

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KİMYASAL BİLEŞİMİ FARKLI SA 335 P91 / SA 106
GRADE B ÇELİKLERİNİN KAYNAKLI
BİRLEŞTİRME İŞLEMİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ARSLAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

Bölüm : MAKİNE TASARIM ve İMALAT

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADENİZ

Mayıs 2016

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KİMYASAL BİLEŞİMİ FARKLI SA 335 P91 / SA 106
GRADE B ÇELİKLERİNİN KAYNAKLI
BİRLEŞTİRME İŞLEMİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aykut ARSLAN

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
Bölüm : MAKİNE TASARIM ve İMALAT
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Erdal KARADENİZ

Bu tez 30/06/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**Yrd.Doç.Dr.
Erdal Karadeniz
Jüri Başkanı**



**Yrd.Doç.Dr.
Mehmet Türker
Üye**



**Doç.Dr.
Uğur Özaraç
Üye**



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Aykut ARSLAN

26.05.2016

TEŞEKKÜR

Başta annem ve babam olmak üzere tüm eğitim hayatım boyunca desteklerini her zaman hissettiren kıymetli aileme, arkadaşlarıma, öğretmenlerime ve yakın çevreme, ayrıca yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Erdal Karadeniz'e, teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
 BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Örtülü Elektrot Kaynağı (MMA-SMAW)	3
2.1.1. Kaynak devresi	3
2.1.1.1. Güç kaynağı (kaynak makinesi)	3
2.1.1.2. Elektrot pensesi ve kaynak kablosu.....	4
2.1.1.3. Örtülü elektrot	5
2.1.1.4. Şase kablosu ve pensesi.....	5
2.1.2. Ark gücü, sıcak başlama ve yapışmama mekanizmaları.....	5
2.1.3. Örtülü elektrotlar.....	6
2.1.3.1. Karakteristikler	6
2.1.3.2. Elektrot kategorileri.....	6
2.1.4. Örtülü elektrotlarla kaynak edilebilen malzemeler.....	9
2.2. Gazaltı TIG Kaynağı (GTAW).....	10
2.2.1. Kaynak devresi	11
2.2.1.1. Güç kaynağı (kaynak makinesi)	11

2.2.1.2. Torç ve torç kablosu	12
2.2.1.3. Kaynak telleri	12
2.2.1.4. Gaz tüpü ve basınç dönüştürücü	12
2.2.1.5. Şase kablosu ve pensesi	13
2.2.1.6. Su soğutma ünitesi	13
2.2.1.6. Koruyucu gazlar	13
2.2.1.7. Tükenmeyen elektrotlar	14
2.2.1.8. Ark başlatma sistemleri	14
2.2.1.9. TIG yöntemiyle kaynaklanabilen malzemeler	15
2.3. Kaynağın Isıl İşlemi	16
2.3.1. Eşdeğer karbon	20
2.3.2. Isıl gerilmeler	25
 BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	30
 BÖLÜM 4.	
TARTIŞMA ve SONUÇ	36
 KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	42

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: The American Society for Testing and Materials
CE	: Carbon Equivalent
DIN	: Deutsches Institut für Normung
EN	: European Standards
Gr A	: Kalite A
Gr B	: Kalite B
ITAB	: Isının Tesiri Altındaki Bölge
MIG	: Metal Inert Gas
MAG	: Metal Active Gas
TIG	: Tungsten Inert Gas
GTAW	: Gas Tungsten Arc Welding
SMAW	: Shielded Metal Arc Welding
PWHT	: Post Weld Heat Treatment
MMA	: Manuel Metal Arc Welding
DC	: Direct Current
AC	: Alternative Current

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Karbonlu Çeliklere Uygulanan Isıl İşlem Sıcaklıkları	23
Şekil 2.2.	Karbon Çeliğinin Kaynağında Isıl İşlem Gereksinimleri.....	23
Şekil 2.3.	Düşük Hidrojenli elektrot kullanılması halinde karbon çeliğinin kaynağında ısıtılma gereksinimi.....	24
Şekil 2.4.	Bir boruda yerel ısıtma düzeni.....	28
Şekil 3.1.	Yağlama işlemi kesit görünüşü.....	32
Şekil 3.2.	Yağlama işlemi sonrası taşlanan yüzey kesit görünüşü.....	32
Şekil 3.3.	Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B boruları kaynak ağzı görünüşü.....	34
Şekil 3.4.	Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B kaynaklı birleştirme paso sırası.....	35
Şekil 4.1.	Makro yapı fotoğrafı.....	37
Şekil 4.2.	Vickers sertlik ölçüm noktaları.....	39

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Örtülü Elektrotların özellikleri.....	8
Tablo 2.2.	Örtü çeşidine ve elektrot çapına göre akım ayarı.....	9
Tablo 2.3.	Soğuma Süreleri.....	21
Tablo 3.1.	Esas malzemeler ve kaynak malzemelerinin kimyasal bileşimleri (wt%).....	31
Tablo 3.2.	Yağlama işlemi kaynak parametreleri.....	33
Tablo 3.3.	Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B kaynaklı birleştirme parametreleri.....	35
Tablo 4.1.	Çekme deney sonuçları.....	38
Tablo 4.2.	Eğme deney sonuçları.....	38
Tablo 4.3.	Çentikli darbe deney sonuçları.....	38
Tablo 4.4.	Vickers sertlik deney sonuçları.....	39

ÖZET

Anahtar kelimeler: Farklı metallerin kaynağı, P91, 106 Grade B

Yüksek alaşımlı P91 çelik borular yüksek sürünme dayanımları, tokluk ve korozyon dayanımları nedeniyle enerji santrallerinde tercih edilmektedir. Yüksek alaşımlı P91 çelik boruların düşük karbonlu az alaşımlı 106 Grade B gibi çelik borulardan çevre üniteler ile bağlantıları çok karşılaşılan endüstriyel uygulamalardır. Her iki çeliğin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle, yüksek alaşımlı çelikler ile düşük karbonlu az alaşımlı çeliklerin kaynaklı birleştirme işlemleri çok kritik bir teknoloji içermektedir. Problemlerin çözümü için benzer özelliklere sahip olmayan bu tür çeliklerin kaynağı için endüstriyel uygulamalarda iki farklı metot uygulanmaktadır. Bu metotlardan birincisi, ara değer çeliklerden borular ile kademeli geçiş, ikincisi ise kaplamalı (buttering, yağlama) kaynak tasarımıdır.

Bu çalışmada, Ø 610 mm ve 17,47 mm cidar kalınlığında yüksek alaşımlı P91 çelik borular ile düşük karbonlu az alaşımlı 106 Grade B çelik boruların kaynak edilebilirliği kaplamalı (buttering, yağlama) kaynak tasarım metodu ile araştırılmıştır. P91 çelik boru yüzeyi P22 (ER90S-B3) çelik ile kaplanmış ve P22 ile 106 Grade B kaynaklı birleştirme için kaynak işlemleri tasarlanmıştır. Tasarım sonucu elde edilen kaynaklı birleştirme ürünlerinden makro yapı, çekme deneyi, eğme deneyi, çentikli darbe deneyi ve sertlik deneyi sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar standartlara uygun değerlerdir.

RESEARCH of DISSIMILAR WELDING FROM SA 335 P91 to SA 106 GR B STEELS WHICH HAS DIFFERENT CHEMICAL COMPOSITION

SUMMARY

Keywords: Dissimilar welding, P91, 106 Grade B

P91 is one of the most preferable alloyed steel at power plant projects because of its creep, toughness and corrosion strength. Welding of this high-alloyed steel to 106 Gr. B which is low alloyed carbon steel to connect to auxiliary system is a common faced industrial problem. That is why, it is critical and special process to weld this materials to each other. To solve the problem, there are two type of different methodology. The first one is gradual transition with similar pipes and the second approach is buttering.

In this study, we have researched weldability of P91 to 106 Gr. B by buttering method with using a test coupon has diameter of 610 mm and 17,47mm thickness. At first step, P91 has been clad by P22 (ER90S-B3) and weld has been performed between this P22 layer and 106 Gr. B. Condition of this weld beam was evaluated by macrography, tensile test, bend test, charpy notch test and hardness test. The results obtained from these tests are satisfactory according to international standards and codes.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yüksek sürünme dayanımı, tokluk ve korozyon dayanımı özelliklerinin önemli olduğu enerji santralleri benzeri endüstrilerde yüksek alaşımlı P91 çelik borular tercih edilmektedir [1]. Yüksek alaşımlı P91 çelik boruların düşük karbonlu az alaşımlı 106 Grade B gibi çelik borulardan çevre üniteler ile bağlantıları çok karşılaşılan endüstriyel uygulamalardır. Her iki çeliğin kimyasal bileşenleri ve mekanik özellikleri birbirinden oldukça farklıdır. Bu nedenle, yüksek alaşımlı çelikler ile düşük karbonlu az alaşımlı çeliklerin kaynaklı birleştirme işlemleri çok kritik bir teknoloji içermektedir [2-5]. Benzer olmayan malzemelerin mekanik, kimyasal ve ısı özellikleri farklılığı benzer olmayan malzemelerin kaynaklı birleştirme işlem tasarımı çalışmaları gerekliliğinin en önemli nedenidir [6].

P91 / 106 Grade B çelik boruların kaynaklı birleştirme işlemi de benzer olmayan malzemelerin kaynağı grubunda değerlendirilir. Özellikle P91 çeliklerindeki % 9 Cr nedeniyle ITAB değeri daha yüksek olmakta, çatlama ve kırılmalık meydana gelmektedir [3,7]. P91 / 106 Grade B çelik boruların kaynaklı birleştirme endüstriyel uygulamalarında, birçok metot ortaya koymak mümkün olabileceği gibi, bu birleştirme işlemi için öne çıkan iki yöntem vardır. Bunlardan biri kademeli boru geçişi işlemidir. Bu işlemde alaşımlı her iki malzemenin ortasında bulunduğunu söylemek mümkün olan P22 (% 2,6 Cr) malzemesinden bir çelik boru parçasının her iki malzemenin arasına montajının yapılması ve iki farklı kaynak yapılmasını gerektiren yöntemdir. Ancak burada ortaya çıkan sorun, ilaveten satın alma yapılması gereken farklı bir malzeme gerektirmesi, boyutsal etkilerinden dolayı tasarım değişikliği, ilave işçilik maliyetleri doğurması ve özellikle bu boruların temin edilmesinin ek süreler gerektirmesidir. Bir diğer metot ise bu iki malzemenin orijinal adıyla “Buttering” ya da Türkçeye yerleşmiş haliyle “Yağlama” işlemi ile başka bir boru parçasına ihtiyaç kalmaksızın birleştirilmesidir [8]. Burada kritik olan malzeme olan P91’in alaşımlı daha düşük ve 106 Gr. B ye daha yakın bir malzeme ile kaplanmasıdır. Her iki metot

içinde geçerli olan P91 çeliklerinin kaynağında hidrojenin etkilerini giderme vb. olumsuzluklar için ısıtma işlemlerinin, kaynak pasolarının, soğutma ve sonrası ısıtma işlemlerin kontrollü yapılması kaynaklı birleştirmenin başarısı için önemlidir [7].

Bu çalışmada, P91 / 106 Grade B çelik boruların yağlama metodu ile kaynaklı birleştirme işlemi için kaynak tasarımı araştırılmıştır. Araştırma kapsamında, P91 boru yüzeyinin kaplama malzemesi, ön ısıtma koşulları, kaynak ağzı, paso tasarımı ve kaynak sonrası ısıtma işlem koşulları çalışılmıştır. Tasarım sonucu elde edilen kaynaklı birleştirme ürünlerinden makro yapı, çekme deneyi, eğme deneyi, çentikli darbe deneyi ve sertlik deneyi sonuçları elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar standartlara uygun değerlerdir.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Örtülü Elektrot Kaynağı (MMA-SMAW)

Örtülü elektrot ile ark kaynağı, elektrik arkını ısı kaynağı olarak kullanan elle yapılan bir kaynak yöntemidir. Örtülü elektrot (elektrot pensesi ile tutulan) ile ana malzeme (kaynak edilecek malzeme) arasında oluşturulan ark, ana malzemenin ve örtülü elektrotun ergimesini sağlayan ısıyı ortaya çıkarır.

2.1.1. Kaynak devresi

2.1.1.1. Güç kaynağı (kaynak makinesi)

Güç kaynağının amacı, ana malzemeyle elektrot arasında oluşturulan elektrik arkı için yeterli miktardaki çıkış akımının, akım beslemesini sağlamaktır. Elektrot kaynağının çalışması sabit akım prensibindedir. Güç kaynağından sağlanan akım, kaynak işlemi esnasında operatörün el kontrolündeki elektrot ile ana malzeme arasındaki mesafenin değişmesine göre değişiklik göstermez. Güç kaynağının imalat prensibi ark uzunluğunun (kaynak esnasındaki, ana malzeme ile elektrotun ergimemiş ucu arasındaki uzaklık) değişiklik göstermesine rağmen kaynak akımının sabit kalması şeklindedir. Akımın sabit tutulması kararlı bir ark sağlar ve operatörün çalışmasını kolaylaştırır. Güç kaynağının içinde mekanik (manyetik şönt veya geçirgenliği belli dirençler) veya elektronik (SCR sistem veya inverter sistem) akım ayarlayıcıları vardır. Bu ayrımlar elektrot kaynak makinalarını imal teknolojilerine göre 3 grupta sınıflandırır. Bunlar elektro mekanik kaynak makinaları, Elektronik kaynak makinaları (SCR) ve Inverter kaynak makinalarıdır. Güç kaynakları akım çıkış kutuplama özelliklerine göre'de 2 kategoriye ayrılır:

- Alternatif Akım (AC) Güç Kaynakları

Güç kaynağı akım çıkış karakteristiği sinüs dalga şeklindedir. Zamana göre şiddetini ve yönünü değiştiren bu akım saniyede 50 veya 60 kez tekrarlanır. Transformatörler şebeke akımını, kaynak akımına dönüştüren elektro mekanik kaynak makinalarıdır.

- Doğru Akım (DC) Güç Kaynakları

Güç kaynağı akım çıkış karakteristiği sürekli (sabit) dalga şeklindedir. Bu karakteristik redresör tarafından şebeke alternatif akımının (AC), doğru akıma (DC) çevrilmesiyle edilir. Bu elektronik SCR ve Inverter güç kaynaklarının tipik çıkışıdır.

Şayet doğru akım (DC) güç kaynağı kullanılıyorsa, bundan sonraki sınıflandırma kaynak edilecek malzemenin kutuplama şekline göredir.

- Düz kutuplama

Düz kutuplamada kaynak kablosu ve elektrot pensesi güç kaynağının negatif (-) çıkışına, şase kablosu ve şase pensesi güç kaynağının pozitif (+) çıkışına bağlanır. Elektrik arkı, ısının malzeme üzerinde yoğunlaşarak ergimesini sağlar. Böylelikle elektrot ergiyerek kaynak ağzını doldurur ve ana malzemeye nüfuz eder.

- Ters kutuplama

Ters kutuplamada kaynak kablosu ve elektrot pensesi güç kaynağının pozitif (+) çıkışına, şase kablosu ve şase pensesi güç kaynağının negatif (-) çıkışına bağlanır. Elektrik arkı ısının elektrot ucunda yoğunlaşmasını ve ergimesini sağlar. elektrot çeşidine göre akım karakteristiği alternatif akım (AC) veya doğru akım (DC) ve doğru akımda kutuplamalar değişir. Yanlış akım karakteristiği veya kutuplamalarda elektrotun tutuşturulamaması, ark kararlılığının sağlanamaması veya kaynak kalitesinin uygun olmaması gibi problemler yaşanır.

2.1.1.2. Elektrot pensesi ve kaynak kablosu

Elektrot pensesinin ana fonksiyonu elektrotu sabitlemek ve uygun temasla akım geçirgenliğini sağlamaktadır. Aynı zamanda pense operatörün çalışma güvenliği için uygun elektriksel yalıtımı sağlamalı.

2.1.1.3. Örtülü elektrot

Örtülü elektrot, çekirdek ve örtü olmak üzere 2 kısımdan oluşur. Çekirdek elektrik akımını ana malzemeye ileten ve ısı etkisiyle ergiyerek kaynak ağzını dolduran ilave metaldir. Örtünün fonksiyonu ise kaynak banyosunu korumak ve kararlı bir ark oluşturmaktır.

2.1.1.4. Şase kablosu ve pensesi

Şase kablosu ve pensesi elektriksel devreyi tamamlamak için ana malzemeye yapılan güç kaynağı bağlantısıdır. Kaynak akımına göre uygun kablo kesiti ve uzunluğu seçilmelidir.

2.1.2. Ark gücü, sıcak başlama ve yapışmama mekanizmaları

Güç kaynağı kullanım özelliklerini geliştirici özel mekanizmaları kapsamalıdır. Bu mekanizmalar, ark gücü, sıcak başlama ve yapışmama özellikleri olarak tanımlanır.

Ark gücü; elektrotun ergiyerek ana metale geçişini kolaylaştırır. Elektrot ile kaynak banyosu teması sırasında arkın sönmesini önler. Sıcak başlama; her kaynak başlamasında akım kaynak için gerekli değerden daha yüksek tutularak ana malzeme ile elektrot arasında elektrik arkının oluşması kolaylaştırılır.

Yapışmama; elektrot ana malzemeye yapışacak gibi olur ise bu mekanizma güç kaynağını otomatik olarak anlık kapatır, böylece yapışma gerçekleşmez ve elektrot pensesinde olabilecek hasarlar önlenmiş olur.

2.1.3. Örtülü elektrotlar

2.1.3.1. Karakteristikler

Örtülü elektrotlar çekirdek ve örtüden oluşur. Çekirdek metal iletken çubuktur aynı zamanda ergiyerek kaynak ağzını dolduran ilave metaldir. Çekirdek olarak kullanılan malzeme ana malzemeye bağlıdır. Karbonlu çelikler için çekirdek malzemesi düşük karbonlu çeliktir. Kaynak sırasında çekirdek örtüden önce ergir. Örtü birçok özellik bakımından elektrotun en önemli kısmıdır. Ana fonksiyon olarak kaynak banyosunu atmosferin kötü etkisinden korur. Örtü, gaz haline geçerek kaynak bölgesinde atmosferin yerini alır, böylelikle kaynak banyosunu ve elektrotun ucundaki ergiyen bölgeyi atmosferin kötü etkisinden korur. Ergiyerek kaynak banyosunun üzerini kaplayarak yüzer ve katılaşır.

Ergimiş metali istenmeyen kirliliklerden (elementlerden) temizleme özelliği vardır. Örtü içinde, malzeme içindeki istenmeyen elementlerle bileşke oluşturarak cürufa geçen elementler vardır. Böylece kaynak banyosu istenmeyen elementlerden temizlenmiş olur. Kaynak metalinin karakteristiklerine göre örtü tipinin seçimi önemlidir. Örtü bazen metal parçacıklarını da içerir, bunlar ergiyerek kaynak banyosuna geçer ve kaynak banyosuna geçen metal miktarı artmış olur. Bu elektrotlar yüksek verimli elektrotlar olarak adlandırılır.

2.1.3.2. Elektrot kategorileri

Pazarda çeşitli örtü tiplerinde elektrotlar satılır ve bunların kimyasal kompozisyonları ark kararlılığına, nüfuziyet derinliğine, kaynak malzemesi miktarına ve kaynak banyosu kalitesine etki eder. Örtü karakterine göre ana elektrot çeşitleri aşağıdaki gibidir.

- Asit Örtülü Elektrotlar

Bu elektrotların örtüleri demir oksit, mangan ve silis alaşımlı demir içerir. Alternatif ve doğru akım karakteristiklerinin her ikisinde de iyi ark kararlılığı sağlarlar. Akışkan

kaynak banyolarından dolayı pozisyon kaynaklarına uygun değildir. Bundan başka ana metali temizleme özellikleri iyi olmadığı için kaynak metalinde çatlak oluşumu gözlenir. Yüksek kurutma sıcaklıklarına dayanıklı olmadıkları için kaynak metalinin nem kapma ve hidrojen çatlak riski vardır.

- Rutil Örtülü Elektrotlar

Bu elektrotların örtüleri rutil (% 95 Ti O₂) olarak adlandırılan, minerali içerir. Örtü en uygun ark kararlılığını ve kaynak görüntüsünde etkili olan yüksek kaynak banyosu akışkanlığını sağlayan bir bileşkedir. Rutil örtünün fonksiyonu yumuşak bir ergime sağlamak ve kaynak üzerinde akışkan olan bol bir cüruf tabakası oluşturmak. Bu durumda dikiş düzgün bir görünümündedir. Ancak örtü etkili bir temizleyici değildir. Böylece ana metalin fazla miktarda istenmeyen element içermeyen hallerinde tercih edilir. Elektrotların tam olarak kurutulamamasından dolayı kaynak metalinde hidrojen ortaya çıkması ve hidrojen çatlak oluşurma olasılığı vardır. Bazı uygulamalarda rutil diğer örtü çeşitlerindeki bileşenlerle, rutil-selülozik veya rutil-bazik gibi bileşkeler yapabilir. Bunların amacı kararlı bir ark ile daha performanslı kaynaklar elde etmek için örtülerin avantajlarını ortak olarak en uygun seviyede kullanmaktadır. Ark kararlılığı bu elektrotların alternatif akım ve doğru akım düz kutuplama kullanımına uygundur. Genel olarak ince malzemelerde kullanılır.

- Selülozik Örtülü Elektrotlar

Bu elektrotların örtüleri ana olarak selüloz ve (Mn ve Si içeren) demir alaşımı içerir. Örtü büyük ölçüde gaz haline geçer ve dikey eksende kaynak yapma olanağı sağlar. Diğer tip örtü karakteristiğindeki elektrotlarla dikey kaynak yapmak zor veya olanaksızdır. Örtünün gaz haline geçişi kaynaktaki cüruf miktarını azaltır. Örtünün kimyasal kompozisyonundan dolayı ortaya çıkan yüksek hidrojenden ötürü ana metalin ergime miktarlarından sıcak kaynak banyosu sağlanır böylelikle az cürufllu yüksek nüfuziyetli kaynak banyoları elde edilir. Mekanik özellikler en uygun durumdadır. Soğuma esnasında kaynak bölgesindeki cürufun azlığından dolayı kaynak dikiş görüntüsü çok güzel değildir. Doğru akım ters kutuplamada zayıf ark kararlılığı görülür.

- Bazik Örtülü Elektrotlar

Bazik elektrotların örtüleri kalsiyum karbonat ve kalsiyum florür ve diğer toprak alkali metallerin karbonatlarından oluşur. Ana malzemeyi temizleme kapasitelerinin yüksek olmasından dolayı bu tür elektrotlarla yüksek kalite ve mukavemetli kaynak dikişleri elde edilir. Yüksek kurutma sıcaklıkları mümkün olduğu için kaynak öncesi kullanılacak elektrotların kurutulması halinde kaynak metalinin hidrojen kapma olasılığı düşüktür. Florür arkı kararsızlaştırır ve kaynak banyosu akışkanlığını düşürür, metal transferi iri damlacıkların kısa devre metal geçişi şeklindedir. Örtünün gaz haline geçişi az olduğundan ark daha düşük aralıklarda (ana metal, elektrot arası mesafe) oluşur, bunun sonucunda daha deneyimli kaynakçılara ihtiyaç duyulur. Kaynak üzerinde yoğun bir cüruf tabakası elde edilir ve bir sonraki paso yapılmadan tamamen temizlenmelidir. Yatay, dikey ve tavan pozisyonları için uygun elektrotlardır.

Doğru akım, düz kutuplama genel kullanım akım karakteristiğidir. Alternatif akım (AC) ve doğru akım ters kutuplama akım karakteristiklerinde de kullanılabilen elektrotlar vardır. Yüksek verimlilik ve kalitedeki kaynak dikişlerinden dolayı kalın parçaların kaynağından tercih edilir. Bu tür elektrotların nem kapma özelliklerinden dolayı kuru bir yerde depolanmaları önerilir. Şayet gerek depolama şartları gerekse kullanım şartlarında elektrotların nem kapması durumunda elektrotlar kullanım öncesi üretici firmaların önerileri doğrultusunda mutlaka kurutulmalıdır.

Tablo 2.1. Örtülü Elektrotların Özellikleri

ÇEŞİT	AVANTAJI	DEZAVANTAJI	UYGULAMA
Asit	* düşük maliyet * kararlı ark * AC ve DC'de kullanım * kolay temizlenen cüruf * yüksek deoksidant	* akışkan kaynak * zayıf temizleme özelliği * yüksek hidrojen çıkışı * cüruf tekrar erimez	* yatay kaynak * düşük karbonlu çeliklerde * uygun mekanik özelliklerde düşük maliyetli kaynak

Tablo 2.1. (Devamı)

Rutil	* düşük maliyet * kararlı ark * AC ve DC'de kullanım * güzel görünümlü kaynak dikişleri * kolay tutuşma * kolay depolama	* akışkan kaynak * zayıf temizleme özelliği * yüksek hidrojen çıkışı	* yatay kaynak * düşük karbonlu çeliklerde * uygun mekanik özelliklerde güzel görünümlü kaynaklar (çatlak oluşma riskli kaynaklar)
Selülozik	* yüksek nüfuziyet * kolay çalışabilme * az cüruf	* DC güç kaynağı * düzensiz kaynak dikişi * yüksek hidrojen çıkışı	* bütün kaynak pozisyonlarında * boru kaynaklarında * düşük karbonlu çeliklerde * dar kaynak ağızlarında
Bazik	* mükemmel malzeme temizliği * çok düşük hidrojen çıkışı * soğuk kaynak banyosu	* düşük kararlı ark * cüruf tekrar ergimez ve temizliği çok zor * kısa devre ark geçişi ve çalışma zorluğu * tutuşturma zorluğu * DC güç kaynağı * zor depolama	* kalın malzemelerin, bütün pozisyonlarında kullanılabilme * yüksek metal yığılma * yüksek mekanik özelliklerdeki kaynak dikişler

Tablo 2.2. Örtü çeşidine ve elektrot çapına göre akım ayarı

ORTALAMA KAYNAK AKIMI (A)							
Elektrot çapı-mm	1,60	2,00	2,50	3,25	4,00	5,00	6,00
Asit	-	-	-	100-150	120-190	170-270	240-380
Rutil	30-55	40-70	50-100	80-130	120-170	150-250	220-370
Selüloz	20-45	30-60	40-80	70-120	100-150	140-230	200-300
Bazik	50-75	60-100	70-120	110-150	140-200	190-260	250-320

2.1.4. Örtülü elektrotlarla kaynak edilebilen malzemeler

Çelik kompozisyonu kolayca tanımlanabiliyorsa rutil örtülü elektrotlar kolay tutuşma, kullanım ve güzel kaynak dikişi görüntüsü özelliklerinden dolayı kullanılabilir. Pratikte orta ve yüksek karbonlu çeliklerin ($> 0.25 \%$) kaynağında yapısal hatalarla karşılaşılabilirdiği için orta ve kalın parçaların kaynağında bazik elektrotlar tercih edilir. Bu durumda yüksek kalitede ve mekanik değerlere sahip kaynaklar elde edilir. Çelik boru kaynaklarında yüksek nüfuziyet ve elektrot çalışma kapasitelerinden dolayı selülozik elektrotlar kullanılır. Ana malzemeye kaynak ağzı açılmalı, kaynak ağzı açısı elektrotun kaynak bölgesine girişine izin verecek şekilde olmalıdır.

Paslanmaz çelikler, alüminyum ve alaşımları, bakır ve dökme demirler gibi özel metallerde özel elektrotlar kullanılarak kaynak yapılabilir. Paslanmaz çelikler, doğru akım ters kutuplamada kaynatılır. Ana Malzemenin kimyasal kompozisyonuna uygun özellikte elektrotlar kullanılmalıdır.

Alüminyum ve alaşımları doğru akım ters kutuplamada kaynak yapılır. Makina elektrotun tutuşturulmasını sağlamalıdır. Ana malzemeye uygun geliştirilmiş elektrotlar kullanılmalıdır.

Dökme demirler doğru akım ters kutuplamada kaynak yapılır. Dökme demirlerde kaynak, döküm hatalarını (boşluklarını) kapatmak veya tamir – bakım amaçlı kullanılır. Dökme demirlere uygun özel elektrotlar kullanılmalıdır.

2.2. Gazaltı TIG Kaynağı (GTAW)

Soy gaz koruması altında ergimeyen tungsten elektrot ile yapılan ark kaynak yöntemi (TIG veya GTAW olarak adlandırılır) kaynak için gerekli ergime ısısının ana malzeme ile ergimeyen elektrot arasındaki elektrik arkıyla oluşturulduğu yöntemdir. Elektrik akımını ileten elektrot tungsten veya tungsten alaşımıdır. Kaynak bölgesi, kaynak banyosu ve tungsten elektrot havanın kötü etkisinden torç'tan kaynak bölgesine

gönderilen soy gaz ile korunur. Bu yöntemde ana malzemeler ergitilerek ilave metal kullanarak veya kullanmadan kaynak yapmak mümkündür.

2.2.1. Kaynak devresi

2.2.1.1. Güç kaynağı (kaynak makinesi)

Güç kaynağının amacı ana metal ile tungsten elektrot arasında oluşturulan elektrik arkı için ark akımının devamlılığını sağlamaktır. Güç kaynağının içinde mekanik (manyetik şönt) veya elektronik (tristör veya inverter sistem) akım ayarlama mekanizmaları vardır. Güç kaynaklarını 2 kategoriye ayırabiliriz.

- Alternatif akım (AC) güç kaynakları

Güç kaynağından, güç kaynağının çeşidine göre kare dalga çıkış akımı sanayide 20 ile 200 kez veya daha fazla tekrarlanacak şekilde alınabilir. Bu şebekedeki alternatif akım, sinüs dalganın bir veya iki mekanizmayla kare dalga kaynak akımına çevrilmesiyle elde edilir.

- Doğru akım (DC) güç kaynakları

Güç kaynağı akım çıkış karakteristiği sürekli (sabit) dalga şeklindedir. Bu karakteristik redresör tarafından şebeke alternatif akımının (AC), doğru akıma (DC) çevrilmesiyle edilir. Şayet doğru akım (DC) güç kaynağı kullanılıyorsa, bundan sonraki sınıflandırma kaynak edilecek malzemenin kutuplama şekline göre yapılır.

- Düz kutuplama

Düz kutuplamada kaynak kablosu ve elektrot pensesi güç kaynağının negatif (-) çıkışına, şase kablosu ve şase pensesi güç kaynağının pozitif (+) çıkışına bağlanır. Bu durumda elektronlar elektrottan ana malzemeye doğru akarak ergime sağlanır. Bu TIG yönteminde en sık kullanılan akım sistemidir, alüminyum gibi hafif metaller hariç diğer kaynaklanabilen malzemelerin kaynağında iyi kaynaklanabilirlik sağlar. Doğru akım düz kutuplamada ters kutuplamaya göre dar ve derin, nüfuziyetli kaynaklar elde edilir.

- Ters kutuplama

Düz kutuplamada kaynak kablosu ve elektrot pensesi güç kaynağının pozitif (+) çıkışına, toprak kablosu ve toprak pensesi güç kaynağının negatif (-) çıkışına bağlanır. Bu tür güç kaynağı çok nadiren kullanılır. Çünkü nüfuziyeti çok düşük, yayvan kaynaklar elde edilir. Ters kutuplamada ısı elektrotun üzerinde yoğunlaştığından dolayı, elektrotun yanmaması ve zarar görmemesi için çok düşük akım değerleri seçilmelidir. Bu nedenden dolayı çok nadir kullanılır.

2.2.1.2. Torç ve torç kablosu

Torç elektrik arkını oluşturacak tungsten ucu sabitleyici fonksiyonundadır ve torç kablosuna birleştirilmiştir. Torç kablosu kaynak koruyucu gazı gerektiğinde soğutma hortumlarını ileten ve elektriksel kabloların makinayla irtibatını sağlayan düzenektir. Kullanım amacına göre torçlar gaz soğutmalı veya su soğutmalıdır. Kaynak akımının 200 ampere kadar olduğu kullanımlarda gaz soğutmalı, 200 – 500 ampere kadar olduğu kullanımlarda ise su soğutmalı torçlara ihtiyaç duyulur.

2.2.1.3. Kaynak telleri

Malzeme cinsi, malzeme kalınlığı, birleşme dizaynı ve kaynaktan istenen özellikler ilave metal seçiminde göz önünü alınması gereken özelliklerdir. Bazı durumlarda ilave metale ihtiyaç duyulmayabilir. İlave metal ana malzeme ile benzer kimyasal özelliklerde ve kaynak banyosunda aynı özellikleri sağlayacak şekilde olmalıdır.

2.2.1.4. Gaz tüpü ve basınç dönüştürücü

Sistem şunları içermektedir.

- Gaz tüpü (Koruyucu gaz olmalı ve akış sırasında torcu soğutmalı)
- Basınç düşürücü
- Tüpün içindeki gaz miktarını gösteren basınç manometresi
- Gaz akış miktarını gösteren manometre
- Kaynakçının ihtiyacına göre gaz akışını kontrol etmesine yarayan valf

2.2.1.5. Şase kablosu ve pensesi

Şase kablosu ve pensesi elektriksel devreyi tamamlamak için ana malzemeye yapılan güç kaynağı bağlantısıdır. Kaynak akımına göre uygun kablo kesiti ve uzunluğu seçilmelidir.

2.2.1.6. Su soğutma ünitesi

Su soğutma ünitesi torcu soğutmaya yarayan düzendir. Yüksek kaynak akımı değerlerindeki çalışmalarda torç su ile soğutulurak aşırı ısınması önlenir. Su, soğutma ünitesi içindeki devir daim pompası ile torç içinde sürekli olarak dolaşır.

2.2.1.7. Koruyucu gazlar

Koruyucu gazların ana amacı kaynak bölgesinde havanın yerini alarak kaynak banyosunu havanın kötü etkisinden korumaktır. İlave metalin (şayet kullanılıyor ise) ucu gaz koruması içinde olmalıdır. Koruyucu gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri ana malzemeye göre kaynak metalinde farklı etki gösterir. Argon, helyum, argon-helyum veya argon-hidrojen karışımları TIG kaynağında kullanılan koruyucu gazlardır. Koruyucu gazlarda en önemli özellik bu gazların olabildiğince saf olmasıdır. Şayet gazların içinde herhangi istenmeyen bir kirlilik söz konusu olur ise bu durum kaynak metalinde kalitesizlikler ortaya çıkarabilir. Argon korumasında yapılan kaynaklarda ark kararlıdır ancak kaynak banyosu soğuktur, bu nedenden ötürü ince parçaların kaynağı için uygundur.

Argon genel kullanım gazıdır. Çünkü helyuma göre çok ucuzdur. Helyum korumasıyla yapılan kaynakta ortaya çıkan ısı argona göre daha yüksektir. Bu nedenden ötürü yüksek ısı iletkenliğe sahip malzemelerin kaynağında helyum kullanılmalıdır.

Helyum havada daha hafif bir gaz olduğu için kaynak banyosunda yeterli korumayı sağlamak için argon gazına göre daha fazla miktarda kullanmak gereklidir. Ar – He karışımları gaz korumasından ortak koruma özellikleri istendiğinde kullanılır.

2.2.1.8. Tükenmeyen elektrotlar

Satılan çok çeşitli tükenmeyen elektrot vardır.

- Saf tungsten elektrotlar:

Bu elektrotlar düşük akım şiddetlerinde ve ark daha kararlı olduğu için alternatif akımda kullanılır. Maliyet olarak en ucuz elektrotlardır.

- Tungsten – toryum elektrotlar:

Bunlar yüksek akım şiddetlerine dayanıklıdır. Arkın başlaması kolaydır ve ark kararlıdır. Bu elektrotlar çeliklerin doğru akım düz kutuplamalarında tercih edilir.

- Tungsten – zirkonyum elektrotlar:

Bu elektrotlar alüminyum, magnezyum ve alaşımlarının düşük ve orta akım şiddetlerindeki elle yapılan (manuel) kaynaklarında tercih edilir.

- Seryum elektrotlar:

Yüksek elektron yayılımı ve iyi nüfuziyet sağlayan, aşınma dirençli elektrotlardır.

2.2.1.9. Ark başlatma sistemleri

- Yüksek frekans ile arkı başlatma

Ark yüksek frekans ünitesi tarafından oluşturulur. Bu mekanizma, arkı belli bir mesafeden oluşturabilecek en düşük güç kaynağı şeklinde olmalıdır. Yüksek frekans ile başlatmada üzerinde akım komut tetiği bulunan genel kullanım torçlarına ihtiyaç duyulur.

- Pilot arkı ile arkı başlatma

Ark tungsten elektrot ile torç nozulu arasında oluşturulur. Düşük akım ile oluşturulan bu ark, kaynak arkının başlaması için iletken bir bölge meydana getirir ve kaynak arkı başlar.

- Temas ettirip kaldırarak arkı başlatmak

Tungsten elektrot malzemeye temas ettirilir, bu konumda sistemde tungsten elektrota zarar vermeyecek ancak ısınmasını sağlayacak bir akım söz konusudur. Tungsten elektrotu kaldırarak malzemeye temasını kestiğimiz zaman makina bunu kısa devre olarak algılar ve akımı kaynak akım değerine yükseltir. Teması kestiğimiz an yapılan ateşlemeyle ark oluşur. Sistemde yüksek frekans yoktur.

- Sürtme ile arkı başlatma

Burada ark tungsten elektrotun malzemeye sürtülmesiyle (kibrit yakar gibi) oluşan kısa devre sonucunda başlar. Kaynak kalitesi açısından uygun değildir. Tungsten elektrottan sürtme ve yüksek ısı sonucunda kopan parçalar kaynak metaline geçerek çatlak oluşumuna sebep olur.

2.2.1.10. TIG yöntemiyle kaynaklanabilen malzemeler

Bu yöntem ana olarak paslanmaz çeliklerin, alüminyum ve alaşımlarının, titanyum ve alaşımlarının, nikel ve bakır kaynağında kullanılır. Paslanmaz çelikler doğru akım elektrot negatif (-) kutuplamada kullanılır.

Malzeme kalınlığının 2.5 mm ‘ ye kadar olduğu durumlarda ilave metal olmaksızın kaynak yapılabilir. Daha kalın malzemelerde ana malzemeye uygun kaynak ağzı açılmalı ve uygun çaplı ilave metal kullanılmalıdır.

Paslanmaz çelikler ile yapılan imalatlarda bunlara uygun yardımcı imalat malzemeleri, paslanmaz tel fırça gibi, kullanılmalıdır.

Alüminyum ve alaşımları alternatif akımda kaynak edilir. Güzel kaynak dikişleri için yüksek frekanslı güç kaynaklarına ihtiyaç duyulur. Şayet malzeme yüzeyinde yüksek oksidasyon söz konusu ise mekanik (fırça veya taşlama) veya kimyasal temizlemeyle bu oksidasyon tabakası temizlenmelidir. Benzer şekilde malzeme kalınlığının 2.5 mm 'ye kadar olduğu durumlarda ilave metal olmaksızın kaynak yapılabilir. Daha kalın malzemelerde ana malzemeye uygun kaynak ağzı açılmalı ve uygun çaplı ve uyumlu ilave metal kullanılmalıdır.

Karbonlu çelikler ve çelik alaşımlarında, nikel ve nikel alaşımlarında, bakır ve bakır alaşımlarında, titanyum ve değerli metallerde argon atmosferinde doğru akım düz kutuplama kullanılır.

2.3. Kaynağın Isıl İşlemi

İç bakiye gerilmeler takım tezgahları, takım ve aparatları, yüksek hız dişli kutuları gibi büyük çalışma hassasiyetini gerektiren konstrüksiyonlarda hiçbir suretle istenmezler. Zira bunlar işleme (talaşlı) sırasında distorsiyona daha sonra da 'sürünme' ye neden olabilirler. Bunların dışında, herhangi bir kırılmasının insan yaşamı için tehlike arz edeceği basınçlı kaplar ve benzeri konstrüksiyonlar, gerilme korozyonu çatlağının vaki olabileceği bazı kimyasal madde kapları, bakiye iç gerilmeleri makul bir ölçüde yok edecek bir gerilim giderme ısı işlemine tabi tutulacaktır.

Çelikte 150 °C sıcaklık yükselmesi, tam rijit bir konstrüksiyonda kalıcı gerilmelerin oluşması için yeterlidir. Sıcaklık 300 °C civarına vardığında, işbu kalıcı gerilmeler akma sınırı mertebesine varırlar. Buradan da gerilim giderme işleminin önemi bir kez daha anlaşılmış olmaktadır şöyle ki kaynak dikişinde koşullar bundan da daha olumsuzdur. Gerçekten, dikişin iki yanındaki ana metal bölgeleri, kaynak sırasında ileri derecede ısınırlar (ITAB). Soğumada buraları çekerler ancak bu çekme kaynak metalinkinin ters yönünde olur. Dolayısıyla ana metal, dikiş içindeki gerilmeleri daha da artırıcı bir davranış içindedir. Hatta ana metalin, dikiş içindeki gerilme payı %90'a varır.

Kaynağın ısıtma işlemi, biri “hazırlık” döneminde, ikincisi doğruca kaynak işlemi sırasında, son üç tanesi de kaynak sonrasında uygulanan işlemlerin tümünü içine alan bir genel deyim olup bunlar;

- Ön ısıtma
- Pasolar arası sıcak tutma
- Son ısıtma
- Gerilim giderme tavlama
- Rejenerasyon ve normalizasyon tavlama

Bir kaynak işleminde bunların mutlaka hepsinin uygulanması gerekmez. Koşullara göre bunların bir veya birkaçı ya da tümüne başvurulur. Bazen de hiçbiri gerekmez. Bu hususlara karar vermek, bu kaynak işleminden sorumlu kişinin önemli bir olgudur. Aşağıda bunlara dair özet bilgiler verilecektir.

Kaynağın esas itibarıyla, bir ısıtma darbe olduğunu daha başlarda ifade etmiştik. Gerçekten bu “darbe”, kaynak dikişi çevresinde sıcaklık dağılımının çok “sert”, başka deyimle ısı gradyanının çok dik olmasına, soğuma hızının büyük olmasına götürür ki bu olgular iç gerilmelerin ve çarpılmaların bazen aşırı ölçülere kadar varmasını sonuçlandırır. Bu itibarla:

Ön ısıtma, ısıyı yaymakla her şeyden önce, kaynak işlemi sırasında ideal olarak gerçekleştirilmesine çalışılacak ısıtma dengesinin bir ölçüde oluşmasına yardımcı olur; kaynak dikişi çevresinde sıcaklık dağılımı böylece yumuşayınca ve dikişin soğuma hızı azalınca, iç gerilme ve bunun sonucu çarpılmalar bir ölçüde azalır. Konstrüksiyon şeklinin, dikişin serbestçe çekmesini önlediği durumlarda ön ısıtma daha da büyük önem kazanır.

Dikiş sıcaklığının, sert ve kırılğan bir yapıya sahip martenzitin oluşma sınırına inmesini geciktirmekle ön ısıtma, ferrit, perlit, ve beyritin dönüşümlerine zaman kazandırır.

Ayrıca sıcaklık, hidrojen yayılması içi gerekli sınır düzeyin üzerinde tutularak, dikişin hidrojeni hapsetmiş olması halinde, bu gazın dikişi terk etmesi sağlanır. Böylece de kaynak sonrası gerilim giderme gereksinimi hafifletilmiş olmaktadır.

Kaynak kabiliyeti, bir metalin bilinen kaynak yöntemleriyle, çatlaksız ve mekanik açıdan memnuluk verici kaynaklı birleşmeye, çok aşırı önlemlere başvurmada, olanak veren ana metalle kaynak metalinin (elektrotun ya da çubuğun) bileşik bir temel niteliği olarak tanımlanır. Kaynak kabiliyetinin tanımlanması için çok çeşitli deney türleri mevcuttur.

Yukarıda da söylendiği gibi kaynak yöntemi çeliğin metalürjik yapısı ve sünekliği üzerinde etkili olur. Şöyle ki, demir-karbon diyagramına bakıldığında, kaynak sıcaklıklarının üst kritik noktanın üstünde olduğu görülür. Kaynaklı bölgeye komşu soğuk malzemenin hızlı soğutucu etkisi nedeniyle de soğuma hızları göreceli olarak yüksek olur. Çok yüksek bir soğuma hızı elde edilebilirse, malzemenin, yapısını değiştirmeye vakti olmayacak, oda sıcaklığında, üst kritik noktanın üstünde edinmiş olduğu östenitik yapıyı ve beraberinde bunun sünekliğini muhafaza edecektir.

Adi karbonlu çeliklerle yeterli ölçüde yüksek soğuma hızları elde edilemeyip östenit muhafaza edilemez. Bununla birlikte kaynaktan sonraki normal soğuma tempoları, malzemenin perlit içeren ilk yapısına dönüşünü imkansız kılacak kadar fazla yüksek olduğundan martenzit oluşacaktır.

Ana metalin hasıl ettiği su alma etkisinin değerlendirilmesi hususunda sınırların akılda tutulması gerekir. Kalın levhalarda kaynak çevresindeki bölgeler, ince levhalara göre, daha yavaş ısınır ve kaynaktan sonrada daha hızlı soğur. Bir kalın levhada metal kitlesi büyük olduğundan ana metalin sadece kaynağa doğruca komşu küçük bir bölümü kaynak sıcaklığına ısınacaktır ve yine geniş ısı iletim kesiti dolayısıyla bu ısı, kaynağın bitiminden sonra hızla dağılacaktır.

Geniş kesitlerin kaynağında yüksek akım şiddetleri kullanılarak elde edilen büyük ısı girişi, kaynak edilecek malzemelerin daha çabuk ısıtılmalarının ötesinde, bunların

soğuma tempolarını yavaşlatmaya yarar. Bu aynı amaçla köşe kaynaklı olarak birleştirilecek levhaların kalınlığına göre belli bir minimum ölçünün üstünde tutulur ve ergiyecek yüzeylere, belli bir minimum sıcaklık tayin edilir. Bu sıcaklığın altında kaynağa başlanmaz ve adına da ön ısıtma sıcaklığı denir.

Çarpılmaların hasıl olup gerilmelerin kaynak ısısı tarafından meydana gelmesi halinde kaynak ve buna komşu malzemenin sünekliği birinci derecede önemli olmaktadır. Alçak karbonlu (%0,25 C'a kadar) çeliklerin kaynaktan sonraki sünekliği genellikle yeterince yüksek akma noktaları en üst kopma mukavemetinin iyice altında olur ki kaynak ısı genleşme ve büzölmelerinin meydana getirdiği şekil bozulmalarına, çatlak arz etmeden dayanmak üzere yeterince akacaktır. Bununla birlikte büyük kalınlık farkına haiz iki levhanın birbirine kaynağında farklı ısınma ve soğuma tempoları kaynağı çok ağır bir şekil bozulmasına uğratabilir ve çatlama meydana gelebilir. Bu tür zorlukların üstesinden gelmek için daha büyük malzeme kitlesini uygun bir ön ısıtmaya tabi tutarak kaynaktan sonra soğuma döneminde konstrüksiyonun değişik bölümlerindeki çekme miktarı eşitlenir.

Ancak, alçak karbonlu çeliklerden başka çeliklerin kaynağı bahis konusu olduğunda sorun daha güçleşir. Bir yüksek kopma mukavemetli çeliğin kaynak kabiliyeti, içerdiği karbon ve sair alaşım elementlerinin oranı arttıkça azalır; bunda karbonun etkisi, öbür elementlerinkinden çok daha fazladır. Çeliğin içerdiği karbon, manganez, nikel, krom, molibden, bakır ve sair element miktarı ne kadar artarsa kaynaklı birleşme o denli sert olmaya meyleder ve bu sertleşmiş bölgede çatlak oluşumu eğilimi de o denli fazla olur.

2.3.1. Eşdeğer karbon

Çeliğin kaynak kabiliyeti üzerinde yapılmış etütler “eşdeğer karbon” kavramına götürmüştür, şöyle ki çeliğin kaynak kabiliyeti üzerinde karbon ve öbür alaşım elementlerinin etkisi bu eşdeğer karbon oranıyla belirlenmiştir.

Eşdeğer karbon için çeşitli koşullarda dikkate alınarak birçok formül teklif edilmiş olup bunlardan bir ortalama olanı Dearden ve O’Neill’inkidir:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15}$$

Burada C_e , yüzde olarak eşdeğer karbon ve C, Mn, Cr, Ni, Mo, V, Cu ve P de sırasıyla karbon, manganez, krom, nikel, molibden, vanadium, bakır ve fosfor, sadece her birinin yüzdesi 0,05 ‘ i aştığında hesaba alınırlar.

$C_e < 0,45$ için kaynak kabiliyeti göreceli olarak iyidir. $C_e > 0,45$ için özel önlemler gerekli olur ve aşağıdaki sıcaklıklarda bir ön ısıtma genellikle uygulanır:

$$C_e = \%0,45 - 0,5 \text{ için } 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_e = \%0,5 - 0,55 \text{ için } 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_e = \%0,55 - 0,6 \text{ için } 200 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Her ne kadar uygun kaynak süreci ve yukarda sayılan işlemler çoğu kez istenilen sonuçları verirse de bazen özel kaynak malzemesi gerekebilir. Özellikle alaşımlı çelikler kaynak edildiklerinde, kaynak dikişi çatlamasından kaçınmak için 200 °C’lik bir ön ısıtma ve/veya alçak hidrojenli (LH) (bazik) elektrot kullanmak gereklidir. Zira bu çatlama, bildiğimiz gibi, hidrojenin çok olumsuz etkisinden ileri gelir.

Pasolar arası sıcak tutma. Ön ısıtmanın uygulandığı durumlarda bu sıcaklığın pasolar arasında muhafazası gerekir. Mamafih, çoğu kez sürekli olarak yürütülen kaynaklarda kaynağın kendi ısısı dikişi istenilen sıcaklıkta tutmaya yeterli olur. Aksi halde dışarıdan ısı verilmesi gereklidir. Konumuz olan el kaynağında, çok pasolu çalışmak, kaynak ağzını geniş tutmak ve çalışmayı aralıksız sürdürmek, kalın elektrotlu yüksek

akım şiddeti kullanmak, yavaş ilerleme hızı ile çalışmak, elektroda sıkıntı vermek gibi önlemler, dışarıdan ısı vermek gereksinimini ortadan kaldırabilir.

Ön ısıtma yapılmamış soğuk bir metal kitlesi üzerinde başlatılan kaynağın soğuması önceleri çok hızlı olur. Örneğin kalın kesitler üzerine atılan kısa punta kaynaklarında genellikle çatlama olur. Aşağıdaki rakamlar 19 mm (3/4 ‘’) kalınlıkta çelik levha üzerine çekilen tek pasoda değişik uzunlukta dikişlerin 870 °C ‘ a soğuma sürelerini verir:

Tablo 2.3. Soğuma Süreleri

Dikiş Uzunluğu (mm)	Soğuma Süresi (Dak)
63	1,5
100	5
225	33

Son ısıtma, pasolar arası sıcak tutma için dışarıdan verilen (ya da doğrudan kaynak işleminin sağladığı) ısıнын kaynağın bitiminde de bir süre sağlanmasına verilen addır. Havada soğumayla sertleşen çelikler (yüksek karbon eşdeğerli çelikler), kaynaktan hemen sonra soğumaya terk edildiklerinde, sıcaklık ön ısıtma derecesinin altına indiğinde çatlaklar ortaya çıkabilir. Bunu önlemenin iki yolu vardır:

Kaynak biter bitmez, dikişin soğumasına zaman bırakmadan gerilim giderme tavlmasına girişmek

Buna imkan olmaması halinde, kaynak dikişi henüz ön ısıtma derecesinin altına düşmeden onu bir ara sıcaklığa ısıtıp bu sıcaklıkta bir süre tutmak ve soğumaya terk etmek.

Örneğin Cr-Mo çelikler için bu ara sıcaklığı 300 -500 °C ve bunda tutma süresi 15 dakika kadardır.

Bu ikinci önlem son ısıtma işlemi olup bunun amacı kaynağı M8 martenzit dönüşümünün başlangıcı sıcaklığının altına düşürmeden onu bunun üstündeki sıcaklıkta bir süre tutarak östenit tanelerinin bainite dönüşmelerini sağlamaktadır. Böylece çatlamaya götüren martenzit dönüşebilecek östenit ya hiç kalmayacak , ya da dikişte hasıl olan sertleşme, çatlamaya meydan vermeyecek düzeyde kalacaktır.

Gerilim giderme. Daha önce de sözünü etmiş olduğumuz gerilim giderme tavlaması, tanımlama olarak, malzemeyi A, alt kritik sıcaklığın altında bir sıcaklığa kadar ısıtmak, o sıcaklıkta bir süre tutmak ve yavaş soğutmaktan ibaret bir kaynak sonrası ısıtma işlemidir. Buna temperleme veya menevileşme adları da verilir. Şekil 2.1.'de, demir-karbon diyagramının bir bölümünün üzerinde çeliğe uygulanan başlıca ısıtma işlemleri görülür.

Kaynaktan sonra gerilim gidermeyi gerektiren malzemeler şunlardır;

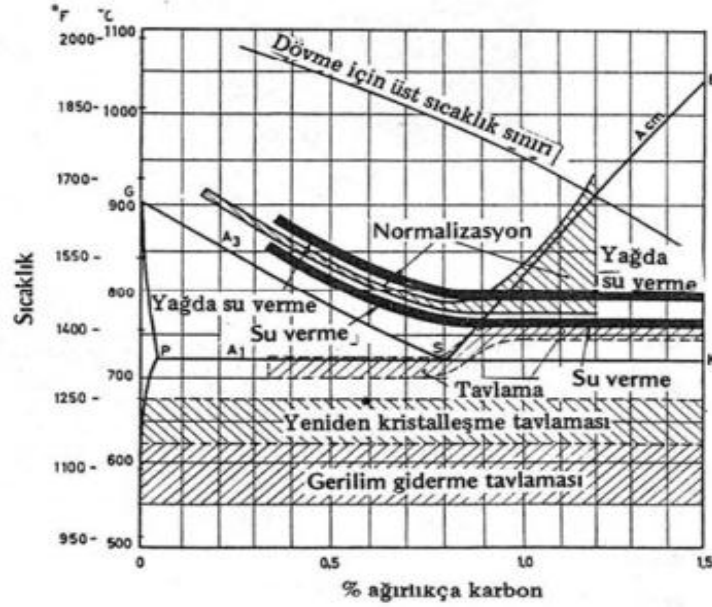
a) Ferritik Çelikler

- Karbonlu Çelikler
- Alçak Alaşımlı Çelikler

b)Yüksek alaşımlı (paslanmaz) çeliklerin martenzitik türleri

Karbonlu çelikler de genel olarak üç gruba ayrılır:

- c) Alçak karbonlu ($<0,25$). Bunlarda ön ısıtma ve gerilim giderme tavlaması gereksizdir.
- d) Orta karbonlu ($0,25-0,50$). Bunlarda her iki işlem gereklidir.
- e) Yüksek karbonlu. ($>0,50$). Bunlarda her iki işlem zorunludur.

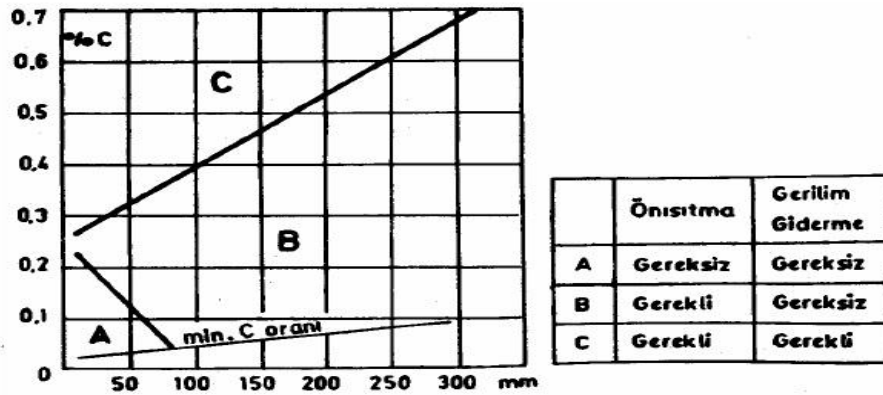


Şekil 2.1. Karbonlu Çeliklere Uygulanan Isıl İşlem Sıcaklıkları

Bu sonuncularda ayrıca pasolar arası sıcak tutma ve son ısıtma da, düşük hidrojenli (bazik) elektrot kullanımı ile birlikte, kesinlikle gereklidir.

Yukarıda söylendiği gibi, kaynak dikişinin sertleşip çatlamasında karbon oranının dışında kaynak edilen parçanın cidar kalınlığının etkisi de önemlidir.

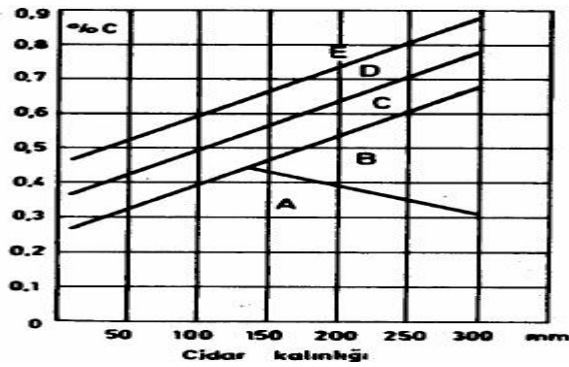
Bu konuda Şekil 2.2.'de gösterilen bölgelere göre ısıtma işlem gereklilikleri de belirtilmiştir.



Şekil 2.2 Karbon Çeliğinin Kaynağında Isıl İşlem Gereksinimleri

Düşük hidrojenli elektrot kullanılması halinde, Şekil 2.2.'deki bölgeleri ayıran sınırlar yukarıya kayarlar (Şekil 2.3.). Bu sonucu durumda da, bölgelere göre ısıtım işlem şöyledir:

- Gerilim giderme nadiren gereklidir.
- Gerilim giderme boyutsal kararlılık için gereklidir. Kaynaktan sonra parçanın talaş kaldırmayla işlenmesi halinde uygundur.
- Gerilim giderme, 25 mm'den kalın ve ayrıca darbeli ve tekrarlanan yüke maruz parçalar veya rijit konstrüksiyonlar için gereklidir.
- Gerilim giderme, darbeli veya tekrarlanan yükte her kalınlıkta, durağan yükte 50 mm kalınlığın üzerinde gereklidir.
- Gerilim giderme her durum için gereklidir. Buna karşılık; Östenitik paslanmaz çelikler, nikel ve alaşımları, Alüminyum ve alaşımları, bakır ve alaşımları, Titanyum ve alaşımları kaynak sonrası gerilim gidermeyi gerektirmezler. Son üç grup malzemede bazı istisnai hallerde ısıtım işlem gerektiren türler bulunur.



Şekil 2.3. Düşük Hidrojenli elektrot kullanılması halinde karbon çeliğinin kaynağında ısıtım gereksinimi

Bir gerilim giderme ısıtım işlemi, varılan sıcaklık, parçanın bu sıcaklıkta tutulma süresi ve sıcaklığın yükselme ve azalma hızlarıyla belirlenir. Yumuşak çelikten mekanik konstrüksiyonların genel olarak kabul edilmiş sıcaklığı 600-650 °C olup çok hızlı soğuma nedeniyle gelişen yeni gerilmelerden kaçınmak için tav fırını kapaklarının sıcaklık 300°C'a düşmeden açılmaması önerilir. Yüksek presizyon konstrüksiyonlarında kapakları açmak için sıcaklığın 100°C'a düşmesi beklenir.

Isıtma temposu ve ısının içine geçme süresi, yani sıcaklığın tav fırınının içinde 600-650 °C'ta tutulma süresi, üniform bir ısıtmayı sağlamaya ve konstrüksiyonun değişik bölümleri arasındaki sıcaklık farkını 50 °C'ın altında tutmaya yeterli olacaktır.

Bu genel prensibin ışığında alaşımsız çeliklerde klasik gerilim giderme işlemi şöyle bir sıra takip eder:

a. 300 °C' tan itibaren, parça kalınlığı milimetresi başına saatte 50 °C ve azami 200 °C olmak üzere sıcaklık yükselişi;

b. 600 ila 650 °C (azami) ' ta, asgari 20 dakika olmak üzere, parça kalınlığı milimetresi başına 2,5 dakika süreyle tutmak;

c. 300 ° C' ta kadar, saatte 150 ila 300 °C olmak üzere soğuma. 300 °C (hassas parçalarda 100 °C)'tan sonra parça ocaktan sakın havaya çıkarılabilirler (soğuma sırasında odada hiçbir hava akımının olmamasına özen gösterilecektir).

Azami sıcaklığın seçimi, bu sıcaklıkta tutma süresiyle doğruca ilintilidir. (550 °C 'ın altında işlemin hiçbir pratik yararı yoktur). 550 °C ' de tutma süresi 600 °C tutma süresinin üç katıdır.

Alaşımlı çelikler için bazen işlemler önerilir. Aşağıdakiler bunlardır:

% 0,5 Mo

% 1 Cr ve % 0,5 Mo 1 saat 620-660 °C ' ta ger.gid.

% 2,25 Cr ve % 1 Mo ' li çelik 2 saat 600-690 °C ' ta ger.gid.

% 0,5 Mo + % 0,25 V + % 1 Cr ' lu Çelik 6 saat 680-710 °C ' ta ger.gid.

2.3.2. Isıl gerilmeler

Gerilim giderme sıcaklığına çıkarılan çelik büyük oranda genleşeceğinden, bu genleşmeyi çelik serbestçe yapabilmelidir; buna imkan bulamazsa, gerilimlerin giderilmesi amaçlanırken aksine yeni gerilmeler oluşur ki bunlara ısıl gerilmeler adı verilir. Bunların malzemenin akma sınırını aşması halinde distorsiyon, çekme ve

basma dayanımını aşma halinde de çatlama meydana gelir.

Isıtmanın yerel olması halinde genişlemenin o oranda azalacağı doğaldır. Aşağıdaki ayrıntılarına gireceğimiz bir boru hattının üzerinde çevresel kaynak dikişinin gerilim giderilmesi, hat toprak üstünde yatarken yapılmayacaktır zira hattın kendi ağırlığının toprakla yaratacağı sürtünme kuvveti, ısıtılan kaynak bölgesinin genişlemesine engel olur ve yukarda sözü edilen ısı gerilmeleri meydana gelir. Bu nedenle yerel gerilim giderme işlemine hat kayıcı mesnetler üzerine alındıktan sonra girişilecektir.

Tav fırınında konstrüksiyonun topluca ısıtılması da bazı sorunlar yaratır. Örneğin uzun bir parça ayrıca karmaşık bir yapıya sahipse (bir ısı eşanjöründe olduğu gibi). uzun kısımlar, uzunlukları oranında genişlerken enlemesine kaynamış kısa ayana, bayrak.. gibi aksam buna engel olacak ve konstrüksiyon büyük olasılıkla çatlaklar arz edecektir. Böyle durumlarda (eşanjör örneğini ele alalım) gövde ile boru demeti ayrı ayrı fırınlanıp sonra montajı yapılır. Bunun gibi içinde bölmeler, perdeler, takviyeler bulunan basınçlı kapların gerilim giderilmesi böyle bitmiş halde kesinlikle olanak dışıdır. Mutlaka her bileşen ayrı olarak ısı işleme tabi tutulup sonradan montaj yapılacaktır. Isıl işlem sonrası montajda mümkün olduğu kadar kaynaktan kaçınılacak, buna mecbur olunması halinde bu kaynaklara yerel gerilimi giderme tavi uygulanacaktır.

Bu konularda ilginç bir örnek de büyük küresel tanklardır. Bunların insan deliklerine takılan brülörle tankı içerden ısıtıp üzerindeki kaynak dikişlerini topluca gerilim gidermeye tabi tutmak mümkündür. Küre bu sırada metrede 2,5 mm genişleyeceğinden onu krikolarla sabit ayaklardan kaldırıp geçici tekerlekli ayaklar üzerinde oturtmak gerekir, ısıtmaya bundan sonra başlanır. Aynı şekilde zemine oturan silindirik tanklarda gerilim gidermeye tabi tutulacaksa, bunlarda kayıcı kızaklar üzerine alınacaklardır.

Yukarıda sözü edilen boru ya da küresel veya silindirik tankların sorunları bunlarla bitmemektedir. Yüksek sıcaklığa ısıtılan borunun veya kulenin içinde canlı bir hava akımı başlar, bir rüzgar tüneli oluşmuştur. Büyük ısı kaybı olduğu gibi, özellikle büyük çap ve cidar kalınlığında konstrüksiyonlarda iç ve dış yüzeyler arasında oldukça

önemli sıcaklık farkları meydana gelir. Bu nedenle ısıtılacak boru hattı üzerinde vanalar, nozullar ve öbür çıkışlar tümüyle kapatılacaktır. İmkân olduğu takdirde gerilimi giderilecek kaynak çevresinde bir sıcak oda oluşturulur, yani kaynak dikişinin iki yanına yalıtım malzemesiyle geçici iki duvar örülür.

Parçanın tümüyle tav fırınına giremeyecek kadar büyük olması halinde, onun kısım kısım tavlanması da mümkündür. Ancak bu takdirde her defasında ısıtılan genişlik daha öncekinin üzerine en az;

$$1,5 \text{ m veya } 5\sqrt{Rt} \text{ (hangisi daha büyükse)}$$

kadar binmelidir. Burada R yarıçap, t de cidar kalınlığıdır. Böyle kısmi ısıtma sırasında parçanın dışarı taşan bölümü yalıtılarak, ısıtılan ve ısıtılmayan bölümler arasında sıcaklık geçişi (gradyeni) yumuşatılır.

Lokal ısıtmada geniş ölçüde kullanılmaktadır. Burada da ani sıcaklık değişimine izin verilmeyecektir. Sıcak kuşağın (Şekil 2.4.) asgari l genişliği; BS 3351-5500 normlarına göre;

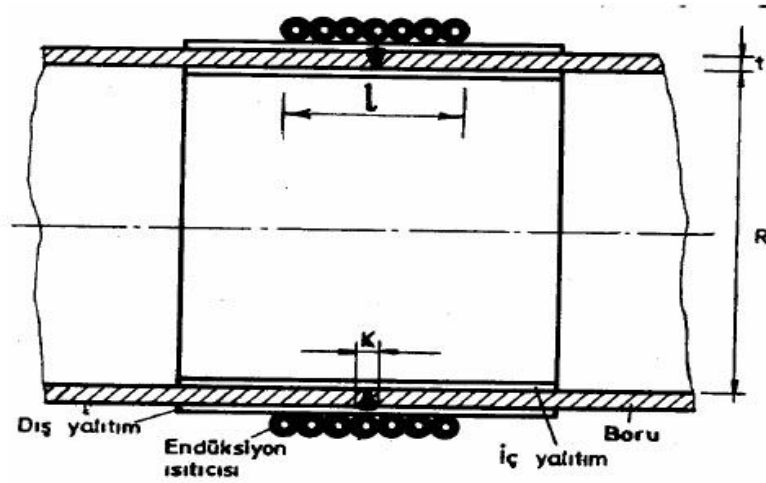
$$l=5\sqrt{Rt}$$

Amerikan (ASME Sec.1) normuna göre basınçlı kaplar için

$$l=K+6t$$

borular için de

$$l=3K \text{ dır.}$$



Şekil 2.4. Bir boruda yerel ısıtma düzeni

Yalıtım genişliği ise pratik kural olarak sıcak kuşağın iki katıdır. Isıl denge, vazgeçilmez bir kaide olduğuna göre yerel ısıtmalarda da buna riayet edilecek, örneğin borularda sıcak kuşağı bütün çevreyi kaplayacaktır. Dikişin bütün çevreyi dolanmaması halinde bile ısı çevre boyunca uygulanacaktır.

Gemi inşasında uzun dikişlerin gerilimlerinin giderilmesi hususunda Amerika ‘ da ilginç bir yöntem geliştirilmiştir. Uzun bir kaynak dikişine hemen komşu bölgenin soğuma sırasında kaynak metalinin uzunlamasına çekmesi nedeniyle büyük ölçüde gerilmiş olduğu gerilmiştir.(Bu sırada kaynaktaki gerilme akma sınırı civarındadır.)

Levha ve kaynak malzemesi, çekmiş olan kaynak metalini ilk levha uzunluğuna getirecek miktarda gerilecek olursa kaynak içindeki germe, gerilme akma noktasının üstünde olduğundan , plastik olacaktır; oysa ki levha malzemesi , elastik sınırının altında gerilmiş olduğundan , koyu verildiğinde ilk uzunluğuna geri yaylanacaktır. Böylece germe işleminin tamamlanmasından sonra kaynak ile levha malzemesi eşit uzunlukta ve uzunlamasına gerilmelerden arındırılmış olacaktır.

Germe işlemi levha malzemesini, istenilen germe miktarına eşit bir genişleme hasil eden bir sıcaklığa kadar ısıtılarak uygulanır; bu arada kaynak metali daha soğuk

tutulmuştur ve böylece de, onu çevreleyen levhalar tarafından mekanik olarak gerilmiştir.

Levha ile kaynak metali arasında gerekli sıcaklık farkının 120 °C civarında olduğu bulunmuş olup bütün bu işlem sırasında kaynak dikişini oda sıcaklığında tutmak mümkün olmadığına göre levha malzemesi yaklaşık 175 – 200 °C ‘ a kadar ısıtılmaktadır. İşlem iki takım oksis- asetilen aleviyle yürütülmekte, bunların her biri kaynağın bir yanında ilerlemekte bunları levhayı ısıtmadan hemen sonra soğutan su fiskiyele izlemektedir; böylece de levhaların fazla ısınıp distorsiyona uğraması önlenmiş olmaktadır. Alev, soğutma suyu fiskiyesi ve işlem hızının optimum koşullarda ayarlanması halinde uzunlamasına gerilmelerin tümüne yakın bölümünün giderilebildiği, deneylerden anlaşılmıştır.

Parça tav fırınına sokulan konstrüksiyonlarda, bu parçaları ısıtma işleminden sonra birleştirmek amacıyla aksesuarların sonradan kaynak edilebileceği irtibat parçaları ana parçaya peşinen kaynak edilir.

Normalizasyon terimiyle çeliği üst kritik sıcaklığın (A_3) 40°C kadar üstünde bir sıcaklığa ısıtılması ve sonra sakin havada soğutulması işlemi anlaşılr. Bunun amacı çeliğin tane yapısını inceltmek, çeliği hafifçe sertleştirmek veya döküm ya da dövme-haddeleme sırasında hasıl olan element (karbon) ayrışıp birikmesini (segregasyon) azaltmak olabilir. Böylece mekanik değerler düzelir.

Alaşımsız çeliklerde bu tavlamanın en uygun sıcaklığı;

- % 0,10’ dan az karbonlu çeliklerde 900°C
- % 0,10 ila 0,25 karbonlu çeliklerde 880°C
- 0,25 ila 0,35 karbonlu çeliklerde 850°C’ dir.

Bu sıcaklıklarda tutma süresi, dakika olarak, 1,5t (t, mm cinsinden cidar kalınlığı) olup kaplar için bu süre asgari 20 dakikadır. Çok ince parçalarda bu asgari değer çok daha

düşük olabilir. Çok uzatılmış veya fazla yüksek sıcaklıkta uygulanmış bir tavlama, beklenen sonucun aksine götürür, yani tanelerin büyümesine yol açar.



BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

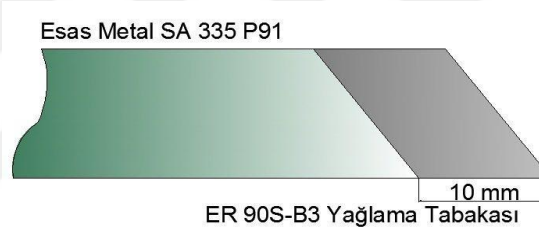
Ø 610 mm ve 17,47 mm boyutlarında yüksek alaşımlı P91 çelik borular ile düşük karbonlu az alaşımlı 106 Grade B çelik borular kaynaklı birleştirme yapılmıştır. P91 / 106 Grade B çelik boruların yağlama (kaplama) metodu ile kaynaklı birleştirme işlemi için yağlamada kullanılacak uygun dolgu malzemesi seçilmiştir. Seçim yapılırken esas alınan temel unsur, bu dolgu malzemesinin her iki esas metal ile de kaynak edilebilir alaşım yapısında olması olmuştur. Literatür araştırmaları, P91 / P22 ve P22 / 106 Grade B kaynak birleştirme işlemlerinde başarılı sonuçlar elde edildiğini göstermektedir [9]. Bu nedenle, kimyasal yapısı P22'ye yakın bir dolgu malzemesi araştırılmış ve AWS 5.28 ER90S-B3 kaynak elektrotu en uygun yağlama malzemesi olarak seçilmiştir. P22 / 106 Grade B kaynak birleştirme işlemlerinde ER70S-6 kaynak teli ve E7018-1 kaynak elektrotu tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan esas malzemeler ve kaynak malzemelerinin kimyasal bileşimleri Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1. Esas malzemeler ve kaynak malzemelerinin kimyasal bileşimleri (wt%)

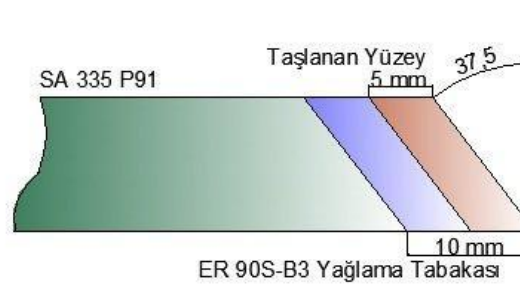
Malzeme	% C	% Mn	%Cr	%Mo	%V	% Ni	% Cu
SA 335 P91	0,12	0,60	9,50	1,05	0,25	0,40	-
SA 335 P22	0,15	0,60	2,60	1,13	-	-	-
ER90S- B3	0,12	0,70	2,70	1,10	-	<0,1	0,1
SA 106 Gr. B	0,30	1,06	0,40	0,15	0,08	0,40	0,4
ER70S-6	0,15	1,60	0,05	0,05	0,05	0,05	-
E7018-1	0,15	1,60	0,20	0,30	<0,1	0,30	-

Yağlama, kendisinden sonra yapılacak asıl kaynak için daha uygun bir geçiş yüzeyi teşkil etmek amacıyla, esas metal yüzeylerinden birine ya da her ikisine, yine kaynakla malzeme ilave etmek suretiyle yapılan bir hazırlık işlemidir [10]. P91 / 106 Grade B

elik boruların yağlama metodu ile kaynaklı birleştirme işlemi için P91 boru yüzeyine 52,5° olacak şekilde kaynak ağzı açılmıştır. Yağlamada bir kaynak işlemi olduğu için ön ısıtma ve pasolar arası sıcaklık kontrolü de oldukça önemlidir. P91 malzemenin kaynağında uygun olan ön ısıtma sıcaklığı 200-250°C ve pasolar arası sıcaklık maksimum 300°C'tır [11]. Elektro rezistans ısıtıcılar yardımıyla istenilen n ısıya ulaştırılan deney numuneleri, thermo-couple ve lazer termometre yardımıyla sürekli kontrol edilerek istenilen çalışma aralığında tutulmuştur. Isıl kontrol altına alınan kaynak ağzı açılmış P91 boru yüzeylerine Tungsten asal gaz (TIG) kaynak metoduyla yağlama yapılmış ve kaynak parametreleri Tablo 3.2.'de sunulmuştur. P91 yüzeyine AWS 5.28 ER90S-B3 kaynak elektrotu ile 10 mm kalınlığında yağlama yapılması hedeflenmiş ve 31 pasoda bu hedef ulaşılmıştır. Yağlama işlemi sonrası elde edilen kesit şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



şekil 3.1. Yağlama işlemi kesit görünüşü



şekil 3.2. Yağlama işlemi sonrası taşlanan yüzey kesit görünüşü

Yağlama işlemi ile elde edilen yüzey ile 106 Grade B yüzey arasında kaynaklı birleştirme için boru et kalınlığı 17,47 mm dikkate alınarak 60-90°'lik bir kaynak ağzı gerektiği ngrlebilirken tercihimiz paso sayısını arttırıp gereksiz ısı girdisi

yapmamak için 75° olmuştur. Öncelikle yağlama yapılan yüzeyden yaklaşık 5 mm kalınlığında taşlama yapılarak gerekli açı verilmiştir (Şekil 3.2.).

Tablo 3.2. Yağlama işlemi kaynak parametreleri

Paso No.	Kaynak Yöntemi	Dolgu Malzemesi		Amper (A)	Voltaj (V)	Kutuplama	Hız	Isı
		Çap	Sınıf				Mm/Dk.	J/mm
1	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	12	DCEN	86	920,93
2	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	125	12	DCEN	91	989,01
3	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	140	13	DCEN	104	1050,00
4	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	135	13	DCEN	101	1042,57
5	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	125	12	DCEN	95	947,37
6	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	115	12	DCEN	89	930,34
7	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	11	DCEN	88	825,00
8	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	180	15	DCEN	111	1459,46
9	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	190	15	DCEN	122	1401,64
10	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	180	15	DCEN	113	1433,63
11	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	150	14	DCEN	111	1135,14
12	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	12	DCEN	85	931,76
13	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	12	DCEN	81	977,78
14	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	180	15	DCEN	109	1486,24
15	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	140	14	DCEN	106	1109,43
16	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	12	DCEN	83	954,22
17	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	12	DCEN	86	920,93
18	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	12	DCEN	89	889,89
19	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	180	15	DCEN	115	1408,70
20	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	180	15	DCEN	117	1384,62
21	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	150	14	DCEN	109	1155,96
22	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	100	10	DCEN	82	731,71
23	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	130	12	DCEN	99	945,45
24	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	110	11	DCEN	88	825,00
25	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	160	14	DCEN	108	1244,44
26	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	180	15	DCEN	114	1421,05
27	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	180	15	DCEN	113	1433,63
28	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	200	17	DCEN	127	1606,30
29	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	200	17	DCEN	123	1658,54

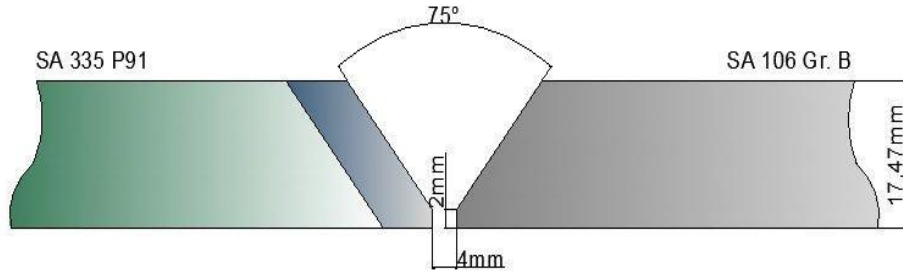
Tablo 3.2. (Devamı)

30	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	195	15	DCEN	121	1450,41
31	GTAW	2,4mm	ER90S-B3	190	15	DCEN	119	1436,97

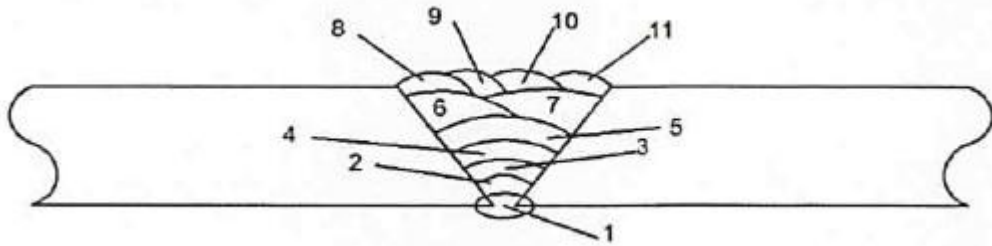
Taşıma sonrası hem yağlama yapılan P91 boru hem de 106 Grade B boruları kaynak ağızı hazırlığı ile kaynağa hazır duruma getirilmiştir (Şekil 3.2).

Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B boruların kaynağı için ön ısıtma yine kritik malzememiz olan P91 için tercih ettiğimiz 200-250°C ve pasolar arası sıcaklığımız ise yine maksimum 300°C olmuştur. İşlem esnasında yine kontrollü bir ısıtma ve soğutma ihtiyacı olduğundan elektro-rezistanslar ile ısıtılmış, ısı sensörleri ile kontrol edilmiştir.

Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B boruların kök pasolarında TIG, diğer pasolarda SMAW(Örtülü Elektrot Ark Kaynağı) kaynak yöntemleri kullanılmıştır. Bu kaynaklı birleştirme 2 kök paso ve 9 diğer paso olmak üzere 11 pasoda gerçekleşmiştir (Şekil 3.4.) ve kaynak parametreleri Tablo 3.3’de sunulmuştur.



Şekil 3.3. Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B boruları kaynak ağızı görünüşü



Şekil 3.4. Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B kaynaklı birleştirme paso sırası

Tablo 3.3. Yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B kaynaklı birleştirme parametreleri

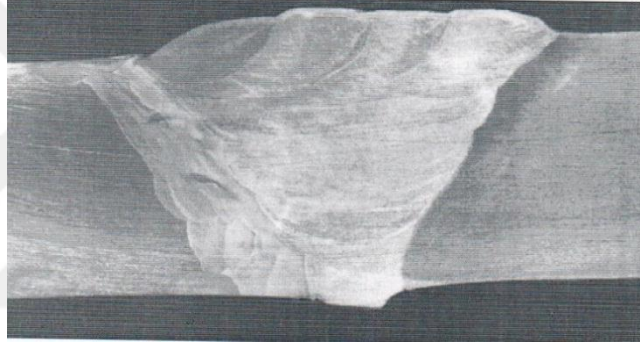
Paso No.	Kaynak Yöntemi	Dolgu Malzemesi		Amper (A)	Voltaj (V)	Kutuplama	Hız	Isı
		Çap	Sınıf				Mm/Dk.	J/mm
1	GTAW	2,4mm	ER70S-6	115	12	DCEN	89	930,34
2	GTAW	2,4mm	ER70S-6	125	12	DCEN	95	947,37
3	SMAW	3,25mm	E7018-1	140	13	DCEN	104	1050,00
4	SMAW	3,25mm	E7018-1	150	14	DCEN	111	1135,14
5	SMAW	3,25mm	E7018-1	180	15	DCEN	111	1459,46
6	SMAW	3,25mm	E7018-1	190	15	DCEN	122	1401,64
7	SMAW	3,25mm	E7018-1	180	15	DCEN	113	1433,63
8	SMAW	3,25mm	E7018-1	150	14	DCEN	111	1135,14
9	SMAW	3,25mm	E7018-1	150	14	DCEN	111	1135,14
10	SMAW	3,25mm	E7018-1	160	14	DCEN	108	1244,44
11	SMAW	3,25mm	E7018-1	150	14	DCEN	109	1155,96

Kaynak Sonrası gerilim giderme ısıt işlemleri uygulanmıştır. Isıl işlem parametreleri oluştururken diğer işlemlerde olduğu gibi kritik malzememiz olan P91 dikkate alınmıştır. Yağlama için 750°C’de 1 saat, esas kaynak için 710°C’de 1 saat bekleme ve 300°C’ye kadar yavaş soğutma uygulanmıştır [12].

Kaynaklı deney numunelerimize ısıt işleminin tamamlanmasının hemen ardından tahribatsız muayeneler uygulanmıştır. Bu muayeneler radyografik test, makro grafik test, sıvı penetrant test ve görsel muayene olup tamamı kabul görmüştür. Tamamlanan tahribatsız muayenelerin ardından tahribatlı mekanik testlere geçilmiştir. Bu testler, çekme, eğme, çentik darbe ve Vickers sertlik testleridir. Test parçalarının boyutları ASME Section IX standardına uygun olarak hazırlanmıştır.

BÖLÜM 4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Belirtilen parametreler ile gerçekleştirilen yağlama yapılmış P91 / 106 Grade B kaynaklı birleştirme makro yapı görüntüsü incelendiğinde görsel olarak mükemmel bir yapıda olduğu, nüfuziyet konusunda herhangi bir kusura rastlanmadığı görülmüştür (Şekil 4.1.). Bununla birlikte makro yapıdaki homojen dağılım kaynak işleminin ne derece düzenli yapıldığının bir göstergesi olmuştur.



Şekil 4.1. Makro yapı fotoğrafı

İncelediğimiz kaynaklı birleştirme boruları 170 Bar basınç altında çalışması ve ASME Section IX'un minimum gereksinimleri nedeniyle çekme ve eğme deneyi uygulanmıştır. ASME Section IX standardına uygun olarak hazırlanmış numuneler ile çekme deneyi sonuçları Tablo 4.1.'de, eğme deneyi sonuçları Tablo 4.2.'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar ASME Section IX standardına uygun değerlerdir.

Tablo 4.1. Çekme deney sonuçları.

Test No.	Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)	Kesit Alan (mm ²)	Mak.Yüklemeye (kN)	Mak. Gerilme (MPa)	Kopma Noktası	Sonuç
1	19,05	17,65	336,23	173,29	515,39	Ana Metal	Uygun
2	19,99	17,68	353,42	184,54	522,16	Ana Metal	Uygun

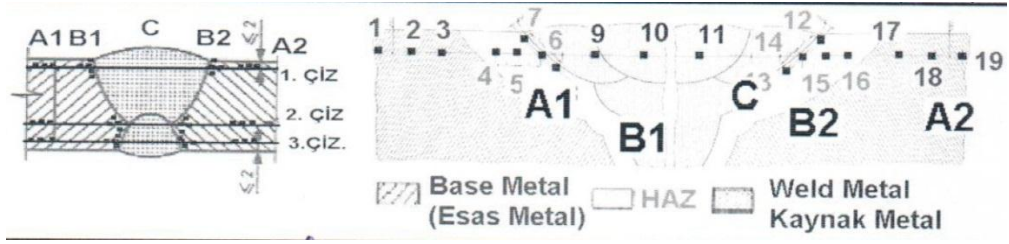
Tablo 4.2. Eğme deney sonuçları

Test No.	Numune Tipi	Bükme Açısı	Sonuç
1	Kaynağa Dik Numune – Yan Eğme	180°	Uygun
2	Kaynağa Dik Numune – Yan Eğme	180°	Uygun
3	Kaynağa Dik Numune – Yan Eğme	180°	Uygun
4	Kaynağa Dik Numune – Yan Eğme	180°	Uygun

Kaynak dikişi bölgesi performansı hakkında Avrupa Birliği Basıncılı Ekipmanlar Yönetmeliği (PED 97/23/EC) gereğince çentikli darbe ve sertlik deneyleri uygulanmıştır. Çentikli darbe deney sonuçları Tablo 4.3.'te, Vickers sertlik deney sonuçları Tablo 4.4.'de sunulmuştur. Vickers sertlik ölçüm noktaları ise Şekil 4.2.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Çentikli darbe deney sonuçları.

Test No.	Çentik Noktası	Test Sıcaklığı (°C)	Darbe Enerjisi (J)
1-2-3	ITAP-Yağlama Dolgu	+20	242,4/256,7/250
4-5-6	ITAB-Yağlama Kök	+20	213,4/215,6/220,5
1-2-3	Kaynak Dolgu	+20	171,9/180/175,4
4-5-6	Kaynak Kök	+20	152,9/152,2/141,9
1-2-3	ITAB-106 Grade B Dolgu	+20	184,2/180/193,1
4-5-6	ITAB-106 Grade B Kök	+20	193/199,7/207,5
1-2-3	P91 Esas Metal	+20	201,5/195,8/199,3
4-5-6	106 Grade B Esas Metal	+20	187,3/184,8/183



Şekil 4.2. Vickers sertlik ölçüm noktaları

Tablo 4.4. Vickers sertlik deney sonuçları.

Test Bölgesi	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	No	Değer	
1 Çizel	A1	1	223,1	2	225,6	3	228	17	175,6	18	174,9	19	178
	A2	1	223,1	2	225,6	3	228	17	175,6	18	174,9	19	178
	B1	4	242	5	244,6	6	248,6	7	245	8	243		
	B2	12	219,2	13	216,5	14	217	5	218	16	213,3		
	C	9	219	10	215,6	11	213,2						
2 Çizel	A1	1	238,7	2	235,6	3	233	17	187,6	18	188,2	19	183,5
	A2	1	238,7	2	235,6	3	233	17	187,6	18	188,2	19	183,5
	B1	4	257,9	5	261,3	6	260,6	7	262,8	8	258		
	B2	12	225,2	13	226,7	14	229,9	5	228,2	16	225,7		
	C	9	208,9	10	209,5	11	211,2						
3 Çizel	A1	1	242,7	2	245,8	3	240	17	193,5	18	192,6	19	191
	A2	1	242,7	2	245,8	3	240	17	193,5	18	192,6	19	191
	B1	4	263,9	5	261,8	6	263,6	7	260	8	258,5		
	B2	12	227,8	13	223,6	14	224,8	5	221,1	16	223,3		
	C	9	216,8	10	220	11	221						

Tablo 4.3. değerleri incelendiğinde, tasarım ve uluslararası gereksinimlere göre olması gereken en az 14 J'lük değerın oldukça üstünde olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 4.4. değerleri incelendiğinde, SA 335 standardına göre olması gereken maksimum 265 Vickers sertlik değerinin altında olduğu açıkça görülmektedir.

- Metodolojinin belirtilen şartlar altında uygulanması neticesinde kaynak dikişinin uluslararası gereksinimleri sağlayacak şekilde başarılı olduğu görülmüştür.
- Kimyasal yapıları oldukça farklı çeliklerinde kaynağı için uygun yöntemler bulunabileceği anlaşılmıştır.

- P91 çeliği yağlama metodu ile karbon çelikleri ile kaynaklanabilir.



KAYNAKLAR

- [1] V. Vodárek, L. Strílková, Z. Kubon: Creep behaviour and microstructure of a heterogeneous P23/P91 weld, 18th Int. Conf. Metallurgy and Materials, METAL 2009, 19-21 May, Hradec nad Moravicí - **Czech Rep.**, (2009).
- [2] B. Mvola, P. Kah, J. Martikainen, R. Suoranta: State of the art of advanced gas metal arc welding processes, Dissimilar metal welding, Institution of Mechanical Engineers, 229 (10), (2015), pp. 1694-1710.
- [3] B. Mvola, P. Kah and J. Martikainen: Dissimilar ferrous metal welding using advanced gas metal arc welding processes, Rev. Adv. Mater. Sci., 38, (2014), pp. 125-137.
- [4] H. Dikbaş, A. Orhan, A. K. Gür, U. Çalgülü, M. Taşkın: AISI 430/1010 Alaşım Çiftinin PTA Yöntemiyle Kaynak Edilebilirliği, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May, Elazığ, Turkey (2011).
- [5] M. Taşkın, U. Çalgülü: AISI 430/1010 Çelik Çiftinin Lazer Kaynağında Kaynak Gücünün Birleşmeye Etkisi, Fırat Univ. Journal of Engineering, 21(1), (2009), pp. 11-22.
- [6] K. Martinsen, S.J. Hu, B.E. Carlson: Joining of dissimilar materials, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 64, (2015), pp. 679-699.
- [7] K. Natesan, S. Majumdar, P. S. Shankar, V. N. Shah: Preliminary Materials Selection Issues or the Next Generation Nuclear Plant Reactor Pressure Vessel, Argonne National Laboratory Argonne, IL 60439 ANL/EXT-06-45, September, (2006).
- [8] R. Anand, C. Sudha, V. T. Paul, S. Saroja, M. Vijayalakshmi: Microstructural Changes in Grade 22 Ferritic Steel Clad Successively with Ni-Based and 9Cr Filler Metals, Welding Journal, 89, April, (2010), pp. 65-74
- [9] Karl E. Dawson: Dissimilar Metal Weld, Thesis in University of Liverpool for the degree of Doctor in Philosophy, (2012), pp. 90-93.
- [10] ASME (American Society of Mechanical Engineers) Section IX, QW-492, pp. 194.

- [11] Kent K. Coleman, W. F. Newell Jr.: P91 and Beyond - Welding the new-generation Cr-Mo alloys for high-temperature service, Welding Journal, August, (2007), pp. 29-33.
- [12] ASME (American Society of Mechanical Engineers) Section I, PW-39.



ÖZGEÇMİŞ

1986, Gebze doğumlu olup 2010 Yılı Sakarya Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuş, devamında Uluslararası Kaynak Mühendisi ünvanı almaya hak kazanmıştır. Halen Sakarya Üniversitesi Makine Tasarım ve İmalat Yüksek Lisans programı öğrencisidir ve büyük ölçekli endüstriyel tesis ve enerji santralleri yapım projelerinde Proje Yönetmenliği yapmaktadır.