

PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI



Can ODABAŞ

ASKAYNAK

Copyright © 2007

Türkçe çevirinin tüm yayın hakları Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye aittir.
Yazılı izin alınmadan ve kaynak gösterilmeden kısmen veya tamamen alıntı yapılamaz,
hiçbir şekilde kopya edilemez, çoğaltılamaz ve yayınlanamaz.

ASKAYNAK

Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Yakacıkaltı, Ankara Asfaltı Üzeri, Yanyol, Mermer Sokak, No:16

34876 Kartal / İSTANBUL

Tel : (0216) 377 30 90 - pbx Faks : (0216) 377 00 00

www.askaynak.com.tr



Ankara Bölge Satış Bürosu

Ostim Sanayii Sitesi
Ahi Evran Caddesi, No: 83
06370 Ostim / ANKARA
Tel : (0312) 385 13 73 - pbx
Faks : (0312) 354 02 84

Adana Bölge Satış Bürosu

Kızılay Caddesi, Karasoku Mahallesi
6. Sokak, Baykan İşhanı, No: 9/E
01010 ADANA
Tel : (0322) 359 59 67 - 359 60 45
Faks : (0322) 359 60 01

İstanbul Bölge Satış Bürosu

Rauf Orbay Caddesi
Evliya Çelebi Mahallesi, No: 3/C
İçmeler, Tuzla / İSTANBUL
Tel : (0216) 395 84 50 - 395 56 77
Faks : (0216) 395 84 02

İzmir Bölge Satış Bürosu

Mersinli Mahallesi, 1. Sanayii Sitesi
2822. Sokak, No: 25
35120 İZMİR
Tel : (0232) 449 90 35 - 449 01 64
Faks : (0232) 449 01 65

İçindekiler

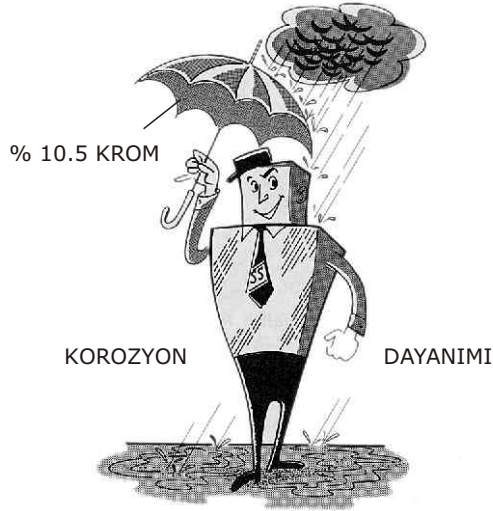
BÖLÜM 1.0	PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ	1
	1.1 Ferrit Oluşturan Elementler	2
	1.2 Östenit Oluşturan Elementler	2
	1.3 Nötr Elementler	2
BÖLÜM 2.0	PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ	3
	2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	3
	2.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler	3
	2.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler	5
	2.3.1 Krom Karbür Oluşumu	7
	2.3.2 Sıcak Çatlak Oluşumu	8
	2.3.3 Sigma Fazı Oluşumu	10
	2.4 Çökme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	13
	2.5 Çift Fazlı (Dupleks) Paslanmaz Çelikler	14
BÖLÜM 3.0	FİZİKSEL ÖZELLİKLER	15
BÖLÜM 4.0	MEKANİK ÖZELLİKLER	17
BÖLÜM 5.0	PASLANMAZ ÇELİK TÜRÜNÜN SEÇİMİ	21
BÖLÜM 6.0	PASLANMAZ ÇELİKLER İÇİN KAYNAK AĞIZI TASARIMLARI	25
BÖLÜM 7.0	DOLGU METALİNİN SEÇİMİ	27
BÖLÜM 8.0	KAYNAK YÖNTEMİNİN SEÇİMİ	33
	8.1 Örtülü Elektrod Ark Kaynağı	33
	8.2 Gazaltı (MIG) Kaynağı	34
	8.3 Özlü Tel Ark Kaynağı	35
	8.4 TIG Kaynağı	35
	8.5 Tozaltı Kaynağı	35

BÖLÜM 9.0	PASLANMAZ ÇELİKLER İÇİN KAYNAK YÖNTEMLERİ	37
9.1	Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı Yöntemi	37
9.2	Gazaltı (MIG) Kaynağı Yöntemi	43
9.3	TIG Kaynağı Yöntemi	47
9.4	Tozaltı Kaynağı Yöntemi	50
	EKLER	55
EK-1	Çevrim Tabloları	57
EK-2	Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Paslanmaz Çeliklerin Ark Kaynağında Kullanılan Örtülü Kaynak Elektrodlarının EN 1600 Normuna Göre Sınıflandırılması	58
EK-3	Östenitik Paslanmaz Çelikler (AISI)	59
EK-4	Ferritik Paslanmaz Çelikler (AISI)	60
EK-5	Martenzitik Paslanmaz Çelikler (AISI)	61
EK-6	Schaeffler ve Delong Diyagramları	62-63
EK-7	Ferritik Dokunun Hesaplama Yoluyla Belirlenmesi	64
EK-8	Farklı Metallerin Kaynağında Schaeffler Diyagramı Kullanımı	68
	KAYNAKTA SAĞLIK ve GÜVENLİK	74
	AYRINTILI BİLGİ ALINABİLECEK YARDIMCI KAYNAKLAR	75
	KAYNAKÇA	77

BÖLÜM 1.0

PASLANMAZ ÇELİK
TÜRLERİ

Paslanmaz çelikler; içerisinde en az % 10,5 oranında (ağırlıkça) krom (Cr) içeren demir esaslı alaşımlar olarak tanımlanırlar (**Şekil-1**). Paslanmaz çeliğin yüzeyinde oluşan ince fakat yoğun kromoksit tabakası korozyona karşı yüksek dayanım sağlar ve oksidasyonun daha derine doğru ilerlemesini engeller. İçerdikleri diğer katkı elementlerine göre değişen ve tamamen östenitik ile tamamen ferritik özellikler aralığında sıralanan beş farklı çeşit paslanmaz çelik türü vardır.

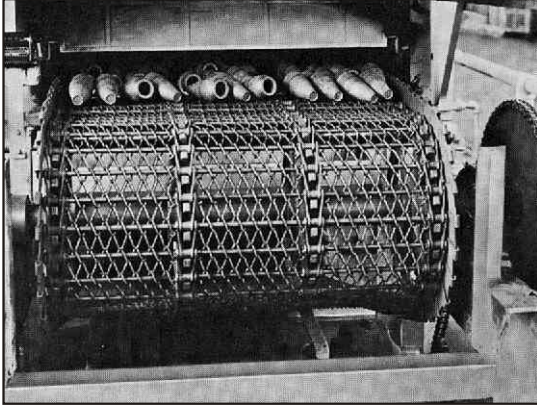
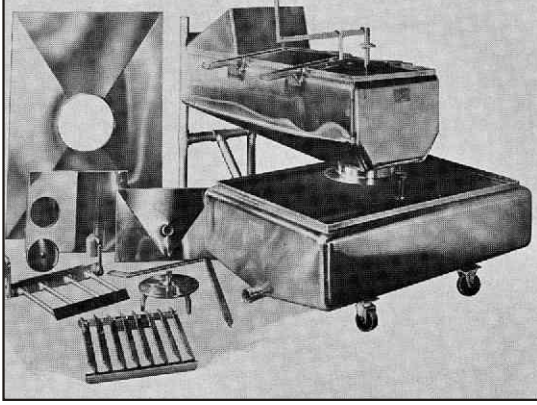


Şekil-1

Bunlar sırası ile ;

- 1 - Östenitik paslanmaz çelikler
- 2 - Ferritik paslanmaz çelikler
- 3 - Martenzitik paslanmaz çelikler
- 4 - Çift fazlı (dupleks) paslanmaz çelikler
- 5 - Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerdir.

Östenitik paslanmaz çelikler 200 ve 300 serilerini içerirler ve 304 bunların içinde en yoğun olarak kullanılmaktadır. Temel alaşım elementi krom ve nikelidir. **Ferritik paslanmaz çelikler** sertleştirilemeyen Fe-Cr alaşımlarıdır. 405, 409, 430, 422 ve 446 bu grupta yer alan en tipik ürünlerdir. **Martenzitik paslanmaz çelikler** ferritik gruptaki paslanmaz çeliklerle benzer kimyasal analize sahiptirler ancak daha yüksek oranda karbon ve daha düşük oranda krom içerirler. Bu nedenle ısı ile sertleştirilebilirler. 403, 410, 416 ve 420 bu grupta yer alan en tipik ürünlerdir. **Çift fazlı paslanmaz çelikler** hemen hemen eşit miktarda östenit ve ferrit içeren bir mikroyapının oluşturulması ile elde edilirler. Bu çelikler tam olarak % 24 krom ve % 5 nikel içerirler. Numaralama sistemi 200, 300 veya 400 ile tanımlanan grupların hiç birisine girmez. **Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler** alüminyum gibi katı çözültüye girme ve yaşlandırma (çökeltme) ısı işlemi ile çeliğe sertleşebilme olanağı sağlayan alaşım elementleri içerirler. Bu çelikler ayrıca; martenzitik, yarı östenitik ve östenitik tip çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler olmak üzere alt gruplara ayrılırlar.



Paslanmaz çeliklerdeki alaşım elementleri ferrit oluşturucu ve östenit oluşturucu olmak üzere iki gruba ayrılmakta olup aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

1.1 FERRİT OLUŞTURAN ELEMENTLER

Krom - Ferrit oluşumunda etkili olur. Oksidasyon ve korozyon dayanımını yükseltir.

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

Niobyum, Titanyum - Tanelerarası korozyon hassasiyetini azaltmak amacıyla, karbonla birleşerek karbür oluşturması amacıyla yapıya eklenir. Tane küçültücü etkisi vardır. Ferrit oluşumuna katkıda bulunur. Sürünme dayanımı sağlar, ancak sürünme sünekliğini azaltır.

Fosfor, Kükürt, Selenyum - İşlenebilme kabiliyetini yükseltir. Ancak kaynak sırasında sıcak çatlak oluşmasına neden olur. Korozyon direncini bir miktar azaltır. TIG kaynağı yönteminde nüfuziyeti artırır.

1.2 ÖSTENİT OLUŞTURAN ELEMENTLER

Karbon - Östenit oluşumuna kuvvetli etkiye bulunur. Krom ile birlikte tanelerarası korozyonda başrol oynayan karbürlerin oluşumuna neden olur.

Nikel - Östenit oluşumuna etkiye bulunur. Yüksek sıcaklıktaki direnci, korozyona karşı dayanımı ve sünekliği artırır.

Azot - Östenit oluşumuna çok kuvvetli etkiye bulunur. Bu konuda çoğu zaman nikel kadar etkilidir. Özellikle krayojenik sıcaklıklardaki mukavemet değerlerini yükseltir.

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

1.3 NÖTR ELEMENTLER

Mangan - Oda sıcaklığında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda östenitin stabil (kararlı) olmasını sağlar. Ancak yüksek sıcaklıklarda ferrit oluşturur. Manganez sülfat oluşturur.

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

BÖLÜM 2.0

PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

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

Östenitik tip paslanmaz çeliklerin ısıl genişleme katsayısı karbon çeliklerinkinden % 50 daha yüksektir ve çarpımları en aza indirmek için bu özelliğe dikkat edilmelidir. Östenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşmaz. Malzemenin direnci yüksek olduğu için direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir. Özel kaynak yöntemleri gerektiren paslanmaz çelikler ilerideki bölümlerde ele alınacaktır.

2.1 FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Ferritik paslanmaz çelikler % 11.5-30.5 Cr, % 0.20'ye kadar C ve düşük miktarda Al, Nb, Ti ve Mo gibi ferrit dengeleyici elementler içerir. Bunlar her sıcaklıkta ferritik yapıdadırlar ve bu nedenle östenit oluşturmazlar ve ısıl işlemlerle sertleştirilemezler. Bu grupta

yeralan ürünlerin başında 405, 409, 430, 442 ve 446 gelmektedir. **Tablo-1**'de, bütün standart ve bazı standart dışı ferritik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analiz değerleri listelenmiştir. Bu çeliklerin en karakteristik özelliği; kaynakta ve ısı etkisi altındaki bölgede oluşan ve kaynak dikişinin tokluğunda düşüşe neden olan tane büyümesidir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında seçilen dolgu metalindeki Cr içeriğinin ana metaldeki ile aynı ya da ona yakın olmasında yarar vardır. 409 türü kaynak malzemeleri dolu tel olarak, 430 türü kaynak malzemeleri ise her formda üretilirler. Östenitik tip 309 ve 312 türü kaynak malzemeleri özellikle benzemez metallerin kaynaklı bağlantılarında kullanılır. Tane büyümesini en aza indirmek için kaynak dikişindeki ısı girdisi düşük olmalı ve ön ısıtma 300-450°C arasında sınırlı tutulmalı, hatta sadece yararlı ise uygulanmalıdır. Yüksek alaşımlı ferritik paslanmaz çeliklerin büyük çoğunluğu sadece levha ve boru şeklinde üretilir ve genellikle dolgu metali kullanılmadan TIG (GTA) yöntemi ile kaynak edilirler.

2.2 MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Martensitik paslanmaz çelikler % 11-18 Cr, % 1.2'ye kadar C ve düşük miktarlarda Mn ve Ni içerir. Bu çelikler tavlansız olarak östenit oluştururlar ve oluşan östenitin soğutma sırasında martensite dönüştürül-

Tablo-1 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
405	S40500	0.08	1.00	1.00	11.5-14.5		0.04	0.03	0.10-0.30 Al
409	S40900	0.08	1.00	1.00	10.5-11.75		0.045	0.045	min 6 x % C - Ti
429	S42900	0.12	1.00	1.00	14.0-16.0		0.04	0.03	
430	S43000	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	
430F**	S43020	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.15 min.	0.06 Mo
430FSe**	S43023	0.12	1.25	1.00	16.0-18.0		0.06	0.06	min 0.15 Se
430Ti	S43036	0.10	1.00	1.00	16.0-19.5	0.75	0.04	0.03	min 5 x % C - Ti
434	S43400	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo
436	S43600	0.12	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75-1.25 Mo min 5 x % C - Nb+Ta
442	S44200	0.20	1.00	1.00	18.0-23.0			0.03	
444	S44400	0.025	1.00	1.00	17.5-19.5	1.00	0.04 0.04	0.03	1.75-2.5 Mo ; 0.035 N 0.2 + 4 (% C+% N) - Ti+Nb
446	S44600	0.20	1.50	1.00	23.0-27.0			0.03	0.25 N
18-2FM**	S18200	0.08	2.50	1.00	17.5-19.5		0.04	0.15 min.	
18SR		0.04	0.30	1.00	18.0		0.04		2.0 Al ; 0.4 Ti
26-1 (E-Brite)	S44625	0.01	0.40	0.40	25.0-27.5	0.50	0.02	0.02	0.75-1.5 Mo ; 0.015 N 0.2 Cu ; 0.5 - Ni+Cu
26-1Ti	S44626	0.06	0.75	0.75	25.0-27.0	0.50	0.04	0.02	0.75-1.5 Mo ; 0.04 N 0.2 Cu ; 0.2-1.0 Ti
29-4	S44700	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	0.15	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
29-4-2	S44800	0.01	0.30	0.20	28.0-30.0	2.0-2.5	0.025	0.02	3.5-4.2 Mo
Monit	S44635	0.25	1.00	0.75	24.5-26.0	3.5-4.5	0.04	0.03	3.5-4.5 Mo 0.3-0.6 Ti+Nb
Sea-cure/ Sc-1	S44660	0.025	1.00	0.75	25.0-27.0	1.5-3.5	0.04	0.03	2.5-3.5 Mo 0.2 + 4 (% C + % N) - Ti+Cb

*) Tek değerler maksimum değerlerdir

**) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler

(ASM Metals Handbook, 9. Baskı, Cilt 3)

mesiyle sertleştirilebilirler. Bu grupta 403, 410, 414, 416, 420, 422, 431 ve 440 türü malzemeler vardır. Standart ve bazı standart dışı martenzitik paslanmaz çelikler **Tablo-2**'de yer almaktadır. Soğuma sırasında sert ve kırılğan martenzitik yapı oluştuğunda kaynak dikişinde çatlama eğilimi görülür. Seçilen dolgu metalinin krom ve karbon içeriğinin ana malzemeninkine yakın olmasında yarar vardır. 410 türü dolgu malzemeleri örtülü elektrod, dolu tel ve özlü tel olarak üretilirler ve 402, 410, 414 ve 420 türü çeliklerin kaynağında kullanılabilirler. 420 türü çeliklerin içerdiği karbon oranını yakalamak eğer teknik açıdan

yararlı görülüyorsa, dolu tel veya özlü tel olarak 420 kalite dolgu malzemelerinin kullanılmasında yarar vardır. 308, 309 ve 310 türü östenitik dolgu malzemeleri martenzitik paslanmaz çeliklerin birbirleriyle veya diğer çeliklerle olan kaynaklı birleştirmelerinde, dikişin kaynak edildikten sonraki şartlarda yüksek tokluğa sahip olması gereken durumlarda kullanılır.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin çoğunda ön tav sıcaklığının ve paslararası sıcaklığın 205-315°C arasında tutulması önerilir. % 0.2'nin üzerinde karbon içeren martenzitik tip paslanmaz çeliklere, kaynak

Tablo-2 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
403	S40300	0.15	1.00	0.50	11.5-13.0		0.04	0.03	
410	S41000	0.15	1.00	1.00	11.5-13.0		0.04	0.03	
410Nb	S41040	0.18	1.00	1.00	11.5-13.5		0.04	0.03	0.05-0.30 Nb
410S	S41008	0.08	1.00	1.00	11.5-13.5	0.6	0.04	0.03	
414	S41400	0.15	1.00	1.00	11.5-13.5	1.25-2.50	0.04	0.03	
414L		0.06	0.50	0.15	12.5-13.0	2.5-3.0	0.04	0.03	0.5 Mo ; 0.03 Al
416	S41600	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	0.6 Mo
416Se**	S41623	0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	0.06	min 0.15 Se
416 Plus X**	S41610	0.15	1.5-2.5	1.00	12.0-14.0		0.06	min 0.15	0.6 Mo
420	S42000	min. 0.15	1.00	1.00	12.0-14.0		0.04	0.03	
420F**	S42020	min. 0.15	1.25	1.00	12.0-14.0		0.06	min 0.15	0.6 Mo
422	S42200	0.20-0.25	1.00	0.75	11.0-13.0	0.5-1.0	0.025	0.025	0.75-1.25 Mo 0.75-1.25 W 0.15-0.30 V
431	S43100	0.20	1.00	1.00	15.0-17.0	1.25-2.50	0.04	0.03	
440A	S44002	0.60-0.75	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440B	S44003	0.75-0.95	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo
440C	S44004	0.95-1.20	1.00	1.00	16.0-18.0		0.04	0.03	0.75 Mo

*) Tek değerler maksimum değerlerdir

**) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler

(ASM Metals Handbook, 9. Baskı, Cilt 3)

dikişinin sünekliğini ve tokluğunu arttırmak amacıyla kaynak sonrasında genellikle ısıtılmalıdır.

2.3

ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Östenitik paslanmaz çelikler % 16-26 Cr, % 10-24 Ni+Mn, % 0.40'a kadar C ve düşük miktarda Mo, Ti, Nb ve Ta gibi diğer alaşım elementlerini içerir. Cr ve Ni+Mn oranları arasındaki denge, % 90-100 östenitten oluşan bir mikro yapının elde edilebileceği şekilde oluşturulmuştur. Bu alaşımlar, geniş bir sıcaklık aralığında sahip oldukları yüksek tokluk ve yüksek dayanım değerleri ile ön plana çıkarlar ve 540°C'a kadarki sıcaklıklarda oksidasyona karşı dayanım gösterirler. Bu grupta yer alan malzemelerin başında 302, 304, 310, 316, 321 ve 347 gelmektedir. **Tablo-3'**de, yukarıda belirtilen ve bunların dışında kalan diğer östenitik paslanmaz çeliklerin nominal kimyasal analiz değerleri yer almaktadır. Bu çelikler için geliştirilen dolgu malzemeleri genellikle ana metal ile benzer yapıdadır. Ancak birçok alaşım için, sıcak

çatlak oluşumunu engellemek amacıyla, düşük miktarda ferrit içeren bir mikro yapının oluşmasına olanak sağlayan dolgu malzemeleri kullanılır (Bu konu daha detaylı olarak ilerideki bölümlerde ele alınacaktır). Bu şartı gerçekleştirebilmek için 308 türü dolgu malzemeleri 302 türü çeliklerin, 304 ve 347 türü dolgu malzemeleri ise 321 türü çeliklerin kaynağında kullanılır. Diğer çelik türleri ise kendilerine benzer yapıdaki dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilirler. 347 türü çelikler 308H türü dolgu malzemeleri ile de kaynak edilebilir. Bu türdeki dolgu malzemeleri örtülü elektrod, dolu tel ve özlü tel olarak üretilir. 321 türü dolgu malzemeleri ise sınırlı olarak, sadece dolu tel ve özlü tel olarak üretilmektedir.

Östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca üç kaynak problemi ile karşılaşılır. Bunlar sırası ile; (1) ısının etkisi altında kalan bölgede "**Krom Karbür**" oluşması sonucu meydana gelen hassas yapı, (2) kaynak dikişinde görülen "**Sıcak Çatlak**" oluşumu ve (3) yüksek çalışma sıcaklıklarında karşılaşılan "**Sigma Fazı**" oluşumu riskleridir.

Tablo-3 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
201	S20100	0.15	5.5-7.5	1.00	16.0-18.0	3.5-5.5	0.06	0.03	0.25 N
202	S20200	0.15	7.5-10.0	1.00	17.0-19.0	4.0-6.0	0.06	0.03	0.25 N
205	S20500	0.12-0.25	14.0-15.5	1.00	16.5-18.0	1.0-1.75	0.06	0.03	0.32-0.40 N
216	S21600	0.08	7.5-9.0	1.00	17.5-22.0	5.0-7.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.25-0.5 N
301	S30100	0.15	2.00	1.00	16.0-18.0	6.0-8.0	0.045	0.03	
302	S30200	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
302B	S30215	0.15	2.00	2.0-3.0	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	
303**	S30300	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	min. 0.15	0.06 Mo
303Se**	S30323	0.15	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.20	0.06	min 0.15 Se
304	S30400	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304H	S30409	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	
304L	S30403	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-12.0	0.045	0.03	
304LN		0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.15 N
	S30430	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	8.0-10.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Cu
304N	S30451	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
304HN	S30452	0.04-0.10	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03	0.10-0.16 N
305	S30500	0.12	2.00	1.00	17.0-19.0	10.5-13.0	0.045	0.03	
308	S30800	0.08	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
308L		0.03	2.00	1.00	19.0-21.0	10.0-12.0	0.045	0.03	
309	S30900	0.20	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S	S30908	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	
309S Nb	S30940	0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	8 x % C - Nb
309 Nb+Ta		0.08	2.00	1.00	22.0-24.0	12.0-15.0	0.045	0.03	8 x % C - Nb+Ta
310	S31000	0.25	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
310S	S31008	0.08	2.00	1.50	24.0-26.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
312		0.15	2.00	1.00	30.0 nom.	9.0 nom.	0.045	0.03	
314	S31400	0.25	2.00	1.5-3.0	23.0-18.0	19.0-22.0	0.045	0.03	
316	S31600	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316F**	S31620	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.20	min. 0.10	1.75-2.5 Mo
316H	S31609	0.04-0.10	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316L	S31603	0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo
316LN		0.03	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.10-0.30 N
316N	S31651	0.08	2.00	1.00	16.0-18.0	10.0-14.0	0.045	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.10-0.16 N
317	S31700	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
317L	S31703	0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	11.0-15.0	0.045	0.03	3.0-4.0 Mo
317M		0.03	2.00	1.00	18.0-20.0	12.0-16.0	0.045	0.03	4.0-5.0 Mo
321	S32100	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	min 5 x % C - Ti
321H	S32109	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-12.0	0.045	0.03	min 5 x % C - Ti
329	S32900	0.10	2.00	1.00	25.0-30.0	3.0-6.0	0.045	0.03	1.0-2.0 Mo
330	N08330	0.08	2.00	0.75-1.50	17.0-20.0	34.0-37.0	0.040	0.03	
330HC		0.40	1.50	1.25	19.0 nom.	35.0 nom.			
332		0.04	1.00	0.50	21.5 nom.	32.0 nom.	0.045	0.03	
347	S34700	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	min 10 x % C - Nb+Ta
347H	S34709	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	min 10 x % C - Nb+Ta
348	S34800	0.08	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Cu ; min 10 % C - Nb+Ta
348H	S34809	0.04-0.10	2.00	1.00	17.0-19.0	9.0-13.0	0.045	0.03	0.2 Cu ; min 10 % C - Nb+Ta

Tablo-3 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri (devam)

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
384	S38400	0.08	2.00	1.00	15.0-17.0	17.0-19.0	0.045	0.03	
Nitronic 32	S24100	0.10	12.0	0.50	18.0	1.6			0.35 N
Nitronic 33	S24000	0.06	13.0	0.50	18.0	3.0			0.30 N
Nitronic 40	S21900	0.08	8.0-10.0	1.00	18.0-20.0	5.0-7.0	0.06	0.03	0.15-0.40 N
Nitronic 50	S20910	0.06	4.0-6.0	1.00	20.5-23.5	11.5-13.5	0.04	0.03	1.5-3.0 Mo ; 0.2-0.4 N 0.1-0.3 Nb ; 0.1-0.3 V
Nitronic 60	S21800	0.10	7.0-9.0	3.50-4.50	16.0-18.0	8.0-9.0	0.04	0.03	

*) Tek değerler maksimum değerlerdir

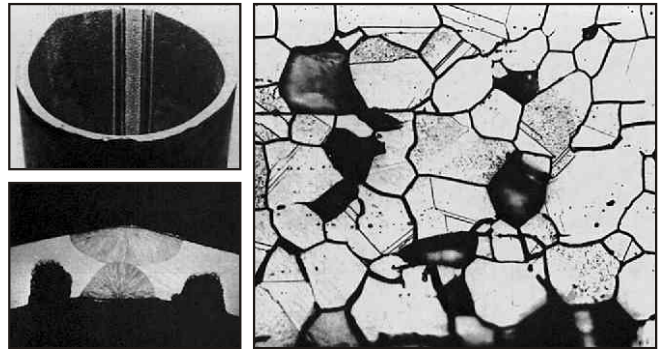
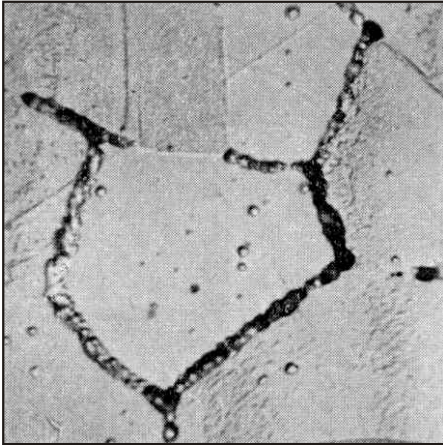
**) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler

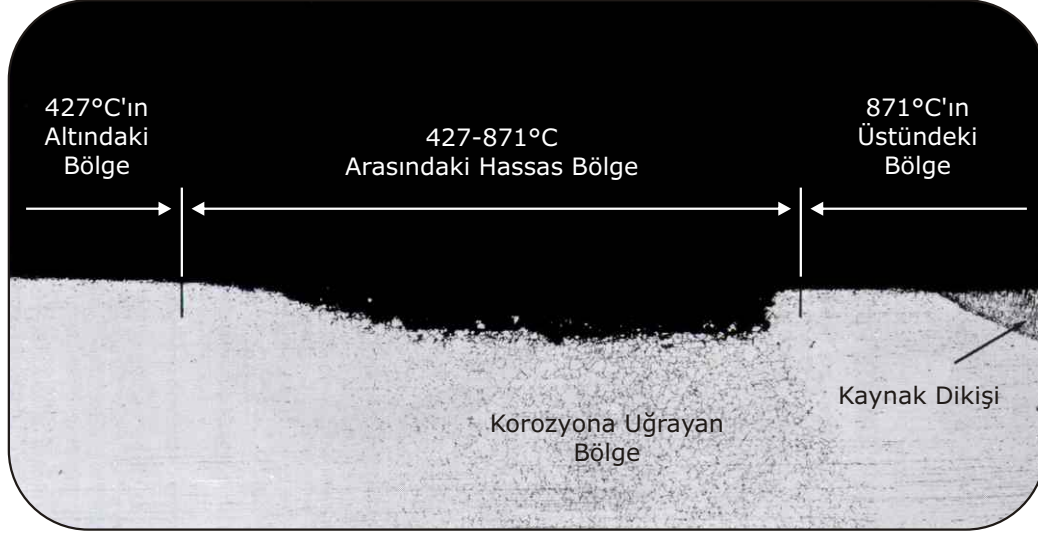
(ASM Metals Handbook, 9. Baskı, Cilt 3)

2.3.1

Krom Karbür Oluşumu

Isının etkisi altında kalan bölgenin 427-871°C sıcaklığa kadar ısınan bölümünde yer alan tane sınırlarında çökelen ve taneler arası korozyonu hızlandıran krom karbürler burada "Hassas Yapı" oluşmasına neden olurlar (Şekil-2 ve 3). Bu oluşum sırasında bir miktar krom çözültüden tane sınırlarına doğru yer değiştirir ve bunun sonucunda bu bölgesel alanlarda krom miktarında azalma olacağı için korozyon dayanımı düşer (Şekil-4).

**Şekil-2 Kromun Yer Değiştirerek Krom Karbür Oluşturması****Şekil-3 18 Cr / 8 Ni (0.10 C)'lu Paslanmaz Çeliğin Tane Sınırlarında Oluşan Karbür Çökmesi (x 1200)**



Şekil-4 Krom Karbür Çökmesi Sonucu Hassas Bölgede Oluşan Korozyon

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

Diğer bir yöntem, stabilize edilmiş olan paslanmaz çelik ana malzemelerin ve dolgu metallere kullanımınıdır. Bu sayede stabilizatör görevi gören alaşım elementleri karbon ile reaksiyona girecek ve krom miktarının azalmadan yapıda kalması sağlanacağından korozyon dayanımında herhangi bir düşüş ile karşılaşılacaktır (Şekil-5). 321 kalite paslanmaz çelikler stabilizatör olarak titanyum (Ti) içerirken 347 türü paslanmaz çelikler niobyum (Nb+Ta) ile stabilize edilmişlerdir. Her iki element de kromdan daha güçlü karbür oluşturma özelliğine sahiptir.

Bunların dışında kalan bazı ısıl işlem yöntemleri pahalı olmaları, pratik olmamaları ve parçalarda çarpımalara yol açmaları nedeniyle pek tercih edilmezler.



Şekil-5 Niobyum Stabilizasyonu

2.3.2 Sıcak Çatlak Oluşumu

Sıcak çatlamanın temel nedeni; kükürt (S) ve fosfor (P) gibi elementlerin oluşturduğu ve tane sınırlarında toplanma eğilimi yüksek olan düşük erime sıcaklığına sahip metalik bileşimlerdir. Bu bileşimler, eğer kaynak dikişinde veya ısının etkisi altında kalan bölgede bulunuyorsa, tane sınırlarına doğru yayılırlar ve kaynak dikişi soğurken ve çekme gerilmeleri oluştuğunda çatlama neden olurlar.

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

Sıcak çatlama riskine karşı dayanım elde edebilmek için yapıdaki ferrit miktarının en az % 4 olması önerilmektedir. Ferritin varlığı AWS A4.2'ye göre kalibre edilen manyetik ölçüm aletleriyle sağlıklı bir şekilde belirlenebilir. Bunun dışında; dolgu malzemesinin ve ana metalin kimyasal analizi biliniyorsa, çeşitli diyagramlar kullanılarak da bir tahminde bulunmak mümkündür. Bu diyagramlardan en bilineni ve en eski olanı 1948 yılında SCHAEFFLER tarafından geliş-

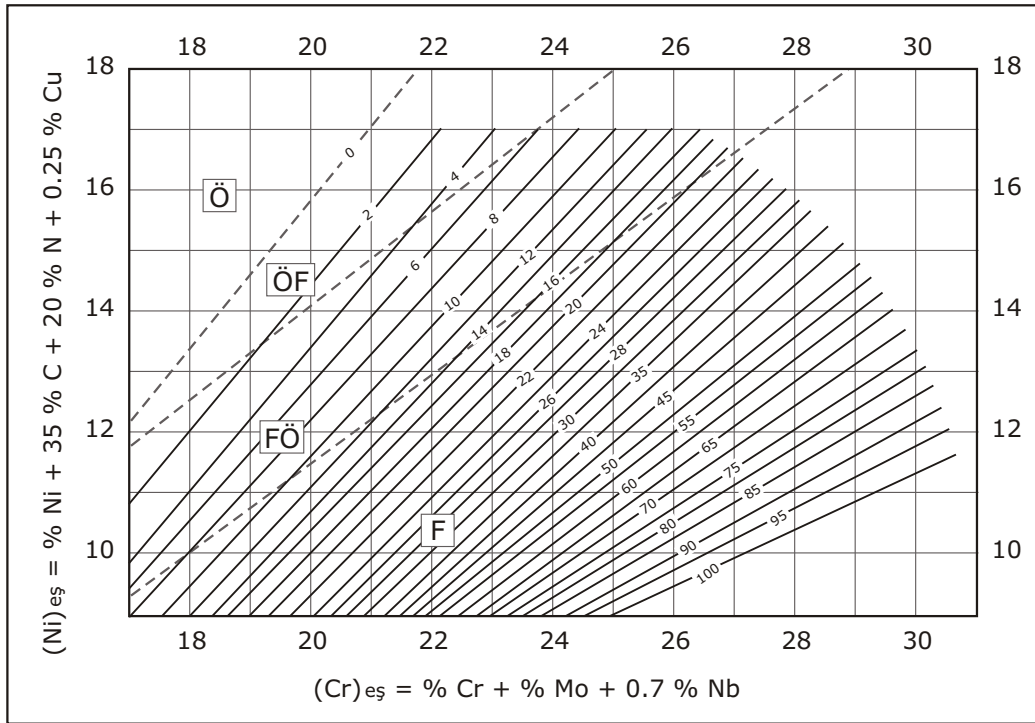
tirilen "Schaeffler Diyagramı"dır. Bu diyagramda Cr eşdeğeri yatay eksen, Ni eşdeğeri ise dikey eksen yer almaktadır.

$$(Cr)_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5 \% Si + 0.5 \% Nb$$

$$(Ni)_{eş} = \% Ni + 30 \% C + 0.5 \% Mn$$

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

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



Şekil-6 Katılaşma Faz Sınırlarını da İçeren WRC-1992 Diyagramı

$$(Ni)_{eş} = \% Ni + 30 \% C + 30 \% N + 0.5 \% Mn$$

Ferrit numaraları, özellikle düşük seviyelerde, ferrit yüzdeleri ile yakın değerlere sahiptir. Günümüzde en sık kullanılan ve en sağlıklı sonucu veren diyagram **Şekil-6**'da belirtilen WCR-1992 Diyagramı'dır. ASME şartnamelerinin 1994-1995 kış döneminde yayımlanan eklerinde WCR-1992 Diyagramı WCR-DeLong Diyagramı'nın yerini almıştır. Kabul edilen bu en son diyagramda krom ve nikel eşdeğerleri aşağıdaki formüllerle hesaplanmaktadır.

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

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

Görüldüğü gibi nikel ve krom eşdeğerleri Schaeffler ve WCR-DeLong Diyagram'larından daha farklı olarak hesaplanmaktadır.

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

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

Ferrit numarası, ferritin manyetik olma özelliğinden yararlanılarak kaynak metali üzerinden ölçülebilir. Bunun için ticari olarak satışa sunulan ve AWS A4.2'ye göre kalibre edilmiş olan ve ferrit numarasının direkt olarak okunabildiği manyetik ölçüm cihazlarından, ferritscoplardan ve benzeri cihazlardan yararlanılabilir.

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

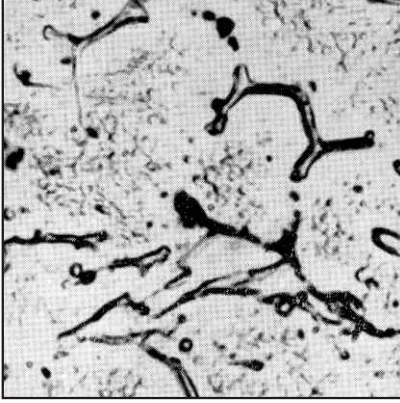
2.3.3 Sigma Fazı Oluşumu (σ)

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

Sigma fazı ile krom karbür çökmesi birbirinden tamamen farklı iki oluşumdur. Sigma fazı kırılabilirliği 650-850°C sıcaklıklar arasında görülür ve bu sıcaklık aralığında kalma süresi ile oluşan yapının yoğunluğu arasında yakın bir ilişki vardır. Faz dönüşüm hızının en yoğun olduğu sıcaklık 720°C civarındadır. Yapıda bulunan ferrit miktarının % 3-4 ile sınırlı tutulması durumunda, östenit tanelerinin etrafı ferrit ile çevrilemeyecek ve kırılabilirlik riski önlenecektir. Buna karşın ferrit miktarının % 12'yi geçmesi ile birlikte esneklik kabiliyeti hızla azalacaktır (**Şekil-7**).

Ferritin sigma fazına dönüşmesi sonucu kaynak dikişinde oluşan çatlama eğilimini ölçmeye yönelik olarak gerçekleştirilen deneye ait veriler **Şekil-8**'deki grafikte belirtilmiştir.

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



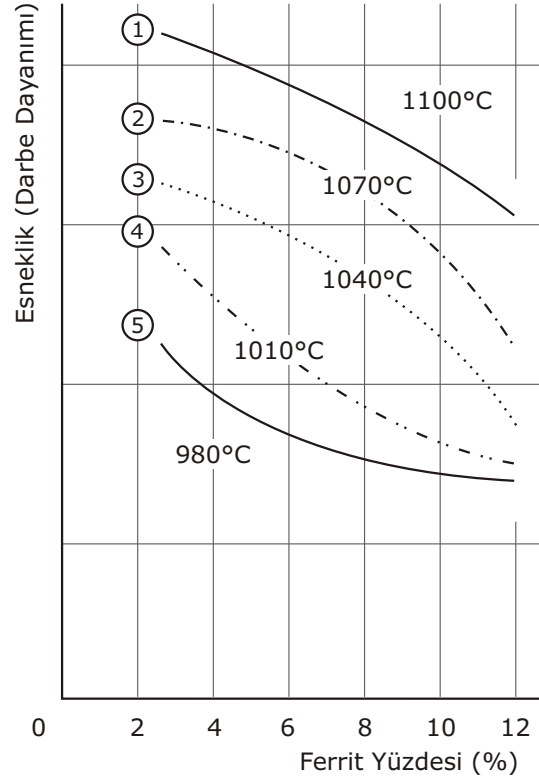
Şekil-7 20 Cr / 10 Ni'li ve % 3 Ferrit İçeren Paslanmaz Çelik (x 1700)

Daha sonra bu deney parçaları 980-1100°C arasındaki farklı sıcaklıklarda östenitleştirilmiş, 730°C'da 300 saat boyunca tutulmuş ve sigma fazı oluşturularak kırılğan hale getirilmiştir.

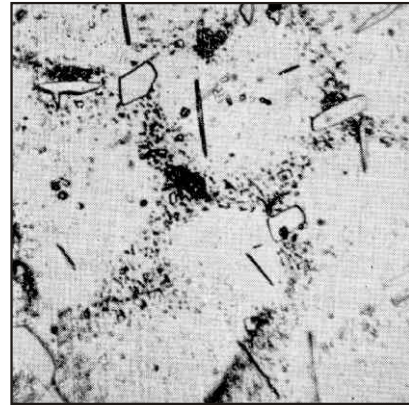
Buradan da görülmektedir ki; ferrit miktarındaki artışa bağlı olarak esneklik (darbe dayanımı) azalmakta ve ferrit yüzdesi ne olursa olsun östenitleştirme sıcaklığındaki artış dikiş üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır.

Şekil-9 ve Şekil-10'da; 25 Cr / 20 Ni'li, ısıya dayanıklı bir elektrodla gerçekleştirilen ve farklı zaman dilimleri süresince dönüşüm sıcaklığında tutulan bağlantılara ait içyapı fotoğrafları yer almaktadır. Görüldüğü gibi, parçanın 780°C'da 100 saat süre ile tutulması durumunda sigma fazı çizgileri oluşmaya başlamıştır (**Şekil-9**) ve yine aynı sıcaklıkta gerçekleştirilen 500 saatlik bir tutma işlemi sonucunda ise çökelen sigma fazı izlerinin çok daha yoğun olduğu görülmektedir (**Şekil-10**).

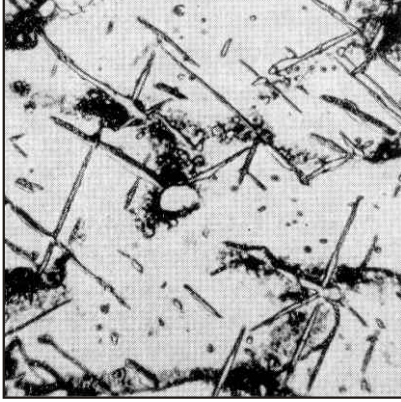
Buradan da anlaşıldığı gibi, kaynak işlemi sırasında banyonun çok hızlı soğuması ve katılaşması nedeni ile sigma fazı kolay oluşmaz. Bu sorun esas olarak ferrit içeriği çok yüksek olan bir kaynaklı bağlantının kaynak işleminden sonra uzun süre yüksek sıcaklık değerlerinde kalacak bir çalışma ortamlarda kullanılması durumunda karşımıza çıkar.



Şekil-8 Farklı Sıcaklıklarda Isıl İşlem Uygulanan ve 780°C'da 300 Saat Süresince Tutulan, 20 Cr/10 Ni ve 1 Nb'lu Ostenitik Bir Yapıda Bulunan Ferrit Miktarının Gösterdiği Etki



Şekil-9 25 Cr / 20 Ni (0.10 C)'lu Elektrod Kullanılmıştır. 780°C'da 100 Saat Isıl İşlem Uygulanmış ve Sigma Fazı Çizgileri Oluşmaya Başlamıştır (x 1600).



Şekil-10 25 Cr / 20 Ni (0.10 C)'lu Elektrod Kullanılmıştır. 780°C'da 500 Saat Isıl İşlem Uygulanmış ve Sigma Fazı Çizgileri Artarak İyice Belirgin Hale Gelmiştir (x 1600).

Sigma fazı konusunda yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- a- Sigma fazının oluşumu 750°C'da, 650°C'dakinden daha çabuk meydana gelir. 750°C'da 30 saat gibi bir zamana gereksinim varken bu süre 650°C'da 1 haftaya çıkar.
- b- Sigma fazı oluşumu soğuk şekil değiştirme ile hızlanır.
- c- Sigma fazı oluşumuna kuvvetli olarak etki eden elementler ; molibden (Mo), krom (Cr), niobyum (Nb) ve silisyum (Si)'dur.
- d- Sigma oluşumunu kuvvetlendiren elementlerin miktarı yüksek ise, belirli şartlar altında, kaynağa bağlı olmadan ve ısıl işlem uygulamadan da sigma fazı meydana gelebilir.
- e- Sigma fazı, 950-1100°C sıcaklıklar arasında belirli bir süre tavlandıktan sonra, suda hızlı olarak soğutularak giderilebilir.
- f- Sigma fazının giderilmesi için uygulanan ısıl işlemten sonra oluşan yapıdaki ferrit miktarı, ısıl işlem uygulanmamış yapıdakine oranla daha azdır.
- g- Ferrit miktarı, parçaya 1150°C'da homojenleştirme tavlama uygulanarak daha da düşürülebilir. Bu durumda ferrit mikro toplanmalar şeklinde oluşur.
- h- Isıl işlem uygulanmamış 19 Cr / 9 Ni / 1.5 Mo tipi çeliğe ait kaynak bölgesinin yapısında bulunan % 15 ferrit sigma fazına dönüşünce, kaynak dikişinin mukavemet özelliklerinde aşağıda belirtilen değişimler meydana gelir :
 - Çekme dayanımı yükselir, akma sınırı düşer.
 - Uzama, büzülme ve çentik dayanımları önemli derecede azalır.
 - 24 saat 750°C'da tavllanmış olan kaynak bölgesinin 0°C'daki çentik dayanımı, 650°C'da bir hafta tavlanan kaynak yerinin çentik dayanımı ile hemen hemen aynıdır. Buna karşın, yapısında % 12 ferrit bulunan kaynak bölgesinin çentik dayanımının 1/10'u kadardır. Aradaki bu fark, yüksek sıcaklıklarda daha da azalmaktadır.
- i- 300-400°C'ın üzerinde oldukça iyi çentik değerleri elde edildiği için, yüksek işletme sıcaklığında çalışan konstrüksiyonlarda, sigma fazının neden olduğu gevrekleşmeden korkulmamalıdır.
- k- Sigma fazının neden olduğu kırılganlık, kaynak bölgesinin tavlama yapılmadan önceki durumunda içerdiği ferrit miktarına bağlıdır. Eğer kaynak bölgesi başlangıçta % 6.5 ferrit içerirse, sigma dönüşmesi çentik darbe dayanımının azalmasına neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğu için, ferrit östenitik yapı içerisinde ağ şeklinde değil, izole edilmiş odacıklar halinde meydana gelir. Bu yolla elde edilen sigma, yapıya bir süneklik kazandırmaktadır.

2.4 ÇÖKELME YOLUYLA SERTLEŞEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER

Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çelikler, martenzitik, yarı-östenitik ve östenitik olmak üzere üç gruba ayrılır.

Martenzitik paslanmaz çelikler, yaklaşık 1038°C olan östenitleştirme sıcaklığından itibaren hızla soğutulmuş ve daha sonra 482-621°C sıcaklıklar arasında bir yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak sertleştirilebilir. Bu tür çelikler % 0,07'nin altında karbon içerdiği için, oluşan martenzit çok sert değildir ve asıl sertlik yaşlandırma (çökeltme) reaksiyonu ile elde edilir. Bu gruba örnek olarak 17-4PH, 15-5PH ve PH13-8Mo tipi çelikler gösterilebilir. Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklere ait nominal kimyasal analiz değerleri **Tablo-4'**de verilmiştir.

Yarı-östenitik paslanmaz çelikler östenitleştirme sıcaklığından oda sıcaklığına soğutulduklarında martenzit oluşturmazlar. Bunun temel nedeni martenzit dönüşüm sıcaklığının oda sıcaklığının altında olmasıdır. Karbonun ve/veya diğer alaşım elementlerinin karbürler ya da metallerarası bileşikler şeklinde çökebilmesini sağlayabilmek için bu tür çeliklere 732-954°C sıcaklıklar arasında kondisyonlama ısıl işlemi uygulanmalıdır. Bu sayede alaşım elementleri çözüldükten ayrılarak östeniti destabilize edecek ve martenzit dönüşüm sıcaklığının yükselmesine neden olacaktır. Böylece çeliğin oda sıcaklığına doğru soğutulması işlemi sırasında martenzitik bir yapının oluşması mümkün olur. 454-593°C arasında gerçekleştirilen bir yaşlandırma ısıl işlemi sonucunda gerilmeler ortadan kalkacak ve martenzit temperlenerek tokluk, süneklik, sertlik ve korozyon dayanımı artacaktır. 17-7 PH, PH 15-7 Mo ve AM350 bu grupta yer alan paslanmaz çeliklerin en tipik örnekleridir.

Çökeltme yoluyla sertleşebilen östenitik tip paslanmaz çelikler çözüldükten sonra sıcaklığından itibaren hızla

soğutulduktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğradıktan sonra bile östenitik yapılarını korurlar. Bu çelikler sadece yaşlandırma ısıl işleminden sonra sertleştirilebilirler. Bu işlem, 982-1121°C sıcaklıklar arasındaki çözüldükten sonra 704-732°C'a doğru yağda veya suda hızlı soğutmayı ve daha sonra yine bu sıcaklık aralığında 24 saat süren bir yaşlandırma işlemini içerir. Bu tür çeliklere örnek olarak A286 ve 17-10 P gösterilebilir.

Çökeltme yoluyla sertleşebilen martenzitik ve yarı-östenitik türdeki paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek dayanım şartı aranıyorsa, kaynak işleminde ana malzemeninkine benzer yapıda dolgu metalleri kullanılmalı ve parçalara kaynaktan önce ısıl işlem ya da çözüldükten sonra ısıl işlemi uygulanmış olmalıdır. Martenzitik ve yarı-östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında 17-4 PH türü ana metallerle benzer yapıdaki 630 türü dolgu malzemeleri sık kullanılmaktadır. Kaynaktan sonra çözüldükten ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmalıdır. Eğer kaynaktan sonra çözüldükten önce ısıl işleminin uygulanması pratikte bazı zorlukları beraberinde getiriyorsa, parçalara kaynaktan önce çözüldükten sonra ısıl işlemi uygulanmalıdır. Yüksek zorlamaların etkisi altında bulunan kalın parçalar, bazı durumlarda aşırı yaşlandırma sıcaklıklarında kaynak edilirler. Bu durum, yüksek dayanım elde etmek için kaynak işleminden sonra eksiksiz bir ısıl işlem uygulanmasını gerektirir.

Çökeltme yoluyla sertleşebilen östenitik tipteki paslanmaz çelikler, sıcak çatlak oluşumu nedeniyle zor kaynak edilen paslanmaz çelikler grubuna girerler. Kaynak işlemi tercihen çözüldükten sonra ısıl işlemi uygulanmış olan parçalar üzerinde yapılmalı ve uygulama düşük gerilmeler altında ve mümkün olan en düşük ısı girdisi sağlanacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Nikel esaslı NiCrFe tipindeki ya da konvansiyonel tipteki östenitik paslanmaz çelik dolgu malzemeleri bu çeliklerin kaynağında sık olarak kullanılmaktadır.

Tablo-4 Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen ve Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin Nominal Kimyasal Analiz Değerleri

Türü	UNS Numarası	Kimyasal Analiz Değerleri (%) *							Diğer
		C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	
Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler									
PH 13-8 Mo	S13800	0.05	0.10	0.10	12.25-13.25	7.5-8.5	0.01	0.008	2.0-2.5 Mo ; 0.90-1.35 Al ; 0.01 N
15-5 PH	S15500	0.07	1.00	1.00	14.0-15.5	3.5-5.5	0.04	0.03	2.5-4.5 Cu ; 0.15-0.45 Nb + Ta
17-4 PH	S17400	0.07	1.00	1.00	15.5-17.5	3.0-5.0	0.04	0.03	3.0-5.0 Cu ; 0.15-0.45 Nb + Ta
17-7 PH	S17700	0.09	1.00	1.00	16.0-18.0	6.5-7.75	0.04	0.03	0.75-1.15 Al
PH 15-7 Mo	S15700	0.09	1.00	1.00	14.0-16.0	6.5-7.75	0.04	0.03	2.0-3.0 Mo ; 0.75-1.5 Al
17-10 P		0.07	0.75	0.50	17.0	10.5	0.28		
A286	S66286	0.08	2.00	1.00	13.5-16.0	24.0-27.0	0.04	0.03	1.0-1.5 Mo ; 2.0 Ti ; 0.3 V
AM350	S35000	0.07-0.11	0.5-1.25	0.50	16.0-17.0	4.0-5.0	0.04	0.03	2.5-3.25 Mo ; 0.07-0.13 N
AM355	S35500	0.10-0.15	0.5-1.25	0.50	15.0-16.0	4.0-5.0	0.04	0.03	2.5-3.25 Mo
AM363		0.04	0.15	0.05	11.0	4.0			0.25 Ti
Custom 450	S45000	0.05	1.00	1.00	14.0-16.0	5.0-7.0	0.03	0.03	1.25-1.75 Cu ; 0.5-1.0 Mo 8 x % C - Nb
Custom 455	S45500	0.05	0.50	0.50	11.0-12.5	7.5-9.5	0.04	0.03	0.5 Mo ; 1.5-2.5 Cu ; 0.8-1.4 Ti ; 0.1-0.5 Nb
Stainless W	S17600	0.08	1.00	1.00	16.0-17.5	6.0-7.5	0.04	0.03	0.4 Al ; 0.4-1.2 Ti
Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler									
2205	S31803	0.03	2.0	1.0	22.0	5.5	0.03	0.02	3.0 Mo ; 0.14 N
2304	S32304	0.03	2.5	1.0	23.0	4.0			0.1 N
255		0.04	1.5	1.0	25.5	5.5			3.0 Mo ; 0.17 N ; 2.0 Cu
NU744LN		0.067	1.7	0.44	21.6	4.9			2.4 Mo ; 0.10 N ; 0.2 Cu
2507	S32750	0.03	1.2	0.8	25.0	5.5	0.035	0.02	4 Mo ; 0.28 N

*) Tek değerler maksimum değerlerdir

(ASM Metals Handbook, 9. Baskı, Cilt 3) ve ASTM A638

2.5

ÇİFT FAZLI PASLANMAZ ÇELİKLER

Çift fazlı paslanmaz çelikler son günlerdeki en hızlı gelişen paslanmaz çelik grubudur ve yaklaşık olarak eşit oranda ferrit ve östenit içeren bir mikro yapıya sahiptir.

Bu çeliklere ait nominal analiz değerleri **Tablo-4**'ün alt bölümünde listelenmiştir. Çift fazlı paslanmaz çelikler, daha yüksek akma dayanımına sahip olmaları ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha fazla direnç sağlamaları nedeniyle, konvansiyonel tipteki östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerinkine göre daha üstün avantajlar sunarlar.

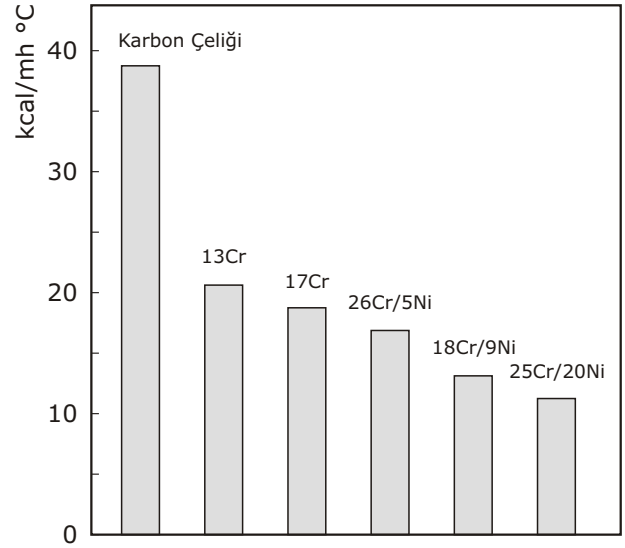
Çift fazlı mikro yapı, % 21-25 Cr ve % 5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050°C sıcaklıkta tavlama işlemi ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu bileşimlere ait kaynak metalinin genellikle ferritik yapıda olma eğilimi vardır. Çünkü dolgu metali ferrit olarak katılacak ve sadece belirli bir miktarda östenit dönüşümü oluşacaktır. Birçok kaynak dolgusuna tavlama işlemi uygulanması mümkün olmadığından, dolgu metalinin Ni oranı % 8-10'a yükseltilecek kimyasal analiz modifiye edilir ve bu sayede kaynak metalinin kaynak edildiği haldeki mikro yapısında daha fazla östenit bulundurması sağlanır.

BÖLÜM 3.0

FİZİKSEL ÖZELLİKLER

Her bir paslanmaz çelik grubuna ait ortalama fiziksel özellikler **Tablo-5**'de verilmiştir. Bu tabloda elastisite modülü, yoğunluk, ısı genleşme katsayısı, ısı iletkenlik, özgül sıcaklık, elektriksel direnç, manyetik geçirgenlik ve ergime aralığı gibi veriler yer almaktadır. Bu değerler birçok mühendislik gereksinimi için sınırlı olabilir. Bu nedenle, eğer belirli bir paslanmaz çeliğe ait daha detaylı ve hassas veriye ihtiyaç duyuluyorsa ASM Handbook, 9. Baskı, Cilt 3'den yararlanılabilir.

Paslanmaz çeliklerin ısı iletimi özelliği karbon çeliklerinkinden farklıdır. Örneğin yüksek kromlu çeliklerin ısıyı iletme kabiliyetleri karbon çeliklerinkinin yaklaşık yarısı kadardır. Östenitik tip paslanmaz çeliklerde bu durum daha da belirgin olup, ısı iletim kabiliyeti karbon çeliklerinkinin üçte birine kadar düşmektedir (**Şekil-11**). Bu durum kaynak sırasında oluşan sıcaklığın kaynak bölgesinde daha uzun süre kalacağı ve dolayısıyla bazı zorluklarla karşılaşılacağı anlamına gelmektedir.

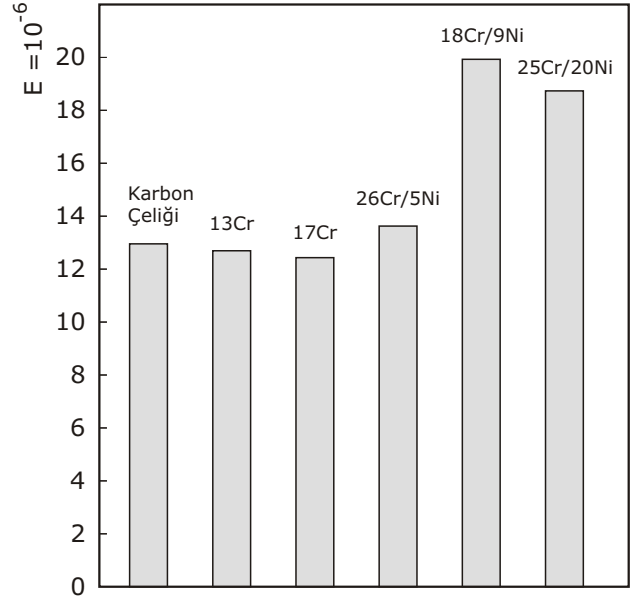


Şekil-11 20-100°C'da Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Isı İletim Kabiliyetleri

Tablo-5 Paslanmaz Çelik Gruplarına Ait Fiziksel Özellikler

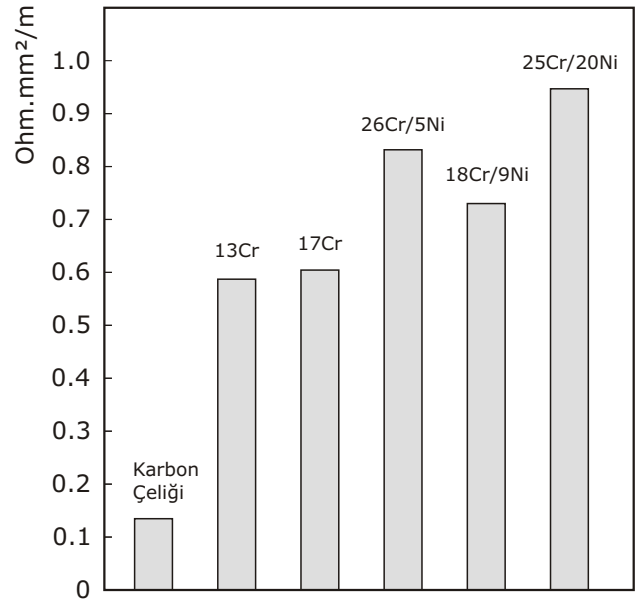
Fiziksel Özellikler	Östenitik Paslanmaz Çelikler	Ferritik Paslanmaz Çelikler	Martenzitik Paslanmaz Çelikler	Çökelme İle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm ³)	8.0	7.8	7.8	7.8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16.6	10.4	10.3	10.8
Isıl İletkenlik (W/mk)	15.7	25.1	24.2	22.3
Özgül Isı (J/k °K)	500	460	460	460
Elektriksel Direnç (µΩcm)	74	61	61	80
Manyetik Geçirgenlik	1.02	600 - 1100	700 - 1000	95
Ergime Aralığı (°C)	1375 - 1450	1425 - 1530	1425 - 1530	1400 - 1440

Yüksek kromlu paslanmaz çelikler genellikle karbon çelikleri ile aynı genleşme katsayısına sahiptir. Östenitik tip paslanmaz çeliklerde ise bu değer karbon çeliklerinkinden % 50 daha fazladır (**Şekil-12**). Bu konu sadece kaynakçıyı değil aynı zamanda konstrüksiyonu yapan mühendisi de yakından ilgilendirmektedir.



Şekil-12 20-800°C'da Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Uzama Kabiliyeti

Alaşımız karbon çeliklerinin elektrik iletme direnci düşüktür. Paslanmaz çeliklerde ise bu değer karbon çeliklerinkinden 4-7 kat daha yüksektir (**Şekil-13**). Bu nedenle paslanmaz çelik örtülü elektrotlar konvansiyonel elektrotlardan daha çabuk kızarırlar. Paslanmaz çelik elektrotların alaşımız ve düşük alaşımız demir elektrotlardan boy olarak daha kısa imal edilmelerinin ve % 25 kadar daha düşük akım şiddeti ile yüklenmelerinin temel nedeni de budur.



Şekil-13 20°C'da Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Özgül Elektrik İletme Direnci

BÖLÜM 4.0

MEKANİK ÖZELLİKLER

Ferritik ve östenitik tip paslanmaz çeliklerin tavllanmış durumdaki nominal mekanik özellikleri **Tablo-6** ve **Tablo-7**'de her ürün için detaylı olarak verilmiştir. Östenitik tip paslanmaz çelikler, ferritik tip paslanmaz çeliklere oranla genellikle daha yüksek çekme dayanımına ve uzamaya, ancak buna karşın daha düşük akma dayanımına sahiptirler. Kesit daralması değeri her iki tip paslanmaz çelik türü için de hemen hemen aynıdır. Martenzitik tip paslanmaz çeliklerin hem tavllanmış hem de temperlenmiş durumdaki nominal

mekanik özellikleri **Tablo-8**'de verilmiştir. Temperleme işlemi; östenit oluşum sıcaklığına kadar ısıtmayı takiben martenzit oluşum sıcaklığına doğru soğutmayı ve tokluğu yükseltmek amacıyla uygun bir sıcaklığa kadar tekrar ısıtmayı içerir. **Tablo-9**, belirli bir sıcaklıkta yaşlandırma ısı işlemi uygulandıktan sonra tavlanan, çökeltme yoluyla sertleşebilen türdeki paslanmaz çeliklere ait mekanik özellikleri içerir. Bu tabloda ayrıca, dört adet çift fazlı paslanmaz çeliğe ait mekanik özellikler de yer almaktadır.

Tablo-6 Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Mekanik Özellikleri

Çelik Türü	Isıl İşlem Durumu	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı % 0.2 (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
405	Tavlı	480	275	30	60	B 80
409	Tavlı	450	240	25		B 75 M
429	Tavlı	490	310	30	65	B 88 M
430	Tavlı	515	310	30	60	B 82
430F	Tavlı	550	380	25	60	B 86
430Ti	Tavlı	515	310	30	65	
434	Tavlı	530	365	23		B 83 M
436	Tavlı	530	365	23		B 83 M
442	Tavlı	550	310	25	50	B 85
444	Tavlı	415	275	20		B 95 M
446	Tavlı	550	345	23	50	B 86
26-1 (E-Brite)	Tavlı	450	275	22		B 90 M
26-1Ti	Tavlı	470	310	20		B 95 M
29-4	Tavlı	550	415	20		B 98 M
29-4-2	Tavlı	550	415	20		B 98 M
18SR	Tavlı	620	450	25		B 90
Monit	Tavlı	650	550	20		B 100 M
Sea-cure/SC-1	Tavlı	550	380	20		B 100 M

(M = Maksimum)

(ASM Metals Handbook, 8. Baskı, Cilt 1 ; ve 9. Baskı, Cilt 3)

Tablo-7 Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Mekanik Özellikleri

Çelik Türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı % 0.2 (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
201	Tavlı	793	379	55		B 90
201	Tam Sertleştirilmiş	1275	965	4		C 41
202	Tavlı	724	379	55		B 90
301	Tavlı	758	276	60		B 85
301	Tam Sertleştirilmiş	1275	965	8		C 41
302	Tavlı	620	255	55	65	B 82
302B	Tavlı	655	276	50	65	B 85
303	Tavlı	620	241	50	55	B 84
304	Tavlı	586	241	55	65	B 80
304L	Tavlı	552	207	55	65	B 76
304N	Tavlı	586	241	30		
304LN	Tavlı	552	207			
305	Tavlı	586	255	55	70	B 82
308	Tavlı	586	241	55	65	B 80
308L	Tavlı	551	207	55	65	B 76
309	Tavlı	620	276	45	65	B 85
310	Tavlı	655	276	45	65	B 87
312	Tavlı	655		20		
314	Tavlı	689	345	45	60	B 87
316	Tavlı	586	241	55	70	B 80
316L	Tavlı	538	207	55	65	B 76
316F	Tavlı	586	241	55	70	B 80
317	Tavlı	620	276	50	55	B 85
317L	Tavlı	586	241	50	55	B 80
321	Tavlı	599	241	55	65	B 80
347 / 348	Tavlı	634	241	50	65	B 84
329	Tavlı	724	552	25	50	B 98
330	Tavlı	550	241	30		B 80
330HC	Tavlı	586	290	45	65	
332	Tavlı	552	241	45	70	
384	Tavlı	550				

(ASM Metals Handbook, 8. Baskı, Cilt 1 ; ve 9. Baskı, Cilt 3 ve ASTM Standartları)

Tablo-8 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Nominal Mekanik Özellikleri

Çelik Türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı % 0.2 (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
403	Tavlı	517	276	30	65	B 82
403	Temperlenmiş (427°C) *	1344	1034	17	55	C 41
410	Tavlı	517	276	30	65	B 82
410	Temperlenmiş (427°C) *	1344	1034	17	55	C 41
410S	Tavlı	414	207	22		B 95 M
410Nb	Tavlı	483	276	13	45	
410Nb	Temperlenmiş (Ara Tav) **	862	689	13	45	
414	Tavlı	827	655	17	55	C 22
414	Temperlenmiş (427°C) *	1379	1034	16	58	C 43
414L	Tavlı	793	552	20	60	
416 Plus X	Tavlı	517	276	30	60	
420	Tavlı	655	345	25	55	B 92
420	Temperlenmiş (315°C) *	1586	1344	8	25	C 50
422	Temperlenmiş (Ara Tav) **	965	758	13	30	
431	Tavlı	862	655	20	60	C 24
431	Temperlenmiş (427°C) *	1413	1069	15	60	C 43
440A	Tavlı	724	414	20	45	B 95
440A	Temperlenmiş (315°C) *	1793	1655	5	20	C 51
440B	Tavlı	738	427	18	35	B 96
440B	Temperlenmiş (315°C) *	1931	1862	3	15	C 55
440C	Tavlı	758	448	13	25	B 97
440C	Temperlenmiş (315°C) *	1965	1896	2	10	C 57

*) Ostenitleştirme ısıl işleminden sonra temperlenmiş (ıslah edilmiş) ve oda sıcaklığına soğutulmuştur.

**) Ara tavlı sıcak bitirilmiştir.

M = Maksimum

(ASM Metals Handbook, 8. Baskı, Cilt 1 ; ve 9. Baskı, Cilt 3 ve ASTM Standartları)

Tablo-9 Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen ve Çift Fazlı Paslanmaz Çeliklerin Nominal Mekanik Özellikleri

Çelik Türü	Isıl İşlem Şartı	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Akma Dayanımı % 0.2 (N/mm ²)	Uzama (%)	Kesit Daralması (%)	Sertlik (Rockwell)
Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler						
PH13-8 Mo	H950	1517	1413	8	45	C 45
15-5 PH	H900	1310	1172	10	35	C 44
15-5 PH	H1150	931	724	16	50	C 32
17-4 PH	Çözelti Tavlaması	1034	758	10	45	C 33
17-4 PH	H900	1379	1227	12	48	C 44
17-7 PH	Çözelti Tavlaması	896	276	35		B 85
17-7 PH	RH950	1620	1517	6		C 48
PH 15-7 Mo	Çözelti Tavlaması	896	379	35		B 88
PH 15-7 Mo	RH950	1655	1551	6	25	C 48
17-10 P	Çözelti Tavlaması	613	255	70	76	B 82
17-10 P	H1300	986	676	20	32	C 32
A286	H1350	896	586	15		
AM350	Çözelti Tavlaması	1103	379	40		B 95
AM350	DA	1344	1069	11		C 41
AM355	Çözelti Tavlaması	1207	448	30		B 95
AM355	DA	1344	1069	10		C 41
Custom 450	Tavlı	862	655	10	40	C 30
Custom 450	H900	1241	1172	10	40	C 40
Custom 455	H900	1620	1517	8	30	C 47
Stainless W	Çözelti Tavlaması	827	517	7		C 30
Stainless W	H950	1344	1241	7	25	C 46
Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler						
2205		827	448	25		
2304		758	414	25		
255		758	552	15		
2507		800	550	15		

(ASM Metals Handbook, 8. Baskı, Cilt 1 ; ve 9. Baskı, Cilt 3 ve ASTM Standartları)

BÖLÜM 5.0

PASLANMAZ ÇELİK TÜRÜNÜN SEÇİMİ

Belirli bir paslanmaz çelik tipinin seçimi, sözkonusu uygulamanın gerektirdiği şartlara bağlıdır. Birçok durumda en önemli belirleyici etkenler korozyon dayanımı, kararma (matlaşma) direnci ve yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon dayanımıdır. Bunlara ek olarak, seçilen paslanmaz çelik türü mukavemet, tokluk, süneklik ve yorulma dayanımı gibi kanularda minimum mekanik özelliklere de sahip olmalıdır. Farklı tip ve cinsteki çeşitli paslanmaz çelikler uygulama için gereken korozyon dayanımını ve mekanik özellikleri sağlayabilir. Bu durumda son seçim, servis şartlarının gereklerini en iyi şekilde yerine getiren seçenekler içerisinde en düşük maliyete sahip olan ürüne göre yapılmalıdır. Paslanmaz çelik tipinin seçimi genellikle sistemi planlayan tasarımcı tarafından yapılır. Bu durumda tasarımcı, konu hakkındaki bilgisine, deneyimlerine ve çeşitli malzemelerin sözkonusu ortamdaki korozyon dayanımları ile ilgili verileri içeren teknik dokümanlara başvurur. Kaynak mühendisi, genellikle ana metal seçimi konusunda karar vermekten sorumlu değildir, sadece kaynak sırasında kullanılacak dolgu metalinin, kaynak yönteminin ve kaynak prosedürünün seçiminden sorumludur.

Eğer kaynak mühendisinin ana malzeme konusunda da bir seçim yapması gerekiyorsa; çalışma ortamı, parçadan beklenen servis ömrü ve kabul edilebilir korozyon derecesi ile ilgili konularda detaylı bilgi toplamalıdır. Bu seçime yardımcı olması amacıyla, **Tablo-10a** ve **Tablo-10b**'de çeşitli türdeki paslanmaz çeliklerin bazı korozif ortamlardaki korozyon dayanımları listelenmiştir. Bu tablolarda da görülmek-

tedir ki, östenitik ve daha yüksek kromlu paslanmaz çelikler genellikle martenzitik ve daha düşük kromlu ferritik paslanmaz çeliklere oranla daha yüksek korozyon dayanımına sahiptirler. Test verilerinin büyük bir çoğunluğu çeşitli metal ve metal alaşımlarının farklı korozif ortamlarda gösterdiği korozyon davranışlarına göre hazırlanmıştır. Paslanmaz çeliklerle ilgili bu bilgiler referans olarak gösterilen çeşitli kaynaklardan kolaylıkla elde edilebilir.

Paslanmaz çelik seçiminde dikkat edilmesi gereken diğer önemli etkenler; karıncalanma (pitting), çatlak korozyonu ve tanelerarası korozyondur. Tanelerarası korozyonun başlıca nedeni ısı etkisi altındaki bölgede oluşan karbür çökmesidir ve bu sorunun giderilmesi için uygulanan yöntemler önceki bölümlerde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Eğer uygulama yüksek sıcaklıklarda çalışmayı gerektiriyorsa, sürünme dayanımı, kopma dayanımı ve oksidasyon dayanımı da gözönünde tutulmalıdır.

Çeşitli kitaplardan ve birçok referans yayından elde edilen korozyon ve oksidasyon testi sonuçlarına bakarak belirli bir uygulama için gereken uygun paslanmaz çelikler veya diğer alaşımlar seçilebilir. Paslanmaz çelik seçildikten sonra, kaynak ağzının tasarımından, kaynak sırasında kullanılacak olan dolgu metalinin, kaynak yönteminin ve kaynak prosedürünün seçiminden kaynak mühendisi sorumludur.

Tablo-10a Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlardaki Korozyon Dayanımları

Paslanmaz Çelik Türleri	Atmosferik Ortamlar				Tatlı Su	Tuzlu Su	Toprak	Kimyasal Çözeltiler
	Endüstriyel Alanlar	Denizcilikle İlgili Alanlar	Şehir Ortamı	Kırsal Alanlar				
Östenitik Paslanmaz Çelikler								
201	5	2	1	1	1		3	7
202	5	2	1	1	1		3	7
205	5	2	1	1	1		3	7
301	5	2	1	1	1		3	7
302	5	2	1	1	1		3	7
302B	5	2	1	1	1		3	7
303	5	2	1	1	1		3	7
303Se	5	2	1	1	1		3	7
304	5	2	1	1	1	3	3	7
304H	5	2	1	1	1	3	3	7
304L	5	2	1	1	1	3	3	7
304N	5	2	1	1	1	3	3	7
305	5	2	1	1	1		3	7
308	5	2	1	1	1		3	7
309	5	2	1	1	1	3	3	7
309S	5	2	1	1	1	3	3	7
310	5	2	1	1	1	3	3	7
310S	5	2	1	1	1	3	3	7
314	5	2	1	1	1			7
316	3	1	1	1	1	3	1	7
316F	3	1	1	1	1	3	1	7
316H	3	1	1	1	1	3	1	7
316L	3	1	1	1	1	3	1	7
316N	3	1	1	1	1	3	1	7
317	3	1	1	1	1	3	1	7
317L	3	1	1	1	1	3	1	7
321	5	2	1	1	1	3	3	7
321H	5	2	1	1	1	3	3	7
329	3	2	1	1	1	1	3	7
330	3	1	1	1	1		3	7
347	5	2	1	1	1	3	3	7
347H	5	2	1	1	1	3	3	7
348	5	2	1	1	1	3	3	7
348H	5	2	1	1	1	3	3	7
384		2	1	1	1		3	7

Kod : 1 - Paslanma, lekelenme veya karıncalanma yok,
 2 - Hafif paslanma veya lekelenme var, karıncalanma yok,
 3 - Hafif paslanma veya lekelenme var, hafif karıncalanma var,
 4 - Yüzey pasla örtülü veya lekeli,
 5 - Yüzey pasla örtülü ve karıncalanma var,

6 - Paslanma ve yoğun karıncalanma var,
 7 - Kimyasal ortamlardaki korozyon ve karıncalanma davranışları aşındırıcı sıvının cinsine, yoğunluğuna, ortam sıcaklığına ve sıvının hareketine göre büyük farklılıklar gösterir. Bu gibi durumlarda; uygulama bazında özel olarak hazırlanan yayınlara başvurulmalıdır.

Tablo-10a Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Ortamlardaki Korozyon Dayanımları (devam)

Paslanmaz Çelik Türleri	Atmosferik Ortamlar				Tatlı Su	Tuzlu Su	Toprak	Kimyasal Çözeltiler
	Endüstriyel Alanlar	Denizcilikle İlgili Alanlar	Şehir Ortamı	Kırsal Alanlar				
Ferritik Paslanmaz Çelikler								
405	6	4	2	1	3	6	6	7
409	6	4	2	1	3	6	6	7
429	3	4	2	1	1	6	6	7
430	3	4	1	1	1	6	6	7
430F	3	4	1	1	1	6	6	7
430FSe	3	4	1	1	1	6	6	7
434	3	4	1	1	1			7
436	3	4	1	1	1			7
442	3	2	1	1	1			7
446	3	2	1	1	1	3		7
Martenzitik Paslanmaz Çelikler								
403	6	4	2	1	3	6	6	7
410	6	4	2	1	3	6	6	7
414	6	4	2	1	3	6	6	7
416	6	4	2	1	3	6	6	7
416Se	6	4	2	1	3	6	6	7
420	6	4	2	1	3	6	6	7

Kod : 1 - Paslanma, lekelenme veya karıncalanma yok, 6 - Paslanma ve yoğun karıncalanma var,
2 - Hafif paslanma veya lekelenme var, karıncalanma yok, 7 - Kimyasal ortamlardaki korozyon ve karıncalanma davranışları aşındırıcı sıvının cinsine, yoğunluğuna, ortam sıcaklığına ve sıvının hareketine göre büyük farklılıklar gösterir. Bu gibi durumlarda; uygulama bazında özel olarak hazırlanan yayınlara başvurulmalıdır.
3 - Hafif paslanma veya lekelenme var, hafif karıncalanma var,
4 - Yüzeysel pasla örtülü veya lekeli,
5 - Yüzeysel pasla örtülü ve karıncalanma var,

Tablo-10b Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Kimyasallar Karşısındaki Korozyon Dayanımları

Kimyasal Çözeltinin Türü	Ortam Şartları		Paslanmaz Çelik Türü			
	Konsantrasyon (%)	Sıcaklık (°C)	AISI 410	AISI 430	AISI 304	AISI 316
Hidroklorik Asit	< 0.2	Oda Sıcaklığı			○°	○°
	> 0.2	Oda Sıcaklığı			△°	△°
Nitrik Asit	1 ~ 20 (d=1.12)	Oda Sıcaklığı	⊙	⊙	⊙	⊙
		Kaynama Noktası	○	⊙	⊙	⊙
	40 ~ 60 (d=1.40)	Oda Sıcaklığı	○	○	⊙	⊙
Sülfürik Asit	< 0.5	Kaynama Noktası	△	○	⊙ ^{°1}	⊙ ^{°1}
		Oda Sıcaklığı			⊙	⊙
	30 ~ 60	Kaynama Noktası			△	○
		Oda Sıcaklığı			○	○
95 ~ 100	Kaynama Noktası			△	△	
	Oda Sıcaklığı			⊙	⊙	
	100			△	△	

Tablo-10b Paslanmaz Çeliklerin Çeşitli Kimyasallar Karşısındaki Korozyon Dayanımları (devam)

Kimyasal Çözeltinin Türü	Ortam Şartları		Paslanmaz Çelik Türü			
	Konsantrasyon (%)	Sıcaklık (°C)	AISI 410	AISI 430	AISI 304	AISI 316
Fosforik Asit	10	Oda Sıcaklığı			⊙	⊙
		Kaynama Noktası			○	⊙
	80	Oda Sıcaklığı			○	⊙
		Kaynama Noktası			△	○
Flüorik Asit		Oda Sıcaklığı	△	△	△	△
Borik Asit	Doymuş Çözelti	Kaynama Noktası		⊙°	⊙°	⊙°
Kromik Asit	10	Oda Sıcaklığı			⊙	⊙
		Kaynama Noktası		○	○	⊙
Karbonik Asit Gaz		Oda Sıcaklığı	⊙	⊙	⊙	⊙
Sülfür Asidi Gaz		Oda Sıcaklığı	△	△	⊙ - ○°2	⊙°2
Asetik Asit	0 ~ 100	Oda Sıcaklığı			⊙	⊙
Oksalik Asit	10	Oda Sıcaklığı			⊙	⊙
Sitrik Asit	15	Kaynama Noktası		⊙	⊙	⊙
Tantarik Asit	50	Oda Sıcaklığı	○	○	⊙	⊙
Laktik Asit	5	Oda Sıcaklığı	○	⊙	⊙	⊙
Meyva ve Sebze Suyu		Sıcak			⊙	⊙
Yağ ve Süt		Sıcak			⊙	⊙
Süt		60			⊙	⊙
Sodyum Karbonat	50	Kaynama Noktası			⊙	⊙
Hidrojen Peroksit	30	Oda Sıcaklığı	⊙ - ○°3	⊙ - ○°3	⊙°4	⊙
Potasyum Bikromat	25	Kaynama Noktası			⊙	⊙
Potasyum Permanganat	10	Kaynama Noktası			⊙	⊙
Sodyum Klorit	10	Kaynama Noktası		⊙°	⊙°	⊙°
Amonyum Sülfat	5	Oda Sıcaklığı	⊙	⊙	⊙	⊙
Sodyum Sülfat	5	Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Bakır Nitrat	5	Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Metil Alkol		Oda Sıcaklığı		⊙°4	⊙°4	⊙°4
Etil Alkol		Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Aseton		Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Eter		Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Benzol		Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Benzin		Oda Sıcaklığı	⊙	⊙	⊙	⊙
Bitkisel Yağ		Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Mineral Yağ		Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙
Şeker Şurubu	Konsantre Çözelti	100		⊙	⊙	⊙
Karbon Tetraklorit	Saf	Oda Sıcaklığı		⊙	⊙	⊙

- ⊙ : 0.1 mm/yıl aşınma - yüksek dayanım
○ : 0.1 - 1.0 mm/yıl aşınma - orta dayanım
△ : 1.0 mm/yıl üstünde aşınmanın - düşük dayanım
P : Karıncalanma (Pitting) korozyonu görülebilir

- ° : P
°1 : Yüksek basınç altında △
°2 : Ortamda H₂SO₄ ile birlikte bulunuyorsa önlem alınmalıdır.
°3 : H₂SO₄ ile karıştırılmışsa △
°4 : Yüksek sıcaklıklarda P

BÖLÜM 6.0

PASLANMAZ ÇELİKLER İÇİN KAYNAK AĞIZI TASARIMLARI

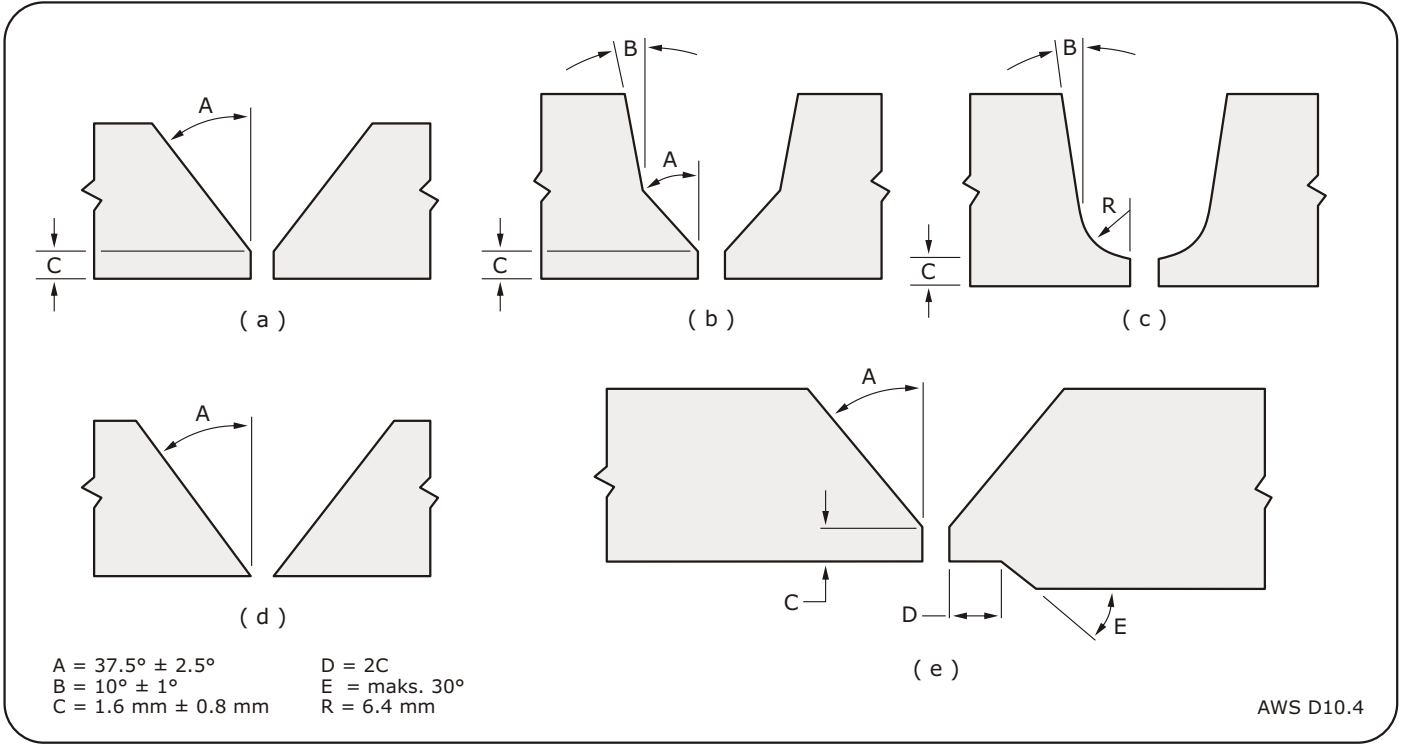
Östenitik paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayısı yüksek olduğu için çarpılma olasılığının kontrol altında tutulmasının gerektiği kaynak ağızı şeklinin tasarımı aşamasında mutlaka gözönüne alınmalıdır. Bağlantıyı oluşturacak kaynak metalinin hacmi gerekli mekanik özellikleri sağlayan en düşük boyutta olmalıdır. Kalın kesitli parçaların kaynağında "V" kaynak ağızına oranla daha düşük hacime sahip olan "U" kaynak ağızının kullanılmasında yarar vardır (**Şekil-14c**). Eğer bağlantı bölgesinin her iki tarafından da kaynak yapma olanağı varsa "Çift Taraflı U" veya "Çift Taraflı V" şeklinde hazırlanan kaynak ağızları kullanılabilir. Bu durum sadece kaynak hacmini azaltmaz, aynı zamanda kaynaktan sonra oluşan çekme gerilmelerinin de dengelenmesine yardımcı olur. Düzgün bir şekilde alın altına getirilen ve özenli bir şekilde hazırlanan kaynak ağızları yüksek kaliteye sahip kaynak dikişlerinin elde edilebilmesi ve aynı zamanda çarpılmaların da en aza indirilmesi açısından çok önemlidir.

Bağlantının yeri ve kaynak sırası, çarpılma en az olacak şekilde tasarlanmalıdır. Birleştirilecek olan parçaların uygun konumda sabit durmasını sağlamak ve kaynak sırasında, parçaların oynama eğilimini önlemek amacıyla kuvvetli tutturma aparatları kullanılabilir. Eğer dışarıdan gaz korumalı ark kaynağı yöntemlerinden herhangi biri kullanılıyorsa, bu aparatlar sayesinde koruyucu soy gazın kaynağın dibinde oluşturduğu etki artar ve kök paso atılırken karşılaşılan oksitlenme riski önlenir.

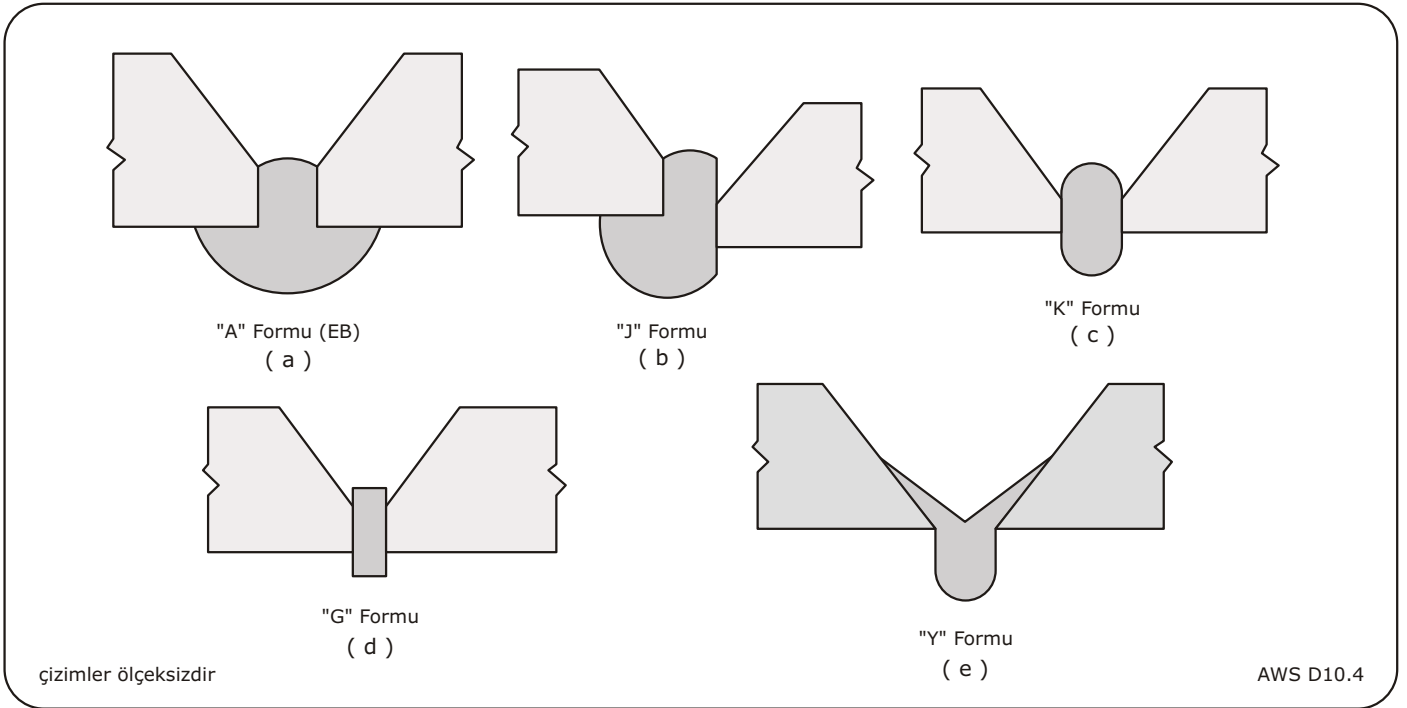
Bu durum özellikle, kaynak metalinin sulandıktan sonra koruyucu gazla birlikte bağlantının kök bölgesinde kolaylıkla akmasına olanak sağlayan halka şekline getirilmiş ilave ara dolgu malzemelerin kullanıldığı ve TIG kaynağı yöntemiyle gerçekleştirilen kaynaklı boru bağlantılarında çok önemlidir.

Boru kaynaklarının özellikle kök paso uygulamalarında TIG kaynak yöntemi ile birlikte kullanılan ve bilinen dolgu metalleri ile aynı kimyasal analize sahip olan halka şeklindeki ilave ara dolgu malzemeleri **Şekil-15**'de belirtilmiştir.

Kaynak bölgesinin yakınında bakır soğutucular kullanılacak ise yüzeylerinin nikel kaplı olmasına özen gösterilmelidir. Bakır eğer ısının etkisi altında kalan bölgenin yüksek sıcaklığa sahip bölümü ile temas ederse eriyebilir ve östenitik paslanmaz çeliğin tane sınırlarına doğru nüfuz ederek burada gevrek bir yapının oluşmasına neden olabilir.



Şekil-14 Östenitik Paslanmaz Çelik Borulardaki Tipik Kaynak Ağızı Tasarımları



Şekil-15 Parça Aralarına Konulan Standart Ürünler (İnsörtler)

BÖLÜM 7.0

DOLGU METALİNİN SEÇİMİ

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan dolgu malzemeleri; örtülü elektrodlar (AWS A5.4), dolu teller ve metal özlü teller (AWS A5.9) ve flaks özlü teller (AWS A5.22) şeklinde üretilirler. AWS'nin "Dolgu Metalleri Karşılaştırma Tabloları" konulu yayınından çeşitli elektrodlar, dolu teller ve özlü tellerle (metal/flaks) ilgili detaylı bilgiler elde edilebilir.

Bu tablolar incelendiğinde, hemen hemen her bir östenitik paslanmaz çelik tipi için uygun bir dolgu malzemesinin kolaylıkla elde edilebileceği görülmektedir. Ancak buna karşın birçok dolgu alaşımı, sadece belirli üreticiler tarafından düşük miktarlarda üretilmekte ve bu nedenle kolayca temin edilememektedir. Örneğin, E219-16 ve E240-16 elektrodları sadece iki Amerikan firması tarafından üretilmektedir. Buna karşın daha sık kullanılan, E308-16, E308L-16, E309-16, E310-16, E316-16, E316L-16 ve E347-16 elektrodları Amerika'da yaklaşık olarak 40 firma, diğer ülkelerde ise 25-30 firma tarafından üretilmektedir.

Elektrodların büyük bir bölümü; bazik karakterli (sadece DC ile kullanılan, -15 grubu, kalsiyum karbonat esaslı örtü), rutil karakterli (AC ve DC ile kullanılan, -16 grubu, titanyum dioksit esaslı örtü) ya da asit karakterli (özellikle oluk ve yatay pozisyonda AC ve DC ile kullanılan, -17 grubu) bir örtüye sahiptir ve standart ya da düşük karbonlu olarak üretilmektedir.

Örtülü elektrod olarak üretilen birçok alaşım; dolu tel, metal özlü tel ya da flaks özlü tel olarak da üretilmekte, birkaç tanesinin ise sadece örtülü elektrodları bulunmaktadır. Bunlar E310H, E310Nb, E310Mo ve E330H'dır. Daha önce de belirtildiği gibi, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan dolgu metallerinin özellikleri ana metalinki ile aynı ya da ondan daha üstün olmalıdır. Eğer ana metal ile bire bir aynı özelliğe sahip dolgu metali bulunamıyorsa, daha yüksek alaşımlı bir dolgu metali kullanılabilir.

Ana metal ile tamamen aynı özelliğe sahip olmayan kaynaklı bağlantılarda kullanılan farklı tipte östenitik paslanmaz çelik elektrodlar vardır. 201, 202, 205, 216, 301, 302, 304 ve 305 bu ana malzemelerin en tipik örnekleridir. Bu malzemelerin kaynağı için önerilen dolgu malzemelerinin içerdikleri Cr ve Ni miktarları ana metalin Cr ve Ni içeriğinden daha yüksek seviyede olmalıdır. Örneğin, 308 türü dolgu malzemeleri 301, 302, 304 ve 305 türü metallerin kaynağında kullanılabilir. Bunun yanında; eğer 209, 219 ve 240 türü dolgu malzemelerinin temin edilmesinde sorun yaşıyorsa, 201, 202, 205 ve 216 türü metallerin kaynağında da yine 308 türü dolgu malzemeleri kullanılabilir. Östenitik, ferritik ve martenzitik tipteki paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodlar, dolu teller, metal özlü teller ve flaks özlü teller **Tablo-11, 12 ve 13**'de sırayla listelenmiştir. 316L gibi modifiye edilmiş ana metaller, E316L, ER316L veya E316LT-X gibi aynı modifikasyona sahip dolgu malzemeleri ile kaynak edilmelidir.

Çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan ve 17-4PH yapısında olan E630 türü örtülü elektrodlar ve ER630 türü çıplak teller dışında kalan diğer dolgu malzemeleri, AWS tarafından hazırlanan dolgu metalleri ile ilgili karşılaştırma tablolarında ya da herhangi bir şartnamede yer almamaktadır. Çökeltme yoluyla sertleşebilen bazı paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodlar ve dolu teller **Tablo-14'**de listelenmiştir. Bu tabloda ayrıca, ana metal ile birebir aynı özellikte olmayan standart yapıdaki ve nikel esaslı dolgu malzemeleri de bulunmaktadır.

Eğer uygulamada yüksek dayanım ve korozyon direnci isteniyorsa, ana metal ile aynı ya da çok benzer kimyasal analize sahip bir dolgu metallerinin kullanılması gerekmektedir. Mümkünse, martenzitik ve yarı östenitik esaslı alaşımlarda, kaynak dikişine çözeltiliye alma ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmalıdır. Eğer bu mümkün olmuyorsa, kaynaktan önce parçalara çözeltiliye alma tavı uygulanmalı, kaynaktan sonra ise yaşlandırma ısıl işlemi yapılmalıdır.

Çökeltme yoluyla sertleşebilen östenitik tipteki paslanmaz çeliklere, çatlama problemlerine neden olacağı için kaynak işleminden sonra ısıl işlem uygulanmamalıdır. Dolayısıyla, bu alaşımlar zor kaynak edilebilir, hatta bazıları kaynak edilemeyen alaşımlar olarak da kabul edilir. Bu alaşımların kaynağında, özellikle yüksek dayanıma sahip kaynak metali gerektirmeyen durumlarda, nikel esaslı ve konvansiyonel tipteki östenitik dolgu metalleri kullanılabilir. Çünkü, düşük dayanıma sahip dolgular soğuma sırasında kolay genişler ve ana metalin ısıdan etkilenen ve çatlama karşı hassasiyeti yüksek olan bölgesinde oluşan gerilmelerin olumsuz etkisini en aza indirir. Nikel esaslı ve konvansiyonel tipteki östenitik dolgu malzemeleri, çökeltme yoluyla sertleşebilen diğer paslanmaz çelikler üzerinde gerçekleştirilen ve yüksek dayanım şartı aranmayan kaynaklı bağlantılarda da kullanılabilir.

17-4PH, AM350 ve AM355 gibi martenzitik ve yarı-östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında örtülü elektrodlar kullanılabilir. Çünkü bu tür dolgu metalleri, koruma altındaki metal arkında yanarak yok olabilen titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içermez. Bu yöntemle her türlü pozisyonda kaynak yapılabilir. Elektrodlar kuru olmalı ve daha önce de belirtildiği gibi, diğer paslanmaz çelik ve düşük hidrojenli elektrodlarınkine benzer şartlarda depolanmalı ve taşınmalıdır.

Konvansiyonel paslanmaz çeliklerin kaynağı için sağlanan kaynak şartları, çökeltme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin birleştirilmesi uygulamaları için de genellikle uygundur. Oksidasyonu, krom kaybını ve azot girişini en aza indirmek için ark mesafesinin kısa tutulmasında yarar vardır.

AMS 5827B (17-4PH) türü kaynak elektrodları 17-7PH türü paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilir ve eğer yığılan kaynak metali ana metal ile yüksek oranda karışabilirlik özelliği gösterebiliyorsa, uygulanacak olan ısıl işlemde iyi bir sonuç elde edilebilir.

Tablo-11 Östenitik Paslanmaz Çelik Dolgu Metalleri

Paslanmaz Çelik Ana Metal		Önerilen Dolgu Metali		
Hadde	Döküm	Örtülü Elektrodlar	Dolu Teller Metal Özlü Teller	Flaks Özlü Teller
201		E209, E219, E308	ER209, ER219, ER308	E308T-X
202		E209, E219, E308	ER209, ER219, ER308	E308T-X
205		E240	ER240	
216		E209	ER209	E316T-X
301		E308	ER308	E308T-X
302	CF-20	E308	ER308	E308T-X
304	CF-8	E308, E309	ER308, ER309	E308T-X, E309T-X
304H		E308H	ER308H	
304L	CF-3	E308L, E347	ER308L, ER347	E308LT-X, E347T-X
304LN		E308L, E347	ER308L, ER347	E308LT-X, E347T-X
304N		E308, E309	ER308, ER309	E308T-X, E309T-X
304HN		E308H	ER308H	
305		E308, E309	ER308, ER309	E308T-X, E309T-X
308		E308, E309	ER308, ER309	E308T-X, E309T-X
308L		E308L, E347	ER308L, ER347	E308LT-X, E347T-X
309	CH-20	E309, E310	ER309, ER310	E309T-X, ER310T-X
309S	CH-10	E309L, E309Nb	ER309L	E309LT-X, E309NbLT-X
309SNb		E309Nb		E309NbLT-X
309NbTa		E309Nb		E309NbLT-X
310	CK-20	E310	ER310	E310T-X
310S		E310Nb, E310	ER310	E310T-X
312	CE-30	E312	ER312	E312T-3
314		E310	ER310	E310T-X
316	CF-8M	E316, E308Mo	ER316, ER308Mo	E316T-X, E308MoT-X
316H	CF-12M	E316H, E16-8-2	ER316H, ER16-8-2	E316T-X, E308MoT-X
316L	CF-3M	E316L, E308MoL	ER316L, ER308MoL	E316LT-X, E308MoLT-X
316LN		E316L	ER316L	E316LT-X
316N		E316	ER316	E316T-X
317	CG-8M	E317, E317L	ER317	E317LT-X
317L		E317L, E316L	ER317L	E317LT-X
321		E308L, E347	ER321	E308LT-X, E347T-X
321H		E347	ER321	E347T-X
329		E312	ER312	E312T-3
330	HT	E330	ER330	
330HC		E330H	ER330	
332		E330	ER330	
347	CF-8C	E347, E308L	ER347	E347T-X, E308LT-X
347H		E347	ER347	E347T-X
348		E347	ER347	E347T-X
348H		E347	ER347	E347T-X
Nitronic 33		E240	ER240	
Nitronic 40		E219	ER219	
Nitronic 50		E209	ER209	
Nitronic 60			ER218	

(AWS - Dolgu Metallerine Ait Karakteristikler : A5.4, A5.9, A5.22)

Tablo-12 Ferritik Paslanmaz Çelik Dolgu Metalleri

Paslanmaz Çelik Ana Metal		Önerilen Dolgu Metali		
Hadde	Döküm	Örtülü Elektrodlar	Dolu Teller Metal Özlü Teller	Flaks Özlü Teller
405		E410NiMo, E430	ER410NiMo, ER430	E410NiMoTX-X
409			ER409, AM363, EC409	E409TX-X
429			ER409Nb	
430	CB-30	E430	ER430	E430TX-X
430F		E430	ER430	E430TX-X
430FSe		E430	ER430	E430TX-X
434			ER434	
442		E442, E446	ER442	
444		E316L	ER316L	
446	CC-50	E446	ER446	
26-1			ER26-1	

(AWS - Dolgu Metallerine Ait Karakteristikler : A5.4, A5.9, A5.22)

Tablo-13 Martenzitik ve Çift Fazlı Paslanmaz Çelik Dolgu Metalleri

Paslanmaz Çelik Ana Metal		Önerilen Dolgu Metali		
Hadde	Döküm	Örtülü Elektrodlar	Dolu Teller Metal Özlü Teller	Flaks Özlü Teller
403		E410	ER410	E410TX-X
410	CA-15	E410, E410NiMo	ER410, ER410NiMo	E410TX-X, E410NiMoTX-X
410S		E410NiMo	ER410NiMo	E410NiMoTX-X
414		E410	ER410	E410TX-X
416		E410	ER312, ER410	
416Se			ER312	
416PlusX			ER312	
420	CA-90	E410, E430	ER420, ER410	E410TX-X
420F			ER312	
431	CB-30	E410, E430	ER410	E410TX-X
440A		*		
440B		*		
440C		*		
	CA-6NM	E410NiMo	ER410NiMo	E410NiMoTX-X
	CA-15	E430	ER430	E430TX-X
2205		E2209	ER2209	
2304		E2209	ER2209	
255		E2553	ER2553	

*) Kaynak Edilmesi Önerilmez

(AWS - Dolgu Metallerine Ait Karakteristikler : A5.4, A5.9, A5.22)

Tablo-14 Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelik Dolgu Metalleri

Paslanmaz Çelik Ana Metal		Önerilen Dolgu Metali		
Gösterimi	UNS Numarası	Örtülü Elektrodlar	Çubuk Kaynak Telleri	Farklı Yapıdaki Çökeltme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
Martenzitik Paslanmaz Çelikler				
17-4PH ve 15-5PH	S17400 S15500	AMS 5827B, E630 (17-4PH) veya E308	AMS 5826 (17-4PH) veya ER308	E veya ER309 E veya ER309Nb
Stainless W	S17600	E308 veya ENiMo-3 ^a	AMS 5805C (A-286) veya ERNiMo-3 ^b	E veya ERNiMo-3 E veya ER309
Yarı-Östenitik Paslanmaz Çelikler				
17-7PH	S17700	AMS 5827B (17-4 PH), E308 veya E309	AMS 5824A (17-7 PH)	E veya ER310 ENiCrFe-2 veya ERNiCr-3
PH 15-7Mo	S15700	E308 veya E309	AMS 5812C (PH 15-7Mo)	E veya ER309, E veya ER310
AM350	S35000	AMS 5774A (AM350)	AMS 5774B (AM350)	E veya ER308, E veya ER309
AM355	S35500	AMS 5781A (AM355)	AMS 5780A (AM355)	E veya ER308, E veya ER309
Östenitik Paslanmaz Çelikler				
A-286	K66286	E309 veya E310	ERNiCrFe-6 veya ERNiMo-3	E veya ER309 E veya ER310

(a = AWS A5.11-90, Nikel ve Nikel Alaşımli Örtülü Elektrodla Ait Karakteristikler)

(b = AWS A5.14-89, Nikel ve Nikel Alaşımli Kaynak Tellerine Ait Karakteristikler)

Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrodlar

Çelik Cinsi	Kaynak Bağlantısının Durumu (a)	Elektrod (b)	Çelik Cinsi	Kaynak Bağlantısının Durumu (a)	Elektrod (b)
Östenitik Çelikler			Martenzitik Çelikler		
301, 302, 304 305, 308 (c)	1 veya 2	308	403, 410, 416 416 Se (k)	2 veya 3	410
302 B (d)	1	309	403, 410 (m)	1	308, 309, 310
304 L	1 veya 4	347, 308 L	416, 416 Se (m)	1	308, 309, 312
303, 303 Se (e)	1 veya 2	312	420 (n)	2 veya 3	420
309, 309 S	1	309	431 (n)	2 veya 3	410
310, 310 S	1	310	431 (p)	1	308, 309, 310
316 (f)	1 veya 2	316	Ferritik Çelikler		
316 L (f)	1 veya 4	318, 316 L			
317 (f)	1 veya 2	317	405 (q)	2	405 Cb, 430
317 L (f)	1 veya 4	317 Cb	405, 430 (m)	1	308, 309, 310
318, 316 Cb (f)	1 veya 5	318	430 F, 430 FSe (m)	1	308, 309, 312
321 (g)	1 veya 5	347	430, 430 F, 430 FSe (r)	2	430
347 (h)	1 veya 5	347	446	2	446
348 (j)	1 veya 5	347	446 (s)	1	308, 309, 310

- 1 kaynaklı halde, 2 tavllanmış, 3 sertleştirilmiş ve gerilme giderilmiş, 4 gerilme giderilmiş, 5 stabilize edilmiş ve gerilme giderilmiş.
- Baştaki E harfi tabloda kullanılmamıştır.
- 308 tipi kaynak metali 18-8 ve 19-9 olarak da adlandırılır. Gerekli kaynak metali analizi ; maks. % 0.08 C, min. % 19 Cr ve min. % 9 Ni'dir.
- 310 tipi (maks. % 1.5 Si) dolgu metali olarak kullanılabilir. Ancak esas metalden silisyum geçişi dikte sıcak çatlamaya neden olur.
- Talaş kaldırılabılır. Esas metal kaynak metalinde sıcak çatlama olasılığını artırır. 312 tipi dolgu metali sıcak çatlamayı önlemek için çok miktarda ferrit içeren kaynak metali oluşturur.
- 316, 316L, 317 ve 317Cb elektrodlarıyla yapılan kaynak dikişleri, kaynaklı halde, düşük korozyon direncine sahiptir. Bu durumda korozyon direnci şu ısıl işlemlerle iyileştirilir. 316 ve 317 esas metaller için 1065°C ile 1120°C arasında tavlama, 317L ve 316L esas metaller için 870°C'de gerilme giderme, 318 esas metal için 870°C ile 900°C arasında stabilizasyon ısıl işlemi. Kaynak sonrası ısıl işlem mümkün değilse gerekli korozyon direncini sağlamak için diğer elektrodlar kullanılmalıdır.
- 321 tipi örtülü elektrodlar düzenli olarak üretilmemektedir.
- ITAB'daki çatlama tehlikesi nedeniyle kalın kesitlerin kaynağında dikkatli olunmalıdır.
- Nükleer uygulamalarda esas metalde ve kaynak metalindeki tantal maks. % 0.1 ve kobalt maks. % 0.2 ile sınırlandırılmıştır.
- Tavlama hem kaynak metalinde hem de ITAB'da yumuşama ve süneklilik sağlar.
- Östenitik kaynak metali kaynaklı halde yumuşak ve sünektir. Ancak ITAB'ın sınırlı bir sünekliliği vardır.
- Çatlama kaçınmak için dikkatli öntavlama ve sontavlama ısıl işlemleri gerekir.
- Dikkatli öntavlama gerekir. Kaynak sonrası ısıl işlem yapılmayacaksa ITAB'ın sertleşmiş olduğu gözönünde bulundurulmalıdır.
- Tavlama kaynak metalinin ve ITAB'ın sünekliliğini artırır. 405 tip kaynak metali sertleşmeyi azaltmak için alüminyum (Al) yerine Niobyum (Nb) içerir.
- Tavlama, kaynak bağlantısının sünekliliğini arttırmak için yapılır.
- 308 tipi dolgu metali esas metalinkine eşit ölçüde bir tufallaşma direnci göstermez. Esas metalin ve kaynak metalinin ısıl genleşme katsayıları arasındaki farka dikkat edilmelidir.

BÖLÜM 8.0

KAYNAK YÖNTEMİNİN SEÇİMİ

Kullanılacak dolgu metalinin türüne karar verirken bazı faktörlerin gözönüne alınmasında yarar vardır. Bunların başında; ihtiyaç duyulan dolgu metalinin şekli, varolan kaynak donanımı, kaynak işleminin boyutu ve kaynak edilen parçaların sayısı gelmektedir.

8.1 ÖRTÜLÜ ELEKTROD ARK KAYNAĞI

Örtülü elektrodlar, paslanmaz çelik yapısında olup, geniş bir ürün yelpazesine sahiptir. Bu ürünler 1.25 mm'den başlayıp çeşitli kalınlıklara kadar yükselen parçaların kaynağında kullanılabilir. Gözenek oluşmaması ve kaynak dikişinde cüruf kalma riskinin önlenmesi için her pasodan sonra bir sonraki pasoya geçmeden önce yüzeydeki cüruf tabakası iyice temizlenmelidir. Örtülü elektrod kaynağında kullanılan kaynak donanımları düşük maliyetlidir, ancak bunun yanında metal yığıma hızlarının da diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında çok düşük olduğu unutulmamalıdır.

Kaynak işleminin eğer örtülü elektrod ile gerçekleştirilmesine karar verilmişse, bir diğer önemli karar da elektrod örtüsünün türü konusunda alınmalıdır. Belirli bir elektrod tipi için bazik (-15), rutil (-16) ve asit (-17) karakterli örtüler bulunurken, bunlar arasındaki seçim temel olarak uygulanacak olan kaynak pozisyonuna göre yapılır. Bazik örtülü elektrodlar sadece DC kaynak akımında kullanılır. Bu grupta yeralan elektrodlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir.

1. Dikey kaynak, tavan kaynağı ve boru kaynağı gibi bütün pozisyonlardaki uygulamalar. Oluşan ince cüruf tabakası iyi bir ıslanma sağlamak ve kenar yanığı oluşumu riskini önlemek için yeterli hızla sahip bir yayılma gösterir.
2. Kalın plakalardaki kök paso uygulamaları. Bütün oluk kesiti boyunca uzanan hafif dışbükey kaynak dikişi çatlak oluşumunun önlenmesine yardımcı eder.

Rutil örtülü elektrodlar AC ya da DC kaynak akımında kullanılabilir. Ancak mümkünse DC kaynak akımının tercih edilmesinde yarar vardır. Bu grupta yeralan elektrodlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir:

1. Büyük bir bölümü yatay pozisyonda gerçekleştirilecek olan bütün uygulamalar.
2. Bazik örtülü elektrodların bulunmadığı durumlarda, aşağıdan yukarıya ve tavan pozisyonundaki kaynak uygulamaları.

Asit örtülü elektrodlar AC ya da DC kaynak akımında kullanılabilir. Ancak daha çok DC kaynak akımı tercih edilir. Bu grupta yeralan elektrodlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda önerilmektedir:

1. Minimum temizlik yapılması istenen durumlarda gerçekleştirilen düz ve yatay pozisyonundaki kaynak uygulamaları.

Örtülü elektrodlar düşük hidrojenli elektrodlarınkine benzer şekilde işlem görmeli ve saklanmalıdır. Bu

elektrodlar nemli ortamlarda bırakılmamalı ve sızdırmaz ambalajları açıldıktan sonra ya tamamen kullanılmalı ya da eğer depolanacaksa 90-150°C sıcaklıktaki taşıyıcı fırınlarda saklanmalıdır. Eğer elektrodlar nemli bir ortamda bırakılmışsa, üretici firmanın önerileri doğrultusunda kurutulmalıdır. Kurutma sıcaklığı genellikle 260-320°C arasındadır ancak bu işlem 430°C gibi yüksek sıcaklıklarda da gerçekleştirilebilir. Özel durumlarda ise üretici firmanın önerilerinin dikkate alınmasında yarar vardır.

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodla ve çıplak ve özlü kaynak tellerine ait ölçüler ve ürün tipleri **Tablo-15**'de verilmiştir.

8.2 GAZALTI (MIG) KAYNAĞI (GMAW - Gaz Metal Ark Kaynağı)

Eğer kaynaklı üretim, kalın malzemelerden veya çok sayıda parçadan oluşan uzun bağlantılar içeriyorsa, dolu ya da metal özlü tellerle gerçekleştirilen MIG kaynağı yöntemi en uygun seçim olacaktır.

Dolu veya metal özlü teller MIG kaynak yönteminde yüksek metal yığıma hızları sağlamalarına karşın tel

sürme donanımları, güç kaynakları ve bir soygaz koruması ihtiyacını da beraberinde getirdiği için ek maliyet artışlarına neden olacaktır. Ancak bunun yanında, pasolar arasında cüruf temizleme zorunluluğu bulunmamaktadır. Dolu ve metal özlü teller; geniş bir aralıkta metal yığıma hızı ve ısı girdisi sağlayan kısa devre, küresel ve sprej ark türleri ile birlikte kullanılabilir. Bu sayede dolu ve metal özlü kaynak telleri çok çeşitli kalınlıklara sahip parçaların kaynağında kullanılabilir.

Sprej ark metal transferi ile gerçekleştirilen MIG kaynağı yöntemi, 6.5 mm'den kalın parçaların birleştirilmesinde kullanılır. Çünkü elde edilen metal yığıma hızı diğer metal transferlerine oranla daha yüksektir. Kaynak yöntemleri, konvansiyonel ve çökme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerinkine benzer özelliktedir.

Koruyucu gaz olarak, ark stabilizasyonu sağlamak amacıyla % 1-2 oranında oksijen içeren argon kullanılmaktadır. Daha yüksek ark ısı istenilen durumlarda ise argon ve helyum karışım gazı kullanılabilir. Düşük oranda oksijen ilavesi ark stabilizasyonunu yükseltir, ancak oluşabilecek oksidasyon nedeniyle kaynak arkı içerisinde gerçekleşen metal transferi sırasında, bazı

Tablo-15 Paslanmaz Çelik Elektrodla Ait Standart Ölçüler

Ürünün Ticari Şekli	Çap (mm)	Çap (inç)
Tel		
Kollu ya da Kolsuz Büyük Kangala Sarılı Teller	1.2 ; 1.6 ; 2.0 ; 2.4 ; 2.8 3.2 ; 4.0 ; 4.8 ; 6.4	0.045 ; 1/16 ; 5/64 ; 3/32 ; 7/64 1/8 ; 5/32 ; 3/16 ; 1/4
K300 Tipi Standart Makaraya Sarılı Teller	0.8 ; 0.9 ; 1.2 ; 1.6 2.0 ; 2.4 ; 2.8	0.030 ; 0.035 ; 0.045 ; 1/16 5/64 ; 3/32 ; 7/64
D40, D65, D100 Tipi Makaraya Sarılı Düşük Ağırlıktaki Teller	0.5 ; 0.6 ; 0.8 0.9 ; 1.2	0.020 ; 0.025 ; 0.030 0.035 ; 0.045
Örtülü Elektrod		
Boy : 230 mm	1.6 ; 2.0 ; 2.4	1/16 ; 5/64 ; 3/32
Boy : 305 mm	2.4	3/32
Boy : 350 mm	3.2 ; 4.0 ; 4.8 ; 6.4	1/8 ; 5/32 ; 3/16 ; 1/4

çökme yoluyla sertleşebilen türdeki dolgu malzemelerinde bulunan alüminyum ve titanyum alaşım elementleri kayıba uğrayabilir. Bu olay sonucunda ise, kaynak metalinin ısı işleme karşı gösterdiği davranışlarda azalma olabilir.

Düz pozisyonda gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında, genellikle sprey ark ile metal transferi tercih edilmektedir. Diğer kaynak pozisyonlarında ise yoğun olarak; helyum ile zenginleştirilmiş % 90 Helyum + % 7.5 Argon + % 2.5 Karbondioksit karışım gazı koruması ile kısa devreli metal transferi ya da düşük miktarda oksijen ya da karbondioksit ilave edilen Argon veya Argon + Helyum karışım gazı koruması ile palslı sprey ark metal transferi kullanılmaktadır.

8.3 ÖZLÜ TEL ARK KAYNAĞI

Flaks özlü teller temel olarak, dolu tellerle ve metal özlü tellerle aynı tel sürme donanımlarını ve güç ünitelerini kullanırlar. Bu gruptaki teller; gaz koruması gerektiren (AWS Sınıfı EXXXTX-1 veya EXXXTX-4) ya da gaz koruması gerektirmeyen (AWS Sınıfı EXXXTO-3) teller olarak iki türde üretilmektedirler. "-1" ifadesi CO₂ gazı korumasını, "-4" ifadesi ise % 75 Ar + % 25 CO₂ karışım gazı korumasını ifade eder. MIG kaynağı yönteminde karbondioksit gazı koruması önerilmemesine karşın, flaks özlü tellerle gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında dikiş yüzeyinde oluşan cürufun kaynak metalini karbon birikmesine karşı koruması nedeniyle bu gaz sık olarak kullanılmaktadır. EXXXTO-3'ün gaz koruması ile birlikte kullanılması yapıda yüksek oranda ferrit oluşmasına, EXXXTX-1 veya EXXXTX-4'ün koruyucu gazla birlikte kullanılmaması ise yapıda çok düşük oranda ferrit oluşmasına, hatta hiç ferrit oluşmamasına ve gözenek oluşumu riski ile karşılaşılmasına neden olur. Dolu teller, metal özlü teller ve flaks özlü teller sahip oldukları sürekli yapıları sayesinde, örtülü elektrod kaynağındakinin aksine, elektrod değiştirmek için sık sık ara vermeden kaynak yapmaya olanak sağlarlar.

8.4 TIG KAYNAĞI (GTAW-Gaz Tungsten Ark Kaynağı)

Elle ve otomatik olarak gerçekleştirilen TIG kaynağı yöntemleri, kalınlığı 6.5 mm'ye kadar olan konvansiyonel ve çökme yoluyla sertleşebilen türdeki paslanmaz çeliklerin birleştirme kaynağı uygulamalarında yoğun olarak kullanılır.

Genel olarak, düşen gerilim/akım (volt-amper) karakteristiğine sahip güç ünitelerinin kullanılması, doğru akım (DC) ve elektrodun negatif (-) kutuba bağlanması tercih edilir. Bunun yanında, alüminyum içeren ve çökme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kaynağında, ark temizleme etkisinden dolayı bazen alternatif kaynak akımı da (AC) kullanılmaktadır.

8.5 TOZALTI KAYNAĞI

Tozaltı kaynağı yöntemi genellikle 12 mm'den daha kalın olan ve çoğunluğunu östenitik tipteki paslanmaz çeliklerin oluşturduğu malzemelerin kaynağında tercih edilir. Bu yöntem, kaynak metali içerisinde ferrit bulunma ihtimalinin olmadığı 310 ya da 330 kalite gibi östenitik tip paslanmaz çeliklerin kaynağında görülen sıcak çatlama probleminden kaçınmanın en iyi yoludur.

Kaynak işlemi genellikle doğru akımda ve elektrod pozitif (+) kutuba bağlanarak gerçekleştirilir. Orta derecede nüfuziyet ve iyi bir ark kararlılığı sağlamak için alternatif akım da kullanılabilir.

Dolgu metalinin kimyasal analizi, kullanılan kaynak telinin analizine bağlı olduğu için, toza katılan her bir alaşım elementi, krom oksidasyonu ve oluşan oksidin cürufa karışması, toz seçimi ve kaynak şartları çok özenli bir şekilde kontrol edilmelidir. Kaynak gerilimi, kaynak akımı ve kaynak hızındaki dalgalanmalar ise; eriyen toz miktarı, kaynak dolgusunun analizi ve ferrit içeriği üzerinde etkili olmaktadır.

Ferrit numarasının 4'den az olması gereken durumlar hariç, östenitik paslanmaz çeliklerin çoğunun kaynağında ER308, ER309 ve ER316 gibi konvansiyonel tipteki östenitik paslanmaz çelik kaynak telleri konvansiyonel paslanmaz çelik kaynak tozları ile birlikte kullanılabilir.

Martenzitik ve çökelme yoluyla sertleşebilen paslanmaz çeliklerin kaynağında ana metal ile aynı dayanıma sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesi gerekiyorsa, özel kaynak yöntemlerinin ve özel kaynak tozlarının, kaynak sonrası ısı işlemlere cevap verecek bir kaynak dolgusunun elde edilmesine olanak sağlayan doğru dolgu metalleri ile birlikte kullanılması gerekmektedir. Eğer özel kaynak tozları kullanılmıyorsa, kaynak metali büyük olasılıkla ısı işleme cevap vermeyecektir. Bu durum özellikle; metal ve cüruf arasında oluşan reaksiyonlar nedeniyle alüminyum kayıplarının meydana geldiği alüminyum içerikli tel elektrodlarla gerçekleştirilen uygulamalarda büyük önem taşımaktadır.

Tozaltı tozları ve kaynak prosedürleri ile ilgili öneriler için paslanmaz çelik toz üreticilerine danışılmasında yarar vardır.

BÖLÜM 9.0**PASLANMAZ ÇELİKLER
İÇİN KAYNAK
YÖNTEMLERİ**

Kaynak ağzı ile ilgili bağlantı tasarımına karar verdikten ve kaynak yöntemini ve uygun dolgu malzemesini seçtikten sonra sıra kaynak prosedürünün belirlenmesine gelir. Bütün yöntemlerde bağlantının gerçekleştirileceği yüzeylerin ve kullanılacak olan dolgu malzemesinin temiz olması, oksit veya herhangi bir kir tabakasından iyice arındırılmış olması gerekmektedir. Özellikle alevle kesme yöntemlerinden biri kullanılarak hazırlanan kaynak yüzeyleri, oluşan oksit tabakasının giderilmesi için mutlaka temizlenmelidir. Kaynak ağzının hazırlanması sırasında pürüzlü kesilmiş kenarların kir barındırmamasına özen gösterilmelidir.

Paslanmaz çeliklerin ark kaynağında çarpılma riskinin en aza indirilmesi ve ısıdan etkilenen bölgedeki hassasiyetinin azaltılması için ısı girdisinin en düşük seviyede tutulması zorunludur. Bu durum özellikle standart ya da stabilize edilmemiş östenitik tip paslanmaz çelikler için çok önemlidir.

**9.1
ÖRTÜLÜ ELEKTROD İLE
ARK KAYNAĞI YÖNTEMİ**

Bütün paslanmaz çelik elektrod örtülerinin nem alması önlenmelidir. Bu elektrodlar genellikle sızdırmazlığı sağlanmış kapalı kutularda birkaç ay boyunca bozulmadan depolanabilir. Buna karşın, kutu açıl-

dıktan sonra elektrod örtüsü nem almaya başlar ve ortamdaki hava şartlarına bağlı olarak, dört saat açıkta kaldıktan sonra yeniden kurutma işlemi uygulanmasına gerek duyulabilir. Aksi durumda özellikle ark başlangıcında gözenek oluşumu ile karşılaşılır.

Genellikle 260-316°C'da 1 saat süre ile gerçekleştirilen yeniden kurutma işlemi elektrodların orijinal özelliklerini kazanmasına yardımcı olur. Bunun yanında elektrodların kullanılana kadarki süre içerisinde 150°C sıcaklığa sahip fırınlarda saklanmasında büyük yarar vardır. Malzemeler ve yöntemler arasındaki farklılıklar nedeniyle özellikle yoğun miktarda elektrod kullanımının sözkonusu olduğu durumlarda üretici firmalara danışılmalıdır.

DC elektrodlar (EXXX-15) sadece DC akımda kullanılır, nüfuziyetleri oldukça iyidir ve dik profilli hafif dışbükeydir. Bu elektrodlar özellikle aşağıda belirtilen durumlarda tercih edilir :

- Dik kaynak ve tavan kaynağı, boru kaynağı gibi bütün uygulama pozisyonları. Cüruf hızlı katılaşma özelliğine sahiptir.
- Kalın kesitli parçalardaki kök paso uygulamaları. Bütün oluk kesiti boyunca uzanan hafif dışbükey kaynak dikisi çatlama riskinin önlenmesine olanak sağlar.
- Hiç ferrit içermeyen tamamen östenitik tip paslanmaz çeliklerin kaynağı.

AC-DC elektrodlar (EXXX-16 ve EXXX-17) DC güç ünitelerinin bulunduğu durumlarda sürekli DC akım ile kullanılır. Elde edilen köşe kaynağının profili düzden (EXXX-16) hafif dışbükeye (EXXX-17) doğru değişir. Bunun yanında kaynak yüzeyi sadece DC akımda kullanılan EXXX-15 türü elektrodlarınkine göre daha düzgündür ve nüfuziyet daha azdır. Yoğun cüruf oluşumu durumunda kaynak metalinin içine cüruf karışmamasına çok dikkat edilmelidir. Bu elektrodlar özellikle yatay köşe kaynağında ve diğer bütün düz kaynak pozisyonlarında kullanılırlar. EXXX-16 türü elektrodlar kalifiye kaynakçılar tarafından bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. EXXX-17 türü elektrodlar da bütün pozisyonlarda kullanılabilir. Ancak aşağıdan yukarıya doğru gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında EXXX-16 türü elektrodlara göre daha geniş salınımlar gerektirirler.

Temizlik : Yüksek kalitede kaynak bağlantılarının elde edilebilmesi için bağlantı bölgelerinin temiz ve kuru olması gerekir. Elektrikli aletlerle fırçalama, yağdan arındırma, pas giderme, taşlama ve yüzeysel silme gibi temizleme işlemlerinden hangisinin uygulanacağı kirliliğin miktarına ve türüne bağlıdır. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir :

- Nem, ısıtma yoluyla ya da kuru hava üflenerek alınmalıdır (hava akımında nem bulunmamasına dikkat edilmelidir). Yüksek nem içeren ortamlarda bağlantı bölgesinde bir gecede bile nem toplanabilmektedir.
- Boya, çapak yapışmasını önleyen madde artıkları, yağlı kalem izleri, kesme sıvıları, koruyucu kağıtlardan kalan yapışkanlar ve sızıntı testinde kullanılan sabun artıkları gibi organik artıklar ortamdan uzaklaştırılmalıdır.
- Alev ya da talaş kaldırma yoluyla gerçekleştirilen kesme uygulamalarında kenarlarda biriken kir ve oksit artıkları temizlenmelidir.
- Daha önce galvanizli çelikler üzerinde kullanılmış olan fırçalar ve takımlardan kaynaklanan çinko kirliliği giderilmelidir. Çinko kirlenmesi çatlama neden olacağı için sadece paslanmaz çelikler için üretilen paslanmaz çelik tel fırçalar kullanılmalıdır.

- Paslanmaz çelik malzemeyi sabitlemek ve konumlandırmak için kullanılan bakır aparatların sürtünmesi sonucu yüzeyde oluşan bakır kirlenmesi çatlamalara neden olacağı için mutlaka önlem alınmalıdır.

Kaynak Teknikleri : Paslanmaz çelik elektrodlarla gerçekleştirilen kaynak uygulamaları düşük hidrojenli yumuşak çelik yapısındaki elektrodlarınkine benzer tekniklerin kullanılmasını gerektirir. Kısa ark mesafesi ile çalışılmalı ancak örtünün kaynak banyosuna değmesi önlenmelidir. Bazı demirtozlu elektrodlar ise oluk ve yatay pozisyonda gerçekleştirilen uygulamalarda ana metale sürtünerek kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Islatma kabiliyeti yüksek damlaların oluşturduğu düz kaynak dikişleri sayesinde özellikle derin kaynak ağızlarında cürufun kolay kalkması sağlanır. Krater çatlaklarını önlemek için ark kesilmeden önce bütün kraterler duldurulmalıdır. Bir sonraki elektroda geçmeden önce dikiş sonunda bulunan cüruf iyice temizlenmeli, ikinci paso uygulamalarına ise alttaki dikişin yüzeyi tamamen temizlendikten sonra başlanmalıdır. Derin oluklu alın kaynağı uygulamalarında, kök paso atılırken her iki plakayı da yeterli miktarda eritecek ve aradaki açıklığı kapatmaya yetecek bir nüfuziyet gerçekleştirilmelidir. Aşırı nüfuziyetin ise çatlak oluşumuna neden olacağı unutulmamalıdır.

Dik ve tavan pozisyonlarında 4 mm'den kalın çaplı elektrodlar kesinlikle kullanılmamalıdır. DC elektrodlar (EXXX-15) tercih edilse de AC-DC elektrodlar (EXXX-16) aşağıdan yukarıya pozisyonlarındaki uygulamalarda DC akım ile kullanılabilir. Kalın plakaların aşağıdan yukarıya kaynağında, üçgen ve ters-V salınım teknikleri uygulanabilir. İnce plakaların yukarıdan aşağıya kaynağında ise dar dikişler ile çalışılmasında yarar vardır.

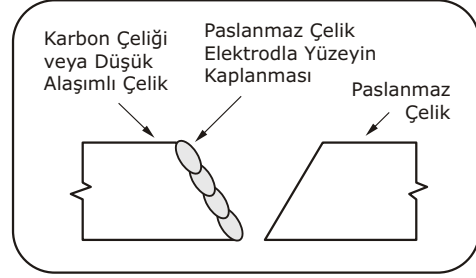
Aşağıdan yukarıya pozisyonlarda, EXXX-17 türü AC-DC kaynak elektrodlarının kullanımı EXXX-16 türü elektrodlarınkine göre daha zordur. Bu durumda daha geniş salınımlarla çalışılması gerekmektedir.

Uygun kaynak tekniklerinin kullanılması, çarpılmaların önlenmesi açısından çok önemlidir. Yeterli nüfuziyeti sağlayan en düşük kaynak akımı ile çalışılması iş parçasına olan ısı girişini azaltacaktır (**Tablo-16**). Düşük kaynak hızlarında ince kaynak dikişleri ile çalışılırken yüksek hızlarda kalın dikişler kullanılabilir. Eğer elektroda salınım verilmesi gerekiyorsa salınım genişliğinin elektrod çapının 2.5 katı ile sınırlı tutulması uygun olacaktır.

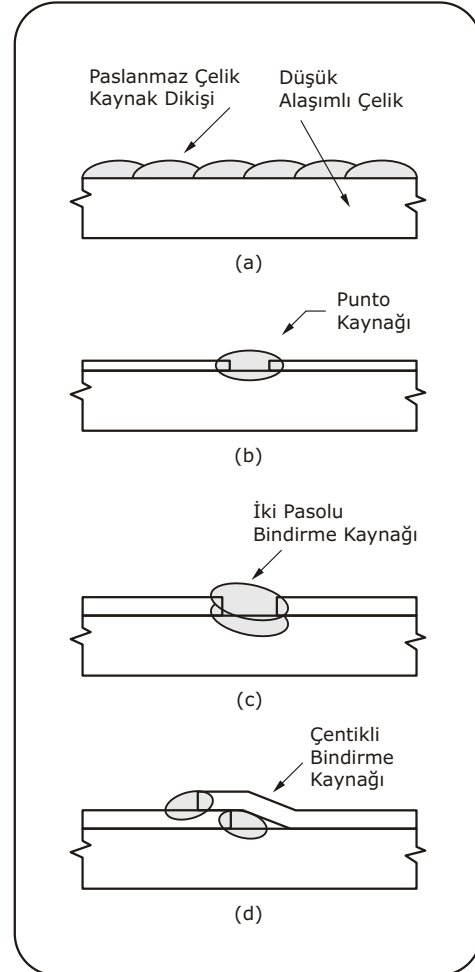
Çarpılmaların önlenmesi için alınan diğer önlemler aşağıda yer almaktadır :

- Parçaları uygun konumda tutabilmek için sağlam ve hareket etmeyen sabitleme elemanları kullanılmalıdır.
- Kaynağın alt kısmında altlıklar, yanlarında ise soğutma çubukları kullanılmalıdır. Östenitik tip paslanmaz çeliklerin hızlı soğutulması zararlı değil yararlıdır. Soğutma çubuğu malzemesi olarak eğer bakır kullanılıyorsa, ısıdan etkilenen bölge sıcaklığının bakırın erime sıcaklığını aştığı durumlarda bakırın paslanmaz çelik ana malzemenin tane sınırlarına doğru nüfuz etmemesine dikkat edilmelidir. Bu olasılığı önlemek için bakır altlığın nikel plaka ile kaplanması yararlı olacaktır.
- Yumuşak çeliklerde olduğu gibi, atlamalı kaynak ya da ters adımlı kaynak yöntemleri kullanılarak uygulama için en uygun olan kaynak sırası önceden belirlenmelidir.

Paslanmaz Çeliklerin Diğer Çeliklerle Olan Birleştirme Uygulamaları : Bazı durumlarda, yumuşak çelikler üzerinde paslanmaz çelik kaynak metalleri kullanılır. Alaşimsız çelikten imal edilen tank ve depoların paslanmaz çelikte kaplanması en sık karşılaşılan örneklerdir. Bu gibi durumlarda, yumuşak çeliğin paslanmaz çelik kaynak dolgusunda meydana getireceği karışımın istenmeyen bir alaşım oluşmasını engellemek amacıyla, yüksek alaşimli paslanmaz çelik elektrodlar kullanılmalıdır.



Şekil-16 Yumuşak Çeliğin Paslanmaz Çeliğe Birleştirilmesinde Kullanılan Yüzey Kaplama (Sivama) Yöntemi



Şekil-17 Yumuşak Çelik Yüzeyinin Paslanmaz Çelik Tabaka ile Kaplanmasında Uygulanan Yöntemler

Tablo-16 Paslanmaz Çelik Elektrolara Ait Kaynak Akımı Aralıkları (DC - Doğru Kutuplama)

Elektrod Çapı (mm)	Önerilen Kaynak Akımı (Amp)		
	E3XX-15 Türü Elektrodlar	E3XX-16 Türü Elektrodlar	E3XX-17 Türü Elektrodlar
2.4	30 - 70	30 - 65	40 - 80
3.2	45 - 95	55 - 95	80 - 115
4.0	75 - 130	80 - 135	100 - 150
4.8	95 - 165	120 - 185	130 - 200
6.4	150 - 225	200 - 275	Üreticiye Danışın
	Düz kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 10 düşüğüdür. Aşağıdan yukarıya kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 20 düşüğüdür. Yukarıdan aşağıya kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerler ile aynıdır.	Düz kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 10 düşüğüdür. AC kaynak akımı aralığı, yukarıdaki değerlerin yaklaşık % 10 fazlasıdır.	Düz kaynak pozisyonu için optimum akım, tablodaki maksimum değerlerin % 10 düşüğüdür.

Kaynak Pozisyonu : Düz	1.3 - 3.6 mm			60°						
	Ağız Aralığı			Kök Yüksekliği						
Kaynak Kabiliyeti : İyi	Bakır Altlık			4.8 - 12.7 mm						
Parça Kalınlığı (mm)	1.3	2.0	3.6	4.8	6.4	9.5	12.7			
Paso Sayısı	1	1	1	1	1	2	1	2 - 3	1	2 - 5
Elektrod Sınıfı	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16	E3XX-16
Elektrod Çapı (mm)	2.0	2.4	3.2	4.0	4.0	4.8	4.0	4.8	4.0	4.8
Akım (amp) DC (+)	40 *	60	85	125	125	160	125	160	125	160
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.9-6.8	4.9-5.3	3.6-4.0	2.8-3.1	2.4-2.7	3.2-3.6	2.4-2.7	2.4-2.7	2.4-2.7	2.4-2.7
Tüketim (kg/m)	0.030	0.057	0.119	0.223	0.506	0.968	1.579			
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0436	0.0548	0.0728	0.0938	0.1913	0.3281	0.5479			
Ağız Aralığı (mm)	0	0.8	0.8	1.6	2.4	2.4	2.4			
Kök Yüksekliği (mm)	0	0	0	1.6	1.6	1.6	1.6			
*) DC (-) kullanın. Not : Kaynak akımı % 10 yükseltilecek AC kullanılabilir. E3XX-15 türü elektrodlar kaynak akımı % 10 azaltılarak kullanılabilir.										

Şekil-18 Kalınlığı 1.3 ile 12.7 mm Arasında Değişen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrod Kullanılarak Düz Pozisyondaki Alın Birleştirme Kaynağı İçin Çözüm Önerileri

Kaynak Pozisyonu : Dik ve Tavan					
Parça Kalınlığı (mm)	2.0 *	3.6	4.8	6.4	
Paso Sayısı	1	1	1	1	2
Elektrod Sınıfı	E3XX-15	E3XX-15	E3XX-15	E3XX-15	
Elektrod Çapı (mm)	2.4	3.2	4.0	4.0	
Akım (amp) DC (+)	50	75	110	110	
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.9-6.8	2.8-3.1	2.2-2.5	2.2-2.5	1.8-2.0
Tüketim (kg/m)	0.045	0.136	0.238	0.551	
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0436	0.0938	0.1194	0.2651	
Ağız Aralığı (mm)	0	0	1.6	2.4	
Kök Yüksekliği (mm)	0	0	1.6	1.6	

*) Dik yukarıdan aşağıya, diğerleri dik aşağıdan yukarıya

Şekil-19 Kalınlığı 2.0 ile 6.4 mm Arasında Değişen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrod Kullanılarak Dik ve Tavan Pozisyonundaki Alın Birleştirme Kaynağı İçin Çözüm Önerileri

Kaynak Pozisyonu : Düz veya Yatay *						
						Kaynak Kabiliyeti : İyi
Kaynak Boyutu (mm)	2.4	3.2	4.8	6.4	7.9	
Parça Kalınlığı (mm)	2.0	3.6	4.8	6.4	9.5	
Paso Sayısı	1	1	1	1	1	2
Elektrod Sınıfı	E3XX-16, E3XX-17	E3XX-16, E3XX-17	E3XX-16, E3XX-17	E3XX-16, E3XX-17	E3XX-16, E3XX-17	
Elektrod Çapı (mm)	2.4	3.2	4.0	4.8	4.8	
Akım (amp) DC (+)	60	85	120	160	170	
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.3-5.7	5.3-5.7	3.6-4.0	2.6-2.9	2.6-2.9	2.8-3.1
Tüketim (kg/m)	0.054	0.083	0.178	0.328	0.640	
Kaynak Süresi (saat/m)	0.051	0.051	0.073	0.101	0.195	

*) Dik ve tavan pozisyonlarında, alın altına gerçekleştirilen dik ve tavan pozisyonlarında uygulanan prosedürün aynısını kullanın.
Not : Kaynak akımı % 10 yükseltilebilir AC kullanılabilir. E3XX-15 türü elektrodlar kaynak akımı % 10 azaltılarak kullanılabilir.

Şekil-20 Kalınlığı 2.0 ile 9.5 mm Arasında Değişen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrod Kullanılarak Düz ve Yatay Pozisyonundaki Köşe Birleştirme Kaynağı İçin Çözüm Önerileri

Kaynak Pozisyonu : Yatay					
	Bakır Altlık, sadece 2.0 ve 3.6 mm kalınlık için				
Kaynak Kabiliyeti : İyi					
Parça Kalınlığı (mm)	2.0	3.6	4.8	6.4	9.5
Paso Sayısı	1	1	1	1	1 2
Elektrod Sınıfı	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	E3XX-16, EXX-17
Elektrod Çapı (mm)	2.4	3.2	4.0	4.8	4.8
Akım (amp) DC (+)	60	90	125	170	175
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.3-5.7	5.3-5.7	3.6-4.0	2.6-2.9	2.6-2.9 2.8-3.1
Tüketim (kg/m)	0.054	0.083	0.194	0.357	0.685
Kaynak Süresi (saat/m)	0.051	0.051	0.073	0.101	0.195
*) Köşe kaynağı yöntemi için belirtilen notlar burada da kullanılabilir.					

Şekil-21 Kalınlığı 2.0 ile 9.5 mm Arasında Değişen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrod Kullanılarak Yatay Pozisyondaki Köşe Birleştirme Kaynağı İçin Çözüm Önerileri

Kaynak Pozisyonu : Düz					
	Bakır Altlık				
Kaynak Kabiliyeti : İyi					
Parça Kalınlığı (mm)	2.0	3.6	4.8	6.4	9.5
Paso Sayısı	1	1	1	1	1 2
Elektrod Sınıfı	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	EXX-16, EXX-17	E3XX-16, EXX-17
Elektrod Çapı (mm)	2.4	3.2	4.0	4.8	4.8
Akım (amp) DC (+)	60	85	125	160	160 175
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.9-6.8	5.3-5.7	4.4-4.9	2.6-2.9	2.6-2.9 2.4-2.7
Tüketim (kg/m)	0.042	0.083	0.140	0.330	0.670
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0436	0.0505	0.0597	0.1010	0.2100
T (mm)	1.0	0.8	1.2	1.6	0
*) Dik ve tavan pozisyonlarında, alın altına gerçekleştirilen dik ve tavan pozisyonlarında uygulanan prosedürün aynısını kullanın.					

Şekil-22 Kalınlığı 2.0 ile 9.5 mm Arasında Değişen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Örtülü Elektrod Kullanılarak Düz Pozisyondaki Dış Köşe (Corner) Birleştirme Kaynağı İçin Çözüm Önerileri

Paslanmaz çeliklerin yumuşak çeliklerle birleştirildiği durumlarda, yumuşak çeliğin bağlantı yüzeyi çoğu zaman paslanmaz çelik elektrodla sıvanır (buttering). Bu teknik, **Şekil-16**'da gösterildiği gibi, yumuşak çelik yüzeyinde paslanmaz bir tabaka oluşturulmasını ve daha sonra bağlantının yine paslanmaz çelik elektrodla bitirilmesini içerir. Bu sıvama işlemi sırasında en sık kullanılan ürünler E309 türü elektrodlardır. Bu teknik ayrıca, kaynağı zor ya da ön tav işlemi uygulanamayan yüksek karbonlu çeliklerin kaynağında da kullanılır.

Östenitik mangan çeliklerinin karbon ya da mangan çelikleri ile birleştirilmesinde E308 türü elektrodlar kullanılır. Buna karşın, kepeçlerin kazıyıcı dişleri gibi belirli periyotlarla değiştirilen bağlantılarda, paslanmaz çelik kaynak metalinin, kesme şalimosu ile kolay kesilememesi nedeni ile manganlı elektrodların kullanılması önerilir.

Yumuşak çelik yüzeyinin paslanmaz çelik ile kaplanmasında kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Küçük alanlarda, bindirme kaynağı ile gerçekleştirilen kaynak dikişlerinden yararlanır (**Şekil-17a**). Daha geniş yüzeylerin kaplanmasında ise, paslanmaz çelik saclar (**Şekil-17b**) veya **Şekil-17c** ve **Şekil-17d**'de gösterildiği gibi paslanmaz çelik plakalar yumuşak çelik üzerine punto kaynağı ile tutturulur.

Güç Üniteleri : Düşük çevrimli ve transformatör tipi AC kaynak makinalarının açık devre voltajı bazı EXXX-16 ve serisi elektrodların kullanılması için yeterli güce sahip değildir. Buna karşın, çelik elektrodlarla kullanılan aynı güç kaynakları paslanmaz çelik elektrodlar için uygun olabilmektedir. Kalınlığı 1.3 mm'den 12.7 mm'ye kadar değişen paslanmaz çelik parçaların kaynağına ait parametreler ve prosedürler **Şekil-18, 19, 20, 21 ve 22**'de verilmiştir. Burada yeralan şekiller; alın, T, bindirme ve 90° açılı köşe bağlantılarında kullanılan bağlantı tasarımlarını ve kaynak altlıkları ile ilgili bilgileri içermektedir.

9.2

GAZALTI KAYNAĞI YÖNTEMİ

Paslanmaz çelikler; sprey ark, kısa devreli ark veya darbeli (palslı) ark ile metal transferlerinden herhangi birinin kullanıldığı gazaltı kaynağı yöntemi ile de kaynak edilebilir.

Kalınlığı 1.6 mm'ye kadar olan paslanmaz çelik malzemelerin kaynağında bakır altlık kullanılmasında yarar vardır. Bu altlıklar, kalınlığı 6 mm ve üstünde olan plakaların tek taraftan gerçekleştirilen kaynak işlemlerinde de kullanılır.

Kaynak banyosunun katılaşması sırasında, kaynak bölgesinin hava ile temas etmesine ve havanın kaynağın içerisine doğru girmesine kesinlikle izin verilmemelidir.

Erimiş metalin oksijen tarafından kirletilmesi, soğuma sırasında paslanmaz çeliğin korozyon dayanımında ve tokluğunda azalmaya neden olabilir. Bu olumsuz durumu önlemek için kaynağın alt tarafının örneğin Argon gibi bir soygaz yardımı ile korunması gerekmektedir. Gaz koruması sabitlemenin yapıldığı bölgenin genelinde de oluşturulabilir.

Kaynak sırasında 2.4 mm çapındaki teller kullanılabilir de, özellikle yüksek akım değerleri ile çalışılan durumlarda sprey ark ile metal transferi elde edebilmek için 1.6 mm'den daha ince çaplı teller tercih edilir. 1.6 mm çapındaki teller için, koruyucu gaz ve kullanılan paslanmaz çelik tel cinsine bağlı olarak 300-350 amper kaynak akımı önerilir. Oluşan sıçrama miktarı; koruyucu gazın debisi, tel besleme hızı ve kaynak makinasının karakteristiği ile yakından ilgilidir.

Paslanmaz çeliklerin gazaltı kaynağında genellikle DC akım ve pozitif (+) kutuplama kullanılır ve gaz korumasının % 1-2 Oksijen içeren Argon + Oksijen karışım gazı ile yapılması önerilir.

200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin sprey ark metal transferi ile gazaltı kaynağına ait öneriler **Şekil-23**'de verilmiştir.

Kare kesitli küt alın kaynağında kaynak metalinin alttan akmasını önlemek için bir altlık kullanılmalıdır. Eğer parçalar tam olarak alın altına getirilememişse ya da bakır altlık kullanılmıyorsa, ilk pasoda sprey ark ile metal transferi yönteminin uygulanması ile alttan akma problemi azaltılabilir.

Yarı otomatik kaynak torcu ile kaynak yaparken torca kaynak yönünün tersi doğrultusunda eğim verilmesi yararlı olur. Bu yöntemde kaynakçının eli kaynak dikişinin yaydığı ısıdan daha fazla etkilenecek ancak buna karşın kaynak bölgesinin daha iyi ve net bir şekilde görülmesi ve kontrol edilmesi sağlanacaktır.

Kalınlığı 6 mm ve üstündeki parçaların kaynağında, kaynak torcu bağlantı doğrultusunda ileri ve geri hareket ettirilebilirken aynı anda her iki yana da hafif bir şekilde salınım verilebilir. Buna karşın daha ince parçalarda sadece ileri ve geri hareket kullanılır. İnce malzemelerde çok daha ekonomik olan kısa devreli ark ile metal transferi özellikle yatay ve tavan pozisyonlarında gerçekleştirilen kök ve birinci paso uygulamalarında kullanılmalıdır. Bazı kaynakçıların kaynak banyosunu kontrol etmek için derin bir kısa sprey ark metal transferi kullanmasına karşın bu yöntemde kaynak dikişinde yoğun gözenekler oluşabilmektedir.

Kısa devreli ark ile metal transferi ile gerçekleştirilen paslanmaz çelik kaynağında değişen voltajlı ve endüktans kontrollü güç üniteleri kullanılmalıdır. Özellikle düzgün akışkanlığa sahip bir kaynak banyosunun elde edilmesinde endüktans önemli bir rol oynamaktadır.

Paslanmaz çeliklerin kısa devreli ark ile metal transferi uygulanarak gerçekleştirilen kaynağında genellikle % 90 Helyum + % 7.5 Argon ve % 2.5 Karbondioksit içeren bir gaz karışımının kullanılması önerilir. Bu gaz

karışımı, ana metalin korozyon dayanımını olumsuz yönde etkilemeyecek kadar düşük seviyede karbondioksit içerirken, kaynak dikişi sınırlarının çok düzgün olmasına da olanak sağlar. Bu tür bir gaz karışımı kullanılırken yüksek endüktanslı güç üniteleri ile çalışılması yararlı olacaktır.

Tek pasolu kaynak uygulamaları, Argon + Oksijen ve Argon + Karbondioksit karışım gazları kullanılarak da yapılabilir. Buna karşılık ark voltajı, kararlı yapıya sahip bir kısa devreli ark ile metal transferinin elde edilebilmesi için Helyum esaslı gazlarınkine oranla 6 volt kadar daha düşük olabilir. Isı enerjisi daha düşük bir ark ile çalışılması erime hatalarının ortadan kalkmasına yardımcı olur. Koruyucu gazdaki karbondioksit, kısa devreli metal transferi ile gerçekleştirilen çok pasolu kaynakların korozyon dayanımını, neden olduğu karbon birikmesi nedeniyle olumsuz yönde etkileyecektir.

Serbest tel uzunluğu olabildiğince kısa tutulmalıdır. İç köşe kaynağı uygulamalarında kaynak torcuna kaynak yönü doğrultusunda eğim verilmesi ile rahat bir çalışma sağlanır ve daha düzgün kaynak dikişlerinin elde edilmesi mümkün olur. Buna karşın alın kaynağı uygulamalarında torca kaynak yönünün tersi doğrultusunda eğim verilir. Dış köşe kaynağında ise kaynak torcu düz konumda tutulmalıdır.

Torçla birlikte kaynak bağlantısının ekseni doğrultusunda ileri ve geri hafif hareketler yapılabilir. Paslanmaz çeliklerin kısa devreli ark ile metal transferi kullanılarak gerçekleştirilen gazaltı kaynağı uygulamalarına ait kaynak prosedürleri **Şekil-24**'de belirtilmiştir.

Paslanmaz çeliklerin % 90 Helyum + % 7.5 Argon ve % 2.5 Karbondioksit karışım gazı koruması ve kısa devreli ark ile metal transferi kullanılarak gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında, kaynak malzemesi ile ana metal arasında iyi bir bağlantı oluşur ve dikişin korozyon dayanımı yüksek olur.

Koruyucu Gaz : Argon + % 1 Oksijen	3.2 mm	60°	60°	9.5 - 12.7 mm	1.6 mm
Gaz Debisi : 16.5 lt/dak.					
Parça Kalınlığı (mm)	3.2	6.4	9.5	12.7	
Paso Sayısı	1	2	2	4	
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	2.4	
Akım (amp) DC (+)	225	275	300	325	
Tel Sürme Hızı (mm/sn)	60	74	85	95	
Kaynak Hızı (mm/sn)	8.0-8.9	8.0-8.9	6.3-7.2	6.3-7.2	
Tüketim (kg/m)	0.112	0.282	0.405	0.737	
Kaynak Süresi (saat/m)	0.033	0.066	0.082	0.164	

Şekil-23 200 ve 300 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynağı Yöntemi ve Sprey Ark Metal Transferi İle Alın Birleştirme Kaynağı İçin Çözüm Önerileri

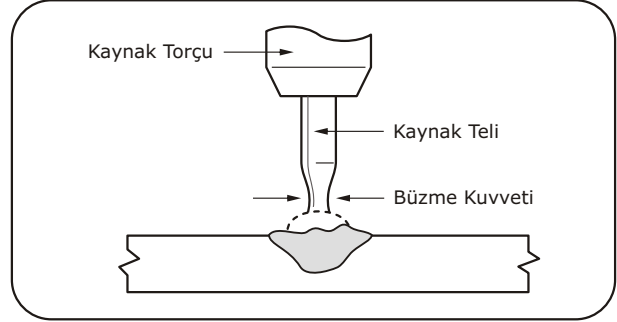
Koruyucu Gaz : Helyum + % 7.5 Argon + % 2.5 Karbondioksit	1.6 - 3.2 mm	1.6 - 3.2 mm	1.6 - 2.0 mm	1.6	2.0 *	
Gaz Debisi : 7.1 - 9.4 lt/dak.						
Tel Çapı : 0.8 mm						
Parça Kalınlığı (mm)	1.6	2.0	2.4	3.2	1.6	2.0 *
Elektrod Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Akım (amp) DC (+)	85	90	105	125	85	90
Kaynak Gerilimi (V) *	21-22	21-22	21-22	21-22	21-22	21-22
Tel Sürme Hızı (mm/sn)	78	81	98	119	78	81
Kaynak Hızı (mm/sn)	7.2-8.0	5.5-6.3	5.9-6.8	5.9-6.8	8.0-8.9	4.9-5.3
Tüketim (kg/m)	0.037	0.051	0.058	0.069	0.034	0.058
Kaynak Süresi (saat/m)	0.0364	0.0469	0.0436	0.0436	0.0328	0.0548

Şekil-24 200 ve 300 Kalite Paslanmaz Çeliklerin Gazaltı Kaynağı Yöntemi ve Kısa Devre Metal Transferi İle Alın ve Bindirme Kaynağı Bağlantıları İçin Çözüm Önerileri

Kalınlığı 1.5 mm ile 3.0 mm arasında değişen 304, 310, 316, 321, 347, 410 ve benzeri kalitedeki paslanmaz çelikler; alın, bindirme ve tek taraflı köşe kaynağı bağlantılarından herhangi birisi ile sorunsuz olarak kaynak edilebilir.

Darbeli (palslı) ark yöntemi, normal kullanımda, bir çeşit sprej ark ile metal transferi yöntemidir. Bu yöntemde, kaynak akımının her bir yüksek akım darbesinde erimiş metale ait küçük bir damla arkın ortasından geçerek transfer edilir. Yüksek akım darbesi, erimiş bir metal damlasının oluşmasına ve bu damlanın büzme kuvveti etkisiyle (**Şekil-25**) telin ucundan kaynak banyosuna doğru yönelmesine yetecek güce ve zamana sahip olmalıdır. Kaynak periyodunun düşük akım değerine sahip bölümünde ark devam etmektedir ve tel ısınmıştır. Ancak üretilen bu ısı herhangi bir metal transferinin sağlanmasına yetecek seviyede değildir. Bu nedenle düşük akım değerinde kalma süresi kısaltılmalıdır. Aksi durumda, küresel şekile sahip bir metal transferi gerçekleşecektir.

Bu yöntemde genellikle 0.9 mm ve 1.2 mm çapındaki teller kullanılır. Darbeli ark kaynağında, sprej ark kaynağında da kullanılan Argon + % 1 Oksijen koruyucu gazı sık olarak tercih edilmektedir. Bu ve diğer çaplardaki teller, darbeli akımda sprej ark ile metal transferi kullanılması durumunda, sürekli kaynak akımındaki orana daha düşük akım değerleri ile yüklenerek kaynak edilebilirler. Bunun avantajı; ince parçaların, kısa devreli ark ile metal transferine oranla daha az sıçrama ile düzgün görüntülü kaynak dikişi veren sprej ark ile metal transferi uygulanarak kaynak edilmesine olanak sağlamasıdır. Darbeli akım kullanımının bir diğer avantajı, belirli bir akım değerinde, özellikle kalın çaplı elektrodların kullanıldığı uygulamalarda, sprej ark ile metal transferinin sürekli akımdakine oranla daha kolay elde edilebilmesidir. Kalın çaplı elektrodlar, ince çaplı elektrodlara göre daha düşük maliyetlidir ve yığıldıkları dolgu metaline ait yüzey alanının dolgu hacmine oranla düşük olması sayesinde kaynak metalinin kirlenme olasılığı iyice azalmaktadır.



Şekil-25 Büzme Kuvveti Ektisi (Pinch Effect)

Gazaltı kaynağında kullanılan tellerin çapları genellikle 0.8 ile 2.4 mm arasında değişir. Her bir tel çapı için sprej ark ile metal transferinin oluşabilmesi için aşılması gereken belirli bir minimum akım değeri vardır. Örneğin paslanmaz çelikler eğer Argon + Oksijen karışım gazı koruması altında 1.2 mm çapındaki paslanmaz çelik kaynak telleri kullanılarak kaynak ediliyorsa, sprej ark ile metal transferinin gerçekleşebilmesi için yaklaşık olarak 220 amper akım uygulanmalı, doğru akım ve pozitif kutuplama tercih edilmelidir. Ark gerilimi için de minimum bir değer sağlanması gerekmektedir. Bu değer genellikle 24 ile 30 volt arasında değişir.

Kaynak tellerinin sarıldığı makaraların ağırlıkları 1 kg ile 25 kg, dolgu malzemelerinin kalınlıkları ise 0.4 mm ile 3.2 mm arasında değişir. Çok ince kalınlıktaki dolgu malzemeleri özellikle plaka halindeki paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan şerit şeklindeki ürünlerden oluşmaktadır. Bunun yanında, alışılmış değerlerden daha yüksek oranda silisyum içeren östenitik tip dolgu malzemeleri de üretilmektedir. Silisyum içeriği yüksek olan bu dolgu malzemelerinin sprej ark metal transferi yöntemi ile birlikte kullanılması durumunda son derece iyi bir ıslatma özelliği sağlanır.

Düşük oranda ferrit içeren ya da hiç ferrit içermeyen bazı paslanmaz çelik kaynak metalleri (örneğin 347 kalite dolgu malzemeleri) kaynak sırasında sıcak kırılabilirliğe ve çatlama eğilimine neden olurlar. Bu tür malzemeler kaynak edilirken prosedürlerde belirtilenden daha fazla sayıda paso uygulanması gerekebilir.

Bağlantının her iki kenarına doğru gerçekleştirilen salınımlı ve osilasyonlu kaynak teknikleri yerine ince ve düz kaynak teknikleri ile çalışılmasında yarar vardır. Düz kaynak tekniğinde, çekme gerilmelerinin düşük olması ve sıcak kırılmalık ısı aralığındaki soğumanın daha hızlı olarak gerçekleşmesi nedeni ile sıcak çatlak oluşumu riski azalmaktadır. Bunun yanında, normalden daha fazla derecede dışbükey olan kaynak dikişlerinin oluşturulduğu yöntemlerin kullanılması da son derece yararlıdır.

Kısa devreli ark ile metal transferi yöntemi ana metal ile düşük oranda seyrelmeye neden olduğu için kaynak metalinde sıcak çatlak oluşumu riski de iyice azalmaktadır. Seyrelmenin fazla olması durumunda ise çatlama hassasiyeti yüksek olan ve tamamen östenitik yapıya sahip bir kaynak metali oluşabilir.

Ferritik ve mantenzitik tipteki manyetik paslanmaz çelikler östenitik tipteki manyetik olmayan paslanmaz çeliklerle birleştirilirken aşağıdaki konulara dikkat edilmelidir.

- Kaynak işleminin tek taraftan gerçekleştirileceği bir kaynak ağızı tasarlanmalı ve kaynak dikişinden beklenen en düşük dayanım amaçlanmalıdır.
- Manyetik olan paslanmaz çeliği manyetik olmayan paslanmaz çeliğe kaynak ederken ark üflemesi riskini en aza indirmek için düşük ısı girdili kısa devreli ark ile metal transferi yönteminden yararlanılmalıdır.
- Bağlantının her iki tarafında da homojen bir erimenin gerçekleşebilmesi için, kaynak teli bağlantı bölgesindeki kaynak ağızı eğiminin sona erdiği seviyeden daha yukarıdaki bir konumda merkezlenmelidir.

200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin sprey ark uygulanarak gerçekleştirilen gazaltı kaynağında kullanılan kaynak parametreleri ve prosedürleri **Şekil-23**'de verilmiştir. **Şekil-24**'de ise 200 ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin kısa devreli ark uygulanarak gerçekleştirilen gazaltı kaynağına ait parametreler ve prosedürler yer almaktadır.

9.3 TIG KAYNAĞI YÖNTEMİ

Kaynak edilebilen bütün paslanmaz çeliklere TIG kaynağı yöntemi uygulanabilir.

Bu yöntemde kullanılan elektrod uçları AWS A5.12'de belirtildiği gibi; toryum, seryum ve lantan ile alaşımlandırılan tungstenden imal edilmiştir. Bu elektrodların en büyük avantajı, saf tungsten elektrodlara göre daha kararlı bir arka sahip olmaları ve daha yüksek kaynak akımları ile kullanılabilmesidir.

Koruyucu gaz genellikle argon olup, özellikle kalın parçaların kaynağında Helyum ya da Helyum + Argon karışım gazları da kullanılabilir. Argon gazının en büyük avantajı akış hızının düşük olması ve buna bağlı olarak helyuma göre daha stabil bir ark oluşması ve ark voltajının daha düşük seviyede tutulmasıdır. Düşük voltaj kullanımı, ince sacların bağlantı bölgesinde yanık oluşmadan kaynak edilebilmesi açısından çok önemlidir.

TIG kaynağı için geliştirilen dolgu malzemeleri, otomatik kaynak uygulamalarında kullanılacaksa kangala sarılan, eğer elle beslenerek kullanılacaksa doğrultularak çubuk haline getirilen dolu tellerden üretilir. Bu ürünler AWS A5.9'da tanımlanmış olup MIG ve tozaltı kaynağı yöntemlerinde de kullanılabilir. AWS A5.30'da belirtilen insört şekline getirilmiş dolgu malzemeleri, özellikle TIG kaynağı ile gerçekleştirilen kök paso uygulamalarında kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

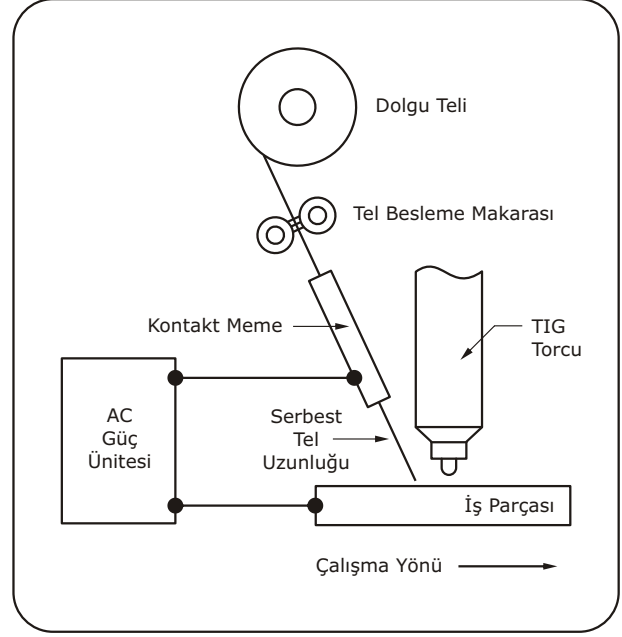
TIG kaynağında kullanılan DC güç üniteleri sabit akım özelliğine sahip olmalı ve kaynak devresi yüksek frekanslı voltaj ile donatılmış olmalıdır. Yüksek frekans sadece arkın tutuşturulması aşamasında gereklidir. Elektrod iş parçasına yaklaştırıldığında, yüksek frekans tungsten elektrod ile iş parçası arasındaki boşluktan atlayarak kaynak arkını oluşturur. Arkın bu şekilde elde edilmesi sırasında tungsten elektrod iş parçasına değmeyeceği için paslanmaz

çeliğin tungsten tarafından kirlenmesi olasılığı büyük ölçüde azalır. Derin nüfuziyetli dikişlerin elde edilmesi için kaynak işleminin düz kutuplama ile, DC (-), yapılması gerekmektedir.

Bir miktar tungsten kirliliğine neden olmasına rağmen, elektrodun yüksek frekans kullanılmadan iş parçasına sürtülmesi ile de ark oluşturulabilir. Ancak karbon kirlenmesine neden olabileceği için tungsten elektrod karbon bloklar üzerine kesinlikle sürtülmemelidir.

Paslanmaz çeliklerin kaynağında otomatik TIG kaynağı yöntemi de kullanılabilir. Ark voltajı ark uzunluğu ile orantılıdır. Üretilen bir sinyal sayesinde ark voltajı kontrol ünitesi otomatik olarak devreye girer. Bağlantılarda ek dolgu malzemeleri kullanılabileceği gibi, özellikle ince sacların birleştirilmesinde sadece bağlantıyı oluşturan kenarların eritilmesi ile de kaynak yapılabilir. "Soğuk" dolgu metalleri kullanılıyorsa, tel besleme işlemi her zaman kaynak banyosunun önünden yapılmalıdır.

"Sıcak" tel ile gerçekleştirilen TIG kaynağı yöntemi, özellikle metal yığıma hızında ve kaynak hızında önemli artışların elde edilmesine olanak sağlar. Bu yöntemde, kontakt memenin içinden geçen tel özel bir güç ünitesi tarafından ısıtılır ve kontakt memenin uç kısmından çıkarak iş parçasına doğru ilerler (Şekil-26). Bir direnç tarafından ön ısıtma uygulandığı için, kaynak banyosuna değmeden önce, tel erime noktasına kadar ısınmış olur. Böylece tungsten elektrod daha çok



Şekil - 26 Paslanmaz Çeliklerin Otomatik TIG Kaynağında Kullanılan "Sıcak" Tel Yönteminin Şematik Gösterimi

ana metali eritmek için ısı üretir ve dolgu telinin erimesi için gereken direnç enerjisinin büyük bir bölümü AC güç ünitesi tarafından sağlanır. "Sıcak" tel yöntemi, tozaltı kaynağı ve kendinden korumalı metal özlü tel kaynağında kullanılan uzun serbest tel mesafesi ile çalışma prensibinin TIG kaynağındaki değişik bir uyarlamasıdır. "Sıcak" telle gerçekleştirilen TIG kaynağında kullanılan dolgu telleri genellikle 1.2 mm çapındadır. Dolgu teli önceden eritildiği ya da özel bir güç ünitesi tarafından erime noktasına yakın bir

Tablo-17 "Sıcak-Tel" İle TIG Kaynağına Ait Kaynak Hızı ve Metal Yığıma Hızı Değerleri

Tel Çapı : 1.2 mm Koruyucu Gaz : % 75 He + % 25 Ar Elektrod : 4.0 - 4.8 mm (% 2 Toryum Alaşımı)				
Kaynak Akımı (Amper)	Kaynak Gerilimi (Volt)	Kaynak Hızı	Tel Sürme Hızı	Metal Yığıma Hızı
		(mm/sn)	(mm/sn)	(kg/saat)
300	10 - 12	1.7 - 4.2	46 - 157	1.4 - 4.5
400	11 - 13	2.5 - 5.9	78 - 188	2.3 - 5.4
500	12 - 15	3.4 - 8.5	125 - 282	3.6 - 8.2

sıcaklığa kadar ısıtıldığı için gerçekleşen metal yığıma hızı kaynak arkından bağımsız olarak kontrol edilebilmektedir.

DC (-) ve 400-500 amper kaynak akımı uygulanarak gerçekleştirilen bir "Sıcak" tel ile TIG kaynağı yönteminde 8.2 kg/saat'lık bir metal yığıma hızına

ulaşılabilir (**Tablo-17**). Otomatik salınlı kaynak tekniklerinin kullanılması ile daha yüksek dolgu hızlarının elde edilmesi mümkündür. Yüksek dolgu hızlarında gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında, oluşan geniş kaynak banyosunda gerekli kontrolün sağlanabilmesi için voltaj değerinin mutlaka kontrol altında tutulması gerekmektedir. Bu nedenle, "Sıcak"

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

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

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

Şekil-27 TIG Yöntemindeki Alın, Köşe, "T" ve Bindirme Kaynağı Bağlantılarına Ait Çözüm Önerileri

tel yöntemi ile gerçekleştirilen TIG kaynağında bir voltaj kontrol donanımına ihtiyaç duyulur.

Paslanmaz çelik boru ve sacların TIG yöntemi ile kaynağında, birbirlerine yakın konumda yerleştirilen tungsten elektrodun kullanılması ile kaynak hızı önemli ölçüde yükseltilebilir. Bunun yanında, birden fazla tungsten elektrodun aynı anda kullanılması ile, özellikle yüksek hızlarda gerçekleştirilen uygulamalarda karşılaşılan kenar yanığı problemleri de ortadan kaldırılır.

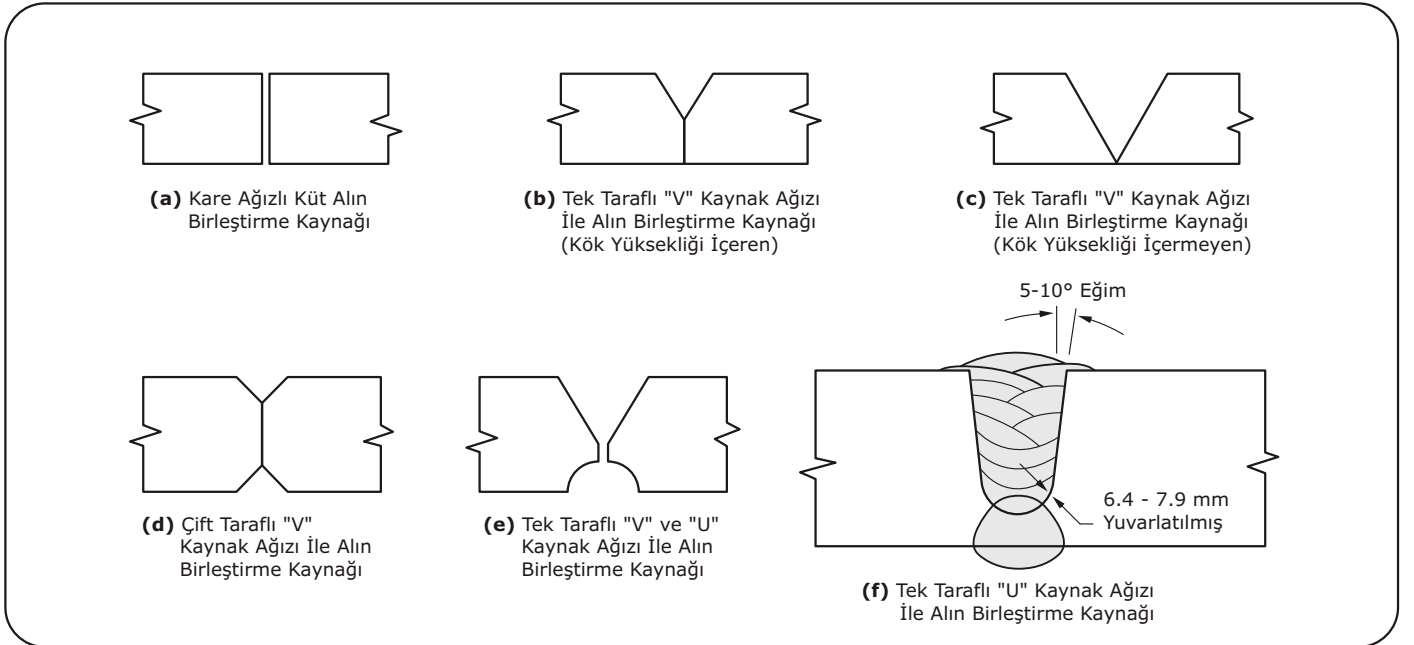
Kalınlığı 1.6 mm'den 12.7 mm'ye kadar değişen paslanmaz çeliklerin TIG yöntemi ile kaynağında kullanılan alın, köşe, "T" ve bindirme tipi kaynak bağlantılarına ait parametreler **Şekil-27**'de verilmiştir.

9.4.

TOZALTI KAYNAĞI YÖNTEMİ

Tozaltı kaynağı yöntemi, yüksek ısı girdilerine ve yavaş soğuma hızlarına izin veren paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Tozaltı kaynağında kullanılan toza bağlı olarak kaynak metalinin silisyum içeriği diğer kaynak yöntemlerindeki orana biraz daha yüksek olabilir ki bu durum ferrit içeriğinin 4 FN'den düşük olması durumunda sıcak yırtılma ve çatlama eğilimini artırır.

Kaynak metalinin tamamen östenitik yapıda olması ya da düşük oranda ferrit içermesi gereken durumlarda tozaltı kaynağı yönteminin kullanılması önerilmez. Buna karşılık, kaynak metalinde 4 FN'den daha fazla ferrit bulunmasına izin verilen uygulamalarda yüksek kaliteye sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesi mümkündür. **Şekil-28**'de, tozaltı kaynağı yöntemi ile gerçekleştirilen alın birleştirme uygulamalarına ait kaynak ağızı tasarımları yer almaktadır.



Şekil-28 Tozaltı Kaynağında Kullanılan Alın Bağlantı Şekilleri

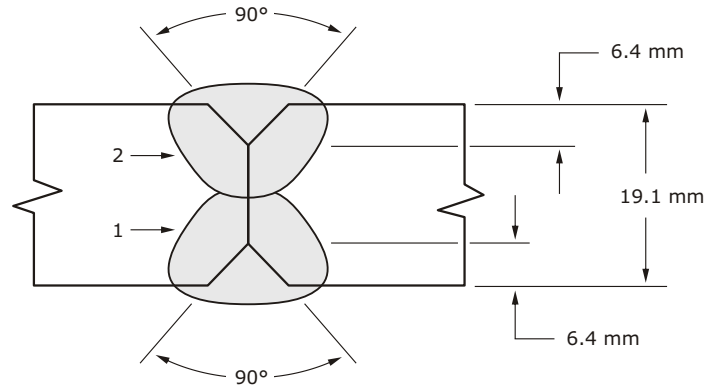
8 mm kalınlığa kadar olan parçalar üzerinde tek paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında yüksek kaliteye sahip kaynak dikişleri, kök açıklığı bırakılmadan ve uygun bir altlıkla birlikte küt alın kaynağı ağızı kullanılarak elde edilebilir (**Şekil-28a**). 16 mm kalınlığa kadarki parçalar üzerinde iki paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında da kök açıklığı bırakmadan çalışmak mümkündür. Ancak bu durumda, kaynak altlığı kullanılmadığı için birleştirilecek olan yüzeylerin birbirlerine iyice yaklaştırılmış olması gerekmektedir. Bu türdeki kaynak ağızı tasarımının en büyük avantajı çok az hazırlık gerektirmesi ve uygun nüfuziyetli, yüksek kaliteli kaynak dikişlerinin elde edilmesine olanak sağlamasıdır.

Kalınlığı 8 mm ve üstündeki parçaların, belirli bir kök yüksekliğine sahip "Tek Taraflı V" kaynak ağızı ile gerçekleştirilen tek pasolu alın kaynağı uygulamalarında erimeyen altlıklar kullanılmalıdır (**Şekil-28b**). Endüstriyel uygulamaların büyük bir çoğunluğunda kalınlığı en fazla 32-38 mm olan malzemeler kullanılır. Kök yükseklikleri ise 3.2 ile 4.8 mm arasında

değişmektedir. Parça kalınlığının 16 mm'yi aştığı durumlarda, altlık kullanılmadan gerçekleştirilen iki pasolu kaynak uygulamalarında da bu bağlantı şeklinden yararlanır. Birinci paso bağlantının "V" şeklindeki bölümünde gerçekleştirilir (**Şekil-28b**). Parça daha sonra ters çevrilerek atılan ilk paso arka paso konumuna getirilir. Bu konumda iken bitirme pasosu bağlantının düz tarafından ve ilk pasonun köküne iyice nüfuz edecek şekilde gerçekleştirilir. Çift pasolu kaynak uygulamalarındaki kök yüksekliği yaklaşık olarak 9.5 mm'dir.

Şekil-28d'de gösterilen "Çift Taraflı V" alın kaynağına ait kaynak ağızı şekli, tozaltı kaynağı yönteminde kullanılan temel bağlantı tasarımıdır. Bu tasarımda genellikle geniş bir kök yüksekliği kullanılır. 19 mm kalınlığındaki 304 kalite paslanmaz çelik plakalarda kullanılan "Çift Taraflı V" kaynak ağızı ve kaynak sırası ile ilgili bilgiler **Şekil-29**'da gösterilmektedir.

Şekil-28f'de yeralan "Tek Taraflı U" kaynak ağızı da sık kullanılan bir tasarım şeklidir. Bağlantının ters



Şekil-29 304 Kalite Paslanmaz Çelik İçin Tipik Bir Çift Taraflı "V" Bağlantısı.

1. Paso : 700 Amp, 33 Volt, 6.8 mm/sn Kaynak Hızı
2. Paso : 950 Amp, 35 Volt, 5.1 mm/sn Kaynak Hızı
Güç Kaynağı : DC
Kutuplama : Doğru Kutuplama
Elektrod Cinsi ve Çapı : 308 Kalite (4.8 mm)
Toz Cinsi : Nötr

tarafında genellikle küçük boyutlu ve elle hazırlanan bir kaynak altlığı kullanılır. Kök pasodan sonra, "U" formundaki oyuğun her sıranın 2 paso ile oluşturulmasına özen gösterilerek doldurulması önerilir. Kaynak ağzının her iki tarafını bağlayan tozaltı kaynağı pasosundan cürufun temizlenmesi sırasında büyük zorluklarla karşılaşılabilir.

İnce kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağında DC güç üniteleri sık olarak kullanılır. Kalın parçalarda hem AC hem de DC kullanılabilir de daha çok DC ile çalışılması tercih edilir. Kullanılan kaynak akımları, karbon çeliklerinin kaynağında kullanılan akım değerlerinin % 80'i seviyesindedir. Tek pasolu kaynak teknikleri genellikle % 40 - % 60'lık bir seyrelme ile gerçekleşir. Bu oran çok pasolu kaynak uygulamalarının kullanılmasına ile azaltılabilir.

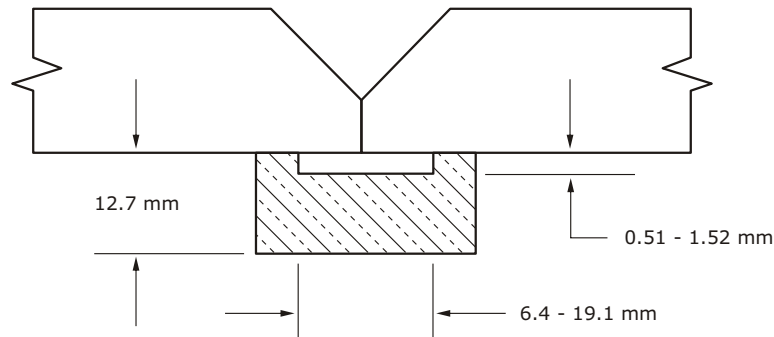
Tozaltı kaynağı, gözle görülür derecede uzun bir zaman aralığı süresince sıvı halde kalabilen, geniş hacimli bir erimiş metal oluşturur. Erimiş haldeki bu metalin katılaşıncaya kadar desteklenmesi ve konumunun akmadan korunması gerekmektedir. En sık kullanılan kaynak altlıkları eriyen ve erimeyen altlıklar olmak üzere ikiye ayrılır.

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan erimeyen altlıkların başında bakır altlıklar gelmektedir. Eğer bakırdan üretilen plakalar soğutma çubuğu olarak kullanılıyorsa, bakırın eriyerek tane sınırlarına doğru nüfuz etmemesi için gerekli olan önlemlerin alınmış olması gerekmektedir. Bakır altlıklardaki kanallara ait ölçüler Şekil-30'da belirtilmiştir. Bakır altlıkların yerine, bazı uygulamalarda seramik altlıklar da kullanılabilir.

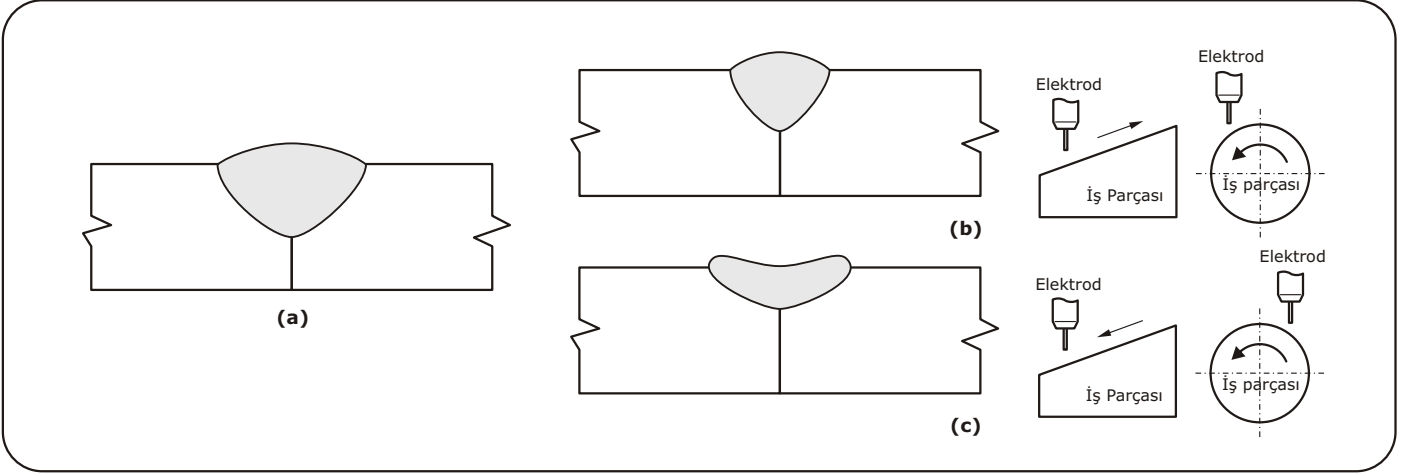
Eriyebilen türdeki metalik altlıkların kullanıldığı uygulamalarda, kaynak paslanmaz çelik altlığın içine doğru nüfuz eder ve onunla birlikte erir. Bunun sonucunda, kullanılan altlık gerçekleştirilen bağlantının geçici veya kalıcı bir parçası haline gelir.

Tozaltı kaynağı, genellikle düz pozisyonda yapılır. Bu sayede, kaynak dikişi kenarları çok düzgün olur ve kolay çalışma olanağı sağlanır. Bazı durumlarda kaynak işlemi çevresel ve belirli bir eğime sahip bağlantılar oluşturacak şekilde de gerçekleştirilebilir. Şekil-31'de eğimli yüzeylerin kaynak dikişi üzerindeki etkileri şematik olarak gösterilmektedir.

Tozaltı tozları, eritilmiş ve aglomere edilmiş tozlar olmak üzere iki gruba ayrılır. Eritilmiş tip tozlar camsi



Şekil-30 Paslanmaz Çeliklerin Tozaltı Kaynağında Kullanılan Bakır Altlıklara Ait Kanal Ölçüleri



Şekil-31 (a) Yatay Konumda Düz Kaynak, (b) Hafif Meyilli Yüzeyde Aşağıdan Yukarıya Doğru Kaynak, (c) Hafif Meyilli Yüzeyde Yukarıdan Aşağıya Doğru Kaynak

bir görünüme sahip olup, tozu oluşturan elementlerin yüksek sıcaklıklarda eritildikten sonra toz taneleri oluşturacak şekilde parçalanması ile elde edilir. Aglomere edilmiş tozlar ise tozu oluşturan elementlerin uygun bir bağlayıcı ile karıştırıldıktan sonra pişirilmesi ile elde edilir.

Bazı aglomere edilmiş tozların kullanılması ile çeşitli alaşım elementlerinin kaynak metaline eklenebilmesi mümkün olmaktadır. Bu alaşım elementlerinin başında krom, nikel, molibden ve niobyum gelmektedir. Yapısında hiçbir alaşım elementi içermeyen tozlar "Nötr Tozaltı Tozları" olarak adlandırılır. "Nötr" terimi göreceli bir kavram olup, kaynak metalinin alaşımı kullanılan nötr tozdan bir miktar etkilenecek değişime uğrar.

AWS A5.9'da listelenen analiz aralıkları kaba değerlerden oluşmaktadır. Kimyasal analizin kaynak kalitesini ve servis yapabilirliğini yakından etkilemesi nedeni ile belirtilen bu değişim aralıkları kaynak dikişinde her zaman tolere edilemeyebilir. Kontrolü elde tutmak için uygulanan kaynak tekniği, tozun alaşım içeriği ya da diğer uygun değişiklikler dolgu metali analizindeki değişimleri dengeleyecek şekilde yapılmalıdır.

Kaynak işleminin başlatılması aşamasında sık olarak kullanılan iki yöntem aşağıda belirtilmiştir:

Sürterek Başlama :

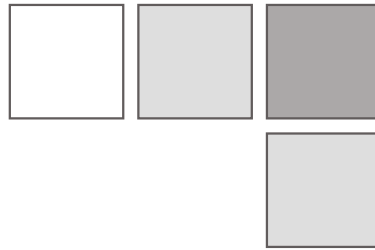
Bu teknikte, tel iş parçasına doğru sürülür ve bu sırada araba da hareket etmeye başlar. Taşıyıcı arabanın iş parçasına olan rölatif hareketi nedeniyle, tel eriyerek parçaya deyince yapışma problemi ile karşılaşmaz.

Geri Çekerek Başlama :

Bu teknikte, tel iş parçasına doğru yavaş yavaş ilerler ve bu arada toz ile kaplanır. Kaynak başladıktan sonra tel bir an için geri çekilir ve daha sonra tekrar ters yönde, yani parçaya doğru hareket ederek ileriye doğru bir tel beslemesi sağlanır. İnce kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağında bu yöntemin kullanılması önerilmez.

Ark oluştuktan sonra bazı parametrelerin kontrol edilmesi çok önemlidir. Kaynak akımı en önemli parametredir. Bunu kaynak gerilimi izler. Kaynak hızındaki değişimler belirli bir şablona göre ayarlanabilir. Eğer hız yükseltirse, kaynak dikişinin dayanımı azalır, buna karşılık hız azaltılırsa, elde edilen dayanım daha yüksek olur. Bütün bunların yanında, kaynak hızı nüfuziyet derinliği üzerinde de etkili olmaktadır.

Paslanmaz eliklerin Kaynağı



EKLER

EK-1**ÇEVİRİM TABLOLARI**

$$\begin{aligned}
 1 \text{ MPa} &= 1 \text{ N/mm}^2 = 0,102 \text{ kgf/mm}^2 = 10,2 \text{ bar} \\
 1 \text{ N} &= 0,1 \text{ daN} \\
 1 \text{ J} &= 0,1 \text{ daJ} = 0,102 \text{ kgf.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1 \text{ MPa} &= 145 \text{ Psi (pound per square inch)} \\
 1 \text{ Psi} &= 0,006895 \text{ MPa} \\
 1 \text{ J} &= 0,7376 \text{ ft.lb (foot-pound)} \\
 1 \text{ lb/ft (pound per foot)} &= 1,4882 \text{ kgf/m} \\
 1 \text{ m} &= 39,37 \text{ inch} = 3.281 \text{ feet} \\
 1 \text{ inch} &= 25,4 \text{ mm} \\
 1 \text{ ft (feet)} &= 12 \text{ inch} = 30,48 \text{ cm} \\
 1 \text{ kg} &= 2,205 \text{ lb} \\
 1 \text{ lb} &= 0,4536 \text{ kg} \\
 1 \text{ mm}^2 &= 0,00155 \text{ square inch} \\
 ^\circ \text{ C} &= (^\circ \text{ F} - 32) \times 5/9 \\
 ^\circ \text{ F} &= (^\circ \text{ C} \times 9/5) + 32
 \end{aligned}$$

Elektrod Çapları

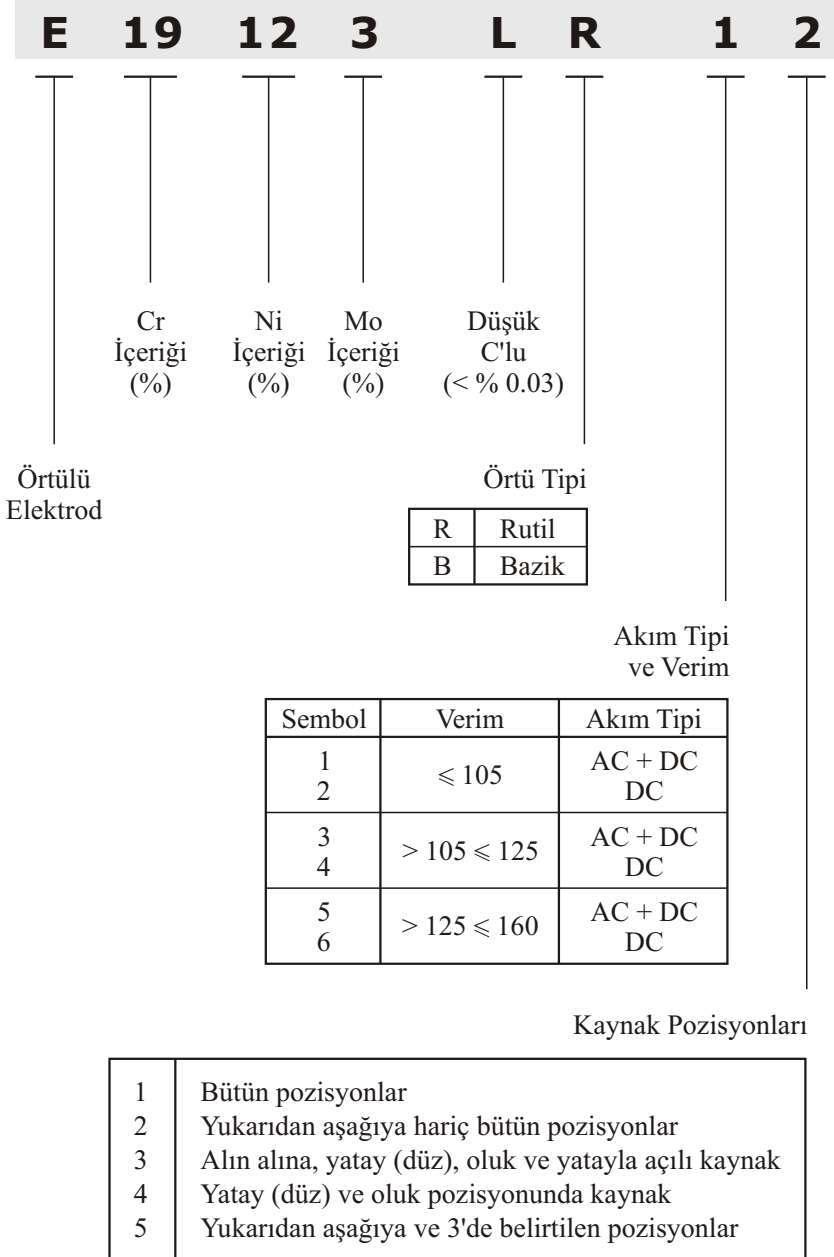
inch	mm
0.024	= 0.6
0.030	= 0.8
0.035	= 0.9
0.039	= 1.0
3/64	= 1.2
1/16	= 1.6
5/64	= 2.0
3/32	= 2.4
7/64	= 2.8
1/8	= 3.2
5/32	= 4.0
3/16	= 5.0
1/4	= 6.0

Kuruluşlar ve Dernekler

AWS	= American Welding Society "Amerikan Kaynak Derneği"
DIN	= Deutsches Institute Für Normung e.V. "Alman Standartlar Enstitüsü"
BS	= British Standards Institute "İngiliz Standartlar Enstitüsü"
NFA	= Association Française de Normalisation "Fransız Standartlar Birliği"
ISO	= International Standard Organisation "Uluslararası Standartlar Kuruluşu"
EN	= Euronorme "Avrupa Standartları"
AISI	= The American Iron and Steel Institute "Amerikan Demir Çelik Enstitüsü"
ASA	= American Standards Association "Amerikan Standartlar Birliği"

EK-2

YÜKSEK SICAKLIKLARA DAYANIKLI PASLANMAZ ÇELİKLERİN ARK KAYNAĞINDA KULLANILAN ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARIN EN 1600 NORMUNA GÖRE SINIFLANDIRILMASI

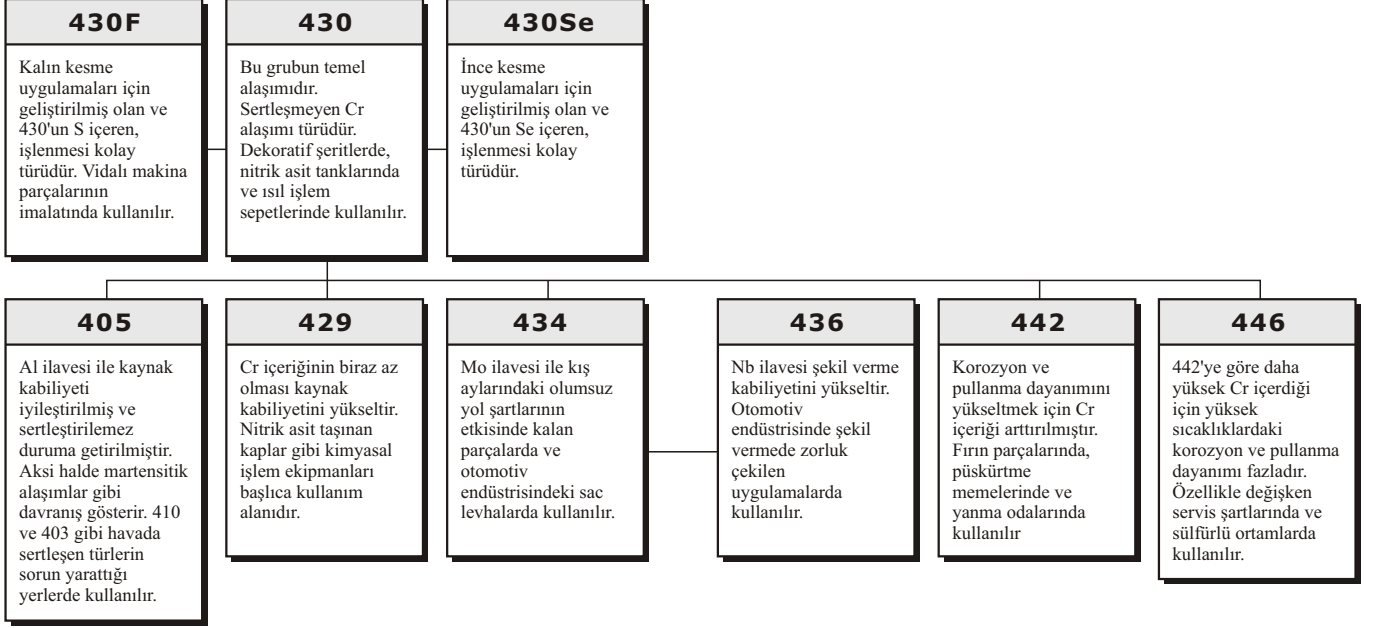


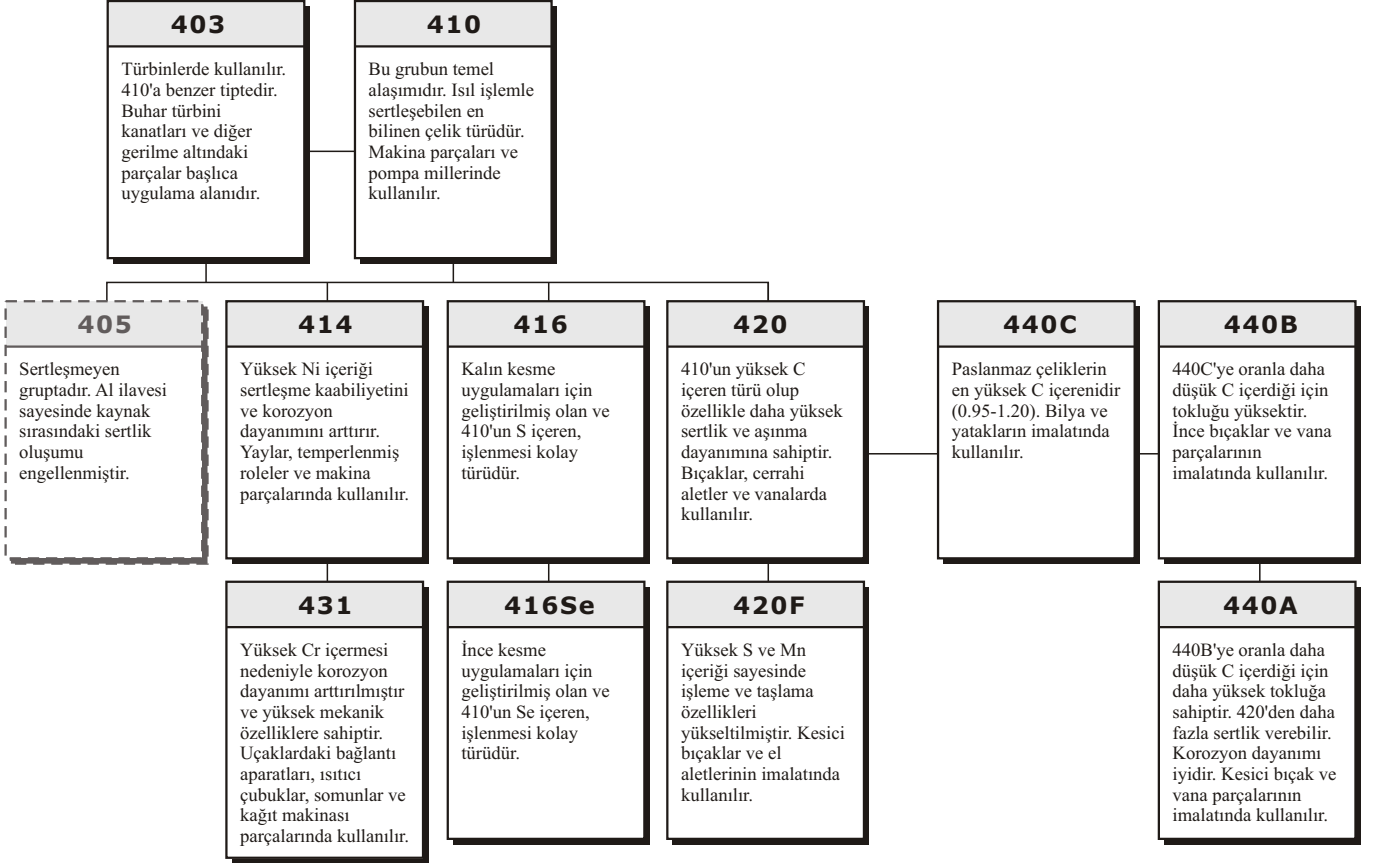
EK-3**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER (AISI)**

202	302	302B
302'ye eşdeğer, düşük Ni içeren, genel kullanım amaçlıdır. Ni içeriğinin bir kısmının yerine Mn ilave edilmiştir.	Bu grubun temel alaşımıdır. Gıda maddesi taşıma ve pişirme kapları, uçak motoru kaportaları, antenler, yaylar ve mimari ürünlerin imalatında kullanılır.	Si içeriğinden dolayı, 302'ye oranla daha yüksek tufallenme (pullanma) dayanımına sahiptir. Fırın parçaları, sızdırmaz contalar ve ısıtma elemanlarında kullanılır.

347	304	304L	305	308	
321'e benzer yapıdadır. Kaynak işlemlerinde stabilizasyonu sağlamak amacıyla yapısına Nb ilave edilmiştir.	302'nin düşük C içeren türü olup kaynak sırasında oluşan karbür çökmesi riski azaltılmıştır. Kimya ve gıda endüstrisindeki parçaların imalatında kullanılır.	Kaynak sırasında oluşan karbür çökmesi riskini en aza indirmek amacıyla, 304'ün ekstra-düşük C içerecek şekilde üretilmiş türüdür.	Çalışarak sertleşme eğilimini azaltmak için Ni içeriği yükseltilmiştir. Bükerek şekillendirme ve çekme işlemlerinde kullanılır.	Korozyon ve sıcaklık dayanımını yükseltmek amacıyla yüksek oranda Ni ve Cr içerir. Kaynak sırasında kayıplarını önleyen dolgu metallerinin imalatında kullanılır.	
348	321	385	384	309	309S
347'ye benzer yapıdadır. Ancak Nb içeriği en üst seviyededir. Özellikle nükleer enerji uygulamalarında kullanılır.	İçeriğindeki Ti kaynak sırasında oluşan krom karbür çökmesi riskini önler. 425-870°C sıcaklığındaki yoğun korozif ortamlarda, uçakların egzost manifoldlarında ve kazan zırhlarında kullanılır.	384 ile aynı Ni-Cr seviyesine sahip olup daha az alaşım elementi içerir. 384 ile hemen hemen aynı şekil verme kabiliyetine sahiptir. Ancak korozyon dayanımı daha düşüktür.	Çalışarak sertleşme eğilimini azaltmak için Ni ve Cr içeriği 305'e göre daha yüksek tutulmuştur. Soğuk perçinleme ve soğuk şekil verme uygulamalarında kullanılır.	Ni ve Cr içeriğinin daha yüksek olmasının dışında 308 ile aynıdır. Korozyon ve pullanma dayanımı mükemmeldir. Isıl işlem donanımları ve fırın parçalarının imalatında kullanılır.	309'un kaynak kabiliyetini yükseltmek amacıyla daha düşük C içeren türüdür.
303			314	310	310S
Kalın kesme uygulamaları için geliştirilmiş olan ve 302'nin S içeren, işlenmesi kolay türüdür. Şaftlarda vanalarda ve vidalı makina parçalarında kullanılır.			310'a benzer yapıdadır. İçerdiği daha yüksek Si sayesinde yüksek sıcaklıklardaki pullanma (tufallenme) dayanımı arttırılmıştır.	309'a benzer yapıda olup Ni ve Cr içeriği daha yüksektir. Isı eşanjörleri, fırın parçaları, yanma odaları ve kaynak dolgu malzemelerinin imalatı başlıca kullanım alanlarıdır.	310'un kaynak kabiliyetini yükseltmek amacıyla daha düşük C içeren türüdür.
303Se	301	201	317	316	316L
İnce kesme uygulamaları için geliştirilmiş olan ve 303'ün Se içeren, işlenmesi kolay türüdür.	Çalışıkça (işlendikçe) sertleşme eğilimini yükseltmek amacıyla Cr ve Ni içeriği azaltılmıştır. Yüksek dayanıma ve tokluğa sahip demiryolu arabaları, romörk gövdeleri ve uçakların yapısal elemanları başlıca kullanım alanlarıdır.	301'in Ni eşdeğeri daha düşük olan türüdür. Ni içeriğinin bir kısmının yerine Mn ilave edilmiş ve bu sayede çalışıkça (işlendikçe) sertleşme eğilimi yükseltilmiştir.	316'dan daha yüksek oranda Mo içermesi sayesinde korozyon ve sürünme dayanımı arttırılmıştır.	Mo içerdiği için 302 ve 304'e oranla daha yüksek korozyon direnci sağlar. Yüksek sürünme dayanımına sahiptir. Kimya, fotoğraf ve besin ile ilgili donanımların imalatında kullanılır.	316'nin kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılmak üzere tasarlanmış ekstra-düşük C'li türüdür.

EK-4 FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER (AISI)



EK-5**MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER (AISI)**

EK-6 SCHAEFFLER DİYAGRAMI

Bu diyagram herhangi bir çeliğe ait iç yapının, sözkonusu çeliğin sahip olduğu kimyasal analize göre belirlenmesinde kullanılır. Bu diyagramla, kaynak edilen parçaların ve dolgu metalinin cinsine göre kaynak işleminden sonra oluşan erimiş bölgenin yapısını da belirlemek mümkündür.

Schaeffler, geliştirdiği bu diyagramda ferrit oluşturuçu elementleri "Krom Eşdeğeri - Cr(eş)" ile, östenit oluşturuçu elementleri ise "Nikel Eşdeğeri - Ni(eş)" ile ifade etmektedir.

$$(Ni)_{eş} = \% Ni + 30(\% C) + 0.5(\% Mn)$$

$$(Cr)_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5(\% Si) + 0.5(\% Nb)$$

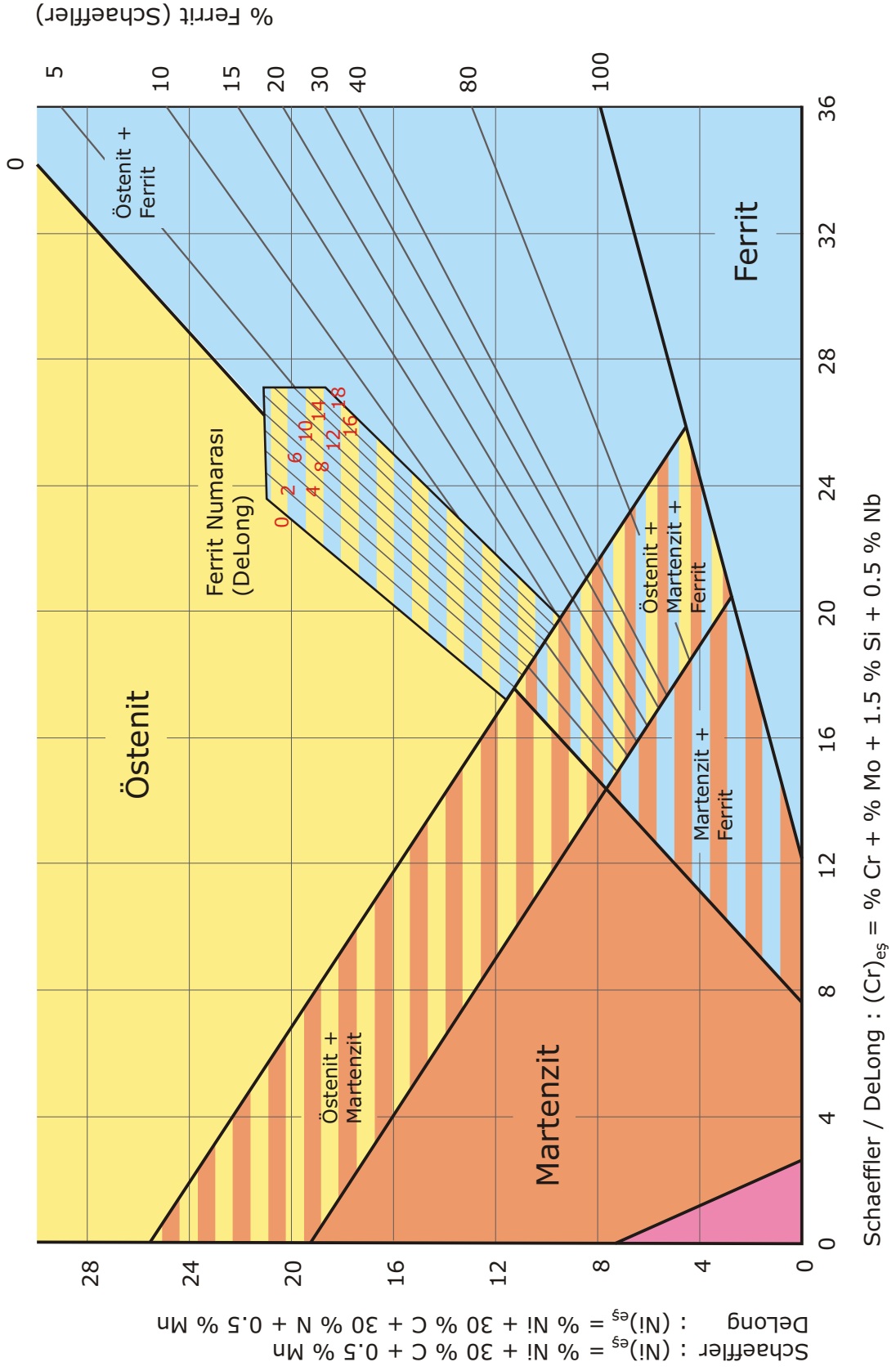
Ana metallere benzer analize ya da farklı analize sahip dolgu metallere kullanılmasıyla benzemez (kimyasal analizleri farklı) metaller arasında gerçekleştirilen heterojen bağlantılarda Schaeffler Diyagramı büyük yararlar sağlamaktadır.

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

Krom ve Nikel Eşdeğeri Formüllerinin Tarihsel Gelişimi

Yazar Adı	Yıl	Cr _{eş}	Ni _{eş}
Schaeffler	1949	%Cr+%Mo+(1.5x%Si)+(0.5x%Nb)	%Ni+(0.5x%Mn)+(30x%C)
DeLong	1956	%Cr+%Mo+(1.5x%Si)+(0.5x%Nb)	%Ni+(0.5x%Mn)+(30x%C)+(30x%N)
Hull	1973	%Cr+(1.21x%Mo)+(0.48x%Si)+(0.14x%Nb)+(2.27x%V)+(0.72x%W)+(2.2x%Ti)+(0.21x%Ta)+(2.48x%Al)	%Ni+[(0.11x%Mn)-(0.0086x%Mn ²)]+(24.5x%C)+(14.2x%N)+(0.41x%Co)+(0.44x%Cu)
Hammer ve Svenson	1979	%Cr+(1.37x%Mo)+(1.5x%Si)+(2x%Nb)+(3x%Ti)	%Ni+(0.31x%Mn)+(22x%C)+(14.2x%N)+%Cu
Espy	1982	%Cr+%Mo+(1.5x%Si)+(0.5x%Nb)+(5x%V)+(3x%Al)	%Ni+(30x%C)+(0.87x%Mn)+(0.33x%Cu)+[Ax(%N-0.045)] A=30 (N=%0.00-0.20) ; A=22 (N=%0.21-0.25) A=20 (N=%0.26-0.35)
McCowan, Siewert ve Olson (WCR-1988)	1988	%Cr+%Mo+(0.7x%Nb)	%Ni+(35x%C)+(20x%N)
Kotecki ve Siewert (WCR-1992)	1992	%Cr+%Mo+(0.7x%Nb)	%Ni+(35x%C)+(20x%N)+(0.25x%Cu)

EK-6 SCHAEFFLER ve DELONG DİYAGRAMLARI



EK-7

FERRİTİK DOKUNUN HESAPLAMA YOLUYLA BELİRLENMESİ

Östenitik-ferritik çeliklerdeki ferrit oranını Schaeffler Diyagramı'na başvurmadan hesaplamak için birçok formül geliştirilmiştir. THOMAS bu amaçla, maksimum nikel konsantrasyonunu çelikteki diğer alaşım elementlerinin bir fonksiyonu cinsinden ifade etmiş ve bunun sonucunda çelikteki ferrit miktarını aşağıda belirtilen formüllerle hesaplamıştır:

$$(Ni)_{\max} = \frac{(Cr+2*Mo-16)^2}{12} + \frac{Mn}{2} + 30(0.10-C) + 12$$

$$\% F = (Ni)_{\max} - \% Ni$$

Aşağıda alaşımı verilen kaynak dikişi incelenecek olursa :

C	=	% 0.05
Mn	=	% 1.20
Si	=	% 0.60
Ni	=	% 10.0
Cr	=	% 20.0
Mo	=	% 3.00

$$(Ni)_{\max} = \frac{(20+2*3-16)^2}{12} + \frac{1.20}{2} + 30(0.10-0.05)+12$$

$$(Ni)_{\max} = 21.3$$

$$\% F = 21.3 - 10 = \% 11.3$$

Schaeffler Diyagramı'na göre; sözkonusu çeliğe ait **"X"** noktası, $(Ni)_{eş}$ ve $(Cr)_{eş}$ değerleri hesaplandıktan sonra **Şekil-4'**de belirtilmiştir.

$$(Ni)_{eş} = \% Ni + 30(\% C) + 0.5(\% Mn)$$

$$(Ni)_{eş} = 10 + 30(0.05) + 0.5(1.2)$$

$$(Ni)_{eş} = 12$$

$$(Cr)_{eş} = \% Cr + \% Mo + 1.5(\% Si) + 0.5(\% Nb)$$

$$(Cr)_{eş} = 20 + 3 + 1.5(0.6)$$

$$(Cr)_{eş} = 24$$

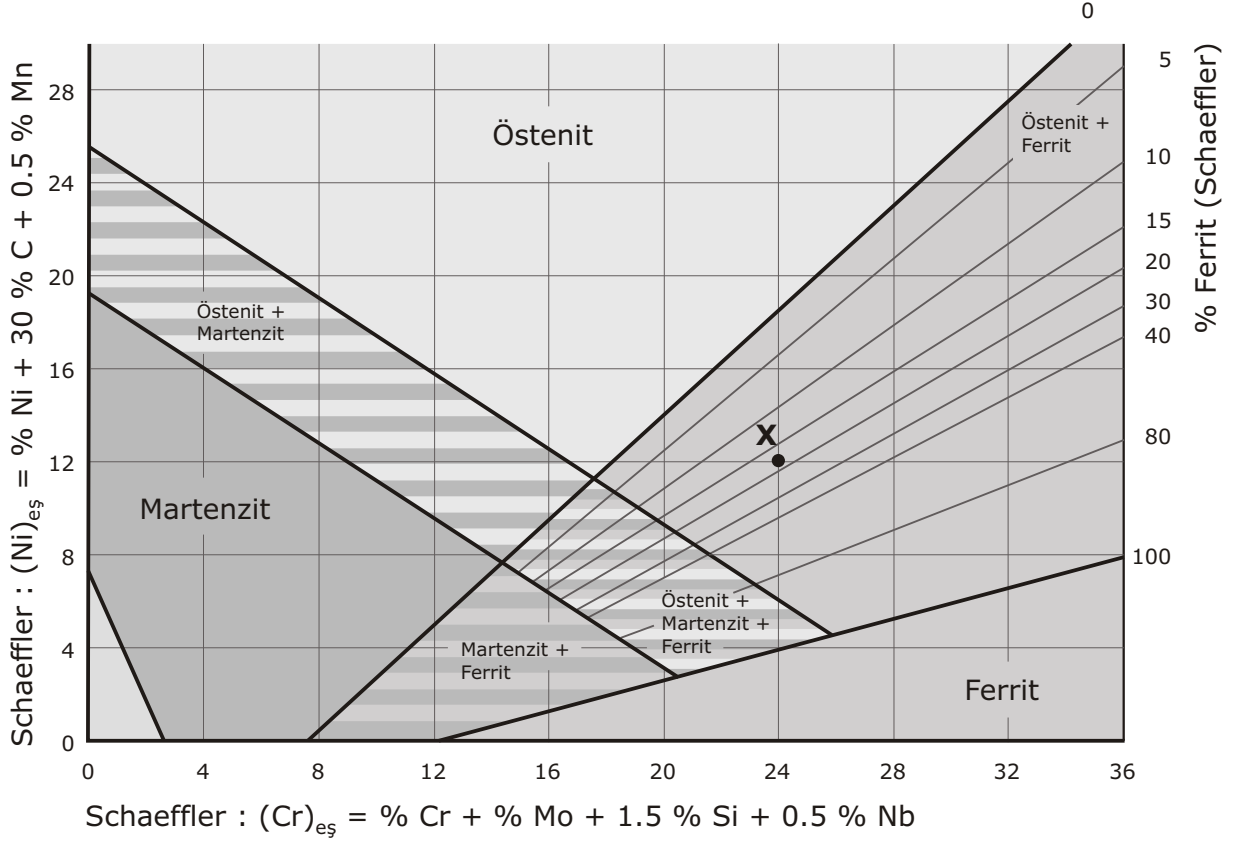
"X" noktası incelendiğinde iki fazlı ve % 18 ferrit içeren östenitik-ferritik bölgeye düştüğü görülür.

Thomas'ın formülüne göre ferrit yüzdesi % 11.3 olurken, Schaeffler Diyagramı'nda belirlenen ferrit miktarı % 18'dir. İki yöntem arasındaki bu fark, faz eğrilerinin Schaeffler Diyagramı'nda basitleştirilerek doğrular ile temsil edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Tamamen östenitik yapı ile östenitik-ferritik yapının arasındaki sınırı oluşturan ve ferrit içeriği sıfır olan **"O"** doğrusunu esas alarak da ferrit yüzdesi miktarını hesaplamak mümkündür. Bu sınırı aşağıda belirtilen lineer bağıntı ile ifade edebiliriz.

$$(Cr)_c = 0.93 (Ni)_{eş} + 6.7$$

Bu bağıntıdan elde edilen $(Cr)_c$ değeri daha önce hesaplanan $(Cr)_{eş}$ 'den küçük ise alaşım tamamen östenitik bölgededir. Buna karşın $(Cr)_c$ değerinin $(Cr)_{eş}$ 'den büyük olması durumunda ise; alaşımın



östenitik-ferritik bölgeye düştüğü görülür. Bu durumda, yapıdaki ferrit yüzdesini belirlemek için aşağıdaki formülden yararlanılır.

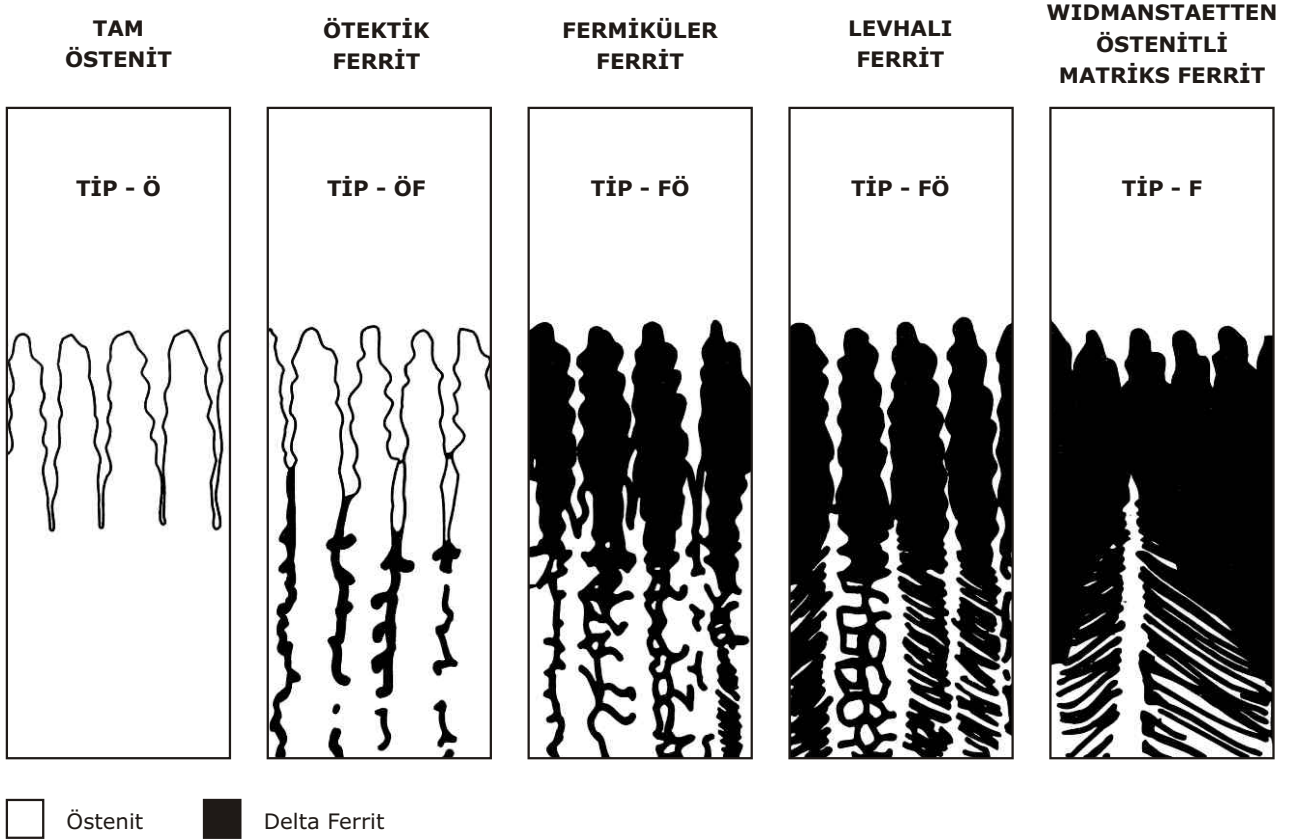
$$\% F = 3[(Cr)_{es} - (Cr)_c]$$

Örneğimizdeki çeliğin analizine göre bir inceleme yapılacak olursa; daha önce hesaplanan $(Ni)_{es} = 12$, $(Cr)_{es} = 24$ değerlerine göre aşağıdaki ferrit yüzdesi elde edilir.

$$\begin{aligned} (Cr)_c &= 0.93 (Ni)_{es} + 6.7 \\ &= 0.93 \cdot 12 + 6.7 \\ &= 17.86 = \sim 18.0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% F &= 3[(Cr)_{es} - (Cr)_c] \\ &= 3[(24 - 18)] \\ &= \% 18 \end{aligned}$$

Buradan da görüldüğü gibi, $(Cr)_c$, $(Cr)_{es}$ 'den küçük olduğu için yapı östenitik-ferritiktir ve içerdiği ferrit miktarı % 18'dir.



Ötektik Ferrit

Bu ferrit formu, birincil östenitin katılaşması sonucu oluşur (Tip-ÖF) ve alt tane sınırları boyunca katılaşma eğilimi gösterir (hüresel dentritler arasında oluşurlar). Oldukça dar bir bileşim aralığı için geçerlidirler ve katılaşmanın son aşamalarında ötektik reaksiyon ürünü olarak ortaya çıkarlar.

Fermiküler Ferrit (Skeletal)

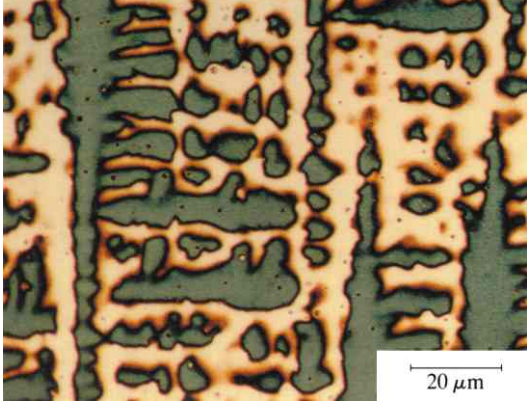
Ferritin bu morfolojisi genellikle östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkar. Bu doku elemanı katı durumda ferritin yayınma kontrollü olarak östenite dönüşmesi sırasında oluşur ve katılaşmayı takip eden aşamada ise birincil ferrit olarak görülür (Tip-FÖ). Ferritin bu tipi, birincil ferrit katılaşması sonrasında dentrit kolları arasında bulunur.

Levhalı Ferrit

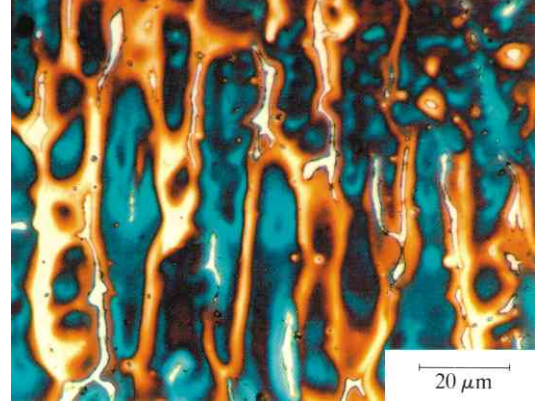
Ferritin bu tipi de birincil ferrit katılaşması sırasında oluşur (Tip-FÖ). Karakteristik yönü, levha ya da iğne formunda olmasıdır ve alt tane sınırlarında katılaşır. Ferritin bu morfolojisi, yüksek ferritli ya da düşük ferritli kaynak metalinde hızlı soğuma ürünü olarak ortaya çıkar. Levhalı ve fermiküler mikro yapıların birlikte bulunduğu dokulara sık olarak rastlanır.

Widmanstaetten Östenitli Matris Ferrit

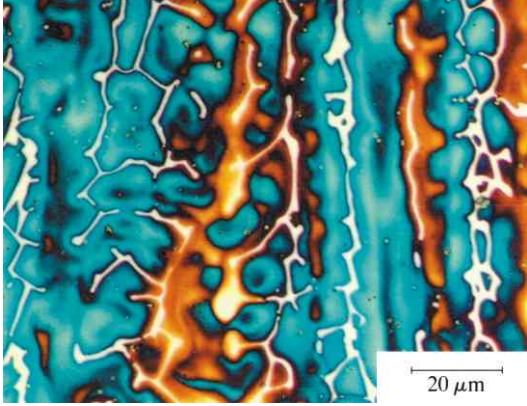
Kaynak metalinde, yüksek sıcaklıklarda ferrit fazı giderek daha kararlı bir duruma geçecek olursa östenitik dönüşüm zorlukla gerçekleşir. Bunun nedeni, katılaşma sırasında ferritin delta ferriti olarak (Tip-F) oluşmasıdır. Bunun sonucunda, östenit kristalleri ferrit-ferrit tane sınırlarında Widmanstaetten östeniti olarak çekirdeklenir. Ferritin bu morfolojisi, östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında ender görülmekle birlikte, çift fazlı paslanmaz çeliklerde etkin olarak ortaya çıkar.



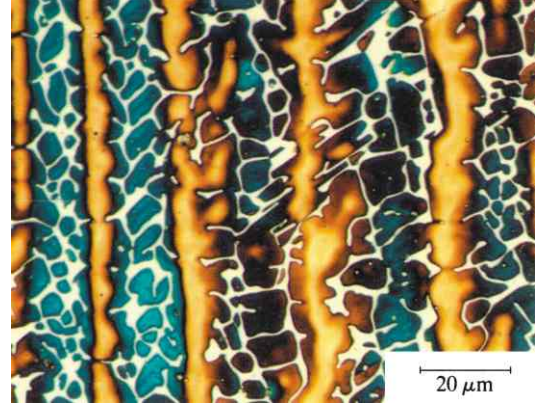
Ferrit Numarası : 0 (Ö)
EN 1600 : E 18 16 5 N L R 32
C : %0.02 ; Mn : %1.2 ; Si : %0.8 ; Cr : %18 ; Ni : %17 ; Mo : %4.6 ; N : %0.08



Ferrit Numarası : 3 - 8 (ÖF)
EN 1600 : E 23 12 R 32
C : %0.10 ; Mn : %0.8 ; Si : %1.6 ; Cr : %22 ; Ni : %12



Ferrit Numarası : 4 - 10 (FÖ)
EN 1600 : E 19 12 3 L R 12
C : %0.02 ; Mn : %0.85 ; Si : %0.8 ; Cr : %18 ; Ni : %11.5 ; Mo : %2.85



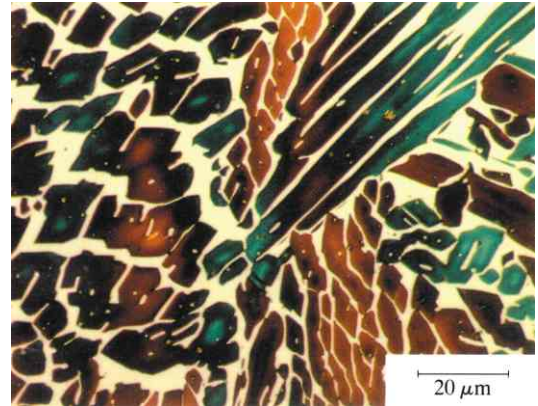
Ferrit Numarası : 10 - 20 (FÖ)
EN 1600 : E 23 12 L R 32
C : %0.02 ; Mn : %0.85 ; Si : %0.95 ; Cr : %23 ; Ni : %12.5

Ö : Oda sıcaklığında tam östenitik doku (γ)

ÖF : Birincil östenit (γ) dendritler arası ferrit (δ)

FÖ : Peritektik katılaşma ($\delta + \gamma$), östenitleştirme sıcaklığından soğutulurken dönüşüm, dokuda kalıntı ferrit

F : Birincil ferrit (δ), ferrit (δ) matrikste östenit oluşumu (γ)



Ferrit Numarası : 30 - 55 (F)
EN 1600 : E 22 9 3 N L R 32
C : %0.025 ; Mn : %0.8 ; Si : %1.0 ; Cr : %22.5 ; Ni : %9.5 ; Mo : %3.2 ; N : %0.16

EK-8

FARKLI METALLERİN KAYNAĞINDA SCHAEFFLER DİYAGRAMI KULLANIMI

Hidrojenin çelik içerisindeki çözünabilirliğine ait deneyler östenitin 100 gr'da 6-10 cm³ oranında hidrojeni absorbe etmeye elverişli olduğunu göstermektedir. Bazik karakterli örtüye sahip elektrodlar 100 gr'da 4-6 cm³ hidrojen yaydığı için, farklı metallerin kaynağında (heterojen kaynak) özellikle erimiş bölgede oluşan östenitik çelik yapısındaki alanda hidrojen kolayca çözünmektedir.

Heterojen kaynak bağlantılarında genellikle iki önemli sorun ortaya çıkar.

- 1- Uygun elektrod seçimini zorunlu kılan "Sıcak Çatlak" oluşma eğilimi,
- 2- Ferritik çelikteki elementlerin, özellikle ana metaldeki karbonun, bağlantı bölgesine doğru yayılması sonucu oluşan ara fazlar.

Bu maddelerden birincisi elektrodun kalitesini belirlerken, ikincisi kaynak edilen parçanın kullanım alanını sınırlayıcı bir rol oynar.

Östenitik bölgenin çatlama eğilimi östenit içerisinde ferrit bulunmasına ya da bulunmamasına göre değişir. Bilindiği gibi SCHAEFFLER Diyagramı heterojen bağlantılarda, östenitik elektrod seçimi konusunda kullanıcıya yol göstermektedir.

Heterojen kaynak bağlantılarının bir diğer avantajı ise ön tav uygulamasının, en azından yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen ön tav uygulamalarının ortadan kalkmasıdır.

ÖSTENİTİK ELEKTROD SEÇİMİ

Günümüze kadar bu konuda birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve bunlardan SCHAEFFLER tarafından geliştirilen yöntem en bilinen yöntem olarak kabul edilmiştir.

Schaeffler, çalışmalarında ana metaldeki ve eriyen östenitik bölgedeki seyrelmeyi esas almıştır. **Şekil-1**'de gösterilen SCHAEFFLER Diyagramı'nda havada sertleşebilen ferritik çeliğe ait nokta martenzitik bölgede olup "**X**" harfi ile belirtilmiştir. Bu çeliğe ait kimyasal analiz değerleri ise aşağıda belirtilmiştir:

Karbon (C)	: % 0,25 - 0,30
Manganez (Mn)	: % 0,70
Silisyum (Si)	: % 0,30
Nikel (Ni)	: % 2,50 - 3,50
Krom (Cr)	: % 1,00
Molibden (Mo)	: % 0,20 - 0,30

Ferritik çeliğe ait **X** noktasının koordinatları, östenitik çeliklerdeki Cr ve Ni eşdeğerlerinin hesaplanmasında kullanılan formüllerle bulunur.

$$\begin{aligned} Ni_{(eş)} &= \% Ni + 30 \% C + \% 0,5 Mn \\ Cr_{(eş)} &= \% Cr + \% Mo + 1,5 \% Si + 0,5 \% Nb \end{aligned}$$

Buna göre :

$$Ni_{(eş)} = 10,8 \text{ ve } Cr_{(eş)} = 1,8 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kaynak işleminde iki fazlı östenitik yapıda kaynak metali elde edebilmek için gereken şart; seçilen elektrodun $\gamma+\delta$ bölgesinde, örneğin **Y** ile belirtilen noktada bulunmasıdır. "**XY**" doğrusu (mavi çizgi),

SCHAEFFLER Diyagramı'nda birçok bölgeden geçmektedir. Bunlar; "Saf Östenit", "Östenit-Martenzit" ve "Martenzit"tir. Kaynaklı bağlantı noktası, ana metal ve dolgu metali arasındaki seyrelmenin derecesine göre bu bölgelerden birinde oluşabilir.

Şekil-1'de verilen örneğe göre, eğer her iki metal arasındaki seyrelme % 22'nin altında ise bağlantı iki fazlı bölgede oluşur. % 22-42 arasındaki seyrelme oranlarında yapı "Saf Östenitik", % 42'nin üstündeki seyrelme oranlarında ise "Martenzitik" tir.

Eğer "**OX**" doğrusunun (siyah çizgi) altında yeralan ve % 15 ferrit içeren **Y'** noktası ile gösterilen türde bir elektrod seçilirse, % 15'lik bir seyrelme bile martenzit çizgileri içeren üç fazlı bir yapının ortaya çıkması için yeter olacaktır. Aynı seyrelme değeri için **Y** alaşımının ulaştığı ferritik faz daha dengeli olurken bağlantı bölgesinde kırılğan yapı oluşumu "**OX**" doğrusunun altında bulunan **Y'** alaşımı için daha kritik düzeydedir.

SCHAEFFLER Diyagramı'ndan elde edilen bu bilgiler, temsili noktaları "**OX**" doğrusunun üstünde bulunan östenitik tip elektrodların seçilmesi halinde daha sağlıklı sonuçların elde edileceğini göstermektedir. Çünkü, aynı ferrit miktarlarında bile bu elektrodlardaki, östenit+ferrit fazının yapıda daha dengeli olması nedeniyle, seyrelme oranları oldukça yüksek bir düzeyde tutulabilmektedir.

Y' alaşımı için, ferrit içeriğindeki % 8'lik artışa karşılık gelen **Y''** noktası, seyrelmenin % 10 kadar daha fazla olmasına olanak sağlar. Aynı sonuca ulaşmak için ise **Y** alaşımına ait ferrit oranının % 2 arttırılması yeterlidir. Östenit içindeki ferrit oranı artışının, belirli seviyelerden sonra östenitin şekil değiştirme kabiliyetini olumsuz yönde etkilediği düşünülürse, **Y** alaşımının sağladığı avantajlar daha da büyük önem kazanmaktadır.

% 20 oranında seyrelme kapasitesine sahip olan ve % 8 ferrit içeren "**OX**" doğrusu üzerindeki **Z** noktasına ait ferrit içeriği % 2 kadar arttırılırsa (**Z'** noktası) seyrelme kapasitesi % 25 oranına kadar yükselebilir.

Ancak unutulmamalıdır ki; eğer **X** noktasının konumu değişirse, yani kaynak edilen ana malzeme değiştirilirse, çatlama riskinden uzak, sağlıklı bir kaynak bağlantısı sağlayabilecek uygun elektrodun yeniden belirlenmesi için tüm grafiğin tekrar çizilmesi gerekecektir.

İki fazlı bir yapının elde edilmesi çoğu zaman yeterli olmayabilir. Çünkü yığılan metal bunların dışında başka kimyasal şartları da yerine getirmelidir. Örneğin; karbon oranı % 0.10'un, silisyum konsantrasyonu ise % 0,6'nın altında olmalıdır. Bazı literatürler, niobiyumun ferrit oluşturucu etkisinin yanında erimiş metalin çatlama eğilimini arttırdığını söylemektedir.

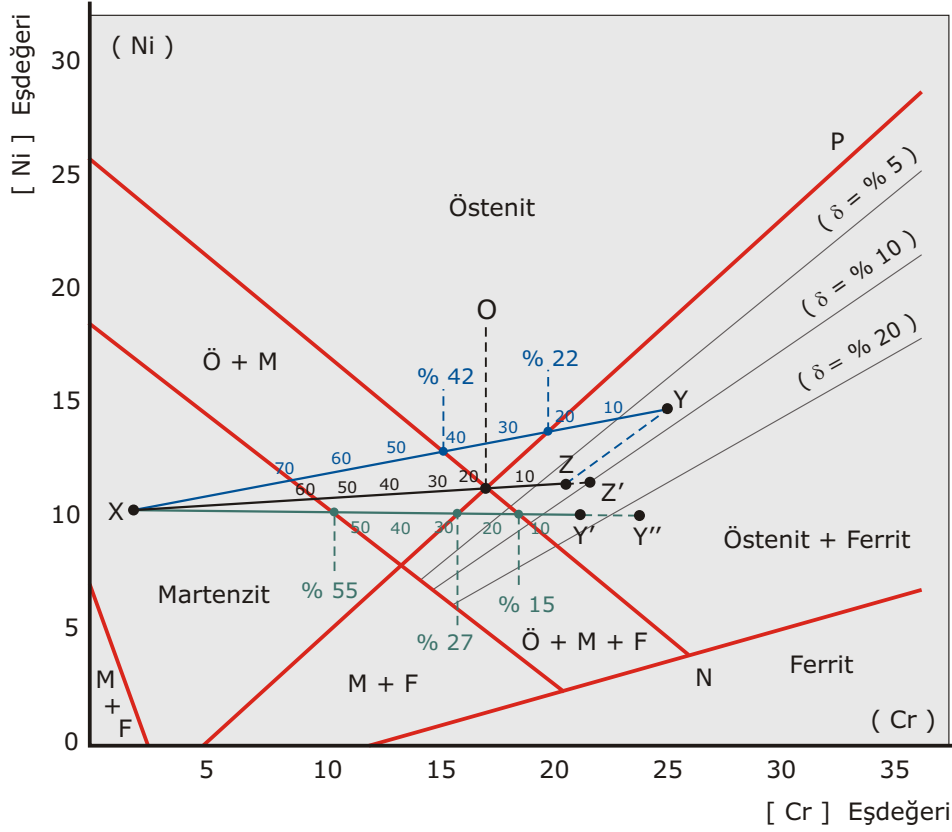
Seyrelmenin seviyesi; kaynak edilen parçaların kalınlığına, kaynağın uygulanış şekline ve bilinen genel kaynak faktörlerine bağlı olup, özellikle kök paso uygulamalarında daha da belirgin hale gelmektedir.

Örnek Uygulama :

Şekil-2'de; % 4-6 Cr, % 0,5 Mo'li çelik martenzitik bölgede yeralan **S** noktası ile gösterilmiştir.

% 20 Cr, % 10 Ni ve % 3 Mo'li östenitik tip elektrod ise **B** noktasında bulunup kimyasal analizi gereği % 7 oranında ferrit içeren iki fazlı bir yapıya sahiptir.

% 25 Cr ve % 20 Ni'li elektrod ise tamamen östenitik yapıda olup **C** noktasında bulunur. "**SB**" doğrusu (mavi çizgi) % 30'luk bir seyrelme ile **O** noktasının yakınından geçer ve çatlaksız bir kaynak bağlantısı elde edilebilir. Yapılan deney ve araştırmalar da bu tahminlerin doğruluğunu kanıtlamıştır. Bu tür bir



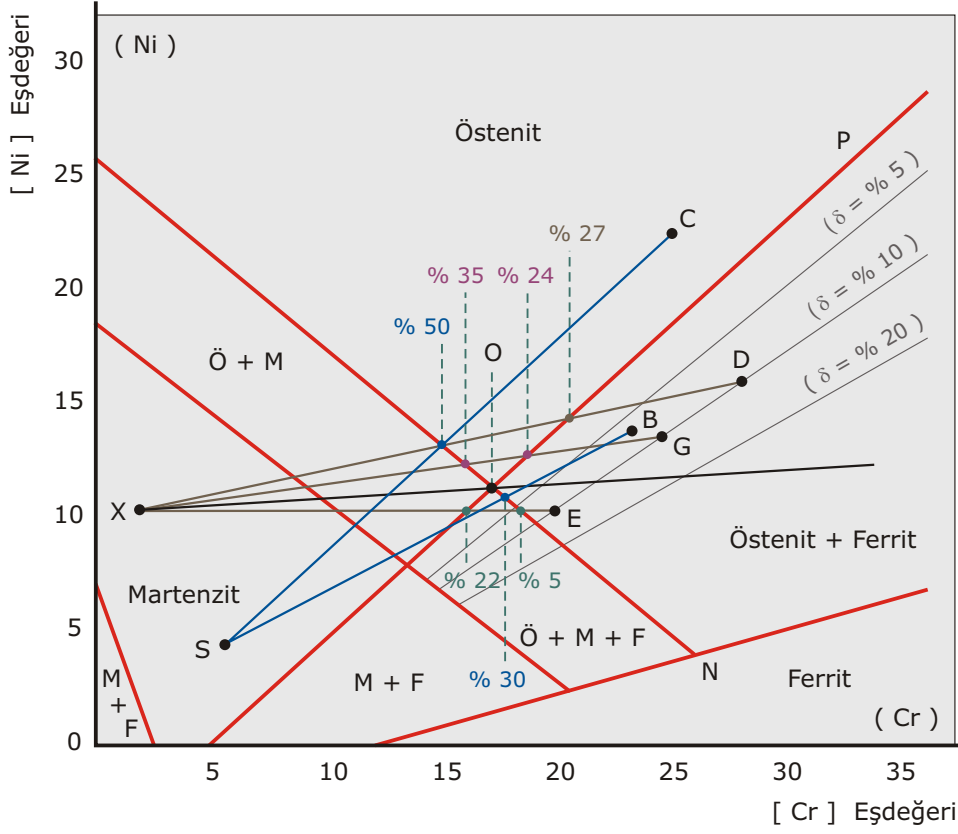
Şekil 1 - Ferritik çeliklerin östenitik elektrodlarla gerçekleştirilen heterojen bağlantı yapılarını gösteren SCHAEFFLER Diyagramı

kaynak bağlantısına ait içyapının görünümü **Şekil-3**'de yer almaktadır. Yapı tamamen östenitiktir ve seyrelmenin hissedilir bir şekilde arttığı kök pasoya ait bağlantı bölgesinde **Şekil-4**'de görüldüğü gibi bir miktar martenzit oluşmuştur.

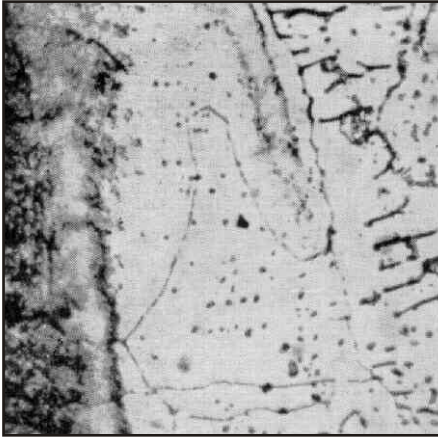
Eğer **S** noktasını östenitik yapıdaki **C** noktası ile birleştirecek olursak % 50'ye kadarki seyrelme oranlarında, bağlantı bölgesi erime bölgesinde olduğu gibi tamamen östenitik alana rastlar. Bu yapı, özellikle sıcak çatlamalara karşı duyarlıdır ve bu tür kaynaklı birleştirmelerde erimiş bölgede **Şekil-5**'de görüldüğü gibi mikro çatlaklara raslanmıştır.

Havada sertleşebilen ve **Şekil-2**'de **X** noktası ile temsil edilen çeliğin östenitik elektrodlarla kaynak edilerek birleştirilmesini ele alacak olursak daha farklı seyrelme oranları ile karşılaşırız.

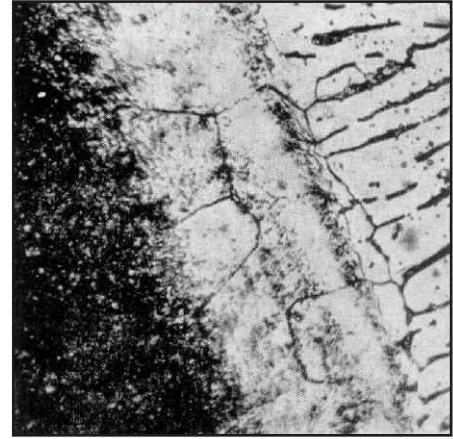
% 10 ferrit içeren, östenitik yapıdaki bir elektrod SCHAEFFLER Diyagramı'nda **D** noktası ile temsil edilmektedir. Bu elektrodu temsil eden **D** noktası ile ana metali temsil eden **X** noktasının birleştirilmesi sonucu elde edilen "**XD**" doğrusu (kahverengi çizgi) "**OX**" doğrusunun (siyah çizgi) üstünde olup % 27'ye kadarki seyrelme oranlarında östenit ve bir miktar ferrit içeren bağlantı bölgeleri verir. Yapılan deneyler bu tür bir kaynaklı bağlantının çatlaklardan uzak olduğunu göstermiştir.



Şekil 2 - % 4-6 Cr içeren ve orta derecede ısı dayanımına sahip çeliklerin heterojen birleştirme işlemlerini gösteren SCHAEFFLER Diyagramı



Şekil 3 - Elektrik ark kaynağı yöntemi uygulanmış, tamamen östenitik yapıya sahip olan heterojen bağlantı bölgesinin içyapı görüntüsü. Ana metal sertleşebilme özelliğine sahip olup, kaynak işleminde % 20 Cr, % 10 Ni, % 3 Mo'li elektrod kullanılmıştır. Seyrelme oranı ise % 30 seviyesinde tutulmuştur.



Şekil 4 - Kaynaklı bağlantı Şekil-3'dekinin aynısı olup kaynak ağzının kök kısımlarında oluşan martenzit hattı görülmektedir.



Şekil 5 - Heterojen bir kaynak bağlantısında % 25 Cr, % 20 Ni'li bir elektrod kullanılması ile oluşan erime bölgesi. Mikro çatlaklar östenit ağı boyunca uzanmaktadır.

% 10 ferrit içeren bir diğer elektrod da % 18 Cr, % 8 Ni yapısında olup **E** noktasında yer almaktadır.

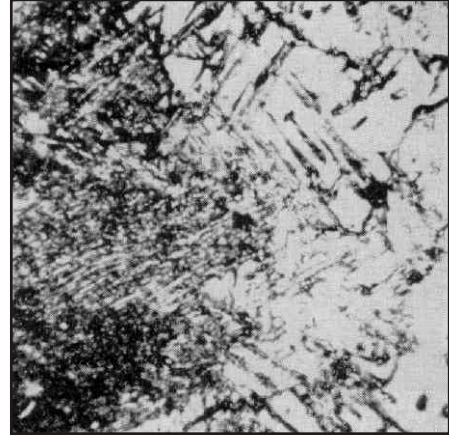
$$Ni_{(eş)} = 10,5$$

$$Cr_{(eş)} = 20,0 \text{ olarak hesaplanır.}$$

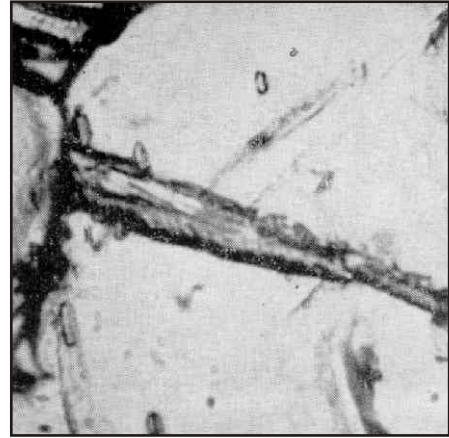
Bu elektrod % 5 seyrelmeden sonra bağlantı bölgesinde martenzit oluşmasına neden olur. Bu varsayım, büyük martenzit ağlarını östenitik zeminde görünür kılan mikrografik muayene ile de doğrulanmaktadır (Şekil-6).

Bazı durumlarda; saf östenitik yapı, özellikle gerilme etkisi altında, bağlantı bölgesinde çatlama neden olabilir. Şekil-7, bu tür bir bağlantı bölgesine ait çatlama göstermektedir.

Şekil 7 - Havada su alabilen bir çeliğin % 20 Cr, % 10 Ni, % 3 Mo'li elektrodla kaynağı. Bağlantı bölgesinde, östenitik-ferritik yapı yerini çatlak oluşumuna elverişli östenitik yapıya terketmiştir.



a



b

Şekil 6 - Heterojen kaynaklı bağlantıda bağlantı bölgesinde martenzit oluşumu (a), martenzitik yapının detay görüntüsü (b).



R, D tipi ve rijit açılı kaynaklı bağlantılarda aşağıda analizi verilen elektrod problemsiz kaynak dikişleri vermektedir.

Karbon (C)	: %	0,07
Manganez (Mn)	: %	1,16
Silisyum (Si)	: %	0,42
Nikel (Ni)	: %	10,20
Krom (Cr)	: %	20,50
Molibden (Mo)	: %	3,30

Buna göre :

$$Ni_{(e\%) } = 13,0$$

$$Cr_{(e\%) } = 24,4 \quad \text{olarak hesaplanır.}$$

Bu değerleri temsil eden nokta **G** olup % 10 kadar ferrit içermektedir. Kabul edilebilir seyrelme oranı ise % 24'dür. "**XG**" doğrusu **O** noktasının biraz üstünden geçer. Ancak bu alaşıma sahip bir elektrodun çalışmalarda istenilen sonucu veren tek çözüm olmadığı gerçeği gözardı edilmemelidir. Çünkü bu bölgede yeralan birçok ürün çatlaksız bağlantılar verebilmektedir.

Tüm bunların yanında, yığılan kaynak metali başka şartları da yerine getirmelidir. Özellikle silisyum miktarı, bu elementin ferrit dengeleyici özelliğine rağmen, belirli bir sınırdan tutulmalıdır.

KAYNAKTA SAĞLIK ve GÜVENLİK



Kendinizi ve diğer çalışanları koruyun. Kaynak dolgu malzemelerinin ambalajlarına üretici firmalar tarafından yapılandırılan etiketleri dikkatli olarak okuyun ve doğru olarak anlamaya özen gösterin.

DUMANLAR ve GAZLAR sağlığınıza için zararlı olabilir. ARK IŞINLARI gözlerinize zarar verebilir ve cildinizde yanmalar oluşturabilir. ELEKTRİK ÇARPMASI öldürücü olabilir.

- Üretici firmaların talimatlarını ve işverenin güvenlik ile ilgili uyarılarını dikkatli okuyup anlamaya özen gösterin.
- Başınızı dumandan uzak tutun.
- Genel çalışma ortamından ve nefes alma bölgenizden duman ve gazları uzaklaştırmak için havalandırma sistemlerinden ve duman emme sistemlerinden yararlanın ya da her iki sistemi birlikte kullanın.
- Göz, kulak ve vücudunuzu korumak için doğru kıyafet ve malzemeler kullanın.
- Elektrik yüklü parçalara dokunmayın. Cildiniz, elbiseniz ya da eldivenleriniz nemli ise elektrik yüklü parçaların ya da elektrodların bunlara değmesini engelleyin.
- Kendinizi iş parçasından ve topraktan izole edin.

DİKKAT!...

Paslanmaz çelikler gibi yüksek oranda krom içeren malzemelerin kaynağında bir takım özel havalandırma ve/veya duman emme sistemlerinin kullanılması önerilmektedir. Paslanmaz çelik dolgu malzemelerinin normal kullanımından kaynaklanan duman ve gazlar yüksek oranda krom bileşikleri içermektedir. Krom için izin verilen maksimum değer olan 0.5 mgr/m³ ve/veya krom-VI için izin verilen maksimum değer olan 0.05 mgr/m³ seviyelerinin, toplam kaynak dumanının sınır değeri olan 5.0 mgr/m³'e ulaşmadan önce aşılabilmesi unutulmamalıdır.

DOLGU MALZEMESİNİ KULLANMADAN ÖNCE İLGİLİ ÜRÜNE AİT "ÜRÜN GÜVENLİK BİLGİ FORMU"NU DİKKATLE OKUYUN.

- American National Standard, Z49.1
"Safety in Welding and Cutting"
American Welding Society
P.O. Box 351040
Miami, FLORIDA 33135
U.S.A.
- OSHA Safety and Health Standards, 29 CFR 1910
U.S. Government Printing Office
Washington, DC 20402-0001
U.S.A.

AYRINTILI BİLGİ ALINABİLECEK YARDIMCI KAYNAKLAR

Paslanmaz çeliklerin kaynağı ile ilgili daha ayrıntılı bilgiye ulaşmak için başvurulabilecek yayınların listesi aşağıda verilmiştir:

The Welding Handbook

7. Baskı, Cilt 4, Bölüm 2
American Welding Society

ANSI / AWS D10.4

Östenitik Paslanmaz Çelik Boru Donanımlarının ve Boru Hatlarının Kaynağı İçin Çözüm Önerileri
American Welding Society

AWS - A4.2

Östenitik ve Çift Fazlı Ferritik-Östenitik Kaynak Metalindeki Delta Ferrit Dokusunun Ölçülmesinde Kullanılan Manyetik Cihazların Standart Kalibrasyon İşlemleri
American Welding Society

AWS - A5.4

Paslanmaz Çeliklerin Metal Ark Kaynağında Kullanılan Örtülü Kaynak Elektrodlarının Özellikleri
American Welding Society

AWS - A5.9

Çubuk ve Tel Şeklindeki Paslanmaz Çelik Kaynak Elektrodlarının Özellikleri
American Welding Society

AWS - A5.22

Paslanmaz Çeliklerin Ark Kaynağında Kullanılan Özlü Tellerin ve TIG Kaynağında Kullanılan Tellerin Özellikleri
American Welding Society

AWS - A5.30

Birleştirilecek Parçaların Aralarına Konulan ve Çeşitli Geometrik Forma Sahip Kaynak Ürünlerinin Özellikleri
American Welding Society

ASM Metals Handbook

Kaynak ve Lehimleme
8. Baskı, Cilt 6
ASM International

ASM Metals Handbook

Kaynak, Sert Lehimleme ve Yumuşak Lehimleme
9. Baskı, Cilt 6
ASM International

AWS - FMC

Kaynak Dolgu Metalleri Karşılaştırma Tabloları
American Welding Society

ASM Metals Handbook

Metallerin Özellikleri ve Seçimi
8. Baskı, Cilt 1
ASM International

The Making, Shaping and Treating of Steels

10. Baskı
United States Steel Corporation

ASM Metals Handbook

Paslanmaz Çeliklerin, Takım Malzemelerinin ve Özel Amaçlı Metallerin Özellikleri ve Seçimi
9. Baskı, Cilt 3
ASM International

Welding Metallurgy of Stainless Steels

Erich Folkhard, Springer
Verlag, New York

KAYNAKÇA

İngilizce Kaynaklar :

- 1) Stainless Steels
Properties - How to Weld Them - Where to Use Them
John M. Gerken, Damian Kotecki
The Lincoln Electric Company, 1990
- 2) Welding Procedure Handbook of Arc Welding
The Lincoln Electric Company, Ohio, 1994
- 3) Welding Handbook
Materials and Applications - Part 2 - Volume 4
American Welding Society, Miami-Florida, 1994
- 4) Stainless Steel Weldirectory
Stick Electrodes and Techniques
The Lincoln Electric Company, Ohio, 1998
- 5) Structure Diagram for Stainless Steel Weld Metal
The Lincoln Electric Company

Fransızca Kaynaklar :

- 6) Métallurgie de la Soudure
D. Séférian
Dunod - Paris, 1959
- 7) Les Electrodes Enrobées Pour Aciers Inoxidables
The Lincoln Electric Company, France, 2001



Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Yakacıkaltı, Ankara Asfaltı Üzeri, Yanyol, Mermer Sokak, No:16
34876 Kartal / İSTANBUL

Tel : (0216) 377 30 90 - pbx Faks : (0216) 377 00 00

www.askaynak.com.tr