

KAYNAK TEKNOLOJİSİ

2. Baskı

Gazaltı Ark Kaynağı Yöntemi ve
Karşılaşılan Sorunların Giderilmesi

Örtülü Elektrod Kaynağı Yöntemi ve
Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi

Paslanmaz Çeliklerin ve
Alüminyum Alaşımlarının Kaynağı

TIG Kaynağında Güvenlik



ASKAYNAK

Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi (1 - 46)

Prof. Dr. İ. Barlas Eryürek

Gazaltı Ark Kaynağı (47 - 120)

Prof. Dr. İ. Barlas Eryürek

Gazaltı Ark Kaynağında Sorunların Giderilmesi (121 - 138)

Ahmet Sevük

TIG Kaynağında Sağlık ve Güvenlik (139 - 150)

Can Odabaş

Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı (151 - 230)

Can Odabaş

Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı (231 - 252)

Can Odabaş



Kaynak Tekniğı Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin armağandır.

Copyright © 2007

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 yayımlanamaz.

1. Baskı - 2006

20.000 adet

2. Baskı - 2007

10.000 adet

Veritas Basım Merkezi
Yeşilce Mahallesi, Diken Sokak, No:3 Seyrantepe - İSTANBUL
Tel : (0212) 269 90 65
info@veritasbaski.com.tr



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



Değerli Eğitimciler ve Sevgili Gençler,

Ülkemiz kaynak sektörünün lider kuruluşu Askaynak, bir Eczacıbaşı-Lincoln Electric ortak girişimi olarak, Türkiye'de ve dünyanın çeşitli ülkelerinde her türlü kaynak ürününün pazarlama ve satış faaliyetlerini sürdürmektedir.

Ülkemizin gelişebilmesi, teknolojik alanda dünyada yaşanan gelişmelerin izlenmesi ve bunların hızla sanayimize kazandırılarak uygulamaya sokulması ile mümkündür. Bu konuda ülkemizin tüm kişi, kurum ve kuruluşlarına çok önemli görevler düşmektedir.

Ülkemiz kaynak sektörünün lider kuruluşu Askaynak, toplumsal sorumluluk bilinci ile bu kitabı, siz değerli öğretmenlerimizin ve geleceğimizin güvencesi olan sevgili gençlerimizin kaynak konusunda ihtiyaç duyabilecekleri bilgilere ulaşabilmelerini sağlamak amacı ile hazırlamıştır.

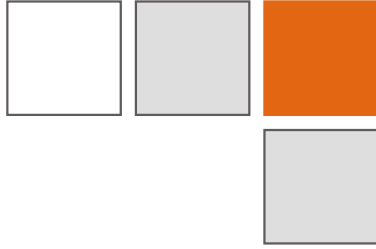
Değerli öğretmenlerim ve genç öğrenci kardeşlerim, görevinizin toplumsal katma değeri ölçülemez. Küresel rekabet ortamında, ülkemizin rekabet gücünü sizler arttıracaksınız. Bu zorlu görevinizde, elinizdeki bu kitabın sizlere önemli bir katkı sağlayacağını umuyorum. Askaynak, kaynak konularındaki her türlü sorunlarınızı cevaplamak üzere, özellikle teknoloji ve ürün seçimi konularında sürekli yanınızda olacaktır. Bu bağlamda sizleri, "www.askaynak.com.tr" adresinden internet sitemizi ziyaret etmeye davet ediyorum.

M.E.B. Erkek Teknik Öğretim Genel Müdürlüğü ile kuruluşumuz arasında imzalanan "İşbirliği Protokolü" çerçevesinde ülkemiz teknik okullarının ilgili bölüm, öğretmen ve öğrencilerine ücretsiz olarak dağıtılan bu kitabın, kaynak kitap olarak kabul edilmesi sürecinde, hazırlanmasında ve dağıtılmasında emeği geçen herkesi katkılarından dolayı yürekte kutlarım.

Baha İlkay Bayram

Eczacıbaşı - Lincoln Electric
Askaynak
Genel Müdürü

Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi



Prof. Dr. İ. Barlas ERYÜREK

İ.T.Ü. Makina Fakültesi
Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi
Anabilim Dalı Başkanı

İçindekiler

BÖLÜM 1.0	GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.0	ÖRTÜLÜ ELEKTRODLARLA ARK KAYNAĞININ ÖZELLİKLERİ	2
	2.1 Kaynak Akımı	2
	2.2 Elektrodlar İçin Uygun Kaynak Akımı Aralıkları	3
	2.3 Kaynak Pozisyonları	3
	2.4 Elektrod Örtüsünün Görevleri	6
	2.4.1 Kaynak Metalinin Korunması	6
	2.4.2 Arkın Kararlılığı	6
	2.4.3 Dikiş Profilinin Kontrolü	6
	2.4.4 Kaynak Metalinin Kontrolü	7
	2.4.5 Kaynak Metali Bileşiminin Kontrolü	7
	2.5 Elektrod Örtüsünü Oluşturan Maddelerin Görevleri	12
	2.6 Çeliklerde Kullanılan Örtülü Elektrodların Çalışma Karakteristikleri	12
	2.6.1 Asit Örtüler	12
	2.6.2 Selüloz Örtüler	12
	2.6.3 Rutil Örtüler	13
	2.6.4 Bazik Örtüler	13
	2.6.5 Demir Tozu İçeren Örtüler	14
	2.7 Kaynak Metalinin Mekanik Özellikleri	14
	2.8 Elektrod Çapı	15
	2.9 Elektrod Standartları	16
BÖLÜM 3.0	ÇELİKLERİN ARK KAYNAĞINDA ÖRTÜLÜ ELEKTROD SEÇİMİ	17
	3.1 Alaşimsız Çelikler İçin Elektrod Seçimi	17
	3.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler	17
	3.1.2 Orta Karbonlu Çelikler	18
	3.1.3 Yüksek Karbonlu Çelikler	18
	3.1.4 Sertleşebilen Çelikler	18
	3.1.5 Elektrodların Rutubet İçeriklerinin Kontrolü	20

3.2	İnce Taneli Yüksek Mukavemetli Yapı Çelikleri İçin Elektrod Seçimi	20
3.3	Yüksek Mukavemetli İslah Edilmiş Alaşımli Çelikler İçin Elektrod Seçimi	21
3.3.1	Öntavlama	24
3.3.2	Isı Girdisi ve Kaynak Teknikleri	25
3.3.3	Kaynak Sonrası Isıl İşlem	25
3.4	Isıya Dayanıklı Düşük Alaşımli Çelikler İçin Elektrod Seçimi	26
3.5	Alaşımli Çelik Çubuklar İçin Elektrod Seçimi	27
3.6	Paslanmaz Çelikler İçin Elektrod Seçimi	27
3.6.1	Kaynak İşlemleri	31
3.6.2	Öntavlama	31
	EKLER	33
	KAYNAKÇA	45

BÖLÜM 1.0**GİRİŞ**

Son elli yıldır kaynak tekniğinde meydana gelen değişmeler, kaynakla birleştirmenin imalat sektöründe giderek artan oranda yaygınlaşmasına ve kaynağa uygun yeni çelik türlerinin imalat sektörünün kullanımına sunulmasına neden olmuştur. Böylece imalat sektöründe çalışan teknik elemanlar giderek artan oranda kaynağın tasarım, imalat ve kontrol problemleriyle yüz yüze kalmışlardır. Özellikle örtülü elektrodlarla ark kaynağında, kaynak makinalarının göreceli olarak ucuz ve basit olması, kaynakçının önemli ölçüde hareket serbestisine sahip olması (kaynak makinalarından metrelerce uzak noktalarda kaynak yapılabilir) ve aynı kaynak makinasıyla sadece elektrod tipini değiştirerek farklı metallerin kaynağının yapılabilmesi bu yöntemin imalatta yaygın biçimde kullanılmasına neden olmuştur.

Elektrod seçimi, kaynaklı bağlantının tasarımı sırasında yapılır ve “her işe uygun” mükemmel elektrod mevcut değildir. Belirli bir işe en uygun elektrod, kaynak edilecek çeliğin cinsi ve mekanik özellikleri başta olmak üzere birtakım faktörler gözönüne alınarak seçilir. Doğal olarak, elektrod imalatçıları, kaynaklı imalat sektöründe kullanılan çeşitli türden çelikleri ve yukarıda değinilen faktörleri gözönüne alarak çeşitli türden çok sayıda örtülü elektrodu piyasaya sürmüşlerdir. Elektrod üreticilerinin kataloglarında, ürettikleri her tip elektrod için, bunların hangi standarta göre üretildikleri, hangi tip çelikler için kullanılacakları, yığılan kaynak metalinin kimyasal ve mekanik özellikleri, elektrodun kullanılacağı kaynak pozisyonu gibi çeşitli bilgiler yer alır. Bu kitap, bu bilgilerin niçin verildiği veya ne işe yaradığı sorusuna da açıklık getirmek amacıyla hazırlanmıştır.

BÖLÜM 2.0

ÖRTÜLÜ ELEKTRODLARLA ARK KAYNAĞININ ÖZELLİKLERİ

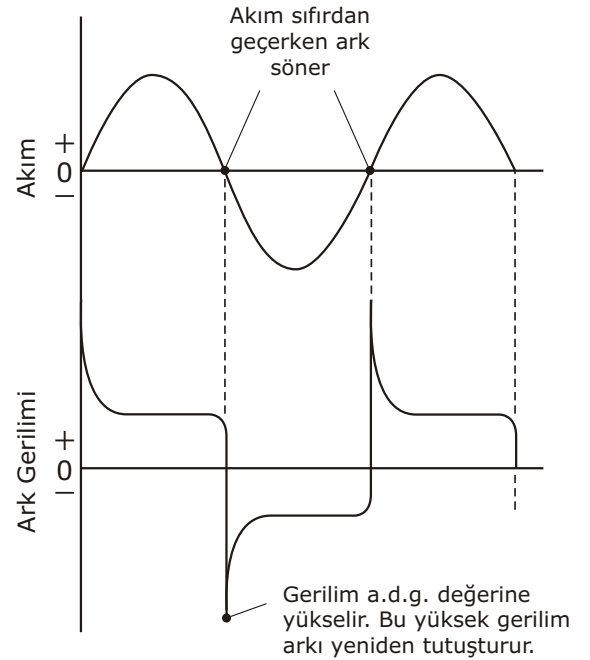
Bu bölümde, örtülü elektrodlarla ark kaynağının, elektrod seçimi bakımından önemli olan bazı özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

2.1 KAYNAK AKIMI

Örtülü elektrodla ark kaynağında doğru veya alternatif akım kullanılabilir. Elde hem alternatif hem de doğru akım makineleri bulunduğu taktirde seçim tecrübe veya kişisel tercihe göre yapılır. Ancak aşağıdaki faktörleri de gözönüne almak gerekir.

- Tüm örtülü elektrodlar doğru akımda çalışabilir, ancak belirli örtü bileşimleri alternatif akımla kararlı çalışma olanağı sağlar.
- Transformatörlerin bakımı, doğru akımda kullanılan jeneratör ve redresörlerden daha kolaydır.
- Kaynak akımı iş parçası yoluyla iletilirken oluşan manyetik etkiler nedeniyle, doğru akım arki bağlantı yerinden sapar. Bu olaya “ark üfleme” adı verilir. Günümüzdeki elektrodlarda bu olayla daha az karşılaşılacakla birlikte, gözönüne alınması gereken bir faktördür. Alternatif akımda, kararlı bir manyetik alan oluşmadığı için, ark üfleme meydana gelmez.
- Alternatif akım için daha yüksek açık devre gerilimi (a.d.g.) gerekir. Alternatif akımda, kutup değişirken akımın sıfır olduğu her sefer (saniyenin her 1/100'ünde) ark söner (Şekil-1). Eğer kaynak ban-

yonunun ergimiş halde kalması isteniyorsa arkın derhal tutuşması gerekir. Bu ise, akımın sıfıra gittiği her zaman elektroda 80 V'dan daha fazla gerilimin uygulanmasını gerektirir. Bu yüksek gerilim insan emniyeti açısından tehlike yaratır. Daha düşük (60 V) açık devre gerilimine sahip doğru akımın tercih edilme nedenlerinden biri de budur.

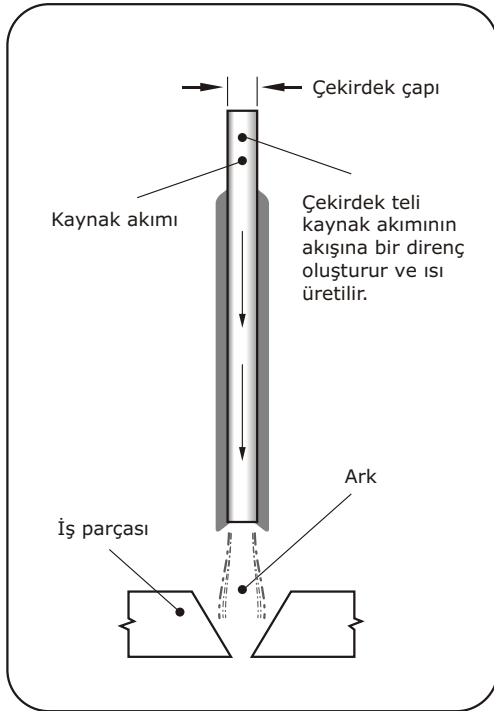


Şekil-1 Alternatif Akımla Kaynakta Akım ve Gerilimin Değişimi

- Doğru akım, alternatif akıma oranla daha kararlı bir ark ve daha yumuşak bir metal transferi sağlar. Örtülü elektrodların çoğu doğru akımda ters kutuplama (elektrod "+" kutup) ile çalışacak şekilde

üretimiştir. Ancak, özellikle doğru kutuplamada (elektrod "-" kutup) çalışmak üzere üretilmiş elektrodlar da vardır. Ters kutuplama daha fazla nüfuziyet, doğru kutuplama ise daha yüksek elektrod erime hızı sağlar.

- f) Doğru akım arkı düşük akım değerlerinde bile, sıvı haldeyken iyi ıslatma özelliğine sahip bir kaynak metali ve üniform bir kaynak dikişi oluşturur. Bu nedenle doğru akım arkı ince kesitlerin kaynağında, düşey ve tavan pozisyonlarında ve kısa ark boyu ile kaynakta tercih edilir.
- g) Alternatif akımda ark üflemesi olmadığı için daha büyük çaplı elektrodlar ve daha yüksek kaynak akımı değerleri kullanılabilir. Örneğin örtüsünde demir tozu bulunan elektrodlar alternatif akımda yüksek akım şiddetlerinde çalışmak üzere üretilmişlerdir.



Şekil-2 Örtülü Elektrodta Kaynak Akımının İletimi

2.2

ELEKTRODLAR İÇİN UYGUN KAYNAK AKIMI ARALIKLARI

Elektrodların çekirdek telleri genellikle 450 mm uzunlukta olup, çapları 2.5 ile 6 mm arasında değişir. Elektrik bağlantısı elektrodun sapından yapıldığı için bütün kaynak akımı çekirdek teli boyunca akar (Şekil-2).

Çekirdek telinin bir elektrik direnci vardır ve bu nedenle, akımın geçmesiyle birlikte çekirdekte ısı oluşur. Oluşan ısı nedeniyle sıcaklık çok yükselirse, elektrodun erken ergime tehlikesi mevcuttur. Ancak bu olmadan önce örtü hasara uğrayabilir. Sıcaklığın etkisi örtü maddeleri içindeki rutubeti buharlaştırarak örtünün ince parçalar halinde kalkmasına ve elektrodun bazı bölgelerinin çıplak kalmasına neden olur.

Aynı zamanda bazı alaşım elementlerinde meydana gelen oksidasyon kaynak dikişi bileşimini de etkiler. Elektrod imalatçıları bu konuları gözönünde bulundurarak, her bir elektrod çapı için uygulanabilecek en yüksek akım değerini verirler. Arkın kararsız hale geldiği bir alt akım değeri de mevcuttur. **Tablo-1'**de elektrodlar için tipik akım aralıkları verilmiştir. Gerçek akım değerleri örtünün tipine, bileşimine ve çekirdek telinin bileşimine bağlı olarak değişir* ve bu değerler üreticiler tarafından kendi ürünleri için belirtilir.

Tablo-1 Elektrodlar İçin Akım Aralıkları

Tel Çapı (mm)	Akım (A)	
	En Düşük	En Yüksek
2.50	50	90
3.25	65	130
4.00	110	185
5.00	150	250
6.00	220	350

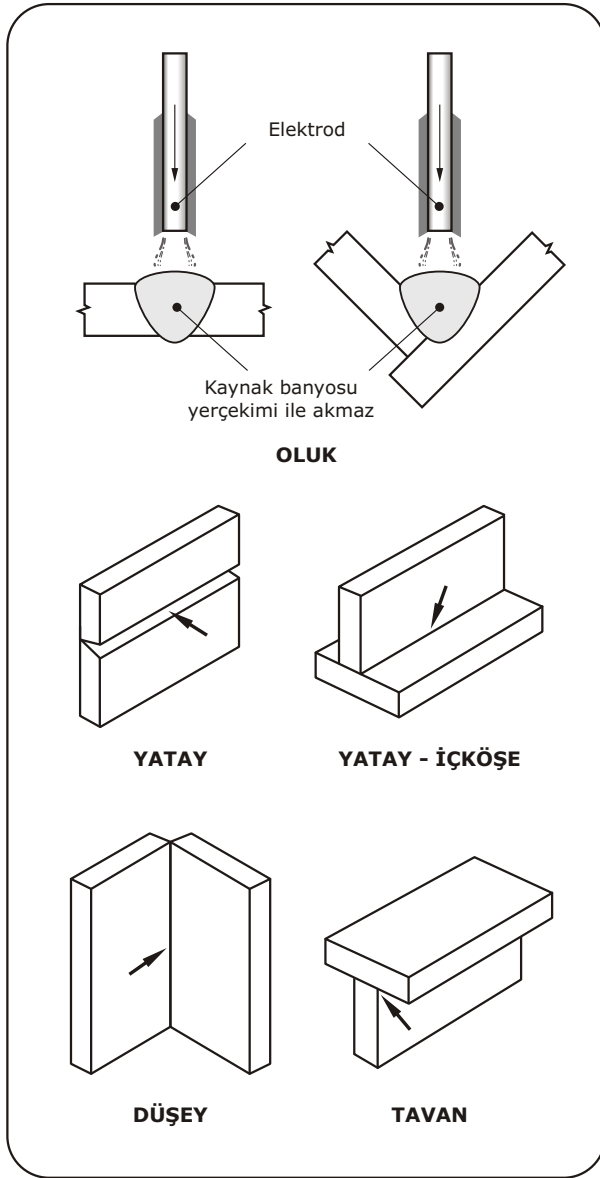
2.3

KAYNAK POZİSYONLARI

İdeal olarak, kaynak sırasında iş parçasının pozisyonu, ergimiş kaynak banyosunun yerçekimi kuvveti ile akmamasını, yani yerinde sabit kalmasını sağlayacak

*) Yüksek alaşımli çelik tellerin elektrik direnci daha büyük olduğundan akım değerleri daha düşük olur.

şekilde olmalıdır. Buna "**oluk**" pozisyonu adı verilir (**Şekil-3**). Bu pozisyon kaynakçıya kaynak banyosunu kontrol etmesi bakımından en uygun şartları sağlar. Bu pozisyonda yüksek kaynak akımı değerleri kullanılabilir ve bu nedenle kaynak daha hızlı gerçekleştirilir. Bütün kaynakların oluk pozisyonunda gerçekleştirilebilmesi için iş parçasının kolaylıkla çevrilebilmesi veya manevra edilebilmesi gerekir.

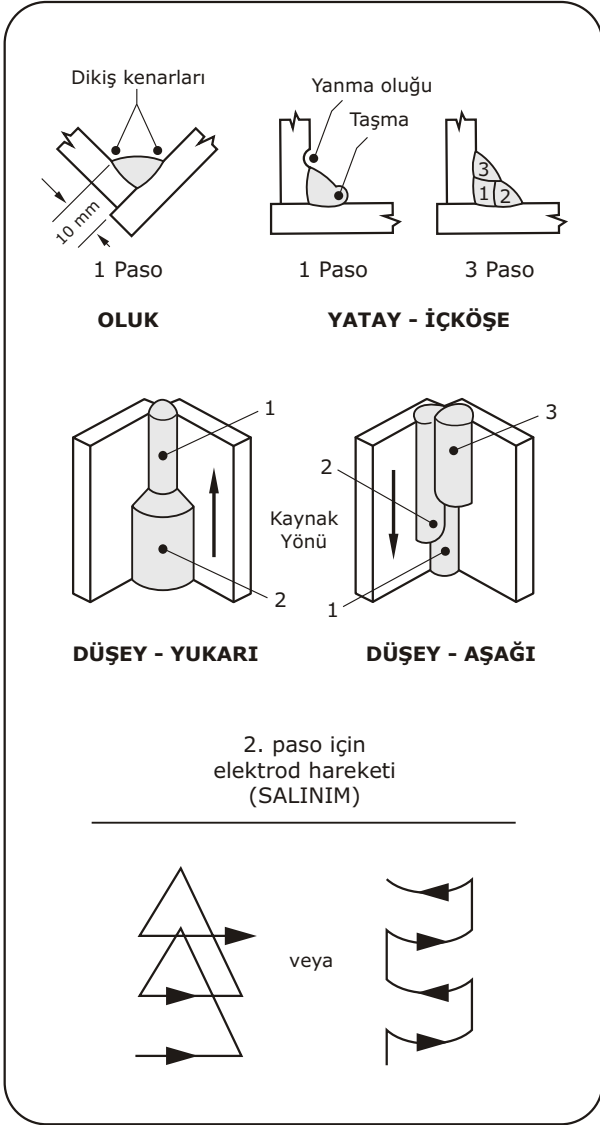


Şekil-3 Kaynak Pozisyonları

Birçok üretimde iş parçaları bu tip işlemlere uygun değildir ve bu nedenle endüstride kaynakların birçoğu da, oluk pozisyonuna ek olarak, üç farklı temel pozisyonda gerçekleştirilir. Bunlar; "**yatay**", "**düşey**" ve "**tavan**" pozisyonlarıdır. Yatay pozisyonun bir alt sınıfı vardır ve buna "**yatay içköşe**" pozisyonu adı verilir (**Şekil-3**).

Oluk pozisyonu dışındaki tüm pozisyonlarda ergimiş kaynak banyosu yer çekimi etkisiyle bağlantının dışına doğru akmaya çalışır ve bu eğilimi yenmek için uygun kaynak teknikleri kullanmak gerekir. Bu eğilimi engellemeye en büyük etken elektrod örtüsündeki katkı elementleri yoluyla elde edilir ve bu konuya ileride değinilecektir. Kaynakçı ısı girdisini azaltarak ve böylece akışkanlığı azalmış ve bağlantı yerinin dışına akmaya zaman bulamadan katılaşmış küçük bir kaynak banyosu sağlayarak kaynağı kontrol eder. Bu amaçla özellikle düşey ve tavan pozisyonlarındaki kaynaklarda küçük çaplı elektrodlar tercih edilir. Aynı zamanda arkın doğrultusu, yani elektrod eksenine ile kaynak yüzeyi arasındaki açı, kaynak banyosu en uygun konumda tutulacak şekilde değiştirilebilir. Oluk pozisyonundaki bağlantılarda 350 A'lik akım değerleri kolaylıkla kullanılabilirken diğer pozisyonlarda kaynak akımını daha düşük değerlere indirmek gerekir. Kaynakçı özellikle tavan pozisyonunda 160 A'ın üzerindeki akım değerlerinde çalışırken oldukça zorluk çeker. Verilen bir boyutta kaynak dikişinin doldurulması sırasında kullanılan paso sayısı mevcut kaynak pozisyonuna göre değişir. Bu konu bir içköşe kaynağı gözönüne alınarak açıklanabilir (**Şekil-4**).

İçköşe kaynağının ayak uzunluğu 10 mm olsun. Bu değer kaynağın köküyle dikiş kenarı arasındaki uzaklıktır. Oluk pozisyonunda 300 A'lık bir akımla dikiş tek bir pasoyla gerçekleştirilebilir. Kaynakçı bağlantı yüzeylerinin uygun biçimde ergimesini sağlamak için arka bir kenardan diğer kenara doğru hareket ettirir. Buna "**salımlı elektrod hareketi**" adı verilir. Bu teknik kullanılarak 1 metre uzunluğundaki kaynak 10 dakikada bitirilir.



Şekil-4 10 mm Ayak Uzunluğuna Sahip Çeşitli Pozisyonlardaki Bir İçköşe Kaynağının Yığılması

Eğer bağlantı yatay içköşe pozisyonundaysa, kaynak dikişini tek pasoyla yığma teşebbüsü, yatay düzleme doğru akmaya çalışan büyük ve kontrol dışı bir banyonun oluşumuna neden olur. Meydana gelen kaynak dikişi kötüdür ve dikiş kenarında taşma ve ergime azlığı mevcuttur (Şekil-4). Üniform şekle sahip kaynak dikişi elde etmek için dikiş 200 A civarındaki daha düşük akım değerleri kullanılarak 3 pasoda çekilir. Her bir paso için kaynak hızı önceki duruma göre daha

yüksek olmakla birlikte, bağlantının tamamlanması için gerekli zaman 15 dakika olup, oluk pozisyonuna oranla % 50 daha fazladır.

Kaynağın tavan pozisyonunda gerçekleştirilmesi gereken bağlantılarda akım 160 A'e düşürülür ve istenilen kaynak dikişini elde etmek için 4 veya 5 paso gereklidir. Bu durumda gerekli zaman 24 dakikaya yükselir.

Düşey pozisyondaki bağlantılarda kaynağa aşağıdan başlanır ve ark yukarı doğru hareket ettirilir. Bu, düşey pozisyondaki içköşe kaynaklarında sıkça uygulanan bir tekniktir ve "**düşey aşağıdan yukarıya kaynak**" tekniği adı verilir. Bu durumda kaynağın tamamlanması için 145 A akımda 2 paso gereklidir. Kaynakçı bağlantı yüzeylerinde yeterli ergimeyi sağlamak için elektroda üçgen biçiminde salınım hareketi verir. Salınım aynı zamanda ısının dağılmasını ve böylece de kaynak banyosu akışkanlığının kontrol edilebilmesini sağlar. Eğer kaynakçı dikiş yüzeyinin kaynak ekseninden kaçışını engelleyemiyorsa, akım 120 A değerine düşürülmeli ve dikiş 3 pasoda daha düşük salımla çekilmelidir. Bu durumda toplam kaynak zamanı kullanılan akıma bağlı olarak 20 ila 25 dakika civarındadır.

Bir başka teknik de "**düşey yukarıdan aşağıya kaynak**" tekniğidir. Kaynak bağlantının en üstünden başlar ve elektrodun ucu yığılmış kaynak metaline doğru yönlendirilmiştir. Bu durumda kaynak hızı kritik bir parametredir. Çünkü, ergimiş metalin aşağı doğru yani arkın önüne akması gerekir. Eğer akarsa, esas metalde ergime meydana gelmez. Kaynak banyosu göreceli olarak küçük olmalıdır ve bu durumda elektrod salınımı için çok az yer vardır. Bu ise, 10 mm ayak uzunluğuna sahip kaynağın en az 5 hatta 6 paso ile çekilebileceği anlamına gelir. Diğer taraftan düşey yukarıdan aşağıya kaynaklarda kaynak hızı diğerleriyle kıyaslandığında yüksektir. Bu nedenle bağlantı için toplam kaynak zamanı 17 dakika civarındadır. Düşey bağlantıların kaynağında ortaya çıkan iki temel sorun aşağıda belirtilmiştir :

- a) Çok az sayıda uygun elektrod mevcuttur,
- b) Ergime yetersizliğine maruz kalmamış dikişler oluşturmak için büyük ölçüde kaynakçı becerisi gerekmektedir.

Kitabın sonundaki **Ekler** bölümündeki **Ek Tablo-1**'de bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri verilmiştir. Bu tablonun yukarıdaki bilgiler ışığında incelenmesi yararlı olur.

2.4 ELEKTROD ÖRTÜSÜNÜN GÖREVLERİ

Örtülü elektrodlarla ark kaynağında elektrod örtüsünün kullanılmasının temel nedeni ergimiş kaynak metalini atmosferin (oksijen ve azot) kötü etkilerinden korumaktır. Aynı zamanda örtü, kaynak işleminin başarısına katkıda bulunan birkaç ek görevi de yerine getirir.

2.4.1 Kaynak Metalinin Korunması

Elektrod örtüsü ark içinde elektrod çekirdeğiyle birlikte ergir ve ergimiş metalin yüzeyini kaplayarak havadaki oksijen ve azotun kaynak banyosuna girmesini önler. Ergimiş örtü katılaştıktan sonra, kaynak dikişini oda sıcaklığına soğuyuncaya kadar korumaya devam eden bir cüruf oluşturur. Örtü bileşimi bu cürufun kolayca kaynak metali yüzeyinden kalkmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Cürufun zor kalkması cüruf temizleme zamanını, dolayısıyla kaynak maliyetini arttırdığı gibi kaynak metalinin soğumasına (ileride görüleceği gibi bazı hallerde pasolararası sıcaklığın düşmemesi gerekir) ve kaynak metali içinde cüruf parçacıklarının kalmasına neden olur. Tamamlanmış bir dikiş üzerinden kendi kendine kalkan bir cüruf ideal bir cüruf gibi görünse de bu istenilen bir durum değildir. Çünkü, kaynağın soğuma safhası sırasında cürufun kaynak dikişini örtmeye devam etmesi ve kaynak dikişini yüksek sıcaklıkta oksitleyecek hava girişini önlemesi gerekir. Cürufun kalkma

kabiliyeti örtüye başka amaçlar için katılmış bileşenlerden de etkilenir. Bu nedenle, cürufun kalkma kolaylığı elektrod örtüsünün cinsine bağlı olarak da değişir. Atmosfer etkilerine karşı ek koruma, elektrod örtüsüne ark sıcaklığında ayrışan ve gaz oluşturan maddeler katılarak sağlanır. Bu gazlar ark atmosferinde havanın yerini alarak oksijen ve azotun kaynak metaline geçme riskini azaltır. Bu maddeler ; karbon-monoksit gazı oluşturan karbonatlar veya hidrojen ve karbon-monoksit atmosferi oluşturan selülozdur.

2.4.2 Arkın Kararlılığı

Çalışma açısından arkın kararlı olması, tüm dikiş boyunca arktaki şartların kendi kendine değişmemesi anlamına gelir. Bu, arkın tepesinin daima elektrod çekirdeğinin kesit merkezinde kalması ve ark sütununun daima elektrod eksenine aynı doğrultuda olması demektir. "V" ağızlı bir kaynak bağlantısında ark, elektroddan iş parçasına en kısa yolu arayarak, kaynak ağızının bir yüzeyinden diğerine hareket etmemeli, kaynakçı tarafından belirlenen doğrultuda sabit kalmalıdır. Aynı zamanda, elektrodun ucu üniform olarak ergimeli ve ergimiş metal kaynak banyosuna ark kararlılığını bozmadan geçmelidir.

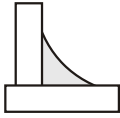
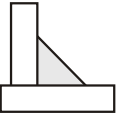
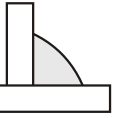
Bir başka açıdan arkın kararlılığı, arkın kaynağın başlangıcında kolaylıkla tutuşturulabilmesi ve alternatif akım kullanılması halinde her bir yarım çevrimin başlangıcında (**Şekil-1**) arkın yeniden tutuşabilmesidir. Her iki halde de ark aralığındaki gaz mümkün olan en düşük gerilim değerinde hızla iyonize olmalıdır. İyonizasyon, örtüye titanyumoksit, potasyum silikat ve kalsiyum karbonat katılarak kolaylaştırılır. Esasta başka amaçlar için örtüye katılan silikatlar ve oksitler aynı zamanda arkın kararlılığını da arttıırırlar.

2.4.3 Dikiş Profilinin Kontrolü

Örtü bileşenlerinin kaynak dikişinin profilini nasıl kontrol ettiğini anlamak için önce kaynak banyosunun

yüzey geriliminin bu konuda oynadığı role bakılması gerekir. Eğer yüzey gerilimi yüksekse ergimiş metal yüzeyi dışbükey (konveks) hale gelir. Düz bir yüzey üzerinde sıvı, katı yüzeyle olan ortak yüzeyini azaltmaya çalışır ve sıvı ile katı yüzeyin temas açısı 90°'ye kadar yükselir. Yani, ergimiş kaynak metalini katı esas metali ıslatmaz. Diğer taraftan, eğer sıvının yüzey gerilimi düşükse temas açısı küçüktür ve ergimiş metal iyi bir ıslatma özelliğine sahiptir. Sonuçta banyo yüzeyi çok düz olur. Bu uç hallerin ikisi de kaynakta istenmez. Çok yüksek yüzey gerilimi yalnız kötü bir kaynak profili vermekle kalmaz, kaynak metalinin bir "V" ağzının köküne doğru üniform bir biçimde akmasını da engeller. Buna karşılık çok düşük yüzey gerilimi, kaynak profilinin kontrolünü ve kaynak banyosunun boyutlarının sınırlanmasını güç hale getirir. Aynı zamanda, ark birleşme yüzeylerini ergitecek zamanı bulmadan evvel, kaynak metalinin bağlantı yüzeylerinin üzerine akma tehlikesi de mevcuttur. Bu nedenle, uygulamada başarılı bir kaynak profili elde etmek için yüzey geriliminin uygun bir değerde olması gerekir. Ark kaynağında kaynak banyosunun yüzey gerilimi kaynak metalindeki oksijen seviyesi ile kontrol edilir. Kaynak metalindeki oksijen seviyesini örtünün içindeki oksijen miktarı belirler. Eğer kaynak metalinde oksijen azsa bu element bir denge oluşturmaya kadar ergimiş örtüden kaynak metaline iletilir. Örtüde oksijen miktarı ne kadar yüksekse kaynak metalindeki oksijen seviyesi o kadar yüksek olur. Bunun yüzey gerilimine ve sonuçta da kaynak profiline etkisi **Tablo-2**'de verilen yatay içköşe kaynağında gösterilmiştir.

Tablo-2 Örtüdeki Oksijen Miktarının Kaynak Profiline Etkisi

Oksijen İçeriği	Yüksek	Orta	Düşük
Yüzey Gerilimi	Düşük	Orta	Yüksek
Dikiş Profili			
	İçbükey	Düz	Dışbükey

2.4.4

Kaynak Metalinin Kontrolü

Cüruf kaynak metalini yerinde tutmaya yardımcı olan bir kalıp gibi kullanılabilir. Bunun için sıvı cürufun uç fiziksel özelliği denge halinde tutulmalıdır. Birincisi, cüruf kaynağın kökünden serbestce akabilecek akışkanlığa sahip olmalıdır. Böylece, kaynak dikişi katılaştığında cürufun dikiş içinde hapsolme tehlikesi ortadan kalkar. Bununla birlikte akışkanlık çok fazla olmamalıdır. Aksi takdirde sıvı cüruf kaynak metalini yüzeyinden akarak uzaklaşır. Eğer cürufun yüzey gerilimi yeterli derecede yüksekse problemin çözümü kolaylaşır. Çünkü yeterli ölçüde yüzey gerilimi cürufun bulunduğu yerde kalmasına yardımcı olur. Son olarak cüruf, kaynak metalinin bağlantı yerinden akıp uzaklaşma eğilimini sınırlamaya yardımcı olan katı bir engel oluşturmak üzere hızla katılaşabilmelidir.

2.4.5

Kaynak Metalinin Bileşiminin Kontrolü

Örtülü elektrodların en büyük avantajlarından biri, kaynak metalinin bileşiminin ayarlanmasının örtüye katılan alaşım elemanları vasıtasıyla yapılabilmesidir. Daha önce belirtildiği gibi, kaynak banyosunun oksijen içeriği, bu elementin örtü içindeki miktarına büyük ölçüde bağlıdır. Benzer şekilde, örtüye ferro-manganez şeklinde manganez katılacak olursa bu manganez kaynak dikişine geçecektir. Kaynak dikişine geçen gerçek manganez miktarı, yalnız örtüdeki manganez miktarına değil, örtünün genel bileşimine de bağlıdır. Verilen bir örtü bileşimi ve kaynak metalini ikilinde, alaşım elemanları bu ikili arasında az çok sabit bir oranda dağılırlar. Alaşım geçişi şüphesiz iki yönde de olabilir. Eğer örtünün oluşturduğu cüruftaki manganez oranı daha düşükse, bu element kaynak banyosundan cürufa doğru belirli bir oran sağlanıncaya kadar geçer. Böylece sadece örtü bileşimini değiştirerek kaynak metaline bağlı elementlerin ilave edilmesi veya kaynak metalinden bazı elementlerin uzaklaştırılması sağlanabilir.

Bu geçiş mekanizmasıyla çok iyi bir kontrol gerçekleştirilir. Elektrod örtüsünün kalınlığı çok yakın toleranslarda imal edilebilir. Böylece, örtü/çekirdek teli oranı üretimde sabit tutulabildiğinden, belirli bir kaynak metali bileşimi elde etmek için gerekli alaşım elemanı miktarı elektrod imalatçıları tarafından hesaplanabilir. Genel anlamda kaynak metali bileşiminin kontrol edilmesinde gözönüne alınması gereken üç temel konu vardır. Bunlar :

- 1 - Alaşımlandırma
- 2 - Oksit giderme ve
- 3 - Kirlenme olarak adlandırılır.

1) Alaşımlandırma :

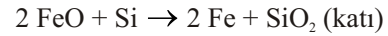
Eğer çekirdek teli kaynak metalinde arzu edilen kimyasal bileşimi verebilecek bir bileşime sahipse, sadece cürufa doğru alaşım elemanı kaybını engellemek yeterlidir. Bu durumda örtüye alaşım elemanı ilavesi gereksizdir. Bu demirdışı metallerde ve bazı paslanmaz çeliklerde karşılaşılan bir durumdur. Düşük karbonlu çeliklerde ve düşük alaşımlı çeliklerde alaşımlı çekirdek telleri pahalıdır ve bu nedenle alaşımlandırmayı kaynak banyosunda gerçekleştirmek tercih edilir. Diğer bir deyişle, çekirdek teli düşük karbonlu olup, manganez, krom ve molibden gibi alaşım elemanları örtüye katılır. Bu, elektrod imalatçısına önemli ölçüde esneklik verir ve değişik tip elektrodları aynı çekirdek teli ile imal etme olanağı sağlar. Bu durum, alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan ve nispeten az sayıda üretilen özel bileşimdeki elektrodlar için, elektrod imalatçısına ek bir kolaylık getirir.

2) Oksit giderme :

Eğer çelikteki ergimiş kaynak banyosu çok miktarda oksijen içerirse, karbonmonoksit habbecikleri oluşur ve bunlar katılaştıran kaynak metali içinde hapsolarak gözenekli bir kaynak dikişine neden olurlar. Karbonmonoksit gazı oksijenle çelikteki karbonun reaksiyonu sonucu oluşur.



Karbonmonoksit çelikte çözünemez ve çeliğin bünyesinden gaz habbesi halinde atılır. Gözenek oluşturma dışında, bu reaksiyonla kaynak metalinde meydana gelen karbon kaybı kaynak metalinin mukavemetini de etkiler. Reaksiyon bu nedenlerle engellenmelidir ve bu amaçla örtüye oksit giderici elementler katılır. Oksit gidericiler oksijene kuvvetli bir ilgiye sahiptir. Kaynak banyosuna oksit giderici katıldığında, oksijen karbonla reaksiyona girmek yerine oksit gidericiyle birleşmeyi tercih eder. Bu şekilde oluşan katı oksit kaynak banyosunun yüzeyinde yüzerek cürufa karışır. Çeliklerin kaynağında en çok kullanılan oksit giderici silisyum olup örtüye ferro-silisyum şeklinde katılır. Bu durumda, kaynak banyosundaki oksit giderme reaksiyonu aşağıdaki gibi oluşur:



3) Kirlenme (Contamination) :

Buraya kadar kaynakta arzu edilen iyileşmeleri sağlamak amacıyla örtüye katılan maddelerden bahsedilmiştir. Ancak örtüden zararlı etkilerin de gelebileceği gözönüne alınmalıdır. Buna örnek olarak, özellikle yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında "soğuk çatlama"ya neden olan hidrojen verilebilir. Hidrojen, normalde hem absorbe olur hem de kimyasal bağlı rutubet içeren elektrod örtüsünden gelir. Absorbe edilen (dışarıdan gelen) rutubet miktarını elektrodu kurularak azaltmak mümkündür. Ancak kimyasal olarak bağlı rutubet elektrod örtüsündeki kimyasal bileşiklere bağlıdır. Elektrod örtüsündeki rutubet, kaynak sırasında, yüksek ark sıcaklığının etkisiyle hidrojen ve oksijen atomlarına ayrılır ve açığa çıkan bu hidrojen kaynak banyosuna geçer.

Hidrojen atomunun çelik içinde sıcaklığa bağlı iki önemli özelliği vardır :

- a) Hidrojen en fazla sırasıyla sıvı çelikte ve östenitik yapıdaki çelikte çözünür. Ferritik yapıdaki çelikte hidrojenin çözünme kabiliyeti en düşüktür. Bu nedenle, kaynak metali sıvı halden itibaren katılaştır

faz dönüşümleri olurken (sıvı → ostenit → ferrit) oluşan bu yeni yapıdan giderek fazla miktarlarda hidrojen atılır. Kaynak metali daima esas metale oranla daha az karbon içerdiğinden düşük karbonlu kaynak metalinde faz dönüşümleri esas metale göre daha yüksek sıcaklıklarda yani daha erken olur. Bu nedenle, kaynak metali ferrite dönüşürken esas metalin ITAB*'ı henüz östenitik yapıda olduğundan hidrojen hızla kaynak metalinden ITAB'a doğru atılır.

- b) Çeliğin sıcaklığı azaldıkça hidrojen atomunun çelik içinde yayınma yani hareket etme hızı azalır.

Yukarıdaki nedenlerle, kaynak metaline ark atmosferinden geçmiş ve yapıda çözünmüş olan hidrojen atomları kaynak metalinin katılaşması ve soğuması sırasında yapıdan atılırlar. Ancak, bu hidrojenin bir kısmı yüksek sıcaklıkta yapıdaki boşluklara, süresizliklere ve diğer mikroskopik hatalara yayınarak oralarda toplanırlar. Kaynaktaki soğuk çatlaklara, geriye kalan "yayınabilir" yani kapanlara toplanmamış hidrojenin neden olduğu düşünülmektedir. Bu yayınabilir hidrojen kaynak metalinden hızla ITAB'a yayınır ve ITAB'ın dışındaki esas metal bölgesinde sıcaklık düşük olduğundan yayınma ITAB'dan esas metale doğru devam edemez (b maddesi) ve ITAB'da büyük miktarda hidrojen birikmesi olur**.

Kaynak bağlantısında soğuk çatlamanın meydana gelebilmesi için aşağıdaki şartların sağlanması gerekir :

- Çatlamaya eğilimli gevrek bir mikroyapı, özellikle martenzit,
- Kaynak dikişinde yeterli miktarda hidrojen,
- Kaynak dikişinde çekme gerilmeleri.

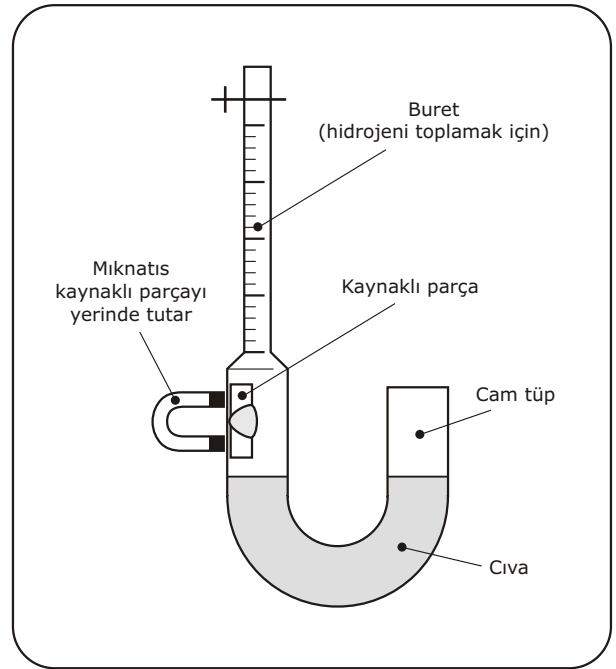
Genellikle kaynak metalinin karbon içeriği esas metale nazaran düşük olduğundan gevrek martenzitik yapı

*) ITAB : Isının Tesiri Altındaki Bölge

**) İş parçasına kaynaktan önce yapılan ön tavlama esas metalin sıcaklığını da arttırdığından hidrojenin esas metalde de yayınmasına, dolayısıyla da ITAB'daki hidrojen derişikliğinde azalmaya neden olur. Ayrıca, öntavlama kaynak soğuma hızını ve dolayısıyla ITAB'daki martenzit miktarını azaltır. Her iki faktörde de soğuk çatlama olasılığının azalmasına neden olur.

***) Ölçmeyle ilgili geniş bilgi ISO 3690-1976 (E) standartında verilmiştir.

ITAB'da meydana gelir. Yukarıda açıklanan nedenlerle ITAB'da hidrojen derişikliğinin de yüksek olması nedeniyle soğuk çatlaklar genelde ITAB'da meydana gelir. Yukarıdaki faktörlerin herhangi birinin ortadan kalkması soğuk çatlama eğilimi azaltır. Bu nedenle, ileride de görüleceği gibi, sertleşebilen (yani soğuma sırasında yavaş soğuduğu halde ITAB'ında sert martenzit oluşabilen) çeliklerde kaynak bölgesindeki hidrojen düzeyini en aza indirmek için düşük hidrojenli bazik elektrodlar kullanılır.



Şekil-5 Yayınabilir Hidrojen İçin Ölçme Düzeneği

Kaynak Metalindeki Yayınabilir Hidrojen Miktarı :

Çeşitli tipteki elektrodlardan kaynak dikişine geçen yayınabilir hidrojen miktarı, kontrollü şartlar altında çekilmiş kaynak dikişinden, verilmiş bir zaman içinde yayınan hidrojen miktarı ölçülerek*** tesbit edilir (Şekil-5).

Sonuç, 100 gr kaynak metali başına mililitre cinsinden hidrojen olarak ifade edilir ve ölçülen değer ml/100 gr şeklinde belirtilir.

Bu deneyden elde edilen verilere göre elektrodlar üç sınıfa ayrılırlar :

1) Ekstra Düşük Hidrojenli Elektrodlar (H1) :

Yığılan kaynak metalinde 5 ml/100 gr'dan az yayınabilir hidrojen oluşturan elektrodlar bu sınıfa girer. Aşağıdaki elektrodlar bu şartı sağlar :

- 400°C'da kurutulmuş ve 2 saat içinde kullanılmış bazik elektrodlar,
- 400°C'da kurutulmuş ve daha sonra hidrojen seviyesini 5 ml/100 gr üzerine çıkarmadığı gösterilmiş tutma fırınlarında tutulan ve 2 saat içinde kullanılan bazik elektrodlar.

2) Düşük Hidrojenli Elektrodlar (H2) :

Yığılan kaynak metalinde 10 ml/100 gr'dan daha az yayınabilir hidrojen oluşturan elektrodlar bu sınıfa girer. Aşağıdaki elektrodlar bu şartları sağlar :

- İyi izole edilmiş ve yeni açılmış bir kutudan çıkarılan bazik elektrodlar ile, 400°C'da kurutulmuş ve 4 saat içinde kullanılmış bazik elektrodlar,
- İyi izole edilmiş ve yeni açılmış bir kutudan çıkarılan veya 400°C'da kurutulmuş ve daha sonra da hidrojen içeriğini 10 ml/gr üzerine çıkarmadığı gösterilmiş tutuma fırınlarında tutulmuş ve tutma fırınından çıkarıldıktan sonra 4 saat içinde kullanılmış bazik elektrodlar.

3) Kontrolsüz Hidrojenli Elektrodlar (H3) :

Bu sınıfta, selülozik elektrodlar da dahil olmak üzere H1 ve H2 sınıfına dahil olmayan tüm elektrodlar girer.

Soğuk Çatlama Hassasiyetinin Hesaplanması :

Soğuk çatlama hassasiyeti, çeliğin kimyasal bileşimini ve kaynak metalindeki hidrojen düzeyini gözönüne alan “soğuk çatlama hassasiyeti” parametresi yoluyla saptanabilir. Bu parametre Ito ve Bessyo'nun karbon eşdeğeri (P_{cm}) formülünü ve ml/100 gr olarak kaynak dikişindeki yayınabilir hidrojen düzeyini (H) kullanır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir :

$$12 P_{cm} + \log_{10} H$$

Esas metalin karbon eşdeğeri P_{cm} aşağıdaki ifadeyle verilir :

$$P_{cm} = C + \frac{Mn+Si+Cu+Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B$$

Formüldeki elementler esas metalde bulunan elementlerin ağırlık yüzdeleridir. P_{cm} 'nin hesaplanması için gerekli bilgiler aşağıdaki yollardan biriyle elde edilebilir.

- Esas metalin kimyasal analizi yapılır,
- Kimyasal analiz mümkün değilse, esas metal için standartlarda verilen kimyasal bileşim değerlerinin üst sınırları seçilir.

H1=5 ml/100 gr, H2=10 ml/100 gr ve H3=30 ml/100 gr değerleri için, soğuk çatlama hassasiyeti **Tablo-3'**de verilen çeşitli sınıflara ayrılmıştır.

Tablo-3'de A en düşük çatlama hassasiyetini, F ise en yüksek çatlama hassasiyetini temsil eder.

Tablo-4, 5 ve 6'da üç farklı zorlanma seviyesi için, çatlama hassasiyetine bağlı olarak, minimum öntavlama ve pasolararası sıcaklıklar verilmiştir. Minimum öntavlama ve pasolararası sıcaklıklar esas olarak hidrojenin neden olduğu soğuk çatlama önlemek için seçilir. Bu tabloların kullanılması için bağlantı zorlanması kalitatif olarak saptanmalıdır. Zorlanma, kaynak

dikişinin soğuması sırasında kendini çekmesine karşı kaynak edilen sistemin gösterdiği dirençtir. Bu direnç katılaştıran kaynak metaline sistemin uyguladığı çekme gerilmeleri şeklinde kendini gösterir.

Görüldüğü gibi, daha önce açıklanan ve soğuk çatlama etkili olan üç faktör ; gevrek yapı (martenzit) oluşturabilen esas metal P_{cm} yoluyla, yayınabilen hidrojen H yoluyla ve çekme gerilmeleri de zorlanma derecesi yoluyla gözönüne alınmış ve çatlama için gerekli öntavlama ve pasolararası sıcaklıklar bu faktörlere bağlı olarak seçilmiştir.

Esas metalin sıcaklığı **Tablo-4, 5 ve 6**'da belirtilen değerlerin altındaysa, parçalar belirtilen minimum sıcaklığa öntavlmalıdır. Levhaların her iki yüzeyi kaynak doğrultusunda ve buna dik doğrultuda 75 mm'den az olmamak kaydıyla parça kalınlığına eşit mesafede önerilen minimum sıcaklığın üzerine çıkmalıdır. Bu tablolardaki öntav sıcaklıklarının hesabında ısı

girdisi* 1575 kJ/m olarak alınmıştır. Daha yüksek enerji girdileri ITAB'ın soğuk çatlama hassasiyetini azalttığından, gerekli öntav sıcaklıkları da azalır.

Örtülü elektrodla ark kaynağında en düşük hidrojen içeriği, örtüsünde çok miktarda kalsiyum bileşikleri içeren elektrodlarla elde edilir. Yukarıda da belirtildiği gibi bu elektrodlara bazik elektrodlar adı verilir. Daha geniş bilgi ileride verilmiştir.

Örtü nedeniyle gelen diğer kirlenmeler genellikle bir kaza sonucu ortaya çıkar. Depolama sırasında örtüye yağ ve gres bulaşabilir. Asitle temizleme tanklarının civarında bırakılmış elektrodlar rutubetli sülfür buharı absorbe edebilir. Tüm bunlar örtü tarafından ark yoluyla kaynak banyosuna iletilirler. Bu nedenle, iyi kalitede kaynak dikişi elde etmek isteniyorsa, elektrodların dikkatli bir şekilde depolanması ve kullanılması gerekir.

Tablo-3 Soğuk Çatlama Hassasiyetinin Sınıflandırılması

H (ml/100 gr)	P_{cm} (%)					
	≤ 0.18	≤ 0.23	≤ 0.28	≤ 0.33	≤ 0.38	≤ 0.43
5 (H1)	A	B	C	D	E	F
10 (H2)	B	C	D	E	F	-
30 (H3)	C	D	E	F	-	-

Tablo-4 Düşük Zorlanmalı İçköşe Kaynakları İçin Minimum Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar

Kalınlık (mm)	Sıcaklık (°C)					
	Hassasiyet					
	A	B	C	D	E	F
< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	60	140
10 - 20	"	"	"	"	105	"
20 - 40	"	"	"	65	115	"
40 - 80	"	"	50	90	120	"
> 80	"	"	90	100	125	"

*) Isı girdisi "Q" yandaki eşitlikle verilir. $Q = f (E \times I \times 60 / v \times 1000)$ (kJ/m)

Burada, "E" ark gerilimi (V), "I" kaynak akımı (A), "v" kaynak hızı (m/dak), "f" ise ısı iletim verimi olup örtülü elektrodlarla ark kaynağında bu değer yaklaşık 0.8'dir.

Tablo-5 Normal Zorlanmalı Alın Kaynakları İçin Minimum Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar

Kalınlık (mm)	Sıcaklık (°C)					
	Hassasiyet					
	A	B	C	D	E	F
< 10	< 20	< 20	< 20	< 20	< 60	140
10 - 20	"	"	"	80	140	150
20 - 40	"	30	100	140	150	150
40 - 80	70	110	140	150	150	150
> 80	100	150	150	"	"	"

Tablo-6 Yüksek Zorlanmalı Alın Kaynakları İçin Minimum Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar

Kalınlık (mm)	Sıcaklık (°C)					
	Hassasiyet					
	A	B	C	D	E	F
< 10	< 20	< 20	< 20	100	150	150
10 - 20	"	60	120	150	"	"
20 - 40	90	150	150	"	"	"
40 - 80	120	"	"	"	"	"
> 80	125	"	"	"	"	"

2.5 ELEKTROD ÖRTÜSÜNÜ OLUŞTURAN MADDELERİN GÖREVLERİ

Bir örtünün formülü hazırlanırken çok sayıda kimyasal bileşik kullanılır. **Tablo-7**'de çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodların örtülerine katılan maddeler ve bunların görevleri verilmiştir.

2.6 ÇELİKLERDE KULLANILAN ÖRTÜLÜ ELEKTRODLARIN ÇALIŞMA KARAKTERİSTİKLERİ

Çeliklerin kaynağında kullanılan dört temel grup elektrod mevcuttur*. Bunlar örtülerinde, çalışma karakteristiklerini belirleyen, farklı temel katkı maddelerine sahiptirler.

2.6.1 Asit Örtüler

Bunlar esas olarak oksit ve silikatlardan meydana gelmiştir ve yüksek oranda oksijen içerirler. Bu nedenle, içbükey olmaya eğilimli dikiş profili verirler. Cüruf gözenekli ve bal peteğini andırır görünüştedir ve kolaylıkla kalkar. Kaynak dikişleri iyi bir sünekliğe sahip olmakla birlikte kaynak mukavemeti düşüktür. Bu nedenle asit örtülü elektrodlar geniş ölçüde kullanılmaz.

2.6.2 Selüloz Örtüler

Bunlarda büyük miktarda, selüloz içeren maddeler bulunur. Ağaç ve diğer bitkisel esaslı maddeler bu amaçla sıkça kullanılır. Organik bileşenler ark

*) Elektrodların standart gösterilişleri için "Ekler" bölümündeki Ek Tablo-2 ve Ek Tablo-3'e bakınız.

Tablo-7 Elektrod Örtüsünü Oluşturan Maddeler ve Görevleri

Madde	Esas Görevi	İkinci Görevi
Demir oksit	Cüruf oluşturur	Arkı kararlı kılar
Titanyum oksit	Cüruf oluşturur	Arkı kararlı kılar
Magnezyum oksit	Yüzey gerilimini ayarlar	-
Kalsiyum florid	Cüruf oluşturur	Yüzey gerilimini ayarlar
Potasyum silikat	Arkı kararlı kılar	Bağlayıcı görevi görür *
Diğer silikatlar	Cüruf oluşturur, bağlayıcıdır	Yüzey gerilimini ayarlar
Kalsiyum karbonat	Gaz oluşturur	Arkı kararlı kılar
Diğer karbonatlar	Gaz oluşturur	-
Selüloz	Gaz oluşturur	-
Ferro-manganez	Alaşımlandırır	Oksit giderici etki yaratır
Ferro-krom	Alaşımlandırır	-
Ferro-silisyum	Oksit giderici etki yaratır	-

*) Bağlayıcı örtüye mukavemet kazandırır ve örtünün elektrod çekirdeğine yapışmasını sağlar.

sıcaklığında ayrışarak hidrojen oluştururlar. Bu hidrojen ark sütunundaki havanın yerini alır. Hidrojenin varlığı ark gerilimini ve sonuçta da ark nüfuziyetini artırır. Verilen bir akım için, selüloz elektrodlarla elde edilen nüfuziyet derinliği diğer elektrodlara nazaran % 70 daha fazladır. Örtüdeki maddelerin büyük bir miktarı ayrıştığından meydana gelen cüruf tabakası incedir. Dikiş profili hafif dışbükeydir. Özellikle düşey yukarıdan aşağıya kaynaklarda bu örtüye sahip elektrodlar çok başarılı biçimde kullanılırlar. Dikişin mekanik özellikleri iyi olmakla birlikte, hidrojen içeriği yüksek olduğundan, bu elektrodlar yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılmaz.

2.6.3 Rutil Örtüler

Bunların esas maddesi titanyum oksittir. Bu madde iyi bir cüruf oluşturma özelliğine sahiptir ve kullanımı kolay, kararlı bir ark oluşturur. Yığılmış dikiş orta derecede oksijen içerir ve bu nedenle dikiş profili iyidir. Cüruf kolay kalkar. Örtüdeki katkı maddelerini ayarlamak suretiyle viskozite ve yüzey gerilimi değiştirilerek sadece oluk pozisyonuna veya tüm pozisyonlara uygun elektrod üretmek mümkündür.

Kaynak dikişinin mekanik özellikleri birçok yapı çeliğine uygun olacak mertebededir. Ancak yüksek çekme dayanımlarına ulaşmak mümkün değildir. Örtü kurutulabilir, ancak içinde daima örtüyü birarada tutan, kimyasal olarak bağlı su bulunur. Eğer bu su giderilecek olursa örtünün bağları hasar görür. Kaynak metalinin yayınabilir hidrojen içeriği yüksek olup, 25-30 ml/100 gr mertebesinde. Bu değer, yüksek mukavemetli çelikler için kabul edilebilen sınırların üzerindedir.

2.6.4 Bazik Örtüler

Örtü esas olarak kalsiyum-florid ve kalsiyum-karbonat gibi kalsiyum bileşiklerini içerir. Bu elektrodlar yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılır. Elektrodlar 400°C'daki kurutma fırınlarında kurutulmuş ve kullanıncaya kadar 150°C'lık tutma fırınlarında tutularak kaynak metalinin yayınabilir hidrojen içeriği 10 ml/100 gr seviyelerine düşürülür. Bu seviyede yüksek mukavemetli çeliklerde çatlama riski en az düzeye iner. Bu şekilde işleme tabi tutulmuş elektrodlara “**hidrojen kontrollü**” elektrod adı verilir. Kaynak metalinin mekanik özellikleri çok iyidir ve düşük alaşımlı çeliklere benzer kimyasal bileşimde

kaynak metali elde etmek mümkündür. Ancak cürufun oksijen içeriği düşük olduğundan kaynak profili dışbükeydir. Cürufun kalkması zordur.

2.6.5 Demir Tozu İçeren Örtüler

Bazı hallerde, elektrod verimini arttırmak için örtüye demir tozu katılır. Elektrod verimi yığılan metal kütesinin ergiyen çekirdek kütesine oranı olarak tanımlanır :

$$\text{Elektrod Verimi (\%)} = \frac{\text{Yığılan Metal Kütle}}{\text{Ergiyen Çekirdek Kütle}} \times 100$$

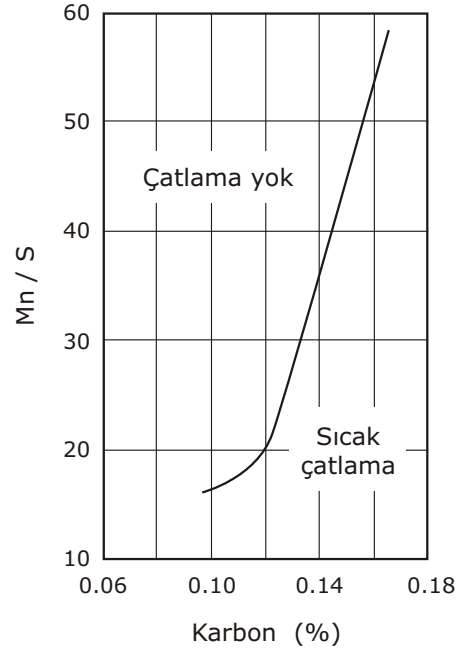
Genelde örtülü elektrodların verimi % 75-90 arasındadır. Kaynak sırasında ergiyen çekirdek metalinin bir kısmı buharlaşma ve oksidasyon yoluyla kaybolur. Ancak esas kayıp kaynak sırasındaki sıçramadan yani arktan dışarı fırlayan ergimiş damlalar (sıçrama kayıpları) yoluyla meydana gelir.

Eğer örtüye demiroksit katılacak olursa elektrod verimi % 100'ün üzerine çıkabilir. Buna göre, verimi % 160 olan bir elektrodla çekilen dikişte kaynak metalinin % 60'dan fazlası örtüden gelir. Kalanı ise ergimiş elektrod çekirdeğidir. Örtüye demiroksit katılması yüksek bir yağma hızı sağlamakla kalmaz cürufun oksijen içeriğini arttırarak kaynağın pürüzsüz ve düz bir yüzeye sahip olmasına neden olur. Cüruf kolaylıkla kalkar ve elektrodlar oluk ve yatay içköşe pozisyonlarında kolaylıkla kullanılabilir.

2.7 KAYNAK METALİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Bir kaynak bağlantısının mekanik özellikleri hem yığılmış kaynak metalinin hem de buraya komşu ve kaynak ısı işleminden etkilenmiş esas metalin (ITAB) mekanik özelliklerinden etkilenir. Bu nedenle kaynaktan sonra hem kaynak metalinde hem de ITAB'da mey-

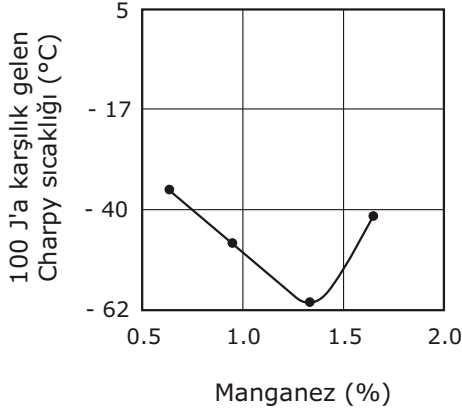
dana gelebilecek tokluk azalmasından ve çatlama kaçınmak gerekir. Örneğin alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında, kaynak metalinin karbon yüzdesi hem kaynak metalinde maksimum tokluk elde etmek için ve hem de sıvı sülfid filminin neden olduğu "sıcak çatlama"ya karşı maksimum direnç sağlamak için % 0.1'in altında ve mümkün olan en düşük seviyede tutulur. Sıcak çatlama eğilimi azaltmak için çeliğe genellikle manganez katılır. Kaynak metalinin karbon içeriği arttıkça, sıcak çatlama kaçınmak için kaynak metalinin manganez/kükürt oranı (Mn/S) arttırılmalıdır (Şekil-6).



Şekil-6 Kaynak Metalinin Karbon İçeriğinin ve Kaynak Metalindeki Mn/S Oranının Sıcak Çatlama Etkisi

Bu nedenle, birçok ticari elektrod mümkün olduğunca düşük oranda karbon ve kükürt içerir. Karbonun düşük olması nedeniyle mukavemette meydana gelen kayıp ise elektrodla katılan diğer alaşım elemanları ile telafi edilir. Ancak aşırı alaşımlandırma kaynak metalinde sert yapıların oluşmasına ve kaynak metali tokluğunun azalmasına neden olur. Örneğin düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında

manganez miktarını arttırmak, kaynak metali tokluğunu artırır. Kaynak metalinde maksimum tokluk % 1.4 Mn oranında meydana gelir. Ancak kaynak metalinin manganez içeriğinin daha da artması sertliği arttırmakla birlikte kaynak metali tokluğunun azalmasına neden olur (Şekil-7).



Şekil-7 Düşük Alaşımli Çeliklerde Kaynak Metalinin Manganez İçeriği İle Çentik Darbe Tokluğu Arasındaki İlişki

Diğer taraftan, tüm sıcaklıklarda sünek olan yüzey merkezli kübik kristal yapıya sahip metallerin (östenitik çelikler, bakır, nikel alaşımları vb.) tersine çelik gibi hacim merkezli kübik kristal yapıya sahip metallere, mikroyapı, tane büyüklüğü, karbon ve alaşım içeriği ve inklüzyon içeriği (özellikle kükürt ve oksijenle ilgili) gibi metalurjik faktörlerden de etkilenen bir geçiş sıcaklığının altında süneklikten gevrekliğe geçiş gösterirler. Bir başka deyişle, çelik bileşimindeki bir kaynak metalinin normal sıcaklıklarda tok olması onun düşük sıcaklıklarda da tok olacağını garanti etmez. Bu nedenle, özellikle düşük sıcaklıklarda çalışacak kaynaklı yapılarda kaynak metalinin düşük sıcaklıklarda tok olması garanti edilmelidir. Tokluk kontrolünde en kolay yöntem, çentik darbe deneyiyle elde edilmiş "çentik darbe tokluğu (enerjisi)" değeridir*. Bu değer düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen deneylerde ne kadar büyük çıkarsa kaynak metali o kadar tok demektir. Bu deneylerden elde edilen değerler doğru-

dan tasarımda kullanılmamakla birlikte, kaynaklı yapıların gevrek kırılmasıyla ilgili olarak yıllardır oluşan deneyimler sonucu, kaynaklı yapıların çalışma şartlarındaki davranışlarıyla kaynak metalinin çentik darbe tokluğu arasında ampirik ilişkiler kurulmuş ve kaynak metalinin çentik darbe tokluğu, çeşitli sıcaklıklarda (+20, 0, -30, -40°C) en az 28 J ve 47 J'lük çentik darbe enerjileri verecek şekilde sınıflandırılmıştır. Doğal olarak kaynaklı yapının çalışma sıcaklığı azaldıkça, düşük sıcaklıkta daha yüksek çentik darbe enerjisi veren elektrodlar seçmek gerekir.

2.8 ELEKTROD ÇAPI

Verilen bir kaynak işi için seçilecek elektrod çapı büyük ölçüde kaynak edilecek metalin kalınlığına, kaynak pazisyonuna (başlık 2.3) ve bağlantı tipine (alın, içköşe, dışköşe, bindirme) bağlıdır.

Kalın malzemelerde, yüksek akım değerlerinin uygulanabildiği kalın elektrodlar kullanılır. Bu elektrodlarda kullanılan yüksek akım değerleriyle bağlantıda tam bir ergime ve uygun bir nüfuziyet sağlanır. Ayrıca büyük çaplı elektrodların yığıma hızları (Kaynak Metali Ağırlığı (kg) / Ark Süresi) küçük çaplılara nazaran daha yüksektir.

Daha önce de açıklandığı gibi, yatay, düşey ve tavan pozisyonlarında kaynak yapılırken, ergimiş kaynak banyosu yerçekimi kuvvetinin etkisiyle bağlantının dışına doğru akmaya eğilimlidir. Bu eğilim banyo büyüklüğüne bağlı olarak değişir ve kaynak banyosunun boyutları küçük tutularak azaltılabilir. Bunun için de küçük çaplı elektrod kullanmak gerekir. Bu pozisyonlarda ark kuvvetleri ve elektrod manipülasyonu da ergimiş kaynak metalini kontrol etmede yardımcı olurlar.

Elektrod çapı seçiminde kaynak ağzının şekli de gözönüne alınmalıdır. İlk pasalarda kullanılan elektrod

*) Son yıllarda şartnamelerde, kaynak metalinin tokluğunun belirlenmesinde CTOD (Crack Tip Opening Displacement), çatlak ucu açılma deplasmanı parametresinin de kullanılması istenmektedir.

çapları, bağlantının kökündeki elektrod manipülasyonunu kolaylaştırmak için küçük olmalıdır. "V" biçimindeki kaynak ağızlarında, kökten ergimiş metal akmasını önlemek için ilk pasoda küçük çaplı elektrod kullanılır. Daha derin nüfuziyet ve daha yüksek yığıma hızı sağladığından kaynağı tamamlamak için daha kalın çaplı elektrodlar kullanılır.

Genellikle, kaynak sırasında ısı girdisi ile ilgili sınırlamaları ihlal etmeyen ve gerekenden fazla kaynak dikişi yığımayan en büyük çaplı elektrodlar tercih edilmelidir. Gerekli olandan daha büyük kaynak dikişleri hem maliyeti arttırır hem de bağlantıda gerilme yığılmalarına neden olarak özellikle bağlantının yorulma dayanımını azaltırlar.

Seçilecek en doğru elektrod çapı, uygun kaynak akımı ve kaynak hızında çalışırken en az zamanda istenen büyüklükte kaynak dikişi oluşturan elektrod çapıdır.

2.9

ELEKTROD STANDARTLARI

Her üretici elektrodlarına kendi özel isimlerini vermekle birlikte elektrodlar belirli standartlara göre üretilirler ve bu standartlara ait belirli işaretlerle belirtilirler. Ülkemizde alaşimsız ve düşük alaşımlı çelikler için en çok TS 563 EN 499 Türk Standartı, AWS A5.1/ASTM-233 Amerikan Standartı ve EN 499 Avrupa Standartı kullanılmaktadır. Türk Standartı Avrupa Standartından aynen alındığı için **Ek Tablo-2** ve **Ek Tablo-3'**de Avrupa ve Amerikan Standartları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

BÖLÜM 3.0

ÇELİKLERİN ARK KAYNAĞINDA ÖRTÜLÜ ELEKTROD SEÇİMİ

“En iyi elektrod hangisidir?” sorusuna bir cevap vermek mümkün değildir. Herbir uygulama için aşağıdaki soruları sorarak en uygun elektrod türünün seçilmesi gerekir.

- Kaynak edilecek çeliğin kimyasal bileşimi, ısıtım işlem durumu, mekanik işlem durumu ve mekanik özellikleri nedir ?
- Kaynakta çatlama riski var mıdır ?
- Kaynak metalinden istenen mekanik ve kimyasal özellikler nedir ?
- Elde hangi tip kaynak makinası mevcuttur ?
- Kaynak pozisyonu nedir ?
- Bağlantı tipi nedir ?
- Kaynak edilecek çeliğin kalınlığı nedir ?
- Isı girdisinde herhangi bir sınırlama var mıdır ?

Bu sorulara cevap verdikten sonra ekonomik fiyatta optimum performansı veren bir elektrod seçilir.

Yukarıdaki maddelerden (a), (b) ve (h) doğrudan kaynak edilecek çeliğin özellikleriyle ilgilidir. (g) maddesi bir yönüyle kaynak soğuma hızlarını ilgilendirdiğinden çeliğin cinsiyle ilişkilidir. Ayrıca kalınlık kaynak sırasında dikişin zorlanmasını belirleyen bir faktör olduğundan (b) maddesi ile ilişkisi vardır. (c) maddesini kaynak edilecek çeliğin mekanik ve kimyasal özellikleri ve kaynak bağlantısının çalışma koşulları belirler. Görüldüğü gibi, çelikler için elektrod seçiminde çeliğin kimyasal ve mekanik özellikleri birinci derecede rol oynar. İlerideki bölümlerde görüleceği gibi elektrod seçiminde kaynak metalinin esas

metalle kimyasal bileşim uygunluğunun mu yoksa mekanik özellik uygunluğunun mu önemli olduğu çelik cinsine bağlı olarak değişir. Örneğin alaşimsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kaynak metalinin mekanik özelliklerinin eşit olması istenir. Kimyasal bileşimde uyuşmanın önemi yoktur. Aksine, örneğin kaynak metalinin karbon oranı esas metalden özellikle düşük tutulur. Bu nedenle, TS 563 EN 499 numaralı, alaşimsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodlarla ilgili Türk standardında "Kaynak metalinin istenen (mekanik) özelliklerde olmasını sağlamak şartıyla, elektrodların kimyasal bileşiminin seçiminde imalatçı serbest bırakılmıştır." cümlesi mevcuttur. Buna karşılık paslanmaz çeliklerin kaynağında kaynak metalinden de paslanmazlık özelliği beklendiğinden kaynak metalinin kimyasal bileşimi de önem kazanır.

3.1 ALAŞIMSIZ ÇELİKLER İÇİN ELEKTROD SEÇİMİ

Bu çelikler içerdikleri karbon yüzdelerine göre aşağıda açıklanan üç farklı grup altında sınıflandırılır.

3.1.1 Düşük Karbonlu Çelikler

Bunların karbon içeriği % 0.30'dan daha azdır. Kaynak edilecek kesitlerin 25 mm'den ince olması ve şiddetli bir bağlantı zorlanması altında olmaması şartıyla* bu çelikler öntavlanmasız, son tavlama ve özel bir tedbir

*) 1 Mpa = 1 N/mm² = 0.1 kgf/mm²

almadan kaynak edilebilirler. Düşük karbonlu çeliklerin elektrod seçimi nadiren kritik bir olaydır ve seçim genelde arzu edilen çekme dayanımına göre yapılır. Bu çeliklerin kaynağında düşük karbonlu çelik çekirdek teline sahip olan ve daha önce belirtilen herhangi bir tür elektrod kullanılabilir. Doğal olarak hangi türün tercih edilmesi gerektiğini daha önce sıralanan listedeki diğer faktörler tayin eder. Bu çeliklerin kaynağında minimum 430* MPa'lık çekme dayanımı ve minimum 330 MPa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan 60XX elektrodları kullanılabilir. Daha yüksek mukavemette kaynak metali gerekirse minimum 510 MPa'lık çekme dayanımı ve minimum 360 MPa'lık akma dayanımına sahip kaynak metali oluşturan 70XX elektrodları kullanılabilir. Çentik tokluğunun da önemli olduğu hallerde arzu edilen seviyede çentik tokluğuna sahip kaynak metali veren elektrod seçilmelidir (**Ek Tablo-2** ve **3**).

3.1.2

Orta Karbonlu Çelikler

Bunların karbon yüzdesi % 0.30-0.50 arasında değişir. Bu çelikler de ark kaynağı ile başarılı bir biçimde kaynak edilebilirler. Kaynak bölgesinde fazla miktarda martenzit oluşması ve martenzit sertliğinin yüksek oluşu (karbonun fazla olmasından) öntavlamanın, son tavlamanın veya her ikisinin birden uygulanmasını gerektirir. Yüksek kaynak soğuma hızları oluşturan bağlantı tasarımlarında ve kaynak işlemlerinde, martenzit oluşumunu engellemek için öntavlama uygulamak gerekir. Martenziti menevişlemek ve ITAB'daki tokluğu iyileştirmek amacıyla da kaynak sonrası ısıtım işlemi uygulanır. Kaynak işleminde örneğin, büyük "V" kaynak ağızı kullanmak veya çok pasolu kaynak yapmak gibi bazı modifikasyonlar soğuma hızını ve dolayısıyla da çatlama olasılığını azaltır.

Çeliğin karbon içeriği arttıkça ark kaynağı için ilave metal seçimi kritik hale geldiğinden düşük hidrojenli bazik elektrodlar kullanmak gerekir. Karbon içeriği % 0.5'e ulaştığında düşük hidrojenli bazik elektrod kullanma şartı kesin hale gelir.

3.1.3

Yüksek Karbonlu Çelikler

% 0.5'den fazla karbon içerirler. Bunların kaynağı çatlama eğilimleri nedeniyle zordur. Kaynakta genellikle aşırı sertlik ve gevreklik oluşur. Ark kaynağında en iyi sonucu almak için düşük hidrojenli bazik elektrodlar kullanmak gerekir. Orta ve yüksek karbonlu çelikler sertleşebilen çelikler sınıfına girdiklerinden bu çelikler için elektrod seçimi sertleşebilen çelikler alt başlığı altında incelenmiştir.

3.1.4

Sertleşebilen Çelikler

Bu çeliklerin kaynağında düşük hidrojenli bazik elektrod kullanmak çok önemlidir. Selüloz içeren örtüye sahip elektrodlar kaynaktaki sertleşmiş bölge tarafından absorbe edilen hidrojen salarlar. Bu ise özellikle yüksek karbon eşdeğerine sahip çeliklerde çatlamalara neden olur. Düşük hidrojenli elektrod kullanarak, uygun depolama ve kurutma şartları sağlayarak, esas metalden karbon almayı en aza indirerek, esas metalin ergimesini en aza indiren elektrod ve kaynak tekniklerini seçerek, öntavlama ile uygun pasolar arası sıcaklık uygulayarak (**Ek Şekil**) çatlama riski en az seviyeye indirilir. Yüksek karbon içerikli ve yüksek sertleşme kabiliyetine sahip kaynaklı yapıyı daha pasolararası sıcaklığın üzerinde ve bu sıcaklıkta iken kaynak sonrası gerilim giderme tavı fırınına sokmak gerekir.

Seçilecek elektrodun tipi ve boyutu çeliğin bileşimi ve kalınlığına, bağlantı hazırlığına, kaynak pozisyonuna ve mevcut kaynak akımına bağlıdır.

Sertleşebilen çeliklerin kaynağında en çok kullanılan elektrodlar E7016, E7018, E7028, E8016-C1, E8016-C3, E8018-C1, E8018-C3, E10016-D2 ve E10018-D2'dir. Bu grup içinde en sık kullanılan elektrod E7018'dir. Yukarıdaki elektrodlar için geçerli kaynak akımı aralığı **Tablo-8**'de verilmiştir.

*) Böyle bir durumda alınacak tedbirler için Ekler bölümündeki **Şekil**'e (Sayfa 35) bakınız.

Tablo-8 Elektrodlar İçin Kaynak Akımı Aralığı *

Elektrod Çapı (mm)	Akım (A)					
	E7015 E7016	E7018	E8016-C1 E8018-C1	E8016-C3	E8018-C3	E10016-D2 E10018-D2
2.50	65 - 110	70 - 100	80 - 120	70 - 90	70 - 95	60 - 100
3.25	100 - 150	115 - 165	100 - 150	100 - 130	110 - 140	80 - 120
4.00	140 - 200	150 - 220	150 - 185	130 - 180	130 - 200	140 - 190
5.00	180 - 255	200 - 275	200 - 250	165 - 230	165 - 290	180 - 250
6.00	300 - 390	315 - 400	300 - 425	290 - 330	320 - 400	300 - 400

*) Düşey ve tavan pozisyonları için alt akım değerleri, oluk pozisyonu için üst akım değerleri kullanılır.

E7016 Elektrodlar :

Düşük hidrojenli, düşük karbonlu çelik elektrodlardır. Alternatif akımda ve doğru akımda elektrod pozitif olarak kullanılır. Bu elektrod hidrojen çatlamasına maruz kalabilen sertleşebilen çeliklerin kaynağında kullanılabilir. Bu elektrodlar, kaynak edilecek metal öntavlamaya tabi tutulmadan veya düşük hidrojenli elektrodlar dışındaki diğer elektrodlara nazaran daha düşük öntavlama sıcaklığı ile kullanılabilir. Ancak E7016 elektrodu öntavlamasız kullanılırsa öntavlamalı hale nazaran daha düşük kaynak metali tokluğu elde edilir. E7016 elektrodu yüksek kükürt içeren çeliklerin (otomat çeliği) kaynağında da kullanılabilir. Düşük hidrojenli olmayan elektrodlar bu durumda gözenekli kaynak metaline neden olur. Bu elektrod kullanıldığında, orta derecede nüfuziyete sahip olan arkın mümkün olduğunca kısa tutulması gerekir. Cürufun giderilmesi orta derecede zordur ve dikiş şekli hafifçe dışbükeydir.

E7018 Elektrodlar :

Düşük hidrojenli, düşük karbonlu demirtozlu bazik elektrodlardır. Alternatif akımda ve doğru akımda elektrod pozitif olarak kullanılır. Kaynak metali E7016'dakine benzer bileşimdedir. Elektrod örtüsü düşük hidrojenli E7016 elektrodu gibidir. Ancak E7018'deki % 25-45 demir tozu bu elektroda daha yüksek yığıma hızı verir. E7018 elektrodu ile orta derecede nüfuziyeti olan arkın mümkün olduğunca

kısa tutulması gerekir. Elde edilen dikiş şekli hafifçe dışbükeydir. E7018 elektrodları her türlü kaynak pozisyonunda kullanılabilir ve bu nedenle geniş bir uygulama alanı bulunur.

E8016-C1 ve E8018-C1 Elektrodlar :

Alternatif akımda ve doğru akımda elektrod pozitif olarak kullanılan düşük hidrojenli bazik elektrodlardır. Kaynak metali % 2.5 civarında nikel (Ni) içerir. Bu elektrodlar (16 bazik potasyum silikat, 18 bazik demir tozu) düşük sıcaklıkta çentik tokluğu istenen uygulamalarda geniş ölçüde kullanılır. Bu elektrodların çalışma karakteristikleri E7016'ya benzerdir.

E8016-C3 ve E8018-C3 Elektrodlar :

E8016-C3 elektrodu düşük hidrojenli bazik elektrod olup düşük alaşımlıdır ve hem alternatif akımda hem de doğru akımda elektrod pozitif olarak kullanılır. Kaynak metali yaklaşık % 1 nikel (Ni) içerir. Bu elektrodların demir tozlu tipleri E8018-C4 olarak adlandırılır. Bu elektrodların çalışma karakteristikleri sırasıyla E7016 ve E7018 elektrodlarına benzerdir.

E10016-D2 ve E10018-D2 Elektrodlar :

Düşük hidrojenli düşük alaşımlı bazik elektrodlardan olup hem alternatif akımda hem de doğru akım elektrod pozitif olarak kullanılır. Kaynak metali % 1.75 Mn ve % 0.35 Mo içerir. Bu elektrodlar yüksek sertleşme kabiliyeti olan yüksek mukavemetli çelikler için

geliştirilmiştir. Ancak yüksek kaynak metali mukavemeti istendiği hallerde % 0.3 ve daha fazla karbon içeren çeliklerde de kullanılır.

3.1.5 Elektrodların Rutubet İçeriklerinin Kontrolü

Sertleşebilen karbonlu çelikler hidrojen içeren bir elektrod ile kaynak edildiklerinde çatlamaya maruz kaldıklarından elektrod örtüsünün rutubet içeriği çok düşük seviyede tutulmalıdır. Bu ise dikkatli bir depolama ve kullanımla mümkündür.

Düşük hidrojenli elektrod dışındaki tüm elektrodların rutubet içeriği şu şekilde tayin edilir. Örtüden alınan 1 gr civarındaki numune 105°C sıcaklıktaki bir elektrik fırınında 1 saat kurutulduktan sonra tartılır. Bulunan ağırlık kaybının kurutma öncesi ağırlığa oranı, yüzde olarak elektrod örtüsünün rutubet içeriğini verir. Düşük hidrojenli elektrodların rutubet içeriği AWS A5.1 ve A5.5'de belirtilen özel yöntemlerle tayin edilir.

Tablo-9'da çeşitli elektrodlar için tavsiye edilen rutubet miktarları ve bunların depolama ve kurutma şartları verilmiştir.

Kurutma sıcaklıkları örtünün bileşimine ve kalınlığına bağlı olarak değişir. Organik malzemeler içeren örtüler

120°C'ın altındaki sıcaklıkta (kavrulma sıcaklığı) kurutulurlar. Buna karşılık düşük hidrojenli tiplerde bulunan inorganik örtüler 425°C sıcaklıklara kadar kurutulabilirler. Özel elektrodlar için imalatçıların tavsiye ettiği değerler kullanılmalıdır.

Düşük hidrojenli elektrodların (E7016, E7018, E7028 gibi) rutubet içerikleri **Tablo-9**'da verilen değerlerden daha düşük olmalıdır (tercihen % 0.3'den daha düşük). Eğer rutubet içeriği bu değer üzerinde ise dikişaltı çatlakları oluşabilir. Düşük hidrojenli elektrodların kutuları ortamın izafi rutubetine bağlı olarak 2 ile 8 saatten fazla açık tutulmamalıdır. Kutusu açılıp kullanılmamış elektrodlar kullanılmadan önce 120-450°C sıcaklıktaki fırınlarda en az 8 saat tutulmalıdır.

3.2 İNCE TANELİ - YÜKSEK MUKAVEMETLİ YAPI ÇELİKLERİ İÇİN ELEKTROD SEÇİMİ

HSLA* çeliklerinde ve yüksek mukavemetli yapı çeliklerinde ilave metal kaynak kabiliyetinin yeterli olmasını sağlamak şartıyla esas metalin mukavemetine eşit bir mukavemet sağlayacak şekilde seçilir. Çatlamaya eğilim uygun bir ilave metal kullanımını gerekli kılar. Kaynak şartları öntavlamaya ve kaynak sonrası tavlamaya imkan veriyorsa elektrod seçimi kritik değildir. Aksi halde kritiktir.

Tablo-9 Düşük Karbonlu Çelik Örtülü Elektrodlarda Örtü İçin Tavsiye Edilen Rutubet İçeriği, Depolama ve Kurutma Sıcaklıkları

Elektrod Tipi	Önerilen Rutubet İçeriği (%)	İzafi Rutubet (%)	Depolama Fırınının Sıcaklığı (°C)	Kurutma Fırınının Sıcaklığı (°C)
E6010	3.0 - 5.0	20 - 60	(a)	(a)
E6011	2.0 - 4.0	20 - 60	(a)	(a)
E6012, E6013, E6020, E6022	< 1.0	maks. 60	40 - 50	135 ± 5
E6027, E7014, E7024	< 0.5	maks. 60	40 - 50	135 ± 5
E7016	< 0.4	maks. 50	54 - 165	340 ± 10
E7018, E7028, E7048	< 0.4	maks. 50	54 - 165	400 ± 10

(a) Üreticinin tavsiyesine uyunuz.

*) Yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı çelikler.

Bu çeliklerin ark kaynağında kullanılan ilave metaller aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar :

- a) **Düşük Karbonlu Çelik** : Genelde bağlantı mukavemeti ile ilgili sınırlayıcı bir şart yoksa veya alaşımli çeliğin düşük karbonlu çelikte kaynağında kullanılır.
- b) **Alaşımli Çelik** : Bağlantının mukavemeti esas metalinkine eşit veya yakın olması gereken hallerde kullanılır.
- c) **Yüksek Alaşımli Çelik** (Paslanmaz Çelik veya Ni-keel esaslı) : Farklı çeliklerin kaynağı gibi özel uygulamalarda kullanılır.

Esas metalin karbon içeriğinin çok az olduğu haller dışında ilave metalin karbon içeriği esas metalinden daha fazla olmamalıdır. Aksi halde çatlamaya eğilim gereksiz yere artacaktır. Genellikle ilave metalin karbon içeriği esas metalden azdır. Kaynak metali ile esas metalin mukavemetleri arasında yeterli uygunluk ilave metalin karbon içeriği esas metalinkinin yarısı kadarken sağlanır.

Bu çeliklerde kaynak metaline, esas metalin mikroalaşımının karışması, özellikle kök pasosunda, kaynak metalinin çatlamaya eğilimini ITAB'dan daha yüksek hale getirir. Kaynak dikişinin küçük keside sahip olması gerilmelerin burada daha yüksek olmasına neden olur; bu durum ise çatlamaya eğilimi artırır. Dikiş çatlaması, daha sonraki kaynak dikişlerini vakit kaybetmeden çekmek suretiyle azaltılabilir.

Yüksek mukavemetli yapı çelikleri ve HSLA çelikleri için kullanılan elektrodlar **Tablo-10**'da verilmiştir. Elektrod, esas olarak mukavemete göre, belirli bir dereceye kadar da kimyasal bileşime göre seçilir. Alaşım elemanları elektroda belirli mukavemet (**Tablo-11**) ve kimyasal bileşim (**Tablo-12**) kazan- dırmak için katılır.

Bu çelikler için düşük hidrojenli potasyum elektrodlar veya düşük hidrojenli demirtozlu elektrodlar tavsiye edilir.

Düşük hidrojenli elektrod kullanıldığında genellikle öntavlama gerekli değildir. Öntavlama selülozik elektrod kullanıldığı zaman tavsiye edilir. Yeterli ön tavlama ve/veya kaynak sonrası tavlama ITAB'daki hidrojen gevreklesmesini önler. Gerekli öntavlama ve kaynak sonrası tavlama sıcaklıkları esas metalin kimyasal bileşimi, kaynak soğuma hızı, kaynak metalinin hidrojen içeriği ve kaynaktaki gerilmeler bilindiği takdirde hesaplanabilir. Kaynak banyosundaki hidrojen kaynak sırasında ark atmosferinden absorbe edilir. Hidrojen kaynakları şunlardır : Elektrod örtüsündeki rutubet, ortamın rutubeti, levha yüzeyindeki yağ ve pas. Elektrod örtüsü tarafından absorbe edilen rutubet en fazla katkıyı sağlar. Düşük hidrojenli elektrodlarda izin verilen rutubet oranları **Tablo-13**'de verilmiştir.

3.3 YÜKSEK MUKAVEMETLİ ISLAH EDİLMİŞ ALAŞIMLI ÇELİKLER İÇİN ELEKTROD SEÇİMİ

Tablo-14'de, ıslah edilmiş alaşımli çeliklerin örtülü elektrodlarla kaynağında seçilebilecek uygun elektrod- lar verilmiştir. Bu elektrodlar kullanıldığı takdirde çoğu çelik için % 100 bağlantı etkinliği elde edilir. A533, A517, A542 ve A543 çelikleri için genellikle **Tablo-14**'de verilen örtülü elektrodlar kullanılmak- tadır. Ancak bunların yerine EXX16 gibi düşük hidro- jenli farklı örtüye sahip elektrod da kullanılabilir.

Tablo-14'de verilen çeliklerin mukavemetlerine bağlı olmaksızın çelikten daha düşük mukavemette kaynak metali yığan elektrod genellikle yeterli görülmektedir. Gerçekte, yüksek zorlanmalı köşe kaynaklarında genellikle daha düşük mukavemetli kaynak metali tercih edilmektedir. Kaynakta hidrojen izin verilen sınırların üzerine çıkmamalıdır.

Tablo-10 Yüksek Mukavemetli Çelikler ve HSLA Çeliklerinin Kaynağında Kullanılan Elektrodlar

Çelik	Elektrod
A225	
Grade C	E11018-M
Grade D	E9018-M
A242	E7016, E7018
A299	E8016-C3, E8018-C3
A302	
Grade A	E7016-A1, E7018-A1
Grade B	E8016-B2, E8018-B2
Grade C, D	E10016-D2, E10018-D2
A441	E7016, E8016-C3, E8018-C3
A537	
Class 1	E7018-A1
Class 2	E8016-E1, E11018-M
A572	
Grade 42-50	E7016, E7018
Grade 60-65	E8016-C3, E8018-C3
A588	
Grade A, B, C, D, E	E7016, E7018
Grade F	E8016-B1, E8018-B1
Grade G	E8016-C1, E8018-C1
Grade H	E8015-G, E8018-G
A606	E7016, E7018, E7028
A607	
Grade 45, 50, 55	E7016, E7018, E7028
Grade 60, 65, 70	E9018-M
A618	E7018
A633	E7016, E7018, E7028
A656	E10018-D2
A662	E7016, E7018, E7028
A678	
Grade A	E7016, E7018, E7028
Grade B	E9018-M
Grade C	E10018-M
A709	
Grade 36T	E6012, E6013, E7014 E7016, E7018, E7028
Grades 50T, 50WT	E7016, E7018, E7028
Grades 100T, 100WT	E11018-M
A737	
Grade B	E7016, E7018, E7028
Grade C	E9018-M

Tablo-11 Kaynak Metalinin Minimum Mekanik Özellikleri

Elektrod	Akma Dayanımı (% 0,2) (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (min) (MPa)	Uzama (min) (%)	Charpy V Enerjisi (J)
E7016-X, E7018-X	400	490	25	-
E8015-X, E8016-X, E8018-X	470	560	19	-
E8016-C1, E8018-C1	470	560	19	24°C'da 27
E8016-C3, E8018-C3	478 - 560	560	24	4°C'da 27
E10016-D2, E10018-D2	610	700	16	15°C'da 27
E11018-M	690 - 770	770	20	15°C'da 27

Tablo-12 Elektrodlar İçin Maksimum Kimyasal Bileşim Sınırları

Elektrod	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
E7016-A1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	-	-	0.40 - 0.65	-
E7018-A1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.80	-	-	0.40 - 0.65	-
E8016-B1	0.05 - 0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	-	0.40 - 0.65	0.40 - 0.65	-
E8018-B1	0.05 - 0.12	0.90	0.03	0.04	0.80	-	0.40 - 0.65	0.40 - 0.65	-
E8016-B2	0.05 - 0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	-	1.00 - 1.50	0.40 - 0.65	-
E8018-B2	0.05 - 0.12	0.90	0.03	0.04	0.80	-	1.00 - 1.50	0.40 - 0.65	-
E8016-C1	0.12	1.25	0.03	0.04	0.60	2.00 - 2.75	-	-	-
E8018-C1	0.12	1.25	0.03	0.04	0.80	2.00 - 2.75	-	-	-
E8016-C3	0.12	0.40 - 1.25	0.03	0.03	0.80	0.80 - 1.10	0.15	0.35	0.05
E8018-C3	0.12	0.40 - 1.25	0.03	0.03	0.80	0.80 - 1.10	0.15	0.35	0.05
E10016-D2	0.15	1.65 - 2.00	0.03	0.04	0.60	-	-	0.25 - 0.45	-
E10018-D2	0.15	1.65 - 2.00	0.03	0.04	0.80	-	-	0.25 - 0.45	-
EXX15-G									
EXX16-G									
EXX18-G	-	min. 1.00	-	-	min. 0.80	min. 0.50	min. 0.30	min. 0.20	min. 0.10
E11018-M	0.10	1.30 - 1.80	0.03	0.04	0.60	1.25 - 2.50	0.40	0.25 - 0.50	0.50

Tablo-13 Düşük Hidrojenli Elektrodalarda İzin Verilen Maksimum Rutubet İçeriği

Elektrod	Maksimum Rutubet İçeriği (% Ağırlık)
E7016, E7018	0.40
E7016-X, E7018-X	0.40
E8015-X, E8016-X, E8018-X	0.20
E9015-X, E9016-X, E9018-X	-
E10015-X, E10016-X, E10018-X	-
E11015-X, E11016-X, E11018-X	-
E12015-X, E12016-X, E12018-X	0.15
E12018-M1	0.10

Tablo-14 Yüksek Mukavemetli İslah Edilmiş Alaşımli Çeliklerde Kullanılan Elektrodlar

Çelik	Elektrod
A533, Grade B, Class 1 ve 2	E9018-D1
A533, Grade B, Class 3	E11018-G
	(Mn-Ni-Cr-Mo)
A517	E11018-G
	(Mn-Ni-Cr-Mo)
A542, Class 1 ve 2	E9015-B3
A543, Class 1 ve 2	E11018-M
HY-130	Special E14018
	(Mn-Ni-Cr-Mo)
A553, Grade A ve B	68Ni-15Cr-3Ti-9Fe

Alaşımli ıslah çeliklerinin kaynağında düşük hidrojenli elektrod uygun biçimde kurutulmuş hidrojen miktarı tolere edilecek seviyeye düşürülebilir. Ancak çelik yüzeyi kaynağın yapıldığı yerde daima kuru olmalıdır. Kuru yüzeyler sağlamak için genelde alev torcu (üfleç) ile ısıtma da yapılabilir. Daha önce HSLA çelikleri için de belirtildiği gibi örtülü elektrodun düşük hidrojenli olması bir garanti olarak alınmamalıdır. Normal olarak, düşük hidrojen örtülü alaşımli çelik elektrodlar geçirgen olmayan kutularla paketlenirler. Bunların örtülerinin rutubet içeriği **Tablo-13**'de gösterildiği gibidir. Özel E12018-M elektrod örtüsünün rutubet içeriği % 0.1'den fazla değildir. Ancak rutubet içeriği ile ilgili bu tür sınırlamalar bazı hallerde yeterli olmamaktadır. Örneğin **Tablo-14**'deki çeliklerin birleştirilmesi için önerilen E9015-B3 elektrodları bu çelikler için ancak örtülerindeki rutubet oranı normal değer olan % 0.4 yerine % 0.15'in altındaysa uygundur. Belirli bir çelik için **Tablo-14**'de tavsiye edilen elektrod yerine bundan daha düşük mukavemet sınıfından bir elektrod kullanılacaksa, bunun örtüsündeki rutubet oranı **Tablo-14**'de tavsiye edilen elektrodun rutubet oranlarına kurutma yoluyla düşürülmelidir. Örneğin, A517 çeliği için normalde % 0.6 rutubet oranıyla satılan E7018 elektrodu kullanılacaksa, elektrod örtüsünün rutubet oranı % 0.2'nin altına düşürülmelidir. Kurutmanın yararı ve yöntemi elektrod örtüsünün bileşimine bağlıdır. Kurutma, elektrod imalatçısına danışmadan yapılmamalıdır. Düşük hidrojenli elektrodların depolanması sırasında çok titiz davranılması gerekir. Çünkü düşük hidrojenli

elektrodlar normal atmosfer şartlarına maruz kaldıklarında, rutubet içerikleri 1/2 saat sonra % 0.2'nin üzerine çıkar.

Yüksek mukavemetli ıslah edilmiş çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodlar, bu rijid rutubet sınırlandırmasını sağlamak için atmosfere 1/2 saatten fazla maruz kalmamalıdır. Daha uzun periyotlarda atmosfere maruz kalan elektrodlar kullanılmadan önce yeniden kurutulmalıdır. Bu uygulamalara dikkat edilmeden gerçekleştirilen kaynaklarda dikişaltı çatlaklarının oluşması kaçınılmazdır.

3.3.1 Öntavlama

İslah edilmiş alaşımli çeliklerin örtülü elektrodla ark kaynağında başarılı bir kaynak için gerekli minimum öntavlama ve pasolararası sıcaklıkları levha kalınlığı ile artar (**Ek Tablo-5**). Öntavlama zorlanmış kaynaklarda kaynak metali çatlamasını önlemek için gereklidir. Çok yüksek zorlanmaya maruz kalmış kaynaklarda **Ek Tablo-5**'de verilen minimum değerlerin üzerindeki sıcaklıklar gerekir. 40°C'dan daha düşük öntavlama sıcaklıklarının kullanılabilmesi levha üzerindeki rutubetin veya elektrod tarafından ark atmosferine iletilen rutubetin minimum düzeyde olmasıyla mümkündür. Genel olarak, maksimum öntavlama veya pasolararası sıcaklıklar **Ek Tablo-5**'de verilen minimum sıcaklık değerlerini 65°C'dan fazla

geçmemelidir. Aksi takdirde, daha sonra açıklanacağı gibi, kaynak ısı girdisinin üst sınır değerine kesinlikle uyulması gerekir. Bazı çelik tiplerinde maksimum öntavlama ve pasolararası sıcaklıklara diğerlerine nazaran çok daha kesin olarak uyulması gerekir. Örneğin çeşitli kalınlıklardaki HY-130 çelik levhanın maksimum öntavlama ve pasolararası sıcaklıkları **Ek Tablo-6'**da verilmiştir.

3.3.2 Isı Girdisi ve Kaynak Teknikleri

Yeterli mekanik özelliklere sahip mikro-yapıyı oluşturmak için gerekli olan minimum soğuma hızı kaynak edilecek çeliğin cinsine bağlı olarak değişir. Bir çelik için yeterli derecede yüksek olan bir soğuma hızı diğer bir çelik için çok düşük olabilir. Bu kavram kaynak ısı girdisi yoluyla ifade edilecek olursa, belirli bir kalınlıkta ve öntavlama sıcaklığındaki bir çelik için uygun olan ısı girdisi benzer şartlardaki farklı bir çelik için çok yüksek olabilir. Bazı alaşımlı ıslah çelikleri için tavsiye edilen ısı girdisi sınırları **Ek Tablo-7'**de verilmiştir.

Yukarıda belirtilen ve ITAB'da yeterli mekanik özellikler sağlamaya yönelik ısı girdisi sınırları büyük çaplı elektrodla ve yüksek ısı girdisiyle çekilmiş düşük çentik tokluğuna sahip büyük kaynak dikişlerinin oluşmasını da engeller. Alaşımlı ıslah çeliklerinin kaynağında en uygun yöntem mümkün olan her uygulamada kaynağı çok sayıda küçük dikişli pasolarla tamamlamaktır. Bu teknik, ardarda gelen pasoların önceki pasolara yaptığı tane küçültme ve temperleme etkileriyle kaynak metalinin çentik tokluğunun iyileşmesine neden olur. Isı girdisi özellikle akma dayanımı 700 MPa'dan daha büyük çeliklerin kaynağında önem kazanır. **Ek Tablo-8'**de HY-130 çeliğinin kaynağında tavsiye edilen ısı girdisi değerleri verilmiştir. Bu değerler ITAB'da ve kaynak metalinde istenen yüksek tokluk ve mukavemet değerleri verecek şekilde seçilmiştir.

Alaşımlı ıslah çeliklerinin kaynağında elektrod ucunda salınım hareketi yapılmadan dikiş çekilmesi tercih edilir. Bunun nedeni, arkın ileri hareketi sırasında metre başına ısı girdisi düşüktür, kaynak sırasında bağlantının distorsiyonu azdır ve çentik tokluğu hem kaynak metalinde hem de esas metalde daha iyidir. Kısmi salınım minimumda tutulmalıdır.

3.3.3 Kaynak Sonrası Isıl İşlem

Yüksek mukavemetli ıslah edilmiş alaşımlı çelikler içinde sadece A533 ve A542 çeliklerinde sıkça kaynak sonrası gerilme giderme ısıl işlemi yapılır. Bu iki çelik uygulamada çok sık biçimde 50 mm kalınlıkta levhalar halinde kullanılır. Gerilme giderme tavı aşağıdaki hallerde gereklidir :

- Çelik soğuk şekil verme veya kaynak işleminden dolayı yetersiz bir çentik tokluğuna sahip olmuşsa,
- Çelik soğuk şekil verme veya kaynak işleminden sonra yapılacak olan hassas bir talaş kaldırma işlemi sırasında hassas boyutsal kararlılığını korumak zorundaysa,
- Soğuk şekil verme veya kaynak işleminden sonra çeliği gerilmeli korozyon çatlamasına hassas hale getirebilecek büyüklükte kalan gerilmeler oluşmuşsa.

Ancak, bu tip bir kaynak sonrası ısıl işleme ihtiyaç her bir çelik ve uygulama için detaylı incelenerek sağlam bir temele oturtulmalıdır. Bunun nedeni, kaynaklı yapılar için öngörülen birçok modern çelik kaynaklı şartlarda çalışmak üzere tasarlanmasına rağmen, kaynaklı çeliğin temperleme sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda gerilme giderme tavına maruz kalması, özelliklerini kötü yönde etkiler. Eğer bir kaynaklı yapıya gerilme giderme tavı uygulanacaksa tav sıcaklığı çeliğin önceki temperleme sıcaklığını aşmamalıdır. Aşırı temperlemeden kaçınmak için gerilme giderme sıcaklıkları temperleme sıcaklığından en az 10°C daha

küçük olmalıdır. Alaşımli ıslah çeliklerinde yüksek mukavemet ve yüksek çentik tokluğuna ulaşmayı sağlayan alaşım elemanları kaynak sonrası bir ısıtma işleminden sonra kaynak dikişine kötü etkiler yapabilir.

500-650°C sıcaklık aralığında yapılan bir kaynak sonrası ısıtma işlemi kaynak metalinin ve ITAB'ın tokluğunu azaltabilir. Buna "**gerilme giderme çatlama**" adı verilir. Çatlak tanelerarası çatlama şeklindedir. Gerilme giderme çatlakları sadece bu bölümde tartışılan ıslah çeliklerinde değil bir çok çelikte meydana gelebilir. Tokluktaki azalma miktarı, bileşim, ısıtma işlem sıcaklığı ve zamanına bağlıdır. Bazı çeliklerde gerilme giderme işleminde karşılaşılan yavaş soğuma sırasında tokluk daha da kötüleşir. Ek olarak, yüksek mukavemetli alaşımli çeliklerin kaynaklarına 510°C'nin üzerinde kaynak sonrası ısıtma işlem uygulanırsa, genellikle işlemin başlangıç safhalarında ITAB'ın iri taneli bölgesinde taneler arası çatlama meydana gelebilir. Kaynağın ITAB'ında bu tip çatlama hassasiyet, çeliğin kimyasal bileşimine bağlı olarak aşağıdaki ifadeyle verilir.

$$\Delta G = \% Cr + 3.3 (\% Mo) + 8.1 (\% V) - 2$$

Bu eşitliğe göre, $\Delta G > 0$ ise çatlama meydana gelmesi mümkündür.

3.4

ISIYA DAYANIKLI, DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER İÇİN ELEKTROD SEÇİMİ

Isıya dayanıklı düşük alaşımli çeliklerin kaynağında ilave metal seçiminde iki kural geçerlidir :

- İlave metal, esas metalin bileşimine ve mekanik özelliklerine yakın kaynak metali vermelidir.
- Kaynaktaki hidrojen seviyesi minimumda tutulmalıdır.

Optimum sonuçlar esas metalin kimyasal ve mekanik özelliklerine benzer özelliklere sahip kaynak dikişiyle elde edilir. Bu şekilde gerilmeye, ısıya ve korozyona uniform direnç sağlanır. Kaynaklı birleştirmenin uniform bir yapı olarak davranmasını engellediğinden kaynak dikişinde kimyasal ve mekanik özelliklerdeki aşırılık, daha düşük değerlerde olması durumunda olduğu gibi istenmez. Kaynak metalinin ve esas metalin yapılarındaki farklardan ötürü tam bir uygunluk beklenmemelidir. Çünkü, kaynak metali esas olarak döküme benzerken esas metal şekil vermenin ve/veya diğer özel ısıtma işlemlerin etkisi altındadır. Çeşitli özelliklerin öncelikleri tespit edilmelidir. Örneğin kaynak metalinde esas metaldeki minimum krom ve molibden yüzdelерinin mi, yoksa esas metalin

Tablo-15 Isıya Dayanıklı Krom-Molibden'li Çeliklerin Örtülü Elektrodla Ark Kaynağında Kullanılan Elektrodlar

ASTM Levha Spesifikasyonu	Çelik	Elektrod (Bazik)
A387-Gr2	1/2 Cr - 1/2 Mo	E80XX-B1
A387-Gr12, Gr11	1 Cr - 1/2 Mo	E80XX-B2 veya B2L
	1+1/4 Cr - 1/2 Mo	
A387-Gr22	2 Cr - 1/2 Mo	E90XX-B3 veya B3L
	2+1/4 Cr - 1 Mo	
A387-Gr21	3 Cr - 1 Mo	E90XX-B3
		E502-XX (E5CrMoB20+)
A387-Gr5	5 Cr - 1/2 Mo	E502-XX (E5CrMoB20+)
A387-Gr7	7 Cr - 1/2 Mo	E7Cr-XX (E7CrMoB20+)
A387-Gr9	9 Cr - 1 Mo	E505-XX (E9CrMoB20+)

maksimum çekme mukavemetinin mi elde edilmesinin önemli olduğuna karar verilmelidir. **Tablo-15'**de bu çeliklerin örtülü elektrodlarla kaynağında kullanılacak elektrod tipleri verilmiştir. Bu çeliklere ait minimum öntavlama sıcaklıkları **Ek Tablo-9'**da belirtilmiştir.

3.5 ALAŞIMLI ÇELİK ÇUBUKLAR İÇİN ELEKTROD SEÇİMİ

Tablo-16'da 18 adet alaşimli çelikte yüksek mukavemetli kaynak elde etmek için kullanılan örtülü elektrodlar verilmiştir. **Tablo-16'**da E7018 (veya E7018-A1 karbon-molibden) altı değişik çelik için seçilebilen elektrod olarak gösterilmiştir. Bu elektrod düşük hidrojenli demir tozlu tip olup kaynaklı haldeki bağlantıya en az 500 MPa çekme dayanımı sağlar. Tek pasolu kaynaklarda çekilen kaynak metalini için belirtilen mukavemet değeri, esas metalin karbon içeriği arttıkça artar. **Tablo-16'**da verilen tüm elektrodlar düşük hidrojenlidir ve hemen hemen bütün alaşimli çeliklerin kaynağı için çatlamayı önlemede yardımcı olduğundan tavsiye edilir. Maksimum mukavemette bir dikiş istenmediği sürece düşük mukavemetli metal kullanılabilir ve çatlamaya hassasiyet bu şekilde azaltılır. Örneğin, 4130 çeliği için **Tablo-16'**da gösterildiği gibi, en çok kullanılan elektrod E10016-D2'dir. Ancak daha düşük kaynak mukavemeti kabul edilebilir ise E7018-A1 elektrodu da kullanılabilir. Bu çeliklere ait öntavlama ve pasolararası sıcaklıklar **Ek Tablo-10'**da verilmiştir.

3.6 PASLANMAZ ÇELİKLER İÇİN ELEKTROD SEÇİMİ

Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılacak örtülü elektrodlar **Tablo-17'**de verilmiştir. Bu tablodaki notlar dikkatle incelenmelidir. Çünkü paslanmaz çeliklerin kaynağı için ilave metal seçimi yığılmış kaynak metalinin mikro-yapısal fazlarının gözönüne alınmasını gerektirir. Sonuç olarak, bu mikro-yapısal fazlar kaynağın mekanik özelliklerini, çatlak hassasiyetini ve korozyon direncini belirler. Üzerinde durulması gereken fazlar, östenit, delta ferrit ve çökeltmiş karbürlerdir. 310, 310 Cb, 310 Mo ve 330 gibi bazı ilave metaller daima % 100 östenitik kaynak metalini oluşturur. Bu alaşımlarda, ferrit oluşturucularla östenit oluşturucular arasındaki oran östenit içinde herhangi bir delta ferrit oluşmasına imkan vermeyecek kadar düşük tutulmuştur. Sonuç olarak bu ilave metaller zorlanmış bağlantılarda veya fosfor, kükürt, selen ve silisyum içeren esas metallerde kullanılacaksa, sadece tecrübeyle uygun olduğu ispat edilmiş yöntemler uygulanmalıdır. Birçok ilave malzemenin bileşimi imalatçılar tarafından kaynak metalinde delta ferrit oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Böylece, krom ve molibden gibi ferrit yapıcı elementler müsaade edilir sınırlar aralığının en üstünde tutulurken, nikel gibi östenit yapıcı elementler en alt sınırdaki tutulmuştur. Kaynak metalinin yapısında oluşacak olan ferrit miktarı bu elementlerin oranına veya dengesine bağlıdır. Sıcak çatlamayı etkin bir biçimde önlemek için yığılmış kaynak metalinde en az 3 veya 4 FN* delta

Tablo-16 Alaşimli Çelik Çubuklarda Kullanılan Elektrodlar

Çelik	Elektrod	Çelik	Elektrod
1330	E7018	4320	E7018-A1
1340	E10016-D2	4340	E12018-M
4023	E7018-A1	4620	E8016-C1
4028	E7018-A1	4640	E12018-M
4047	E10016-D2	5120	E8016-B2
4118	E7018-A1	5145	E9016-B3
4130	E10016-D2	8620	E7018-A1
4140	E12018-M	8630	E11018-M
4150	E12018-M	8640	E12018-M

*) Ferrit Numarası (FN) : Ferrit ağırlık oranı, % 6 ağırlık oranına kadar, ferrit numarasına eşittir.

Tablo-17 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 dikişte sıcak çatlamaya neden olur.
- Talaş kaldırılabilir. 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.
- Çatlamadan kaçınmak için dikkatli öntavlama ve sontavlama ısıl işlemleri gerekir.
- Dikkatli öntavlama gerekir. Kaynak sonrası ısıl işlem yapılmıyorsa ITAB'ın sertleşmiş olduğu gözönünde bulundurulmalıdır.
- Tavlama kaynak metalinin ve ITAB'ın sünekliliğini artırır. 405 tip kaynak metali sertleşmeyi azaltmak için alüminyum (Al) yerine Niobiyum (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.

Tablo-18 Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Örtülü Elektrodların Kimyasal Bileşimleri (% Ağırlık)

Elektrod	C	Cr	Ni	Mo	Nb + Ta	Mn	Si	P	S	Cu
E307	0.04 - 0.14	18.0 - 21.5	9.0 - 10.7	0.5 - 1.5	-	3.30 - 4.75	0.90	0.04	0.03	0.75
E308	0.08	18.0 - 21.0	9.0 - 11.0	0.75	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308H	0.04 - 0.08	18.0 - 21.0	9.0 - 11.0	0.75	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308L	0.04	18.0 - 21.0	9.0 - 11.0	0.75	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308Mo	0.08	18.0 - 21.0	9.0 - 12.0	2.0 - 3.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E308MoL	0.04	18.0 - 21.0	9.0 - 12.0	2.0 - 3.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309	0.15	22.0 - 25.0	12.0 - 14.0	0.75	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309L	0.04	22.0 - 25.0	12.0 - 14.0	0.75	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309Cb	0.12	22.0 - 25.0	12.0 - 14.0	0.75	0.70 - 1.00	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E309Mo	0.12	22.0 - 25.0	12.0 - 14.0	2.0 - 3.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E310	0.08 - 0.20	25.0 - 28.0	20.0 - 22.5	0.75	-	1.00 - 2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E310H	0.35 - 0.45	25.0 - 28.0	20.0 - 22.5	0.75	-	1.00 - 2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E310Cb	0.12	25.0 - 28.0	20.0 - 22.0	0.75	0.70 - 1.00	1.00 - 2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E310Mo	0.12	25.0 - 28.0	20.0 - 22.0	2.0 - 3.0	-	1.00 - 2.50	0.75	0.03	0.03	0.75
E312	0.15	28.0 - 32.0	8.0 - 10.5	0.75	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E316	0.08	17.0 - 20.0	11.0 - 14.0	2.0 - 3.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E316H	0.04 - 0.08	17.0 - 20.0	11.0 - 14.0	2.0 - 3.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E316L	0.04	17.0 - 20.0	11.0 - 14.0	2.0 - 3.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E317	0.08	18.0 - 21.0	12.0 - 14.0	3.0 - 4.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E317L	0.04	18.0 - 21.0	12.0 - 14.0	3.0 - 4.0	-	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E318	0.08	17.0 - 20.0	11.0 - 14.0	2.0 - 2.5	min. 6xC max. 1.00	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E320	0.07	19.0 - 21.0	32.0 - 36.0	2.0 - 3.0	min. 8xC maks.1.00	0.50 - 2.50	0.60	0.04	0.03	3.0 - 4.0
E320LR	0.035	19.0 - 21.0	32.0 - 36.0	2.0 - 3.0	min. 8xC maks. 0.40	1.50 - 2.50	0.30	0.020	0.015	3.0 - 4.0
E330	0.18 - 0.25	14.0 - 17.0	33.0 - 37.0	0.75	-	1.00 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E330H	0.35 - 0.45	14.0 - 17.0	33.0 - 37.0	0.75	-	1.00 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E347	0.08	18.0 - 21.0	9.0 - 11.0	0.75	min. 8xC maks. 1.00	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E349	0.13	18.0 - 21.0	8.0 - 10.0	0.35 - 0.65	0.75 - 1.20	0.50 - 2.50	0.90	0.04	0.03	0.75
E16-8-2	0.10	14.5 - 16.5	7.5 - 9.5	1.0 - 2.0	-	0.50 - 2.50	0.60	0.03	0.03	0.75

ferrit bulunmalıdır. Ancak, uygun tekniklerle, 316 ve 316 L tipleri 0.5 FN kadar azalan delta ferritle kaynak edilebilirler.

Kaynaklı östenitik çeliklerde ferrit içeren kaynak metalinin belirli mahzurları da vardır. Ferrit ferromanyetik ve manyetik olmayan özellikler istenen bazı uygulamalarda kaynak metalinin artmış manyetik geçirgenliği, istenmeyen bir özellik olabilir. Bazı kaynak metallerindeki ferrit yüksek servis sıcaklıkla-

rında sigma fazına dönüşerek mekanik özellikleri ve korozyon direncini ters yönde etkileyebilir. Bu tip problemlere güç santrallerindeki uygulamalarda rastlanmıştır. **Tablo-18'**de paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan örtülü elektrodların kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Elektrod işaretinin sonuna eklenen (-15) ve (-16) rakamları kutuplamayı belirtir. (-15) eki örtünün esas olarak kalsiyum karbonattan ibaret olduğunu ve fazla

miktarda kalsiyum veya diğer alkali elementler içerdiğini ve elektrodun doğru akım elektrod pozitif kutupta kullanılmaya uygun olduğunu gösterir. Alternatif akımla kaynakta (-16) ekine sahip elektrod pozitif kutupta da kullanılabilir ve örtülerinde kalsiyum karbonat ve titan içerirler. Alternatif akımla kaynakta örtüler alkali elementlerle birlikte arkı stabilize etmek için kolaylıkla iyonize olan elementler de içerirler. Avrupa ve Amerika'da üçüncü bir tip elektrod da mevcuttur. Bu elektrod örtüsünde birçok (-16) tipi elektrodan çok daha fazla miktarda titan mevcuttur ve henüz standart hale getirilmediğinden yüksek titanlı (-16) olarak adlandırılır. Çok yumuşak bir arka sahiptir ve yumuşak içbükey bir dikiş verir. Bu üç örtü tipi **Tablo-19'**da karşılaştırılmıştır.

Elektrodlar 1.5 mm'den 6 mm'ye kadar değişen çaplarda üretilmektedir. Eğer imalatçı tarafından çalışma akımları verilmemişse akım değerleri **Tablo-20'**den seçilebilir.

(-15) ve (-16) tipi elektrodlar 4 mm çapa kadar tüm kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. 5 mm ve daha kalın elektrodlar sadece oluk ve yatay içköşe pozisyonlarında kullanılır.

Tablo-17'de verildiği gibi, ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında hem ferritik hem de östenitik paslanmaz çelik ilave metal kullanılabilir. Ferritik paslanmaz çelik ilave metallerin üstünlüğü bunların esas metalle aynı renk, görüntü, ısıl genleşme katsayısı ve korozyon direncine sahip kaynak metali sağlamalarıdır. Östenitik paslanmaz çelik kaynak metali ITAB'da tane büyümesi ve martenzit oluşumunu engelleyememekle birlikte kaynak metalinin sünekliği nedeniyle kaynak bağlantısının sünekliğini artırır. Ancak östenitik paslanmaz çelik ilave metal seçerken kaynak metalindeki renk ve korozyon özelliklerindeki farkın ve esas metalle kaynak metali arasındaki mukavemet farkının gözönüne alınan uygulama için kabul edilir olup olmadığına dikkat etmek gerekir.

Tablo-19 Örtülü Östenitik Elektrodlarda Üç Tip Örtünün Kıyaslanması

Özellikler	Örtü Tipi		
	(-15)	(-16)	Yüksek Titanlı (-16)
Metal transfer tipi	iri damla	iri damla	sprey
Dikiş tipi	dışbükey	düz	içbükey
Düşük sıcaklık tokluğu	çok iyi	iyi	orta
Cüruf kalkışı	orta	iyi	üstün
Kaynak pozisyonu	tüm	tüm	yatay / oluk

Tablo-20 (-15) ve (-16) Ekli Tüm Elektrodlar İçin Çalışma Parametreleri

Elektrod Çapı (mm)	Ortalama Ark Akımı (A)	Maksimum Ark Gerilimi (V)
1.50	35 - 45	24
2.00	45 - 55	24
2.50	65 - 80	24
3.25	90 - 110	25
4.00	120 - 140	26
5.00	160 - 180	27
6.00	220 - 240	28

Tablo-21 Martenzitik Paslanmaz Çelik Elektrodlarla Yığılmış Dikişlerin Kimyasal Analizi (% Ağırlık)

Elektrod	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
E410	0.12	11.0 - 13.5	0.60	0.75	1.00	0.90	0.04	0.03	0.75
E410NiMo	0.06	11.0 - 12.5	4.00 - 5.00	0.40 - 7.00	1.00	0.90	0.04	0.03	0.75
E502	0.10	4.0 - 6.0	0.40	0.45 - 0.65	1.00	0.90	0.04	0.03	0.75
E505	0.10	8.0 - 10.5	0.40	0.85 - 1.20	1.00	0.90	0.04	0.03	0.75
E7Cr	0.10	6.0 - 8.0	0.40	0.45 - 0.65	1.00	0.90	0.04	0.03	0.75

Kaynaktan sonra tavlanaacak bağlantılarda östenitik ilave metal kullanılması muhtelif problemlere neden olur. Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak sonrası tav sıcaklık aralığı östenitik çeliklerin "**tam duyarlılık sıcaklık aralığı**"na rastlar. Sonuçta östenitik kaynak metali ekstra düşük karbonlu olmadıkça veya niobyum veya titanyumla stabilize edilmedikçe kaynak metalinin korozyon direnci önemli ölçüde kötüleşir. Eğer tavlama işlemi yapıdaki kalan gerilmeleri gidermek amacıyla yapıyorsa, kaynak metalinin ve esas metalin farklı ısıl genleşme katsayıları nedeniyle gerilme giderme etkin bir biçimde gerçekleşmez.

Tablo-21'de martenzitik paslanmaz çelik örtülü elektrodlarla yığılmış dikişlerin kimyasal analizleri verilmiştir. Üretici ve müşteri arasındaki anlaşmaya bağlı olarak kullanılabilen başka kimyasal bileşimdeki elektrodlar da mevcuttur. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında östenitik paslanmaz çelik ilave metal de sık sık kullanılmaktadır. Bu tip elektrodlar martenzitik elektrodlara nazaran daha düşük kaynak metali mukavemeti vermekle birlikte daha yüksek tokluğa sahip kaynak dikişi oluştururlar. Martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan bazı ilave metaller **Tablo-17**'de verilmiştir.

3.6.1 Kaynak İşlemi

Paslanmaz çeliklerin kaynağında adi karbonlu çeliklerin aksine daha az kaynak ısısı gerekir. İş parçası dikkatle hazırlanmalı ve yerleştirilmelidir. 6 mm'den daha kalın elektrodlar ve aşırı ark uzunluğu kaynak dikişinden krom kaybına katkıda bulunur. Tüm çaplar

için aşırı elektrod salınımından kaçınmak gerekir. Maksimum salınım elektrod çekirdek çapının dört katından büyük olmamalıdır. Kaynak metalinin yığılması için genellikle salınımsız dikiş tavsiye edilmektedir. Pasolar arasında cüruf kaldırma sırasında dikkatli davranılmalıdır. Bu amaç için sadece paslanmaz çelik takımlar ve fırçalar kullanılmalıdır. Eğer taşlama taşı kullanılacaksa bu taşların diğer malzemelerde kullanılması nedeniyle kirlenmemiş olmasına dikkat edilmelidir.

Elektrodların depolanması çok önemlidir. Elektrod örtüsü rutubet kaparak kaynakta gözeneğe neden olur. Elektrod imalatçıları elektrodları rutubet geçirmez paketlerde piyasaya sunmaktadır. Atmosfere ve rutubete maruz kalmış elektrodlar kurutma işlemi uygulanarak başlangıçtaki şartlarına döndürülebilir. Ancak bu elektrodlar kritik kaynak uygulamaları için kullanılmamalıdır. Islak olan elektrodları kurutmak için ise herhangi bir işlem uygulanmamalı ve bu elektrodlar atılmalıdır.

3.6.2 Öntavlama

Genel olarak, östenitik paslanmaz çeliklerin öntavlamaından hiç bir fayda sağlanmaz. Bazı uygulamalarda öntavlama karbür çökmesini arttırabilir, iş parçasında şekil distorsiyonuna neden olabilir veya sıcak çatlamaya eğilimi arttırabilir.

Ferritik paslanmaz çelikler için tavsiye edilen öntavlama sıcaklıkları 150-230°C aralığındadır. Öntavlamaya ihtiyacı, esas olarak; kaynak edilecek çeliğin, kimyasal

bileşimi, mekanik özellikleri ve kesit kalınlığı belirler. 6 mm'den ince çeliklerin kaynak sırasında çatlama ihtimali 6 mm'den kalın çeliklere nazaran daha azdır. Bağlantının tipi, bağlantının yeri, kaynak hazırlığı sırasında kullanılan tertibatlar nedeniyle oluşan zorlanmaların seviyesi, kaynak yöntemi ve kaynak sıcaklığından sonrakiki soğuma hızı çatlamaı etki-leyen diğerk faktörlerdir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin öntavlama sıcaklığı 200-300°C arasındadır. Öntavlamanın gerekli olup olmadığı konusunda karar vermede en önemli faktör çeliğin karbon içeriğidir. Sadece karbon içeriği esasına göre % 0.1'den daha fazla karbon içermeyen çeliklerde öntavlama nadiren gereklidir. Bu değerden daha fazla karbon içeren çeliklerde çatlamaı önlemek için öntav- lama yapılır. Öntavlamaya gerek olup olmadığını belir-leyen diğerk faktörler ise; bağlantının kütlesi, zorlanma derecesi, çentik etkisinin varlığı ve ilave metalin bileşimidir. Çeliğin karbon içeriğine ve kaynak karak-teristiklerine bağlı olarak öntavlama ve kaynak sonrası tavlama ısıı işlemleri aşağıdaki gibi yapılabilir :

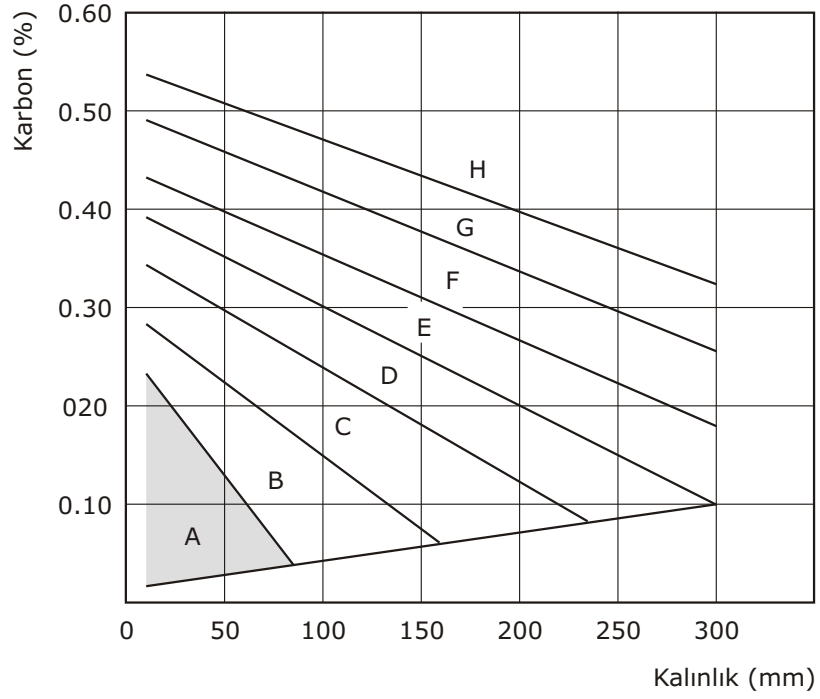
- a) Karbon % 0.1'in altında ise ne öntavlama ne de kaynak sonrası tavlama gereklidir.
- b) Karbon % 0.1-0.2 arasında ise 260°C'ye kadar öntavlama, bu sıcaklıkta kaynak işlemleri ve yavaşça soğutma gereklidir.
- c) Karbon % 0.2-0.5 arasında ise, 260°C'ye kadar öntavlama, bu sıcaklıkta kaynak işlemleri ve kaynak sonrası tavlama gereklidir.
- d) Karbon % 0.5'den fazla ise, 260°C'ye kadar öntavlama, yüksek ısı girdisi ile kaynak ve kaynak sonrası tavlama gereklidir.

Eğer bağlantı kaynaktan hemen sonra sertleştirilip temperlenecekse kaynak işlemlerinden sonra tavlama yapılmayabilir. Aksi takdirde bağlantı kaynaktan hemen sonra oda sıcaklığına soğumadan tavlmalıdır.

Çelikler İçin
Örtülü Elektrod Seçimi



EKLER



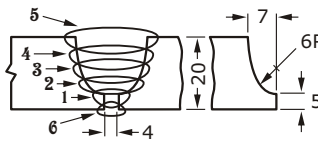
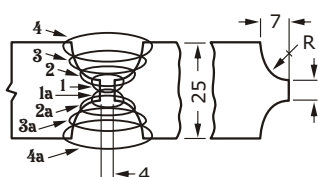
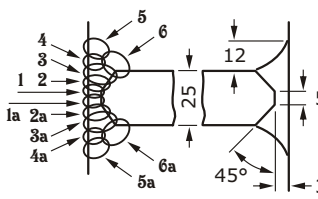
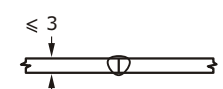
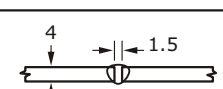
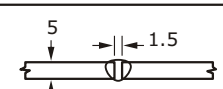
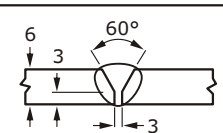
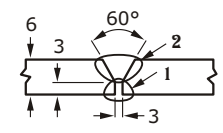
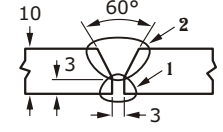
Alan	Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar (°C)	
	Yüksek Hidrojenli Elektrod	Düşük Hidrojenli Elektrod
A	10 - 40	10 - 40
B	40 - 90	10 - 40
C	90 - 150	40 - 90
D	120 - 200	70 - 150
E	150 - 260	90 - 200
F	180 - 320	120 - 260
G	200 - 370	150 - 320
H	230 - 430	200 - 430

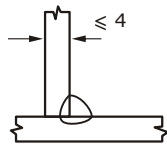
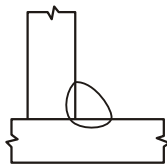
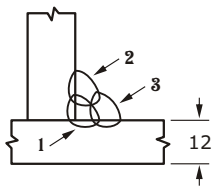
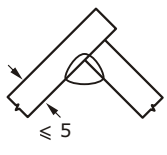
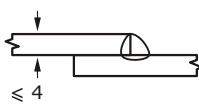
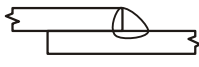
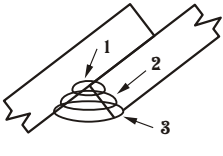
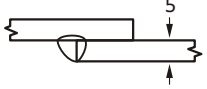
Ek Şekil-1 Esas Metalin Karbon İçeriğine ve Kalınlığına Bağlı Olarak Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar (Alaşimsız Çelikler)

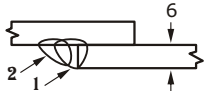
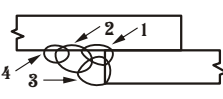
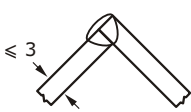
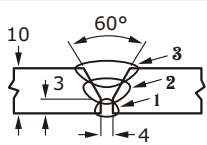
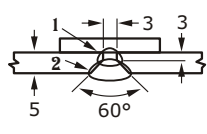
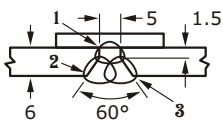
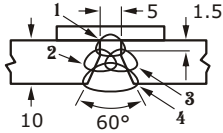
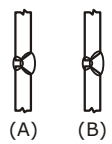
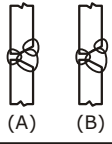
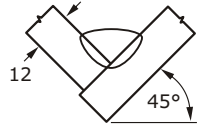
Ek Tablo-1 Alaşimsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri (örnek olarak alınmalıdır, başka değerler de kullanılabilir)

Bağlantı Tipi	Levha Kalınlığı (mm)	Kaynak Pozisyonu	Pasolar	Elektrod Çapı (mm)	Kaynak Akımı (A)	Min. Gerilim (V)	Üretim Hızı (m/saat)
	1.5 2 3	Oluk	1 1 1	3.25 3.25 4.00	70 85 115	29 29 25	40 43 27
	4	Oluk	1	4.00	135	25	24
	5	Oluk	1	6.00	190	30	27
	5	Oluk	2	6.00	190	30	14
	6	Oluk	1 2*	4.00 5.00	130 175	25 28	5
	10	Oluk	1 2*	4.00 6.00	130 225	25 30	4
	12	Oluk	1 2 3 4*	4.00 6.00 6.00 6.00	130 225 275 275	25 30 30 30	3

*) Salımlı dikiş

Bağlantı Tipi	Levha Kalınlığı (mm)	Kaynak Pozisyonu	Pasolar	Elektrod Çapı (mm)	Kaynak Akımı (A)	Min. Gerilim (V)	Üretim Hızı (m/saat)
	20	Oluk	1 2 3 4 5 6	4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00	130 275 275 275 325 275	25 30 30 30 34 30	1.8
	25	Oluk	1 1a 2 2a 3 3a 4 4a	4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00	130 275 275 275 275 275 325 325	25 30 30 30 30 30 34 34	1.2
	25	Oluk	1 - 1a 2 - 2a 3 - 3a 4 - 4a 5 - 5a 6 - 6a	4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00	130 275 325 190 190 190	25 30 34 30 30 30	0.75
	1.5 2 3	Düsey	1 1 1	3.25 3.25 4.00	70 80 110	29 29 26	40 36 26
	4	Düsey	1	4.00	120	27	20
	5	Düsey (yukarı)	1	3.25	110	25	6
	6	Düsey (yukarı)	1	3.25	110	25	4.6
	6	Düsey (aşağı)	1 2	3.25 5.00	110 150	25 25	5.3
	10	Düsey (yukarı)	1 2	4.00 4.00	130 180	25 25	3

Bağlantı Tipi	Levha Kalınlığı (mm)	Kaynak Pozisyonu	Pasolar	Elektrod Çapı (mm)	Kaynak Akımı (A)	Min. Gerilim (V)	Üretim Hızı (m/saat)
	1.5	Yatay	1	2.50	50	21	27
	1.5		1	3.25	70	27	18
	2		1	3.25	100	25	18
	3		1	4.00	150	25	18
	4		1	5.00	160	25	18
	5	Yatay	1	6.00	190	30	14
	6		1	6.00	190	30	11
	10		1	6.00	190	30	6
	12	Yatay	3	6.00	190	30	3
	1.5	Düşey	1	2.50	45	20	23
	1.5		1	3.25	70	27	18
	2		1	3.25	90	24	18
	3		1	4.00	140	24	18
	4		1	4.00	150	24	17
5	1	4.00	160	24	15		
	1.5	Yatay	1	2.50	70	22	30
	1.5		1	3.25	100	25	30
	2		1	4.00	130	25	30
	3		1	4.00	135	24	27
	4		1	5.00	155	28	27
	5	Yatay	1	6.00	250	30	27
	6		1	6.00	250	30	21
	8		1	6.00	250	30	15
	10		1	6.00	620	30	12
	5	Düşey (yukarı)	1	3.25	110	25	5.5
	6		1	4.00	130	25	5.5
	10		1	4.00	130	25	3
	12		2	4.00	130	25	1.5
	20		3	5.00	150	25	1
	25		4	5.00	150	25	0.5
	5	Tavan	1	5.00	150	25	11

Bağlantı Tipi	Levha Kalınlığı (mm)	Kaynak Pozisyonu	Pasolar	Elektrod Çapı (mm)	Kaynak Akımı (A)	Min. Gerilim (V)	Üretim Hızı (m/saat)
	6	Tavan	1 2	5.00 3.25	150 110	25 25	4.6
	5 12	Tavan	1 - 2 - 3 4 1 - 5	5.00 3.25 5.00	150 110 150	25 25 25	3 2
	1.5 1.5 2 3	Oluk	1 1 1 1	2.50 3.25 3.25 5.00	70 90 90 125	24 24 24 24	61 49 37 30
	10	Düşey (aşağı)	3	5.00	150	25	3.4
	5	Tavan	1 2	3.25 5.00	110 150	25 25	4.3
	6	Tavan	1 2 3	3.25 5.00 5.00	110 150 150	25 25 25	2.7
	10	Tavan	1 2 3 4	3.25 4.00 5.00 5.00	110 130 150 150	25 25 25 25	1.8
	6	Yatay	2	4.00	130	25	5.5
	10	Yatay	3	4.00	130	25	3.3
	12	Oluk	1	6.00	300	30	6

Ek Tablo-2 TE 563 EN 499'a Göre Alaşimsız ve Düşük Alaşimli Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Elektrodların Gösterilişi

ÜRÜN TİPİ				ÖRTÜ TİPİ	
Örtülü Elektrod (Elektrik Ark Kaynağı)				A	asit
				C	selülozik
				R	rutil
				RR	rutil (kalın)
				RC	rutil+sel.
				RA	rutil+asit
				RB	rutil+bazik
				B	bazik
MEKANİK ÖZELLİKLER					
Elektrod Tanımı	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (%) (L=5d)		
35	min. 355	440 - 570	min. 22		
38	min. 380	470 - 600	min. 20		
42	min. 420	500 - 640	min. 20		
46	min. 460	530 - 680	min. 20		
50	min. 500	560 - 720	min. 18		
ÇENTİK DARBE		VERİM / AKIM TİPİ			
Sembol	47 J Darbe Dayanımı İçin Sıcaklık Değeri (°C)	Sembol	Elektrod Verimi (%)	Akım Tipi	
Z	-	1	≤ 105	DC / AC	
A	+20	2	≤ 105	DC	
0	0	3	> 105 ≤ 125	DC / AC	
2	-20	4	> 105 ≤ 125	DC	
3	-30	5	> 125 ≤ 160	DC / AC	
4	-40	6	> 125 ≤ 160	DC	
5	-50	7	> 160	DC / AC	
6	-60	8	> 160	DC	
E 46 3 1Ni B 5 4 H5					
KİMYASAL BİLEŞİM DEĞERLERİ				HİDROJEN İÇERİĞİ	
Sembol	Mn	Mo	Ni	(maks. ml/100 gr)	
-	2	-	-	H5	5
Mo	1.4	0.3 - 0.6	-	H10	10
MnMo	1.4 - 2	0.3 - 0.6	-	H15	15
1Ni	1.4	-	0.6 - 1.2		
2Ni	1.4	-	1.8 - 2.6		
3Ni	1.4	-	2.6 - 3.8		
Mn1Ni	1.4 - 2	-	0.6 - 1.2		
1NiMo	1.4	0.3 - 0.6	0.6 - 1.2		
Z	diğer kompozisyonlar				
KAYNAK POZİSYONU					
1	bütün pozisyonlar				
2	yukarıdan aşağı hariç bütün poz.				
3	düz alın, yatay-düşey köşe				
4	düz alın, düz köşe				
5	3. madde, yukarıdan aşağı				

Ek Tablo-3 AWS'ye Göre Örtülü Karbon Çeliği Ark Kaynağı Elektrodları (AWS A5.1-81)

Sınıfı	Örtü Tipi	Kaynak Pozisyonu *	Akım Tipi ve Kutup	Çekme Dayanımı		Akma Dayanımı		Uzama min. %	V - Çentik Darbe Enerjisi
				Psi	N/mm ²	Psi	N/mm ²		
E6010	Seltlozik, Sodyum	F, V, OH, H	DC (+)	62000	430	50000	340	22	- 29°C'da 27 J
E6011	Seltlozik, Potasyum	F, V, OH, H	AC, DC (+)	62000	430	50000	340	22	- 29°C'da 27 J
E6012	Rutil, Sodyum	F, V, OH, H	AC, DC (-)	67000	460	55000	380	17	-
E6013	Rutil, Potasyum	F, V, OH, H	AC, DC (+/-)	67000	460	55000	380	17	-
E6020	Demir oksit	H-iç köşe	AC, DC (-)	62000	430	50000	340	25	-
E6022	Demir oksit	F	AC, DC (+/-)	67000	460	-	-	-	-
E6027	Demir oksit, Demir tozu	H-iç köşe, F	AC, DC (-)	62000	430	55000	340	25	-
E7014	Rutil, Demir tozu	F, V, OH, H	AC, DC (+/-)					17	-
E7015	Bazik, Sodyum	F, V, OH, H	DC (+)					22	- 29°C'da 27 J
E7016	Bazik, Potasyum	F, V, OH, H	AC, DC (+)					22	- 29°C'da 27 J
E7018	Bazik, Demir tozu, Potasyum	F, V, OH, H	AC, DC (+)					22	- 29°C'da 27 J
E7024	Rutil, Demir tozu	H-iç köşe, F	AC, DC (+/-)	72000	500	60000	420	17	-
E7027	Demir oksit, Demir tozu	H-iç köşe, F	AC, DC (-)					22	- 18°C'da 27 J
E7028	Bazik, Demir tozu, Potasyum	H-iç köşe, F	AC, DC (+)					22	- 18°C'da 27 J
E7048	Bazik, Demir tozu, Potasyum	F, OH, H, V-aşağıya	AC, DC (+)					22	- 29°C'da 27 J

*) **Kaynak Pozisyonları :**

F : Oluk pozisyonu, **H :** Yatay pozisyon, **H-iç köşe :** Yatay içköşe pozisyon, **V :** Düşey pozisyon, **V-aşağıya :** Yukarıdan aşağıya düşey pozisyon, **OH :** Tavan pozisyonu

Ek Tablo-4 Elektrod İşaretlerinin Sonuna Gelen Eklerin Anlamı

Ek	Çekirdek Teli Çelik Cinsi	Örnek	Ek	Çekirdek Teli Çelik Cinsi	Örnek
A1	Karbon - Molibden	E7011-A1	C2L	Nikel çeliği	E7016-C2L
B1	Krom - Molibden	E8016-B1	C3	Nikel çeliği	E8018-C3
B2	Krom - Molibden	E8018-B2	NM	Nikel-6 Molibden	E8018-NM
B2L	Krom - Molibden	E8015-B2L	D1	Mangan - Molibden	E9018-D1
B3	Krom - Molibden	E9016-B3	D3	Mangan - Molibden	E9016-D1
B3L	Krom - Molibden	E9018-B3L	D2	Mangan - Molibden	E10015-D2
B4L	Krom - Molibden	E8015-B4L	G	Diğer tüm düşük alaşımli çelik elektrodlar	E7020-G
B5	Krom - Molibden	E8016-B5			
C1	Nikel çeliği	E8016-C1			
C1L	Nikel çeliği	E7018-C1L	M	Askeri şartname	E11018-M
C2	Nikel çeliği	E8018-C2	W	Az bakır içeren	E7018-W

Ek Tablo-5 Bazı Alaşımli İslah Çeliklerinin Ark Kaynağında Tavsiye Edilen Minimum* Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar (°C)

Kalınlık (mm)	Çelik Cinsi				
	A514/A517	A533	A537	A543	A678
< 12	10	10	10	40	10
12 - 20	10	40	10	50	40
20 - 25	50	40	10	65	40
25 - 40	50	90	40	90	65
40 - 50	80	90	65	90	65
50 - 60	80	150	65	150	65
> 60	110	150	110	150	-

*) Düşük hidrojenli elektrod. Maksimum sıcaklık yukarıdaki değerlerden 65°C'dan fazla olmamalıdır.

Ek Tablo-6 HY-130 Çeliği İçin Maksimum Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar (Düşük Hidrojenli Elektrod)

Levha Kalınlığı (mm)	Maksimum Öntavlama veya Pasolararası Sıcaklık (°C)
< 16	60
16 - 22	90
22 - 35	130
> 35	150

Ek Tablo-7 Verilen Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklıklar İçin Maksimum Isı Girdisi (kJ/m)

Levha Kalınlığı (mm)	Öntavlanma ve Pasolararası Sıcaklıklar				
	20°C	60°C	90°C	150°C	200°C
ASTM A533 Grade B Çeliği					
6	930	820	750	620	480
10	1400	1230	1130	940	750
12	1870	1650	1510	1250	1020
16	2540	2260	2090	1670	1320
19	3490	3050	2750	2190	1650
ASTM A517 Grade B ve H Çelikleri					
5	690	600	550	450	350
6	930	820	750	620	480
10	1380	1210	1100	920	730
12	1870	1650	1510	1250	1020
16	2540	2260	2090	1670	1320
19	3490	3050	2750	2190	1650
25	-	4720	4340	3380	2580
> 30	-	-	6060	4720	3700
ASTM A517 Grade F Çeliği					
5	1060	-	830	670	510
6	1420	-	1140	940	750
12	2750	-	2200	1850	1570
19	4760	-	3900	3230	2560
25	-	-	6810	4960	3660
30	-	-	-	6890	5000
38	-	-	-	-	6500
50	-	-	-	-	-

Not :

- 1) Tabloda olmayan kalınlıklar ve sıcaklıklar için değerler interpolasyonla elde edilebilir.
- 2) Köşe kaynaklarında ısı girdisi % 25 fazla olabilir.

$$3) \text{ kJ/m kaynak} = \frac{\text{Amper} \times \text{Volt} \times 60}{\text{Hız (m/dak)} \times 1000}$$

Ek Tablo-8 HY-130 Çeliğinin Kaynak Bağlantılarında Tavsiye Edilen Kaynak Isı Girdileri

Levha Kalınlığı (mm)	Isı Girdisi (kJ/m)
9 - 16	1570
16 - 22	1770
22 - 35	1770
35 - 100	1970

Ek Tablo-9 Isıya Dayanıklı Krom-Molibdenli Çeliklerin Düşük Hidrojenli Elektrod İle Kaynağında Minimum Öntavlama Sıcaklıkları

Çelik (a)	DIN	ASTM Levha Spesifikasyonu	Verilen Kalınlıklar İçin Minimum Öntavlama Sıcaklığı (°C)		
			< 13 mm	13 - 25 mm	> 25 mm
1/2 Cr - 1/2 Mo		A387-Gr2	40	90	150
1 Cr - 1/2 Mo	(13 CrMo 4 4)	A387-Gr12	40	90	150
1+1/4 Cr - 1/2 Mo		A387-Gr11	40	90	150
2 Cr - 1/2 Mo		-	65	90	150
2+1/4 Cr - 1 Mo	(10 CrMo 9 10)	A387-Gr22	65	90	150
3 Cr - 1 Mo		A387-Gr21	120	150	200
5 Cr - 1/2 Mo	(12 CrMo 19 5)	A387-Gr5	120	150	200
7 Cr - 1/2 Mo		A387-Gr7	200	200	260
9 Cr - 1 Mo		A387-Gr9	200	200	260

- a) Bu değerler maksimum karbon içeriğinin % 0.15 olması halinde geçerlidir.
Daha yüksek karbon içeriği için öntavlama sıcaklıkları 40°C ile 90°C arasında artırılmalıdır.

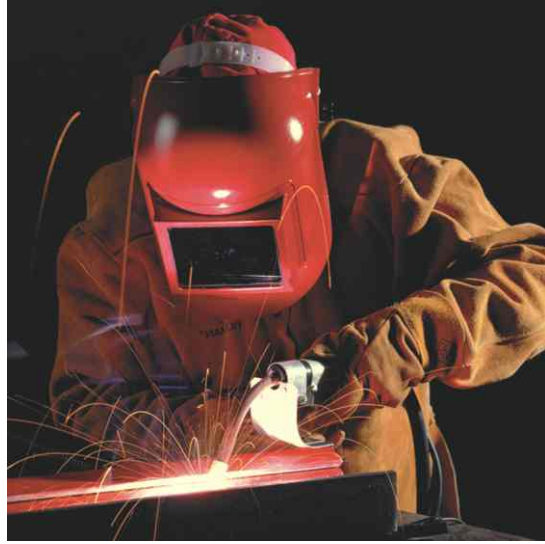
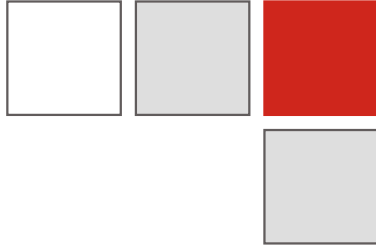
Ek Tablo-10 Çeşitli Alaşımli Çelik Çubuklar İçin Tavsiye Edilen Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklık Değerleri (Düşük Hidrojenli Elektrod)

Çelik	< 12 mm	12 - 25 mm	25 - 50 mm
1330	180 - 230	200 - 260	230 - 290
1340	200 - 260	260 - 320	320 - 370
4023	min. 40	90 - 150	120 - 180
4028	90 - 150	120 - 180	200 - 260
4047	200 - 260	230 - 290	260 - 320
4118	90 - 150	180 - 230	200 - 260
4130	150 - 200	200 - 260	230 - 290
4140	200 - 260	320 - 370	320 - 370
4150	320 - 370	320 - 370	320 - 370
4320	90 - 150	180 - 230	200 - 260
4340	320 - 370	320 - 370	320 - 370
4620	min. 40	90 - 150	120 - 180
4640	180 - 230	200 - 260	230 - 290
5120	min. 40	90 - 150	120 - 180
5145	200 - 260	230 - 290	260 - 320
8620	min. 40	90 - 150	120 - 180
8630	90 - 150	120 - 180	200 - 260
8640	180 - 230	200 - 260	230 - 290

KAYNAKÇA

- 1) GOURD, L. M.
"Principles of Welding Technology"
Edward Arnold Ltd. (1980)
- 2) METALS HANDBOOK
"Welding and Brazing"
ASM (1980)
- 3) DAVIES , A. C.
"The Science and Practice of Welding Vol-2"
Cambridge University Press (1981)
- 4) WEGST , C. W.
"Stahlschlüssel"
Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH (1989)
- 5) ROSSI , B. E.
"Welding Engineering"
McGraw - Hill (1954)

Gazaltı Ark Kaynağı



Prof. Dr. İ. Barlas ERYÜREK

İ.T.Ü. Makina Fakültesi
Makina Malzemesi ve İmalat Teknolojisi
Anabilim Dalı Başkanı

İçindekiler

BÖLÜM 1.0	GİRİŞ	53
	1.1 Yöntemin Tanımı ve Tarihçesi	53
	1.2 Yöntemin Üstünlükleri	54
	1.3 Yöntemin Sınırlamaları	54
BÖLÜM 2.0	GAZALTI KAYNAĞININ ÖZELLİKLERİ	55
	2.1 Çalışma Prensipleri	55
	2.2 Damla İletimi Mekanizmaları	56
	2.2.1 Kısa Devre İletimi (Kısa Ark)	57
	2.2.2 İri Damla İletimi (Uzun Ark)	58
	2.2.3 Sprey İletimi	59
	2.3 Kaynak Değişkenleri	62
	2.3.1 Kaynak Akımı	62
	2.3.2 Kutuplama	63
	2.3.3 Ark Gerilimi	64
	2.3.4 Kaynak Hızı	66
	2.3.5 Serbest Elektrod Uzunluğu	66
	2.3.6 Elektrod Açılı	67
	2.3.7 Kaynak Pozisyonları	69
	2.3.8 Koruyucu Gazlar	69
	2.3.9 Elektrod (Tel) Çapı	70
BÖLÜM 3.0	DONANIM	71
	3.1 Kaynak Torcu	71
	3.2 Elektrod Besleme Ünitesi	73
	3.3 Kaynak Kontrolü	74
	3.4 Güç Üniteleri	74
	3.4.1 Gerilim	77
	3.4.2 Eğim	77
	3.4.3 Endüktans	78
	3.5 Koruyucu Gaz Regülatörleri	79
	3.6 Elektrod Ünitesi	79

BÖLÜM 4.0	KAYNAK SIRASINDA TÜKETİLEN MALZEMELER	80
4.1	Elektrodlar	80
4.2	Koruyucu Gazlar	81
4.2.1	Koruyucu Soy Gazlar	81
4.2.2	Argon ve Helyum Karışımı	83
4.2.3	Argon ve Helyuma Oksijen ve Karbondioksit İlavesi	84
4.2.4	Karbondioksit	84
4.2.5	Koruyucu Gaz Seçimi	86
BÖLÜM 5.0	UYGULAMALAR	87
5.1	Alaşımız ve Düşük Alaşımız Çeliklerin Kaynağı	87
5.1.1	Kısa Devre İletimle Kaynak	87
5.1.2	Sprey İletimle Kaynak	88
5.1.3	Elektrod (tel) Besleme Hızları	88
5.1.4	Ark Gerilimi	89
5.1.5	Kısa Devre İletimle Kaynakta Kullanılan Koruyucu Gaz ve Gaz Karışımları	89
5.1.6	Sprey İletimle Kaynakta Kullanılan Koruyucu Gaz Karışımları	89
5.1.7	Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklık	90
5.2	Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı	94
5.2.1	Sprey İletim	94
5.2.2	Kısa Devre İletim	96
5.2.3	Darbeli İletim	99
5.3	Alüminyum ve Alüminyum Alaşımızlarının Kaynağı	99
BÖLÜM 6.0	ÖZEL UYGULAMALAR	102
6.1	Özlu Elektrodlarla Kaynak	102
6.1.1	Özlu Elektrodların Sınıflandırılması	104
6.1.2	Kaynak Değişkenleri	106
6.2	Nokta Kaynağı	109
6.3	Dar Aralık Kaynağı	110

BÖLÜM 7.0	KAYNAKTA ORTAYA ÇIKAN PROBLEMLER ve KAYNAK HATALARI	112
7.1	Kaynakta Ortaya Çıkan Problemler	112
7.1.1	Hidrojen Gevrekleşmesi	112
7.1.2	Oksijen ve Azotla Kirlenme	112
7.1.3	Esas Metalin Kirliliği	112
7.1.4	Yetersiz Erime	113
7.2	Kaynak Hataları	113
7.3	Aksaklıkların Giderilmesi	116
	KAYNAKÇA	120

BÖLÜM 1.0

GİRİŞ

1.1 YÖNTEMİN TANITIMI ve TARİHÇESİ

Bu yöntemde kaynak için gerekli ısı, sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrodla kaynak banyosu arasında oluşturulan ark yoluyla ve elektrodun geçen kaynak akımının elektrodun oluşturduğu direnç ısıtması aracılığı ile üretilir. Elektrod çıplak bir tel olup, elektrod besleme tertibatıyla kaynak bölgesine sabit bir hızla sevk edilir. Çıplak elektrod, kaynak banyosu, ark ve esas metalin kaynak bölgesine komşu bölgeleri, atmosfer kirlenmesine karşı dışarıdan sağlanan ve bölgeye bir gaz memesinden iletilen uygun bir gaz veya gaz karışımı tarafından korunur.

Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış olmakla birlikte, ticari anlamda ancak 1948'den itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Yöntem önceleri soy gaz koruması altında yüksek akım yoğunluklarında ince elektrodlarla gerçekleştirilen bir kaynak yöntemi olarak benimsenmiş ve temelde alüminyumun kaynağına kullanılmıştır. Ergiyen metal elektrod ve soy gaz kullanılması nedeniyle yöntem MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler, aktif koruyucu gazın kullanıldığı yöntem MAG (Metal Active Gas) kaynağı adının verilmesine neden olmuştur. Bu ad ayrımı sadece yöntemin adını belirtmek isteyenlerde sıkıntı yaratmış ve bu nedenle çeşitli ülkeler yöntemi belirt-

mek amacıyla değişik adlar kullanmaya başlamıştır. Amerika'da bu yönteme "GMAW - Gaz Metal Ark Kaynağı", İngiltere'de ve Almanya'da ise "MIG/MAG Kaynağı" adı verilmektedir. Ülkemizde de, "**Ergiyen Elektrodla Gazaltı** veya **MIG/MAG Kaynağı**" adları kullanılmaktadır.

Bu kitapta "Ergiyen Elektrodla Gazaltı Kaynağı"nı belirtmek amacıyla sadece "**Gazaltı Kaynağı**" terimi kullanılacaktır. Diğer taraftan hem yabancı hem de yerli literatürde dolgu malzemesinin şeklini belirtmek amacıyla "**Tel**", fonksiyonunu belirtmek amacıyla da "**Elektrod**" terimleri kullanılmaktadır. Bazı durumlarda her ikisini de belirtmek amacıyla "**Tel Elektrod**" terimine rastlanmaktadır. Bu kitapta ise gazaltı kaynağında kullanılan tel şeklindeki elektrodları belirtmek amacıyla ise sadece "**Elektrod**" terimi kullanılacaktır.

Bu yöntemle ilgili diğer bir gelişme de elektrodun meydana gelmiştir. Dolu tel yerine içi metal tozu ile doldurulmuş tüp şeklindeki özlü elektrodlar geliştirilmiştir. Böylece, örtülü elektrodlardaki örtünün bazı görevlerini özün, çekirdek telinin görevini de özü saran çelik tüpün görmesi sağlanmıştır. Konuyla ilgili detaylı bilgi **BÖLÜM-6**'da verilmiştir.

Gazaltı kaynağında ark boyu kaynak makinası tarafından kontrol edilir (ileride detaylı olarak açıklanacaktır). Kaynakçıdan beklenen, gaz memesini kaynak banyosu üzerinde sabit bir yükseklikte tutarak

(genellikle 20 mm) belirli bir hızda hareket ettirir. Ark boyunun kaynak makinası tarafından kontrol edilmesi nedeniyle bu yönteme "**Yarı Otomatik Kaynak Yöntemi**" adı verilmiştir. Otomatik kaynak yönteminde yukarıda açıklanan ek olarak gaz memesi de iş parçası üzerinde belirli bir hızda otomatik olarak hareket eder. Bu durumda kaynakçının kaynak işlemine fiili bir katkısı yoktur.

Alaşımız çelikler, yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, alüminyum, bakır, titanyum ve nikel alaşımları gibi ticari açıdan önemli tüm metaller uygun koruyucu gaz, elektrod ve kaynak değişkenleri seçmek şartıyla, bu yöntemle kaynak edilebilirler.

1.2 YÖNTEMİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Yöntemin yaygın olarak kullanılma nedeni, doğal olarak sağladığı üstünlüklerden kaynaklanmaktadır. Bu üstünlükler aşağıda sıralanmıştır :

- Ticari metal ve alaşımların tümünün kaynağında kullanılabilen yegane ergiyen elektrodla kaynak yöntemidir.
- Elektrik ark kaynağında karşılaşılan sınırlı uzunlukta elektrod kullanma problemini ortadan kaldırmıştır.
- Kaynak her pozisyonda yapılabilir. Bu tozaltı kaynağında mümkün değildir.
- Metal yığıma hızı elektrik ark kaynağına nazaran oldukça yüksektir.
- Sürekli elektrod beslenmesi ve yüksek metal yığıma hızı nedeniyle, kaynak hızları elektrik ark kaynağına nazaran yüksektir.
- Elektrod beslenmesinin sürekli olması nedeniyle hiç durmadan uzun kaynak dikişleri çekilebilir.

g) Sprey iletim kullanıldığında, elektrik ark kaynağına nazaran daha derin nüfuziyet elde edilir. Böylece içköşe kaynaklarında aynı mukavemeti sağlayan daha küçük kaynak dikişleri çekmek mümkün olur.

h) Yoğun bir cüruf tabakasının olmayışı nedeniyle pasolararası temizlik için harcanan zaman çok azdır.

Bu üstünlükler, gazaltı kaynak yöntemini, özellikle yüksek üretim hızlarına ve otomatik kaynak uygulamalarına uygun hale getirmiştir.

1.3 YÖNTEMİN SINIRLAMALARI

Diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi gazaltı kaynağının kullanılmasını zorlaştıran bazı sınırlamalar da mevcuttur. Bu sınırlamalar aşağıda sıralanmıştır :

- Kaynak donanımı, elektrik ark kaynağına nazaran, daha karmaşık, daha pahalı ve bir yerden başka bir yere taşınması daha zordur.
- Kaynak torcunun elektrik ark kaynağı pensesinden daha büyük olması nedeniyle ve kaynak metalinin koruyucu gazla etkin bir şekilde korunması amacıyla torcun bağlantıya 10 ila 20 mm arasında değişen yakın bir mesafeden tutulması gerektiği için, bu yöntemin ulaşılması güç olan yerlerde kullanılması pek mümkün değildir.
- Kaynak arkı koruyucu gazı bulunduğu yerden uzaklaştıran hava akımlarından korunmalıdır. Bu nedenle, kaynak alanının etrafı hava akımına karşı koruma altına alınmadıkça, yöntemin açık alanlarda kullanılması mümkün değildir.
- Göreceli olarak, çalışma anında yüksek şiddette ısı yayılması ve ark yoğunluğu nedeniyle, bazı kaynakçılar bu yöntemi kullanmaktan kaçınabilir.

BÖLÜM 2.0

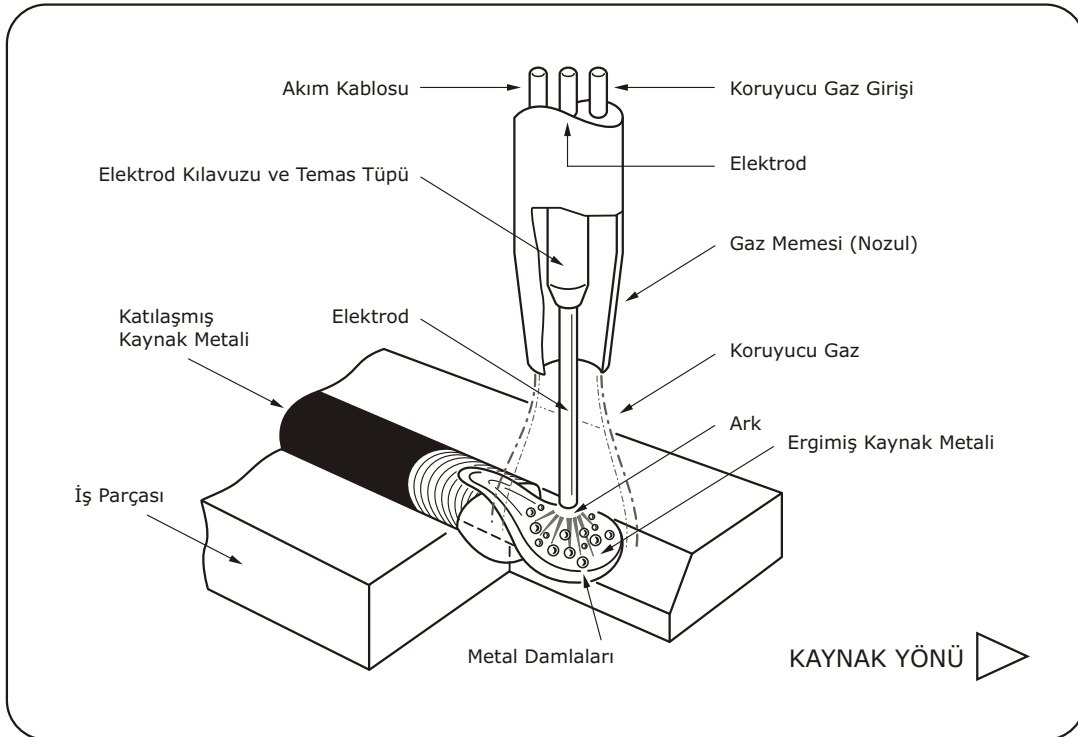
GAZALTI KAYNAĞININ ÖZELLİKLERİ

2.1 ÇALIŞMA PRENSİBİ

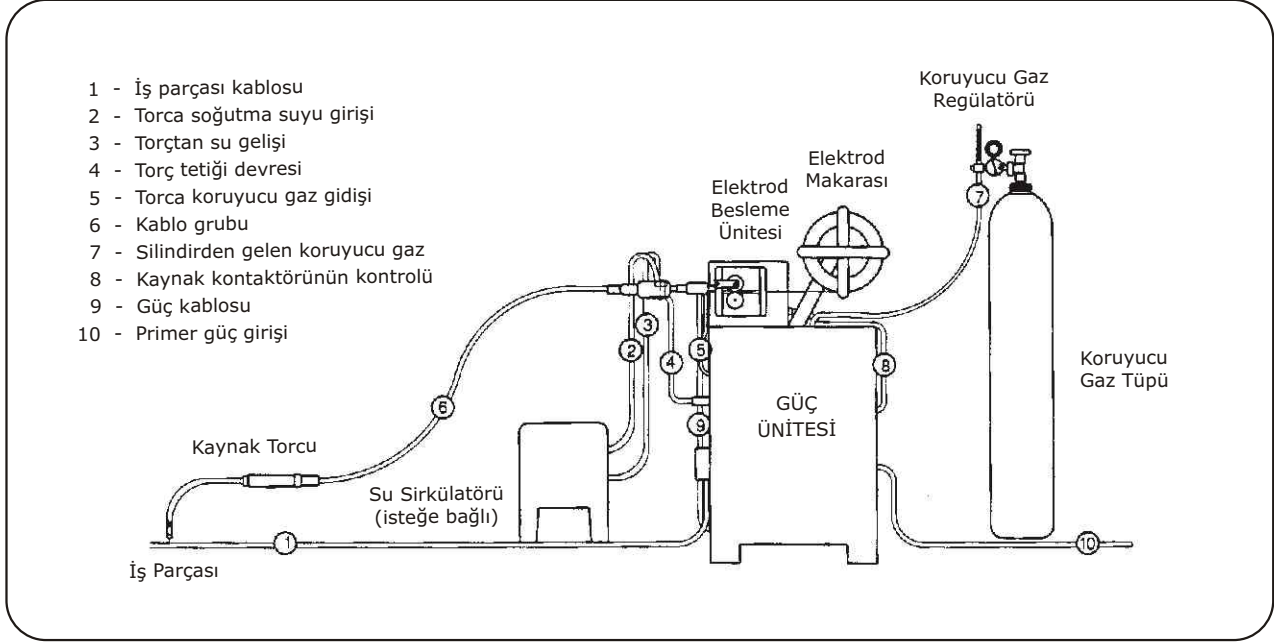
Bu yöntemde dışarıdan sağlanan gazla korunan ve otomatik olarak sürekli beslenen ve eriyen elektrod kullanılır (Şekil-1).

Kaynakçı tarafından ilk ayarlar yapıldıktan sonra arkın elektriksel karakteristiğinin kendi kendine ayarını otomatik olarak kaynak makinası sağlar. Bu nedenle yarı otomatik kaynaktaki kaynakçının gerçekleştirdiği elle

kontroller; kaynak hızı, doğrultusu ve torcun pozisyonundan ibarettir. Uygun donanım seçilip, uygun ayarlar yapıldığında ark boyu ve akım şiddeti (elektrod besleme hızı) kaynak makinası tarafından otomatik olarak sabit değerde tutulur. Gazaltı kaynağı için gerekli donanım Şekil-2'de gösterilmiştir.



Şekil-1 Gazaltı Kaynağının Prensibi



Şekil-2 Gazaltı Kaynak Donanımı

Kaynak donanımı 4 temel gruptan oluşmuştur :

- Kaynak torcu ve kablo grubu
- Elektrod besleme ünitesi
- Güç ünitesi
- Koruyucu gaz ünitesi

Torç ve kablo grubu üç görevi yerine getirir. Koruyucu gazı ark bölgesine taşır, elektrodu temas tüpüne iletir ve güç ünitesinden gelen akım kablosunu temas tüpüne iletir. Kaynak torcunun tetiğine basıldığı zaman, iş parçasına aynı anda gaz, güç ve elektrod iletilir ve bir ark oluşur. Ark boyunun kendi kendisini ayarlamasını sağlamak için elektrod besleme ünitesi ile güç ünitesi arasında ilişki sağlayan iki türlü çözüm mevcuttur. Bunlardan en fazla bilineni de sabit gerilimli bir güç ünitesi (yatay gerilim-akım karakteristiği sağlayan güç ünitesi) ile sabit hızlı bir elektrod besleme ünitesi kullanmaktır. İkinci çözüm ise azalan bir gerilim-akım karakteristiği sağlar ve elektrod besleme ünitesinin besleme hızı ark gerilimi yoluyla kontrol edilir. Sabit gerilim ve sabit elektrod besleme hızı çözümünde torcun pozisyonundaki değişme kaynak akımında da

değişmeye neden olur. Kaynak akımındaki bu değişme ise derhal serbest elektrod uzunluğunu değiştirerek (elektrod ergime hızı değiştiğinden) ark boyunun sabit kalmasını sağlar. Torcun iş parçasından uzaklaşması nedeniyle serbest elektrod uzunluğunda meydana gelen artma kaynak akımında azalmaya neden olarak elektrodda direnç ısıtmasının da aynı değerde kalmasını sağlar. Diğer çözümde ise, ark geriliminde meydana gelen değişmeler elektrod besleme sisteminin kontrol devrelerini yeniden ayarlar ve bu sayede elektrod besleme hızı uygun bir şekilde değiştirilir.

2.2 DAMLA İLETİMİ MEKANİZMALARI

Gazaltı kaynağında metal damlalar elektroddan iş parçasına üç temel iletim mekanizmasıyla geçer :

- Kısa devre iletimi (kısa ark)
- İri damla iletimi (uzun ark)
- Sprey iletimi

Damla iletim tipi çok sayıda faktör tarafından etkilenir. Bunlar içinde en etkili olanlar şunlardır :

- Kaynak akımının tipi ve şiddeti
- Elektrod çapı
- Elektrodun bileşimi
- Serbest elektrod uzunluğu
- Koruyucu gaz

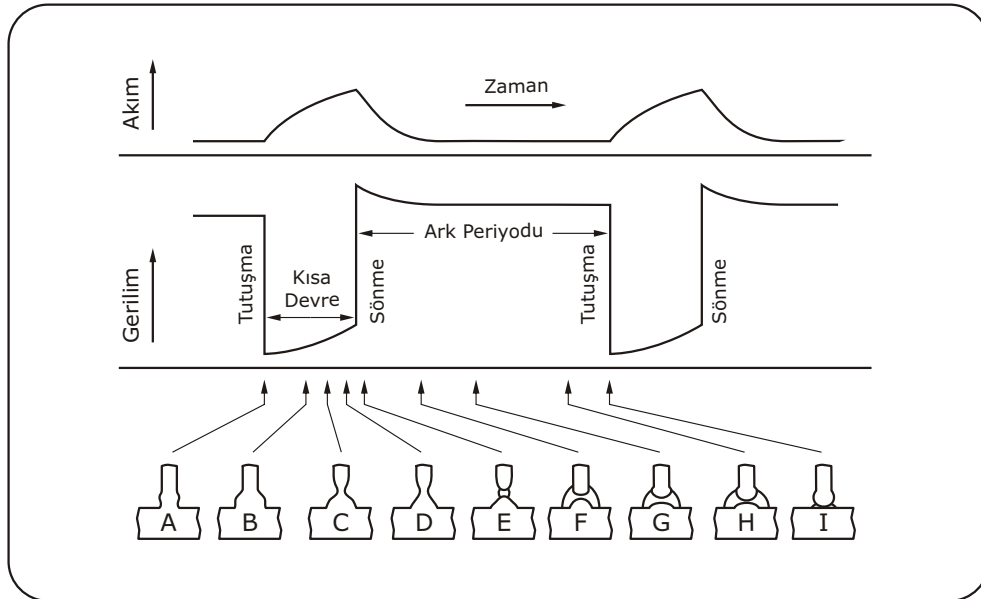
2.2.1

Kısa Devre İletimi (Kısa Ark)

Kısa devre iletimi, gazaltı kaynağındaki en düşük kaynak akımı aralığında ve en küçük elektrod çaplarında gerçekleştirilir. Bu tip bir iletim ince kesitlerin birleştirilmesi için, pozisyon kaynağı için ve büyük kök açıklıklarını birleştirmeye uygun olan küçük ve hızla katılaştıran bir kaynak banyosu oluşturmak için kullanılır. Sadece elektrod kaynak banyosu ile temas halinde olduğu sırada elektrodun iş parçasına metal iletilir. Ark aralığı boyunca herhangi bir metal iletimi olmaz. Elektrod iş parçasına saniyede 20 ila 200 kez temas eder. Metal iletiminin düzeni ve bu sıradaki gerilim ve akım değeri Şekil-3'te gösterilmiştir.

Elektrod kaynak banyosuna temas edince, kaynak akımı artar (Şekil-3'deki A, B, C, D). Tel ucundaki ergimiş damla D ve E safhasında daralarak telden iş parçasına doğru geçer ve E ve F'de gösterildiği gibi ark yeniden oluşur. Akımın artma hızı elektrodu ısıtmaya ve metal iletimi sağlamaya yetecek kadar yüksek, ancak metal damlasının şiddetle ayırmasının neden olacağı sıçramayı en az düzeyde tutacak kadar düşük olmalıdır. Akımın artma hızı güç ünitesindeki endüktansın ayarlanması ile kontrol edilir. En uygun endüktans ayarı hem kaynak devresinin elektrik direncine hem de elektrodun ergime sıcaklığına bağlıdır. Ark oluştuğundan sonra elektrod yeni bir kısa devre oluşturmak üzere ileri doğru beslenirken elektrodun ucu ergir (Şekil-3'deki H).

Elektrod ucundaki ergimiş metal damlasının esas metale temas etmesini önlemek amacıyla güç ünitesinin açık devre gerilimi düşük tutulur. Arkı sürdürmek için gerekli enerjinin bir kısmı kısa devre sırasında endüktörde depo edilen enerjiden sağlanır. Metal iletiminin kısa devre sırasında oluşmasına rağmen koruyucu gazın cinsinin ergimiş metalin yüzey gerilimi



Şekil-3 Kısa Devre Metal İletimi

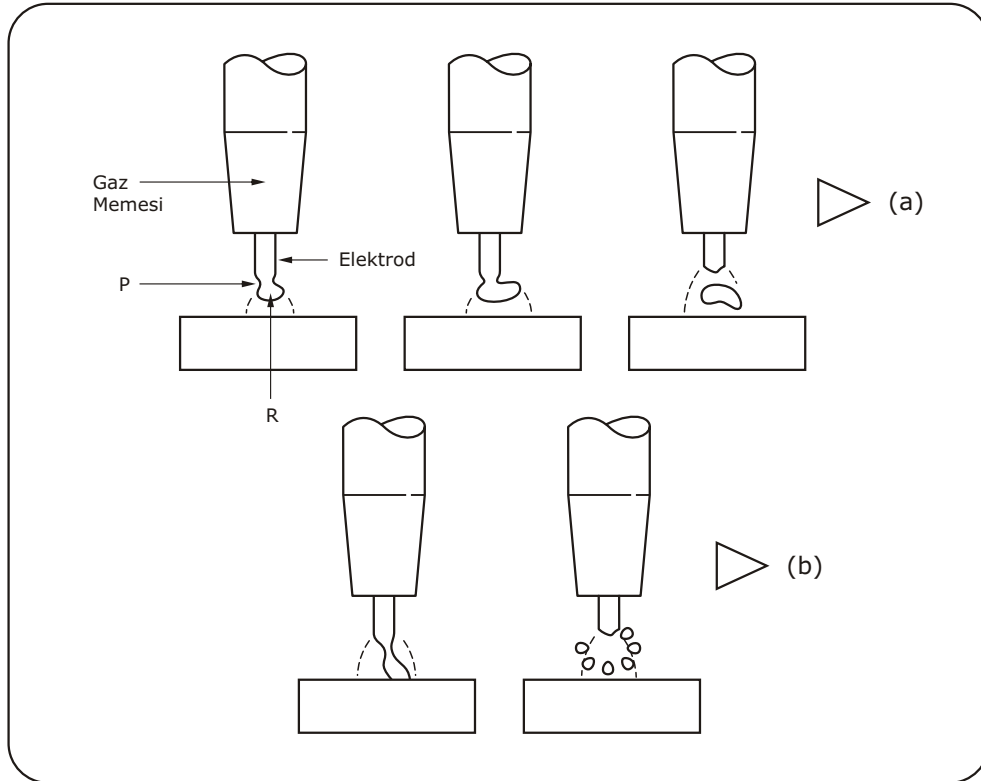
üzerinde önemli derecede etkisi vardır. Koruyucu gaz bileşiminin değişmesi damla çapını ve kısa devre süresini ciddi biçimde etkiler. Buna ilave olarak, koruyucu gazın tipi arkın çalışma karakteristiğini ve esas metale nüfuziyeti etkiler. Karbondioksit gazı soy gazlarla kıyaslandığında, genellikle daha fazla sıçrama oluşturur. Ancak CO₂ daha derin nüfuziyet de sağlar (alaşım ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında). Nüfuziyetle sıçrama arasında iyi bir denge oluşturmak için genellikle CO₂ ve argon karışımı kullanılır. Argona helyum ilavesi demirdışı metallerde nüfuziyeti artırır.

2.2.2

İri Damla İletimi (Uzun Ark)

Doğru akım elektrod pozitif kutuplamada (DAEP) kaynak akımı göreceli olarak düşük ise koruyucu gazın cinsine bağlı olmaksızın iri damla iletimi meydana gelir. Ancak CO₂ ve helyumla bu tip bir iletim tüm

kullanılabilen kaynak akımı değerlerinde oluşur. İri damla iletiminin en önemli özelliği damla çapının elektrod çapından daha büyük oluşudur. İri damla yerçekimi etkisiyle kolaylıkla hareket eder. Bu nedenle iri damla iletimi başarılı bir biçimde ancak oluk pozisyonunda gerçekleşir. Kısa devre damla iletiminde kullanılan akımlardan biraz daha yüksek akım değerlerinde, tam asal gaz koruması altında aksel olarak yönelmiş iri damla iletimi elde edilebilir. Eğer ark boyu çok kısa (düşük gerilim) ise elektrod ucunda büyüyen damla iş parçasına temas edip aşırı ısınabilir ve parçalanarak aşırı sıçramaya neden olabilir. Bu nedenle ark, damlanın kaynak banyosuna değmeden önce elektrodan ayrılmasına imkan sağlayacak kadar uzun olmalıdır. Ancak daha yüksek gerilim kullanarak yapılan kaynakların yetersiz ergime, yetersiz nüfuziyet ve aşırı dikiş taşması nedeniyle reddedilme olasılığı yüksektir. Bu ise iri damla iletiminin kullanımını büyük ölçüde sınırlar. Kaynak akımı kısa devre iletimi için



Şekil-4 Eksenel Olmayan İri Damla İletimi

kullanılan akım aralığından oldukça yüksekse, karbondioksitle koruma tesadüfi şekilde yönlendirilmiş iri damla iletimine neden olur. Eksenel iletim hareketinden sapmaya, kaynak akımının oluşturduğu ve ergimiş elektrod ucuna etki eden elektromanyetik kuvvetler neden olur. (**Şekil-4**) Bu kuvvetlerin en önemlileri elektro-manyetik (**P**) büzme kuvveti ile (**R**) anod reaksiyon kuvvetidir.

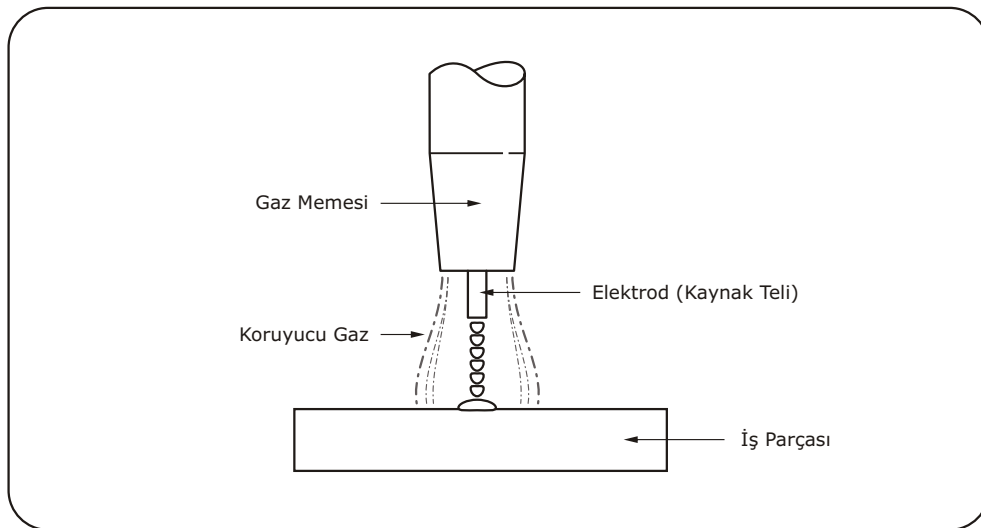
Büzme kuvvetinin şiddeti kaynak akımına ve elektrod çapına bağlı olup bu kuvvet elektrod ucundaki ergimiş damlanın elektrodan ayrılmasından sorumludur. CO₂ ile koruma yapıldığında kaynak akımı ergimiş damla vasıtasıyla iletilir ve bu nedenle elektrodun ucu ark plazması tarafından sarılmaz. Yüksek hızlı fotoğraf tekniği ile alınan görüntüler, arkın ergimiş damla yüzeyinden iş parçasına doğru hareket ettiğini göstermektedir. Bunun nedeni (**R**) kuvvetinin damlayı destekleme, yani damlanın elektrodan ayrılmasını önleme eğilimidir.

Ergimiş damlanın elektrodan ayrılması bu nedenle ya iş parçasına temas edip kısa devre yapıncaya kadar büyümesi sonucu (**Şekil-4b**) veya yerçekimi kuvvetlerinin etkisi nedeniyle ayrılacak kadar büyümesi sonucu (**Şekil-4a**) oluşur. Bunun nedeni (**P**)'nin hiç bir zaman

yalnız başına (**R**)'den daha etkin hale gelmemesidir. **Şekil-4a**'da gösterildiği gibi damlanın parçalanma olmaksızın elektrodan ayrılıp kaynak banyosuna iletilmesi mümkündür. Ancak oluşma olasılığı çok daha yüksek olan iletim **Şekli-4b**'de gösterilmiştir. Burada damla kısa devre yapmakta ve parçalanmaktadır. Bu nedenle sıçrama çok şiddetlidir ve bu olay CO₂ korumasının birçok ticari uygulamada kullanılmasını engeller. Herşeye rağmen CO₂ yumuşak çeliklerin kaynağında en çok kullanılan koruyucu gazdır. Bunun nedeni arkı gömerek sıçrama probleminin önemli ölçüde azaltılmasıdır. Bu şekilde ark atmosferi gaz ve demir buharının karışımından meydana gelir ve hemen hemen sprej tipi bir iletim oluşur. Ark kuvvetleri sıçramanın çoğunu içinde tutan çökmüş bir boşluk yaratmaya yeterlidir. Bu teknik daha yüksek akımlar gerektirir ve bu nedenle derin bir nüfuziyet oluşur. Ancak kaynak hızı dikkatle kontrol edilmezse, zayıf iletme etkisi aşırı kaynak dikişi taşmasına neden olur.

2.2.3 Sprej İletimi

Argonca zengin gaz korumasında kararlı, sıçramasız eksenel sprej tipi bir iletim elde etmek mümkündür (**Şekil-5**).



Şekil-5 Eksenel Sprej İletim

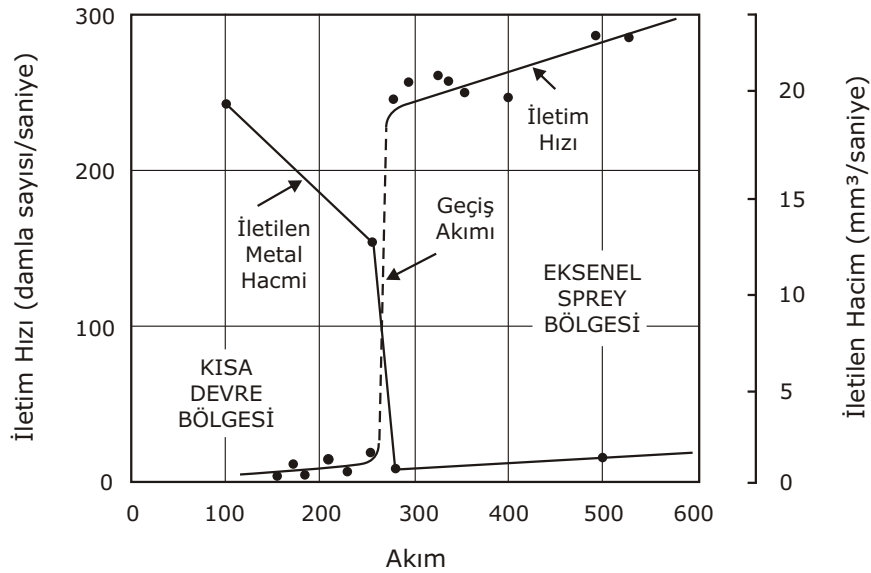
Bunun için doğru akım elektrod pozitif (DAEP) kutupta kullanılması ve akım şiddetinin geçiş akımı adı verilen kritik bir değerinin üzerinde olması gerekir (**Şekil-6**). Bu akımın altında iletim daha önce açıklanan iri damla iletimi yoluyla olur ve damla iletiminin hızı saniyede birkaç damladır. Geçiş akımının üzerindeki değerlerde ise iletim, küçük çaplı (elektrod çapından daha küçük çapa sahip) damlaların oluşumu ve bunların saniyede yüzlerce damla iletim hızında ayrılmasıyla oluşur. Bunlar ark aralığı boyunca aksenel olarak hızlanırlar. Damla iletim hızı ile akım arasındaki ilişki **Şekil-6**'da verilen grafikte gösterilmiştir.

Sıvı metalin yüzey gerilimine bağlı olan metal geçiş akımı elektrod çapıyla ve bir dereceye kadar da serbest elektrod uzunluğu ile ters orantılı olarak değişir. Elektrodun ergime sıcaklığı ve koruyucu gazın bileşimi de geçiş akımını etkiler.

Bazı önemli elektrod metallerinin geçiş akımları değerleri **Tablo-1**'de verilmiştir.

Sprey damla iletimi kuvvetle yönlendirilmiş damlalar demetinden ibaret olup damlalar ark kuvvetleri tarafından ivmelendirilerek yerçekimi etkisini yenen hızlara ulaşırlar. Bu nedenle belirli şartlar altında yöntem her pozisyonda kullanılır. Damlaların çapı ark boyundan daha küçük olduğu için kısa devre meydana gelmez ve bu nedenle de sıçrama, tamamen yokolmasa bile ihmal edilecek seviyeye düşer.

Sprey damla iletiminin diğer bir özelliği oluşturduğu "**parmak**" şeklindeki nüfuziyettir. Parmak derin olabilmekle birlikte, manyetik alanlardan etkilendiğinden onun kaynak nüfuziyet profilinin merkezinde yer almasını sağlayacak şekilde kontrol edilmesi gerekir. Argon korumasının asal karakteri nedeniyle sprey damla iletimi hemen hemen tüm aşamalarda kullanılabilir. Ancak sprey ark oluşturmak için gerekli akım değerleri yüksek olduğundan bu yöntemin ince saçlara uygulanması zor olabilir. Ortaya çıkan ark kuvvetleri ince saçları kaynak edecekleri yerde keserler. Aynı zamanda bu yöntemde özgü olan yüksek yağma hızları düşey ve tavan pozisyonlarında yüzey gerilimi ile taşınamayan büyük ölçekte kaynak banyosu oluşturur.



Şekil-6 Damla İletimi Hızının ve Damla Hacminin Kaynak Akımıyla Değişimi
(\varnothing 1.6 mm Çelik Elektrod - Ar + CO₂ Karışım Gazı Koruması - 6.4 mm Ark Uzunluğu)

Tablo-1 Çeşitli Elektrodlar İçin İri Damladan Spreye Geçiş Akımları

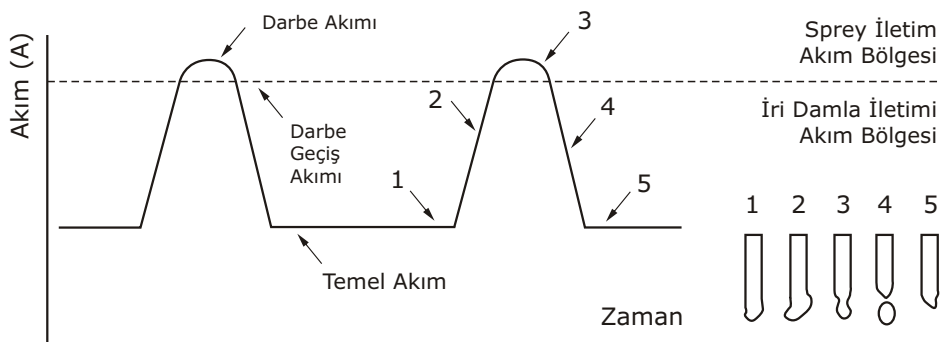
Elektrod Tipi	Elektrod Çapı (mm)	Koruyucu Gaz	Min. Sprey Ark Geçiş Akımı (A)
Yumuşak Çelik	0.8	% 98 Ar + % 2 O ₂	150
Yumuşak Çelik	0.9	% 98 Ar + % 2 O ₂	165
Yumuşak Çelik	1.1	% 98 Ar + % 2 O ₂	220
Yumuşak Çelik	1.6	% 98 Ar + % 2 O ₂	275
Paslanmaz Çelik	0.9	% 98 Ar + % 2 O ₂	170
Paslanmaz Çelik	1.1	% 98 Ar + % 2 O ₂	225
Paslanmaz Çelik	1.6	% 98 Ar + % 2 O ₂	285
Alüminyum	0.8	Argon	95
Alüminyum	1.1	Argon	135
Alüminyum	1.6	Argon	180
Deoksided Bakır	0.9	Argon	180
Deoksided Bakır	1.1	Argon	210
Deoksided Bakır	1.6	Argon	310
Silisyum Bronzu	0.9	Argon	165
Silisyum Bronzu	1.1	Argon	205
Silisyum Bronzu	1.6	Argon	270

Sprey ark iletiminin iş parçası kalınlığı ve kaynak pozisyonu ile ilgili bu sınırlamaları özel olarak tasarlanmış güç üniteleri sayesinde büyük ölçüde ortadan kaldırılmıştır. Bu makineler hassas bir şekilde kontrol edilen dalga formları ve frekansları oluşturarak "**darbeli (palslı)**" akım üretmektedir. **Şekil-7'**de gösterildiği gibi darbeli akım üreten makineler iki farklı akım seviyesi sağlamaktadır.

Bunlardan biri sabit şiddette olup, elektrod ucunda damla oluşturacak kadar yüksek bir enerji vermeden arkın sürdürülmesini sağlar. Diğeri ise buna eklenen

darbe akımı olup, şiddeti spreyletimi için gerekli olan geçiş akımından büyüktür. Bu darbe sırasında bir veya daha fazla sayıda damla oluşarak kaynak banyosuna iletilir. Darbelerin saniyedeki sayısı ve şiddeti arkın enerji seviyesini ve bu nedenle de elektrodun ergime hızını kontrol eder.

Ortalama ark enerjisinin ve elektrod ergime hızının azalması sayesinde darbeli akımla spreyletüm sac metallerin birleştirilmesinde ve kalın metallerin tüm pozisyonlardaki kaynağında rahatlıkla kullanılabilir.

**Şekil-7 Darbeli (Palslı) Sprey Ark Kaynağı Akımının Karakteri**

2.3

KAYNAK DEĞİŞKENLERİ

Kaynak nüfuziyetini, dikiş geometrisini ve genel kaynak kalitesini etkileyen kaynak değişkenleri aşağıda verilmiştir :

- Kaynak akımı (elektrod besleme hızı)
- Kutuplama
- Ark gerilimi (ark boyu)
- Kaynak hızı
- Serbest elektrod uzunluğu
- Elektrod açıları
- Kaynak pozisyonları
- Koruyucu gazlar
- Elektrod (tel) çapı

Yeterli kaliteye sahip kaynak dikişleri elde edebilmek için bu değişkenlerin etkilerini iyi bir şekilde anlamak ve bunları kontrol etmek gerekir. Bu değişkenler birbirinden bağımsız değildir. Birinin değiştirilmesi, arzu edilen sonucu elde edebilmek için diğerlerinin veya birkaçının değiştirilmesini gerektirir. Herbir uygulamada en uygun ayarları seçmek için önemli ölçüde yetenek ve tecrübe gerekir. Kaynak değişkenlerinin en uygun değerleri aşağıdaki faktörler gözönüne alınarak seçilir.

- Esas metalin tipi
- Elektrod bileşimi
- Kaynak pozisyonu
- Kaynak bağlantısının kalitesi ile ilgili istekler

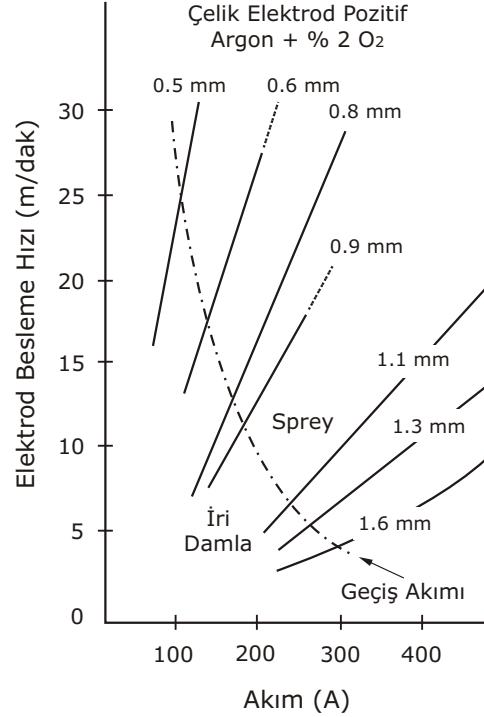
Buna göre her uygulama için en uygun sonuçları veren tek bir değişken topluluğu yoktur.

2.3.1

Kaynak Akımı

Diğer tüm değişkenler sabit tutulduğunda kaynak akımının şiddeti elektrod besleme hızı veya ergime hızı ile doğrusal olmayan bir şekilde değişir. Elektrod besleme hızı değiştirildiğinde sabit gerilimli güç ünitesi

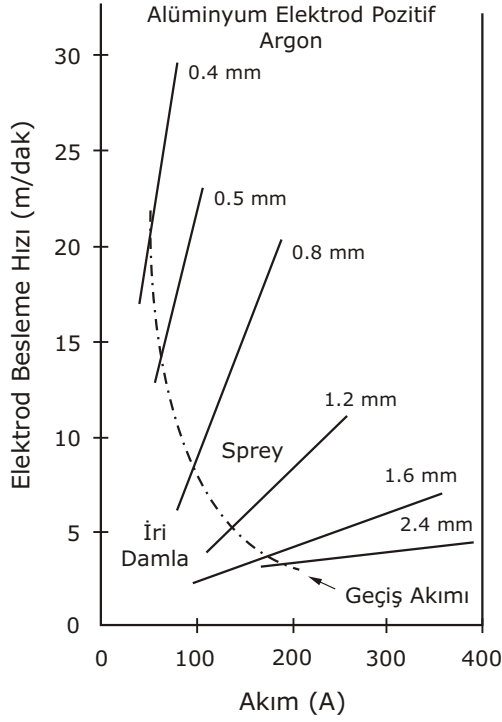
kullanılıyorsa kaynak akımı da benzer şekilde değişir. Kaynak akımı ile elektrod besleme hızı arasındaki bu ilişki çelik elektrodlar için Şekil-8'de gösterilmiştir.



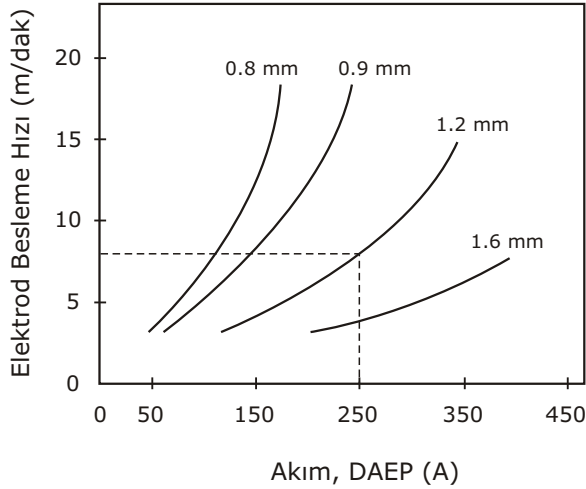
Şekil-8 Alaşimsız Çelik Elektrodlar İçin Kaynak Akımları İle Elektrod Besleme Hızları Arasındaki İlişki

Düşük akım değerlerinde, her bir elektrod çapı için eğriler yaklaşık olarak doğrusaldır. Ancak daha yüksek akım değerleri üzerinde özellikle küçük elektrod çaplarında eğriler doğrusallıktan sapar ve kaynak akımı arttıkça bu sapma daha da artar. Bu değişim serbest elektrod uzunluğunda oluşan direnç ısıtmasına bağlanmaktadır. Elektrod besleme hızı ile kaynak akımı arasındaki bu ilişki elektrodun kimyasal bileşiminden de etkilenir. Şekil-8, 9 ve 10'da sırasıyla alaşimsız çelik, alüminyum ve paslanmaz çelik elektrodlar için verilen eğriler kıyaslanarak bu etki görülebilir.

Eğrilerin farkı konumlarda ve eğimlerde olmasının nedeni metallerin ergime sıcaklıklarının ve elektrik dirençlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Serbest elektrod uzunluğu da bu ilişkiyi etkiler.



Şekil-9 ER4043 Alüminyum Elektrodlar İçin Kaynak Akımları ile Elektrod Besleme Hızları Arasındaki İlişki



Şekil-10 300 Serisi Paslanmaz Çelik Elektrodlar İçin Kaynak Akımları ile Elektrod Besleme Hızları Arasındaki İlişki

Diğer tüm değişkenler sabitken kaynak akımındaki (elektrod besleme hızında) artış aşağıdaki sonuçları doğurur :

- Kaynak nüfuziyet derinliğinde ve genişliğinde artma
- Yığılma hızında artma
- Kaynak dikliğinin boyutlarında artma

Darbeli (palslı) sprej kaynağında, sprej tipi metal iletimini sağlamak için ortalama şiddeti geçiş akımından daha düşük değerlerde kaynak akımına neden olan akım darbeleri kullanılır.

Ark kuvveti ve yığılma hızı akıma kuvvetli olarak bağlıdır. Düşey ve tavan pozisyonlarında, geçiş akımının üzerindeki akım değerleriyle çalışılması durumunda, ark kuvvetleri kontrol edilemez hale getirilir. Darbe akımı ile ortalama akım düşürülerek hem ark kuvvetleri ve hem de yığılma hızı azaltılır ve böylece kaynağın tüm pozisyonlarda ve ince saçlarda yapılması mümkün olur. Dolu elektrodalarda darbeli akım kullanmanın diğer bir avantajı daha büyük çaplı elektrodların (yani 1.6 mm) kullanılabilmesidir. Bu durumda yığılma hızları ince elektrodlardakinden pek farklı olmamakla birlikte, yığılan birim metal başına maliyetin daha düşük olması bir kazanç sağlar. Azalan sıçrama kayıpları nedeniyle yığılma veriminde de bir artış oluşur. Özlü elektrodalarda darbeli akım, dolu elektrodlarla kıyasla, serbest elektrod uzunluğu ve gerilimdeki değişimlerden daha az etkilenen bir ark oluşturur. Bu nedenle işlem kaynakçının kaynak sırasında oluşturduğu değişimlere karşı daha toleranslıdır. Darbeli akım, sıçramanın zaten düşük olduğu bir operasyonda sıçramayı daha da düşük bir düzeye indirir.

2.3.2 Kutuplama

Kutuplama terimi kaynak torcunun bir doğru akım ünitesinin kutuplarına elektriksel olarak bağlanmasını tanımlamak için kullanılır. Torcun güç kablosu, kaynak ünitesinin pozitif kutubuna bağlanacak olursa, bu

kutuplamaya doğru akım elektrod pozitif kutuplama (**DAEP**) veya "**ters kutuplama**" adı verilir. Torç negatif kutuba bağlanacak olursa bu kutuplamaya doğru akım elektrod negatif kutuplama (**DAEN**) veya "**düz kutuplama**" adı verilir. Ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı uygulamalarının büyük bir çoğunluğunda doğru akım elektrod pozitif kutuplama kullanılır. Bunun nedeni bu kutuplamanın geniş bir kaynak akım aralığında kararlı bir ark, yumuşak bir metal iletimi, göreceli olarak daha az sıçrama, iyi bir kaynak dikişi özelliği ve daha fazla nüfuziyet oluşturmasıdır.

Doğru akım elektrod negatif kutuplama ise nadiren kullanılır. Bunun nedeni aksel sprej iletimin ticari olarak pek kabul görmemiş bazı değişiklikler yapılmadan gerçekleşmemesidir. Doğru akım elektrod negatif kutuplamanın yüksek ergime hızları oluşturmak gibi olumlu bir yanı olmakla birlikte damla iletimi tipi iri damlalı iletim olduğundan bu olumlu tarafından yararlanmak mümkün değildir. Çeliklerde, iletimi argona % 5 oranında O₂ katarak (oksidasyon kayıplarını telafi etmek için elektroda özel alaşımlar katmak gerekir) veya elektrodu termo-iyonik yaparak (elektrodun maliyetini artırır) iyileştirme sağlanabilir. Her iki halde de yağma hızları azalır ve kutup değiştirmenin sağladığı üstünlük ortadan kalkmış olur. Bununla birlikte, doğru akım elektrod negatif kutuplama, yüksek yağma hızına ve daha düşük nüfuziyete sahip olması nedeniyle, yüzey doldurma işlemlerinde uygulama alanı bulmuştur.

Gazaltı kaynağında alternatif akım kullanılması genellikle başarısız sonuçlar vermiştir. Alternatif akımda akım sıfırdan geçerken arkın sönme eğilimi göstermesi ark kararsızlığına neden olmaktadır. Bu problemin üstesinden gelmek için elektrod yüzeylerine uygulanan özel işlemler geliştirilmiş olmakla birlikte bunların uygulanma maliyetleri elektrodları pahalı hale getirmektedir.

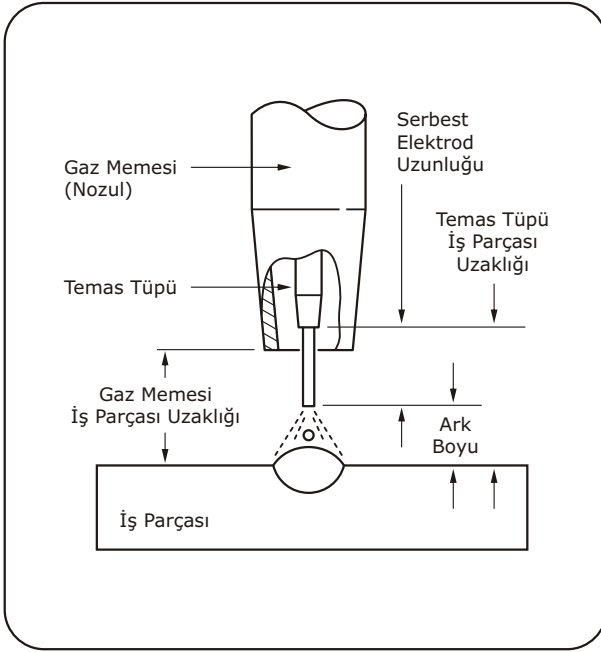
2.3.3 Ark Gerilimi (Ark Boyu)

Ark gerilimi ve ark boyu genellikle birbirlerinin yerine kullanılan terimlerdir. Ancak bunların aralarında bir ilişki olmakla birlikte farklı şeyler olduklarını belirtmekte yarar vardır. Gazaltı kaynağında ark boyu dikkatle kontrol edilmesi gereken kritik bir değişkendir. Örneğin, argon koruması altındaki sprej ark tipinde arkın çok kısa olması, zaman zaman kısa devreye maruz kalmasına neden olur. Bu kısa devreler ise basınç değişimleri oluşturarak ark sütununun içine hava pompalanmasına neden olur. Bu olay havadan absorbe edilen oksijen ve azot nedeniyle gevrekliğe ve gözenekliliğe neden olur. Eğer ark çok uzun ise gezinme eğilimi gösterir ve hem nüfuziyeti hem de dikiş profilini etkiler. Uzun bir ark aynı zamanda gaz korumasını da bozar. Karbondioksit koruması altındaki gömülü ark tipinde ise, arkın uzun olması hem gözenekliliğe hem de aşırı sıçramaya neden olur. Ark çok kısa ise, elektrodun ucu kaynak banyosuyla kısa devre yaparak kararsızlığa yol açar.

Ark boyu bağımsız bir değişkendir. Ancak ark gerilimi hem diğer birçok değişkene hem de ark boyuna bağlı olarak değişir. Ark geriliminin ark boyu dışında bağlı olduğu diğer değişkenler ise şunlardır :

- a) Elektrodun bileşimi ve çapı
- b) Koruyucu gazın cinsi
- c) Kaynak tekniği
- d) Kaynak kablosunun uzunluğu

Ark gerilimi, serbest elektrod uzunluğu boyunca gerilim düşümünü de içermekle birlikte elektriksel bir terimle fiziksel ark boyunun yaklaşık olarak belirtilmesi ve ayarlanmasında da kullanılan bir vasıtasıdır (**Şekil-11**).



Şekil-11 Gazaltı Kaynağında Kullanılan Terimlerin Açıklanması

Diğer bütün değişkenler sabit tutulduğunda, ark gerilimi doğrudan ark boyuna bağlıdır. Üzerinde durulan ve kontrol edilmesi gereken değişken ark boyu olmakla birlikte, ark geriliminin kontrol edilmesi çok daha kolaydır. Bu nedenle ve kaynak işlemlerinde ark geriliminin belirtilmesi doğal bir gereklilik olduğundan ark uzunluğunun ayarı, ark geriliminin kontrol edilmesiyle yapılır. Ark gerilimi ayarları malzemeye, koruyucu gaz ve damla iletim tipine bağlı olarak değişir.

Tipik ark gerilimi değerleri **Tablo-2'**de verilmiştir. En uygun ark karakteristiği ve en iyi dikiş görüntüsü oluşturan bir ark gerilimi ayarı için deneme pasolarının çekilmesi gereklidir. En uygun ark gerilimi metal kalınlığı, bağlantı tipi, kaynak pozisyonu, elektrod çapı, koruyucu gazın bileşimi ve kaynağın tipi gibi çeşitli faktörlere bağlı olduğundan, bu tür denemelerin yapılması gereklidir. Ark geriliminin bu en uygun değerden daha yüksek olması, kaynak dikişinin düzleşmesine ve ergime bölgesi genişliğinin artmasına

Tablo-2 Çeşitli Metaller İçin Ark Gerilimleri (V) *

Metal	Sprey ** ve İri Damla İletimi (1.6 mm çapında elektrod)					Kısa Devre İletimi (0.8 mm çapında elektrod)			
	Argon	Helyum	% 25 Ar % 75 He	Ar+O ₂ (% 1-1.5 O ₂)	CO ₂	Argon	Ar+O ₂ (% 1-1.5 O ₂)	% 75 Ar % 25 CO ₂	CO ₂
Alüminyum	25	30	29	-	-	19	-	-	-
Magnezyum	26	-	28	-	-	16	-	-	-
Alaşsız Çelik	-	-	-	28	30	17	18	19	20
Düşük Alaşımli Çelik	-	-	-	28	30	17	18	19	20
Paslanmaz Çelik	24	-	-	26	-	18	19	21	-
Nikel	26	30	28	-	-	22	-	-	-
Nikel-Bakır Alaşımı	26	30	28	-	-	22	-	-	-
Nikel-Krom-Demir	26	30	28	-	-	22	-	-	-
Bakır	30	36	33	-	-	24	22	-	-
Bakır-Nikel Alaşımı	28	32	30	-	-	23	-	-	-
Silisyum Bronzu	28	32	30	28	-	23	-	-	-
Alüminyum Bronzu	28	32	30	-	-	23	-	-	-
Fosfor Bronzu	28	32	30	23	-	23	-	-	-

*) +/- % 10 sınırlar içindedir. Düşük gerilimler, düşük akımlarla birlikte ince malzemelerde, yüksek gerilimler yüksek akımlarla birlikte kalın malzemelerde kullanılır.

**) Darbeli sprej iletiminde ark gerilimi kullanılan akım aralığına bağlı olarak, 18-28 V arasındadır.

neden olur. Aşırı yükseklikteki ark gerilimleri ise, gözenekliliğe, sıçramaya ve yanma oluşuna neden olur. Gerilimin azalması ise daha dar ve daha yüksek kaynak dikişine ve daha derin nüfuziyete neden olur. Aşırı derecede düşük gerilim ise, elektrodun iş parçasına yapışmasına neden olur.

2.3.4 Kaynak Hızı

Kaynak hızı, arkın kaynak birleştirmesi boyunca ilerleme hızıdır. Diğer bütün şartlar sabit tutulduğunda, orta değerdeki kaynak hızlarında kaynak nüfuziyeti en fazladır (**Şekil-12**). Kaynak hızı azaldığında, birim kaynak uzunluğunda yığılan kaynak metali miktarı artar. Bu ilişki aşağıdaki eşitlikle verilebilir :

$$G_{(kg/m)} = 7.8 \cdot 10^{-4} \cdot h \cdot g \cdot d^2 \cdot (V_e / V_k)$$

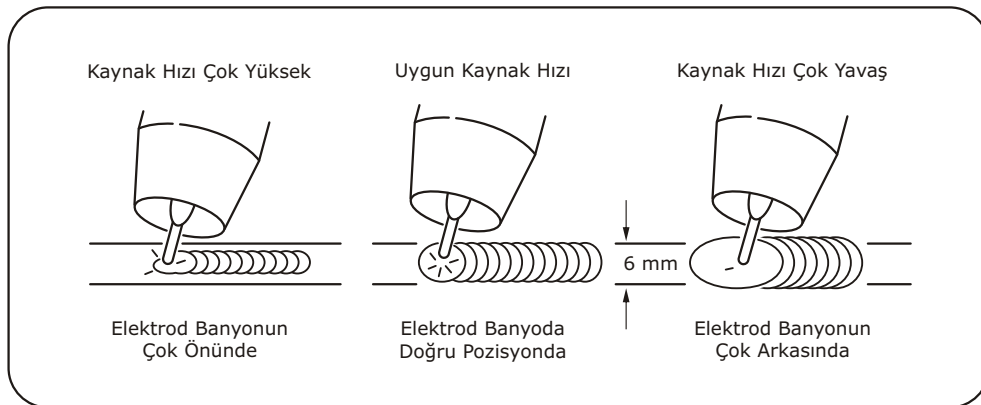
Burada "G" (kg) bir metre kaynak dikişi başına yığılan kaynak metali, "h" sıçrama kayıplarını gözönüne alan yığıma verimi, "g" (gr/cm³) elektrod malzemesinin yoğunluğu, "d" (mm) elektrod çapı, "Ve" (m/dak) elektrod besleme hızı, "Vk" (m/dak) kaynak hızıdır.

Çok düşük kaynak hızlarında, kaynak arkı esas metal yerine ergimiş kaynak banyosu üzerinde yanar ve bu nedenle nüfuziyet azalır. Bu sırada geniş bir kaynak dikişi de oluşur.

Kaynak hızı arttırılırsa ark esas metale daha doğrudan etki ettiğinden, birim kaynak dikişi uzunluğu başına arkta esas metale iletilen ısı enerjisi önce artar. Kaynak hızının daha da arttırılması, birim kaynak dikişi uzunluğu başına, esas metale daha az ısı enerjisi verilmesi sonucunu doğurur. Bu nedenle, artan kaynak hızıyla esas metalin ergimesi önce artar ve daha sonra azalır. Kaynak hızı daha da arttırılacak olursa, ark tarafından ergitilen yolu doldurmaya yetecek miktarda dolgu metali yığılamayacağından kaynak dikişinin kenarlarında yanma olukları meydana gelir.

2.3.5 Serbest Elektrod Uzunluğu

Serbest elektrod uzunluğu **Şekil-11**'de gösterildiği gibi, elektrod ucu ile temas tüpü ucu arasındaki mesafedir. Serbest elektrod uzunluğunun artması elektrik direncinde artmaya neden olur. Direncin artması direnç ısıtmasının artmasına, bu da elektrod sıcaklığının yükselmesine neden olur. Elektrod sıcaklığının yükselmesi ise ergime hızında küçük bir artışa neden olur. Bundan daha önemlisi, artmış elektrik direnci temas tüpü ile iş parçası arasında daha büyük gerilim düşüşüne neden olur. Bu durum güç ünitesi tarafından algılanıp akımın azaltılması yoluyla dengelenir. Bunun sonucunda ise elektrod ergime hızı derhal azaltılarak elektrodun fiziksel ark boyunun kısalması sağlanır. Böylece, kaynak



Şekil-12 Kaynak Hızının Kaynak Dikişine Etkisi

makinasında gerilim arttırılmadıkça, dolgu metali dar ve yüksek bir kaynak dikişi yığar. Arzu edilen serbest elektrod uzunluğu genellikle kısa devre metal iletimi için 6-13 mm, diğer tip metal iletimleri için 13-25 mm arasındadır.

2.3.6 Elektrod Açıları

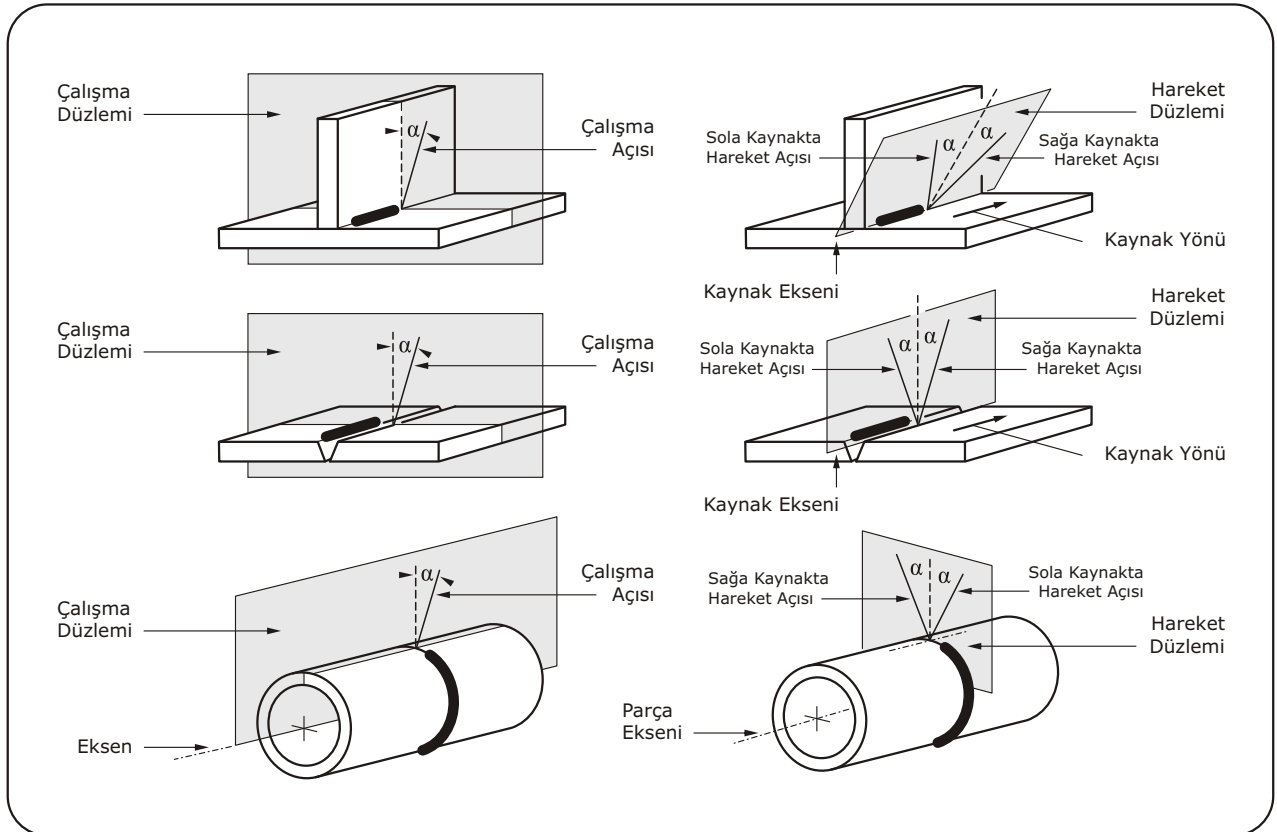
Diğer tüm ark kaynağı yöntemlerinde olduğu gibi, kaynak elektrodunun kaynak bağlantısına göre açıları kaynak dikişi şeklini ve nüfuziyetini etkiler. Elektrod açıları dikiş şekli ve nüfuziyetini, ark gerilimi ve kaynak hızının etkisinden daha büyük ölçüde etkiler.

Elektrod açılarını tanımlayabilmek için iki düzlemin tanımını yapmak gerekir. Bunlar, çalışma düzlemi ve hareket düzlemdir (**Şekil-13a**).

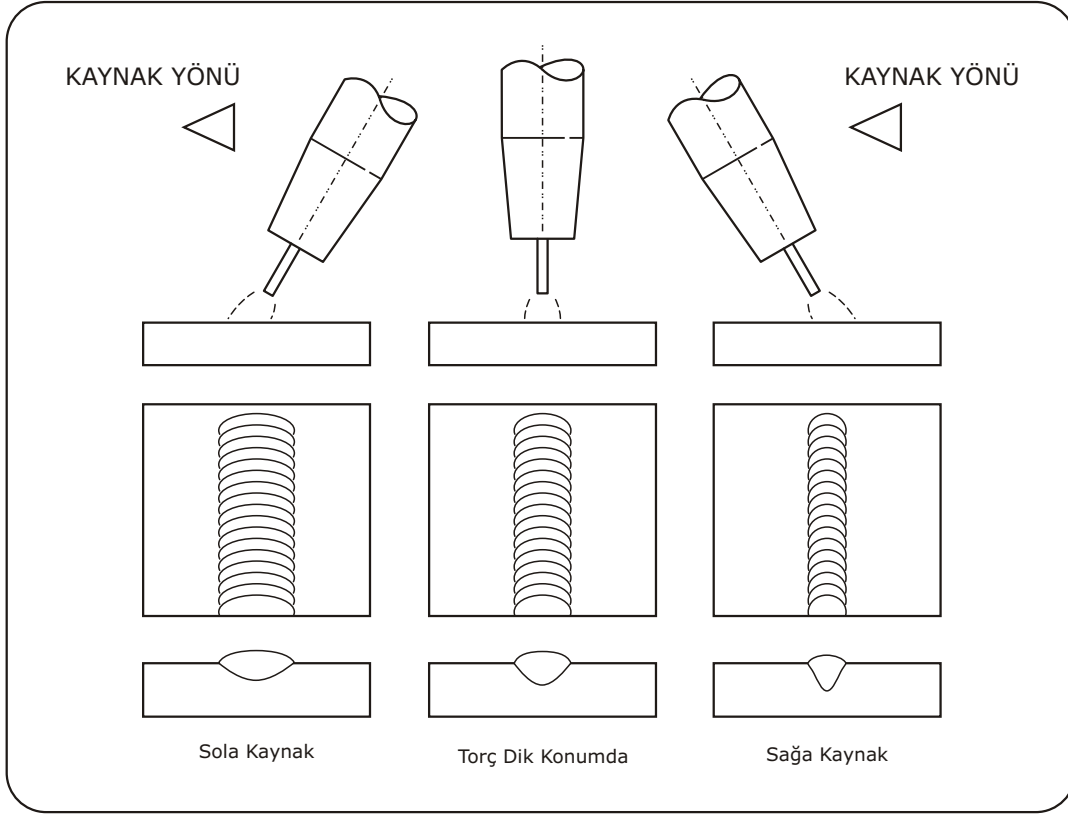
Kaynak (hareket) doğrultusuna dik olan düzleme "**çalışma düzlemi**", kaynak doğrultusu ile elektrodan geçen düzleme de "**hareket düzlemi**" adı verilir. Bu düzlemler gözönüne alınarak elektrod açıları şu şekilde tanımlanır :

- Hareket düzlemi içinde elektrod eksenine hareket (kaynak) doğrultusuna dik olan doğrultu arasındaki açı, "**hareket açısı**"dır.
- Çalışma düzlemi içinde elektrod eksenine en yakın iş parçası yüzeyi arasındaki açı "**çalışma açısı**"dır.

Elektrodun ucu kaynak yönünün aksi yönüne doğru yönelmişse, bu teknik "**sağa kaynak**", kaynak doğrultusuna doğru yönelmişse "**sola kaynak**" olarak adlandırılır. Elektrod açıları ve bunların dikiş şekline ve nüfuziyete etkileri **Şekil-13b**'de gösterilmiştir.



Şekil-13a Hareket ve Çalışma Düzlemleri ve Elektrod Açıları



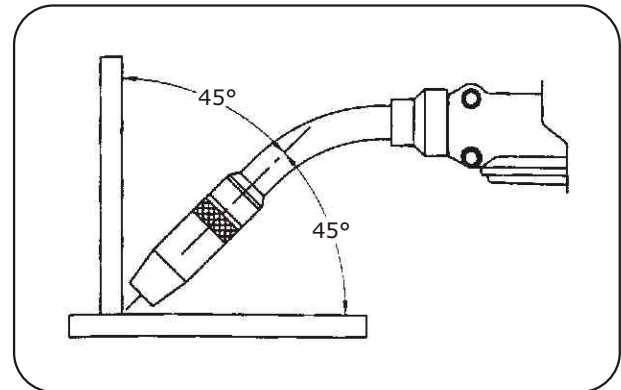
Şekil-13b Elektrod Açısının ve Kaynak Tekniğinin Etkileri

Bütün diğer şartlar değiştirilmeden, hareket açısı sıfırdan itibaren sola kaynak tekniğine doğru arttırılacak olursa, nüfuziyet artar ve kaynak dikişi geniş ve düz hale dönüşür. En yüksek nüfuziyet sağa kaynak tekniği ile hareket açısı 25° iken meydana gelir. Sağa kaynak tekniği, aynı zamanda daha dışbükey ve daha dar bir dikiş, daha kararlı bir ark ve iş parçası üzerinde daha az sıçrama meydana getirir.

Tüm pozisyonlarda, ergimiş kaynak banyosunun daha iyi kontrol edilmesi ve korunması için normal olarak kullanılan elektrod açısı 5 ila 15 derece arasında değişen hareket açısıdır.

Alüminyum gibi bazı metallerde sola kaynak tekniği tercih edilmektedir. Bu teknik ergimiş kaynak metali önünde "**temizlik etkisi**" oluşturur. Bu ise ıslatmayı iyileştirir ve esas metalin oksidasyonunu azaltır.

Yatay pozisyonda iç köşe kaynağı yaparken elektrod **Şekil-14**'de gösterildiği gibi düşey parçayla 45° çalışma açısı yapacak şekilde tutulmalıdır.



Şekil-14 İçköşe Kaynakları İçin Normal Çalışma Açısı

2.3.7

Kaynak Pozisyonları

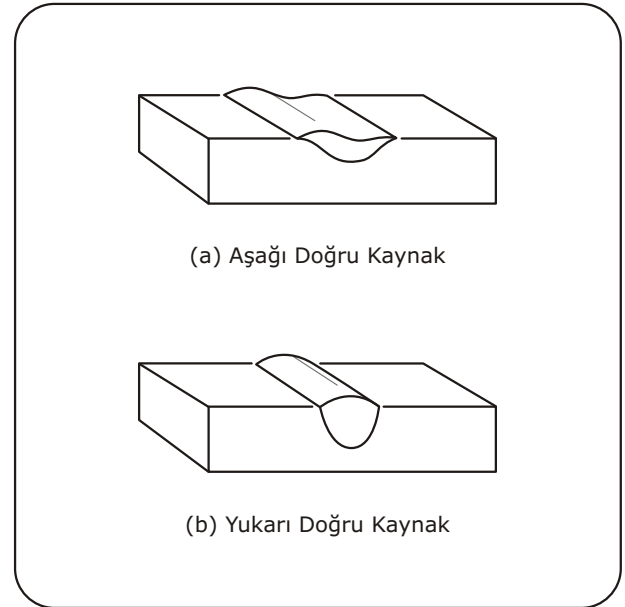
Sprey iletimli kaynakların çoğu oluk ve yatay pozisyonlarda gerçekleştirilir. Buna karşılık, düşük enerji seviyelerindeki darbeli ve kısa devre iletimli kaynaklar tüm pozisyonlarda kullanılabilir. Oluk pozisyonunda sprey metal iletimi ile gerçekleştirilen içköşe kaynakları, yatay pozisyonda gerçekleştirilen benzer birleştirmelere nazaran daha üniform olup, farklı ayak uzunluklarına ve içbükey dikiş profiline sahip olma ihtimalleri ve yanma oluşu oluşumuna eğilimleri daha azdır. Düşey ve tavan pozisyonlarında yerçekiminin kaynak metali üzerindeki çekme etkisini yenebilmek için küçük çaplı elektrodlarla ya kısa devre metal iletimli veya darbeli sprey iletimli kaynak yapmak gerekir. 1.1 mm ve daha küçük çaplı elektrodlar zor pozisyonların kaynağı için tercih edilir. Düşük ısı girdisinin kullanılması zor pozisyonların kaynağı için çok uygundur. Bu şekilde ergimiş banyonun hızla katılaşması sağlanır. Düşey pozisyondaki ince saçların kaynağında genellikle yukarıdan aşağıya kaynak tercih edilmelidir.

Kaynak oluk pozisyonunda yapılırken, kaynak ekseninin yatay düzleme göre eğimli hale getirilmesi dikiş şeklini, nüfuziyeti ve kaynak hızını etkiler. Oluk pozisyonundaki çevresel kaynaklarda iş parçası kaynak torcunun altında döner ve bu eğim kaynak torcunun tepe ölü merkezden itibaren iki taraftan birine doğru hareket ettirilmesi suretiyle elde edilir. Doğrusal bağlantılarda, parça oluk pozisyonunda iken, aşırı dikiş taşması oluşturabilecek kaynak şartlarında, kaynak eksenini yatayla 15° açı yapacak şekilde yerleştirerek ve aşağı doğru kaynak yaparak dikiş taşması azaltılabilir. Aynı zamanda, aşağı doğru kaynak yaparken kaynak hızı da artırılabilir. Bu şartlarda nüfuziyet daha azdır ve bu durum metal saçların kaynağında yararlı bir husustur.

Aşağı doğru kaynak **Şekil-15a**'da görüldüğü gibi, dikiş profilini ve nüfuziyeti etkiler. Bu pozisyonda kaynak banyosu elektroda doğru akma eğilimi gösterir ve özellikle yüzeyde esas metalin ön tavlmasına neden olur. Bu ise düzensiz bir ergime bölgesi oluşturur. Eğim

açısı arttıkça kaynak dikişinin orta yüzeyi çöker, nüfuziyet azalır ve dikiş genişliği artar. Aşağı doğru kaynak tekniği, temizleme etkisinin kaybolması ve yetersiz gaz koruması nedeniyle alüminyumun kaynağı için tavsiye edilmez.

Yukarı doğru kaynak tekniği ise **Şekil-15b**'de görüldüğü gibi, dikiş profilini ve dikiş yüzeyini etkiler. Yerçekimi kuvveti kaynak banyosunun geriye doğru akmasına ve elektrodun arkasında kalmasına neden olur. Kaynağın kenarları merkeze doğru akan metal kaybına maruz kalır. Eğim açısı artarsa dikiş taşması ve nüfuziyet artar, dikiş genişliği azalır. Etkiler aşağı doğru kaynakta rastlanılanın tamamen tersidir. Daha yüksek kaynak akımları kullanıldığında, uygulanabilecek en büyük eğim açısının değeri de azalır.



Şekil-15 İş Parçası Eğiminin Kaynak Dikişinin Şekline Etkisi

2.3.8

Koruyucu Gazlar

Çeşitli gazların özellikleri ve bunların arkın karakteristiğine ve kaynak kalitesine etkileri **BÖLÜM-4**'de detaylı olarak açıklanmıştır.

2.3.9 Elektrod (Tel) Çapı

Elektrod çapı kaynak dikişinin şekil ve boyutlarını etkiler. Büyük çaplı elektrodlar aynı metal iletim tipi için ince elektodlara nazaran daha yüksek değerlerde minimum akım gerektirir. Daha yüksek akımlar ise, ilave elektrod ergimesi ve daha büyük ve akışkan kaynak banyoları oluşturur. Yüksek akımlar aynı zamanda daha yüksek yığıma hızına ve daha fazla nüfuziyete neden olur. Ancak düşey ve tavan pozisyonundaki kaynaklar küçük çaplı elektrodlarla daha düşük akımlar kullanılarak gerçekleştirilir.

BÖLÜM 3.0

DONANIM

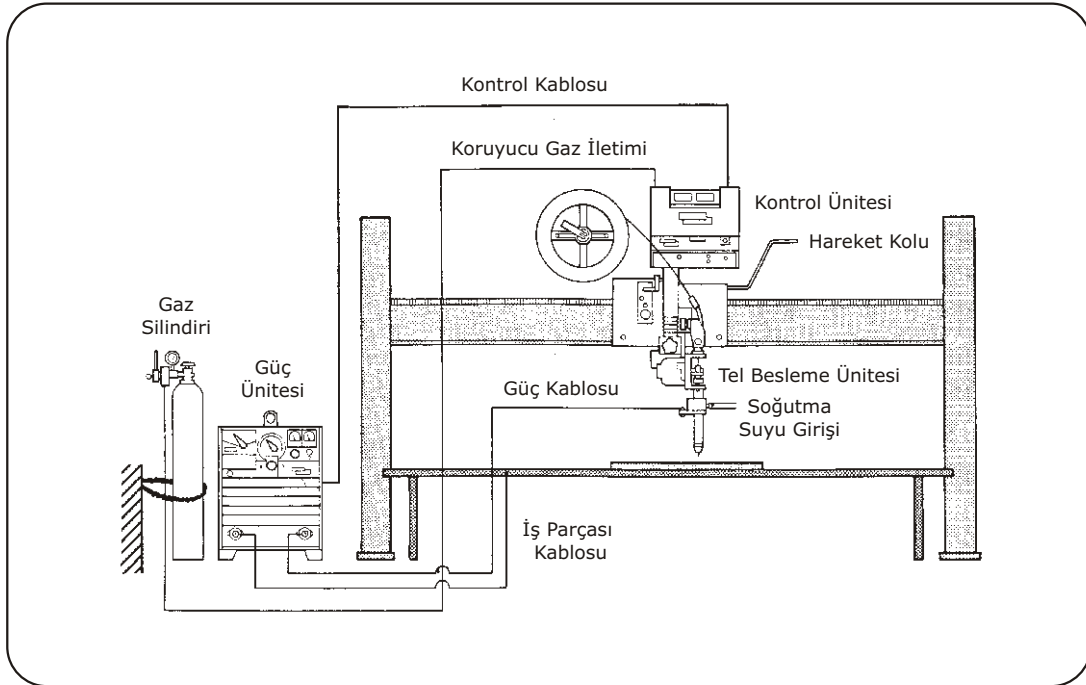
Daha önce de belirtildiği gibi gazaltı kaynak yöntemi yarı otomatik veya otomatik olarak kullanılabilir. Her iki halde de yöntemin temel elemanları aşağıdaki gibidir:

- Kaynak torcu (hava veya su soğutmalı)
- Elektrod (tel) besleme ünitesi
- Kaynak kontrolü
- Kaynak güç ünitesi
- Kontrollü koruyucu gaz iletimi
- Elektrod ünitesi
- Bağlantı kabloları ve hortumları
- Su sirkülasyon sistemi (su soğutmalı torçlarda)

Yarı otomatik ve otomatik kaynaktaki temel elemanlar **Şekil-2** ve **Şekil-16**'da gösterilmiştir.

3.1 KAYNAK TORCU

Kaynak torcu elektrodu ve koruyucu gazı kaynak bölgesine sevk etmek ve elektrik gücünü elektroda iletmek için kullanılır. Yüksek üretim işlerinde yüksek akımla çalışan ağır iş torçlarından başlayıp, zor pozisyon kaynağında kullanılan düşük akımla çalışan hafif iş torçlarına kadar değişen geniş bir aralıkta çeşitli torçlar üretilmektedir.



Şekil-16 Otomatik Kaynak Makinası Donanımı

Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli bir şekilde soğutulması gerekir. Düşük akım şiddetlerinde koruyucu gaz akımı bu soğutmayı yeterli bir şekilde gerçekleştirir. Kalın çaplı elektrodların, diğer bir deyişle 250 A'den daha yüksek akım şiddetlerinin kullanılması durumunda gaz soğutması yeterli düzeyde olmaz. Bu nedenle 250 A'in üstünde gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında kesinlikle su soğutması gereklidir. Kaynak torcunun temel elemanları aşağıda belirtilmiş olup **Şekil-17**'de şematik olarak gösterilmiştir.

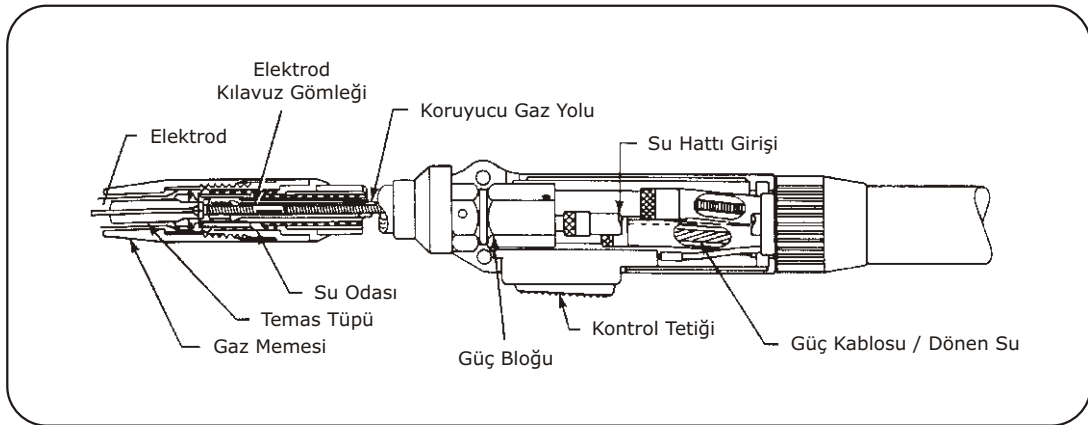
- Temas tüpü
- Gaz memesi
- Elektrod kılavuz hortumu ve gömleği
- Gaz hortumu
- Su hortumu
- Elektrik kablosu
- Tetik

Temas tüpü bakır veya bakır alaşımından yapılmış olup, elektrik akımını elektroda iletmek ve elektrodu iş parçasına doğru yönlendirmek için kullanılır. Temas tüpü bir elektrik kablosu vasıtasıyla güç ünitesine elektrikselsel olarak irtibatlandırılmıştır. Temas tüpünün iç cidarı çok önemlidir. Elektrod bu tüp içinde kolaylıkla hareket edebilmeli ve tüple çok iyi bir elektrikselsel temas sağlamalıdır. Her torçla birlikte verilen kullanma talimatı, her elektrod malzemesi ve çapı için en uygun temas tüpü boyutlarını listeler halinde belirtir.

Temas tüpünün delik çapı kullanılan elektrod çapından genellikle 0.13 ile 0.25 mm daha büyüktür. Alüminyum için daha büyük delik çapları gerekir. Temas tüpünün deliği periyodik şekilde kontrol edilmeli ve aşırı aşınma nedeniyle genişlemişse değiştirilmelidir. Eğer bu şekilde kullanılacak olursa kötü bir elektrikselsel temas ve kararsız bir ark karakteristiğine neden olur. Temas tüpü torça özenle yerleştirilmeli ve koruyucu gaz memesine merkezlenmelidir. Temas tüpünün gaz memesinin ucuna göre aldığı pozisyon, kullanılan metal iletimi tipine bağlı olarak değişir. Kısa devre iletiminde, temas tüpü gaz memesinin ucundan dışarıya doğru çıkmıştır. Sprey iletiminde ise temas tüpünün ucu, gaz memesinin ucundan yaklaşık 3 mm içeridedir.

Gaz memesi düzgün akan gaz sütununu kaynak bölgesine sevkeder. Düzgün gaz akışı ergimiş kaynak metalinin atmosfer kirlenmesine karşı korunmasında çok önemli bir faktördür. Farklı meme boyutları mevcut olup bunların seçimi sözkonusu olan uygulamaya göre yapılır. Örneğin, büyük kaynak banyolarına neden olan, bir başka deyişle korunması gereken alanı arttıran, yüksek akımların kullanıldığı uygulamalarda büyük meme, düşük akımla çalışıldığında ve kısa devre iletimle kaynak yapıldığında küçük meme kullanılır.

Elektrod kılavuz hortumu ve kılavuz gömleği elektrod besleme motorundaki besleme makaralarına yakın bir desteğe bağlanmıştır. Hortum ve gömlek elektrodu



Şekil-17 Kaynak Torcunun Temel Elemanları

destekler, korur ve onu besleme makaralarından torca ve temas tüpüne doğru yönlendirir. İyi bir ark kararlılığı sağlamak için elektrod beslemesinin kesintisiz olarak gerçekleştirilmesi gerekir. Elektrodun dolaşması ve bükülmesi engellenmelidir. Elektrod uygun bir şekilde desteklenmediği takdirde, besleme makaraları ile temas tüpü arasında herhangi bir yerde sıkışma eğilimi gösterir.

Gömlek, kılavuz hortumunun ayrılmaz bir parçası olabileceği gibi, ayrı bir parça da olabilir. Her iki halde de gömlek malzemesi ve bunun i  çapı önemlidir. Düzgün bir elektrod beslemesi sağlayabilmesi için temiz ve iyi bir durumda olması gerektiğinden gömlek periyodik olarak bakımdan geçirilmelidir.

 elik ve bakır gibi sert elektrod malzemeleri kullanıldığında helisel  elik gömlekler tavsiye edilir. Alüminyum ve magnezyum gibi yumuşak elektrod malzemelerinde ise plastik gömlek kullanılmalıdır.

Kılavuz hortumların dış yüzeyleri çelikle takviye edilmekle birlikte, bu hortumların aşırı bir şekilde eğilmelerine ve kıvrılmalarına müsaade edilmemelidir. Kaynak  nitesiyle birlikte verilen kullanma talimatında, her elektrod malzemesi ve çapı için tavsiye edilen kılavuz hortumu ve gömleği bir liste halinde belirtilir.

Diğer aksesuarlar ise, koruyucu gazı, soğutma suyunu ve elektrik akımını torca iletmek için kullanılan gaz hortumu, su hortumu ve elektrik kablosudur. Bu hortum ve kablolar ya doğrudan ilgili üniteye veya bu üniteyi kontrol eden kontrol sistemine bağlıdır.

Normal torçlar elektrodu genellikle 3.7 metre uzaktan kılavuz hortumu yoluyla torca iten elektrod besleyicileri kullanır. Torç içine yerleştirilmiş k  uk bir elektrod besleme mekanizması içeren farklı tipte torçlar da kullanılmaktadır. Bu sistem elektrodu daha uzak mesafedeki bir kaynaktan  eker ve bu kaynaktan elektrodu aynı anda iten bir elektrod itme mekanizması bulunabilir. Bu tip torçlar, itme işleminin elektrodta

bükülmeye neden olabileceği k  uk çaplı veya yumuşak ( rneğin alüminyum gibi) elektrodların beslenmesinde avantaj sağlar. Diğer bir torç tipinde ise, elektrod besleme mekanizması ve elektrod makarası torcun içine yerleştirilmiştir.

3.2 ELEKTROD BESLEME ÜNİTESİ

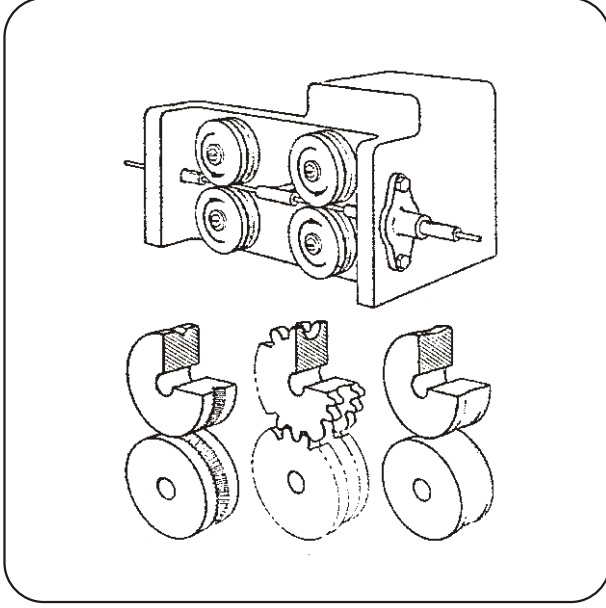
Elektrod besleme  nitesi (tel besleyici) bir elektrik motoru, elektrod makaraları ve elektrod doğrultusunu ve basıncı ayarlayan aksesuarlardan meydana gelmiştir. Elektrod besleme motoru genellikle doğru akımla çalışır ve elektrodu torç yoluyla iş parçasına doğru iter. Motor hızını geniş bir aralıktaki değiştiren bir kontrol devresinin de bulunmasını gerektirir.

Sabit hızlı elektrod besleyicileri normal olarak sabit gerilimli g   üniteleri ile birlikte kullanılır. Bunlar, gerekli devreler eklendiği takdirde sabit akımlı g   ünitelerinde de kullanılabilir.

Sabit akımlı g    nitesi kullanıldığında, otomatik bir gerilim algılama kontrolü gereklidir. Bu kontrol, ark gerilimindeki değişmeleri algılar ve ark boyunu sabit tutmak için elektrod besleme hızını değiştirir. Değişken hızlı elektrod besleme tertibatı ve sabit akımlı g   ünitesinden meydana gelen bu sistem, özellikle besleme hızlarının düşük olduğu büyük çaplı elektrodalarda (1.6 mm'den büyük) kullanılabilir. Motor hızının ayarı, yüksek besleme hızlarında, arkın kararlılığını sağlamaya yetecek kadar hızlı bir şekilde yapılamaz.

Elektrod besleme makaraları besleme motoru tarafından tahrik edilir. Bu makaralar, elektrodu bulduğu kaynaktan çekmek ve onu kaynak torcu içerisinde ilerletmek için gerekli olan kuvveti sağlarlar.

Elektrod besleme ünitelerinde iki makaralı veya dört makaralı sistemler kullanılabilir. Tipik bir dört makaralı elektrod besleme  nitesi **şekil-18'**de gösterilmiştir.



Şekil-18 Dört Makaralı Elektrod Besleme Ünitesi

Besleme makaralarının basınçlarının ayarı elektrod özelliklerine bağlı olarak (örneğin dolu veya özlü, sert veya yumuşak elektrod gibi) değişik kuvvetlerin uygulanabilmesine imkan verir. Giriş ve çıkış kılavuzları, elektrodun besleme makaralarına uygun bir doğrultuda girmesini ve çıkmasını sağlar ve elektrodun bükülmesini engeller.

Dolu elektrodalarda genellikle biri kanallı (tahrik makarası), diğeri düz yüzeyli (destek makarası) makara çifleri kullanılır. Alaşımız çelik ve paslanmaz çelik gibi sert elektrodalarda V-kanallı makaralar kullanılır. Özlü elektrodalarda ise, hem tahrik makarası ve hem de destek makarası tırnaklı tiptendir. Tırnaklı makaralar elektroda düşük bir makara basıncında yüksek bir besleme kuvvetinin iletilmesini sağlar. Bu tip makaralar alüminyum gibi yumuşak elektrodlar için tavsiye edilmez. Bunun nedeni, makaraların elektrodan pul pul parçalar koparması, bu pulların sonuçta torcun veya gömleğin tıkanmasına neden olmasıdır. Şekil-18'de çeşitli makara tipleri gösterilmiştir.

3.3 KAYNAK KONTROLÜ

Yarı otomatik işlemlerde, kaynak kontrolü ve elektrod besleme motoru tek bir entegre paket halindedir. Kaynak kontrolünün ana görevi, genellikle bir elektronik yönetici yoluyla, elektrod besleme motorunun hızını ayarlamaktır. Kaynakçı elektrod besleme hızını artırarak kaynak akımını artırır. Elektrod besleme hızının azalması kaynak akımının da azalmasına neden olur. Bu kontrol aynı zamanda torç tetiğinden alınan sinyallere bağlı olarak elektrod beslenmesinin başlamasını veya durdurulmasını da sağlar. Dokunmatik (elektrod iş parçasına dokunduğu anda elektrod beslemesi başlatılır) veya devreye yavaşça girme (ark tutuşturuluncaya kadar başlangıçtaki besleme hızı düşüktür, daha sonra kaynak sırasındaki besleme hızına yükselir) şeklinde elektrod besleme kontrolü özellikleri de mevcuttur. Bu iki özellik sabit akım tipli güç ünitelerinde kullanılır ve özellikle alüminyumun ergiyen elektrodla gazaltı kaynağında yararlıdır.

Normalde, koruyucu gaz, soğutma suyu ve elektrik gücü torca kontrol yoluyla gönderilir. Gaz ve su akışı, selenoid valfler kullanılarak, kaynağın başlatılması ve bitirilmesine rastlatılacak şekilde kontrol edilir. Kontrol aynı zamanda gaz akışının başlatılmasını ve durdurulmasını da düzenler ve güç ünitesinin kontaktörüne de enerji verir. Kontrol, kaynak başlamadan önce gaz akışının başlamasını ve kaynak bittikten sonra bir süre gaz akışının devam etmesini sağlar. Böylece egrimiş kaynak banyosunun korunması sağlanır. Bu kontrol genelde 115 V'luk bağımsız bir güçle çalışır.

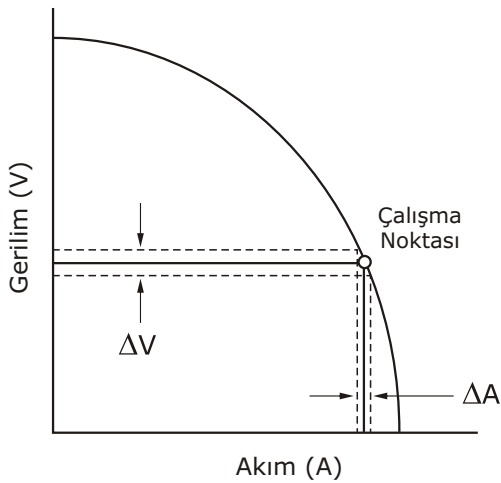
3.4 GÜÇ ÜNİTELERİ

Kaynak güç üniteleri ark oluşturmak için elektrik gücünü elektroda ve iş parçasına iletir. Gazaltı kaynağının büyük bir kısmında elektrodun pozitif kutupta olduğu doğru akım kullanılır. Bu nedenle güç ünitesinin pozitif ucu torca, negatif ucu ise iş parçasına

bağlanır. Doğru akım güç ünitelerinin başlıca tipleri motor tahrikli jeneratörler (dönen veya hareketli) ve transformatör-redresörlerdir (statik veya hareketsiz).

İnvertörler statik tipe dahil edilirler. Transformatör-redresör tipleri ise 220 V veya 380 V'luk bir şebekenin mevcut olduğu atölye içi alanlarda tercih edilir. Transformatör-redresör tipi güç üniteleri, ark şartlarındaki değişimlere, motor tahrikli jeneratör tipi güç ünitelerine nazaran daha hızlı cevap verirler. Motor tahrikli jeneratörler elektrik enerjisinin mevcut olmadığı yerlerde kullanılır. Her iki güç ünitesi de hem sabit akım, hem de sabit gerilimli çıkış karakteristiği verecek şekilde tasarlanıp üretilebilir.

Gazaltı kaynağının eski uygulamalarında sabit akımlı güç üniteleri kullanılmıştır. Bu üniteler, kaynak sırasındaki akım şiddetini ark uzunluğundaki değişimlere bağlı olmaksızın sabit tutar (Şekil-19).

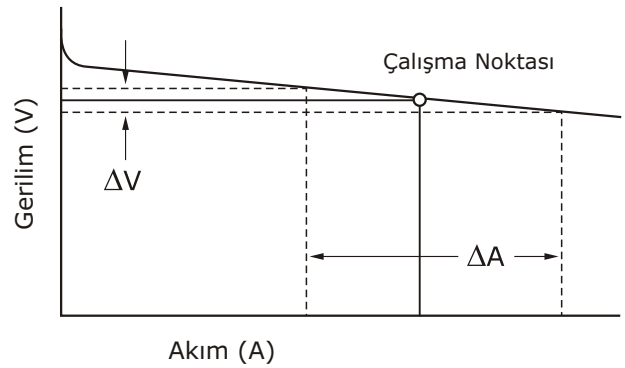


Şekil-19 Sabit Akımlı Güç Ünitelerinde Gerilim-Akım İlişkisi

Bu ünitelerde yüksek açık devre gerilimi ve sınırlı kısa devre akımı şiddetleri mevcuttur. Üniteler sabit bir akım çıkışı sağladıklarından, sabit elektrod besleme hızında, temas tüpü ile iş parçası arasındaki mesafe sabit kaldığı sürece ark boyu da sabit kalır. Ancak, uygulamada bu mesafe değiştiğinden, ark ya temas

tüpüne doğru geri yanmaya ya da iş parçasına yaklaşıp sönmeye eğilim gösterir. Gerilim kontrollü bir elektrod besleme sistemi kullanarak bundan kaçınmak mümkündür. Gerilim (ark boyu) azaldığında veya arttığında, elektrod besleme motoru yavaşlayarak veya hızlanarak ark boyunun sabit kalmasını sağlar. Elektrod besleme hızı kontrol sistemi tarafından otomatik olarak değiştirilir. Bu tip güç üniteleri genellikle sprey iletimli kaynak işlemleri için kullanılır. Kısa devre iletimde ark süresinin sınırlı olması nedeniyle kontrolün gerilim yoluyla yapılması mümkün değildir.

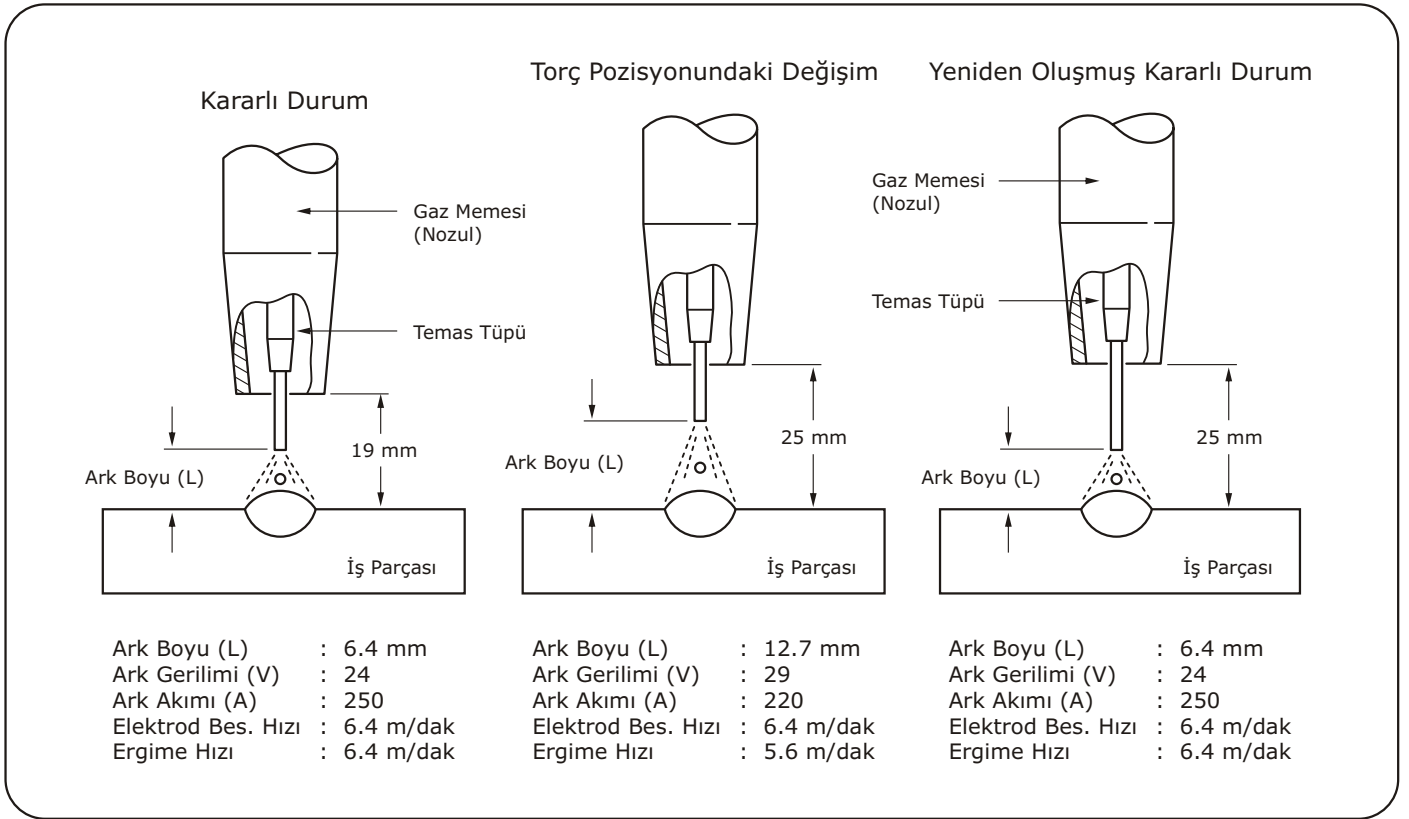
Gazaltı kaynağı uygulamaları arttıkça sabit gerilimli güç ünitelerinin daha iyi çalışma imkanı sağladığı görülmüştür. Bu üniteler, sabit hızlı elektrod besleyicileri ile birlikte kullanıldıklarında, gerilimin kaynak işlemi sırasında hemen hemen sabit kalmasını sağlarlar. Şekil-20'de bu tip güç ünitelerinin gerilim-akım eğrileri gösterilmiştir.



Şekil-20 Sabit Gerilimli Güç Ünitelerinde Gerilim-Akım İlişkisi

Sabit gerilimli güç üniteleri normal kaynak işlemi sırasında iş parçası ile temas tüpünün ucu arasında oluşan mesafe değişikliklerini, kaynak akımını aniden arttırarak veya azaltarak dengeler.

Ark boyu, güç ünitesinde kaynak gerilimi ayarlanarak tespit edilir. Bu bir kez tesbit edildikten sonra kaynak sırasında başka bir değişiklik yapmaya gerek yoktur. Aynı zamanda akım kontrolü olan elektrod besleme



Şekil-21 Ark Uzunluğunun Otomatik Ayarı

hızı kaynakçı tarafından kaynaktan önce ayarlanır. Bu ayar geri yanma veya sönme meydana gelmeden önce geniş bir aralıkta yapılabilir.

Kaynakçılar çok az bir eğitimden sonra gerilim ve elektrod besleme hızını nasıl ayarlayacaklarını öğrenebilirler.

Sabit gerilimli güç ünitelerinin kendi kendine ayarlama mekanizması Şekil- 21'de gösterilmiştir.

Temas tüpünün ucuyla iş parçası arasındaki uzaklığın artması ile ark boyu ve ark gerilimi de artar. Ancak ark gerilimindeki bu hafif artma sonucunda ark akımı azalır. Ark akımındaki azalma elektrodun ergime hızını azalttığından, elektrodun ucu iş parçasına doğru ilk ark uzunluğu elde edilinceye kadar yaklaşır. Bu durumda serbest elektrod uzunluğu artar. Tersine uzaklık azal-

dığında ark geriliminde de azalma olur ve ark akımı artar. Bu ise elektrodun ergime hızını arttırarak ark boyunun ilk değerine yükselmesine neden olur. Sonuçta serbest elektrod uzunluğu azalır.

Sabit gerilimli güç ünitelerinin ark boyunu kendi kendine ayarlama özelliği kararlı kaynak şartlarının elde edilmesinde önemli rol oynar. Özellikle kısa devre iletiminde optimum kaynak performansını etkileyen ilave değişkenler de mevcuttur. Çıkış geriliminin kontrolüne ilave olarak belli ölçüde eğim ve indüktans kontrolü arzu edilebilir. Kaynakçıların bu değişkenlerin kaynak arkı ve onun kararlılığı üzerindeki etkilerini bilmesi gerekir.

3.4.1 Gerilim

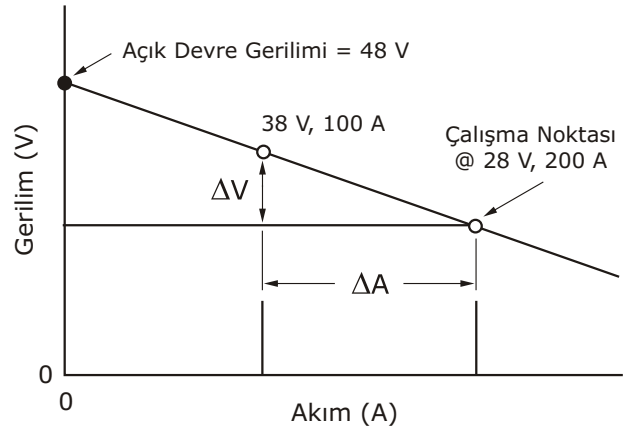
Ark gerilimi elektrod ile iş parçası arasındaki elektriksel potansiyeldir. Ark gerilimi, bağlantılarda ve kaynak kablosu boyunca oluşan gerilim düşümü nedeniyle, doğrudan güç ünitesinde ölçülen gerilim değerinden daha küçüktür. Daha önce de belirtildiği gibi ark gerilimi ark boyu ile doğrudan ilişkilidir ve bu nedenle güç ünitesinin çıkış gerilimindeki artma veya azalma ark boyunda benzer yönde bir değişmeye neden olur.

3.4.2 Eğim

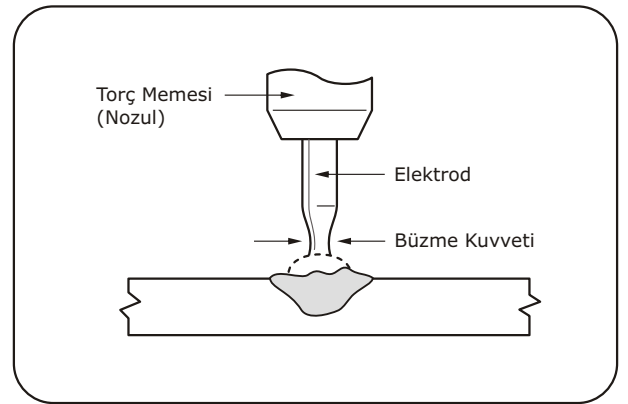
Bir sabit gerilimli güç ünitesinin statik gerilim-akım karakteristiği (statik çıkış) **Şekil-20'**de gösterilmiştir. Çıkış eğimi gerilim-akım eğrisinin eğimi olup bu eğim her 100 amperlik akım artmasına karşılık gelen gerilim düşmesi olarak belirtilir. Güç ünitesinin imalatçı tarafından belirtilen eğimi çıkış terminallerinde ölçülen eğim olup ark kaynağı sisteminin toplam eğimi değildir. Kaynak sistemine direnç ilave eden herşey (örneğin kablolar, zayıf bağlantılar, gevşek terminaller, kirli kontaktlar) eğimi etkiler. Bu nedenle çalışılan kaynak sisteminde eğim en iyi şekilde ölçülür. Sabit gerilimli güç ünitelerinde eğimi hesaplayabilmek için iki çalışma noktasına ihtiyaç vardır (**Şekil-22**) Açık devre gerilimini bu noktalardan biri olarak kullanmak doğru değildir. Bunun nedeni, düşük akımlarda bazı makinelerde hızlı bir gerilim düşüşü olmasıdır (**Şekil-20**). Ölçmeler, uygulamada kullanılan akım aralığı içinde kalan bir bölgede kararlı ark şartları sağlayan iki noktada yapılmalıdır.

Kısa devre iletiminde, eğimin temel fonksiyonu, elektrodun iş parçası ile kısa devre oluşturması ile meydana gelen kısa devre akımının şiddetini kontrol etmektir. Gazaltı kaynağında, ergimiş metal damlalarının elektrodan ayrılması "**elektromanyetik büzme etkisi**" adı verilen elektriksel bir olay sayesinde olur. Büzme etkisi, üzerinden akım geçen bir iletkenin akımın iletken üzerinde oluşturduğu manyetik kuvvet

nedeniyle oluşur (**Şekil-23**). Kısa devre akımı ve bu nedenle de büzme kuvveti, güç ünitesinin gerilim-akım karakteristiği eğiminin bir fonksiyonudur (**Şekil-24**). Şekildeki her iki güç ünitesinde de çalışma gerilimi ve akımı aynıdır. Ancak A eğrisinin kısa devre akımı B eğrisininkinden daha düşüktür. A eğrisi B eğrisi ile kıyaslandığında daha dik bir eğime, diğer bir deyişle 100 amper başına daha fazla gerilim düşüşüne sahiptir. Bu durum A eğrisinde daha düşük kısa devre akımına ve dolayısıyla daha az büzme kuvvetine neden olur.

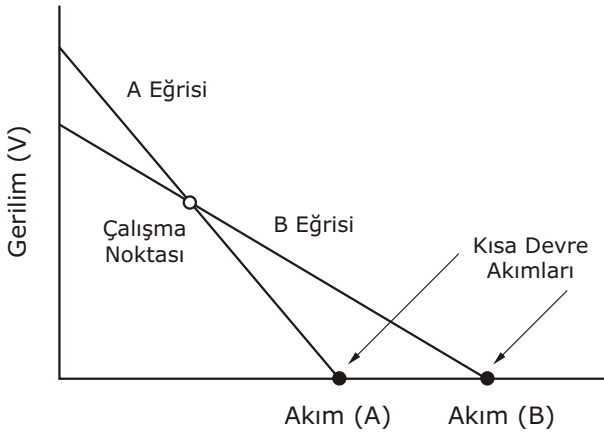


Şekil-22 Güç Ünitesindeki Eğimin Hesaplanması



Şekil-23 Kısa Devre İletim Sırasında Oluşan Büzme Etkisi

Kısa devre iletimde, oluşan büzme kuvvetleri ergimiş damlanın elektrodan ayrılma şeklini belirlediği için, kısa devre akımının şiddeti önemli bir faktördür. Bu arkin kararlılığını da etkileyen bir olaydır. Güç ünitesinin devresinde herhangi bir eğim mevcut değilse veya çok az bir eğim varsa, kısa devre akımı hızla çok yüksek bir değere yükselir. Büzme etkisi de çok yüksektir ve bu nedenle ergimiş damla elektrodan şiddetli bir şekilde ayrılır. Aşırı büzme etkisi sonuçta şiddetli metal sıçraması oluşturur.



Şekil-24 Eğimdeki Değişimin Etkisi

Güç ünitesinden elde edilen kısa devre akımının şiddeti çok düşük ise, büzme kuvveti damlayı ayırıp arki yeniden oluşturmaya yetmeyecek kadar küçük olur. Bu şartlar altında elektrod ya iş parçası üzerine yığılır ya da kaynak banyosuna yapışır. Kısa devre akımı uygun bir değerde ise, ergimiş damlanın elektrodan ayrılması yumuşak bir şekilde olur ve çok az sıçrama meydana gelir. İyi bir ark kararlılığı ile metal iletimi için gerekli en uygun kısa devre akım değerleri **Tablo-3**'de verilmiştir.

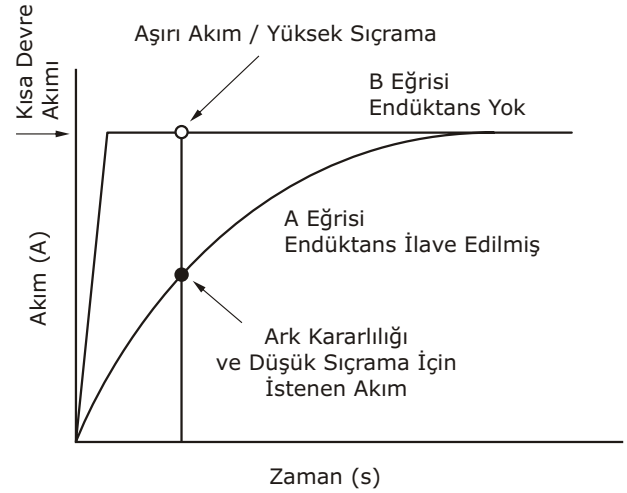
Tablo-3 Kısa Devre İletimle Kaynakta En Uygun Kısa Devre Akım Değerleri

Elektrod Malzemesi	Elektrod Çapı (mm)	Kısa Devre Akımı (Amper, DAEP)
Alaşimsız Çelik	0.8	300
Alaşimsız Çelik	0.9	320
Alüminyum	0.8	175
Alüminyum	0.9	195

Birçok sabit gerilimli güç üniteleri eğim kontrolü yapan cihazlarla donatılmıştır. Bunlar söz konusu uygulama için en uygun kısa devre akımını elde etmek amacıyla kademeli veya sürekli ayar yapabilirler. Bazıları ise en çok kullanılan kaynak şartları için önceden ayarlanmış sabit bir eğime sahiptir.

3.4.3 Endüktans

Elektrod iş parçası ile kısa devre yaptığında akım hızla yüksek değerlere yükselir. Bu yükselmenin hızını etkileyen devre karakteristiği endüktans olup birimi Henry'dir. Endüktansın etkisi **Şekil-25**'de verilen eğri-lerle gösterilmiştir.



Şekil-25 Devreye Endüktans İlavesiyle Akım Artış Hızının Değişmesi

Şekildeki A eğrisi, devrede bir endüktans mevcutken, kısa devreden hemen sonraki akımın zamanla değişti-

mini göstermektedir. B eğrisi ise, devrede endüktans mevcut değilken akımın zamanla nasıl arttığını göstermektedir. Büzme kuvvetinin en büyük değerini son olarak elde edilen kısa devre akımı seviyesi belirler. Belirli bir andaki büzme kuvvetini de o andaki kısa devre akımı belirler. Bu nedenle akım-zaman eğrisinin şekli önemlidir. Devrede endüktans yoksa, büzme etkisi hızla uygulanır ve ergimiş damla şiddetli bir şekilde elektrodan büzülerek uzaklaştırılır ve aşırı sıçrama meydana gelir. Yüksek endüktans değerleri birim zamandaki kısa devrelerin sayısında azalmaya ve ark zamanında ise artmaya neden olur. Artan ark zamanı kaynak banyosunu daha akışkan hale getirir ve daha düz bir kaynak dikişi oluşturur.

Sprey iletiminde, güç ünitesine endüktans ilavesi, kararlı kaynak şartlarını etkilemeksizin daha yumuşak bir ark tutuşması sağlar. En düşük sıçrama şartlarını sağlamak için gerekli güç ünitesi ayarı elektrodun malzemesine ve çapına bağlı olarak değişir. Genel bir kural olarak, büyük çaplı elektrodlar için daha yüksek kısa devre akımları ve daha yüksek endüktanslar gerekir.

Piyasada sürekli veya kademeli indüktans ayarı yapılabilen veya sabit endüktanslı güç üniteleri mevcuttur.

3.5 KORUYUCU GAZ REGÜLATÖRLERİ

Kaynak sırasında sabit gaz akış hızı sağlayan bir sisteme ihtiyaç vardır. Gaz regülatörleri, gazın temin edildiği kaynaktaki basınç değişimlerine bağlı olmaksızın, buradaki gaz basıncını sabit bir çalışma basıncına dönüştürür. Regülatörler tek veya iki kademeli olabilecekleri gibi bir debimetreye de sahip olabilirler.

İki kademeli regülatörler, gaz ünitesinin basıncında değişimler olduğunda gazı tek kademeli regülatörlere nazaran, daha tutarlı bir biçimde iletirler. Koruyucu gazın elde edildiği ünite, yüksek basınçlı bir silindir, sıvılaştırılmış gaz doldurulmuş bir silindir veya dökme sıvı sistemi olabilir. İki veya daha fazla gaz veya sıvının

karışımı kullanılıyorsa uygun karışım oranlarını elde etmek için karıştırıcılar (mikserler) da kullanılır. Ticari olarak tek bir silindirde önceden hazırlanmış gaz karışımları da elde etmek mümkündür. Kullanıcı gaz depolama ünitelerinin tipini ve boyutlarını aylık gaz tüketimine göre belirler.

3.6 ELEKTROD ÜNİTESİ

Gazaltı kaynağında sürekli beslenen elektrod kullanılır ve bu elektrod oldukça yüksek bir hızda tüketilir. Bu nedenle maksimum işlem verimi elde edebilmek için, elektrod ünitesinin torca kolayca iletilebilen yüksek hacimde elektrod beslemesi sağlaması gerekir. Bu üniteler genellikle elektrodun bükülmeden serbest bir biçimde beslenmesine imkan veren ve ağırlıkları 0.45 kg'dan 27 kg'a kadar değişen makaralar şeklindedir. Ağırlığı 114 kg'a kadar yükselen büyük makaralar da mevcuttur ve elektrodlar 340 kg'dan 450 kg'a kadar değişen ağırlıktaki silindirlerden veya özel makaralardan da sağlanabilir. Makaranın torç içinde bulunduğu sistemlerde ise küçük makaralar (0.45 kg ile 0.9 kg arası) kullanılır.

BÖLÜM 4.0

KAYNAK SIRASINDA TÜKETİLEN MALZEMELER

Aşınan ve değiştirilmesi gereken gaz memesi, kılavuz hortumunun gömleği ve temas tüpü gibi kaynak makinası elemanlarının yanında, işlem sırasında tüketilen koruyucu gaz ve elektrod gibi sarf malzemeleri de bulunmaktadır. Elektrodun, esas metalin ve koruyucu gazın bileşimleri kaynak metalinin kimyasal bileşimini belirler. Kaynak metalinin bileşimi ise, kaynak bağlantısının kimyasal ve mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Kaynak elektrodunun ve koruyucu gazın seçimi sırasında aşağıdaki faktörlere dikkat etmek gerekir :

- Esas metal
- Kaynak metalinden beklenen mekanik özellikler
- Esas metalin hangi şartlarda olduğu ve temizliği
- Kaynaklı bağlantının çalışma şekli veya varsa şartname talepleri
- Kaynak pozisyonu
- Arzu edilen metal iletim tipi

4.1 ELEKTRODLAR

Birleştirme işlerinde elektrodun bileşimi esas metalin bileşimine benzerdir. Kaynak arkında oluşan kayıpları karşılamak veya kaynak banyosuna oksit giderici maddeler sağlamak amacıyla elektrodun bileşimi hafif bir şekilde değiştirilebilir. Bu değişiklikler esas metalin bileşiminden çok az bir farklılaşma yaratılarak yapılabilir. Ancak bazı uygulamalarda, başarılı bir kaynak karakteristiği ve kaynak metalini özelliği elde edebilmek için esas metalden tamamen farklı kimyasal bileşime sahip elektrodlar gerekebilir. Örneğin, manganez bronzunun gazaltı kaynağı için en başarılı

elektrodlar ya alüminyum bronzu veya bakır-manganez-nikel-alüminyum alaşımlı elektrodlardır.

Yüksek mukavemetli alüminyum ve çelik alaşımları için en uygun elektrodlar bileşim olarak kullanıldığı esas metalden farklıdır. Bunun nedenlerinden biri, örneğin 6061 alüminyum alaşımlarının bileşimlerinin kaynak dolgu metalini kullanılmaya müsait olmasıdır. Sonuç olarak, elektrod alaşımları arzu edilen kaynak metalini özelliklerini sağlayacak ve kabul edilebilir çalışma karakteristiğine sahip olacak şekilde tasarlanırlar.

Elektrodun bileşiminde hangi türden değişiklikler yapılırsa yapılsın elektroda oksit gidericiler ve temizleme etkisine sahip diğer elementler ilave edilir. Bu işlem, kaynakta gözenekliliği en aza indirmek ve kaynak metalinde iyi mekanik özellikler sağlamak amacıyla yapılır. Güvenilir kaynak dikişleri elde edebilmek için uygun oksit gidericileri uygun miktarlarda ilave etmek gerekir.

Çelik elektrodalarda sıkça kullanılan oksit gidericiler manganez, silisyum ve alüminyumdur. Nikel alaşımı elektrodalarda kullanılan temel oksit gidericiler ise, titan ve silisyumdur. Bakır ve bakır alaşımı elektrodalarda ise bu amaçla titan, silisyum veya fosfor kullanılır.

Gazaltı kaynağında kullanılan elektrodlar tozaltı ark veya özlü elektrodla ark kaynağında kullanılanlara nazaran çok daha küçük çapa sahiptirler. Genelde elektrod çapları 0.8 ile 1.6 mm arasındadır. Ancak 0.5 mm'ye kadar ince ve 3.2 mm'ye kadar kalın çaplı

elektrodlar da kullanılabilir. Elektrod çapının küçük olması ve akım şiddetinin göreceli olarak yüksek olması elektrod besleme hızlarının yüksek olmasını gerektirir. Besleme hızları magnezyum hariç, çoğu metaller için 40 ile 340 mm/s arasında değişir. Magnezyumda ise üst değer 590 mm/s'ye kadar çıkabilir.

Böylesine yüksek hızlar için elektrodlar uygun şekilde temperlenmiş, uzun ve sürekli tel halinde hazırlanmıştır ve bunlar kaynak ekipmanı boyunca sürekli ve yumuşak bir biçimde beslenirler.

Çaplarının küçük olması nedeniyle elektrodlar yüksek yüzey/hacim oranına sahiptir. Elektrod yüzeyinde kalan herhangi bir çekme bileşiği ve yağlayıcısı kaynak metalinin özelliklerini kötü bir şekilde etkileyebilir. Bu yabancı maddeler alüminyum ve çelik alaşımlarında kaynak metali gözenekliliğine ve yüksek mukavemetli çeliklerde de kaynak metalinde veya ısı tesiri altındaki bölgede çatlama neden olurlar. Sonuç olarak elektrodlar yüzeylerine kirleticiler yerleşmeyecek kadar yüksek kalitede bir yüzeye sahip olacak şekilde üretilmektedir. **Tablo-4'**de çeşitli malzemeler için tavsiye edilen elektrodlar gösterilmiştir.

Gazaltı kaynağı birleştirme amacıyla kullanıldığı gibi, malzemelerin yüzeyine aşınma veya korozyon direnci kazandırmak veya bir başka amaç için yüzey dolgusu yapmak amacıyla da geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yüzey doldurma sırasında kaynak metalinin esas metalle karışması göz önüne alınması gereken en önemli konudur. Bu ark karakteristiğinin ve uygulanan tekniğin bir fonksiyonudur. Gazaltı kaynağında metal iletim tipine bağlı olarak % 10'dan % 50'ye kadar değişen karışma oranları ortaya çıkabilir. Bu nedenle yüzeyde istenen dolgu bileşimini elde edebilmek için üst üste birden fazla pasoya sahip dolgu işlemi gerekebilir.

4.2

KORUYUCU GAZLAR

Metallerin çoğu oksit oluşturmak üzere oksijenle birleşmeye kuvvetli bir eğilim ve metal nitritleri oluşturmak üzere de azotla birleşmeye daha düşük ölçüde bir eğilim gösterirler. Oksijen ergimiş çelikteki karbonla, karbonmonoksit gazı oluşturmak üzere reaksiyona girer. Bu reaksiyonların ürünleri aşağıdaki kaynak hatalarının oluşumuna neden olur :

- Oksitler nedeniyle ergime hataları
- Gözenek, oksit ve nitritler nedeniyle oluşan mukavemet kayıpları
- Oksitler ve nitritler nedeniyle kaynak metalinin gevrekleşmesi

Atmosfer yaklaşık % 80 azot, % 20 oksijenden meydana gelmesi için kaynak sırasında bu reaksiyonların ürünleri kolaylıkla oluşur. Koruyucu gazın temel görevi çevredeki atmosferin ergimiş kaynak banyosuyla temasını engellemektir. Yani koruyucu gaz burada örtülü elektrodlardaki örtünün görevini görür. Esas görevi dışında koruyucu gazın kaynak işlemine ve sonuçta elde edilen kaynak dikişine aşağıda belirtilen hususlar yoluyla önemli etkileri vardır :

- Arkın karakteristiği
- Metal transferinin şekli
- Nüfuziyet ve kaynak dikişinin profili
- Kaynak hızı
- Yanma oluğu oluşma eğilimi
- Temizleme etkisi
- Kaynak metalinin mekanik özellikleri

4.2.1

Koruyucu Soy Gazlar

Argon ve helyum soy gazlardır. Bu gazlar ve bunların karışımı demirdışı metallerin kaynağında mutlak bir şekilde kullanılırlar. Bu gazlar paslanmaz çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında da kullanılır.

Tablo-4 Çeşitli Malzemeler İçin Önerilen Elektrodlar (AWS)

Metaller	Gösterilişi	Elektrodlar	AWS
Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	1100	ER1100, ER4043	A5.10
	3003, 3004	ER1100, ER5356	
	5052, 5454	ER5554, ER5356, ER5183	
	5083, 5086, 5456	ER5556, ER5356	
	6061, 6063	ER4043, ER5356	
Magnezyum Alaşımları	AZ10A	ERAZ61A, ERAZ92A	A5.19
	AZ31B, AZ61A, AZ80A	ERAZ61A, ERAZ92A	
	ZE10A	ERAZ61A, ERAZ92A	
	ZK21A	ERAZ61A, ERAZ92A	
	AZ63A, AZ81A, AZ91C	ERAZ92A	
	AZ92A, AM100A	ERAZ92A	
	HK31A, HM21A, HM31A	EREZ33A	
	LA141A	EREZ33A	
Bakır ve Bakır Alaşımları	Ticari Safılıkta Bakır	ERCu	A5.7
	Silisyum Bronzu	ERCuSi-A	
	Cu-Ni Alaşımı	ERCuNi	
	Alüminyum Bronzu	ERCuAl-A1,-A2,-A3	
	Kalay, Fosfor Bronzu	ERCuSn-A	
Nikel ve Nikel Alaşımları	Ticari Safılıkta Nikel	ERNi	A5.14
	Ni-Cu Alaşımı (Monel 400)	ERNiCu-7	
	Ni-Cr-Fe Alaşımı (Inconel 600)	ERNiCrFe-5	
Titanyum ve Titanyum Alaşımları	Ticari Safılıkta Titanyum	ERTi-1,-2,-3,-4 (1 veya 2 Grade düşük)	A5.16
	Ti-0.15Pd	ERTi-0.2Pd	
	Ti-5Al-2.5Sn	ERTi-5Al-2.5Sn veya ERTi tipi	
Östenitik Paslanmaz Çelikler	201	ER308	A5.9
	301, 302, 304, 308	ER308	
	304L	ER308L	
	310	ER310	
	316	ER316	
	321	ER321	
	347	ER347	
Çelikler	Sıcak veya Soğuk Haddelenmiş Alaşımsız Karbon Çelikleri	E70S-3, E70S-1	A5.18
		E70S-2, E70S-4	
		E70S-5, E70S-6	
Çelikler	Yüksek Mukavemetli Düşük Alaşımlı Çelikler	E80S-D2	A5.28
		E80S-Ni1	
		E100S-G	

maktadır. Argon ve helyum gazları aşağıda belirtilen hususlarda önemli farklılıklar gösterir.

- Yoğunluk
- Isıl iletkenlik
- Ark karakteristiği

Argonun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 1.4 katı iken (yani daha ağır) helyumun yoğunluğu havanın yoğunluğunun 0.14'ü kadardır (yani daha hafif). Koruyucu gaz ne kadar ağır ise o gaz verilen bir debide arkı koruma ve kaynak alanını örtme konusunda o kadar etkindir. Bu nedenle helyumla koruma yapıldığında aynı etkili korumayı sağlamak için argonla korumada kullanılan debinin iki veya üç katı yüksekliğinde debi kullanılması gerekir.

Helyum argondan daha yüksek ısıl iletkenliğine sahiptir ve aynı zamanda içinde ark enerjisinin daha üniform şekilde dağıldığı bir ark plazması oluşturur. Argonun oluşturduğu ark plazmasında iç bölgede çok yüksek bir enerji mevcuttur ve bu bölge daha az ısı enerjisi içeren bir mantıyla sarılıdır. Bu fark kaynak dikiş profilini önemli ölçüde etkiler. Helyum arkı derin, geniş parabolik kaynak kesiti oluşturur. Argon arkı ise şişe emziğine benzer bir nüfuziyet oluşturur (**Şekil-26**).

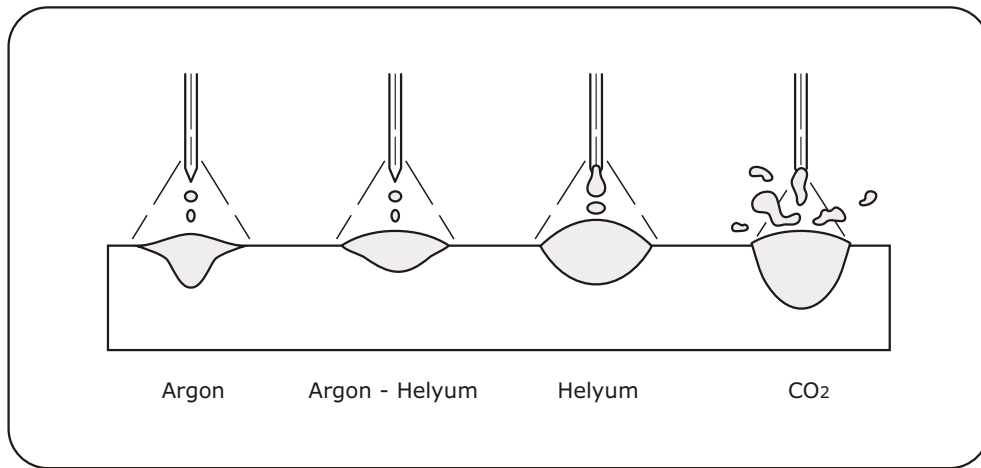
Verilen bir elektrod besleme hızında argon arkının gerilimi helyum arkının geriliminden önemli ölçüde düşüktür. Bunun sonucunda argon arkında ark boyundaki değişmeye bağlı olarak gerilimde daha az bir değişme meydana gelecektir ve ark helyum arkına nazaran daha kararlı olacaktır. Argon arkı (% 80 argon gazı karışımına kadar da dahil olmak üzere) geçiş akımı üzerindeki akım değerlerinde aksel sprej ark iletimi oluşturur. Helyum arkı normal çalışma bölgesinde iri damlalı metal iletimi oluşturur. Bu nedenle helyum arkı argon arkına nazaran daha fazla sıçramaya ve daha kötü kaynak dikişi görünüşüne neden olur.

Çok kolay iyonize olan argon gazı bu nedenle arkın tutuşmasını kolaylaştırır ters kutuplamayla birlikte kullanıldığında mükemmel yüzey temizleme etkisi sağlar.

4.2.2

Argon ve Helyum Karışımı

Saf argonla koruma demir dışı metallerin birçok uygulamasında kullanılır. Saf helyum kullanımı sınırlı bir ark kararlılığı sağlaması nedeniyle çok özel alanlarda sınırlanmıştır. Ancak helyum arkıyla derin, geniş ve parabolik kaynak profili özellikleri elde edilmesi nedeniyle, Argon-Helyum gaz karışımı koruyucu gaz olarak kullanılmaktadır. Sonuçta kaynak dikişi



Şekil-26 Çeşitli Koruyucu Gazların Dikişin Şekline ve Nüfuziyete Etkisi

profilinde iyileşme sağlandığı gibi, argonun aksel spray metal iletimi oluşturma özelliğinden de yararlanır (Şekil-26). Kısa devre iletimde, daha iyi ergime sağlamak amacıyla % 60'dan % 90'a kadar helyum içeren Argon-Helyum karışımı koruyucu gazlar kullanılır. Paslanmaz çelik, düşük alaşımlı çelikler gibi bazı metaller için daha yüksek ısı girdisi elde etmek amacıyla CO₂ ilavesi yerine helyum ilavesi yapılır. Bunun nedeni helyumun, dikişin mekanik özelliklerini ters yönde etkileyen kaynak metali reaksiyonları oluşturmamasıdır.

4.2.3

Argon ve Helyuma Oksijen ve Karbondioksit İlavesi

Saf argon ve belli bir dereceye kadar helyum demir dışı malzemelerin kaynağında çok mükemmel sonuçlar sağlar. Ancak, bu koruyucu gazlar saf halde demir esaslı malzemelerin kaynağında başarılı çalışma özellikleri sağlamaz. Ark kararsız olma eğilimi gösterir. Helyumla korumada buna ilave olarak sıçrama meydana gelir. Saf argonla korumada "yanma oluşu" oluşma olasılığı büyük ölçüde artar. Argona % 1-5 O₂ veya % 3-10 CO₂ (ve % 25'e kadar CO₂) ilavesi önemli ölçüde iyileşme sağlar. Saf gaza katılacak en uygun O₂ ve CO₂ miktarı kaynak edilecek parçanın yüzey duru-

mu (hadde tufalı), bağlantı geometrisi, kaynak pozisyonu ve esas metalin bileşimine bağlıdır. Genellikle % 3 O₂ veya % 9 CO₂ bu değişkenlerin büyük bir aralıkta etkilerini gözönünde bulunduran oranlardır. Argona CO₂ ilavesi aynı zamanda dikiş profilinin şeklini de iyileştirir (Şekil-27).

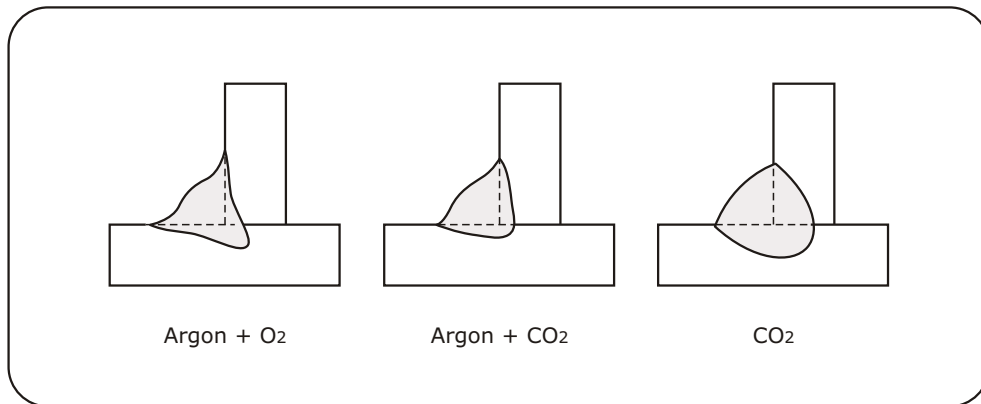
4.2.4

Karbondioksit

Saf karbondioksit alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında geniş ölçüde kullanılan bir aktif gazdır. Bu gazın yoğun olarak kullanılma nedeni :

- Daha yüksek kaynak hızı
- Daha fazla bağlantı nüfuziyeti
- Daha düşük maliyet sağlamasıdır.

CO₂ ile korumada metal iletimi ya kısa devre ya da iri damla tipidir. Aksel spray iletimi argonla korumaya özgü bir özelliktir ve bunu CO₂ ile elde etmek mümkün değildir. İri damla iletimi ile elde edilen ark oldukça kararsızdır ve önemli miktarda sıçramaya neden olur. Sıçramayı en az düzeye indirmek için kaynak şartlarının çok kısa "gömülü ark" (elektrodun ucu gerçekte iş parçası yüzey seviyesinin altındadır) sağlayan düşük gerilim değerine ayarlanması gerekir.



Şekil-27 Argon + O₂, Argon + CO₂ ve CO₂ Gazlarının Dikiş Şekline ve Nüfuziyete Etkisi

Tablo-5 Sprey İletimi İçin Koruyucu Gazlar

Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları	Argon	25 mm'den küçük kalınlıklarda en iyi damla iletimi ve en az sıçrama oluşturur.
	% 35 Ar + % 65 He	25-75 mm kalınlıklarda saf argona oranla daha fazla ısı girdisi elde edilir. 5XXX serisi Al-Mg alaşımlarında erime özelliğinde iyileşme sağlar.
	% 25 Ar + % 75 He	75 mm'den büyük kalınlıklarda en yüksek ısı girdisi, gözenek oluşumunun en düşük seviyede tutulmasına olanak sağlar.
Magnezyum	Argon	Mükemmel temizlik etkisi yaratır.
Alaşımsız Çelikler	Argon + % 1-5 O ₂	Arkın kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, iyi bir birleşme ve dikiş profili sağlar, yanma oluğunu en az düzeye indirir, saf argona oranla daha yüksek kaynak hızına olanak sağlar.
	Argon + % 3-10 CO ₂	İyi bir dikiş profili oluşturur, sıçramayı en az düzeye indirir, soğuk kaynak olasılığını azaltır, pozisyon kaynağına uygun değildir.
Düşük Alaşımlı Çelikler	Argon + % 2 O ₂	Yanma oluğunu en az düzeye indirir, iyi bir tokluk sağlar.
Paslanmaz Çelikler	Argon + % 1 O ₂	Arkın kararlılığını artırır, daha akışkan ve kontrol edilebilir bir kaynak banyosu oluşturur, kalın paslanmaz çeliklerde yanma oluğunu en az düzeye indirir.
	Argon + % 2 O ₂	İnce paslanmaz çeliklerde % 1 O ₂ 'li karışıma oranla daha iyi bir ark kararlılığı ve birleşme sağlar.
Bakır, Nikel ve Alaşımları	Argon	İyi bir ıslanma sağlar, 3 mm kalınlıklara kadar kaynak metalinin akışkanlığını artırır.
	Argon + Helyum	% 50-75 He karışımı kalın parçalardaki ısı kaybını karşılayacak derecede yüksek ısı girdisi sağlar.
Titanyum	Argon	İyi bir ark kararlılığı ve kaynakta en az kirlenme sağlar. Kaynak alanının arkasından hava kirlenmesini önlemek için soygaz altlığı gereklidir.

Tablo-6 Kısa Devre İletimi İçin Koruyucu Gazlar

Ana Metal	Koruyucu Gaz	Üstünlükleri
Alaşsız Çelikler	% 75 Ar + % 25 CO ₂	3 mm kalınlıklara kadar yüksek kaynak hızları ve en az distorsiyon ve az sıçrama sağlar.
	% 75 Ar + % 25 CO ₂	3 mm'den kalın parçalarda en az sıçrama ve temiz kaynak görüntüsü sağlar. Düşey ve tavan pozisyonlarında iyi bir banyo kontrolü elde edilir.
	CO ₂	Daha derin nüfuziyet ve daha yüksek kaynak hızı elde edilir.
Paslanmaz Çelikler	% 90 He + % 7.5 Ar + % 2.5 CO ₂	Korozyon direnci üzerinde kötü bir etkisi yoktur. Isı tesiri altındaki bölge dar olup yanma oluşu oluşmaz. En az distorsiyon sağlar.
Düşük Alaşlı Çelikler	% 60-70 He + % 25-35 Ar + % 4.5 CO ₂	En az reaktivite, mükemmel tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ıslatma özelliği ve dikiş profili sağlar. Çok az sıçrama oluşur.
	% 75 Ar + % 25 CO ₂	Orta derecede tokluk, mükemmel ark kararlılığı, ıslatma özelliği ve dikiş profili sağlar. Çok az sıçrama oluşur.
Alüminyum Magnezyum, Nikel ve Bunların Alaşlıları	Argon Argon + Helyum	Sac parçalarda Argon başarılı bir şekilde kullanılır. 3 mm'den büyük kalınlıklarda ise Argon + Helyum karışımı tercih edilir.

Argonca zengin koruyucu gazla genel olarak kıyaslandığında CO₂ korumalı ark daha kaba bir yüzey profiliyle birlikte mükemmel nüfuziyete sahip bir kaynak dikişi oluşturur. Gömülü ark nedeniyle kaynak dikişinin kenarlarında çok daha az "**yıkama**" etkisi oluşur. Çok güvenilir kaynak dikişleri elde edilmekle birlikte, arkın oksitleyici karakteri nedeniyle dikişin mekanik özellikleri kötü yönde etkilenebilir.

4.2.5

Koruyucu Gaz Seçimi

Kaynak edilecek metale bağlı olarak kullanılacak koruyucu gazlar **Tablo-5** ve **Tablo-6**'da verilmiştir.

BÖLÜM 5.0

UYGULAMALAR

Gazaltı kaynağı çeşitli metallere ve bağlantılara uygulanabilir. Yöntemin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için aşağıdaki faktörlerin iyi bir şekilde seçilmesi gerekir :

- Elektrodun bileşimi, çapı ve ambalajı
- Koruyucu gazın cinsi ve debisi
- Kaynak parametreleri; akım, gerilim, kaynak hızı, damla iletim tipi vb.
- Bağlantı tasarımı
- Donanımın güç ünitesi, torcu, elektrod (tel) besleme ünitesi

Bu bölümde alaşımsız, düşük alaşımlı ve paslanmaz çeliklerle alüminyumun kaynağında kullanılan kaynak parametrelerinin seçimi ve kaynakta dikkat edilmesi gereken konularla ilgili bilgiler verilmiştir.

5.1

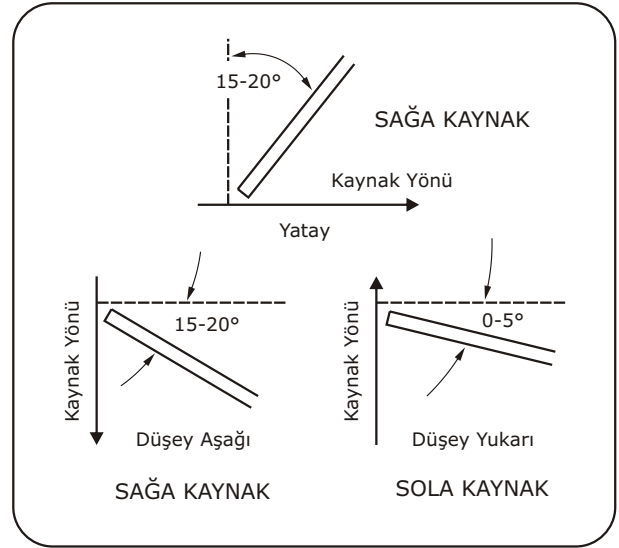
ALAŞIMSIZ ve DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLERİN KAYNAĞI

5.1.1

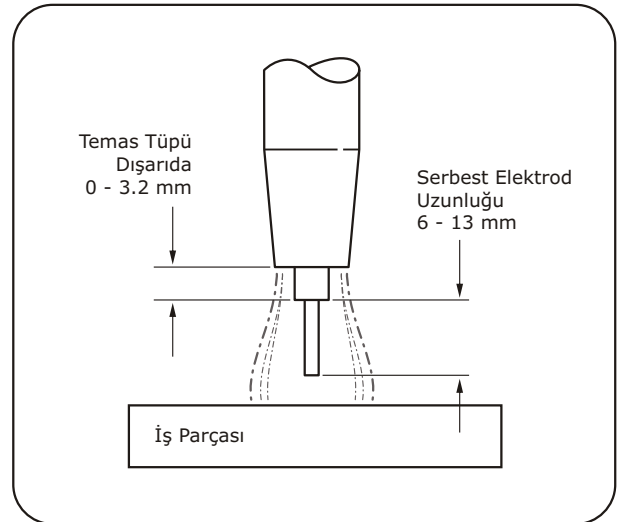
Kısa Devre İletimiyle Kaynak

Kısa devre iletimle kaynak yapıldığında Şekil-28'de belirtilen hareket açıları kullanılmalıdır.

Kısa devre iletiminde temas tüpü gaz memesinin ucuyla aynı hizada veya gaz memesinin ucundan en fazla 3.2 mm dışarıda olmalıdır. Serbest elektrod uzunluğu ise 6-13 mm arasında olmalıdır (Şekil-29).



Şekil-28 Kısa Devre İletiminde Sağa ve Sola Kaynakta Hareket Açıları

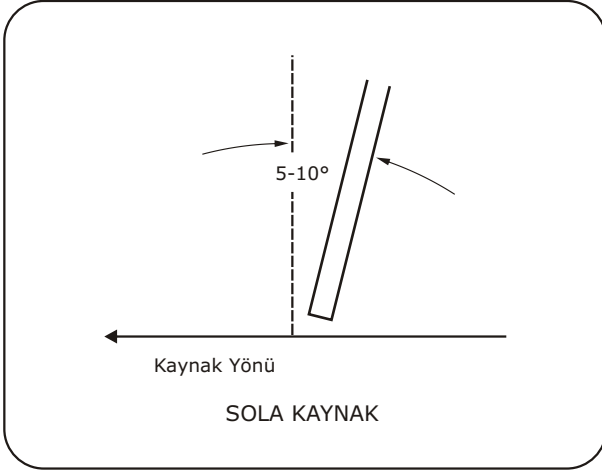


Şekil-29 Kısa Devre İletiminde Serbest Elektrod Uzunluğu

5.1.2

Sprey İletimiyle Kaynak

Sprey iletimiyle kaynak yapıldığında **Şekil-30**'da gösterilen hareket açısı kullanılmalıdır.



Şekil-30 Sprey İletiminde Hareket Açısı (Sola Kaynak)

Sprey iletiminle kaynak yapabilmek için en az % 80 oranında Argon içeren gaz karışımı kullanmak gerekir. Aynı zamanda kaynak yapılacak levha yüzeylerindeki hadde tufalı kalıntıları da temizlenmelidir.

Sprey iletiminde temas tüpünün ucu gaz memesinin ucundan 6.4 mm içeride, serbest elektrod uzunluğu ise 19-25 mm arasında olmalıdır (**Şekil-31**).

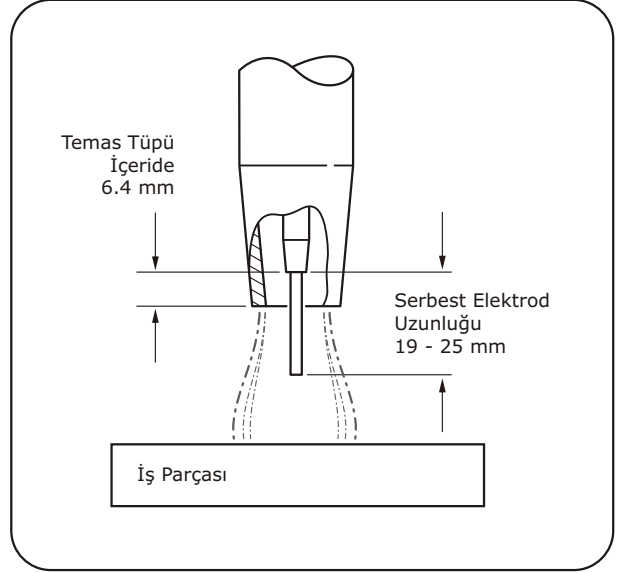
5.1.3

Elektrod (Tel) Besleme Hızları

"W" (yığma hızı) kaynak sırasında saatte yığılan metal miktarının (kg) "Ve" elektrod besleme hızıyla (m/dak), ilişkisi aşağıdaki gibidir :

$$W_{(kg/saat)} = 0.047 \cdot h \cdot g \cdot d^2 \cdot V_e$$

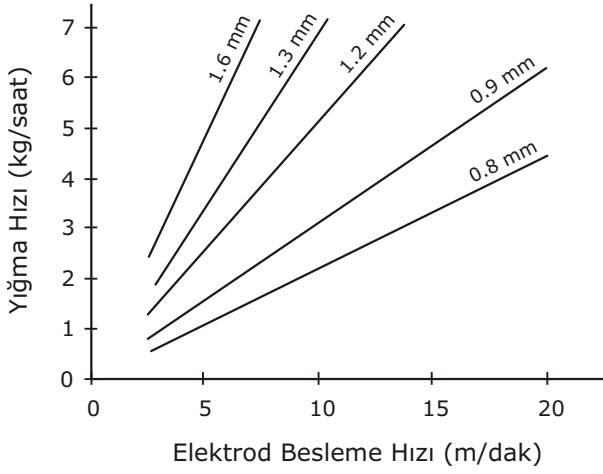
Burada "d" elektrod çapı (mm), "g" elektrod malzemesinin yoğunluğu (gr/cm³), "h" yığma verimi, "Ve"



Şekil-31 Sprey İletiminde Serbest Elektrod Uzunluğu

elektrod besleme hızıdır (m/dak). Yığma verimi kaynak sırasında oluşan sıçrama kayıplarını gözönüne alan birden küçük bir sayıdır. Sıçrama kayıplarının çok az olduğu durumlarda (özellikle spray iletimde), yığma verimi değeri bire eşit alınabilir. **Şekil-32**'de alaşımsız ve düşük alaşımlı çelik elektrodlar için elektrod besleme hızıyla, yığma hızı arasındaki ilişki çeşitli elektrod çapları için verilmiştir. Elektrod besleme hızı bir taraftan da akım şiddetini belirlediğinden, elektrod besleme hızını doğru bir şekilde seçme ve makinada buna göre ayarlama yapmak gerekir.

Tablo-8, 9, 10, 11, 12, 13 ve 14'de elektrod besleme hızları için, uygun serbest elektrod (tel) uzunluğu kullanılması halinde, kaynakçıya yol gösterecek ön seçim değerleri verilmiştir.



Şekil-32 Alaşım ve Düşük Alaşım Çeliklerde Çeşitli Elektrod Çapları İçin Elektrod Besleme Hızıyla Yığma Hızı Arasındaki İlişki

5.1.4

Ark Gerilimi

BÖLÜM-2'de yer alan Tablo-2'de, ark gerilimine ait ilk seçim değerleri verilmiştir.

5.1.5

Kısa Devre İletimiyle Kaynakta Kullanılan Koruyucu Gazlar ve Gaz Karışımları

1) Karbondioksit :

Karbondioksit reaktif bir gazdır ve alaşım ve düşük alaşım çeliklerin kısa devre iletimli ark kaynağında koruyucu gaz olarak kullanılabilir. Bu gazın tipik özellikleri aşağıda verilmiştir :

- Çok iyi nüfuziyet
- Düşük maliyet
- Yüksek sıçrama
- Posizyon kaynağına uygunluk

2) Argon :

Argon bir soy gaz olup genelde alaşım ve düşük alaşım çeliklerin kaynağında çok kararsız bir ark oluşturduğu için tek başına kullanılamaz. Arkı kararlı kılmak için Argona oksijen veya karbondioksit karıştırılır.

3) Argon ve Karbondioksit :

% 20-50 oranında karbondioksitle karıştırılmış argon-karbondioksit gaz karışımı alaşım ve düşük alaşım çeliklerin kısa devre iletimiyle kaynağında kullanılır. Bu gaz karışımının tipik özellikleri aşağıda verilmiştir :

- Güzel bir dikiş şekli
- Saf karbondioksitle korumaya nazaran daha az nüfuziyet
- Kaynak banyosunda karbondioksit ile korumaya nazaran daha az akışkanlık
- Daha soğuk kaynak banyosu ve bu nedenle soğuk kaynağa eğilim
- Posizyon kaynağına uygunluk

5.1.6

Sprey İletimiyle Kaynakta Kullanılan Koruyucu Gaz Karışımları

Eksenel sprey iletimle kaynağı en uygun gaz karışımları Argon + % 3-10 Karbondioksit karışımı veya Argon + % 1-5 Oksijen karışımıdır.

Gaz karışımında argonun oranı azaldıkça eksenel sprey iletiminin gerçekleşmesi için gerekli ark gerilimi değeri de artar. Bu karışımların tipik özellikleri aşağıda verilmiştir :

- İyi bir dikiş şekli
- En az sıçrama
- Soğuk kaynağı ortadan kaldıran en iyi karışım
- Posizyon kaynağına uygunsuzluk
- Kalın levhaların kaynağına uygunluk

5.1.7

Ön Tavlama ve Pasolararası Sıcaklık

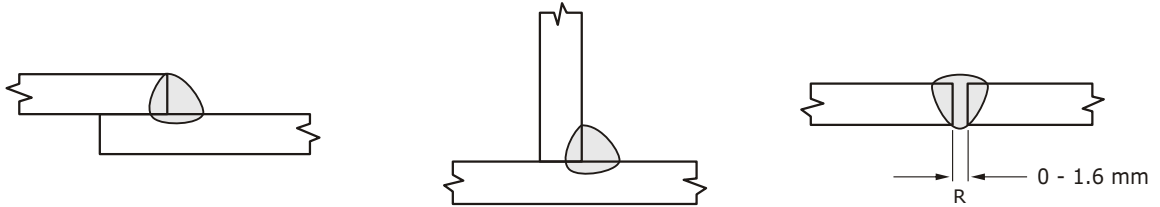
Ön tavlama ve pasolararası sıcaklık kontrolü en uygun mekanik özellikleri elde etmek, çatlama karşı direnci arttırmak ve sertliği kontrol etmek için tavsiye edilir. Bu işlemler özellikle kalın levhaların çok pasolu kaynağında önemlidir. İş şartları, ilgili şartnameler, yüksek zorlanmalar, alaşım elemanlarının miktarı ve diğer

faktörler ön tavlama ve pasolararası sıcaklık kontrolü yapılmasını gerektirebilir. **Tablo-7'**de verilen değerler en düşük ön tavlama ve pasolararası sıcaklık değerleri olup bir başlangıç değeri olarak alınmalıdır. Eğer çatlama meydana gelirse daha yüksek sıcaklık değerleri seçilmelidir.

Tablo-7 Alaşimsız Çelikler İçin Öntavlama ve Pasolararası Sıcaklık Değerleri

Levha Kalınlığı (mm)	< 19	19 - 38	38 - 64	> 64
Endüşük Öntavlama Sıcaklığı (°C)	21	66	66	107
En Düşük Pasolararası Sıcaklık (°C)	21	66	107	149

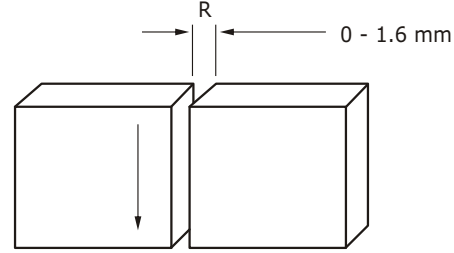
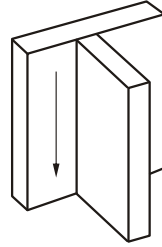
Tablo-8 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin CO₂ Koruması ile Kısa Devre İletiminde Yatay İçköşe ve Oluk Alın Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri



Levha Kalınlığı (mm)	0.6	0.9	0.9	1.5	1.5	1.9	1.9	2.6	2.6	3.4	3.4	3.4	4.8	6.4
Elektrod Çapı (mm)	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.1	1.1	1.1
Elektrod Bes. Hızı (m/dak)	1.9	3.2	2.5	4.4	3.8	5.7	4.4	7.0	5.7	7.6	6.4	3.2	3.8	5.0
Akım (A) (DAEP)	35	55	80	80	120	100	130	115	160	130	175	145	165	200
Kaynak Hızı (m/dak)	0.25	0.35	0.33	0.33	0.50	0.45	0.45	0.50	0.50	0.43	0.50	0.45	0.38	0.33
Gerilim (V) *	17	18	18	19	19	20	20	21	21	22	22	18-20	19-21	20-22
Gaz Debisi (lt/dak)	12 - 17													
Serbest Elek. Uz. (mm)	6 - 12													

*) Ar + CO₂ karışımı için 2 Volt azalt.

Tablo-9 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin CO₂ Koruması ile Kısa Devre İletiminde Düşey-Aşağı İçköşe ve Düz Alın Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri

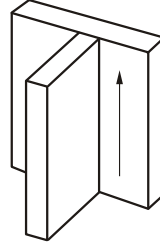


Levha Kalınlığı (mm)	0.6	1.2	1.2	1.9	1.9	3.4	3.4	3.4	4.8	6.4
Elektrod Çapı (mm)	0.8	0.8	0.9	0.8	0.9	0.8	0.9	1.1	1.1	1.1
Elektrod Bes. Hızı (m/dak)	1.9	3.8	3.2	5.7	4.4	7.6	6.4	3.2	3.8	5.0
Akım (A) (DAEP)	35	70	100	100	130	130	175	145	165	200
Kaynak Hızı (m/dak)	0.25	0.38	0.48	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.43	0.43
Gerilim (V) *	17	18	18	20	20	22	22	19	20	21
Gaz Debisi (lt/dak)	12 - 17									
Serbest Elek. Uz. (mm)	6 - 12									

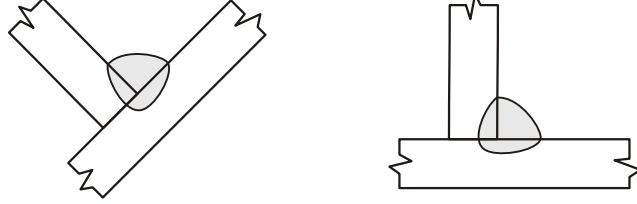
*) Ar + CO₂ karışımı için 2 Volt azalt

Tablo-10 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin % 75 Ar + % 25 CO₂ Koruması ile Kısa Devre İletiminde Düşey-Yukarı İçköşe Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri

Teknik :
"V" Salınımı veya "Üçgen" Salınımı Kullan



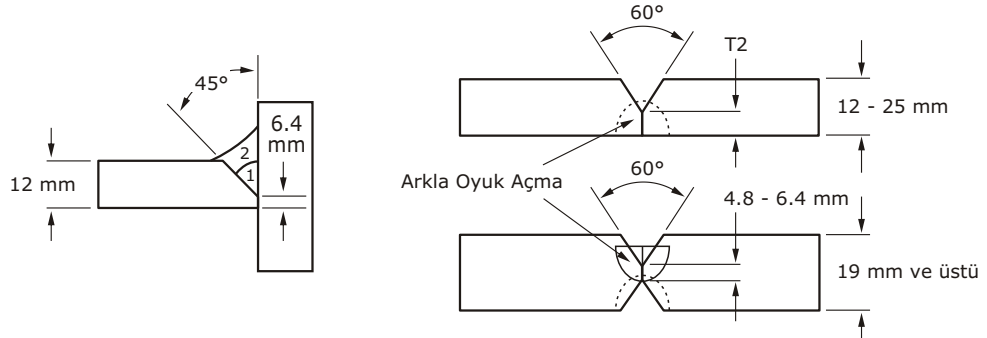
Levha Kalınlığı (mm)	7.9	7.9	9.5	9.5
Ayak Uzunluğu (mm)	6.4	6.4	7.9	7.9
Elektrod Çapı (mm)	0.9	1.1	0.9	1.1
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	5.7	3.8	6.4	3.8
Akım (A) (DAEP)	160	165	175	165
Gerilim (V)	18	19	20	19
Kaynak Hızı (m/dak)	0.13 - 0.15	0.10 - 0.13	0.10 - 0.11	0.10 - 0.11
Gaz Debisi (lt/dak)	12 - 17			
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	6 - 12			

Tablo-11 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin % 90 Ar + % 10 CO₂ Koruması ile Sprey İletiminde Oluk ve Yatay İçköşe Kaynakları İçin Kaynak DeğişkenleriTeknik :
Sola Kaynak Kullan

Levha Kalınlığı (mm)	4.8	6.4	6.4	7.9	7.9	7.9	7.9	9.5	9.5	9.5	12	12
Ayak Uzunluğu (mm)	4.0	4.8	4.8	6.4	6.4	6.4	6.4	7.9	7.9	7.9	9.5	9.5
Elektrod Çapı (mm)	0.9	0.9	1.1	0.9	1.1	1.3	1.6	0.9**	1.1	1.6	1.3	1.6
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	9.5*	10*	8.9	12.7	9.5	8.1	6.0	15.2	12	6.0	12.3	6.0
Akım (A) (DAEP)	195	200	285	230	300	320	350	275	335	350	430	350
Gerilim (V)	23	24	27	29	28	29	27	30	30	27	32	27
Kaynak Hızı (m/dak)	0.6	0.48	0.63	0.35	0.45	0.45	0.48	0.25	0.33	0.30	0.33	0.23
Gaz Debisi (lt/dak)	17 - 21											
Yığma Hızı (kg/saat)	2.7	2.9	4.2	3.6	4.5	5.2	5.4	4.4	5.7	5.4	7.8	5.4
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19 - 25											

*) Gerçek sprej iletim değildir.

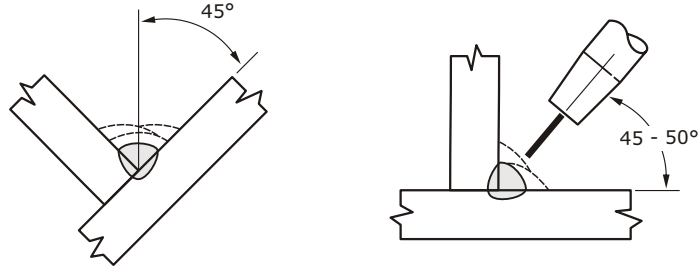
**) Sadece oluk pozisyonu içindir.

Tablo-12 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin % 90 Ar + % 10 CO₂ Koruması ile Sprey İletiminde Oluk-Alın Kaynakları İçin Kaynak DeğişkenleriTeknik :
Sola Kaynak Kullan

Elektrod Çapı (mm)	0.9	1.1	1.3	1.6
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	12.7 - 15.2	9.5 - 12.7	7.6 - 12.3	5.3 - 7.4
Akım (A) (DAEP)	230 - 275	300 - 340	300 - 430	325 - 430
Gerilim (V)	29 - 30	29 - 30	30 - 32	25 - 28
Kaynak Hızı (m/dak)	0.25 - 0.38	0.30 - 0.45	0.35 - 0.60	0.35 - 0.58
Gaz Debisi (lt/dak)	19 - 21			
Yığma Hızı (kg/saat)	3.6 - 4.4	4.5 - 6.0	4.8 - 7.8	4.8 - 6.7
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19 - 25			

Tablo-13 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Darbeli Sprey İletiminde Oluk ve Yatay İçköşe Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri (Idealarc Pulse Power 500 ile)

Teknik :
Sola Kaynak Kullan

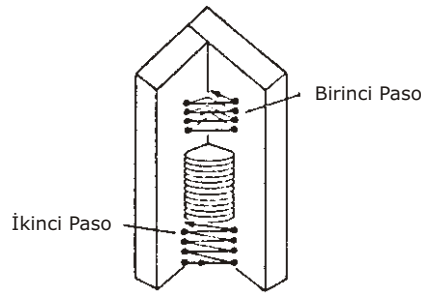


Levha Kalınlığı (mm)	6.4	7.9	9.5
Ayak Uzunluğu (mm)	4.8	6.4	7.9
Elektrod Çapı (mm)	1.1	1.1	1.1
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	7.6	8.3	9.5
Gerilim (V) DAEP	Ar + % 5 CO ₂ *	23 - 24	24 - 25
	Ar + % 10 CO ₂ *	24.5 - 25.5	25.5 - 26.5
	Ar + % 20-25 CO ₂	28 - 29	28.5 - 30
Gaz Debisi (lt/dak)	17 - 19		
Kaynak Hızı (m/dak)	0.33 - 0.36	0.35 - 0.38	0.25 - 0.28
Yıgma Hızı (kg/saat)	3.6	4.0	4.5
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19 - 25		

*) Sadece yüzeyi talaştan arındırılmış parçalarda kullanın.

Tablo-14 Alaşimsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Darbeli Sprey İletiminde Düşey-Yukarı İçköşe Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri (PowerWave 455 ile)

Teknik :
Sola Kaynak Kullan



Levha Kalınlığı (mm)	9.5	12.5 ve yukarısı
Ayak Uzunluğu (mm)	7.9	2 paso ve daha fazla
Elektrod Çapı (mm)	1.1	1.1
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	3.2	3.3 - 3.7
Gaz Debisi (lt/dak)	17 - 19	
Yıgma Hızı (kg/saat)	1.5	1.6 - 1.8
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13 - 19	

5.2 PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞI

Paslanmaz çelikler hem sprej iletim, hem kısa devre iletim, hem de darbeli iletim tekniğiyle kaynak edilebilir. 1.6 mm kalınlığa kadar paslanmaz çeliklerin kaynağında bakır altlık kullanmak gereklidir. Altlık 6.4 mm ve daha kalın levhaların tek taraftan kaynağı için de gereklidir. Kaynak banyosunun katılaşması sırasında havanın kaynağın diğer tarafına girmesine izin verilmemelidir. Oksijen ve azot katılan ve soğuyan paslanmaz çeliğe zarar verir. Takım ve tertibat elemanları kaynağın arka yüzeyinden çok miktarda hava girişine izin veriyorsa arka taraftan argon altlık kullanılmalıdır.

5.2.1 Sprej İletimi

Sprej iletim oluşturmak için göreceli olarak yüksek akımlarla 2.4 mm kadar büyük çaplı elektrod, ancak sık kullanılan 1.6 mm elektrod çapı için 300-350 amperlik kaynak akımı gerekir. Sıçrama miktarı, koruyucu gazın bileşimine ve debisine, elektrod besleme hızına ve kaynak güç ünitesinin karakteristiğine bağlıdır.

Birçok paslanmaz çeliğin kaynağında doğru akım elektrod pozitif kutuplama kullanılır. Birçok paslanmaz çelik için ayrıca % 1-2 oranında oksijenle karıştırılmış Argon + Oksijen karışımı tavsiye edilir.

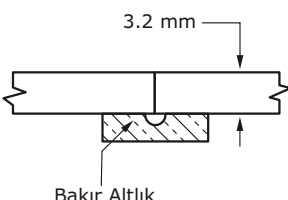
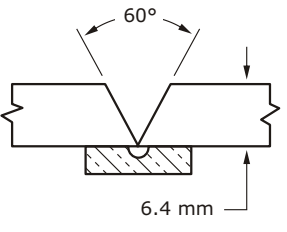
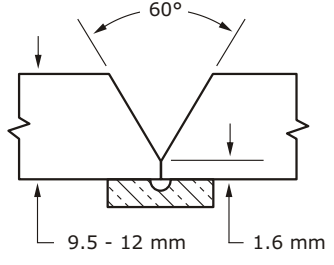
Düz alın kaynaklarında kaynak metalinin alttan sarkmasını önlemek için bir altlık lama gereklidir. Levhaların hizalanması başarılı değilse veya bakır altlık kullanılmıyorsa, ilk pasoyu kısa devre iletimiyle çekerek sarkma en az düzeye indirilebilir.

Kaynağı sola kaynak tekniğiyle yapmak yararlıdır. Kaynakçının eli daha fazla ısıya maruz kalmakla birlikte (kaynakçının eli çekilmiş dikişin üzerinden geçerek) bu yöntem arkın daha iyi görülmesini sağlar.

6.4 mm ve daha büyük kalınlığa sahip levhaların kaynağında torç bağlantı yönünde ileri geri aynı zamanda hafifçe bir yandan diğer yana doğru hareket ettirilmelidir. İnce metallerde ise sadece ileri-geri hareket yeterlidir.

Tablo-15 ve **16**'da paslanmaz çeliklerin sprej iletimle kaynağında kullanılan kaynak değişkenleri verilmiştir.

Tablo-15 AISI 200 ve 300 Serisi Paslanmaz Çeliklerin Sprej İletimiyle Kaynağında Kaynak Değişkenleri

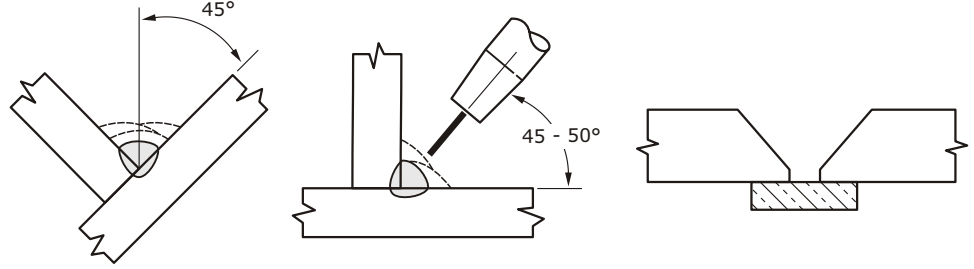
Koruyucu Gaz : Argon + % 1 Oksijen Gaz Debisi : 16.5 lt/dak.			
	Parça Kalınlığı (mm)	3.2	6.4
Paso Sayısı	1	2	2
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6
Akım (amp) DC (+)	225	275	300
El. Besleme Hızı (m/dak)	3.6	4.4	6.0
Kaynak Hızı (m/dak)	0.48 - 0.53	0.38	0.51
Tüketim (kg/100 m)	1.0	2.6	3.8

Tablo-16 Paslanmaz Çeliklerin Sprey İletiminde Yatay ve Oluk İçköşe ve Oluk Alın Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri

Koruyucu Gaz :
% 98 Argon + % 2 Oksijen

Teknik :
Sola Kaynak Kullan

Hareket Açısı :
5°



	0.9 mm Çaplı Elektrod			
Levha Kalınlığı (mm)	4.8	6.4	7.9 ve Üstü	
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	10.2 - 10.8	11.4 - 12.1	12.1	
Gerilim (V)	23 - 24	24 - 25	25	
Akım (A) (DAEP)	180 - 190	200 - 210	210	
Kaynak Hızı (m/dak)	0.46 - 0.48	0.28 - 0.30	0.25 - 0.28	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13	13	13	
Gaz Debisi (lt/dak)	14	14	14	
	1.1 mm Çaplı Elektrod			
Levha Kalınlığı (mm)	4.8	6.4	7.9 ve Üstü	
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	6.1 - 6.6	7.6 - 8.3	9.1	
Gerilim (V)	24 - 25	25 - 26	26	
Akım (A) (DAEP)	195 - 230	240 - 250	260	
Kaynak Hızı (m/dak)	0.43 - 0.48	0.38 - 0.46	0.36 - 0.38	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19	19	19	
Gaz Debisi (lt/dak)	19	19	19	
	1.6 mm Çaplı Elektrod			
Levha Kalınlığı (mm)	4.8	6.4	7.9	9.5
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	4.4	5.1 - 6.4	7.0	7.6
Gerilim (V)	26	29	31	32
Akım (A) (DAEP)	260	310 - 330	360	390
Kaynak Hızı (m/dak)	0.48 - 0.58	0.58 - 0.64	0.41	0.41
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	19	19	19	19
Gaz Debisi (lt/dak)	19	19	19	19

5.2.2 Kısa Devre İletimi

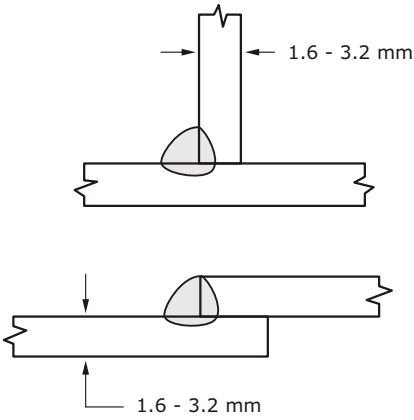
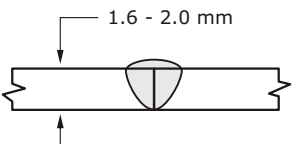
Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimle kaynağında gerilim ve endüktans kontrolüne sahip güç ünitelerinin kullanılması tavsiye edilir. Özellikle endüktans uygun bir banyo akışkanlığı elde etmede önemli bir rol oynar.

Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimiyle kaynağında tavsiye edilen koruyucu gaz, % 90 Helyum, % 7.5 Argon ve % 2.5 Korbondiyoksit karışımıdır. Bu gaz karışımı bir taraftan CO₂ miktarını metalin korozyon direncini etkilemeyecek derecede düşük düzeyde tutarken bir taraftan da en iyi dikiş profilinin oluşmasını sağlar.

Bu gaz karışımı kullanılırken yüksek endüktans değerlerinde çalışmak gerekir. Tek pasolu kaynaklarda Argon + CO₂ karışım gazı kullanılabilir. Ancak bu gaz karışımı kısa devre iletimiyle gerçekleştirilen çok pasolu kaynak uygulamalarında kaynak metalinin korozyon direncini kötü yönde etkiler.

Serbest elektrod uzunluğu mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır. İçköşe kaynaklarında sağa kaynak tekniği kullanma genellikle daha kolaydır. Alın kaynaklarında sola kaynak tekniği kullanılmalıdır. Dış köşe kaynakları elektrod salınımı olmaksızın düz bir şekilde çekilebilir. **Tablo-17, 18 ve 19**'da paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimli kaynağında kullanılan değişkenler verilmiştir.

Tablo-17 AISI 200 ve 300 Serisi Paslanmaz Çeliklerin Kısa Devre İletimiyle Kaynağında Kaynak Değişkenleri

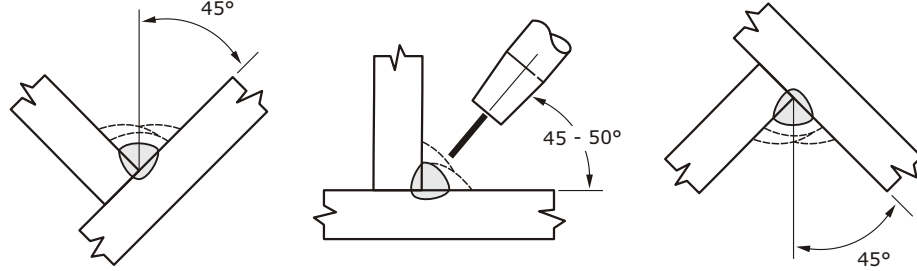
Koruyucu Gaz : Helyum + % 7.5 Argon + % 2.5 Karbondiyoksit						
	1.6	2.0	2.4	3.2	1.6	2.0
Levha Kalınlığı (mm)	1.6	2.0	2.4	3.2	1.6	2.0
Elektrod Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Akım (A) DAEP	85	90	105	125	85	90
Gerilim (V)	21	22	23	23	22	22
El. Besleme Hızı (m/dak)	4.7	4.9	5.9	7.1	4.7	4.9
Kaynak Hızı (m/dak)	0.43 - 0.48	0.33 - 0.38	0.36 - 0.41	0.36 - 0.41	0.48 - 0.53	0.29 - 0.32
Tüketim (kg/100 m)	0.35	0.47	0.54	0.64	0.32	0.54
Gaz Debisi (lt/dak)	7.0 - 9.5					
Ar + % 2 O ₂ için gerilimi 6 V azalt. Ar + % 25 CO ₂ için gerilimi 5 V azalt.						

Tablo-18 Paslanmaz Çeliklerin Kısa Devre İletiminde Yatay, Oluk ve Düşey-Aşağı İç Köşe Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi)

Koruyucu Gaz :
% 90 He + % 7.5 Argon
+ % 2.5 Karbondioksit

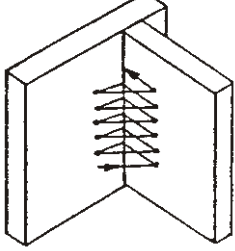
Teknik :
Sağa Kaynak Kullan

Hareket Açısı :
5° - 20°

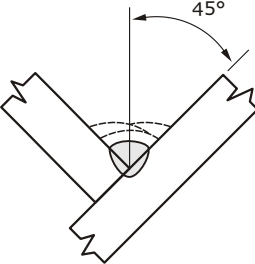
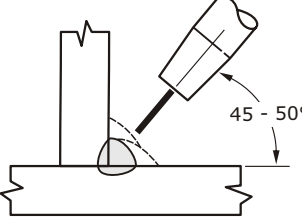


	0.9 mm Çaplı Elektrod			
Levha Kalınlığı (mm)	1.2	1.5	1.9	
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	3.0 - 3.8	4.6 - 5.2	5.8 - 7.0	
Gerilim (V)	19 - 20	19 - 20	20 - 21	
Akım (A) (DAEP)	55 - 75	85 - 95	105 - 110	
Kaynak Hızı (m/dak)	0.25 - 0.41	0.38 - 0.56	0.46 - 0.53	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13	13	13	
Gaz Debisi (lt/dak)	14	14	14	
Levha Kalınlığı (mm)	2.7	3.5	4.8	6.4
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	7.6 - 8.3	7.6 - 8.3	8.9 - 9.5	10.2 - 10.8
Gerilim (V)	20 - 21	20 - 21	21 - 22	22 - 23
Akım (A) (DAEP)	125 - 130	125 - 130	140 - 150	160 - 170
Kaynak Hızı (m/dak)	0.38 - 0.53	0.36 - 0.51	0.46 - 0.56	0.30 - 0.33
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13	13	13	13
Gaz Debisi (lt/dak)	14	14	14	14
	1.1 mm Çaplı Elektrod			
Levha Kalınlığı (mm)	2.7	3.5	4.8	6.4
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	2.5 - 3.2	3.8 - 4.4	5.6 - 6.4	6.4 - 7.0
Gerilim (V)	19 - 20	21	22	22 - 23
Akım (A) (DAEP)	100 - 120	135 - 140	170 - 175	175 - 185
Kaynak Hızı (m/dak)	0.36 - 0.53	0.48 - 0.51	0.51 - 0.53	0.33 - 0.36
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13	13	13	13
Gaz Debisi (lt/dak)	14	14	14	14

Tablo-19 Paslanmaz Çeliklerin Kısa Devre İletiminde Aşağıdan Yukarıya İçköşe Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri (Elektrod : MIG ERXXX LSi)

<p>Koruyucu Gaz : % 90 He + % 7.5 Argon + % 2.5 Karbondioksit</p> <p>Teknik : Sağa Kaynak Kullan</p> <p>Hareket Açısı : 5° - 10°</p>			
Levha Kalınlığı (mm)		6.4	
Elektrod Çapı (mm)		0.9	
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)		4.4	
Gerilim (V)		21.5	
Akım (A) DAEP		90	
Gaz Debisi (lt/dak)		14	
Kaynak Hızı (m/dak)		0.10	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)		13	

Tablo-20 Paslanmaz Çeliklerin Darbeli Sprey İletiminde Oluk ve Yatay İçköşe Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri (Elektrod : MIG ER XXX LSi)

<p>Koruyucu Gaz : Argon + % 2 Oksijen</p> <p>Teknik : Sola Kaynak Kullan</p>					
Levha Kalınlığı (mm)	1.9	2.6	4.8	6.4	7.9
Ayak Uzunluğu (mm)	-	-	-	4.8	6.4
Elektrod Çapı (mm)	1.1				
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	3.8	4.6	5.0	7.0	7.6
Gerilim (V) (DAEP)	18.5	19.5	20.0	23.5	25.0
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	9.5 - 13				
Gaz Debisi (lt/dak)	12 - 19				
Hareket Açısı (derece)	0 - 5 (Sola Kaynak)				
Kaynak Hızı (m/dak)	1.9	2.3	2.5	3.4	3.8

Paslanmaz çeliklerin kısa devre iletimiyle kaynağında koruyucu gaz olarak % 90 He + % 7.5 Ar + % 2.5 CO₂'den oluşan gaz karışımı kullanılması halinde çok iyi bir korozyon direnci elde edilir.

5.2.3 Darbe İletimi

Darbeli iletimle kaynakta genellikle 0.9 ila 1.1 mm çapa sahip paslanmaz çelik elektrodlar kullanılır. Bu tür iletim için kullanılan koruyucu gaz, sprey iletimindekine benzer olup Argon ve % 2 O₂ karışımından meydana gelmiştir.

Tablo-20'de paslanmaz çeliklerin darbeli iletimde kaynağındaki kaynak değişkenleri verilmiştir.

5.3 ALÜMİNYUM ve ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ KAYNAĞI

Alüminyumun kaynağında gözönüne alınması gerekli olan faktörler; levha kalınlığı, alaşımın cinsi ve kulla-

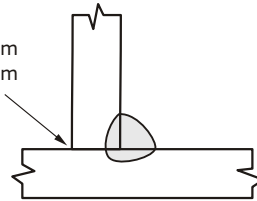
nılan kaynak donanımdır. Kaynak değişkenleriyle ilgili bilgiler **Tablo-21, 22, 23, 24** ve **25'**de verilmiştir. Bu tablolardaki veriler esas alınarak önce deneme kaynakları gerçekleştirmek ve başarılı olunması halinde bu değerlerle kaynakçıya benzer koşullarda pratik yaptırarak kaynakçının yetersizliği nedeniyle oluşabilecek hataları ortadan kaldırmak gerekir.

Alüminyum alaşımlarının ısıl iletkenliklerinin çok yüksek olması nedeniyle birim zamanda kaynak için gerekli ısı girdisi aynı kalınlıktaki çeliğe nazaran daha yüksek olmalıdır. Düşük kaynak hızlarından kaçınmak gerekir, aksi takdirde dikiş sarkması oluşabilir. Diğer bir husus da alüminyumun yüzeyinde oluşan oksit tabakasıdır. Kaynak öncesi bu tabakanın fırçalanarak temizlenmesi gerekir, aksi takdirde gözenekli bir kaynak dikişi oluşur. Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında genellikle doğru akım elektrod pozitif (DAEP) kutuplamada sprey tipi iletim tercih edilir. Oluşan oksit tabakasının temizlenmesi için ise genelde sola kaynak yöntemi kullanılır.

Tablo-21 Alüminyumun Kaynağı İçin Kaynak Değişkenleri (ER5356 - Yatay İçköşe)

Elektrod : 5356
Bağlantı Tipi : İçköşe
Kaynak Boyutu : 3.2 - 12 mm
Pozisyon : Yatay
Kutuplama : DAEP

Kök Açıklığı : max 1.6 mm
3.2 mm Kalınlık İçin : max. 0.8 mm

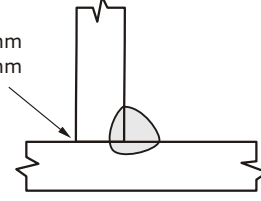


Levha Kalınlığı (mm)	3.2	4.8	6.4	7.9	7.9	9.5	12
Ayak Uzunluğu (mm)	3.2	4.8	6.4	7.9	7.9	9.5	12
Paso Sayısı	1	1	1	1	1	1	1 - 3
Elektrod Çapı (mm)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6
Akım (A) (DAEP)	145	190	215	240	240	260	270
Gerilim (V)	19	21	22	24	23	24	24
Kaynak Hızı (m/dak)	0.86	0.76	0.58	0.46	0.43	0.38	0.43 - 0.76
Gaz Debisi (lt/dak)	17	19	19	19	19	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	12	12	12	16	16	16

Tablo-22 Alüminyumun Kaynağı İçin Kaynak Değişkenleri (ER4043 - Yatay İçköşe)

Elektrod : 4043
Bağlantı Tipi : İçköşe
Kaynak Boyutu : 3.2 - 12 mm
Pozisyon : Yatay
Kutuplama : DAEP

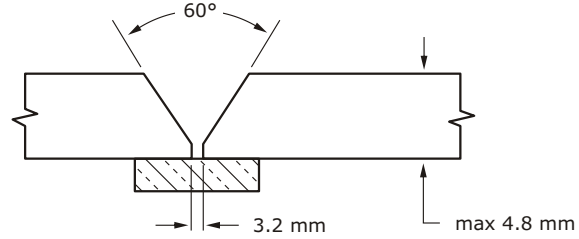
Kök Açıklığı : max 1.6 mm
3.2 mm Kalınlık İçin : max. 0.8 mm



Levha Kalınlığı (mm)	3.2	4.8	6.4	7.9	7.9	9.5	12
Ayak Uzunluğu (mm)	3.2	4.8	6.4	7.9	7.9	9.5	12
Paso Sayısı	1	1	1	1	1	1 - 2	1 - 3
Elektrod Çapı (mm)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6
Akım (A) (DAEP)	140	190	215	230	230	255 - 260	270 - 280
Gerilim (V)	20	23	24	24	24	24 - 25	23 - 24
Kaynak Hızı (m/dak)	0.91	0.69	0.51	0.41	0.41	0.51	0.41 - 0.51
Gaz Debisi (lt/dak)	14	17	17	17	17	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	12	12	12	16	16	16

Tablo-23 Alüminyumun Kaynağı İçin Kaynak Değişkenleri (ER5356 - Oluk Alın)

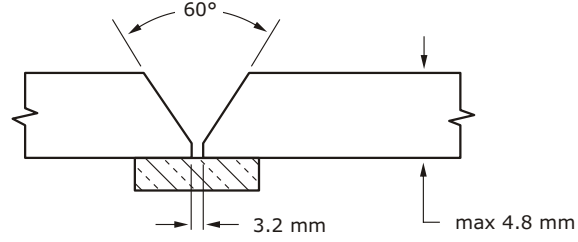
Elektrod : 5356
Bağlantı Tipi : Alın
Pozisyon : Oluk
Kutuplama : DAEP



Levha Kalınlığı (mm)	3.2	4.8	6.4	7.9	7.9	9.5	12
Paso Sayısı	1	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 2	1 - 3	1 - 3
Elektrod Çapı (mm)	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6
Akım (A) (DAEP)	180 - 185	215 - 220	240	250 - 255	250 - 255	265 - 270	270 - 275
Gerilim (V)	20 - 21	21 - 23	23 - 24	24 - 25	23 - 24	22 - 24	22 - 23
Kaynak Hızı (m/dak)	1.2	0.89 - 1.2	0.66 - 0.76	0.60	0.46 - 0.48	0.56 - 0.81	0.41 - 0.60
Gaz Debisi (lt/dak)	17	19	19	19	19	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	12	12	12	16	16	16

Tablo-24 Alüminyumun Kaynağı İçin Kaynak Değişkenleri (ER4043 - Oluk Alın)

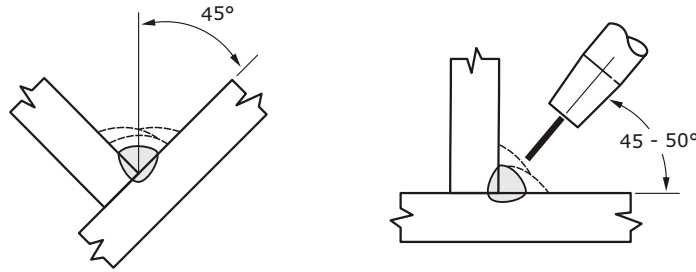
Elektrod : 4043
Bağlantı Tipi : Alın
Pozisyon : Oluk
Kutuplama : DAEP



Levha Kalınlığı (mm)	4.8	6.4	7.9	9.5	12
Paso Sayısı	1 - 2	1 - 2	1 - 3	1 - 3	1 - 3
Elektrod Çapı (mm)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
Akım (A) (DAEP)	230	250	260	270	270
Gerilim (V)	22 - 23	22 - 23	23 - 25	23 - 25	23 - 25
Kaynak Hızı (m/dak)	0.61 - 0.91	0.61	0.76	0.51 - 0.76	0.30 - 0.51
Gaz Debisi (lt/dak)	17	19	19	19	19
Gaz Memesi Boyutu (mm)	12	16	16	16	16

Tablo-25 Alüminyumun Darbeli Sprey İletimiyle Oluk ve Yatay Pozisyondaki İçköşe Kaynakları İçin Kaynak Değişkenleri (ER5356)

Elektrod : 5356
Koruyucu Gaz : Saf Argon



Levha Kalınlığı (mm)	2.4	3.2	4.8	6.4	12.7
Ayak Uzunluğu (mm)	-	-	-	4.8	4.8 - 6.4
Elektrod Çapı (mm)	1.2				
Elektrod Besleme Hızı (m/dak)	2.5	5.0	7.6	10.0	14.0
Gerilim (V) (DAEP)	17.0	17.0	18.5	24.5	25.5
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	13 - 19				
Gaz Debisi (lt/dak)	12 - 21				
Yığıma Hızı (kg/saat)	0.45	0.95	1.4	1.9	2.6

BÖLÜM 6.0

ÖZEL UYGULAMALAR

6.1

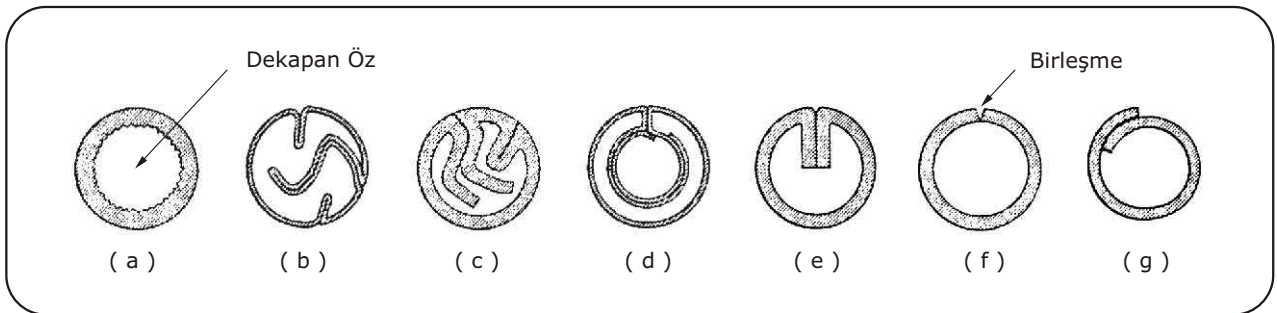
ÖZLÜ ELEKTRODLARLA KAYNAK

Örtülü elektrodların tersine, gazaltı kaynak tellerindeki alaşım elemanları sadece bu tellerin üretiminde başlangıç malzemesi olarak kullanılan ingotların imalatı sırasında ilave edilebilir. Bu durum, alüminyum ve diğer demir dışı metallerde önemli bir sorun oluşturmaz, ancak çelik elektrodlarda çok yüksek maliyet artışlarına neden olur. Çelik üretimi büyük tonajlarda imalat yapılması halinde ekonomiktir. Buna karşılık gazaltı kaynağında kullanılan tellerin üreticileri çok daha düşük miktarlarda çeliğe ihtiyaç duyarlar. Tellerin bileşim; levha, sac ve benzeri ürünler için kullanılan genel çelik bileşimine nazaran farklıdır. Çelik üreticileri bu nedenlerle tel imalatı için çok az miktarda çelik üretmek zorunda kalır. Bu da maliyetlerin artmasına neden olur. Ayrıca, gazaltı kaynağında kullanılan bazı çelik tellerin küçük çaplara çekilebilmesi zordur. Özlü elektrodlar bazı uygulamalarda bu probleme bir çözüm getirmek amacıyla kullanıma sokulmuştur. Özlü elektrodlar gerçekte içlerine dekapanın ve alaşım elemanlarının doldurulduğu ince tüplerdir (Şekil-33).

Özlü elektrodlar basit bir tüp olabilir veya enine kesitteki metal miktarını arttırmak için kenetlenmiş şeritlerden üretilir. Elektrodların dış çapları 0.9 mm ile 3.2 mm arasında değişebilir. Özdeki katkı maddeleri oksit gidericilerle alaşım elemanları sağlamaya ek olarak, yatay içköşe kaynakların profillerinin şekillenmesine yardımcı olan bir cüruf da oluşturabilir.

Özde bulunan bileşiklerin görevleri örtülü elektrodların örtüsündeki bileşiklerin görevlerine benzer olup bunlar aşağıda sıralanmıştır :

- Kaynak metalini yabancı maddelerden temizlemek ve böylece güvenilir bir dikiş elde etmek için oksit giderici olarak görev yapmak.
- Ergimiş kaynak banyosunun üzerinde yüzen ve katılaşma sırasında banyoyu atmosferin zararlı etkilerinden koruyan bir cüruf oluşturmak.



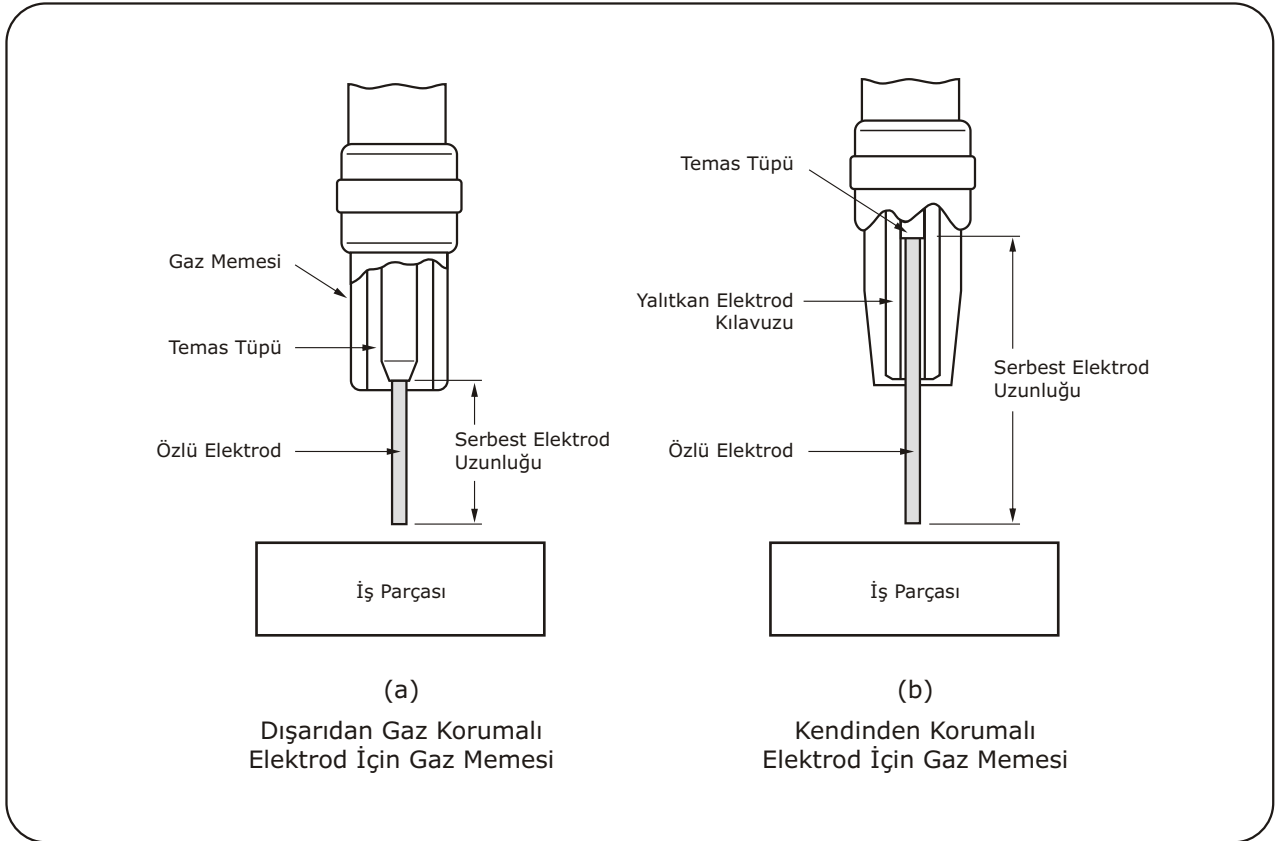
Şekil-33 Özlü Elektrodların Enine Kesitleri

- c) Yumuşak bir kaynak arkı oluşturarak ve sıçramaları en az düzeye indirerek arkı kararlı kılmak.
- d) Kaynak mukavemetini arttırmak ve istenen diğer kaynak metali özelliklerini elde etmek için alaşım elemanları katılmasına sağlamak.
- e) Koruyucu gaz oluşturmak.

Özlu elektrodlar bazı Cr-Mo çelikleri, paslanmaz çelikler ve aşınmaya dayanıklı çelikler de dahil olmak üzere bir grup çelikte kullanılmaya uygundur. Özlu elektrodla kaynakta saf CO₂ gazı geniş ölçüde kullanılır. Pozisyon kaynağında uygun bir ince çaplı elektrodla birlikte Argon + % 20 CO₂ gaz karışımının kullanılması daha iyi sonuçlar verir.

Kendinden gaz korumalı özlu elektrodlar da mevcuttur ve şantiye işlerinde özellikle yararlıdır. Elektrodların özü gaz üreten bileşikler içerir. Bu gazlar arkı koruyarak dışardan gaz koruması ihtiyacını ortadan kaldırırlar. Dışardan gaz korumalı özlu elektrod kaynağı ile kendinden gaz korumalı özlu elektrod kaynağı arasındaki temel farklılıklar temas tüpünün pozisyonunda ve serbest elektrod uzunluğunda ortaya çıkar (**Şekil-34**).

Şekil-34a'da gösterdiği gibi dışarıdan gaz korumalı kaynakta temas tüpünün ucu hemen hemen gaz memesinin ucunun hizasındadır. Kendinden korumalı özlu elektrodla kaynakta ise temas tüpü gaz memesinin çok içerisinde olup serbest elektrod uzunluğu da çok daha fazladır (**Şekil-34 b**).



Şekil-34 Dışarıdan Gaz Korumalı ve Kendinden Gaz Korumalı Özlu Elektrodlarla Kaynaktaki Farklılıklar

6.1.1 Özlü Elektrodların Sınıflandırılması

Hem kendinden korumalı hem de gaz korumalı özlü elektrodlar AWS A5.20-69'da sınıflandırılmıştır. Buna göre, örneğin E60T-7 elektrodunda "E" harfi elektrik ark kaynağı elektrodu olduğunu belirtir. "60" sayısı ise "ksi" olarak kaynak metalinin minimum çekme dayanımını verir. "T" harfi elektrodun tüp şeklinde olduğunu belirtir. Gösterimin sonundaki "7" sayısı, bir grup özelliği simgeler. Bunlar, yığılmış kaynak metalinin

kimyasal bileşimi, akım tipi, kutuplama şekli, elektrodun kendinden korumalı mı yoksa gaz korumalı mı olduğu ve bu gruba giren diğer özel bilgilerdir.

Yumuşak çeliklerin ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrodların sağlaması gereken kimyasal bileşim değerleri **Tablo-26**'da verilmiştir.

Özlü elektrodların sağlaması gereken mekanik özellikler ise **Tablo-27**'de verilmiştir.

Tablo-26 Özlü Elektrodlar İçin Gerekli Kimyasal Bileşim Değerleri (maks %) (*)

AWS Sınıfı	Mn	Si	Ni	Cr **	Mo **	V **	Al
E60T-7	1.50	0.90	0.50	0.20	0.30	0.08	1.8
E60T-8	1.50	0.90	0.50	0.20	0.30	0.08	1.0
E70T-1	1.75	0.90	0.30 **	0.20	0.30	0.08	-
E70T-2	kimyasal bileşim serbest						
E70T-3	kimyasal bileşim serbest						
E70T-4	1.50	0.90	0.50	0.20	0.30	0.08	1.8
E70T-5	1.50	0.90	0.30 **	0.20	0.30	0.08	-
E70T-6	1.50	0.90	0.80	0.20	0.30	0.08	-
E70T-G	kimyasal bileşim serbest						

*) Yığılmış kaynak metalindeki değerlerdir.

**) Bu elementler mevcut olabilir. Ancak özellikle ilave edilmemiştir.

Tablo-27 Özlü Elektrodlarla Gerçekleştirilen Kaynak Dikişlerinden Beklenen Özellikler

AWS Sınıfı	Koruyucu Gaz	Akım ve Kutuplama	Çekme Dayanımı min (Mpa)	% 0.2 Akma Dayanımı min (MPa)	Uzama (L=5d) min (%)	Charpy-V Darbe Enerjisi min (J)
E60T-7	kk	DAEN	470	380	22	serbest
E60T-8	kk	DAEP	430	350	22	-18°C'da 27
E70T-1	CO ₂	DAEP	500	420	22	-18°C'da 27
E70T-2	CO ₂	DAEP	500	serbest	serbest	serbest
E70T-3	kk	DAEP	500	serbest	serbest	serbest
E70T-4	kk	DAEP	500	420	22	serbest
E70T-5	CO ₂ ve kk	DAEP	500	420	22	-30°C'da 27
E70T-6	kk	DAEP	500	420	22	-18°C'da 27
E70T-G	belirtilmemiş	belirtilmemiş	500 (a) 500 (b)	serbest 420	serbest 22	serbest

(kk) Kendinden Korumalı

(a) Tek pasolu kaynak için

(b) Çok pasolu kaynak için

Tablo-26 ve 27'de verilen özlü elektrodların özellikleri aşağıda açıklanmıştır :

E60T-7 Elektrodlar :

Kendinden korumalı özlü elektrodlardan olup tek ve çok pasolu kaynaklarda kullanılabilirler. Hızla katılan tipte elektrodlardan oldukları için tüm pozisyonlarda kullanılmaya uygundur. Düşük sıcaklıklardaki darbe özellikleri iyidir. Kaynak dikişleri yüksek çatlama direncine sahiptir.

E60T-8 Elektrodlar :

Kendinden korumalı özlü elektrodlardan olup oluk ve yatay pozisyonlardaki tek ve çok pasolu kaynaklara uygundur. Kaynak metali -18°C sıcaklıkta yüksek çentik darbe tokluğuna ve yüksek çatlama direncine sahiptir.

E70T-1 Elektrodlar :

CO_2 gazı ile kullanılan gaz korumalı özlü elektrodlar olup, oluk pozisyonundaki kaynak dikişlerinin tek veya çok pasolu kaynakları için uygundur.

E70T-2 Elektrodlar :

CO_2 gazı ile kullanılan gaz korumalı özlü elektrodlar olup özellikle, oluk pozisyonundaki kaynakların ve yatay içköşe kaynaklarının tek pasolu kaynağı için üretilmişlerdir. Bu elektrodlar E70T-1 grubu elektrodlara nazaran daha kirli yüzeylerde kullanılabilirler.

E70T-3 Elektrodlar :

Bu elektrodlar kendinden korumalı olup yüksek kaynak hızlarında kullanılmaya uygundur. Genel olarak 6 mm'den daha ince saçların oluk ve yatay pozisyonundaki tek pasolu kaynağı için üretilmişlerdir. Daha kalın levhalarda ve çok pasolu kaynaklarda kullanmaya uygun değildir.

E70T-4 Elektrodlar :

Bu elektrodlar kendinden korumalı olup, çok yüksek serbest elektrod uzunluğunda bile kullanılabilirler. Bunun sonucunda yüksek yığıma hızı oluştururlar. Nüfuziyetleri azdır. Kaynak ağızlarındaki kaçıklıklarını büyük ölçüde tolere edebilirler. Yüksek kükürtlü çeliklerde yapılan kaynakta bile dolgu metali çok yüksek çatlama direncine sahiptir. Bu nedenle diğer elektrodların başarısız olduğu yerlerde kullanılabilirler. Yüksek yığıma hızı ve çok düşük sıçrama kaybı oluşturan bu elektrodların cürufu kolaylıkla kalkar.

E70T-5 Elektrodlar :

Bu elektrodlar kendinden korumalı veya gaz korumalı olarak kullanılabilirler. Temelde oluk alın ve oluk içköşe kaynakları için tasarlanmışlardır. Bu elektrodlar minimum yüzey hazırlığı ile tek pasolu kaynak uygulamalarında kullanılabilirler. Düşük nüfuziyete sahiptirler. İnce ve kolay kalkan bir cüruf oluştururlar. Kaynak dikişi -30°C 'da iyi bir çentik darbe tokluğuna sahiptir.

E70T-6 Elektrodlar :

E70T-5 elektrodlarına benzerdir. Ancak elektrod kendinden gaz korumalı olarak üretildiğinden kimyasal bileşimi biraz farklıdır.

E70T-G Elektrodlar :

Bu elektrodlar çok pasolu kaynaklar için tasarlanmıştır. Kimyasal bileşimleri, çentik darbe özellikleri, eğme özellikleri serbest bırakılmıştır. Ancak minimum çekme dayanımları sınırlandırılmıştır. Bu elektrodlar aynı mekanik özelliklere sahip olmakla birlikte iki farklı çalışma karakteristiğine sahip olarak üretilirler.

- Her pozisyonundaki, özellikle düşey pozisyonundaki alın ve içköşe kaynakları gerçekleştirmeye uygun, hızla katılan tipi mevcuttur.
- Yüksek kaynak hızlarında kullanılabilen iyi bir nüfuziyete sahip olan diğer bir tip mevcuttur.

Düşük Alaşımlı Özlü Elektrodlar :

Bunlar standartta özel olarak sınıflandırılmamıştır. Ancak AWS A5.5'deki şartlara veya müşteri isteklerine göre üretilmektedirler.

6.1.2**Kaynak Değişkenleri**

Çeliklerin hem kendinden korumalı özlü elektrodlarla hem de CO₂ gazı korumalı özlü elektrodlarla kaynağına ait kaynak değişkenleri **Tablo-28, 29, 30 ve 31**'de verilmiştir.

Tablo-28 Kendinden Gaz Korumalı Özlü Elektrodlarla Kaynaktaki Değişkenler

Kaynak Pozisyonu : Oluk Kaynak Kalite Seviyesi : Ticari Çeliğin Kaynak Kabiliyeti : İyi veya orta			
	Levha Kalınlığı (mm)	3.4	4.8
Pasolar	1	1	1
Elektrod Sınıfı	E70T-4	E70T-4	E70T-4
Elektrod Çapı (mm)	2.4	2.4	2.4
Akım (A) (DAEP)	350	400	400
Gerilim	29 - 30	30 - 31	30 - 31
Kaynak Hızı (m/dak)	0.53 - 0.58	0.41 - 0.46	0.32 - 0.34
Gerekli Elektrod Miktarı (kg/100 m)	24	36	48
Toplam Kaynak Zamanı (dak/m)	1.8	2.4	0.05
Altlık Kalınlığı (mm) - min.	3.4	4.8	3.0
Aralık (mm)	4.0	4.8	5.6
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	70	70	70

Tablo-29 Kendinden Gaz Korunmalı Özlü Elektrodlarla Kaynaktaki Değişkenler

Kaynak Pozisyonu : Düşey Kaynak Kalite Seviyesi : Ticari Çeliğin Kaynak Kabiliyeti : İyi veya orta Tek Taraflı Kaynak					
	Levha Kalınlığı (mm)	9.5	13		
Pasolar	1	2	1	2	3
Elektrod Sınıfı *	E70T-G		E70T-G		
Elektrod Çapı (mm)	1.6		1.6		
Akım (A) (DAEP)	170		170		
Gerilim	19 - 20		19 - 20		
Kaynak Hızı (m/dak) **	0.12 - 0.13	0.04 - 0.05	0.12 - 0.13	0.06	0.04 - 0.05
Gerekli Elektrod Miktarı (kg/100 m)	110		165		
Toplam Kaynak Zamanı (dak/m)	30		42		
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	6.5 - 19.0		6.5 - 19.0		

*) Hızlı katılaştırıcı tip E70T-G

**) Birinci pasodan sonraki tüm pasolar için ortalama hız

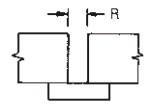
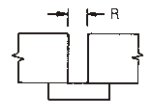
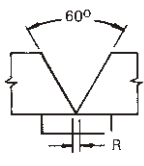
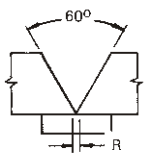
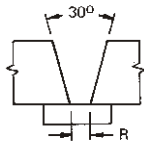
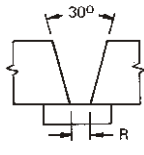
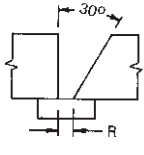
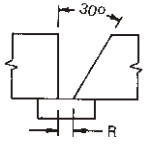
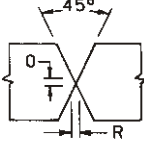
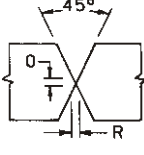
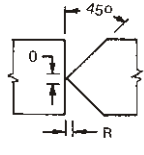
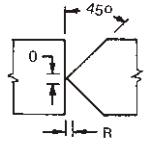
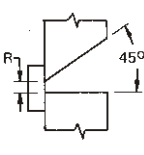
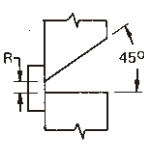
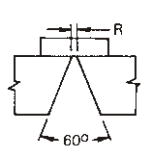
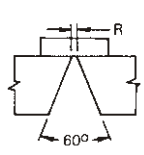
Tablo-30 Kendinden Gaz Korunmalı Özlü Elektrodlarla Kaynaktaki Değişkenler

Kaynak Pozisyonu : Düşey Kaynak Kalite Seviyesi : Ticari Çeliğin Kaynak Kabiliyeti : İyi veya orta Tek Taraflı Kaynak				
	Levha Kalınlığı (mm)	19	25.4	
Pasolar	1	2 - 4	1	2 - 6
Elektrod Sınıfı *	E 70T-G		E 70T-G	
Elektrod Çapı (mm)	1.6		1.6	
Akım (A) (DAEP)	180		180	
Gerilim	19 - 20		19 - 20	
Kaynak Hızı (m/dak) **	0.10 - 0.11	0.05*	0.10 - 0.11	0.05*
Gerekli Elektrod Miktarı (kg/100 m)	289		359	
Toplam Kaynak Zamanı (dak/m)	66		108	
Serbest Elektrod Uzunluğu (mm)	6.5 - 19.0		6.5 - 19.0	

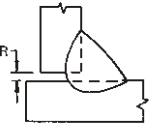
*) Hızlı katılaştırıcı tip E70T-G

**) Birinci pasodan sonraki tüm pasolar için ortalama hız

**Tablo-31 Alaşimsız ve Düşük Alaşımli Çeliklerin Dışarıdan Gaz Korumalı
Özlü Elektrodlarla Kaynağı İçin Kaynak Değişkenleri**
Elektrod : E70T-1 ; Koruyucu Gaz : CO₂

Parça Kalınlığı (mm)	Kök Aralığı (mm)	Paso Sayısı	Elektrod Çapı (mm)	Akım (DC+) (amp)	Gerilim (volt)	Ortalama Kaynak Hızı (m/dak)	Top. Kaynak Süresi (dak/m)	Bağlantı Şekli
3	1.5	1	2.0	325	28	1.00	1	
13	6.5	2	2.4	450	32	0.30	6	
13	0	2	2.4	480	30	0.36	6	
25.5	0	6	2.8	525	32	0.28	21	
16	5	3	2.8	525	32	0.36	8	
25.5	5	6	2.8	525	32	0.36	17	
16	3	3	2.8	525	32	0.41	7	
25.5	3	6	2.8	525	32	0.36	17	
25.5	0	6	2.8	525	32	0.80	7	
51	0	20	2.8	525	32	0.70	30	
25.5	0	4	2.8	500	32	0.43	9	
51	0	12	2.8	500	32	0.33	36	
13	3	6	2.0	350	28	0.51	12	
25.5	3	18	2.0	350	28	0.46	39	
9.5	0	2	1.2	180	22	0.20	10	
13	0	3	1.2	180	22	0.20	15	

Tablo-31 Alaşimsız ve Düşük Alaşimli Çeliklerin Dışarıdan Gaz Korumalı Özlü Elektrodlarla Kaynağı İçin Kaynak Değişkenleri
Elektrod : E70T-1 ; Koruyucu Gaz : CO₂ (devam)

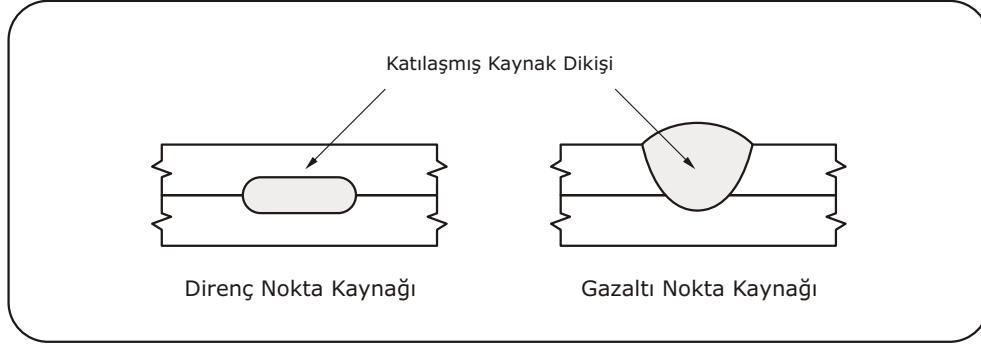
Parça Kalınlığı (mm)	Kök Aralığı (mm)	Paso Sayısı	Elektrod Çapı (mm)	Akım (DC+) (amp)	Gerilim (volt)	Ortalama Kaynak Hızı (m/dak)	Top. Kaynak Süresi (dak/m)	Bağlantı Şekli
13	2.5	4	1.2	180	22	0.21	20	* 
25.5	2.5	9	1.2	180	22	0.13	70	
25.5	1.5	6	1.2	180	22	0.21	29	* 
51	1.5	16	1.2	180	22	0.13	124	
3	0	1.2	180	21	1.00	1	* 	
13	0	2	1.2	180	21	0.13		16
5	0	1	2.0	350	28	0.92	1	* 
13	0	3	2.8	450	20	0.46	7	

*) Düşey

6.2 NOKTA KAYNAĞI

Ergiyen elektrodla gazaltı nokta kaynağı, sürekli kaynağın değişik bir şekli olup, iki sac metalin bir noktadan ergiyerek birbirlerine tamamen nüfuz etmeleri sonucu oluşur. Yöntem, 5 mm kalınlığa kadar ince sacların kaynağında, genellikle otomobil gövdelerinin imalatında kullanılır. Bindirme alanlarının temizliği dışında herhangi bir bağlantı hazırlığı yapmaya gerek yoktur. Üstteki parça, matkapla veya zımbayla delinerek ve bu delik yoluyla alttaki parçaya kaynak arkını yönlendirerek, kalın parçaların da bu yöntemle nokta kaynağını gerçekleştirmek mümkündür. Gazaltı nokta kaynağı ile direnç nokta kaynağı arasındaki fark Şekil-35'de gösterilmiştir.

Direnç nokta kaynağı, elemanların birbirlerine temas eden yüzeylerinden ergimelerine ve karışmalarına neden olan direnç ısıtması ve uygulanan basınç yoluyla gerçekleştirilir. Gazaltı nokta kaynağında ise, ark üstteki sacın alt taraftaki saca doğru nüfuz ederek alttaki sacın ergiyip üstteki saca birleşmesine neden olur. Gazaltı nokta kaynağının en büyük avantajı bağlantının tek tarafından gerçekleştirilebilmesidir. Gazaltı nokta kaynağı üç husus dışında geleneksel gazaltı kaynağından pek farklı değildir. Birinci husus bu yöntemde torcun hareket ettirilmeyip, iş parçasına bastırılmasıdır. Diğer taraftan torç iş parçasına bastırıldığında koruyucu gazın çıkışına imkan vermek için üzerinde çıkış delikleri bulunan özel gaz memeleri kullanmak gerekir. Buna ek olarak sistemde kaynak zamanını ayarlayan zaman sayaçlarının ve elektrod



Şekil-35 Gazaltı Nokta Kaynağı İle Direnç Nokta Kaynağı Arasındaki Fark

besleme hızı kontrol elemanlarının bulunması gerekir. Bu yöntemle, çeliklerin, alüminyumun, magnezyumun, paslanmaz çeliğin ve bakır esaslı alaşımların bindirme kaynağı yapılabilir. Farklı kalınlıkta sacların bu yöntemle kaynağı da mümkündür. Ancak bu durumda daha ince olan sacın üstte olması gerekir.

Gazaltı nokta kaynağı genellikle oluk pozisyonunda gerçekleştirilir. Ancak meme tasarımında değişiklik yapılarak yatay pozisyondaki bindirme içköşe, ve köşe kaynaklarına da uygulanabilir. **Tablo-32'**de, çeliklerin gazaltı nokta kaynağında ön seçim olarak kullanılacak kaynak değişkenleri verilmiştir.

6.3

DAR ARALIK KAYNAĞI

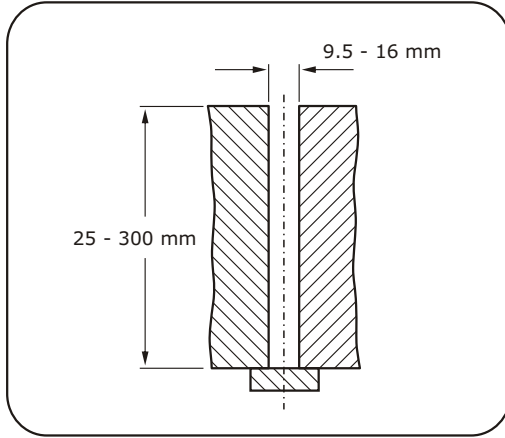
Dar aralık kaynağı, kalın kesitli malzemelere uygulanan ve kaynak birleştirmesinde dar bir ağız aralığının (yaklaşık 13 mm) mevcut olduğu düz alınlı çok pasolu bir kaynak tekniğidir. Dar aralık kaynağında kullanılan tipik bir bağlantı **Şekil-36'**da verilmiştir.

Bu teknik, ergiyen elektrodla gazaltı kaynağı da dahil olmak üzere birçok kaynak yöntemde kullanılır ve alaşımsız ve düşük alaşımlı çelikten üretilmiş kalın kesitli parçaların en az distorsiyon ile kaynağı için en

Tablo-32 Çeliklerde CO₂ Koruması Altında, Oluk Pozisyonunda 6.4 mm Çapında Dikiş Oluşturan Gazaltı Nokta Kaynağı Değişkenleri

Elektrod Çapı (mm)	Sac Kalınlığı (mm)	Kaynak Zamanı (saniye)	Akım (A)	Gerilim (V)
0.8	0.6	1	90	24
	0.8	1.2	120	27
	0.9	1.2	120	27
0.9	1.0	1	190	27
	1.5	2	190	28
	1.6	5	190	28
1.2	1.8	1.5	300	30
	2.8	3.5	300	30
	3.2	4.2	300	30
1.6	3.2	1	490	32
	4.0	1.5	490	32

etkili yöntemdir. Gazaltı kaynağı ile dar aralık kaynağı gerçekleştirilirken yan cidarlarda uygun bir ergime sağlayabilmek için elektrod ucunun uygun bir pozisyonda olması gerekir. Bunu gerçekleştirmek için çeşitli elektrod besleme yöntemleri geliştirilmiş olup, bunlara ait bazı örnekler **Şekil-37**'de verilmiştir.

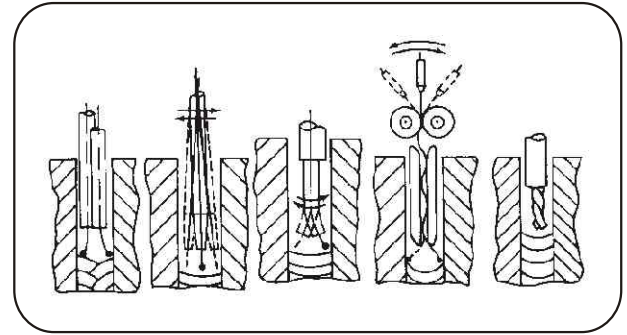


Şekil-36 Dar Aralık Kaynağında Kullanılan Bağlantı Şekli

Dar aralık kaynağında kullanılan kaynak parametreleri geleneksel gazaltı kaynağındakilere benzerdir. Bunlarla ilgili bazı değerler **Tablo-33**'de verilmiştir.

Dar aralık kaynağında kaynak kalitesi, özellikle gerilim başta olmak üzere, kaynak parametrelerindeki hafif bir değişmeden önemli ölçüde etkilenir. Aşırı ark

gerilimi (ark boyu) yan cidarlarda yanma olukları oluşturarak daha sonraki pasoda burada oksit birikintilerinin kalmasına veya ergime yetersizliğine neden olur. Yüksek gerilim ayrıca yan cidarlarda ark tırmanmasına, ark tırmanması ise temas tüpünün hasara uğramasına neden olur. Bu nedenle, darbeli güç üniteleri, bu uygulamada geniş ölçüde kullanılmaya başlanmıştır. Bu üniteler düşük ark gerilimlerinde kararlı bir spray ark sağlarlar. Geleneksel gazaltı kaynağında olduğu gibi dar aralık kaynağında da çeşitli koruyucu gazlar kullanılmıştır. Argon ve % 20-25 CO₂'den oluşan gaz karışımı iyi bir ark karakteristiği, dikiş profili ve yan cidar nüfuziyeti sağladığından geniş ölçüde kullanılmaktadır. Dar aralık kaynağında koruyucu gazın kaynak bölgesine iletilmesi zor olduğu için çeşitli meme tasarımları geliştirilmiştir.



Şekil-37 Dar Aralık Gazaltı Kaynağında Değişik Elektrod Besleme Teknikleri

Tablo-33 Dar Aralık Gazaltı Kaynağında Kaynak Değişkenleri

Kaynak Pozisyonu	Aralık Genişliği (mm)	Akım (A)	Gerilim (a) (V)	Kaynak Hızı (mm/sn)	Koruyucu Gaz
Yatay	9.5	260 - 270	25 - 26	17	Ar + CO ₂
Yatay	10 - 12	220 - 240	24 - 28 (b)	6	Ar + CO ₂
Oluk	9.5	280 - 300	29 (b)	4	Ar + CO ₂
Oluk	12.5	450	30 - 37.5	6	Ar + CO ₂
Oluk	12 - 14	450 - 550	38 - 42	8	Ar + CO ₂

(a) Doğru Akım Elektrod Pozitif Kutup (DAEP)

(b) 120 darbe/saniye'deki değerler

BÖLÜM 7.0

KAYNAKTA ORTAYA ÇIKAN PROBLEMLER ve KAYNAK HATALARI

Gazaltı kaynağında ortaya çıkan problemler ve kaynak hataları diğer kaynak yöntemlerindekiyle oldukça benzer olup aşağıda konuyla ilgili detaylı açıklamalar verilmiştir.

7.1 KAYNAKTA ORTAYA ÇIKAN PROBLEMLER

Kaynakta ortaya çıkan temel problemler şu şekilde sıralanabilir :

- Hidrojen gevrekleşmesi
- Oksijen ve azotla kirlenme
- Esas metalin kirliliği
- Yetersiz ergime

7.1.1 Hidrojen Gevrekleşmesi

Gazaltı kaynağında rutubet tutan bir dekapan veya örtünün bulunmaması nedeniyle, hidrojen gevrekliğinin oluşma olasılığı düşük olmakla birlikte, böyle bir tehlikeyi gözardı etmemek gerekir. Bunun nedeni, diğer hidrojen kaynaklarının yarattığı tehlikelerdir. Örneğin, koruyucu gazın rutubet içeriği tehlike yaratmayacak ölçüde düşük olmalıdır. Bunun gaz satıcıları tarafından çok iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, kullanmadan önce, kullanıcı tarafından da kontrol edilmesi gerekir. Elektrod veya esas metal üzerindeki yağ, gres ve üretim artıkları

kaynak metaline hidrojen geçişini sağlayan tehlikeli faktörlerdir. Elektrod üreticileri temizlik gereğinin bilincinde olup, temiz elektrod sağlamak için gerekli tedbirleri alırlar. Kirlenme kullanma sırasında oluşabilir. Bu tür olasılıkların bilincinde olan kullanıcılar, özellikle sertleşebilen çeliklerin kaynağında, ciddi sorunlardan kaçınmak için gerekli tedbirleri alırlar. Bu bilinç alüminyumun kaynağı için de gereklidir. Burada problem hidrojen gevrekleşmesi olmamakla birlikte, katılaşmış alüminyumda hidrojenin çözünme yeteneğinin düşük olması nedeniyle ortaya çıkan gözenekliliktir.

7.1.2 Oksijen ve Azotla Kirlenme

Gazaltı kaynağında oksijen ve azotla kirlenme riski hidrojen kirlenmesine nazaran daha yüksektir. Eğer koruyucu gaz tam anlamıyla soy değilse veya yeterli koruma sağlayamıyorsa, bu elementler derhal atmosferden kaynak banyosuna geçerler. Burada oluşan oksitler ve nitürler kaynak dikşinin çentik darbe tokluğunu düşürür. Ancak, koruyucu gaza, kaynak kalitesini etkilemeyecek oranda % 5 kadar oksijen ilave edilebilir.

7.1.3 Esas Metalin Kirliliği

Gazaltı kaynağı sırasında esas metalin temizliği, tozaltı ve elektrik ark kaynağına nazaran daha önemlidir.

Bunun nedeni, elektrik ark kaynağında ve tozaltı kaynağında mevcut olan ve ergimiş kaynak metalindeki oksitleri ve gaz oluşturan bileşikleri temizleyen dekapan bileşiklerinin bulunmamasıdır. Bu durum doğal olarak hem kaynak öncesi, hem de pasolar arası temizliğe özen göstermeyi gerektirir. Bu husus özellikle alüminyum için geçerlidir. Burada metal oksitlerin giderilmesi için ya kimyasal veya mekanik oksit giderme işlemleri ya da her ikisi birden kullanılır.

7.1.4

Yetersiz Ergime

Gazaltı kaynağında "kısa devre metal iletimi" ile çalışılırken ısı girdisinde azalma meydana gelir. Bu azalma esas metalde ergime yetersizliğine neden olabilir. Düşük ısı girdisiyle çalışma ince saçların kaynağında ve pozisyon kaynağında yararlıdır. Ancak,

uygun olmayan kaynak teknikleri özellikle kök bölgelerinde veya kaynak ağzı yüzeylerinde yetersiz ergimeye neden olabilir.

7.2

KAYNAK HATALARI

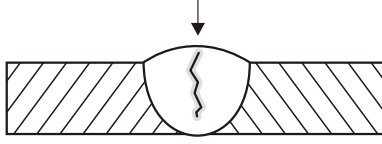
Gazaltı kaynağında oluşabilen kaynak hatalarından en çok rastlananları aşağıda açıklanmıştır (**Tablo-34, 35, 36, 37, 38, 39 ve 40**):

- Gözeneklilik
- Kaynak metali çatlakları
- Isı tesiri altındaki bölgede oluşan çatlaklar
- Ergime azlığı
- Yanma oluşu
- Yetersiz nüfuziyet
- Aşırı nüfuziyet (Kök taşması)


Tablo-34 Gözenek Oluşumu Hataları

Nedeni	Giderilmesi
<p>1 - Yetersiz gaz koruması.</p> <p>2 - Koruyucu gazın kirlenmesi.</p> <p>3 - Elektrodun kirlenmesi.</p> <p>4 - İş parçasının kirlenmesi.</p> <p>5 - Ark gerilimi çok yüksek.</p> <p>6 - Serbest elektrod uzunluğu fazla.</p>	<p>1 - Gaz akışını en uygun değere getir. Kaynak bölgesindeki havayı tamamen uzaklaştırmak için gaz akışını arttır. Türbülansın kaçınmak ve havanın kaynak bölgesinde hapsolmesini önlemek için aşırı gaz akımını azalt. Gaz hattındaki kaçaqları ortadan kaldır. Kaynak bölgesine doğru esen hava cereyanını (fanlar, açık kapılar vb.) durdur. CO₂ kaynağında ısıtıcıları kullanarak donmuş (tıkanmış) regülatörleri ısıt. Kaynak hızını azalt, meme ile iş parçası arasındaki mesafeyi azalt. Kaynağın sonunda, ergimiş metal katılaşmaya kadar torcu tutmaya devam et.</p> <p>2 - Kaynak için uygun kalitede koruyucu gaz kullan.</p> <p>3 - Sadece temiz ve kuru elektrod kullan.</p> <p>4 - Kaynak öncesi iş parçası yüzeyinden tüm gres, yağ, boya, rutubet, pas ve kiri temizle. Daha yüksek derecede deokside etme özelliğine sahip elektrod kullan.</p> <p>5 - Gerilimi azalt.</p> <p>6 - Serbest elektrod uzunluğunu azalt.</p>


Tablo-35 Kaynak Metalinde Oluşan Çatlaklar

Nedeni	Giderilmesi
 <p>1 - Yanlış bağlantı tasarımı.</p> <p>2 - Çok fazla dikiş genişliği/derinliği oranı.</p> <p>3 - Çok küçük bir kaynak dikişi. (özellikle içköşe ve kök dikişlerinde)</p> <p>4 - Isı girdisi aşırı çekme ve distorsiyona neden olacak kadar yüksek.</p> <p>5 - Sıcak çatlama.</p> <p>6 - Bağlantı elemanlarında yüksek zorlanma.</p> <p>7 - Bağlantının sonundaki kraterde hızlı soğuma.</p>	<p>1 - Zorlanma şartlarına dayanıklı şekilde yeterli dolgu metali yığmaya yani kaynak kesidini arttırmaya imkan verecek uygun kaynak ağzı hazırla.</p> <p>2 - Dikiş genişliğini arttırmak veya nüfuziyeti azaltmak için ya ark gerilimini arttır veya akımı azalt veya her ikisini de azalt.</p> <p>3 - Yığılan metal kesitini arttırmak için kaynak hızını azalt.</p> <p>4 - Ya akımı ya da gerilimi veya her ikisini birden azalt. Kaynak hızını arttır.</p> <p>5 - Yüksek manganez içeriğine sahip elektrod kullan (arktaki manganez kaybını en az düzeye indirmek için daha kısa ark boyu kullan). Ağzı açısını yeterli oranda dolgu metali ilavesi sağlamaya imkan verecek şekilde ayarla. Soğuma sırasında dikişe gelen zorlanmaları azaltmak için paso sırasını ayarla. İstenen özelliği sağlayan başka bir dolgu metali kullan.</p> <p>6 - İç gerilmelerin şiddetini azaltmak için ön tavlama yap. Zorlanma şartlarını azaltmak için kaynak sırasını ayarla.</p> <p>7 - Geri adım tekniği ile kraterleri ortadan kaldır.</p>

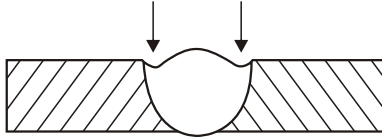
Tablo-36 Isı Tesiri Altındaki Bölgede Oluşan Çatlaklar

Nedeni	Giderilmesi
 <p>1 - Isı tesiri altındaki bölgede sertleşme.</p> <p>2 - İç gerilmeler çok yüksek.</p> <p>3 - Hidrojen gevrekleşmesi var.</p>	<p>1 - Ön tavlama yaparak soğuma hızını azalt.</p> <p>2 - Gerilme giderme ısıl işlemi kullan.</p> <p>3 - Temiz elektrod ve kuru koruyucu gaz kullan. Esas metaldeki kirleri temizle. Kaynağı soğumadan birkaç saat yüksek sıcaklıkta tut (hidrojenin yayınabilmesi için gerekli sıcaklık ve zaman esas metalin cinsine bağlı olarak değişir).</p>

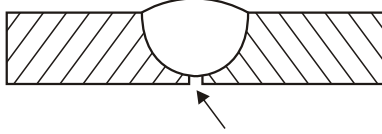
Tablo-37 Ergime Azlığı Hataları

	
Nedeni	Giderilmesi
1- Kaynak bölgesindeki yüzeyler film veya aşırı oksitlerden arınmamış. 2 - Yetersiz ısı girdisi. 3 - Çok büyük bir kaynak banyosu. 4 - Yanlış kaynak tekniği. 5 - Yanlış bağlantı tasarımı. 6 - Aşırı kaynak hızı.	1 - Kaynaktan önce tüm ağız yüzeylerindeki ve kaynak bölgesi yüzeylerindeki hadde sırasında oluşan tufal kalıntılarını temizle. 2 - Elektrod besleme hızını ve ark gerilimini yükselt, serbest elektrod uzunluğunu azalt. 3 - Daha denetlenebilir bir kaynak banyosu elde etmek için aşırı elektrod salınımından kaçın. Kaynak hızını arttır. 4 - Salınım tekniği kullanırken kaynak ağzının yüzeylerinde kısa sürelerle kal. Bağlantının köküne ulaşılabilir geçit sağla. Elektrodu kaynak banyosunun ön yüzüne doğru yönlendir. 5 - Uygun bir serbest elektrod uzunluğu ile kaynak ağzının dibine ve yan cidarlarına ulaşmaya yetecek büyüklükte ağız açısı kullan veya "J" ya da "U" kaynak ağzı kullan. 6 - Kaynak hızını azalt.

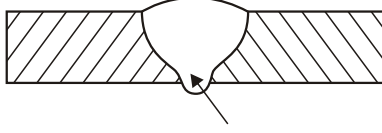
Tablo-38 Yanma Oluşu Hataları

	
Nedeni	Giderilmesi
1 - Kaynak hızı çok yüksek. 2 - Kaynak gerilimi çok yüksek. 3 - Kaynak akımı çok yüksek. 4 - Kalış zamanı yetersiz. 5 - Torç açısı hatalı.	1 - Daha düşük kaynak hızı kullan. 2 - Gerilimi azalt. 3 - Elektrod besleme hızını düşür. 4 - Ergimiş kaynak banyosunun kenarında kalış zamanını arttır. 5 - Ark kuvvetlerinin metalin yerleşmesine yardımcı olmalarını sağlayacak biçimde torç açısını değiştir.

Tablo-39 Yetersiz Nüfuziyet Sonrası Oluşan Hatalar

	
Nedeni	Giderilmesi
1 - Yanlış bağlantı hazırlığı. 2 - Yanlış kaynak tekniği. 3 - Yetersiz kaynak akımı.	1 - Bağlantı tasarımı, serbest elektrod uzunluğunda kaynak ağzının dibine ulaşabilecek bir geçit sağlamalıdır. Aşırı kök yüksekliğini azalt. Alın kaynağında kök açıklığını artırır ve arka taraftaki oyuğun derinliğini artırır. 2 - En yüksek nüfuziyete ulaşmak için elektrod açısının iş parçası yüzeyine dik olmasını sağla. 3 - Arkı kaynak banyosunun ön tarafına doğru tut. Elektrod besleme hızını (kaynak akımını) artırır.

Tablo-40 Aşırı Nüfuziyet Nedeniyle Oluşan Hatalar

	
Nedeni	Giderilmesi
1 - Aşırı ısı girdisi. 2 - Yanlış bağlantı hazırlığı.	1 - Elektrod besleme hızını (kaynak akımını) ve gerilimi azalt. Kaynak hızını artırır. 2 - Kök aralığını azalt. Kök yüzeyinin boyutlarını artırır.

7.3

AKSAKLIKLARIN GİDERİLMESİ

Herhangi bir yöntemle ilgili aksaklıkların giderilmesi için ekipmanın ve çeşitli elemanların işlevleri ve mevcut malzemelerin ve yöntemin kendisi hakkında yoğun bilgi sahibi olmak gerekir. TIG kaynağı ve elektrik ark kaynağı gibi elle gerçekleştirilen yöntemlere göre gazaltı kaynağında bu oldukça zor bir görevdir. Bunun nedeni, gazaltı kaynağındaki dona-

nımın karmaşık oluşu, çok sayıda değişken olması ve bu değişkenler arasında da ilişkiler bulunmasıdır. Bu aksaklıklar üç sınıfa ayrılabilir (**Tablo-41, 42 ve 43**):

- a) Mekanikle ilgili aksaklıklar
- b) Elektrikle ilgili aksaklıklar
- c) İşletmeyle ilgili aksaklıklar

Tablo-41 Mekanikle İlgili Aksaklıklar

Aksaklığın Tanımı	Nedeni	Giderilmesi
Düzensiz elektrod beslemesi ve geri ergime var.	Elektrod besleme makaralarının basıncı yetersiz.	Ayarla.
	Temas tüpü tıkanmış veya aşınmış.	Değiştir.
	Elektrod bükülmüş.	Düzeltil.
	Torç kablosu dolanmış.	Düzeltil.
	Kılavuz gömleği kirli veya aşınmış.	Değiştir.
	Kılavuz hortumu çok uzun.	Kısalt.
Elektrod, besleme makarasının etrafına dolanıyor.	Besleme makarasının basıncı çok yüksek. Kılavuz gömleği veya temas tüpü hatalı.	Kılavuz gömleğini veya temas tüpünü elektrod çapına göre seç kontrol et ve hizaya getir
	Elektrod veya elektrod kılavuzları besleme makaralarını hizasında değil. Torç içinde veya torç kablosu içinde bir engel var.	Engeli yok et.
Kaynak dikişi aşırı şekilde oksitlenmiş.	Kablolarda veya torçta hava / su sızıntısı	Sızıntıyı kontrol et varsa onar veya yenisiyle değiştir.
	Koruyucu gaz akışı engelleniyor.	Memeyi kontrol et gerekiyorsa temizle.
Kaynak sırasında elektrod beslemesi duruyor.	Besleme makaralarının basıncını kontrol et. Basıncı ya yüksek ya da çok düşük.	Ayarla.
	Elektrod besleme makaraları hizasında değil veya aşınmış.	Hizaya getir veya değiştir.
	Gömlek veya temas tüpü tıkanmış.	Temizle veya değiştir.
Elektrod besleniyor ancak gaz akışı yok.	Gaz silindiri boşalmış.	Değiştir ve kaynaktan önce gaz hattını gazla doldur.
	Gaz silindiri vanası kapalı.	Silindir vanasını aç.
	Gaz debisi ayarlanmamış.	Uygulama için belirtilen değeri ayarla.
	Gaz hattında veya memede bir engel var.	Kontrol et ve temizle.
Kaynak dikişinde gözenek var.	Gaz vana selenoidi çalışmıyor.	Tamir et veya değiştir.
	Gaz silindir vanası kapalı.	Vanayı aç.
	Yetersiz gaz akışı.	Gaz hattındaki ve memedeki engelleri kontrol et veya düzelt.
	Gaz besleme hattında torç dahil sızıntı var.	Özellikle bağlantılardaki koçağı kontrol et ve gider.
Besleme motoru çalışıyor ancak elektrod beslenmiyor.	Besleme makaralarının basıncı yetersiz.	Ayarla.
	Besleme makaraları yanlış seçilmiş.	Elektrod çapına ve tipine uygun makara tak.
	Elektrod makarasında aşırı fren basıncı var.	Fren basıncını azalt.
	Torçta veya kılavuz gömleğinde engel var.	Gömleği veya temas tüpünü temizle veya değiştir.
	Gömlek veya temas tüpü yanlış seçilmiş.	Kontrol et ve doğru boyuttak parçayla değiştir.
Torç aşırı ısınıyor.	Soğutma devresi tıkanmış.	Kontrol et ve düzelt.
	Pompadaki soğutucu seviyesi düşük.	Soğutucu ilave et.
	Su pompası düzgün bir şekilde çalışmıyor.	Kontrol et. Tamir et ya da değiştir.

Tablo-42 Elektrikle İlgili Aksaklıklar

Aksaklığın Tanımı	Nedeni	Giderilmesi
Ark zor tutuşturuluyor.	Yanlış kutuplama. İş parçasının kablo bağlantısı zayıf.	Kutuplamayı kontrol et gerekiyorsa değiştir. İş parçası kablo bağlantısını kuvvetlendir.
Tel beslenmesi düzensiz ve geri ergime var.	Güç devresinde düzensiz değişimler var.	Hat gerilimini kontrol et.
	Yanlış kutuplama.	Kutuplamayı kontrol et. Gerekiyorsa değiştir.
Kaynak kabloları aşırı ısınıyor.	Kablolar çok küçük veya çok uzun.	Akım taşıma kapasitelerini kontrol et gerekirse kabloyu değiştir veya kısalt.
	Kabloların bağlantıları gevşemiş.	Sıkıştır.
Tel besleme hızı kontrol dışı.	Kontrol devresinde kırılmış veya gevşemiş teller var.	Kontrol et ve sıkıştır. Gerekiyorsa tamir et.
	Kontrolördeki PC boardda sorun var.	PC bordu değiştir.
Kararsız ark oluşuyor.	Kablo bağlantıları gevşek.	Bağlantıları sıkıştır.
Elektrod beslenmiyor.	Kontrol devresindeki sigorta atmış.	Sigortayı değiştir.
	Güç ünitesindeki sigorta atmış.	Sigortayı değiştir.
	Torç tetiği hatalı veya eklemeli tellerinde kopma var.	Bağlantıları kontrol et, tetiği değiştir.
	Besleme motoru yanmış.	Kontrol et ve gerekiyorsa değiştir.
Elektrod besleniyor ancak gaz gelmiyor.	Gaz valfi selenoidinde hasar var.	Kontrol et ve gerekiyorsa tamir et.
	Gaz valfi selenodine giden teller gevşemiş veya kopmuş.	Kontrol et ve gerekiyorsa tamir et.
Elektrod besleniyor ancak ark oluşmuyor.	İş parçası elektrik bağlantısı gevşek.	Gevşekse sıkıştır. İş parçasını temizle.
	Kablo bağlantıları gevşek.	Sıkıştır
	Primer kontaktör sargısı veya kontaktör noktaları hatalı.	Tamir et veya değiştir.
	Kontaktörün kontrol bağlantıları kopmuş.	Tamir et veya değiştir.
Kaynak dikişinde gözenek oluşuyor.	Gaz selenoid valfine giden tellerde gevşeme ya da kopma var.	Tamir et veya değiştir.

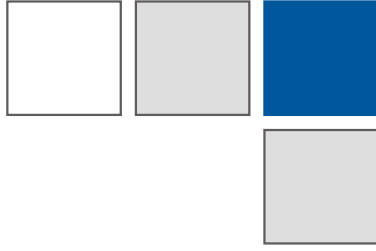
Tablo-43 İşletmeyle İlgili Aksaklıklar

Aksaklığın Tanımı	Nedeni	Giderilmesi
Karasız ark ve aşırı oksitlenmiş kaynak dikişi	Birleştirme bölgesi kirli.	Temizle.
	Elektrod açısı hatalı.	15° hareket açısı kullan.
	Meme ile iş parçası arasındaki mesafe çok fazla.	Bu mesafe 12-20 mm arasında olmalı, azalt.
	Hava akımı var.	Kaynak alanını hava akımından koru.
	Temas tüpü gaz memesinin merkezinde değil.	Merkezle.
Kaynak dikişinde gözenek var.	Esas metal kirli.	Temizle.
	Elektrod besleme hızı çok yüksek.	Azalt.
	Koruyucu gaz rutubetli.	Gaz silindirini değiştir.
	Elektrod yüzeyi kirli.	Elektrodu temiz tut. Besleyiciye girmeden önce elektrodu temizle.
Elektrod iş parçasına yapıyor.	Elektrod besleme hızı çok yüksek.	Hızı azalt.
	Ark gerilim çok düşük.	Gerilimi arttır.
	Güç ünitesindeki eğim ayarı kısa devre iletimi için çok fazla.	Eğim ayarını yeniden yap.
Aşırı sıçrama var.	Ark gerilim çok yüksek.	Gerilimi azalt.
	Güç ünitesindeki eğim ayarı kısa devre iletimi için yetersiz.	Eğim ayarını arttırır.
	Temas tüpünün ucu memenin çok içerisinde.	Ayarla veya daha uzun bir tüple değiştir.
	Gaz akış hızı çok yüksek.	Azalt.
Kaynak torçu aşırı ısınıyor.	Akım şiddeti torç için çok fazla.	Akımı azalt veya daha yüksek kapasiteli torç kullan.

KAYNAKÇA

- 1) "MIG/MAG Welding Guide for Gas Metal Arc Welding"
Lincoln Electric, (1994)
- 2) "Kaynak Teknolojisinin Esasları"
Gourd, L. M. (çev.: B. Eryürek, O. Bodur, A. Dikicioğlu)
Birsen Yayınevi, (1996)
- 3) "Welding and Brazing"
Metals Handbook, Vol. 6, 8. Edition
ASM, (1971)
- 4) "Welding Processes"
Welding Handbook, Vol. 2, 8. Edition
AWS (1992)
- 5) "The Procedure Handbook of Arc Welding"
Lincoln Electric, (1973)

Gazaltı Ark Kaynağında Sorunların Giderilmesi



Ahmet SEVÜK

İçindekiler

BÖLÜM 1.0	GAZALTI ARK KAYNAĞINDA SORUNLARIN GİDERİLMESİ	125
1.1	Gözenek	125
1.2	Kenar Yanığı (Undercut) ve Yetersiz Erime	126
1.3	Aşırı Sıçrama	126
1.4	Aşırı veya Yetersiz Nüfuziyet	126
1.5	Tel Besleme Sorunları Kuşgözü ve Geri Yanma	127
1.6	Sonuç	127
BÖLÜM 2.0	GAZALTI ARK KAYNAĞINDA EN İYİ UYGULAMALAR	128
2.1	Koruyucu Gazlar	128
2.1.1	Karbondiyoksit	128
2.1.2	Argon	128
2.1.3	Helyum	128
2.2	Gazaltı Ark Kaynağı Metal İletim Modları	131
2.2.1	Kısa Devre İletimi	131
2.2.2	Küresel (Globular) İletim	131
2.2.3	Sprey İletim	131
2.3	Olası Sorunlar ve Çözümleri	131
2.3.1	Hidrojen	131
2.3.2	Oksijen ve Azot	132
2.3.3	Temizlik	134
2.3.4	Kenar Yanığı (Undercut)	134
2.3.5	Gözenek	134
2.2.6	Yetersiz Erime	134
2.3.7	Nüfuziyet Azlığı	135
2.3.8	İş Parçasını Delme (Melt-Through)	135
2.3.9	Kaynak Metalinde Çatlak	135
2.3.10	ITAB Çatlakları	136
2.3.11	Genel Olarak Çatlaklar	136
2.3.12	Metal Olmayan Kalıntılar	136
2.3.13	Film Türü Kalıntılar	136

2.3.14 Dalgalı Kaynak Dikiş	136
2.3.15 Katmer veya Sarkma (Overlap/Sagging)	136
2.3.16 Toplu Dikiş (Humping)	137
2.3.17 Sıçrama	137
2.3.18 Kök Tarafında Erimemiş Tel	137

KAYNAKÇA	138
----------	-----

BÖLÜM 1.0**GAZALTI ARK KAYNAĞINDA
SORUNLARIN GİDERİLMESİ**

Gazaltı kaynağı çoğu kimse tarafından “dört başı mağmur” bir yöntem olarak kabul edilmesine rağmen, kaynakla ilgili sorunları yok etmek için kullanılacak sihirli bir reçete değildir. Bu makalede, gazaltı ark kaynağında sıklıkla karşılaşılan sıkıntılar ve bunları gidermek için uygulanabilecek güvenilir yöntemler ele alınmıştır.

**1.1
GÖZENEK**

Gözenek, kaynak metalinde hapsolmuş küçük bir gaz cebidir. Kaynak dikişinin belirli bir noktası veya tüm boyunda görülebilir. Bu süreksizlik veya hata kaynak dikişinin içinde veya yüzeyinde olsun herhangi bir kaynaklı birleştirmenin yapısal bütünlüğünü ciddi olarak zayıflatır.

Gözenek oluşumunun en temel nedeni yetersiz gaz korumasıdır ve aşağıdaki yöntemlerin biri veya tamamının uygulanmasıyla kolaylıkla çözülür. İlk olarak, regülatör/flowmetredeki gaz debisini kontrol ediniz (yetersiz ise arttırınız). Hortum ve torcu gaz kaçakları açısından test ediniz. Arkın çevresindeki aşırı hava akımını yok ediniz; kaynak dışarıda yapıyorsa, rüzgarı önlemek için uygun boyda perdeler kullanınız. Ayrıca, uygulamaya uygun büyüklükte gaz nozulu seçildiğinden emin olunuz (çok küçük nozul yetersiz gaz korumasına neden olur) ve nozul üzerinde ve içerisinde birikmiş sıçramaları temizleyiniz. Kaynak yaparken, nozulla iş parçası arasındaki aralığın 5-15 mm arasında kalmasına dikkat ediniz ve uygulamaya göre tel kontak memesinin nozuldan ne

kadar içeride kaldığını sürekli kontrol ediniz. İlerleme hızını düşürünüz ve kaynak dikişinin sonunda torcu hemen kaldırmayınız, tüm kaynak metali katılaşına kadar bekleyiniz (torcun çok çabuk kaldırılması, kaynak metali katılaşmadan gaz korumasının yok olmasına neden olur).

Kirli bir iş parçası da gözeneğe neden olabilir. Kaynağa başlamadan önce, iş parçası üzerindeki pas, gres, boya, yağ, kaplamalar ve pisliği temizleyiniz. Ayrıca, daha temiz kaynak metali için, deoksidasyon elementlerini (Si, Mn, Al, Ti, Zr vb.) daha çok içeren telleri kullanabilirsiniz.

Gözeneğin diğer nedenleri arasında yanlış koruyucu gaz kullanımı (daima ana malzeme ve kaynak teline uygun ve kaynak için üretilmiş koruyucu gaz kullanınız), yanlış veya çok fazla sıçrama önleyici sprey kullanımı (uygulama için doğru ve yeterli miktarda sprey kullanınız) ve telin gaz nozulundan çok ileriye çıkarak kaynak yapılması sayılabilir (tel gaz nozulundan sonra en çok 12-15 mm uzamalıdır). Ana malzemedeki safsızlıklar, çelik bileşimindeki fosfor ve kükürt gibi, gözeneğe neden olabilir. Bu durumda, (şartname izin verdiği takdirde) farklı kimyasal bileşime sahip bir ana malzeme seçilmelidir. Kirli veya nemli koruyucu gaz silindirleri hemen değiştirilmelidir.

1.2

KENAR YANIĞI (Undercut) ve YETERSİZ ERİME

Kaynak dikişinin kenarındaki ana malzeme oyuk şeklinde erir ve kaynak metali bu kısmı yeteri kadar dolduramazsa kenar yanığı ortaya çıkar. Bu süreksizlik, kaynak dikişi kenarında zayıf bir bölge yaratır ve çatlamaya neden olur. Bu sorunu gidermek için, kaynak akımını azaltınız, kaynak gerilimini düşürünüz ve torçun açısını gerektiği şekilde ayarlayınız. Esas metalin erimiş kısımlarını tamamen doldurmak için ilerleme hızını azaltınız ve/veya sağa-sola salınım yapılıyorsa dikişin kenarlarında bekleyiniz.

Kaynak dikişinin esas metali veya (çok pasolu kaynak yapılıyorsa) önceki pasoları tamamen eritemeyerek kaynamamasına yetersiz erime denmektedir. İş parçasıyla elektrod (yani torç) arasındaki açının yanlış olması nedeniyle kaynak metali arkın önüne geçerek bu durumu yaratabilir. Doğru açılar uygulamak için aşağıdaki adımları izleyiniz.

- Kaynak esnasında dikişin dibine erişebilmek için, torç açısını ayarlayınız veya aralığı genişletiniz. Kök pasoda çekilecek düz dikişin yerini buna göre belirleyiniz.
- Arkı kaynak banyosunun ön kenarına yöneltiniz ve torç açısının düşey eksenle 0°-15° arasında olmasını gerektiğini unutmayınız (Köşe kaynağında torç yatay ve düşey parçaların tam ortasında tutulmalıdır, yani yatay ve düşey eksenle arasındaki açı 45° olmalıdır).
- Salınımlı kaynak yapılıyorsa, arkı dikişin kenarlarında bir süre tutunuz.

Torç ile iş parçası arasındaki açının düzeltilmesi sorunu çözmezse, erimiş metal banyosunun arkın önüne geçip geçmediğini kontrol ediniz. İlerleme hızı veya akımın artırılması yardımcı olacaktır.

Sorunun diğer bir nedeni de kirli iş parçası olabilir. Kaynağa başlamadan önce mutlaka yüzeyi temizleyiniz. Yetersiz erimenin yetersiz ısı girdisinden kaynaklandığından şüpheleniliyorsa, kaynak gerilimini artırınız ve/veya tel besleme hızını gereken miktarda ayarlayınız.

1.3

AŞIRI SIÇRAMA

Erimiş kaynak banyosundan metalin fırlayarak dikişin etrafına saçılması ve soğuduktan sonra katı parçacıklar şeklinde iş parçasına yapışması sıçrama olarak adlandırılmaktadır. Aşırı sıçrama kötü bir dikiş görüntüsü oluşturur, işlemin verimliliğini düşürür ve çok pasolu kaynaklarda yetersiz erimeye neden olur (aşağıdaki bölüme bakınız). Aşırı yüksek tel besleme hızı ve/veya gerilim ayarı ile nozul çıkışında telin çok fazla uzaması sıçramayı çok artırır. Bu nedenle ayarların azaltılması ve nozul çıkışında yukarıda belirtilen miktarda tel bırakılması sorunu çözecektir.

Yanlış ve/veya aşınmış kontak memesinin kullanılması veya nozul ile kontak memesi arasındaki mesafenin yanlış ayarlanması da kararsız bir arka ve aşırı sıçramaya neden olabilir. İşe uygun kontak memesi, nozul ve nozul-meme arası mesafesini seçtiğinizden emin olunuz.

Gözenek gibi, aşırı sıçrama da yetersiz gaz korumasından ve/veya kirli esas malzemedan ileri gelebilir. Regülatörü ayarlayarak koruyucu gaz miktarını artırınız ve ark etrafındaki hava akımını azaltınız. Temiz ve kuru tel kullanıldığından ve esas metalden tüm gres, yağ ve diğer pisliklerin uzaklaştırıldığından emin olunuz.

1.4

AŞIRI veya YETERSİZ NÜFUZİYET

Kaynak metali esas metalin tamamını eriterek dikişin diğer tarafından sarkıtığında aşırı nüfuziyetten söz edilmektedir; çoğunlukla aşırı ısı girdisinden kay-

naklanır. Sorunu çözmek için daha düşük bir voltaj aralığı seçiniz, tel besleme hızını azaltınız ve ilerleme hızını artırınız.

Yetersiz nüfuziyet, ana metalle kaynak metali arasındaki kaynamanın olması gerekenden daha sığ gerçekleşmesidir. En olası nedeni (ve aşırı nüfuziyetin tam tersi) yetersiz ısı girdisidir. Daha yüksek tel besleme hızı ve gerilim aralığı seçmek ve/veya ilerleme hızını azaltmak makul çözüm seçenekleridir. Yetersiz nüfuziyet aynı zamanda uygun olmayan kaynak ağzı ve/veya aşırı kalın malzemeden ileri gelebilir. Kaynak ağzı tasarımı ve hazırlığı dikişin en altına erişime izin verirken, düzgün bir ark karakteristiği ve doğru iş parçası-nozul arası mesafeyi de sağlamalıdır.

1.5 TEL BESLEME SORUNLARI KUŞ GÖZÜ ve GERİ YANMA

Tel beslemenin durması ve tel besleme sisteminin görevini yapamaması arkın kesilmesine ve kaynak dikişinin zayıflamasına yol açan düzensizliklere neden olur. Tel beslemenin durmasının en bilinen şekli kuş gözü oluşumudur: telin beslenmesine engel olan karışma veya dolaşma. Kuşgözünü yok etmek için tel besleme makaralarını açarak teli torç ve spiralden çıkarınız. Kötü kısmı kesip attıktan sonra teli tekrar spiralden torca sokunuz. Spiralın tıkanması, düzgün olmayan (çok kısa, zedelenmiş veya ezilmiş) veya yanlış spiraller (elektrod çapına göre çok küçük veya çok büyük) tel besleme sorununa yol açabilir. Tıkanmayı hissettiğinizde spirali değiştiriniz, spiralın boyunu daima üreticinin talimatlarına göre kısaltınız ve tel çapına uygun spiral takıldığından emin olunuz. Ayrıca, tel besleme makaralarının uygun olduğundan emin olunuz. Şartnameler izin veriyorsa, daha büyük çaplı bir tel kullanarak ve/veya telin beslendiği mesafeyi kısaltarak (daha kısa spiral seçerek), kuşgözü riskini en aza indirebilirsiniz. Belli uygulamalarda, push-pull tipi tel besleme sistemleri kuşgözünü önlemede makul bir seçenek olabilir.

Geri yanma, tel besleme hızı çok düşükse veya torç iş parçasına çok yakın tutulursa, kontak memede kaynak oluşmasıdır. Bu sorunun çözümü tahmin edilebileceği gibi tel besleme hızı ve iş parçası torç mesafesinin artırılmasıdır (nozul iş parçasından 15 mm'den daha uzak olmamalıdır). Ayrıca, geri yanma oluştuğunda kontak memenin değiştirilmesi unutulmamalıdır. Nozulu ve kontak memeyi sökünüz (meme tele kaynamış olabilir), teli kesiniz, yeni memeyi vidalayınız, gerekiyorsa nozulu da değiştirdikten sonra, uygun meme-nozul mesafesini ayarlayarak torcu birleştiriniz.

1.6 SONUÇ

Gazaltı ark kaynağıyla kaliteli dikiş elde etmek, iyi kaynak tekniği, düzgün parametre seçimi ve kaynakçının problemi çabuk belirleyip düzeltmesiyle mümkündür. Bazı temel bilgilere sahip olduktan sonra, zaman veya kaliteden feragat etmeden, gazaltı ark kaynağıyla ilgili en sık karşılaşılan sorunlarla ilgilenip çözebilirsiniz.

BÖLÜM 2.0

GAZALTI ARK KAYNAĞINDA EN İYİ UYGULAMALAR

2.1 KORUYUCU GAZLAR

Erimiş kaynak banyosu ve dolgu metalinin kirlenmesini engellemek için kaynak bölgesindeki atmosferin bir koruyucu gazla yer değiştirmesi sağlanır. Bu kirlenme esas olarak atmosferdeki azot, oksijen ve su buharı nedeniyle olur.

Azot, çelik kaynak metalinde sünekliği ve darbe dayanımını azaltır ve çatlama neden olur. Azot ayrıca gözeneğe de yol açar.

Oksijen çelikte mevcut olan karbonla birleşerek karbon monoksidi (CO) oluşturur. Bu gaz ise, katılan kaynak banyosunda hapsolarak gözeneğe neden olur. Buna ek olarak, oksijen çelikteki diğer elementlerle birleşir ve kaynak metalinde metalik olmayan kalıntıları oluşturur.

Su buharındaki hidrojen, erimiş çelikte çözünür ve gözenek veya bazı ana metallerde dikişaltı (ITAB) çatlağı oluşturur.

Kaynak banyosunun kirlenmesiyle ilintili bu sorunlardan kaçınmak için, koruyucu olarak üç temel gaz kullanılır : argon (Ar), helyum (He) ve karbondioksit (CO₂). Bazı uygulamalar için düşük oranda hidrojen ve oksijen ilavesi yararlı olmaktadır. Bu üç gazdan argon ve helyum kimyasal olarak soydur yani asaldır.

2.1.1 Karbondioksit

Karbon dioksit kimyasal olarak aktif bir gazdır. Kaynak arkı gibi yoğun bir ısı kaynağında, karbon monoksit ve serbest oksijene ayrışarak aktif hale geçer. Serbest oksijen kaynak banyosundaki diğer elementlerle reaksiyona girer.

Karbon dioksit çoğunlukla alaşımsız karbon çeliklerin kaynağında kullanılır. Bu gazla sprey metal iletimi mümkün değildir, yani kısa devre ve globüler (küresel) modda metal iletilir. Kolay bulunabilirliği, düşük maliyeti ve kaynak performansı nedeniyle popüleritesi yüksektir. En önemli dezavantajı, sert ve sesli ark ile yüksek sıçramadır.

2.1.2 Argon

Argon, demir esaslı ve demir dışı metallerin kaynağında tek başına veya diğer gazlarla birlikte kullanılır. Argon ve diğer gazlarla karışımları tüm metal iletimi modlarında kullanılabilir. Böylece iyi kaynak kabiliyeti, mekanik özellikler ve ark kararlılığı elde edilir. Argon, dar bir ark kolunu ve yüksek akım yoğunluğu oluşturarak, küçük bir yüzey alanında enerjiyi konsantre eder.

2.1.3 Helyum

Helyum yüksek ısı girdisi gerektiren uygulamalarda kullanılır. Kaynak metalinin yayılmasını yani esas metali ıslatmasını (wetting), nüfuziyet derinliğini ve

Tablo-1 Gazaltı Ark Kaynağında Gaz Seçimi

Ana Metal	Kalınlık	İletim Modu	Önerilen Koruyucu Gaz	Avantajlar / Tanımlar
Karbon Çeliği	maks. 2 mm	Kısa Devre	Ar + CO ₂ / Ar + CO ₂ + O ₂	Yeterli nüfuziyet ve distorsiyon kontrolü.
	2 mm - 3.2 mm	Kısa Devre	Ar + % 8-25 CO ₂ Ar + He + CO ₂	Daha yüksek metal yığıma hızı. En az distorsiyon ve sıçrama. Pozisyon kaynağında iyi banyo kontrolü.
	3.2 mm'den çok	Kısa Devre	CO ₂ Ar + % 15-25 CO ₂	Yüksek kaynak hızı. İyi nüfuziyet ve banyo kontrolü. Pozisyon kaynağına uygun.
		Kısa Devre / Küresel	Ar + % 25 CO ₂	Yüksek akım ve yüksek hız kaynağına uygun.
		Kısa Devre	Ar + % 50 CO ₂	Derin nüfuziyet, düşük sıçrama, yüksek ilerleme hızı. Pozisyon kaynağı iyi.
		Kısa Devre + Küresel (Gömülü Ark)	CO ₂	Derin nüfuziyet ve en yüksek ilerleme hızı fakat delme riski yüksek. Yüksek akımla mekanize kaynak.
		Sprey	Ar + % 1-8 O ₂	İyi ark kararlılığı. O ₂ arttıkça daha akışkan kaynak banyosu oluşur. Güzel dikiş görüntüsü ve esas metalle kaynaşma. İyi banyo kontrolü.
		Sprey	Ar + % 5-20 CO ₂	Banyo akışkan. CO ₂ arttıkça esas metalin oksidasyonu ile cüruf ve tufal oluşumu artar. Kararlı ark, sağlam kaynak metali ve artan dikiş genişliği.
		Kısa Devre Sprey İletim	Ar + CO ₂ + O ₂ Ar + He + CO ₂ He + Ar + CO ₂	Kısa devre ve sprey iletim modlarına uygun. Geniş kaynak akımı aralığı ve iyi ark performansı. İyi banyo kontrolü ve düzgün dikiş biçimi.
Yüksek Akım Yoğunluğu	Ar + He + CO ₂ + O ₂ Ar + CO ₂ + O ₂	Yüksek metal yığıma hızı (3.5-7 kg/saat) sağlar. Bu değerlere erişmek için özel ekipman ve kaynak teknikleri gerekebilir.		
Düşük ve Yüksek Alaşımli Çelik	maks. 2.4 mm	Kısa Devre	Ar + % 8-20 CO ₂ He + Ar + CO ₂ Ar + CO ₂ + O ₂	İyi kaynaşma ve dikişi görünüşü. İyi mekanik özellikler.
		Kısa Devre / Küresel	Ar + % 20-50 CO ₂	Yüksek kaynak hızı. İyi nüfuziyet ve banyo kontrolü. Pozisyon kaynağına uygun. Yüksek akım ve yüksek hız kaynağına uygun.
	2.4 mm'den çok	Sprey (Yüksek Akım Yoğunluğu)	Ar + % 2 O ₂ Ar + % 5-10 CO ₂ Ar + CO ₂ + O ₂ Ar + He + CO ₂ + O ₂	Kenar yanğını (undercut) azaltır. Yığıma hızı daha yüksek ve yayılma daha iyi. Derin nüfuziyet ve iyi mekanik özellikler.
		Darbeli Sprey	Ar + % 2 O ₂ Ar + % 5 CO ₂ Ar + CO ₂ + O ₂ Ar + He + CO ₂	Hem ince hem de kalın malzemelerin pozisyon kaynağında kullanılır. Geniş bir ark karakteristiği ve yığılan metal aralığında kararlı kaynak imkanı sağlar.

Tablo-1 Gazaltı Ark Kaynağında Gaz Seçimi (devam)

Ana Metal	Kalınlık	İletim Modu	Önerilen Koruyucu Gaz	Avantajlar / Tanımlar
Paslanmaz Çelik, Nikel ve Nikel Alaşımları	maks. 2 mm	Kısa Devre	Ar + % 2-5 CO ₂	İyi nüfuziyet ve distorsiyon kontrolü. Sprey ark ile de kullanılır. Esas metale göre bazan banyo akışkanlığı azalır.
	2 mm'den çok	Kısa Devre	He + % 7.5 Ar + % 2.5 CO ₂ Ar + % 2-5 CO ₂ Ar + He + CO ₂ He + Ar + CO ₂	He ile düşük oranda CO ₂ karışımıyla, bazı alaşımlardaki tanelerarası korozyon riskini yaratan C almayı en aza indirir. He yayılmayı ve dikiş formunu iyileştirir. % 5'ten daha fazla CO ₂ bazı alaşımlarda dikkatle kullanılmalıdır. Tüm pozisyonlara uygundur.
		Sprey	Ar + % 1-2 O ₂ Ar + He + CO ₂ He + Ar + CO ₂	Kararlı ark. Akışkan fakat kontrol edilebilir banyo sağlar, iyi kaynaşma ve dikiş formu. Kalın kesitli parçalarda kenar yanığını azaltır.
Paslanmaz Çelik	2 mm'den çok	Darbeli Sprey	Ar + % 1-2 O ₂ Ar + He + CO ₂ He + Ar + CO ₂ Ar + CO ₂ + H ₂	Hem ince hem de kalın malzemelerin pozisyon kaynağında kullanılır. Geniş bir ark karakteristiği ve yığılan metal aralığında kararlı kaynak imkanı sağlar.
Bakır ve Bakır-Nikel Alaşımları	maks. 3.2 mm	Kısa Devre	He + % 10 Ar He + % 25 Ar Ar + He	Kararlı ark, iyi banyo kontrolü, iyi yayılma.
	3.2 mm'den çok	Sprey	He + Ar Ar + % 50 He Ar veya He	He karışımlarının yüksek ısı girdisi, kalın malzemelerdeki yüksek ısı iletkenliğinin üstesinden gelir. İyi yayılma ve dikiş formu. Pozisyonda kullanılabilir. 100 % He veya daha kalın malzeme kullanımı yayılma ve nüfuziyeti iyileştirir.
		Darbeli Sprey	Ar + He	Hem ince hem de kalın malzemelerin pozisyon kaynağında kullanılır. Geniş bir ark karakteristiği ve yığılan metal aralığında kararlı kaynak imkanı sağlar.
Alüminyum	maks. 12 mm	Sprey, Darbeli Sprey	Ar	En iyi metal iletimi, ark kararlılığı ve yüzey temizliği. Çok az veya sıfır sıçrama. DC + ile oksidi temizler.
	12 mm'den çok	Sprey, Darbeli Sprey	He + % 20-50 Ar Ar + He	Yüksek ısı girdisi. Akışkan banyo, düz dikiş formu ve derin nüfuziyet sağlar. Gözenek en aza iner.
Magnezyum Titanyum ve Diğer Reaktif Metaller	Tüm kalınlıklar	Sprey	Ar	Mükemmel temizleme. He oranı yüksek karışımlara göre daha kararlı ark.
		Sprey	Ar + % 20-70 He	Daha yüksek ısı girdisi ve düşük gözenek riski. Daha akışkan banyo ve iyi yayılma.

ilerleme hızını artırır. Kaynak banyosunun akışkanlığı sayesinde alüminyum, magnezyum ve bakır alaşımlarının kaynağında avantajlıdır. Çoğunlukla argonla karıştırılır.

2.2 GAZALTI ARK KAYNAĞI METAL İLETİM MODLARI

Gazaltı ark kaynağında belirgin biçimde farklı metal iletim modları vardır. Temel iletim modları, kısa devre, küresel ve spreydir. Metal iletimini belirleyen faktörler, akım, tel çapı, ark boyu, güç kaynağının özellikleri ve koruyucu gazdır.

2.2.1 Kısa Devre İletimi

Kısa devre iletiminde kaynak akımı ve gerilimi düşüktür. Ark hızla katılaşıyor, küçük bir kaynak banyosu oluşturur. Bu sayede, ince metallerin tüm pozisyonlarda kaynağı veya geniş kök aralıklarının doldurulması mümkün hale gelir. Isı girdisi genellikle düşük olduğundan, 3.2 mm'den kalın malzemelerde, yetersiz nüfuziyete neden olmamak için çok dikkat etmek gereklidir.

Kısa devre metal iletiminde, elektrod/tel iş parçasına değerek kısa devre oluşturur ve bu anda ark kesilir. Güç kaynağı, devredeki direncin değişimini algılayarak, elektrodun ucunu tekrar eritmek ve arkı yeniden tutuşturmak için akımı yeteri kadar artırır.

2.2.2 Küresel (Globular) İletim

Ark gerilimi ve akım, kısa devre ve sprey modlarına ait değerlerin arasındayken küresel iletim ortaya çıkar. Küresel iletimde damlanın çapı elektrod/tel çapının 2-4 katıdır. Küresel iletimi yaratan mekanizma belirli bir akım ve gerilim aralığında oluşur.

2.2.3 Sprey İletim

Verilen bir elektrod çapı için kaynak akımı artırıldığında, Argon oranı yüksek bir karışım gazıyla metal iletim modu küreselden spreye dönüşür. Bu değişim küreselden spreye geçiş akımı adı verilen bir değerde gerçekleşir. Sprey iletimde ark kolunu dardır.

Erimiş metal ark boyunca küçük damlacıklar halinde iletilir ve iş parçasına doğru ark eksenini yönünde ilerler. İletim hızı yüksektir.

2.3 OLASI SORUNLAR ve ÇÖZÜMLER

2.3.1 Hidrojen

Gazaltı ark kaynağında, nem alan veya tutan bir örtü veya toz (flux) kullanılmadığı için hidrojen gevrekliğinin ortaya çıkma olasılığı daha düşüktür. Buna rağmen, konunun potansiyel tehlikeleriyle ilgili farkındalık yaratmak yararlı olacaktır. Hidrojen yaratabilecek diğer kaynaklar göz önüne alınmalıdır. Koruyucu gazın nemi yeteri kadar düşük olmalıdır. Aslında bu gaz üreticisi tarafından kontrol edilmekle birlikte, test etmek yararlı olabilir. Elektrod veya esas metal üzerindeki yağ, gres veya çekme sabunlarının artıkları, kaynak metaline geçecek hidrojeni veren potansiyel kaynaklardır.

Elektrod/tel üreticileri temizliğin gereğinin bilincinde olarak temiz tel üretmek için özen gösterirler. Kir veya pislik çoğunlukla kullanıcının tesisinde, ürünün taşınması, depolanması veya kullanılması sırasında bulaşır. Bu tür olasılıkların farkında olan bilinçli kullanıcılar, özellikle sertleşme kabiliyeti yüksek olan çeliklerin kaynağında ciddi problemleri önleyebilir. Alüminyumun kaynağındaki potansiyel sorun ise gözenektir. Hidrojenin katılmış alüminyumdaki çözünürlüğü nispeten daha az olduğundan, burada sorun hidrojen gevrekliğinden çok gözenek oluşumudur. Çelik için gösterilen özen ve dikkat alüminyum için de söz konusudur.

2.3.2 Oksijen ve Azot

Gazaltı ark kaynağında oksijen ve azot hidrojenen daha büyük potansiyel tehlike kaynaklarıdır. Koruyucu gaz, tamamen soy/asal veya yeteri kadar koruyucu değilse, bu elementler atmosferden hızla emilir. Bu olayı bertaraf etmek, sağlam dikiş elde

etmek ve gözeneği engellemek için kaynak elektrodlarının kimyasal bileşimi yeterli dezoksidasyon elementleri içerir.

Buna rağmen, yüksek dayanımlı çeliklerde yapılan gazaltı ark kaynaklarının sünekliği, TIG kaynağıyla yapılanlardan daha düşüktür. Ayrıca, yapılan çalışmalarda, % 98 Ar ve % 2 O₂ veya % 80 Ar ve

Tablo-2 Çeşitli Elektrodlarda Küreselden Spreye Geçiş Akımı

Elektrod Tipi	Çap (mm)	Koruyucu Gaz	Sprey Ark Geçiş Akımı (A)
Düşük Karbonlu Çelik	0.6	% 98 Ar + % 2 O ₂	135
	0.8	% 98 Ar + % 2 O ₂	150
	0.9	% 98 Ar + % 2 O ₂	165
	1.2	% 98 Ar + % 2 O ₂	220
	1.6	% 98 Ar + % 2 O ₂	275
	0.9	% 95 Ar + % 5 O ₂	155
	1.2	% 95 Ar + % 5 O ₂	200
	1.6	% 95 Ar + % 5 O ₂	265
	0.9	% 92 Ar + % 8 CO ₂	175
	1.2	% 92 Ar + % 8 CO ₂	225
	1.6	% 92 Ar + % 8 CO ₂	290
	0.9	% 85 Ar + % 15 CO ₂	180
	1.2	% 85 Ar + % 15 CO ₂	240
	1.6	% 85 Ar + % 15 CO ₂	295
	0.9	% 80 Ar + % 20 CO ₂	195
	1.2	% 80 Ar + % 20 CO ₂	255
1.6	% 80 Ar + % 20 CO ₂	345	
Paslanmaz Çelik	0.9	% 99 Ar + % 1 O ₂	150
	1.2	% 99 Ar + % 1 O ₂	195
	1.6	% 99 Ar + % 1 O ₂	265
	0.9	Ar + He + CO ₂	160
	1.2	Ar + He + CO ₂	205
	1.6	Ar + He + CO ₂	280
	0.9	Ar + H ₂ + CO ₂	145
	1.2	Ar + H ₂ + CO ₂	185
1.6	Ar + H ₂ + CO ₂	255	
Alüminyum	0.8	Ar	95
	1.2	Ar	130
	1.6	Ar	180
Deokside Bakır	0.9	Ar	180
	1.2	Ar	210
	1.6	Ar	310
Silisyum Bronzu	0.9	Ar	165
	1.2	Ar	205
	1.6	Ar	270

Tablo-3 Gazaltı Ark Kaynağı İçin Önerilen Elektrodlar

Ana Metal	Malzeme Tipi	Elektrod Tipi	AWS Normu		
Alüminyum ve Alaşımları	1100	ER1100 ER4043	A5.10		
	3003 3004	ER1100 ER5356			
	5052 5454	ER5554 ER5356 ER5183			
	5083 5086 5456	ER5556 ER5356			
	6061 6063	ER4043 ER5356			
	Paslanmaz Çelik	201		ER308	A5.9
		301, 302 304, 308		ER308	
304L		ER308L			
310		ER310			
316		ER316			
321		ER321			
347		ER347			
Nikel ve Alaşımları	Monel	ERNiCu-7	A5.14		
	Alloy 400				
	Inconel	ERNiCrFe-5			
	Alloy 600				
Titanyum ve Alaşımları	Saf	Bir veya iki grade düşük	A5.16		
	Ti - 0.15 Pd	ERTi - 0.2 Pd			
	Ti - 5 Al - 2.5 Sn	ERTi - 5 Al - 2.5 Sn veya saf			
Karbon Çeliği	Adi Karbon Çeliği	ER70S-3	A5.18		
		ER70S-1			
		ER70S-2			
		ER70S-4			
		ER70S-5			
		ER70S-6			
Bakır ve Alaşımları	Deokside Bakır	ECu	A5.7		
	Cu-Ni Alaşımı	ECuNi			
	Mn Bronzu	ECuAl-A2			
	Al Bronzu	ECuAl-B			
	Sn Bronzu	ECuSn-A			
Magnezyum Alaşımları	AZ10A	ERAZ61A	A5.19		
		ERAZ92A			
	AZ31B AZ61A AZ80A	ERAZ61A			
		ERAZ92A			
	ZE10A	ERAZ61A			
		ERAZ92A			
	ZK21A	ERAZ61A			
		ERAZ92A			

% 20 CO₂ koruyucu gaz karışımlarıyla yapılan kaynakların özelliklerinin örtülü elektrodlarla yapılanla benzer olduğu görülmüştür.

Gaz karışımının aktif bileşen oranı arttıkça (% 50 Ar ve % 50 CO₂ veya % 100 CO₂'te olduğu gibi) kaynak dikişinin darbe dayanımı daha düşük olacaktır.

2.3.3 Temizlik

Gazaltı ark kaynağında çıplak tellerin kullanımında tellerin temizliği, örtülü elektrodla veya tozaltı ark kaynağından daha kritiktir. Örtü veya tozdaki bileşikler, erimiş kaynak metalini oksit ve gazlardan arındırırlar. Bu tür bir örtü, gazaltı ark kaynağında olmadığından, gözenek oluşma riski daha fazladır.

Gazaltı ark kaynağında en sık karşılaşılan sorunlar aşağıda listelenmiştir. Nedenlerdeki sıra numarasına, çözümlerdeki çözüm numarası karşılık gelmektedir.

2.3.4 Kenar Yanığı (Undercut)

Olası Nedenler :

1. Çok yüksek ilerleme hızı
2. Çok yüksek kaynak gerilimi
3. Aşırı yüksek kaynak akımı
4. Yetersiz bekleme
5. Torç açısı

Çözümler :

1. İlerleme hızını azaltınız.
2. Gerilimi azaltınız.
3. Tel besleme hızını azaltınız.
4. Erimiş kaynak banyosunun kenarlarında daha fazla bekleyiniz.
5. Torç açısını ayarlayarak arkın metali yönlendirmesini sağlayınız.

2.3.5 Gözenek

Olası Nedenler :

1. Yetersiz gaz koruması
2. Gazın kirli olması
3. Elektrodun kirli olması
4. İş parçasının kirli olması
5. Çok yüksek gerilim
6. Nozul-iş parçası (serbest tel boyu) mesafesi çok fazla

Çözümler :

1. Kaynak bölgesindeki havanın tümünü uzaklaştırmak için gaz debisini artırınız. Türbülans ve kaynak dikişine havanın hapsolmesini önlemek için debiyi aşırı yüksek ayarlamayınız. Nozuldaki sıçramış parçacıkları temizleyiniz. Gaz borusundaki sızıntıları engelleyiniz. Direk olarak arka gelen hava akımlarını (fanlar, açık kapılar, vb.) kesiniz. CO₂ gazı ile kaynak yaparken, regülatörün donmasını (tıkanmasını) engellemek için ısıtıcı kullanınız veya bir kaç gaz tüpünü birbirine bağlayınız. İlerleme hızını düşürünüz. Nozul-iş parçası aralığını azaltınız. Erimiş metal katılaşıncaya kadar, torcu kaynak dikişinin sonunda tutunuz.
2. Kaynak için üretilmiş gaz kullanınız.
3. Sadece temiz ve kuru tel kullanınız.
4. İş parçası yüzeyinden tüm yağ, gres, pas, boya ve pisliği uzaklaştırınız. Daha fazla dezoksidasyon elementi içeren tel kullanınız.
5. Gerilimi azaltınız.
6. Serbest tel boyunu (nozul çıkışında) kısaltınız.

2.3.6 Yetersiz Erime

Olası Nedenler :

1. Kaynak bölgesindeki yüzeyde kaplama veya aşırı oksit (özellikle alüminyum için)
2. Yetersiz ısı girdisi
3. Gereğinden büyük kaynak banyosu
4. Yanlış kaynak tekniği

5. Yanlış birleştirme şekli
6. Çok yüksek ilerleme hızı

Çözümler :

1. Kaynak/dikiş bölgesindeki tüm yüzeylerden tufal ve oksitleri temizleyiniz.
2. Tel besleme hızı ve ark gerilimini artırınız. Serbest tel boyunu azaltınız.
3. Kaynak banyosunu daha kolay kontrol edebilmek için aşırı salınımlı kaynak yapmayınız. İlerleme hızını artırınız.
4. Salınımlı kaynak yapıyorsanız, dikişin kenarlarında bir an bekleyiniz. Dikişin köküne erişimi iyileştiriniz. Teli/elektrodu kaynak banyosunun ön kenarına doğrultunuz. Köşe kaynağında torç açısını ayarlayınız.
5. Dikişin dibine erişimi sağlamak için birleştirme açısını yeteri kadar bırakınız, dikiş kenarlarını kaynatmak için serbest tel boyunu ayarlayınız veya (J) veya (U) dikişi hazırlayınız.
6. Tel besleme hızını azaltınız.

2.3.7

Nüfuziyet Azlığı

Olası Nedenler :

1. Yanlış birleştirme hazırlığı
2. Yanlış kaynak tekniği
3. Yetersiz ısı girdisi

Çözümler :

1. Dikişin dibine erişebilmek için, doğru serbest tel boyu ve ark karakteristiğini sağlamak şartıyla, birleştirme tipi ve hazırlığını gözden geçirin. Kökteki boynun aşırı yüksek olmasını engelleyiniz. Alın birleştirmelerinde kök açıklığını artırınız veya tersten açılan oyuğu derinleştiriniz.
2. Maksimum nüfuziyet elde etmek için elektrodu iş parçasına dik tutunuz. Arkı banyonun ön kenarına doğrultunuz.
3. Tel besleme hızını (akımı) artırınız. Serbest tel boyunu değiştirmeyiniz.

2.3.8

İş Parçasını Delme (Melt-Through)

Olası Nedenler :

1. Aşırı ısı girdisi
2. Yanlış kaynak ağız hazırlığı

Çözümler :

1. Tel besleme hızı (akım) ve buna uygun olarak gerilimi azaltınız. İlerleme hızını artırınız.
2. Kök genişliğini azaltınız. Kökteki boynu uzatınız.

2.3.9

Kaynak Metalinde Çatlak

Olası Nedenler :

1. Yanlış kaynak ağız tasarımı
2. Dikiş derinliği/genişliği oranının çok yüksek olması
3. Çok küçük dikiş (Özellikle köşe ve kök kaynaklarında)
4. Aşırı kendini çekme ve çarpılmaya (distorsiyona) neden olan yüksek ısı girdisi
5. Malzemenin sıcak çatlamaya yatkınlığı
6. Birleştirilecek parçaların çok rijit olması
7. Kraterin çok hızlı soğuması

Çözümler :

1. Yeterli dolgu metali yığılması için kaynak ağız boyutlarını gözden geçirin.
2. Dikişi genişletmek veya nüfuziyeti azaltmak amacıyla, gerilimi artırınız ya da akımı azaltınız.
3. Yığılan metalin kesidini büyütme için ilerleme hızını azaltınız.
4. Akımı, voltajı veya ikisini birden azaltınız. İlerleme hızını artırınız.
5. Mangani yüksek çelik tel kullanınız (ark boyunu kısa tutarak, Mn'ın arkta yanmasını engelleyiniz). Yeteri kadar dolgu metali yığabilmek için kaynak ağız açısını ayarlayınız. Soğuma sırasında kaynak dikişine etki eden kendini çekmeyi azaltmak için paso sırasını değiştiriniz. İstenen özellikleri sağlayacak bir başka tel kullanınız.

6. Kalıntı gerilmeyi azaltmak için ön tav yapınız. Soğuma sırasında kaynak dikişine etki eden kendini çekmeyi azaltmak için paso sırasını değiştiriniz.
7. Kaynak sonunda gücü yavaşça azaltan bir güç kaynağı kullanınız. Krateri düzgün biçimde doldurunuz.

2.3.10

ITAB Çatlakları

Olası Nedenler :

1. ITAB'de sertleşme
2. Çok yüksek kalıntı gerilme
3. Hidrojen gevrekliği

Çözümler :

1. Soğuma hızını yavaşlatmak için ön tav yapınız.
2. Gerilme giderme ısı işlemi uygulayınız.
3. Temiz tel kullanınız. Kuru koruyucu gaz kullanınız. İş parçasını temizleyiniz. Kaynak dikişini yüksek sıcaklıkta bir kaç saat tutunuz (hidrojenin yayınması için gereken sıcaklık ve zaman esas malzemeye göre değişir).

2.3.11

Genel Olarak Çatlaklar

Olası Nedenler :

1. Çentik veya gerilmenin yoğunlaştığı noktaların bulunması

Çözümler :

1. Kenar yanığından kaçınınız. Aşırı metal yığımayınız. Köşe kaynağında dikişin kenarlarındaki açığı artırmaya çalışınız. Kökte yeteri kadar nüfuziyeti garanti ediniz.

2.3.12

Metal Olmayan Kalıntılar

Olası Nedenler :

1. Çok pasolu, kısa devre modunda kaynak

Çözümler :

1. Pasolar arasında dikiş üzerindeki camsı cüruf kalıntılarını temizleyiniz.

2.3.13

Film Türü Kalıntılar

Olası Nedenler :

1. Yüksek ilerleme hızı

Çözümler :

1. İlerleme hızını azaltınız. Dezoksidasyon elementi fazla olan tel kullanınız. Gerilimi artırınız.

2.3.14

Dalgalı Kaynak Dikişi

Olası Nedenler :

1. Serbest tel boyunun çok olması
2. Cast'ı çok düşük sert tel

Çözümler :

1. Serbest tel boyunu azaltınız.
2. Doğrultucu merdane kullanınız.

2.3.15

Katmer veya Sarkma (Overlap/Sagging)

Olası Nedenler :

1. Sprey iletim modunda, düz pozisyonda kaynak yapmama
2. Gerekenden çok dar dikiş çekme

Çözümler :

1. Özellikle yüksek akım kullanıldığında düz pozisyonda kaynak yapınız. İlerleme hızını artırınız. Torç açısını ayarlayınız.
2. Ark gerilimini artırınız.

2.3.16

Toplu Dikiş (Humping)

Olası Nedenler :

1. Aşırı yüksek ilerleme hızı

Çözümler :

1. İlerleme hızını azaltınız.

2.3.17

Sıçrama

Olası Nedenler :

1. Telin iş parçasına değmesi/kısa devre yapması
2. CO₂ koruyucu gaz ile kaynakta aşırı sıçrama
3. Küresel iletim aralığında kaynak yapma (argon gazı ile)

Çözümler :

1. Ark gerilimini artırınız. Kaynak makinasındaki indüktansı artırarak akım artışını kısıtlayınız (kısa devre iletiminde).
2. Ark gerilimini azaltınız veya tel besleme hızını artırarak arkı “gömünüz”, böylece sıçramayı sınırlandırınız.
3. Akımı artırarak spreylendirme moduna giriniz.

2.3.18

Kök Tarafında Erimemiş Tel

Olası Nedenler :

1. Yanlış kaynak tekniği

Çözümler :

1. İlerleme hızını azaltınız. Salınım uygulayınız. Serbest tel boyunu artırınız. Tel besleme hızını azaltınız.

KAYNAKÇA

- 1) B. MORRETT, B. GIESE
"Troubleshooting the GMAW Process"
The Welding Journal (February 2006) pp. 26-27
- 2) "GMAW : Best Practices"
The Welding Journal (February 2006) pp. 46-50

TIG Kaynağında Sağlık ve Güvenlik



Can ODABAŞ

İçindekiler

BÖLÜM 1.0	GİRİŞ	143
1.1	Koruyucu Gaz Tüplerinin ve Regülatörlerin Güvenli Kullanımı	143
1.2	Koruyucu Gaz Tüplerinin Kullanımı	143
1.3	Gazlar	144
1.3.1	Ozon Gazı	144
1.2.2	Nitrojen Dioksit Gazı	144
1.4	Metal Dumanları	144
1.5	Yayılan Isı Enerjisi	144
BÖLÜM 2.0	ARK KAYNAĞINDA GÜVENLİ ÇALIŞMA	145
2.1	Elektrik Çarpması	145
2.2	Dumanlar ve Gazlar	146
2.3	Ark Radyasyonu	146
2.4	Yangın veya Patlama	147
BÖLÜM 3.0	TIG KAYNAĞI İLE İLGİLİ GENEL ÖNLEMLER	147
	KAYNAKÇA	150
	YARDIMCI KAYNAKLAR	150

TIG KAYNAĞINDA SAĞLIK ve GÜVENLİK

1 GİRİŞ

Kaynak, kesme ve benzeri uygulamalarda karşılaşılan güvenlik konuları ve uyulması gereken kurallar "ANSI Z49.1 - Kaynak ve Kesmede Güvenlik (1)" ve "ANSI Z49.2 - Kaynak ve Kesme Yöntemlerinin Kullanımında Yangın Riskinin Önlenmesi (2)" ile ilgili yayınlarda belirtilmiştir. Basınçlı gazların kullanımı ile ilgili kurallar ise "CGA P-1 - Basınçlı Gaz Birliği (3)"nin raporunda yer almaktadır. Kaynakçı ve diğer ilgili kişiler bu yazıda ele alınan güvenlik işlemleri ile ilgili konulara hakim olmalıdır. Bunların yanı sıra, TIG kaynağında dikkate alınması gerek başka olası tehlikeler de bulunmaktadır.

1.1 KORUYUCU GAZ TÜPLERİNİN ve REGÜLATÖRLERİN GÜVENLİ KULLANIMI

Basınçlı gaz tüpleri dikkatli bir biçimde kullanılmalı ve kullanımları sırasında uygun şekilde ayarlanmalıdır. Darbeler, düşme veya kaba kullanımlar tüplere, vanalara veya sigorta fişlerine zarar verebilir, sızıntı ya da kazaya neden olabilir. Yüksek basınç altında bir tüpün vanası kırılır ya da koparsa, ortaya çıkacak olan basınç tüpün atölye içerisinde hızlı bir şekilde dönerek savrulmasına neden olabilir. Eğer verilmişse, vanaların

- (1) ANSI Z49.1 - Safety in Welding and Cutting
- (2) ANSI Z49.2 - Fire Prevention in the Use of Welding and Cutting Processes
- (3) Compressed Gas Association, Inc.

bulunduğu bölgeyi koruyan kapaklar elle sıkı bir şekilde kapatılmalı ve ekipman bağlanana kadar açılmamalıdır.

1.2 KORUYUCU GAZ TÜPLERİNİN KULLANIMI

Koruyucu gaz tüplerinin servis kurulumu yapılırken ve tüpler kullanılırken aşağıda belirtilen konulara mutlaka dikkat edilmelidir :

- a) Gaz tüpü düzgün olarak yerleştirilmelidir.
- b) Regülatörü bağlamadan önce, gaz akış hattını toz ve kirden arındırmak amacıyla vana bir an için hafifçe açılmalı ve hemen kapatılmalıdır. Aksi halde tüm bu toz ve kirler regülatöre girebilir. Vanayı ayarlayacak olan operatör kesinlikle regülatör göstergelerinin önünde değil, çaprazında durmalıdır.
- c) Regülatör takıldıktan sonra, ayar vidası saat yönünün tersine doğru döndürülerek gevşetilmelidir. Daha sonra tüp vanası, yüksek basınçlı gazın regülatörün içine doğru çok hızla girmesini önleyecek şekilde yavaşça açılmalıdır.
- d) Çalışma sona erdiğinde ya da çalışmaya ara verildiğinde, eğer iş alanı terk edilecekse, gaz beslemesinin kaynağı kesinlikle açık bırakılmamalı, özellikle vanalar mutlaka kapatılmalıdır.

1.3 GAZLAR

TIG kaynağı ile ilgili olan en önemli zehirli gazlar ozon ve nitrojen dioksittir. Çalışılan ortamda, klorlanmış hidrokarbonlu temizlik maddelerinin termal veya ultraviyole yolla dağılması sonucu oluşan trikloretilen ve perkloretilen gibi zehirli (fosjen) gazlar da bulunabilir. KLORLANMIŞ HİDROKARBONLU TEMİZLİK MADDELERİ İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN YAĞDAN ARINDIRMA VEYA DİĞER TEMİZLEME İŞLEMLERİ, BU İŞLEMLER SIRASINDA ORTAYA ÇIKABİLECEK BUHARIN KAYNAK ARKINDAN ÇIKAN RADASYONA ULAŞMASINI ENGELLEYECEK ŞEKİLDE ve KAYNAK İŞLEMİNE UZAK BİR BÖLGEDE YAPILMALIDIR.

1.3.1 Ozon Gazı

TIG kaynağı sırasında ark tarafından yayılan ultraviyole ışınlar çalışılan ortamdaki atmosferde bulunan oksijenle etkileşime girerek ozon gazı oluşturur. Oluşan ozon gazının miktarı ise ultraviyole enerjisinin yoğunluğuna ve dalga uzunluğuna, ortamda bulunan nem oranına ve diğer faktörlere bağlıdır. Kaynak akımının artması, koruyucu gaz olarak argon kullanılması ve yansıtma kabiliyeti yüksek metaller üzerinde kaynak yapılması durumunda ozon yoğunluğu da artar. Eğer havalandırma veya çeşitli işlemlerle ozon seviyesi güvenli bir düzeye indirilemezse, kaynak operatörüne özel havalandırma sistemi veya diğer yollarla temiz hava takviyesi yapılmalıdır.

1.3.2 Nitrojen Dioksit Gazı

Bazı araştırma sonuçları, yüksek nitrojen dioksit yoğunluklarının sadece arkın en fazla 150 mm uzağına kadarki bölge içerisinde bulunduğunu göstermiştir.

Nitrojen dioksit yoğunluğunun standart ve doğal havalandırma yöntemleri kullanılarak kaynakçının

(4) Threshold Limit Values (TLV)

(5) American Conference of Governmental Industrial Hygienists

(6) Occupational Safety and Health Administration

nefes aldığı bölgede hızla güvenli bir düzeye indirilmesi mümkündür. Ancak bunu yaparken kaynakçının başını kaynak işlemi sırasında oluşan duman ve gazlardan uzak tutması gerekir. TIG kaynağında nitrojen dioksitin sağlık açısından önemli tehlikeler yaratacağı düşünülmemektedir.

1.4 METAL DUMANLARI

TIG kaynağı, açık arkla (open-arc) gerçekleştirilen kaynak yöntemleri içerisinde en az kaynak dumanı ortaya çıkarandır. Buna rağmen bazı metal alaşımlarındaki uçucu elementler ya da kadmium ve çinko gibi metal kaplamalar metal dumanlarının oluşmasına neden olabilir.

TIG kaynağı tarafından üretilen kaynak dumanları genel havalandırma, yerel duman emme ya da ANSI Z49.1'de tanımlanan temiz hava sağlama ve koruma ekipmanları ile kontrol altına alınabilir. Kaynakçının nefes aldığı bölgede zehirli madde düzeyinin kabul edilebilir yoğunlukların altında tutulması için gereken havalandırma metodu pek çok faktöre doğrudan bağlıdır. Kaynak edilen malzeme tipi, çalışılan yerin genişliği veya kaynakçının bulunduğu yerdeki normal hava akımının kesintiye uğraması bu faktörlerden bazılarıdır. Her uygulama bireysel bazda değerlendirilerek gerekli olan işlemler belirlenmelidir. Kaynak ile ilgili zehirli maddelere maruz kalım sınırları zaman ölçümlü ortalama "eşik sınırı değerleri (4)" ve tavan değerleri ile belirlenmiş ve "AVGIH (5)" ve "OSHA (6)" tarafından düzenlenmiştir. Bu düzenlemelere olan uygunluğun kontrolü ise kaynakçı başlığının altındaki atmosferde veya yardımcısının nefes aldığı bölgenin hemen yakınındaki alanda yapılan örnekleme yöntemi ile gerçekleştirilir.

1.5 YAYILAN ISI ENERJİSİ

TIG kaynağı tarafından üretilen ısı enerjisi toplamı örtülü elektrod ile ark kaynağındakine oranla daha yüksek olabilir. Bunun ana nedeni TIG kaynağında

daha az kaynak duman oluşması ve daha parlak bir ark ile çalışılmasıdır. Genel olarak, en yüksek ultraviole ısı enerjisi yoğunlukları argon koruyucu gazı kullanırken ve alüminyum kaynağı yaparken üretilir. TIG kaynağı için önerilen koruyucu filtreler ANSI Z49.1'de belirtilmiştir.

Akım Aralığı (Amper)	Koruyucu Filtre Plakası Aralık Numarası
0 - 50	8 - 10
50 - 150	8 - 12
150 - 500	10 - 14

Kullanılacak olan koruyucu filtre plakası kişiye ve arkın konumuna göre değişir. Kaynakçının çalışmaya koyu filtre ile başlaması ve ilerleyen aşamalarda kaynak işleminin rahatlıkla görünür hale gelmesi durumunda daha açık filtreye geçmesi önerilir. Buna rağmen, verilen akım aralıkları için önerilen en düşük filtre numarasından daha açık olan filtreler kullanılmamalıdır.

Ultraviole ışınların yansımaları kaynak başlığının altında kalan yüz ve boyun bölgesine zarar vermesini (yakmasını) önlemek için koyu renkli deriden veya yünden üretilmiş kıyafetler kullanılmalıdır. Ultraviole radyasyonunun çok yoğun olması pamuklu giysilerin çabuk bozulmasına neden olabilir.

Alüminyum ve magnezyum içeren alüminyum alaşımların kaynağı sırasında cildi korumak özellikle önemlidir. NIOSH'da çalışmalarda bulunan Dr. Bartley manganer içeren alüminyum alaşımlarının saf alüminyuma ya da manganer ve bakır içeren alüminyum alaşımlarına oranla beş kat daha fazla ultraviole radyasyon yaydığını belirtmiştir. Yüksek düzeydeki ultraviole radyasyon ve özellikle arktaki magnezyum buharı tarafından üretilen dalga uzunlukları cilt kanserine neden olabilir.

2

ARK KAYNAĞINDA GÜVENLİ ÇALIŞMA

Kendisini ve etrafındaki insanları ciddi yaralanmalardan veya ölüm riskinden koruyabilmesi için, kaynakçının ark kaynağının neden olabileceği tüm tehlikeler hakkında bilgi sahibi olması ve bu tehlikeleri önlemek için gerekli olan işlemleri yerine getirerek gerekli önlemleri alması şarttır. Karşılaşılabilecek tehlikeler dört kategoride gruplandırılabilir.

- 1) Elektrik Çarpması
- 2) Dumanlar ve Gazlar
- 3) Ark Radyasyonu
- 4) Yangın ve Patlama

Kaynak uygulamasına başlamadan önce, tüm donanım düzgün bir şekilde çalışıyor durumda olmalıdır. Herhangi bir onarım veya bağlantı işlemi sadece yetkili ve konusunda uzman kişiler tarafından yapılmalıdır.

2.1

ELEKTRİK ÇARPMASI

Elektrik çarpması ölüme neden olabilir.

Kaynakçının tehlike oluşturabilecek elektrik şoklarından kendini koruması gerekir.

- a) Elektrod ve üzerinde çalışılan parça (veya topraklama) devreleri, kaynak makinası açık iken elektriksel olarak "**sıcak**"tır. Devrelerin "**sıcak**" parçaları ile çıplak cilt veya ıslak kıyafetlerin temas etmesine asla izin verilmemeli, elleri korumak için kuru ve deliksiz eldivenler giyilmelidir.
- b) Kaynakçının her zaman kuru yalıtım kullanarak üzerinde çalıştığı parça ve zeminden kendisini yalıtması gerekir. Nemli yerler, metal zeminler, ızgaralar veya iskelelerde çalışırken ve oturarak ya da yatarak kaynak yaparken, yalıtımın kuru ve üzerinde çalışılan parça veya zeminle olan tüm fiziksel temas alanını kaplayacak kadar büyük olduğundan emin olunmalıdır.

- c) Şase kablosu kaynak yapılan metalle iyi bir elektriksel bağlantı sağlamalıdır. Bağlantının, kaynak yapılan alana mümkün olduğu kadar yakın olması gerekir.
- d) Kaynak yapılacak parçanın veya metalin topraklama bağlantısı dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.
- e) Kaynak torcu, şase pensesi, kaynak kablosu ve kaynak makinası sağlam ve güvenli bir şekilde çalışır durumda tutulmalıdır.
- f) Torcun ucu soğutmak için asla suya daldırılmamalıdır. Bu durum seramik gaz çanağının çatlamasına ve torcun kirlenmesine neden olabilir.
- g) İki ayrı kaynak makinasına bağlı torçların elektrik bakımından “sıcak” olarak adlandırılan parçalarına asla aynı zamanda temas edilmemelidir, çünkü iki makina arasındaki voltaj değeri, her iki kaynak makinasının açık devre voltajlarının toplamı kadar olabilir.
- h) TIG torcunda kullanılan elektrodlar takılırken ya da sökülürken, kaynak makinasının kapalı olduğundan emin olunmalıdır.
- i) Kaynakçı zemin seviyesinden yukarıda çalışırken, şiddetli darbeye neden olabilecek düşmelere karşı kendini korumalıdır.
- j) Islak eldivenlerle TIG kaynağı yapılmamalıdır. Bu durum kaynak sırasında oluşan yüksek frekans nedeniyle çarpılmalara neden olabilirler.

2.2

DUMANLAR ve GAZLAR

Dumanlar ve gazlar sağlık için zararlı olabilir.

- a) Kaynak işlemi sırasında sağlığa zararlı dumanlar ve gazlar oluşabilir. Kaynakçı bu dumanları ve gazları solumaktan kaçınmalıdır. Kaynak yaparken, baş dumanın dışında tutulmalı, duman ve gazları

solunma alanından uzaklaştırmak için arkta yeterli havalandırma sağlanmalı ve/veya duman emme makineleri kullanılmalıdır. Kaynak sırasında özel veya ek havalandırma gerektiren kaynak ürünleri kullanılırken (örneğin belli oranlarda manganez, krom vb. elementler içeren) veya galvaniz, kurşun veya kadmium kaplı çelikler ve zehirli dumanlar üreten diğer metaller üzerinde kaynak yaparken yerel duman emme sistemi kullanılması veya kaynakçıya daha yüksek güvenlik sağlayan bir havalandırma sistemi ile temiz hava beslemesi yapılması gerekmektedir.

- b) Yağdan arındırma, temizleme veya püskürtme işlemlerinden kaynaklanan klorlu hidrokarbon buharlarının yakınındaki yerlerde kaynak yapılmamalıdır. Arkın ısı ve radyasyonu solvent buharlarıyla reaksiyona girerek yüksek derecede zehirli bir gaz olan fosjen ve başka tahriş edici ürünler ortaya çıkarabilir.
- c) Ark kaynağında kullanılan koruyucu gazlar, solunan havanın yerini alarak yaralanmaya veya boğularak ölüme neden olabilir. Özellikle kapalı alanlarda, havanın temiz ve güvenli olabilmesi için sürekli olarak uygun havalandırma sağlanmalıdır.
- d) Ürün güvenlik bilgi formu da dahil olmak üzere ilgili ekipman ve bu ekipmanda kullanılacak olan sarf malzemeleri hakkındaki imalatçı firma tarafından hazırlanan talimatlar dikkatle okunup iyi anlanmalıdır. İşverenin koyduğu güvenlik kurallarına mutlaka uyulmalıdır.

2.3

ARK RADYASYONU

Ark radyasyonu gözleri ve cildi yakabilir.

- a) Kaynak yaparken veya kaynak uygulamasını seyrederken gözleri kıvılcımlardan ve ark radyasyonundan korumak için uygun filtreler ve kaynak maskeleri kullanılmalıdır. Kaynak maskesi ve filtreli camlar, ANSI Z87.1 standartlarına uygun

olmalıdır. Kaynak yaparken kaynak başlığının altına güvenlik gözlükleri takılmalıdır.

- b) Kaynakçının ve yardımcılarının cildini radyasyona karşı korumak için aleve dayanıklı ve sağlam malzemeden üretilmiş uygun koyulukta renkli giysiler giyilmelidir.
- c) Kaynakçının yakınında bulunan diğer personel uygun alev almaz perdeler kullanılarak korunmalı ve bu kişiler ark ışığına bakmamaları ve ark radyasyonundan, sıcak çapak kıvılcımlarından ve metallere kendilerini korumaları konusunda uyarılmalıdır.
- d) Kıyafetler ve etraftaki bölme ve ekipmanlar ark radyasyonu yansımaları en aza indirebilmek için düşük yansımaları bir zemin üzerinde bulunmalıdır. Yüksek oranda çinko oksit veya titanyum dioksit pigmentleri içeren boyalar ultraviyole radyasyonu için düşük yansımaları sağlar.

2.4

YANGIN veya PATLAMA

Yangın veya patlama ölüme veya eşyaların zarar görmesine neden olabilir.

- a) Yangın tehlikesi yaratabilecek maddeler çalışma alanından uzak tutulmalı, eğer bu mümkün değilse, kaynak kıvılcımlarının yangın çıkarmasını önlemek için bunların üstleri örtülmelidir. Kaynak kıvılcımlarının ve kaynaktan gelen sıcak maddelerin küçük çatlaklardan ve açıklıklardan kolayca komşu alanlara geçebileceği unutulmamalıdır. Kaynakçının yakınında her an kullanıma hazır bir yangın söndürme tüpü bulundurması gerekir.
- b) Atölyede basınçlı gaz kullanılacağı zaman, tehlike yaratacak durumları önlemek için özel önlemler alınmalıdır. Kullanılan ekipman için kullanma talimatlarına ve ANSI standardı Z49.1'e (Kaynak ve Kesmede Güvenlik) başvurulmalıdır.

- c) Kaynak yapılmadığı zaman, elektrod devresine ait hiçbir parçanın, üzerinde çalışılan işparçasına ya da zemine temas etmediğinden emin olunmalıdır. Dikkatsizce yapılan bir temas aşırı ısınmaya neden olarak yangın tehlikesi yaratabilir.
- d) Depolama tankları, kazanlar veya kaplar ısıtma, kesme ya da kaynak işlemlerinden önce, tamamen boşaltılmalı, içerdikleri maddelerden dolayı yanıcı veya zehirli buharlar üretmeleri tamamen önlenmelidir. Depolama tankları, kazanlar veya kaplar temizlenmiş olsalar bile patlamaya neden olabilirler. Bilgi için, AWS (7) Amerikan Kaynak Birliği'nin "Daha Önce Tehlikeli Maddeler İçermiş Olan Kapların ve Boruların Kaynağa ve Kesmeye Hazırlanması Sırasında Önerilen Güvenli Uygulamalar (8)" AWS F4.1-80 numaralı yayınına başvurulmalıdır.
- e) Kesme veya kaynak işlemine başlamadan önce içi boş döküm parçaların veya kapların tahliye delikleri açılarak havalandırılmalıdır. Bu gibi malzemelerin patlamaya neden olabileceği unutulmamalıdır.

3

TIG KAYNAĞI İLE İLGİLİ GENEL ÖNLEMLER

ÖNEMLİ : Eğer toryum alaşımlı elektrodlar kullanılacaksa, " **Komisyon - 8** " tarafından yayınlanan "Toryum Alaşımlı Tungsten Elektrod Kullanımında Sağlık Durumu (9)" konulu raporda yer alan 5 temel maddeye mutlaka uyulmalıdır.

(7) AWS : American Welding Society

(8) Recommended Safe Practices for the Preparation for Welding and Cutting of Containers and Piping that have held Hazardous Substances

(9) Statement of Commission VIII on Health Aspects in the Use of Thoriated Tungsten Electrodes

" Toryum alaşımlı tungsten elektrodlar % 4.2'ye kadar toryum oksitleri içerirler (ISO 6848-WT 40). Toryum radyoaktif bir element olup iç ve dış ışınımlar nedeniyle tehlike yaratabilir. Eğer toryum alaşımlı elektrodların yerine alternatif oluşturabilecek başka malzemelerin kullanılması mümkünse, uygulamada bu alternatif ürünler tercih edilmelidir "

" Toryum alaşımlı elektrodlar üzerinde yapılan çeşitli çalışmalar (radyasyon tipine bağlı olarak) depolama, kaynak işlemi ve kalıntıların temizlenmesi sırasında oluşan dış radyasyon risklerinin normal kullanım şartları altında ihmal edilebileceğini göstermiştir "

" Bunun yanında elektrod ucunun taşlanması sırasında iç ışınım riski ile birlikte radyoaktif metal tozları oluşur. Bu nedenle, bölgesel duman emme sistemlerinin kullanılmasında ve gerek duyulması halinde bu sistemlerin solunum koruma ekipmanlarıyla takviye edilerek çalışma alanındaki metal tozu içeriğinin kontrol altında tutulmasında yarar vardır. Kaynak sırasında elektrodun çok yavaş bir hızla ergimesi durumlarda ise iç ışınımların oluşturabileceği riskler gözardı edilebilir "

" Taşlama ünitesinde biriken metal tozlarının temizlenmesi sırasında her türlü ışınma riskine engel olacak önlemler alınmalıdır "

" Yukarıda belirtilen açıklamalarda her türlü faktörün gözönüne bulundurulmasıyla oluşturulan raporlardaki tüm görüşler dikkate alınmıştır. " **Komisyon - 8** " bu konuları sürekli olarak kontrol altında tutmaya ve tekrar tekrar araştırmaya devam edecektir "

a) Kaynakçı kendisini; deri eldiven, kalın gömlek, dar paçalı pantolon, yüksek ayakkabı ve saçına geçirebileceği bir başlık gibi yağsız giysiler giyerek korumalı, kaynak işleminin gerçekleştirildiği bölgede mutlaka koruyucu gözlükler takmalıdır. Taşlayarak cüruf temizleme işlemlerinin gerçekleştirildiği ortamlarda ise yan koruyucuları olan gözlükler takılmalıdır.

b) Ekipmanlara ait bütün güvenlik koruyucular, kapaklar ve diğer aygıtlar bulunması gereken yerlere konulmalı ve çalışır durumda olmalıdır. Ekipman çalıştırılırken, kullanılırken veya onarılrken eller, saçlar, giysiler ve diğer iş aletleri V-kayışlarından, dişlilerden, fanlardan ve diğer tüm hareketli parçalardan uzak tutulmalıdır.

c) Şase kablosunun, üzerinde çalışılan parçaya mümkün olduğu kadar yakın bağlandığından emin olunmalıdır. Şase kablolarının bina iskeletine veya kaynak yapılan bölgeden uzakta başka yerlere bağlı olması, kaynak akımının; kaldırma zincirleri, vinç kabloları veya başka alternatif devreler içinden geçme olasılığını artırır. Bu durum yangın tehlikesi yaratabilir ya da kaldırma zincirlerinin veya kabloların aşırı ısınarak kopmasına neden olabilir.

d) Sadece yapılan işleme uygun koruyucu gaz içeren basınçlı gaz tüpleri ve seçilen gaz ve basınca göre tasarlanmış gaz regülatörleri kullanılmalıdır. Tüm hortumlar, bağlantı parçaları ve benzeri aksamlar gerçekleştirilen işleme uygun olmalı ve iyi durumda tutulmalıdır.

e) Gaz tüpleri her zaman dik durumda olmalı ve taşıyıcı bir arabaya veya sabit bir desteğe zincirle iyice bağlanarak yerleştirilmelidir.

f) Gaz tüpleri darbe alabilecekleri veya fiziksel hasara uğrayabilecekleri alanlardan uzak tutulmalıdır. Tüpler ayrıca kaynak arkından, kesme işlemlerinden ya da diğer ısı, kıvılcım veya alev kaynaklarından uzak, güvenli bir mesafede bulunmalıdır.

g) Elektrod, elektrod pensesi veya elektriksel açıdan "sıcak" diğer parçaların tüpe temas etmesine asla izin verilmemelidir.

h) Tüp vanasını açarken kaynakçı başını ve yüzünü vana çıkışından uzak tutmalıdır.

- i) Tüp kullanımında iken ya da kullanım amacıyla bağlandığı durumlar dışında, vana koruyucu başlıkları mutlaka yerlerine takılmış ve elle iyice sıkıştırılmış olmalıdır.
- j) Basınçlı gaz tüpleri ve yardımcı ekipmanlarla ilgili talimatlara ve "Tüplerdeki Basınçlı Gazın Güvenli Kullanımı İçin Önlemler (10)" (CGA P-1) konulu yayında belirtilen uyarılara uyulmalıdır.
- k) Ekipman üzerinde çalışılmaya başlamadan önce sigorta kutusundaki bağlantı kesme düğmesi kullanılarak giriş gücü kapatılmalıdır.
- l) Elektrik bağlantıları yapılırken "Ulusal Elektrik Yönetmelikleri"ne, bütün yerel kanun ve yönetmeliklere ve imalatçı firmanın talimatlarına uyulmalıdır.
- m) Ekipmanın topraklama bağlantısı yapılırken "Ulusal Elektrik Yönetmelikleri"ne ve imalatçı firmanın talimatlarına uyulmalıdır.

(10) Precautions for Safe Handling of Compressed Gasses in Cylinders

KAYNAKÇA

Gas Tungsten Arc Welding
A Guidebook to Advance Arc Welding Knowledge Worldwide
Second Edition (2004)
Michael S. Flagg, Editor
The Lincoln Electric Company
James F. Lincoln Arc Welding Foundation
P.O. Box 17188
Cleveland, Ohio 44117-1199
www.jlff.org

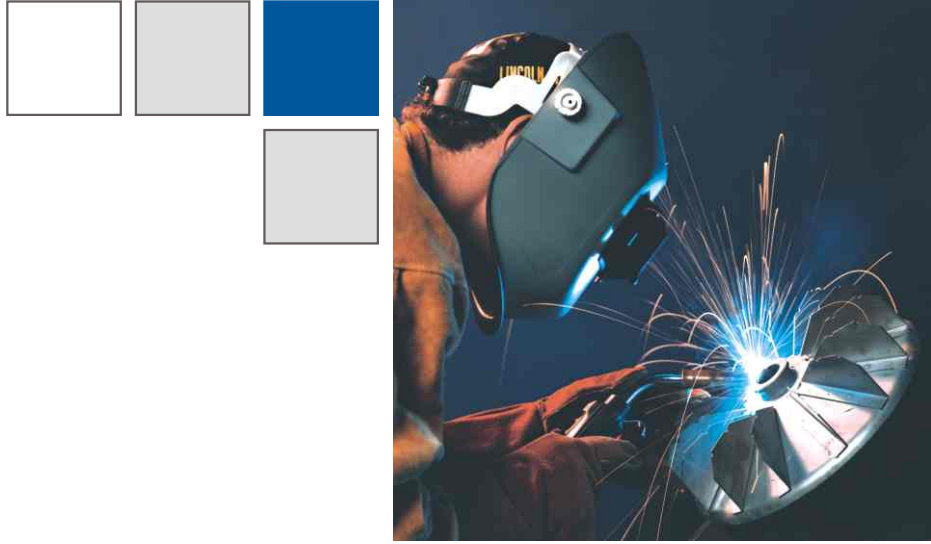
YARDIMCI KAYNAKLAR

ANSI Standard Z49.1
Safety in Welding and Cutting (Kaynak ve Kesmede Güvenlik)
American Welding Society (Amerikan Kaynak Birliği)
P.O. box 351040 Miami, Florida 33135

ANSI Standard Z49.2
American National Standards Institute (Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü)
1430 Broadway, New York, NY 10018

CGAP-1 Standard
Compressed Gas Association, Inc. (Basınçlı Gaz Birliği)
1235 Jefferson Davis Highway, Suite 501, Arlington, VA 22202

Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı



Can ODABAŞ

İçindekiler

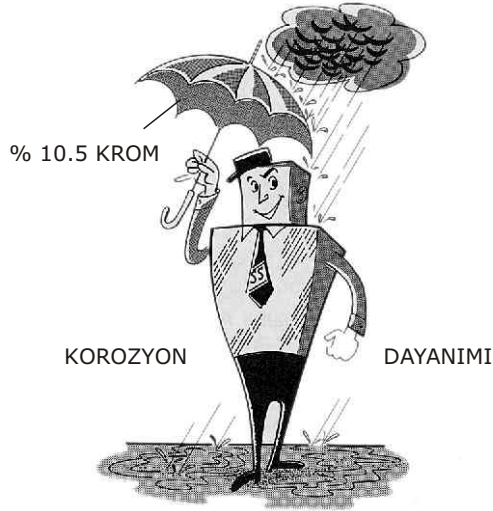
BÖLÜM 1.0	PASLANMAZ ÇELİK TÜRLERİ	155
	1.1 Ferrit Oluşturan Elementler	156
	1.2 Östenit Oluşturan Elementler	156
	1.3 Nötr Elementler	156
BÖLÜM 2.0	PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ	157
	2.1 Ferritik Paslanmaz Çelikler	157
	2.2 Martenzitik Paslanmaz Çelikler	157
	2.3 Östenitik Paslanmaz Çelikler	159
	2.3.1 Krom Karbür Oluşumu	161
	2.3.2 Sıcak Çatlak Oluşumu	162
	2.3.3 Sigma Fazı Oluşumu	164
	2.4 Çökme Yoluyla Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler	167
	2.5 Çift Fazlı (Dupleks) Paslanmaz Çelikler	168
BÖLÜM 3.0	FİZİKSEL ÖZELLİKLER	169
BÖLÜM 4.0	MEKANİK ÖZELLİKLER	171
BÖLÜM 5.0	PASLANMAZ ÇELİK TÜRÜNÜN SEÇİMİ	175
BÖLÜM 6.0	PASLANMAZ ÇELİKLER İÇİN KAYNAK AĞIZI TASARIMLARI	179
BÖLÜM 7.0	DOLGU METALİNİN SEÇİMİ	181
BÖLÜM 8.0	KAYNAK YÖNTEMİNİN SEÇİMİ	187
	8.1 Örtülü Elektrod Ark Kaynağı	187
	8.2 Gazaltı (MIG) Kaynağı	188
	8.3 Özlü Tel Ark Kaynağı	189
	8.4 TIG Kaynağı	189
	8.5 Tozaltı Kaynağı	189

BÖLÜM 9.0	PASLANMAZ ÇELİKLER İÇİN KAYNAK YÖNTEMLERİ	191
9.1	Örtülü Elektrod ile Ark Kaynağı Yöntemi	191
9.2	Gazaltı (MIG) Kaynağı Yöntemi	197
9.3	TIG Kaynağı Yöntemi	201
9.4	Tozaltı Kaynağı Yöntemi	204
	EKLER	209
EK-1	Çevrim Tabloları	211
EK-2	Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Paslanmaz Çeliklerin Ark Kaynağında Kullanılan Örtülü Kaynak Elektrodlarının EN 1600 Normuna Göre Sınıflandırılması	212
EK-3	Östenitik Paslanmaz Çelikler (AISI)	213
EK-4	Ferritik Paslanmaz Çelikler (AISI)	214
EK-5	Martenzitik Paslanmaz Çelikler (AISI)	215
EK-6	Schaeffler ve Delong Diyagramları	216
EK-7	Ferritik Dokunun Hesaplama Yoluyla Belirlenmesi	218
EK-8	Farklı Metallerin Kaynağında Schaeffler Diyagramı Kullanımı	222
	KAYNAKTA SAĞLIK ve GÜVENLİK	228
	AYRINTILI BİLGİ ALINABİLECEK YARDIMCI KAYNAKLAR	229
	KAYNAKÇA	230

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.

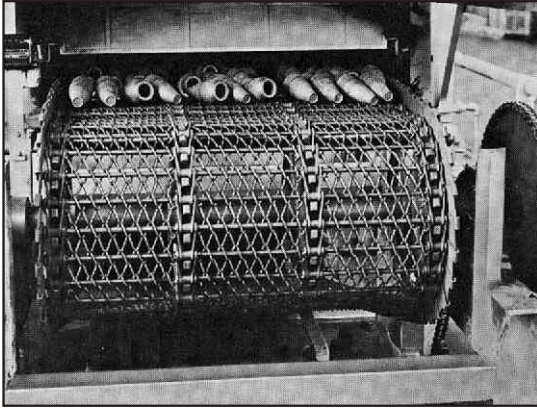
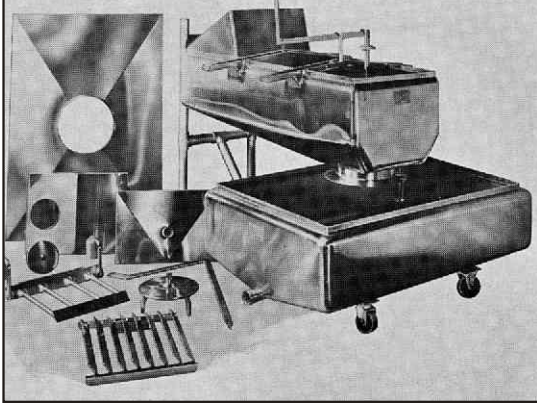


Şekil-1

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 kullanılanıdır. 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 pasolararası 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 ısıtılmalı işlem uygulanmalıdır.

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

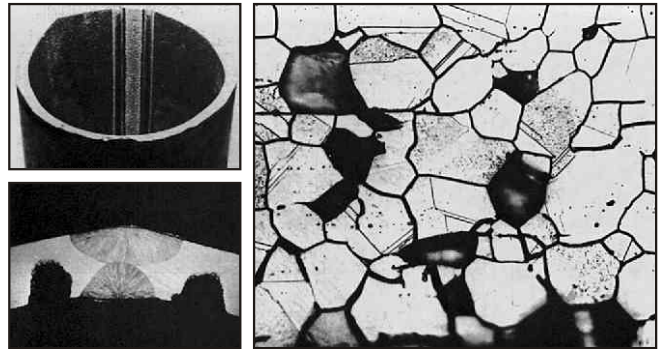
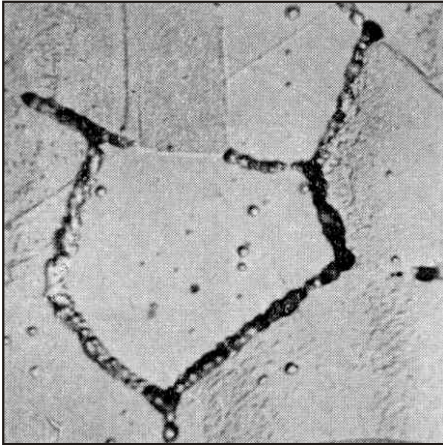
**) Genel olarak kaynak edilemeyen ürünler olarak kabul edilirler

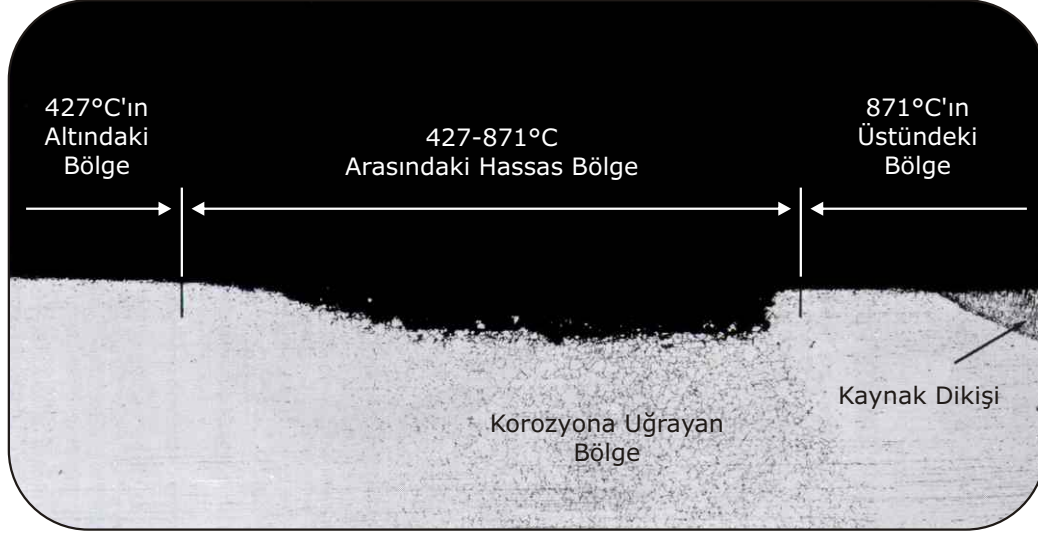
(ASM Metals Handbook, 9. Baskı, Cilt 3)

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-

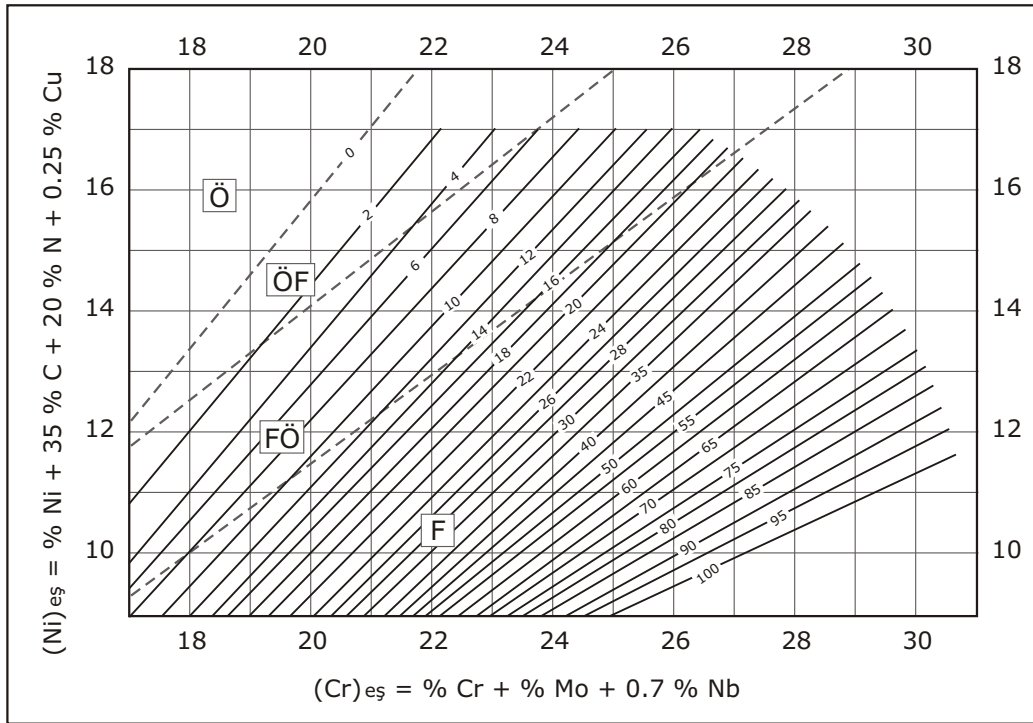
tirilen "Schaeffler Diyagramı"dır. Bu diyagramda Cr eşdeğeri yatay eksen, Ni eşdeğeri ise dikey eksen yer almaktadır.

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

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

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 for-müllerle 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 alaşımli 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, malzeme-lerin korozyon dayanımını düşürür ve yapıdaki aşırı ferrit miktarı süneklik ve tokluğu azaltır.

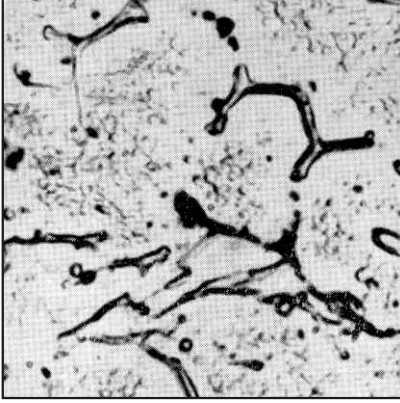
2.3.3 Sigma Fazı Oluşumu (σ)

"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.



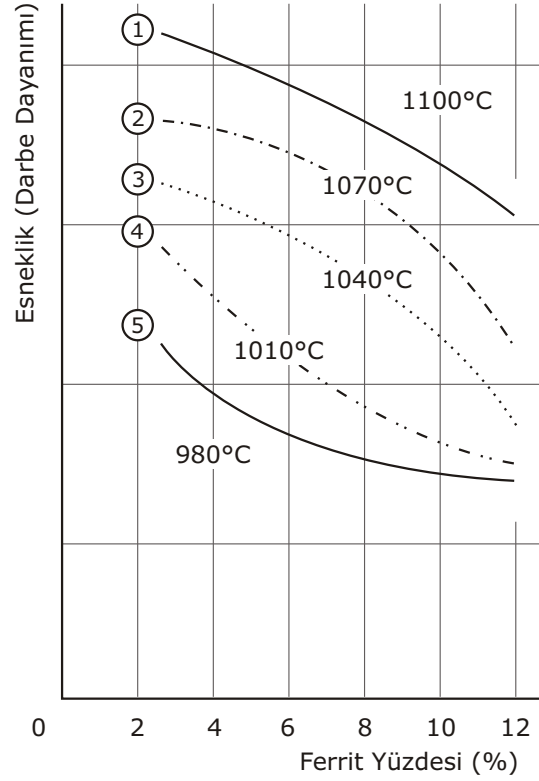
Şekil-7 20 Cr / 10 Ni'li ve % 3 Ferrit İçeren Paslanmaz Çelik (x 1700)

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.

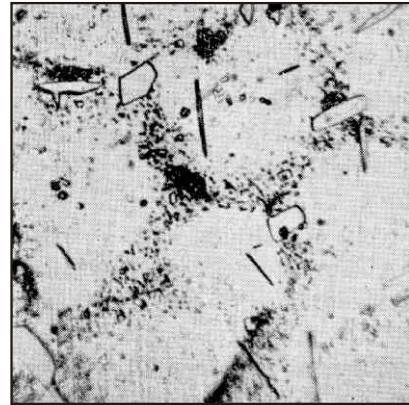
Buradan da görülmektedir ki; ferrit miktarındaki artışa bağlı olarak esneklik (darbe dayanımı) azalmakta ve ferrit yüzdesi ne olursa olsun östenitleştirme sıcaklığındaki artış dikiş üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır.

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**).

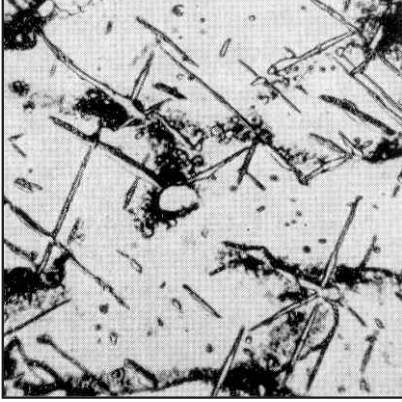
Buradan da anlaşıldığı gibi, kaynak işlemi sırasında banyonun çok hızlı soğuması ve katılaşması nedeni ile sigma fazı kolay oluşmaz. Bu sorun esas olarak ferrit içeriği çok yüksek olan bir kaynaklı bağlantının kaynak işleminden sonra uzun süre yüksek sıcaklık değerlerinde kalacak bir çalışma ortamlarında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

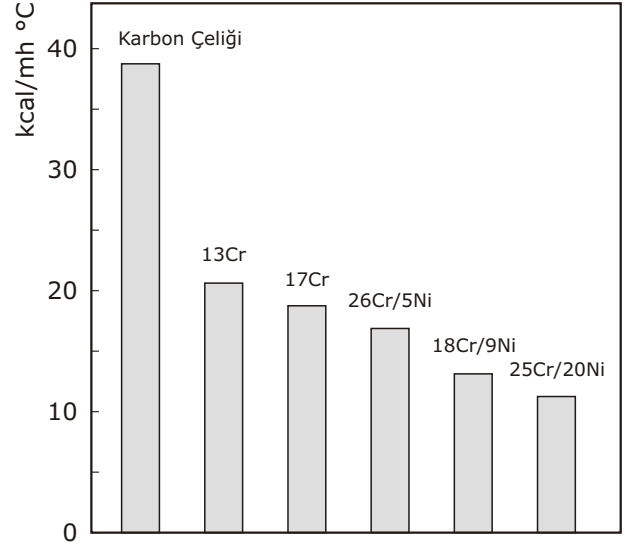
Çift fazlı mikro yapı, % 21-25 Cr ve % 5-7 Ni içeren çeliğin 1000-1050°C sıcaklıkta tavlama işlemi ve ardından hızlı bir şekilde soğutulması ile elde edilir. Bu bileşimlere ait kaynak metalinin genellikle ferritik yapıda olma eğilimi vardır. Çünkü dolgu metali ferrit olarak katılacak ve sadece belirli 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 bulundurulması 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 dolayısı ile bazı zorluklarla karşılaşılacağı anlamına gelmektedir.

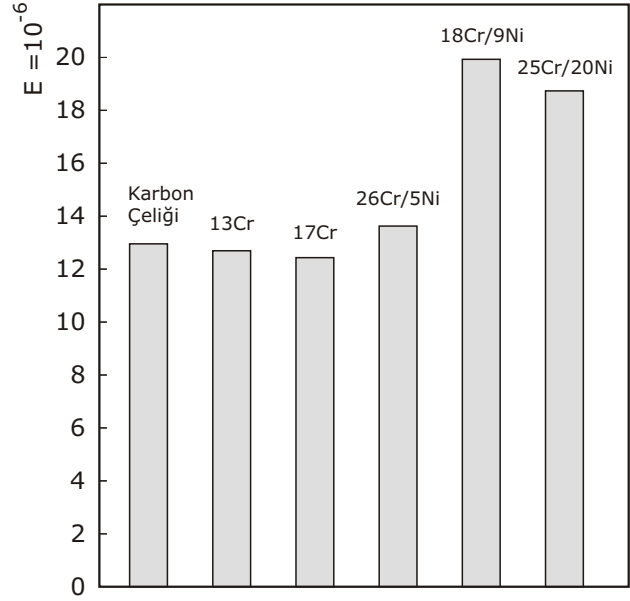


Şekil-11 20-100°C'da Çeşitli Paslanmaz Çeliklerle Karbonlu Yapı Çeliğinin Isı İletim Kabiliyetleri

Tablo-5 Paslanmaz Çelik Gruplarına Ait Fiziksel Özellikler

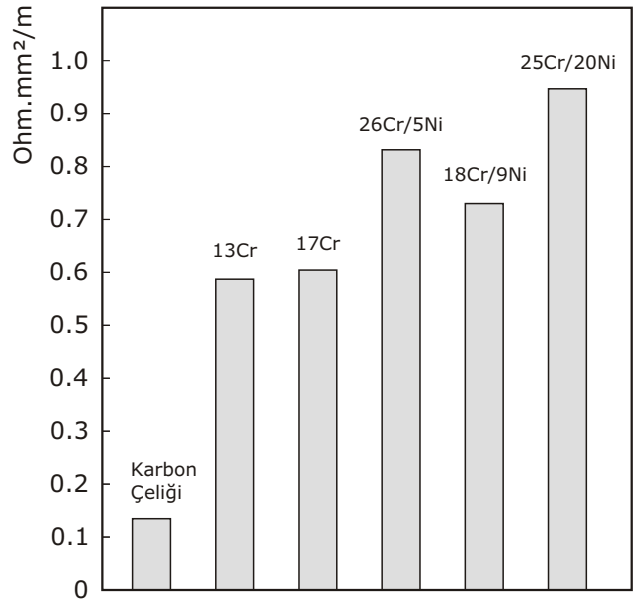
Fiziksel Özellikler	Östenitik Paslanmaz Çelikler	Ferritik Paslanmaz Çelikler	Martenzitik Paslanmaz Çelikler	Çökelme İle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
Elastisite Modülü (GPa)	195	200	200	200
Yoğunluk (g/cm ³)	8.0	7.8	7.8	7.8
Isıl Genleşme Katsayısı (µm/m°C)	16.6	10.4	10.3	10.8
Isıl İletkenlik (W/mk)	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 örtülü veya lekeli,
5 - Yüzeysel 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	○	○	⊙	⊙
		Kaynama Noktası	△	○	⊙ ^{°1}	⊙ ^{°1}
Sülfürik Asit	< 0.5	Oda Sıcaklığı			⊙	⊙
		Kaynama Noktası			△	○
	30 ~ 60	Oda Sıcaklığı			○	○
		Kaynama Noktası			△	△
	95 ~ 100	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

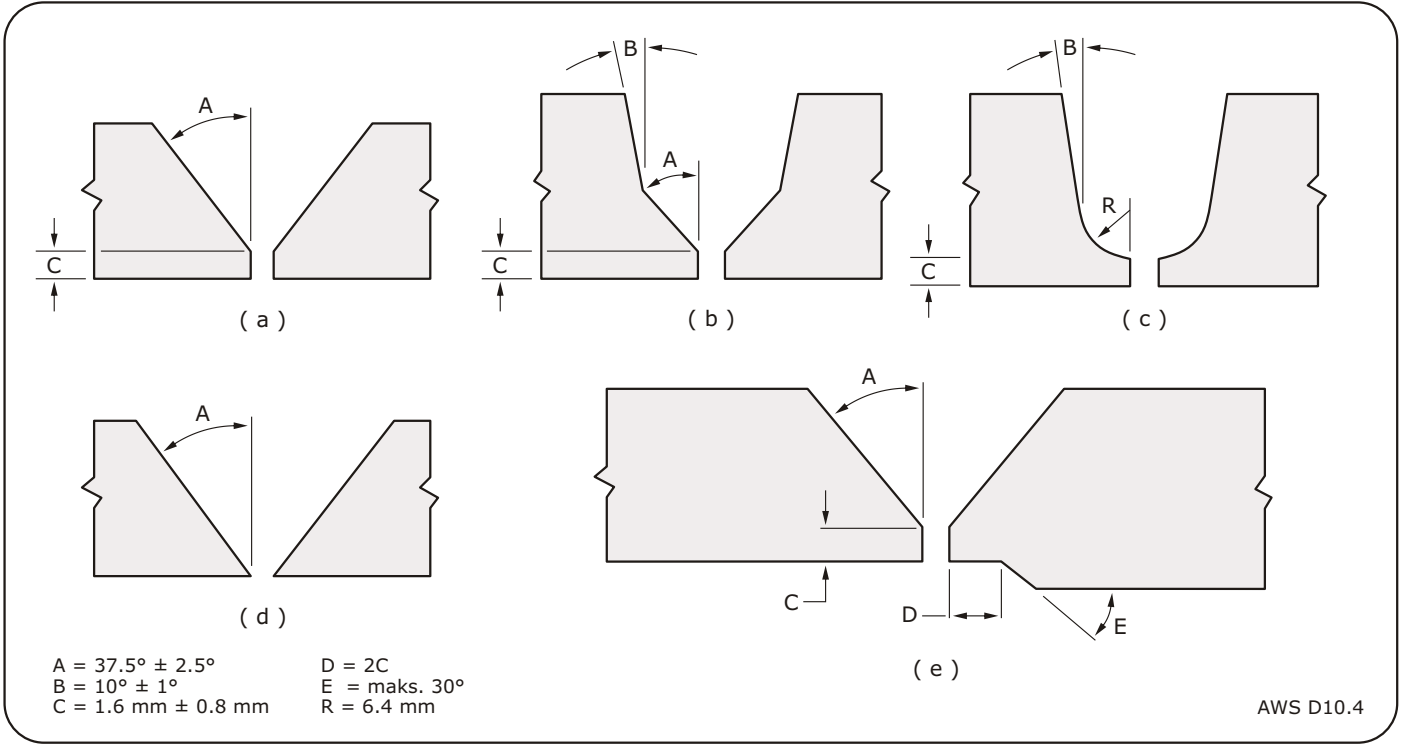
Östenitik paslanmaz çeliklerin ısı genleşme katsayısı yüksek olduğu için çarpılma olasılığının kontrol altında tutulmasının gerektiği kaynak ağızı şeklinin tasarımı aşamasında mutlaka gözönüne alınmalıdır. Bağlantıyı oluşturacak kaynak metalinin hacmi gerekli mekanik özellikleri sağlayan en düşük boyutta 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.

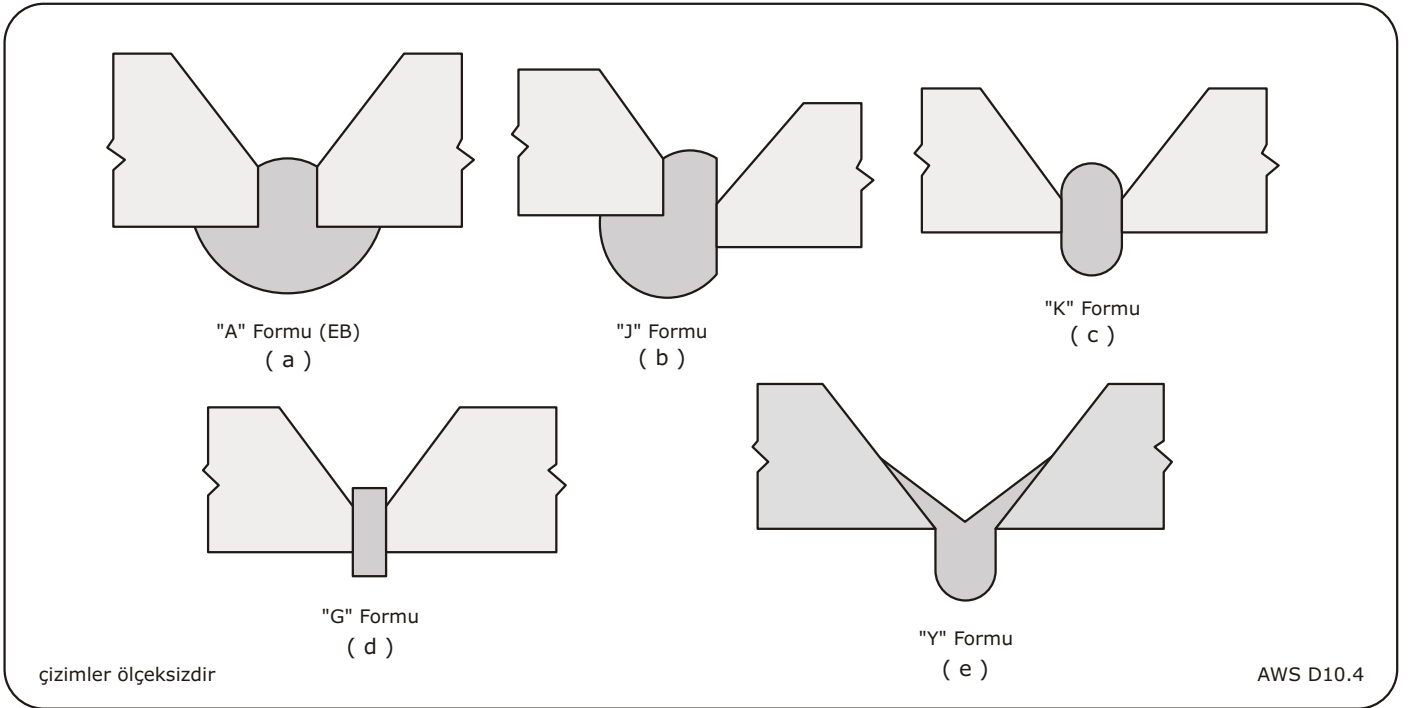
Bu durum özellikle, kaynak metalinin sulandıktan sonra koruyucu gazla birlikte bağlantının kök bölgesinde kolaylıkla akmasına olanak sağlayan halka şekline getirilmiş ilave ara dolgu malzemelerin kullanıldığı ve TIG kaynağı yöntemiyle gerçekleştirilen kaynaklı boru bağlantılarında çok önemlidir.

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 alaşımli 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 ısı işlemi uygulanmalıdır. Eğer bu mümkün olmuyorsa, kaynaktan önce parçalara çözeltiliye alma tavı uygulanmalı, kaynaktan sonra ise yaşlandırma ısı işlemi yapılmalıdır.

Çökeltme yoluyla sertleşebilen östenitik tipteki paslanmaz çeliklere, çatlama problemlerine neden olacağı için kaynak işleminden sonra ısı 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 ısı işleminden 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.
- Çatlamadan 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 Niobiyum (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.

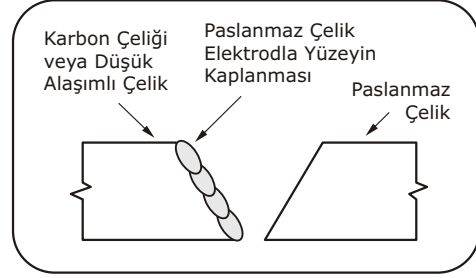
Aşağıdan yukarıya pozisyonlarda, EXXX-17 türü AC-DC kaynak elektrodlarının kullanımı EXXX-16 türü elektrodlarınkine göre daha zordur. Bu durumda daha geniş salınımlarla çalışılması gerekmektedir.

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.

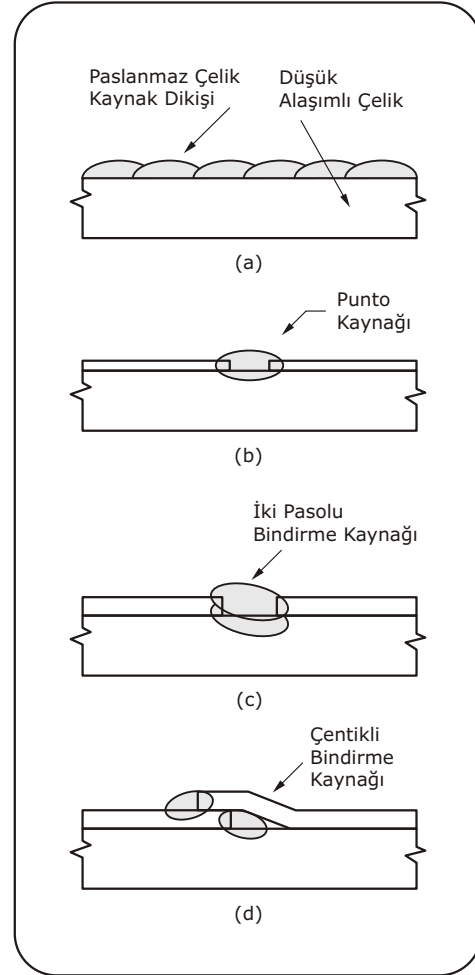
Çarpılmaların önlenmesi için alınan diğer önlemler aşağıda yer almaktadır :

- 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 Pozisyonadaki 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	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
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	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
Kaynak Hızı (mm/sn)	5.9-6.8	5.3-5.7	4.4-4.9	2.6-2.9	2.6-2.9
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 şalümosu 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 gaza 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

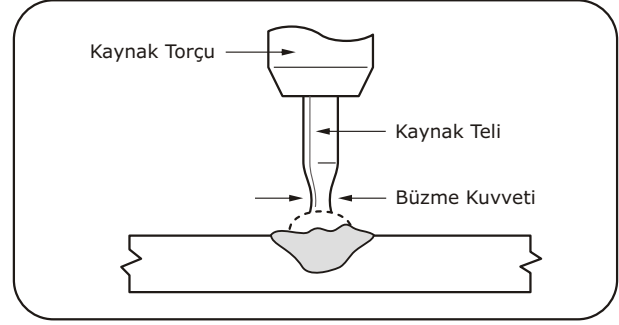
Koruyucu Gaz : Helyum + % 7.5 Argon + % 2.5 Karbondioksit	1.6 - 3.2 mm	1.6 - 3.2 mm	1.6 - 2.0 mm	1.6	2.0 *	
Gaz Debisi : 7.1 - 9.4 lt/dak.						
Tel Çapı : 0.8 mm						
Parça Kalınlığı (mm)	1.6	2.0	2.4	3.2	1.6	2.0 *
Elektrod Çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Akım (amp) DC (+)	85	90	105	125	85	90
Kaynak 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.

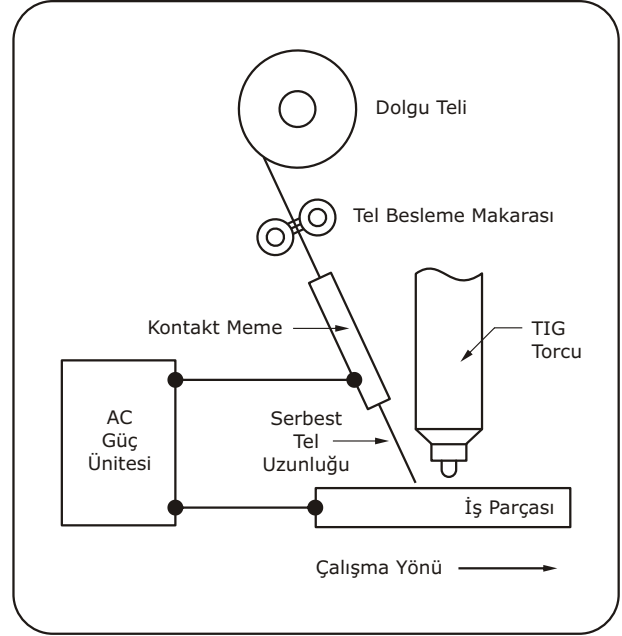
TIG kaynağında kullanılan DC güç üniteleri sabit akım özelliğine sahip olmalı ve kaynak devresi yüksek frekanslı voltaj ile donatılmış olmalıdır. Yüksek frekans sadece arkın tutuşturulması aşamasında gereklidir. Elektrod iş parçasına yaklaştırıldığında, yüksek frekans tungsten elektrod ile iş parçası 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 elektrodların 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.

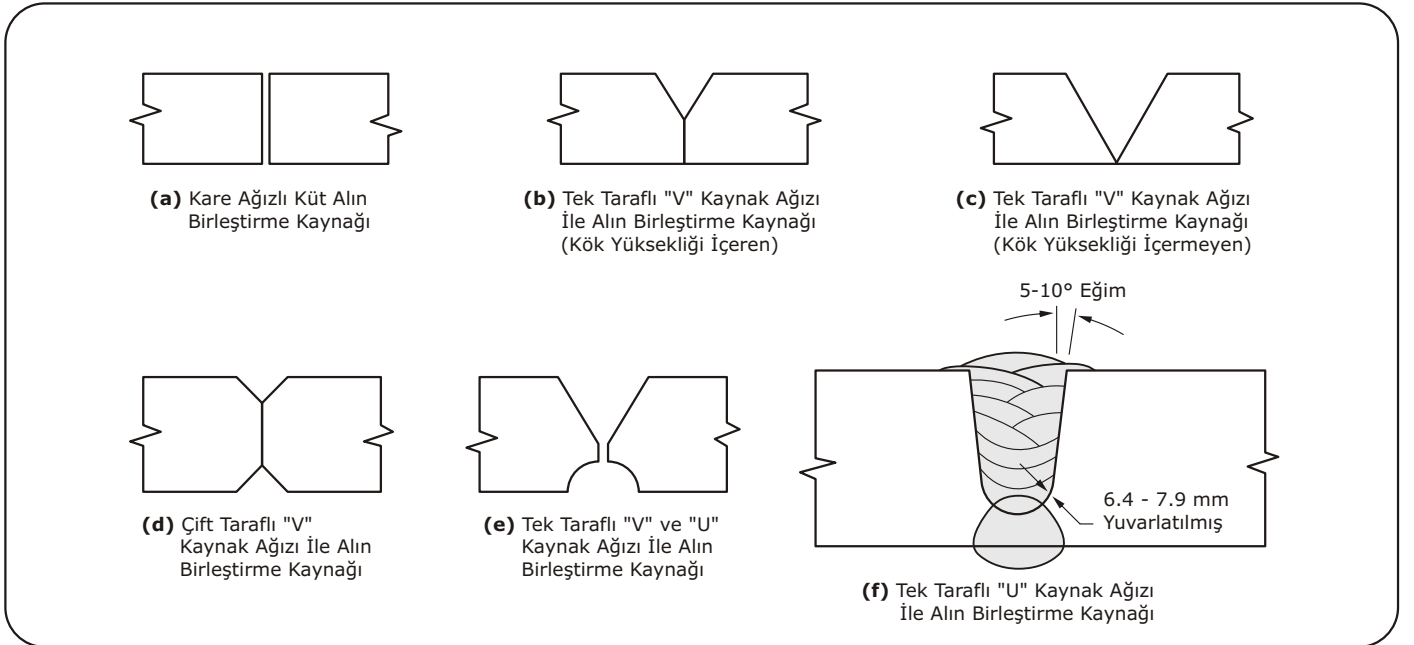
Kalınlığı 1.6 mm'den 12.7 mm'ye kadar değişen paslanmaz çeliklerin TIG yöntemi ile kaynağında kullanılan alın, köşe, "T" ve bindirme tipi kaynak bağlantılarına ait parametreler **Şekil-27**'de verilmiştir.

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

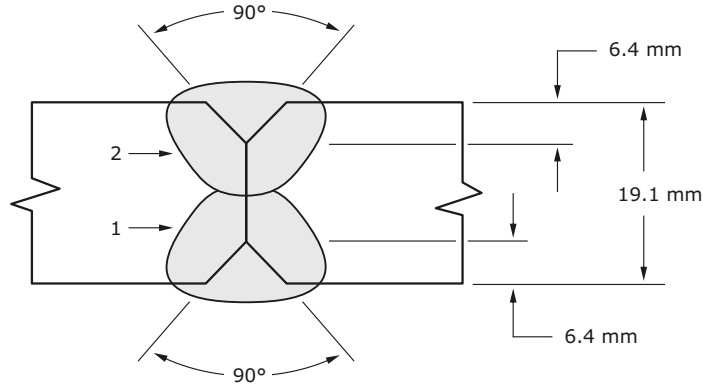
8 mm kalınlığa kadar olan parçalar üzerinde tek paso ile gerçekleştirilen kaynak uygulamalarında yüksek kaliteye sahip kaynak dikişleri, kök açıklığı bırakılmadan ve uygun bir altlıkla birlikte küt alın kaynağı ağızı kullanılarak elde edilebilir (**Şekil-28a**). 16 mm kalınlığa kadarki parçalar üzerinde 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 yer alan "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.

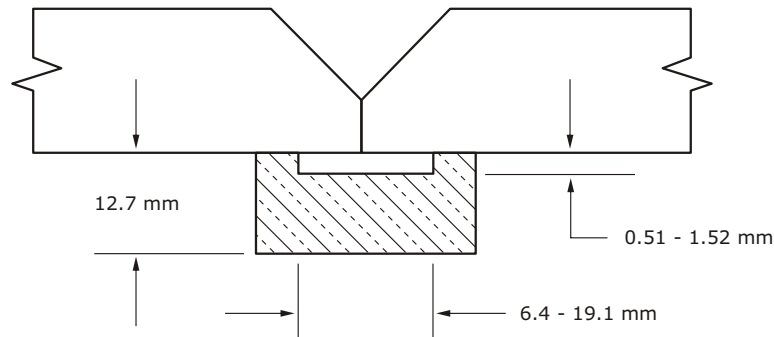
Tozaltı kaynağı, gözle görülür derecede uzun bir zaman aralığı süresince sıvı halde kalabilen, geniş hacimli bir erimiş metal oluşturur. Erimiş haldeki bu metalin katılaşana kadar desteklenmesi ve konumunun akmadan korunması gerekmektedir. En sık kullanılan kaynak altlıkları eriyen ve erimeyen altlıklar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

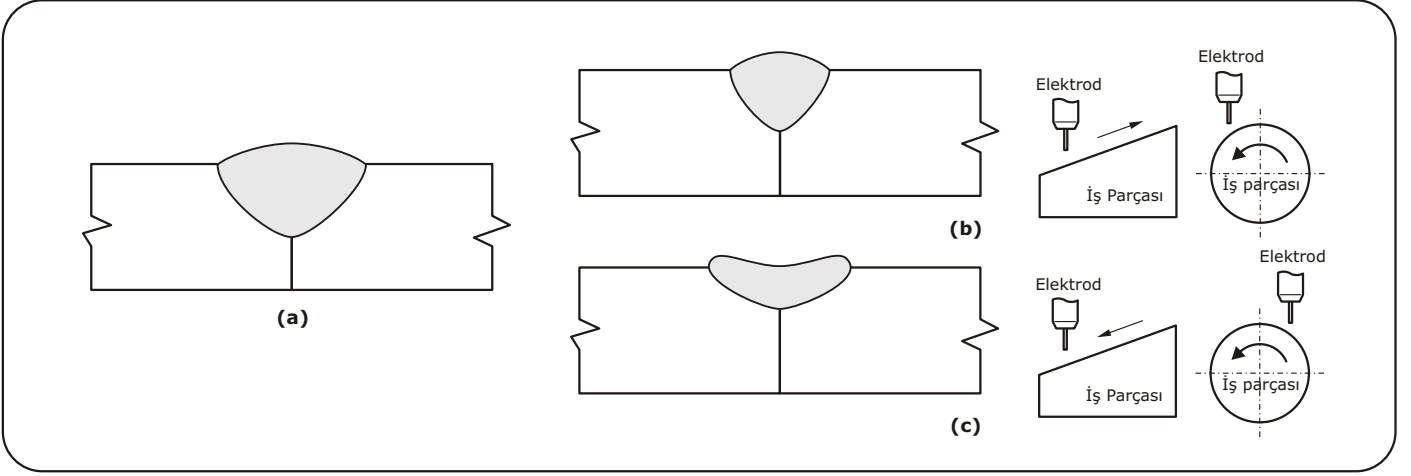
Eriyebilen türdeki metalik altlıkların kullanıldığı uygulamalarda, kaynak paslanmaz çelik altlığın içine doğru nüfuz eder ve onunla birlikte erir. Bunun sonucunda, kullanılan altlık gerçekleştirilen bağlantının geçici veya kalıcı bir parçası haline gelir.

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 :

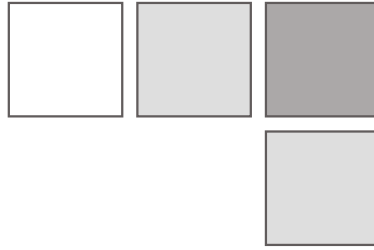
Bu teknikte, tel iş parçasına doğru sürülür ve bu sırada araba da hareket etmeye başlar. Taşıyıcı arabanın iş parçasına olan rölatif hareketi nedeniyle, tel eriyerek parçaya deyince yapışma problemi ile karşılaşmaz.

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 Çeliklerin Kaynağı



EKLER

EK-1**ÇEVİRİM TABLOLARI**

1 MPa = 1 N/mm² = 0,102 kgf/mm² = 10,2 bar
 1 N = 0,1 daN
 1 J = 0,1 daJ = 0,102 kgf.m

1 MPa = 145 Psi (pound per square inch)
 1 Psi = 0,006895 MPa
 1 J = 0,7376 ft.lb (foot-pound)
 1 lb/ft (pound per foot) = 1,4882 kgf/m
 1 m = 39,37 inch = 3.281 feet
 1 inch = 25,4 mm
 1 ft (feet) = 12 inch = 30,48 cm
 1 kg = 2,205 lb
 1 lb = 0,4536 kg
 1 mm² = 0,00155 square inch
 ° C = (° F - 32) x 5/9
 ° F = (° C x 9/5) + 32

Elektrod Çapları

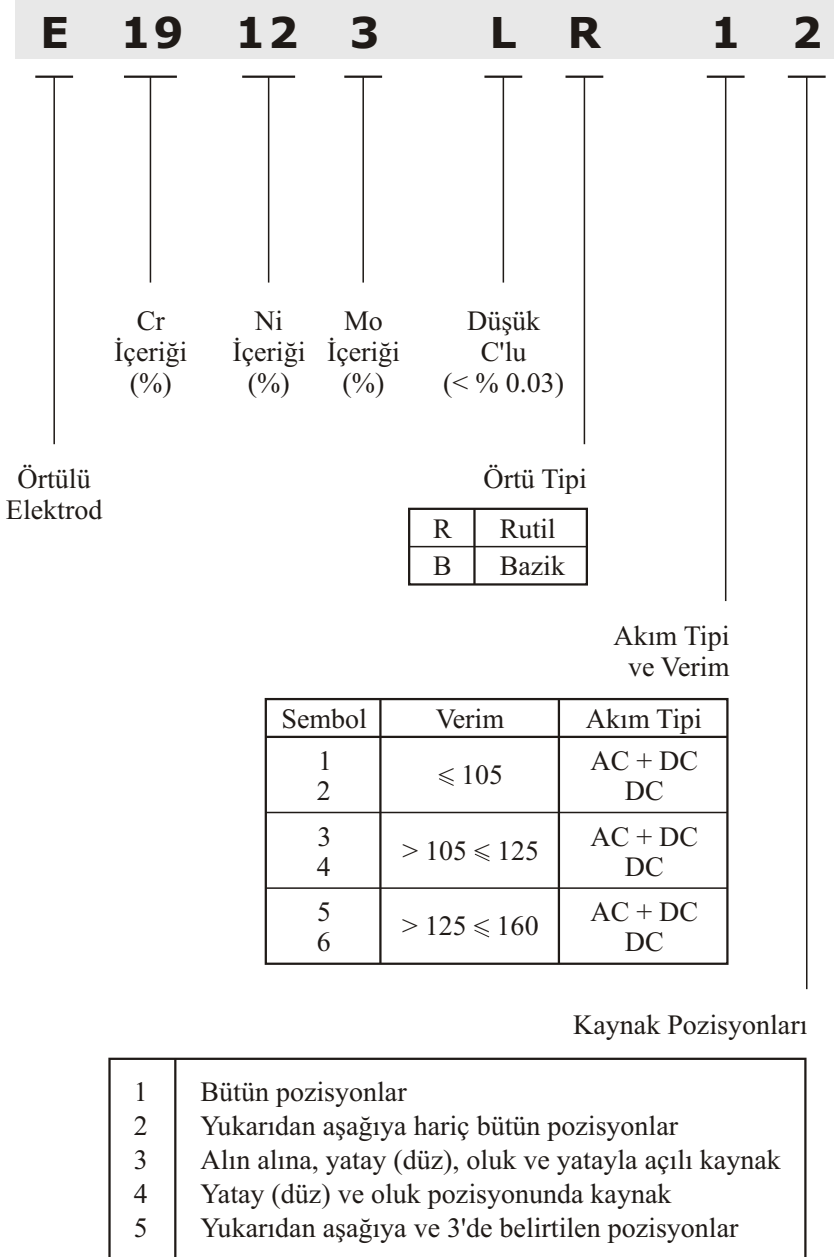
inch	mm
0.024	= 0.6
0.030	= 0.8
0.035	= 0.9
0.039	= 1.0
3/64	= 1.2
1/16	= 1.6
5/64	= 2.0
3/32	= 2.4
7/64	= 2.8
1/8	= 3.2
5/32	= 4.0
3/16	= 5.0
1/4	= 6.0

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

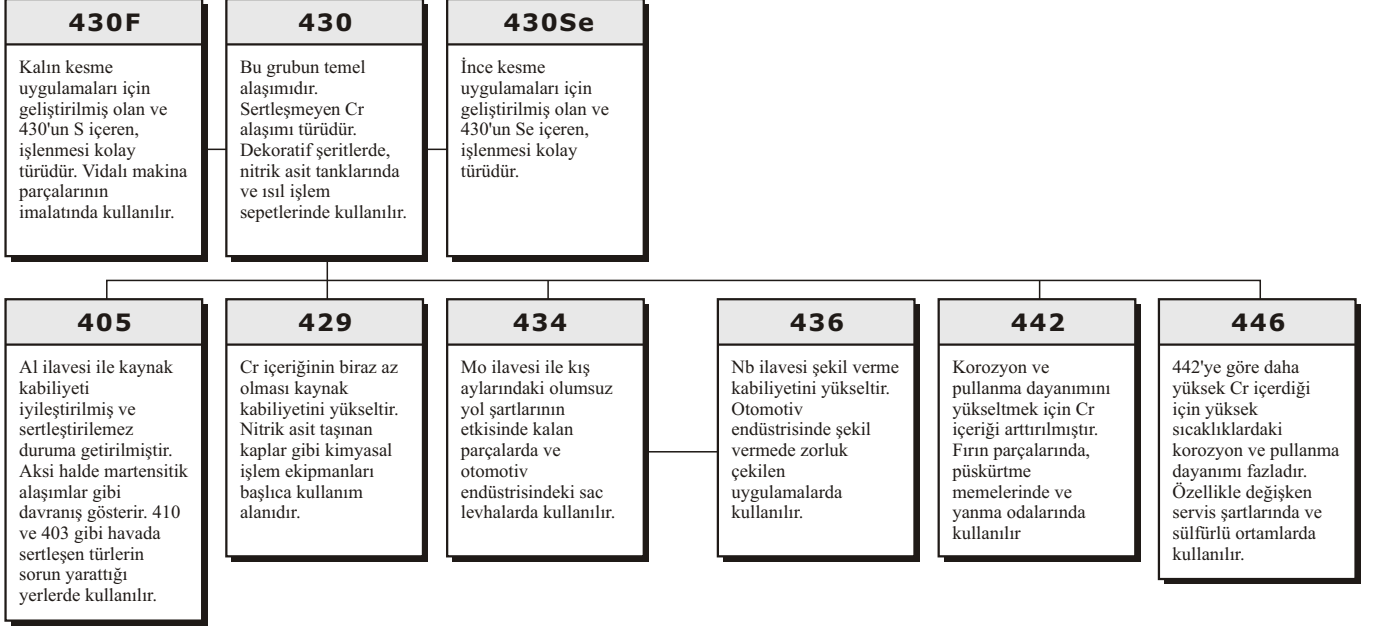


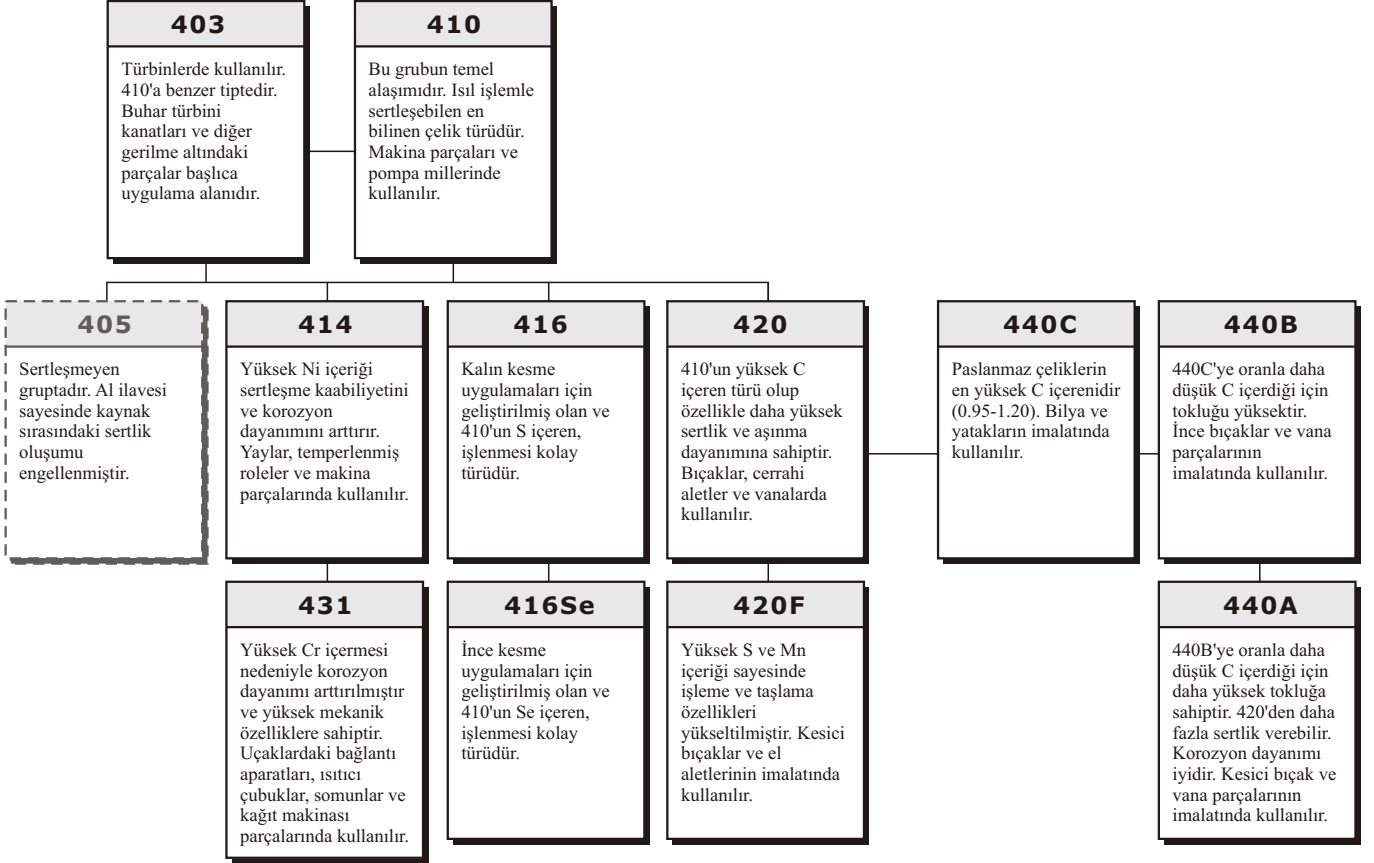
EK-3**ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER (AISI)**

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 korozyif 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 oluşturuç elementleri "Krom Eşdeğeri - Cr(eş)" ile, östenit oluşturuç elementleri ise "Nikel Eşdeğeri - Ni(eş)" ile ifade etmektedir.

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

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

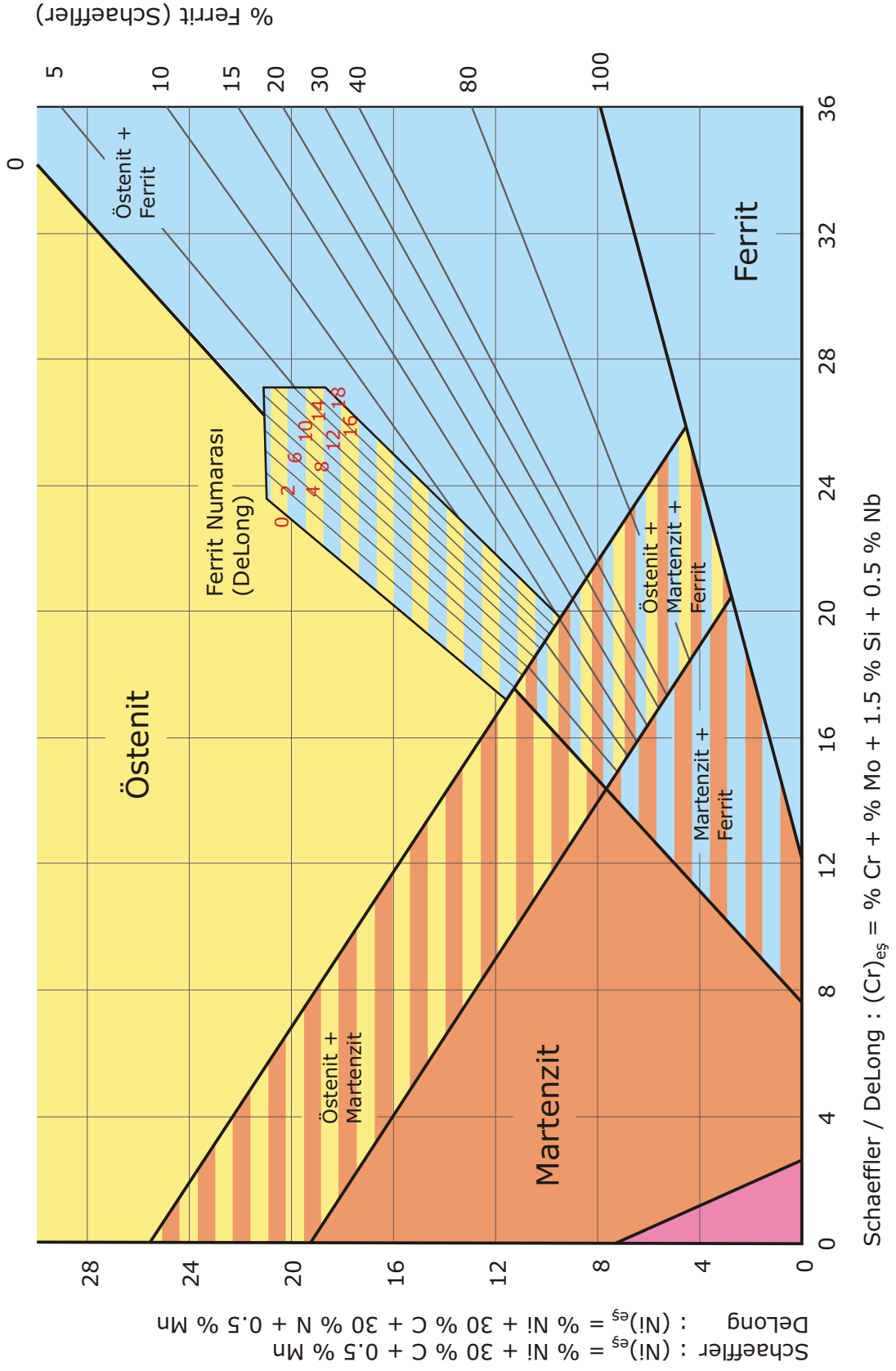
Ana metallerinkine benzer analize ya da farklı analize sahip dolgu metallerinin kullanılmasıyla benzemez (kimyasal analizleri farklı) metaller arasında gerçekleştirilen heterojen bağlantılarda Schaeffler Diyagramı büyük yararlar sağlamaktadır.

- 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.

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

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

$$(Ni)_{eş} = 12$$

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

$$(Cr)_{eş} = 20 + 3 + 1.5(0.6)$$

$$(Cr)_{eş} = 24$$

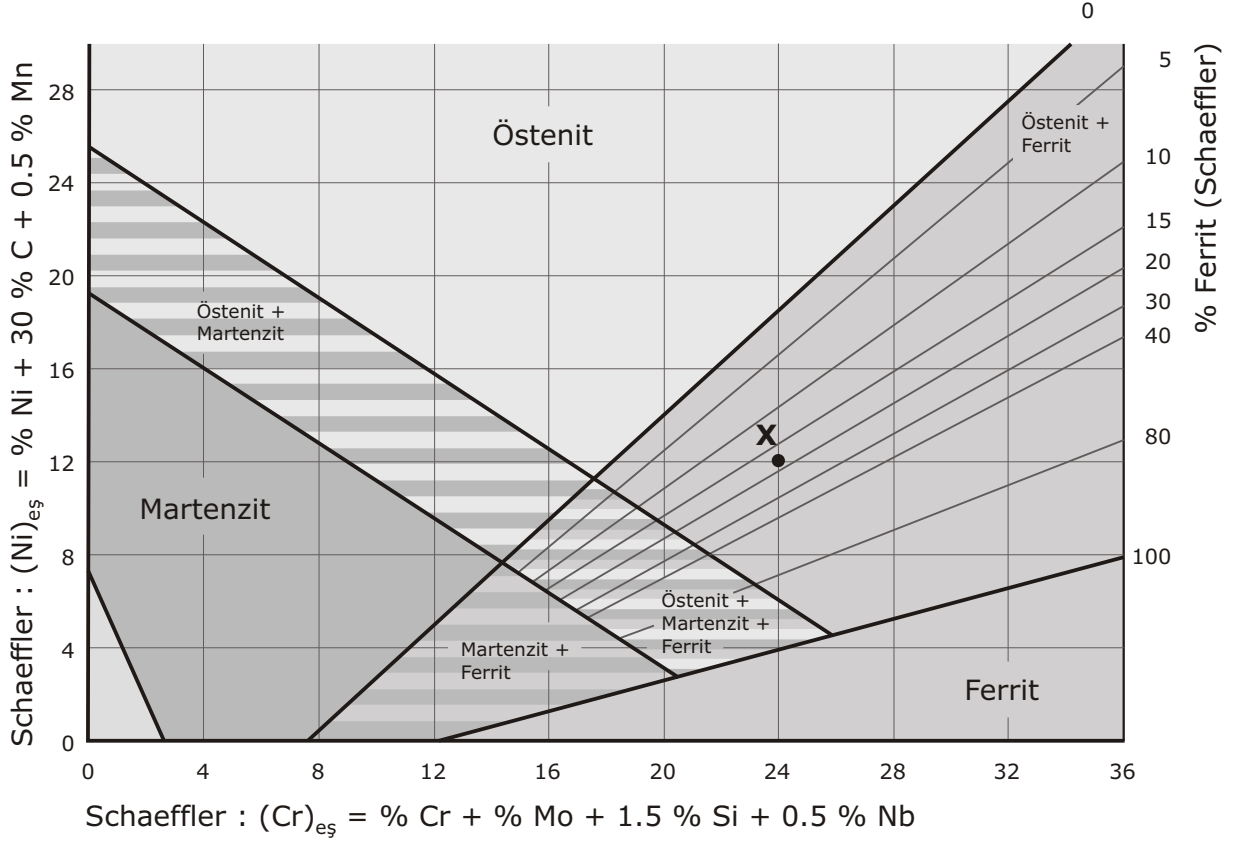
"X" noktası incelendiğinde iki fazlı ve % 18 ferrit içeren östenitik-ferritik bölgeye düştüğü görülür.

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.

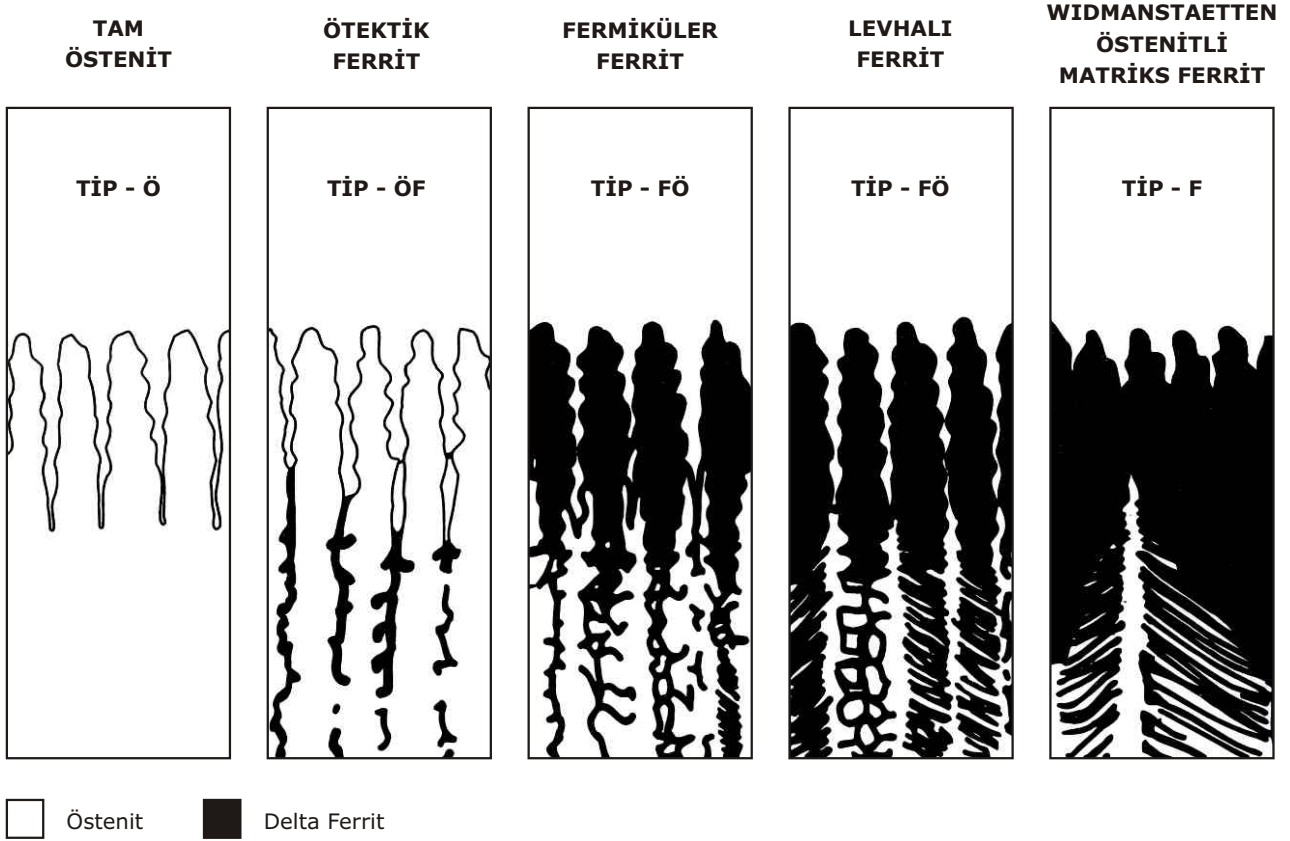
$$\% F = 3[(Cr)_{es} - (Cr)_c]$$

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)

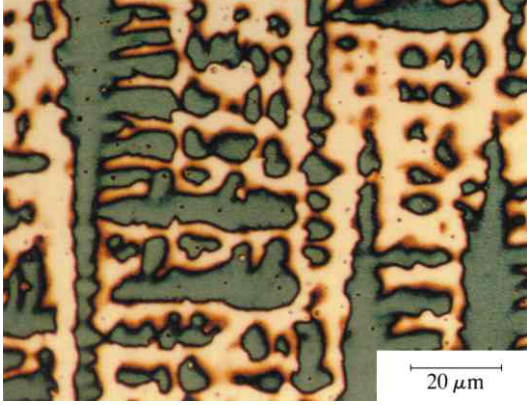
Ferritin bu morfolojisi genellikle östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkar. Bu doku elemanı katı durumda ferritin yayınma kontrollü olarak östenite dönüşmesi sırasında oluşur ve katılaşmayı takip eden aşamada ise birincil ferrit olarak görülür (Tip-FÖ). Ferritin bu tipi, birincil ferrit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

Levhalı Ferrit

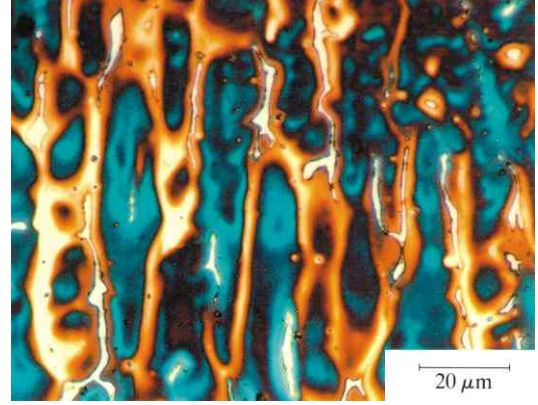
Ferritin bu tipi de birincil ferrit katılaşması sırasında oluşur (Tip-FÖ). Karakteristik yönü, levha ya da iğne formunda olmasıdır ve alt tane sınırlarında katılaşır. Ferritin bu morfolojisi, yüksek ferritli ya da düşük ferritli kaynak metalinde hızlı soğuma ürünü olarak ortaya çıkar. Levhalı ve fermiküler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

Widmanstaetten Östenitli Matris Ferrit

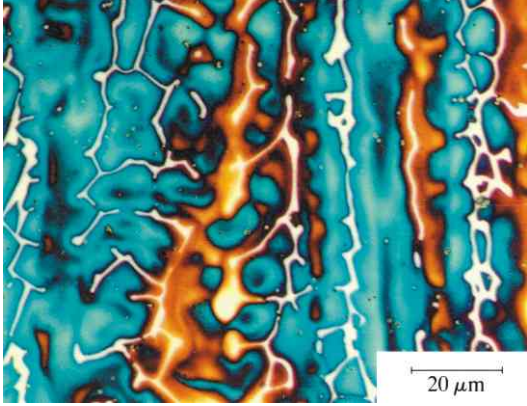
Kaynak metalinde, yüksek sıcaklıklarda ferrit fazı giderek daha kararlı bir duruma geçecek olursa östenitik dönüşüm zorlukla gerçekleşir. Bunun nedeni, katılaşma sırasında ferritin delta ferriti olarak (Tip-F) oluşmasıdır. Bunun sonucunda, östenit kristalleri ferrit-ferrit tane sınırlarında Widmanstaetten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



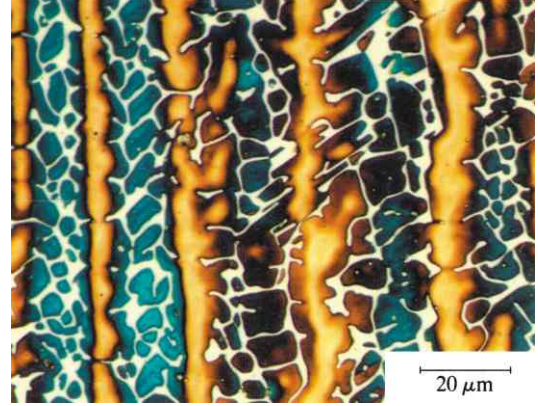
Ferrit Numarası : 0 (Ö)
EN 1600 : E 18 16 5 N L R 32
C : %0.02 ; Mn : %1.2 ; Si : %0.8 ; Cr : %18 ; Ni : %17 ; Mo : %4.6 ; N : %0.08



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



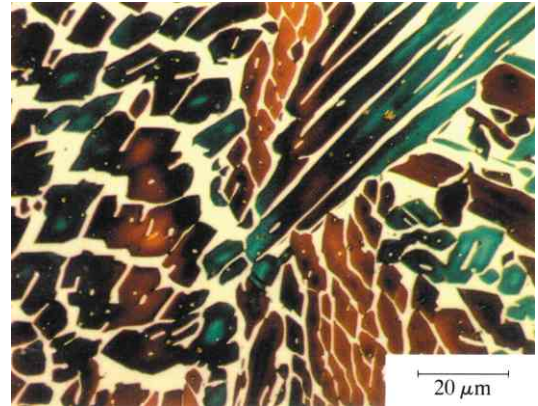
Ferrit Numarası : 10 - 20 (FÖ)
EN 1600 : E 23 12 L R 32
C : %0.02 ; Mn : %0.85 ; Si : %0.95 ; Cr : %23 ; Ni : %12.5

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.

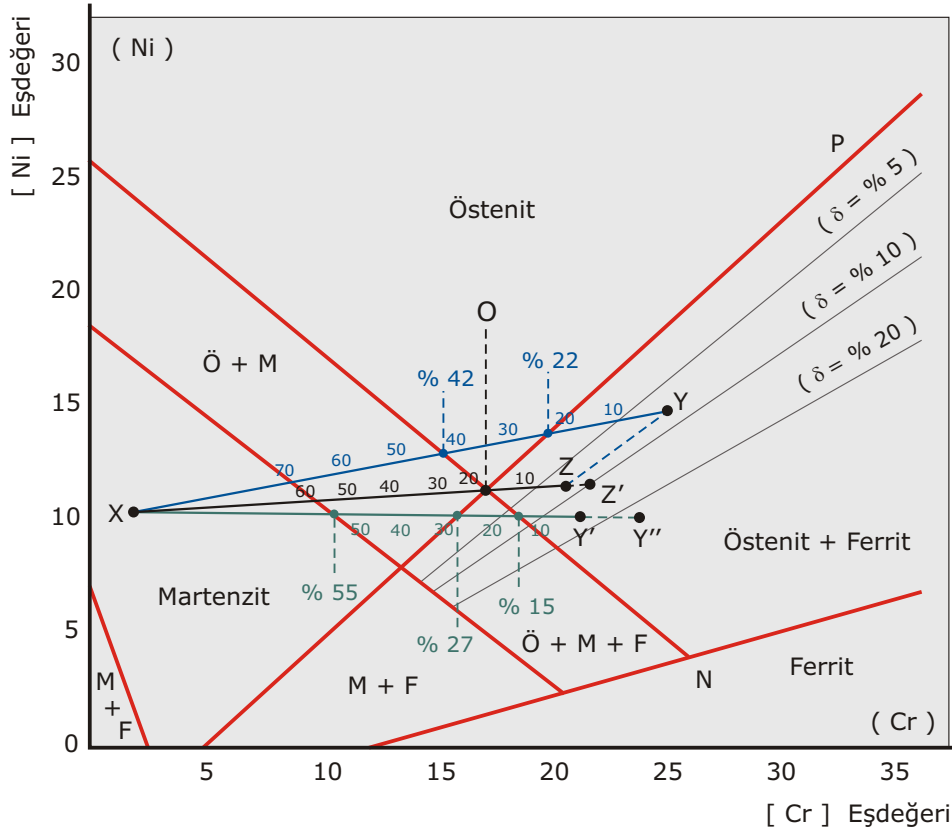
Seyrelmenin seviyesi; kaynak edilen parçaların kalınlığına, kaynağın uygulanış şekline ve bilinen genel kaynak faktörlerine bağlı olup, özellikle kök paso uygulamalarında daha da belirgin hale gelmektedir.

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



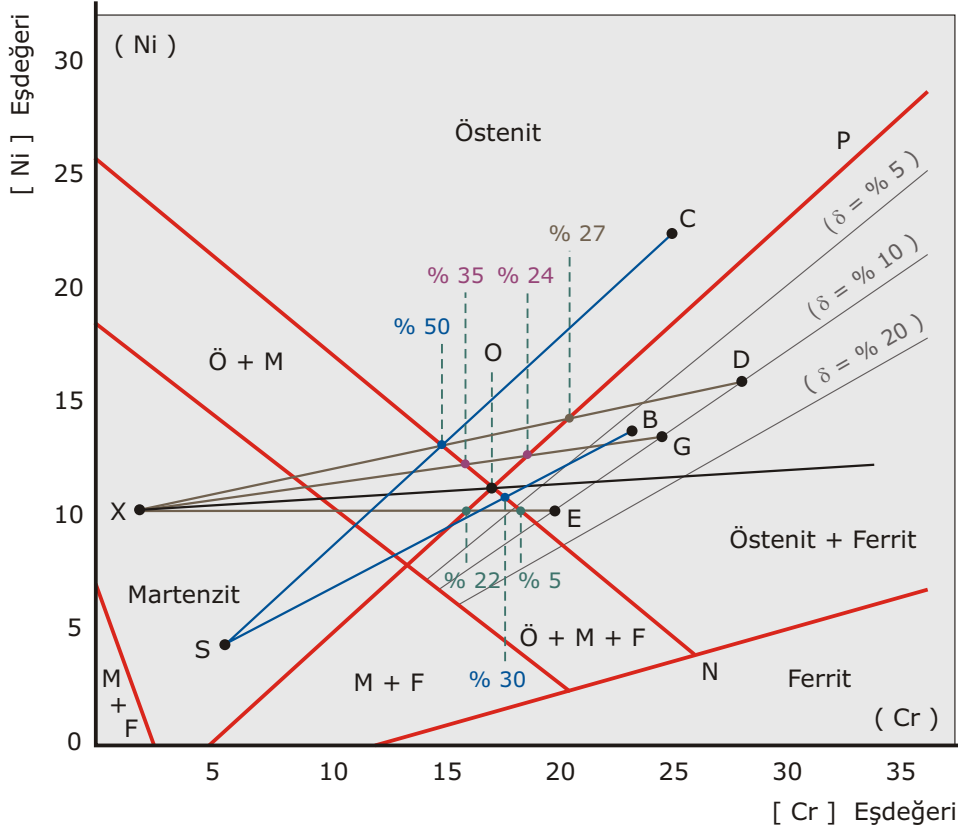
Şekil 1 - Ferritik çeliklerin östenitik elektrodlarla gerçekleştirilen heterojen bağlantı yapılarını gösteren SCHAEFFLER Diyagramı

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.

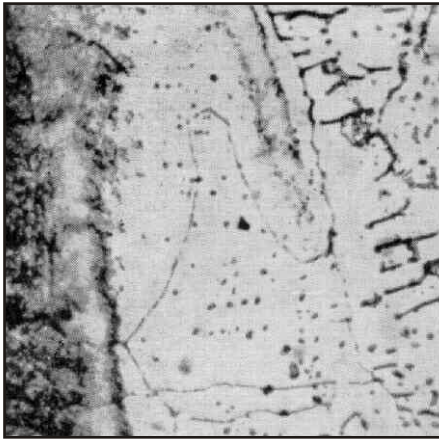
Eğer **S** noktasını östenitik yapıdaki **C** noktası ile birleştirecek olursak % 50'ye kadarki seyrelme oranlarında, bağlantı bölgesi erime bölgesinde olduğu gibi tamamen östenitik alana rastlar. Bu yapı, özellikle sıcak çatlamalara karşı duyarlıdır ve bu tür kaynaklı birleştirmelerde erimiş bölgede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

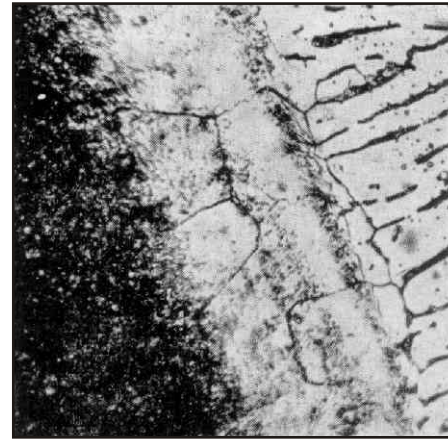
% 10 ferrit içeren, östenitik yapıdaki bir elektrod SCHAEFFLER Diyagramı'nda **D** noktası ile temsil edilmektedir. Bu elektrodu temsil eden **D** noktası ile ana metali temsil eden **X** noktasının birleştirilmesi sonucu elde edilen "**XD**" doğrusu (kahverengi çizgi) "**OX**" doğrusunun (siyah çizgi) 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.

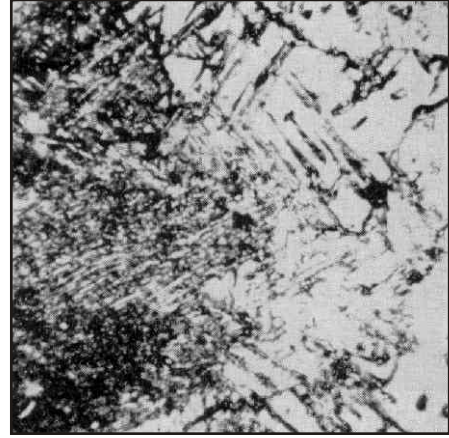
$$Ni_{(e\%)} = 10,5$$

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

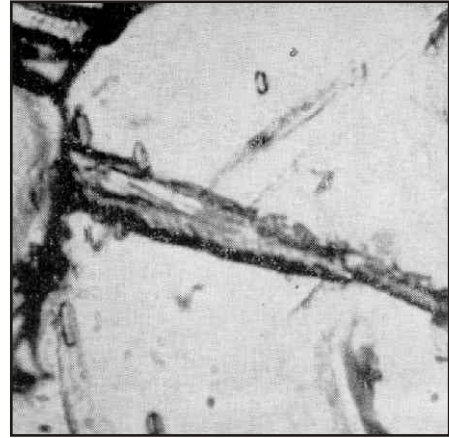
Bu elektrod % 5 seyrelmeden sonra bağlantı bölgesinde martenzit oluşmasına neden olur. Bu varsayım, büyük martenzit ağlarını östenitik zeminde görünür kılan mikrografik muayene ile de doğrulanmaktadır (Şekil-6).

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 :

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

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

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

KAYNAKA

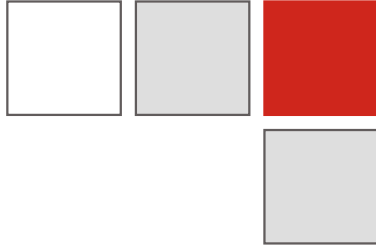
İngilizce Kaynaklar :

- 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) Mtallurgie de la Soudure
D. Sfrian
Dunod - Paris, 1959
- 7) Les Electrodes Enrobes Pour Aciers Inoxidables
The Lincoln Electric Company, France, 2001

Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağı



Can ODABAŞ

İçindekiler

BÖLÜM 1.0	KAYNAK SIRASINDA TÜKETİLEN MALZEMELER	235
1.1	Dolgu Metali Seçimi	235
1.1.1	Çatlak Oluşumu	236
1.1.2	Çekme ve Kesme Dayanımı	237
1.1.3	Yüksek ve Düşük Çalışma Sıcaklıkları	240
1.1.4	Korozyon Dayanımı	240
1.1.5	Renk Uyumu	241
1.2	Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağında Kullanılan Kaynak Telleri	241
1.3	4043 ve 5356 Türü Dolgu Metalleri Arasında En Doğru Seçimin Yapılması	242
BÖLÜM 2.0	ALÜMİNYUMUN KAYNAĞI İLE İLGİLİ SIK SORULAN SORULAR	244
BÖLÜM 3.0	KAYNAK AĞIZI ŞEKİLLERİ	248
BÖLÜM 4.0	ALÜMİNYUMUN KAYNAĞINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR ve BU SORUNLARIN GİDERİLMESİ	251
	KAYNAKÇA	252

BÖLÜM 1.0**KAYNAK SIRASINDA
TÜKETİLEN MALZEMELER**

Kaynak dikişinin kaynak işleminden sonra çalışacağı ortam şartları karşısında göstereceği uyum ve dikişten beklenen verim, alüminyum dolgu malzemesinin seçimi aşamasında önemli bir rol oynamaktadır. Birçok ana metal alaşımı ve bunların birbirleri ile olan bağlantısı farklı özelliğe sahip dolgu malzemelerinden herhangi birinin kullanılması ile gerçekleştirilebilir. Ancak bunlardan sadece bir tanesi sözkonusu uygulama için en uygun ürün olma özelliğine sahiptir. Standart hadde alüminyum dolgu malzemelerine ait kimyasal analiz değerleri **Tablo-1**'de verilmiştir.

Alüminyum alaşımlı dolgu malzemeleri seçilirken sık ve öncelikli olarak dikkate alınması gereken konular aşağıda belirtilmiştir :

- a) Kaynak edilecek olan ana metalin cinsi ve bağlantı bölgesinin kalınlığı doğru olarak belirlenmelidir.
- b) Uygulanacak kaynak yöntemi ve kaynak ağızı şekli önceden belirlenmelidir.
- c) Kaynaktan beklenen özellikler iyi belirlenmelidir.
 - Bağlantının çatlak içermemesi
 - Kaynak metalinin çekme veya kesme dayanımı
 - Kaynağın sünekliği
 - Yüksek veya düşük çalışma sıcaklıkları
 - Korozyon dayanımı
 - Anodlama işlemi sonrasında elde edilen renk uyumu

- d) Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımlarında, yukarıda belirtilen koşullara da dikkat ederek mutlaka dolgu metali seçim tablosu kullanılmalıdır. 5052 gibi orta derecede magnezyum (Mg) içeren 5XXX serisi malzemelerin sıcak çatlama riskine karşı hassas oldukları unutulmamalıdır. Eğer mukavemet değeri uygulama açısından önemliyse, bu gibi malzemelerin kaynağında nüfuziyet seviyesine özellikle dikkat edilmelidir. Isıl işlem uygulanabilen alaşımlarda ise ; nüfuziyet, sıcak çatlama, ısının etkisi altında kalan bölgede oluşan çatlaklar, süneklik ve kaynak sonrası uygulanacak olan ısıl işlem konularının ayrıca gözönünde bulundurulması gerekmektedir.

Kalın kesitli bağlantılardaki köşe kaynağı uygulamalarında en yüksek maliyet tasarrufu, kaynak pasolarının sayısında azalma sağlayan, yüksek dayanıma sahip dolgu malzemelerinin kullanılması ile elde edilir. Döküm alaşımlarda döküm işlemi sırasında oluşan hatalar onarılırken kaynağın homojen bir yapıya sahip olması istenir. Bu nedenle, dolgu malzemesi döküm alaşımı ile aynı kimyasal analize sahip olmalıdır.

**1.1
DOLGU METALİ SEÇİMİ**

Uygun dolgu metali seçiminin doğru olarak yapılması kaynak bölgesinin servis ömrü üzerinde büyük bir etki yaratır. Döküm alaşımlar da dahil çeşitli alüminyum alaşımlarının genel kaynak uygulamalarında doğru

Tablo-1 Hadde Alüminyum Dolgu Malzemelerinin Kimyasal Analiz Değerleri (% ağırlık^a)

Dolgu Alaşımları	Elementler (% ağırlık) ^a								Diğer Elementler		Al
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Herbiri	Toplam	
1100	b	b	0.05 - 0.20	0.05	-	-	0.10	-	0.05 ^c	0.15	min. 99.0
2319	0.2	0.03	5.8 - 6.8	0.20 - 0.40	0.02	-	0.10	0.10 - 0.20	0.05 ^c	0.15	kalan
4043	4.5 - 6.0	0.8	0.3	0.05	0.05	-	0.10	0.20	0.05 ^c	0.15	kalan
4047	11.0 - 13.0	0.8	0.3	0.15	0.10	-	0.20	-	0.05 ^c	0.15	kalan
4145	9.3 - 10.7	0.8	3.3 - 4.7	0.15	0.15	0.15	0.20	-	0.05 ^c	0.15	kalan
4643	3.6 - 4.6	0.8	0.1	0.05	0.10 - 0.30	-	0.10	0.15	0.05 ^c	0.15	kalan
5183	0.4	0.4	0.1	0.50 - 1.00	4.3 - 5.2	0.05 - 0.25	0.25	0.15	0.05 ^c	0.15	kalan
5356	0.25	0.4	0.1	0.05 - 0.20	4.5 - 5.5	0.05 - 0.20	0.10	0.06 - 0.20	0.05 ^c	0.15	kalan
5554	0.25	0.4	0.1	0.50 - 1.00	2.4 - 3.0	0.05 - 0.20	0.25	0.05 - 0.20	0.05 ^c	0.15	kalan
5556	0.25	0.4	0.1	0.50 - 1.00	4.7 - 5.5	0.05 - 0.20	0.25	0.05 - 0.20	0.05 ^c	0.15	kalan

- a. Tek değerler aksi belirtilmedikçe maksimum değerlerdir.
b. Silisyum ve demir içeriğinin toplamı % 0.95'i geçmemelidir.
c. Berilyum içeriğinin % 0.0008'i geçmemesi gerekir.

dolgu metali seçimine yardımcı olması amacıyla hazırlanan liste **Tablo-2'**de verilmiştir. Döküm alüminyum parçaların onarılmasında, genellikle sözkonusu dökümün analizine uygun olan ve hatta bazı durumlarda dökülen parçanın üretiminde kullanılan karışımdan elde edilen dolgu malzemelerinin kullanılması tercih edilir.

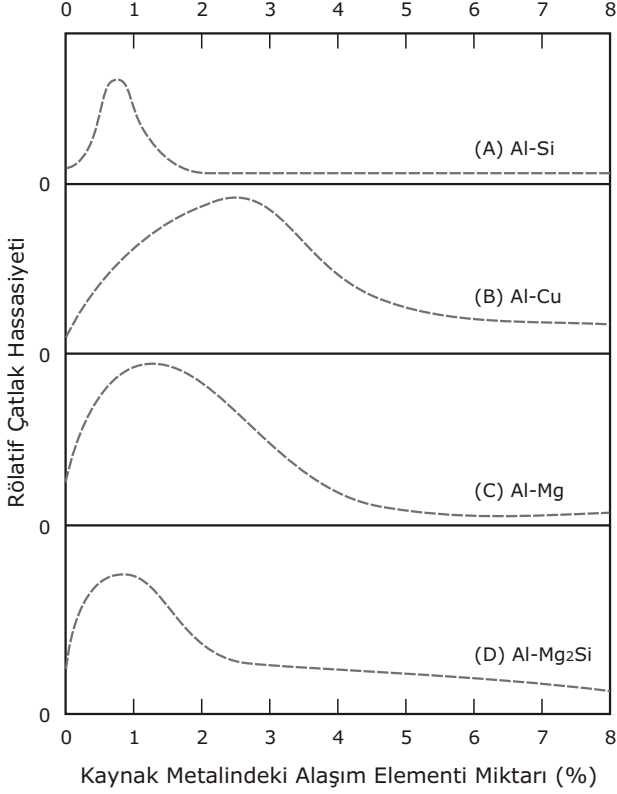
1.1.1 Çatlak Oluşumu

Isıl işlem uygulanamayan alüminyum alaşımları genellikle ana metal ile aynı kimyasal analize sahip dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilir. Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları ise metalurjik açıdan daha karmaşık bir yapıya sahiptir ve kaynak dikişinin soğuma çevrimi sırasında "**Sıcak Çatlak**" oluşumu konusunda hassasiyet gösterirler. Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının kaynağında genellikle ana malzemeninkinden daha düşük ergime sıcaklığına sahip ve dayanımları ana malzemeninki ile aynı ya da daha düşük olan örneğin 4043 (577°C) veya 4145 (510°C) türü dolgu malzemeleri kullanılır. Ana metalin kaynak dikişine komşu bölgede bünyesinde düşük ergime sıcaklığına sahip katkı elementleri içermesine izin verilmesi ile banyonun katılma hızı artırılır,

soğuma sırasında ana metalde oluşan gerilmeler en aza indirilir ve tanelerarası çatlak oluşumu eğilimi büyük ölçüde azaltılır.

Al-Si (4XXX), Al-Mg (5XXX), Al-Cu (2XXX) ve AlMg₂Si (6XXX) serisi dört farklı alüminyum alaşımı üzerindeki kaynak metallere ait çatlama hassasiyetleri **Şekil-1'**de gösterilmektedir. Şekilde yeralan eğrilerden de anlaşıldığı gibi yüksek oranda silisyum (Si) ve magnezyum (Mg) içeren alüminyum alaşımları sahip oldukları düşük çatlama hassasiyeti sayesinde kolayca kaynak edilebilir.

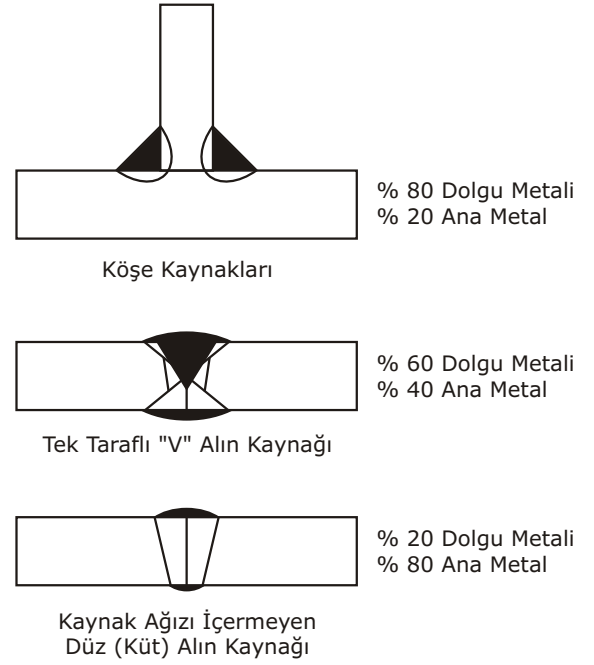
Isıl işlem uygulanabilen, örneğin % 6.3 Cu içeren 2219 gibi alaşımlar ise kendilerine yakın alaşımlar olan 2319 türü dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilir. 6XXX serisi alaşımlar, eğer kaynak metalinin kimyasal analizi ana metalinkine yakın ise, **Şekil-2'**de belirtilen düz alın kaynağı bağlantılarında çatlama karşı yüksek hassasiyet gösterirler. Bu tür alaşımlar, kaynak ağızı açılarak gerçekleştirilen bağlantıların kullanılması, dolayısı ile ana metal ile oluşturulan karışımda bulunan dolgu miktarının yükseltilmesi ile kolayca kaynak edilebilir. 6061 türü alüminyum alaşımlarının kaynağında ise kaynak metali en az % 50 oranında 4043 ya da % 70 oranında 5356 türü dolgu malzemesi içermelidir.



Şekil-1 (A) Al-Si (4XXX), (B) Al-Cu (2XXX), (C) Al-Mg (5XXX) ve (D) AlMg₂Si (6XXX) Serisi Dört Farklı Alüminyum Alaşımı Üzerindeki Kaynak Metallerine Ait Çatlama Hassasiyetleri

İçerisinde fazla miktarda ergimiş ana metal bulundurmeyen köşe kaynağı dikişlerinde bu oranların elde edilmesi mümkündür.

4145 türü dolgu malzemeleri, 2014 ve 2618 gibi 2XXX serisi alüminyum alaşımlarının, Al-Cu ve Al-Si-Cu türü döküm alüminyum alaşımlarının kaynağında çatlama karşı düşük hassasiyet sergilerler. 7XXX serisi alaşımların sahip olduğu yüksek çatlama hassasiyeti, içerdikleri bakır oranına bağlı olarak değişir. 7004, 7005 ve 7039 gibi düşük oranda bakır içeren alaşımlar 5356, 5183 ya da 5556 türü dolgu malzemeleri ile kaynak edilebilir. 7075 ya da 7178 gibi daha yüksek oranda bakır içeren alüminyum alaşımlarında ise ark kaynağı yöntemlerinin kullanılması uygun değildir.



Şekil-2 Kaynaklı Bağlantılarda Ana Metal ve Dolgu Metali Tarafından Oluşturulan Tipik Karışım Oranları

Yüksek oranda Si içeren 4XXX serisi dolgu malzemeleri yüksek oranda magnezyum içeren 5XXX serisi alaşımların kaynağında kullanılmamalıdır. Çünkü kaynak dikişinde oluşan magnezyum-silis ötektikleri tokluğun düşmesine ve çatlama hassasiyetinin yükselmesine neden olur. Yüksek miktarda magnezyum içeren bir yapının yüksek oranda bakır içeren bir yapı ile karıştırılması sonucunda oluşan alaşımlara ait kaynak bölgesinde de yine çatlama hassasiyeti artışı ve tokluk düşüşü gözlenir.

1.1.2 Çekme ve Kesme Dayanımı

Genellikle, çeşitli dolgu malzemeleri, kaynak edildikleri halleri ile, kabul edilebilir minimum mekanik özellikleri sağlamaya uygundur. Farklı dolgu malzemelerinin oluşturduğu kaynak metallerine ait tipik çekme dayanımları ve minimum kesme dayanımları **Tablo-3'**de verilmiştir.

Tablo-2 Genel Amaçlı Alüminyum Kaynağı Uygulamaları İçin Dolgu Metali Seçim Kılavuzu ^{a, b, c}

Ana Metaller	201.0 206.0 224.0	319.0 - 333.0 354.0 - 355.0 C355.0	356.0 - A356.0 357.0 - A357.0 413.0 - 443.0 A444.0	511.0 - 512.0 513.0 - 514.0 535.0	7004 - 7005 7039 - 701.0 712.0	6009 6010 6070	6005 - 6061 6063 - 6101 6151 - 6201 6351 - 6951	5456	5454
1060, 1070 1080, 1350	ER4145	ER4145	ER4043 ^{d,e}	ER5356 ^{e,f,g}	ER5356 ^{e,f,g}	ER4045 ^{d,e}	ER4043 ^e	ER5356 ^g	ER4043 ^{e,g}
1100, 3003 Alc. 3003	ER4145	ER4145	ER4043 ^{d,e}	ER5356 ^{e,f,g}	ER5356 ^{e,f,g}	ER4043 ^{d,e}	ER4043 ^e	ER5356 ^g	ER4043 ^{e,g}
2014, 2036	ER4145 ^h	ER4145 ^h	ER4145	-	-	ER4145	ER4145	-	-
2219	ER2319 ^d	ER4145 ^h	ER4145 ^{e,f}	ER4043 ^e	ER4043 ^e	ER4043 ^{d,e}	ER4043 ^{d,e}	-	ER4043 ^e
3004, Alc. 3004	-	ER4043 ^e	ER4043 ^e	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ	ER4043 ^e	ER4043 ^{e,i}	ER5356 ^g	ER5356 ⁱ
5005, 5050	-	ER4043 ^e	ER4043 ^e	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ	ER4043 ^e	ER4043 ^{e,i}	ER5356 ^g	ER5356 ⁱ
5052, 5652 ¹	-	ER4043 ^e	ER4043 ^{e,i}	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ	ER4043 ^e	ER5356 ^{f,i}	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ
5083	-	-	ER5356 ^{e,f,g}	ER5356 ^g	ER5183 ^g	-	ER5356 ^g	ER5183 ^g	ER5356 ^g
5086	-	-	ER5356 ^{e,f,g}	ER5356 ^g	ER5356 ^g	-	ER5356 ^g	ER5356 ^g	ER5356 ^g
5154, 5254 ¹	-	-	ER4043 ^{e,i}	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ	-	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ
5454	-	ER4043 ^e	ER4043 ^{e,i}	ER5356 ⁱ	ER5356 ⁱ	ER4043 ^e	ER5356 ^{f,i}	ER5356 ⁱ	ER5554 ^{h,i}
5456	-	-	ER5356 ^{e,f,g}	ER5356 ^g	ER5556 ^g	-	ER5356 ^g	ER5556 ^g	-
6005, 6061, 6063 6101, 6151, 6201 6351, 6951	ER4145	ER4145 ^{e,f}	ER4043 ^{e,i,j}	ER5356 ⁱ	ER5356 ^{e,f,i}	ER4043 ^{d,e,j}	ER4043 ^{e,i,j}	-	-
6009, 6010, 6070	ER4145	ER4145 ^{e,f}	ER4043 ^{d,e,j}	ER4043 ^e	ER4043 ^e	ER4043 ^{e,i,j}	-	-	-
7004, 7005, 7039 710.0, 712.0	-	ER4043 ^e	ER4043 ^{e,i}	ER5356 ⁱ	ER5356 ^g	-	-	-	-
511.0, 512.0, 513.0 514.0, 535.0	-	-	ER4043 ^{e,i}	ER5356 ⁱ	-	-	-	-	-
356.0, A356.0 357.0, A357.0 413.0, 443.0 A444.0	ER4145	ER4145 ^{e,f}	ER4043 ^{e,k}	-	-	-	-	-	-
319.0, 333.0, 354.0 355.0, C355.0	ER4145 ^h	ER4145 ^{e,f,k}	-	-	-	-	-	-	-
201.0, 206.0, 224.0	ER2319 ^{d,k}	-	-	-	-	-	-	-	-

- a. Tatlı su ya da tuzlu su içinde bulunmayı, özel kimyasallardan etkilenmeyi ve sürekli olarak 66°C'ın üzerindeki yüksek sıcaklıklarında çalışmayı gerektiren servis şartları, dolgu malzemesi seçimine kısıtlamalar getirebilir. ER5183, ER5356, ER5556 ve ER5654 türü dolgu malzemeleri yüksek çalışma sıcaklığına sahip ortamlarda kullanılmamalıdır.
- b. Bu tabloda yeralan dolgu malzemesi seçimi ile ilgili öneriler koruyucu gaz ile gerçekleştirilen ark kaynağı uygulamaları için geçerlidir.
- c. Eğer herhangi bir dolgu malzemesi belirtilmemiş ise sözkonusu ana metale ya da metallere ait bağlantılar kaynak edilmeye uygun değildir.
- d. Bazı uygulamalarda ER4145 türü dolgu malzemeleri kullanılabilir.
- e. Bazı uygulamalarda ER4047 türü dolgu malzemeleri kullanılabilir.
- f. Bazı uygulamalarda ER4043 türü dolgu malzemeleri kullanılabilir.
- g. ER5183, ER5356 ya da ER5556 türü dolgu malzemelerinden herhangi biri kullanılabilir.

Tablo-3 Alüminyum Dolgu Metallerine ait Tipik Kesme ve Çekme Dayanımı Değerleri (Herhangi Bir Isıl İşlem Uygulanmamıştır)

Dolgu Alaşımı	Kesme Dayanımı (min) (kg/mm ²)	Çekme Dayanımı (kg/mm ²)
1100	5.2	9.3
2319	11.0	25.8
4043	7.9	20.0
5183	12.8	28.3
5356	11.7	26.2
5554	11.7	23.0
5556	13.8	29.0

Isıl işlem uygulanabilen yapıdaki bir alaşımdan oluşan kaynak dikişine eğer kaynak işleminden sonra ısıl işlem uygulanacaksa, dolgu metali seçimi aşamasında bazı sınırlamalarla karşılaşılır. 2219 ve 2014 alaşımlarının kaynağında ısıl işlem uygulanabilen türdeki 2319 türü dolgu malzemeleri en yüksek dayanımın elde edilmesine olanak sağlar. Genellikle, dolgu malzemeleri ısıl işlem gerçekleştirmeye uygun bir kimyasal analize sahip değildir ya da ısıl işlem uygulanarak dayanımın yükseltilmesi konusunda düşük hassasiyet gösterirler. Örneğin kalınlığı 12 mm'nin altındaki 6061-T6 türü bir parçanın 4043 tipi dolgu malzemesi ile kaynağı sırasında, 6061 alaşımı içinde bulunan magnezyum, kaynak metalinin içerisine magnezyum-silisid oluşturmaya yetecek ve ısıl işleme olumlu cevap verebilecek bir oranda göç eder. Daha kalın kesitli ve ağız açısı daha geniş kaynak dikişleri ile çalışılması durumunda ise magnezyumun kaynağın merkezine doğru yayılması önlenir ve bunun sonucunda da kaynak sonrası uygulanacak olan bir ısıl işlemde daha az hatta bazen tamamen olumsuz bir sonuç alınır. 76 mm kalınlığındaki 6061 türü alaşımlar üzerinde 4643 tipi dolgu malzemeleri ile oluşturulan kaynak dikişlerine kaynaktan sonra ısıl işlem ve yaşlandırma ısıl işlemi uygulandığında 440 N/mm² değerinde bir kopma dayanımı elde edilir ve bu da 6061-T6 orijinal alaşımının sahip olduğu dayanıma çok yakındır. Bunun başlıca nedeni, 4643 tipi dolgu malzemelerinin yapısında yeterli miktarda magnezyum içeriyor olmasıdır.

Köşe kaynaklarının sahip olduğu dayanım, kullanılan dolgu metalinin analizi ve **Tablo-2'**de listelenen minimum kesme dayanımı değerleri ile yakından ilgilidir. 5356, 5183 ve 5556 türü dolgu malzemeleri konstrüksiyona yönelik köşe kaynağı uygulamalarında kesme gerilmelerine karşı yüksek dayanım sağlar.

1XXX ve 5XXX serisi dolgu malzemeleri yüksek tokluğa sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesine olanak sağlar ve bunlar kaynak bölgesinde şekil verme, eğme/bükme ya da kaynak sonrası mukavemet arttırma işlemlerinin uygulanacağı durumlarda tercih edilir.

1.1.3

Yüksek ve Düşük Çalışma Sıcaklıkları

5183, 5356, 5556 ve 5654 gibi % 3'ün üzerinde Mg içeren alüminyum dolgu metallerinin 66°C'ın üzerindeki sıcaklıklarda çalışacak olan uygulamalarda kullanılması gerilmeli korozyona karşı hassas bir yapının oluşmasına neden olacağı için sakıncalıdır. Kaynaktan sonra gerçekleştirilen uzun süreli yaşlandırma ısıl işlemlerinde de bu konuya mutlaka dikkat edilmelidir.

Tablo-1'de listelenen 5554 türü dolgu metalleri ve diğer gruplardaki bütün dolgu malzemeleri yüksek servis sıcaklıklarında kullanılmaya uygundur. Bunun yanında bütün alüminyum dolgu malzemeleri dondurucu özelliğe sahip olan ve krayojenik olarak adlandırılan çalışma ortamlarında kullanılabilir.

1.1.4

Korozyon Dayanımı

Bazı kimyasallarla birlikte çalışan ve korozif ortamlarda kullanılan bağlantıların, kazanların, depoların ve tankerlerin kaynağında özel dolgu malzemelerinin kullanılması gerekebilir. 1060 türü alüminyum alaşımından üretilen kazanların kaynağında kullanılan ve yüksek saflığa sahip olan 1188 türü dolgu malzemeleri ve bazı alaşım elementlerinin limit değerlerde tutulduğu dolgu malzemeleri bunlara örnek olarak verilebilir. 5254 türü alaşımdan imal edilen alüminyum

plakalarda ve 5654 tipi dolgu malzemelerinde bakır (Cu) ve mangan (Mn) içerikleri belirli sınırların altında tutulmakta ve bu sayede içerisinde hidrojen peroksit bulunan çalışma şartlarına karşı yüksek dayanım elde edilmektedir.

Al-Mg türü dolgu malzemeleri kendileri ile benzer oranda magnezyum içeren ana metallerin kaynağında kullanıldığı zaman genel korozyon şartlarına karşı yüksek dayanım gösterirler. Ancak bunun yanında, 5XXX serisi dolgu malzemelerinin 1XXX, 3XXX ve 6XXX serisi ana metallerin kaynağında kullanılması durumunda anodik etki oluşabilir. Sulu ortamlardaki çalışma şartlarında, ana metal üzerinde herhangi bir olumsuz etki oluşmazken, kaynak metali, kendisi ile ana metalin elektrik potansiyelleri arasındaki farka göre değişen hızlarda karıncalanabilir ya da korozyona uğrayabilir. Bu nedenle, sulu ortamlarda çalışacak olan kalın kesitli 6061 türü ana metallerin 5356 tipi dolgu malzemeleri ile gerçekleştirilen kaynaklı bağlantılarının son pasolarında, kaynak dikişinin korozyon dayanımını arttırmak amacıyla 4043 ya da 4047 gibi Al-Si esaslı dolgu malzemeleri kullanılmalıdır.

1.1.5 Renk Uyumu

Ana metal ile kaynak metali arasındaki renk uyumu özellikle mimari ya da dekorasyona yönelik uygulamalarda kullanılan ve son olarak parça geneline kimyasal veya elektrokimyasal bir işlem uygulanan kaynak bağlantılarında aranan bir özelliktir. Elde edilen son renk, dolgu metalinin alaşımına ve ana metalde yer alan özel elementlerin kaynak dikişi içerisinde ne oranda bulunduğuyla bağlıdır. Bu konuyu yakından etkileyen iki element silisyum (Si) ve krom (Cr)'dur.

Silisyum miktarının yükselmesi ile renk griden beyaza doğru değişir. Al-Si dolgu malzemeleri ile gerçekleştirilen kaynak dikişleri, Al-Si kaplı malzemeler ya da Al-Si döküm alaşımları dışında kalan bütün ana metaller üzerinde keskin bir renk kontrastı oluşturur.

Krom elementi, anodlama işlemi sonrasında, rengin sarıya ya da altın rengine dönmesine neden olur. Bu nedenle ana metaldekine yakın oranda krom içeren 5XXX serisi dolgu malzemeleri sık tercih edilen dolgu metallere aittir. Alüminyumun alaşımında bulunan bakır (Cu) ve mangan (Mn) ise dikiş renginde hafif bir kararmaya neden olur.

1188 türü dolgu malzemeleri ile gerçekleştirilen kaynak dikişleri, 1XXX serisi ve hatta 3003, 5005 ve 5050 türü alaşımlar üzerinde iyi bir renk uyumu sergiler. 5356 türü dolgu malzemeleri ise 5XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımları üzerinde gerçekleştirilen ve renk uyumu aranan kaynak uygulamaları için iyi bir seçimdir.

1.2 ALÜMİNYUM ve ALAŞIMLARININ KAYNAĞINDA KULLANILAN KAYNAK TELLERİ

a) ER1100 :

1XXX serisi alaşımlar en yumuşak kaynak tellerinin imal edilmesinde kullanılırlar ve tel sürme işleminin sorunsuz olması için özel dikkat ve önlem gerektirirler. Elektrik ve kimya endüstrisindeki uygulamalarda, genellikle düşük alaşım elementi içeren hatta hiçbir alaşım elementi içermeyen yüksek saflığa sahip malzemeler ve kaynak ürünleri tercih edilmektedir. ER1100 tipindeki kaynak ürünleri yapılarında düşük oranda bakır (Cu) içerseler bile yukarıda adı geçen endüstri alanlarındaki birçok uygulamada sorunsuz olarak kullanılabilirler.

b) ER4043 ve ER4047 :

ER4043 türü kaynak ürünleri, özellikle 6XXX serisi alaşımları içeren ve ısı işlem uygulanabilen malzemelerin kaynağı için geliştirilmiştir. 5XXX serisi kaynak ürünleri ile karşılaştırıldığında ergime sıcaklığının daha düşük ve akışkanlığının ise daha yüksek olduğu görülür.

ER4043 türü kaynak ürünleri, 6XXX serisi malzemelerin kaynağında, dikişte çatlak oluşumuna karşı gösterdikleri düşük duyarlılık nedeniyle birçok kaynakçı tarafından özellikle tercih edilmektedir. Buna karşın AlMg esaslı 5083, 5086 ve 5456 türü malzemelerin kaynağında kullanılmaya uygun değildir. Çünkü bu tellerin kullanımı sonucu kaynak bölgesinde oluşan Mg₂Si sünekliği azaltır ve çatlama eğilimini yükseltir.

ER4047 türü kaynak ürünleri, sahip oldukları daha düşük ergime dereceleri ve daha yüksek akışkanlık özellikleri nedeniyle özellikle sert lehim kaynağı uygulamalarında kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Ancak günümüzde bu ürünler "MIG" ve "TIG" kaynağı uygulamalarında da kullanılmaktadır.

ER4047 türü kaynak ürünleri, kaynak metalindeki Si içeriğinin yükseltilerek sıcak çatlama riskinin en aza indirilmesi hedeflenen durumlarda ER4043 türü ürünlerin yerine kullanılabilir. Bütün ER4XXX serisi kaynak malzemeleri 66°C gibi alüminyum için yüksek sayılabilecek servis sıcaklıklarında kullanılabilir.

c) ER5183, ER5356

ER5554, ER5556 ve ER5058 :

Bu gruba giren kaynak ürünleri 5XXX serisi malzemelerin birbirleri ile veya diğer alaşımlarla kaynak edilmesinde kullanılır. Yüksek sertlik ve dayanım özellikleri nedeniyle 5XXX serisi kaynak ürünleri MIG kaynağı uygulamalarında ER4043 ve ER4047 kaynak ürünlerine oranla daha iyi bir tel sürme kabiliyeti sergilerler.

ER5356, 5XXX serisi dolgu malzemeleri içinde en yoğun kullanılanıdır. Her çeşit 5XXX türü malzemenin kaynağına uygundur. Ancak 276 N/mm² ve üzerinde çekme dayanımı istenen ve 5XXX grubuna giren 5083 veya 5654 türündeki yüksek dayanıma sahip malzemelerin kaynak bağlantılarında ER5356 kullanımı ile yeterli mekanik dayanım elde edilemez. ER5356'nın kabul edilebilen en düşük çekme dayanımını sağlayamadığı bu gibi durumlarda

ER5183, ER5556 ya da ER5087 türünde bir kaynak ürününün tercih edilmesi daha doğru olacaktır. Çünkü yüksek oranda Mn, Mg ve Zr içeren bu alaşımlar 5XXX serisi malzemelerin kaynağında aranan minimum çekme dayanımını sağlamaya oldukça elverişlidir.

ER5356, ER5556, ER5183 ve ER5087 türündeki kaynak ürünleri 5XXX serisi malzemelerin 6XXX serisi ve kaynak edilebilen türdeki 7XXX serisi malzemelerle kaynağına uygundur. Buna karşın yapılarında % 3'ün üzerinde Mg içerdikleri için, gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassasiyet gösterdikleri ve beklenmedik anlarda erken hasarlarla karşılaşılmasına neden oldukları için çalışma sıcaklığı 66°C'a ulaşan ortamlardaki uygulamalarda bu alaşımların kullanılması sakıncalıdır. Bu gruba giren kaynak alaşımları, bazı özel nedenlerden dolayı yapılması zorunlu olan kaynak sonrası gerilme giderme veya yaşlandırma ısıl işlemlerinin uygulanmasına da elverişli değildir.

1.3

4043 ve 5356 TÜRÜ DOLGU METALLERİ ARASINDA EN DOĞRU SEÇİMİN YAPILMASI

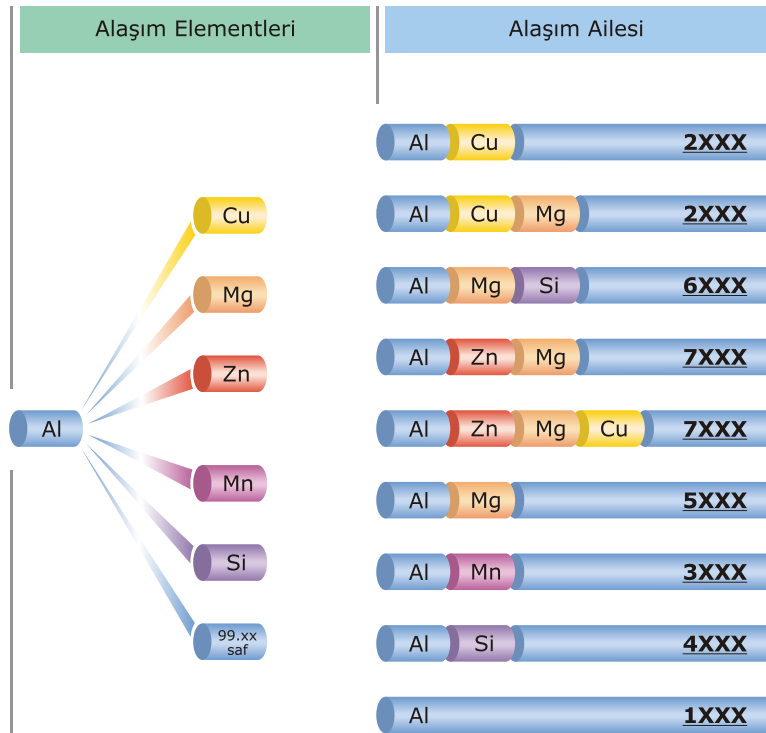
4043 özellikle 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynağı için tasarlanmıştır. Bu ürün aynı zamanda 3XXX ve 2XXX serisi alüminyum alaşımlarının kaynağında da kullanılabilir. 4043'ün ergime noktası 5356'nıkinden daha düşük olmakla birlikte akışkanlığı 5356'nıkinden oranla daha fazladır. Bu özelliğinden, yani ana metali daha iyi ıslatması ve daha akışkan olmasından ve 6XXX serisi ana malzemelerde kaynak çatlağı oluşturma hassasiyetinin 5356'ya oranla daha düşük olmasından dolayı kaynakçıların büyük bir çoğunluğu uygulamalarda 4043 kullanımını tercih etmektedir.

4043 döküm alüminyumların kaynağında da kullanılabilir. 4043 magnezyum (Mg) içermediği için yüzeyinde daha az is lekeli barındıran ve dolayısı ile daha parlak görümlü MIG kaynağı dikişlerinin elde edilmesine de olanak sağlar.

4043 ile elde edilen kaynak dikişinin nüfuziyeti 5356 ile elde edilen kaynak dikişlerine oranla daha fazladır. Ancak kaynak dikişinin sünekliği 5356'nınkine oranla daha düşüktür. Bunun yanında 4043 türü dolgu malzemeleri Al-Mg türü alüminyum alaşımlarının kaynağına pek uygun değildir ve 5083, 5086 ya da 5456 gibi yüksek oranda magnezyum (Mg) içeren alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılmamalıdır. Bunun temel nedeni ise kaynak dikişinin metalurjik yapısında oluşan ve sünekliği azaltarak çatlama hassasiyetini yükselten yoğun miktardaki magnezyum silikat (Mg_2Si) oluşumudur (5052 türü alüminyum alaşımları ise düşük oranda magnezyum içerdikleri için bu kuralın dışında kalır).

5356 tipi kaynak telleri sahip oldukları yüksek mukavemet özellikleri ve MIG kaynağı sırasındaki tel besleme kabiliyetlerinin iyi olması nedeni ile bütün alüminyum dolgu malzemeleri içerisinde en sık kullanılan alaşım tipi haline gelmiştir. Bunlar 5XXX

serisi yapısal (inşaatlarda kullanılan) alüminyum alaşımların ve 6XXX serisi ekstrüzyon yöntemi ile üretilen alüminyum alaşımlarının kaynağında kullanılmak üzere üretilmiştir. Yani genelde döküm yöntemi ile üretilen alüminyum alaşımlarının dışında kalan hemen hemen her tür alüminyum ve alaşımının kaynağında kullanılırlar. Döküm alüminyumlarında kullanılmamasının temel nedeni döküm yoluyla üretilen malzemelerin çok yüksek oranlarda silisyum (Si) içermesidir. 5356 için belirtilen bu genel kuralın dışında kalan tek sınırlama, 5356'nın $66^{\circ}C$ 'ı geçen çalışma sıcaklıkları için uygun olmamasıdır. Çünkü yüksek sıcaklıklarda tane sınırlarında Al_2Mg oluşması alaşımı gerilmeli korozyona karşı zayıf hale getirir. Kaynaktan sonra anodlama işlemi uygulanacak olan parçalarda, eğer kaynak işlemi 4043 ile yapılmışsa, en üst pasonun (kapak pasosunun) 5356 ile gerçekleştirilmesi önerilir. Çünkü 5356 ile çekilen kaynak dikişinin yüzeyi anodlama işlemi sırasında koyu siyaha dönüşerek parça geneli ile mükemmel bir renk uyumu sağlanır.



BÖLÜM 2.0

ALÜMİNYUMUN KAYNAĞI İLE İLGİLİ SIK SORULAN SORULAR

Alüminyum sağladığı birçok avantajdan dolayı günümüzde çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Alüminyum hafif bir malzeme olup ağırlığı çeliğin yaklaşık olarak 1/3'ü kadardır, elektrik iletkenliği mükemmeldir ve çelikten daha yüksek korozyon dayanımına sahiptir. Gelişimi ve kullanımı her geçen gün hızlanarak arttığı ve yaygınlaştığı için özellikle çelik kaynağı yapan kullanıcılar, alüminyumun kaynağında yapılması ve yapılmaması gereken konular hakkında daha detaylı bilgi edinme gereksinimi duymaya başlamıştır.

Aşağıda alüminyumun kaynağı ile ilgili sıkça sorulan bazı sorular ve uzmanlar tarafından bu sorulara verilen cevaplar yer almaktadır.

1. 7075 türü alüminyum alaşımı nasıl kaynak edilir ?

Alüminyum alaşımlarının büyük bir çoğunluğu kaynak edilebilir, ancak çok az bir bölümü kaynak edilemez olarak kabul edilir. 7075 kaynak edilemeyen alüminyum alaşımlarından biridir. 7075'in örnek olarak seçilmesinin temel nedeni kendisinin en yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarından biri olmasıdır. Kaynakçılar ve tasarımcılar alüminyum konusunda bir seçim yapacağı zaman genellikle her tür

alüminyum alaşımını ve bunlara ait mekanik değerleri içeren tablolara bakarak karar verir. Ancak gerekli tecrübeye sahip olmayanların gözardı ettiği konu yüksek dayanıma sahip özellikle 7XXX ve 2XXX serisi alüminyum alaşımlarının sadece çok az bir bölümünün kaynak edilebildiği gerçeğidir ve bu yüzden bu gruba giren alaşımların tasarımlarda sık olarak kullanılmamasında yarar vardır.

7075'in kaynak edilmemesi kuralının dışında kalan tek istisna enjeksiyon döküm yöntemi ile üretim yapan endüstrilerdir. Bu konuda faaliyet gösteren tesislerde bulunan ve 7075 türü malzemeden üretilen kalıpların onarımında kaynak yöntemi kullanılabilir ancak, konstrüksiyona yönelik birleştirme uygulamalarında kesinlikle kaynak yöntemine başvurulmamalıdır.

Birçok uzman yüksek dayanıma sahip alüminyumdan tasarlanması gereken herhangi bir konstrüksiyonun inşasında 2XXX ya da 7XXX serilerinin yerine 5XXX serisi yüksek magnezyum içeren alüminyum alaşımının kullanılmasını önermektedir. 5XXX serisi alaşımlar kaynak edilebilir ve kaynaklı uygulamalarda en iyi sonucu verir.

2. Alüminyum Kaynak Dikişinin Dayanımı Ana Malzemenin Dayanımından Neden Daha Azdır ?

Çeliklerin kaynağında, kaynak dikişi ana malzeme ile eşit derecede dayanıma sahiptir, ancak bu durum alüminyumun kaynağı için geçerli değildir. Hemen hemen bütün örneklerde, kaynak dikişinin dayanımı ana malzemeninkinden daha düşüktür.

Bu durumun neden oluştuğunu daha iyi anlamak için iki temel sınıf alüminyum alaşımına kısa bir göz atmakta yarar vardır. Bunlar ısıtılabilir ve ısıtılmayan alüminyum alaşımlarıdır. Bunlardan ikincisi sadece metalde fiziksel değişimlere neden olan soğuk deformasyon yöntemi uygulanarak sertleştirilebilir. Alaşıma ne kadar fazla soğuk deformasyon uygulanırsa dayanımı o kadar artar.

Ancak daha önce soğuk deformasyon uygulanmış bir alüminyum alaşımını kaynak ederken kaynak dikişinin etrafındaki bölgeye lokal olarak yaşlandırma işlemi uygulanmış olunur ve bunun sonucunda malzeme O-temperleme (yaşlandırma) şartına geri döner ve yumuşak bir hal alır. Bu nedenle ısıtılabilir uygulanamayan alüminyum alaşımlarında ana malzeme ile aynı dayanıma sahip kaynak dikişlerinin elde edilebileceği tek zaman malzeme O-temperlenmiş durumda iken kaynak işlemine başlandığı andır.

Isıtılabilir uygulanabilen alüminyum alaşımlarında, son ısıtılabilir aşamasında ana metal yaklaşık olarak 200°C'a kadar ısınır. Ancak kaynak yaparken, kaynak dikişine komşu olan bölgenin sıcaklığı 200°C'ın üstüne çıkar ve buna bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerinde bir miktar azalma eğilimi görülür. Bu nedenle, eğer operatör kaynak işleminden sonra parçaya ısıtılabilir uygulanmazsa kaynak dikişinin yakınındaki bölgenin dayanımı alüminyumun genelindeki dayanımdan belirgin bir derecede (%30-40 kadar) daha düşük olur. Eğer operatör kaynak sonrasında ısıtılabilir uygulanırsa, ısıtılabilir uygulanabilen alüminyum alaşımlarının özellikleri geliştirilebilir.

3. Alüminyum ve Alaşımlarının Kaynağında Hangi Tipteki Koruyucu Gazlar Kullanılmalıdır ?

12 mm kalınlığa kadarki alüminyum malzemelerin TIG ve MIG kaynağı yöntemlerinde koruyucu gaz olarak saf argon gazı kullanılır. 12 mm'nin üstündeki kalınlıklarda ise kullanıcılar daha yüksek ısıya sahip bir ark elde etmek ve kaynak nüfuziyetini arttırmak için argonun yanına % 25'den % 75'e kadar değişebilen oranlarda helyum gazı ilave edebilir. Argon gazı helyum gazına oranla daha yüksek temizleme etkisi sağladığı için en uygun gaz olma niteliğine sahiptir ve ayrıca helyum gazından daha ucuzdur.

Alüminyum ve alaşımlarının kaynağında koruyucu gaz olarak içerisinde oksijen ve karbondioksit bulunduran karışım gazları kesinlikle kullanılmamalıdır. Bunun temel nedeni oksijen ve karbondioksitin alüminyum hızla bir şekilde okside etmesidir.

4. Alüminyumun TIG Yöntemi ile Kaynağında Hangi Tip Elektrodlar Kullanılmalıdır ?

Çeliğin de dahil olduğu birçok malzemenin TIG kaynağında % 2 toryum ile alaşımlandırılmış tungsten kaynak elektrodlarının kullanılması önerilir. Ancak alüminyumun kaynağında AC akım kullanımı DC akım kullanımına oranla daha çok tercih edildiği için elektriksel karakteristikler farklıdır ve tungsten elektroda yüklenen enerji miktarı AC kaynak uygulamalarında daha yüksektir. Bu nedenden dolayı, alüminyumun kaynağında, saf tungsten elektrodlar ya da zirkonyum ile alaşımlandırılmış elektrodlar önerilmektedir.

Bunun yanında, AC kaynak uygulamalarında kullanılan elektrod çapları, DC uygulamalarda kullanılan elektrod çaplarından belirgin derecede daha kalındır. Kaynak sırasında en az 3.2 mm kalınlığındaki

elektrodların kullanılması ve ihtiyaca göre bu çapın ayarlanması önerilir. Zirkonyum ile alaşımlandırılmış olan tungsten elektrodlar saf tungsten elektrodla oranla daha fazla akım taşıyabilir. AC kaynağın sağladığı bir diğer avantaj da bu yöntemde yuvarlatılmış uçlu elektrodların kullanılmasıdır. Sivri uçlu elektrodlarda ise ark sapma eğilimi gösterir.

5. Alüminyum ve Alaşımlarını Kaynak Ederken Ne Kadar Öntav Sıcaklığı Uygulanmalıdır ?

Düşük dereceli bir öntav uygulaması yararlı iken, çok yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen bir öntav uygulaması alüminyumun mekanik özelliklerini azaltabilir.

Daha önce de belirtildiği gibi, ısı işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarındaki son ısı işlem aşaması sıcaklığı 200°C seviyesindedir. Dolayısı ile eğer kaynakçı alüminyuma 330°C düzeyinde bir öntav uygular ve bu sıcaklığı kaynak işlemi süresince korursa alüminyumun mekanik özellikleri değişir.

5XXX serisi gibi ısı işlem uygulanamayan alüminyum alaşımlarında eğer kaynakçı sıcaklığı 100°C seviyesinde tutarsa, malzemeyi gerilmeli korozyon çatlama-sına karşı hassas bir hale getirir. Birçok durumda, yüzeydeki nemi kurutarak parçadan uzaklaştırmak amacıyla bir miktar öntav uygulanması kabul edilebilir, ancak bu durumda öntav sıcaklığı sınırlı bir seviyede tutulmalıdır.

Deneyimsiz alüminyum kaynakçıların büyük bir çoğunluğu öntavı bir can simidi olarak kullanır. Alüminyumun kaynağında kullanılan makina ve donanımlar yüksek kapasitelerde çalışmayı gerektirdiği için çoğu kaynakçı uygulanacak olan bir öntavın donanıma ait sınırlamaları giderme konusunda kendisine yardımcı olacağını düşünür, ancak bu kesinlikle bir kural olarak kabul edilemez. Alüminyumun erime noktası (650°C) çeliğinkinden (1425-

1480°C) daha düşüktür. Bu düşük ergime noktasından dolayı birçok kaynakçı düşük güce sahip donanımların alüminyumun kaynağı için yeterli olacağını zanneder. Ancak alüminyumun ısı iletkenlik özelliğinin çeliğinkinden 5 kat daha yüksek olduğu unutulmamalıdır. Bu durum ise, oluşan ısının çok hızlı bir şekilde dağılacığı anlamına gelmektedir. Bu yüzden alüminyumun kaynağı için gerekli olan kaynak akımı ve kaynak voltajı çeliğin kaynağı için gereken olan değerlerden daha yüksektir, yani kaynakçılar aslında daha yüksek güce sahip donanımlara gereksinim duyarlar.

6. Alüminyum Kaynak Dikişleri İçin En Uygun Gerilim Giderme Uygulaması Hangisidir ?

Kaynak yaparken, ergimiş metalin katılaşma sırasında büzülerek kendini çekmesi nedeniyle kaynak dikişinin yakın çevresinde kalıntı gerilmeleri oluşur. Daha sonra kaynakçı kaynak ettiği parçayı talaş kaldırarak işleme başladığında parça çarpılma eğilimi gösterir ve boyutsal kararsızlıkların meydana geldiği farkedilir. Çeliklerde bu sorunu gidermek için, kaynakçı malzemeye gerilme giderme ısı işlemi uygular ve alüminyum atomlarının bölgede hareket edebileceği bir sıcaklığa ulaşıncaya kadar parçayı ısıtır.

Çeliklere uygulanan gerilim giderme sıcaklığı yaklaşık olarak 565-600°C arasındadır. Alüminyum için uygun gerilim giderme sıcaklığı ise 340°C'dir. Yani kaynaktan sonra etkin bir gerilim giderme gerçekleştirebilmek için alüminyum malzeme mekanik özelliklerini kaybedinceye kadar ısıtılmış olmalıdır. Bu nedenle kaynaktan sonra alüminyuma gerilim giderme tavlama yapılması önerilmez.

7.

Farklı Alüminyum Alaşımları Nasıl Ayırt Edilir ?

Oldukça çok sayıda farklı tip alüminyum alaşımı vardır ve düzgün ve sağlıklı bir kaynak için hangi alaşım türünün kaynak edildiğinin bilinmesi önemlidir. Kaynakçı eğer alaşımın tipini bilmiyorsa aşağıda belirtilen kriterlere göre bir tahminde bulunabilir.

- a) Ekstrüzyon yolu ile üretilen çekme alüminyumlar genellikle 6XXX serisi alaşımlardır.
- b) Döküm parçalar genellikle alüminyum/silisyum (Al/Si) dökümleridir. Bu alaşımların bazıları kaynak edilebilir, bazıları ise kaynak edilemez.
- c) Şerit levhalar, plakalar ya da çubuklar büyük olasılıkla 5XXX ve 6XXX serisi alaşımlardır.

Eğer alaşımın cinsi hakkında kesin bir bilgiye ulaşmak isteniyorsa, alaşımın tam analizinin belirlenmesinde kullanıcıya büyük kolaylık sağlayan bir cihaz satın alınabilir.

8.

Farklı Kalınlığa Sahip İki Alüminyum Alaşımı TIG Yöntemi ile Nasıl Kaynak Edilir ?

Bir kaynakçı iki farklı kalınlığa sahip parçayı kaynak ederken kaynak parametrelerini kalın parçanın kaynağı için yeterli olacak seviyede ayarlamalı ve kaynak sırasında meydana gelen ısının büyük bir bölümünü kalın parça üzerinde yoğunlaştırmalıdır.

BÖLÜM 3.0

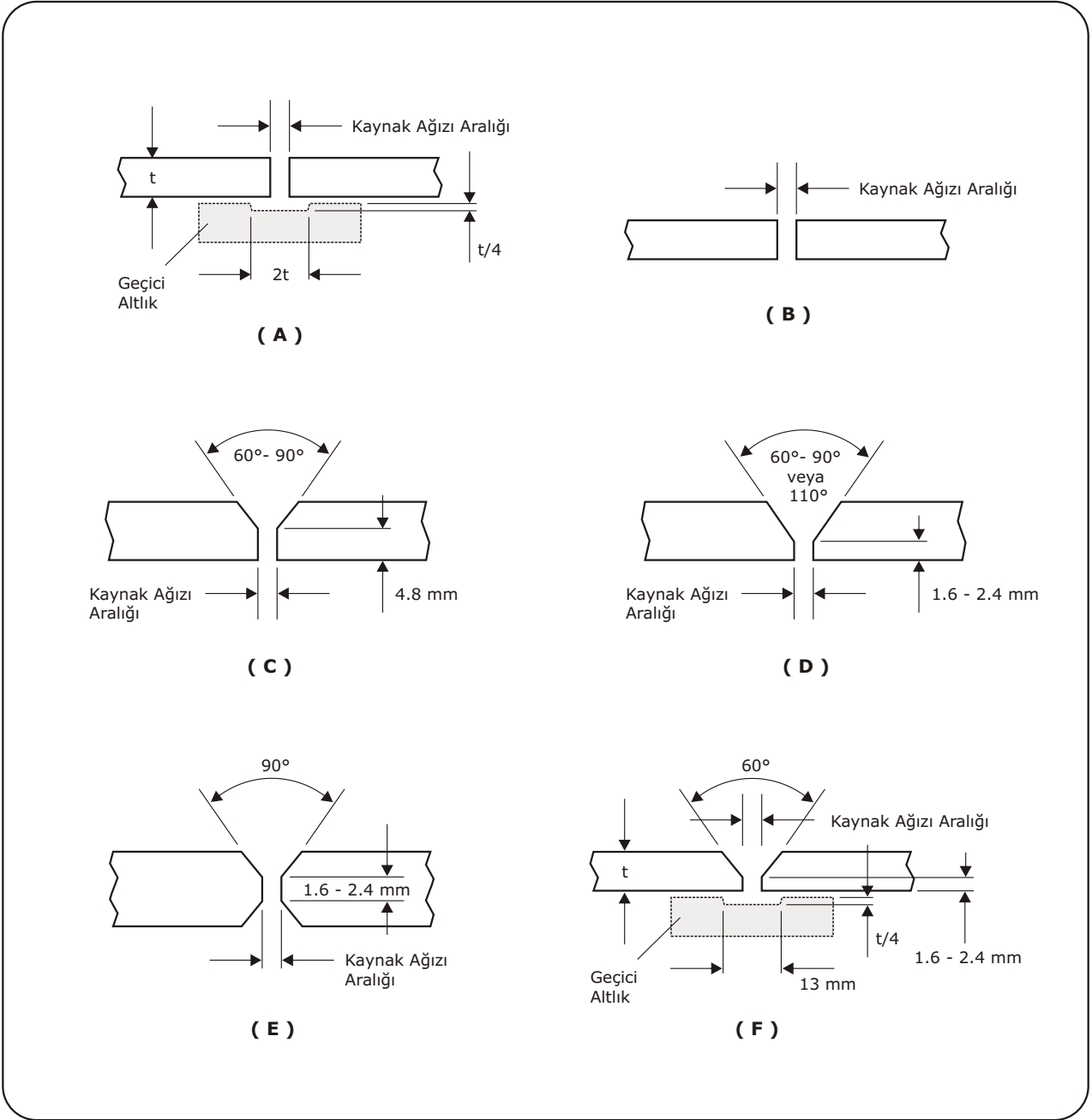
KAYNAK AĞIZI ŞEKİLLERİ

Alüminyumun ark kaynağı için önerilen bağlantı şekilleri çeliklerinki ile benzer özellikler taşımaktadır. Ancak çeliklerle ile karşılaştırıldığında, alüminyum bağlantılarında kullanılan kaynak ağızlarının kök açıklıklarının daha az, ağız açılarının ise daha geniş olduğu görülür. Alüminyumun çeliğe göre daha akışkan olması ve daha geniş kaynak torcu nozüllerinin kullanılması bu farklılığın temel nedenidir. Alüminyumun kaynağında kullanılan tipik bağlantı şekilleri **Şekil-3'**de gösterilmiştir.

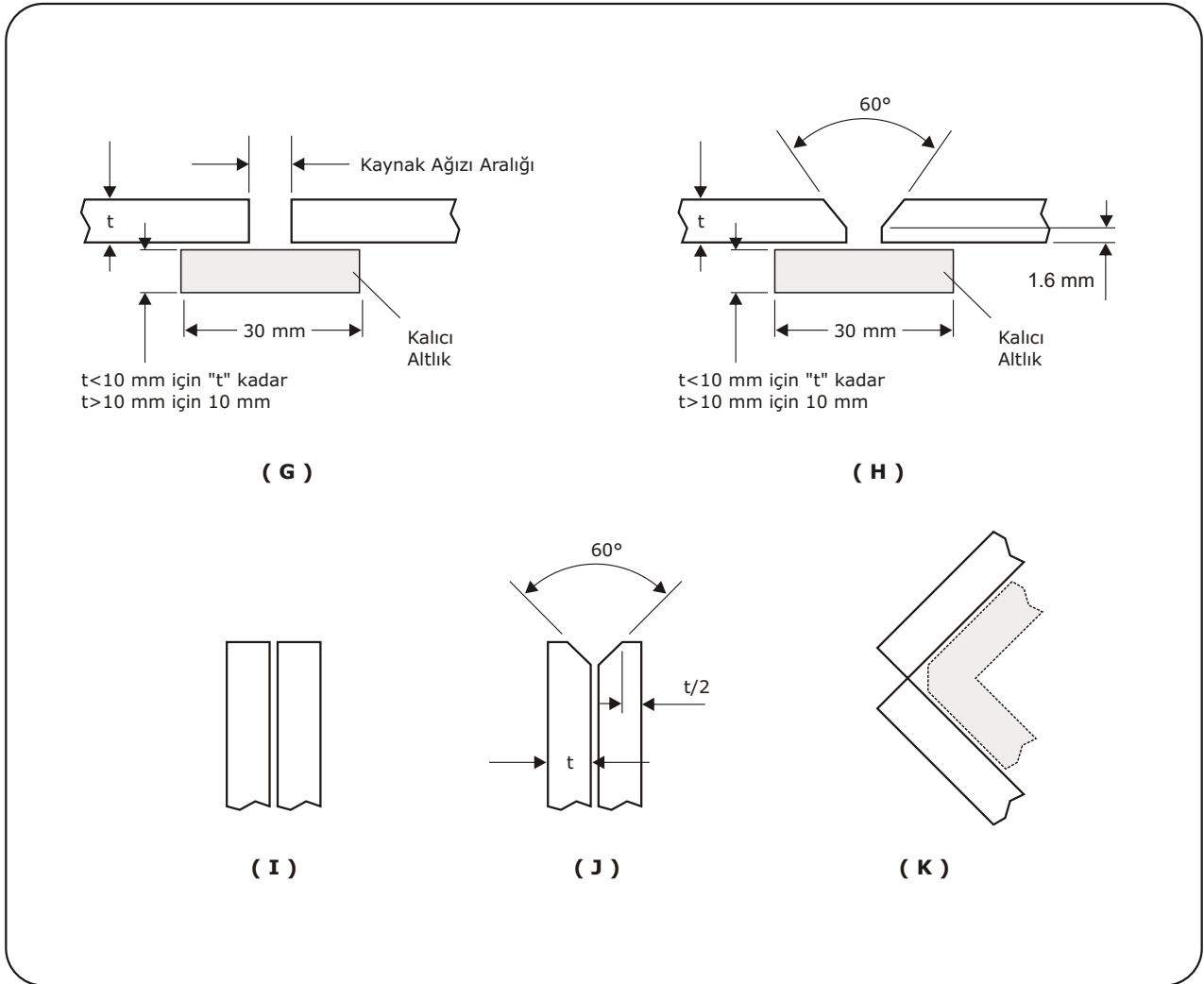
Şekil-3'de gösterilen özel bağlantı tipleri sadece tek taraftan ulaşılarak gerçekleştirilebilen ve çok düzgün bir kök yüzeyinin elde edilmesi istenen TIG ve MIG kaynağı uygulamaları için önerilmektedir. Bu tasarımın tam bir bağlantı nüfuziyetinin elde edilmesi konusunda göstereceği başarı kaynak metalinin sahip olduğu yüzey gerilimine bağlıdır. Bu tür kaynak ağızları 3 mm'den daha kalın kesitli parçalar üzerinde gerçekleştirilen bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. Kaynak ağızlarının ön kesitleri ilk kaynak pasosunda tam bir bağlantı nüfuziyetinin elde edilmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tür kaynak ağızı tasarımlarının konvansiyonel kaynak ağızlarına oranla daha geniş olduğu ve dolayısı ile bağlantı bölgesini doldurmak için daha fazla dolgu metali kullanımı gerektirdiği unutulmamalıdır. Tüm bunlar çarpılma riskini de arttırıcı bir etki yaratmaktadır. Alüminyum borular üzerinde gerçekleştirilen dairesel kaynak işlemleri bu tür kaynak ağızlarının en çok kullanıldığı uygulamalardır.

"V" profilli kaynak ağızı tasarımları her iki taraftan da ulaşılabilen alın kaynağı uygulamaları için idealdir. Genel bir kural olarak kesiti 3 mm'den daha kalın olan parçalar için uygun olan minimum ağız açısı 60°'dir. Kalın kesitli parçalar, uygulanan kaynak yöntemine de bağlı olarak 75 - 90° gibi daha geniş kaynak ağızı açıları ile çalışmayı gerektirir.

Kalın plakaların kaynağında, "U" profilli kaynak ağızları, yığılan dolgu metali miktarını azalttığı ve torcun kök noktasına kadar ulaşmasına olanak sağladığı için V-profilli kaynak ağızlarına oranla daha çok tercih edilir. Özellikle yatay pozisyonda kaynak yaparken hidrojen absorpsiyonunun neden olduğu gözenek oluşumu riskini en aza indiren özel bağlantı tasarımları **Şekil-3'**de gösterilmiştir.



Şekil-3 Alüminyumun Yarı Otomatik MIG Kaynağında Kullanılan Tipik Kaynak Ağızı Şekilleri



Şekil-3 Alüminyumun Yarı Otomatik MIG Kaynağında Kullanılan Tipik Kaynak Ağızı Şekilleri (devam)

BÖLÜM 4.0

ALÜMİNYUMUN KAYNAĞINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR ve BU SORUNLARIN GİDERİLMESİ

SORUN	NEDENİ	ÇÖZÜMÜ
Gözenek	<p>Kaynak banyosunda düzensizlik var. Çalışma ortamı nemli. Ana malzemede hidrojen kirliliği var.</p> <p>Koruyucu gaz kirliliği veya gaz akışı yetersiz.</p> <p>Kaynak banyosu hızlı katılaşiyor.</p>	<p>Kısa kontakt meme kullanın.</p> <p>- Teli kuru ve kutusunda kapalı tutun. Kaynak öncesi ana metali temizleyin. Akış hızını azaltarak tüpün çığlenme sıcaklığını -57°C'ın altında tutun, kaynak bölgesini havanın olumsuz etkilerinden koruyun, küçük gaz nozülü kullanın. Daha yüksek kaynak akımı ve/veya daha düşük kaynak hızı kullanın. Ana metale öntav verin. Dikey kaynakta ilerleme yönü yanlış olabilir, aşağıdan yukarı kaynak yapın.</p>
Kaynak Dikişinde Çatlama	<p>Dolgu metali hatalı seçilmiş. Dolgu metaline ait kimyasal değerler kritik seviyede.</p> <p>Kaynak ağızı hatalı, ağız aralığı uygun değil.</p> <p>Seçilen kaynak tekniği yanlış.</p>	<p>Erime derecesi daha düşük bir dolgu metali seçin. Kaynak banyosundaki Si seviyesini % 0.5-2.0 ve Mg seviyesini ise % 1.0-3.0 arasında tutun. Özellikle 5XXX serisi malzemelerin 4XXX serisi dolgu malzemeleri ile kaynağında görülen Mg₂Si ötektik oluşumunu engelleyin. Kaynak ağızı açısını ve parçalar arasındaki boşluğu artırarak kaynak dikişindeki seyrelen ana metal seviyesini azaltın. Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımları için uygun TIG teli kullanın.</p>
Telin Geriye Doğru Yanması	<p>Tel besleme yetersiz ve/veya düzensiz. Kaynak telinde problem var. Esnek torç hortumu çok uzun. Torç spirali kirliliği ve yıpranmış. Kontakt meme kirliliği ve yıpranmış. Kontakt tüpte ark oluşuyor. Torç aşırı ısınıyor. Kutuplama yanlış.</p>	<p>Tel hızını yükseltin (CC) veya ark voltajını düşürün (CV). Yenisini ile değiştirin. Yenisini ile değiştirin. Yenisini ile değiştirin. Yenisini ile değiştirin. Tele uygun boyutta kontakt nozül kullanın. Çevrim oranını azaltın, su soğutmalı torç kullanın. Kutupu değiştirin.</p>
Düzensiz Ark Tutuşması	<p>Topraklamada problem var. Gaz koruması yok. Kutuplama yanlış.</p>	<p>Topraklamayı kontrol edin gerekiyorsa tekrar bağlayın. Arkı tutuşturmadan ön-gaz verin. Kutupu değiştirin.</p>

SORUN	NEDENİ	ÇÖZÜMÜ
Çirkin Kaynak Dikişi	Koruyucu gazın etki alanı yetersiz Kaynak teli kirlî Ana metal kirlî Ana metalin yüzeyinde oksit tabakası veya su kalıntısı var	Gaz akışını arttırın. Nozüle yapışan çapakları temizleyin. Gaz nozülünü parçaya yaklaştırın. Hasarlı gaz nozüllerini yenisi ile değiştirin. Kontakt tüpü gaz nozülüne tam olarak merkezleyin. Torç açısını azaltın. Kaçak olup olmadığını kontrol edin. Kaynak tellerini kutusunda kapalı tutun. Ana metali temizleyin, yağlardan arındırın. Bağlantının gerçekleştirileceği bölgeleri temizleyin.
Karasız Ark	Elektrik bağlantıları zayıf Birleştirilen yüzeylerde kir var Ark üflemesi var	Elektrik bağlantılarını kontrol edin. Bağlantı bölgelerini temizleyin, yağlardan arındırın. Kuvvetli manyetik alan içeren bölgelerde kaynak yapmayın.
Aşırı Genişlikteki Kaynak Dikişi	Kaynak akımı çok yüksek, kaynak hızı çok yavaş ve/veya ark boyu çok uzun	Kaynak parametrelerini tekrar ayarlayın.
Yetersiz Nüfuziyet ve Eksik Ergime	Kaynak akımı yetersiz Kaynak hızı çok yüksek Ark boyu çok uzun Ana malzeme kirlî Kaynak ağızı hatalı, ağız aralığı uygun değil Tel yada ana metal oksitlenmiş Arkadan açılan kaynak ağızının şekli uygun değil, derinliği yetersiz	Kaynak akımını yükseltin. Kaynak hızını düşürün. Ark boyunu azaltın. Bağlantının gerçekleştirileceği bölgeleri temizleyin ve yağdan arındırın. Kaynak ağızını yeniden tasarlayın. Temizleyin. Arkadan açılan "U veya V" kaynak ağızının derinliğini arttırın.
Anodik Oksitleme Sonrası Renk Uyumsuzluğu	Yanlış dolgu metali kullanımı	5XXX ve 6XXX serisi malzemeleri 4XXX serisi dolgu metalleri ile kaynatmayın, 5XXX serisi dolgu malzemeleri kullanın.

KAYNAKÇA

- 1) "Aluminum and Aluminum Alloys"
Welding Handbook, Vol- 3, Part-1
AWS Yayınları, 8. Edition (1996)
- 2) "Welding Aluminum and Aluminum Alloys"
The Procedure Handbook of Arc Welding, Part-9
Lincoln Electric Yayınları, 13. Edition (1994)
- 3) "Choosing Aluminum Wire"
Frank G. Armao
Lincoln Electric Co. Web Sitesi (2002)

ASKAYNAK

KAYNAK ELEKTRODLARI ve TELLERİ



Sustaining Member



2007

ÖRTÜLÜ ELEKTRODLAR
GAZALTI KAYNAK TELLERİ
TOZALTI KAYNAK TELLERİ

ÜRÜN KATALOĞU

 Eczacıbaşı

 LINCOLN
ELECTRIC

ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

ALAŞIMSIZ ÇELİKLER

RUTİL TİP ÖRTÜLÜ ELEKTRODLAR

Karbon çeliklerinin kaynağında kullanılır. Bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir. Ancak daha çok aşağıdan yukarıya, yatay ya da düz pozisyonlarda kullanılır. Yön ve pozisyon değiştiren düzensiz ya da kısa kaynaklar için idealdir. Orta seviyede metal yığıma oranı ve nüfuziyet sağlar. Yüksek kaliteli ve düzgün kaynak dikişi verir. İlk ve yeniden tutuşturulması kolaydır.

Ürün Adı	TS 563 EN 499 ve AWS A5.1 Sınıflandırması	Onaylar	Kaynak Met. Tipik Kimyasal Analizi (%)			Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metali			
			C	Si	Mn	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe D. ISO-V (J)
AS R-116	E 42 0 RR 12 E7014	LRS, GL, DNV, BV, ABS, TL CE, TSE, GOST, SEPRO	0.08	0.40	0.60	470	550	25	0°C : 60 -20°C : 40
AS R-132	E 42 0 RR 12 E6013	TSE, GOST, SEPRO	0.08	0.40	0.60	450	550	25	0°C : 50
AS R-143	E 42 0 RR 12 E6013	LRS, DNV, BV, ABS, TL, CE TSE, GOST, SEPRO, TÜV, DB	0.08	0.35	0.65	480	550	25	0°C : 60 -20°C : 40
AS R-144	E 42 0 RC 11 E6013	TSE, GOST, SEPRO	0.08	0.45	0.55	440	550	25	0°C : 50
AS R-146	E 38 0 R 12 E6013	TL CE, TSE, GOST, SEPRO	0.07	0.20	0.40	400	480	25	0°C : 60

BAZIK TİP ÖRTÜLÜ ELEKTRODLAR

Düşük hidrojenli olup, yoğun ve mükemmel tokluk (çentik dayanımı) ve süneklığe sahip kaynak dikişlerinin elde edilmesine olanak sağlar. Kaynak metali çatlağa karşı yüksek dayanıma sahiptir.

Ürün Adı	TS 563 EN 499 ve AWS A5.1 Sınıflandırması	Onaylar	Kaynak Met. Tipik Kimyasal Analizi (%)			Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metali			
			C	Si	Mn	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe D. ISO-V (J)
AS B-204	E 46 4 B 32 H10 E7018	LRS, GL, BV, ABS, TL CE, TSE, GOST, SEPRO	0.06	0.50	1.20	480	560	30	-20°C : 110 -40°C : 80
AS B-235	E 42 2 B 11 E7048	TSE, GOST, SEPRO	0.08	0.60	1.00	460	560	30	-20°C : 80
AS B-248	E 42 3 B 42 H10 E7018	LRS, GL, DNV, BV, ABS, TL RMRS, CE, TSE, GOST SEPRO, NAKS, TÜV, DB	0.07	0.50	0.90	460	530	28	-30°C : 110 -40°C : 80
AS B-248 H5	E 42 3 B 42 H5 E7018	LRS, GL, DNV, BV, ABS, TL CE, TSE	0.07	0.50	0.90	460	530	28	-30°C : 110 -40°C : 80
AS B-255	E 46 5 B 32 H5 E7018-1	LRS, GL, DNV, BV, ABS, TL RMRS, CE, TSE GOST, SEPRO, NAKS	0.07	0.50	1.20	480	580	30	-20°C : 180 -40°C : 120
AS B-268	E 46 6 B 22 E7016-1	TSE, GOST, SEPRO, NAKS	0.07	0.50	1.10	460	550	30	-40°C : 180 -60°C : 120

ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

ALAŞIMSIZ ve DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER

SELÜLOZİK TİP ÖRTÜLÜ ELEKTRODLAR

Özellikle karbon çeliklerinin kaynağında kullanılan, çok amaçlı elektrod türüdür. Genel amaçlı fabrikasyon ve bakım kaynaklarında kullanılır. Pozisyon dışı kaynak uygulamalarında röntgen kalitesinde kaynak dikişi elde edilir. Özellikle dikey ve tavan kaynakları için idealdir. Maksimum dilüsyonla beraber yüksek nüfuziyet elde edilir. Düşük cürufu, düzgün kaynak dikişi verir.

Ürün Adı	TS 563 EN 499 ve AWS A5.1 (*) AWS A5.5 Sınıflandırması	Onaylar	Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)					Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metal			
			C	Si	Mn	Mo	Ni	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe D. ISO-V (J)
AS S-6010	E 42 2 C 21 E6010	LRS, GL, DNV BV, ABS, TL, CE TSE, GOST, SEPRO	0.08	0.20	0.60	-	-	420	530	25	-29°C : 45
AS S-6011	E 42 2 C 11 E6011	TSE GOST, SEPRO	0.09	0.30	0.60	-	-	420	540	25	-29°C : 45
AS S-7010Mo	E 46 2 Mo C 21 E7010-A1 *	TSE GOST, SEPRO	0.08	0.10	0.70	0.50	-	480	600	25	-20°C : 50 -30°C : 40
AS S-8010Ni	E 46 3 Z C 21 E8010-G *	TSE GOST, SEPRO	0.10	0.30	1.10	-	0.20	480	600	24	-20°C : 60 -30°C : 50



ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

ALAŞIMSIZ ÇELİKLER

DEMİR TOZLU, YÜKSEK VERİMLİ ELEKTRODLAR

Özellikle karbon çeliklerinin kaynağında kullanılır. Bütün elektrodlar içinde en yüksek metal yığıma oranına sahip olanıdır. Özellikle kalın çelik plakaların köşe kaynağı uygulamaları için idealdir. Sadece düz, yatay ve aşağıdan yukarıya (en fazla 15°) pozisyonlarda önerilir. Düşük çapaklı, düz ya da hafif iç bükey, düzgün ve cürufu kolay kalkan kaynak dikişleri elde edilir.

Ürün Adı	TS 563 EN 499 ve AWS A5.1 Sınıflandırması	Onaylar	Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)			Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metal			
			C	Si	Mn	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe D. ISO-V (J)
AS DT-165	E 46 0 RR 74 E7024	BV, ABS, TL, CE TSE, GOST, SEPRO	0.08	0.40	0.70	500	580	24	0°C : 60
AS DT-180	E 46 0 RR 74 E7024	LRS, DNV, BV, ABS, TL CE, TSE, GOST, SEPRO	0.08	0.45	0.90	500	560	25	0°C : 60

ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

DÜŞÜK ALAŞIMLI, YÜKSEK MUKAVEMETLİ ÇELİKER

Ürün Adı	TS EN 1599 (* TS 563 EN 499 ve AWS A5.5 (**) AWS A5.4 Sınıflandırması	Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)							Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metali			
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe D. ISO-V (J)
AS DA-708	E 42 2 Z B 42 * E8018-G	0.05	0.30	1.00	-	0.60	-	0.45	470	570	28	-20°C : 120
AS DA-710	E 46 6 2 Ni B 42 * E8018-C1	0.06	0.30	0.90	-	2.40	-	-	500	600	28	-20°C : 150 -60°C : 110
AS DA-715	E 50 6 1 Ni B 42 H5 * E8018-C3 H4	0.05	0.35	1.30	-	1.00	-	-	540	620	27	-50°C : 80 -60°C : 60
AS DA-731	E Mo R 22 E8013-G	0.08	0.30	0.70	-	-	0.50	-	500	600	24	+20°C : 50
AS DA-735	E Mo B 22 E7018-A1	0.08	0.30	0.80	-	-	0.50	-	510	620	24	+20°C : 150
AS DA-737	E Mo B 22 E9018-D1	0.06	0.40	1.30	-	-	0.40	-	580	660	24	+20°C : 170 -50°C : 50
AS DA-753	- E11018-G	0.05	0.40	1.50	0.35	1.80	0.45	-	700	800	20	+20°C : 115 -50°C : 55
AS DA-771	(E CrMo 1 R 12) (E8013-B2)	0.06	0.30	0.80	1.20	-	0.40	-	520	600	22	+20°C : 60
AS DA-774	E CrMo 1 B 22 E8018-B2	0.06	0.50	0.80	1.20	-	0.50	-	540	620	22	+20°C : 90
AS DA-777	E CrMo 2 B 22 E9018-B3	0.05	0.40	0.80	2.40	-	1.10	-	560	650	22	+20°C : 80
AS DA-778	E CrMo 5 B 42 E502-15 **	0.05	0.50	0.70	5.00	-	0.50	-	400	580	22	+20°C : 80

AS DA-735 ve AS DA-753 "TL" tarafından sertifikalandırılmıştır.
Bütün AS-DA serisi elektrodlar (AS-DA 715 hariç) "GOST" ve "UKR SEPRO" tarafından sertifikalandırılmıştır.

ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

DÖKME DEMİRLER

Ürün Adı	AWS A5.15 Sınıflandırması	Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)						Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metali			
		C	Fe	Ni	Cu	Si	Mn	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
AS Pik-55	ENiFe-CI	1.00	43.0	kalan	-	-	-	340	450	10	160-200
AS Pik-65	ENiCu-B	0.50	3.00	kalan	30.0	0.40	1.00	270	410	15	140-160
AS Pik-98 Süper	ENi-CI	1.00	-	kalan	-	-	-	300	380	10	120-140

Bütün AS-Pik serisi elektrodlar "TSE", "GOST" ve "UKR SEPRO" tarafından sertifikalandırılmıştır.

ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

PASLANMAZ ve ISIYA DAYANIKLI ÇELİKLER

Ürün Adı	AWS A5.4 ve TS 2716 EN 1600 Sınıflandırması	Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)							Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metali			
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe D. ISO-V (J)
AS P-307	E307-15 E 18 9 MnMo B 22	0.10	0.40	4.50	20.0	10.0	1.00	-	420	690	35	+20°C : 80
AS P-308L	E308L-16 E 19 9 LR 12	0.03	0.80	0.70	19.0	10.0	-	-	420	570	45	+20°C : 80
AS P-308Mn	(E307-15) E 18 8 Mn B 22	0.10	0.50	6.00	18.0	9.00	-	-	420	640	35	+20°C : 100 -60°C : 75
AS P-308Mo	E308Mo-15 E 20 10 3 B 22	0.05	0.35	2.50	19.0	10.0	2.50	-	420	620	38	+20°C : 100
AS P-309L	E309L-16 E 23 12 LR 12	0.03	0.80	0.70	23.0	13.0	-	-	460	590	40	+20°C : 70 -80°C : 35
AS P-309Mo	E309MoL-16 E 23 12 2 LR 32	0.03	0.80	0.80	23.0	12.5	2.70	-	575	720	30	+20°C : 60
AS P-310R	E310-16 E 25 20 R 12	0.10	0.60	1.70	26.0	21.0	-	-	480	600	35	+20°C : 60
AS P-312	E312-16 E 29 9 R 12	0.10	0.90	0.80	29.0	9.00	-	-	600	800	25	+20°C : 50
AS P-316L	E316L-16 E 19 12 3 LR 12	0.03	0.70	0.80	17.0	11.0	2.90	-	490	600	35	+20°C : 60
AS P-318 Süper	(E318-16) E 19 12 3 Nb R 12	0.04	0.90	0.80	18.0	12.0	2.50	0.50	500	620	35	+20°C : 65
AS P-347	(E347-16) E 19 9 Nb R 12	0.03	0.90	0.70	19.0	9.50	-	0.50	520	600	35	+20°C : 55

AS P-308L, AS P-309L ve AS P-316L "CE", "ABS", "BV", "GL" ve "DNV" tarafından, AS P-308Mn "CE" ve "GL" tarafından sertifikalandırılmıştır. AS P-308L, AS P-308Mn, AS P-308Mo, AS P-310R, AS P-312, AS P-316L, AS P-318 ve AS P-347 "TSE" tarafından sertifikalandırılmıştır. AS P-308L ve AS P-308Mn "RWTÜV" belgesine sahiptir. Bütün AS P ürünleri "GOST" ve "UKR SEPRO" tarafından sertifikalandırılmıştır.

ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

DEMİR DIŞI METALLER

Ürün Adı	DIN 1732 (*) DIN 1733 ve AWS A5.3 (**) AWS A5.6 Sınıflandırması	Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)							Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metali			
		Al	Si	Mn	Fe	Cu	Sn	P	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Sertlik (HB)
AS AISi-5	EL-AISI5 E4043	kalan	5.00	0.05	0.20	-	-	-	90	160	15	170
AS AISi-12	EL-AISI12 -	kalan	12.0	0.10	0.40	-	-	-	80	180	5	160
AS BRONZ	EL-CuSn7 * ECuSn-C **	-	-	0.50	-	kalan	7.00	0.10	160	260	20	90

Yukarıdaki bütün ürünler "GOST" ve "UKR SEPRO" tarafından sertifikalandırılmıştır.

ÖRTÜLÜ KAYNAK ELEKTRODLARI

SERTDOLGU UYGULAMALARI

Ürün Adı	DIN 8555 Sınıflandırması	Kaynak Metalinin Tipik Kimyasal Analizi (%)									Sertlik (HRC/HB)
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V	Nb	
AS SD-CR10	E6-UM-55 R	0.70	0.60	0.70	10.0	-	-	-	-	-	52-56 HRC
AS SD-CR13	E5-UM-45 R	0.10	0.50	0.30	13.0	-	-	-	-	-	42-45 HRC
AS SD-60	E6-UM-60	0.40	0.40	0.50	6.00	-	0.60	-	-	-	57-62 HRC
AS SD-65	E2-UM-60 Z	0.70	4.00	0.30	2.00	-	-	-	-	-	58-62 HRC
AS SD-300	E1-UM-300	0.07	0.20	0.60	3.40	-	-	-	-	-	290-330 HB
AS SD-350	E1-UM-350	0.10	0.50	0.70	3.50	-	-	-	-	-	325-350 HB
AS SD-HSS	E4-UM-60 (65) S	0.9	1.20	1.30	4.50	-	7.50	1.80	1.50	-	57-60 HRC (*) 65 HRC
AS SD-MANGAN	E7-UM-200 K	0.70	0.10	14.0	-	3.00	-	-	-	-	175-200 HB (**) 450 HB
AS SD-MANGAN 165	E7-UM-200 K	0.70	0.10	14.0	-	3.50	-	-	-	-	175-200 HB (**) 450 HB
AS SD-ABRA Nb	(E10-UM-60 GR)	3.40	-	-	22.0	-	-	-	-	10.0	55-57 HRC
AS SD-ABRA Cr	E10-UM-60 G	4.50	-	-	33.0	-	-	-	-	-	58-62 HRC

AS SD-350 "GL" tarafından sertifikalandırılmıştır.
Bütün AS SD ürünleri "GOST" ve "UKR SEPRO" tarafından sertifikalandırılmıştır.

(*) Çift temperleme sonrası sertlik değeri
(**) Soğuk deformasyon (darbe) sonrası sertlik değeri

GAZALTI ve TOZALTI KAYNAĞI TELLERİ

ALAŞIMSIZ ve DÜŞÜK ALAŞIMLI ÇELİKLER

Ürün Adı	EN ve AWS Sınıflandırması	Onaylar	Tipik Tel Analizi (%) Tipik Kaynak Metali Analizi (%)						Tipik Mekanik Özellikler, Kaynak Metali			
			C	Si	Mn	Mo	Cu	S	Akma D. (N/mm ²)	Çekme D. (N/mm ²)	Uzama (%)	Darbe D. ISO-V (J)

GAZALTI KAYNAĞI TELLERİ (MIG/MAG TELLERİ)

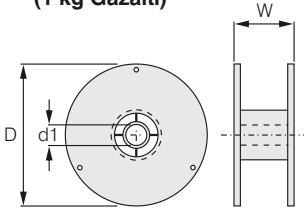
AS SG2	G42 3CM G3Si 1 ER70S-6	LRS, GL, DNV, BV, ABS, TL, RMRS, GOST, SEPRO, NAKS, TÜV, DB, CE, TSE	0.08	0.85	1.50	-	-	-	440	540	30	-30°C : 50
			0.06	0.55	1.10	-	-	-				
AS SG3	G42 3CM G4Si 1 ER70S-6	GOST, SEPRO	0.08	1.00	1.70	-	-	-	470	570	25	-30°C : 60
			0.06	0.60	1.20	-	-	-				

TOZALTI KAYNAĞI TELLERİ

AS S1	S1 EL12	LRS, GL, DNV, BV, ABS, TL, CE, GOST, SEPRO, TÜV, TSE	0.10	0.07	0.50	-	0.30	0.025	400	490	34	-20°C : 138 (LincolnWeld 860 tozu ile)
			0.05	0.25	1.00	-	0.25	0.020				
AS S2	S2 EM12	LRS, GL, DNV, BV, ABS, TL, CE, GOST, SEPRO, TÜV, TSE	0.10	0.07	0.90	-	0.30	0.025	430	490	25	-20°C : 79 (LincolnWeld 860 tozu ile)
			0.05	0.20	1.20	-	0.15	0.020				
AS S2Si	S2Si EM12K	GOST, SEPRO	0.07	0.15	1.00	-	-	0.025	430	560	25	-20°C : 47 (LincolnWeld 761 tozu ile)
			0.07	0.65	1.70	-	-	0.025				
AS S2Mo	S2Mo (EA1/EA2)*	GOST, SEPRO TÜV, TSE	0.10	0.10	1.00	0.50	-	-	470	550	29	-20°C : 150 (LincolnWeld 223 tozu ile)
			0.06	0.25	1.30	0.50	-	-				

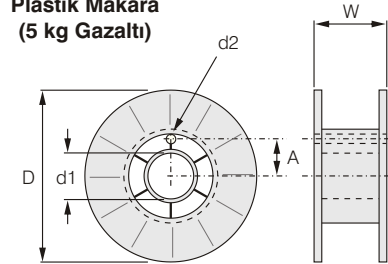
* en yakın sınıflandırma

S100
Plastik Makara
(1 kg Gazaltı)



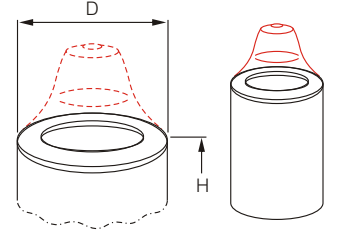
D	d1	W
(mm)		
100±2	16.5 ⁺¹ ₀	45 ⁰ ₋₂

S200
Plastik Makara
(5 kg Gazaltı)



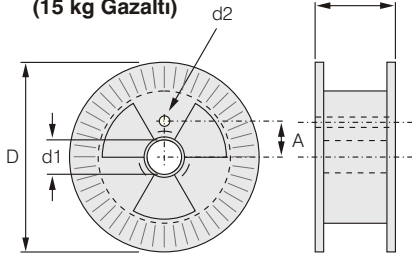
D	d1	d2	A	W
(mm)				
200±3	50.5 ^{+2.5} ₀	10 ⁺¹ ₀	44.5±0.5	55 ⁰ ₋₃

**DRUM
ASFİL®**
(250 kg Gazaltı)
(320-350 kg Tozaltı)



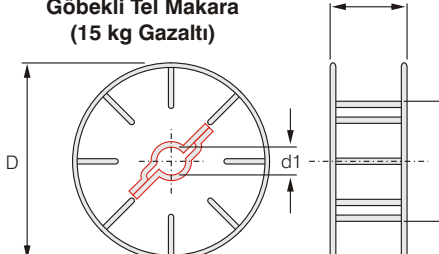
D	H
(mm)	
~ 500	~ 800
~ 600	~ 1000

S300
Plastik Makara
(15 kg Gazaltı)



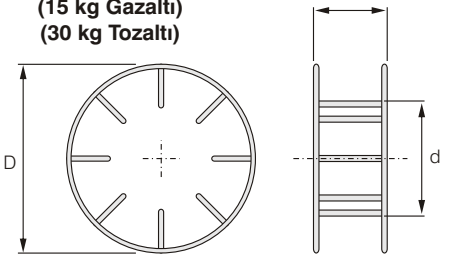
D	d1	d2	A	W
(mm)				
300±5	50.5 ^{+2.5} ₀	10 ⁺¹ ₀	44.5±0.5	103 ⁰ ₋₃

BS300
Adaptör Gerektirmeyen
Göbekli Tel Makara
(15 kg Gazaltı)



D	d	d1	W
(mm)			
300±5	180±2	50.5 ^{+2.5} ₀	100±3

B300 / B435
Tel Makara
(15 kg Gazaltı)
(30 kg Tozaltı)



D	d	W
(mm)		
300 ⁰ ₋₅	180±2	100±3
435 _{max}	300±5	100±3

STARWELD MIG ve TIG KAYNAK TELLERİ

KOROZYONA ve ISIYA DAYANIKLI PASLANMAZ ÇELİKLER

Ürün Adı	AWS A5.9 Sınıflandırması	Kaynak Telinin Tipik Kimyasal Analizi (%)									
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S	N
" MIG " KAYNAĞI TELLERİ											
STARWELD MW-308LSi	ER 308LSi	0.015	0.70	1.80	20.00	10.00	0.05	0.10	0.020	0.015	0.03
STARWELD MW-316LSi	ER 316LSi	0.015	0.75	1.80	18.50	12.00	2.60	0.15	0.018	0.015	0.03
" TIG " KAYNAĞI TELLERİ											
STARWELD TW-308L	ER 308L	0.015	0.35	1.80	20.00	10.00	0.05	0.10	0.018	0.010	0.03
STARWELD TW-316L	ER 316L	0.015	0.55	1.80	18.50	12.00	2.60	0.15	0.018	0.010	0.03

Bütün STARWELD ürünleri "ABS", "GOST" ve "UKR SEPRO" tarafından sertifikalandırılmıştır.

ASKAYNAK

GAZALTI KAYNAK MAKİNALARI



ASKAYNAK

GAZALTI KAYNAK MAKİNALARI

GÜÇ ÜNİTESİ	Magster 2800 (Gaz Soğ.)	Magster 451W (Su Soğ.)	Magtronik 400W (Su Soğ.)	Magtronik 500W (Su Soğ.)
Nominal şebeke voltajı	400 V ; 3~PE	400 V ; 3~PE	400 V ; 3~PE	400 V ; 3~PE
Maksimum güç tüketimi	9 kVA (% 35)	24 kVA (% 35)	26 kVA (% 35)	28 kVA (% 100)
Maksimum giriş akımı	13 A (% 35)	35 A (% 35)	35 A (% 60)	41 A (% 100)
Güç faktörü (cos φ)	0.85 (% 35)	0.95 (% 60)	0.83 (% 60)	0.80 (% 100)
Kaynak akımı	240 A (% 35)	500 A (% 35)	500 A (% 35)	
	180 A (% 60)	450 A (% 60)	450 A (% 60)	
	140 A (% 100)	350 A (% 100)	350 A (% 100)	500 A (% 100)
Açık devre voltaj aralığı	18 - 35 V	19 - 47 V	18 - 47 V	17 - 43 V
Kaynak akımı aralığı	40 - 240 A	60 - 500 A	40 - 500 A	40 - 500 A
Kaynak voltajı aralığı	16 - 26 V	17 - 39 V	16 - 39 V	16 - 39 V
Kaynak voltajı kademe sayısı	7	35	basamaksız	basamaksız
Şase bağlantı soketi sayısı			3	2
Nominal verim	P50 - % 77			
Gecikme sigortası akımı	16 A			
Koruma sınıfı	IP23	IP23	IP23	IP23
Yalıtım sınıfı	F+H	F+H	F+H	F+H
Radyo gürültü düzeyi	W	W	W	W
Ağırlık	70 kg	180 kg	170 kg	190 kg
Boyutlar (G x Y x D)	430 x 720 x 800	445 x 920 x 950	445 x 920 x 950	445 x 920 x 950
Tel sürme hızı aralığı (v _n)	1 - 17 m/dak			
Punto kaynağı zaman aralığı	0.5 - 2.5 sn			
Aralıklı kaynak süresi zaman aralığı	0.5 - 2.5 sn			
Aralıklı kaynak duraklama zaman aralığı	0.5 - 2.5 sn			

TEL SÜRME ÜNİTESİ	PDE-41W	PDE-7FW	PDE-7FW
Tel sürme hızı aralığı (v _n)	1 - 24 m/dak	1 - 24 m/dak	1 - 24 m/dak
Yumuşak ark başlangıcı hız ayar aralığı	% 10 - 100 (v _n)	% 10 - 100 (v _n)	% 10 - 100 (v _n)
Geri yanma süresi ayar aralığı		0.1 - 0.6 sn	0.1 - 0.6 sn
Tel çapları Çelik - V yivli makara	0.8 - 1.6 mm	0.8 - 1.6 mm	0.8 - 1.6 mm
Paslanmaz - V yivli makara	0.8 - 1.6 mm	0.8 - 1.6 mm	0.8 - 1.6 mm
Alüminyum - U yivli makara	1.0 - 1.6 mm	1.0 - 1.6 mm	1.0 - 1.6 mm
Tel sürme ünitesi besleme voltajı	42 V	42 V	42 V
Ağırlık	20 kg	20 kg	20 kg
Boyutlar (G x Y x D)	335 x 465 x 645	335 x 465 x 645	335 x 465 x 645

Askaynak
Magster 2800



DC

3
Faz



2 yıl garanti
(torç barıç)

Askaynak
Magster 451W



DC

3
Faz



2 yıl garanti
(torç barıç)

Askaynak
Magtronik 400W



DC

3
Faz



2 yıl garanti
(torç barıç)

Askaynak
Magtronik 500W



DC

3
Faz



2 yıl garanti
(torç barıç)

Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.

Yakacıkaltı, Yanyol, Mermer Sokak, No:16 34876 Kartal, İstanbul
Telefon : (0216) 377 30 90 pbx Faks : (0216) 377 00 00

www.askaynak.com.tr

