

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PASLANMAZ ÇELİKLERİN MIG KAYNAĞINDA
KULLANILAN GAZLAR VE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Met. Müh. Tür kay AYDIN

Anabilim Dalı: METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ

Programı: SERAMİK

MAYIS 2002

**PASLANMAZ ÇELİKLERİN MIG KAYNAĞINDA
KULLANILAN GAZLAR VE ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Met. Müh. Türkay AYDIN
506991150**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2002**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erman TULGAR
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Niyazi ERUSLU (İ.T.Ü.)
Prof.Dr. Erdinç KALUÇ (KO.Ü.)**

MAYIS 2002

ÖNSÖZ

Bu çalışma esnasında, hepimizi yürekten üzen ciddi rahatsızlığı nedeniyle engin bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı bulamadığım hocam Sn. Prof Dr. Müh. Kutsal TÖLBENTÇİ' ye acil şifalar dilerim.

Değerli hocamızın yokluğunda, çalışmamı tamamlamam için bana her türlü desteği gösteren, çalışmayı yöneten hocam Sn. Prof. Dr. Müh. Erman TULGAR' a ve yardımını esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Müh Erdinç KALUÇ' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında bana yardımcı olan Sn. Mak. Yük. Müh. Adem TAŞÇI' ya teşekkür ederim.

Askaynak Kaynak Tekniği San. ve Tic. A.Ş. ve Birleşik Oksijen San. ve Tic. A.Ş. firmalarının yetkililerine, çalışmamı gerçekleştirebilmem için yol gösterdikleri ve gerekli kaynakları sağladıkları için teşekkür ederim.

Çalışmam süresi boyunca bana destek ve yardımcı olan Kumru TİBET' e, Gökçe ŞENOCAK' a, Ahmet ÖRGÜN 'e, Subutay SEZGİN' e ve aileme sonsuz teşekkürler.

Mayıs 2002

Met.Müh.Türkay Aydın

İÇİNDEKİLER

	Sayfa no
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1.GİRİŞ	1
2.PASLANMAZ ÇELİKLER	5
2.1 Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri	5
2.2 Paslanmaz Çelik Türleri	16
2.2.1 Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çelikler	16
2.2.2 Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler	25
2.2.3 Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çelikler	36
2.2.4 Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler	46
2.2.5 Duplex Paslanmaz Çelikler	51
3.PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ	57
3.1 Kaynak Kabiliyeti Kavramı	57
3.2 Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	63
3.2.1 Martanzitik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	63
3.2.2 Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	64
3.2.3 Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	66
3.2.3.1 Delta Ferrit Fazının Oluşumu	66
3.2.3.2 Schaeffler Diyagramının Kullanımı	70
3.2.3.3 Krom Karbür Çökmesi ve Tanelerarası Korozyon	74
3.2.3.4 Gerilmeli Korozyon	76
3.2.3.5 Sigma Fazının Oluşumu	77
3.2.4 Çökelme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	77
3.2.5 Duplex Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti	79

4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN MIG KAYNAĞI	81
4.1 MIG Gazaltı Kaynak Yöntemi	82
4.1.1 MIG Kaynak Donanımı	83
4.1.2 MIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar	87
4.1.3 MIG Kaynağında Kullanılan Tel Elektrodlar	87
4.1.4.MIG Kaynağında Ark Taşınım Türleri ve Arkta Metal Taşınımı	92
4.2 Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Ağız Hazırlığı	95
4.2.1 Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkı ile Kesilmesi	97
4.3 Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı	102
4.4 Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı	102
4.5 Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı	103
4.6 Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı	105
4.7 Duplex Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı	106
5. PASLANMAZ ÇELİKLERİN MIG KAYNAĞINDA KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR VE ETKİLERİ	108
5.1 Soy Gazlar	109
5.1.1 Argon	110
5.1.2 Helyum	110
5.2 Karışım Gazlar	111
5.2.1 Argon-Helyum Karışımları	112
5.2.2 Argon-Karbondioksit Karışımları	112
5.2.3 Argon-Oksijen Karışımları	113
5.2.4 Helyum-Argon-Karbondioksit veya Oksijen Karışımları	114
5.3 Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar	115
5.4 Koruyucu Gaz Sağlama Sistemleri	120
6.SONUÇLAR	123
Kaynaklar	126
Özgeçmiş	128

ŞEKİL LİSTESİ

	sayfa no
Şekil 2.1 Demir-krom denge diyagramı	7
Şekil 2.2 Demir-nikel denge diyagramı	9
Şekil 2.3 Krom-nikel denge diyagramı	9
Şekil 2.4 Fe-Cr-Ni denge diyagramı (%70 ve %60 Fe için hazırlanmış)	10
Şekil 2.5 %18Cr, %8-10Ni, Fe alaşımlarında karbonun çözünürlüğü	11
Şekil 2.6 Fe-Cr-C alaşımlarında karbon ve krom bileşimlerinin etkisi ve yavaş soğuma halinde bulunan fazlar	12
Şekil 2.7 Fe-Cr-Ni ikili gibi denge diyagramlarında karbür fazları	12
Şekil 2.8 %0.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlansak suda soğutulmuş)	13
Şekil 2.9 %1.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlansak suda soğutulmuş)	14
Şekil 2.10 %2.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlansak suda soğutulmuş)	14
Şekil 2.11 %3.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlansak suda soğutulmuş)	15
Şekil 2.12 Schaeffler Diyagramı	15
Şekil 2.13 Fe-Cr alaşımlarında karbon miktarının ostenit alanını genişletici etkisi	16
Şekil 2.14 %12 kromlu 410 paslanmaz çeliğinin mekanik özelliklerine temperleme sıcaklığının etkisi	21
Şekil 2.15 %12 Cr' lu paslanmaz çeliklerin çentik-darbe özelliklerine temperleme sıcaklığının etkisi	21
Şekil 2.16 410 paslanmaz çeliğinde tipik geçiş davranışı	22
Şekil 2.17 X10Cr13 (410) paslanmaz çeliğinin TTT diyagramı	23
Şekil 2.18 Yüksek sıcaklıkta ostenit için karbon miktarı üzerine kromun etkisi	23

Şekil 2.19 Krom-nikel oranlarına göre geliştirilmiş Fe-Cr-Ni ikili gibi denge diyagramları	24
Şekil 2.20 Ferritik kromlu paslanmaz çelikler ve uygulama alanları	28
Şekil 2.21 Fe-Cr denge diyagramında $\gamma + \alpha$ bölgesinde karbon ve azotun (verilen eşit ağırlıkta) etkisi	30
Şekil 2.22 %17 kromlu çeliğin mekanik özelliklerine sıfırlı sıcaklıkların etkisi	34
Şekil 2.23 %17 kromlu 2mm. kalınlığındaki sacın eğilme açısı ve sertlik üzerine ısı işlem ve stabilizasyonun etkisi	35
Şekil 2.24a Demir-krom denge diyagramında karbonun etkisi (0.05C)	37
b Demir-krom denge diyagramında karbonun etkisi (0.4C)	37
Şekil 2.25 AISI 202 çeliğinin mekanik özelliklerine soğuk şekil değişiminin etkisi	43
Şekil 2.26 AISI 301 çeliğinin mekanik özelliklerine soğuk şekil değişiminin etkisi	44
Şekil 2.27 AISI 305 çeliğinin mekanik özelliklerine soğuk şekil değişiminin etkisi	45
Şekil 2.28 AISI 310 çeliğinin mekanik özelliklerine soğuk şekil değişiminin etkisi	45
Şekil 2.29 Tozaltı kaynağı uygulanmış bir duplex paslanmaz çelikte kaynak bölgesinin mikroyapısı	54
Şekil 3.1 Kaynak metalinin katılaşma evreleri	59
Şekil 3.2 Tek pasolu bir alın kaynak dikişinde segregasyon bölgesi	59
Şekil 3.3 Bazı metal ve alaşımların kaynağında IEB' deki içyapılar	60
Şekil 3.4 Kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağımlılığının şematik olarak gösterilmesi (DIN 8528)	61
Şekil 3.5 DIN 8528' e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörlerin şematik gösterimi	62

Şekil 3.6 %0.05 C ve %17 Cr içeren ferritik ve 18/8 krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerde zaman-sıcaklık-çökeltme diyagramları	65
Şekil 3.7 Schaeffler diyagramı	68
Şekil 3.8 De Long diyagramı	69
Şekil 3.9 Bir paso ile yapılan dolgu kaynağında E ve I oranları	70
Şekil 3.10 Bir V-alın birleştirmesinde E (E_1 ve E_2) ve I oranları	71
Şekil 3.11 Ferritik çeliklerin ostenitik elektrodlarla gerçekleştirilen heterojen bağlantı yapılarını gösteren Schaeffler diyagramı	73
Şekil 3.12 %4-6 krom içeren ve orta derecede ısı dayanımına sahip çeliklerin heterojen birleştirme işlemlerini gösteren Schaeffler diyagramı	73
Şekil 3.13 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom miktarının azalması (şematik)	75
Şekil 3.14 WRC 1992 diyagramı	80
Şekil 4.1 MIG kaynak donanımı	84
Şekil 4.2 Torç kesiti ve torç bağlantı paketi	85
Şekil 4.3 MIG kaynağında kutuplamanın etkisi	86
Şekil 4.4 MIG kaynağında ark bölgesi	93
Şekil 4.5 MIG yönteminde arkta metal taşınım türleri	93
Şekil 4.6 Plazma arkı oluşturma yöntemleri	98
Şekil 4.7 Plazma arkı ile kesmenin prensip şeması	99
Şekil 5.1 Ar/CO ₂ karışım gazlarında artan CO ₂ oranına bağlı olarak arkta metal taşınım türü ile kaynak dikiş nüfuziyet profilinin değişimi	113
Şekil 5.2 Gazaltı kaynağında alaşım elementlerinin yanması	119
Şekil 5.3 MIG kaynağında tek bir tüpten gaz temini	120

TABLO LİSTESİ

	sayfa no
Tablo 2.1 Endüstride karşılaşılan martenzitik paslanmaz çelik türleri	18
Tablo 2.2 Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler ve uygulama alanları	19
Tablo 2.3 Martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri	20
Tablo 2.4 Bazı yumuşak martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri	25
Tablo 2.5 Başlıca ferritik kromlu paslanmaz çelikler	27
Tablo 2.6 Yeni tür ferritik paslanmaz çelikler	29
Tablo 2.7 Normalize haldeki bazı ferritik paslanmaz çeliklerin çekme mukavemetleri	32
Tablo 2.8 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler	39
Tablo 2.9 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri	40
Tablo 2.10 Bazı ostenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri	42
Tablo 2.11 Süper ostenitik paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri	46
Tablo 2.12 Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri	48
Tablo 2.13 Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklere uygulanacak ısıl işlemler	49
Tablo 2.14 Duplex (çift fazlı) paslanmaz çelikler	55
Tablo 2.15 Euronorm'a göre ticari duplex paslanmaz çelikler	56
Tablo 2.16 Duplex paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri	56
Tablo 3.1 Martenzitik paslanmaz çelikler için ön tav, kaynak ısı girdisi ve son tav gereksinimi	64
Tablo 3.2 Krom ve nikel eşdeğeri formüllerinin tarihsel gelişimi	69
Tablo 3.3 Krom karbür çökeltmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı	75
Tablo 3.4 Duplex ve super-duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı için önerilen ısı girdisi ve pasolararası sıcaklıklar	79

Tablo 4.1 TS 11197' ye göre paslanmaz tellerin kimyasal bileşimi	88
Tablo 4.2 DIN 8556' ya göre paslanmaz ve ısıya dayanıklı çelikler için kaynak telleri	89
Tablo 4.3 AWS A5.9' a göre paslanmaz ve korozyona dayanıklı çelik tellerin kimyasal bileşimi	90
Tablo 4.4 AWS A5.22' ye göre paslanmaz çeliklerin kaynağı için özlü elektrodlar	91
Tablo 4.5 TS 8047' ye göre paslanmaz çeliklerin kaynağı için özlü teller	92
Tablo 4.6 Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında önerilen ağız biçimleri	96
Tablo 4.7 Paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesinde çalışma koşulları	101
Tablo 4.8 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kısa ark ile MIG kaynağında önerilen kaynak koşulları	104
Tablo 4.9 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin spreyc ark ile MIG kaynağında önerilen kaynak koşulları	105
Tablo 4.10 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan kaynak parametreleri	105
Tablo 4.11 AWS' ye göre sınıflandırılmış çökeltme sertleşmeli çeliklerin kaynağı için önerilen dolu teller	106
Tablo 4.12 Duplex ve süper-duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı için önerilen ek kaynak malzemeleri	107
Tablo 5.1 Doğal havanın bileşimi	108
Tablo 5.2 EN 439' a göre gazların özellikleri	109
Tablo 5.3 Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan ticari karışım gazlar	117
Tablo 5.4 Koruyucu gazın bileşimi ve saf kaynak metalinin karbon içeriği arasındaki ilişki	119

ÖZET

Bu çalışmada; endüstride yaygın kullanımı olan yüksek korozyon direncine sahip paslanmaz çelikler, paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyetleri, bir gazaltı kaynak yöntemi olan MIG (Metal Inert Gas) kaynağı ile paslanmaz çeliklerin kaynağı ve özellikle de paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar incelenmiştir. MIG kaynak yönteminde kaynak metalinin bileşimine ve mekanik özelliklerine etkiyen en önemli parametrelerden biri olan koruyucu gaz seçimi, paslanmaz çeliklerin kaynağında daha da önem kazanmaktadır. Korucu gaz, ergimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini engelleme, azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların sıvı kaynak banyosunda çözünerek kaynak metaline girmesini engelleme işlevlerini yerine getirir. MIG kaynak yönteminde argon, helyum gibi soygazlar ile bu gazların karışımları ve argon veya helyuma, oksijen ve/veya karbondioksit gibi oksitleyici gazlar ilave edilerek elde edilen karışım gazlar kullanılır. Saf argon veya helyum kullanılması sonucu ortaya kararsız bir ark çıkar. Argona oksijen veya karbondioksit katılması, arkın dengelenmesini sağlar, sakin ve sıçramasız bir ark ile kaynak olanağı sağlar. Koruyucu asal gaza oksijen veya karbondioksitin katılmasının sınırlandırılmasının nedeni ise, kaynak yüzeyinin oksitlenmiş olması ve kaynak metalinin arkta geçerken oksitlenme sonucu alaşım elementi kaybıdır. Helyuma %25 argon ilave edilmesi ile saf argona göre daha derin bir nüfuziyet ve daha üstün ark kararlılığı bir arada elde edilebilmektedir. Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, genel olarak %1-2 civarında oksijen veya karbondioksit gibi oksitleyici bileşenler içeren argon gazı veya %20 argon, %2-3 civarında oksijen ve karbondioksit içeren helyum gazı kullanılır.

ABSTRACT

In this study; the weldability of stainless steels, MIG (Metal Inert Gas) welding of stainless steels and the shielding gases are analyzed. The selection of shielding gas is one of the most important parameters in MIG welding. Shielding gases affect the composition and the mechanical properties of the welding metal and it becomes more important in welding stainless steel. The shielding gases prevent the reaction of the oxygen in the atmosphere with the alloy elements in the molten pool. In MIG welding, inert gases like Argon and Helium or the mixture of the both or Argon and oxygen or Argon and carbondioxide or mixture of Argon and Helium and oxygen and carbondioxide are mostly used. An unstable arc occurs after the usage of pure Argon or Helium. On the other hand, the addition of oxygen or the carbondioxide to the Argon balances the arc stability. The reason of the limitation in adding oxygen and the carbondioxide to the shielding gas is the oxidized welding surface and the alloy element loss because of the oxidation in the arc. The addition of 25% Argon to Helium provides better arc stability than the pure Argon. Helium+2-3% oxygen and carbondioxide or Argon+1-2% oxygen and carbondioxide are generally used in MIG welding of stainless steels.

1. GİRİŞ

Günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemeleri arasına giren paslanmaz çeliklerin her geçen gün kullanım alanlarının artmasının temel nedeni korozif ortamlarda, mekanik özelliklerini yitirmeden gösterdikleri yüksek korozyon dirençleridir. Her türde ve biçimde bulunabilen ve kolaylıkla şekillendirilebilen paslanmaz çeliklerin geliştirilmiş kaynak yöntemleri ile başarılı bir biçimde kaynak edilebilmeleri uygulama alanlarını daha da genişletmektedir.

Paslanmaz çelikler, paslanmazlık özelliklerine sahip olabilmeleri için bileşimlerinde en az %12 krom içermek zorundadırlar; krom, çeliği küçük taneli yapar, kritik soğuma hızını azaltarak şiddetli sertleştirici etkide bulunur ve yapıdaki miktarı arttıkça yüksek sıcaklıklardaki oksidasyon direncini artırır.

Alaşım elementi olarak çeliğin içinde %12' den fazla kromun bulunması, çeliği atmosferin olumsuz etkilerinden koruduğu gibi, nitrik asit gibi oksitleyici asitlere karşı da korur, buna karşın yalnız krom içeren çelikler hidroklorik asit ve sülfirik asit gibi asitlere karşı dayanıklı değildirler. Bu asitler yüzeyi koruyan krom oksit tabakasını ortadan kaldırır ve dolayısıyla çelik korumasız kalır. Günümüz endüstrisinde redükleyici asitlere karşı da iyi bir direnç gösteren, içinde nikel, molibden gibi alaşım elementleri bulunan paslanmaz çelikler üretilmektedir. Bu alaşım elementleri çeliklerin mikroyapılarını etkin bir biçimde değiştirebilir, bu durum paslanmaz çeliklerin sınıflandırılmasına da yardımcı olur.

Paslanmaz çelikler, özellikleri ve bileşimleri açısından günümüz endüstrisinde beş ana gruba ayrılırlar:

1. Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler
2. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler
3. Ostenitik kromlu-nikelli paslanmaz çelikler
4. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler
5. Çift fazlı (duplex) paslanmaz çelikler

Günümüzde uygulama alanı bulmuş 170'den fazla paslanmaz çelik türü bilinmektedir. Bunun yanısıra sürekli yeni alaşımlar üretilmekte ve eski alaşımlar da optimize edilerek özellikleri geliştirilmektedir. Bazı türlerde krom içeriği %30' a ulaşmakta ve bazılarında da yeni elementler katılarak değişik özellikler elde edilmekte ve talaşlı işlenebilme kolaylığı sağlanmaktadır.

Kaynaklanabilen paslanmaz çeliklerin en yüksek tonajlı imal edilenleri ostenitik kalitelere sahiptir. Bunlar krom miktarı %17' yi ve nikel miktarı birkaç istisna hariç %7' yi aşan AISI 200 ve 300 serisi krom-nikel çelikleridir. Bu grubun en önemli karakteristiği yükseltilmiş sıcaklıklardan soğutulurken ostenitik yapıyı korumalarıdır. Ostenitik tipler genellikle yüksek süneklik, düşük akma dayanımı ve yüksek çekme dayanımlarına sahiptirler. Bu özellikleri sayesinde biçimlendirmeye ve derin çekme operasyonlarına uygundur. Ostenitik paslanmaz çelikler paslanmazlar içerisinde korozyon direnci en yüksek olanlardır.

Paslanmaz çelik yapı elemanlarının birbirleri ile veya farklı çelikler ile birleştirilmelerinde veya yüzeylerinin kaplanması işlemlerinde kullanılan kaynak yöntemleri eritme kaynak yöntemleri ve basınç kaynak yöntemleri olarak iki ana grup altında toplanır:

Eritme kaynak yöntemleri:

- ◆ Gaz eritme kaynağı
- ◆ Örtülü elektrod ile ark kaynağı
- ◆ Ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağı
 - ◆ Dolu tel elektrod ile
 - ◆ Özlü tel elektrod ile
- ◆ Ergimeyen elektrod ile gazaltı kaynağı
- ◆ Tozaltı kaynağı
- ◆ Plazma arkı ile kaynak
- ◆ Elektron ışın kaynağı
- ◆ Laser ışın kaynağı

Basınç kaynak yöntemleri:

- ◆ Elektrik direnç kaynağı
- ◆ Direnç nokta veya dikiş kaynağı
- ◆ Yakma alın kaynağı
- ◆ Sürtünme kaynağı
- ◆ Difüzyon kaynağı

Paslanmaz çeliklerin kaynak ağızlarının hazırlanmasında ince saclar için mekanik kesme yöntemleri veya plazma arkı ile kesme; kalın parçalar için ise plazma arkı ile kesme, oyuk açma veya talaşlı işleme yöntemleri kullanılmaktadır.

Kaynak maliyetini düşürmek, yapım süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikişin kalitesine olan etkisini azaltmak için, günümüz teknolojisi mekanize veya otomatik kaynak yöntemlerinin gelişmesini sağlamıştır. Tüm bu kaynak yöntemlerinde ana tema, çıplak elektrod telini mekanik bir teçhizat yardımıyla otomatik olarak sürekli ilerletip, akımı, ark bölgesine çok yakın bir yerden vererek telin yüklenebileceği akım şiddetini arttırmak ve böylece ergime gücünü yükseltmektir. Ancak burada en önemli konu, elektrod örtüsünün sağladığı yararları yüklenecek bir nesnenin devreye sokulmasıdır.

Bilindiği gibi, elektrod örtüsünün en önemli görevlerinden biri ve en vazgeçilmez olanı bir koruyucu gaz atmosferi oluşturarak, kaynak banyosunu havanın oksijen ve azotun olumsuz etkilerinden korumasıdır; buna göre örtünün görevini yerine getirecek bir nesnenin bu görevi yerine getirmesi gereklidir. Bu konuda yapılan çalışmalar sonucunda iki ayrı yoldan gidilerek, bugün gazaltı ve tozaltı diye adlandırdığımız kaynak yöntemleri geliştirilmiştir.

Gazaltı kaynak yöntemleri de ergimeyen bir tungsten alaşımlı elektrod kullanıldığında TIG yöntemi ve plazma ark yöntemi, diğeri ise kaynak bölgesine sürekli beslenen ve ergiyen bir tel elektrodun kullanıldığı MIG kaynak yöntemidir.

Yapılan araştırmalar sonucu, ilk defa ABD' de alüminyum alaşımlarının sonra sırası ile yüksek alaşımlı çeliklerin, bakır ve alaşımlarının, karbonlu çeliklerin kaynağında uygulanmış olan MIG (Metal Inert Gas) kaynak yönteminde ark, helyum veya argon gibi koruyucu asal bir gaz atmosferi altında oluşur.

Son 20 yıl içerisinde MIG kaynağı, bir çok kaynaklı yapının üretiminde, verimli bir üretim yöntemi haline hızla gelmiştir. Avrupada 1974 yılında MIG kaynağının pazar payı %30' dur, bu oran 1984' te %50' nin üzerine çıkmıştır.

MIG kaynağının bu hızlı gelişiminde etkili olan üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- ◆ Daha yüksek dolgu oranı (kg kaynak metali / saat)
- ◆ Daha yüksek iş frekansı (kaynak zamanı / toplam üretim zamanı)
- ◆ Yöntemin mekanizasyona uygunluğu
- ◆ Robot kullanımı mümkün olması

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür saf malzemesi vardır, bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve ek kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir. Zira son yıllarda geliştirilen ikili ve üçlü gaz karışımlarının bağlantının ve kaynak metalinin mekanik özelliklerini etkilediği saptanmıştır.

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekmektedir. Koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosundaki alaşım elementlerinin oksijen ile reaksiyona girmesini engellemek, azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metaline sıvı kaynak banyosunda çözülerek girmesini önlemek işlevlerini yerine getirir. Ergimiş halde hemen hemen bütün metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler ve ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştıran kaynak metalindeki elementler ile birleşerek yeni bileşikler oluştururlar; bu olay kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye sebep olur.

Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında genel olarak %1-2 civarında O_2 ve CO_2 gibi oksitleyici bileşen içeren Argon gazı kullanılır. Argona oksijen veya karbondioksit katılması arkın dengelenmesini sağlar, bu konuda oksijen; karbondioksite nazaran 2-3 kat daha etkindir. Saf argon veya helyum ile bunların karışımlarının kullanılması sonucu ortaya kararsız bir ark çıkar, zira elektron emisyonu oksit içeren bölgelerden başlar ve emisyon başlayınca da oksit filmi kırılır. Böylece ark, üzerinde oksit bulunan başka bir bölgeye sıçrar ve bunun sonucunda da arkın gezinmesi olayı ile karşılaşılır, bu bakımdan koruyucu asal gaza az bir miktar oksijen veya karbondioksit katılması sonucu iş parçasında arkın bulunduğu yere çok yakın yerlerde oksit tabakası oluşur.

Koruyucu asal gaza oksijen ve karbondioksin katılmasının sınırlaması ise kaynak yüzeyinin oksitlenmiş olması ve kaynak metalinin arktan geçerken oksitlenme sonucu alaşım elementi kaybıdır.

2. PASLANMAZ ÇELİKLER

2.1. Paslanmaz Çeliklerin Genel Özellikleri

Çelikler diğer demir alaşımlarının büyük bir kısmı gibi atmosferde oksitlenirler ve yüzeylerinde bir oksit tabakası (pas) oluşur. Alüminyum ve çinkonun yüzeyinde oluşan koruyucu oksit tabakasının tersine çeliğin yüzeyini kaplayan bu oksit tabakası, oksitlenmenin iç kısımlara ilerlemesine engel olmaz . Paslanmaz çeliklerde ise, korozyon direnci artan krom miktarına bağlı olarak yükselmektedir. Bu konuda farklı birçok görüş varsa da bunlardan en kabul göreni, sıkı ve ince bir krom oksit tabakasının paslanmaz çelik üzerinde oluştuğu ve bu tabakanın oksidasyon ve korozyonun ilerlemesine engel olduğudur. Çeliğin içeriğindeki kromun koruyucu etkisi, krom ile oksijen arasındaki afiniteden ileri gelmektedir. Krom içeren çelikler yüzeyi bir krom oksit tabakası ile örtülü olmadığı takdirde korozyona ve özellikle oksidasyona karşı çok hassastırlar; bu hale aktif denir, buna karşın bu oksit tabakası oluşma olanağı bulunduğu metali korozyon ortamlara karşı korur, dolayısı ile çelikler pasifleşmiş olur. Pasivitenin sınırları ile derecesi ortamın aktivitesi ile paslanmaz çeliğin tür ve bileşimine bağlıdır. Koşulların uygun olduğu hallerde pasivite kalıcıdır ve paslanmaz çelik çok yavaş bir korozyon hızına sahiptir[11].

Bu pasif film yok olduğunda ve yeniden oluşması için gerekli koşulların bulunmaması halinde paslanmaz çelik korozyona uğrayabilir. Bu bakımdan paslanmaz çeliğin korozyon direncinin oluşabilmesi için en az %12 krom içermesi ve ortamda da oksijen bulunmasına gerek vardır[11].

Paslanmaz çeliğin yüzeyinde pasif bir tabakanın oluşabilmesi için mutlaka bir kimyasal bir işleme gerek yoktur. Bu film, yüzeyin oksijen ile teması halinde aniden oluşur, yani pasivasyon işlemi yüzeyde bulunan serbest demirin, oksitlerin ve diğer yüzey kirlerinin uzaklaştırılması esasına dayanır[11].

Paslanmaz eliklerin içersinde paslanmazlık özelliğini sağlayan elementlerin yanısıra, diğer bazı gereksinimleri karşılamak üzere ilave edilen alaşım elementleri veya kaçınılmaz olarak bulunan karbon ve bazı empüriteler bulunmaktadır[3].

Karbon; kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Yüksek mukavemetli alaşımlara sertleştirme ve mukavemet arttırıcı etki için katılmaktadır. Kaynak metalinin korozyon direncini ve düşük sıcaklıktaki tokluğunu negatif yönde etkiler.

Krom, bir karbür ve ferrit yapıcıdır. Korozyon ve tufalleşme direncini sağlayan alaşım elementidir. Paslanmaz eliklerde yüksek sıcaklıkta mukavemet ve sürünme mukavemetine belirgin bir etkisi yoktur.

Nikel, kuvvetli ostenit yapıcı ve dengeleyicidir. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Mukavemeti arttırır. Sıfırtaltı sıcaklıklarda kaynak metalinin tokluğunu negatif yönde etkiler.

Mangan, ostenit yapıcıdır. Tam ostenitik alaşımlarda kaynak metalinin çatlama direncini yükseltir.

Alüminyum, kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme direncini arttırır. Titanyum ile beraber bazı yüksek mukavemetli alaşımlara katılarak yaşlanma sertleşmesi etkisini azaltır. Kuvvetli nitrür yapıcıdır. %12 krom içeren kaynak metaline katılarak yapıyı ferritik yani sertleşmez hale getirir.

Niyobyum, kuvvetli bir karbür yapıcıdır. Ostenitik paslanmaz çelikleri krom karbür okelmesine karşı dengelemede kullanılır. Orta şiddette karbür yapıcıdır. Yüksek mukavemetli bazı alaşımlara sertliği ve mukavemeti etkilemek için katılmaktadır. Bazı martenzitik paslanmaz elik türlerine karbonu bağlayarak, çeliğin sertleşme eğilimini azaltmak amacıyla ilave edilir.

Azot, kuvvetli ostenit yapıcıdır. Yüksek kromlu ve az karbonlu çeliklerde yüksek sıcaklıklardaki tane büyümesini önlemek için katılır. Mukavemeti arttırır. Sıfırtaltı sıcaklıklarda kaynak metali tokluğunu negatif yönde etkiler.

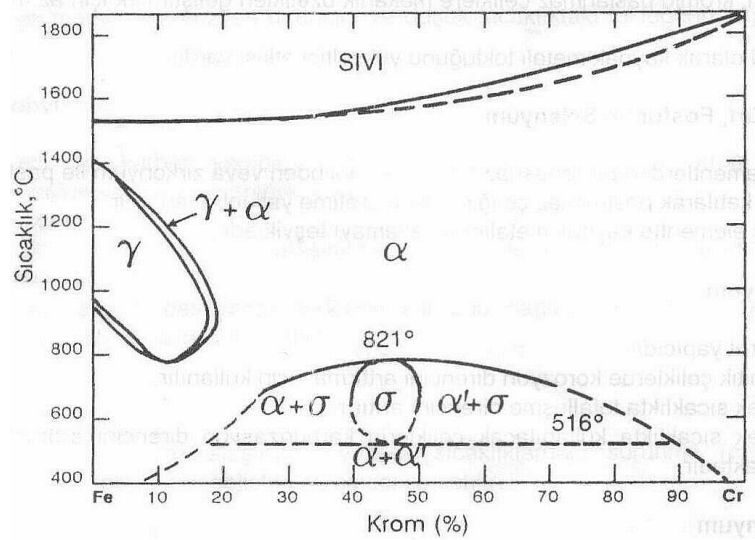
Kükürt, fosfor ve selenyum elementlerinden bir tanesi molibden veya zirkonyum ile az miktarda katılarak paslanmaz çeliğin talaşlı işlemeye yatkınlığını arttırır. Bu üç element de kaynak metalinde çatlamayı teşvik eder.

Silisyum, bir ferrit yapıcıdır. Ostenitik çeliklerde korozyon direncini arttırmak için kullanılır. Yüksek sıcaklıkta tufalleşme direncini artırır. Yüksek sıcaklıkta kullanılacak çeliklerin karbürizasyon direncini arttırmak için katılır.

Titanyum, ostenitik paslanmaz çeliklerde krom karbür çökmesini önlemek için dengeleme elementi olarak kullanılır. Kuvvetli ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklığa dayanımlı alaşımlara sertlik ve mukavemet artırıcı etkilerinden dolayı katılır. Bazı yüksek mukavemetli ve ısıya dayanıklı alaşımlara yaşlanma sertleşmesini etkilemek için alüminyum ile beraber katılır.

Tungsten, kuvvetli bir ferrit yapıcıdır. Bazı yüksek sıcaklık alaşımlarının mukavemet ve sürünme direncini arttırmak için ilave edilir.

Demir-krom sistemi, paslanmaz çelikler grubunun temelini oluşturur. Krom, kübik hacim merkezli kristal kafes (KHM) yapısına sahip ferriti kararlı hale getirir. Demir-krom denge diyagramında kübik yüzey merkezli kristal kafes yapısına sahip ostenitin oluşturduğu bölge olan ostenit (γ) alanını kapalı hale getirir ve bu faz en büyük krom çözünürlüğünü (%12), 1000°C civarında gösterir. Demir-krom denge diyagramından da görüldüğü gibi (Şekil 2.1), 1390°C' nin üzerinde ve 830°C' nin altındaki sıcaklıklarda hiçbir bölgede ostenite rastlanmaz[15].



Şekil 2.1 Demir-krom denge diyagramı[15]

Saf demir-krom alaşımları Şekil 2.1' deki ikili denge diyagramından da görüldüğü gibi %12' den fazla krom içermeleri halinde sıvı halden itibaren katılaştıklarında KHM kristal kafesli ferrit halinde katılaşmaktadır ve soğuma sırasında da hiçbir

dönüşüm göstermemektedir. Bu olay kararlı ostenit alanını da keskin bir şekilde sınırlandıran kromun ferrit oluşturma yeteneğinden kaynaklanmaktadır.

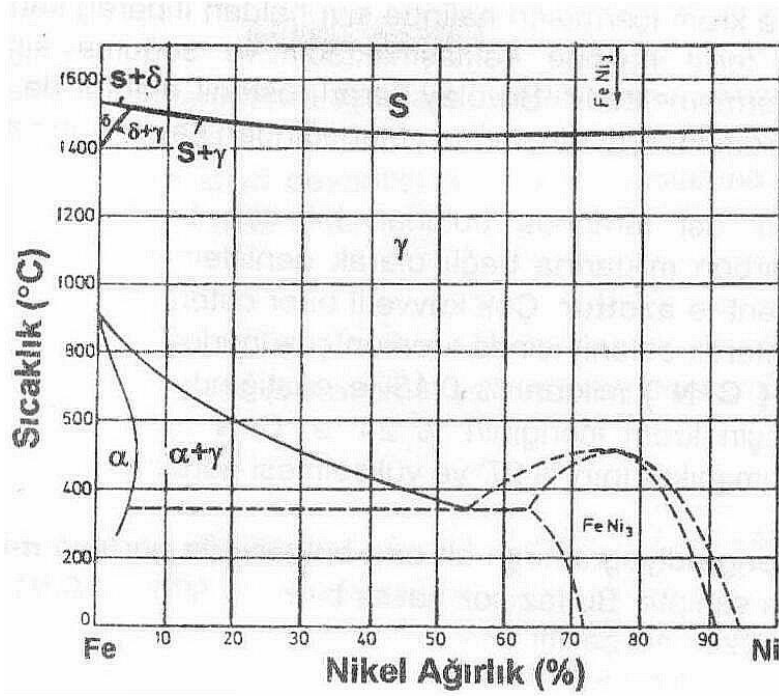
Diyagramın sol üst tarafında bulunan bir cep biçimindeki γ alanı alaşımın içeriğindeki karbon miktarına bağlı olarak genişlemektedir. γ alanını genişleten diğer bir element de azottur. Çok kuvvetli birer ostenit dengeleyici olan karbon ve azot, γ alanını genişleterek ostenit içinde kromun çözünürlüğünü artırır. Örneğin, burada karbon+azot miktarı %0.13' e eriştiğinde $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ dönüşümünün görülmemesi için krom içeriğinin %24' e, karbon+azot miktarının %0.2' ye çıkması halinde ise krom miktarının %27' ye yükselmesi gerekmektedir.

Demir-krom denge diyagramının alt orta bölgesinde görülen σ - fazı, tetragonal bir kafes yapısına sahiptir. Bu faz çok yavaş bir hızla 800 - 600°C sıcaklık aralığında oluşur. Zaman zaman çeşitli ticari paslanmaz çelik türlerinde, uzun süre belirli sıcaklıklara maruz kalma sonucu görülen sert ve gevrek metallerarası bir bileşik olan bu σ - fazının demir-krom ikili sisteminde oluşma aralığı çok dardır. 520°C' nin altındaki sıcaklıklarda bu faz ötektoid bir dönüşüm ile $\alpha + \alpha'$ fazlarına ayrışır. Bu katı hal reaksiyonunun oluşum ve gelişme hızı çok yavaştır. Hızlı soğuma σ - fazının oluşumunu önler ve bu durumda da α' fazı 520°C' nin altında ayrışarak ortaya çıkar. α' fazı yaklaşık olarak %90 krom içerir, gevrek bir fazdır ve bunun çökmesi sonucu 475°C gevrekliği diye adlandırılan bir olay ile karşılaşılır.

$\alpha + \alpha'$ fazlarının kafes parametreleri arasında sadece %0.2 kadar bir fark vardır ama buna karşın α demirce zengin, α' kromca fakirdir.

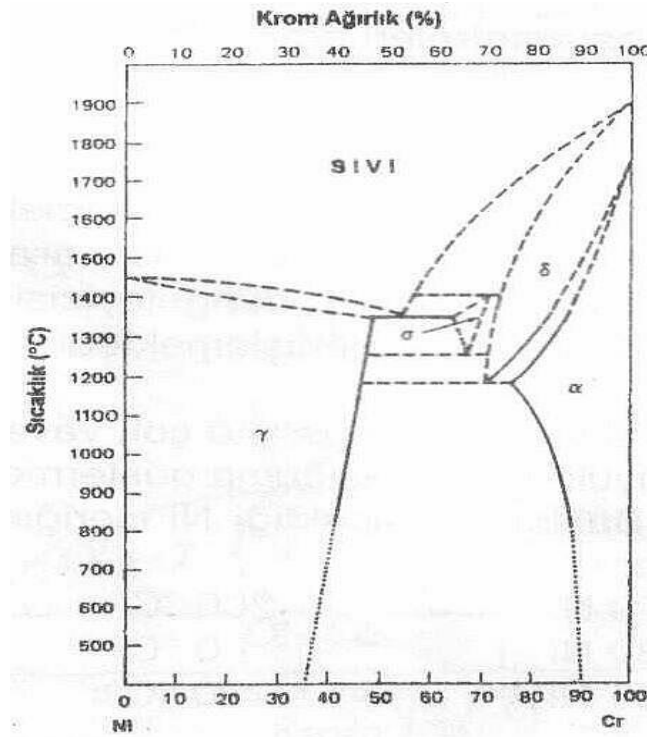
Günümüzde kullanılan demir-nikel denge diyagramı genel olarak 450°C' nin üzerindeki sıcaklıklar için geçerli olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.2). Nikelin α demiri içindeki çözünebilirliği 400 - 500°C arasında maksimum değere erişmektedir. Nikel şiddetli bir ostenit dengeleyicisidir. %30 nikel içeriği halinde γ alanı 500°C' den 1450°C' ye kadar genişlemektedir[3].

Soğuma sırasında ostenit fazının dönüşümü çok yavaş bir hızla gerçekleşir ve bakımdan dönüşüm büyük bir alt soğuma göstermektedir. Dolayısı ile, Ms sıcaklığı nikel içeriğinin artması ile çok büyük bir düşme gösterir. Örneğin, %20 nikel 220°C, %30 nikel 0°C, %34 nikel -220°C.



Şekil 2.2 Demir-nikel denge diyagramı [3]

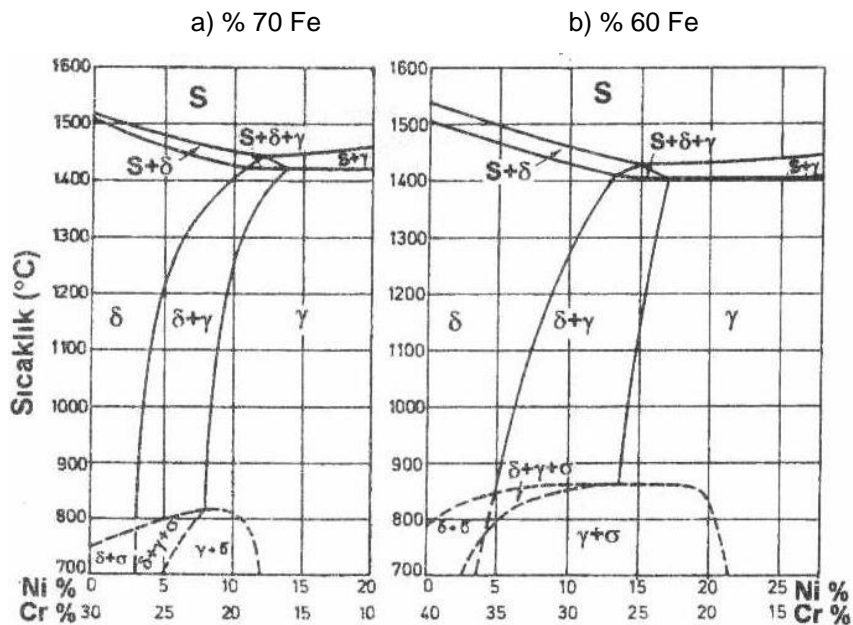
Demir-nikel denge diyagramındaki 450°C' nin altındaki olaylar henüz tam olarak açıklığa kavuşmamıştır. Krom-nikel denge diyagramından görüldüğü gibi saf krom, allotropik bir dönüşüme sahiptir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Krom-nikel denge diyagramı [3]

Bu sistemde yüksek sıcaklıklarda görülen σ ve δ fazları var oldukları sıcaklıklarından itibaren ani soğutulurken oda sıcaklıklarındaki varlıkları korunabilir. Bu diyagramda dikkati çeken en önemli olay ostenit alanının genişliğidir. Örneğin, 1350°C' de KYM kafese sahip olan nikel içinde %50' ye kadar krom çözümlenebilmektedir. Paslanmaz çelikleri oluşturan demir, krom, nikel gibi esas elementlerin kendi aralarındaki ikili denge diyagramlarında bazı bölgelerde görülen belirsizlikler Fe-Cr-Ni üçlü sistemine de yansımaktadır. Özellikle bazı reaksiyonların fazların oluşumunun ancak çok yavaş soğuma hızlarında görülebilmesi, az miktarda da olsa katışkı ve bazı alaşım elementlerinin ticari paslanmaz çeliklerin bileşimindeki varlığı, bu ikili denge diyagramlarının ticari paslanmaz çeliklerin iç yapılarının ve özelliklerinin belirlenmesinde etkin bir biçimde kullanılmasına neden olmaktadır.

Örneğin, Fe-Cr-Ni üçlü diyagramında (Şekil 2.4a ve b) 18 Cr – 8 Ni' li çeliğe ait kesiti incelediğimizde kromun yanısıra %8 – 10 nikel içeren paslanmaz çelik ancak 800 ila 1200°C arasındaki bir sıcaklıktan su verildiği takdirde oda sıcaklığında ostenitik yapıda bulunabilecektir. Ancak uygulamada bu çeliğin gerek yüksek sıcaklıklarda gerekse de oda sıcaklığında tamamen ostenitik bir yapıda olduğunu biliyoruz. Zira bu diyagramlarda karbon ve azotun, ostenitin dengelenmesine kuvvetli etkisi gözönüne alınmadığından bu şaşırtıcı sonuç ile karşılaşılmaktadır. Bu çelikte oda sıcaklığında görülen osteniti daha dengeli bir faz olan ferrite dönüştürebilmek için şiddetli bir plastik şekil değiştirme veya oda sıcaklığının çok altında bir sıcaklığa kadar soğutmak gerekmektedir [3].

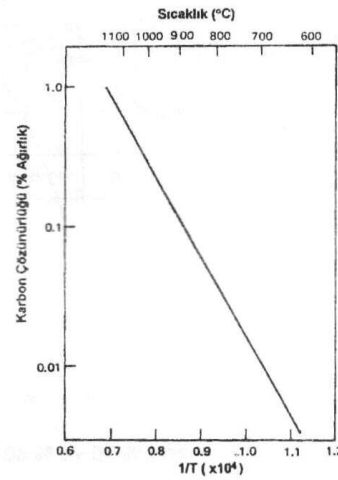


Şekil 2.4 Fe-Cr-Ni denge diyagramı (%70 ve %60 Fe için hazırlanmış) [3]

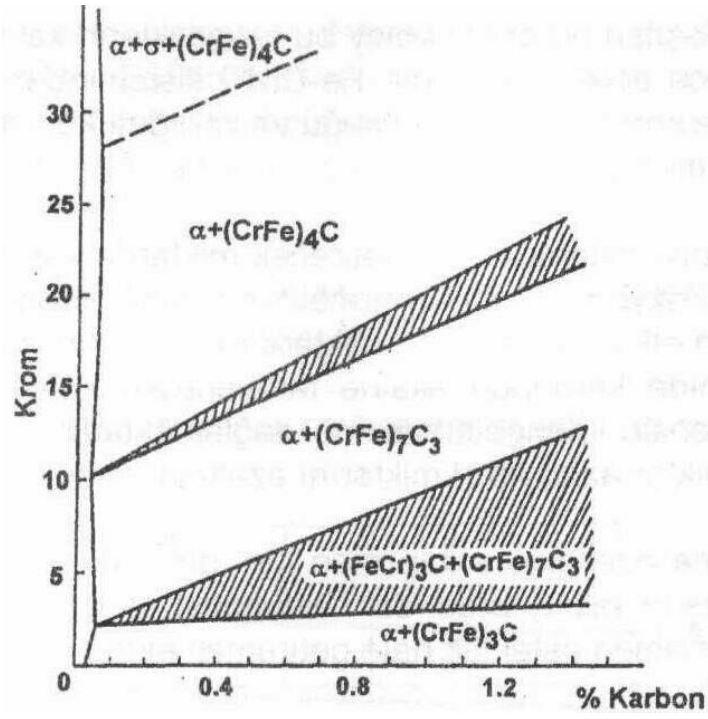
Şekil 2.4 Fe-Cr-Ni üçlü denge diyagramına bakıldığında oldukça önemli bir oluşum bölgesine sahip olan σ fazı çok yavaş bir hızla oluştuğundan bu sıcaklıklarda kullanılan paslanmaz çeliklerin özelliklerinin belirlenmesinde etkin bir faktör olarak gözönüne alınmaz. Yukarıda verilmiş olan ilk örnekten görüldüğü gibi Fe-Cr-Ni üçlü denge diyagramının ve dolayısı ile paslanmaz çeliklerin özelliklerine az miktarda dahi katılan alaşım elementlerinin etkileri çok kuvvetlidir[3].

Fe-Cr-Ni üçlü sisteminde en önemli konulardan bir tanesi de ostenitin dengelenmesi ve daha az nikel katkısı ile dengeli bir ostenitik iç yapıya sahip çelik elde edilmesidir. II.Dünya ve Kore savaşları yıllarında karşılaşılan nikel kıtlığı, ABD ve Almanya'nın ostenitik paslanmaz çeliklerde nikel yerini alabilecek elementleri araştırması konusunun gerekliliğini çıkarmıştır. Ancak bilindiği gibi, karbon, azot, mangan, bakır ve kobalt gibi çok az sayıda element demir-krom sisteminde ostenit bölgesini genişletme doğrultusunda etkide bulunmaktadır. Fakat bu elementlerden hiçbiri tek başına katılmaları ile yeterli sonuçlar vermemektedir.

Örneğin, karbon, ostenitik Fe-Cr-Ni alaşımlarında çok az miktarda çözünebilmesine karşın ostenitin dengelenmesi konusunda çok büyük bir etkinliğe sahiptir (Şekil 2.5). Zira, karbon ostenit yapıcıdır. Yalnız, paslanmaz çeliklere katılabilecek karbon miktarı sınırlıdır. Zira karbonun çözünemeyen bölümü krom ile birleşerek karbürler oluşturur. Karbür fazının yayılımı krom ve karbon oranına bağlı olarak kromlu çelikler için Şekil 2.6' da gösterilmiştir. Normal çeliklerde bulunan karbon bilindiği gibi Fe_3C şeklinde karbür oluşturur. Çeliğin içeriğine kromun eklenmesi sonucunda da karmaşık yapılarda karbürler oluşur; örneğin $(FeCr)_3C$, $(FeCr)_7C_3$, yüksek krom içeren paslanmaz çeliklerin büyük bir bölümünde de bileşiminde %70 krom içeren $(FeCr)_4C$ karbürü bulunmaktadır.

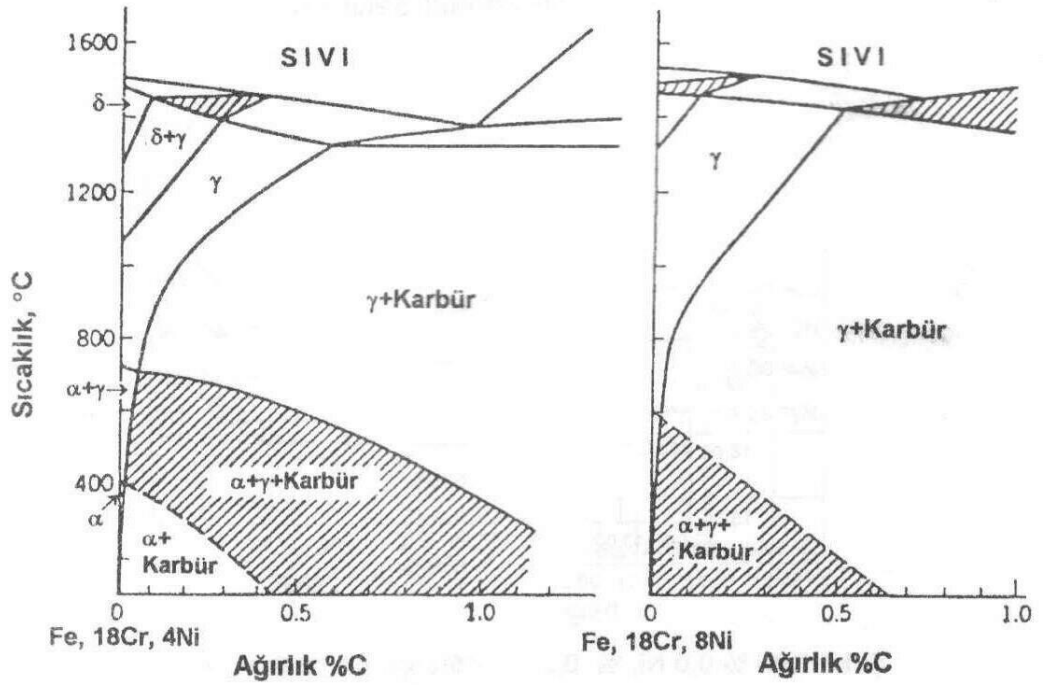


Şekil 2.5 %18Cr, %8-10Ni, Fe alaşımlarında karbonun çözünürlüğü[3]



Şekil 2.6 Fe-Cr-C alaşımlarında karbon ve krom bileşimlerinin etkisi ve yavaş soğuma halinde bulunan fazlar[3]

Fe-Cr-Ni sisteminde de, %4 Ni ve %8 Ni içeren alaşımlarda karbür fazının oluştuğu ve varlığını koruduğu bölgeler Şekil 2.7' de gösterilmiştir.

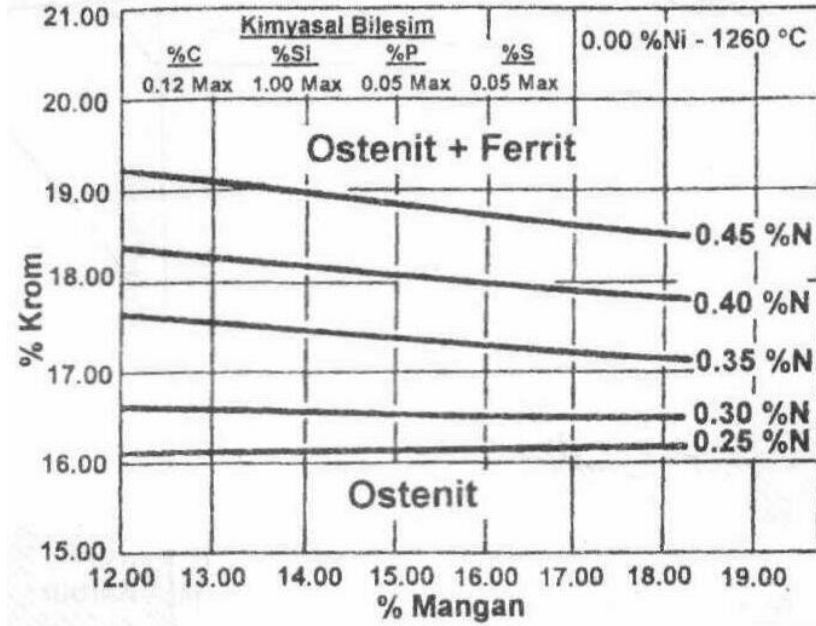


Şekil 2.7 Fe-Cr-Ni ikili gibi denge diyagramlarında karbür fazları[3]

Karbonun tüm yapıyı ostenitik hale getirecek miktarda katılması sonucu malzeme sünekliğini ve korozyon direncini yitirmektedir; diğer bir ostenit dengeleyicisi olan azot ise arzulanan etkiyi oluşturacak miktarda katılamamasına rağmen, Fe-Cr-Ni'li ostenitik bir yapıda karbona göre daha az tanelerarası korozyona sebep olmaktadır.

Osteniti dengeleme özelliğine sahip olan manganın yalnız başına alaşım elementi olarak %25' i aşan miktarlarda dahi katılması %15' ten fazla krom içeren alaşımları dahi tamamen ostenitik hale getirememektedir.

Diğer bir element olan bakırın ise yüksek sıcaklıklarda ostenitin sünekliğinin bozucu bir etkisi vardır. Ostenitleştirme etkinliği çok hafif olan kobalt ekonomik nedenlerden ötürü demir-krom alaşımlarında kullanılamamaktadır. Bu konuda yapılan çalışmalar, demir-krom alaşımlarına mangan ilavesi sıvı metalde azot çözünürlüğünü arttırmakta ve ostenitik yapıyı dengelemek için azot ilave edildiğini göstermiştir. Azot içeren Fe-Cr-Mn alaşımına az bir miktar nikel eklenmesi, ostenitik yapıyı artan krom miktarına karşın daha kararlı hale getirmektedir. Bu olay, ostenite sıcak şekil verme sıcaklığı olan 1260°C' de de görülmektedir (Şekil 2.8, 2.9, 2.10, 2.11) [3].



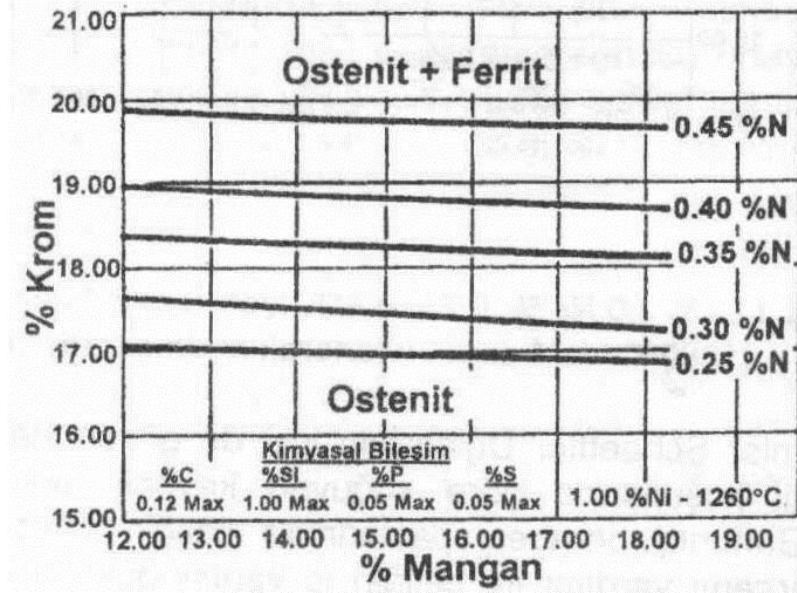
Şekil 2.8 %0.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlansak suda soğutulmuş) [3]

Paslanmaz çeliklerdeki alaşım elementlerinin etkinlik dereceleri krom eşdeğeri $Cr_{eş}$, ostenit dengeleyicileri nikel eşdeğeri $Ni_{eş}$ olarak gruplanarak değerlendirilmektedir. Uzun yıllar araştırmalar sonucu aşağıdaki ampirik bağıntılar geliştirilmiştir[3].

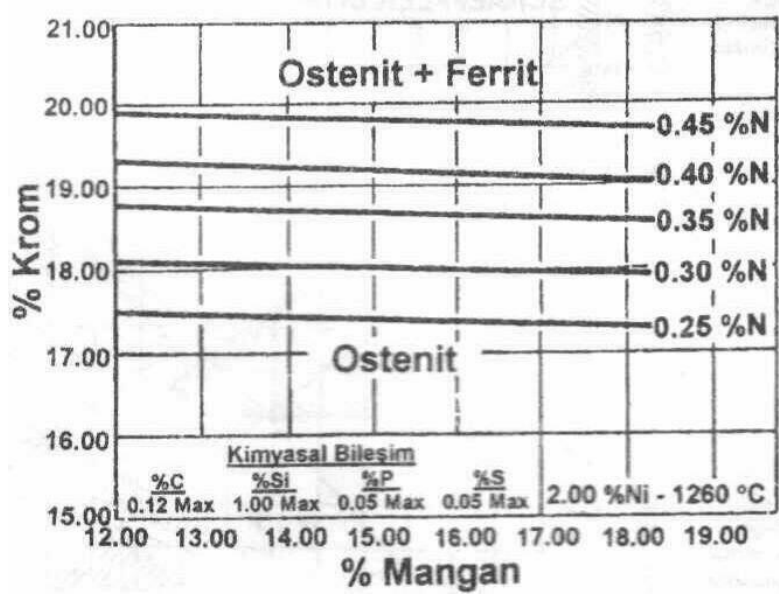
$$Cr_{eş} = \% Cr + 2X \% Si + 1,5X \% Mo + 5X \% V + 5,5X \% Al + 1,75X \% Nb$$

$$+ 1,5X \% Ti + 0,75X \% W$$

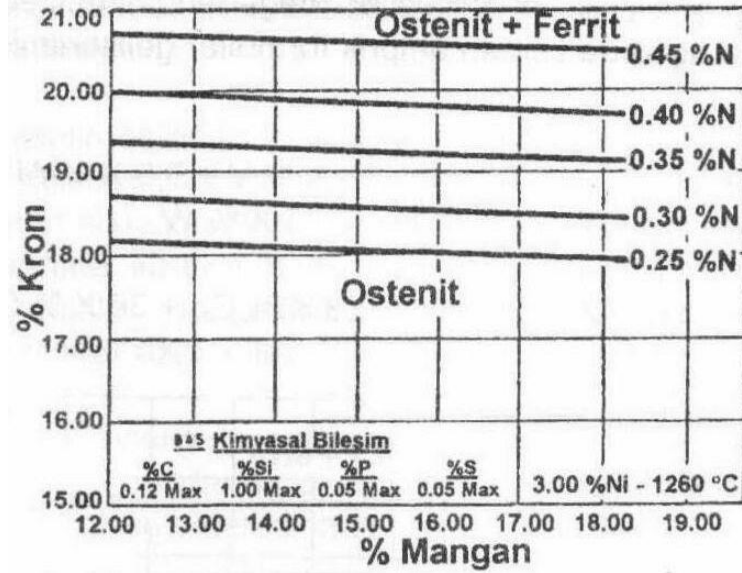
$$Ni_{eş} = \% Ni + \% Co + 0,5X \% Mn + 0,3X \% Cu + 30X \% C + 25X \% N$$



Şekil 2.9 %1.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlانarak suda soğutulmuş) [3]

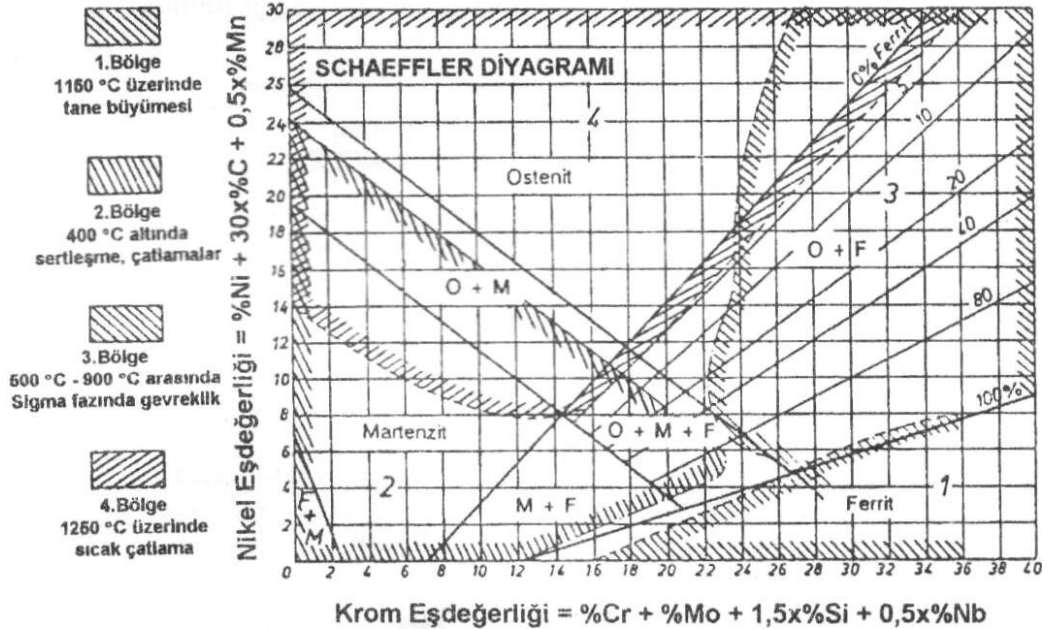


Şekil 2.10 %2.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlانarak suda soğutulmuş) [3]



Şekil 2.11 %3.0 Ni, %0.25-0.45 N içeren çelikte yapı diyagramı (1260°C' de 1 saat tavlانarak suda soğutulmuş) [3]

Benzer denklemler Schaeffler diyagramı için de gözönüne alınmıştır. Ancak bu diyagram kendi koşullarına göre soğuyan kaynak metali için geliştirilmiştir (Şekil 2.12). Bununla beraber, paslanmaz çeliğin bileşimi bilindiği takdirde Schaeffler diyagramı yardımıyla çeliğin içyapısındaki fazlar kabul edilebilir bir yakınsaklık ile saptanabilir.

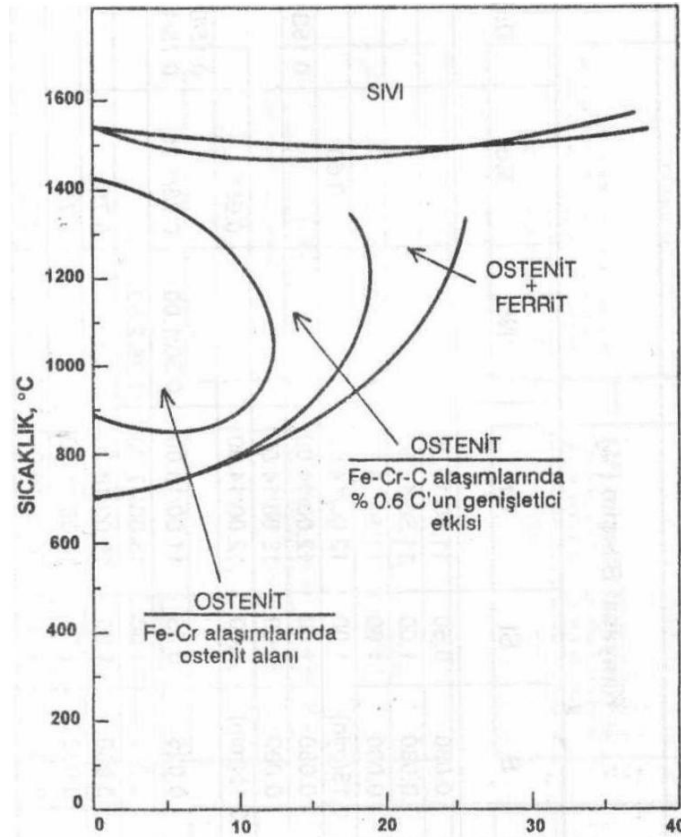


Şekil 2.12 Schaeffler Diyagramı [3]

2.2. Paslanmaz Çelik Türleri

2.2.1. Martenzitik Kromlu Paslanmaz Çelikler

Martenzitik kromlu paslanmaz çelikler %11.5'tan fazla krom içeren ve yüksek sıcaklıklarda ostenit yapısına sahip olan ve uygun bir soğutma işlemi ile de iç yapıları oda sıcaklığında martenzitik olan paslanmaz çeliklerdir. Bu tanım paslanmaz çeliklerin krom içeriğini sınırlamaktadır zira, bu dönüşümün gerçekleşebilmesi için çeliğin bileşiminin yüksek sıcaklıklarda γ alanı içine düşmesi gerekmektedir. Karbon, γ halkasını genişlettiğinden uygulamada çeliğin içeriğinde bulunan karbon yardımı ile %18 krom içeren çelik de yüksek sıcaklıkta tam ostenitik yapıya dönüşebileceğinden bu gruba girmektedir (Şekil 2.13). Bu tür paslanmaz çeliklerde krom miktarı alttan % 11.5, üstten de %18 ile sınırlanmıştır. Burada alt sınırı korozyon direnci, üst sınırı da yüksek sıcaklıkta çeliğin tamamen ostenitik yapıya dönüşebilme özelliği belirlemektedir[3].



Şekil 2.13 Fe-Cr alaşımlarında karbon miktarının ostenit alanını genişletici etkisi[3]

AISI normuna göre 4XX serisi şeklinde gruplandırılan bu tür çelikler DIN ve TSE standartlarına göre yüksek alaşımlı çelikler grubu gibi simgelendirilerek X10Cr13, X105CrMo17 tarzında işaretlenmektedir (Tablo 2.1). TS 2535 paslanmaz çelikleri 'çeşitli kimyasal etkilere karşı dayanıklı olan ve bileşiminde ağırlık olarak %11.5' den çok krom içeren çeliktir' diye tanımlarken, martenzitik paslanmaz çelikleri, 'bileşiminde %11.5-18 krom bulunan ve ısıtma işlemi ile sertleştirilebilen martenzitik yapıya sahip paslanmaz çeliktir' diye tanımlamaktadır[6].

Yumuşak martenzitik çelikler olarak nitelendirilen az karbonlu krom-nikelli martenzitik paslanmaz çelikler hariç tutulursa bu gruba giren çeliklerden 440 türü (%16-18 krom içerir) dışındakilerin krom içeriği %14' ü aşmaz ve diğer alaşım elementlerinin toplamı da %2-3' ten fazla değildir.

Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin uygulama alanları ve özelliklerinden bir bölümü Tablo 2.2' de verilmiştir.

Martenzitik paslanmaz çelikler, normal karbonlu çeliklerden daha zor işlenirler. X12CrS13 (416) çeliğinde az miktarda kükürt ve AISI normunda 416Se olarak bilinen çelikte de az miktarda selenyum işlenebilme kabiliyetini geliştirir. Selenyum kullanılması korozyon direnci yönünden kükürtten daha az etkilidir. X90CrMoV18 (440B) ve X105CrMo17 (440C) gibi yüksek karbonlu türler, yüksek mukavemete, yüksek korozyon ve aşınma direncine sahiptirler; dolayısıyla bu türler kesici takımların, vanaların ve rulmanlı yatakların yapımında uygulama alanı bulurlar[6].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin kritik soğuma hızlarının çok düşük olması nedeniyle yavaş soğuma halinde bile martenzit oluşur. Bu tür çeliklerin, martenzitik halde, sertleşmiş durumda korozyon dirençleri oldukça iyidir. 815°C' ye kadar paslanmazlık özelliklerini yitirmezler, yalnız uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalırlarsa hafif korozyon başlangıcı olur ki bu bakımdan, endüstride sürekli olarak 700°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda kullanılamazlar.

Yüksek alaşımlı çelikler gibi sertleştirilip temperlenen bu çelikler manyetikler ve oldukça üstün mukavemet özelliklerine sahiptirler.

Tablo 2.3' de martenzitik paslanmaz çeliklerin normalize durumdaki çekme özellikleri verilmiştir. Buradaki normalize deyimini sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerdeki normalizasyon deyiminden farklı olarak, oldukça yüksek sıcaklıkta temperlenmiş bir ıslah işlemi anlatılmaktadır.

Tablo 2.1 Martenzitik paslanmaz çelik türleri[6]

AISI (UNS)*	EURONORM DIN (TSE)	Kimyasal Bileşim (%)											Diğer
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo				
403(S40300)	X6Cr13	≤0.15	1.00	0.040	0.030	0.50	11.50/13.00						
410(S41000)	X10Cr13	≤0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50/13.50						
414(S41400)	X22CrNi17	≤0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50/13.50	1.25/2.50					
416(S41600)	X12CrS13	≤0.15	1.25	0.060	0.15(min)	1.00	12.00/14.00		0.60*				
416Se(S41623)	-	≤0.15	1.25	0.060	0.060	1.00	12.00/14.00					0.15Se(min)	
420(S42000)	X20Cr13	0.15(min)	1.00	0.040	0.030	1.00	12.00/14.00						
420F(S42020)	-	0.15(min)	1.25	0.060	0.15(min)	1.00	12.00/14.00		0.60*				
422(S42200)	-	0.20/0.25	1.00	0.025	0.025	0.75	11.00/13.00	0.50/1.00	0.75/1.25			0.15/0.30V 0.75/1.25W	
431(S43100)	X20CrNi17	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	15.00/17.00	1.25/2.50					
440A(S44002)	-	0.60/0.75	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00/18.00		0.75				
440B(S44003)	-	0.75/0.95	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00/18.00		0.75				
440C(S44004)	X105CrMo17	0.95/1.20	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00/18.00		0.75				

* ASTM-SAE Unified Numbering System

Tablo 2.2 Martenzitik paslanmaz çelikler ve uygulama alanları[6]

<p>X 15 Cr 13 (403)</p> <p>410 kalitesine benzer buhar türbin kapaklarında ve bazı yüksek mukavemetli makina parçalarında kullanılır</p> <p>C ≤ 0.15, Si: 0.5 Mn: 1.0, Cr: 11.5 - 13</p>	<p>X 10 Cr 13 (410)</p> <p>Bu türün asıl alaşımıdır, ısı işleme tabii tululabilir, makina parçaları, pompa milleri yapımında kullanılır</p> <p>C : 0.08-0.12, Si: 1.0 Mn: 1.0, Cr: 12-14</p>	<p>X 105 Cr Mo 17 (440C)</p> <p>Paslanmaz çeliklerin çok yüksek karbonlu türüdür, bilye yatak yapımında kullanılır</p> <p>C = 0.95-1.20, Mn 1.0 Cr: 16-18, Mo=0.4-0.8</p>
<p>X 12 Cr S 13 (416)</p> <p>410'un modifiye edilmiş otomat çeliğidir (S içeri), kesici takımların yapımında kullanılır</p> <p>C ≤ 0.15, Si: 1.0 Mn: 1.25, Cr: 12-14 Mo=0.6</p>	<p>X 20 Cr 13 (420)</p> <p>410'un yüksek karbonlu türüdür, yüksek sertlik ve aşınma direncine sahiptir, bıçak, cerrahi alet ve vana yapımında kullanılır</p> <p>C = 0.17-0.22, Si: 1.0 Mn: 1.0, Cr: 12-14</p>	<p>X 90 Cr MoV 18 (440B)</p> <p>440C'den daha az karbon içerir, iyi tokluk özelliği vardır, ince kesici takımlar ve vana parçalarının yapımında kullanılır.</p> <p>C = 0.75-0.95, Si: 1.0 Mn: 1.0, Cr: 16 - 18 Mo=0.75</p>
<p>X 22 Cr Ni 17 (431)</p> <p>Yüksek Ni bileşeni, sertliği ve korozyon direncini artırır, yay temperlenmiş halde merdanesi ve makina parçalarının yapımında kullanılır</p> <p>C ≤ 0.15, Si: 1.0 Mn: 1.0, Cr: 11.5 - 13.5 Ni: 1.25-2.5</p>	<p>X 15 Cr S 13 (416)</p> <p>410'un modifiye edilmiş otomat çeliğidir, halit kesiciler, sıcak veya soğuk dövme kalıpları yapımında kullanılır</p> <p>C ≤ 0.15, Si: 1.0 Mn: 1.25, Cr: 12 - 14 Se ≥ 0.15</p>	<p>X 90 Cr MoV 18 (440B)</p> <p>440C'den daha az karbon içerir, iyi tokluk özelliği vardır, ince kesici takımlar ve vana parçalarının yapımında kullanılır.</p> <p>C = 0.75-0.95, Si: 1.0 Mn: 1.0, Cr: 16 - 18 Mo=0.75</p>
<p>X 22 Cr Ni 17 (431)</p> <p>Yüksek korozyon ve mekanik özelliklere sahiptir uçaklarda bağlantı parçaları, ısıtıcı kutbukları, kâğıt makineleri parçalarının yapımında kullanılır</p> <p>C ≤ 0.20, Si: 1.0 Mn: 1.0, Cr: 15 - 17 Ni: 1.25-2.5</p>	<p>--- (440A)</p> <p>440B'den daha az karbon içerir, çok yüksek tokluğa ve sertliğe sahiptir, yüksek korozyon direnci gösterir, kesici takımlar ve vana parçalarının yapımında kullanılır</p> <p>C = 0.6-0.75, Si: 1.0 Mn: 1.0, Cr: 16 - 18 Mo=0.75</p>	

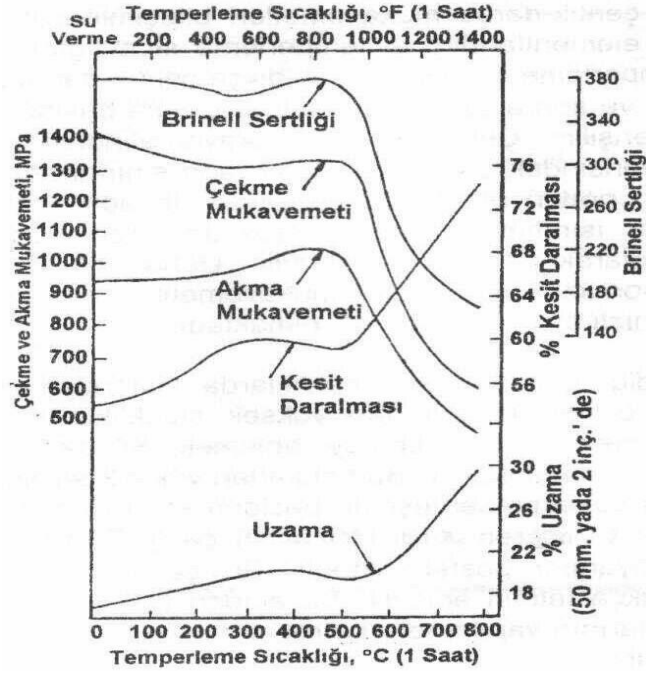
Tablo 2.3 Martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri[6]

UNS	AISI	Akma Mukavemeti (%0.2 sınırı) MPa	Çekme Mukavemeti MPa	Uzama (50 mm'de %) (%)	Büzülme (%)
S41000	410	310	483	25	-
	Sac	276	517	35	-
	Çubuk Levha	241	483	30	70
S41400	414	621	793	20	60
S41600 S41623	416 416Se	276	517	30	60
S42000	420	345	655	25	55
S43100	431	655	862	20	55
S44002	440A	414	724	20	45
S44003	440B	427	738	18	35
S44004	440C	448	756	14	25

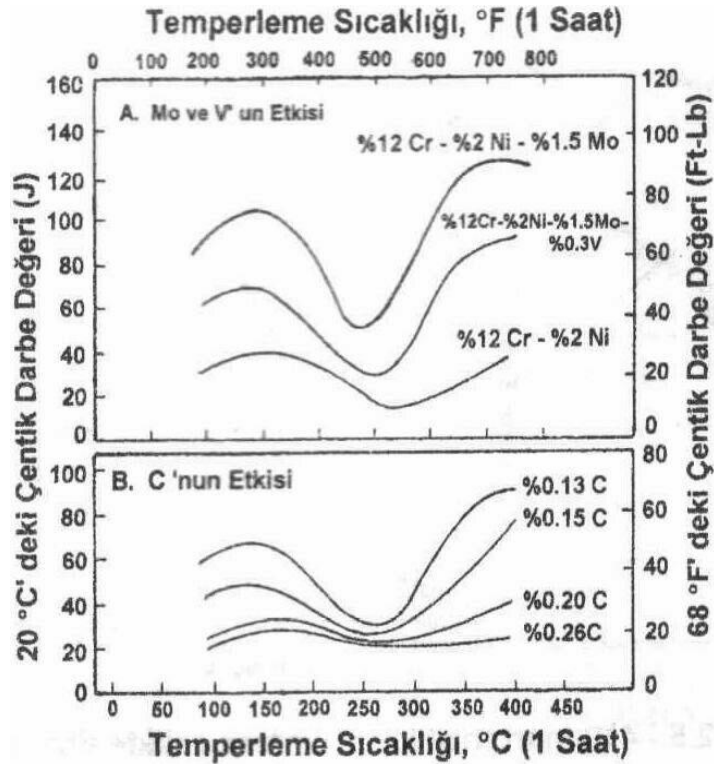
Martenzitik paslanmaz çeliklerin çekme mukavemeti aynı karbon içeriğine sahip karbonlu ve az alaşımlı çeliklerden çok daha yüksektir.

AISI 414 ve 431 türlerinde görülen yüksek mukavemet, düşük tokluk bu çeliğin bir miktar nikel içermesi ve bu nedenle ostenit bölgesinin daha düşük sıcaklıklara kadar inmiş olması sonucu temperleme sıcaklığının yükseltilmemesinden kaynaklanmaktadır. Katı eriyik serleşmesine karbonun etkisini görebilmek için %0.1 karbon içeren 410; %0.6-1.0 karbon içeren 440 çeliğinin çekme mukavemetini karşılaştırmak gerekir. Bu tür çeliklerin mekanik özelliklerine en büyük etkiyi temperleme sıcaklığı yapmaktadır (Şekil 2.14, 2.15).

Bu çeliklerin çentik-darbe mukavemetleri bileşimlerinin özellikle krom dışındaki diğer alaşım elementlerinin ve temperleme sıcaklığının etkisi altındadır. Bu tür çeliklerde temperleme sıcaklığı yükseldikçe çentik-darbe mukavemetlerinde önce bir artma görülür ve sonra 228°C civarında azalma başlar, 450- 550°C arasında bir minimuma erişilir. Çentik-darbe mukavemetindeki bu minimum gösterge temperleme eğrisindeki büyük bir kısmı tane sınırlarında oluşan karbür ve nitrür çökeltmelerinin neden olduğu ikincil sertlik ile açıklanabilmektedir. Bu olay, bu bölgeye kadar ısınmış çeliklerde korozyon direncinde de görülen azalmanın açıklanması olarak kabul edilmektedir. daha yüksek sıcaklıklarda yapılacak temperleme sonucu çentik-darbe mukavemetinin artmasına karşın diğer çekme özelliklerinde hızlı bir düşüşe neden olmaktadır[3].



Şekil 2.14 %12 kromlu 410 paslanmaz çeliğinin mekanik özelliklerine temperleme sıcaklığının etkisi[3]

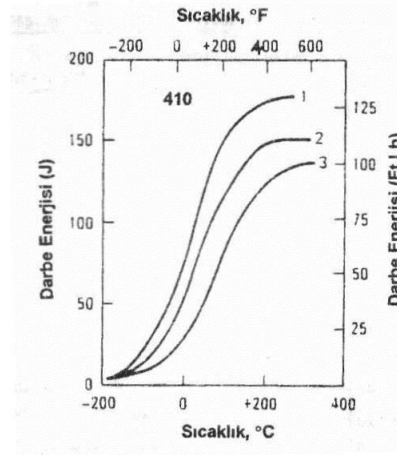


Şekil 2.15 %12 Cr' lu paslanmaz çeliklerin çentik-darbe özelliklerine temperleme sıcaklığının etkisi[3]

Yüksek sıcaklıklarda kullanılan çeliklerin molibden, krom ve silisyum içermeleri gerekmektedir. Burada molibden, yüksek sıcaklıkta mukavemeti yükseltmek, krom, grafitleşmeyi ve oksitlenmeyi önlemek, silisyum da yine oksitlenme direncini

arttırmak için katılmaktadır. Bu bakımdan yüksek sıcaklıklarda daha çok ferritik, ostenitik veya çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Bununla beraber %12 krom içeren X10Cr13 (410) çeliği 700°C' ye kadar korozyon ve oksitlenme dayanımı göstermektedir. Bu çeliğin 650°C' ye kadar mekanik özellikleri oldukça tatmin edicidir. Bu açıdan 410 çeliği ıslah edilmiş halde buhar türbünü kanatlarının yapımında, petrol rafinerilerinde oldukça geniş bir uygulama alanına sahiptir[3].

Martenzitik paslanmaz çeliklerin çentik-darbe geçiş sıcaklığı oda sıcaklığının biraz altındadır (Şekil 2.16). Bu bakımdan bu çelikler sıfırlı sıcaklıklarda çalışan parçaların üretiminde kullanılmazlar.



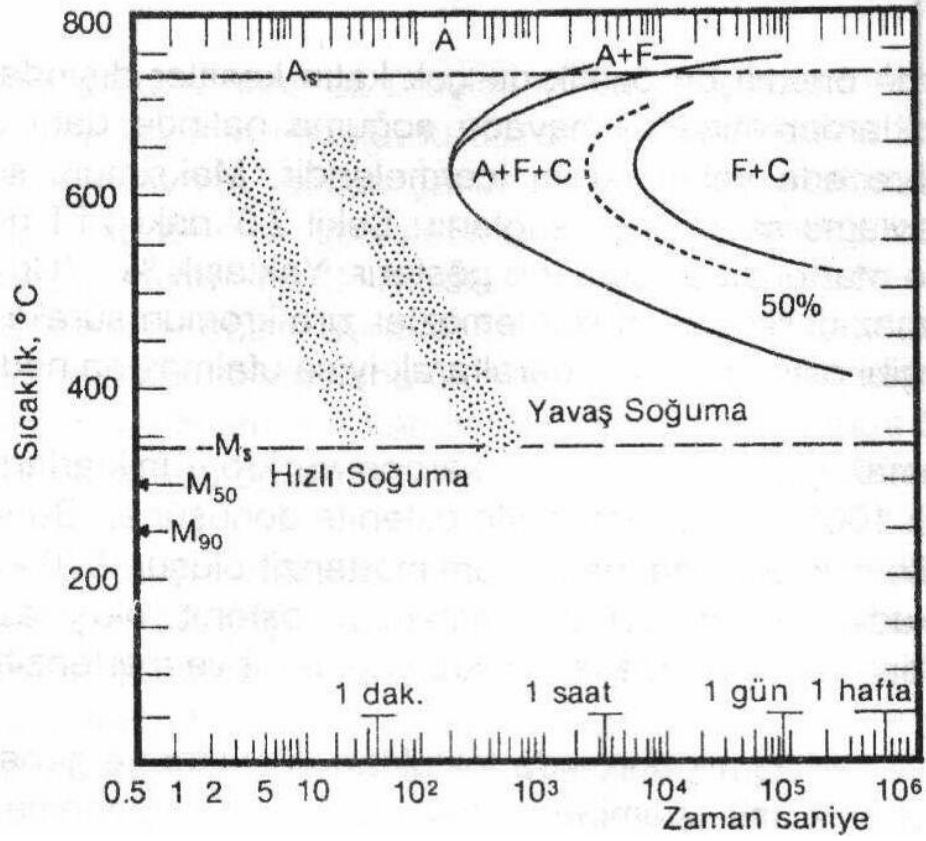
Şekil 2.16 410 paslanmaz çeliğinde tipik geçiş davranışı[3]

Eğri 1: 790°C' de temperlenmiş, 95HRB

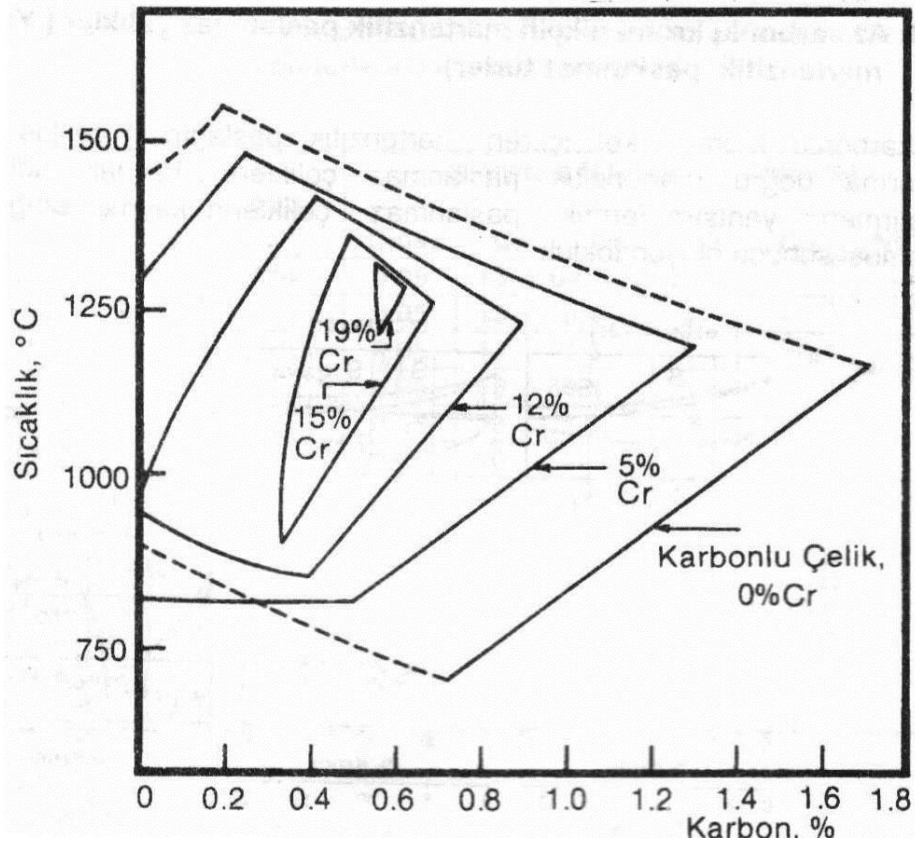
Eğri 2: 660°C' de temperlenmiş, 24HRC

Eğri 3: 595°C' de temperlenmiş, 30HRC

Bu tür çeliklerde önemli bir özellik de çok kalın kesitler dışında 820°C ve daha yüksek sıcaklıklardan itibaren havada soğuma halinde dahi sertleşebilmelerini sağlayacak derecede yeterli krom içermeleridir. Maksimum sertlik 960°C' nin üzerinde bir tavlama sonucunda sağlanır. Şekil 2.17' deki TTT diyagramı X10Cr13 (410) çeliğinde martenzit oluşumunu gösterir. Yaklaşık %17' nin üzerinde krom içeren paslanmaz çelikler sertleştirilemezler zira kromun sürekli artması şekil 2.18' de görüldüğü gibi ostenit alanını daraltarak iyice ufalmasına neden olur[3].



Şekil 2.17 X10Cr13 (410) paslanmaz çeliğinin TTT diyagramı[3]

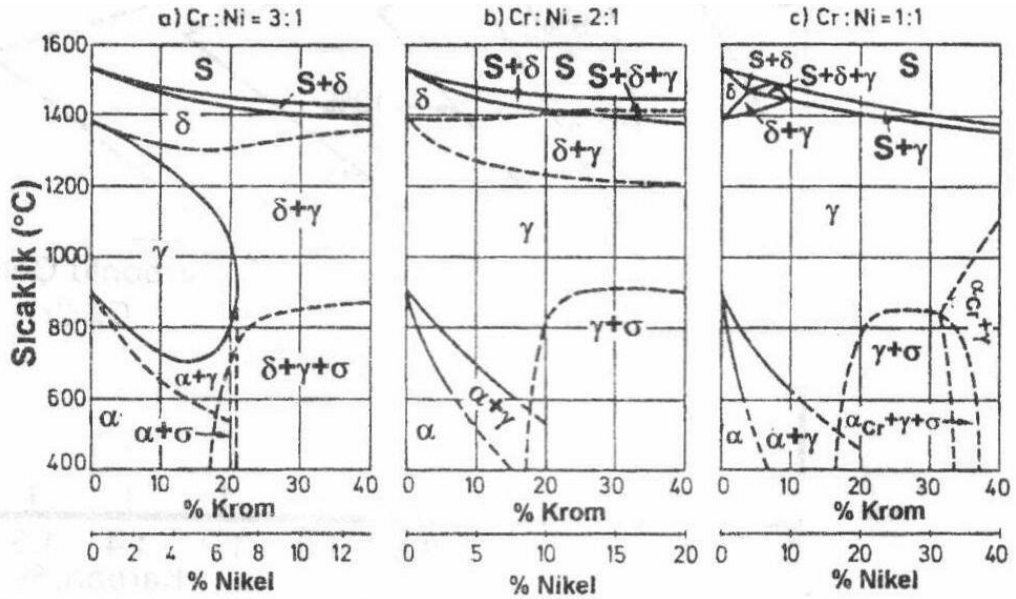


Şekil 2.18 Yüksek sıcaklıkta ostenit için karbon miktarı üzerine kromun etkisi[3]

Bu tür paslanmaz çelikler içerdikleri karbon ve krom miktarlarının limit değerleri içinde yaklaşık 1000°C' de tamamıyla ostenite dönüşürler. Bu sıcaklıktan itibaren hızlı soğuma ile mikroyapıda maksimum martenzit oluşur. 820 - 960°C arasındaki sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında tamamen ostenit oluşmaz ve bu sıcaklık aralığından itibaren soğumada ise, mikroyapı ferrit ve martenzitten oluşabilir.

Bu tür çeliklerin sertleşmiş durumda toklukları düşüktür ve genellikle uygun tokluk için bir temperleme ısı işlemine gerek duyulur. Temperleme sıcaklığı, değişik mukavemet seviyeleri sağlamak için ayarlanabilir.

Az karbonlu krom-nikel içeren paslanmaz çelikler, 1950' lerin sonlarına doğru martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliklerini geliştirmenin yanısıra ferritik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde tane irileşmesi sonucu oluşan tokluk azalması problemi dikkate alınarak üretildiler. Bu gelişmelerin arkasındaki temel düşünce, martenzitik yapının tokluğunu düzeltmek için karbon içeriğinin %0.04' e düşürülmesi olmuştur. Ayrıca, soğuk çatlama tehlikesini azaltmak ve %4-6 nikel eklenmesi ile ostenit alanını genişleterek yapıyı olabildiğince delta ferritten arındırmak esas alınmıştır. Fe-Cr-Ni denge diyagramında nikel ve kromun birlikte etkileri Şekil 2.19' dan izlenebilir. Burada, Cr:Ni= 3:1 oranında, 12/4 ve 15/5 Cr-Ni alaşımının soğuma ve katılaşmasında oluşan fazlarda görülmektedir. Başlangıçta bu alaşımlar δ kristalleri biçiminde katılaşırlar. 1300°C civarında $\delta \rightarrow \gamma$ dönüşümü başlar ve 1200°C civarında da denge koşullarına bağlı olarak biter[3].



Şekil 2.19 Cr-Ni oranlarına göre geliştirilmiş Fe-Cr-Ni ikili gibi denge diyagramları[3]

Az karbonlu krom-nikelli martenzitik paslanmaz çelikler sürekli olarak su verilmiş ve temperlenmiş (ıslah edilmiş) halde bulunurlar. Çelik türüne bağlı olarak, su verme işlemi normal olarak 950-1050°C' deki bir tavlamaı takiben yapılır ve 600°C' lik bir temperleme bunu izler. Tablo 2.4' de bazı yumuşak martenzitik türler ortalama alaşım bileşenlerine göre verilmektedir. Bunlardan en önemli alaşımlar 13/4 ve 13/6 alaşımlarıdır.

Tablo 2.4 Bazı yumuşak martenzitik paslanmaz çeliklerin kimyasal bileşimleri[3]

Çelik	AISI	Kimyasal Bileşim (ortalama %)					
		Cmax	Cr	Mo	Ni	Cu	Nb
13Cr 1.5Ni	414	0.05	13	0-0.4	1-2	-	-
13Cr4Ni	-	0.05	13	0.4	4	-	-
13Cr4Ni1.5Mo	-	0.05	13	1.5	4	-	-
13Cr6Ni	-	0.05	13	0.4	6	-	-
13Cr6Ni1.5Mo	-	0.05	13	1.5	6	-	-
16Cr6Ni	-	0.05	16	-	6	-	-
16Cr5Ni1.5Mo	-	0.05	16	1.5	5	-	-
17Cr4Ni	-	0.05	17	-	4	-	-
17Cr4Ni1.5Mo	-	0.05	17	1.5	4	-	-
14Cr5Ni1.5Mo+ Cu+Nb	-	0.05	14	1.5	5	1.5	0.2
17Cr4Ni3Cu+ Nb	630	0.05	17	-	4	3	0.3

2.2.2 Ferritik Kromlu Paslanmaz Çelikler

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, keşfedilmelerini takiben ilk geliştirilen paslanmaz çelik türlerinden biri olmaları nedeniyle endüstride oldukça yaygın kullanım alanına sahiptirler. İçeriğindeki alaşım elementlerinin özellikle karbonun miktarına bağlı olarak %16-30 krom içerirler, manyetikler, soğuk veya sıcak haddelenebilirler, ancak tokluk, süneklik ve korozyon dirençleri normalize hallerinde maksimum değeri gösterir. Talaşlı işlenebilme kabiliyetleri ve korozyon dirençleri martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerden daha üstündür[6].

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, pahalı ve stratejik bir element olan nikel içermemeleri nedeni ile de krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerden daha ekonomiktirler ve bu da günümüz koşullarında oldukça önemli bir üstünlüktür.

Ostenitik krom-nikelli çeliklere nazaran sahip oldukları diğer üstünlükleri şöyle sıralayabiliriz:

- ◆ Klorürlü çözeltilerde gerilmeli korozyon çatlamasına karşı daha dirençlidirler.
- ◆ Daha yüksek akma mukavemetine sahiptirler.
- ◆ Daha az şiddette soğuk şekil değiştirme sertleşmesi gösterirler.
- ◆ Manyetikleşme özelliğine sahiptirler.

Oldukça parlak ve dekoratif görünüşe sahip olan bu tür paslanmaz çelikler, dünya paslanmaz çelik tüketiminde ostenitik paslanmaz çeliklerden hemen sonra en büyük pazar payı ile ikinci sıradadırlar.

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, ekonomiklikleri ve yukarıda belirtilmiş üstün özellikleri nedeni ile otomotiv endüstrisi, cihaz yapımı, mutfak ve ev aletleri, kimya ve petro-kimya endüstrisi, gıda endüstrisi, kaynar su kap ve boruları, iç ve dış mimari, buhar üretim ve iletim donanımları gibi çok çeşitli kullanım alanları bulmuşlardır[3].

Bu tür çeliklerin ısı genleşme katsayıları, az alaşımlı çeliklerinkine yakındır; bu özellik, mimari yapılarda olduğu gibi büyük konstrüksiyonlarda sade karbonlu çeliklerle birarada kullanılmaları halinde ısı genleşme farkının doğuracağı sorunları önler. Buna karşın, bu tür çeliklerin ısı iletkenlik katsayıları normal çeliklerin yarısı kadardır.

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler bileşimindeki korozyon direncini sağlayacak yeterli miktarda krom veya kromla birlikte yüksek sıcaklıklarda ostenit oluşumunu önleyici alüminyum, niyobyum, molibden ve titanyum gibi ferrit dengeleyici elementler içeren Fe-Cr-C alaşımlarıdır. AISI standardına göre martenzitik çelikler gibi 4XX serisi içinde gruplandırılan bu tür çelikler DIN 17440, EU88, EU95 ve TS 2535' e göre yüksek alaşımlı çelikler halinde olduğu gibi X6Cr17 (430), X10CrN28 (446) olarak simgelenilmektedirler (Tablo 2.5) [3].

TS 2535, ferritik paslanmaz çelikleri 'bileşiminde %11.5 ila 18 krom içeren en çok %0.2 C bulunan nikelsiz, genellikle ferritik kristal yapılı paslanmaz çeliktir. 750°C' ye kadar manyetiktir, ısı işlem ile sertleştirilemezler' diye tanımlarken günümüzde %30' a kadar krom ve yeni geliştirilen bazı türlerinde %4' e kadar nikel içeren ferritik paslanmaz çelikleri kapsam dışı bırakmaktadır. Bu olay TS 2535' in 1976 yılında hazırlandığından kaynaklanmaktadır. Şekil 2.20' de AISI ve DIN normuna göre

Tablo 2.5 Başlıca ferritik kromlu paslanmaz çelikler[3]

AISI (UNS)*	EURONORM DIN (TSE)	Kimyasal Bileşim (%)										
		C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Diğer		
405(S40500)	X6CrAl13	0.08	1.00	0.040	0.030	0.50	11.50/13.00				0.10/ 0.30 Al	
409(S40900)	X5CrTi12	0.08	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50/13.5				6 X C/0.75Ti	
429(S42900)	X7Cr14	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50/13.50	1.25/2.50				
430(S43000)	X6Cr17	0.12	1.25	0.060	0.15(min)	1.00	12.00/14.00		0.60*			
430F(S43020)	X12CrMoS17	0.12	1.25	0.060	0.060	1.00	12.00/14.00					
430FSe(S43023)	-	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	12.00/14.00				0.15Se(min)	
434(S43400)	X8CrMo17	0.12	1.25	0.060	0.15(min)	1.00			0.60*			
436(S43600)	-	0.12	1.00	0.025	0.025	0.75	11.00/13.00	0.50/1.00	0.75/1.25		5X C/0.70 Nb+Ta	
442(S44200)	-	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	15.00/17.00	1.25/2.50				
446(S44600)	X10CrN28	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00/18.00		0.75		0.25N	

* Üretici tarafından katılabilir

** ASTM-SAE Unified Numbering System

kısa gösterimleri de verilen tipik ferritik paslanmaz çelikler, uygulama alanları ve bileşimleri ile gösterilmektedir.

<p>X 12 Cr MoS 17 (430F)</p> <p>430'un modifiye edilmiş otomat çeliğidir (S içerir); kesici takımların, civataların yapımında kullanılır.</p> <p>C = 0.10-0.17 , Si = 1.0 , Mn = 1.5 , Cr = 15.5-17.5 , Mo = 0.2-0.3 , S = 0.15-0.35</p>	<p>X 6 Cr 17 (430)</p> <p>Bu türün temel alaşımıdır; sertleştirilemez, nitrik asit depolarının yapımında kullanılır.</p> <p>C ≤ 0.10 , Si = 1.0 , Mn = 1.0 , Cr = 15.5-17.5</p>	<p>..... (430Se)</p> <p>430'un modifiye edilmiş otomat çeliğidir (Se içerir); kesici takımların sıcak ve soğuk dövme kalıplarının yapımında kullanılır.</p> <p>C ≤ 0.12 , Si = 1.0 , Mn = 1.25 , Cr = 16-18 , Se ≥ 0.15</p>
<p>X 6 Cr Al 13 (405)</p> <p>Al ilavesi ile kaynağa uygun hale getirilmiş, sertleştirilemez, havada sertleştirilebilen çeliklerin uygulama yerlerinde kullanılır.</p> <p>C ≤ 0.08 , Si = 1.0 , Mn = 1.0 , Cr = 12-14 , Al = 0.1-0.3</p>	<p>..... (442)</p> <p>Korozyon direncini yükseltmek amacıyla yüksek krom içerir; fırın parçaları, nozullar, yanma odaları yapımında kullanılır.</p> <p>C ≤ 0.20 , Si = 1.0 , Mn = 1.0 , Cr = 18-23</p>	<p>..... (446)</p> <p>442'den daha yüksek krom içerir, özellikle fasıllı çalışan işletmelerde ve kükürt atmosferinde çalışan parçaların yapımında kullanılır.</p> <p>C ≤ 0.20 , Si = 1.0 , Mn = 1.5 , Cr = 23-27 , N ≤ 0.25</p>

Şekil 2.20 Ferritik kromlu paslanmaz çelikler ve uygulama alanları[3]

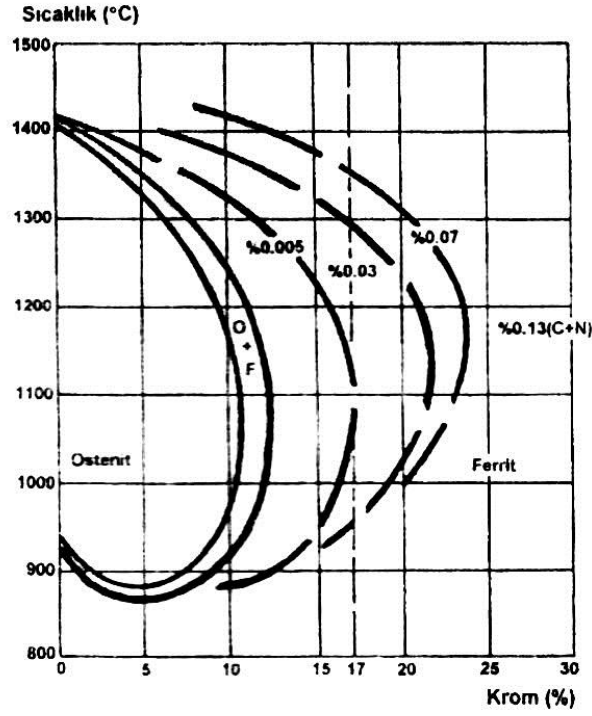
Bu tür paslanmaz çeliklerin yaygın olarak kullanılan türleri X6CrAl13 (405), X6Cr17 (430), X12CrMoS17 (430F) çelikleridir. X6CrAl13 paslanmaz çeliğinde %0,1-0,3 oranlarında alüminyum katkısı ile ferritik yapı dengelenerek, az krom bileşimine karşın martenzit oluşumu önlenmiştir. X6Cr17 çeliği, %14 –18 krom içerir, krom miktarının değişimi kullanıcıya çeşitli özellikler arasında seçenek sağlar. Krom miktarı azaldığında daha iyi kaynak kabiliyeti, sertlik, mukavemet ve tokluk elde edilir ancak korozyon direncinde azalma görülür. Krom miktarı arttırıldığında ise, korozyon direnci yükselir fakat bu kez de mekanik özelliklerde zayıflamalar ortaya çıkar, dolayısı ile krom miktarı %16-18 arasında sınırlandırılır. X6Cr17 çeliğinin titanyum ve niyobyum ile stabilize edilmiş türleri (X6CrTi17 ve X6CrNb17) kaynak edildiklerinde fazla derişik korozif çözeltilerin bulunmadığı ortamlarda yüksek korozyon direnci gösterirler. Kükürt eklenmesi ile talaşlı şekillendirilebilirliği arttırılarak, X12CrMoS17 ferritik paslanmaz çeliğinin paslanmaz civataların ve kesici takımların üretiminde kullanılması sağlanmıştır. Ferritik paslanmaz çeliklerin en yüksek krom içeren türü AISI normuna göre tanımlanan X10CrN28 (446) çeliğidir. Bu çelik çok yüksek korozyon ve oksidasyon direncine sahiptir. Özellikle kükürtlü atmosferlerde çalışan makina parçalarının yapımında kullanılır.

Çelik üretim teknolojisindeki gelişmeler sayesinde ekonomik olarak üretilebilen çok az miktarlarda karbon ve azot içeren yeni tür paslanmaz çelikler geliştirilmiştir. Bu çeliklerin AISI normuna göre en önemli türleri 444 (18Cr-2Mo) ve 26-1 (26Cr-1Mo) çelikleri olarak tanınmaktadır. Titanyum ve niyobyum gibi elementlerle stabilize edildikleri zaman, kaynak edildiklerinde, tanelerarası korozyona dirençli olan bu yeni tür ferritik paslanmaz çelikler, klorürlü ortamlarda oluşabilecek oyuklanma korozyonuna ve gerilmeli korozyon çatlamasına karşı da iyi direnç ve tokluğa sahiptirler. Bu yeni tür ferritik paslanmaz çelikler Tablo 2.6' de gösterilmektedir[3].

Tablo 2.6 Yeni tür ferritik paslanmaz çelikler[3]

Alaşım	C ve N (%)	Stabilizasyon Elementleri (%)
Fe- %18 Cr-%2Mo-Ti	C 0.025 max N 0.025 max	Ti+Nb, 0.20+4(C+N) min, 0.80 max
Fe-%25Cr-%1Mo	C 0.005 max N 0.015 max	Nb, 13-29(N)
Fe-%26Cr-%1Mo-Ti	C 0.040 max C 0.040 max	Ti, 0.2- 1.0
Fe- %28Cr-%2Mo-%4Ni	C 0.015 max N 0.035 max	Nb, 12(C+N)+0.2
Fe- %29Cr-%4Mo	C 0.010 max N 0.020 max C+N 0.025 max	-
Fe-%29Cr- %4Mo-%2Ni	Aynı	-

Bu tür paslanmaz çelikler genellikle yüksek oranda krom ve çok az miktarda karbon içerdiklerinden yüksek sıcaklıklardan veya sıvı halden itibaren soğutulmaları sırasında bazen hiç bazen de çok az ostenit oluşur. Bu nedenle ostenit-ferrit dönüşümü yoktur. Ancak %0.1 C içeren %17 kromlu çelik, Fe-Cr denge diyagramından da görüldüğü gibi, 1000°C civarında çok az da olsa ostenit içermektedir. Bu ostenitin miktarı, kritik olarak karbon ve azot içeriklerine ve ayrıca da ostenit ve ferrit oluşturu elementlerin göreceli miktarına bağlıdır. Karbonun ve azotun ostenit alanını genişletici etkisi krom miktarının bir fonksiyonu olarak şekil 2.21' de verilmiştir. Ostenit miktarı çeliğin ısıtılma sürecinde, γ halkasının kenarından geçme durumunda ilk önce artış göstermekte ve sonra yüksek sıcaklıkta azalmaktadır[3].



Şekil 2.21 Fe-Cr denge diyagramında $\gamma + \alpha$ bölgesinde karbon ve azotun (verilen eşit ağırlıkta) etkisi[3]

1150°C' den yüksek sıcaklıklarda %17 kromlu çelik, genellikle tamamen ferritik olmaktadır ve ferrit taneleri de çok çabuk irileşme eğilimi göstermektedir. Soğuma sürecinde ise ostenit çoğu kez ferrit tane sınırlarında bir ağ şeklinde ve tanelerin içerisinde Widmannstatten yapısında dilimler şeklinde çökelmektedir. Bu çökeltme olayının, bu çeliklerin kaynak kabiliyeti ile büyük bir ilişkisi vardır. Zira, ostenitleşme sıcaklığında veya soğuma sürecinde oluşacak ostenit, oda sıcaklığına soğuma sonucunda martenzite dönüşür. Bu martenzitin, ostenitin olduğu 780°C sıcaklığa yeniden temperlenmesiyle ferrit + karbür oluşumu gerçekleşir. Aslında bu çeliklerin iç yapıları normalde ferrit ve karbürlerden oluşmaktadır. Bu tür çeliklerin en önemli metalurjik karakteristikleri; katı halde bir faz dönüşmesi olmadığından, su verme yolu ile sertleştirilememeleri ve yüksek sıcaklıklarda korozyon ve oksidasyon dirençlerinin yüksek olmasıdır.

Bu çeliklerin sertleştirilebilirlikleri ancak soğuk şekil değiştirme ile mümkündür; az miktarda soğuk şekil değiştirmenin dahi neden olduğu sertlik, çeliğin şekil almasını zorlaştırdığından uygulama alanını daraltmaktadır. Soğuk şekil değiştirme sertleşmesini ortadan kaldırmak için bu tür çelikler 750 - 800°C sıcaklıklarında yumuşatma tavlmasına tabi tutulurlar.

%21' den daha fazla krom içeren ferritik paslanmaz çeliklerde, tavlama sırasında ostenit oluşmamasına karşın, uygun miktarda karbon içerdiklerinden yüksek sıcaklıklardan itibaren hızlı soğuma halinde ferrit tanelerinin sınırlarında krom karbür çökmesiyle karşılaşılabilir. Ana yapıdan kromun azalması çeliği tanelerarası korozyona hassas hale getirir. Optimum korozyon direncini sağlamak için bir tavlama gereksinim duyulur. Yüksek kromlu bu çeliklerde, demir-krom metallerarası bileşiği olan sigma fazı (σ), 430 - 760°C sıcaklık aralığında oluşmaya eğilimlidir. Çeliğin bileşiminde silisyum ve molibden gibi ferrit yapıcılarının varlığı sigma fazının oluşumunu hızlandırdığı gibi bulunduğu sıcaklık alanını da genişletir. Tavlama için 760 ila 820°C önerilir ve sigma fazının oluşumunu önlemek için de hızlı soğutma yapılır.

Bir diğer metallerarası faz olan chi fazı ($Fe_{36}Cr_{12}M_{10}$), demir-krom-molibden sisteminde ortaya çıkar. % 17 krom içeren çeliklerde bu faz ancak çeliğin % 3,5' dan daha fazla molibden içermesi halinde görülür. Chi fazının bulunduğu sıcaklık alanı sigma fazından daha geniştir. % 18 krom ve % 3,5'tan fazla molibden içeren çeliklerde chi fazını yok edebilmek için 980°C' nin üzerinde bir tavlama gereklidir.

% 17-26 krom içeren ferritik paslanmaz çeliklerde ortaya çıkan bir metalurjik etken de, 400-550°C sıcaklık aralığında ortaya çıkan ve 475°C (temper) gevrekliği olarak adlandırılan gevrekleşme olayıdır. Yükselen krom miktarı ile artan gevrekliğin, mekanik özelliklerin yanısıra, ferritin serbest kromca fakirleşmesi sonucu özellikle nitrik asite karşı korozyon direncini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. 475°C gevrekliği, 700-800°C' de kısa süreli bir tavlama takiben hızlı soğutma ile giderilir. 475°C gevrekliği, zamana bağlı bir olay olduğundan, kaynak sırasında bu sıcaklık aralığında fazla kalınmayacak olursa, meydana gelmez[6].

Ferritik paslanmaz çeliklere molibden katılması korozyona karşı direncin artmasını sağlar. Niyobyum ve titanyum ise, çelikte ergimiş halde bulunan karbon ve azotun oranlarını düşürerek tanelerarası korozyona karşı çeliği kararsız hale getirir. Böyle bir katkı aynı zamanda süneklik ve çentik-darbe mukavemetini geliştirici etki gösterir. Çentik-darbe mukavemetindeki gelişme, bu çeliklerin kimya endüstrisinde kullanılan tankların yapımında kullanılması açısından yarar sağlar. Argon-oksijen-dezoksidasyon veya elektron ışını eritme teknikleri sayesinde geliştirilen ve mevcut empüriteleri çok düşük miktarlarda olan ince taneli yeni tür ferritik paslanmaz çelikler

oda sıcaklığının altında iyi bir geçiş sıcaklığına sahiptirler. Bu tür çelikler günümüzde süper ferritik paslanmaz çelikler olarak da adlandırılırlar.

Ferritik kromlu çeliklerin mekanik özellikleri iç yapıları ile yakından ilgilidir ve ostenitik krom-nikelli çelikler ile çok önemli farklılıklar gösterir. Tablo 2.7' deki değerler normalize haldeki malzemeye aittir.

Tablo 2.7 Bazı normalize ferritik paslanmaz çeliklerin çekme mukavemetleri[3]

UNS	AISI	Ürün Biçimi	Akma* Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	Uzama (50 mm.'de %)	Büzülme %
S40500	405	Sac	276	448	25.0	-
S40900	409	Sac veya band	241	448	25.0	-
S43000	430	Sac veya band	345	517	25.0	-
S44200	-	Çubuk	310	552	20.0	40.0
S44600	446	Sac veya band	345	552	20.0	-
S44600	446	Çubuk	345	552	25.0	45.0

* % 0.2 sınırı

Ferritik paslanmaz çeliklerde tane iriliğinin, içyapı ve özelliklere etkisi gözönünden uzak tutulmamalıdır. Tane iriliğinin artması tokluğu azaltır buna karşın mukavemeti daha yavaş bir hızda etkiler. Ferritik kafes sistemlerinde atom hareketlerinin daha kolay gerçekleşmesi, ferritik kromlu çeliklerin yüksek sıcaklıklarda krom-nikelli ostenitik çeliklere nazaran daha hızlı bir şekilde tane irileşmesi göstermesi, bu tür çeliklerin üretiminde ve işlenmesinde tokluk azalmasına neden olan tane irileşmesinin gözönünde bulundurulmasını gerektirir. Bu bakımdan, ferritik paslanmaz çeliklerin ısı işlemleri ve sıcak şekil değiştirme işlemleri sıkı bir kontrol altında tutulmalıdır. Sıcak şekillendirmede olabilen en yüksek redüksiyon oranı uygulanmalıdır. Örneğin, titanyum ile stabilize edilmiş % 17 kromlu ferritik çeliklerde sıcak haddelemede tane incelenmesinin gerçekleşmesi için %60' ın üzerinde bir redüksiyon gereklidir. Ayrıca ferritik kromlu çeliklerin tane irilikleri artan sıcaklık ve tutma zamanı ile hızla arttırıldığından sıcak işlemin bitirildiği sıcaklık da çok önemlidir. Soğuk işlemde sonra rekristalizasyon tane iriliği, şekil değiştirme

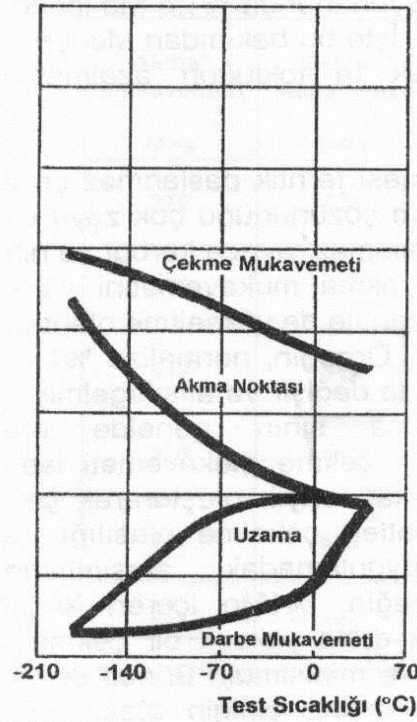
derecesi ve tavlama koşullarının etkisi altındadır. Hatta büyük şekil değiştirme derecelerinde dahi yüksek tavlama sıcaklıklarında iri tane oluşumu ile karşılaşılabilmektedir. İkinci rekristalizasyon ancak hızlı bir ısıtma sonucu ortaya çıkmaktadır. Molibden eklenmesi, ferrit kafesinde difüzyonu yavaşlattığından rekristalizasyon sıcaklığını da düşürür. Sonuç olarak da tane yapısı daha incelik ve ikincil rekristalizasyon olasılığı zayıflar. Stabilizasyon işlemi uygulanmış ferritik çeliklerdeki karbür ve karbonitrür çökeltmeleri yüksek sıcaklıklara kadar kararlı davrandıklarından tane irileşmesini geciktirici etkide bulunurlar[3].

2 mm. kalınlığında çelik, 1300°C' de 1 dakika tutulup suda soğutularak yapılan kaynak simülasyonunda % 1,5 molibden içeriğinin iri tane oluşumunu ortadan kaldırdığı saptanmıştır. İşte bu bakımdan molibden içeren ferritik çelikler tane irileşmesi ve buna bağlı olarak da tokluğun azalmasına karşı en uygun koşulları sunmaktadır.

Karbon ve azot ilavesi ferritik paslanmaz çeliklerin akma mukavemetini hızla yükseltir ancak bunların çözünürlüğü çok zayıf olduğundan uygulamada bundan önemli ölçüde faydalanılamaz, ayrıca karbür ve nitrür çökeltmeleri de daha düşük bir şiddette olmak üzere akma mukavemetini yükseltici etkide bulunurlar. Akma sınırını alaşım elementleri ile de yükseltme olanağı çok sınırlıdır, zira çökeltmelerin oluşma olasılığı vardır. Örneğin, normalize % 17 kromlu çeliğin akma mukavemeti 300-400 N/mm² arasında değişir ve alaşılagelmiş ostenitik krom-nikelli çeliklerden daha yüksektir. Akma sınırı genelde arayer katı eriyiği oluşturan elementler, çekme mukavemeti ise yeralan katı eriyiği oluşturan elementler tarafından etkilenir. Dolayısı ile, katı eriyik oluşturarak çekme mukavemetinin arttırılması konusu alaşım elementleri çökeltme olasılığı nedeni ile sınırlı kalmaktadır. Bununla beraber, uygulamadaki alaşımlama sınırlarında dahi farklar görülebilmektedir. Örneğin, % 1 molibden içeren X6CrMo17 çeliği X6Cr17 çeliğine nazaran 50 N/mm²' lik daha yüksek bir çekme mukavemeti göstermektedir. Çekme özellikleri, paslanmaz çeliğin alaşım içeriği kadar tane iriliği ile de yakından ilgilidir. Tane iriliğinin azalması akma ve çekme mukavemetlerinin artmasına neden olur, bununla beraber bu etki ısıtma işlemi ve bileşime bağlı olarak ortaya çıkan çeşitli çökeltmeler nedeni ile kolaylıkla görülemez. Örneğin, stabilize edilmemiş % 17 kromlu çelik çözelti haldeki sıcaklığından itibaren aniden soğutulursa ince dağılmış çökeltmeler nedeni ile sertlikte bir artma görülür[3].

Şekil 2.22, ferritik kromlu çeliklerde sıfırtaltı sıcaklıklarda mekanik özelliklerin değişimlerini göstermektedir. Akma ve çekme mukavemetleri azalan sıcaklık ile hızla yükselmektedir. Bununla beraber yüksek safiyetteki çeliklerin oda sıcaklığının

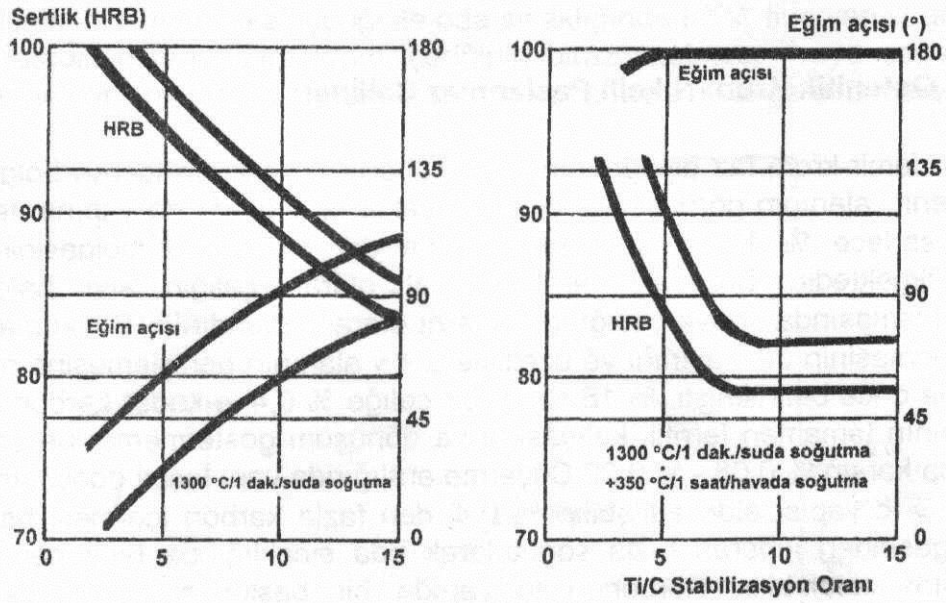
çok altında dahi yüksek uzama ve büzülme göstermeleri de gözardı edilmemelidir. Ferritik kromlu çeliklerin ostenitik krom-nikelli çeliklere nazaran yüksek akma mukavemetleri 300°C' ye kadardır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise ferritik çeliklerde atom hareketlerinin daha kolay olması nedeni ile kromlu ferritik çelikler ostenitik çeliklerden daha düşük mukavemet özellikleri gösterirler. % 17 kromlu çeliğe uygulanmış olan eğme-döndürme deneyi sonuçları yorulma açısından bu çeliklerin ostenitik çeliklerden aşağı olmadığını göstermektedir. Kaynaktaki yapısal değişimlere bağlı olarak kaynaklı bağlantıların yorulma mukavemetlerinde değişiklikler görülebilir. Molibden içeren alaşımlarda tane irileşmesi yavaşladığından yorulma mukavemetlerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Çökelti ve aynı zamanda tane iriliği yorulma mukavemetini etkilemektedir. Kromlu çeliklerin yüksek sıcaklıklardan ani soğutulması da yorulma mukavemetini azaltmaktadır. 350°C' de 1 saat tavlama ve havada soğutma yorulma özelliklerini düzeltmektedir[3].



Şekil 2.22 %17 kromlu çeliğin mekanik özelliklerine sıfıraltı sıcaklıkların etkisi[3]

Şekil 2.22' den görüldüğü gibi, kromlu çelikler ferritik olmalarından ötürü tokluk açısından sıcaklığa bağlı olarak bir geçiş bölgesi gösterirler. Bu davranış KHM' li metallerin karakteristik davranışıdır. Karbon ve azot çökelti ve orijinleri ile ilgili olarak ferritik çeliklerin tokluğuna en büyük etkiye bulunurlar. Karbon içeriğini azaltarak geçiş bölgesini çok düşük sıcaklıklara indirmek mümkün olabilmektedir. Bu konuda azotun etkisi çok daha azdır. % 0,01 azot içeren alaşımda tane irileşmesinin

etkisinin görülmesi, tane içinde çok ince dağılmış çökeltilerin dislokasyonları bloklaması sonucu tokluğun azalmasına etkili olduğu sanısı kuvvetlidir. Yukarıda açıklanan türdeki gevrekleşme titanyum veya niyobyum ve tantal stabilizasyonu sonucu düzebilmektedir. Stabilizasyon oranına bağlı olarak 1300°C' de 1 dakika tutulması ve suda soğutma, eğilme ile saptanan toklukta artan stabilizasyon derecesi ile tokluğun yükselmesi şekil 2.23' de görülmektedir. Aynı şekilde 350°C' de 1 saat tavlama ve havada soğutma, gevrekleşmeyi büyük ölçüde ortadan kaldırmaktadır. Bu da göstermelidir ki özellikle % 17 kromlu çeliklerde yüksek bir tavlamaı takiben bir ısıl işlem uygulanamayan hallerde stabilizasyon tokluk açısından önemlidir, bu da % 17 kromlu çeliklerde stabilizasyonun sadece korozyon direncini değil aynı zamanda tokluğu da arttırdığını ortaya koymaktadır[3].



Şekil 2.23 %17 kromlu 2mm. kalınlığındaki sacın eğilme açısı ve sertlik üzerine ısıl işlem ve stabilizasyonun etkisi[3]

Karbon ve azot içeriğine bağlı olarak uygulanan stabilizasyon derecesinin yükselmesi yüzey temizliğini ve yüzey kalitesini de etkiler, bu özellik levha ve boru üretimini zorlaştırır. Bu bakımdan bu tür çeliklerde karbon ve azot miktarının olabildiği kadar düşük tutulması arzu edilir. Az miktardaki çökelti tokluğa katkıda bulunmaktadır. Örneğin, titanyum ile stabilize edilmiş düşük karbon ve azotlu (0,003C, 0,005N, 0,12Ti) 18Cr-2Mo'li çelik % 40 civarında uzama göstermektedir.

Tane iriliğinin de ferritik kromlu çeliklerin tokluğunu düşürücü bir etkisi olduğu bilinmektedir. Aynı miktardaki çökelti halinde tane iriliğinin artması toplam tane sınırlarının yüzeyini azalttığından çökelti konsantrasyonu artar ve bu da tokluğun

azalmasına neden olur. Üretimde, ince kesitler halinde küçük taneler elde etmek olasıdır. Kesitin artması tane iriliğini kontrol olanaklarını azaltır, bu da tokluğun azalmasına neden olur[3].

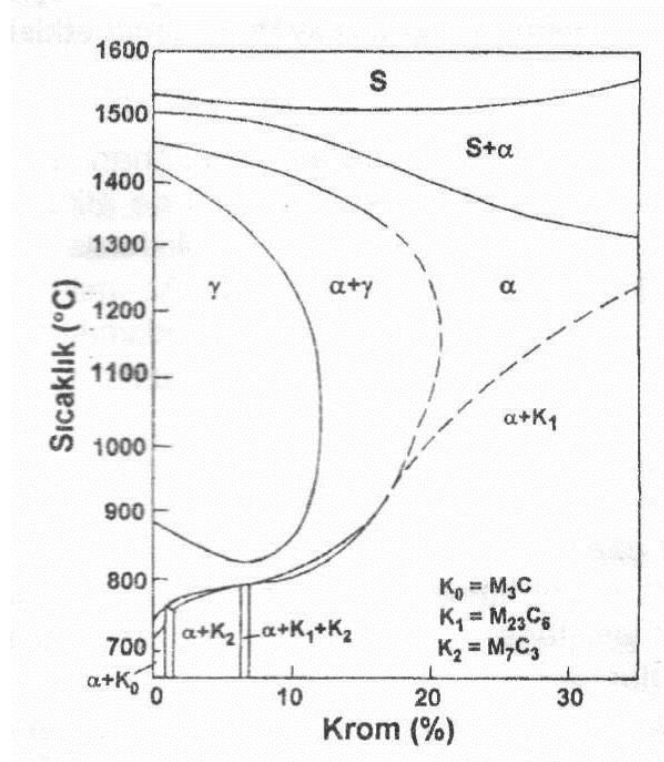
% 17 kromlu ferritik çeliklerin kalın levha ve döküm halinde düşük tokluk göstermeleri onların kullanılma alanlarını sınırlamaktadır. Kalın kesit halinde tane büyüklüğünün uygun bir şekilde kontrol edilmemesi nedeni ile bu çelikler daha çok soğuk haddelenmiş levha, tel ya da küçük çaplı çubuklar halinde üretilir. Kalın kesitleri azaltmak için küçük karbon ve azot içeriği ile bunların çökeltilerinden yararlanır. Molibden eklenmesi tane büyümesine olan eğilimi azaltır.

Oksijen, hidrojen, kükürt ve fosfor, ferritik çeliklerin tokluğuna büyük etkiye bulduklarından bu elementler çelik içinde olabildiği kadar az bulundurulmalıdır.

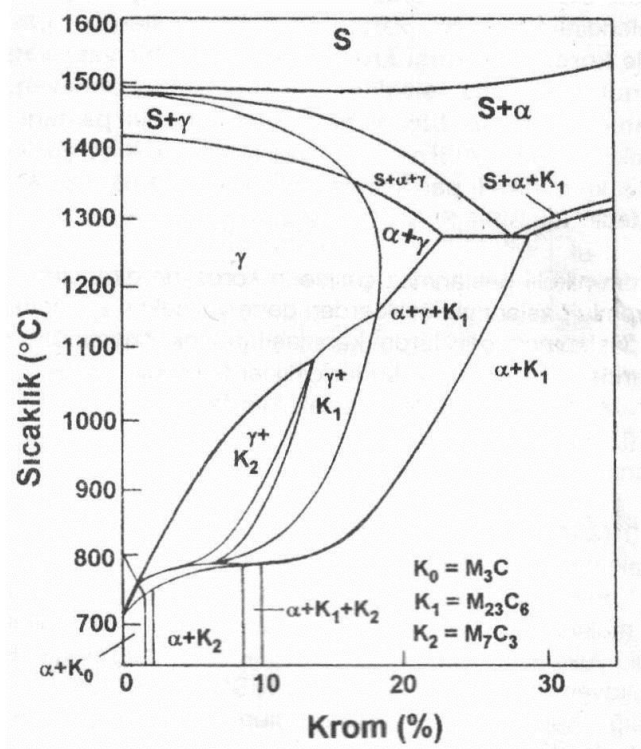
2.2.3. Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çelikler

Demir-krom ikili denge diyagramında % 13' den fazla krom içeren bölgenin dışında ostenit alanının görülmediği ve her sıcaklık aralığında da yapının ferritik olduğu ve sadece %12-13 krom aralığında da dar bir $\alpha + \gamma$ bölgesinin bulunduğu görülmektedir. Buradaki ferrit normal olarak çeliğin sıvı halden itibaren katılaşmasında ortaya çıktığı için δ - ferrit olarak adlandırılır. Bu iki alaşıma karbon eklenmesinin de γ alanını ve özellikle $\alpha + \gamma$ alanının genişlemesine neden olduğu daha önce belirtilmişti. % 18 kromlu bir çeliğe % 0,4' e kadar karbon eklenmesi iç yapının tamamen ferritik kalmasına ve dönüşüm göstermesine engel olamaz, buna karşın % 0,08 – 0,22 karbon içerme aralığında yapı kısmi dönüşüm gösterir ve $\alpha + \gamma$ iç yapısı elde edilebilir. % 0,4' den fazla karbon içermesi halinde çelik γ bölgesinden itibaren hızla soğutulurak oda sıcaklığında tamamen ostenitik bir yapıda tutulabilir. Karbonun iç yapıda bir başka etkisi de yapıda karbür oluşumunda kendini gösterir (Şekil 2.24a ve b) [16].

Ostenitik paslanmaz çeliklerde $M_{23}C_6$ karbürü oluşan en önemli karbür olup bunun çeliğin korozyon direnci üzerinde önemli etkisi vardır. Az karbonlu ve % 18 krom içeren alaşıma katılan nikel, γ fazı oluşum bölgesini genişletir ve nikel miktarı % 8' e eriştiği zaman γ alanı oda sıcaklığına kadar iner. Bu olay, en tanınmış ostenitik çelik türü olan % 18 krom ve % 8 nikel içeren çelik grubunun doğmasına neden olmuştur.



Şekil 2.24a Demir-krom denge diyagramında karbonun etkisi (0.05C) [16]



Şekil 2.24b Demir-krom denge diyagramında karbonun etkisi (0.4C) [16]

Bu özel bileşim minimum nikel içeriği ile oda sıcaklığında KYM' li iç yapıyı dengeli bir halde tutabilmektedir. Zira krom içeriğinin biraz azalması veya çoğalması yapının

dengeli ostenit fazında kalabilmesi için daha fazla nikel gerektirmektedir. Örneğin, korozyona daha dirençli % 25 krom içeren paslanmaz çeliği oda sıcaklığında ostenitik yapıda tutabilmek için % 15 nikel gereklidir.

Bilindiği gibi, ostenitik yapıda demir alaşımları elde etmek bu asrın başından beri metalurjistlerin en önemli uğraşlarından birisi olmuştur. Günümüzde AISI 300 serisi olarak adlandırılan ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler, işte bu çalışmaların ürünüdür. Bugünün ostenitik paslanmaz çelikleri % 16 – 26 krom, % 10 – 24 nikel, % 0,4' e kadar karbon ve diğer bazı özellikleri geliştirmek için katılmış molibden, titanyum, niyobyum, tantal ve azot gibi elementler içerirler. Son yıllarda geliştirilmiş olan ve tam veya süper-ostenitik paslanmaz çelikler diye adlandırılan gruplarda ostenit yapıcı elementlerin miktarı daha da arttırılmıştır[16].

Ostenitik paslanmaz çelikler de soğuma sırasında ostenit → ferrit dönüşümü olmadığından su verme yolu ile sertleştirilemezler. Manyetik olmayan bu tür paslanmaz çelikler AISI 3XX serisi içinde gruplandırılmalarının yanısıra DIN 17440, EU 88, EU 95 e TS 2535' e göre yüksek alaşımlı çelikler halinde olduğu gibi simgelenirler (Tablo 2.8).

TS 2535 ostenitik paslanmaz çelikleri 'bileşiminde korozyona karşı krom ve ostenitik bir yapı sağlamak amacı ile de nikel bulunan, oda sıcaklığında manyetik olmayan, ısı işlemi ile sertleştirilemeyen soğuk biçimlendirmeye elverişli paslanmaz çeliktir' diye tanımlar. Tablo 2.9' da AISI ve DIN normuna göre kısa gösterimleri de verilen tipik ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler uygulama alanları ve bileşimleri ile gösterilmektedir[6].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri martenzitik kromlu ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. İç yapının ostenitik olması da ferritik paslanmaz çeliklerde karşılaşılan çok önemli bir sorun olan geçiş sıcaklığı altındaki gevrekleşme bu tür çeliklerde görülmez. Gerek sıfıraltı (-270°C' ye kadar) gerekse de yüksek sıcaklıklardaki korozyon dirençleri, mekanik özelliklerin üstünlüğü bu çelik grubunun bir çok alanda rakipsiz bir yapı çeliği olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır[6].

X5CrNi1810 (304) paslanmaz çeliği, korozyon direnci ve iyi biçimlendirilebilme kabiliyeti bakımından çok yaygın kullanılan bir ostenitik paslanmaz çeliktir.

Tablo 2.8 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler[6]

AISI (UNS)***	EURONORM DIN (TSE)	Kimyasal Bileşim (%)										
		C	Min	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Diğer		
201(S20100)	-	≤0.15	5.50/7.50	0.60	0.30	1.00	16.00/18.00	3.50/5.50	-	0.25N		
202(S20200)	X8CrMnNiN189	≤0.15	7.50/10.00	0.060	0.030	1.00	17.00/19.00	4.00/6.00	-	0.25N		
205(S20500)	-	0.12/0.25	14.00/15.50	0.030	0.030	0.50	16.50/18.00	1.00/1.75	-	0.32/0.40N		
301(S30100)	X12CrNi177	≤0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00/18.00	6.00/8.00	-	-		
302(S30200)	X10CrNi189	≤0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	-	-		
302B(S30215)	-	≤0.15	2.00	0.045	0.030	2.00/3.00	17.00/19.00	8.00/10.00	-	-		
303(S30300)	X10CrNiS189	≤0.15	2.00	0.20	0.15(Min)	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	0.60*	-		
303Se(S30323)	-	≤0.15	2.00	0.20	0.60	1.00	17.00/19.00	8.00/10.00	-	0.15Se(Min)		
304(S30400)	X5CrNi1810	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00/20.00	8.00/10.50	-	-		
304L(S30403)	X2CrNi1911	≤0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00/20.00	8.00/12.00	-	-		
S30430	-	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00/19.00	8.00/10.50	-	3.00/4.00Cu		
304N(S30451)	X5CrNiN1810	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00/20.00	8.00/10.50	-	0.010/0.16N		
305(S30500)	X8CrNi1812	≤0.12	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00/19.00	10.50/13.00	-	-		
308(S30800)	-	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00/21.00	10.00/12.00	-	-		
309(S30900)	-	≤0.20	2.00	0.045	0.030	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00	-	-		
309S(S30908)	-	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	22.00/24.00	12.00/15.00	-	-		
310(S31000)	-	≤0.25	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00	-	-		
310S(S31008)	-	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00/26.00	19.00/22.00	-	-		
314(S31400)	-	≤0.25	2.00	0.045	0.030	1.50/3.00	23.00/26.00	19.00/22.00	-	-		
316(S31600)	X5CrNiMo17122	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	2.00/3.00	-		
316F(S31620)	-	≤0.08	2.00	0.20	0.10(Min)	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	1.75/2.50	-		
316L(S31603)	X2CrNiMo17133	≤0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	2.00/3.00	-		
316N(S31651)	-	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00/18.00	10.00/14.00	2.00/3.00	-		
317(S31700)	X5CrNiMo1713	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00/20.00	11.00/15.00	3.00/4.00	-		
317L(S31703)	X2CrNiMo18164	≤0.030	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00/20.00	11.00/15.00	3.00/4.00	-		
321(S32100)	X6CrNiTi1810	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00/19.00	9.00/12.00	-	5xCTi(Min)		
329** (S32900)	X4CrNiMoN2752	≤0.10	2.00	0.040	0.030	1.00	25.00/30.00	3.00/6.00	1.00/2.00	-		
330(N08330)	-	≤0.08	2.00	0.040	0.030	0.75/1.50	17.00/20.00	34.00/37.00	-	0.10Ta 0.20Cb		
347(S34700)	X6CrNiNb1810	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00/19.00	9.00/13.00	-	10xC Cb+Ta(Min)		
348(S34800)	-	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00/19.00	9.00/13.00	-	10xC Cb+Ta(Min) (Ta+0.10Max) 0.20Co		
384(S38400)	-	≤0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	15.00/17.00	17.00/19.00	-	-		

* Üreticisi tarafından katılabilir **Çift fazlı alaşım-ostenit+ferit ***ASTM-SAE Unified Numbering System

Tablo 2.9 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kullanım alanları ve özellikleri[6]

(202)	X12 CrNi 188 (302)	(302B)		
302 çeliğinin düşük nikel eşdeğeri- lidir; Ni yerine Mn katılmıştır.	Bu türün temel alaşımıdır; sac, gı- da taşıma malze- meleri, uçak par- çaları, anten, yay, mimari ürün, ten- cere yapımında kullanılır.	Si içeriğinden do- layı 302'den daha fazla tufalleşme di- rencine sahiptir; fı- rın parçaları, ısıtıcı elementlerin yapı- mında kullanılır.		
X2 CrNi 1911 (304L)	X5 CrNi 1810 (304)	X6 CrNiNb 1810 (347)	(308)	(305)
Kaynakta kroin - karbür çökmesini önlemek için 304' ün karbonu çok düşük tutul- muş türüdür.	302'den daha dü- şük karbonludur; kimya ve gıda en- düstrisinde, çalgı aleti tellerinde kul- lanılır.	Nb veya Ta katıl- mıştır. 321'e ben- zer, kaynak için stabilize edilmiş- tir.	Yüksek Ni ve Cr bileşimiyle koroz- yon ve ısıya direnç artırılmıştır; kaynakta alaşım kaybını karşıla- mak için kaynak metali olarak kul- lanılır.	Yüksek Ni bileşe- ni ile düşük çalış- ma sertleşmesine sahiptir; derin çek- me işlemlerinde kullanılır.
X10 CrNiS 189 (303)	X6 CrNiTi 1810 (321)	(348)	(309)	(309S)
S katılarak oto- mat çeliği haline dönüştürülmüştür ; dişi makina par- çaları, miller, valf- lerin yapımında kullanılır.	Ti bileşeni kaynak- takrom-karbür çö- kelmesini önler; uçak ekzost mani- foldları, kazansac- ları, kimyasal pro- ses ekipmanları yapımında kullanı- lır.	347 türüne ben- zer ancak Ta max. sınırdadır; nükleer enerji uy- gulamalarındaki kul- lanılır.	308 türüne ben- zer; çok iyi koroz- yon ve tufal diren- cine sahiptir; uçak ısıtıcıları, ısı işlem ekipmanla- rı, fırın parçaları yapımında kullanı- lır.	İyi kaynak sağla- mak için karbonu düşüktür.
(303Se)	(314)	(310)	(310S)	
Se katılmış oto- mat çeliğidir; hafif kesici takımlar ve soğuk veya sıcak işlerde kullanılır.	310'a benzer; yük- sek sıcaklıkta tu- fal direnci artırıl- mıştır.	309'a benzer; ısı eşanjörleri, fırın parçaları, yanma odaları, kaynak metali yapımında kullanılır.	Kaynaklanabilirliği düzelmek için 310'un düşük kar- bonlu türüdür.	
X12 CrNi 177 (301)	(201)	X5 CrNiMo 1713 (317)	X5 CrNiMo 17122 (316)	X2 CrNiMo 17132 (316L)
Düşük Ni ve Cr bi- leşimiyle çalışma sertleşmesi oranı artırılmıştır; demir- yolu taşıtları, trey- ler kasaları, uçak parçaları yapılır.	301'in düşük nikel- li türüdür; Mn, Ni yerine katılmıştır; yüksek çalışma sertleşmesi oranı- na sahiptir.	Korozyon ve sü- rümeye direncini arttırmak için yük- sek Mo katılmış- tır.	Mo bileşeni dola- yısıyla 302 ve 304'den daha yük- sek korozyon di- rencine sahiptir; kimya, gıda, fotog- raf endüstrilerin- de kullanılır.	Kaynaklı konstrük- siyonlar için 316' nın çok düşük kar- bonlu türüdür.

Bu tür çeliğin şekil değiştirme sertleşmesi de artırılmış olduğundan yüksek mukavemet gerektiren makine parçalarının yapımında oldukça sık kullanılır. X10CrNi188 (302) çeliği, yüksek karbonludur ve soğuk şekil değiştirme sertleşmesi ile de yüksek mukavemete sahip olur. X10CrNiS189 (303) çeliği, kükürt katkısı ile otomat çeliği haline dönüştürülmüş olup, paslanmaz civata, mil ve vana yapımında kullanılır[16].

X2CrNi1911 (304L) çeliği, X5CrNi1810 (304) çeliğinin karbon miktarı azaltılmış türüdür. Çok düşük karbonlu (ELC) paslanmaz çelikler olarak bilinen bu çeliklerin geliştirilmesinin amacı, kaynak sırasında ısıdan etkilenmiş bölgede oluşan ve tanelerarası korozyona neden olan karbür çökmesinin önlenmesidir.

X15CrNiSi2012, X5CrNiSi2520, X15CrNiSi2520 çelikleri yüksek sıcaklıklarda korozyon ve çatlama dayanıklı, nikel ve krom içerikleri yüksek olan çeliklerdir, yanma odalarının ve yüksek sıcaklıkta çalışan parçaların üretiminde kullanılırlar.

Molibden içeren X5CrNiMo1722 (316), X2CrNiMo17132 (316L) çelikleri denizcilik ve kimya endüstrisinde X5CrNi1810 (304) çeliğinden daha yaygın olarak kullanılırlar. X2CrNiMo17132 (316L) çeliği de düşük karbon içeriği ile tanelerarası korozyon problemini önlemek amacıyla üretilmiştir.

X6CrNiTi1810 (321) ve X6CrNiNb1810 (347) çelikleri titanyum ve niyobyum ile stabilize edilerek, yüksek sıcaklıklarda kaynak bağlantılarındaki tanelerarası korozyona eğilim önlenmiştir.

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler genellikle nemli ortamlarda kullanılırlar. Artan krom ve molibden içerikleri korozif çözeltilere karşı korozyon dirençlerini artırıcı rol oynar. Yüksek nikel içeriği gerilmeli korozyon çatlama riski azaltır. Ostenitik paslanmaz çeliklerin, katılan alaşım elementlerinin (özellikle krom ve molibden) miktarına bağlı olarak genel korozyona, oyuklanma ve aralık korozyonuna dirençleri yükselir[3].

Ostenitik paslanmaz çelikler iç yapılarına göre stabl veya metastabl ostenitik paslanmaz çelikler olarak iki grupta incelenirler. Metastabl ostenitik paslanmaz çelikler soğuk şekillendirme sonucu iğnemsiz veya martenzitik türde bir iç yapı gösterirler. Stabl ostenitik paslanmaz çelikler ise oldukça yüksek derecede soğuk şekil değiştirme sonucunda bile ostenitik iç yapılarını korurlar. AISI 301 ostenitik paslanmaz çeliği metastabl ostenitik paslanmaz çeliklere güzel bir örnek olmaktadır. Yaklaşık olarak % 10-15' lik bir yüzde uzamadan sonra deformasyon sertleşmesi artan bir şekilde kendini belli eder. Metastabl ostenitik paslanmaz çeliklerde deformasyon sertleşmesinde görülen bu artış doğrudan ostenitin dengesizliğinin bir göstergesidir. Burada plastik şekil değiştirme sonucu martenzit oluşmaya başlamıştır.

Tablo 2.10, normalize halde bir grup ostenitik paslanmaz çeliğin oda sıcaklığındaki çekme ve çentik-darbe mukavemetlerini göstermektedir. Kimyasal bileşimin şekil

değişirme sırasında bu özelliklere etkisi hemen izlenebilmektedir. Örneğin, akma mukavemeti genel olarak elastik şekil değişiminin sona erdiği nokta olduğundan buraya kadar plastik şekil değişiminin bir etkisi görülmemektedir. Akma sınırı üzerine bileşimin etkisi burada basit bir şekilde katı eriyik sertleşmesinin etkisindedir ve bu katı eriyik sertleşmesine en büyük etkide bulunan elementler de karbon ve azot gibi arayer elementleridir. Bu bakımdan yüksek miktarda karbon ve azot içeren çeliklerin akma mukavemetleri daha yüksektir.

Tablo 2.10 Bazı ostenitik paslanmaz çeliklerin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri[3]

Çelik*	Ürün Biçimi	Akma** Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	Uzama(50 mm'de %)	Büzülme %	Çentik-Darbe (min)J	Elastiklik Modülü MPa
S20100 (201)	Sac ve band	310	655	40.0	-	-	197X10 ³
S20200 (202)	Sac ve band	310	621	40.0	-	-	-
S30100 (301)	Sac ve band	276	758	60.0	-	-	193X10 ³
S30400 (304)	Sac ve band	290	580	55.0	-	-	193X10 ³
S30400 (304)	Levha ve çubuk	241	565-586	60.0	70.0	149	193X10 ³
S31000 (310)	Levha	310	655	50.0	65.0	122	200X10 ³
S38100*** (XM15)	Levha	207	517	40.0	-	135	-

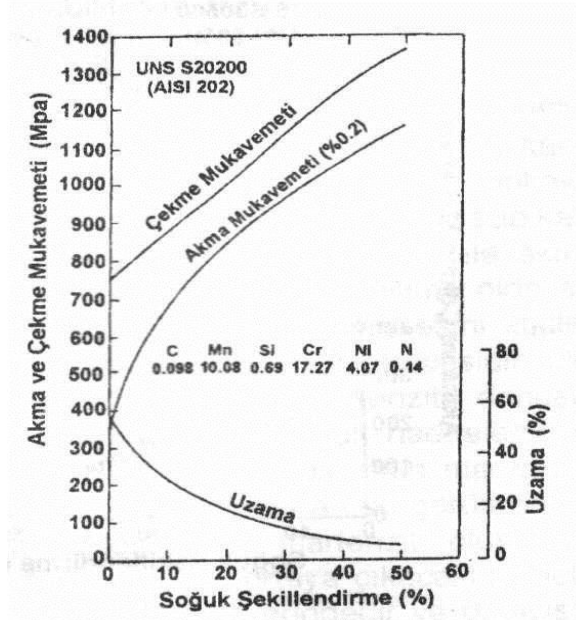
* UNS numarası altında parantez içindekiler AISI numaralarıdır.
** %0.2 sınırı
*** USS 18-8-2

Tablo 2.10' un incelenmesinden görüleceği üzere AISI 201 ve 202 en yüksek karbon ve azot içeriğine sahip olduklarından en yüksek akma mukavemeti gösterirler. Stabl ve metastabl ostenitik paslanmaz çelikler arasındaki farkı kesin bir biçimde çekme mukavemeti belli eder. Burada AISI 201, 202 ve 301 ile stabl gruptaki 304 ve 310 çeliklerinin çekme mukavemetlerini karşılaştırdığımızda metastabl ostenitik paslanmaz çeliklerin daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduklarını görürüz. Ayrıca Tablo 2.10' da, ostenitik paslanmaz çeliklerin uzama ve büzülme değerleri de görülür. Bu değerler incelendiğinde de bu çeliklerin çok şiddetli deformasyona yatkın oldukları görülmektedir. Ancak, ostenitik paslanmaz çeliklerin çentik-darbe (Charpy-V) mukavemetleri de oldukça iyidir. Ostenitik paslanmaz çeliklerin elastik modülleri sade karbonlu ve az alaşımlı çeliklerin elastik modüllerinden biraz daha

düşüktür. Bu da, belirli bir gerilme değeri için daha fazla elastik deformasyon gösterecekleri anlamına gelir.

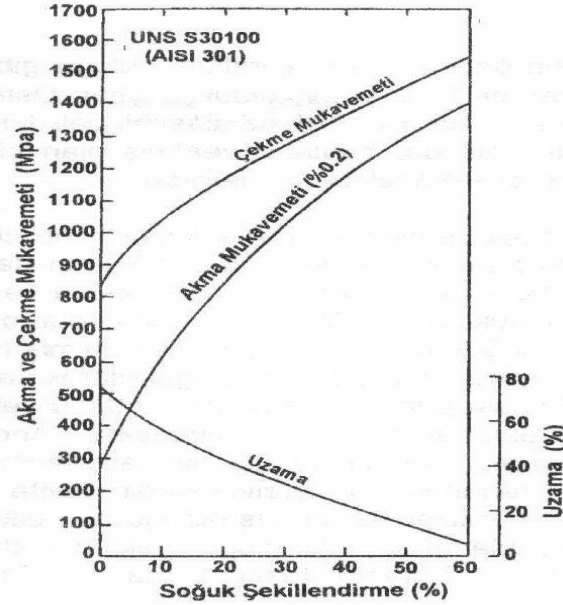
Yüksek derecede deformasyon sertleşmesinin bu çeliklerin çok yüksek akma ve çekme mukavemetine sahip olmalarını sağladığı daha önce de belirtilmişti, ayrıca burada ilginç olan bu tür çeliklerin bu yüksek akma ve çekme mukavemetlerinde dahi süneklik ve tokluklarının bir kısmını korumalarıdır. Bu bakımdan ostenitik paslanmaz çelikler soğuk haddelenmiş veya çekilmiş halde yüksek mukavemetli ve yüksek korozyon dirençli çeliklerdir. Doğal olarak kaynak uygulanması durumunda, parçanın tümü veya bir bölümü soğuk şekil değiştirme ile kazanılmış özellikleri yitirecektir. Ancak çok iyi düşünülmüş geliştirilmiş bir kaynak yöntemi ile bu tür paslanmaz çelikler rahatlıkla birleştirilmektedir. Hatta uygulamada, soğuk şekil değişiminin mukavemet üzerine yapmış olduğu tüm etkilerden yararlanılmaktadır. Bu konuda en iyi uygulama örnekleri, soğuk şekil değiştirilmiş ostenitik paslanmaz çeliklerin kullanıldığı demiryolu taşıtları, kamyon, treyler kasalarıdır.

Şekil 2.25, 2.26, 2.27, 2.28; AISI 202, 301, 305 ve 310 çeliklerinin soğuk şekil değiştirilmiş haldeki çekme mukavemeti özelliklerini göstermektedir. Şekiller incelendiğinde, belli bir şekil değişimi oranı için metastabl çelikler 202 ve 301; stabl 305 ve 310' a nazaran daha yüksek akma, çekme ve % uzama göstermektedirler[16].



Şekil 2.25 AISI 202 çeliğinin mekanik özelliklerine soğuk şekil değişiminin etkisi[16]

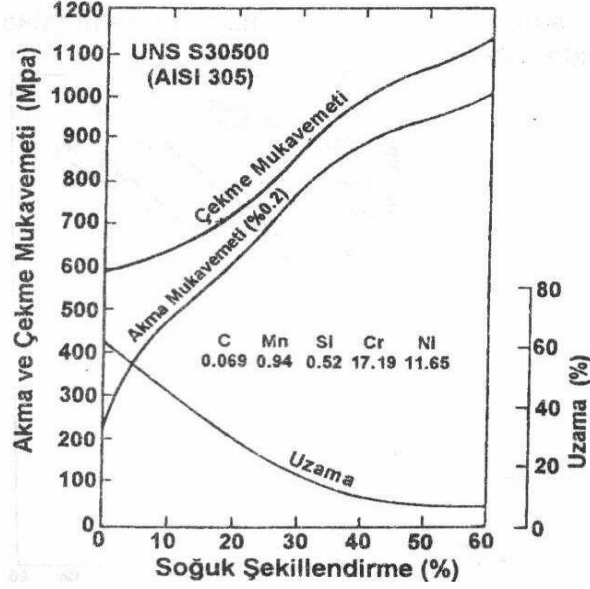
Ostenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi, özelliklerini etkiler. Bileşim, ilk olarak dönüşümü yani çeliğin stabilitesini, ikinci olarak da katı eriyik sertleşmesini etkiler. Hemen hemen tüm alaşım elementlerinin katılması ostenitik yapıyı daha dengeli hale getirmekte ve bu bileşimin etkisi de daha karmaşık olmaktadır. Örneğin, bir elementin katılması başlangıçta ostenitik yapının dengelenmesinde az etki gösterebilir buna karşın yüksek katı eriyik sertleşmesi etkisi sonucu yüksek akma ve çekme mukavemeti ve daha düşük uzama ortaya çıkar. Öte yandan bu elementin daha fazla katılması ile osteniti dengeleme etkisi daha şiddetli olmaktadır. Dolayısı ile akma ve çekme mukavemeti düşmekte ancak daha yüksek uzama elde edilmektedir. Ayrıca işlemin yapıldığı sıcaklık da çok büyük bir önem taşır. Soğuk haddeleme M_s sıcaklığının altında gerçekleştiğinden plastik deformasyon ostenitin martenzite dönüşmesini sağlayacak ve önemli derecede mukavemet artışı görülecektir. Soğuk şekil değiştirme M_s civarında gerçekleştiğinde martenzit oluşmayacak ve deformasyon sertleşmesi daha düşük oranda ortaya çıkacaktır. Metastabil ostenitik paslanmaz çeliklerde M_s oda sıcaklığının üzerindedir ve dolayısı ile de bu türlerde oda sıcaklığında soğuk haddeleme sonucu çok büyük mukavemet artışları görülür.



Şekil 2.26 AISI 301 çeliğinin mekanik özelliklerine soğuk şekil değişiminin etkisi[16]

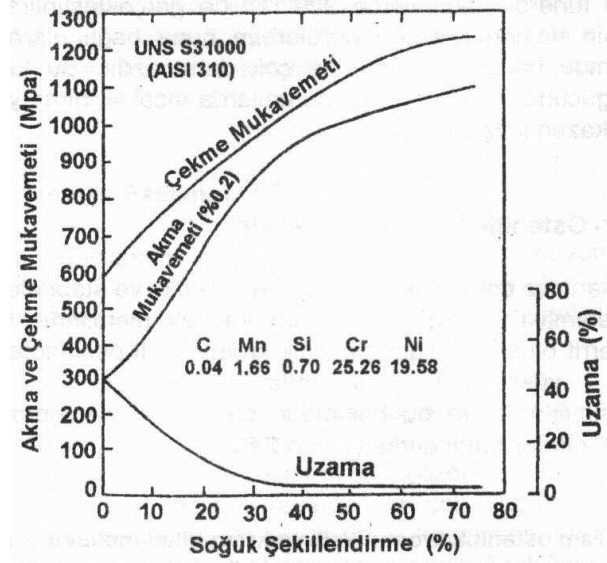
Örneğin, bu türlerde haddeleme 200°C ' de gerçekleştirilirse deformasyon sertleşmesinin hemen düştüğü görülür ve buna bağlı olarak bu sıcaklıklarda yapılan işlemde harcanan enerji de çok daha azdır. Bu tür çeliklerde soğuk haddeleme gücünün sınırlı olduğu durumlarda sıcaklık biraz yükseltılarak önemli bir üstünlük sağlanmış olur.

Süper ostenitik paslanmaz çeliklerde ostenitik yapı sürekli ve stabl olup her koşul altında tamamen ostenitiktir. Kaynaktan sonra kaynak metalinde AISI 3XX serisinin aksine hiç ferrit oluşmaz. Tam ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelikler korozyon dirençlerini yükseltmek açısından oldukça yüksek derecede alaşımlandırılmışlardır ve bu bakımdan da bazı literatürlerde süper-ostenitik paslanmaz çelikler adını alırlar (Tablo 2.11).



Şekil 2.27 AISI 305 çeliğinin mekanik özelliklerine soğuk şekil değişiminin etkisi[16]

Bu süper-ostenitik paslanmaz çelikler aşırı korozyon ortamlarda çalışan malzemelerde korozyon problemini önlemek ve kimya endüstrisinde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir.



Şekil 2.28 AISI 310 ç

etkisi[16]

Tablo 2.11 Süper ostenitik paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri[16]

Kimyasal Bileşim→	C max	Cr	Mo	Ni	Diğer
Kısa GösterimÜ					
18Cr/16Ni/3.5Mo/L	0.030	17.0-19.0	3.0-4.0	14.0-17.0	-
17Cr/13Ni/4.5Mo/NL	0.030	16.5-18.5	4.0-5.0	12.5-14.5	N=0.12-0.22
24Cr/20Ni/Nb/L	0.030	23.0-25.0	-	19.0-21.0	Nb≥10X%C
25Cr/22Ni/2Mo/NL	0.030	24.0-26.0	2.0-2.5	21.0-24.0	N=0.10-0.16
23Cr/27Ni/3Mo/3Cu/NbL	0.030	22.0-24.0	2.5-3.0	26.0-28.0	Cu=2.5-3.5, Nb=0.6-0.8
20Cr/25Ni/6Mo/2Cu/NL	0.030	19.0-21.0	6.5-7.0	24.0-26.0	Cu=1.0-2.0, N=0.13-0.17

Sülfirik asit, fosforik asit, asetik asit, kimyasal gübre üretimi gibi durumlar için özel süper-ostenitik paslanmaz türler üretilmiştir. Özellikle bu çeliklerin oyuklanma korozyon dirençleri (PRE: Pitting Resistance Equivalent – oyuklanma korozyonu direnç eşdeğeri) ve geliştirilmiş kritik oyuklanma sıcaklık değerleri (CPT: Critical Pitting Temperature) yükseltilmiştir. Bu türler deniz suyu ortamlarında çok çeşitli amaçlar için yaygın olarak kullanılırlar, hatta yüksek sıcaklıklarda aralık korozyonu dirençleri çok iyidir.

Buna ek olarak, süper-ostenitik paslanmaz çelikler manyetik olmayıp sıfırlı sıcaklıklarda üstün bir tokluğa sahiptirler. Süper-ostenitik kararlı yapı, yüksek nikel miktarı veya azot içeriği sayesinde gerçekleştirilmiştir.

2.2.4. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler bakır, molibden, niyobyum, titanyum ve alüminyum gibi alaşım elementleri içeren, bu elementlerin bir veya birkaçının etkisi ile çökeltme sertleşmesi gösteren Fe-Cr-Ni' li paslanmaz çelikler ailesinin bir grubudur[3].

Çökeltme sertleşmesi, prensip olarak alaşımı çözeltiliye alma tavından sonra uygulanan hızlı soğutmayı takip eden bir yaşlandırma işlemidir. Yukarıda belirtilen ve çeliğin içinde bulunan alaşım elementleri, çözeltiliye alma tavi sırasında çözümler ve yaşlandırma işlemi sırasında da çok küçük (submicroscopic) zerrecikler halinde çökeltmek matrisin sertlik ve mukavemetini artırırlar. Bu işlem sonucu çelik, martenzitik paslanmaz çeliklerin mekanik özelliklerine ve AISI 304 (X5CrNi1810) türü ostenitik paslanmaz çeliğin korozyon direncine sahip olabilmektedir. Bu tür çeliklerin üretimde sahip oldukları en önemli üstünlük, normalize durumlarında kolaylıkla işlenip biçimlendirildikten sonra 480-600°C' de bir ısıl işlem uygulanarak mekanik özelliklerinin geliştirilmesidir. Mukavemetleri yaklaşık 1700 MPa' ya kadar çıkabilmekte ve böylece, martenzitik paslanmaz çeliklerin mukavemetlerinin üzerindeki değerlere ulaşabilmektedir[3].

Paslanmaz çeliklerin çökeltme sertleşmesi prensipleri 1930' lu yıllarda bilinmesine karşın, bu tür paslanmaz çelikler ile ilgili araştırmalar 2. Dünya Savaşı yıllarında süregelmiş ve 'stainless W' olarak adlandırılan ilk ticari çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliğin üretimi 1946 yılından sonra başlamıştır.

Bu yıldan sonra birçok yeni çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelik geliştirilerek uçak, uzay ve savunma endüstrilerinde uygulama alanı bulmuştur. günümüzde üretilen çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, yüksek hızlı uçakların dış yüzeylerinde, füze gövdelerinde, deniz taşıtlarında, yakıt tanklarında, uçakların iniş takımlarında, pompalarda, millerde, somun, civata, kesici aletler ve kavramalarda yaygın bir kullanım alanına sahiptir.

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, çözeltiliye alma tavlamasından sonraki işlemler sonucu çeliğin yapısal değişimine ve özelliklerine bağlı olarak üç türde gruplanmaktadır. Bunlar;

- ◆ Martenzitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler
- ◆ Yarı-ostenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler
- ◆ Ostenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerdir[6].

AISI standartlarında 6XX serisi içine alınan ancak teknik literatürde bu seri yaygın kullanım alanı bulamadığı için uygulamada standart olmayan kaliteler arasında ticari simgeleri ile tanınan çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri Tablo 2.12' de özetlenmiştir.

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler arasındaki bu gruplama ve yapısal farklılıklar, bu tür çeliklerin kaynak kabiliyetini ve ısı işlemlerdeki davranışını doğrudan etkilemektedir. Dolayısı ile, bu tür çeliklerin metalurjik karakteristiklerini incelemekte yarar vardır.

Martenzitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler 1050-1080°C sıcaklık aralığındaki çözeltiliye alma tavlama sırasında tamamen ostenitik yapıda olmalarına karşın soğumada ostenit martenzite dönüşerek tamamen martenzitik bir içyapıya sahip olurlar. Martenzitik dönüşüm başlama sıcaklığı (Ms) 95-150°C dir. Daha sonra, bu çelikler 480-650°C sıcaklık aralığında bir sıcaklığa ısıtılarak yaşlandırılırlar.

Tablo 2.12 Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler ve kimyasal bileşimleri[6]

Simge	Kimyasal Bileşim ^a (%)									
	Cr	Ni	C	Mn	Si	Cu	Mo	Ti	Al	Diğer
Martenzitik Çökeltme Sertleşmeli Türler										
Stainless W ^b	16.75	6.75	0.07	0.50	0.50	-	-	0.80	0.20	-
17-4 PH	16.50	4.25	0.04	0.40	0.50	3.60	-	-	-	Nb+Ta 0.25
15-5 PH(XM-12)	15.00	4.60	0.04	0.25	0.40	3.50	-	-	-	Nb+Ta 0.35
CROLOY 16-6PH	15.75	7.50	0.03	0.80	0.45	-	-	0.60	0.40	-
CUSTOM 450(XM-25)	14.90	6.50	0.03	0.30	0.25	1.50	0.80	-	-	Nb+Ta 0.75
CUSTOM 455(XM-16)	11.75	8.50	0.03	0.20	0.20	2.25	-	1.20	-	Nb+Ta 0.30
PH 13-8 Mo(XM-13)	13.00	8.00	0.04	0.05	0.05	-	2.25	-	1.00	-
ALMAR 362(XM-9)	14.50	6.50	0.03	0.30	0.20	-	-	0.80	-	-
IN-736	10.00	10.00	0.02	0.10	0.10	-	2.00	0.20	0.30	-
Yarı-Ostenitik Çökeltme Sertleşmeli Türler										
17-7PH	17.00	7.00	0.07	0.70	0.40	-	-	-	1.15	-
PH 15-7 Mo	15.00	7.00	0.07	0.70	0.40	-	2.25	-	1.15	-
AM-350	16.50	4.25	0.10	0.75	0.35	-	2.75	-	-	N 0.10
AM-355	15.50	4.25	0.13	0.85	0.35	-	2.75	-	-	N 0.12
PH 14-8 Mo ^c (XM-24)	15.50	8.75	0.05	0.10	0.10	-	2.50	-	1.35	-
Ostenitik Çökeltme Sertleşmeli Türler										
17-10 P	17.0	10.50	0.12	0.75	0.50	-	-	-	-	P 0.28
HNM	18.5	9.50	0.30	3.50	0.50	-	-	-	-	P 0.25
A-286	15.0	25.0	0.06	1.20	0.50	-	1.20	2.00	0.25	V 0.30

^a Geri kalanı demir
^b Ferritik yapıca üstün
^c Vakum endüksiyon fırında üretilmiş,
Parantez içindeki simgeler ASTM' e göre dir

Çeliğin içeriğinde bulunan molibden, titanyum, bakır, niyobyum ve alüminyum gibi elementlerden birinin veya bir kaçının bu ısıl işlem sonucunda çok küçük zerrecikler halinde çökmesi ile sertlik ve mukavemette artış sağlanır. Endüstride kullanılan martenzitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelik türlerine uygulanan ısıl işlem türleri Tablo 2.13' de verilmiştir. Çeliğin mekanik özellikleri yaşlandırma sıcaklığı ve sıcaklık sürecine bağlı olarak değişir, bu şekilde özel kullanım isteklerini karşılayabilir[1].

Uygulanan ısıl işlemler sonucunda, çekme mukavemetlerindeki değişime bağlı olarak martenzitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler iki gruba ayrılırlar. Örneğin, 17-4 PH, 15-5 PH, Custom 450, stainless W gibi türler 1378 MPa' ya varan çekme mukavemetleri ile orta mukavemetli, PH 13-8 Mo ve custom 455, 1378 MPa' dan daha fazla çekme mukavemetleri ile yüksek mukavemetli olarak gruplandırılırlar[1].

Tablo 2.13 Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklere uygulanacak ısıl işlemler[1]

Tür	Çözeltiyeye Alma		Yaşlandırma ^b	
	Sıcaklık, (°C)	Soğutma ortamı ^a	Sıcaklık, (°C)	Süre, (Saat)
Martenzitik				
17-4 PH	1050	Y,H	480 veya 500-630	1
15-5 PH	1050	S	480 veya 500-630	1
Custom 450	1050	S	480-630	4
Custom 455	840	S	480-570	4
Stainless W	1050	H	510-570	0.5
Yarı-Ostenitik				
17-7 PH	960	H	(1)-68	8
PH 15-7Mo	760	H	(2) 510-600 570-600	1 1.5
PH 15-7Mo	960	H	(1)-68 (2) 510-570	8 1
AM350, AM355	940	H	(1)-73 (2) 460-540	3 3
Ostenitik				
A-286	990	Y	725	16
17-10P	1130	S	710	24
HNM	1130	Y,H	740	16

a. Y-Yağ, H-Hava, S-Su b. Havada soğutma

Metalurjik olarak bu tür paslanmaz çeliklerde bileşimin dengelenmesi oldukça kritik bir konudur. Bileşimde oluşabilecek küçük bir dalgalanma, çözeltiyeye alma tavlamasında çok miktarda delta ferrit oluşumuna neden olabilir. Ostenitin çok dengeli olması durumunda da, çözeltiyeye alma tavidan sonra oda sıcaklığında çok fazla miktarda ostenit iç yapıda kalabilir. Bu iki olay, yaşlandırma sırasında tüm sertleşmeyi önler, bu dengeyi karbon ve azot içeriği belirgin bir biçimde etkiler. Örneğin, 17-4 PH ve stainless W gibi türler, martenzitik yapı içinde bir miktar ferrit dizileri içerirler, 15-5 PH ve custom 450 gibi türler ise hızlı soğutma işleminden sonra ferrit içermezler.

Yarı-ostenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin yapıları metalurjik olarak oldukça karışıktır. Çözeltiyeye alma tavi uygulanmış veya normalize hallerinde yapı ostenitiktir, ancak % 5-20 delta ferrit içerir. İzlenen uygun ısıl işlemler sonucunda da

ferrit dönüşmeden yapıda kalabilir. Martenzitik çökme sertleşmeli türler ile karşılaştırıldıklarında normalize hallerinde rahatlıkla soğuk şekil değiştirebilecek derecede yumuşak ve sünektirler. tavlama sıcaklığından itibaren oda sıcaklığına hızlı soğutulduklarında ostenitik içyapılarını koruduklarından soğuk biçimlendirme işlemleri için uygun tokluk ve süneklığe sahiptirler. Bu tür çeliklerin Ms sıcaklıkları, bileşimlerine ve tavlama sıcaklıklarına bağlı olarak oda sıcaklığının oldukça altında bir bölgede değişir. Sertlik ve mukavemetin artması için bu ostenitik yapının martenzitik yapıya dönüşmesi gerekmektedir. Bu amaç için, üç yöntem uygulanabilir. Çelik, çökme sertleşmesi ısıl işlemine tabi tutulmadan;

- ◆ 650-880°C sıcaklık aralığına ısıtılıp karbürlerin ve diğer bileşiklerin çökmesi sağlanır. Osteniti kararlı hale getiren elementlerin çökmeyle ayrışması sonucu, çelik oda sıcaklığına soğutulduğunda ostenit martenzite dönüşür.
- ◆ Çelik, -73°C gibi Ms sıcaklığının çok altında bir sıcaklığa kadar soğutularak dönüşüm sağlanır.
- ◆ Çeliğe, ostenit martenzit dönüşümünü sağlayacak biçimde soğuk biçimlendirme uygulanır. Bu ısıl işlemlerin bir dizisi, çeşitli tür yarı-ostenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çelikler için Tablo 2.13' de verilmiştir.

Martenzitik dönüşüm sağlandıktan sonra bu tür çeliklere 450-600°C arasında bir yaşlandırma ısıl işlemi uygulanarak çökme sertleşmesi gerçekleştirilir. Sonuçta tokluk, süneklilik, korozyon direnci ve sertlikte iyileşme sağlanır[3].

Yapıda çökelmelerin oluşması veya bir temperleme etkisinin görülmesi tamamen çeliğin bileşimine bağlıdır. Yarı- ostenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin Ms sıcaklığı çözeltiliye alma tavlama ve bileşimlerinin etkisi altındadır. Örneğin; AM 350 çeliği, 930°C' nin altındaki sıcaklıklarda çözeltiliye alma tavlama uygulandığında karbürlerin tam olarak çözeltiliye geçmemesi sonucu Ms sıcaklığı oda sıcaklığının üzerine çıkar. 930°C' nin üzerinde olduğu zaman ise, Ms sıcaklığı da ani olarak düşer. Uygulamada yüksek sıcaklıklarda delta ferrit oluşumu ortaya çıkacağından 1050°C' yi geçilmemesi önerilir[3].

Ostenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çelikler, tavlandıktan ve herhangi bir yaşlandırma veya sertleştirme işleminden ve hatta soğuk biçimlendirmeden sonra bile ostenitik içyapıyı kararlı olarak tutacak şekilde alaşım elementi içerirler.

Ostenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklere uygulanacak ısı işlemler de tablo 2.13' de özetlenmiştir. Çökeltme sertleşmesini oluşturan faz, 1100-1300°C sıcaklıklarında çözeltiye geçer ve bu sıcaklıklardan itibaren de hızlı soğutma halinde bile ostenitik yapı içinde çözelti halinde kalır. Çözeltiye alma işlemini takiben 650-770°C sıcaklık aralığında uzun süreli bir yaşlandırma işleminde alüminyum, titanyum, fosfor gibi elementler metallerarası bileşikler oluşturarak ostenitik yapının sertlik ve mukavemetini arttırlar. Erişilen sertlik, martenzitik veya yarı-ostenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerde elde edilen değerlerden düşük olmasına karşın yapı manyetik olmayan özelliğini korur[3].

Tüm ostenitik çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, genel olarak biçimlendirmede, kaynak edilmelerinde ve ısı işlemlerde ostenitik iç yapılarını korurlar. Ancak çökeltme sertleşmesini gerçekleştirmek için katılan bazı alaşım elementleri kaynak kabiliyetlerini önemli derecede etkiler.

2.2.5. Duplex (Çift Fazlı) Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı bir içyapıya sahip, ferrit taneleri içinde ostenit veya ostenit taneleri içinde ferrit içeren bu tür paslanmaz çeliklerin ostenitik paslanmaz çeliklere nazaran en önemli üstünlükleri akma mukavemetlerinin iki kat daha büyük olması ve çok daha iyi korozyon dirençleridir. Endüstriyel uygulamalarda klor içeren sıvıların kullanılması, kullanılacak malzemelerin bilinen paslanmaz çelik türlere göre (316L-X2CrNiMo17133) arttırılmış mukavemet ve geliştirilmiş korozyon dirençlerine sahip olmalarını gerektirir. Bu tür çelikler, tane büyüklüğü 3 – 10 µm' ye kadar küçültülebildiğinde, 950°C civarında % 500 gibi bir çekme uzaması göstererek süper plastik hale gelirler[1].

% 18 ve daha fazla krom içeren ferritik kromlu paslanmaz çelikler ile karşılaştırıldıklarında, başlıca ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelik türleri klor içeren ortamlarda oldukça sınırlı bir gerilmeli korozyon çatlama direnci gösterirler. Ancak ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirlikleri daha iyidir. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler ise gerilmeli korozyon çatlama dirençli olmalarına karşın, son geliştirilen türleri de dahil olmak üzere kaynak edilebilirlikleri iyi değildir. Zira, kaynak sırasında ısıdan etkilenmiş bölgede tane irileşmesi olur. Daha önceden bilindiği üzere, ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin birçok türü % 0,1 ve daha fazla karbon içerirler ki bu da yapıda tanelerarası kırılmalı martenzit yapısının oluşumunu teşvik eder. Bu her iki olay da tokluğun düşmesine ve kaynak bağlantısında soğuk

çatlamaya neden olur, dolayısıyla duplex paslanmaz çelikler her iki türün iyi özelliklerini bünyelerinde toplamak üzere geliştirilmişlerdir[1].

İlk duplex paslanmaz çelik, 1933 yılında Fransa'da J.Holtzer Company'de % 18 krom, % 9 nikel, % 2,5 molibdenli paslanmaz çeliğin üretilmesi sırasında yapılan bir alaşımlama hatası sonucu ostenitik matris içinde yüksek oranda ferrit içeren bir paslanmaz çeliğin ortaya çıkması ile tesadüfen bulunmuştur. Daha sonraki yıllarda bu konudaki araştırmalar devam ettirilmiş ve çeşitli patentler alınmıştır. 1930-1940 yılları arasında İsveç'te ve A.B.D'de de duplex paslanmaz alaşımların geliştirilmesi ve endüstriyel üretimleri üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir[3].

Aslında duplex paslanmaz çelikler üzerine yapılan bilimsel çalışmalardan ilk ticari duplex paslanmaz çeliğin 1970' li yıllarda üretilerek pazara sunulduğu anlaşılmaktadır. Bu çeliğin kimyasal bileşimi yaklaşık olarak % 18,5 krom, % 5 nikel, % 2,7 molibden ve % 0,1 azottan oluşmaktaydı. Ancak, bu kalite ileriye dönük olarak kullanıcıların pek ilgisini çekmemiştir. Zira, bünyesinde bulunan yüksek karbon miktarından dolayı kaynak edilebilirliği oldukça kötüdür. Çelik üretim teknolojisindeki gelişmeler sonucu karbon miktarı düşürülerek kaynak edilebilirlikleri oldukça iyi, korozyon dirençleri yüksek birçok duplex paslanmaz çelik son on yılda geliştirilmiştir ve günümüzde de birçok araştırmacı bu türlerin kaynak edilebilirlikleri, kaynak bağlantılarının mekanik özelliklerinin yükseltilmesi ve korozyon dirençlerinin daha da artırılması üzerine çalışmaktadır[3].

Duplex paslanmaz çelikler, üstün özelliklerinden dolayı değişik biçim ve boyutlarda endüstrinin hizmetine sunulurlar ve ısı eşanjörü, petrol, gaz, ve deniz suyu boruları ile bağlantı elemanlarında, deniz petrol platformlarında, gaz kuyularında, taşıyıcı kaplarda, döküm pompa ve vana gövdelerinde, gemi pervanesi ve parçaları yapımında, jeotermal uygulamalarda büyük çapta kullanılmaktadırlar. Örneğin, X2CrNiMoN2253 (DIN 1,4462, UNS-S31803 veya yeni UNS' göre S39205) çeliği, oyuklanma ve aralık korozyonuna 317L kadar, gerilmeli korozyona ise 304L ve 316L'den daha dirençli olması nedeni ile kimya endüstrisinde gittikçe genişleyen bir uygulama alanına sahiptir[6].

Bu çeliklerin en önemli dezavantajları ise, α' ve α fazları dolayısıyla gevrekleşmeye yatkınlıkları, sıcak şekillendirmede görülen zorluklar ve üretimlerinin zor olmasıdır. Genelde ostenitik paslanmaz çelikler listesine alınmasına karşın AISI 329 (X4CrNiMoN 27 5 2) çeliği ferrit esaslı bir çift fazlı paslanmaz çeliktir. Buna karşın, % 21,5 krom, % 7,5 nikel, % 2,5 molibden ve % 1,5 bakır içeren ve ticari adı

URANUS 50 olan çelik ise ostenit esaslı çift fazlı bir alaşımdır. AISI 329 paslanmaz çeliğinin oda sıcaklığındaki akma mukavemeti 240 MPa civarındadır. Bu da, ferrit içeriği ile mukavemetin yükseldiğini göstermektedir. Bu değer % 70-80 ferritte maksimuma ulaşmakta ancak artan ferrit miktarı ile de azalmaktadır. Bu davranış, ostenitin şiddetli deformasyon sertleşmesine bağlıdır. Zira ostenit, ferritten daha düşük bir akma mukavemeti fakat daha yüksek bir çekme mukavemeti göstermektedir[6].

Duplex paslanmaz çelikler basit anlamda iki ayrı fazı bünyelerinde bulundururlar: ferrit ve ostenit. Dolayısıyla ferritik-ostenitik veya ostenitik-ferritik paslanmaz çelikler olarak tanınırlar. Daha önce de belirtildiği gibi ferritik ve ostenitik paslanmaz çeliklerin en iyi ortak özelliklerini taşırlar. Ferritik yapı ile mukavemet ve gerilmeli korozyon çatlamasına direnç , ostenitik yapı ile tokluk ve genel korozyon direnci sağlanır. Böylece iki fazlı ince taneli, yüksek mukavemetli ve iyi korozyon dirençli bir çelik ortaya çıkmaktadır.

Modern duplex paslanmaz çelikler ısıl işlem görmüş hallerinde -50°C ' nin altında tokluk kaybına uğrarlar. Zira bu çeliklerde ferrit fazının bulunması sonucunda çentik darbe eğrisinde, düşen sıcaklıkla sünek-gevrek geçiş sıcaklığı da düşer. 475°C gevrekliği ile birlikte bu faktör duplex paslanmaz çeliklerin kullanım sıcaklıklarını da sınırlayıcı etkide bulunur. Dolayısı ile de, bu tür çelikler -50 ile 280°C sıcaklıkları arasında mekanik özelliklerini çok iyi korurlar. Kaynak edilebilirlikleri ve karşılaştırılabilir fiyatları da buna eklenirse günümüzün vazgeçilmez bir paslanmaz çelikler türü ortaya çıkmaktadır[3].

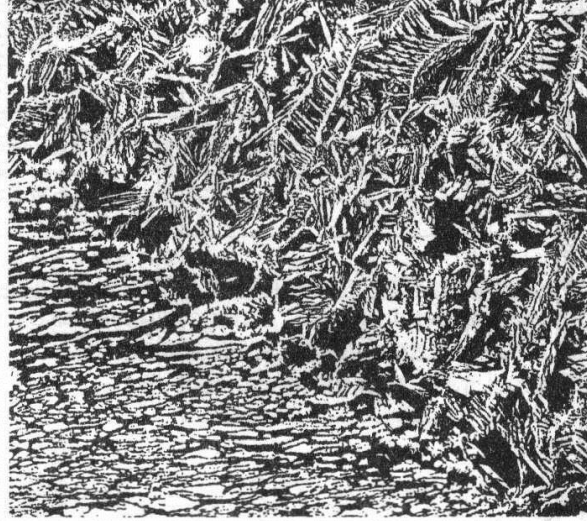
Duplex paslanmaz çeliklerin içeriğinde bulunan başlıca alaşım elementleri krom, nikel, molibden ve azottur. Krom ve molibden ferriti dengelerken ,nikel ve azot osteniti dengeler. Bazı türlerde ise bunlara ek olarak mangan, bakır veya wolfram bulunur.

Duplex paslanmaz çelikler üzerine yapılan araştırmalar sonucunda, % 1,5-4 molibden içeren veya hiç molibden içermeyen ve bazı koşullarda da ek alaşım elementleri katılan az karbonlu % 22-27 Cr, % 4-8 Ni, % 0,1-0,3 N' lu yeni çelikler geliştirilmiştir. Bunlar duplex ve super duplex paslanmaz çelikler olarak kullanıma girmişlerdir. Duplex ve super-duplex paslanmaz çelikler arasındaki farklılıklar standartize edilmemiştir, super duplex terimi yaklaşık olarak % 25 Cr, \geq %3.5 Mo ve \geq %0,2 N ile $PRE_N > 40$ olarak belirtilmektedir. Burada PRE_N 'in anlamı oyuklanma korozyonu eşdeğeridir. N simgesi azot alaşımını olduklarını belirtirken,

$PRE_N = \% Cr + 3,3x\% Mo + 16x\% N$ bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Alışılmış molibden alaşımlı duplex paslanmaz çeliklerin sahip oldukları PRE_N değeri ise 30-36 arasındadır[6].

- | | |
|-----------------------------------|---------------------|
| a) %23 Cr, Mo içermeyenler | $PRE_N \cong 25$ |
| b) %22 Cr, Mo içerenler | $PRE_N \cong 30-36$ |
| c) %25 Cr, (0-% 2,5 Cu içerenler) | $PRE_N \cong 32-40$ |
| d) %25 Cr Super-duplex kaliteler | $PRE_N > 40$ |

Duplex paslanmaz çelikler yaklaşık olarak % 50 ferrit ve % 50 ostenit içeren bir iç yapıya sahiptirler. Ancak bu yapıyı elde etmek için kimyasal bileşime ve ısıl işleme çok iyi uymak gerekmektedir (Şekil 2.29) [3].



Şekil 2.29 Tozaltı kaynağı uygulanmış bir duplex paslanmaz çelikte kaynak bölgesinin mikroyapısı. Sağ üst bölge kaynak metali, sol alt bölge esas metal. Ferrit koyu, ostenit beyaz[3]

Hadde veya döküm duplex paslanmaz çeliklerde mikroyapı genellikle 1040-1150 °C sıcaklık aralığında uygulanan bir ısıl işlem ile elde edilir. Döküm durumunda, bu tür paslanmaz çelikler genellikle %80 veya daha fazla ferrit içerirler ve az miktarda ostenit oluşur. Ayrıca bünyede σ ve/veya χ fazları gibi gevrek metallerarası fazlara sık rastlanır. Isıl işlem sıcaklığı yeteri kadar yüksek ise metallerarası bileşiklerin oluşumunu önler ve oda sıcaklığındaki mikroyapı genellikle ostenit ile dengede % 40-60 ferrit içerir.

Yavaş soğuma sırasında veya 540-930°C sıcaklık aralığında beklemede metallerarası bileşiklerin oluşumuna eğilimin yanısıra, duplex paslanmaz çelikler

475 °C (temper) gevrekliği olarak adlandırılan metalurjik olay ile de karşı karşıya kalırlar. Bu kırılabilirlik demirce zengin ferrit içinde (α), kromca zengin ferritin (α') çökmesine bağlı olarak oluşur.

Duplex paslanmaz çelikler, ülkemizde fazla tanınmamakta ve bu tür paslanmaz çelikler ile ilgili Türk Standardı da bulunmamaktadır. Batı ülkelerinde bu tür çelikler ile ilgili standartlar hazırlanmasına karşın çoğu kez üretici firmaların markaları ile tanınmaktadır. Bu çeliklerin çeşitli ülkelerde kullanılan tanımlama kodları ve kimyasal bileşimleri de Tablo 2.14' de verilmiştir[3].

Tablo 2.14 Duplex (çift fazlı) paslanmaz çelikler[3]

Üretici	Kalite	Kimyasal Bileşim (%) ¹⁾							Üretim Biçimi
		Cr	Ni	Mo	N	Cu	Diğer	PRE _N	
A) %23 Cr' lu Molibdensiz Duplex Paslanmaz Çelikler									
Avesta	SAF 2304	23	4.0	-	0.1	-	-	25	Tüm üretim biçimleri
Creusot Ind.	UR 35N	23	4.0	-	0.12	-	-	25	Levha, çubuk, dövme parçalar
Sandvik	SAF 2304	23	4.0	-	0.1	-	-	25	Boru
B) %22 Cr' lu Duplex Paslanmaz Çelikler									
Avesta	2205	22	5.5	3.0	0.14	-	-	34/35	2) Üreticiye bağlı olarak tüm üretim biçimlerinde
Böhler	A903								
Creusot Ind.	UR45N								
Fabr.de Fer.	1.4462/PRE3								
Krupp	5								
Mannesmann	Falc 223								
Nippon Kokan	AF								
Sandvik	22(1.4462)								
Sumitomo	NK Cr22								
TEW	SAF 2205								
Valourec	SM 22Cr								
	Remanit								
	VS 22								
C) %25Cr(%0-2.5Cu)Duplex Paslanmaz Çelikler									
Böhler	A 905	25.5	3.7	2.3	0.37	-	Mn:5.	39	Levha, dövme parçalar
Carpenter	7-Mo Plus	27.5	4.5	1.5	0.25	-	8	36.5	-
Creusot Ind	UR 47N	25	7.0	3.0	0.16	0.2	-	37.5	Levha, çubuk
	UR 52N	25	7.0	3.0	0.16	1.5	-	37.5	Dövme parçalar
Langley	Ferrallium 255	26	5.5	3.3	0.17	2.0	-	38.5	Döküm parçalar
Mather&Platt	Zeron 25	25	4.0	2.5	0.15	-	-	35.5	Döküm parçalar
Sumitomo	DP 3	25	6.5	3.0	0.2	0.5	-	38.0	Levha, çubuk, tel ve boru
D) %25Cr' lu Super-Duplex Paslanmaz Çelikler									
Pleissner	9.44625	26	7.0	3.5	0.25	0.6	-	>41	Döküm parçalar
Krupp-VDM	Falc 100	25	7.0	3.5	0.25	0.7	W:0.7	41	Levha, dövme parçalar, borular, bağlantı elemanları
Avesta	Saf 2507	25	7.0	4.0	0.28	-	-	42.5	Levha, dövme parçalar, borular, bağlantı elemanları, döküm parçalar
Sandvik	Saf 2507	25	6.5	3.7	0.28	-	-	42.5	
WMS ²⁾	Zeron 100	25	6.5	3.7	0.25	0.7	W:0.7	41	Levha, dövme parçalar, bağlantı elemanları, döküm parçalar

1) C maksimum %0.03 veya 0.04,

2) Cr, Mo, N'ca zenginleştirilmiş ve üreticilere PRE_N>35 garanti edilmiş

Tablo 2.15'de ticari olarak üretilen duplex alaşımların bir bölümü Euronorm' a göre verilmiştir. Amerikan Standartları'nda ise tanımlanmış numaralama sistemi (UNS) ile gösterilmektedir[3].

Tablo 2.15 Euronorm'a göre ticari duplex paslanmaz çelikler

EURONORM DIN	Kimyasal Bileşim (%)						
	C	Cr	Ni	Mo	Cu	N	Diğer
X2CrNiMoSi 18 5 3	0.02	18.5	5	2.7	-	0.07	Si=1.7

Bu tür paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri tüm çeliklerde olduğu gibi, üretim türüne (haddelenmiş, dökülmüş) ve son ısıl işleme bağlıdır. Vd TÜV-Werkstoffblatt 418 ve ASTM standartlarında verilen sınırlar içinde mekanik özellikleri tablo 2.16' da gösterilmiştir.

Tablo 2.16 Duplex paslanmaz çeliklerin mekanik özellikleri

Ürün Biçimi	Kalınlık (mm)	Deney Sıcaklığı (°C)	Rp0.2 (N/mm ²)	Rm (N/mm ²)	A5 (%)	CVN (J)	HRc
Vd TÜV Werkstoffblatt 418: W.Nr. 1.4462							
Levha	max.20	20	min.480	680-880	min.25	min.104	-
Dövme, çubuk	max.100	20	min.450	680-880	min.30	min.104	-
Döküm	belirli değil						
ASTM	belirli değil		A182: Flanş		A789:tüp kesit		
	belirli değil		A240: levha, sac		A790: boru		
Çelikler							
UNS S31200		Oda	min.450	690-900	min.25	-	-
UNS S31260		Oda	min.440	min.630	min.30	-	max.30.5
UNS S31803		Oda	min.450	min.620	min.25	-	max.30.5-32
UNS S32304		Oda	min.400	min.600	min.25	-	max.30.5
UNS S32550		Oda	min.550	min.760	min.15	-	max.31.5-32
VdTÜV Werkstoffblatt yüksek sıcaklıklarda min.%0.2 akma mukavemeti verir:							
Dikişsiz boru		100°C	360				
		150°C	335				
		200°C	310				
		250°C	295				
		300°C	285				

3. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAK KABİLİYETİ

3.1. Kaynak Kabiliyeti Kavramı

Kaynaklı yapılarda karşılaşılan kırılma olaylarında, kırılmanın, kaynak bölgesinde daima ısıdan etkilenmiş bölgede var olan bir hatadan veya oluşmuş bir çatlaktan başlayarak geliştiği görülmektedir. Kaynaklı yapılarda bu tür kırılmalara meydan vermemek için, kaynak sırasında, ısıdan etkilenmiş bölgede oluşan olayların iyi bilinmesi, ortaya çıkan yapının mekanik özelliklerinin hassas bir şekilde saptanması ve bunların bir dizayn kriteri olarak gözönüne alınması gereklidir. Bu konuya daha uygun bir çözüm ise, ısıdan etkilenmiş bölgenin özellikleri, bu tür olaylara neden olmayacak türde malzemelerin geliştirilmesi yolunda çaba göstermektir[1].

Bir üretim olarak, kaynak uygulanarak inşa edilmiş bir yapının, üretilmiş bir makina parçasının veya tamir edilmiş bir hasarlı parçanın kullanma emniyeti ve kalitesi sadece kullanılan kaynak metalinin türüne diğer bir deyimle seçimine bağlı değildir. Bir kaynak bağlantısının özelliğine etkiyen faktörlerin en önemlisi kaynak esnasında uygulanan sıcaklığın dağılım ve değişimi karşısında esas metalin davranışdır.

Hemen hemen bütün kaynak yöntemleri kaynak edilen malzemenin kaynak bölgesinin ergime veya metalin solidüsüne yakın bir sıcaklığa ısıtılmasını gerektirir. İşte böyle bir sıcaklığa kadar ısıtılmayı takip eden soğuma, metalde içyapı değişikliklerine neden olduğu gibi; yüksek sıcaklık, kaynak metali, cüruf, esas metal ve ortam atmosferi arasında bazı kimyasal reaksiyonların oluşmasına da neden olur[1].

Bütün ergitme kaynak yöntemleri temel olarak bir döküm işlemi andırır. Kaynak metali, elektrik arkı veya gaz alevinin yüksek sıcaklığı karşısında ergir ve daha önceden hazırlanmış olan kaynak ağızı içine dökülür; bu arada kaynak ağızının kenar yüzeyleri bir miktar ergir ve dolayısıyla ergimiş metal ve esas metal karışarak kaynak ağızı içinde katılaşır. Bu işlem sırasında, kaynak edilen malzemelerin kaynak

dikişine bitişik kısımlarında, metalin ergime sıcaklığından ortam sıcaklığına kadar, değişik sıcaklık derecelerinde ısınmış bölgeler ortaya çıkar[1].

Kaynak bağlantısının bulunduğu ve kaynak sırasında ortaya çıkan sıcaklıktan etkilenen bölgelerin tümüne kaynak bölgeleri ismi verilir. Bu bölge; ergime bölgesi ve ısıdan etkilenmiş bölge olmak üzere iki bölgeden oluşur[1].

Ergime bölgesi, kaynak sırasında oluşan ısının etkisi ile ergiyen ve kaynaktan sonra katılaştan bölgedir. Isıdan etkilenmiş bölgeden, ergime çizgisi adını verilen ergimiş ve ergimemiş bölgeler arasındaki sınırla ayrılır. Bu sınır bir kaynak bağlantısından çıkartılarak dağlanan ve parlatılan enine kesit üzerine çıplak gözle dahi izlenebilir.

Ergime bölgesi kaynak metali ve esas metalin karışımından ibarettir. Tek pasolu kaynak dikişlerinde, bu bölgede esas metal ve kaynak metali, kaynak banyosundaki şiddetli türbülansın etkisiyle iyice karışmıştır ve oldukça homojen bir bileşim gösterir. Buna karşın çok pasolu kaynaklarda, her pasonun esas metalle karışma oranı farklıdır. Örneğin; kalın parçaların çok pasolu kaynak dikişlerinde, orta kısımlarda, esas metale rastlanmayabilir.

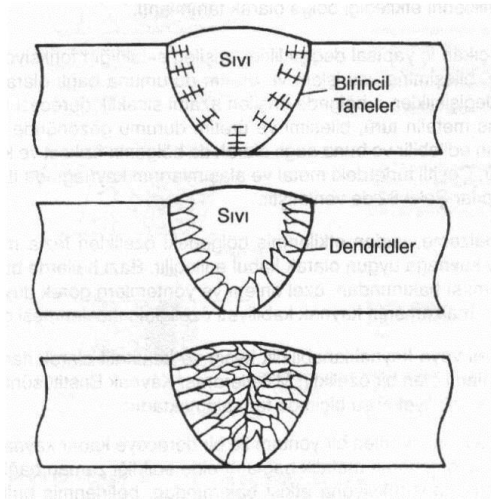
Ergime bölgesinde, esas metalin kaynak metaline oranı, uygulanan kaynak yöntemi ve paso sayısına bağlı olarak geniş bir aralık içinde değişir.

Ergime bölgesinde esas metal ve kaynak metali oranı tam olarak bilinse dahi hesap yolu ile ergime bölgesinin bileşiminin belirlenmesine olanak yoktur, çünkü bir çok alaşım elementleri kaynak sırasında yanma dolayısıyla kayba uğrarlar. Bu kayıpları azaltmak için kaynak bölgesi, kaynak sırasında atmosferin etkisinden korunur. İyi bir kaynak bağlantısı, kaynak bölgesinin atmosferin etkisinden korunması ile elde edilebilir; zira, oluşan kimyasal ve metalurjik reaksiyonlar ancak bu şekilde kontrol altına alınabilir.

Oksijenle olan reaksiyonları kontrol için ergime bölgesine çeşitli yöntemlerle (örtüye, toza, tele katılarak) dezoksidasyon maddeleri ile yanan alaşım elementlerini karşılayacak miktarda elementler katılır. Bu bölge ayrıca, bir cüruf örtüsü veya oluşturulan kontrollü bir atmosferle de korunur.

Sıvı haldeki metal içindeki atomlar birbirleri arasına hareket serbestliğine sahiptirler. Soğutma sırasında; sıcaklık, metal veya alaşımın katılma noktasına kadar düşünce, atomların kristal kafesleri meydana getirmek üzere birleşmeleri ile çekirdekler oluşur. Bu sırada metalden ısı çekilir ve soğutmaya devam edilirse

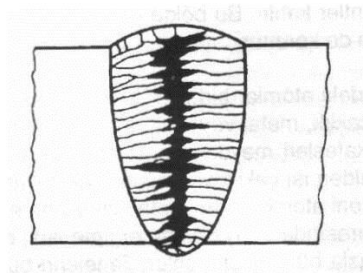
çekirdekler taneleri oluşturmak üzere yeni atomların ve kristal kafeslerin eklenmesi ile büyümeye devam eder. Katılma sırasında ortaya çıkan ergime ısı doğal olarak soğuma hızını etkileyerek tanelerin fazla büyümesini önler. Tanelerin büyüebilmesi için ısının sürekli olarak metalden çekilmesi gereklidir. Kaynak halinde ısının büyük bir kısmı ergime bölgesinden kondüksiyonla esas metale iletilir, dolayısı ile soğuma yönünde paralel, oldukça iri silindirik taneler oluşur. Ergime çizgisine dik doğrultuda oluşan bu iri taneler, bir kalıp içinde katılan döküm yapısını andırır (Şekil 3.1) [7].



Şekil 3.1 Kaynak metalinin katılma evreleri[7]

Kaynak sırasında ısı girdisinin artması, parçanın yüksek sıcaklıkta daha uzun süre tutulması, ön tav uygulanması gibi etkenler, ergime bölgesinde tanelerin irileşmesine neden olur. Kaynak bölgesinde soğuma hızının artması, tane yapısının incelenmesini sağlarsa da, gevrek ve kırılğan bir yapı oluşturduğundan uygulamada tercih edilmez. Kaynak metaline katılmış olan dezoksidasyon elementleri ile diğer bazı katıklar ergime bölgesinde tane yapısının incelenmesine yardımcı olur[7].

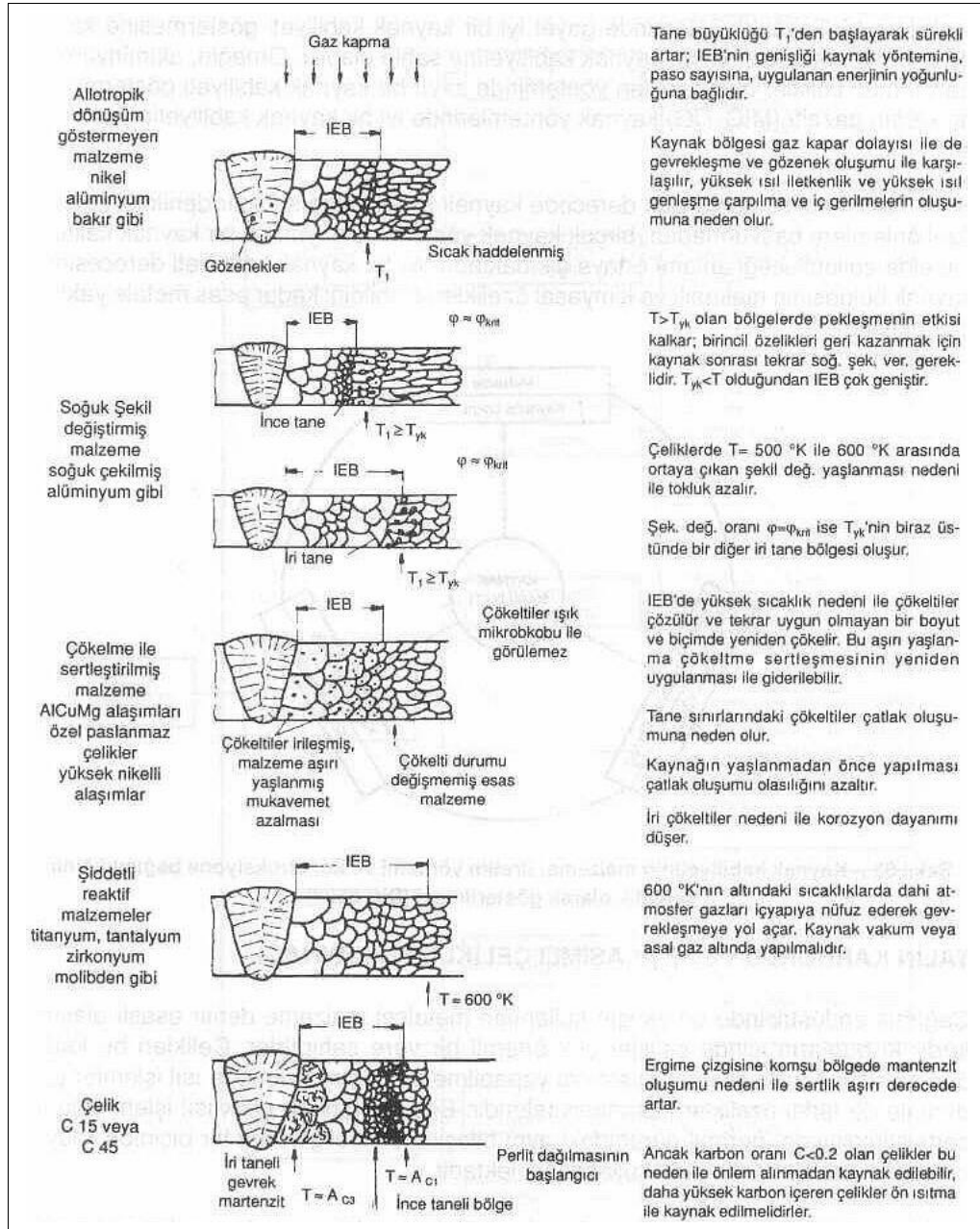
Özellikle kalın parçaların, tek pasolu ile yapılmış kaynak dikişlerinde, bu iri silindirik tanelerin birleştiği orta kısımlarda katışkı elementleri ve kalıntıların segregasyonuna rastlanır; bu olay, bağlantının zayıflamasına neden olur (Şekil 3.2) [7].



Şekil 3.2 Tek pasolu bir alın kaynak dikişinde segregasyon bölgesi[7]

Isıdan etkilenmiş bölge kaynak metali ile esas metalin birleştiği ergime çizgisi diye adlandırılan sınırdan başlayarak, kaynak işlemi anında sıcaklığın iç yapıyı, dolayısı ile metalin özelliklerini etkilediği bölge olarak tanımlanır.

Isıdan etkilenmiş bölgede ortaya çıkan iç yapısal değişiklikler, o bölgede erişilen azami sıcaklık derecesi ve etkime süresi bilinirse esas metalin türü, bileşimi ve üretim durumu gözününde bulundurularak önceden tahmin edilebilir ve buna bağlı olarak da bölgenin fiziksel ve kimyasal özellikleri saptanabilir. Çeşitli türlerdeki metal ve alaşımlarının kaynağında IEB' de karşılaşılabilecek iç yapılar Şekil 3.3' de verilmiştir.



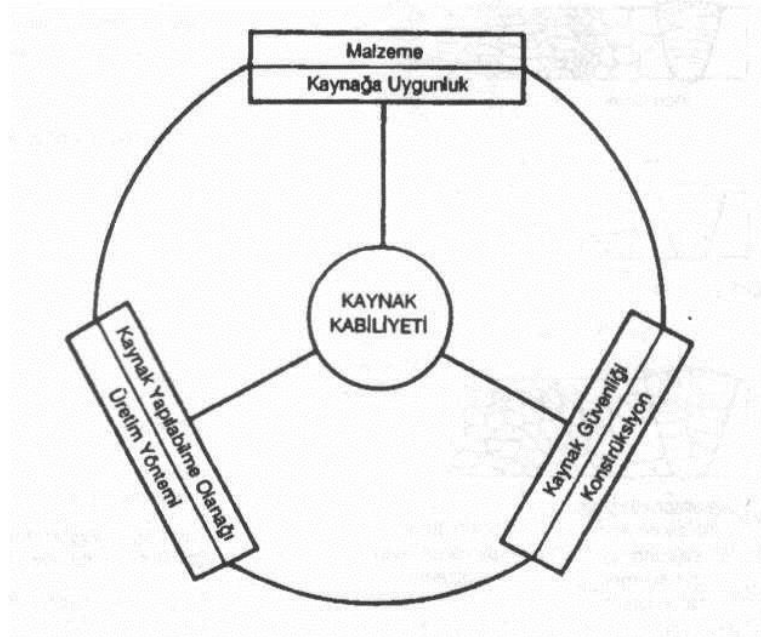
Şekil 3.3 Bazı metal ve alaşımların kaynağında IEB' deki iç yapılar[7]

Bir metelsel malzeme, ısıdan etkilenmiş bölgedeki özellikleri fazla miktarda tahribe uğramamış ise kaynağa uygun olarak kabul edilebilir. Bazı hallerde bu bölgenin özelliklerinin korunması bakımından, özel önlem ve yöntemlere gerek duyulabilir; işte bu gibi durumlarda malzemenin kaynak kabiliyeti özelliğinin incelenmesi gereklidir[1].

Kaynak kabiliyeti veya kaynaklanabilirlik kesin ve kantitatif olarak ifade edilemeyen, karmaşık bir anlamı olan özelliktir. Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün IX NO.'lu komisyonu kaynak kaynak kabiliyetini şu biçimde tanımlamaktadır:

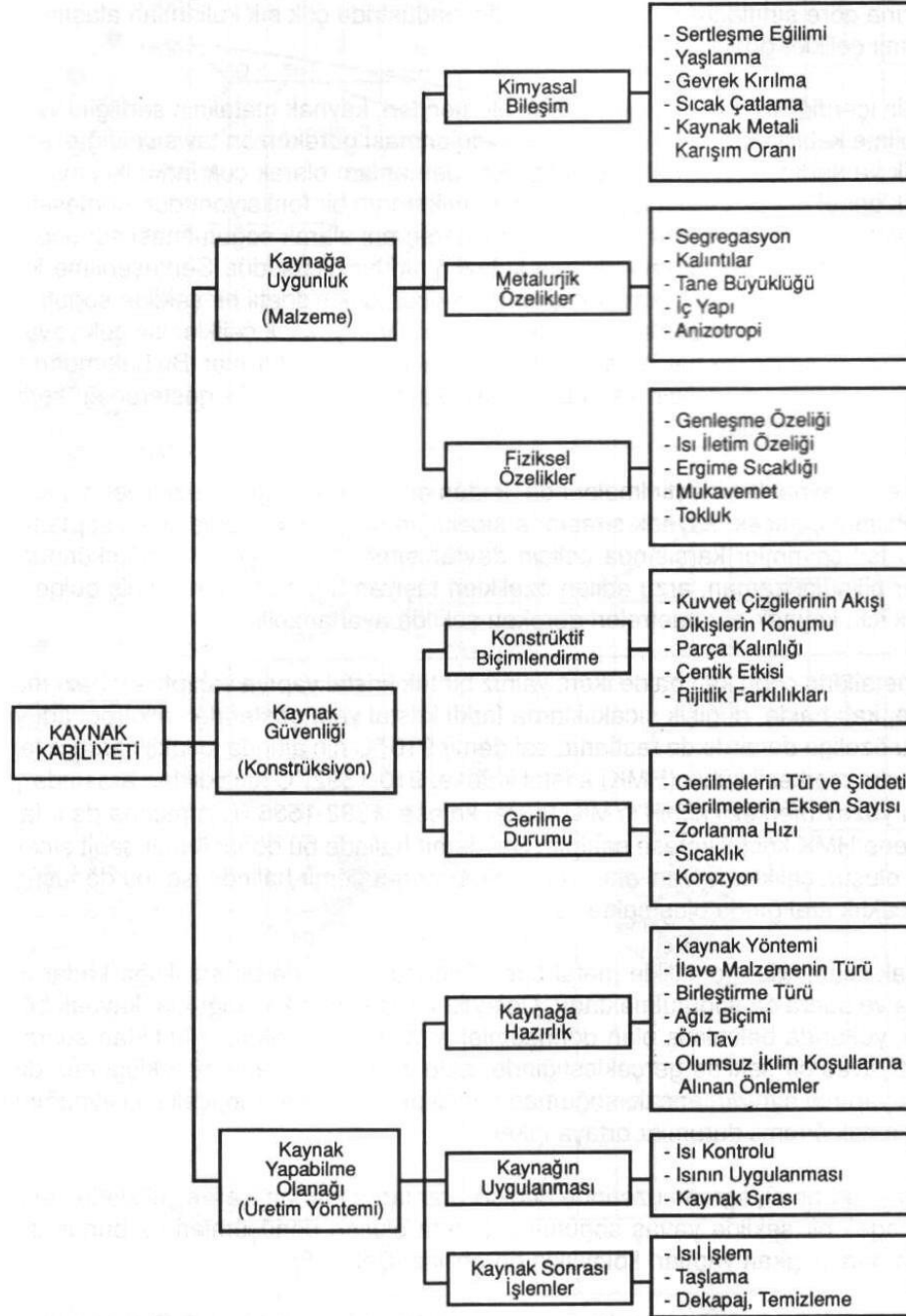
'Bir metelsel malzeme, verilen bir yöntem ile bir dereceye kadar kaynak edilebilir; uygun bir yöntem uygulanarak metalik bağlantı elde edildiği zaman bağlantı yerel özellikleri ve bunların konstrüksiyona etkisi bakımından, belirlenmiş bulunan özellikleri sağlamalıdır.'

Yukarıdaki açıklamadan da görüldüğü gibi kaynak kabiliyeti yalnız malzemeye ait bir özellik değildir, aynı zamanda kaynak yöntemine ve konstrüksiyona da bağlıdır (Şekil 3.4). Bir malzeme bir kaynak yönteminde gayet iyi bir kaynak kabiliyeti göstermesine karşın diğer bir yöntemde zayıf bir kaynak kabiliyetine sahip olabilir. Örneğin, alüminyum ve paslanmaz çelikler oksii-asetilen yönteminde zayıf bir kaynak kaynak kabiliyeti göstermelerine karşın gazaltı kaynak yöntemlerinde iyi bir kaynak kabiliyetine sahiptirler[1].



Şekil 3.4 Kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının şematik olarak gösterilmesi (DIN 8528) [1]

Bir metelsel malzeme yüksek derecede kaynak kabiliyetine sahiptir denildiği zaman, özel önlemlere başvurmadan, bir çok kaynak yöntemi ile doyurucu bir kaynak kalitesinin elde edilebileceği anlamı ortaya çıkmaktadır; iyi bir kaynak kabiliyeti derecesinde kaynak bölgesinin mekanik ve kimyasal özellikleri olabildiği kadar esas metale yaklaşmış olmalıdır (Şekil 3.5) [7].



Şekil 3.5 DIN 8528' e göre kaynak kabiliyetini etkileyen faktörler (şematik) [7]

3.2. Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

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

Ostenitik paslanmaz çeliklerin ısıl genleşme katsayısı karbon çeliklerinkinden %50 daha yüksektir ve çarpılmaları en aza indirmek için bu özelliğe dikkat edilmelidir. Ostenitik paslanmaz çeliklerin sahip olduğu düşük ısı ve elektrik iletkenliği kaynak açısından genellikle yararlıdır. Kaynak sırasında düşük ısı girdisi ile çalışılması önerilir. Çünkü oluşan ısı, bağlantı bölgesinden, karbon çeliklerinde olduğu kadar hızlı bir şekilde uzaklaşmaz. Malzemenin direnci yüksek olduğu için direnç kaynağında, düşük akım değerleri ile çalışılabilir[10].

3.2.1. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca etkili element karbondur. Karbon miktarı, ısıdan etkilenmiş bölgenin sertliği üzerinde etkilidir ve bu bir dereceye kadar kaynak yöntemi ile kontrol edilebilir. Isıdan etkilenmiş bölgenin sertliği artarsa soğuk çatlama hassasiyeti artar ve tokluk azalır. Bu bakımdan, az karbonlu martenzitik paslanmaz çelikler, bir takım önlemler alınarak kaynak edilebilirler, yüksek karbon içerenler ise olabildiğince kaynak edilmemelidirler[3].

Az karbonlu martenzitik paslanmaz çeliklerde, martenzit daha az serttir ve çatlama eğilimleri daha zayıftır. Normal olarak martenzitik paslanmaz çelikler kaynaktan önce, oluşan ısıl gerilmeleri azaltarak çatlama olasılığını azaltan bir ön tavlama tabi tutulurlar. Uygulanan ön tav sıcaklığı 200-400°C arasındadır. Kaynak bölgesinde daha tok bir yapı elde etmek ve kullanım esnasında çatlama olasılığını ortadan kaldırmak için kaynaktan hemen sonra, parça soğumadan bir gerilme azaltma tavlama uygulanır. En iyi süneklik ve tokluk parçanın 800-820°C arasında dört saat süreyle tavlansak çok yavaş bir biçimde soğutulması sonucunda elde edilir[3].

Karbon bileşimine bağlı olarak önerilen ön tav, kaynak ısı girdisi ve kaynak sonrası tavlama gereksinimi Tablo 3.1' de özetlenmiştir.

Tablo 3.1 Martenzitik paslanmaz çelikler için ön tav, kaynak ısı girdisi ve son tav gereksinimi[3]

Karbon %	Ön Tav Sıcaklığı* (°C)	Kaynak Isı Girdisi	Son tav
0,10' dan az 0,10-0,20	15(min.) 200-260	Normal Normal	Isıl işlem yapılabilir Yavaş soğuma; Isıl işlem yapılabilir.
0,20-0,50	260-320	Normal	Isıl işlem arzu edilir.
0,50' den fazla	260-320	Yüksek	Isıl işlem arzu edilir.

*ASME Kazan ve Basınçlı Kaplar Talimatnamesi, karbon bileşimine bakılmaksızın minimum öntav sıcaklığını 200 °C önermektedir.

3.2.2. Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

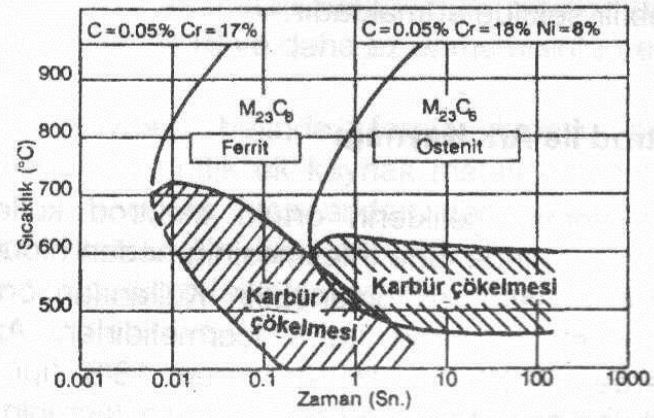
Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynak kabiliyeti martenzitik paslanmaz çeliklere nazaran çok daha iyidir. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler ark kaynağı, gazaltı kaynak yöntemleri, tozaltı kaynağı ve elektrik direnç kaynağının yanısıra modern kaynak yöntemleriyle de rahatlıkla kaynak edilebilmektedirler. Kaynak işleminde ortaya çıkan problemler, kaynak öncesi ile sonrasında alınacak önlemler ile ortadan kaldırılabılır[3].

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, su verme yolu ile sertleştirilemediklerinden, ısıdan etkilenmiş bölgede martenzit oluşumu tehlikesi meydana gelmez, bu bakımdan martenzitik paslanmaz çeliklere nazaran daha kolay kaynak edilirler.

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan önemli sorunlardan bir tanesi, bu tür çeliklerin 1150°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda tane irileşmesine aşırı eğilimleri olmasıdır. Kaynak sırasında, ısıdan etkilenmiş bölgenin bir kısmı 1150°C' nin üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısınır ve bu bölgede tane irileşmesi meydana gelir. Bu tür çeliklerde ostenit → ferrit dönüşümü olmadığından ısı işlem yardımı ile taneleri küçültme olanağı yoktur. Normal olarak ferritik kromlu paslanmaz çelikler, çok ince taneli ve sünek bir yapıya sahiptirler. İri taneli yapı haline geçince gevrekleşirler, çentik-darbe mukavemetleri düşer. Tane irileşmesini önlemek amacıyla bazı ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin bileşimine bir miktar azot ilave edilir. Örneğin, AISI 444 çeliği en çok 0.035N, AISI 446 çeliği en çok 0.25N içerir. Bu tür çelikler kaynağa daha uygundur[3].

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklere uygulanan kaynak yönteminde, ısıdan etkilenmiş bölge 1150°C' yi aşan sıcaklıklarda olabildiğince az kalmalıdır. Bu da kaynağın çok kısa pasolarla yapılması ve hemen soğutulması ile gerçekleştirilebilir.

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan bir diğer tehlike de, ısıdan etkilenmiş bölgede tanelerarası korozyona karşı aşırı hassasiyettir. Bu özellik stabilize edilmemiş, yüksek krom ve karbon içeren türlerde karşılaşılan önemli bir sorundur. Bu olay, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde oluşanın aksine, 900°C' nin üzerindeki sıcaklıklardan hızlı soğuma sırasında ortaya çıkmaktadır, çünkü ostenitik karışık kristalli bir yapıya karşın ferritik yapı içinde krom karbür çökmesi daha yüksek oranlardadır. Şekil 3.6' da karbon ve krom içerikleri verilmiş ferritik ve ostenitik paslanmaz çelikler için $M_{23}C_6$ karbürünün zaman-sıcaklık-çökme diyagramı karşılaştırmalı olarak görülmektedir. Ferritik kromlu paslanmaz çelikler kaynak edildiklerinde, dikişe komşu bölgede tanelerarası korozyona hassastırlar, zira krom karbürler önce çözülürler. Stabilize edilmiş %17 kromlu çeliklerden yapılan kaynaklı bağlantılar kaynaktan hemen sonra 750°C' de tavlama işlemine tabi tutularak tanelerarası korozyona karşı dirençli hale getirilebilirler. Eğer bu tür çelikler titanyum veya niyobyum ile stabilize edilmişler ise kaynaklı bağlantılar ısı işlem yapılmadan da tanelerarası korozyona karşı dirençli olacaklardır[3].



Şekil 3.6 %0.05 C ve %17 Cr içeren ferritik ve 18/8 krom-nikelli ostenitik paslanmaz çeliklerde zaman-sıcaklık-çökme diyagramları[3]

Ferritik paslanmaz çeliklerin kaynağında yapılacak bir ön tavlama, martenzitik paslanmaz çeliklerin kaynağından farklı metalurjik etkilere sahiptir. Bu tür çeliklerin kaynaklı bağlantıları yavaş soğutulduğu zaman tane irileşmesi ve tokluk azalması gösterirler. Bazı ferritik paslanmaz çelikler de tane sınırlarında martenzit oluşumuna eğilimlidirler. Bu çeliklere uygulanan ön tavlama ısıdan etkilenmiş bölgede çatlama

tehlikesini ortadan kaldırır ve kaynaktan sonra oluşacak gerilmeleri sınırlar. Ön tavlama sıcaklığı bileşime, istenilen mekanik özelliklere, kalınlığa ve artık gerilmelere bağlı olarak ayarlanır. Ön tav sıcaklığı normalde 150-250°C arasında uygulanır ve pasolararası sıcaklıklar da ön tav sıcaklığının biraz üzerinde tutulur[3].

Kaynaktan sonra 750-850°C' lik bir tavlamaı takiben hızlı bir soğutma, bu çeliklerde ısıdan etkilenmiş bölgenin süneklığının ve tanelerarası korozyona direncinin artmasına yardımcı olur.

Kaynak edilmiş bağlantıların soğuk şekillendirilmesi ve zorlanması 300-400°C' de bir tavlamaıdan sonra yapılmalıdır. Zira bu çeliklerin şekil değiştirme kabiliyeti bu sıcaklıkta büyük ölçüde artmaktadır.

3.2.3. Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri martenzitik kromlu ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Bu bakımdan, paslanmaz çelikler içinde çok yaygın olarak kullanılan bu türün kaynak edilmesi çok büyük bir önem taşır. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynak edilebilirliklerini etkileyen birkaç önemli faktör bulunmaktadır. Bu faktörler; delta ferrit fazının oluşumu, tanelerarası korozyona hassasiyet, gerilmeli korozyona hassasiyet ve sigma fazının oluşmasıdır[16].

3.2.3.1. Delta Ferrit Fazının Oluşumu

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin üretimlerinde, sıvı halden itibaren katılaşma başlayınca, yapıda ostenit ve delta ferrit taneleri oluşmaya başlar. Delta ferrit, ostenitin normal dönüşümü ile oluşan ferrit değildir, doğrudan doğruya katılaşma sırasında meydana gelen ferrittir. Katılaşma, normal olarak ingota dökülen bir sıvı metalin katılaşmasındaki gibi olduğunda, bu çeliklerin yapısında, ostenit taneleri arasına serpilmiş delta ferrit tanecikleri oluşur. Bu faz, krom ve ferriti dengeleyen elementler yönünden zengin, nikel ve osteniti dengeleyen elementler yönünden fakirdir. Sıcak şekil değiştirmeyi zorlaştıran ve malzemeıde çatlak oluşumunu teşvik eden delta ferrit fazının oluşumu çelik üreticilerinin istemediğı bir durumdur[16].

Delta ferrit fazının sürekli olarak tanecik sınırlarında bulunması çeliğin korozyon direncini azaltır. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda uzun süre delta ferrit fazıyla karşı karşıya kalınması sonucunda da malzemenin mukavemetini ve biçimlendirme

kabiliyetini azaltıcı yönde etkileyen sert ve gevrek sigma fazının oluşumu gibi sorunlar ile karşılaşılır. Yüksek krom içeren paslanmaz çeliklerde karşılaşılan sigma fazı, tetragonal bir kafes yapısına sahiptir. Silisyum ve molibden gibi ferrit yapıcı elementlerin varlığı, delta fazının oluşumunu hızlandırdığı gibi var olduğu sıcaklık aralığını da genişletir. Aslında sigma fazının demir-krom ikili alaşımlarındaki oluşum aralığı oldukça dardır. 800-600°C sıcaklık aralığında çok yavaş bir hızla oluşur. Delta ferrit fazının bulunması çeliğin uzama, büzülme ve çentik-darbe mukavemetini düşürür. Ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynak bölgesinde metallerarası bir bileşik olan sert (800-1000 HV) delta ferrit fazının bulunması kaynak edilebilirliklerini de olumsuz etkiler[3].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelik kaynak metallere ostenitin katılması sırasında ortaya çıkan delta ferrit fazının varlığı, kaynak metalinde sıcak çatlama riskini artırır. Bu açıdan delta ferrit kristallerinin oluşumunun katılma ile kontrol edilebilmesi, kaynak metalinin sıcak çatlama direncinin düzeltilmesinde bu fazın ölçülmesinin önemini ortaya çıkarır[3].

Kaynak metalinde delta ferritin kontrolü, kullanılan kaynak yöntemine göre, kullanılacak kaynak elektroduna ve hatta kaynağın uygulamasına bağlı olarak yapılabilir. Kaynak metalinin kimyasal bileşiminin yardımıyla delta ferritin kontrol altında tutulması üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Kaynak metallere kimyasal bileşiminde delta ferritin saptanması ile ilgili ilk çalışmalar 1949 yılında Anton SCHAEFFLER tarafından gerçekleştirilmiştir[3].

Schaeffler diyagramında, ferrit dengeleyici elementler $Cr_{eş}$ olarak yatay ekseninde, ostenit dengeleyici elementler ise $Ni_{eş}$ olarak düşey ekseninde yerleştirilmiştir. Schaeffler diyagramında yüksek azot içerikleri dikkate alınmamıştır. Bu açıdan sadece % 0.05-0.1 azot içerikleri için uygulanabilir. Ayrıca karbonun %0.03' lük minimum miktarı ve %0.3' lük silisyum miktarı da tamamen tahmini olarak ele alınmaktadır. Yüksek mangan içeren paslanmaz çelikleri için de bu diyagramın kullanılması pek uygun değildir[7].

Şekil 3.7' de görülen günümüzde kullanılan Schaeffler diyagramındaki bölgeleri şöyle açıklayabiliriz:

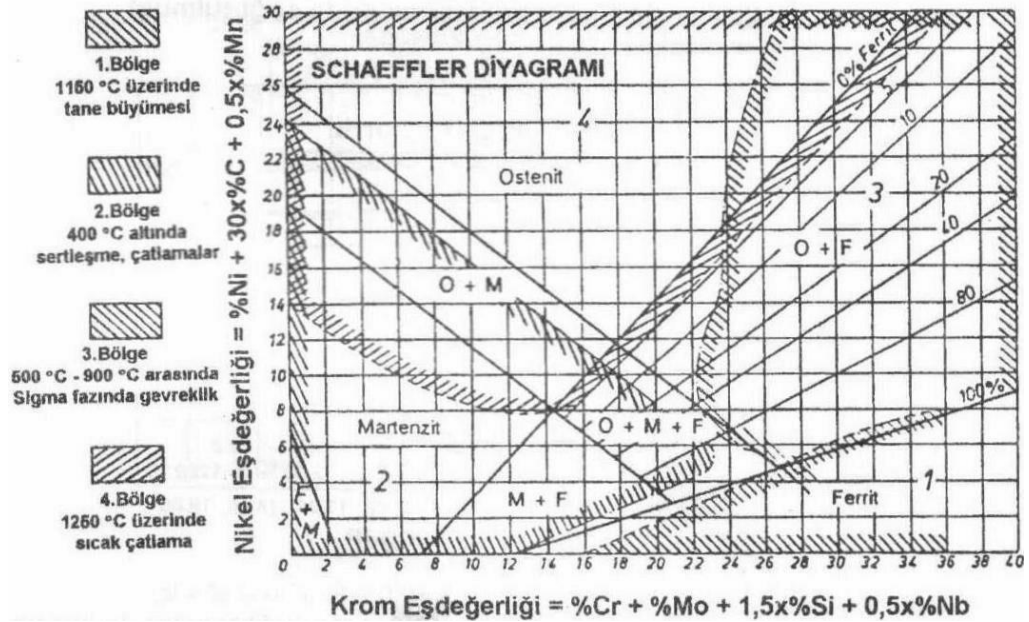
1.bölge (1150°C' nin üzerinde tane irileşmesi): Bu bölge az miktarda karbon içeren %17 kromlu paslanmaz çelikleri gösterir. Bu çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenmiş

bölgede tane irileşmesi sonunda gevrekleşme olur ve dikişin çentik-darbe mukavemeti düşer.

2.bölge (400°C' nin altında sertlik ile çatlama eğilimi): Bu bölgede, %0.3-0.5 karbon içeren çelikler, aşınmaya dayanıklı sert dolgu tabakaları, martenzitik yapıllı çeliklerde olduğu gibi sert, gevrek, kırılğan martenzit fazı oluşur.

3.bölge (900-500°C arasında sigma fazı gevrekliği): Sigma fazı özellikle krom miktarı yüksek çeliklerde meydana çıkar.

4.bölge (1250°C' nin üzerinde sıcak çatlama eğilimi): Tamamen ostenitik bir kaynak metalinin söz konusu olabileceği bölgedir. Bu bölgede sıcak çatlama eğilimi çok fazladır. Zira bazen ostenitik-martenzitik bir içyapı oluşabilir[7].

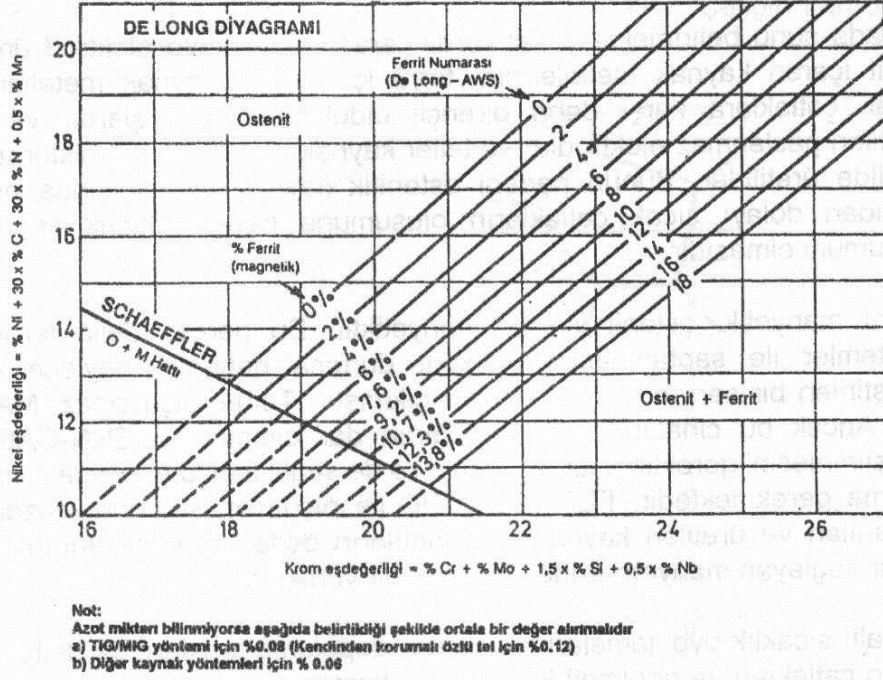


Şekil 3.7 Schaeffler diyagramı[7]

Schaeffler diyagramının orta kısmında %16' dan %24 krom eşdeğerine, %6' dan %18 nikel eşdeğerine kadar uzanan üçgen biçiminde küçük ostenitik ve ferritik içyapılı iyi kaynak kabiliyetine sahip bir bölge vardır. Schaeffler diyagramında delta ferrit % olarak ele alınmaktadır.

De Long 1959 yılında, kaynak metallerinin sıcak çatlama direncinin artırılması için delta ferrit miktarını ölçen yöntemleri çözümlyerek bir diyagram yayınlamıştır. De Long diyagramında (Şekil 3.8), Schaeffler diyagramında Ni_{eş} bağıntısında yer almayan azotun kuvvetli ostenit dengeleyici etkisi dikkate alınır. Zira ostenit

dengelemede karbon ve azot, nikelden 30 kat daha etkilidir. De Long diyagramında delta ferritin saptanmasında hata payı oldukça düşürülmüş ve delta ferrit içeriği %0-15 arasında optimum olarak gösterilmiştir[7].



Şekil 3.8 De Long diyagramı[7]

Metalografik ölçme yöntemleri ile delta ferrit miktarının saptanmasının zorluğu üzerine, manyetik ölçme aletleri geliştirilerek standart teknik ve ferrit sayılarının kullanılması amacıyla ferrit numarası (FN) kavramı ortaya çıkmıştır. 1973 yılında De Long diyagramı ferrit numarası gösterir biçimde modifiye edilmiştir. Ferrit yüzdesi yerine ferrit numarası kullanımı, ölçmenin standartize edildiğini işaret etmektedir.

Nikel ve krom eşdeğeri formüllerinin tarihsel gelişimi tablo 3.2' de verilmiştir[18].

Tablo 3.2 Krom ve nikel eşdeğeri formüllerinin tarihsel gelişimi[18]

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

3.2.3.2. Schaeffler Diyagramının Kullanımı

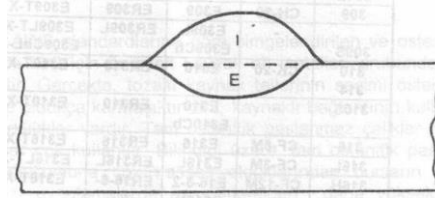
Kaynak metali yani ergimiş bölge, birleştirilen esas metaller ile elektrod malzemesinin karışımından oluşur. Bu karışım oranına η dersek,

E = Ergiyen esas metal miktarı

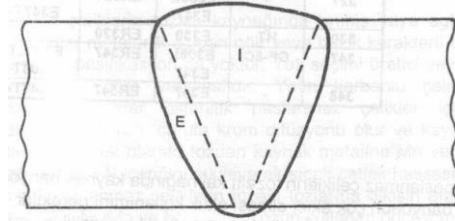
I = Ergiyerek kaynak metaline geçen elektrod miktarı

$$\eta = E/E+I$$

formülüyle ifade edilir. Şekil 3.9 ve şekil 3.10' da gösterilen E ve I alanları kaynak dikişinin makro yapısı üzerinde planimetre ile ölçülebilir.



Şekil 3.9 Bir pas ile yapılan dolgu kaynağında E ve I oranları[3]



Şekil 3.10 Bir V-alın birleştirmesinde E (E_1 ve E_2) ve I oranları[3]

Kaynak metalinin karışım oranları birçok faktörün etkisi altındadır. Bunların içerisinde başta kaynak yöntemi gelir. MIG kaynağında bu karışım oranı %20-30 arasındadır. Kaynak ağzı biçimi, akım yüklenmesi, elektroda veya torca salınım verilmesi, ark gerilimi kısacası kaynak ısı girdisi kaynak metalinin karışım oranlarını değiştirir.

Kaynak metalinin ferrit içeriğine yaklaşımın en hassas yöntemi manyetik olarak ölçmektir. Ancak, dikiş boyutları bu ölçümü sınırlandırabilir. Dolayısıyla Schaeffler veya De Long diyagramları yardımıyla dikişin delta ferrit içeriği önceden saptanmasına ve uygun elektrodun seçimine gidilir.

Schaeffler çalışmalarında esas metaldeki ve ergiyen ostenitik bölgedeki karışımı esas almıştır. Şekil 3.11' de Schaeffler diyagramında havada setleşebilen ferritik

çeliğe ait nokta martenzitik bölgede olup X ile belirtilmiştir. Çeliğin bileşimi aşağıdaki gibidir[18].

Karbon :%0.25-0.30

Manganez :%0.70

Silisyum :%0.30

Nikel :%2.50-3.50

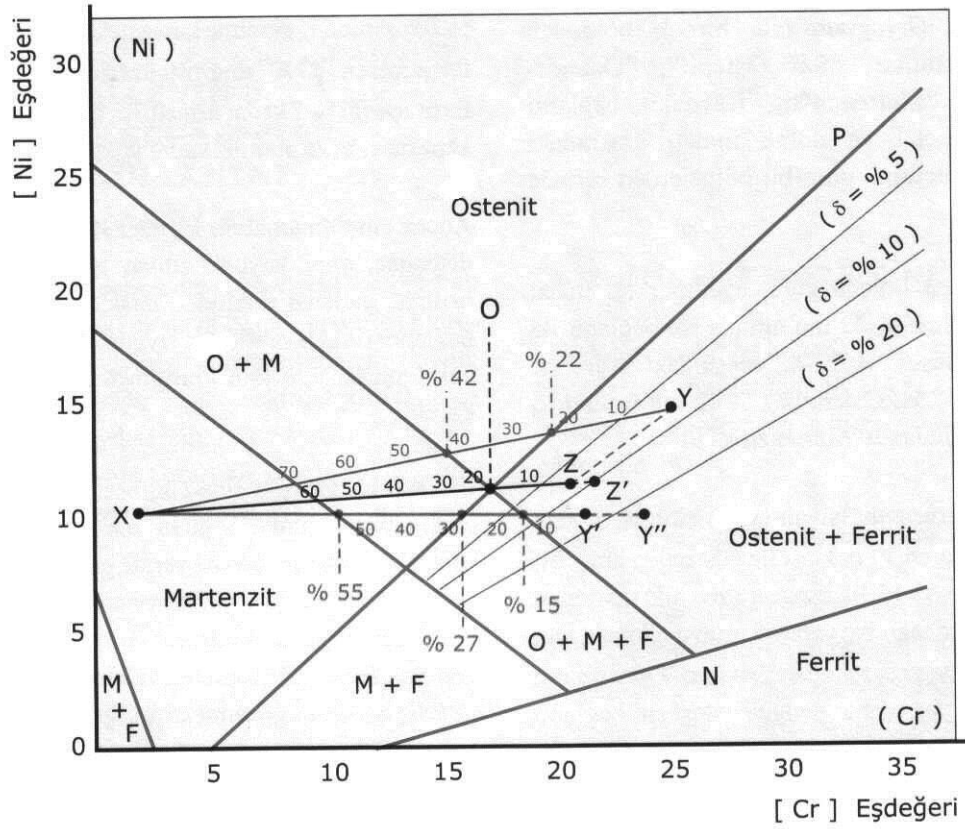
Krom :%1.0

Molibden :%0.20-0.30

Ferritik çeliğe ait X noktasının koordinatları, ostenitik çeliklerdeki krom ve nikel eşdeğerlerinin hesaplanmasında kullanılan formüllerle bulunur.

$$Ni_{eş} = \%Ni + 30\%C + \%0.5Mn = 10.8$$

$$Cr_{eş} = \%Cr + \%Mo + 1.5\%Si + 0.5\%Nb = 1.8$$



Şekil 3.11 Ferritik çeliklerin ostenitik elektrodlarla gerçekleştirilen heterojen bağlantı yapılarını gösteren Schaeffler diyagramı[18]

Kaynak işleminde iki fazlı ostenitik yapıda kaynak metali elde edebilmek için gereken şart; seçilen elektrodun $\gamma + \delta$ bölgesinde, örneğin Y ile belirtilen noktada bulunmasıdır. XY doğrusu birçok bölgeden geçmektedir. Kaynaklı bağlantı noktası, ana metal ve dolgu metali arasındaki karışımın derecesine göre bu bölgelerden birinde oluşabilir[18].

Şekil 3.11' de verilen örneğe göre, eğer her iki metal arasındaki karışım %22' nin altında ise bağlantı iki fazlı bölgede oluşur. %22-42 arasındaki karışım oranlarında yapı saf ostenitik, %42' nin üzerindeki karışım oranlarında ise martenzitiktir[18].

Eğer OX doğrusunun altında yer alan ve %15 ferrit içeren Y' noktası ile gösterilen türde bir elektrod seçilirse, %15' lik bir karışım bile martenzit çizgileri içeren üç fazlı bir yapının ortaya çıkması için yeterli olacaktır. Aynı karışım değeri için Y alaşımının ulaştığı ferritik faz daha dengeli olurken bağlantı bölgesinde kırılğan yapı oluşumu OX doğrusunun altında bulunan Y' alaşımı için daha kritik seviyededir[18].

Schaeffler diyagramından elde edilen bu kritik bilgiler, temsili noktaları OX doğrusunun üzerinde bulunan ostenitik elektrodların seçilmesi halinde daha sağlıklı sonuçların elde edileceğini göstermektedir. Zira, aynı ferrit miktarlarında bile bu elektrodlardaki, ostenit+ferrit fazının yapıda daha dengeli olması nedeniyle, karışım oranları oldukça yüksek seviyede tutulabilmektedir[18].

Y' alaşımı için, ferrit içeriğindeki %8' lik artışa karşılık gelen Y'' noktası, karışımın %10 kadar daha fazla olmasına olanak sağlar. Aynı sonuca ulaşmak için ise Y alaşımına ait ferrit oranının %2 artırılması yeterlidir. Ostenit içindeki ferrit oranı artışının, belirli seviyelerden sonra ostenitin şekil değiştirme kabiliyetini olumsuz yönde etkilediği düşünülürse, Y alaşımının sağladığı avantajlar daha da büyük önem kazanmaktadır[18].

%20 oranında karışım kapasitesine sahip olan ve %8 ferrit içeren OX doğrusu üzerindeki Z noktasına ait ferrit içeriği %2 kadar arttırılırsa (Z' noktası) karışım kapasitesi %25 oranına kadar yükselebilir[18].

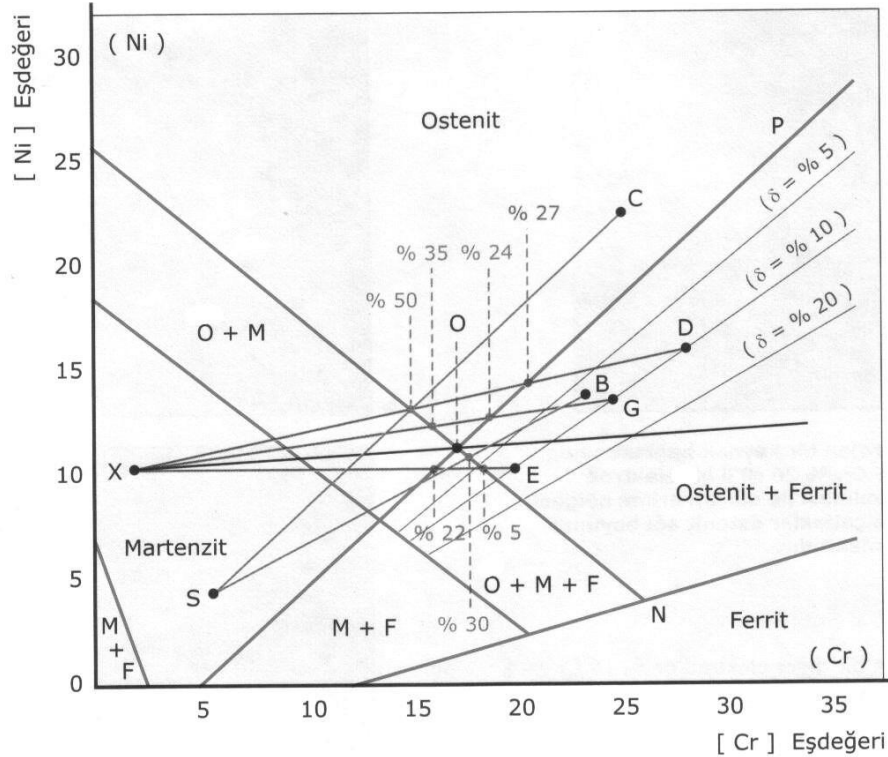
Ancak, X noktasının konumu değişirse, yani kaynak edilen esas malzeme değiştirilirse, çatlama riskinden uzak, sağlıklı bir kaynak bağlantısı sağlayabilecek uygun elektrodun yeniden seçilmesi gerekecektir. İki fazlı bir yapının elde edilmesi çoğu zaman yeterli olmayabilir. Çünkü yığılan metal bunların dışında başka kimyasal şartları da yerine getirmelidir. Örneğin; karbon oranı %0.10' in, silisyum konsantrasyonu da %0.6' nin altında olmalıdır[18].

Şekil 3.12' de %4-6 krom, %0.5 molibdenli çelik martenzitik bölgede yer alan S noktası ile gösterilmiştir. %20 Cr, %10 Ni ve %3 Mo' li ostenitik elektrod ise B noktasında bulunup kimyasal analizi gereği %7 ferrit içeren iki fazlı bir yapıya sahiptir[18].

Elektrod ise tamamen ostenitik yapıda olup C noktasında bulunur. SB doğrusu %30' luk bir karışımla O noktasının yakınından geçer ve çatlaksız bir kaynak bağlantısı elde edilebilir[18].

Eğer S noktasını ostenitik yapıdaki C noktası ile birleştirecek olursak %50' ye kadarki karışım oranlarında, bağlantı bölgesi, ergime bölgesinde olduğu gibi tamamen ostenitik alana rastlar. Bu yapı özellikle çatlamlara karşı duyarlıdır ve bu tür kaynaklı birleştirmelerde ergimiş bölgede mikro çatlaklara rastlanır[18].

Şekil 3.12' de X ile temsil edilen havada sertleşebilen çeliğin ostenitik elektrodlarla kaynak edilerek birleştirilmesini ele alacak olursak daha farklı karışım oranları ile karşılaşırız[18].



Şekil 3.12 %4-6 krom içeren ve orta derecede ısı dayanımına sahip çeliklerin heterojen birleştirme işlemlerini gösteren Schaeffler diyagramı[18]

%10 ferrit içeren, ostenitik yapıdaki bir elektrod D ile temsil edilmektedir. XD doğrusu OX doğrusunun üstünde olup %27' ye kadarki karışım oranlarında ostenit

ve bir miktar ferrit içeren bağlantı bölgeleri verir. Yapılan deneyler bu tür bir kaynaklı yapının çatlaklardan uzak olduğunu göstermiştir[18].

%10 ferrit içeren diğer bir elektrod da %18krom ve %8 nikelli olup E noktasıyla gösterilmiştir. $Ni_{eş} = 10.5$, $Cr_{eş} = 20.0$ olarak hesaplanır. Bu elektrod %5 karışımdan sonra bağlantı bölgesinde martenzit oluşumuna sebep olur[18].

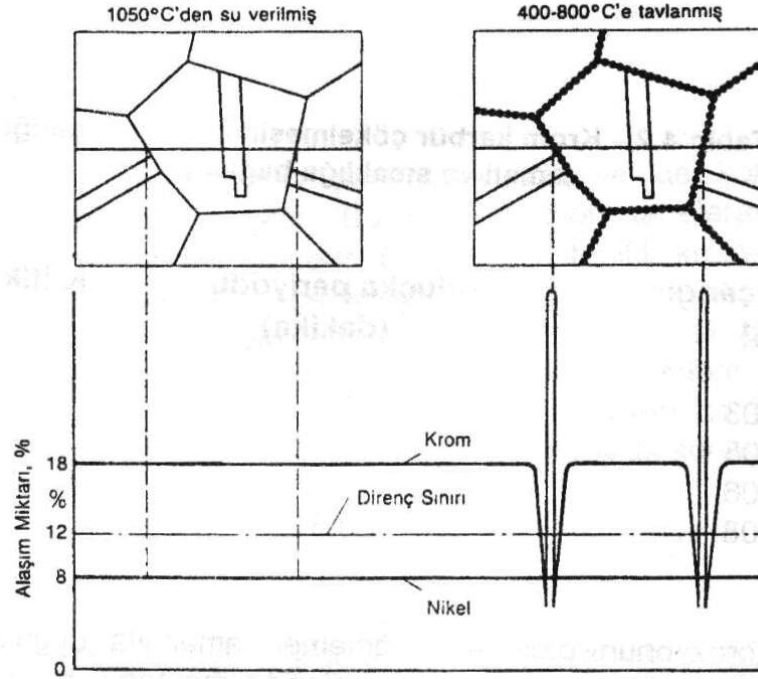
R,D tipi ve rijit açılı kaynak bağlantılarında, $Ni_{eş} = 13$, $Cr_{eş} = 24.4$ olan ve G ile gösterilen elektrod problemsiz kaynak dikişleri vermektedir. %10 kadar ferrit içermektedir. Kabul edilebilir karışım oranı ise %24' dür. Ancak bu alaşıma sahip bir elektrodun çalışmalarda istenilen sonucu veren tek çözüm olmadığı gerçeği gözardı edilmemelidir. Zira bu bölgede yeralan birçok ürün çatlaksız bağlantılar verebilmektedir[18].

3.2.3.3. Krom Karbür Çökmesi ve Tanelerarası Korozyon

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan diğer bir sorun da, özellikle 18/8 çeliği gibi bazı krom-nikelli çeliklerin 450-850°C sıcaklık aralığında uzun süre kalmalarında oluşan krom karbür çökmesi eğilimidir. Bu çelikler üretim sırasında, krom ve karbürün ostenit içerisinde çözündüğü 1100°C' den itibaren hızla soğutulurlar. Bu şekilde bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olur ve oda sıcaklığında karbonun difüzyon hızı çok düşük olduğundan, kullanım sırasında oluşma olanağı yoktur. Sıcaklığın 450°C' nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarıya çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı olan yüksek afinitesinden dolayı, bu bölgede krom ile birleşerek krom karbür $[(Fe,Cr)_{23}C_6]$ oluşturur. Oluşan krom karbürün ağırlık olarak %90' ını krom oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile ostenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır (Şekil 3.13). Bunun sonucu olarak malzeme korozyon ortamında bulunduğu, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon meydana gelir. Bu şekilde ortaya çıkan tanelerarası korozyon tüm malzemeyi çok kısa bir zamanda kullanılamaz hale getirir. Çeliğin karbon içeriği arttıkça bu olay şiddetlenir[7].

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı sırasında ergiyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşır ve hızla soğuduğundan ve kullanılan elektrodun karbon içeriği de düşük olduğundan kaynak dikişi için karbür çökme tehlikesi yoktur. Buna karşın ısıdan etkilenmiş bölge, kaynak süresi boyunca 500-900°C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da burası esas metal olduğundan, karbon

içeriğinin yüksek olması halinde ostenit tane sınırlarında tanelerarası korozyona neden olacak karbür çökmesi ortaya çıkmaktadır. Belli bir karbon içeriği için karbür çökmesi olayının şiddeti, sıcaklık ve zamana bağlıdır. Çözülme başlamadan önce sıcaklık ile değişen bir kuluçka periyodu vardır. Sıcaklık ve çeliğin karbon içeriğine göre en kısa sürede çökmenin başladığı sıcaklığa kritik sıcaklık adı verilir (Tablo 3.3)[7].



Şekil 3.13 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom miktarının azalması (şematik)[7]

Tablo 3.3 Krom karbür çökmesinin karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlılığı[7]

Karbon içeriği (%)	Kuluçka periyodu (dakika)	Kritik sıcaklık (°C)
0.03	11	650
0.05	7	650
0.06	2.5	670
0.08	0.3	750

Tek paso ile yapılan ark kaynağında ısıdan etkilenmiş bölge, 650-750°C sıcaklık aralığında bir dakikadan az bir süre kalır. Buna karşın, çok pasolu kaynak halinde, bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısıyla karbür çökme tehlikesi kendini gösterir. Karbür çökmesinin oluşabilmesi için, çeliğin karbon içeriğinin belli bir miktarın üzerinde olması gerekir. Tablo 3.3' de görüldüğü gibi karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzatacağından bu tehlike ortadan kalkacaktır. Bu

bakımdan, kaynakla birleştirilmesi gereken ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin, karbon içeriğinin en çok %0.06, optimum olarak %0.03 civarında olması gerekmektedir. Bu amaçla ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin özel olarak üretilen bazı türlerinde (X2CrNi1911, X2CrNiMo17132), karbon miktarı düşürülerek korozyon direncinin artırılması amaçlanmıştır. Bu türler ELC (Extra Low Carbon) çelikleri olarak adlandırılır[3].

Tanelerarası korozyonun oluşmasını önlemek amacıyla uygulanan bir başka yöntem de çeliğin stabilizasyonudur. Bu olay karbonun kroma karşı olan afinitesinden daha yüksek bir afiniteye sahip bir elementin çeliğin bileşimine katılması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde çeliğin bileşimindeki karbon ile bu yeni element karbür oluşturur ve içyapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması olayı meydana gelmez. Stabilizasyon için katılan elementler titanyum, niyobyum ve tantaldir. Bu element karbürler, tane sınırları boyunca değil, ostenit taneleri içerisinde, ince zerreler halinde dağılmış olduklarından, çeliğin mekanik özelliklerinde değişiklik meydana gelmez. Stabilizasyonun gerçekleşmesi için ilave edilen titanyumun, karbonun dört katı, niyobyumun, karbonun sekiz-on katı, tantalın ise karbonun onaltı katı olması gerekir[3].

Maliyet açısından titanyumun elektrotlarda arktaki fazla kaybından dolayı daha çok niyobyum tercih edilir. Stabilize edilmiş çelikler de, taneler arası korozyona karşı tam anlamı ile dayanıklıdır denilemez, zira niyobyum, titanyum ve tantal karbürler 1300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda çözülür ve karbon serbest kalarak krom karbür oluşturabilir.

Isıdan etkilenmiş bölge veya esas metalde krom karbür çökmesinin olduğu hallerde, eğer parçanın boyutları ve konstrüksiyonu uygunsa, parça 1100°C'ye kadar tavlansın su içinde aniden soğutulursa, yüksek sıcaklıkta ostenit içerisinde çözülmüş bulunan karbürler oluşamazlar. Ancak böyle bir ısıl işlemin uygulanması kolay olmayabilir. Bu yüzden krom karbür çökmesine eğilimli %0.03'den fazla karbon içeren ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynakçının kaynak sırasında alacağı en iyi önlem, dikişi çektikten hemen sonra ıslak bir bez veya üstübu ile hızla soğutması olacaktır[3].

3.2.3.4. Gerilmeli Korozyon

Bu korozyon türü, malzemenin korozif bir ortamda ve gerilme altında bulunması halinde ortaya çıkar. Bu tür korozyon taneler arası ve taneler içi kırılmalar biçiminde

kendini gösterir. Özellikle, ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynar haldeki klor içeren çözeltiler veya derişik hidroksitler içinde bulunması halinde oluşma riski yüksektir. Zira, kaynak artık gerilmeleri ve parçanın kullanılacağı kimyasal ortam çatlakların ilerlemesini teşvik eder. Özellikle, deniz suyu içindeki yapılarda, deniz atmosferinde bulunan tesislerde ortaya çıkmakta ve bağlantıların kırılarak tahrip olmalarına sebep olmaktadır[3].

3.2.3.5. Sigma Fazının Oluşumu

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerde görülmesinin yanı sıra, %9'dan daha az nikel içeren ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde de kaynak bölgesinde sigma fazının oluşması, bu tür çeliklerin de kaynak edilebilirliklerini olumsuz yönde etkiler. 550-900°C sıcaklık aralığında oluşan sert, gevrek metaller arası bileşik olan bu sigma fazının oluşabilmesi için ostenitik yapı içinde bir miktar ferrit bulunması gerekir. Soğuk şekil değiştirme ve niyobyum, molibden, silisyum gibi elementlerin bulunması sigma fazının oluşumunu teşvik eder. Sigma fazının bulunması çeliğin uzama, büzülme ve çentik-darbe mukavemetini düşürmektedir. Karbür çökmesini yok etmek için uygulanan ısı işlem sigma fazının da yok edilmesini sağlar. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelik homojenleştirme tavlamaına tabi tutulmuş ve yapısındaki ferrit miktarı %6.5'in altına düşürülmüş ise, kaynak bölgesinde oluşacak sigma fazı çentik-darbe mukavemetinin düşmesine neden olmaz. Burada ferrit miktarı az olduğundan sigma fazı, ostenitik yapı içerisinde ağ biçiminde değil, izole edilmiş odacıklar halinde bulunur. Bu şekilde oluşturulabilen sigma fazı, yapıya bir süreklilik kazandırmaktadır. Tavllanmış durumda %7-8'den daha az ferrit içeren kaynak bölgesi, sigma dönüşmesiyle biraz gevreklik kazanır, bu da uygulamada önemli bir özelliktir. Eğer yapıda sigma fazı oluşmuş ise, bu faz 950-1050°C sıcaklık aralığında belirli bir süre tavlama ve suda soğutma ile giderilebilir[3].

3.2.4. Çökme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Çökme sertleşmeli paslanmaz çeliklerden oluşturulacak kaynaklı bağlantılarda arzu edilen özellikleri sağlamak için seçilen uygun üretim yöntemi ve ısı işlemler çeliklerin kullanım yerine göre değişebilir. Kaynak sonrası, uygulanacak çözeltilere alma ve yaşlandırma ısı işlemleri ile maksimum mekanik özellikler ve korozyon direnci elde edilebilir. Çarpılmaların oluşabilirliği ve çatlama tehlikesi bazı durumlarda çözeltilere alma tavlamaının uygulanmasını sınırlar. Bu neden ile, bazen sadece kaynak sonrasında yaşlandırma işlemi gerekir[3].

Martenzitik çökme sertleşmeli türlerde ince kesitler normalize hallerinde ark kaynağı edilebilirler. Kalın kesitli parçalara veya yüksek oranda ön şekil değiştirme uygulanmış parçalara da yaşlandırılmış hallerinde kaynak uygulanabilir.

Yarı-ostenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin bir çoğu, çözeltili alma tavlama uygulanmış veya normalize hallerinde ark kaynağı ile birleştirilebilir.

Ostenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çelikleri ise, çok zor kaynak edilirler ve bazı türleri çatlama probleminden dolayı kaynak edilemez. Kaynak genellikle bu çeliklerde çözeltili alma tavlama yapılmış hallerinde uygulanır, ancak ısıdan etkilenmiş bölge sıcak çatlama karşı hassastır. Örneğin; 17-10 P ostenitik çökme sertleşmeli paslanmaz çelik çok sınırlı kaynak edilir. Bu çelik, 1180°C'nin üzerine ısıtıldığında tane sınırlarında fosforca zengin bileşiklerin oluşması sonucu sıcak çatlama oluşur. 17-10 P çeliği, ark kaynağı ile birleştirildiğinde ısıdan etkilenmiş bölgede dikışaltı çatlakları görülür[3].

Çökme sertleşmeli ostenitik paslanmaz çelikler çözeltili alma sıcaklığından itibaren hızla soğutulduktan ve hatta yüksek oranda soğuk deformasyona uğradıktan sonra bile ostenitik yapılarını korurlar. Bu çelikler sadece yaşlandırma ısı işleminden sonra sertleşebilirler. Bu işlem, 982-1121°C sıcaklıklar arasındaki çözeltili alma ısı işleminden sonra 704-732°C'ye doğru yağda veya suda hızlı soğutmayı ve daha sonra yine bu sıcaklık aralığında 24 saat süren bir yaşlandırma işlemini içerir. Bu tür çeliklere örnek olarak A286 ve 17-10 P gösterilebilir[3].

Çökme sertleşmeli martenzitik ve yarı ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında yüksek mukavemet şartı aranıyorsa, kaynak işleminde ana malzemeninkine benzer yapıda dolgu metalleri kullanılmalı ve parçalara kaynaktan önce ısı işlem ya da çözeltili alma ısı işlemi uygulanmış olmalıdır. Martenzitik ve yarı-ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında 17-4PH türü ana metaller benzer yapıdaki 630 türü dolgu malzemeleri sık kullanılmaktadır. Kaynaktan sonra çözme ve yaşlandırma ısı işlemi uygulanmalıdır. Eğer kaynaktan sonra çözme ısı işleminin uygulanması pratikte bazı zorlukları beraberinde getiriyorsa, parçalara kaynaktan önce çözme tavlama uygulanmalı, kaynaktan sonra ise bir yaşlandırma ısı işlemi yapılmalıdır. Yüksek zorlamaların etkisi altında bulunan kalın parçalar, bazı durumlarda aşırı yaşlandırma sıcaklıklarında kaynak edilirler. Bu durum, yüksek dayanım elde etmek için kaynak işleminden sonra eksiksiz bir ısı işlem uygulanmasını gerektirir[3].

Çökelme sertleşmeli ostenitik paslanmaz çelikler, sıcak çatlak oluşumu nedeniyle zor kaynak edilen paslanmaz çelikler grubuna girerler. Kaynak işlemi tercihen çözeltiyeye alma tavı uygulanmış olan parçalar üzerinde yapılmalı ve uygulama düşük gerilmeler altında ve mümkün olan en düşük ısı girdisi sağlanacak şekilde gerçekleştirilmelidir. Nikel esaslı NiCrFe tipindeki ya da konvansiyonel tipteki ostenitik paslanmaz çelik dolgu malzemeleri bu çeliklerin kaynağında sık olarak kullanılmaktadır[3].

3.5. Duplex Paslanmaz Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Duplex paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynak metalinde ferrit/ostenit dengesinin sağlanmasının oldukça büyük önemi vardır. Duplex ve süper-duplex kaynak metallerinin katılaşmasında başlangıçta hemen hemen ferritik yapı oluşur. İlerleyen soğuma ile ferritik tane sınırlarında ostenitik fazın çekirdeklenmesi başlar. Dolayısı ile, ostenit fazının oluşumu kaynak soğuma hızı ile sınırlanmaktadır. Azot ostenitin yeniden oluşmasında en etkin elementtir. Azotun diğer önemli bir rolü de ostenit ve ferrit fazları arasındaki farklılığı azaltarak metallerarası faz oluşum tehlikesini düşürmesidir. Azot özellikle ostenitik fazda korozyon direncini kuvvetli bir şekilde düzeltir. Duplex paslanmaz çeliklerin kaynağında ısıdan etkilenmiş bölgede de ferrit miktarının artması beklenmelidir. Bu açıdan, çok düşük ısı girdisi ve buna bağlı olarak da hızlı soğumalardan kaçınılmalı ve ısıdan etkilenmiş bölgede ostenit fazının oluşumuna izin verilmelidir. Tablo 3.4' de duplex paslanmaz çeliklere uygulanması önerilen en az ve en çok ısı girdisi ile pasolararası sıcaklıklar verilmektedir[6].

Tablo 3.4 Duplex ve super-duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı için önerilen ısı girdisi ve pasolararası sıcaklıklar[6]

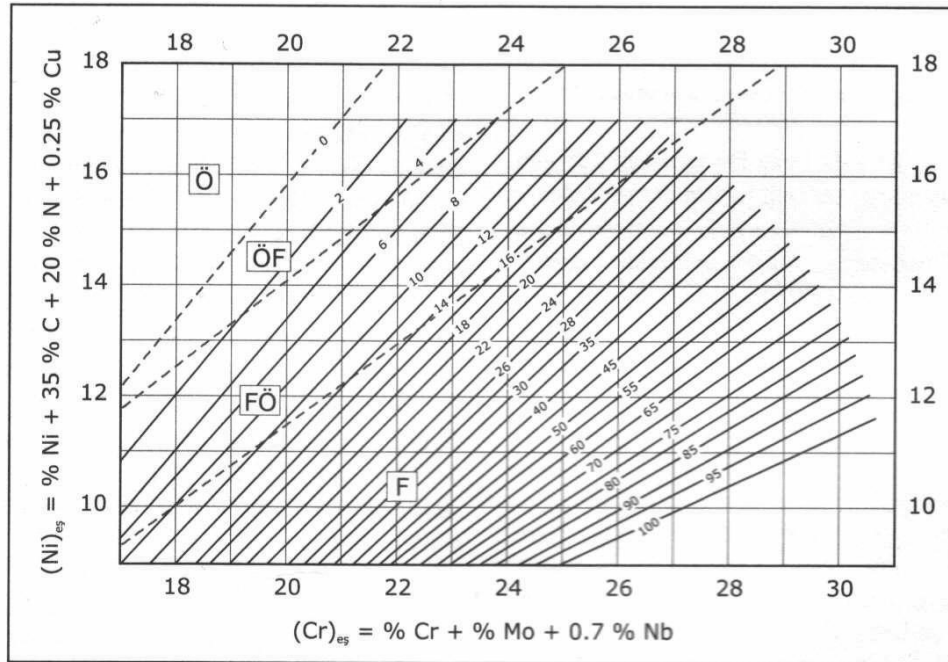
Tür	Önerilen Isı Girdisi* (kJ/mm)	Maksimum Pasolararası Sıcaklıklar (°C)
% 23 Cr Molibdensiz Duplex	0.5-2.5	150-200
% 22 Cr Standard Duplex	0.5-2.5	125-200
% 25 Cr (0- % 2.5 Cu) Duplex	0.2-1.5	100-150**
% 25 Cr Super-duplex	0.2-1.5	100-150**

* Isı girdisi malzeme kalınlığına göre seçilmelidir.
 ** Optimum kaynak özellikleri için maksimum 100 °C önerilir.

Soğuma hızı, ısı girdisi, pasolararası sıcaklıklar ve malzeme kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Özellikle çok yüksek alaşımlı duplex paslanmaz çeliklerde çok yavaş soğuma hızlarında metallerarası gevrek fazlar oluşur; bu oluşumlar kaynak metali ve ısıdan etkilenmiş bölgede hem tokluğun hem de korozyon direncinin düşmesine

neden olur. Çok yüksek soğuma hızlarında da ferrit miktarı, nitrür çökelmeleri ve bunun sonucunda da düşük tokluk ve düşük korozyon direnci ile karşılaşılır. Dolayısıyla duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı alaşım içeriklerine bağlı olarak kontrollü bir ısı girdisi ile gerçekleştirilmelidir.

Günümüzde duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı için geliştirilmiş örtülü elektrodlar, gazaltı kaynak telleri, tozaltı kaynak telleri ve tozları üretilmektedir. Kaynak metalinin metalurjik faz dönüşümlerinde, kullanılan örtülü elektrodun bileşimi, gaz ve tozun bileşimi, kaynak ısı girdisinin yanısıra etkili olmaktadır. Bu açıdan, kaynak metalinin mekanik özellikleri ve korozyon direnci, kullanılan ek kaynak malzemelerinin bileşiminin etkisi altındadır. Duplex paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynak metalinin ferrit içeriğinin kontrol altında tutulması önemlidir. Kaynakta elektrod seçimi, kaynak metalinde uygun ferrit içeriğini sağlayacak şekilde yapılması gerekir. Zaten, duplex paslanmaz çeliklerin son yıllardaki gelişimi ve bu grup çeliklerin artması sonucu AWS-WRC High Alloys Committee, Schaeffler ve De Long diyagramlarının yetersiz kaldığını ve yeni bir diyagrama gereksinim duyulduğunu görerek önce WRC-1988 daha sonra da WRC-1992 diyagramlarını geliştirmişlerdir. WRC-1988 diyagramı Schaeffler diyagramının bir bölümü ve De Long diyagramının birleşimi olarak görülmektedir. WRC-1992 diyagramında nikel eşdeğeri hesaplanmasına bakır ilave edilmiştir (Şekil 3.14) [3].



Şekil 3.14 WRC 1992 diyagramı[18]

4. PASLANMAZ ÇELİKLERİN MIG KAYNAĞI

Gelişmekte olan ülkemiz endüstrisinin paslanmaz çeliklere olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır. Özellikle, petro-kimya, kimya, gıda endüstrisinde kullanılan depolama tankları, basınçlı kaplar, kazanlar, ısı değiştirgeçleri, paslanmaz boruların üretiminde çok çeşitli türlerde paslanmaz çelikler kullanılmaktadır. Bu konstrüksiyonların oluşturulmasında da alışılmış veya modern kaynak yöntemleri kullanılır[4].

Bilinen ve uygulanan kaynak yöntemleri arasında kalın kesitli paslanmaz çelik saclar için en uygun yöntem MIG kaynak yöntemi olmaktadır. Zira, kaynaklı birleştirmelerde maliyetleri azaltmak, yapım süresini kısaltmak ve kaynakçı faktörünün dikiş kalitesinde olan etkisini azaltmak için yarı otomatik olarak uygulanan gazaltı kaynak yöntemlerinin başında MIG kaynak yöntemi gelmektedir.

Paslanmaz çeliklerin hemen hemen bütün türleri MIG yöntemi ile kolaylıkla kaynaklanabilirler. 303, 416, 416Se, 430 ve 430Se gibi yüksek miktarda kükürt ve selenyum içeren paslanmaz çelikler ile yüksek oranda karbon içeren 440 türü çeliğin kaynatılması oldukça zordur. Paslanmaz çelikleri diğer çeliklerden ayıran en önemli özellik krom içeriklerinin çok yüksek (%12) olmasıdır. Çeliğin yüzeyini kaplayan refrakter kromoksit tabakası çeliği korozyondan ve paslanmaktan korur. Ostenitik, ferritik ve martenzitik olarak üç ana grupta toplanan paslanmaz çeliklerin kaynağında ortaya çıkan metalurjik olaylar, çeliğin bileşimi ve soğuma hızı ile ilgili olduğundan, kaynak yönteminin türü bu konuda büyük bir etkide bulunmaz[4].

Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, diğer çeliklere nazaran malzemenin ısı iletkenliğinin düşük, ısıl genleşmenin fazla ve ergime sıcaklığının daha düşük olması nedeni ile yumuşak çeliklerden daha düşük akım şiddeti ile çalışılır. Paslanmaz çeliklerin kaynağında çeşitli ark türleri de kullanılabilir, özellikle son yıllarda distorsiyon ve çarpılmayı azalttığından darbeli akım yöntemi çok geniş çapta uygulanmaktadır[4].

4.1. MIG GAZALTI KAYNAK YÖNTEMİ

Ergiyen elektrotla gazaltı kaynağı fikri 1920'lerde ortaya atılmış, ilk olarak 1948 yılında A.B.D.'de alüminyum ve alaşımlarının kaynağında kullanılmıştır. Ergiyen metal elektrot ve soy gaz kullanılması sebebiyle yöntem MIG (Metal Inert Gas) kaynağı adı verilmiştir. Yöntemde daha sonra düşük akım yoğunluklarıyla ve darbeli akımla çalışma, daha değişik metallere uygulama ve koruyucu gaz olarak aktif gazların (CO₂) ve gaz karışımlarının kullanılması gibi gelişmeler meydana gelmiştir. CO₂ gibi aktif bir koruyucu gaz altında yapılan kaynak yöntemine de Metal Active Gas kelimelerinin baş harflerinden yararlanarak MAG yöntemi adı verilmiştir[1].

Kaynak edilen metalin türü, elektrotun kimyasal bileşimi ve kullanılacak koruyucu gazın türünün seçimini belirler. Koruyucu gazın türü, tel elektrotun bileşimi ve çapı, kaynak akımının şiddetini, gerilimini ve kaynak işlemi sırasında ark içinde ergimiş metalin elektrodta kaynak banyosuna taşınım türünü belirler. Endüstride kullanılan başlıca metal ve alaşımları her pozisyonda uygun elektrod ve koruyucu gaz seçimi ve kaynak parametrelerinin iyi ayarlanması koşulu ile MIG yöntemi ile kolaylıkla kaynak edilebilmektedir[1].

MIG yönteminin diğer ark kaynak yöntemlerine göre çok önemli üstünlükleri vardır. Bu üstünlükleri şöyle sıralayabiliriz.

- ◆ MIG yöntemi tüm metal ve alaşımlara aynı etkinlikle uygulanabilen tek kaynak yöntemidir.
- ◆ Kaynak her pozisyonda rahatlıkla gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca sadece az miktarda sıçrama oluşumu ve cüruf oluşmaması kaynak sonrası temizleme işlemlerini kolaylaştırmaktadır.
- ◆ Kaynak telinin kaynak bölgesine sürekli olarak sürülmesi, elektrot değişimi için duraklamaları ortadan kaldırmakta ve çok uzun kaynak dikişleri ara vermeden yapılabilir.
- ◆ Yarı otomatik çalışma sırasında kaynak operatörü yalnızca torç açlarına dikkat etmek ve ilerleme hızını ayarlamaktan sorumludur. Kaynak donanımının ayarı çok basittir ve tüm kontroller bizzat donanım tarafından gerçekleştirilmektedir. Operatörün özel ve uzun süren bir eğitimden geçmesi gerekmemektedir.

- ◆ Elektrot telinin otomatik olarak sistem tarafından kaynak bölgesine sürülmesi ve daha yüksek akım yoğunluklarında çalışılması gerek kaynak hızının yükselmesine gerekse de birim zamanda yığılan kaynak metali miktarının diğer yöntemlerden çok daha fazla olmasına imkan sağlamaktadır.
- ◆ Sprey ark ile metal taşınımı halinde daha derin dikiş nüfuziyeti elde edilmekte ve daha az kaynak metali harcanmakta, esas metal ile eş mukavemetli iç köşe kaynak bağlantıları elde edilmektedir.
- ◆ Örtülü elektrotlarda koçan kaybı, örtünün yanma ve sıçrama kaybı %45'i bulmaktadır. Başka bir deyişle 1 kg örtülü elektrot 0.56 kg kaynak metali vermekte buna karşın 1 kg tel elektrot ile 0.95 kg kaynak metali elde edilmektedir[5].

Bu üstünlüklerin yanı sıra MIG yönteminin uygulama alanlarını sınırlayan birtakım özellikleri de vardır, bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- ◆ Kaynak donanımı daha karışık bir yapıdadır, dolayısı ile daha pahalıdır ve daha etkin bir bakım gerektirir.
- ◆ Kaynak bölgesi torcun ucundaki gaz nozulundan çıkan koruyucu gaz tarafından korunmaktadır., bu gaz akımı ortamın rüzgarlı olması halinde gerekli korumayı yapamamakta ve bu da yöntemin şantiyelerde ve açık havada yapılan işlerde uygulanmasını kısıtlamaktadır.
- ◆ MIG yönteminde torç, diğer yöntemlere göre daha büyük ve daha az esneklik dolayısıyla dar ve zor erişilebilen yerlerin kaynağında zorluk göstermektedir[5].

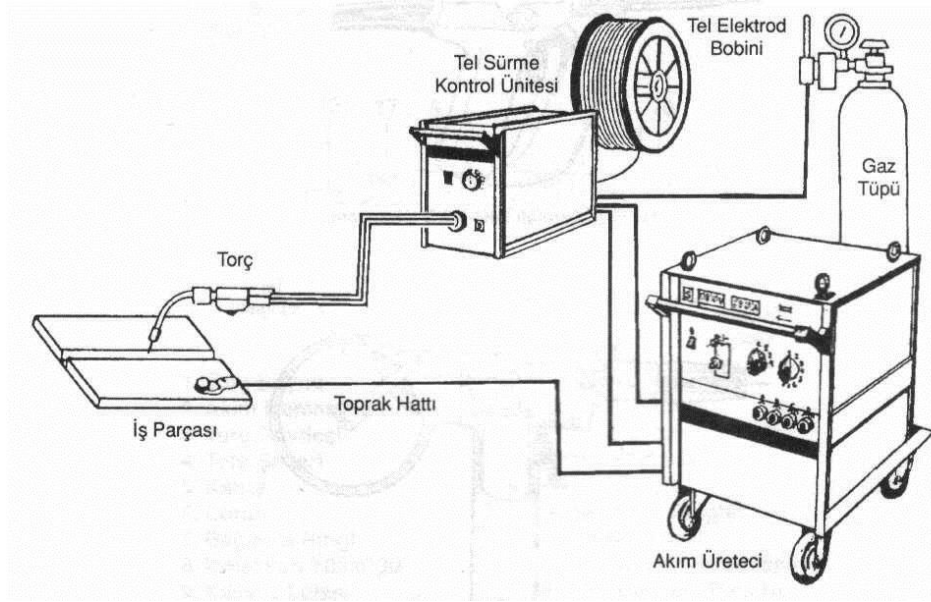
4.1.1. MIG Kaynak Donanımı

Her kaynak yönteminde olduğu gibi MIG kaynağı uygulayabilmek için özel bir kaynak donanımına gereksinim vardır. Şekil 4.1' de görülen MIG kaynak donanımı, örtülü elektrod ile yapılan ark kaynak donanımı ile karşılaştırıldığında bir parça daha karmaşık görünmesine karşın bir tozaltı kaynak donanımından daha basittir[1].

Bir MIG kaynak donanımı şu kısımlardan meydana gelir:

- ◆ Kaynak torcu
- ◆ Torc bağlantı paketi
- ◆ Tel (elektrod) sürme tertibatı
- ◆ Kumanda ve kontrol ünitesi

- ◆ Kaynak akım üretici
- ◆ Koruyucu gaz tedarik donanımı
- ◆ Sulu soğutma sistemi
- ◆ Mekanize ve otomatik kaynak için yardımcı donanımlar



Şekil 4.1 MIG kaynak donanımı[1]

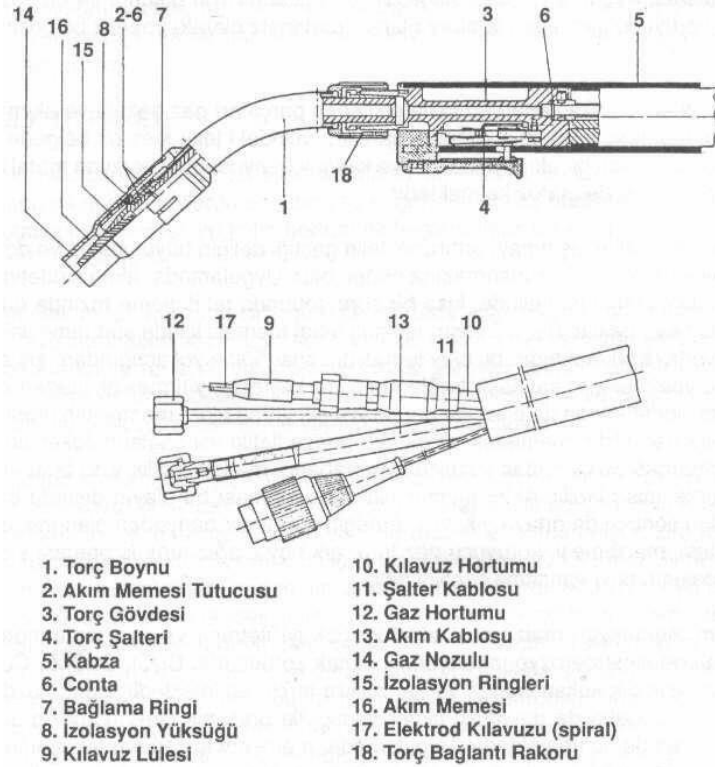
MIG kaynağında tel elektroda akımın yüklenmesi ve kaynak bölgesine iletilmesi, ark bölgesine koruyucu gazın gönderilmesi torcun görevidir (Şekil 4.2). Kullanılan akım şiddetine ve yöntemin otomatik veya yarı-otomatik olma haline göre çeşitli tür ve büyüklüklerde torclar bulunmaktadır. Ark sıcaklığından etkilenen torcun sürekli olarak soğutulması gereklidir; düşük akım şiddetlerinde, koruyucu gaz akımı gerekli soğumayı yapabilmektedir. Büyük çaplı elektrodlar, yani yüksek akım şiddetlerinde çalışılması halinde ise ($I > 250A$) sulu soğutma sistemi gerekmektedir[1].

MIG kaynağında tel elektrod sürekli olarak ilerlediği için tele elektrik iletimi kayar bir temas elemanı ile sağlanır. Tel torcu terketmeden biraz önce bakır esaslı bir akım memesi içinden geçerek kaynak akımı ile yüklenir; bu akım memesine konsantrik olarak, torcun ağız bölgesinde bir gaz lülesi (nozulu) bulunur ve bu nozul sayesinde, koruyucu gaz akımı laminer olarak kaynak bölgesine sevk edilir[1].

Kaynak işlemi sırasında nozul ve memeye yapışan, sıçrayan metal damlacıkları, koruyucu gazın laminer akımın bozarak kaynak bölgesinin iyi korunamamasına neden olur. Sıçramanın aşırı olduğu hallerde, yapışan metal damlacıkları akım memesi ile gaz nozulu arasında köprü oluşturarak, gaz nozulu ile iş parçası

arasında ikinci bir arkın oluşmasına neden olur. Böylece hem iş parçası hem de torç hasar görür. Bu bakımdan kaynak sırasında sıçramanın fazla olduğu durumlarda torç sık sık kontrol edilip temizlenmelidir[1].

Torç, kaynak makinasına içinde tel elektrod kılavuzunu, akım kablosunu, koruyucu gaz hortumunu ve gerekli hallerde soğutma suyu geliş ve dönüş hortumlarını bir arada tutan metal spiral takviyeli torç bağlantı paketi adı verilen kalın bir hortumla bağlanmıştır[1].



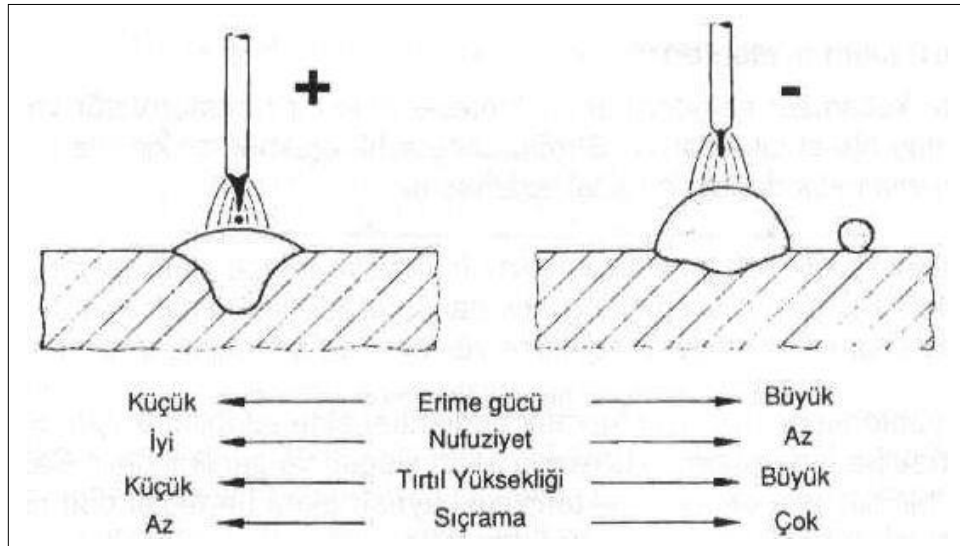
Şekil 4.2 Torç kesiti ve torç bağlantı paketi[1]

Tel sürme tertibatı, teli makaradan sağıp, ergiyen tel miktarını karşılayacak bir hızla ark bölgesine sevkeden bir mekanizmadır. Hız ayarı kademesiz bir mekanik tertibat veya gerilimi değiştirilerek hızı ayarlayan bir doğru akım motoru tarafından gerçekleştirilir[1].

Gerekli ayarlar yapıp makinanın ana şalteri kapatılarak çalışmaya hazır halde, kaynağa başlamak için yarı-otomatik MIG kaynak makinalarında torç üzerindeki düğmeye basmak yeterlidir. Bu anda, önce ayarlanmış debide koruyucu gaz akımı başlar, kısa bir süre sonra ark oluşur ve ark oluşuktan çok kısa bir süre sonra da tel sürme tertibatı devreye girer. Kaynağa son verilmesi halinde ise, bu sıralamanın tersi oluşur[1].

MIG kaynağında kullanılan akım üreteçlerinin VI (volt-amper) karakteristiği, düşey karakteristikli olabildiği gibi bunlardan çok farklı olan, yatay karakteristikli tipler çok daha yaygın biçimde kullanılmaktadır. MIG kaynağında düşey karakteristikli bir akım üreteci kullanıldığında ark boyunun değişmesi yani ark geriliminin değişmesi sonucu ark boyunu sabit tutabilmek için ark boyundan kumanda alan bir elektronik tertibat yardımıyla tel sürme tertibatının motor devri değiştirilir. Diğer bir deyişle bu tür bir akım üreteci kullanıldığında ark boyunun değişimi tel sürme motorunun hızının değiştirilmesiyle sabit tutulur. MIG yönteminde genelde ince tel elektrod kullanıldığından bu kumanda sistemi yavaş kalmakta ve iyi sonuç vermemektedir. Sabit gerilimli diye adlandırılan yatay karakteristikli akım üreteçlerinde ark boyunun az bir miktar değişmesine karşın akım şiddetinde yani ergime gücünde değişim çok daha şiddetlidir. Bu tür akım üreteçlerinde iç ayar diye adlandırılan ve hiçbir ek donanım gerektirmeden kendinden oluşan bir ark boyu ayarı vardır. Ark gerilimi ve tel ilerleme hızı ve buna bağlı olarak da akım şiddeti ayarlanır. Bu tür makinalarda tel ilerleme motoru, seçilmiş sabit bir devirde döner, tel hızı sabittir[1].

MIG kaynağında büyük çoğunlukla doğru akım ve yatay karakteristikli akım üreteçleri kullanılır. Doğru akım kullanılması halinde elektrod pozitif veya negatif kutba bağlanır. Çeliklerin kaynağında, çok daha derin nüfuziyet sağladığından genellikle pozitif (ters kutuplama) tercih edilir. Şekil 4.3' de kutuplamanın etkisi şematik olarak gösterilmiştir[1].



Şekil 4.3 MIG kaynağında kutuplamanın etkisi[1]

4.1.2. MIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

MIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar bölüm 5' te ayrıntılı olarak incelenecektir.

4.1.3. MIG Kaynağında Kullanılan Tel Elektrodlar

MIG kaynağında en önemli problemlerden bir tanesi de tel elektrodun seçimidir. Tel ve koruyucu gaz kombinasyonu sonucunda ortaya çıkan kaynak metalinin bileşim, gereken mekanik ve fiziksel özellikleri karşılamak zorundadır, bu bakımdan elektrod seçiminde aşağıdaki kriterler gözönüne alınmalıdır[3].

- ◆ Esas metalin mekanik özellikleri
- ◆ Esas metalin kimyasal bileşimi
- ◆ Koruyucu gazın türü
- ◆ Esas metalin kalınlığı ve geometrisi
- ◆ Çalışma ortamının koşulları

Elektrod seçiminde genellikle esas metalin çekme ve akma mukavemeti bazı durumlarda da tokluğu dikkate alınır. Esas metalin kimyasal bileşiminin bilinmesi, özellikle renk uyumunun, korozyon direncinin, sürünme direncinin, elektriksel ve ısı iletkenliğinin sözkonusu olduğu durumlarda gereklidir. Ayrıca çeliklerde ısıdan etkilenmiş bölgede, sertleşme oluşup oluşmayacağıının önceden bilinmesi bakımından da gereklidir. Kaynakla birleştirilecek parçaların, kalın kesitli veya karışık şekilli olmaları halinde, çatlamanın önlenmesi için en iyi sünekliği sağlayan kaynak metalini oluşturacak türde bir elektrod seçilmelidir[3].

Çeliklerin ergiyen elektrod ile gazaltı kaynağında (MIG/MAG) kullanılan dolu ve özlü tel elektrodlar ülkemizde TS, alman DIN ve amerikan AWS standartlarına göre sınıflandırılır. Paslanmaz çelik tel elektrodlar TS 11197, DIN 8556, AWS A5.22' de standartlaştırılmışlardır (Tablo 4.1-4.5) [3].

Tablo 4.1 TS 11197' ye göre paslanmaz tellerin kimyasal bileşimi[3]

SEMBOL (TIPLER)	Bileşim (%Kütle)										Diğer Elementler
	C	Si ¹⁾	Mn	P ²⁾	S ²⁾	Cr	Mo	Ni			
X8Cr14	≤ 0.10	1.0	≤ 1.5	0.030	0.025	12.0-15.0	-	-	-	-	-
X8CrNi131	0.10	1.0	≤ 1.5	0.030	0.025	11.5-14.5	≤ 1.0	0.5-2.0	-	-	-
X3CrNi134	0.04	1.0	≤ 1.5	0.030	0.025	12.0-15.0	≤ 1.0	3.0-5.0	-	-	-
X8CrTi18	0.10	1.0	≤ 1.5	0.030	0.025	16.0-19.0	-	-	-	-	Ti 0.3-0.7
X20CrMo171	0.25	1.0	≤ 1.5	0.030	0.025	15.5-18.5	0.5-1.5	≤ 1.0	-	-	-
X5CrNi199	0.06	1.5	≤ 2.0	0.030	0.025	18.5-21.0	-	9.0-11.0	-	-	-
X2CrNi199	0.025	1.5	≤ 2.0	0.030	0.025	18.5-21.0	-	9.0-11.0	-	-	-
X5CrNiNb199	0.07	1.5	≤ 2.0	0.030	0.025	18.5-21.0	-	8.5-10.5	-	-	Nb ⁴⁾
X5CrNiMo1911	0.06	1.5	≤ 2.0	0.030	0.025	18.5-21.0	2.5-3.0	10.0-13.0	-	-	-
X2CrNiMo1912	0.025	1.5	≤ 2.0	0.030	0.025	18.0-20.0	2.5-3.0	10.0-13.0	-	-	-
X5CrNiMoNb1912	0.07	1.5	≤ 2.0	0.030	0.025	18.5-21.0	2.5-3.0	10.0-13.0	-	-	Nb ⁴⁾
X2CrNiMo1815 ³⁾	0.025	1.5	2.5-5.0	0.030	0.025	17.0-19.0	2.5-3.5	13.0-16.0	-	-	-
X2CrNiMo1816 ³⁾	0.025	1.5	2.5-5.0	0.035	0.025	17.0-20.0	4.0-5.0	16.0-19.0	-	-	N
X2CrNiMoCu2025 ³⁾	0.025	1.5	2.5-5.0	0.030	0.025	19.0-22.0	4.0-6.0	24.0-27.0	-	-	Cu 1.0-2.0
X2CrNiMnMoN2016 ³⁾	0.025	1.5	5.0-9.0	0.035	0.025	19.0-22.0	2.5-3.5	15.0-18.0	-	-	N
X15CrNiMn188 ³⁾	0.20	1.5	5.0-8.0	0.035	0.025	17.0-20.0	-	7.0-10.0	-	-	-
X12CrNiMo1910	0.15	1.5	≤ 2.5	0.030	0.025	18.0-21.0	2.0-4.0	8.0-12.0	-	-	-
X2CrNi2412	0.025	1.5	≤ 2.5	0.030	0.025	22.0-25.0	-	11.0-15.0	-	-	-
X2CrNiNb2412	0.025	1.5	≤ 2.5	0.030	0.025	22.0-25.0	-	11.0-15.0	-	-	Nb ⁴⁾
X8CrNiMo2313	0.12	1.5	≤ 2.5	0.030	0.025	22.0-25.0	2.0-3.0	11.0-15.0	-	-	-
X10CrNi309	0.15	1.5	≤ 2.5	0.035	0.025	27.0-31.0	-	8.0-12.0	-	-	-
X8Cr30	0.10	2.0	≤ 2.0	0.035	0.025	28.5-31.5	-	≤ 20	-	-	-
X12CrNi254	0.15	2.0	≤ 2.0	0.030	0.025	24.5-27.5	-	4.0-6.0	-	-	-
X12CrNi2212	0.15	2.0	≤ 2.0	0.030	0.025	20.5-23.5	-	10.0-13.0	-	-	-
X12CrNi2520 ³⁾	0.15	2.0	2.0-5.0	0.030	0.025	24.0-27.0	-	19.0-22.0	-	-	-
X20NiCr3618 ³⁾	0.30	2.0	≤ 2.0	0.030	0.025	17.0-20.0	-	33.0-38.0	-	-	-

1)Si miktarı en az %0.5 olmalıdır.

2)P ve S miktarı toplamı %0.050' yi aşmamalıdır. Bu X2CrNiMo1815, X2CrNiMnMoN2016, X15CrNiMn188, X10CrNi309, X8Cr30 malzemeler için uygulanmaz.

3)Kaynak metali tamamıyla ostenitlidir.

4)Nb miktarı C miktarının en az on iki katı olmalı, fakat %1.1' den fazla olmamalıdır. %20' ye kadar Nb tantalyumla yer değiştirilebilir.

Tablo 4.2 DIN 8556' ya göre paslanmaz ve ısıya dayanıklı çelikler için kaynak telleri[3]

Simge	Malzeme No.	Kimyasal Bileşim ¹⁾							Diğerleri ²⁾
		C _≡	Cr	Mo	Ni	Nb ³⁾	Ti	Mn	
X 8 Cr 14	1.4009	0,10	13,5	—	—	—	—	—	
X 3 CrNi 13 4	1.4351	0,04	12,5	≤1,0	3,0	5,0	—	—	
X 8 CrTi 18	1.4502	0,10	16,5	—	—	—	—	Ti 0,4 - 0,7	
X 5 CrNi 19 9	1.4302	0,06	18,0	—	8,5	10,5	—	—	
X 2 CrNi 19 9	1.4316	0,025	18,0	—	9,0	11,0	—	—	
X 5 CrNiNb 19 9	1.4551	0,07	18,0	—	8,0	10,0	—	Nb ³⁾	
X 5 CrNiMo 19 11	1.4403	0,06	18,0	2,5	10,0	12,0	—	—	
X 2 CrNiMo 19 12	1.4430	0,025	17,0	2,5	10,0	13,0	—	—	
X 5 CrNiMoNb 19 12	1.4576	0,07	18,0	2,5	10,0	13,0	—	Nb ³⁾	
X 2 CrNiMo 18 15	1.4433	0,025	17,0	2,5	13,0	16,0	—	—	
X 5 CrNiMo 18 13	1.4447	0,06	17,0	4,0	12,5	15,5	—	—	
X 6 NiCrMoCuNb 20 18	1.4507	0,07	17,5	2,0	20,0	22,0	—	Cu 1,8 - 2,2 Nb ³⁾	
X 5 CrNiMoNb 25 25	1.4587	0,07	25,0	2,0	24,0	26,0	—	Nb ³⁾	
X 2 CrNi 24 12	1.4332	0,025	23,0	—	11,0	13,0	—	—	
X 2 CrNiNb 24 12	1.4556	0,025	23,0	—	11,0	13,0	—	Nb ³⁾ 0,6 - 0,9	
X 15 CrNiMn 18 8	1.4370	0,20	17,0	—	7,5	9,5	—	Mn 5,5 - 7,5	
X 8 Cr 30	1.4773	0,10	29,0	—	—	≤2,0	—	—	
X 12 CrNi 25 4	1.4820	0,15	25,0	—	4,0	6,0	—	—	
X 12 CrNi 22 12	1.4829	0,15	21,0	—	10,0	13,0	—	—	
X 12 CrNi 25 20	1.4842	0,15	24,0	—	19,0	22,0	—	—	
X 12 NiCr 36 18	1.4863	0,20	17,0	—	36,0	40,0	—	—	

1) Özel hallerde sapmalar ve gayri safiyetler anlaşmaya bağlıdır.

2) Gazaltı için Si > 0,5% , Tozaltı için Si < 0,5%

3) Nb içeriği en az C'un 12 katı olmalıdır; Nb %'sinin 20 katı Ta konabilir.

Tablo 4.3 AWS A5.9' a göre paslanmaz ve korozyona dayanıklı çelik tellerin kimyasal bileşimi[3]

Simge	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Nb + Ta	Si	P	S	Cu	Fe
ER308	.08	19.5-22.0	9.0-11.0	.50	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER308L ^a	.03	19.5-22.0	9.0-11.0	.50	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER308Mo ^b	.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER308MoL ^{ab}	.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER309	.12	23.0-25.0	12.0-14.0	.50	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER309L ^a	.03	23.0-25.0	12.0-14.0	.50	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER310	.08-.15	25.0-28.0	20.0-22.5	.50	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER312 ^c	.15	28.0-32.0	8.0-10.0	.50	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER16-8-2 ^c	.10	14.5-16.5	7.5-9.5	1.0-2.0	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
E16R316	.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER316L ^a	.03	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER317	.08	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER317L ^a	.03	18.5-20.5	13.0-15.0	3.0-4.0	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER318	.08	18.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	1.0-2.5	8 x C min 1.0	.30-.65	.03	.03	.50	
ER320	.07	19.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	1.0-2.5	8 x C min 1.0	.60	.04	.03	3.0-4.0	
ER321	.08	18.5-20.5	9.0-10.5	.5	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER330	.18-.25	15.0-17.0	34.0-37.0	5	1.0-2.5	—	.30-.65	.03	.03	.50	
ER347	.08	19.0-21.5	9.0-11.0	5	1.0-2.5	10 x C min 1.0	.30-.65	.03	.03	.50	
ER348	.08	19.0-21.5	9.0-11.0	5	1.0-2.5	10 x C min 1.0	.30-.65	.03	.03	.50	
ER349	.07-.13	19.0-21.5	8.0-9.5	.35-.65	1.0-2.5	1.0-1.4	.30-.65	.03	.03	.50	
ER410	.12	11.5-13.5	.60 ^e	.6	.60	—	.50	.03	.03	.50	
ER410NiMo ^d	.06	11.0-12.5	4.0-5.0	.4-7	60	—	.50	.03	.03	.50	
ER420	.25-.40	12.0-14.0	.60	.50	.60	—	.50	.03	.03	.50	
ER430	.10	15.5-17.0	.60	.50	.60	—	.50	.03	.03	.50	
ER26-1 ^a	.10	15.5-17.0	—	.50	.60	—	.50	.02	.02	.20	
ER502	.10	4.5-6.0	.60	.45-.65	.60	—	.50	.03	.03	.50	
ER505	.10	8.0-10.5	.50	8-1.2	.60	—	.50	.03	.03	.50	
ER630	.05	16.0-16.8	4.5-6.0	.75	.25-.75	.15-.30	.75	.04	.03	.50	
								.04	.03	3.25-4.0	

a L harfi, çok düşük karbon bileşimini ifade eder.

b Mo yazısı, molibden ile alaşımlandırılmış olduğunu belirtir.

c 16-8-2 gösterimi, % 16 Cr, % 8 Ni, % 2 Mo içeriğini ifade eder.

d Ni yazısı, Nikel ile alaşımlandırılmış olduğunu belirtir.

e 26-1 gösterimi % 26 Cr, % 1 Mo içeriğini ifade eder.

Tablo 4.4 AWS 5.22' ye göre paslanmaz çeliklerin kaynağı için özlü elektrodlar[3]

AWS	C	Cr	Ni	Mo	Nb+Ta	Mn	Si	P	S	Fe	Cu
E307T-X	0.13	18.0-20.5	9.0-10.5	0.5-1.5	-	3.3-4.75	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308T-X	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308LT-X	a	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308MoT-X	0.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308MoLT-X	a	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E309T-X	0.10	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E309CbLT-X	a	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	0.70-1.00	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E309LT-X	a	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E310T-X	0.20	25.0-28.0	20.0-22.5	0.5	-	1.0-2.5	1.0	0.03	0.03	Kaliteli	0.5
E312T-X	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E316T-X	0.08	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E316LT-X	a	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E317LT-X	a	18.0-21.0	12.0-14.0	3.0-4.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E347T-X	0.08	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	8xC min 1.0 max	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E409T-X ^b	0.10	10.5-13.0	0.60	0.5	-	0.80	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E410T-X	0.12	11.0-13.5	0.60	0.5	-	1.2	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E410NiMoT-X	0.06	11.0-12.5	4.0-5.0	0.40-0.70	-	1.0	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E410NiTiTi-X ^b	a	11.0-12.0	3.6-4.5	0.05	-	0.70	0.50	0.03	0.03	Kaliteli	0.5
E430T-X	0.10	15.0-18.0	0.60	0.5	-	1.2	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E502T-X	0.10	4.0-6.0	0.40	0.45-0.65	-	1.2	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E505T-X	0.10	8.0-10.5	0.40	0.85-1.20	-	1.2	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E307T-3	0.13	19.5-22.0	9.0-10.5	0.5-1.5	-	3.3-4.75	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308T-3	0.08	19.5-22.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308LT-3	0.03	19.5-22.0	9.0-11.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308MoT-3	0.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E308MoLT-3	0.03	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E309T-3	0.10	23.0-25.5	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E309LT-3	0.03	23.0-25.5	12.0-14.0	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E309CbLT-3	0.03	23.0-25.5	12.0-14.0	0.5	0.70-1.00	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E310T-3	0.20	25.0-28.0	20.0-22.5	0.5	-	1.0-2.5	1.0	0.03	0.03	Kaliteli	0.5
E312T-3	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.5	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E316T-3	0.08	18.0-20.5	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E316LT-3	0.03	18.0-20.5	11.0-14.0	2.0-3.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E317LT-3	0.03	18.5-21.0	13.0-15.0	3.0-4.0	-	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E347T-3	0.08	19.0-21.5	9.0-11.0	0.5	8xC min 1.0 max	0.5-2.5	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E409T-3 ^b	0.10	10.5-13.0	0.60	0.5	-	0.80	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E410T-3	0.12	11.0-13.5	0.60	0.5	-	1.0	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E410NiMoT-3	0.06	11.0-12.5	4.0-5.0	0.40-0.70	-	1.0	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5
E410NiTiTi-3 ^b	0.04	11.0-12.0	3.6-4.5	0.5	-	0.70	0.50	0.03	0.03	Kaliteli	0.5
E430T-3	0.10	15.0-18.0	0.60	0.5	-	1.0	1.0	0.04	0.03	Kaliteli	0.5

EXXXT-G Üretici ve tüketicisi arasındaki anlaşmaya bağlı

a. Karbon bileşeni X=1 ise max. %0.04, X=2 ise max. %0.03 olacaktır

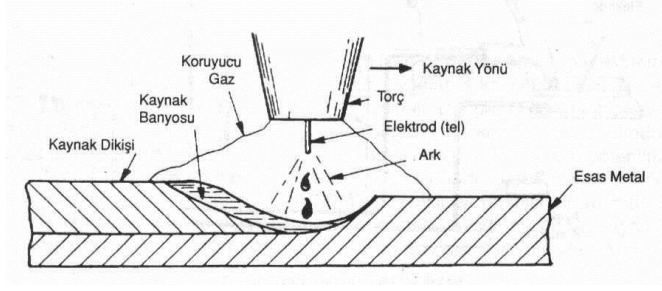
b. Titanyum

Tablo 4.5 TS 8047' ye göre paslanmaz çeliklerin kaynağı için özlü teller[3]

Koruyucu gaz	Sembol		Kimyevi Bileşim (% Kütle)								Diğerleri
			C En çok	Si En çok	Mn	P En çok	S En çok	Ni	Cr	Mn	
Karbondiyoksit en az %20 karbondiyoksit ihtiva eden argon karışım gazı, veya belirtilmeyen koruyucu gaz	X8Cr19Ni10	C	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	9.0	18.0	-	-
		G			2.50			11.0	21.0		
	X4Cr19Ni10	C	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	9.0	18.0	-	-
		G			2.50			12.0	21.0		
	X10Cr23Ni13	C	0.10	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	22.0	-	-
		G			2.50			14.0	25.0		
	X4Cr23Ni13	C	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	22.0	-	-
		G			2.50			14.0	25.0		
	X8Cr26Ni13	C	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	25.0	-	-
		G			2.50			14.0	28.0		
	X12Cr23Ni13Mo2	C	0.12	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	22.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	25.0	3.00	
	X4Cr23Ni13Mo2	C	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	22.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	25.0	3.00	
	X8Cr18Ni12Mo2	C	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	11.0	17.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	20.0	3.00	
	X4Cr18Ni12Mo2	C	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	11.0	17.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	20.0	3.00	
X4Cr18Ni13Mo2Cu2	C	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	11.0	17.0	2.00	Cu	
	G			2.50			16.0	20.0	2.75	1.00-2.50	
X4Cr19Ni14Mo3	C	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	18.0	3.00	-	
	G			2.50			16.0	21.0	4.00		
X8Cr19Ni10Nb	C	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	9.0	18.0	-	Nb	
	G			2.50			11.0	21.0		8xC-1.00	
X12Cr13NiMo	C	0.12	1.00	0.50	0.040	0.030	0.60	12.0	0.50	-	
	G			2.50			En çok	13.5	En çok		
X10Cr16NiMo	C	0.10	1.00	0.50	0.040	0.030	0.60	15.0	0.50	-	
	G			2.50			En çok	18.0	En çok		
Koruyucu gaz kullanılmadan (kendinden korumalı)	X8Cr21Ni10	S	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	9.0	19.5	-	-
		G			2.50			11.0	22.0		
	X4Cr21Ni10	S	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	9.0	19.5	-	-
		G			2.50			12.0	22.0		
	X10Cr24Ni13	S	0.10	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	23.0	-	-
		G			2.50			14.0	25.0		
	X4Cr24Ni13	S	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	23.0	-	-
		G			2.50			14.0	25.0		
	X8Cr27Ni13	S	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	25.5	-	-
		G			2.50			14.0	28.5		
	X12Cr23Ni13Mo2	S	0.12	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	22.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	25.0	3.00	
	X4Cr23Ni13Mo2	S	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	12.0	22.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	25.0	3.00	
	X8Cr19Ni12Mo2	S	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	11.0	18.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	20.5	3.00	
	X4Cr19Ni12Mo2	S	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	11.0	18.0	2.00	-
		G			2.50			14.0	20.5	3.00	
X4Cr19Ni13Mo2Cu2	S	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	11.0	18.0	1.20	Cu	
	G			2.50			16.0	20.5	2.75	1.00-2.50	
X4Cr20Ni14Mo3	S	0.04	1.00	0.50	0.040	0.030	13.0	18.0	3.00	Cu	
	G			2.50			15.0	21.0	4.00	1.00-2.50	
X8Cr20Ni10Nb	S	0.08	1.00	0.50	0.040	0.030	9.0	19.0	-	Nb	
	G			2.50			11.0	21.5		8xC-1.00	
X12Cr13NiMo	S	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	0.60	12.0	0.50	-	
	G			En çok			En çok	13.5	En çok		
X10Cr16NiMo	S	0.10	1.00	1.00	0.040	0.030	0.60	15.0	0.50	-	
	G			En çok			En çok	18.0	En çok		

4.1.4. MIG Kaynağında Ark Türleri ve Arkta Kaynak Metali Taşınımı

MIG kaynağında gerekli ısı enerjisi, iş parçası ve ergiyen tel elektrod arasında oluşturulan elektrik arki tarafından sağlanmaktadır (Şekil 4.4) [1].



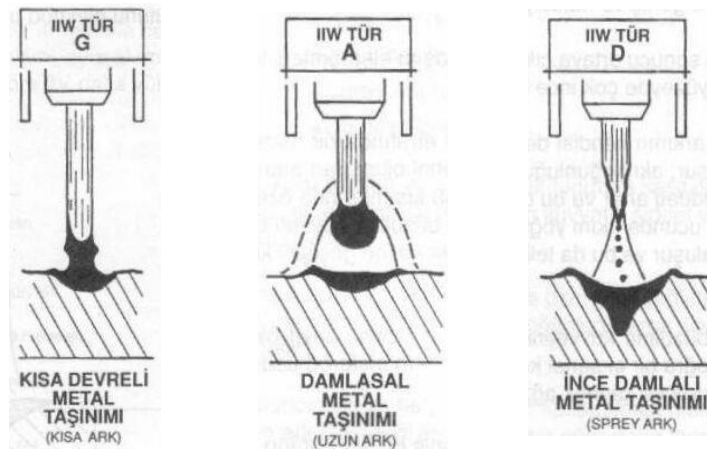
Şekil 4.4 MIG kaynağında ark bölgesi[1]

Kaynak arki içinde metal taşınım türüne etki eden faktörler:

- ◆ Kaynak akım şiddeti,
- ◆ Tel elektrod çapı,
- ◆ Elektrodun bileşimi,
- ◆ Serbest tel uzunluğu,
- ◆ Koruyucu gazın türüdür.

MIG kaynağında kaynak metalinin ark sütunu içinde damlacıklar halinde taşınımı uygulamada en yaygın 4 grupta toplanır (Şekil 4.5).

- ◆ Kısa ark
- ◆ Uzun ark
- ◆ Sprey ark
- ◆ Darbeli ark



Şekil 4.5 MIG yönteminde arkta metal taşınım türleri[1]

Koruyucu gaz tür ve bileşimi büyük çapta akım ileten ark sütununun kesitini ve dolayısıyla elektrodta ergime sonucu damlacıkları oluşturan kuvvetin şiddet ve doğrultusunu etkiler.

Kısa ark ince elektrodlar ile (0.6-1.2mm.) kısa ark boyu yani düşük ark gerilimi ve düşük akım şiddeti kullanılarak kaynak yapıldığında karşılaşılan bir ark türüdür. Burada ark oluşunca elektrodun uç kısmı hemen ergimeye başlar ve bir damlacık oluşur, damlacık banyoya doğru akarken elektrod ve iş parçası arasında kısa devre oluşur, ark gerilimi düşer, akım şiddeti yükselir, damla elektrodta kopar ve kısa devre ortadan kalkar ve aynı olay saniyede 20-200 kez tekrarlanır[3].

Burada, kaynak metali iş parçasına sadece kısa devre anında geçmekte ve ark tarafından taşınmamaktadır. Kısa ark boyu halinde düşük akım gerilimi, düşük akım şiddeti ile çalışılması ve metal taşınımının kısa devre sırasında gerçekleşmesi sonucu iş parçasına uygulanan ısı girdisi çok düşüktür; bu bakımdan ince parçaların kaynağı için çok uygun bir ark türüdür[3].

Damlasal metal taşınımında (uzun ark) elektrodun ucunda ergiyen kaynak metali damlalar halinde kaynak banyosuna geçer; elde edilen kaynak dikişinin nüfuziyeti çok azdır. Tel elektrodun uç kısmında damla oluşmaya başladığında, sıvı metal damla uçtan kopuncaya kadar geçen süre içinde titremeye ve sallanmaya başlar, bu da ark dengesini bozar. Bu olay nüfuziyetin azalmasına, dikiş dış profilinin bozulmasına ve sıçramaya neden olur. Damlaların taşınım frekansı akım şiddeti ve ark gerilimine bağlı olarak değişir ama buna rağmen damla taşınımı hızlı bir türde değildir[3].

İnce damlalı metal taşınımı (sprej ark) MIG kaynak yönteminde en etkin ve en çok kullanılan türdür. Kaynak metali iş parçasına birbirini takip eden ince damlacıklar halinde ve eksenel bir duşlama biçiminde taşınmaktadır. Sprej ark, genellikle argon veya argonca zengin koruyucu gazlarla yüksek akım şiddeti ile yüksek ark gerilimi uygulandığında ortaya çıkar[3].

Sprej ark yüksek akım şiddetlerinde olduğundan, özellikle kalın kesitli paslanmaz çeliklerin kaynağı için çok uygundur ve bu yöntemde sıçrama çok azdır. Yüksek ergime gücü nedeniyle banyo diğer ark türlerine nazaran daha geniş olur. Bu bakımdan, yatay ve oluk pozisyonlarda dolgu ve kapak pasolarının çekilmesi için uygundur; kök pasolar için ancak altlık kullanmak koşulu ile uygulanabilir.

Darbeli doğru akımda, akım şiddeti, saptanmış iki değer arasında seçilmiş frekansta değişmektedir. Bu yöntem ile istenilen her çalışma bölgesinde kısa devre oluşturmadan iş parçasına az bir ısı girdisi uygulanarak çalışma imkanı bulunmakta ve ayrıca frekansı ayarlanarak istenen sayıda ve irilikte ergimiş metal damlacıklarının iş parçasına geçişi sağlanmaktadır. Bu yöntemin tek sınırlaması kaynak üreticinin, tel sürme tertibatının ve donanım bakımının çok pahalı olmasıdır.

4.2. Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Ağız Hazırlığı

Genel olarak bu kaynak yönteminin kullanılması halinde, kaynak ağzını biçimlendirmede kaynaklı parçanın biçimi, paslanmaz çeliğin türü ile ilgili metalurjik konular ve bu konular ile ilgili gerekli standartlar dikkate alınır. Kaynak ağzı hazırlamada en önemli nokta gereken mukavemette en iyi kalitede kaynak dikişinin gerçekleştirilebilmesini en ekonomik yoldan yapmaktır[6].

Paslanmaz çeliklerin yüzeylerinde alev içinde ergimeyen bir refrakter oksit (Cr_2O_3) film tabakası olduğundan, bu çelikleri oksijen ile kesmek mümkün değildir. Dolayısıyla çeliği kesmek için mekanik kesme yöntemleri veya plazma arkı gibi ısı kesme yöntemleri uygulanabilir. Isıl kesmeler kaynak ağzlarında yapısal değişim oluşturacaklarından, kesilen kenarların özenle taşlanması gereklidir. Burada kullanılacak taşın başka metaller üzerinde özellikle galvanizli saclarda kullanılmamış olmasına çok dikkat edilmelidir. İnce saclar, genellikle 5mm.ye kadar olanlar mekanik kesme ile hazırlanır, daha kalın saclar çok yaygın olarak plazma arkı ile kesilerek hazırlanır[6].

Kaynaklı bağlantıda, kaynaklanan kesitin veya bir kısmının kaynak edilmesi, ağız biçimini, kök aralığını ve kök alını yüksekliğini etkiler. Kesitin sadece bir kısmının kaynak edilmesi durumunda, kök açıklığına gerek yoktur ve yüksek bir kök alını bırakılabilir. MIG kaynağında ince çaplı elektrod kullanıldığından ark daha yoğundur ve nüfuziyet daha derindir. Bu bakımdan daha yüksek bir kök alını veya daha dar bir kök aralığı kullanılabilir. Bu kullanım doğal olarak kısa ark türü için geçerli değildir[6].

Kaynak ağzı biçimini etkileyen faktörlerden bir tanesi de, kaynak pozisyonudur. Örneğin oluk pozisyonunda ağız açısının dar tutulabilmesine karşın dik pozisyonda daha geniş ağız açısına gerek vardır. Dik ve tavan pozisyonlarında akım şiddetinin alt sınırları kullanıldığından kök aralığı daha fazla ve kök alını yüksekliği de daha az olmak zorundadır. Ayrıca, korniş kaynaklarında asimetric V ağzı banyonun

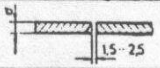
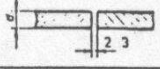
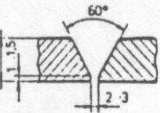
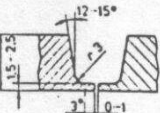

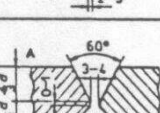
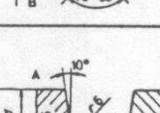
akmasına engel olduğundan simetrik V ağzına tercih edilir. Burada malzeme kalınlığı ve yapılacak paso sayıları da dikkate alınmalıdır[6].

Paslanmaz çeliklerin düşük ısı iletme katsayıları ve yüksek genleşme katsayıları da ağız hazırlamada malzemenin kalınlığına göre ağız biçimini ve paso sayısını etkiler. Örneğin, V-alın kaynak ağzı açılmış kök yüksekliği bırakılmış 5mm.lik AISI 304 paslanmaz çeliği 1.6mm. çaplı bir tel ile tek pasoda rahatlıkla kaynak edilebilir.

Tek taraftan yapılan kaynak dikişlerinde kökten akmayı önlemek ve nüfuziyeti kontrol etmek için altlık ve kök koruma gazı kullanılabilir.

Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında tablo 4.6' daki ağız biçimleri kullanılır[6].

Tablo 4.6 Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında önerilen ağız biçimleri[6]

No.	Malzeme Kalınlığı	Ağız türü	Ağız formu	Açıklamalar
1	≤ 2,5	I-Alın (Bir taraftan)		Bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir.
2	≤ 4	I - Alın (Çift taraftan)		Ters taraftan taşlanarak yeniden kaynak edilebilir. Bütün kaynak pozisyonlarında kullanılabilir.
3	≤ 16	V - Alın (Bir veya iki taraftan)		Genellikle ön işlem için bir taraftan kaynak edilmesi arzu edilir ve konstrüksiyonda kök paso taşlanarak yeniden doldurulabilir.
4	≥ 13	U - Alın (Bir taraftan)		Kök pasosu TIG ile tercihan ek kaynak metali kullanılarak yapılır. 3* ölçüsü ağzın radiusuna bağlıdır.
5	≥ 13	U - Alın (Bir veya iki taraftan)		Gerekli olduğu durumlarda kök paso taşlanarak temizlenir ve yeniden doldurulur.
6	≥ 10	Asimetrik X - Alın (*)		A kenar tarafından kaynağa başlama kuralı vardır. En az çarpılma için A'dan sonra B, B' den sonra A doldurma sırası izlenir.
7	≥ 25	Çift U - Alın		X - alın kaynağındaki kaynak işlemi aynen uygulanır. Gerekliyse kök taşlanarak yeniden kaynak edilir.

(*) Çarpılmaları önlemek için simetrik X - alın kaynak ağzı yerine asimetrik X - alın kaynak ağzı seçilir.

4.2.1. Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkı ile Kesilmesi

Her madde gaz fazında bulunduğunda türüne, özeliğine ve doğasına bağlı olarak değişen bir sıcaklığa kadar ısıtılınca, moleküllerindeki hareketlenme nedeni ile atomlar dış kabuk elektronlarını yitirerek pozitif yüklü iyonlar haline dönüşürler. Sıcaklık yükseldikçe, iyonlaşma derecesi yani iyonlaşmış atomların toplam sayıya yüzde oranı artar, sıcaklık birkaç onbin derece gibi maddeye bağlı olarak değişen bir eşik değerden sonra ortamda yalnız pozitif yüklü iyonlar ve negatif yüklü serbest elektronlardan oluşmuş bir karışım bulunur. Elektriksel açıdan nötr ve yüklü parçacıklardan oluşması nedeni ile iletken olan bu karışıma plazma adı verilir[8].

Evrende güneş, yıldızlar, kozmik ışınlar, yıldırım ve elektrik boşalmalarında görülen bu hal, özellikleri bakımından maddenin katı, sıvı ve gaz olarak bilinen üç halinin dışında kaldığından, maddenin sıcaklık ölçeğinde dördüncü hali olarak tanımlanır[8].

Fizikte partiküller, iyonlar ve elektronlardan oluşmuş, elektriği ileten, maddenin özel bir hali olarak tanımladığımız plazma, kaynak teknolojisinde daha özel bir hali tanımlamaktadır. Gaz halindeki bir madde radyasyon, elektron bombardımanı veya ısıtma ile iyonize hale getirilebilir[8].

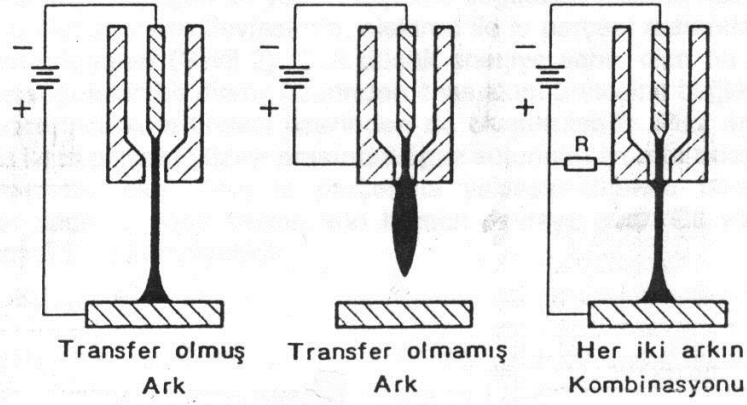
Kaynakta kullanılan plazmada gaz, elektrik arkı yardımı ile ısıtılarak iyonize olmaktadır. Bu tanıma göre, ark kaynağı yöntemlerinde elektrik arkı bir plazma oluşturmaktadır. Kaynak ve ısıl kesme işlemlerinde plazma olarak adlandırılan ark radyal doğrultuda sıkıştırılıp, büzülerek enerji yoğunluğu arttırılmış arktır[3].

Plazma arkının sıcaklığının çeliği, asbest çimentosunu, kristal korundumu ve karbokorundumu ergitmeye yetecek derecede yüksek olması uygulamada, çeşitli metallerin kaynak, püskürtme ile yüzey doldurma, kesme, kaynak ağzı açma, tavlama ve yüzey hazırlama işlemlerinde, özellikle refrakter metallerin ince saclarının kaynağında çok iyi sonuçlar vermektedir[8].

Standart bir plazma ark torcu, ucunda küçük bir deliği bulunan meme ile bu memenin merkezindeki ergimeyen tungsten bir elektrodta oluşmaktadır. Plazma gazı, bu iç içe geçmiş dairesel meme ile elektrod arasından geçerek dışarıya çıkar. Elektrod ile meme veya iş parçası arasında ark sütunu oluştuktan sonra, basınçlı plazma jetinin oluşturulması için iyonize olan gaz delikten dışarı püskürtülür. Ark sütununun dış yüzeyi soğutulduğundan sütun yoğunlaşmış olur, dolayısı ile içe doğru büzülür. Böylece, büzülmüş sütun içinde sıcaklık birden bire 10.000-30.000°K arasında bir sıcaklık derecesine yükselir. Dairesel alandan geçen gaz, yüksek bir

iyonlaşma düzeyine ve göreceli olarak yüksek bir enerjiye sahip olup bu enerji, kaynak ve diğer işlemlerde iş parçasının tavlınmasında kullanılır[8].

Uygulamada plazma arkı çeşitli yollarla oluşturulabilir (Şekil 4.6). Elektrik devresi tungsten elektrod ile iş parçası arasında tamamlanarak, ark akımı iş parçası üzerinden akar. Bu transfer olmuş ark veya direkt ark olarak adlandırılır. Elektrik devresi meme ve tungsten elektrod arasında tamamlanırsa, ark elektrodla su ile soğutulan bakır meme arasında yanarak, memeden bir gaz akımı ile zorlanarak sürülür. Transfer olmamış ark veya endirekt ark olarak adlandırılan bu düzenleme de iş parçası ark devresi içinde değildir. Her iki arkın kombinasyonunu kullanan bir diğer yöntem de vardır, bu da daha çok metal tozu püskürtmede kullanılır[8].



Şekil 4.6 Plazma arkı oluşturma yöntemleri[8]

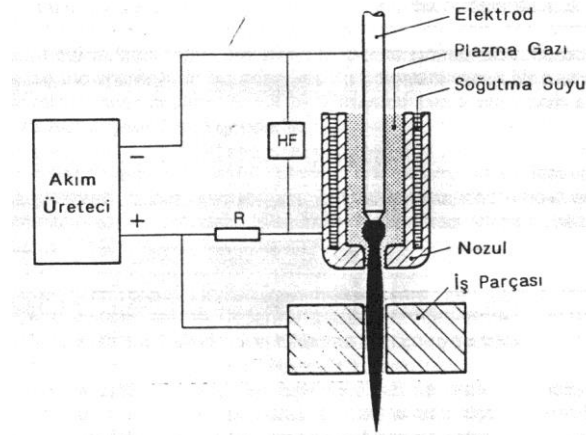
Plazma arkı memeden dışarı çıktığında, biraz daha küçük parlak bir nüveye sahiptir. Nüvenin çevresi, daha az parlak kılıfa sarılmıştır. Nüve uzunluğu, 2-3 mm.' den 40-50 mm.' ye kadar değişir. Bu değişim, meme ve tünelin boyutlarına, plazma oluşturan gazın bileşim ve debisine, akım şiddetine, ark uzunluğuna bağlıdır. İş parçası üzerindeki mekanik ve ısıl yükün dağılımı için uygun biçimlendirilmiş memeler kullanılarak, plazma arkı şekillendirilir[8].

Plazma arkı günümüz endüstrisinde özellikle oksijen ve tozaltı oksijen yöntemleri ile kesilemeyen seramikler, alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, paslanmaz çelikler ve refrakter metallerin kesilmesinde tercih edilmektedir[8].

Transfer olmamış plazma arkı, dielektrik (elektriği iletmeyen) ve ince sacların kesilmesinde kullanılır. Transfer olmuş plazma arkı ise, yalın karbonlu ve az alaşımlı çelik sac ve levhaların, alüminyum ve alaşımlarının ve özellikle paslanmaz çeliklerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılır[8].

Plazma arkı ile, metallerin su altında kesme işlemleri de yapılmaktadır. Özellikle çarpılmalar açısından önemli olan sacların kesilmesinde plazma arkı kullanılmaktadır. Özel uygulamalar için, örneğin derin sulardaki kesme işlemleri için, özel kesme torçları da geliştirilmiştir. Bunlar nükleer reaktörlerin su içinde kalan taşıyıcılarının tamir ve bakım işlemlerinde kullanılmaktadırlar. Araştırmalar ve denemeler sonucu, 370 m.' ye kadar derinliklerde plazma arkı ile kesmenin gerçekleştirilebildiği görülmüştür[8].

Plazma ile kesme işlemlerinde ark, negatif kutba bağlı ergimeyen elektrod ile pozitif kutba bağlı büzülmeyi sağlayan ve yoğun biçimde soğutulan plazma nozulu ile iş parçası arasında oluşur. Akım devresinde, elektrod ile iş parçası arasında yüksek frekanslı bir pilot ark yanar (Şekil 4.7). Çok düşük enerjiye sahip olan bu pilot ark etkin bir biçimde soğutulan bir direnç üzerinden esas akım üreticine bağlanabildiği gibi, ikinci bir yardımcı akım üretici üzerinden de oluşturulabilir. Pilot ark torcun içindeki elektrod ile iş parçası yüzeyi arasındaki gaz sütununu iyonize ederek arkın başlamasına yardımcı olur. Torç iş parçasına yaklaştırıldığında pilot ark iş parçasına değmez, esas kesme arkı hemen devreye girer. Bu yöntem ile arkın oluşturulması %100 emniyetlidir[8].



Şekil 4.7 Plazma arkı ile kesmenin prensip şeması[8]

Paslanmaz çeliklerin oksijen ile kesilememesinin başlıca nedeni içerdikleri kromun kesme sırasında oluşturduğu refrakter krom oksit tabakasının ergime sıcaklığının esas metalin ergime sıcaklığından yüksek olmasıdır. Normal koşullarda, bilindiği üzere paslanmaz çelikler yaklaşık olarak 1540°C' de ergimelerine karşın yüzeyde oluşan krom oksit tabakası yaklaşık 2100°C' de ergir. Dolayısı ile, paslanmaz çeliğin oksijen ile yakarak kesilmesinin olanağı yoktur. Bu açıdan, en ideal kesme yöntemi olarak plazma arkı ile kesme tercih edilir ve kullanılır[8].

Paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesinde elde edilen kesme kenarı ve kesme yüzeyi kalitesi oldukça tatmin edicidir. Özellikle ısıdan etkilenmiş bölgenin genişliği çok dardır. Örneğin, 25 mm. kalınlığındaki bir paslanmaz sacın plazma arkı kesilmesi sonucu ısıdan etkilenmiş bölge genişliği 0.07 ila 0.12 mm. arasında kalmaktadır[8].

Ostenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerin kesilmesinde hızlı soğuma sonucu kesmeyle oluşan ısıdan etkilenmiş bölgede krom karbür çökeltme tehlikesi de söz konusu olmamaktadır. Ayrıca, kesilen yüzeyin manyetik özellikleri de değişmemektedir[8].

Günümüzde plazma arkı ile kesme için farklı plazma ark sistemleri geliştirilmiştir. İlk geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan sistem gaz plazma ark sistemi olarak adlandırılır. Bu yöntemde en çok Ar+H₂ karışımı plazma gazı olarak kullanılır. Plazma gazı olarak sadece azotun kullanıldığı uygulamalarda olmasına karşın kesme sırasında oluşacak zararlı azot oksitlerin bulunması nedeni ile el ile kesme torçlarının kullanımında tercih edilmez. Bugün, gaz plazma ark yönteminde kullanılmak üzere geliştirilmiş ikincil gaz akışlı torçlar bulunmaktadır. Burada, ikinci bir gaz nozulu torça eklenmiştir ki buradan kesme bölgesini saran bir gaz (kesilen metalin türüne bağlı olarak seçilir), ikincil bir koruyucu gaz olarak hem soğutma hem de arkı konsantre etmek üzere gönderilir[8].

Havanın plazma gazı olarak kullanıldığı plazma ark sistemi, el ile kesmede çok kullanılır. Gaz fiyatının düşük olması en büyük avantajıdır. Ancak elektrod tüketiminin çok olması ve kaynak işleminde kullanılırsa oluşan gözenekler dezavantajıdır[8].

Oksijenin plazma gazı olarak kullanılmasında kesme kenarlarında gözenek tehlikesi yoktur ve yüksek kesme hızlarına çıkılabilir. Ağızlardaki açılma sapma minimumdur. Ancak kullanılan elektrodun tükenme hızı çok yüksektir[8].

Paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesi el ile yarı otomatik olarak gerçekleştirilebildiği gibi tam otomatik olarak ta özel olarak dizayn edilmiş CNC tezgahlar ile de yapılır. Ağızın bir tarafındaki açılma sapma 5°'ye kadar ulaşabilir. Paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesinde kullanılan parametreler tablo 4.7' de özetlenmiştir[8].

Paslanmaz çeliklerin kesilmesi için plazma gazı olarak Ar+O₂ karışımları ve nadir olarak da N₂+O₂ karışımları kullanılır. Havalı plazma olarak da adlandırılan plazma sistemleri de ucuz olması nedeni ile özellikle ülkemizde çok tercih edilir. Ancak, plazma arkı ile kesmede argon, hidrojen veya azot kullanıldığı durumlarda tungsten veya %2 toryum alaşımlı tungsten elektrodlar kullanılır. Oksijen veya hava kullanılıyorsa hafniyum ve zirkonyum içeren özel elektrodlar kullanılmalıdır. Zira, oksijen yüksek sıcaklıklarda tungsten elektroda çok zarar verir[8].

Günümüzde kaynak teknolojisinde kullanılan gazlar üzerine yapılan araştırmalar sonucunda karbonlu çeliklerin, alüminyum ve paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesinde argon+%35H₂ karışım gazının kullanımı ile azot veya Ar+%15H₂' ne nazaran daha yüksek kesme hızlarına ulaşıldığı saptanmıştır. Bu sonuçlar son yıllarda yapılan yoğun araştırmaların sonucu olarak belirtilmektedir. Özellikle sadece azot kullanımı halinde hız düşmektedir. Son yapılan endüstriyel araştırmalar paslanmaz çelikler halinde özellikle Argon+%25 veya %35H₂ karışımının kesme kalitesi ve kesme hızları açısından tercih edildiğini ortaya koymaktadır[8].

Tablo 4.7 Paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesinde çalışma koşulları[8]

Sac Kalınlığı (mm)	Kesme Hızı (mm/dak)	Nozul Çapı (mm)	Akım (A)	Güç (kW)
6	86	3.2	300	60
13	42	3.2	300	60
25	21	4.0	400	80
51	9	4.8	500	100
76	7	4.8	500	100
102	3	4.8	500	100

Plazma arkı ile oyuk açma veya rendeleme, plazma ile kesmenin değişik bir biçimidir. Rendeleme işlemi elle veya otomatik olarak yapılabilir. Oyma gücü daha az olduğundan, el ile yapılan kesmede işleme daha iyi hakim olabilmek için transfer olmamış arklı sistem kullanılır. Mekanize edilmiş oyuk açma donanımlarında, oyma veya rendeleme gücü yüksek olduğundan, iş parçasının meme ile teması ve çift ark oluşması tehlikesi dolayısı ile transfer olmuş arklı sistem tercih edilir[8].

Plazma arkı ile rendelemede; torç, parçaya 30-40° lik bir eğim ile tutulur. Torcun alt kenarı ile iş parçası arasındaki mesafe 3-5 mm.' dir. Ergimiş malzemenin, etkili bir şekilde oyuk ağzından uzaklaştırılması için, gaz hızının yükselmesini sağlamak üzere, gaz miktarının üst sınırı seçilir[8].

Rendelemede de plazma gazı olarak, kesmede olduğu gibi argon, hidrojen ve azot kullanılır. Alışılmış plazma kesme gazları, plazma rendeleme için de uygundur. Tüm rendeleme işlemleri için tavsiye edilen plazma gazı Ar+%35-40H₂' dir. Bazen helyum, argon+hidrojen karışımı yerine kullanılırsa da rendeleme derinliği fazla değildir. Hava kullanımı genellikle karbonlu çeliklerin rendelenmesinde sınırlı kalır[8].

4.3. Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı

Martenzitik paslanmaz çeliklerde ısıdan etkilenmiş bölgede ani soğumanın etkilerini yok etmek çok zor olduğundan kaynak kabiliyetleri çok zayıftır, çok gereksinim duyulmadıkça kaynak edilmelerinden kaçınılır ve MIG kaynağı uygulaması da çok nadirdir. Bu yüzden genellikle döküm yoluyla şekillendirilmeleri tercih edilir[1].

4.4. Ferritik Kromlu Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin içyapılarında ostenit oluşumu yok denecek kadar azdır ve soğuma esnasında ostenit-ferrit dönüşümü yoktur, dolayısıyla da su verme yoluyla sertleştirilemezler. Soğuma sırasında martenzit oluşumu tehlikesi de var olmadığından, kaynak kabiliyetleri martenzitik türe nazaran daha iyidir[1].

Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı normal şartlarda doğru akımda elektrod pozitif kutba bağlanarak gerçekleştirilir. Sprey ark kullanılması halinde Ar+%1 oksijen karışımı, kısa ark için ise He+Ar+%2 karbondioksit koruyucu gaz karışımı tavsiye edilir. Koruyucu gaz seçimi, metal damlasının geçişinin yanısıra esas metale de bağlıdır[1].

Kısa ark ile çalışma, düşük ark gerilimi, düşük kaynak akımı ve küçük çaplı elektrod kullanılmasını gerektirdiğinden ince kesitlerin kaynağı için çok uygundur. Kısa ark uygulamasının bir avantajı da ısıdan etkilenen bölgeye düşük ısı girdisi verilerek tane irileşmesinin önlenmesidir. Ancak düşük ısı girdisi yetersiz ergimeye neden olabilir ve sonuç olarak kısa ark kritik olmayan durumlarda sınırlı kullanılmalıdır. Bu tür ark ferritik kromlu paslanmaz çelikler için ostenitik elektrod kullanıldığında da avantajlıdır, zira düşük ısı girdisiyle %10 ve daha düşük ergime oranları elde edilir.

Sprey ark, genellikle büyük çaplı teller ve kısa arkta daha yüksek gerilim ve kaynak akımları gerektirir. Kısa arka nazaran nüfuziyet azlığı ve yetersiz ergimeye karşı daha emin sonuçlar verir. Ancak, yöntem dikey ve yatay pozisyonlar için uygundur.

Darbeli ark ise tüm kaynak pozisyonlarında ve büyük çaplı teller ile kullanılabilir ve kaynak banyosu daha iyi kontrol edilir. Dolgu oranının spray arka nazaran daha az olmasına karşılık toplam ısı girdisi daha düşük olacağından tane irileşmesi en aza indirilmiş olur[1].

4.5. Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı

Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında, yeterli koruyucu gaz atmosferi altında ilave metalin arkta taşınımı sırasında alaşım elementlerinin kaybı çok azdır. Titanyum gibi reaktif elementler de ark içinde çok az kayba uğrayarak kaynak banyosuna geçer. Bu bakımdan titanyum ile stabilize edilmiş ostenitik ilave metalleri de kullanılabilir. Argon gazı koruması altında % 95' in üzerinde bir geçiş verimi sağlanır. Bu tür çeliklerin MIG kaynağında kullanılan standart tel çapları malzeme kalınlığına ve ark türüne göre 0.6-3.0 mm. arasında değişir[13].

Doğru akımda, elektrod pozitif kutupta ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında arkta metal taşınımı spray ark ile gerçekleştirilebilir. Bu da 26-33V arasında bir ark geriliminde uygun bir akım yoğunluğu ile sağlanır. Bu değerlerin altındaki bir çalışmada arkta metal taşınımı, büyük damlalar halindedir. Bu durum aşırı sıçramalara ve ark dengesizliğine neden olur. Dengeli bir ark için akım değeri 1.6mm. tel çapı için 300A civarında seçilmelidir[13].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı kısa ark ve darbeli ark kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Bu ark türleri düşük akım şiddetlerinde ve 18-24V arasındaki ark gerilimlerinde oluşur. Bu ark türleri çok ince örneğin 0.25mm. kalınlığındaki sacların kaynağında dahi kullanılabilir. Bu tekniklerde ısı girdisi spray ark halinden daha düşük olduğundan çarpılmalar da minimum seviyede oluşur.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında argon, argon+oksijen, argon+helyum+karbondioksit içeren koruyucu gazlar kullanılmaktadır. Argon-oksijen karışımları, kaynak banyosunda biraz oksidasyona neden olmalarına rağmen saf argondan daha iyi ıslanma kabiliyeti ve ark stabilitesi sağlarlar. Argon+%1 oksijen spray ark için çok kullanılan bir karışım gazdır. %2-3 karbondioksit ilaveli argon+helyum karışımları kısa ark halinde çok sık kullanılır. Sadece karbondioksit gazı kullanılması, silisyum ve mangan kaybına neden olur. Özellikle az karbonlu paslanmaz çeliklerde karbon miktarının artması kaynak bağlantısının korozyon

direncini azaltabilir, dolayısıyla karbondioksit ostenitik paslanmaz çeliklerin kaynağı için tavsiye edilmez[1].

Ostenitik paslanmaz çelik sacların veya boruların kaynağı sırasında kök pasoların korunması için kullanılan başlıca kök gazları ise argon, argon+hidrojen ve helyum gazlarıdır. Argon en çok kullanılan kök koruyucu gazdır ve içeriğindeki ppm mertebesindeki oksijen miktarı aşağı seviyelerde tutulmalıdır. Argona hidrojen katılması ile redükleyici bir gaz karışımı oluşturulur ve bu karışım düzgün biçimli bir kök profili verir ve oksit oluşumunu önler.

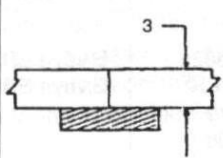
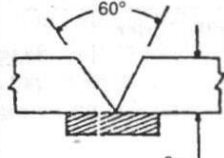
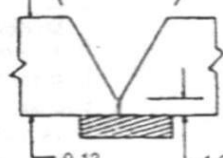
Azot+hidrojen de kök koruma gazı olarak çok sık kullanılır ve diğerlerine nazaran oldukça iyi koruma sağlar. Saf azot gazının kök gazı olarak kullanımı da gittikçe yaygınlaşmaktadır. Zira saf azot kullanımı ile kök pasonun oyuklanma korozyonuna direnci artmaktadır.

Ostenitik paslanmaz çeliklerin, kısa ark ile kaynağında önerilen koşulları tablo 4.8' de, sprej ark ile kaynağında önerilen koşulları tablo 4.9' da ve MIG kaynağına ait parametreleri tablo 4.10' da verilmektedir[13].

Tablo 4.8 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kısa ark ile MIG kaynağında önerilen kaynak koşulları[13]

Koruyucu Gaz: Argon + % 2.5 Co ₂ veya Argon + % 2 Oksijen Gaz debisi: 7-9.5 lt/dk Elektrod çapı: 0.8 mm. Helyum + % 7.5 Argon + % 2.5 Oksijen karışım gaz için gerilim 6-7 V daha yüksek						
	Malzeme kalınlığı (mm)	1.6	2	2.5	3	1.6
Elektrod (tel) çapı (mm)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Kaynak akımı	85	90	105	125	85	90
Gerilim	21	22	23	23	22	22
Tel ilerleme hızı (mm/s)	77.8	81.2	98	118	77.8	81.2
Ark hızı (mm/s)	7-8	5.5-6.4	6-6.8	6-6.8	8-9	4.8-5.2
Elektrod ihtiyacı (kg/m)	0.03	0.05	0.06	0.07	0.03	0.06

Tablo 4.9 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin sprej ark ile MIG kaynağında önerilen kaynak koşulları[13]

Koruyucu gaz : Argon + % 1 Oksijen Gaz debisi : 16.5 lt/dk.				
	Malzeme kalınlığı (mm)	3	6	9-13
	Elektrod (tel) çapı (mm)	1.6	1.6	1.6
	Paso adedi	1	2	2
Kaynak akımı	225	275	300	
Tel ilerleme hızı (mm/s)	59.2	74	99.5	
Ark hızı (mm/s)	8-9	6.4	8.5	
Elektrod ihtiyacı (kg/m)	0.1125	0.284	0.408	

Tablo 4.10 Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan kaynak parametreleri[13]

sac kalınlığı (mm)	birleştirme şekli	elektrod çapı (mm)	Argon sarfiyatı (lt/dk)	paso sayısı	kaynak hızı (mm/dk)	akım şiddeti (doğru akımda pozitif kutupta) amp
3	alın(altıklı)	1.6	17	1	0.5	200-240
6	V-alın	1.6	17	1.0-2.0	0.4	240-280
12	V-alın	2.4	17	3.0-4.0	0.4	280-330
19	V-alın	2.4	17	5.0-6.0	0.4	350-375
25	V-alın	2.4	17	7.0-8.0	0.4	350-375

4.6. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kaynağında gazaltı kaynak yöntemlerinden MIG kaynağı oldukça yaygın uygulanır. 6 mm.'den kalın kesitlerin birleştirilmesinde sprej ark uygulanır. Dolgu oranı yüksek olduğundan diğer yöntemlerden daha hızlı bir kaynak gerçekleştirilir. Kaynak prosedürü ostenitik paslanmaz çelikler ile aynıdır[1].

Koruyucu gaz olarak, arkın kararlılığını sağlamak için %1-2 oksijen içeren argon gazı kullanılır. Nüfuziyetin artması istendiği durumlarda helyum+argon karışımı önerilir.

Sprey ark, oluk pozisyonunda kaynak için tercih edilir; diğer kaynak pozisyonları için, kısa ark veya darbeli ark ile çok az oksijen veya karbondioksit katılmış argon+helyum karışım gazı kullanılır.

AWS' ye göre sınıflandırılmış çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kaynağı için önerilen dolu tel elektrodlar tablo 4.11' de verilmiştir[1].

Tablo 4.11 AWS' ye göre sınıflandırılmış çökeltme sertleşmeli çeliklerin kaynağı için önerilen dolu teller[1]

Simge UNS No.	Kaynak Telleri	Farklı Çök. Sertleşmeli Pas. Çelikler
Martenzitik Türler 17-4 PH S 17400 ve 15-5 PH S 15500	AMS 5826 (17-4 PH) veya E308	E veya ER309, E veya ER309Cb
Stainless W S 17600	AMS 5805C (A-286) veya ERNiMo-3b	E veya ERNiMo-3, E veya ER309
Yarı-Ost. Türler 17-7 PH S 17700	AMS 5824 A (17-7PH)	E veya ER310 ENiCrFe-2, veya ERNiCr-3
PH-15-7 Mo S 15700	AMS 5812C (PH 15-7 Mo)	E veya ER309, E veya ER310
AM350, S 35000	AMS 5774B (AM350)	E veya ER308, E veya ER309
AM355 S 35500	AMS 5780A (AM355)	E veya ER308 E veya ER309
Ostenitik Türler A-286 K 66286	ERNiCrFe-6 veya ERNiMo-3	E veya ER309, E veya ER310
a. AWS A5.11-76, Nikel ve Nikel Alaşımli Örtülü Elektrodlar Spesifikasyonu b. AWS A5.14-76, Nikel ve Nikel Alaşımli Kaynak Tel ve Çubukları Spesifikasyonu		

4.7. Duplex (çift fazlı) Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağı

Duplex paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde ve dolgu pasolarında MIG kaynağı oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Koruyucu gaz olarak Ar+%1-3 oksijen, Ar+%1-3 karbondioksit, Ar+%30He+%1-3 oksijen veya Ar+%15He+%1-3 karbondioksit karışımları kullanılır. Kök gazı olarak da saf argon veya %3 azot eklenen karışım kullanılır. Bu yöntemde yüksek ısı girdisi ile kaynak yapılır.

Paslararası sıcaklık maksimum 150°C ile sınırlandırılmıştır. Tablo 12' de duplex ve süper duplex paslanmaz çelikler için geliştirilmiş dolu ve özlü tel elektrodlar üretici firmalar bazında verilmektedir[3].

Tablo 4.12 Duplex ve süper-duplex paslanmaz çeliklerin kaynağı için önerilen ek kaynak malzemeleri[3]

Üretici	Yöntem	Dolgu Malzemesi Sınıflandırması(CEN prensiplerine bağlı olarak)		
		X 22 9 3 L	X 25 9 3 Cu L	X 25 9 4 L
Avesta	MIG	2205		2507
Böhler	MIG	CN 22/9-1G		
ESAB	MIG Özlü El.	OK Tubrod 14.33		
Messer Lincoln	MIG	Grinox S-62		
Metrode	MIG	ER329N		Zeron100X*
Sandvik	MIG	22.8.3.L		25.10.4.L
Smitweld (Lincoln Norweld)	MIG Özlü El.	LNM 4462 Cor-A-Rosta 4462		LNMZeron100X*
Soudometal	MIG	Soudor G 22 9 3L		
TEW	MIG	22/09/SG		

*Esas metal ile aynı bileşimde

Günlük yaşamımızdan başlayarak tıp, nükleer endüstri, petro-kimya, kimya, gıda ve uzay endüstrilerinde vazgeçilmez uygulama alanı bulan paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı son yıllarda geliştirilen türlere bağlı olarak büyük bir önem arz etmektedir. Ark tarafından kaynak banyosuna taşınan metal damlacıklarının geçişinin kararlılığı ve sıçrama kayıplarının azaltılması için özellikle kaynak akım üreteçleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Kaynak metalinin mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin artırılması amacı ile geliştirilen koruyucu gazların ve tellerin seçiminde çok dikkatli olunması gerekliliği unutulmamalıdır.

5. PASLANMAZ ÇELİKLERİN MIG KAYNAĞINDA KULLANILAN KORUYUCU GAZLAR VE ETKİLERİ

Gazaltı kaynak yöntemlerinin üç tür sarf malzemesi vardır, bunlar elektrik enerjisi, koruyucu gaz ve ek kaynak metalidir. Kaynak telinin kimyasal bileşimi ve koruyucu gazın türü kaynak metalinin bileşimini ve mekanik özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir.

Bütün gazaltı kaynak yöntemlerinde olduğu gibi MIG yönteminde de koruyucu gazın ark bölgesini tamamen örtmesi ve atmosferin olumsuz etkilerinden koruması gerekmektedir. Koruyucu gaz, ergimiş kaynak banyosu içindeki alaşım elementlerinin atmosferdeki oksijen ile reaksiyona girmesini engellemek, azot ve hidrojen gibi diğer zararlı gazların kaynak metaline sıvı kaynak banyosunda çözünerek girmesini önlemek işlevini yerine getirir. Ergimiş halde hemen hemen tüm metaller havadan oksijen ve azot absorbe ederler ve ergimiş metalde çözünen bu gazlar katılaştıkça kaynak metalindeki elementler ile birleşir ve yeni bileşikler oluştururlar; bu olay kaynak metalinin kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkiler, gözenek oluşumuna ve gevrekleşmeye neden olur. Tablo 5.1' de doğal havanın bileşimi verilmiştir[1].

Tablo 5.1 Doğal havanın bileşimi[1]

Bileşen	%Hacim
Azot	78.08
Oksijen	20.96
Argon	0.93
Neon	18vpm
Helyum	5vpm
Kripton	1.14vpm
Ksenon	0.09vpm

MIG kaynağında soy ve aktif gazlar veya bunların çeşitli oranlarındaki karışımları kullanılır. Genel olarak soy gazlar, diğer elementler ile reaksiyona girmediklerinden demir dışı metallerin kaynağında, aktif gazlar veya aktif ve soy gaz karışımları da çeşitli tür çeliklerin kaynağında uygulama alanı bulmaktadır[1].

Kaynak işlemi için gaz seçiminde çeşitli etmenlerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- ◆ Kaynaklanan metal veya alaşımın türü,
- ◆ Ark karakteristiği ve metalin damla geçiş biçimi,
- ◆ Kaynak hızı,
- ◆ Parça kalınlığı, gereken nüfuziyet ve kaynak dikişinin biçimi,
- ◆ Kaynak banyosunda oluşan oksitlerin temizlenmesi,
- ◆ Tedarik edilebilirlik ve gazın maliyeti.

Gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazların tür ve bileşimleri, dünyanın her gelişmiş ülkesinde standartlar ile belirlenmiştir. Bu konuda ülkemizde, Alman DIN 32526'ya paralel olarak TS 5618'de gazaltı kaynak yöntemlerinde kullanılan gazlar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Avrupa Birliğinin kurulmasından sonra, AB üyesi devletler bu konuda EN 439'u hazırlamışlar ve standart da yürürlüğe girmiştir (Tablo 5.2). EN 439, TS 5618 ve DIN 32526 ile esasta paralellik göstermektedir[1].

Tablo 5.2 EN 439' a göre gazların özellikleri

Gaz Türü	Kimyasal Simgesi	0°C ve 1.013 Bar'da		1.013 Bar'da Buharlaştırma Sıcaklığı °C	Kaynak sırasında gazın davranışı
		Yoğunluk kg/m ³	Havaya göre izafi yoğunluk		
Argon	Ar	1.784	1.380	-185.9	Soy
Helyum	He	0.178	0.138	-268.9	Soy
Karbondioksit	CO ₂	1.977	1.529	-78.5 ⁽¹⁾	Oksitleyici
Oksijen	O ₂	1.429	1.205	-183	Oksitleyici
Azot	N ₂	1.251	0.968	-195.8	Reaksiyona girer ⁽²⁾
Hidrojen	H ₂	0.090	0.070	-252.8	Redükleyici

1) Süblimasyon sıcaklığı (katı halden buhar haline direk geçiş)
2) Azotun davranışı malzemeye göre değişir, olası negatif etki gözönüne alınmalıdır.

5.1. Soy Gazlar

Soy gazlar, dış kabuklarındaki tüm yerlerin elektronlar ile dolu olması, diğer bir deyimle dış kabuğun kapalı olması dolayısı ile diğer elementlerin atomları ile elektron alışverişinde bulunmazlar; yani herhangi bir koşulda kimyasal bir reaksiyona girmezler. Bu bakımdan yöntemin ilk gelişme yıllarında koruyucu gaz olarak sadece helyum ve argon gibi soy gazlardan yararlanılmıştır[9].

5.1.1. Argon

Argon tamamen soy monoatomik bir gazdır, sıvı metaller içinde çözülmez ve yoğunluğunun havadan daha yüksek olması nedeni ile özellikle yatay kaynak pozisyonlarında, kaynak sırasında çok etkin bir örtü oluşturarak kaynak banyosunu çok iyi bir biçimde korur. Günümüzde argon genellikle havanın sıvılaştırılarak oksijen ve azotun ayrıştırıldığı tesislerde yan ürün olarak elde edilmektedir[9].

MIG kaynak yöntemi için argon ve argon içeren gaz karışımları (soy) asal gaz karakterinde olmalarından dolayı gerek koruyucu gaz ve gerekse de kök gazı olarak, düşük iyonizasyon potansiyeline sahip olmaları nedeni ile en uygun özellikleri göstermektedirler. Arkın tutuşması kolaydır ve alternatif akımla, alüminyum ve magnezyumun kaynağında çok üstün oksit temizleme etkisi gösterirler[9].

Argon gazı içinde oluşan arkın gerilim düşüşü, diğer koruyucu gazlara (örneğin helyum) nazaran daha azdır, ayrıca argonun ısı iletme kabiliyetinin de zayıf olması nedeni ile ark sütunu daha geniş ve sıcaklığı da özellikle dış kısımlarında düşüktür. Sütunun merkezinde gerek metal buharları ve gerekse damla geçişi dolayısıyla sıcaklık daha yüksektir. Bu bakımdan argonun koruyucu gaz olarak kullanıldığı kaynak dikişlerinde nüfuziyet dikişin merkezinde derin, kenarlarda daha azdır. Argonun iyonizasyon potansiyelinin helyuma göre düşük olması, çalışma akımında ark geriliminin daha düşük olmasını sağladığından özellikle ince parçaların kaynağında helyuma tercih edilir[1].

5.1.2. Helyum

En hafif monoatomik gazlardan birisi olan helyum, argona nazaran 10 kez daha hafiftir ve bu özelliği de kaynak sırasında etkin bir korumanın oluşması için gerekli gaz sarfiyatını arttırmaktadır; örneğin yatay pozisyonlarda aynı koşullarda argonun yaptığı korumayı sağlamak için 3 kat daha fazla helyuma gerek vardır[9].

Atmosferde çok az miktarda bulunan helyumu ayırtmak endüstriyel olarak olanaksızdır; helyum günümüzde doğal gazdan ayrıştırılarak elde edilmektedir ve bu bakımdan A.B.D ve B.D.T'nda (Eski Sovyetler Birliği) kolay ve ekonomik olarak temin edilebilmektedir.

Helyum atmosferi ısıyı iyi iletmediğinden, koruyucu gaz olarak kullanılması halinde derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir. Helyumun iyonizasyon potansiyeli argona nazaran daha yüksek olduğundan, helyum atmosferinde oluşan kaynak arkı daha

yüksek enerjilidir. Bu bakımdan ısıyı iyi ileten bakır, alüminyum ve magnezyum gibi metallerin kalın kesitlerinin kaynağında genellikle ön ısıtma gerektirmez. Helyumun koruyucu gaz olarak kullanıldığı MIG uygulamalarında daha geniş ve argona nazaran da daha derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir; bu olay, yüksek hızda çalışan mekanize kaynak uygulamalarında önemli bir üstünlük olarak karşımıza çıkar.

Uygulamada gerek ekonomik ve gerekse de teknolojik nedenler ile argon-helyum karışımları tercih edilir ve istenen kaynak bağlantısı özelliklerine göre gazların oranları ayarlanır[20].

5.2. Karışım Gazlar

Koruyucu gazın seçiminde, kaynak ile birleştirilecek metalin özelliklerinin yanısıra, koruyucu gazın ekonomikliği ve kaynak sırasındaki özellikleri de göz önüne alınmaktadır[20].

Gazların ayrışma enerjileri, iyonizasyon potansiyelleri, yoğunlukları, ısı ve elektrik iletim özellikleri, maliyetleri büyük farklılıklar göstermekte ve bunun sonucu olarak da arkin oluşumu ve kaynak sırasındaki davranışı, ark içinde malzemenin taşınımı ve elde edilen kaynak bağlantısının profili farklılıklar göstermektedir. Sadece tek bir tür gazın kullanımında gazların herbiri bir takım üstünlükler ve sınırlamalar gösterdiklerinden, günümüzde gazların iyi özelliklerini optimize edebilmek sınırlamalarını en aza indirebilmek için MIG kaynak yönteminde çeşitli karışım gazlar kullanılır[1].

Ark atmosferinin karakteri, çeşitli gaz ve gaz karışımlarına bağlı olarak değişir.

Helyum ve argon karışımları koruyucu gaz olarak yukarıda belirtilmiş olan özellikleri karışım oranına göre gösterilir. Argon gazına az miktarda oksijen, çeşitli oranlarda CO₂ ilave ederek karışım gazlar elde edilir[1].

Argon, helyum gibi soy gazların oluşturdukları ark atmosferinin nötr bir karakter göstermesine karşın, argon gazına oksijen veya karbondioksit gibi aktif gazların karışması sonucu oksitleyici bir karakter kazandırılabilir; hidrojen gazının karıştırılması halinde ise redükleyici bir gaz atmosferi oluşturulur[1].

5.2.1. Argon-Helyum Karışımları

Argon ve helyum karışımları hem argonun hem de helyumun en üstün özelliklerini bir arada elde edebilmek amacı ile geliştirilmiş ve bu sayede nüfuziyet ve ark kararlılığı optimize edilmiştir; helyuma %25 argon eklenmesi ile saf argon haline göre daha derin bir nüfuziyet ve saf argon halinden daha üstün ark kararlılığı bir arada elde edilebilmektedir[1].

Uygulamada, bu iki gazın %80 He ve %20 Ar' dan, %75 Ar-%25 He'a kadar çok değişik karışımları ile karşılaşılmaktadır[20].

Argon ve helyum karışımı gazlar alüminyum, magnezyum, bakır ve nikel alaşımlarının kaynağında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu karışımlar saf argon haline nazaran daha yüksek bir sıcaklığa sahip, saf helyum haline nazaran da daha kontrol edilebilir bir ark oluşturmakta ve daha az miktarda gözenek oluşumuna neden olmaktadır[20].

5.2.2. Argon-Karbondioksit Karışımları

Karbondioksit, renksiz, kokusuz, özgül ağırlığı 1.977 kg/m^3 ve havadan yaklaşık 1.5 kez daha ağır olan bir gazdır. Karbonun yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit, endüstriyel çapta, yanıcı gazların, akaryakıt ve kokun yanma ürünü olarak, kireç taşının kalsinasyonu, amonyak üretimi ve alkolün fermantasyonunda da yan ürün olarak ve bazı yörelerdeki kuyulardan da doğrudan elde edilir[9].

Karbondioksitin çeliklerin kaynağında sunduğu üstünlükler derin nüfuziyet, daha yüksek kaynak hızları ve düşük kaynak maliyeti olarak sıralanabilir.

Koruyucu gazların farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı, düzgün ve sakin bir ark ile kaynak yapabilmek için, her bir gaza belirli bir ark gerilimi ve akım şiddeti uygulamak gerekmektedir. Örneğin; karbondioksit molekülünün ayrışması için yüksek akım yoğunluğuna gerek vardır. Bunun sonucu olarak iri taneli, sıçramalı bir damla geçişi oluşur ve derin nüfuziyetli kaynak dikişleri elde edilir[9].

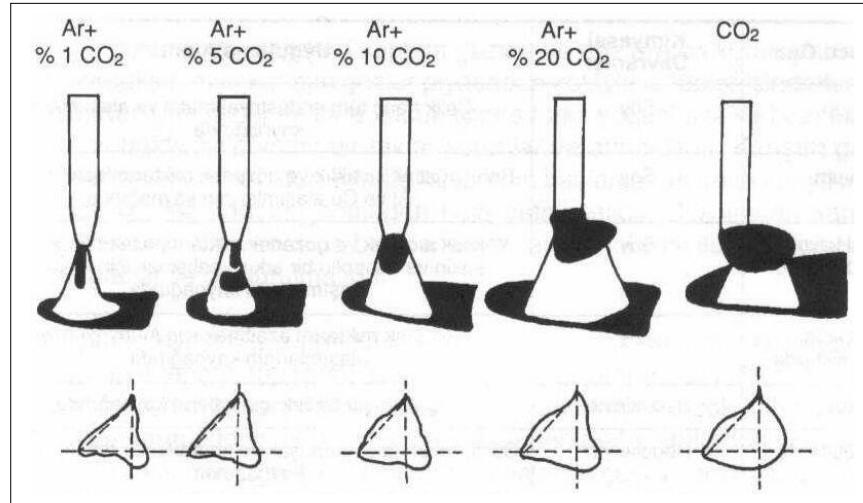
Yalın karbonlu çeliklerin CO_2 gazı altında kaynağı ekonomik açıdan çok uygun olmasına karşın, düzgün olmayan kaynak dikiş yüzeyleri, bazı durumlarda olumsuz etki yaratan derin nüfuziyet ve arkta metal taşınım türünün etkisi nedeni ile ortaya çıkan aşırı sıçrama gibi olumsuzluklar da zaman zaman kendini etkin bir biçimde hissettirmektedir. Yüksek miktarda sıçrama kaynak kalitesini düşürmesinin yanı sıra

kaynak metali verimi ve sıçramaların temizlenmesi işlemini nedeni ile de maliyeti etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır[1].

Argon oksijen veya karbondioksit gazların karıştırılması ile oluşan ekzotermik oksitleme reaksiyonu sonucunda kaynak banyosunun sıcaklığı yükselir ve yüzey gerilimi zayıflar, böylece kaynak banyosunun akıcılığı yükseltilmiş ve gazı giderilmiş olur.

Karbondioksit gazına %30 'u aşan oranda argon katılması sıçrama kaybını azaltmaktadır. Argon %20' yi aşan miktarda karbondioksit katılması ise arkta metal taşınımının kısa devreli veya iri damlalı olarak gerçekleşmesine neden olur. Karbondioksit miktarı %20' nin altına inmeye başlayınca belirli bir akım şiddeti ve ark gerilimi aralığında spreysel metal taşınımı gerçekleşir[1].

Ar/CO₂ oranını değiştirerek arkta metal taşınım türünü ve kaynak nüfuziyet profilini kontrol altında tutmak olanağı vardır (Şekil 5.1). CO₂ miktarının artması, sıçramayı şiddetlendiren ve daha yuvarlak nüfuziyet profili oluşmasını sağlayan arkta yanıl kuvvetlerin şiddetlenmesine neden olur[9].



Şekil 5.1 Ar/CO₂ karışım gazlarında artan CO₂ oranına bağlı olarak arkta metal taşınım türü ile kaynak dikiş nüfuziyet profilinin değişimi[9]

5.2.3. Argon-Oksijen Karışımları

Argon ve oksijen karışımları karbondioksitli karışımlara alternatif olarak geliştirilmiştir. Oksijen ilavesi arkı dengeler ve ıslanmayı iyileştirir. %2 oksijen ilavesi oksitleyici bir atmosfer ortaya çıkarır ve %5 karbondioksit ilavesine eşit özellik sağlar. Oksijen ilavesi karbondioksitten daha sert bir kaynak arkı vermesinden dolayı spreysel ark için daha uygundur[19].

Oksijenin oksitleyici etkisi, oksijene karşı büyük bir ilgisi olan mangan, silisyum, alüminyum, titanyum, zirkonyum gibi alaşım elementlerinin kaynak telindeki miktarının artırılması ile dengelenir.

Argon gazına az miktarda oksijen eklenmesi (%1 ila 5) arkın stabilizasyonunun iyileştirilmesi, sıçramayı en aza indirmesi ve buna karşın sprey metal taşınım karakteristiğinin korunması, argon kullanımının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Koruyucu gaza oksijen katılması, karbondioksitten daha şiddetli olarak kolay ergiyen oksitlerin oluşumunu hızlandırarak, ergiyen elektrod telinden düşen damlaların yüzey gerilimini zayıflatarak ince damlalı bir metal taşınımı sağlamakta ve kısa devresiz damla taşınımının (sprey ark) oluşmasına yardımcı olmaktadır[1].

Oksijen katkısı, daha derin bir nüfuziyetin ve daha düzgün bir dikiş profilinin oluşmasına olanak verdiği gibi saf argon ile çeliklerin kaynağında karşılaşılan yanma oluklarının oluşumunu da ortadan kaldırmaktadır.

Argona %1 ila 2 oksijen katılması, paslanmaz çeliklerin kaynağında çok iyi sonuç verir, sakin ve sıçramasız bir ark ile kaynak olanağı sağlar; %5 civarında oksijen içeren gazlar ise az alaşımlı çeliklerin ve dezokside edilmiş bakırın kaynağında iyi sonuçlar verir.

Argon oksijen karışımları doğru kutuplama (elektrod negatif) ile de kullanılabilir, fakat bu durumda metal taşınımı az ve nüfuziyet derin değildir, bu bakımdan bu tür bir çalışma yüzey kaplama işlemleri için önerilir.

5.2.4. Helyum-Argon-Karbondioksit veya Oksijen Karışımları

Helyum-Argon-Karbondioksit karışımı gazlar kısa ark boyu ile kaynakta, kaynak banyosunun ıslatma özelliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. %90 He, %7.5 Ar ve % 2.5 CO₂ karışımı koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında kısa ark boyu ile çalışma ve daha az aktif bir atmosfer oluşturarak paslanmazlık özelliğini korumak için kullanılmaktadır; bu karışım az alaşımlı çeliklerin kaynağında da kaynak metalinin tokluğunu geliştirmek için uygun sonuçlar vermektedir. %69 Ar, %30 He ve %1 O₂' den oluşan yeni bir koruyucu gaz paslanmaz çeliklerin kaynağında özellikle kaynak banyosunun viskozitesi, esas metali ıslatma özelliği, arkın kararlılığı ve sıçramanın azalması bakımından çok uygun sonuçlar vermektedir. Ayrıca bu gaz ile çalışmada kaynak metalinde karbon kapma tehlikesi ve hidrojen gevrekliği olayı da ortadan kalkmaktadır. Bu gazın diğer önemli bir özelliği de kısa ark, sprey ark ve darbeli arkta da çok iyi bir şekilde kullanılabilmesidir[1].

Günümüz endüstrisinde standart karışım gazlar ve gaz üreten kuruluşların geliştirip piyasaya sürdükleri özel karışım gazlar piyasadan kolaylıkla tüpler içinde temin edilebilmektedir. Karışım gazlar halinde, tüpün içinde farklı yoğunlukta ve bazı hallerde bir bileşenin sıvı halinde bulunması bir takım sorunlar yaratmaktadır. Karışım gaz tüpleri uzun süre kullanılmadıkları durumlarda kullanıma başlamadan önce tüp yuvarlanarak çalkalanmalı ve gaz karışımı homojen hale getirilmelidir. CO₂ içeren karışımlarda tüplerin iç kısmında tüp vanasına bağlı sifonlar vardır, dolayısı ile bu tüpler sadece o tür karışım gazlar ile doldurulmalıdır[1].

Çeşitli bileşimde gazların kullanıldığı veya tek tür karışım gaz tüketiminin çok fazla olduğu işyerlerinde tüp içinde hazır karışım gaz yerine gaz mikserleri kullanarak karışım gazın istenen bileşimde kaynaktan önce hazırlanması çok daha ekonomik ve etkin sonuçlar vermektedir. Gaz mikserleri, özel debimetreler ile donatılmış 2 veya 3 girişi ve bir de çıkış musluğu olan cihazlardır, bunlar ile çeşitli koruyucu gazlar istenen miktarda istenen miktarda hassas bir biçimde karıştırılabildiği gibi istenen anda da gaz bileşimini değiştirmek olasıdır[1].

5.3. Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Koruyucu Gazlar

Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar; asal gazlar veya bunların karışımları biçiminde olmaktadır. Karışım gazlara oksitleyici gazlar da eklenerek yeni geliştirilen iki veya üç hatta dört bileşenli karışım gazlar arkı dengelemekte ve nufuziyeti etkilemektedir[19].

Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında genel olarak %1-2 civarında O₂ ve CO₂ gibi oksitleyici bileşen içeren argon kullanılır. Argona O₂ veya CO₂'nin katılması arkın dengelenmesini sağlar, bu konuda O₂; CO₂'ye nazaran 2 ila 3 kat daha etkindir. Saf argon veya helyum ile bunların karışımının kullanılması sonucu ortaya kararsız bir ark çıkar, zira elektron emisyonu oksit içeren bölgelerden başlar ve emisyon başlayınca da oksit filmi kırılır. Böylece ark, üzerinde oksit bulunan başka bir bölgeye sıçrar ve bunun sonucunda da arkın gezinmesi olayı ile karşılaşılır, bu bakımdan koruyucu asal gaza az bir miktar oksijen veya karbondioksit katılması sonucu iş parçasında arkın bulunduğu yere çok yakın yerlerde oksit tabakası oluşur. Buna ek olarak, O₂ ve CO₂ ergimiş metal damlacıklarının yüzey gerilimini düşürür ve bu da sprey ark ile çalışılması halinde arkın dengelenmesini gerçekleştirir. Saf argon hali ile karşılaştırıldığında esas metalin ıslatma özelliği de gelişir. Ergimiş metal (kaynak metali) ile esas metal arasındaki yüzey gerilim açısı önemsiz hale gelir[1].

Koruyucu asal gazda O_2 ve CO_2 'nin katılmasının sınırlanması nedeni ise kaynak yüzeyinin oksitlenmiş olması ve kaynak metalinin arkta geçerken oksitlenme sonucu alaşım elementi kaybıdır. Arkın bu oksitleyici karakteri, gazda katılan O_2 ve CO_2 'nin oranı ile ilgilidir. Oksitlenme kaybı bakımından O_2 , CO_2 'ye nazaran on kat daha etkindir. CO_2 'nin koruyucu gaz olarak kullanılmasının bir diğer etkisi de dikey karbon kapmasıdır. Koruyucu gaz içindeki oksitleyici bileşenlerin oranının artması mangan, krom ve silisyum kayıplarının da artmasına neden olur. Oksidasyon kayıpları, koruyucu gazdaki O_2 miktarı %30'un altında olduğu hallerde mangan ve krom için %0.3; silisyum ve niyobyum için de %0.1 kadardır. Araştırmalar sonucunda, oksidasyon kayıplarının, De Long'a göre hesaplanan krom eşdeğerini ($Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + \%1.5Si + 0.5\%Nb$) 0.3 veya 0.5 birim azalttığı görülmüştür. Dolayısıyla esas metal ile kaynak metalinin uyumunu sağlayabilmek için kaynak telinin, oksitlenme kayıplarını karşılayacak bileşimde olması gerekmektedir[4].

Koruyucu gazda CO_2 'nin bulunması, kaynak metalinin karbon kapmasına neden olduğu gibi oksitlenmesine de neden olabilir. Kaynak metalinin bileşimi Fe-C-O sisteminin dengesine de bağlıdır. Sonuçta, karbon miktarı O_2 'nin aktivitesi, ark gerilimi ve metal damlacığının kaynak banyosuna geçerken taşıdığı ısı tarafından etkilenmektedir. Örneğin, telin karbon içeriği %0.023 ve Ar +%2.5 CO_2 'den oluşan karışım koruyucu gaz halinde karbon kapma miktarı %0.018 olmaktadır. Bu da kaynak metalindeki toplam karbonun %0.41 olmasına yani, çok düşük karbon sınırını aşmasına neden olmaktadır. Bir çok az karbonlu kaynak metali (karbon miktarı % 0.03'den az) gözönüne alındığında koruyucu gazda CO_2 bulunmamalıdır. Diğer bir deyişle, bu gazlar ancak, çok az karbonlu kaynak teli ve kaynak metalinin karbon içeriğinde %0.05'den küçük olmasının kabul edildiği hallerde kullanılmalıdır. Karbon kapmanın diğer bir tehlikesi de karbonun kuvvetli ostenit dengeleyici olmasından ötürü kaynak metalindeki ferrit içeriğinin azalmasına neden olmasıdır. Bu da, kaynak metalinin sıcak çatlamaya olan direncini azaltır. Ark atmosferine çok düşük ve çok yüksek koruyucu gaz debilerinde girebilen azot da aynı etkiyi yapar. Zira, azot da çok kuvvetli olduğundan kaynak metalinin ferrit içeriği azalır[4].

Argon nazaran daha yüksek bir ısı iletkenliğe ve daha düşük bir yoğunluğa sahip olan helyum oldukça ilginç bir gazdır. Belirli bir kaynak akımı ve ark boyu için daha yüksek bir ark gerilimi elde edilir. Bu nedenle, aynı kaynak hızında ısı girdisi daha yüksektir. Doğal olarak sabit bir enerji girdisi halinde helyum kullanılması ile ısı girdisi arttırılabilir[4].

Argon ile karşılaştırıldığında helyum kullanılması ark enerjisinin daha çok kenarlara doğru yayılmasına neden olur. Bu, hem nufuziyeti hem de kaynak kesitini artırır. Yüksek kaynak banyosu sıcaklığından ötürü de kaynak banyosunun akışkanlığı ve ıslatma özelliği gelişir.

Ar + He karışımları, saf argon ve helyum arasında bir ara çözüm olarak düşünülebilir, argona helyum eklenmesi nüfuziyeti artırır. Argonun ark içinde metal taşımının kararlılığına da bir etkisi vardır. %0.35' in üzerindeki helyum içeriği plazma akışını ters yönde etkiler. Bu bakımdan yüksek miktarlarda (yaklaşık %85) helyum içeren gazlar kısa ark boyu ile kaynakta, düşük helyum içeren gazlar ise (%40) sprey ve darbeli arkta kullanılır. Son yıllarda iki, üç ve dört bileşenli karışım gazlar endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu bileşenler tablo 5.3' de verilmiştir[19].

Tablo 5.3 Paslanmaz çeliklerin kaynağında kullanılan ticari karışım gazlar[19]

%Ar	%He	%CO ₂	%O ₂
20	77.8	1.9	0.3
17.5	80	2	0.5
98	0	2	0
95	0	5	0
64.5	30	4.5	0
69	30	0	1

İnce sacların kaynağında, zor pozisyonlarda ve geniş kök aralıklarında köprü kurmada kısa ark daha iyi sonuçlar vermektedir. ABD' de bu ark türü ile yapılan kaynakta %90 He, % 7.5 Ar ve % 2.5 CO₂ karışım gazı kullanılmaktadır[13].

Saf argon veya %1-2 O₂ içeren argon karışım gazları sprey ark ile kaynak yapmak için uygundur. Bu ark türü tek veya çok pasolu kaynakların yatay oluk pozisyonu için çok uygundur, özellikle argon ve oksijen karışım kullanılması halinde banyonun ıslanması ve arkın stabilitesi daha iyi sağlanmaktadır[13].

Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında dolu tel kullanılması halinde %1-2 oksijen ve %2-4 karbondioksit içeren gazlar kullanılabilir. Oksijen miktarı %1' den, karbondioksit miktarının da %2' den az olduğu zaman etkileri arkın dengelenmesinde yetersiz kalmaktadır. Fazla olduğu zaman ise banyonun oksitlenmesi şiddetlenir. Özellikle çok yüksek nikel alaşımlı ostenitik paslanmaz çeliklerde saf argon kullanılması önerilir. Zira, bu alaşımlar oksijene karşı çok hassastırlar. Özlü teller kullanılması halinde ise %20-100 karbondioksit içeren gazlar kullanılır. Karbondioksit oranının %20' den düşük olması halinde istenilen ark

kararlılığı elde edilemez. Yüksek oranda karbondioksit içeren gazlar kullanılmasına karşın oluşan cüruf dikişin karbon kapmasına engel olur[4].

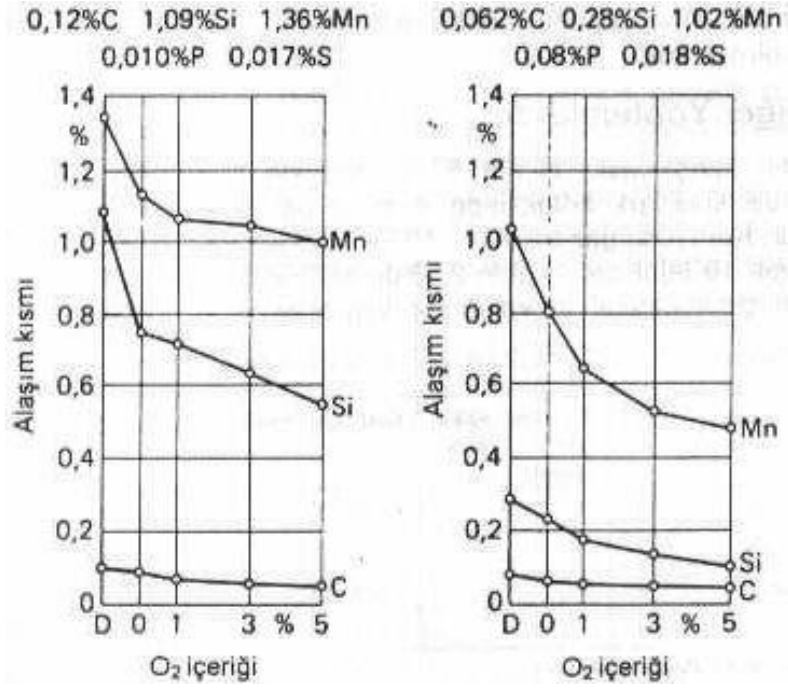
Kaynaklı yapının mekanik özellikleri üzerine yapılan bir çalışmada, 4.7 mm. kalınlığında AISI 316L ostenitik paslanmaz çelik numunelere benzer kaynak parametreleriyle üç değişik ticari gaz karışımı uygulanarak (%98Ar+%2O₂, %98Ar+%2CO₂, %85He+%13.5Ar+%1.5CO₂) yapılan kaynak işlemi sonucunda, en iyi sonuç argon+karbondioksit karışımından elde edilmiştir. Zira CO₂' in varlığı, arkın dengelenmesinde etkili olmakta, aynı zamanda dikişe az miktarda karbon difüzyonu gerçekleşmektedir[6].

Redükleyici bir gaz olan hidrojenin argona ilave edilmesi üzerine yapılan bir çalışmada, %20' ye kadar çeşitli oranlarda hidrojen ilave edilerek 18/8/6 1.2mm. kalınlığındaki ostenitik paslanmaz çeliğin kaynağı incelenmiş ve argona ilave edilen hidrojenin, arkın dengesini bozduğu ve MIG kaynağı için uygun olmadığı gözlenmiştir[2].

Kaynak metalinin kimyasal bileşimi, hiçbir zaman kullanılan kaynak teli ile aynı olmaz. Zira, gaz içindeki aktif bileşenlerin yolaçtığı oksidasyon nedeniyle alaşım elementlerinin yanması söz konusudur. Soygazların kullanılması halinde bile çok az bir miktarda yanma reaksiyonu gerçekleşir. Bunun nedeni, koruyucu gaz örtüsünün, havadaki oksijenin tamamının ark atmosferine girişini engelleyememesidir. Şekil 5.2 koruyucu gazın oksijen içeriğine bağlı olarak karbon, silisyum ve manganın yanmasını göstermektedir[14].

Alaşım elementlerinin kaybı, artan oksijen içeriğiyle artar. Şekil 5.2, ayrıca yüksek silisyum içeren tellerde, manganın yanmasının, düşük silisyum içeren tellere göre daha düşük olduğunu göstermektedir. Kaynak parametreleri de koruyucu gazın yanması üzerine etki eder; örneğin düşük akım şiddeti ve yüksek ark gerilimi halinde yanma daha fazla olmaktadır[14].

Oksitleyici bileşenler sadece koruyucu gazdaki bileşenden değil, karbondioksitin yüksek sıcaklıklarda $2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$ reaksiyonuna göre dissosiasyonu sonucu da oluşur.



Şekil 5.2 Gazaltı kaynağında alaşım elementlerinin yanması[14]

Karbondioksitin parçalanmasıyla oluşan karbonmonoksit de $CO \rightarrow C + O$ reaksiyonu sonucu kaynak metalinde etkili olur. Bu şekilde yüksek karbon yanması oluşurken, teldeki düşük karbon içeriği bile kaynak metalinin karbürizasyonuna yolaçar. Bu durum, korozyon dayanımını çok düşük karbon içeriğine borçlu olan paslanmaz çeliklerin kaynağında daha da önemlidir. Tablo 5.4' de gösterildiği gibi, oksijen içeren karışım gazların kullanımı halinde karbon yanması meydana gelirken, düşük karbondioksit içeriği bile karbon artışına neden olmaktadır. Bu nedenle paslanmaz çeliklerin kaynağında düşük karbondioksit içeren koruyucu gazlar kullanılmalıdır[14].

Tablo 5.4 Koruyucu gazın bileşimi ve saf kaynak metalinin karbon içeriği arasındaki ilişki[14]

Ölçüm yeri	Koruyucu gaz			Karbon içeriği	Yanma (azalma) veya alaşımlanma (artma) %
	Ar	O ₂	CO ₂		
	%	%	%	%	%
Tel elektrod	-	-	-	0,021	-
Kaynak metalı	100	-	-	0,019	- 0,002
Kaynak metalı	99	1	-	0,019	- 0,002
Kaynak metalı	97	3	-	0,018	- 0,003
Kaynak metalı	95	5	-	0,017	- 0,004
Kaynak metalı	90	5	5	0,029	+ 0,008
Kaynak metalı	80	5	15	0,049	+ 0,028
Kaynak metalı	82	-	18	0,054	+ 0,033
Kaynak metalı	-	-	100	0,096	+ 0,075

1) X5CrNiNb 19-9 çeliğinden 1,2 mm çapında tel elektrod; kaynak parametreleri: kaynak akımı 220A, Kaynak gerilimi 27 V, kaynak hızı 30 cm/dak.

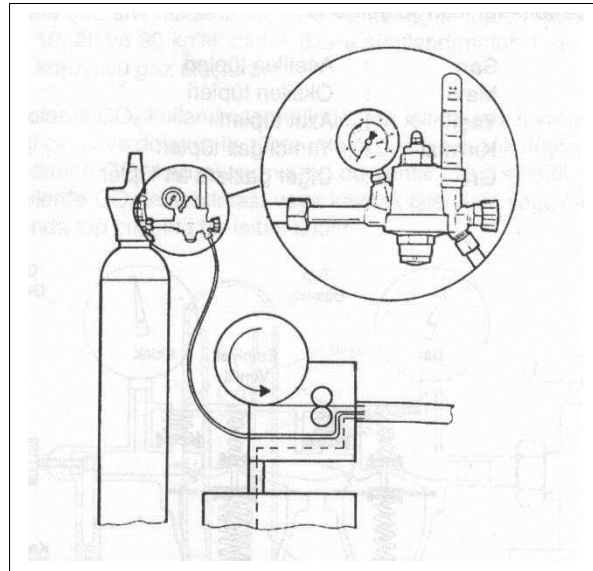
5.4. Koruyucu Gaz Sağlama Sistemleri

MIG kaynak yöntemlerinde, kaynak bölgesi ve ark, atmosferin olumsuz etkilerinden bir koruyucu gaz örtüsü tarafından korunur. Bu gazın tüm işlem süresince yeterli miktarda kesiklik yapmadan sürekli olarak kaynak bölgesine beslenmesi koruyucu gaz donanımı tarafından gerçekleştirilir. Kaynak için gerekli koruyucu gaz iki farklı sistem ile sağlanabilir:

- ◆ Basıncı gaz tüpünden,
- ◆ Merkezi gaz dağıtım sisteminden.

Ülkemizde MIG kaynağı için gerekli koruyucu gaz, basınçlı tüplerden sağlanır (Şekil 5.3). İşletme için merkezi sistem gaz dağıtım şebekeleri henüz uygulama alanı bulamamıştır; zira bu sistemin ekonomik olabilmesi için çok sayıda MIG kaynak donanımının işletme içinde yoğun bir biçimde kullanılması gerekmektedir. Merkezi gaz dağıtım sistemlerinde şebekeye verilen gaz iki ayrı biçimde sağlanır:

- ◆ Çok sayıda tüpün bir manifold ile birbirlerine bağlanması ile beslenen bir merkezi gaz dağıtım sisteminden,
- ◆ Büyük basınçlı gaz tanklarında sıvılaştırılmış halde bulunan gazın buharlaştırılması ile beslenen bir gaz dağıtım sisteminden.



Şekil 5.3 MIG kaynağında tek bir tüpten gaz temini[1]

Merkezi sistem ile dağıtılan gazın ne şekilde temin edileceği tamamen tüketim ile ilgilidir. Merkezi sistemin en büyük üstünlüğü, bir basınçlı kap olan ve özel itina gerektiren gaz tüplerinin yerine, atelyeler içinde gaz dağıtımı sağlayan borulardan yararlanarak hem daha güvenli ve hem de gerektiğinde bir istasyonda bir tüpün verebileceğinden daha fazla gaz sağlamak ve tüp değiştirme sırasında ortaya çıkan iş kayıplarını önlemektir.

Kaynak makinası sayısının çok buna karşın, gaz sarfiyatının fazla olmadığı durumlarda bir manifold ile bağlanmış tüplerden çelik borular ile tüketim yerine taşınan gaz kullanılır. Günümüzde gaz fabrikaları 6 tüpü bir arada bir çelik karkas içine yerleştirilmiş ve tüpler bir manifold ile bağlanmış şekilde servis yapmaktadırlar. Gaz tüketiminin çok daha fazla olduğu durumlarda ise, gaz karbondioksit halinde olduğu gibi bir merkezi tankta sıvı halde bulunur ve gereken miktarda gaz, özel buharlaştırıcıdan borular yardımı ile tüketim yerine sevk edilir.

Ülkemizde soy gaz tüpü olarak, oksijen için üretilmiş olan 40 litre hacimli 150 Atü'lük tüpler kullanılmaktadır. Batı ülkelerinde ise 10, 20, 50 litre hacimli, 200 Atü ile doldurulan tüpler tercih edilmektedir; bu şekilde tüplerde 2,4 veya 10 metreküp gaz depolanabilmektedir[1].

Ülkemizde tüpler TS 1519'a uygun olarak üretilirler ve bu Standard DIN 4664 ile paralellik göstermektedir. Tüplerin boyunları üzerinde standarda uygun olarak tüp ile ilgili gerekli bilgiler gömme olarak ve silinmeyecek bir şekilde yazılmıştır. TS 1519'a göre tüplerin tanıma renkleri şu şekildedir.

Sarı	: Asetilen tüpleri
Mavi	: Oksijen tüpleri
Yeşil	: Azot tüpleri
Kırmızı	: Yanıcı gaz tüpleri
Gri	: Diğer gazlara ait tüpler

Kaynak için gerekli olan gaz, tüp içindeki veya merkezi buharlaşma ünitesinin çıkışındaki basınçta kullanılamaz, bu bakımdan kaynak için yeterli debide gaz sevk edebilmek amacı ile kaynak donanımına tüp çıkışına veya merkezi dağıtım hatlarında tüketim noktalarında bir basınç ayar valfi ve akış ölçer diye adlandırılan aynı anda da kaynak bölgesine sevk edilen gazın miktarını ölçen bir cihaz takılır. Tüp ağzlarına takılan bu cihazların bir türü aynen oksijen tüpündeki düzeneği

andırır; bunun üzerinde tüpe yakın olan manometre tüp basıncını, diğeri ise gaz debisini gösterir. Gaz debisi bu şekilde ölçüp ayarlanabildiği gibi, akış ölçer adı verilen bir konik cam tüp içindeki hareketli bir bilya ile de yapılabilir.

Gaz tüplerine takılan basınç ayar valfleri sadece belirli bir gaz türü içindir ve bunlar tasarlandıkları gaz için kullanılmalıdır.

CO₂ tüpleri içinde gaz sıvı haldedir ve bu bakımdan gaz tüpleri içerdikleri sıvı gazın ağırlığına göre 10, 20 ve 30 kg'lık olmak üzere sınıflandırılırlar. 1 kg. sıvı CO₂ teknik olarak 540 litre koruyucu gaz oluşturur.

Koruyucu gaz olarak CO₂ kullanılması halinde, tüp içinde gaz sıvıdan buharlaşırken ortamdaki enerji çeker ve dolayısıyla tüpte ortaya çıkan sıcaklık düşmesi sonucu kuru buz diye adlandırılan CO₂ karı oluşur ve bu da valfi tıkır; sürekli olarak 12lt/dak daha fazla debilerde CO₂ kullanılması veya kaynak işleminin soğuk iklimlerde yapılması durumlarında tüp çıkışına bir ısıtıcı takılır[1].

Gaz akımının kaynak sırasında açılıp kapanması tüpler ile değil, kumanda dolabına bulunan bir manyetik valf ile sağlanır.

MIG kaynak yönteminde pek çok durumda koruyucu gaz olarak, saf bir gaz değil de gaz karışımları kullanılır; tüp içinde standart karışım gazlar piyasadan temin edilebilmektedir. Ülkemizde pek popüler olmayan, diğeri bir karışım gaz elde etme yöntemi de gaz mikserleri kullanmaktır; bu mikserlerin 2 veya 3 girişleri vardır, çeşitli tüplerden gelen gazları istenen oranda karıştırırlar. Karbondioksit içeren karışım gazlarda yüksek basınç nedeni ile karbondioksit gaz değil sıvı haldedir ve bu bakımdan tüplerin vanasına takılmış ve tüpün iç kısmında karışımı sağlayan bir sifon vardır. Çoğu uygulamalarda, tüpün ilk kullanıma alındığı zaman ile tüp uzunca bir süre kullanıldıktan sonraki karışım gaz, bazı tüplerde bileşim farklılıkları göstermekte ve bu olayda kaynak kalitesini etkilemektedir. Mikser (karıştırıcı) kullanımı halinde, bu olay ortadan kalkmakta ve istendiği zaman da gaz karışımını değiştirebilme olanağı sağlanmaktadır[1].

6. SONUÇLAR

Paslanmaz çeliklerin büyük bir kısmının kaynak kabiliyeti yüksektir. MIG kaynak yöntemleriyle kaynak edilebilirler. Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlar; asal gazlar veya bunların karışımları biçiminde olmaktadır. Karışım gazlara oksitleyici gazlar da eklenerek yeni geliştirilen iki veya üç hatta dört bileşenli karışım gazlar arkı dengelemekte ve nufuziyeti etkilemektedir. Paslanmaz çeliklerin MIG kaynağında genel olarak %1-2 civarında O₂ ve CO₂ gibi oksitleyici bileşen içeren argon kullanılır.

Argona O₂ veya CO₂'nin katılması arkın dengelenmesini sağlar, bu konuda O₂; CO₂'ye nazaran 2 ila 3 kat daha etkindir. Saf argon veya helyum ile bunların karışımının kullanılması sonucu ortaya kararsız bir ark çıkar, zira elektron emisyonu oksit içeren bölgelerden başlar ve emisyon başlayınca da oksit filmi kırılır. Böylece ark, üzerinde oksit bulunan başka bir bölgeye sıçrar ve bunun sonucunda da arkın gezinmesi olayı ile karşılaşılır, bu bakımdan koruyucu asal gaza az bir miktar oksijen veya karbondioksit katılması sonucu iş parçasında arkın bulunduğu yere çok yakın yerlerde oksit tabakası oluşur. Buna ek olarak, O₂ ve CO₂ ergimiş metal damlacıklarının yüzey gerilimini düşürür ve bu da spreylenmiş ark ile çalışılması halinde arkın dengelenmesini gerçekleştirir. Saf argon hali ile karşılaştırıldığında esas metalin ıslatma özelliği de gelişir. Ergimiş metal (kaynak metal) ile esas metal arasındaki yüzey gerilim açısı önemsiz hale gelir.

Koruyucu asal gaza O₂ ve CO₂'nin katılmasının sınırlanması nedeni ise kaynak yüzeyinin oksitlenmiş olması ve kaynak metalinin artan geçerken oksitlenme sonucu alaşım elementi kaybıdır. Arkın bu oksitleyici karakteri, gaza katılan O₂ ve CO₂'nin oranı ile ilgilidir. Oksitlenme kaybı bakımından O₂, CO₂'ye nazaran on kat daha etkindir. CO₂'nin koruyucu gaz olarak kullanılmasının bir diğer etkisi de dikişin karbon kapmasıdır. Koruyucu gaz içindeki oksitleyici bileşenlerin oranının artması mangan, krom ve silisyum kayıplarının da artmasına neden olur. Oksidasyon kayıpları, koruyucu gazdaki O₂ miktarı %30' un altında olduğu hallerde mangan ve krom için %0.3; silisyum ve niyobyum için de %0.1 kadardır.

Koruyucu gazda CO₂' nin bulunması, kaynak metalinin karbon kapmasına neden olduğu gibi oksitlenmesine de neden olabilir. Kaynak metalinin bileşimi Fe-C-O sisteminin dengesine de bağlıdır. Sonuçta, karbon miktarı O₂'nin aktivitesi, ark gerilimi ve metal damlacığının kaynak banyosuna geçerken taşıdığı ısı tarafından etkilenmektedir. Karbon kapmanın diğer bir tehlikesi de karbonun kuvvetli ostenit dengeleyici olmasından ötürü kaynak metalindeki ferrit içeriğinin azalmasına neden olmasıdır. Bu da, kaynak metalinin sıcak çatlamaya olan direncini azaltır.

Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında başlıca etkili element karbondur. Karbon miktarı, ısıdan etkilenmiş bölgenin sertliği üzerinde etkilidir ve bu bir dereceye kadar kaynak yöntemi ile kontrol edilebilir. Isıdan etkilenmiş bölgenin sertliği artarsa soğuk çatlamaya hassasiyet artar ve tokluk azalır. Bu bakımdan, az karbonlu martenzitik paslanmaz çelikler, kaynaktan önce, oluşan ısıl gerilmeleri azaltarak çatlama olasılığını azaltan bir ön tavlama tabii tutularak kaynak edilebilirler, yüksek karbon içerenler ise olabildiğince kaynak edilmemelidirler. Martenzitik kromlu paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı uygulaması da çok nadirdir.

Ferritik kromlu paslanmaz çelikler, su verme yolu ile sertleştirilemediklerinden, ısıdan etkilenmiş bölgede martenzit oluşumu tehlikesi meydana gelmez, bu bakımdan martenzitik paslanmaz çeliklere nazaran daha kolay kaynak edilirler. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin kaynağında karşılaşılan önemli sorunlardan bir tanesi, bu tür çeliklerin 1150°C' nin üzerindeki sıcaklıklarda tane irileşmesine aşırı eğilimleri olmasıdır. Tane irileşmesini önlemek amacıyla bazı ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin bileşimine bir miktar azot ilave edilir. Diğer tehlike ise, ısıdan etkilenmiş bölgede tanelerarası korozyona karşı aşırı hassasiyettir. Eğer bu tür çelikler titanyum veya niyobyum ile stabilize edilmişler ise kaynaklı bağlantılar ısıl işlem yapılmadan da tanelerarası korozyona karşı dirençli olacaklardır. Ferritik kromlu paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı normal şartlarda doğru akımda elektrod pozitif kutba bağlanarak gerçekleştirilir. Sprey ark kullanılması halinde Ar+%1 oksijen karışımı, kısa ark için ise He+Ar+%2 karbondioksit koruyucu gaz karışımı tavsiye edilir. Koruyucu gaz seçimi, metal damlasının geçişinin yanısıra esas metale de bağlıdır.

Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin korozyon dirençleri martenzitik kromlu ve ferritik kromlu paslanmaz çeliklerden daha yüksektir. Ostenitik krom-nikelli paslanmaz çelik kaynak metallinde ostenitin katılaşması sırasında ortaya çıkan delta ferrit fazının varlığı, kaynak metalinde sıcak çatlama riskini artırır. Bu açıdan delta ferrit kristallerinin oluşumunun katılaşma ile kontrol edilebilmesi, kaynak

metalinin sıcak çatlama direncinin düzeltilmesinde bu fazın ölçülmesinin önemini ortaya çıkarır. Bu tür çeliklerin MIG kaynağında argon gazı koruması altında % 95' in üzerinde bir geçiş verimi sağlanır. Kullanılan standart tel çapları malzeme kalınlığına ve ark türüne göre 0.6-3.0 mm. arasında değişir. Doğru akımda, elektrod pozitif kutupta ve koruyucu gaz olarak argon kullanıldığında arkta metal taşınımı sprey ark ile gerçekleştirilebilir. Ostenitik paslanmaz çeliklerin MIG kaynağı kısa ark ve darbeli ark kullanılarak da gerçekleştirilebilir. Bu tekniklerde ısı girdisi sprey ark halinden daha düşük olduğundan çarpılmalar da minimum seviyede oluşur. Argon+ %1 oksijen sprey ark için çok kullanılan bir karışım gazdır. %2-3 karbondioksit ilaveli argon+helyum karışımları kısa ark halinde çok sık kullanılır.

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerden oluşturulacak kaynaklı bağlantılarda arzu edilen özellikleri sağlamak için seçilen uygun üretim yöntemi ve ısıl işlemler çeliklerin kullanım yerine göre değişebilir. Kaynak sonrası, uygulanacak çözeltiye alma ve yaşlandırma ısıl işlemleri ile maksimum mekanik özellikler ve korozyon direnci elde edilebilir. Çarpılmaların oluşabilirliği ve çatlama tehlikesi bazı durumlarda çözeltiye alma tavinin uygulanmasını sınırlar. Bu neden ile, bazen sadece kaynak sonrasında yaşlandırma işlemi gerekir. Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çeliklerin kaynağında MIG kaynağı oldukça yaygın uygulanır. 6 mm.'den kalın kesitlerin birleştirilmesinde sprey ark uygulanır. Dolgu oranı yüksek olduğundan diğer yöntemlerden daha hızlı bir kaynak gerçekleştirilir. Koruyucu gaz olarak, arkın kararlılığını sağlamak için %1-2 oksijen içeren argon gazı kullanılır.

Duplex paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynak metalinde ferrit/ostenit dengesinin sağlanmasının oldukça büyük önemi vardır. Duplex ve süper-duplex kaynak metallerinin katılaşmasında başlangıçta hemen hemen ferritik yapı oluşur. İlerleyen soğuma ile ferritik tane sınırlarında ostenitik fazın çekirdeklenmesi başlar. Dolayısı ile, ostenit fazının oluşumu kaynak soğuma hızı ile sınırlanmaktadır. Azot ostenitin yeniden oluşmasında en etkin elementtir. Azotun diğer önemli bir rolü de ostenit ve ferrit fazları arasındaki farklılığı azaltarak metallerarası faz oluşum tehlikesini düşürmesidir. Azot özellikle ostenitik fazda korozyon direncini kuvvetli bir şekilde düzeltir. Duplex paslanmaz çeliklerin birleştirilmesinde ve dolgu pasolarında MIG kaynağı oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Koruyucu gaz olarak Ar+%1-3 oksijen, Ar+%1-3 karbondioksit, Ar+%30 He+%1-3 oksijen veya Ar+%15 He+%1-3 karbondioksit karışımları kullanılır.

KAYNAKLAR

- [1] **TÜLBENTÇİ, K.**, 1998. MIG/MAG Gazaltı Kaynak Yöntemi, Arctech Yayını, İstanbul.
- [2] **TUSEK, J., SUBAN, M.**, 2000. Experimental Research of The Effect of Hydrogen in Argon as a Shielding Gas in Arc Welding of High-alloy Stainless Steel, *International Journal of Hydrogen Energy* **25**, 369-376
- [3] **KALUÇ, E., TÜLBENTÇİ, K.**, 1998. Paslanmaz Çelikler ve Kaynaklanabilirliği, *Seminer Notları*, Kocaeli
- [4] **KALUÇ, E., SARI, N.Y.**, 1996. Paslanmaz Çeliklerin MIG Yöntemi ile Kaynağı, *Metal ve Kaynak* **73,74,75**, İstanbul
- [5] **ERYÜREK, İ.B.**, 1998. Gazaltı (MIG/MAG) Kaynağı, Askaynak Yayını, İstanbul
- [6] **CANİGENİŞ, N.**, 1999. Ostenitik Paslanmaz Çeliklerin MIG Kaynağında Kullanılan Değişik Gaz Bileşenlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli
- [7] **ANIK, S., ANIK, E., VURAL, M.**, 1993. 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt 2, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [8] **KALUÇ, E., URAL, M.**, 1995. Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkı ile Kesilmesi ve Birleştirilmesi, *Makine ve Metal Teknolojisi*, Cilt 4, **48**, İstanbul
- [9] **GÜLENC, B.**, 1995. MIG/MAG Kaynağında Koruyucu Gaz Karışımının Kaynak Metalinin Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- [10] **TÜLBENTÇİ, K.**, 1985. Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, *Böhler Kaynak Dünyası*, **11**
- [11] **OĞUZ, B.**, 1987. Karbonlu ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Divit Yayınevi, İstanbul
- [12] **Welding Handbook**, Volume 2, Welding Process, American Welding Society, 1991 U.S.A
- [13] **The Procedure Handbook of Arc Welding**, The Lincoln Electric Co., 1973 U.S.A
- [14] **ANIK, S., VURAL, M.**, Gazaltı Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı, İstanbul
- [15] **KOU, S.**, 1987. Welding Metallurgy, John Wiley Inc., U.S.A.
- [16] **KALUÇ, E.**, 1990. Ostenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağı, *Gedik Holding Kaynak Dünyası*, İstanbul

- [17] **ANIK, S.**, 1983. Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Ergör Matbaası, İstanbul
- [18] **ODABAŞ, C.**, 2002. Paslanmaz Çelikler, Askaynak Yayını, İstanbul
- [19] **www. bos. com. tr**
- [20] **LUCAS, W.**, 1992. Shielding Gases for Ark Welding, Welding and Metal Fabrication

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Almanya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bursa' da tamamladı. 1999 yılında, İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji Fakültesi'nden Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak mezun oldu ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı öğrencisi olarak yüksek lisans