

ÇELİKLER İÇİN ÖRTÜLÜ ELEKTROD SEÇİMİ



Prof. Dr. İ. Barlas ERYÜREK

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

ASKAYNAK

Copyright © 2007

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

ASKAYNAK

Kaynak Tekniği Sanayi ve Ticaret A.Ş.

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

34876 Kartal / İSTANBUL

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

www.askaynak.com.tr



Ankara Bölge Satış Bürosu

Ostim Sanayii Sitesi

Ahi Evran Caddesi, No: 83

06370 Ostim / ANKARA

Tel : (0312) 385 13 73 - pbx

Faks : (0312) 354 02 84

Adana Bölge Satış Bürosu

Kızılay Caddesi, Karasoku Mahallesi

6. Sokak, Baykan İşhanı, No: 9/E

01010 ADANA

Tel : (0322) 359 59 67 - 359 60 45

Faks : (0322) 359 60 01

İstanbul Bölge Satış Bürosu

Rauf Orbay Caddesi

Evliya Çelebi Mahallesi, No: 3/C

İçmeler, Tuzla / İSTANBUL

Tel : (0216) 395 84 50 - 395 56 77

Faks : (0216) 395 84 02

İzmir Bölge Satış Bürosu

Mersinli Mahallesi, 1. Sanayii Sitesi

2822. Sokak, No: 25

35120 İZMİR

Tel : (0232) 449 90 35 - 449 01 64

Faks : (0232) 449 01 65

İçindekiler

BÖLÜM 1.0	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 kullanılabilecekleri, yığılan kaynak metalinin kimyasal ve mekanik özellikleri, elektrodun kullanılabileceği 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

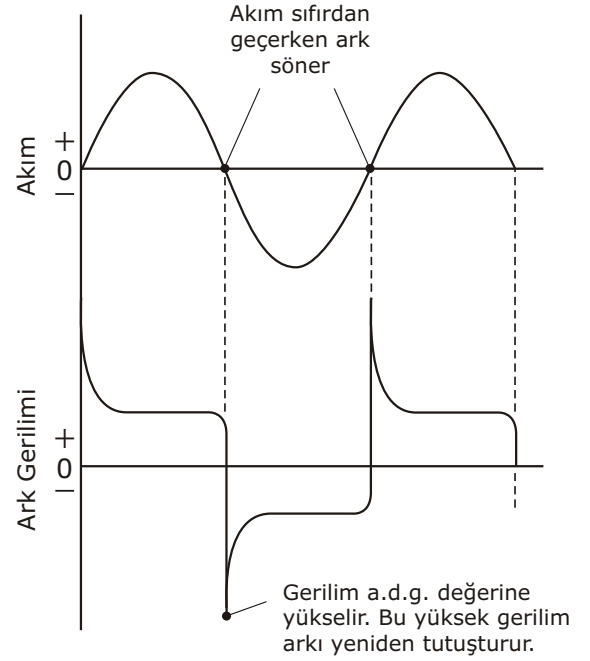
Bu bölümde, örtülü elektrodlarla ark kaynağının, elektrod seçimi bakımından önemli olan bazı özellikleri hakkında bilgi verilecektir.

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 arkı 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-

yosunun 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.

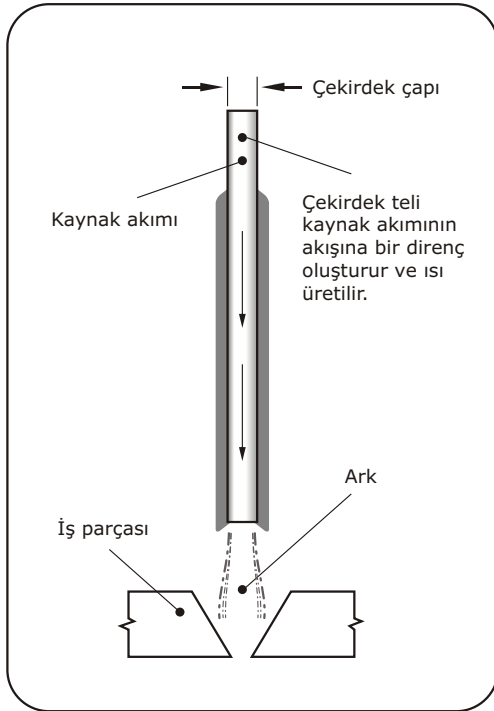


Şekil-1 Alternatif Akımla Kaynakta Akım ve Gerilimin Değişimi

- 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

üretilmiştir. 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 ısılatma 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 Elektrodda 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

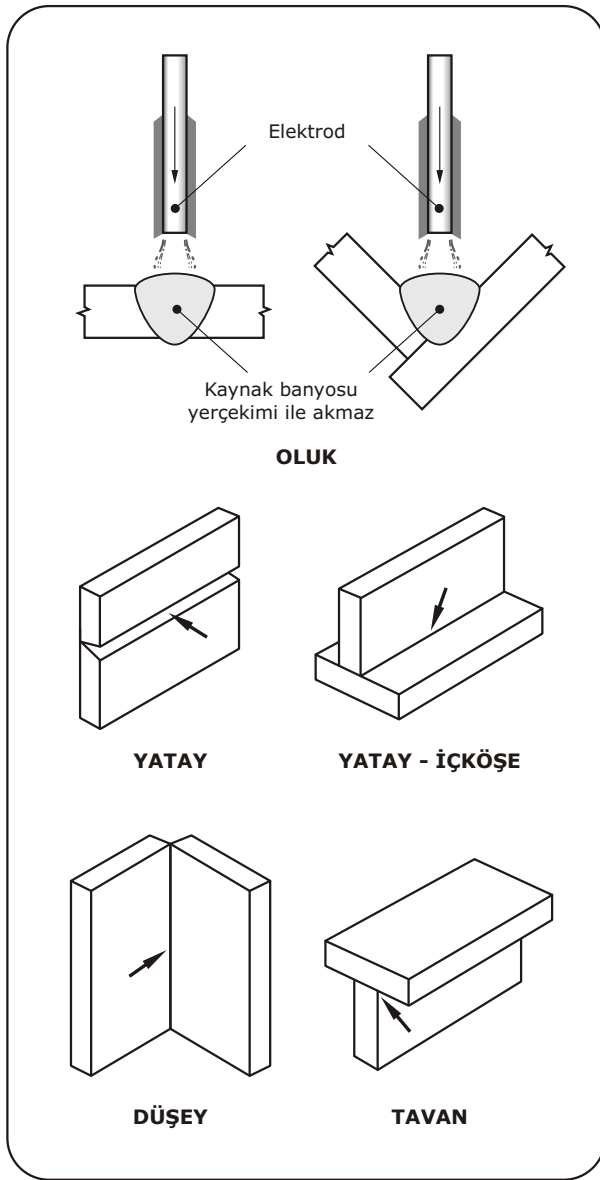
2.3

KAYNAK POZİSYONLARI

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

*) Yüksek alaşımlı 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.

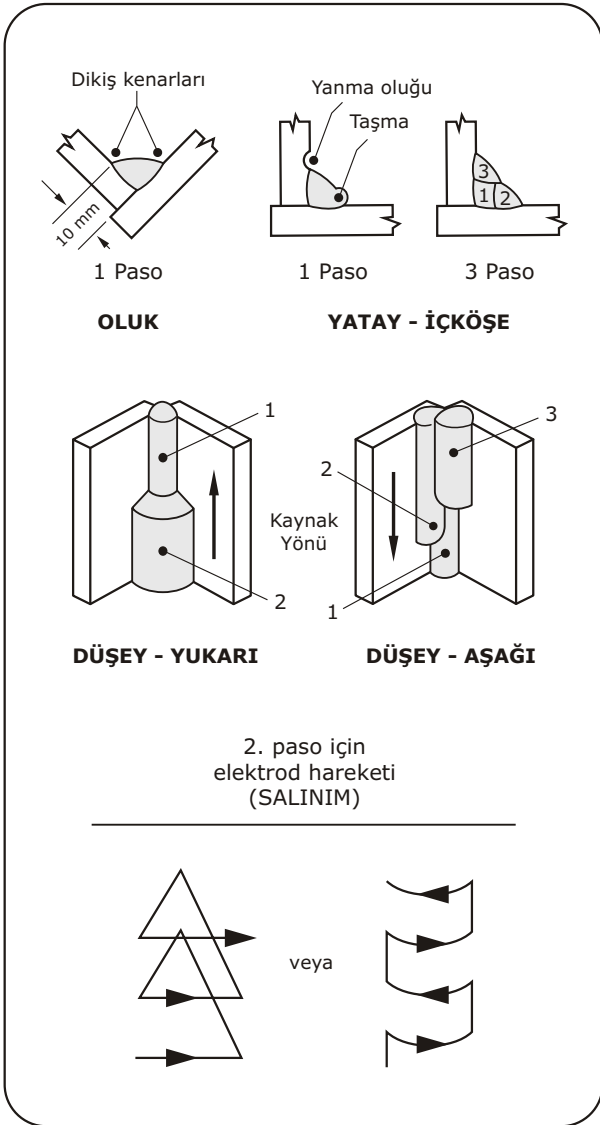


Şekil-3 Kaynak Pozisyonları

Birçok üretimde iş parçaları bu tip işlemlere uygun değildir ve bu nedenle endüstride kaynakların birçoğunda, 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 engellemekte 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 eksenini ile kaynak yüzeyi arasındaki açı, kaynak banyosu en uygun konumda tutulacak şekilde değiştirilebilir. Oluk pozisyonundaki bağlantılarda 350 A'lık 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 arkı 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 banyo-nun 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 ısıнын dağılmasını ve böylece de kaynak banyosu akışkanlığının kontrol edilebilmesini sağlar. Eğer kaynakçı dikiş yüzeyinin kaynak ekse-ninden kaçışını engelleyemiyorsa, akım 120 A değerine düşürülmeli ve dikiş 3 pasoda daha düşük salınımla 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 akmaması 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 diğer-leriyle 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 ayrıışan 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 ağzının 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.

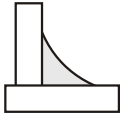
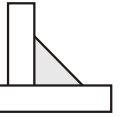
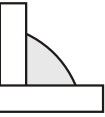
Bir başka açıdan arkın kararlılığı, arkın kaynağın başlangıcında kolaylıkla tutuşturulabilmesi ve alternatif akım kullanılması halinde her bir yarım çevrimin başlangıcında (**Şekil-1**) arkın yeniden tutuşabilmesidir. Her iki halde de ark aralığındaki gaz mümkün olan en düşük gerilim değerinde hızla 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 metal 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 sınırlandırmasını 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 taktirde sıvı cüruf kaynak metalini yüzeyinden akarak uzaklaştırır. 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 Metali 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 metali 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 :

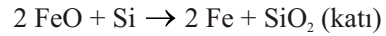
Eğer çekirdek teli kaynak metalinde arzu edilen kimyasal bileşimi verebilecek bir bileşime sahipse, sadece cürufa doğru alaşım elemanı kaybını engellemek yeterlidir. Bu durumda örtüye alaşım elemanı ilavesi gereksizdir. Bu demirdışı metallerde ve bazı paslanmaz çeliklerde karşılaşılan bir durumdur. Düşük 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 katılaştan 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 kurutarak 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 katılaşıp

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.

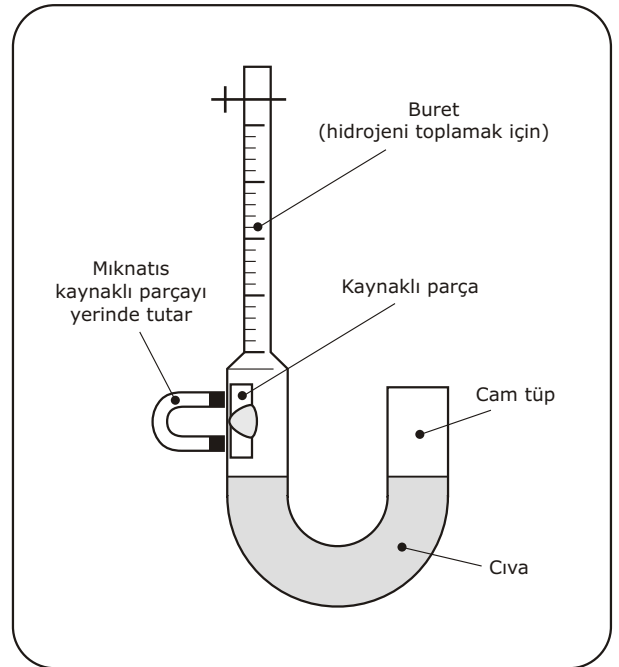
Yukarıdaki nedenlerle, kaynak metaline ark atmosferinden geçmiş ve yapıda çözünmüş olan hidrojen atomları kaynak metalinin katılaşması ve soğuması sırasında yapıdan atılırlar. Ancak, bu hidrojenin bir kısmı yüksek sıcaklıkta yapıdaki boşluklara, süresizliklere ve diğer mikroskopik hatalara yayınarak oralarda toplanırlar. Kaynakta soğuk çatlaklara, geriye kalan "yayınabilir" yani kapanlara toplanmamış hidrojenin neden olduğu düşünülmektedir. Bu yayınabilir hidrojen kaynak metalinden hızla ITAB'a yayılır 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'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 yayılan hidrojen miktarı ölçülerek*** tesbit edilir (Şekil-5).

*) 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.

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 çatlamada etkili olan üç faktör ; gevrek yapı (martenzit) oluşturabilen esas metal P_{cm} yoluyla, yayımlanabilen hidrojen H yoluyla ve çekme gerilmeleri de zorlanma derecesi yoluyla gözönüne alınmış ve çatlamayı önlemek 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 elektrodlarla 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 bileşikleri içerir. Bu elektrodlar yüksek mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılır. Elektrodlar 400°C'daki kurutma fırınlarında kurutularak 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 :

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

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 arttan dışarı fırlayan ergimiş damlalar (sıçrama kayıpları) yoluyla meydana gelir.

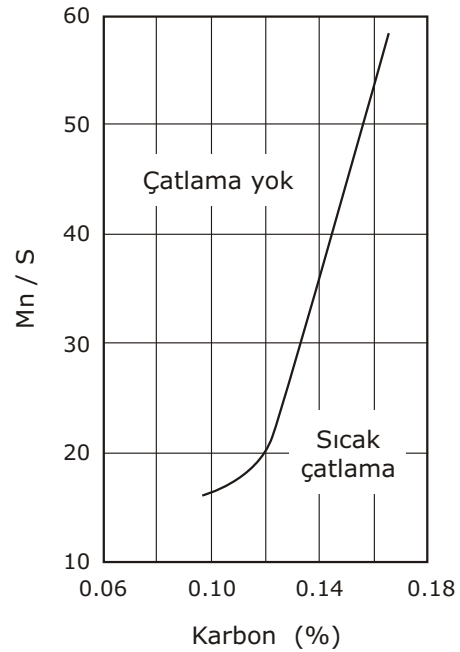
Eğer örtüye demiroksit katılacak olursa elektrod verimi % 100'ün üzerine çıkabilir. Buna göre, verimi % 160 olan bir elektrodla çekilen dikişte kaynak metalinin % 60'dan fazlası örtüden gelir. Kalanı ise ergimiş elektrod çekirdeğidir. Örtüye demiroksit katılması yüksek bir yığıma hızı sağlamakla kalmaz 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 ısıl işleminden etkilenmiş esas metalin (ITAB) mekanik özelliklerinden etkilenir. Bu nedenle kaynaktan sonra hem kaynak metalinde hem de ITAB'da mey-

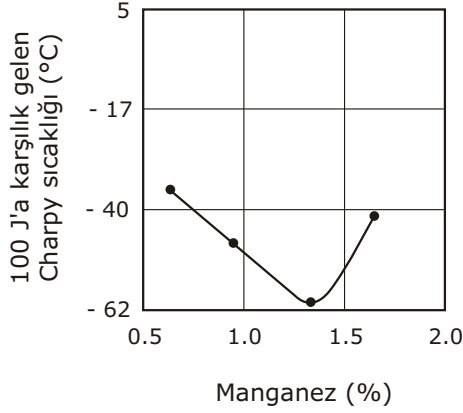
dana gelebilecek tokluk azalmasından ve çatlama kaçınmak gerekir. Örneğin alaşımsız ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında, kaynak metalinin karbon yüzdesi hem kaynak metalinde maksimum tokluk elde etmek için ve hem de sıvı sülfid filminin neden olduğu "sıcak çatlama"ya karşı maksimum direnç sağlamak 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 Alaşımlı 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 metaller, 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 yığma 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 yığma 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 yığmayan 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 alaşımsız 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 alaşımsız 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, alaşımsız 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 öntavlamasız, son tavlamasız 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 ısıtıl işlem 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 yığılma 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 alaşımlı çeliğin düşük karbonlu çelikte kaynağında kullanılır.
- b) **Alaşımlı Çelik** : Bağlantının mukavemeti esas metalinkine eşit veya yakın olması gereken hallerde kullanılır.
- c) **Yüksek Alaşımlı 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 metalinkinden 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 mikro-alaşımlarının 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 arttırır. 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 alaşımlı çeliklerin örtülü elektrodlarla kaynağında seçilebilecek uygun elektrodlar 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 kullanılmaktadır. Ancak bunların yerine EXX16 gibi düşük hidrojenli 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 Elektrodlerde 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 kurutularak 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 sınırlamasını 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 temperlemekten 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 ısıtıl işleminden sonra kaynak dikişine kötü etkiler yapabilir.

500-650°C sıcaklık aralığında yapılan bir kaynak sonrası ısıtıl işlemi kaynak metalinin ve ITAB'ın tokluğunu azaltabilir. Buna "**gerilme giderme çatlaması**" 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, ısıtıl 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 ısıtıl işlem uygulanırsa, genellikle işlemin başlangıç safhalarında ITAB'ın iri taneli bölgesinde taneler arası çatlama meydana gelebilir. Kaynağın ITAB'ında bu tip çatlamaya hassasiyet, çeliğin kimyasal bileşimine bağlı olarak aşağıdaki ifadeyle verilir.

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

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 ısıtıl 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 (Bazık)
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 kullanılabilecek 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 alaşımlı 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 alaşımlı 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 kullanılabilecek 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 çökelmiş karbürlerdir. 310, 310 Cb, 310 Mo ve 330 gibi bazı ilave metaller daima % 100 östenitik kaynak metalini oluşturur. Bu alaşımlarda, ferrit oluşturmalarla östenit oluşturmalar 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 Alaşımlı 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 ısı işlemleriyle 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 ısı işlemi. Kaynak sonrası ısı 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 ısı işlemleri gerekir.
- Dikkatli öntavlama gerekir. Kaynak sonrası ısı 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 ferromanyetiktir 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 göz-önüne 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 ısı 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 elektrodla 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 elektodları 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 öntavlansından 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

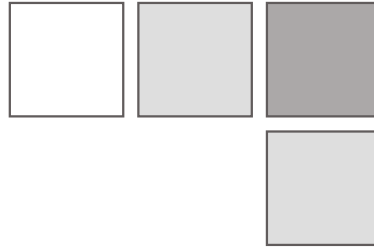
bileşimi, mekanik özellikleri ve kesit kalınlığı belirler. 6 mm'den ince çeliklerin kaynak sırasında çatlama ihtimali 6 mm'den kalın çeliklere nazaran daha azdır. Bağlantının tipi, bağlantının yeri, kaynak hazırlığı sırasında kullanılan tertibatlar nedeniyle oluşan zorlanmaların seviyesi, kaynak yöntemi ve kaynak sıcaklığından sonrakiki soğuma hızı çatlamayı etkileyen diğer 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 çatlamayı önlemek için öntavlama yapılır. Öntavlamaya gerek olup olmadığını belirleyen diğer faktörler ise; bağlantının kütlesi, zorlanma derecesi, çentik etkisinin varlığı ve ilave metalin bileşimidir. Çeliğin karbon içeriğine ve kaynak karakteristiklerine bağlı olarak öntavlama ve kaynak sonrası tavlama ısı işlemleri aşağıdaki gibi yapılabilir :

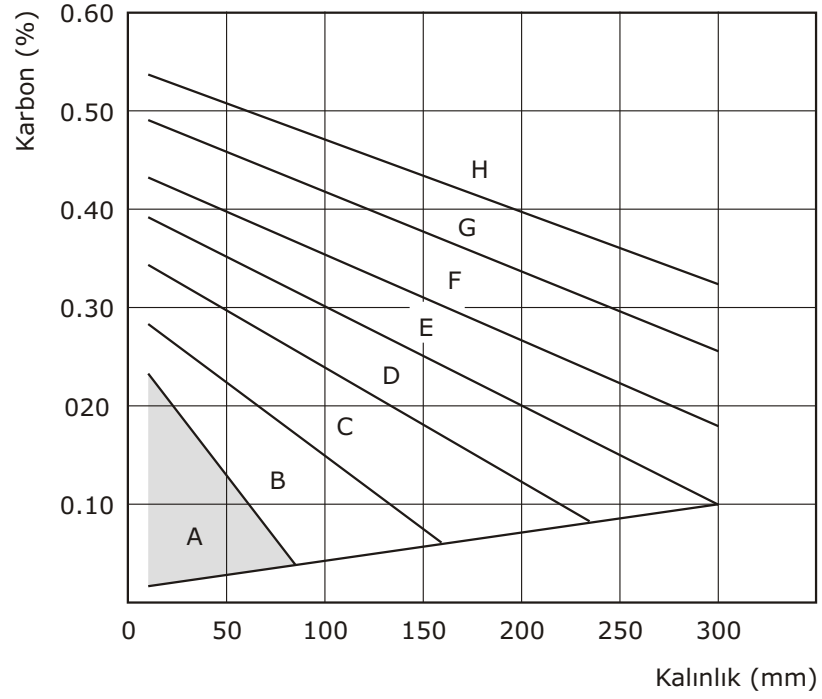
- a) Karbon % 0.1'in altında ise ne öntavlama ne de kaynak sonrası tavlama gereklidir.
- b) Karbon % 0.1-0.2 arasında ise 260°C'ye kadar öntavlama, bu sıcaklıkta kaynak işlemi ve yavaşça soğutma gereklidir.
- c) Karbon % 0.2-0.5 arasında ise, 260°C'ye kadar öntavlama, bu sıcaklıkta kaynak işlemi ve kaynak 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 işleminden sonra tavlama yapılmayabilir. Aksi takdirde bağlantı kaynaktan hemen sonra oda sıcaklığına soğumadan tavlmalıdır.

Çelikler İçin
Örtülü Elektrod Seçimi



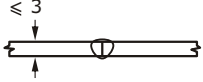
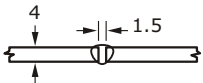
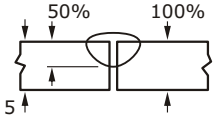
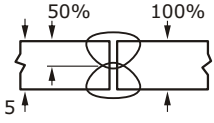
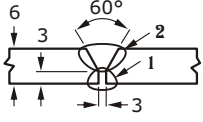
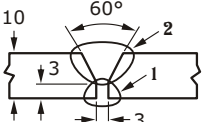
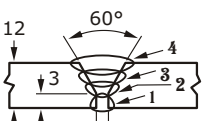
EKLER



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 (Alaşımız Çelikler)

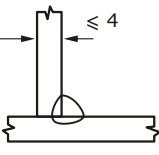
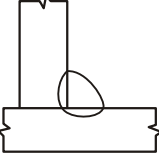
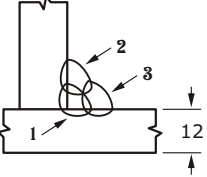
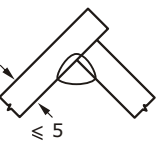
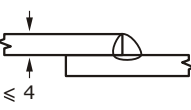
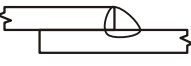
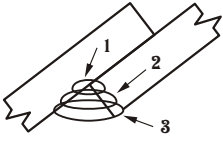
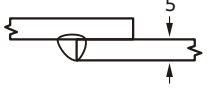
Ek Tablo-1 Alaşımsız çelikler için bağlantı tipi, levha kalınlığı ve kaynak pozisyonuna bağlı olarak, elektrod çapı, paso sayısı, kaynak akımı, minimum ark gerilimi ve kaynak hızı değerleri (örnek olarak alınmalıdır, başka değerler de kullanılabilir)

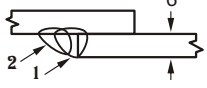
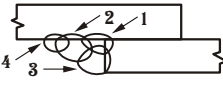
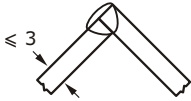
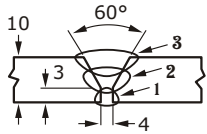
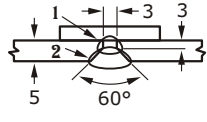
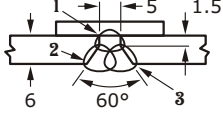
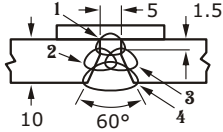
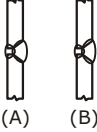
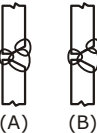
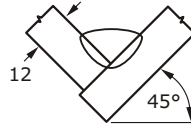
Bağlantı Tipi	Levha Kalınlığı (mm)	Kaynak Pozisyonu	Pasolar	Elektrod Çapı (mm)	Kaynak Akımı (A)	Min. Gerilim (V)	Üretim Hızı (m/saat)
	1.5	Oluk	1	3.25	70	29	40
	2		1	3.25	85	29	43
	3		1	4.00	115	25	27
	4	Oluk	1	4.00	135	25	24
	5	Oluk	1	6.00	190	30	27
	5	Oluk	2	6.00	190	30	14
	6	Oluk	1	4.00	130	25	5
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

*) Salımlı dikiş

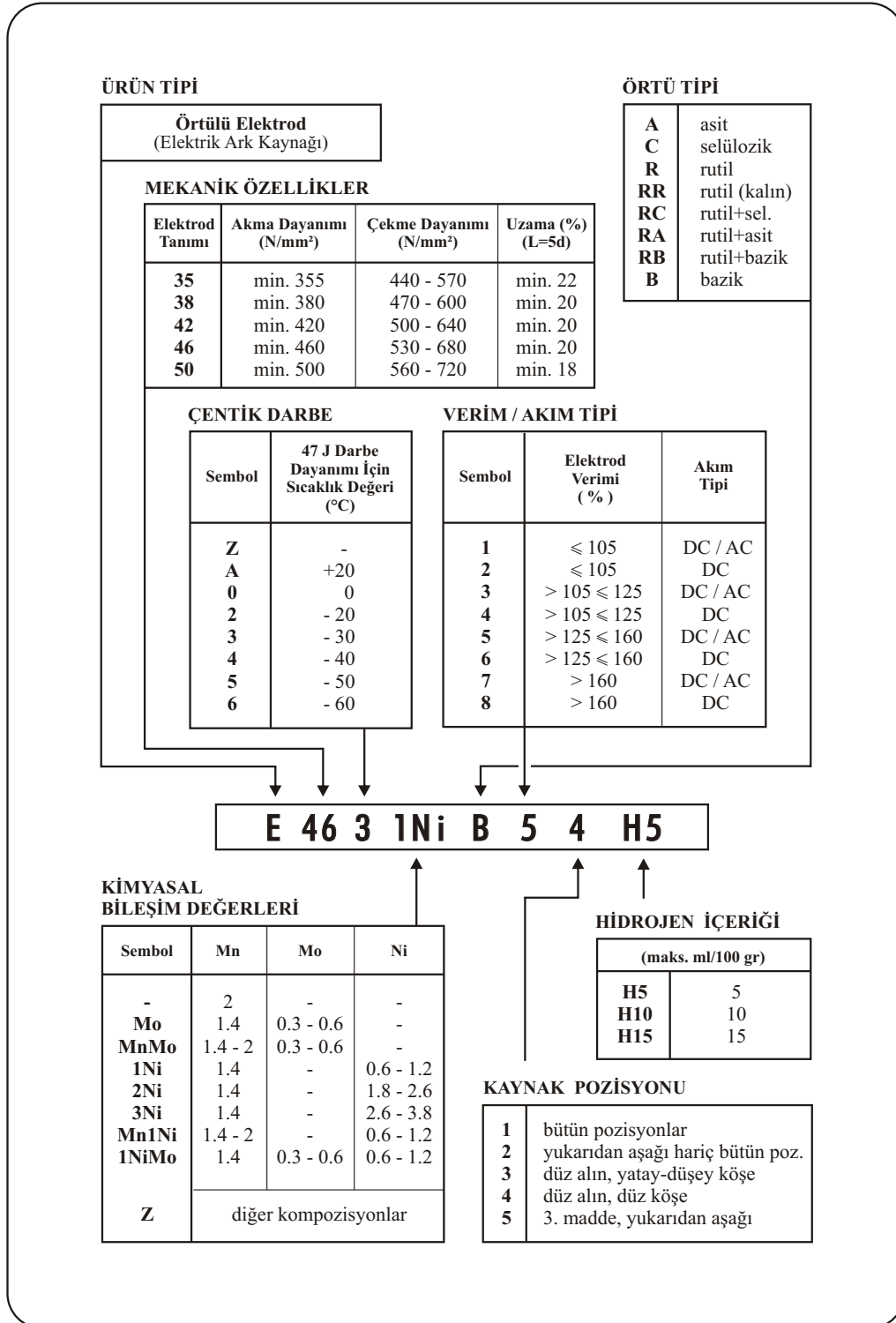
Bağlantı Tipi	Levha Kalınlığı (mm)	Kaynak Pozisyonu	Pasolar	Elektrod Çapı (mm)	Kaynak Akımı (A)	Min. Gerilim (V)	Üretim Hızı (m/saat)
	20	Oluk	1 2 3 4 5 6	4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00	130 275 275 275 325 275	25 30 30 30 34 30	1.8
	25	Oluk	1 1a 2 2a 3 3a 4 4a	4.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00 6.00	130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

Çelikler İçin Örtülü Elektrod Seçimi

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	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 Alaşımsız ve Düşük Alaşımlı Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Elektrodların Gösterilişi



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

Smfı	Örtü Tipi	Kaynak Pozisyonu *	Akım Tipi ve Kutup	Çekme Dayanımı Psi	Akma Dayanımı N/mm ²	Uzama min. %	V - Çentik Darbe Enerjisi
E6010	Selülozik, Sodyum	F, V, OH, H	DC (+)	62000	430	22	- 29°C'da 27 J
E6011	Selülozik, Potasyum	F, V, OH, H	AC, DC (+)	62000	430	22	- 29°C'da 27 J
E6012	Rutil, Sodyum	F, V, OH, H	AC, DC (-)	67000	460	17	-
E6013	Rutil, Potasyum	F, V, OH, H	AC, DC (+/-)	67000	460	17	-
E6020	Demir oksit	H-iç köşe	AC, DC (-)	62000	430	25	-
E6022	Demir oksit	F	AC, DC (+/-)	67000	460	-	-
E6027	Demir oksit, Demir tozu	H-iç köşe, F	AC, DC (-)	62000	430	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	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 alaşımlı 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 Alaşımlı İşlah 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)	Öntavlama 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)



Kaynak Tekniğı 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