temperatures and being stable at very large of temperature range, makes them very important especially for ships which are exposed to sea water.

On the other hand, because of their high thermal expansion coefficient and during welding process they are locally subjected to high temperatures, shape changes that are called distortions and formed after welding by the shrinkage forces will be very much relative to other steel kinds. Thus, post welding operations will be very time consuming and labour costs will be high.

In this study, metalurgical transformations and formation of distortions are presented for welding of austenitic stainless steels. Also, distortion prevention and/or minimization methods are presented. If welding parameters and welding methods are select correctly, and if parts are correctly design for welding, post welding operations will be less. Thus, production costs and time can be reduced.

1. GİRİŞ

Son yıllarda östenitik paslanmaz çeliklerin kullanımı ve kaynak yöntemlerinin kullanımı giderek artmıştır. Artan bu taleple birlikte bu konuda yapılan çalışmaların sayısı da giderek artmaktadır. Östenitik paslanmaz çelikler üstün dayanım özelliklerinden dolayı en çok türü bulunan ve en fazla kullanılan paslanmaz çeliklerdir. Fakat ısıyı iyi iletememelerinden dolayı ve yüksek genleşme katsayısına sahip olduklarından kaynak sırasında çarpılmaların oluşması önlenememektedir. Özellikle sıkı toleransların söz konusu olduğu durumlarda bu çarpılmalar büyük problemlere yol açmaktadır. Kaynak sırasında sadece dikiş yerine ısı verildiğinden malzeme üzerinde düzgün olmayan ve kaynak dikişinden uzaklaştıkça azalan sıcaklık dağılımları oluşmaktadır. Bu sebepten dolayı parçada artık gerilmeler oluşur ve malzeme bunları dengelemek için şekil değiştirmeye çalışır. Bu şekil değişiklikleri de çarpılmalara yol açar.

Bu tez çalışmasında, östenitik paslanmaz çeliklerin özellikleri ile bu özelliklerin kaynak prosesi sırasında fazla miktarda çarpılmaya yol açmasının nedenleri anlatılacaktır.

İlk bölümde bu çeliklerin kimyasal bileşimi ve kaynak özellikleri anlatılacak ve ikinci bölümde kaynak yöntemlerine kısaca değinilecek, üçüncü bölümde ise çarpılmaları oluşturan mekanizmalar açıklanacaktır. Gemi gövdesi imalatından örnekler verilerek, bu çarpılmaların yok edilmesi amacıyla harcanan emek ve zaman ortaya konulacak ve son olarak çarpılmaların oluşumundan önce, yani kaynaktan önce alınabilecek önlemler anlatılarak, çarpılmaların birleştirilen parçaların istenen son şeklini etkilememesi için yapılabilecekler anlatılacaktır.

2. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler içeriğinde ağırlıkça en az % 10.5 Cr içeren demir esaslı alaşımlardır [1]. Bu krom içeriği sayesinde metal yüzeyinde ince bir kromoksit tabakası oluşarak oksitlenmenin önlenmesi sağlanmaktadır. Eğer bu pasif film mekanik sürtünme sonucu hasara uğrarsa, hızlı bir şekilde atmosferle reaksiyona geçerek yeniden oluşur ve korozyonun önlenmesi bu şekilde sağlanır.

Östenitik paslanmaz çelikler, çeliklerin üretimi sırasında östenit (γ) fazı oluştuktan sonra soğutmanın oda sıcaklığına kadar hızlı bir şekilde yapılması, dolayısıyla östenit fazının korunması şeklinde oluşturulurlar ve oda sıcaklığında östenitik yapılarını korurlar. Östenitik paslanmaz çelikler çok geniş bir sıcaklık aralığında muhafaza edilebilen tek fazlı bir yapıya sahiptirler. Bu yapı, östenit fazı stabilize etmek için kullanılan alaşım elemanlarının dengesinden meydana gelir.

Östenitik paslanmaz çelikler korozyon ortamları için geliştirilmişlerdir. Ayrıca, düşük sıcaklıklarda yüksek tokluk ve yüksek sıcaklıklarda yüksek oksitlenme direnci gösterirler. Östenitik malzemeler manyetik olmadıklarından manyetikliğin kabul edilebilir olmadığı durumlarda da kullanılmaktadırlar.

Östenitik paslanmaz çeliklerin en genel tipleri UNS S2000 ve UNS S3000 alaşımlarıdır (AISI 200 ve 300 Serileri) [2]. Bu türlerin içinde alaşım elemanları, uygun fiyatta beklenen özellikleri sağlaması açısından, farklı olabilir. Daha ötesi, alaşım elemanlarının kaynak kabiliyeti açısından büyük etkisi vardır.

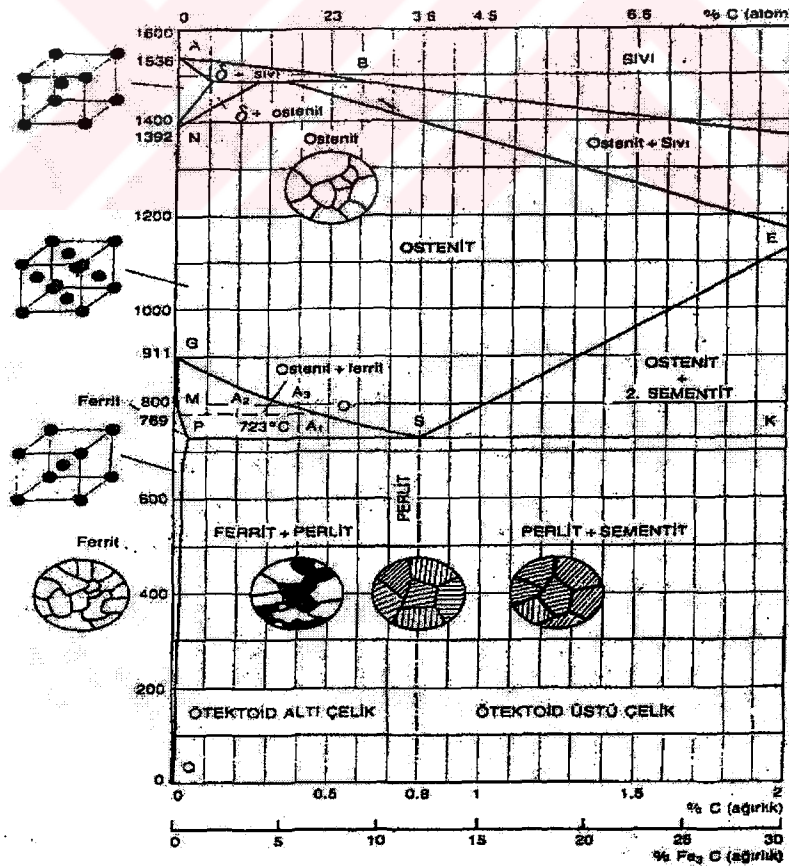
Korozyon dayanımı, süneklik, kaynak edilebilirlik ve çok yüksek ve çok düşük sıcaklıklara karşı dayanım östenitik paslanmaz çeliklerin geniş kullanım alanı bulmasındaki başlıca nedenlerdir. Tablo 2.1’de bazı standart östenitik paslanmaz çeliklerin bileşimleri görülmektedir.

2.1 Östenitik Paslanmaz Çeliklere Eklenen Alaşım Elementleri ve Bu Alaşım Elementlerinin Özellikleri

Alaşım elementleri çeliğin farklı bir içyapıya ulaşmasını sağlayarak, değişik mekanik özellikler ile kaynak kabiliyeti vb. özelliklerin iyileştirilmesi ve daha kararlı hale getirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Alaşım elementlerinin varlığı çeliklerin ısı etkisi altında kaldıkları değişik çalışma koşullarında büyük öneme sahiptir. Bu açıdan bu alaşım elementlerinin östenitik paslanmaz çeliklere kattığı özelliklerin bilinmesi faydalı olacaktır. Östenitik paslanmaz çeliklere değişik özellikler kazandırmak amacıyla kullanılan alaşım elementleri ve bunların etkileri şöyle sıralanabilir.

2.1.1 Karbon

Östenit oluşumuna kuvvetli etkide bulunur. Demir-karbon faz diyagramında demire eklenen karbon miktarlarına göre östenit fazının oluşumu açıklanmıştır. Şekil 2.1'den görülebileceği gibi östenit fazı çok geniş bir sıcaklık aralığında muhafaza edilebilmektedir.



Şekil 2.1 : Fe-C Denge Diyagramı [3]

Demirin mekanik dayanımını oldukça artırır. Krom ile birlikte bileşik oluşturarak krom karbürleri oluşturur. Krom karbürler de tane sınırlarında çökelir ve kafes içinde çözünmüş krom miktarı % 12'nin altına düşer. Buda paslanmazlık özelliğinin yitirilmesine neden olur. Bu nedenle paslanmaz çeliklerde karbon miktarı % 0,02 ile % 1 arasında değişen değerlerde kullanılmaktadır.

2.1.2 Krom

Krom güçlü bir alaşım elementidir. Paslanmaz çeliklerde kullanılan başlıca alaşım elementidir. Ayrıca çeliklerin değişik sıcaklıklardaki çalışmaları esnasında dayanımlarını ve sertliklerini korumalarını sağlar. Demir içindeki çözünebilirlik miktarı sınırsızdır. Ferrit oluşumunda etkili olur. Oksijenle kolayca birleşir ve ısıya dayanıklı metalik olmayan kromoksit tabakasını oluşturur. %18 'den fazla krom bulunması durumunda delta fazı oluşumu gözlenir ve bu değerden yüksek krom bulunduran tüm alaşımlarda delta fazı oluşumu gözlenir.

2.1.3 Nikel

Nikel de krom gibi, alaşım elementi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir ve kromla birlikte kullanılır. Gama fazı kristal yapısına sahiptir ve gama fazı oluşumuna yardımcı olur. Hatta % 25 oranında nikel kullanılması alaşımın tüm sıcaklıklarda östenitik yapıda olmasını sağlar. Paslanmaz çeliklerde özellikle kromun ferrit yapıcı etkisini dengelemek için kullanılır.

2.1.4 Manganez

Paslanmaz çeliklerin deoksidasyonu için kullanılır. Ergimiş metal içindeki oksijenle birleşerek MnO bileşimini oluşturur. Alaşım içinde bulunan kükürtle reaksiyona girerek sıcak çatlamaya yol açan demir-kükürt kalıntılarının oluşumunu engeller. Yüksek oranda kullanılması durumunda ise karbonla birleşerek mangan-karbür bileşiklerini oluşturur. Östenit fazının oluşma aralığını genişletir. Bu yüzden paslanmaz çeliklerde östenit oluşumuna yardımcı olur. % 6'dan fazla kullanılması durumunda delta fazı oluşumu oranını artırır. Bu yüzden bu orandan fazla Mn kullanılması önerilmemektedir.

2.1.5 Molibden

Östenitik paslanmaz çeliklerde özellikle çukurcuk korozyonuna karşı çok iyi direnç gösterir. Yüksek sıcaklıklardaki dayanımı artırır.

2.1.6 Azot

Östenit oluşumuna çok büyük etkide bulunur. Tane büyümesini engeller. Çeliğin mukavemetini artırır. Niyobyumun azota olan büyük ilgisinden dolayı çelikte niyobyumla birlikte kullanılmaktadır. Niyobyumla birlikte kullanılmaması halinde istenmeyen sonuçlar oluşur. Ağırlıkça yaklaşık % 0.15 oranında eklenir. Azotun mikro yapıya etkileri henüz tam anlaşılabilmiş değildir.

2.1.7 Niyobyum ve titanyum

Niyobyum çeliğin yüksek sıcaklıklardaki dayanımını artırır. Karbona ilgisi çoktur. Bu sebepten dolayı, karbonla birleşerek intermetalik niyobyum-karbür parçacıklarını oluşturur. Tane küçültücü etkisi vardır. Titanyumda aynı amaçlarla kullanılmaktadır.

2.1.8 Fosfor

Çok düşük erime sıcaklığına sahiptir. Paslanmaz çeliklerin parlaklık ve sürünme direnci özelliklerini geliştirirler. Ancak çok küçük miktarlarda eklenmesi gereklidir. Büyük oranlarda eklenmesi durumunda östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında oluşan sıcak çatlama riskini büyük ölçüde artırır.

2.1.9 Kükürt

Kükürt de fosfor gibi düşük erime sıcaklığına sahiptir ve katılaşma sırasında sıcak çatlama olasılığını artırır. Bu yüzden çeliğin maliyeti de göz önüne alınarak mümkün olduğunca az miktarda tutulmalıdır [1,4,6].

Tablo 2.1 Bazı Standart Östenitik Paslanmaz Çelik Tipleri ve Bileşimleri [2]

Tip (EN)	UNS No'su	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Diğer
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1	16-18	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	S20200	0.15	7.5-10	1	17-19	4-6	0.06	0.03	0.25 N
205	S20500	0.12- 0.25	14-15.5	1	16.5-18	1-1.75	0.06	0.03	0.32-0.4 N
301	S30100	0.15	2	1	16-18	6-8	0.045	0.03	-
302	S30200	0.15	2	1	17-19	8-10	0.045	0.03	-
303	S30300	0.15	2	1	17-19	8-10	0.2	0.15	0.6 Mo
304	S30400	0.08	2	1	18-20	8-10.5	0.045	0.03	-
304L	S30403	0.03	2	1	18-20	8-12	0.045	0.03	-
304LN	S30453	0.03	2	1	18-20	8-12	0.045	0.03	0.1-0.16 N
304N	S30451	0.08	2	1	18-20	8-10.5	0.045	0.03	0.1-0.16 N
305	S30500	0.12	2	1	17-19	10.5-13	0.045	0.03	-
308	S30800	0.08	2	1	19-21	10-12	0.045	0.03	-
309	S30900	0.20	2	1	22-24	12-15	0.045	0.03	-
310	S31000	0.25	2	1.5	24-26	19-22	0.045	0.03	-
314	S31400	0.25	2	1.5-3	23-26	19-22	0.045	0.03	-
316	S31600	0.08	2	1	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo
316H	S31609	0.04- 0.10	2	1	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo
316L	S31603	0.03	2	1	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo
316LN	S31653	0.03	2	1	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo;0.1-0.16 N
316N	S31651	0.08	2	1	16-18	10-14	0.045	0.03	2-3 Mo;0.1-0.16 N
317	S31700	0.08	2	1	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
317L	S31703	0.03	2	1	18-20	11-15	0.045	0.03	3-4 Mo
321	S32100	0.08	2	1	17-19	9-12	0.045	0.03	5x%C Ti
330	N08330	0.08	2	0.75- 1.5	17-20	34-37	0.04	0.03	-
347	S34700	0.08	2	1	17-19	9-13	0.045	0.03	10x%C Nb
348	S34800	0.08	2	1	17-19	9-13	0.045	0.03	0.2Co;10x%C Nb 0.1 Ta

2.2 Süperöstenitik Paslanmaz Çelikler

Süperöstenitik paslanmaz çelikler yüksek oranda nikel, molibden ve bazı durumlarda azot içeren paslanmaz çeliklerdir. Süperöstenitik paslanmaz çeliklerin geliştirilmesindeki temel sebep çeliklerin yüksek korozyon ortamlarına maruz kalması ve çukurcuk ve çatlak korozyonuna karşı standart östenitik paslanmaz çeliklere göre

daha yüksek direnç gösteren malzemelerin gerekliliğidir. Süperöstenitik paslanmaz çelikler için bileşim oranları Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

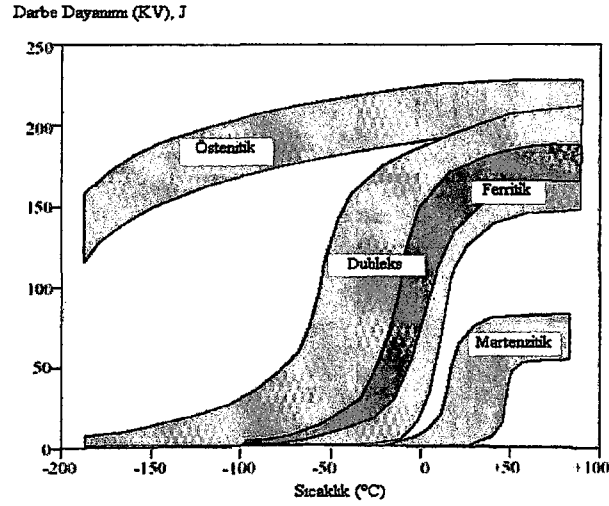
Tablo 2.2 : Süperöstenitik Paslanmaz Çeliklerde Kullanılan Alaşım Elementlerinin Oranları [2]

Element	% Oranı (ağırlıkça)
Krom	20-26
Nikel	18-26
Molibden	5-7
Bakır	0.5-4
Azot	0.1-0.25
Karbon	0.020-0.035

Bu alaşımlar aşırı derecede korozyon ortamları için geliştirilmişlerdir. 300 serisi alaşımlara göre daha iyi korozyon dayanımı özelliklerin sahiptirler. Yüksek nikel oranı GKC dayanımını, molibden ve azot ise çukurcuk korozyonu dayanımını artırmak için kullanılmaktadır. Genel olarak bileşimin tamamen östenitik yapıda olmasını sağlamak için kullanılmaktadırlar. Bu alaşımların kaynak edilebilirliği diğer östenitik paslanmaz çeliklerle aynı olmakla birlikte, tamamen östenitik yapıda olmalarından dolayı kaynak işlemi sırasında fazla sınırlandırılarsa katılaşma çatlama riski oldukça fazladır. Bu alaşımlarda katışkı miktarı az olduğundan çatlama olasılığı bir miktar azalmaktadır.

2.3 Mekanik Özellikler

Östenitik paslanmaz çelikler diğer çelik türleri ile karşılaştırıldıklarında orta derecede dayanım ve mükemmel tokluk ve süneklik özelliklerine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı dolgu metali olarak diğer paslanmaz çeliklerin kaynağında da kullanılırlar. Tablo 2.3’te değişik çelik tiplerine ait mekanik özellikler görülmektedir. Tablo incelendiğinde östenitik paslanmaz çeliklerin diğer çeliklere göre özellikle sünekliğinin daha iyi olduğu görülebilir. Bu açıdan darbe dayanımının önemli olduğu konstrüksiyonlarda östenitik paslanmaz çeliklerin kullanımı tercih edilmektedir. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi özellikle düşük sıcaklıklarda östenitik paslanmaz çeliklerle diğer paslanmaz çelikler arasında büyük farklar vardır.



Şekil 2.2 : Çeşitli Paslanmaz Çelik Türleri İçin Darbe Dayanımı Değerleri

Tablo 2.3 : Değişik Mikro Yapıya Sahip Alaşımların Mekanik Özellikleri [7]

Mikroyapı	Çelik Tipi	Akma dayanımı R_e (N/mm ²)	Çekme Dayanımı R_m (N/mm ²)	Kopma uzaması (%)	Sertlik HB
Ferritik	430	250	540	18	200
Ferritik	S44400	340	540	25	210
Ferritik-Östenitik	329	440	685	20	260
Ferritik-Östenitik	S31803	480	780	25	290
Östenitik	304	205	515	45	200
Östenitik	304L	170	480	45	190
Östenitik	304N	240	550	30	200
Östenitik	304LN	205	515	40	200
Östenitik	321	205	515	40	210
Östenitik	316	205	515	45	200
Östenitik	316L	170	480	45	200
Östenitik	317L	205	515	45	200
Östenitik	N08904	215	490	35	220
Martenzitik	420	450	650-850	15	220
Martenzitik- Östenitik		620	830-1030	15	320
Karbon çeliği	Fe37	240	370	24	200
Süperöstenitik	1.3964	365	700	35	220

2.4 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı

Östenitik paslanmaz çelikler yüksek kaynak yeteneklerinden dolayı endüstride kaynaklı birleştirmelerde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Otomotiv ve gemi endüstrisinde yapılan kaynaklı birleştirmelerin çokluğu, bu tip çeliklerin kaynak karakteristiklerinin önemini artırmaktadır ve bu nedenle konu hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Kaynakla birleştirilen yapıların değişik koşullardaki davranışları, kaynak prosesine bağlıdır ve kaynak prosesinin doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi üretilen ürünlerin dayanım, korozyon direnci, mekanik özellikler vb. özelliklerini olumlu yönde etkileyecektir. Özellikle kaynak prosesi sırasında oluşan çarpılmaların kaynaklı yapılarda (özellikle gemilerde) ortaya çıkardığı sorunlar, östenitik paslanmaz çeliklerde çarpılmaların azaltılmasını zorunlu kılmaktadır. Optimum değerlerin seçilebilmesi için östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerinin ve kaynak prosesi sırasında maruz kaldığı koşulların iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple de östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetini etkileyen etkenlerin ve kaynak prosesi sırasındaki faz değişimlerinin açıklanmasında fayda vardır. Çarpılmalara ve bunun etkilerine daha sonraki bölümlerde değinilecektir.

Alaşım elemanlarına bağlı olarak östenitik paslanmaz çelikler kaynağın bir sonucu olarak, katılaşım oda sıcaklığına geldiklerinde bir miktar ferrit fazı içerebilirler. Kaynak çatlaması, katılaşma çatlamasının en genel formudur ve kaynağın bir sonucu olabilir. Çatlaklar değişik bölgelerde değişik şekillerde oluşabilir. Merkez çizgisi çatlakları, çapraz çatlaklar ve mikro çatlaklar kaynak metalinde veya ITAB'a yakın bölgelerde oluşabilir. Bu çatlaklar öncelikle düşük erime sıcaklığına sahip elementlerin kaynak sırasında 1300-1400 °C sıcaklık aralığında tane sınırlarında ayrışması ve bunun sonucu olarak tane sınırlarının katılaşma ve soğumaya bağlı olarak birbirinden ayrılması ile oluşur [2]. Kaynağın diğer metalurjik sonuçları şunlardır :

- kromca zengin krom karbürlerin tane sınırlarında çökmesi
- δ - ferrit fazının oluşumu

2.4.1 Genel kaynak karakteristikleri

Östenitik paslanmaz çelikler en iyi kaynak edilebilen paslanmaz çeliklerdir. Örneğin tipik östenitik alaşımların ısı iletkenlikleri ferritik çeliklerin yaklaşık yarısı kadardır.

Böylece aynı nüfuziyeti sağlamak için gerekli ısı girişi daha azdır. Tersine, ısı genleşme katsayısı ferritik çeliklere göre % 30-40 daha fazladır. Bunun sonucu olarak artık gerilmeler ve çarpılmalarda bir artış söz konusudur.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında en önemli sorun katılaşma esnasındaki çatlama olasılığıdır. Bu çelikler yüksek sıcaklık çatlamasına karşı çok dirençli olabilir. Ancak bu durumun olması için katılaşma davranışı ve mikro yapı kontrol edilmelidir. Buda kaynak metalinin hacimce % 3'den fazla ferrit içermesiyle sağlanabilir [2].

Tamamen östenitik yapıda kaynak gereken durumlarda, örneğin kaynağın manyetik olmaması gereken durumlarda veya korozyon ortamları söz konusu ise kaynak östenitik olarak katılaşmalıdır. Bu durumda çatlama eğilimi artacaktır. Süperöstenitik alaşımlarda belirli oranlar söz konusudur ve kaynak esnasında tamamen östenitik yapıda bir katılaşma söz konusu olur. Bu tip kaynaklarda çatlama tehlikesini minimize etmek için düşük ısı girişi ve sınırlı mesnetleme yapılacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

Düşük hızlarda yapılan ve kaynak bölgesinin damlalar halinde değil de eliptik olarak oluşturulduğu kaynak işlemlerinde çatlama tehlikesi daha azdır. Bu etki özellikle ince kesitli sacların kaynağında daha önemlidir. Düşük erime sıcaklığına sahip olan ve kaynak sırasında sıvı fazı oluşturan artık elementler minimum seviyede tutulmalıdır. Bu elementler fosfor, kükürt, boron, selenyum, niyobyum, silikon ve titanyumdur. Oksijen ve azotun küçük miktarlarda eklenmesi sıvı fazların ıslatma karakterlerini etkiler ve bu açıdan bu elementlerin eklenmesi yararlıdır. Ancak bu elementlerin yüksek konsantrasyonda eklenmesi gözenekliliği artıracaktır.

2.4.2 Mikro yapısal gelişim

Östenitik paslanmaz çelikler tamamen östenitik olmalarına rağmen kaynak metalinde sıklıkla küçük miktarlarda ferrit bulunur. Bu ferrit fazı δ -ferrit fazı olarak adlandırılır ve α -ferrit fazından farklıdır çünkü yüksek sıcaklıklarda oluşur.

Östenitik alaşımların kaynak metalinin katılaşma özellikleri ve mikro yapısal gelişimi çok karmaşıktır. Kaynak mikro yapısına kimyasal bileşimin büyük etkisi vardır ve mikro yapının tahmin edilebilmesi için çeşitli deneysel ilişkiler ve yapı

diyagramları geliştirilmiştir. Tüm durumlarda, eşdeğer krom ve nikel sayıları değişik alaşımlandırmaların etkilerini ölçebilmek amacıyla için kullanılmaktadır.

2.4.2.1 Katılaşma davranışı ve kaynak mikro yapısı

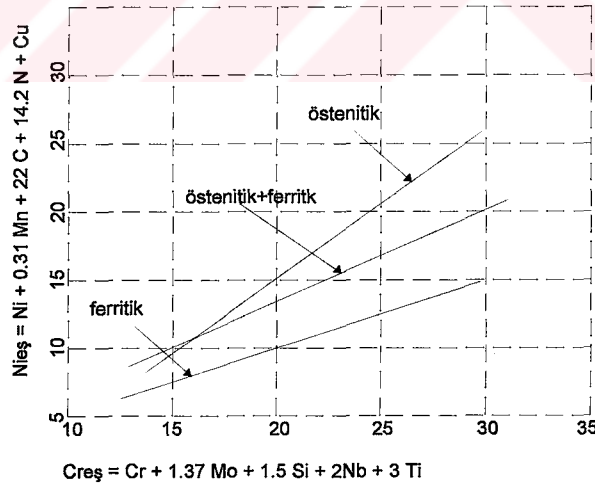
Katılaşma davranışı ve bileşim arasındaki ilişki ve bunların kaynak prosesine etkileri Ni ve Cr eşdeğerlik diyagramları kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Bu diyagramlar hazırlanırken deneysel yöntemlerden yararlanılmaktadır. Suutala ve Moisio tarafından bulunan

$$Cr_{eş} = Cr + 1.37Mo + 1.5Si + 2Nb + 3Ti \text{ ve}$$

$$Ni_{eş} = Ni + 0.3Mn + 22C + 14.2N + Cu,$$

eşitlikleri kaynak mikro yapısını tahmin etmede kullanılmaktadır. Katılaşma sonucu oluşan mikro yapı Şekil 2.3 incelenerek belirlenebilir. Diyagramdan görülebileceği gibi tek fazlı östenitik yapı $Cr_{eş}/Ni_{eş} = 1.35$ değerinde sağlanabilmektedir.

Birincil östenit ve birincil ferrit arasındaki geçiş kaynak çatlama olasılığı açısından çok önemlidir. Çünkü kaynak çatlama tehlikesi tamamen östenitik olan yapılarda yüksektir. Bu açıdan östenitik yapılarda bir miktar ferrit bulunması kaynak çatlama tehlikesini ortadan kaldırmaktadır. Şekil 2.3’de değişik $Cr_{eş}/Ni_{eş}$ oranları için oluşan fazlar gösterilmiştir.

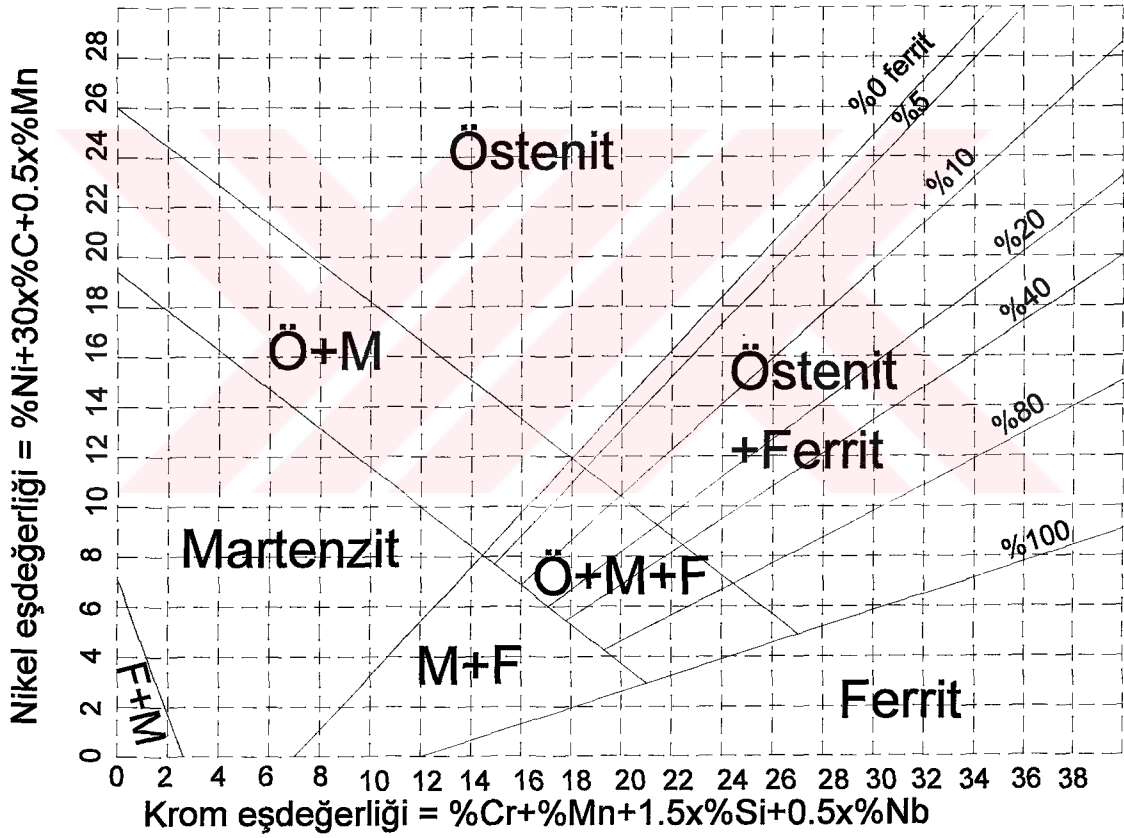


Şekil 2.3 : Değişen Krom ve Nikel Eşdeğerlik Sayıları İçin Oluşan Mikro Yapılar [8]

Kaynak mikro yapısını belirleyebilmek için birçok diyagram geliştirilmiştir. Bunların en önemlisi ve en yaygın kullanılanı Schaeffler diyagramıdır. Diyagram farklı alaşımların mikro yapısını belirlemede kullanılmaktadır ve tozaltı kaynak yöntemi kullanılarak geliştirilmiştir. Diyagramda azotun etkisi hesaba katılmamakla beraber

ağırlıkça % 0.06 olarak belirlenmiştir. Diyagramın çoğu 300 serisi alaşımlar ve geleneksel kaynak yöntemleri için geçerli olduğu kabul edilmektedir.

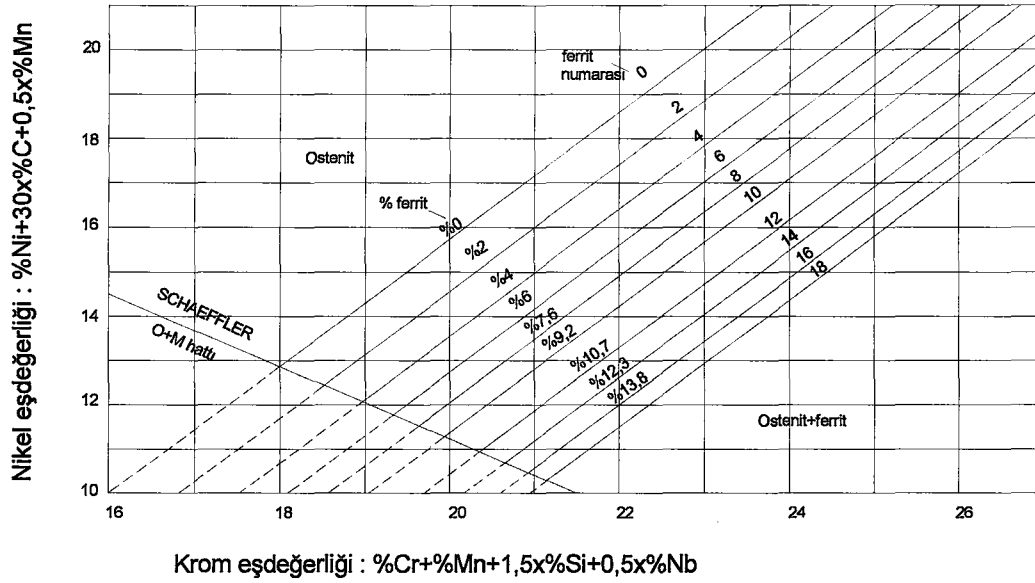
Schaeffler diyagramının en önemli özelliği değişik fazlar arasındaki kesin çizgilerin olmasıdır. Ancak burada diyagramdaki ferrit yüzdesinin metalografik ölçme yöntemleriyle saptandığı ve sonuçların % 100 bir kesinlik belirtmediği unutulmamalıdır. Ayrıca kaynak sırasında kullanılan elektrodun malzemesi de kaynağın metalurjisini önemli ölçüde etkileyecektir. Ek olarak kaynak sırasında yanlış koruyucu gaz yöntemleri uygulanması veya yanlış bir koruyucu gaz seçilmesi ITAB'a yakın bölgelerde azot içeriğini artıracaktır. Bu durum da kaynağın tamamen östenitik yapı ile sonuçlanmasını sağlayacaktır ve soğuma sırasında çatlama tehlikesini artıracaktır. Şekil 2.4'te Schaeffler diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.4 : Schaeffler Diyagramı [3]

2.4.2.2 Ferrit numarasının ölçülmesi

Kaynak metali ferrit içeriği östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliğini ve performansını etkilemektedir.



Şekil 2.5 : De Long Diyagramı [3]

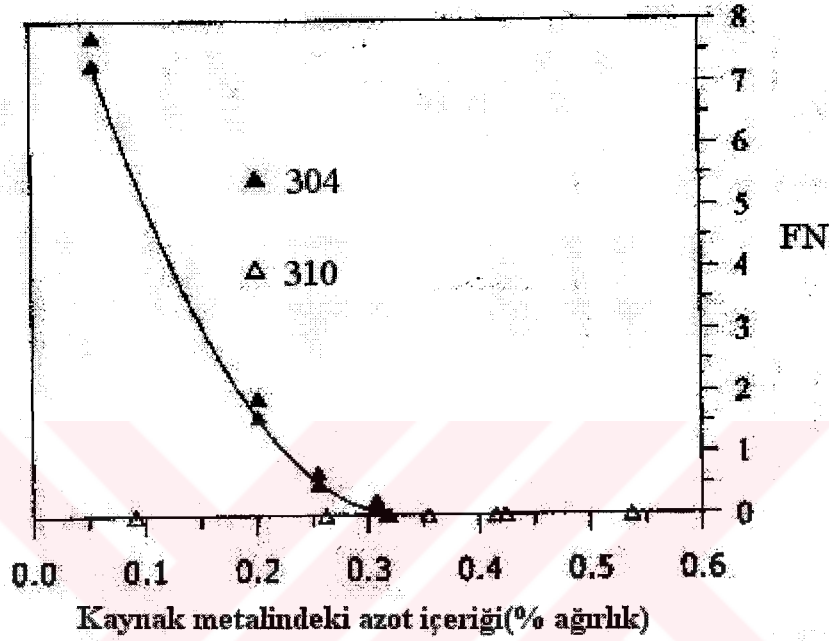
Bu amaçla kaynak metali ferrit içeriğini ölçebilmek için birkaç yöntem geliştirilmiştir. Ancak, östenitik paslanmaz çeliklerde bu değerin tam doğru olarak ölçülebilmesi mümkün değildir. Kaynak metalinin ferrit içeriğini saptayabilmek için birkaç ticari aygıt geliştirilmiştir. Bunlar Magne ve Severn ölçümü ve ferriteskoptur. Bu yöntemlerde manyetik cihazlar kullanılarak ferrit içeriği ölçülebilmektedir. Bu güne kadar yapılan ölçümlerin % 95'inde östenitik paslanmaz çeliklerdeki ferrit içeriği yaklaşık 8 FN olarak ölçülmüştür. Ferritin manyetik çekiciliği kimyasal bileşime bağlı olarak önemli ölçüde değiştiğinden hacimce aynı ferrit oranı için manyetik yöntemlerle ölçülen ferrit numarası, değişik dolgu metalleriyle yapılan birleştirmelerde değişmektedir.

2.4.3 Azot içeren paslanmaz çelikler

Azotun östenitik paslanmaz çeliklerde alaşım elemanı olarak kullanılması çeliğin çukurcuk korozyonuna karşı direncini, çok düşük sıcaklıklardaki tokluğunu ve dayanımını önemli derecede artırmaktadır. Ayrıca azot içeren alaşımlara yüksek oranda manganez eklenmektedir ve bu sayede azotun alaşımın azot çözebilirliği artırılmaktadır. Ayrıca kromunda paslanmaz çeliklerdeki çözünebilir azot miktarını artırdığı saptanmıştır [4].

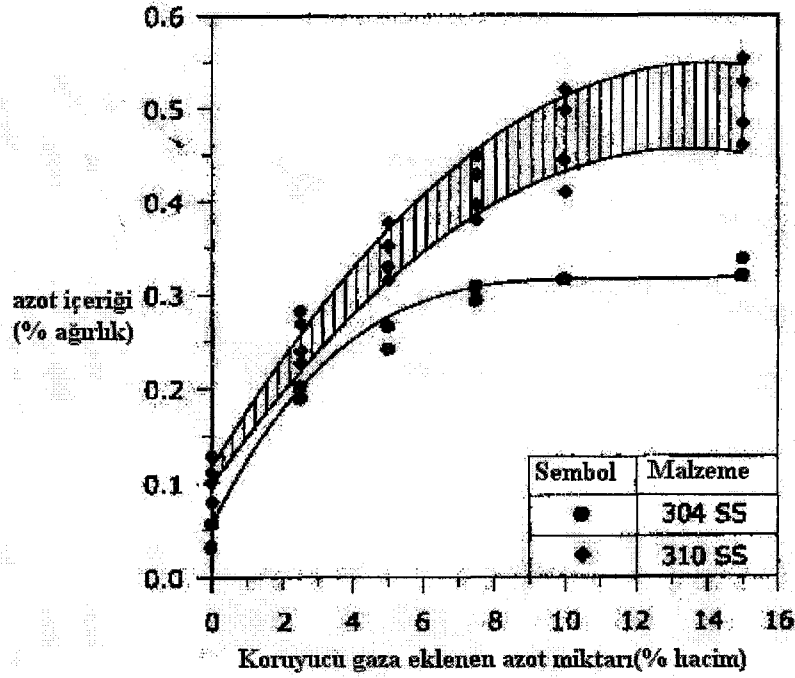
Bu tip alaşımlarda ferrit numarasının ölçümünde kullanılan Delong diyagramı yetersiz kalmaktadır. Delong diyagramı yüksek oranda azot ve manganez içeren

alaşımlar için hazırlanmamıştır ve bu konuda Hull ve Espy yüksek oranda azot içeren alaşımlar için çalışmalar yapmışlar ve ferrit içeriğini saptamada kullanılan eşitlikler geliştirmişlerdir. Genel olarak azotun FN'yi azalttığı söylenebilir. Şekil 2.6'da 304 ve 310 tipi paslanmaz çeliklerde artan azot içeriği ile birlikte FN'de ki azalma görülmektedir. 304 tipi çeliklerde azotun FN'de ki azalmaya büyük etkisi olduğu şekilden görülmektedir.



Şekil 2.6 : 304 Tipi Paslanmaz Çelikte Azot İçeriğinin Ferrit Numarasına Etkisi [9]

Yüksek azot içeriğinden dolayı azot içeren alaşımlarda gözeneklilik gözlenebilir. Bu durumda kaynak işlemi sırasında oluşan şekil değişimlerinin artmasına yol açmaktadır. Bu nedenle azotun paslanmaz çeliğin azot çözebilirliği sınırını aşmaması gerekmektedir. Bu açıdan eklenecek azot miktarı gözenekliliğe yol açmayacak kadar miktarda olmalıdır. Şekil 2.7'de 304 ve 310 tipi paslanmaz çeliklerin azot çözebilirlik sınırı görülmektedir. Şekildeki örneğe göre 304 tipi paslanmaz çeliklerde maksimum azot çözebilirliği 0,30 seviyesindedir. 310 tipi paslanmaz çeliklerde ise bu oran 0,5 seviyelerindedir. Bu oran kaynak sırasında oluşan ısı değişimi ile birlikte bir miktar değişebilir.



Şekil 2.7 : 304 ve 310 Tipi Paslanmaz Çeliklerde Koruyucu Gaz Eklenen Azot Miktarı İle Değişen Çözünmüş Azot Miktarları [9]

2.4.4 Kaynak hatalarının oluşumu

Katılma prosesinin sonlarında oluşan katılma çatlama, östenitik paslanmaz çeliklerde kaynak prosesi sırasında dikkat edilmesi gereken en önemli metalurjik özelliktir. Östenitin birincil ferrit olarak katılaştığı kaynaklarda çatlama riski büyük oranda azalır. Ancak manyetikliğin kabul edilemediği durumlarda katılmanın birincil östenit olarak gerçekleşmesi istendiğinden bu çözüm yöntemi manyetik olmayan paslanmaz çeliklerin gerektiği durumlarda uygun değildir.

Ferrit fazının çatlama tehlikesine karşı bu kadar dirençli olmasının nedeni mikroyapısındaki çatalsı yapıdır. Bu çatalsı yapı çatlakların oluşumuna karşı direnci artırmaktadır. Cr ve Ni sayıları açısından katılma çatlama riski Kujanpaa tarafından değişik fosfor ve kükürt oranlarının da hesaba katılmasıyla hesaplanmıştır. Buna göre $Cr_{es}/Ni_{es} = 1.5$ değerinin altındaki alaşımlarda katılma çatlama oluşmaktadır.

Östenitik paslanmaz çeliklerde tek fazlı katılma sırasında düşük erime sıcaklığına sahip fazlardan dolayı tane sınırlarında ıslanma görülür. Bu sıvı fazlar katılmadan önce gerilme ve şekil değiştirmeler meydana gelirse katılma çatlakları oluşur. Katılma eğer birincil ferrit ve ikincil östenit olarak oluşursa ve eğer östenit taneleri

tane sınırlarında çekirdeklenmeye başlarsa çok düzensiz tane sınırı yapıları oluşmaya başlar. Bu tane sınırı yapısı potansiyel çatlak yollarının oluşmasına neden olur.

Böylece, katılma çatlama problemlerinin çözülebilmesinde katılma davranışının anlaşılmasının önemi ortadadır. Yüksek katılma hızları ve soğutma oranları birincil ferrit ile birincil östenit arasındaki geçiş bölgesinin yerini değiştirir. Bu etkide katılma problemlerini önlemek için göz önüne alınmalıdır.

Özellikle östenitik paslanmaz çeliklerde ITAB'da meydana gelen sıvılaşma çatlama çok önemlidir. Bu çatlama biçimi karbürlerin sıvılaşması sonucu oluşan yapıdan kaynaklanır ve tane sınırlarının sıvılaşmasıyla sonuçlanır. ITAB'da oluşan çatlamlar katışkılarının ayrışması sonucu da oluşabilir. Bu tip çatlama her zaman taneler arasındadır ve kaynak metalinin sınırlarına yakın bölgelerde meydana gelir. Bazı durumlarda çatlama kaynak metalinin içlerine doğru devam eder.

ITAB bölgesindeki çatlamlar FN 2-3 arasında olan alaşımlarda görülmez. Bu durum ferritin tane sınırlarında oluşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca ısı girişi minimize edilerek ITAB'daki sıvılaşma çatlaklarının oluşma riski azaltılabilir. Düşük ısı girişi ITAB'da keskin ısıl değişikliklerin oluşmasını ve dolayısıyla çatlakların ilerlemesini engeller.

Kaynak metali sıvılaşması çatlakları çok pasolu kaynaklar için düşünüldüğünde çatlakların mikro düzeyde oluştuğu ve "yatak altı" çatlaklar olarak nitelendirilebileceği söylenebilir. Çünkü çatlaklar küçüktür ve önceki doldurulan kaynak metalinin pasolar arası erime sınırlarına yakın bölgelerde oluşurlar. Bu tip çatlaklar özellikle östenitik kaynak metalllerinde katılma sırasında oluşan tane sınırlarında görülür.

Tamamen östenitik paslanmaz çeliklerde bu tip çatlama tehlikesi, katılma çatlamasında olduğu gibi, katışkı seviyesini azaltarak veya yaklaşık 3 FN'ye sahip dolgu metalleri kullanılarak önlenir.

Süneklik azalması çatlakları, ITAB'da oluşur ve katı halde sınırlamanın yüksek yapıldığı kaynak proseslerinde veya ince kesitli parçalarda görülür. Tane sınırlarında çökme olduğu durumlarda şekil değiştirme isteği artar ve malzemenin sünekliği azalır. Özellikle çökme sertleştirilmesi uygulanmış nikel alaşımlarında bu tip çatlaklara rastlanır. Ayrıca bazı alaşımlarda niyobyum-karbürlerin tane sınırlarında çökmesiyle malzeme gevrekleşir ve çatlama riski artar.

Kaynağın gözenekli bir yapıya sahip olması da çatlama tehlikesini artırır. Özellikle yüksek azot içeren alaşımlarda ve kirliliğin yüksek olduğu durumlarda bu duruma rastlanır. Azot seviyesinin yüksek olması azotun östenitik paslanmaz çelikler içindeki çözünürlüğü az olduğundan kaynağa yakın bölgelerde azotun gözenekliliğe neden olmasıyla sonuçlanır. Ayrıca yüzeylerin kaynak prosesinden önce paslanmaz çelikten yapılmış fırçalarla temizlenmesi önerilmektedir. Aksi halde başka metallerin artıkları kaynak bölgesinde korozyona neden olur [2].

2.4.5 Sigma-fazı gevrekleşmesi

Sigma fazı paslanmaz çeliklerde 600-800 °C sıcaklık aralığında oluşan sert, kırılgan ve gevrek bir fazdır. σ -fazının oluşma olasılığı artan krom, molibden ve silikon yüzdesiyle artmakta ve artan azot, nikel ve karbon yüzdesiyle azalmaktadır. Ferritin alaşım elementleri içinde zenginleşmesi σ -fazının oluşumunu hızlandırır. Böylece östenitik paslanmaz çeliklerdeki ferrit σ -fazı oluşumu açısından tehlikelidir. Vitek ve David tarafından yapılan araştırmalarda σ -fazının 725°C'de yaklaşık 15 saat sonra oluştuğu ve yapıdaki bütün ferritlerin 3000 saat sonra σ -fazına dönüştüğü bulunmuştur [2].

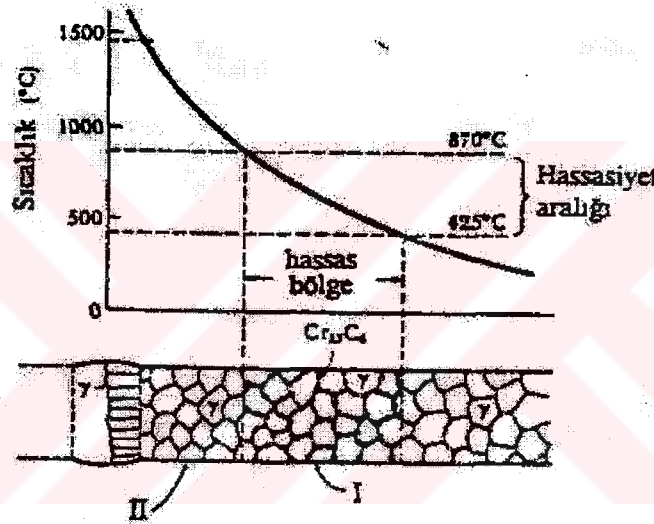
σ -fazı malzemenin süneklik ve tokluğunda azalmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla yüksek ve düşük sıcaklıklarda malzemede gevrekleşme ve hasara neden olur. Bu yüzden kaynak prosesi sırasında tamamen östenitik yapıda dolgu metalleri kullanılarak bu fazın oluşumu minimize edilmelidir. Ancak bu durumda bile kromca zengin bölgelerde σ -fazı oluşumu gözlenmektedir.

Ancak katılaşma çatlama da kaynak prosesi sırasında bir problem teşkil ettiğinden ve bu durumdan kaçınmak için yapıda bir miktar ferrit bulunması gerektiğinden bu ferrit miktarının σ -fazı oluşumu göz önüne alınarak ayarlanması gerekmektedir. Burada hedef, σ -fazına dönüşme ihtimali olan ferritlerin yapı içerisinde bir ağ oluşturmayacak kadar az olması ve malzeme içinde 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.

2.5 Korozyon Davranışı

2.5.1 Karbür oluşumu ve taneler arası korozyon

Östenitik paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyona neden olan karbür oluşumu bu çeliklerin gevrek kırılmaya karşı hassaslaşmasına neden olmaktadır ve soğutma sırasında 400-850°C aralığından yavaş geçildiği takdirde kromca zengin karbürlerin tane sınırlarında çökmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Şekil 2.8’de östenitik paslanmaz çeliğin korozyona hassas hale gelmesi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi östenitik paslanmaz çeliklerde kaynaktan sonra hızlı soğutma yapılırsa sadece I bölgesi $Cr_{23}C_4$ çökmesine karşı hassas olur. Yavaş soğuma halinde ise hem I hem de II bölgesi tane sınırlarında krom karbür oluşumuna karşı hassas hale gelir.



Şekil 2.8 : Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Çeliğin Korozyona Karşı Hassas Hale Gelmesi [10]

Genel olarak aşağıdaki yöntemler uygulanarak östenitik paslanmaz çeliklerde taneler arası korozyon azaltılabilir ve/veya önlenabilir:

- Düşük karbonlu alaşımların kullanılması (maksimum % 0.03)
- Niyobyum ve titanyum kullanılarak çeliğin stabilize edilmesi
- Malzemenin kaynaktan önce tavlanması ve bu sayede malzeme soğukken üzerinde çalışılmasının önlenmesi
- Düşük ısı girişlerinin kullanılması ve pasolar arası sıcaklığın kaynak prosesi sırasındaki soğutma hızının artırılması amacıyla düşük tutulması ve böylece hassas sıcaklık aralığından geçiş süresinin azaltılması

- Küçük yapılarda kaynaktan sonra ısıtma işlemi uygulanarak ITAB'da tane sınırlarında oluşabilecek karbürlerin çözülmesi (büyük yapılar için bu yöntem pratik değildir).

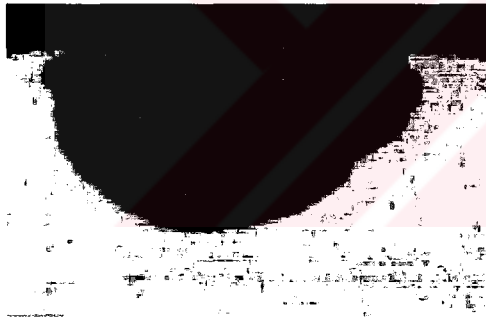
2.5.2 Gerilmeli korozyon çatlaması

Östenitik paslanmaz çeliklerde gerilmeli korozyon çatlaması malzemenin korozif ortamda ve gerilmeye maruz kaldığı durumlarda oluşur.

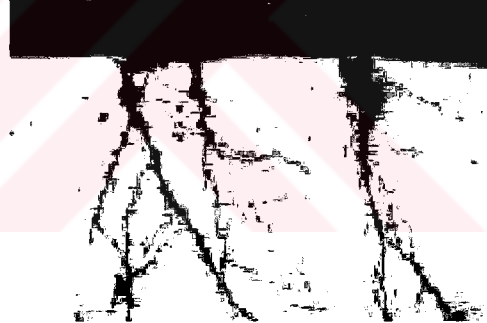
Tane içi GKÇ özellikle östenitik paslanmaz çeliklerin deniz suyu gibi klorlu ortamlara maruz kalmasıyla oluşmaktadır. Şekil 2.9(b)'de 1.4541 tipi bir paslanmaz çeliğin gerilmeli korozyona uğramış hali görülmektedir.

GKÇ'nin kontrol edilebilmesi için :

- Gerilme giderme tavlama uygulanması ve böylece kaynak artık gerilmelerinin azaltılması
- Yüksek nikelli ve yüksek kromlu ferritik veya dupleks çeliklerin kullanılması, yöntemlerine başvurulabilir.



(a)



(b)

Şekil 2.9 : 1.4541 Tipi Bir Paslanmaz Çelikte (a) Çukurcuk Korozyonu (b) Gerilmeli Korozyon Çatlamasına Ait Örnekler [7]

2.5.3 Çukurcuk ve çatlak korozyonu

Çukurcuk korozyonu, yüzeydeki pasif tabakadaki kromun kaybolmasıyla demiri yalnız bırakmasıyla oluşur. Özellikle deniz suyu bulunan klorürler kromla reaksiyona girerek kromyum-klorürleri oluştururlar. Böylelikle krom pasif tabakadan ayrılır ve yüzeyde sadece aktif demir kalır. Bu sayede klorürler bu tabakayı geçerek paslanmaz çeliği delmeye başlar. Bu çukurcuklar içinde ferritik klorürler oluşur ve korozyon olayı meydana gelir. Şekil 2.9(a)'da 1.4541 tipi bir paslanmaz çeliğin çukurcuk korozyonuna uğramış hali görülmektedir. Çukurcuk korozyonunu önlemek amacıyla

alaşımda molibden ve azot kullanılır. Bu elementlerin alaşıma etkisini ölçmek amacıyla çukurcuk korozyonu dayanım numarası adı verilen bir ilişki geliştirilmiştir. ÇKDN çeliğin çukurcuk korozyonuna karşı dayanımını belirtir ve ;

$$\text{ÇKDN} = \% \text{Cr} + 3,3 \% \text{Mo} + 16 \% \text{N} \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

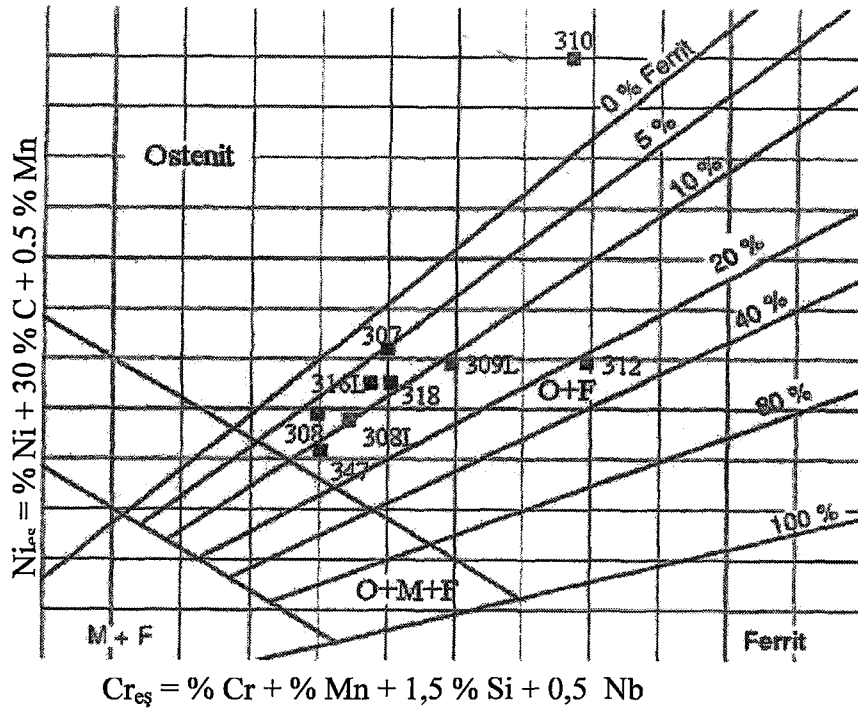
Deniz suyuna maruz kalan alaşımlarda minimum ÇKDN 32 olarak belirlenmiştir [2]. Çukurcuk korozyonunu etkileyen etkenler klorür miktarı, ortamın pH'ı ve sıcaklıktır. Yüksek sıcaklıkta ve düşük pH değerlerinde çukurcuk korozyonu olasılığı artar.

Çatlak korozyonu ise çukurcuk korozyonu ile aynı özelliklere sahip olmakla birlikte, korozyona uğrayan bir metalde dışardan bir etki ile küçük bir çatlak oluşması sonucu meydana gelir.

2.6 Dolgu Metali Seçimi

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında dolgu metalinin seçimi büyük oranda kaynak metali içerisinde ferrit olmasının kabul edilebilir olup olmamasına bağlıdır. Eğer ferrit olması isteniyorsa ve kabul edilebilir ise dolgu metali seçimi kolaylaşır ve bu konuda birçok seçenek vardır. Ancak kaynak metali içerisinde ferrit olması kabul edilebilir değilse dolgu metali seçimi sınırlanır çünkü sıcak çatlama olasılığı yüksektir. Dolgu metalinin çok düşük veya hiç ferrit fazı içermemesi isteniyorsa hammaddenin minimum seviyede kükürt ve fosfor içermesi gereklidir.

Schaeffler diyagramında östenitik+ferritik yapıda kaynak kabiliyeti yüksek bir bölge bulunmaktadır. Bu bölgede bulunan metaller östenitik paslanmaz çeliklerde dolgu metali kullanımı için çok iyi özelliklere sahiptir. Yapıda bulunan bir miktar ferrit (% 10) dayanımı artırmaktadır ve ferrit miktarının az olması sigma fazı oluşma ihtimalini azaltmaktadır. Şekil 2.10'da dolgu metali olarak kullanılan östenitik paslanmaz çeliklerin Schaeffler diyagramındaki yerleri görülmektedir.



Şekil 2.10 : Östenitik Dolgu Metallerinin Schaeffler Diyagramındaki Yerleri

Tablo 2.4 : Bazı Östenitik Dolgu Metalleri ve % Bileşimleri [11]

Tip	%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn	%Silikon	%P	%S
E308	0.08	18-21	9-11	-	2.5	0.9	0.04	0.03
E308L	0.04	18-21	9-11	-	2.5	0.9	0.04	0.03
E309	0.15	22-25	12-14	-	2.5	0.9	0.04	0.03
E310	0.20	25-28	20-22.5	-	2.5	0.75	0.03	0.03
E312	0.15	28-32	8-10.5	-	2.5	0.9	0.04	0.03
E316L	0.04	17-20	11-14	2-2.5	2.5	0.9	0.04	0.03
E317	0.08	18-21	12-14	3-4	2.5	0.9	0.04	0.03
E318	0.08	17-20	11-14	2-2.5	2.5	0.9	0.04	0.03
E347	0.08	18-21	9-11	-	2.5	0.9	0.04	0.03

Niobyum sıcak çatlama olasılığını artıran bir elementtir. Ticari olarak artık element miktarı az olan elektrodların bulunması mümkündür. Bu elektrodlarda niobyum oranı karbürlerin stabilize edilmesini etkilemeyecek derecede azaltılmıştır.

Kaynak havuzu şeklinin östenitik paslanmaz çeliklerdeki sıcak çatlama olasılığı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Dar ve derin kaynak ağızları çatlama riskini artırır. Ayrıca kaynak pasolarının yüzey şeklinin eliptik olmasına dikkat edilmelidir. Eliptik damlaların oluşması içinde, düşük akım ve kaynak hızı değerleriyle çalışılmalıdır. Dolgu metali seçilirken bu metalin kaynaklı birleştirme yapılan metalle hemen

hemen aynı olması uygundur. Ancak burada farklı bir durumun göz önüne alınması gerekmektedir. Yüksek molibden içeren malzemeler ve klorür içeren ortamlar söz konusuysa, molibden çukurcuk korozyonuna karşı dayanımı arttırsa da mikroskobik ölçekte molibdenin ayrışması söz konusudur. Molibdendeki dendritlerin merkezi interdendritik boşluklara göre daha zayıftır. Böylece bölgeselleşmiş korozyon için bu dendritlerin merkezi tercih nedeni olmaktadır. Bu durumdan kaçınmak için dolgu metalini seçerken molibden içeriğinin kaynaklı birleştirme yapılan malzemeden daha fazla olması gerektiği bulunmuştur. Böylece % 3 Mo içeren malzeme için %4'lük dolgu metal, % 4'lük malzeme için % 6'lık dolgu metal, %6'lık malzeme için % 8'lik dolgu metal kullanılması gerekmektedir. Ancak % 5'ten fazla molibden içeren paslanmaz çelikler kötü mekanik özelliklere sahiptir. Böylece % 4 molibden içeren östenitik paslanmaz çelikler için % 8 molibden içeren dolgu metal kullanılması uygun olacaktır [2].

2.7 Nüfuziyet Özelliği

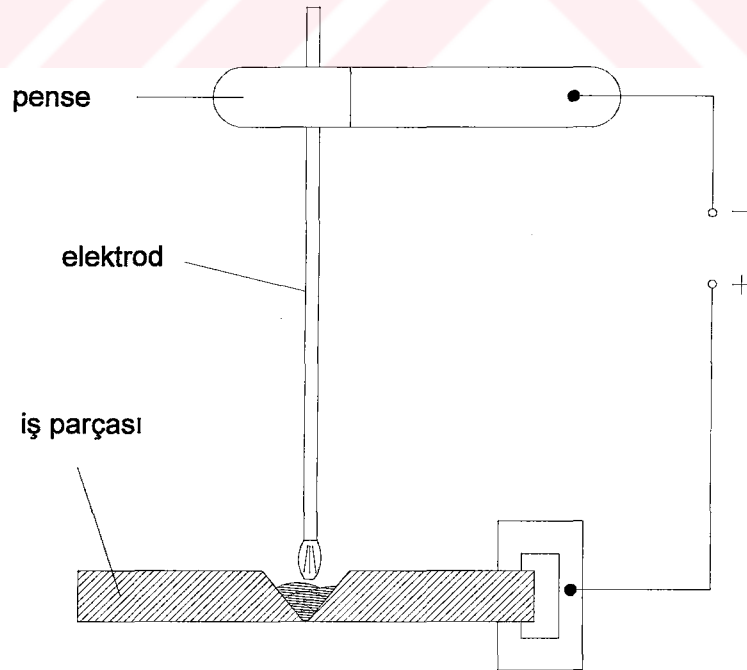
Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak nüfuziyeti özellikleri düşük ısı iletkenliğe sahip olduklarından dolayı martenzitik ve ferritik çeliklere göre iyi değildir. Kükürt, selenyum ve oksijen kaynak nüfuziyetini artırıcı etkiye sahiptirler. Örneğin 0.001 ile 0.003 oranı arasında kükürt içeren 304L tipi bir paslanmaz çeliğin kaynağında derinlik/genişlik oranı 0.25 iken, aynı kaynak parametreleriyle kaynağı yapılan 0.25 kükürtlü bir paslanmaz çelikte derinlik/genişlik oranı 0.5 olarak ölçülmüştür. Alüminyum ise oksijenle birleştğinde oksijenin etkisini azaltır.

Argon koruyuculu gazla yapılan kaynaklarda argona hidrojen ve helyum eklenmesi nüfuziyetinin kötü özelliğinin bir miktar telafi edilmesinde yardımcı olur. Uygulamalarda hidrojen, helyum ve argon gazlarının değişik oranlardaki karışımları nüfuziyeti artırma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN BİRLEŞTİRİLMESİNDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN KAYNAK YÖNTEMLERİ

3.1 Elle Örtülü Elektrodla Ark Kaynağı (Manuel Metal Arc Welding-MMA)

Elektrik ark kaynağı, esas olarak iki kutup arasında oluşturulan arkın ısı kaynağı olarak kullanılması ve ana ve ilave malzemeyi eritmesidir. Ark oluşturmak amacıyla kullanılan ve eriyerek metalsel banyoya geçen ince çubuk şeklindeki malzemelere elektrod denmektedir. Örtülü elektrodlar ise çıplak telin üzerine daldırma veya presleme ile bir örtü kaplanmasıyla elde edilir. Kaynak sırasında elektrod eriyerek kaynak ağzını doldurur. Elektrod örtüsü içindeki bazı maddelerden dolayı kaynakta arkın stabilize edilmesi, gaz atmosferi oluşturulması, oksit oluşumu ve deoksidasyon, alaşım oluşturma gibi etkilere sahiptir. Şekil 3.1’de elektrik ark kaynağının basit olarak gösterimi verilmiştir. Yöntemde ergiyen ve ergimeyen elektrodlar kullanılabilir. Ergimeyen elektrod kullanılması durumunda ilave dolgu malzemesi kullanılır.



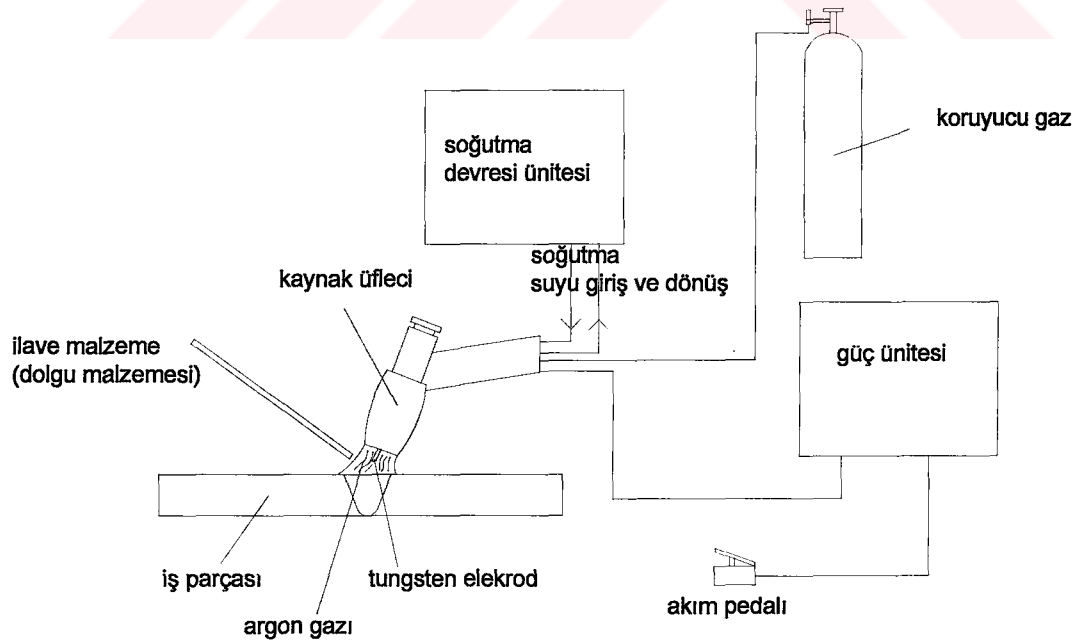
Şekil 3.1 : Elektrik Ark Kaynağının Prensip Olarak Gösterimi [12]

3.2 Koruyucu Gaz Kaynak Yöntemleri

Koruyucu gaz kaynak yöntemlerinde temel prensip ark ortamı ve kaynak bölgesini atmosfer gazlarına karşı korumak amacı ile belirli gazlarla kontrollü olarak beslemektir. Bu sayede hem ortamın kötü etkiye sahip gazlardan korunması sağlanmakta hem de yüksek verim ve derin nüfuziyet elde edilebilmektedir.

3.2.1 Argon-Ark kaynağı (TIG-GTAW)

Bu yöntemde ark ergimiyen bir tungsten elektrodla iş parçası arasında oluşturulmaktadır. Koruyucu gaz olarak He ve Ar gazları kullanılmaktadır. Koruyucu gazın soygaz olmasından dolayı atmosfer gazlarının meydana getirdiği oksidasyon ve nitrür oluşumu gibi istenmeyen durumlar önlenmektedir. Isıl iletkenliği yüksek malzemelerde daha derin nüfuziyet elde etmek amacı ile aynı akım şiddetinde daha yüksek ark gerilimi ile çalışmaya yatkın olan He, Ar veya He+Ar gaz karışımları kullanılmaktadır. Ayrıca paslanmaz çeliklerin kaynağında Ar gazı ile H_2 ve N_2 gazları da kullanılmaktadır. Şekil 3.2’de argon-ark kaynağıyla birlikte kullanılan ekipmanlar gösterilmiştir. Bu kaynak yönteminde tungsten elektrod kullanıldığından dolayı ve tungstenin ergime sıcaklığının yüksek olmasından dolayı kaynak prosesi sırasında yüksek sıcaklıklara ulaşılır.

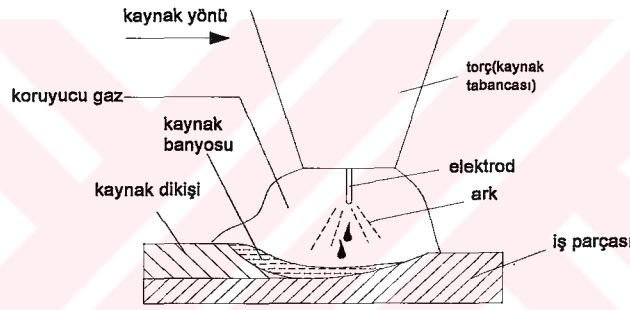


Şekil 3.2 : Argon Ark Kaynağının Şematik Olarak Gösterilişi

3.2.2 Metal soygaz kaynağı (MIG-GMAW)

Bu yöntemde argon-ark kaynağından farklı olarak ark, otomatik olarak beslenen ilave metal ile iş parçası arasında oluşturulmaktadır. Yöntemde ergiyen elektrod kullanılmaktadır ve elektrod bir makaraya sarılı biçimde kaynak bölgesine torç vasıtasıyla ulaştırılmaktadır. Burada elektrod hızı yarı otomatik olarak kontrol edilebileceği gibi otomatik olarak da kontrol edilebilir. Dolgu malzemesi olarak bir makara tarafından beslenen elektrod tel kullanılmaktadır. Uygulamalarda koruyucu gaz olarak genellikle Ar kullanılmaktadır. Ar gazına kontrollü olarak ilave edilen O₂ gazı ile bazı özellikler değiştirilebilmektedir. %5 O₂ ilavesi uygulanan akım şiddetinde bir azalma ile çalışılabilmesini ve bu sayede nüfuziyet derinliğinin artırılabilmesini, dolayısıyla gözenekliliğin azaltılabilmesini sağlamaktadır.

Şekil 3.3’de metal soy gaz kaynağında kaynak dikişinin oluşumu gösterilmiştir.

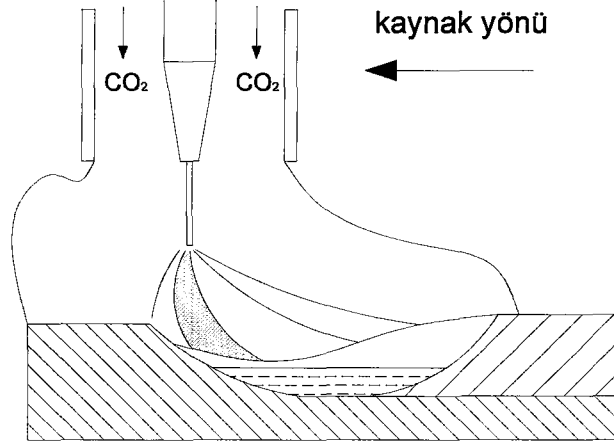


Şekil 3.3. : Metal Soy Gaz Kaynağında Ark Bölgesi [3]

3.2.3 CO₂ ile koruyucu gaz kaynağı (MAG-GMAW)

Bu yöntemde koruyucu gaz olarak CO₂ gazı kullanılmaktadır. Elektrik arkı eriyen kaynak teli ile iş parçası arasında oluşturulmaktadır. Bu kaynak yönteminin MIG kaynağından tek farkı CO₂ gazının kaynak tabancasına gelmesi için kullanılan basınç düşürücü bir valf kullanılmasıdır. Uygulamalarda CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılmasının nedeni bu gazla yapılan kaynaklarda daha derin nüfuziyet elde edilebilmesidir. CO₂ gazı aktif bir gaz olduğundan dolayı arkın yüksek sıcaklığında karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ayrışma sonucu serbest kalan oksijen gazıyla kaynak banyosunda yeniden CO₂ oluşumu gerçekleşir. CO₂'nin yeniden oluşumu ekzotermik bir reaksiyondur ve dışarıya ısı verir. Bu nedenle de kaynak banyosunda derin nüfuziyet elde edilir. Özellikle östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında düşük

ısı girişi yapılarak kullanılabilecek bir yöntemdir. Şekil 3.4’de yöntem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : CO₂ İle Koruyucu Gaz Kaynağı [3]

3.3 Kaynak Yönteminin ve Kaynak Parametrelerinin Seçimi:

Kaynak işleminde dikiş kesiti ve kalitesini etkileyen parametreler şunlardır [12] :

- Kaynak akım şiddeti
- Kaynak ark gerilimi
- Kaynak hızı
- Elektrod tipi ve çapı
- Akım cinsi ve kutuplama türü
- Paso sayısı

Kaynak değerlerinin seçilmesinde genel olarak öncelikle malzeme kalınlığına göre elektrod çapı seçilir. Akım şiddeti ve voltaj değerleri için ise aşağıdaki ifadeden yararlanılabilir [12].

$$I_k = K \times d_e (A) \quad (3.1)$$

d_e : elektrod çekirdek çapı

K : elektrod tip ve çapına bağlı düzeltme katsayısı

K değerleri için Tablo 3.1’den yararlanılabilir.

Tablo 3.1 : Elektrod Çeşidine Göre Değişen Düzeltme Katsayısı Değerleri [12]

K	Elektrod çeşidi
35-45	Orta kalın örtülü elektrodlar
40-50	Kalın örtülü elektrodlar
50-60	Yüksek ergime verimli elektrodlar

Östenitik paslanmaz çelikler düşük ısı iletim katsayısına ve yüksek genleşme katsayısına sahip olduklarından, akım ve voltaj değerlerinin minimum ısı girişini sağlayacak şekilde seçilmesi gereklidir. Genellikle yüksek voltaj değerlerinde ark kararlılığı yüksek olur ve iyi bir kaynak kalitesi elde edilir. Ancak bu durumda sıcak çatlama riski ve yanma riski olasılığı artar. Düşük voltaj değerlerinde ise sıçramalar artar, nüfuziyet azalır ve kaynak dikişi kalitesi düşer.

Kaynak prosesinde kaynak hızının da çarpılmalar açısından büyük önemi vardır. Kaynak hızı az olursa ısı bir bölgede yoğunlaşabilir. Bu yüzden mümkün olduğunca yüksek hızlarda çalışılması gereklidir.

Kalınlığı 8 mm'yi geçen plakalarda paso sayısı birden fazladır. Bu durumda çarpılmaların oluşma ihtimali daha fazladır. Çünkü paso sayısı arttıkça kaynaktaki ısı girişleri artar. Tablo 3.2'de kalınlıkları 8 mm'ye kadar olan 1.3964 tipi bir östenitik paslanmaz çelik için önerilen kaynak değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.2 : 1.3964 Çeliği İçin Önerilen Kaynak Parametreleri (Tek Pasolu Kaynak Yapılan Sac Kalınlıkları İçin)

Sac kalınlığı (mm)	Akım şiddeti (A)	Voltaj değeri(V)	Kaynak hızı(mm/s)
2	90	19	15-18
2,5	100	19,6	15-18
3,5	130	20,3	15-18
4	143	20,9	10
5	150	21,5	10
6	154	22,3	5
8	182	22,9	5

Kutuplama çeşidi ise genellikle (%80) parçanın + kutup, torçun – kutup olması şeklinde kullanılmaktadır. Ters durumda, elektrod çok erir ve buna rağmen derin nüfuziyet elde edilemez.



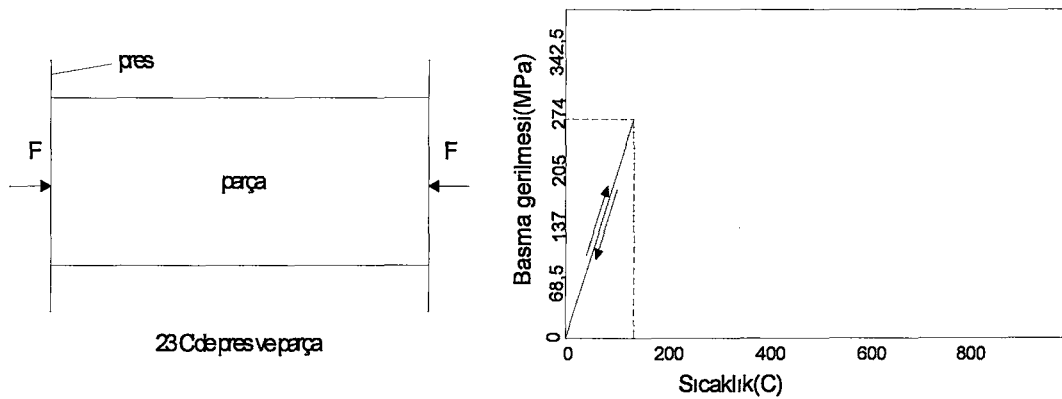
4. KAYNAKLI BAĞLANTILARDA OLUŞAN ÇARPILMALAR

4.1 Çarpılmaların Nedenleri

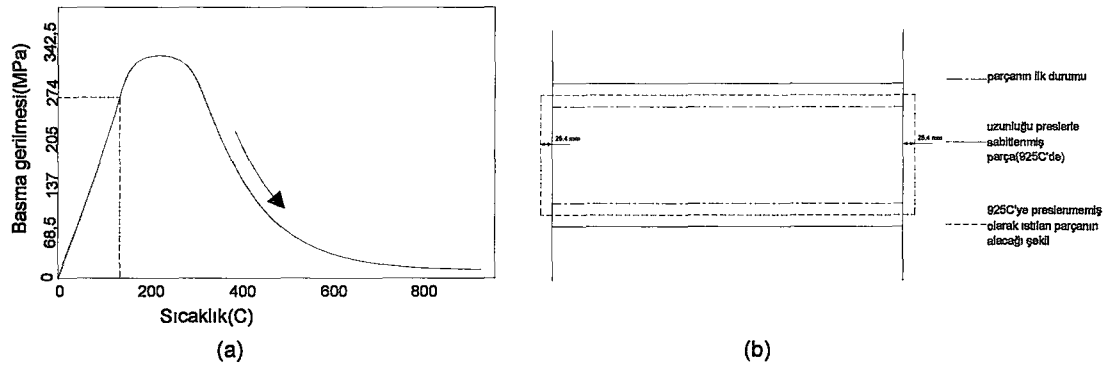
Kaynak prosesi bir ısı kaynağı kullanılarak parçaların ısıtılması, eritilmesi ve soğutularak katılaştırılmasıdır. Bu proses sırasında kaynaklı birleştirme yapılacak parçalar bölgesel olarak ısıtıldığından, ısı dağılımları üniform değildir. Bu nedenle ısıtma ve soğutma sırasında parçada genişlemeye ve büzülmeye yol açan artık gerilmeler ve bunların doğurduğu kuvvetler oluşur. Bu kuvvetlerin elastik ve plastik deformasyona yol açması sayesinde parçada istenmeyen şekil değişiklikleri meydana gelir. Bu şekil değişiklikleri çarpılma olarak adlandırılır.

Çarpılmaların oluşum mekanizmasını anlayabilmek için ısıtma ve soğutma sırasında parçada oluşan artık gerilmeleri ve bunların yön ve miktarını belirleyebilmek gerekir. Bu sayede alınacak önlemler daha doğru biçimde oluşturulabilir.

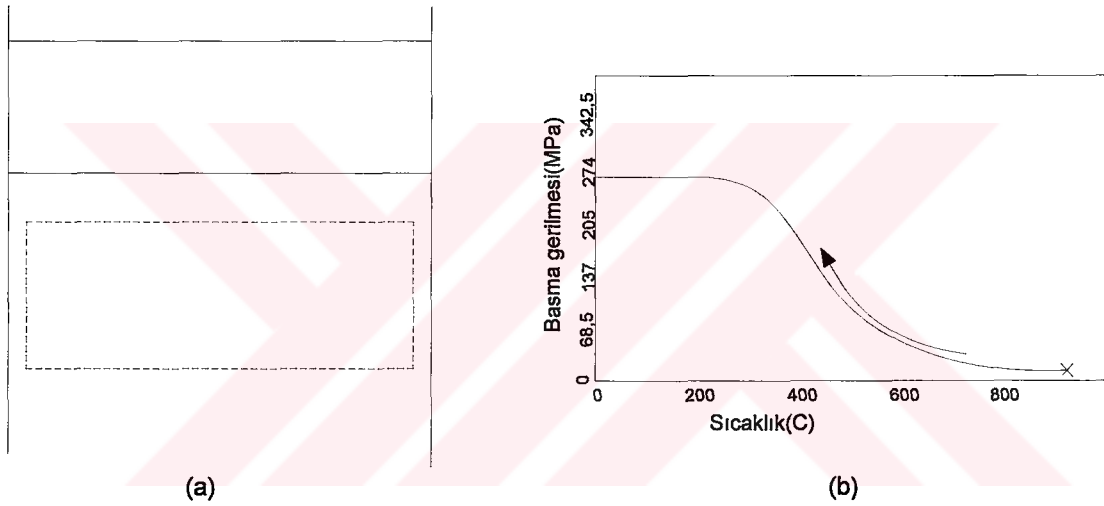
Şekil 4.1’de iki taraftan preslerle kısıtlanmış oda sıcaklığında 274 MPa akma dayanımı, 7×10^{-6} N/mm² elastisite modülü, $5,7 \times 10^{-6}$ 1/°C ısı iletim katsayısı değerlerine sahip olan bir parça görülmektedir. Eğer parça 135°C’ye ısıtılırsa parçada 274 MPa değerinde basma gerilmeleri oluşmaktadır. Bu değer parçanın akma dayanımı değeridir. Parça yeniden oda sıcaklığına soğutulduğunda oluşan basma gerilmeleri aynı şekilde sıfıra düşmektedir.



Şekil 4.1 : 135 °C’ye Isıtılıp Soğutulan Parçada Oluşan Gerilme Değerleri



Şekil 4.2 : (a) 925 °C'ye Isıtılan Parçada Sıcaklık-Gerilme Değişimi İlişkisi (b) Isıtılan Parçanın Pres Altında ve Preslenmemiş Durumda Alacağı Tahmin Edilen Şekiller



Şekil 4.3 : (a) Soğutma Sırasında Kendini Çekmeden Dolayı Parça Küçülmek İsteyecektir (b) Soğuma Esnasında Sıcaklık-Gerilme Değişimi İlişkisi

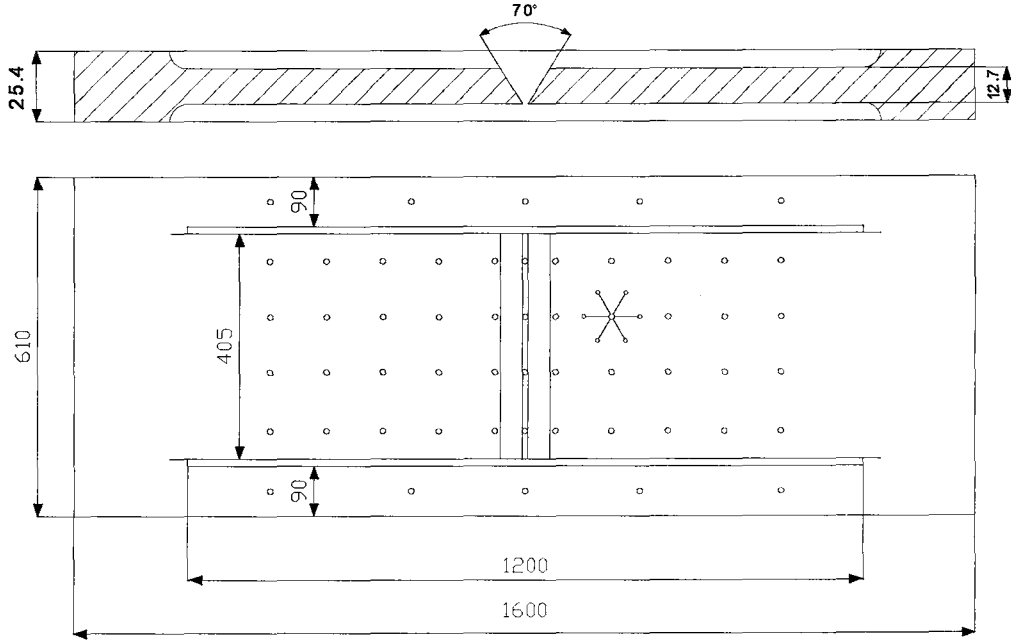
Şekil 4.2'de görüldüğü gibi eğer parça 925 °C'ye ısıtılırsa parça üzerinde herhangi bir artık gerilme söz konusu olmaz. Çünkü bu durumda parçanın akma değerinin üzerine çıkmıştır. Bu aşamadan sonra parça soğutulacaktır. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi soğuma esnasında parçada kendini çekme olayı oluşacaktır. Parça büzülmeye çalışacak ancak şekil değiştiremeyecektir. Yaklaşık 650 °C'ye soğuduktan sonra parça yeniden elastik dayanım kazanacaktır. Presle hareket etmesi kısıtlandığından parçada artık gerilmeler oluşacaktır. Eğer pres açılıp kısıtlama kaldırılırsa oluşan çekme gerilmeleri parçanın çarpılmasına ve çap artması şeklinde şekil değiştirmesine neden olacaktır [5].

Artık gerilmeler parçanın yapısal kararlılığına dönme eğilimi nedeniyle oluşurlar. Kaynak prosesinde parçaya dışarıdan enerji verildiği için bu enerji kaynaklı birleştirme yapılmak istenen parçanın içinde artık gerilmelere yol açar. Eğer bu artık gerilmeler malzemenin plastik şekil değiştirme sınırını aşarsa parçada plastik şekil değişimleri ve dolayısıyla çarpılmalar oluşur. Yukarıdaki örnek alın kaynağı yapılan bir çelik için düşünüldüğünde aynı sonuçlarla karşılaşılır. Çünkü kaynak prosesinde kaynaklı birleştirme yapılan parçalar bölgesel olarak ısıtılmaktadır. Yukarıdaki örnekteki presin yerini burada ısıya maruz kalmayan bölge olan çevredeki metal almıştır.

4.2 Çarpılmaların Ölçülmesi

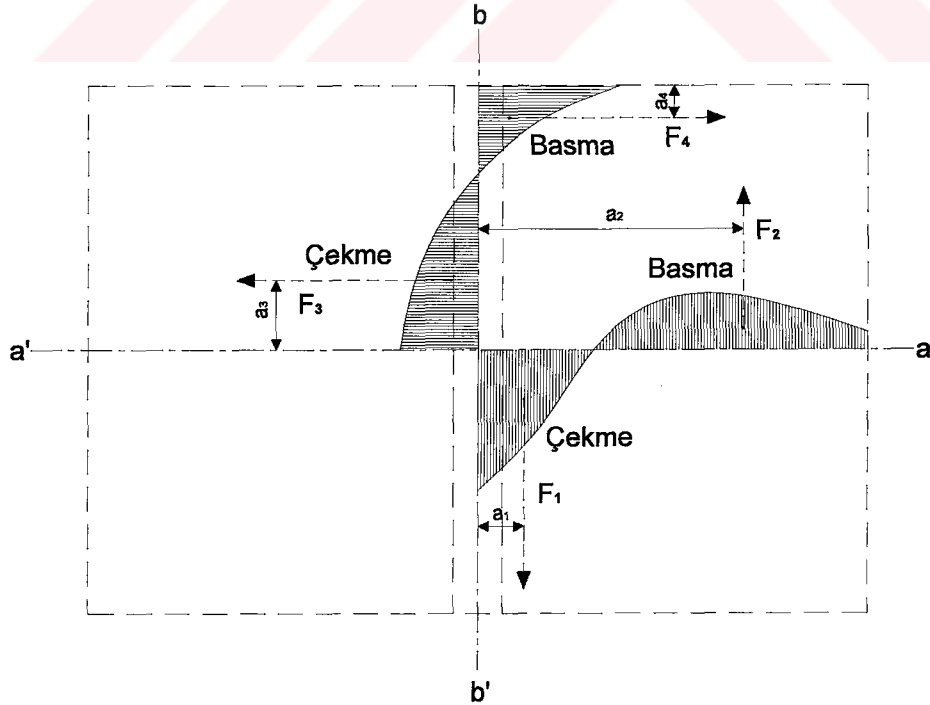
Artık gerilmelerin ve bunların sonucu olan çarpılmaların ölçülmesinde bilinen en eski yöntem basit geometriye sahip bir metalin bir tarafından kesilerek oluşan çarpılmaların ölçülmesini içeriyordu [5]. Özet olarak gerilme içeren metalin kesilmesi sistemin dengesini bozacaktır ve parça yeni denge sağlanana kadar çarpılacaktır. Birçok araştırmacı artık gerilmeleri ölçebilmek için uğraşmıştır fakat kaynak prosesinin karmaşıklığından dolayı kesin sonuçlar elde edilememektedir. Çünkü ısı iletkenliğinin ve mekanik özelliklerin sıcaklıkla birlikte değişmesi artık gerilmelerin hesaplanmasını oldukça zorlaştırmaktadır.

Artık gerilmelerin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan diğer bir yöntem ise “parselleme” (subdivision) yöntemidir. Şekil 4.4’te görülen yöntemde kaynak işleminden sonra parça üzerine küçük çemberler çizilerek bunların mesafeleri ölçülür. Çemberler kaynak dikişine paralel ve dikey olarak yerleştirilir. Daha sonra çemberlerin içinde kalan malzeme kesilerek parçadan çıkarılır. Örneğin, eğer kaynak dikişine paralel olan çemberler arasındaki mesafe kesme işleminden sonra önceki haline göre artmışsa bu çemberin bulunduğu kare içerisindeki bölge basma gerilmeleri bölgesidir. Eğer mesafe azalmışsa bölge kendini çekme gerilmeleri bölgesidir.



Şekil 4.4 : Artık Gerilmeleri Ölçmek İçin Kullanılan “Parselleme” Yöntemi (Ölçüler mm’dir)

Sonuçta elde edilen uzunluk değişimi değerleri gerilmeyle ilişkilendirilerek (birim uzunluk başına düşen gerilme miktarı bulunarak) ölçüm yapılır. Burada çemberlerin kesilmesiyle serbest kalan kendini çekme gerilmeleri çarpımayla sonuçlanmaktadır. Bu yöntemle artık gerilme miktarı ölçülen bir V kaynak ağızlı parça Şekil 4.5’de görülmektedir.



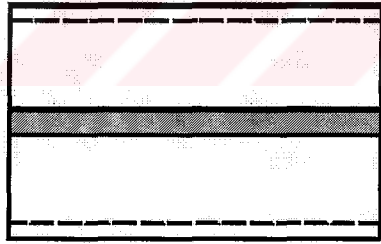
Şekil 4.5 : V-Ağızlı Alın Kaynağında Oluşan Kendini Çekme Gerilmeleri

Tahminlere dayalı olarak Şekil 4.5'teki alın kaynağına paralel yönde oluşan artık gerilmeler merkezde çekme yönünde ve akma dayanımına yakın değerdedir. Parça üzerinde kenarlara gidildikçe bu çekme gerilmeleri azalarak sifıra yaklaşımakta ve belirli bir yerde 0 gerilme oluşarak parçada gerilmersiz bir bölge oluşturmaktadır. Bu noktadan sonra parçanın kenarlarına doğru gidildikçe gerilmeler dengeyi sağlamak açısından basma gerilmesine dönüşmektedir. Bu gerilme dağılımları her kaynaklı birleştirmede görülmez. Farklı kaynak yöntemlerinin kullanılması gerilme dağılımını değiştirecektir [5].

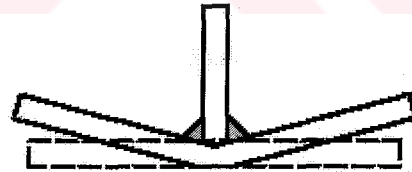
4.3 Çarpılma Tipleri

Masubuchi [13] çarpılma tiplerini 6 kategoriye ayırmaktadır. Bunlar ;

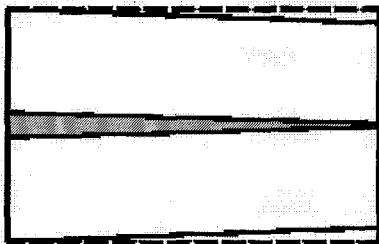
1. Enine çekme
2. Açısal çarpılma
3. Dönme
4. Boylamasına çekme
5. Burkulma
6. Uzunluğuna eğilme olarak gruplandırılmıştır ve Şekil 4.6 'da görülmektedir.



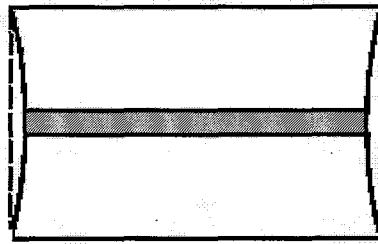
1. Enine çekme



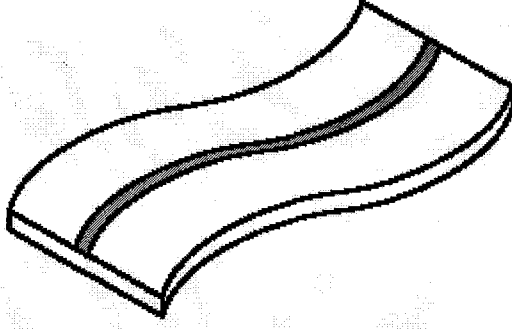
2. Açısal çarpılma



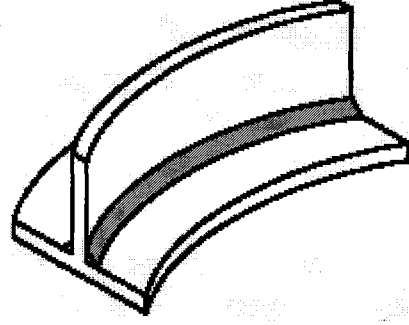
3. Dönme



4. Boylamasına çekme



5. Burkulma



6. Uzunluğuna eğilme

Şekil 4.6 : Masubuchi'ye Göre Çarpılma Tipleri

Çarpılmaların bu şekilde sınıflandırılması bunlara karşı alınacak önlemlerin yöntemi açısından önemlidir. Bazı önleme yöntemleri tüm çarpılma tipleri için geçerli olmakla beraber bazı önlemler sadece bir çarpılma tipi için geçerlidir. Ayrıca çarpılmaların biri için alınacak önlem konstrüksiyonun geometrisine bağılı olarak başka bir çarpılma tipinin artmasına neden olabilmektedir.

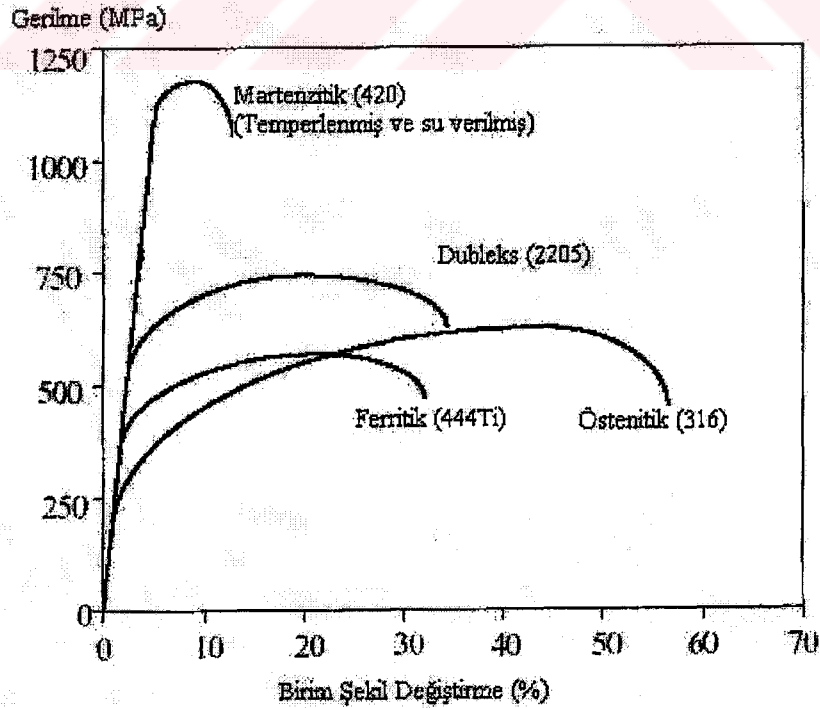
4.4 Malzeme Özelliklerinin Artık Gerilmeler ve Çarpılmalar Üzerindeki Etkisi

Tablo 4.1'den görülebileceğı gibi östenitik paslanmaz çelikler diğ er çeliklere göre düşük ısı l iletkenliğ e ve yüksek genleş me katsayısına sahiptirler. Özellikle toleransların önemli olduğu kaynaklı birleştirmelerde büyük sorunlar yaşanmaktadır. Yüksek ısı l genleş me katsayısına sahip oldukları n kaynak sırasında oluş an şek il değı şimleri daha fazla olmaktadır.

Tablo 4.1 : Değişik Tipteki Çeliklerin Fiziksel Özellikleri [7]

Çelik Tipi	Çelik no'su	20 °C'deki ısı genleşme katsayısı $\alpha \times 10^{-6}$ (1/°C)	Isıl iletkenlik λ (W/mC)	Elektriksel direnç $\Omega(\Omega\text{mm}^2/\text{m})$
Karbon çeliği	1016	13	47	0.15
Feritik	S44400	12.5	24	0.6
Feritik-Östenitik	329	13.5	20	0.85
Östenitik	304	19.5	15	0.7
Süperöstenitik	1.3964	15.7	14	0.7

Şekil 4.7'de ise değişik tipteki çelikler için gerilme ve birim şekil değiştirme ilişkisi görülmektedir. Kaynak sırasında oluşan artık gerilmeler çarpımalara yol açtığından bu gerilmelerin şekil değişimine yol açması östenitik paslanmaz çeliklerde şekil değişimi diğer türlere göre daha fazla olacaktır.



Şekil 4.7 : Paslanmaz Çelik Türlerinde Gerilme-Birim Şekil Değiştirme İlişkisi

4.5 Koruyucu Gaz Kaynak Yöntemlerinde Ark Oluşumu ve Östenitik Paslanmaz Çeliklerde Isı Girişinin Azaltılması

Kaynak prosesinde oluşan çarpımların azaltılması için ısı girişinin minimum seviyede tutulması ve kaynak sırasında oluşturulan arkın bu gereksinimi karşılaması gerekmektedir. Genel olarak bir kaynak arkının oluşturulması şu şekildedir:

Öncelikle ark oluşumu için bir kaynak akımı üretici gereklidir. Bu üreticin (+) ve (-) uçlarının biri iş parçasına, diğeri elektroda bağlanır. Elektrod iş parçasına değmediği zaman devrede akım hareket etmez. Elektrod iş parçasına değdiğinde devre kapanır ve akım hareket etmeye başlar. Bunun sonucu olarak sıcaklık yükselir ve direncin en yüksek olduğu nokta olan elektrodun iş parçasına değdiği yerde iyonlaşma başlar. Bu esnada elektrod bir miktar geri çekilirse akım iletken ortamda akmaya başlar. Bu durumda ark oluşumu gözlenir. Kaynaktaki bu akımın şiddetine bağlı olarak kaynak bölgesinde bir erime olur. Koruyucu gazla yapılan kaynaklı birleştirmeler gemi saclarının kaynağında çok yaygın olarak kullanıldığından ve çarpımların oluşumunda ark oluşumu türünün büyük etkisi olduğundan, bu nokta önemlidir. Koruyucu gazla yapılan kaynaklı birleştirmelerde ark şu şekillerde oluşur:

- kısa ark yöntemi
- uzun ark yöntemi
- sprej ark yöntemi
- darbeli ark yöntemi

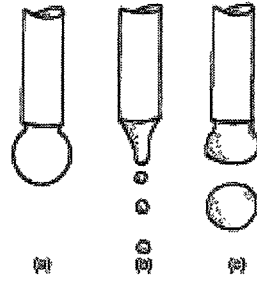
Kısa ark yöntemi düşük akım ve voltaj değerleri ile çalışarak oluşturulur. İnce parçaların ve çarpımların söz konusu olduğu durumlarda uygun bir ark türüdür.

Uzun ark yönteminde ise akım şiddeti ve voltaj değerleri yüksektir. Yüksek ısı girdisi sağlanır ve bu nedenle östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında elverişli bir yöntem değildir.

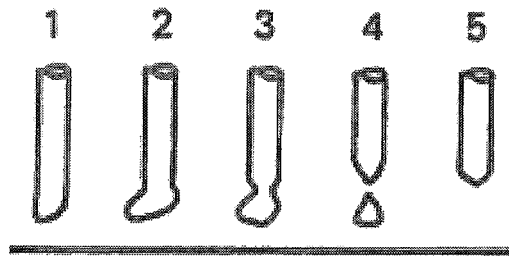
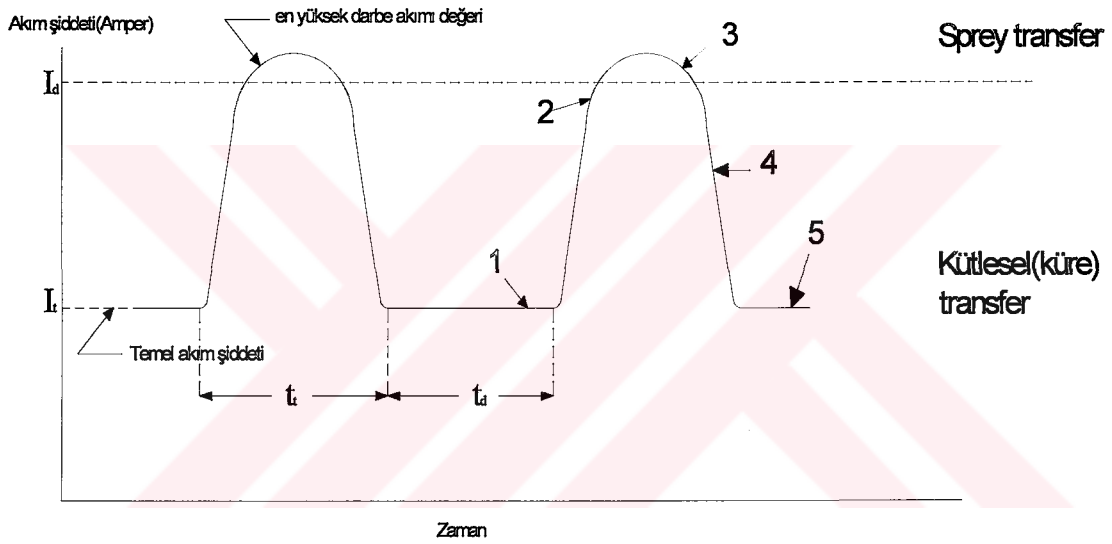
Sprej ark türünde ise elektroddan iş parçasına sayısı saniyede yüzlerce olan küçük damlalar halinde taşınım olur. Elektrod ucunun sivrileşerek sivrilmiş uçların kaynak havuzuna damlaması şeklinde gerçekleşir.

Darbeli ark yöntemi ısı girişinin minimum seviyede tutulması açısından en uygun yöntemdir. Kaynak akım üreticinin bu şekilde akımı üretebilecek bir makine olması gerekliliği vardır. Bu yöntemde akım şiddeti saptanmış iki değer arasında

değişmektedir. Şekil 4.8’de küresel, sprej ve darbeli arkla oluşan metal transferi şekilleri görülmektedir.



Şekil 4.8 : Küresel, Sprej ve Darbeli Ark ile Oluşturulan Metal Transferi Şekilleri
[14]



Şekil 4.9 : Darbeli Akım Yönteminde Damlaların Oluşumu ve Banyoya Geçiş [11]

Şekil 4.9’den görülebileceği gibi akım şiddeti belirli bir frekansta değişmektedir. Temel akım şiddeti ark oluşumunu sağlayacak en düşük akım şiddeti değeridir. Akımın değişen değeriyle birlikte çok kısa bir an için akım değeri yükseltilir. Bu

sırada elektrodun ucunda oluşan damlacık akımın en yüksek değerinde kopar ve kaynak havuzuna düşer. Birim zamanda oluşan damlacıkların sayısı değiştirilebilen frekans değeri ile azaltılabilir veya artırılabilir. Özellikle östenitik paslanmaz çeliklerde düşük ısı girişi istendiğinde kullanılabilecek bir yöntemdir. Bu sayede çarpımlar minimum seviyede tutularak kaliteli bir kaynak dikişi hazırlanabilir.

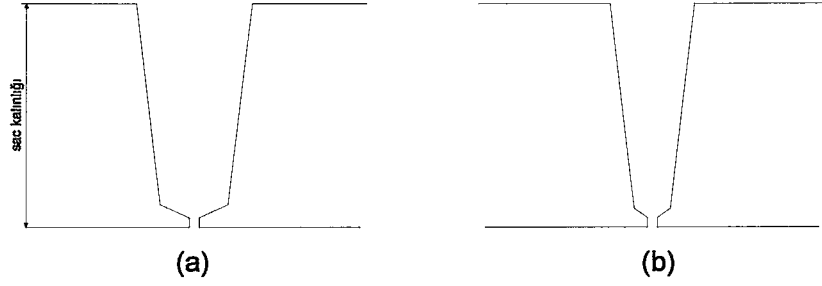
Darbeli ark yönteminde kaynak kalitesini etkileyen parametreler şunlardır :

- darbe frekansı, $f = 1/(t_d + t_i)$
- iki darbe arasında geçen süre, $s = V (t_d + t_i)$
- temel ve darbe akım değerleri arasındaki oran, $A = I_t/I_d$
- bir çevrim zamanında darbe akım şiddeti ve temel akım şiddeti değerlerinde durma süresi, $T = t_i/t_d$

Darbe frekansının artırılması, artık gerilmelerin azalmasını sağlamaktadır. İki darbe arasında geçen sürenin kaynak hızına bağlı olarak artırılması daha az ısı girişinin oluşmasını sağlar. Bu sayede artık gerilmeler azalır. Temel ve darbe akımı değerleri arasındaki oran arttıkça, yani temel akım şiddetinin darbe akım şiddetine yakın olması ITAB'da ısıl değişimlerin az olmasını sağlar ve artık gerilmeler daha az oluşur. Temel akım şiddetinde durma süresinin, darbe akım şiddetinde durma süresine oranının artması da artık gerilmelerin azalmasını sağlar [15].

4.6 Kaynak Ağzı Genişliğinin Çarpımlara Etkisi

Östenitik paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletim katsayısına ve yüksek genleşme katsayısına sahip olduklarından dolayı kaynak prosesi sırasındaki ısı girişlerinin mümkün olduğunca düşük tutulması gerekmektedir. Bu amaçla kaynak ağzıları hazırlanırken dolgu yapılacak ve/veya eritilecek bölge olan kaynak havuzunun küçük tutulması kaynak hacminin düşürülmesini ve dolayısıyla düşük kaynak zamanının sağlanmasını mümkün kılacaktır. Kaynak zamanının kısaltılması ise ısı girişlerinin minimuma indirgenmesini olanaklı hale getirecektir.



Şekil 4.10 : Kaynak Ağzı Şekilleri (a) Geniş (b) Dar

Kaynak ağzı geometrisinde yapılacak değişikliklerle kaynak prosesine maruz kalacak bölgenin hacmi azaltılabilir. Bu sayede;

- düşük kaynak hacmi
- daha kısa kaynak zamanı
- düşük ısı girişi
- dolgu metalinin daha az kullanılması
- koruyucu gazın daha az kullanılması
- daha az artık gerilme

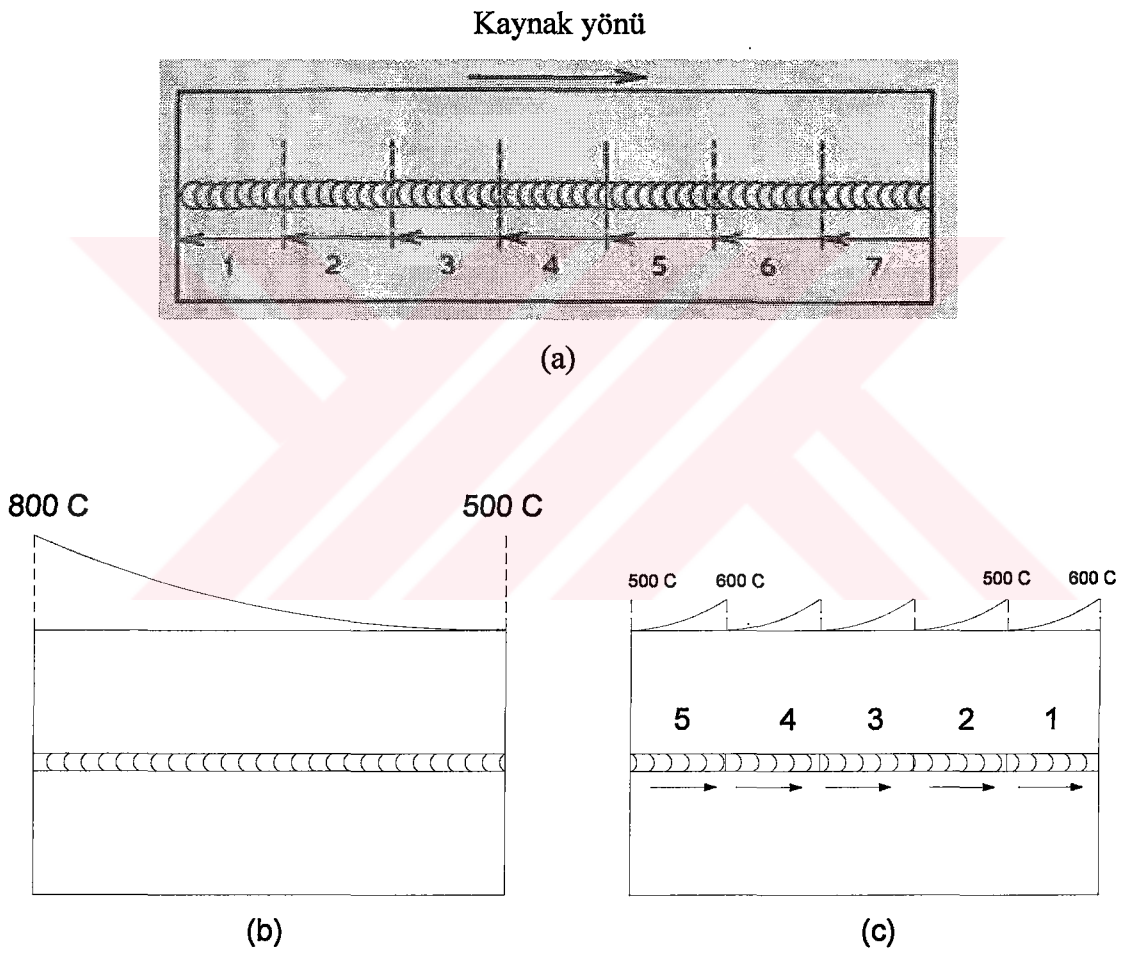
sonuçlarına ulaşılabilir. Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerin kaynağında dolgu metalinin fazla kullanıldığı parçaların üretiminde ekonomiklik açısından da kaynak ağzının mümkün olduğunca az kullanılması bir avantaj sağlayacaktır.

Ayrıca dikkat edilmesi gereken bir noktada koruyucu gazın kullanımınıdır. Örneğin MIG kaynağı ile yapılan kaynaklı bağlantılarda koruyucu gaz olarak saf Ar kullanılması durumunda yeterli erimenin sağlanabilmesi için yüksek ısı girişine gereksinim olduğu belirlenmiştir. Ar gazına % 30-50 civarında He eklenmesi ısı girişini artırmadan yeterli nüfuziyetin sağlandığını göstermiştir [16].

4.7 Gerilmelerin Dengelenmesi ve Kaynak Sırasının Önemi

Gerilmeleri dengelemek için kaynak prosesinde uygun bir sıra belirlenmelidir. Bu sayede bir tarafta oluşan çekme yada basma gerilmeleri bir sonraki pasoda dengelenebilir. Bu amaçla kaynaklı birleştirmenin geometrisine de bağlı olarak mümkün olduğunca simetrik kaynaklar kullanılmalıdır. Burada kaynak sırasının önemi oldukça fazladır. Uygun bir kaynak sırası belirlenerek ısıнын mümkün olduğunca düzgün dağılımlı olması ve gerilmelerin birbirini dengeleyecek şekilde

seçilmesi gerekmektedir. Kaynaklı birleştirmelerde oluşana çarpılmalar büyük oranda sıcaklık dağılımlarından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi kaynak pasosu bir defada çekilirse sıcaklık parça üzerindeki sıcaklık farkı fazla olacaktır. Ancak aynı kaynak beş paso ile yapılırsa parça üzerindeki sıcaklık farkları tek pasoda yapılana göre daha az olacaktır. Buda çarpılmaların(bu örnek için boylamasına) azaltılmasını edilmesini sağlayabilecek bir yöntemdir. Şekil 4.11'de yine gerilmeleri dengelemek için kullanılan geri adım kaynağı yöntemi görülmektedir.

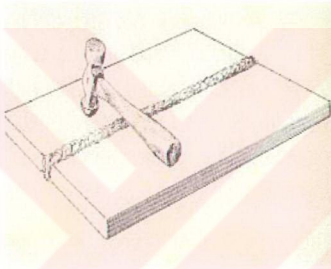


Şekil 4.11 : Tek Paso (b) Çok Pasoda (c) Tamamlanmış Bir Kaynak Dikişi

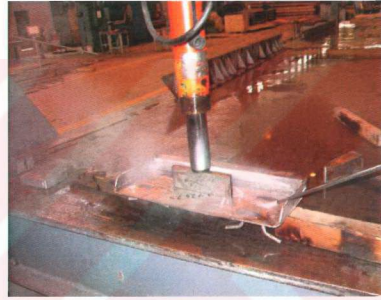
4.8 Artık Gerilmelerin ve Çarpılmaların Kaynak Sonrası İşlemleriyle Giderilmesi

4.8.1 Mekanik düzeltme

Çarpılmaları düzeltmek için en basit yol çekiçlemedir. Bu işlemde oluşan şişlik veya şekil değişiklikleri çekiçle vurularak düzeltilir (Şekil 4.12.a). Bir diğer yöntem ise pres kullanılarak metalin normal şekline döndürülmesidir. Aynı şekilde b'de görüldüğü gibi çarpılmaya uğramış parça presle düzeltilerek, düzgün şekle sokulmakta ve daha sonra ısıtma işlemi uygulanarak pres altındaki şeklini koruması sağlanmaktadır.



(a)



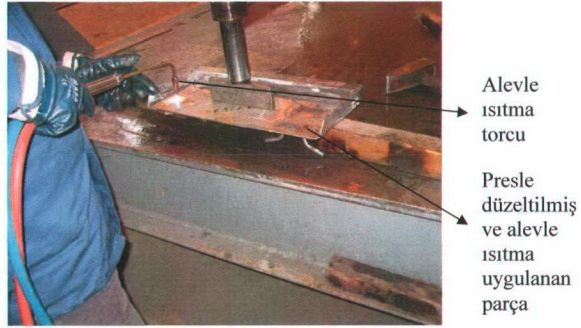
(b)

Şekil 4.12 : Mekanik Düzeltme Yöntemleri (a) Çekiçle Düzeltme (b) Presle Düzeltme

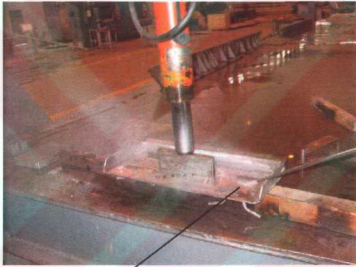
4.8.2 Alevle düzeltme

Bu işlemde kaynaktan sonra çarpılmaya uğramış olan parçalar oksijen ve asetilen gazları kullanılarak oluşturulan bir alevle tekrar ısıtılarak düzeltilmektedir. Bu işlemde önemli olan nokta ısıtma işlemi yapılırken 400°C 'nin üzerine çıkılmamasıdır. Bu sıcaklıktan sonra östenitik paslanmaz çeliklerde yapı değişiklikleri ve/veya krom-karbür çökmesi gibi istenmeyen durumlar oluşabilir. Bu işlemde düzeltme işlemi yapıldıktan sonra ısıtılan bölge su ile soğutulmaktadır. Şekil 4.13 (a), (b) ve (c)'de bu işlemler görülmektedir. Şekil 4.14'de de yine alevle ısıtma işlemi uygulanmış başka bir parçanın su ile soğutulması görülmektedir. Burada su ile soğutmanın amacı soğutmanın hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Bu sayede parçanın tekrar şekil değiştirmesine müsaade edilmemektedir. Şekillerden görülebileceği gibi alevle ısıtma işlemi ve soğutma

işlemi kaynak geometrisine ve kaynağı gerçekleştiren kişinin seçimine göre bölgesel olarak yapılmaktadır.



(a)



(b)



(c)

Alevle ısıtmadan
sonra parçanın su ile
soğutulması

Şekil 4.13 : Çarpımların Düzeltilmesi Amacı İle Uygulanan (a) Alevle Isıtma işlemi (b) Soğutma İşlemi (c) Soğutma İşlemi Bittikten Sonra Düzelmış Parça



Alevle ısıtma
Uygulanmış
bölgeler

Şekil 4.14 : Alevle Isıtma İşlemi Uygulanmış 1.3964 Tipi Paslanmaz Çeliğin Su İle Soğutulması

4.9 Östenitik ve Süperöstenitik Paslanmaz Çeliklerin Gemi Gövdesi Yapımında Kullanımı

Kaynak yöntemindeki gelişmelerle birlikte gemi imalatında cıvata ve perçin yerine kaynaklı birleştirmeler kullanılmaya başlanmıştır. Hafiflik, daha iyi dayanım özellikleri ve yapılan birleştirmelerin daha iyi sonuçlar vermesinden dolayı günümüzde gemi gövdesi imalatında tüm parçalar kaynak yöntemiyle birleştirilmektedir. Şekil 4.15’de manyetik olmayan östenitik paslanmaz çelikten yapılan bir mayın tarama gemi gövdesi görülmektedir.



Şekil 4.15 : Pendik’te Bulunan Bir Tersanede Üretimi Gerçekleştirilen Askeri Amaçlı Gemi

Östenitik paslanmaz çelikler üstün korozyon özelliklerinden dolayı gemi gövdesi yapımında geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle son yıllarda geliştirilen süperöstenitik paslanmaz çelikler deniz suyuna maruz kaldıklarında diğer malzemelere göre korozyon, süneklik, dayanım vb. özellikler açısından iyi özellikler göstermektedirler. Ayrıca tamamen östenitik yapıya sahip olmalarından dolayı manyetikliğin kabul edilemediği durumlarda kullanılmaktadırlar. Ancak tüm iyi özelliklerine rağmen kaynak prosesi sırasında üniform olmayan ısıtılardan dolayı kaynaklı birleştirme yapılan saclarda soğuma sırasında çarpılmalar meydana gelmektedir. Oluşan çarpılmalar dayanım ve mekanik özellikler açısından kötü

sonuçlara yol açmaktadır. Gemi panellerinde oluşan artık gerilmeler ve çarpılmalar ve bunların şekli bu panellerin sınır basınç dayanımlarını önemli ölçüde azaltmaktadır [17]. Dolayısıyla bu çarpılmaların minimize edilmesi ve kaynak prosesi sırasında kullanılan girdilerin östenitik paslanmaz çeliklerin özelliklerine göre ve kaynaklı birleştirme yapılan parçaların boyutlarına göre ayarlanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca çarpılmaların minimize edilmesi, bu çarpılmaları düzeltmek için uygulanan kaynak sonrası işlemlerini azaltacağından işçilik maliyetinde % 35'lere varan bir azalma söz konusu olacaktır [18]. Şekil 4.16'da EN normuna göre 1.3964 tipi bir çelikle yapılan gemi güverte gövdesi imalatında kaynak işleminden sonra çarpılmaların minimize edilmesi amacıyla alevle ısıtma işlemi uygulanmış bir gemi plakası görülmektedir. Şekilden görülebileceği gibi bu işlem işçilik ve dolayısıyla maliyet açısından külfetli bir yöntemdir. Buda çarpılmaların kontrolünün maliyet ve zaman açısından önemini göstermektedir.



Şekil 4.16 : 1.3964 Çeliğinden İmal Edilen Bir Gemi Gövdesinde Alevle Isıtma İşleminden Sonra Oluşan Lekeler

4.10 Gemi İmalatında Kullanılan Panellerde Oluşabilecek Olası Çarpılma Tipleri

Burkulma 9.5 mm'den ince kesitli paneller için birincil derecede önemli çarpılma tipi olarak belirlenmiştir [19]. Kaynak yönüne göre uzunluğuna ve artık gerilmeleri dengelemek için oluşan basınç kuvvetleri panelin kritik direnç değerini aşınca parçada burkulma oluşur. Bu durumda basınç kuvvetleri tarafından yapılan iş panelin bükülme enerjisini aşar ve şekil değiştirmeleri meydana gelir. Bu şekil değişiklikleri panelin yapısal kararlılığının bozulmasına neden olur.

Burkulmaya ek olarak bu panelleri güçlendirici çubukların bu panellere kaynak edilmesiyle birlikte açısız çarpılmalar meydana gelir. Bu açıdan açısız çarpılmalar gemi panellerinin imalatı için ikinci derecede öneme sahiptir. Bu tip birleştirmelerde doldurulan kaynak metali plakanın kaynak yapılan tarafında daha fazla büzülme gösterir ve buda birleştirme yapılan parçaların arasındaki açının azalmasına neden olur. İnce kesitli plakalarda sıcaklık dağılımı daha az değiştiğinden ve bu nedenle daha üniform olduğundan açısız çarpılmalar daha az belirgindir. Plaka kalınlığı arttığında kalınlık boyunca oluşan sıcaklık değişimi artacağından açısız çarpılma artar. Açısız çarpılma, kalınlığı ortalama olan plakalarda maksimum seviyededir ve bu değer yaklaşık 9.5-19 mm değerleri arasındadır. Bu değerlerin üstünde kalınlığa sahip plakalar için plakanın kaynak edilemeyen alt kısmı soğuk kalır ve açısız çarpımlara neden olan kuvvetlere karşı yeterli direnci gösterir.

Gemi panellerinin imalatında diğer çarpılma şekilleri de oluşur. Fakat büyüklükleri az olduğundan gemi üreticileri açısından daha az öneme sahiptirler. Kendini çekme sayesinde oluşan çarpılmalar fabrikasyonun mükemmel bir şekilde yapılması açısından hesaba katılmalıdır.

Bu tip imalatlarda öncelikle büyük plakalar alın bağlantılarıyla birleştirilir. Daha sonra bu plakalara güçlendirici çubuklar bindirme bağlantı adı verilen T şeklindeki birleştirmelerle imalat gerçekleştirilir. Dolayısıyla öncelikle alın bağlantılarda oluşan burkulmanın bertaraf edilmesi gerekmektedir.

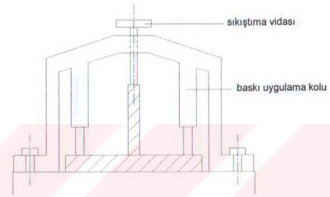
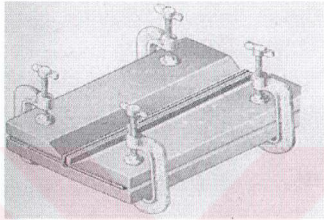
4.11 Burkulma

Özellikle sağlamlaştırılmamış (unstiffned) ince sacların kaynağında oluşan basma ve çekme gerilmeleri parçada çapraz yönde deformasyona yol açar. Bu deformasyonun

sebebi parçada kalınlık boyunca oluşan ısıl değişimlerdir. Burkulma şeklindeki çarpılmaların önlenmesi için aşağıdaki yöntemler kullanılmaktadır.

4.11.1 Parçaların kısıtlanması

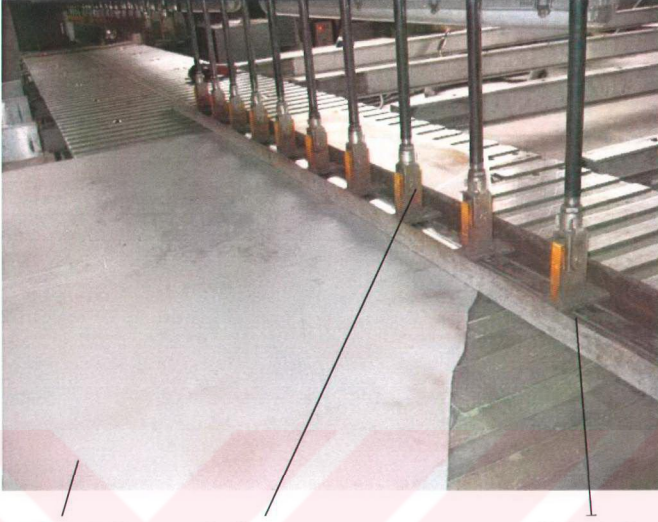
Parçaların kısıtlanması yöntemi çarpılmaları önlemek için kullanılabilecek bir yöntemdir. Bu amaçla kelepçe yada mengene türü aletler kullanılabilir. Şekil 4.17’de bu amaçla kullanılan bir mengene görülmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken konu kısıtlamanın fazla olmamasına dikkat etmektir.



Şekil 4.17 : Alın ve T-Birleştirmelerde Kullanılabilecek Kısıtlama Yöntemleri

4.11.2 Baskı plakaları kullanımı

Gemi panellerinin üretiminde yapılan alın kaynaklarının sıklığına daha önce değinilmişti. Alın kaynağındaki çarpılmaların önlenmesi amacıyla parçaların kaynak prosesi sırasında şekil değişimini önlemek için kısıtlanmaları yöntemiyle çarpılmaların önüne geçilebilir. Ancak birleştirilen parçaların büyüklüğü nedeniyle kullanılacak olan kısıtlama yönteminin bu ihtiyacı karşılayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu amaçla tersanelerde MAG kaynağı ile birleştirme yapılan otomatik kaynak makineleri kullanılmaktadır.



Alın kaynağı ile
birleştirilecek
parça

Baskı
plakaları

Bakır altlık

Şekil 4.18 : Büyük Gemi Saclarının Birleştirilmesi İçin Kullanılan Baskı Plakaları Yöntemi

Şekil 4.18'den görülebileceği gibi tezgaha yerleştirilen parça baskı plakaları yardımıyla sabitleştirilmektedir. Kaynak torçunun kaynak yapılacak bölgeye yaklaşması ile birlikte plakalar sırayla kalkarak torçun yaklaşmasına müsaade etmektedirler. Kaynak işlemi bittikten sonra torç, ilerlemekte ve açılmış olan baskı plakası yeniden kapanmaktadır. Burada kullanılan bakır altlık hem erime bölgesindeki metalin tezgaha yapışmaması hem de bölgedeki ısının iletilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

Yöntemi daha iyi anlamak ve çarpılma oluşmadan kaynak işleminin tamamlandığını doğrulamak amacıyla 1.3964 çeliğinden yapılmış 50x10 mm boyutlarında 4 mm kalınlığında iki parça kesilerek kaynak işlemi gerçekleştirildi (Şekil 4.19).



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.19 : (a) Kaynak İşlemi İçin Kesilen Parçalar (b) Kesilen Parçanın Baskı Plakaları Kullanılarak Kaynak Yapılan Bakır Altlıklı Tezgaha Yerleştirilmesi
(c) Kaynak İşlemi

1.3964 çeliğinin bileşimi ve diğer özellikleri ile kaynak işleminde kullanılan parametreler şöyledir:

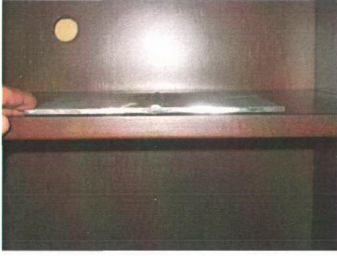
Bileşim : % 0.03 C(maks.), % 4-6 Mn, % 20-21.5 Cr, % 15-17 Ni, % 3-3.5 Mo, % 0.25 Nb (maks.) (X2CrNiMnMoNb 21-16-5-3).

20 °C'deki ısı iletkenlik değeri : 14 W/mK

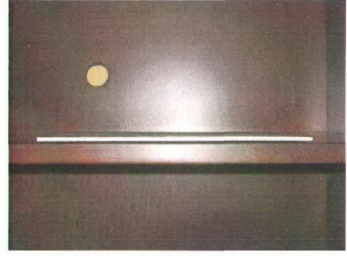
Isıl genleşme katsayısı (ortalama) : $16 \times 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$

Kaynakta kullanılan değerler : 143 A, 21 V, 15mm/s

MAG kaynak yöntemi ile yapılan kaynak işleminden sonra parçaların soğuması beklendikten sonra oluşan durum Şekil 4.20'de görülmektedir. Görsel olarak bakıldığında parçalarda burkulma, açılma çarpılma ve uzunluğuna eğilme olmadığı saptanmıştır.



(a)

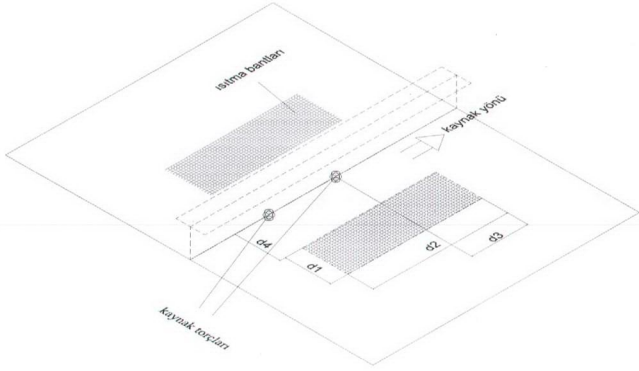


(b)

Şekil 4.20. : Kaynak Yapılan Parçalarda (a) Önden Görünüm (b) Soldan Görünüm

4.11.3 Termal gerilmelendirme yöntemi

Daha önce de değinildiği gibi çarpılmalar özellikle büyük yapılarda burkulmaya yol açan şekil değişikliği problemlerin neden olmaktadır. Özellikle paslanmaz çeliklerde ısı girişinin azaltılması burkulmanın azaltılması için gereklidir. Ancak gelişen yeni teknolojiyle birlikte yeni üretim yöntemleri de keşfedilmektedir. Termal gerilmelendirme prosesi bunlardan bir tanesidir. Bu yöntemde kaynak bölgesine sıcaklık değişkenleri uygulanarak bu bölgede çekme kuvvetleri yaratılmaktadır. Bu sıcaklık değişkenleri de geçici sıcaklık diferansiyelleri kullanılarak oluşturulmaktadır. Geçici sıcaklık diferansiyelleri ise hareketli bir ısı kaynağı kullanılarak oluşturulabilir. Parçanın her bölgesinde geçici sıcaklık diferansiyelleri kullanmak yaratmak için Şekil 4.21'de görüldüğü gibi kaynak torçu ile birlikte hareket eden ısı bantları kullanılır. Bu ısı bantlarının sıcaklıkları parçada ek artık gerilmeler yaratmayacak kadar düşük olmalıdır. Bu yöntemde kullanılacak parametrelerin yaklaşık olarak seçilebilmesi gerekmektedir. Bu parametreler ısı kaynağının hızı, ısıtma enerjisi ve ısıtılacak bölgenin boyutlarıdır. Isı kaynağının hızı kaynak hızı ile eşit olmalıdır. Isıtma bantlarının boyutları ise mümkün olduğunca parçanın kenarlarına ulaşabilmelidir. Bu sayede ısı dağılımları mümkün olduğunca düzgünleştirilerek burkulmaya yol açan gerilmeler dengelenebilir.



Şekil 4.21 : Geçici Termal Gerilmelendirme Prosesiyle Kaynak İşlemi [20]

Çapraz artık gerilmeler yaratmak için ısıtma bantlarına verilmesi gereken toplam ısı girişi ise şu şekilde hesaplanabilir :

$$\Delta x_u . K = \Delta x_a , \quad (4.1)$$

Δx_u : kaynak dikişinin üst kısmındaki kendini çekme (cm)

Δx_a : kaynak dikişinin alt kısmındaki kendini çekme (cm)

K : katsayı, (kaynak dikişinin şekline göre belirlenir)

Δb : ısı bantları tarafından oluşturulacak basma miktarı (cm)

x_0 : kaynaklı parçanın üst yüzeyinde ki çapraz plastik deformasyon bölgesinin genişliği

$$\Delta b = \frac{\sigma_T}{E} x_0 , \quad (4.2)$$

E : malzemenin oda sıcaklığındaki elastisite modülü

σ_T : ısı bantları tarafından yaratılan gerilme

$$\Delta b = 2 . \alpha . T . d , \quad (4.3)$$

T : şeritin ısıtma sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)

d : ısıtma bandının genişliği(cm)

α : malzemenin ısı genleşme katsayısı($1/^{\circ}\text{C}$)

2 ve 3 numaralı formüllerden ;

$$d = \frac{\sigma_t \cdot x_u}{2 \cdot \alpha \cdot T \cdot E}, \quad (4.4)$$

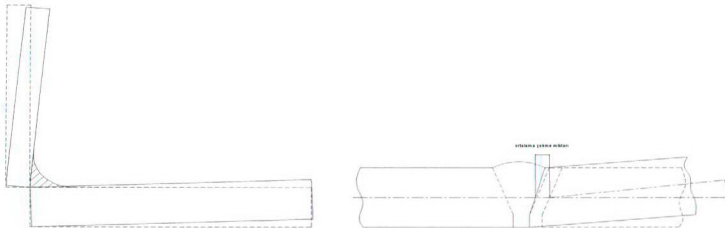
olarak bulunur. Böylece ısı kaynağının efektif gücü q_e ,

$$q_e = \frac{\sigma_t \cdot x_u \cdot \delta \cdot V \cdot c \cdot \gamma}{0,968 \cdot E \cdot \alpha}, \quad (4.5)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada δ malzemenin kalınlığı (cm), V kaynak torçu ile birlikte hareket eden ısı kaynağının hızı (cm/s), c malzemenin özgül ısı sığası ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}$), γ ise malzemenin yoğunluğudur. Kaynak prosesinden önce gerekli değerler yerlerine konularak termal gerilmelendirme için gerekli ısıtma enerjisi hesaplanabilir [18].

4.12 Açısal Çarpılma

Açısal çarpılma kaynaklı birleştirme yapılan parçalardaki açısal değişimdir. Şekil 4.22’de alın ve T-şekilli birleştirmelerde oluşan açısal çarpılma görülmektedir.



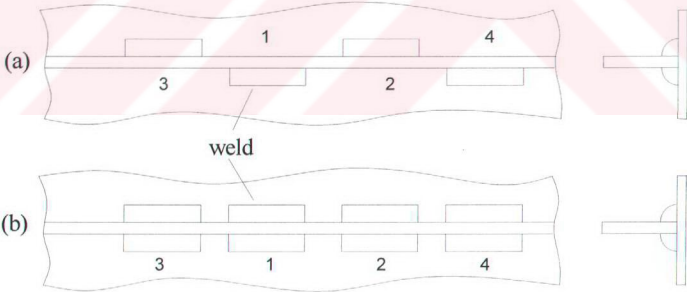
Şekil 4.22 : T-Şekilli ve Alın Birleştirmeli Kaynaklarda Oluşan Açısal Çarpılma

Açısal çarpılmanın oluşmasındaki temel sebep pasonun kök bölgesindeki kendini çekmenin yüzey bölgesindeki kendini çekmeden daha fazla olmasıdır. Bu farktan dolayı birleştirme yapılan parçada kendini çekme momentleri oluşmaktadır ve parça açısal olarak çarpılmaktadır.

Açısal çarpılmalar genel olarak şu yöntemlerle azaltılabilir [5]:

- minimum kaynak metali kullanılması
- paso sayısının mümkün olduğunca azaltılması
- kaynak ağzı hazırlanırken yüzey ile dip arasındaki uzunluk farkının azaltılması
- kaynak ağzının simetrik olması
- kaynak sırasında oluşabilecek açısal çarpılma miktarı tahmin edilerek bu yöne ters şekilde parçaların yerleştirilmesi

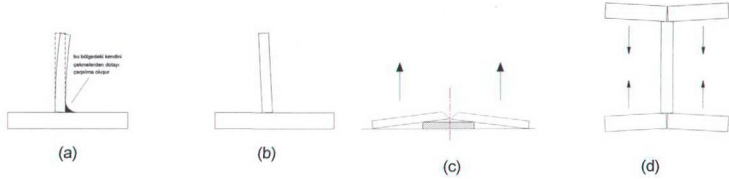
Şekil 4.23’de bir T-birleştirmede aralıklı ve zincir tipi kaynak yöntemleri görülmektedir. Burada da amaç gerilmelerin dengelenmesi ve çarpılmaların önlenmesidir.



Şekil 4.23 : Sürekli Olmayan Bindirme Tipi Kaynak Bağlantıları (a) Aralıklı (b) Zincir

Gerilmelerin dengelenmesi amacıyla birçok yöntem geliştirilebilir. Bunlardan bazıları Şekil 4.24’de görülmektedir. (a)’da ki parçada kendini çekmelerden dolayı açısal çarpılma oluşur. Eğer kaynak hazırlanırken (b)’deki gibi hazırlanırsa yine

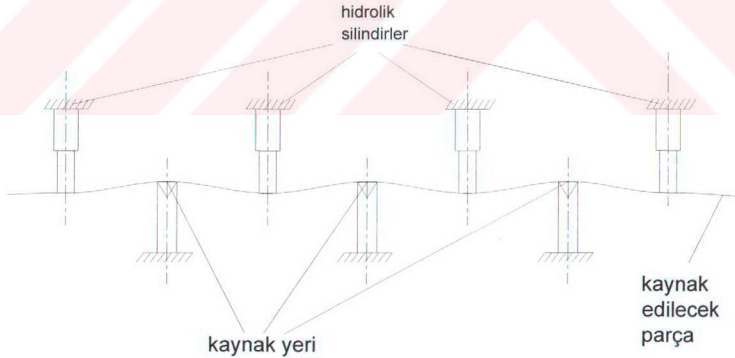
çarpılma oluşacaktır, fakat bu çarpılma parçaların düzgün biçime gelmesiyle sonuçlanacaktır. (c)'de ise yine açısıl çarpılmalardan dolayı parça kaynak işleminden sonra düzelecektir. (d)'de ki şekil de bindirme tipi bağlantılar için diğer bir örnektir.



Şekil 4.24 : Açısıl Çarpılmayı Önlemek İçin Alınabilecek Konstrüktif Önlemler

4.12.1 Ön gerilme yüklemesi

Eğer konstrüksiyon izin verirse kaynaklı birleştirme yapılacak parçalara oluşabilecek gerilme ve çarpılmaların tam tersi yönünde ön gerilme verilebilir. Bu durumda parçalar çarpılmaların tersi yönde eğilirler. Kaynak prosesinden sonra soğuma esnasında parçalar çarpılmalardan dolayı şekil değiştirerek ön gerilmeyi dengelerler. Bu sayede istenen geometriye ulaşılabilir.

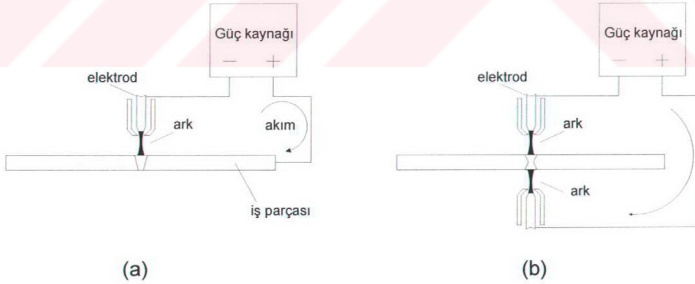


Şekil 4.25. : Ön gerilme yüklemesi için kullanılabilecek bir yöntem [18].

Yapılan araştırmalarda malzemeye verilecek olan ön gerilme yüklemesinin malzemenin akma dayanımının % 30-35'i kadar olması gerektiği bulunmuştur.

4.12.2 Çift taraflı ark kaynağı yöntemi

Östenitik paslanmaz çeliklerde düşük nüfuziyet özelliğinden dolayı ve düşük nüfuziyetin kaynaktaki artık gerilmeleri ve çarpılmaları artırmamasından dolayı kaynak prosesinde nüfuziyetin artırılması çarpılmaların azaltılması açısından önemlidir. Bu amaçla geliştirilen ve çift taraflı ark kaynağı olarak adlandırılan proseste kaynak nüfuziyetinin artırılması amaçlanmıştır. Şekil 4.26'da görüldüğü gibi geleneksel kaynak yönteminde akımın devreyi tamamlaması amacıyla elektrik bağlantısı güç kaynağı ile iş parçası arasında oluşturulmuştur. Çift taraflı ark kaynağı yönteminde ise iş parçasının elektrik bağlantısı güç kaynağından kesilerek birinci torçun karşısına yerleştirilen ikinci torça bağlanmıştır. Sonuç olarak elektrik arkı iş parçası ile her bir torç arasında eşzamanlı olarak oluşmaktadır. Bu sayede ÇİTAK prosesinde akım iş parçasının kalınlığı boyunca ilerlemek durumundadır. Ancak normal kaynak prosesinde akım iş parçasının kalınlığı boyunca oluşamamakta ve büyük bir kısmı parçanın yüzeyine yayılmaktadır. Bu sayede ÇİTAK prosesinde enerji dengesi yaratılır ve radyal bir ısıtma mekanizması sağlanarak nüfuziyet derinliği artırılır. ÇİTAK prosesinin bu özelliğinden dolayı büyük metal yapıların kaynağında tercih edilebilir bir proses olmuştur.



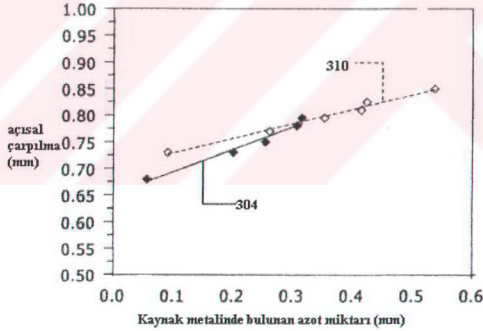
Şekil 4.26 : Çift Taraflı Ark Kaynağı Yönteminin Şematik Gösterimi [21]

Kaynak prosesinde çarpılmalara yol açan temel nedenin malzeme içindeki ısı dağılımları olmasından dolayı, malzeme üzerindeki ısı dağılımlarının mümkün olduğunca üniform olması istenmelidir. Ancak yüksek nüfuziyetinde çarpılmaları

azaltıcı etkisinden dolayı ısı girişi istenen nüfuziyeti sağlayacak kadar fazla ve ısı dağılımını üniform kılacak kadar az olmalıdır. ÇİTAK prosesi sayesinde kalınlık boyunca oluşan ısı dağılımları tek taraflı ark kaynağı prosesine göre daha düzgün olmaktadır ve oluşturulan simetriden dolayı artık gerilmelerin yol açtığı çarpılmalar dengelenebilmekte ve önlenebilmektedir [21].

4.12.3 Koruyucu gaza azot eklenmesi ve delta ferrit fazının açılmal çarpılmaya etkisi

Azot östenitik paslanmaz çeliklere yüksek tokluk, dayanım, korozyon dayanımı ve östenit oluşumunu artırma gibi amaçlarla kullanılmaktadır. Ve delta ferrit oluşumunu engelleyici role sahiptir. Ancak koruyucu gaza eklenen azot, ısı girişini artıracığından östenitik paslanmaz çeliklerde artık gerilmelerin ve çarpılmaların artmasına yol açar. Ayrıca delta ferrit oluşumunu da engellediğinden ve delta ferrit fazının ısı genleşme katsayısı östenit fazından daha az olduğundan azotun östenitik paslanmaz çeliklerde alaşım elementi olarak kullanılması açılmal çarpılmayı artırıcı role sahiptir. Dolayısıyla azotun alaşım elementi olarak kullanılmasında bu faktöründe göz önünde bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 4.27 : Azot Miktarı ve Açılmal Çarpılma Arasındaki İlişki [9]

5. SONUÇ

Yapılan araştırmalar sonucunda östenitik paslanmaz çeliklerin kaynak prosesi sırasında çarpılmaların büyük problemler yarattığı sonucuna varılmıştır. Özellikle kaynak sırasında oluşan yüksek ısıların östenitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerinden dolayı diğer çelik türlerine göre daha fazla çarpılma oluşturacağı ortaya konulmuş, günümüzde bu çarpılmaları azaltmak için kullanılan yöntemler açıklanmaya çalışılmıştır.

Östenitik paslanmaz çeliklerin birçok sanayi alanında kullanımı üstün özelliklerinden dolayı kaçınılmaz bir hale gelmiştir ve her geçen gün yeni bir östenitik paslanmaz çelik türü keşfedilmektedir. Bu çeliklerin kaynaklı birleştirme yöntemi kullanılarak birleştirilmesinde oluşan en büyük problem çarpılmalardır. Bu çarpılmaların önemi özellikle sıkı toleransların gerektiği konstrüksiyonlarda bir kat daha artacaktır.

Yapılması gereken bu çeliklerin özellikleri göz önüne alınarak, kaynaklı birleştirme yönteminin ve diğer kaynak parametrelerinin doğru biçimde seçilmesidir. Bu bakış açısıyla birlikte üretilen ürünlerden beklenen özellikler, parçanın boyutları, sahip olunan teknolojinin sınırları ve maliyet unsurları göz önüne alınarak üretilecek ürünlerin ve/veya araçların optimum faydayı sağlayacak şekilde üretilmesidir.

KAYNAKLAR

- [1] **Odabaş, Can**, 2004. Paslanmaz Çelikler , Tavaslı Matbaası, İstanbul.
- [2] **Brooks, J.A. and Lippold, J.C.**, 1993. ASTM HandBook,Volume 6 ,Welding Stainless Steels,Selection Of Wrought Austenitic Stainless Steels, 456-470
- [3] **Anık, Selahaddin ve Anık E. Sabri ve Vural, Murat**, 2000. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [4] **Linnert,G.E.**, 1994. Welding Metalurgy,Volume I,American Welding Society, Miami, Florida,USA
- [5] **Linnert,G.E.**, 1994. Welding Metalurgy,Volume II,American Welding Society, Miami, Florida,USA
- [6] **Butting Welding Company**, 2002. Stainless Steel In Practise,Germany
- [7] **Awesta Polarit Welding Company**, 2004. Stainless Steels Their Properties and Their Suitability For Welding, Sweden
- [8] **Suutala, N. and Moiso T.**, 1980. The Use of Chromium and Nickel Equivalents in Considering Solidification Phenomena in Austenitic Stainless Steels, The Metals Society Preprint, London.
- [9] **Tseng, K. H. and Chou C.P.**, 2003.The Study of Nitrogen in Argon Gas on the Angular Distortion of Austenitic Stainless Steel Weldments, *Journal of Materials Processing Technology*, **142**, 139-144
- [10] **Eryürek, İ.B.**, 1993. Hasar Analizi, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [11] **The Procedure Handbook Of Arc Welding**, 1973. The Lincoln Electric Company, Cleveland, Ohio.
- [12] **Gültekin, N.**, 1991. Kaynak Tekniği, Engin Ofset Matbaası, İstanbul.
- [13] **Masubuchi, K.**, 1980. Analysis of Welded Structures, Residual Stresses, Distortion and their consequences, Peramon Press, Oxford.
- [14] **P. Praveen, P.K.D.V. Yarlagadda, M.J. Kang**, 2005. Advancements in Pulsed GMAW, *Journal Of Materials Processing Technology*.

- [15] **Tseng, K.H. and Chou. C.P.**, 2002. The Effect of Pulsed GTAW on the Residual Stresses of a Stainless Steel Weldment, *Journal of Materials Processing Technology*, **123**, 346-353.
- [16] **Korhonen ,M., Luukas, M. And Hanninen, H.**, 2000. Narrow Gap GTAW of Stainless Steels, Helsinki University of Technology, Laboratory of Engineering Materials, Finland, *Svetsaren*, **1**, 3-8.
- [17] **Weicheng, C. and Mansour,A.E.**, 1998. Effects Of Welding Distortions and Residual Stresses On the Ultimate Strenght of Long Rectangular Plates, *Marine Structures* ,**11**, 251-269.
- [18] **Morozov, V.**, 1997. Investigation,Elaboration and Inculcation of Technological Methods of Prevent Ship's Constructions Welding Deformation, 8. *International Congress on Marine Technology*, İTÜ, Tuzla-İstanbul, 7.2.19-7.2.24.
- [19] **James, R. Dydo, Harvey, R. Castner and Kyle Koppenhoefer**, 1999. Guidelines for Control of Distortion In Thin Ship Structures, Navy Joining Center Columbus, Ohio.
- [20] **Michaleris, P. , Dantzig, J. and Tortorelli, D.**, 1999. Minimization of Welding Residual Stres and Distortion in Large Structures, *Welding Journal*, **November 99**, 361-366.
- [21] **Wu, C.S. and Sun, J.S.**, 2002. Numerical Analysis of Temperature Field During DSAW of Thick Materials, *Computational Material Science*, **25**, 457-468.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Sacide ve Nurettin ARSLAN çiftinin ikinci çocukları olarak dünyaya geldi. İlköğrenimini Erzurum'da Ali Ravi İlkokulu'nda, ortaöğrenimini Bursa'da Cumhuriyet Lisesi'nde tamamladı. 1998 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'ne girdi ve 2003 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Bu sırada dönemsel olarak çeşitli işlerde çalıştı. Öğrenimine halen İstanbul Teknik Üniversitesi'nde devam etmektedir.