

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

**TIG/MIG HİBRİT KAYNAĞININ 1050 ÇELİĞİNİN
KAYNAĞINDA ÖN TAVLAMA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Necla YILDIZ

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ
Doç. Dr. Serkan ISLAK
Dr. Öğr. Üyesi Serpil KARAKUŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Necla YILDIZ tarafından hazırlanan "TIG/MIG Hibrit Kaynağının 1050 Çeliğinin Kaynağında Ön Tavlama Etkisinin Araştırılması" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Serkan ISLAK
Kastamonu Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Serpil KARAKUŞ
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi



27/12/2019

Enstitü Müdürü

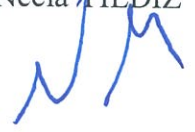
Doç. Dr. Nur BELKAYALI



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Necla YILDIZ



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TIG/MIG HİBRİT KAYNAĞININ 1050 ÇELİĞİNİN KAYNAĞINDA ÖN TAVLAMA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Necla YILDIZ

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ

1050 Çelikleri alaşımsız çelikler olup içerdikleri yüksek oranda karbon miktarından dolayı karbon çelikleri olarak da bilinirler. Sertleşebilirlikleri içerdikleri karbon miktarına paralel olarak artarken toklukları ise karbon miktarı ters orantılı olarak azalmaktadır. 1050 çelikleri yüksek karbon eşdeğerliğinden dolayı kaynak yapılabilmesi için ön tavlama gerektirmektedir. Karbonlu Çeliklerin kaynağında malzemenin karbon içeriği sertleşmeye neden olduğundan dolayı belli bir oranda karbon içeriği kaynakta sorun yaratmamasına rağmen yüksek miktarda karbon ve karbon etkisi yapan alaşımlar kaynak bölgesinin sertleşmesine ve çentik darbe tokluğunun azalmasına neden olmaktadır. Yüksek karbon eşdeğerine sahip malzemelerde soğuma hızının azaltılması sert içyapı oluşumlarının önlenmesindeki yegâne yoldur. 1050 çelikleri yüksek akma dayanımları ve sertliklerinden dolayı endüstride kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kaynağında yaklaşık olarak 150-200 °C'lik ön tavlama tercih edilmektedir. Büyük ebatlı malzemelerin ön tavlama işlemi gerek işlem süresinin uzaması gerekse ısıtma maliyetleri açısından olumsuzluk yaratmaktadır.

Bu çalışmada kaynak esnasında ön tavlama gerektiren 1050 çeliği için TIG ve MIG kaynakları birlikte hibrit kaynak metoduyla kullanılacak olup TIG kaynağının bir ısı girdisi ile malzemenin ısıtılması ve kaynak bölgesinde bir ön tavlama yapması durumu incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Ön tavlama, TIG, MIG, hibrit kaynağı, 1050 çeliği

2019, 57 sayfa

Bilim Kodu: 91510

ABSTRACT

MSc. Thesis

PREHEATING EFFECT OF TIG/MIG HYBRIDE WELDING ON 1050 CARBON STEEL'S WELDING

Necla YILDIZ

Kastamonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assist. Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ

Abstract: 1050 steels are non-alloy steels and are known as carbon steels due to the high amount of carbon content. The hardenability increases direct proportionally with the carbon content they contain, while their toughness is inversely proportional to the amount of carbon. 1050 steels require pre-annealing to weld due to their high carbon equivalence. Carbon content of the carbon steel in the source of the material causes the hardening of a certain amount of carbon content because it does not cause problems in the source of high carbon and carbon effect alloying hardening of the weld zone and leads to a reduction in the impact toughness. Reducing the cooling rate in materials with high carbon equivalents is the only way to prevent hard micro structures. 1050 steels are used in industry due to their high yield strength and hardness. Approximately 150-200 °C pre-annealing is preferred for welding to prevent hard micro structure. The pre-annealing of large-sized materials creates a disadvantage in terms of both the processing time and the heating costs.

In this study, TIG and MIG welding are used together with the hybrid welding method for 1050 steel which requires pre annealing during welding and will be examined if the heat source of the TIG is heated by a heat input and a preliminary annealing in the welding zone.

Key Words: Preheating, TIG, MIG, hybrid welding, 1050 steels

2019, 57 pages

Science Code: 91510

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının hazırlanması esnasında, bana her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen; başta danışman hocam Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özkan ESKİ'ye teşekkürlerimi arz etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca bölüm imkanlarını kullandığı için Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümüne teşekkür ederim.

Necla YILDIZ
Kastamonu, Aralık 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
3. KAYNAK KABİLİYETİ.....	4
3.1. Karbonlu Çelikler	6
3.1.1. Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti.....	7
3.1.2. Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler	14
4. KAYNAK YÖNTEMLERİ.....	17
4.1. TIG KAYNAĞI VE ÖZELLİKLERİ	17
4.1.1. TIG Kaynağı	17
4.1.2. TIG Kaynağında Kullanılan Ekipmanlar	20
4.1.2.1. Güç Kaynağı	20
4.1.2.2. TIG Kaynak Torcu.....	22
4.1.2.3. TIG Kaynak Elektrodu.....	23
4.1.2.4. Dolgu Malzemesi.....	25
4.1.2.5. Tel Sürme Sistemleri.....	26
4.1.3 TIG Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	26
4.2. MIG KAYNAĞI VE ÖZELLİKLERİ.....	27
4.2.1. MIG Kaynağı	27
4.2.2. Koruyucu Gazlar	28
4.2.3. Akım Şekli ve Kaynağı	29
4.2.4. Çalışma Tekniği	29
4.2.5. MIG Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları	30
4.3. TIG-MIG Hibrit Kaynağı.....	31
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	34
5.1. Deneysel Yöntem	34
5.2. Numunelerin Hazırlanması	35
5.3. Mikroyapı İncelemesi	36
5.4. Sertlik Deneyi.....	36
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	37
6.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	37
6.2. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	45
7. SONUÇLAR.....	49
8. ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

C	Karbon
Si	Silisyum
Ni	Nikel
Mn	Mangan
Mo	Molibden
Cr	Krom
B	Bor

Kısaltmalar

ITAB	Isının tesiri altında kalan bölge
TTT	Time Temperature Transformation
MAG	Metal Active Gas
MIG	Metal Inert Gas
TIG	Tungsten Inert Gas

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının gösterilmesi	5
Şekil 3.2. Alın ve Köşe birleştirmelerinde segregasyon bölgeler.....	9
Şekil 3.3. Kaynak metali ve ITAB’da sıcaklık değişimiyle birlikte mikroyapıları	9
Şekil 3.4. Kaynak dikişinin ortasından itibaren sıcaklık dağılımı	10
Şekil 3.5. Kaynak bölgesinde erimiş bölge (a) ve kaynak sonrası katılaşmış bölge (b)	11
Şekil 3.6. TTT diyagramı	16
Şekil 4.1. Kaynak Yönteminin Şematik Gösterimi.....	18
Şekil 4.2. Soğuk tel ile TIG kaynağı.....	19
Şekil 4.3. Sıcak tel ile TIG kaynağı	20
Şekil 4.4. Bir TIG kaynak torcunun parçaları	22
Şekil 4.5. Su Soğutmalı Bir TIG Kaynak Torcunun Kesiti.....	23
Şekil 4.6. MIG kaynağının elemanları	28
Şekil 4.7. MIG kaynağında hamlaca (üflece) verilen eğimler 325452	30
Şekil 4.8. TIG ve MIG hibrit kaynağı.....	33
Şekil 6.1. 4 mm’lik parçaların 25 °C, 150 °C ön tavlama ile kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	37
Şekil 6.2. 4 mm’lik parçaların 200 °C ve 250 °C ön tavlama ile kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	38
Şekil 6.3. 8 mm’lik parçaların 25 °C 150 °C ön tavlama ile kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	39
Şekil 6.4. 8 mm’lik parçaların 200°C ve 250°C ön tavlama ile kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	40
Şekil 6.5. 4 mm’lik parçaların 30, 45 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	41
Şekil 6.6. 4 mm’lik parçaların 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	42
Şekil 6.7. 8 mm’lik parçaların 30, 45 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	43
Şekil 6.8. 8 mm’lik parçaların 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri	44
Şekil 6.9. Kaynak bölgesinde oluşan martenzitik yapının SEM görüntüsü.....	45
Şekil 6.10. 4 mm’lik parçaların 25, 150, 200 ve 250 °C ön tavlama ile kaynak sonrası sertlik sonuçları	45
Şekil 6.11. 8 mm’lik parçaların 25°C, 150°C, 200°C ve 250°C ön tavlama ile kaynak sonrası sertlik sonuçları	46
Şekil 6.12. 4 mm’lik parçaların 30, 45, 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası sertlik sonuçları.....	46
Şekil 6.13. 8 mm’lik parçaların 30, 45, 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası sertlik sonuçları.....	47
Şekil 6.14. 4 mm’lik parçaların 25 °C de ön tavlama ile kaynak sonrası sertlik sonuçları.....	47

Şekil 6.15. 4 mm'lik parçaların 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası sertlik fotoğrafları.....	48
---	----

TABLULAR DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Karbon eşdeğeri yüzdesine göre ön tav sıcaklıkları.....	14
Tablo 3.2. Kaynak kabiliyetinin imâl usulü, malzeme ve konstrüksiyon açısından ifadesi	15
Tablo 4.1. Tungsten Elektrotların Kimyasal Bileşimleri ve Renk Kodları.....	24
Tablo 4.2. Tungsten Elektrotların Bilesim ve Çaplarına Göre Akım Yüklenebilme Kapasiteleri.....	25
Tablo 5.1. 1050 çeliğinin kimyasal bileşimi(%)	34

1. GİRİŞ

Yüksek oranda karbon içermelerinden dolayı karbon çelikleri şeklinde de bilinen 1050 çelikleri, alaşımsız çeliklerdir. Bu çeliklerin sertleşme davranışları içerdikleri karbon miktarına paralel bir şekilde artış gösterirken, tokluk değeri karbon miktarıyla ters orantılı olarak azalmaktadır. Yüksek karbon eşdeğerliğinden ötürü 1050 çeliklerin kaynaklanması ön tavlama işlemi gerektirir. Karbonlu çeliklerin kaynağında malzemenin karbon içeriği sertleşmeye neden olduğundan dolayı belli bir oranda karbon içeriği kaynakta sorun yaratmamasına rağmen yüksek miktarda karbon ve karbon etkisi yapan alaşımlar kaynak bölgesinin sertleşmesine ve çentik darbe tokluğunun azalmasına neden olmaktadır. Yüksek karbon eşdeğerine haiz malzemelerin soğuma hızlarının azaltılmasıyla sert içyapı oluşmaları önlenebilmektedir. Sertlikleri ve yüksek akma dayanımlarından dolayı 1050 çelikleri endüstride kullanılmakta olup, 1050 çeliklerinin kaynak işleminde yaklaşık 150-200 °C'lik ön tavlama yapılması gerekmektedir. Büyük boyutlu malzemelerin ön tavlama işlemi ise gerek ısıtma maliyetlerinin artması gerekse işlem sürelerinin uzaması gibi durumlar oluşturmaktadır.

Bu çalışmada kaynak işlemi öncesinde ön tavlama gerektiren 1050 çeliği için TIG ve MIG kaynakları birlikte (hibrit kaynak metoduyla) kullanılacak olup TIG kaynağının ısı girdisi ile malzemenin ısıtılması ve kaynak bölgesinde bir ön tavlama etkisi yapıp yapmadığı durumu inceleyecektir. Olumlu sonuçlar elde edilmesi durumunda ön tavlama için gereken maliyetlerden ve zamandan tasarruf edilmiş olacaktır.

TIG kaynağının ön tavlama etkisinin olumlu sonuçları elde edilebilirse, kaynak dikişlerinin nihai tavlama bu şekilde yapılabilmesinin de önü açılmış olacaktır. Soğutma hızlarının azaltılması ve kaynaktan sonra kaynak bölgesinin nihai tavlama için TIG-MIG hibrit kaynak yöntemi kullanılabilir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Uzun (2017) yaptığı çalışmada, düşük karbonlu çelikte TIG / MAG hibrit ark kaynağında kaynak hızının kaynak dikiş profili üzerindeki etkisini incelemiştir. Deneyleerde 5 mm kalınlığa sahip AISI 1020 çelik malzemeler kullanılmıştır. 100 mm uzunluğunda bir kaynak işleml için sabit bir MAG ve TIG kaynak akımı (sırasıyla 90 A ve 100 A) ve üç farklı kaynak hızı (0.14, 0.21 ve 0.30 m/dak) seçilmiştir. TIG / MAG hibrit ark kaynağı işleminin etkisi, geleneksel MAG kaynağı ile karşılaştırılmış ve artan kaynak hızı ile birlikte penetrasyon derinliği/kaynak dikiş oranının arttığını göstermiştir. Bu artış, TIG / MAG hibrit ark kaynağında geleneksel MAG kaynağına göre daha belirgindir. Kaynak metalinin mikro yapısı da kaynak hızının değişmesi ile nispeten değişmiştir.

Ding vd. (2015) yaptıkları çalışmada, Ferritik paslanmaz çeliklerin ve magnezyum alaşımlarının birleştirilmesi, otomobillerin ağırlıklarının azaltılmasında ekonomiktir. Önceki geleneksel kaynak yönteminden farklı olarak, bu çalışmada birleştirme için yeni bir TIG-MIG hibrit kaynak yöntemi uygulanmıştır. Erimiş Mg kaynak metali, ara tabaka kalınlığı 0,02 mm olduğunda, lehimli bir Mg-Cu ile çelik bağlantısı oluşturmak üzere ferritik paslanmaz çelik yüzeyini ıslatır. Katmanlar arası kalınlık 0,1 mm olduğunda, metaller arası bileşikler geçiş katmanı, birleştirme noktalarında gerilme-kayma dayanımını belirlemiştir. Cu ara katmanın kalınlığı arttıkça, birleştirme mekanizması değişmiştir. Birleştirme ve güçlendirme mekanizmaları esas olarak ara katın kalınlığı tarafından belirlenmektedir. 0,1 mm kalınlığında Cu ara tabaka bağlantılarının gerilme-kayma mukavemeti 0,02 mm Cu ile karşılaştırıldığında %47 arttırılmıştır.

Zong vd. (2019) yaptıkları çalışmada Elektrotun göreceli pozisyonunun ve TIG akım değişiminin ark stabilitesi ve TIG-MIG hibrit kaynağının kaynak oluşumu üzerindeki etkisi, geleneksel MIG kaynağıninkıyla karşılaştırılarak incelenmiştir. Kaynak akımı-gerilim dalga formu, ark stabilitesini karakterize etmek için analiz edilmiştir. TIG akımı takip ederken sıçramaları önlemek için TIG akımı 100 A'dan daha yüksek olmalıdır. Kaynak havuzu içindeki ısı ve kuvvet dağılımını tanımlamak

için yay şekli ve damlacık transferi incelenmiştir. TIG arkı öndeyken, geriye doğru ark kuvveti ve damlacık çarpması erimiş metalin geriye doğru akışını azaltmamıştır. MIG ark uzunluğunun artışı, MIG ark ısını dağıtmış ve daha düşük kaynak genişliği elde edilmiştir. Bu alt kesme kusurunu bastırmanın ana faktörü olan geleneksel MIG kaynağına kıyasla daha dar kaynak genişliği ile sonuçlanmıştır. TIG arkı takip ederken, ileri ark kuvveti ve damlacık çarpması geri akış hızını önemli ölçüde düşürmüştür ve erimiş metale alttan kesme kusurunu bastırmak için enine yayılması için daha fazla zamanı vardır. TIG ve MIG yaylarının göreceli pozisyonlarına bakılmaksızın, hibrit kaynak hızı en az 1,5 m/dk'ya ulaşabilir.

Sahasrabudheve Raut (2018) yaptıkları çalışmada, ısı kaynaklarının konumlandırılmasının, hafif çelik levha kaynağı üzerindeki dikiş için elde edilen kaynak penetrasyonu açısından hibrid ark kaynağı işlemi üzerindeki etkisinin araştırmışlardır. Çalışma, yeni hibrid ark kaynağı işlemi gerçekleştirmek için otomatik bir montaj oluşturan yerli bir tertibata kolay yerleştirme ve kenetleme için özel kaynak torç geometrileri sunmaktadır. Çalışmada, torç açıları, yay uzunlukları ve yay ayırımının, ısı kaynaklarının konumlandırılmasında kritik beş parametre olarak tanımlanmıştır. Torç açıları, iki aşamalı önceden ayarlanmış deneyler sayesinde optimize edilmiştir. Ark uzunlukları ve ark ayrılması ve parametre etkileşim profilini analiz ederek, tasarlanan bir deney yoluyla ikinci dereceden parametre etkileşimleri dördüncü dereceden sırayla düşünülerek optimize edilmiştir.

3. KAYNAK KABİLİYETİ

Kaynak işlemi, uygulanan malzemenin türüne göre, plastik malzeme kaynağı ve metal kaynağı şeklinde ele alınmaktadır.

Metal kaynağı, basınç, ısı ya da her ikisinin de birlikte kullanılmasıyla aynı türden ve aynı ergime aralığına sahip bir malzemenin katılmasıyla ya da katılmadan metalik malzemenin birleştirilmesi işlemine metal kaynağı denilmektedir. Bu iki parçanın birleştirilmesi için ilave bir malzeme kullanılması durumunda kullanılan bu malzeme ilave metal olarak adlandırılmaktadır.

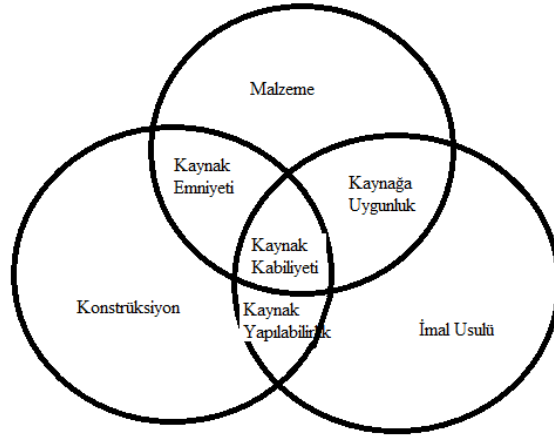
Plastik Malzeme Kaynağı, aynı ya da farklı türden termoplastik özellikteki malzemelerin basınç, ısı kullanılmasıyla ve aynı türden ilave plastik bir malzeme katılarak ya da katılmadan birleştirilmesi işlemidir.

Kaynak işlemi çoğunlukla iki metal malzemenin basınç, sıcaklık ve metalürjik şartların uygun bileşimiyle kalıcı olarak birleştirilmesidir.

Yüksek kalitede kaynaklı birleşim oluşturulmasında,

- Yeterli basınç ve/veya ısı
- Metalin temizlenmesi ya da korunması için uygun bir ortam
- Zararlı olan metalürjik etkilerden kaçınılması gerekmektedir.

Kaynak kabiliyeti, genellikle bir malzemenin kaynağa olan uygunluğunu ifade etmektedir. Fakat kaynak kabiliyetine parça kalınlığı, şekli, kaynak pozisyonu ile tercih edilen kaynak yöntemi de etki etmektedir. Kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının gösterilmesi şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kaynak kabiliyetinin malzeme, üretim yöntemi ve konstrüksiyona bağlılığının gösterilmesi (Kaluç, 2001)

Kaynak kabiliyeti sadece malzemeye bağlı olan bir özellik olmamakla birlikte kaynaklı konstrüksiyona ve kaynak usulüne de bağlıdır. Bir alaşım ya da metal kullanılan bir kaynak yönteminde oldukça iyi kaynak kabiliyeti sergilerken, başka bir yöntemde zayıf kaynak kabiliyeti gösterebilmektedir.

Kaynak kabiliyeti; imalatta kaynak işleminin yapılabilmesi, kaynağa elverişlilik ve konstrüksiyonun sahip olduğu kaynak emniyeti kavramlarını da içine almaktadır. Bir malzemenin kaynak kabiliyetinden söz edilebilmesi için aşağıdaki en az iki şartı sağlamalıdır.

1. Parçalar belirli kaynak usulüyle birleştirilebilmelidir.
2. Kaynak yapılan malzeme, etkisi altında kalacağı zorlamalara dayanmalıdır.

Uygulamada “şartlı olarak kaynak edilebilir”, “iyi kaynak edilebilir” ve “kaynak edilebilir” deyimleri kaynak kabiliyetinin açıklaması olarak kullanılmaktadır. Bahsedilen deyimlerin anlamları çelik malzemeler için aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.

- 1) İyi kaynak edilebilir: Kullanılan malzemenin herhangi bir ön tavlama ve nihai tavlama işlemine gerek olmadan kaynaklanabileceğini ifade etmektedir.

- 2) Kaynak edilebilir: Kaynaklanacak malzemenin kalınlığında artış oldukça, ön tavlama işlemi gerekmektedir. Bu tür malzemeler için bu deyim kullanılmaktadır.
- 3) Şartlı olarak kaynak edilebilir: Bu tür malzemenin bileşiminde çeşitli alaşım elementleri bulunmakta ya da malzemede karbon eşdeğeri yüksek olmaktadır. Kaynaklı bağlantının geçiş bölgesinde çatlama ve sertleşme tehlikeleri nedeniyle tedbirler alınmalıdır. Bu tür malzemelere ön tavlama işlemi uygulanmalı ve soğutma kontrol altında olmalıdır (Norrish, 1992; Kou, 2003; Messler, 1999).

3.1. Karbonlu Çelikler

Yapılarındaki karbon oranına göre mekanik özellikleri değişen sade karbonlu çeliklerin şekillendirilmesi kolay ve ucuzdur. Günümüzde demir çelik endüstrisinde üretilmekte olan çeliklerin çoğu sertleşme yetenekleri az olan sade karbonlu çeliklerdir. Bu çeliklerin sertleştirme işlemleri ardından kullanılan parçada çarpılmalar ve çatlama meydana gelir. Sade karbonlu çelikler yapılarında bulunan karbon oranına göre düşük, orta ve yüksek karbonlu çelikler olmaz üzere 3 gruba ayrılırlar. Yapısındaki karbon içeriği %0,05 - 0,3 olan çelikler düşük karbonlu çeliklerdir. Orta karbonlu çelikler %0,3 – 0,8 yüksek karbonlu çelikler ise yapılarında karbon içeriği %0,8 - 1,7 olan çeliklerdir. Karbon içeriği %0,05 -0,8 oranında olan çelikler “ötektoid altı” çelikler, karbon oranı %0,8 - 1,7 oranında olan çelikler “ötektoid üstü” çelikler olarak isimlendirilmektedir. %0,8 oranında karbon içeren çelikler de “ötektoid çelik” olarak isimlendirilmektedir. Düşük karbon oranına sahip çeliklerin yüzeylerinin sertleştirilmesi sadece uygun yöntemler kullanılarak mümkün olup, aksi halde sertleştirilmeleri mümkün değildir. Düşük karbonlu çeliklerin yüzeylerinin sertleştirilebilmesi yüzeydeki karbon oranının artırılmasıyla mümkün olabilmektedir. Isıl işlemlere yatkın olan orta karbonlu çeliklerin dayanımları düşük karbonlu çeliklerle göre daha iyi olup, yüksek karbonlu çeliklerin ise sünekliği az olmakla birlikte işlenmeleri ile kesilmeleri zordur. Talaş kaldırma işlemine yumuşatma tavlama ile yatkınlık kazandırılabilir (Baydur, 1979; Thelning, 1992; Yalçın ve Gürü, 2002).

3.1.1.Çeliklerin Kaynak Kabiliyeti

Kaynak işlemi sırasında malzemede çoğunlukla kalıcı olan değişimler meydana gelmesi çelik malzemenin maruz kaldığı ısının etkisinin sonucudur. Çelikte kaynak işleminden sonra meydana gelen içyapı ve mekanik özelliklerin değişimi kaynaklı bağlantıda olumsuzluk yaratmıyorsa, kaynak işleminin yapılabilmesi için özel tedbirlere gerek duyulmadan işlem gerçekleştirilebiliyorsa bu malzemeler için “iyi kaynak kabiliyetine haiz” tanımı yapılabilir. Bazı malzemelerde kaynak işlemi konstrüksiyondan beklentileri önemli oranda tehlikeye sokacak dönüşümlere ve sonuçlara neden olabilir. Kaynak sırasında ya da sonrasında çatlamlar gibi malzeme kusuru oluşması durumunda özel önlemler alınmalı ya da kaynak öncesi ya da sonrası bazı işlemler yapılmalıdır. Böyle çelikler “sınırlı kaynak kabiliyetli çelikler” olarak adlandırılır (Tülbentçi ve Kaluç, 2001; Kou, 2003). Esasen “kaynaklanamaz çelik” olarak bir malzeme olmayıp metalürjik koşulların doğru bir şekilde yerine getirilmesi ile her türlü çeliğin kaynaklanması mümkündür. Kaynak işlemi çelik malzemeleri çabuk ısınma ve çabuk soğuma olayları açısından etkiler ve kaynak işlemi çelik malzeme üzerinde “termik şok etkisi” ya da böyle olan etkilerin serisi şeklinde tanımlanabilir. Çeliğin bu duruma dayanma kabiliyetine de “kaynak kabiliyet derecesi” adı verilir. Aşağıda kaynak kabiliyeti sınıflandırılmış olup bunlar; ergime ve buna benzer yollar ile birleşmenin gerçekleşmesi için koşulların arandığı “teknolojik kaynak kabiliyeti” kaynaklama işlemi sırasında meydana gelmiş kimyasal ve fiziksel değişimler ile ilgili olan “metalürjik kaynak kabiliyeti”, ve konstrüksiyonun çatlama olan hassasiyetini saptamada global özelliklerinin tanımlandığı “konstrüktif kaynak kabiliyeti”dir (Anık, 1972; Tülbentçi ve Kaluç, 2001; Kou, 2003).

Sanayide geniş kullanım alanı nedeniyle çelik malzemelerin kaynak kabiliyetlerinin araştırılması gerekmektedir. Alaşimsız veya hafif alaşımlı yüksek mukavemetli bir çeliğin kaynak kabiliyetinin iyi olduğunu söyleyebilmek için;

1. Kaynaktan önce ve sonra iyi bir süneklığe sahip olmalıdır.

2. Kaynak metali esas metal ile karıştığı zaman, oluşan bileşimi gevrek kırılmaya neden olmamaktadır.

Bu maddelerin gerçekleşmesine doğrudan etkide bulunan faktörler aşağıda verilmiştir.

Esas Metal : Bileşim, kalınlık, ısıl işlem durumu, süneklik, sıcaklık, saflık derecesi ve homojenlik

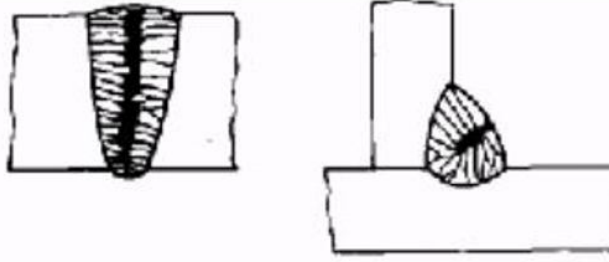
İlave Metal : Bileşim, akma sınırı ve süneklik, hidrojen muhtevası, saflık derecesi ve homojenlik, elektrot çapı (kaynak sırasında parçaya verilen ısı yönünden)

Diğer Faktörler : Erime derecesi (ağız formu), rijidite, form faktörü (geçiş durumu), kaynak sırası, kaynakçının şahsiyeti.

Kaynak Bölgesi

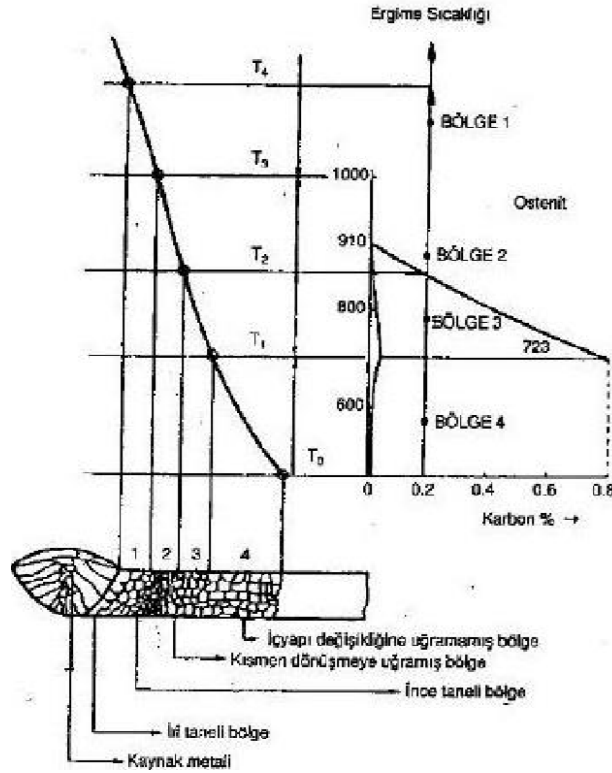
Genel olarak kaynak bölgesi iki kısma ayrılmaktadır. Bu kısımlar eriyen bölge ve ısı tesiri altında kalan bölgedir.

Eriyen bölge : Kaynak banyosunda oluşan türbülans nedeniyle, katılma öncesinde iyice birbirine karışmış olan kaynak metali ve esas malzemedan oluşmaktadır. Bu karışım içerisinde esas metalin kaynak metaline oranı, ağız biçimi ve kaynak yöntemine bağlıdır. Belirli bir miktar esas metal ve bileşimdeki kaynak metalinin karışımından oluşan eriyen bölgenin hesaplanan bileşimi, kimyasal analiz sonuçları ile aynı değildir. Bunun sebebi ise kaynak esnasında bazı bileşenlerin yanarak yok olmasıdır. Bu bileşenlerin yanma derecesi, ısı membaı, kaynak yerini çevreleyen atmosfer ve kaynak yöntemine bağlıdır. Eriyen bölgenin katılması kendisini çevrelemiş olan esas metale ısı iletimiyle gerçekleşmekte ve tanelerin yapısı uzun, iri taneli yapıdadır. İnce parçalarda iki boyutlu kalın parçalarda üç boyutlu ısı transferi gerçekleşmekte, katılma bölgesinde oluşan dendiritik yapının ısı transferinin olduğu doğrultuda yönlendiği görülmektedir. Kalın parçaların derin nüfuziyetli kaynaklarında, eriyen bölgenin ortasında segregasyon nedeniyle bir boşluk oluşmaktadır ve Şekil 3.2.'de verilmiştir (Anık,1972; Anık, 1983).



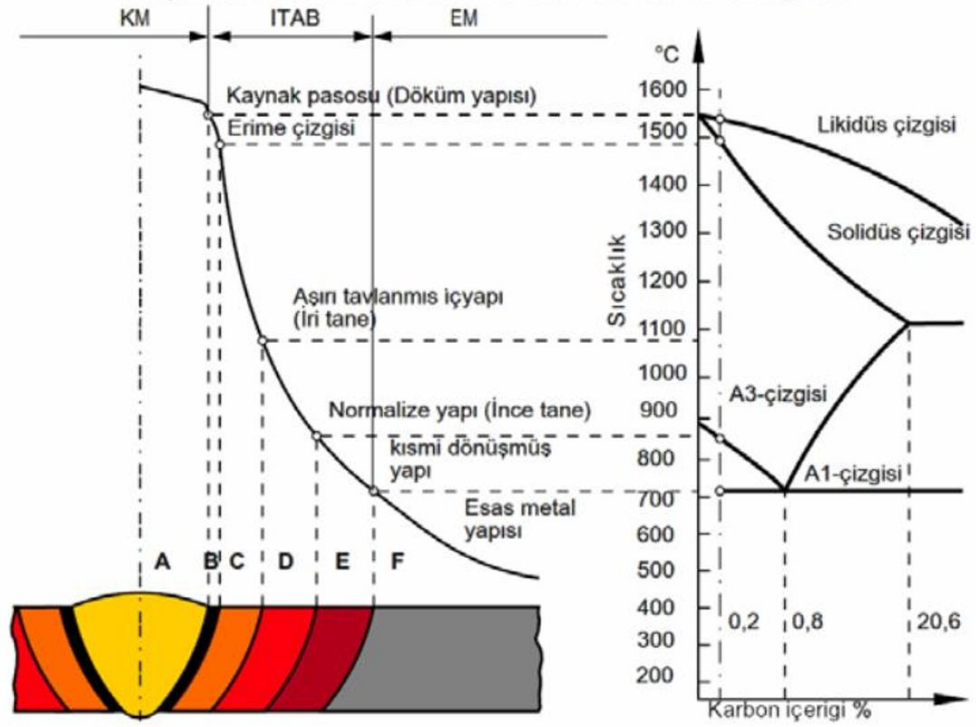
Şekil 3.2. Alın ve Köşe birleştirmelerinde segregasyon bölgeler (Anık, 1983)

Isının Tesiri Altında Kalan Bölge (ITAB) : Bu bölge esas metalle eriyen bölgenin birleştiği yerden itibaren 1400 °C - 700 °C arasındaki bir sıcaklığın etkisi altındaki bölgedir. Şekil 3.3.'te kaynak metali ve ITAB'da sıcaklık değişimiyle birlikte oluşan mikro yapılar verilmiştir (Anık,1972; Anık, 1983).



Şekil 3.3. Kaynak metali ve ITAB'da sıcaklık değişiminde mikro yapıları (Anık, 1983)

Kaynak koşullarına bağlı olarak bu ısının tesiri altında kalan bölgedeki sıcaklık dağılımı değişmektedir. Şekil 3.4'te kaynak dikişinin ortasından itibaren sıcaklık dağılımı verilmiştir (Anık,1972; Anık, 1983).

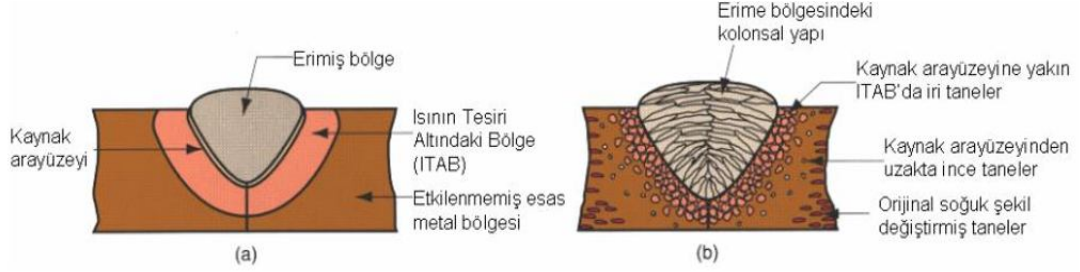


Şekil 3.4. Kaynak dikişinin ortasından itibaren sıcaklık dağılımı (Anık, 1983)

Isının tesiri altında kalan bölgede soğuma hızı ve sıcaklık dağılımının bilinmesi durumunda, kaynak işleminden sonra bu bölgede oluşabilecek içyapının tespit edilmesi mümkündür. Karbon oranı %0,25' ten fazla olan alaşımsız yapı çeliklerinde ve yüksek mukavemetli hafif alaşımlı yapı çeliklerinde ITAB'nin 900 °C'nin üzerinde tavlanan bölgelerinde oldukça sert bir içyapı oluşmaktadır. Oluşan bu iç yapı gevrek kırılmalara oldukça uygun bir yapıdır. ITAB' de çatlak oluşumun önlenmesi amacıyla Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün Kaynak Kabiliyeti Komisyonu bu bölgenin maksimum sertliğinin 350 Hv değerini aşmamasını önermiştir. ITAB'nin sertliğini düşürmek için uygulanan en klasik yöntem kaynaktan önce parçaya bir ön tavlama uygulamaktır. Belli bir sıcaklığa kadar ısıtılan kaynak bölgesinin de kaynak işleminden sonraki soğutma hızının azaltılarak, soğuma hızının kritik değerin altında düşmemesi sağlanır (Anık,1972; Anık, 1983).

Kaynak sırasında esas metalle birlikte ilave metalinde eriyip tekrar katılaşması, farklı metalürjik olaylara sebep olmaktadır. İlave metalle esas metalin sahip olduğu özelliklerin farklı olması kaynak metalinin sahip olduğu özellikleri de etkilemektedir.

Şekil 3.5'te kaynak bölgeleri kaynak sırasında ve kaynak sonrasında olmak üzere iki farklı şekilde verilmiştir (Anık,1972; Anık, 1983).



Şekil 3.5. Kaynak bölgesinde erimiş (a) ve kaynak sonrası katılaşmış bölge (b) (Anık, 1983)

Teknolojik ve metalurjik kaynak kabiliyeti deneyleri kaynak koşulları ve birleşmelerini etkileyen deney parçalarının üzerinde ve yapılacak kaynak işlemine bağlı olmadan üç yönde yürütülmektedir. Çentik etkisine olan hassasiyet ise konstrüktif kaynak kabiliyeti deneyinde araştırılır. Bu hassasiyet genel olarak;

1. Kaynak dikişi boyunca katılma çatlak (sıcak çatlak) tehlikesi
2. Kaynak dikişinde genişlemesine büzülme (çekme) çatlak (soğuma çatlak) tehlikesi
3. Ana metal ve dikişin sertleşme eğilimi, yani kaynaklı birleşmenin en çok ısınan kısmının soğuma sırasında östenitin dönüşümüne karşı koyması
4. Ana metalde ve dikişte kaynak gerilmelerinden ileri gelen gevrek kırılma tehlikesi
5. Isıya maruz kalmış belli bölgelerde yaşlanma gevrekleşmesi tehlikesi

olarak ayrılabilir (Anık,1972; Anık, 1983).

Gevrekleşme eğilimi kaynak işleminde çok büyük sorun olup bu eğilim her kaynakta vardır ve kaynak işlemi bu eğilimi arttırabilir. Yapı çeliklerinin kaynaklanmasında esas metalin bileşimi kaynağın sonucuna etkileyen en önemli faktör olup, özellikle metalin birleşiminde bulunan manganez ve karbon oranı kaynak kabiliyeti yönünden

oldukça önemlidir ve maksimum miktarları sınırlandırılmıştır. Karbon, çeliklerin su alma kabiliyeti diğer bir ifadeyle çeliklerin sertleşebilme kabiliyetine etkiyen en önemli alaşım elementidir. Karbon miktarı artış gösterdikçe sürekli soğuma TTT diyagramında bulunan dönüşüm burnu sağ tarafa doğru kaymakta ve bu nedenle yavaş soğuma hızı kullanıldığında bile sert bir martenzitik yapı oluşmaktadır. Bu özellik dikkate alınarak kaynak ile birleştirilecek olan sade karbonlu yapı çeliklerinin karbon miktarlarının %0,20'yi aşmaması ve çok zorunlu durumlarda karbon miktarlarının azami %0,22 olması standartlarda belirtilmiştir. Az alaşımlı çeliklerin içerdiği krom, vanadyum, mangan ve molibden alaşım elementleri karbon gibi etki etmekte olup sertleşme kabiliyetini de arttırmaktadır. “Karbon eşdeğeri usulü” olarak adlandırılan çözümden; çeliğin bileşiminde bulunan alaşım elementlerinin her birinin miktarlarının formülde yerlerine konulmasıyla bir değer hesap edilir ve hesaplanan değer karbon eşdeğeri olarak adlandırılır. Alaşım elementlerinin vermiş olduğu sertleşme miktarına eşdeğerde sertlik sağlayan karbon miktarı belirlenmiş olup, böylece çeliğin bileşimindeki alaşım elemanlarının meydana getirdiği sertliğe eş sertliği sağlayan karbon miktarına “karbon eşdeğeri” denilmiştir (Tülbentçi ve Kaluç, 2001; Porter, 2001; Oğuz, 1985; Subaşı ve Karabaş, 2010). Karbon eşdeğeri büyüdükçe kaynak işleminin ardından soğumanın yavaşlatılması gerekir ve bu işlem için kullanılan parçaya kaynak işleminden önce ön tavlama işlemi uygulanır. Böylece soğuma hızının yavaşlatılması amaçlanır. Hesaplanan “karbon eş değerine” bağlı olarak “ön tavlama değeri”nin hesaplanmasında literatür çalışmalarında çeşitli formüllerle karşılaşılmaktadır.

Günümüzde “karbon eşdeğeri formülleri” olarak en çok kullanılan formüller;

1. Dearden ve H.O. Neill karbon eşdeğeri formülü;

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5} \quad (3.1)$$

2. Kihara, Suzuki, Oratin ve Tamura'nın geliştirmiş olduğu formül;

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} \quad (3.2)$$

3. B.J.Bradstreet'e göre karbon eşdeğer formülü;

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{10} + \frac{Ni}{15} \quad (3.3)$$

4. Soci t National de Chemin de Fer (Fransa)in kullanmıř olduğu formül;

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{P}{2} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{Mo}{4} + \frac{Ni}{15} \quad (3.4)$$

5. K.Winterton'a göre;

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{10} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Mo}{50} + \frac{V}{10} \quad (3.5)$$

6. "Milletlerarası Kaynak Enstitüsünün (IIW)" IX numaralı Komisyonunun (Kaynak

Kabiliyeti Komisyonu) kullandığı formül;

$$C_{es} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (3.6)$$

Formüllerin hepsinde karbon ile kısmen mangan dışındaki tüm elementlerin etkinliği değişik olarak yorumlanır. Yapı  eliėine uygulanacak  n tavlama sıcaklığı karbon eşdeğeriyle belirtilmiş olan bazı formüller var olsa da en güvenilir husus formüllerin

hiçbirini kullanmadan ön tav değerinin uygulanmasıdır. Tablo 3.1’de karbon eşdeğeri yüzdesine göre ön tavlama sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 3.1. *Karbon eşdeğeri yüzdesine göre ön tav sıcaklıkları*

Karbon eşdeğeri (%)	Ön tav sıcaklığı °C
0,45’ den küçük	Normal atmosfer şartlarında ihtiyaç yoktur.
0,45 ile 0,60	100 ile 200
0,60’dan büyük	200 ile 350

Görüldüğü üzere karbon eşdeğeri tamamen çelik malzemenin bileşimiyle alakalı olup; parçanın kalınlığı ve geometrisi, kaynağa uygulanan enerji ve kaynak ağız formu ile ilgili olan faktörleri içermemekte ve bu faktörler bilindiği üzere soğuma hızını birinci derecede etkilemekte olup, ITAB’da oluşmuş içyapıyı da etkilemektedirler (Norrish, 1992; Kou, 2003; Porter, 2001; Oğuz, 1985).

3.1.2. Kaynak Kabiliyetini Etkileyen Faktörler

Kaynak kabiliyeti yalnızca kullanılan malzemeye bağlı olan bir özellik olmayıp, kaynak konstrüksiyonu ve kaynağın usulüne de bağlı olan bir özelliktir. Tablo 3.2’de kaynak kabiliyetinin malzeme, imal usulü ve konstrüksiyon açısından ifade şekli gösterilmiştir.

Kaynak işlemi öncesinde uygulanacak ön tavlama işleminde göz ardı edilmemesi gereken husus ince parçalarda iki, kalın parçalarda ise üç boyutlu ısı transferi gerçekleşeceğinden kalın parçalardaki soğuma hızının aynı ön tavlama sıcaklığında olsalar bile daha yüksek gerçekleşeceğidir. Bu nedenle tavlama sıcaklıkları kalın parçalar için biraz daha yüksek seçilmelidir.

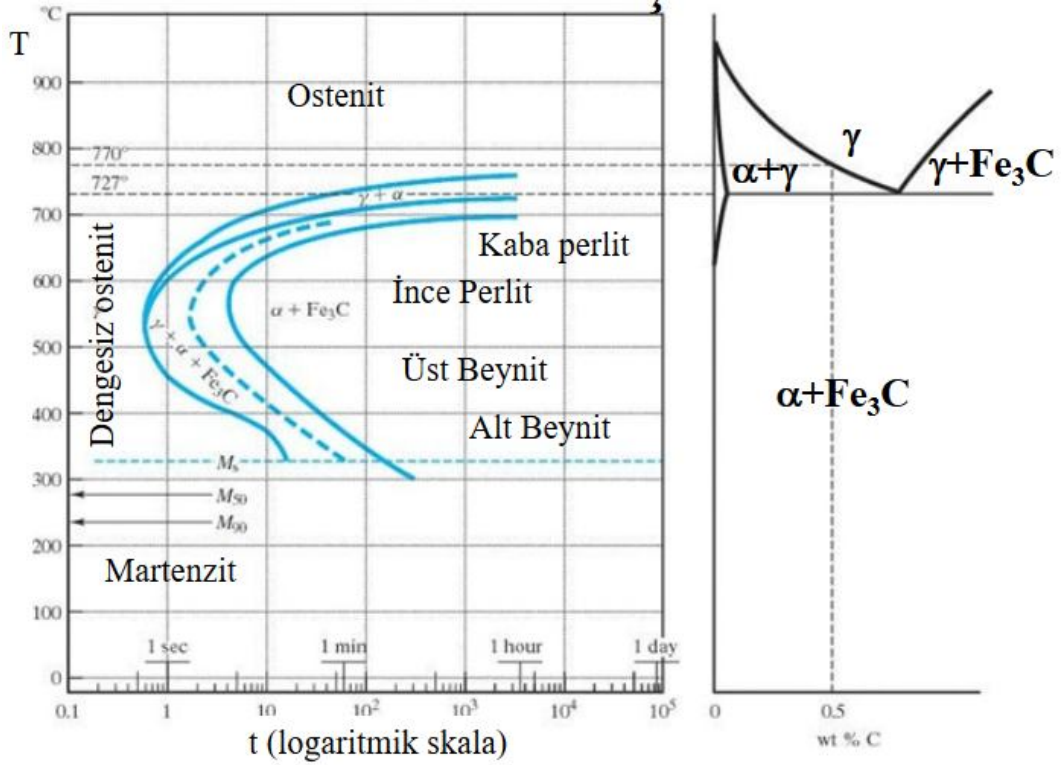
Tablo 3.2. Kaynak kabiliyetinin imâl usulü, malzeme ve konstrüksiyon açısından ifadesi

Malzeme (Kaynağa uygunluk)	Kimyasal Bileşim	Sertleşme eğilimi, Yanma, Gevrek kırılma, Sıcak çatlama, Kaynak metali karışım oranı
	Metallurjik Özellikler	Segregasyon, Katışkılar, Tane büyüklüğü, İçyapı, Anizotropi
	Fiziksel Özellikler	Genleşme Özelliği, Isıl iletkenlik, Erime sıcaklığı, Mukavemet, Tokluk
Konstrüksiyon (Kaynak emniyeti)	Konstrüktif Şekillendirme	Kuvvet hatalarının akışı, Dikişlerin konumu, Parça kalınlığı, Çentik etkisi, Rijitlik farklılıkları
	Gerilme Durumu	Gerilmelerin tür ve şiddeti, Gerilmelerin eksen sayısı, Zorlanma hızı, Sıcaklık, Korozyon
İmalat (Kaynak yapılabirlik)	Kimyasal Bileşim	Sertleşme eğilimi, Yanma, Gevrek kırılma, Sıcak çatlama, Kaynak metali karışım oranı
	Metallurjik Özellikler	Segregasyon, Katışkılar, Tane büyüklüğü, İçyapı, Anizotropi
	Fiziksel Özellikler	Genleşme Özelliği, Isıl iletkenlik, Erime sıcaklığı, Mukavemet, Tokluk

Alaşım ya da metal kaynak yönteminin birinde oldukça iyi kaynak kabiliyeti gösterirken başka bir kaynak yöntemi kullanıldığında oldukça zayıf kaynak kabiliyeti gösterebilir. Örnek verilecek olursa “paslanmaz çelikler ve alüminyum” Oksi-asetilen kaynak yönteminde zayıf kaynak kabiliyeti gösterirken, TIG-MIG kaynak yöntemi kullanıldığında iyi kaynak kabiliyeti gösterirler. (Sefirçeli, 2004; Tülbentçi ve Kaluç, 2001).

Sabit sıcaklık dönüşüm diyagramlarındaki dönüşüm eğrileri C harfine benzer. Eğrinin en soldaki noktasına perlit burnu denir. Beynit mikro yapısı perlit burnunun

altında meydana gelir. Martenzit dönüşüm sınırlarını gösteren çizgiler, yatay durumda ve doğru şeklindedir. Dönüşüm sadece sıcaklığın fonksiyonudur; zamanın hiçbir etkisi yoktur. Bu tip dönüşümlere *atermal* dönüşüm adı verilir. Aşağıdaki Şekil 3.6'de TTT diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.6. TTT diyagramı (Kaluç, 2001)

Östenitin yoğunluğu aynı sıcaklıktaki martenzitin yoğunluğundan biraz fazladır. Östenitten martenzite dönüşüm esnasında hacim genişlemesi söz konusu olabilir. Bu genişleme çeliğin çarpılma ve çatlmasına neden olabilir. Bilhassa büyük boyutlu parçalar için daha tehlikelidir. Çeliğin karbon oranı %0,5'i geçmesi çatlama tehlikesini daha da artırır. Alaşım elementleri TTT diyagramını değiştirir; perlit burnunu sağa kaydırır, perlit bölgesini değiştirir (Anık, 1983; Tülbentçi ve Kaluç, 2001).

4. KAYNAK YÖNTEMLERİ

4.1.TIG Kaynağı ve Özellikleri

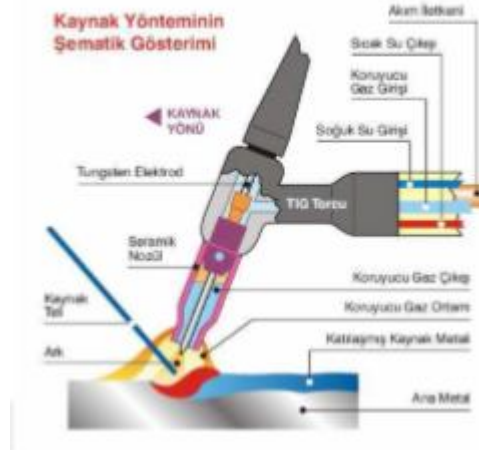
4.1.1.TIG Kaynağı

Yapısal elemanları birleştirme işleminde en önemli üretim yöntemlerinden biri olan TIG kaynağı, gemiler, otomobiller, nükleer reaktörler, trenler ve köprüler için oldukça geniş uygulama yelpazesi olup, bu kaynak ısı tipi bir kaynaktır. Metalin eritilmesi ve kaynak oluşturulması amacıyla ısı üretimi gerekmekte olup, bu da elektrik arkı oluşturan (meydana getiren) alternatif ya da doğru elektrik akımıyla sürekli olarak çalışılmayı gerektirmektedir (Awang, 2002).

Ark kaynağı oldukça karmaşıktır çünkü oldukça yüksek sıcaklığa sahip bir işlem olup, önemli bozulmalar ile kalıcı gerilmelere sebep olmaktadır. Bu aşırı fenomen, bu kaynak yapısını, kırılmaya, burkulmaya, korozyona ve diğer arıza türlerine karşı savunmasız hale getirmektedir.

TIG kaynağı “Amerikan Havacılık Endüstrisinin” bazı alüminyum ve magnezyum parçalarının birleştirilmesiyle ilgili çalışmaları sonucu II. Dünya Savaşı esnasında keşfedilmiş olup bu yöntem “Heliarc tungsten gaz kaynağı” şeklinde de bilinmektedir. İlk TIG işlemi magnezyum kaynağı için Russell Meredith tarafından 1930’lu yılların sonlarına doğru helyum gazı ile tungsten elektrot kullanarak gerçekleştirdi. Bu TIG kaynağı detaylı ayrıntılandırma ile adında değişiklik yapılmasıyla bugüne kadar gelmiştir. Günümüzde TIG kaynağında kullanılan gazlar Argon, Helyum veya Argon-Helyum karışımı olan soygazlardır. Tungsten elektrotta meydana gelen aşırı ısınma neticesinde elektrottan kopan damlacıkların kaynak banyosuna karışması kaynak kabiliyetini olumsuz etkilemektedir. Bunun önlenmesi için su soğutmalı TIG ekipmanları tasarlanmıştır. Elektrotun ucu ve parça arasında meydana gelen elektron hareketi ile ark oluşmaktadır. Normalde düşük potansiyel farka sahip bu akım elektrot ile parça arasındaki mesafenin artmasıyla sönebilmektedir. Arkın yeniden oluşabilmesi için yüksek frekanslı yüksek gerilim çok kısa bir zaman dilimi içinde elektrotta uygulanır. Uygulanan frekansın değeri ark

geriliminin frekansına uygun olabildiği gibi MHz düzeyine kadar da çıkabilmektedir. Ancak yüksek frekans ve bunun etkileri ölçüm yapan cihazlarda parazit oluşturabilmektedir. TIG kaynak yönteminin şematik gösterimi Şekil 4.1’de verilmiştir (Baylan, 2015).



Şekil 4.1. Kaynak yönteminin şematik gösterimi (Baylan, 2015)

Ark, dolgu malzemesi ile tabanı eritmek amacıyla gereken “termal enerjiyi” üreten ve yüksek sıcaklıklarda iletken olan gazlardan oluşmaktadır. Bu arkın sıcaklığı kaynak dikişi yapılmış yüzeyde “11700 °C ile 14700 °C” aralığında değişim göstermekte ve eritilmiş yüzeylerin sıcaklığı ise kullanılan malzemeye göre 1427°C’den başlayıp 2500 °C’ye kadar çıkabilmektedir (Ericsson, 2002).

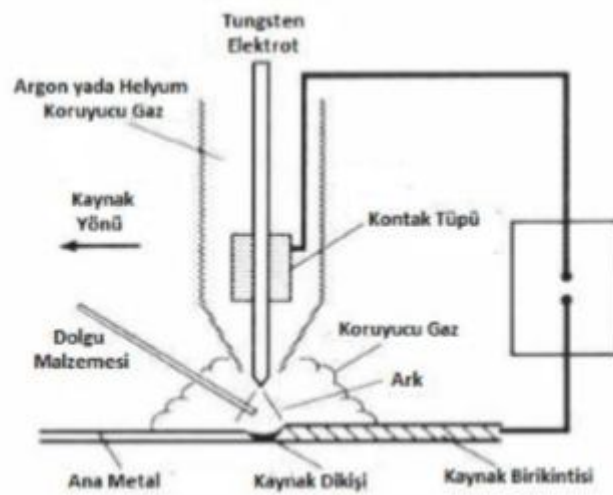
TIG kaynağında kullanılan akım türleri aşağıda verilmiştir. Bunlar;

- Doğru akım (Pozitif elektrotlu)(DC)
- Doğru akım da negatif kutupta
- Alternatif akım (AC) şeklindedir.

Magnezyum ile alüminyum kaynağında çoğunlukla alternatif akım tercih edilmekte olup bunun nedeni; yüzeyde oluşan oksit tabakasının temizlenmesi bu yöntemle başarılabilir. Doğru akımda bir negatif elektrotla alüminyum kalın plakaları da dahil diğer malzemelerin büyük bölümünde kullanılmaktadır. Darbeli olmayan ve darbeli

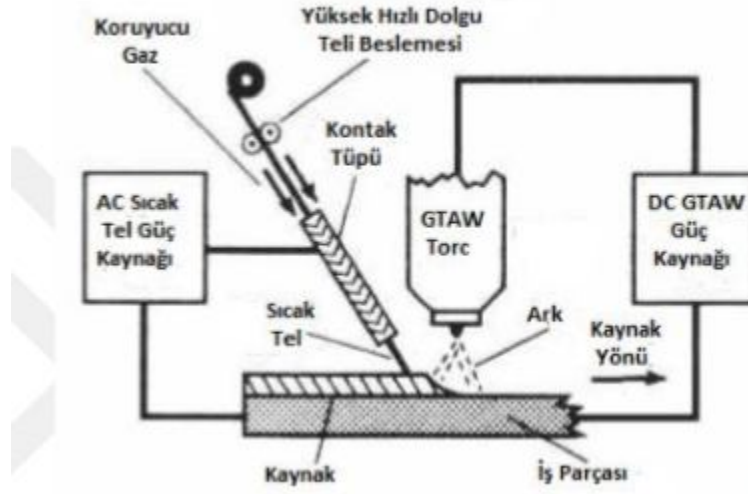
akımlarla kullanılabilmekte olup en yaygın olanı ise darbeli olmayan akımdır. Ayrıca darbeli olan bir akımdan yararlanılması nüfuziyetin arttırılması avantajı gibi birtakım avantajlara sahiptir (Lothongkum vd., 2001).

Kaynak edilecek malzemenin dikiş türü, kalınlığı ve diğer faktörlere bağlı olarak, ilave dolgu malzemesi ihtiyacı olabilir. Soğuk ya da sıcak tel otomatik TIG kaynağı işleminde kullanılabilir. Şekil 4.2’de soğuk çubuk ya da telin erimiş olan kaynak dikişi önüne beslenmesi gösterilmiştir (Kou, 1987). Bobinli tel, 100 mm makaralarda veya çubuk olarak 915 mm uzunluğunda üretilebilirler. Soğuk tel kaynağı esnasında çubuklar ile bobinler manuel olarak kaynak dikişinin ön kenarına beslenmektedir.



Şekil 4.2. Soğuk tel ile TIG kaynağı (Kou, 1987)

Sıcak tel Şekil 4.3’de görüldüğü gibi arkadan beslenmekte ve ısıtılmış olarak kullanılmakta olup, ısıtılmış olarak kullanılmasının nedeni işlem sürecine dolgu metalinin yığılma hızını arttırmaktır (AWS,1991). Tel, ergime sıcaklığına yakın olan bir sıcaklığa ısıtılır ve kaynak dikişinin arka kenarına beslenir ve saatte 29 kg’a kadar biriktirme oranları elde edilebilmektedir. Bu kaynak ile daha yüksek olan yığılma hızı oranları elde edilmektedir. Bu oranlar kaplamalar, kaynak işlemi için rekabet oluşturmakta ve verimliliği arttırmaktadır (Modenesi vd., 2000).



Şekil 4.3. Sıcak tel ile TIG kaynağı (AWS, 1991)

Arkın devamını sağlamak, elektrot ve erimiş olan kaynak dikişini atmosferin olumsuz etkilerinden korumak amacıyla inert özellikte gaz kullanılmakta olup; kaynak malzemeleri ile kaynak parametrelerine bağlı şekilde helyum, argon ya da her iki gazın karışımı kullanılabilir. Düşük alaşımlı, alaşımsız ve paslanmaz çeliklerde argon gazı yaygın bir şekilde kullanılır. Bununla beraber, argon ve hidrojen yahut helyum karışımı mekanik kaynak işlemi için kullanılabilir. (Tusek ve Suban, 2000). Genellikle argon gazı kullanarak alüminyum ve alaşımları kaynaklanmaktadır. Isı transferinin iyileştirilmesi amacıyla helyum gazı ilavesi kullanılabilir ve bundan dolayı ara sıra kalın bölümlerinin kaynağında tercih edilebilir. Doğru “ferrit/östenit dengesi” elde etmek amacıyla duplex paslanmaz çeliklerde argon gazının azotla karıştırılması da yaygın olan bir yoldur (Suban vd., 2001).

4.1.2. TIG Kaynağında Kullanılan Ekipmanlar

4.1.2.1. Güç kaynağı

TIG kaynağında kullanılan güç kaynakları genel olarak sabit akımlı ve düşük volt-ampere eğrisine sahip olan kaynaklardır. Bu yöntemde kaynak yapılan malzeme türüne göre hem doğru akım hem de alternatif akım kullanılmasından dolayı, modern akım üreteçlerinin dizaynı hem doğru akım hem de alternatif akımı gerek olduğunda

sağlayabilecek şekilde yapılmıştır. Hem doğru akım hem de alternatif akım sağlandığında kaynak akım üreticinin iyi olması için; kaynak akımının sabit tutulabilmesi ile alternatif akım için arkın sürekliliğinin sağlanabilmesi, doğru akımda da tutuşmayı sağlamak amacıyla yüksek frekans jeneratörüne sahip olması gereklidir.

Bugün TIG işleminde redresör ve transformatör özellikli jeneratörlerin akım üretici olarak, alternatörlere göre kullanım alanları daha çok yaygındır. Redresörler ise akımın kaynak gerilimine ayarlanmasını sağlayan bir transformatör ile bu akımı doğrultma amacıyla redresörden oluşmakta olup, bundan dolayı hem alternatif hem de doğru akım üreten bu tip üreteçler kullanılmasıyla metal ile alaşımın kaynak işleminin yapılması imkanı bulunabilmektedir.

Bugün gelişmiş olan TIG kaynağı redresörlerinin dizaynı darbeli akım üretebilecek şekilde de tasarlanmış olup, doğru akımın şiddetinin iki sınır değer arasında öngörülen frekansta değişmesine darbeli akım adı verilir. Böylece akımın üst sınırdaki değerinin nüfuziyeti sağlanabilmekte ve bununla birlikte “ortalama akım şiddetinin ısı girdisi” kullanılan parçaya uygulanmaktadır.

İnverter üniteleri çoğu kullanıcının tercih etmesinin nedeni, bu akım üreteçlerinin daha kararlı bir ark oluşturmaları ve daha hafif olmaları olup, son zamanlarda da TIG kaynak yönteminde inverter üniteler yaygın uygulama alanı elde etmiştir.

Aşağıda İnverter güç kaynağının üç dönüştürücüden oluştuğu verilmiş olup bunlar;

- 60 Hz birincil alternatif akımı (AC), doğru akıma (DC) doğrultur.
- Doğru akımı yüksek frekanslı alternatif akıma (AC) dönüştürülür.
- Alternatif akımı doğru akıma (DC) doğrultur şeklindedir (Byrd, 1993).

TIG kaynak yönteminde kullanılan bu üniteler sabit akımı sabit voltaja dönüştürebilirler ve böylelikle çok yönlü üreteç elde edilir. “Geleneksel silikon

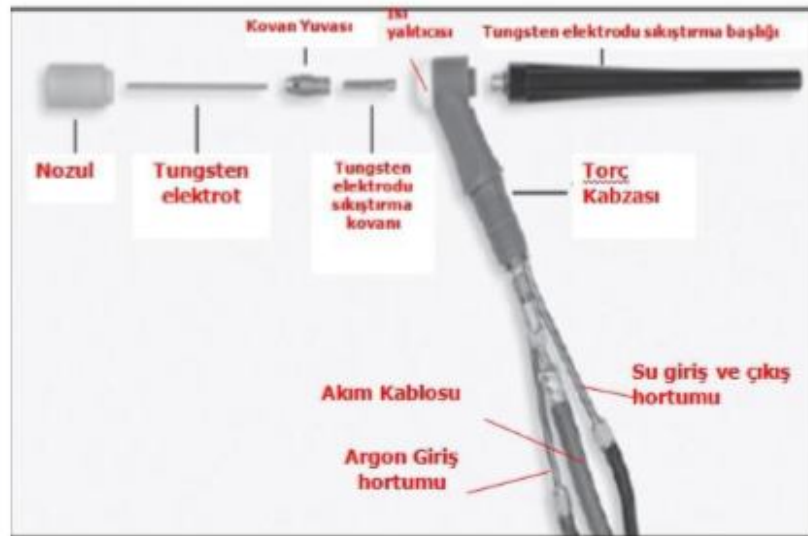
kontrollü doğrultucu (SCR)” ya göre “invertör kontrollü güç kaynakları” daha hızlı ve daha kararlı tepki göstermektedir.

4.1.2.2. TIG kaynak torcu

TIG yönteminde iş parçasıyla iş parçasının ucundaki tungsten elektrot arasında yapılacak kaynak işlemi için gereken elektrik arkının oluşturulmasında torcun görevleri sırasıyla; akım kablosundan almış olduğu akımı elektroda iletmek ve kaynak kablosunun üzerini örtecek şekilde koruyucu gazı sevk etmek olup, torc bu işlevleri yerine getirmek amacıyla geliştirilmiş olan elemandır.

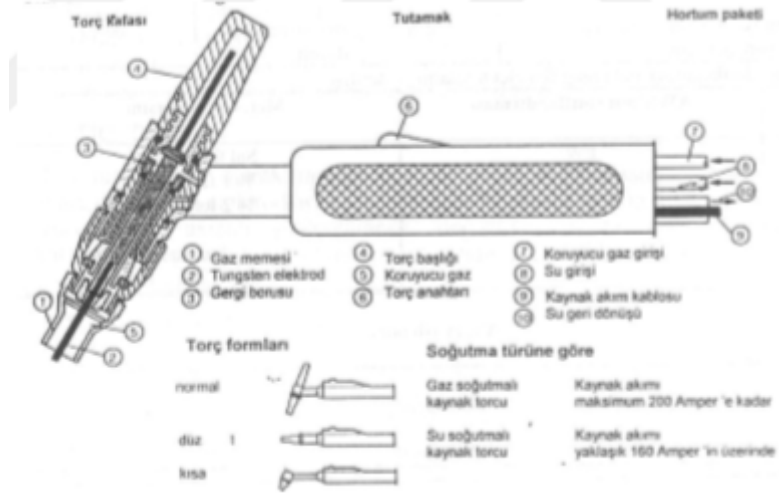
Bu yöntemde kullanılmakta olan torclar, uygulama şartları dikkate alınarak çeşitli büyüklükler ve türde üretilmekte olup, el ile uygulanan TIG kaynağında kullanılmakta olan torclar ise küçük, hafif ve elektrik akımı kaçaklarına karşı aktif şekilde yalıtımlı olarak tasarlanıp üretimi yapılmıştır. Torc ile akım üretici, gaz tüpü ve soğutma suyu ile bağlantıları, değişik kalınlıklardaki kablolar ve hortumlar ile sağlanmaktadır. Bunların tümü torc bağlantı paketi adı verilen çelik spiral takviyeli bir kalın hortum içine yerleştirilmişlerdir.

Genellikle koruyucu gazın debisi artış gösterdikçe gaz nozulunun çapı da büyüme gösterir. Şekil 4.4’te TIG Kaynak Torcunun Parçaları gösterilmiştir (Baylan, 2015).



Şekil 4.4. Bir TIG kaynak torcunun parçaları (Baylan, 2015)

Genelde su soğutmalı ve hava soğutmalı olarak torclar iki ana grupta incelenir. Şekil 4.5'te su soğutmalı bir TIG Kaynak torcunun kesiti gösterilmiştir (Kurt, 2006).



Şekil 4.5. Su soğutmalı bir TIG kaynak torcunun kesiti (Kurt, 2016)

Torcun su yahut hava soğutmalı olması, biçimi, kapasitesi, türü, kullanılan gazın debisi ve kaynak yeri gibi özelliklere göre TIG kaynak torclarına takılan gaz memeleri değişik tip ve çapta ve değişik malzemelerin kullanımı ile üretilmiş olabilirler. Bugün endüstri alanında kullanılmakta olan gaz nozulları, içerdikleri malzemelere göre dört gruba ayrılabilen olup, “seramik, saydam, metalsel ve çift gazlı gaz nozulları” şeklinde adlandırılmaktadırlar.

Seramik gaz nozulları hava soğutmalı olan torclarda tercih edilmekte olup, bu nozullar kırılğan özellikte olmalarına rağmen, olabildiğince yüksek sıcaklıklarda bile kullanılabilen olmaları, ucuz fiyatlı ve AC uygulamalarında yüksek frekans akımının oluşturmuş olduğu çapraz ateşlemeleri engellemelerinden dolayı endüstri alanında en yaygın kullanılmakta olan TIG gaz nozulu türü olmuştur.

4.1.2.3. TIG kaynak elektrodu

TIG kaynağı ile başka elektrik ark kaynak yöntemleri arasında en önemli olan fark ek kaynak metalinin elektrot ile sağlanamaması ve elektrodun yalnızca arkın oluşturulması işlemini yerine getirmesidir. Günümüzde endüstride kullanılmakta olan elektrotlar ise “ticari saflıkta tungsten (%99,5 W) ile toryum”, “zirkonyum ve

lantanyumla alaşımlandırılmış” olan elektrotlardır. Uygulamaya geçildiğinde ise rastlanan TIG kaynağı elektrotları çizgili, alaşımlı ve saf tungsten elektrotlar şeklinde gruplamak mümkün olmaktadır. TIG kaynak elektrotları, AWS A5.12 ile DIN 32528 standartların da bileşimlerine göre sınıflandırılmış ve bunları birbirlerinden kolaylıkla ayırt edebilmek için Tablo 4.1’de DIN 32528 renk kodları kullanılmıştır.

Tablo 4.1. Tungsten Elektrotların Kimyasal Bileşimleri ve Renk Kodları (DIN 32528)

TUNGSTEN ELEKTROT İÇİN RENK KODLARI				
Standart Gösterim		Kimyasal Bileşimler		Uç Renkleri
ISO 6848	AWS A5,12	Oksit ilavesi	Tungsten	
WT20	EWTh-2	ThO ₂ :1,70-2,20%	2% thoriated	Kırmızı
WP	EWP	-----	saf	Yeşil
WL15	EWLa-1.5	LaO ₂ :1,30-1,70%	1,5% lanthanated	Altın
WC20	EWCe-2	CeO ₂ :1,80-2,20%	2% ceriated	Gri
WL20	EWLa-2	La ₂ O ₃ :1,30-2,20%	2% lanthanated	Mavi
WZ8	EWZr-a	ZrO ₂ :0,70-0,90%	0,8% zirconiated	Beyaz
LaYZr tm	EWG	La ₂ O ₃ :1,3-1,7%; Y ₂ O ₃ :0,06-0,10%; ZrO ₂ :0,6-1,0%	1,5% lanthanated 0,8% yttriated 0,8% zirconiated	Açık Yeşil

DIN 32528 de TIG kaynak elektrotlarının çapları 0,5; 1,0; 1,6; 2,0; 2,4; 3,0; 3,2; 4,0; 5,0; 6,0; 6,4 ve 8,0 mm boyları ise 50, 75, 150, 175 mm olarak belirlenmiştir. AWS A5.12’ de ise elektrotların çapları 0,01; 0,02; 0,04; 1/16; 3/32; 1/8; 5/32; 3/16; 1/4 inç boyları ise 3, 6, 7, 12, 18 ve 24 inç olarak saptanmıştır. 7 inçten daha uzun olanlar sadece mekanize ve otomatik kaynak yöntemlerinde kullanılırlar. Elektrotun maksimum akım yüklenebilmesi göz önünde bulundurularak elektrot çapı seçilmelidir. Bu çağa uygun elektrot seçildiğinde arkın ısı yoğunluğu artmakta, daha stabil bir ark ile nüfuziyeti fazla, dikiş yüksekliği az bir dikiş elde edilebilmektedir. TIG kaynak yönteminde kullanılan elektrotların akım yüklenebilme kapasitesi çok sayıdaki etkene bağlı olarak oldukça geniş bir aralık içinde değişmektedir (Tablo 4.2). Bu etkenler şu şekilde sıralanabilir;

- Elektrodun bileşimi,
- Koruyucu gazın türü,
- Elektrodun, elektrot tutucusunun dış kısmında kalan boyu,
- Elektroda uygulanan soğutma sisteminin etkinliği,
- Akım türü ve kutuplama,
- Kaynak pozisyonu.

Tablo 4.2. Tungsten elektrotların bileşim ve çaplarına göre akım yüklenebilme kapasiteleri

Elektrot Çapı (mm)	Alternatif Akım (A)		Doğru Akım (A)	
	W Elektrod	WT Elektrod	W-WT Elektrod (-)	W-WT Elektrod (+)
0,5	5-15	5-20	5-20	-
1,0	10-60	15-80	15-80	-
1,6	50-100	70-150	70-150	10-20
2,4	100-160	140-235	150-250	15-30
3,2	150-210	220-325	250-400	25-40
4,0	200-275	300-425	400-500	40-55
4,8	250-350	400-525	500-650	55-80
6,4	325-425	500-700	650-800	80-125

DIN 32528'e göre tungsten elektrotlar şu biçimde gösterilmektedir:

Elektrot; DIN 32528 1,6 -75 - WT 10

Burada 1,6 elektrodun mm. olarak çapını, 75 mm olarak boyunu ve WT 10 da bileşiminde %0,9 ila 1,2 toryum-oksit bulunduğunu belirtmektedir.

4.1.2.4. Dolgu malzemesi

TIG kaynak yönteminde genel olarak dolgu metalinin seçilmesi kaynak yapılacak olan ana metal malzemenin türüne bağlı olup, bu kaynak yönteminde dolgu metalinin seçilmesi, başka ark kaynağı yöntemlerine nazaran daha az sorun yaratmaktadır. Bu kaynak yönteminde seçilen dolgu metali ark içerisine değil, kaynak işlemi yapılacak

parçanın “kaynak ağzına” beslenmekte olup, bu durum bir avantaj sağlamaktadır. Çünkü alaşım transferi daha verimli olarak sonuçlanmakta ve böylelikle kaynak metalinin bileşimi üzerinde kontrol işlemi daha doğru bir şekilde sağlanmaktadır (Modenesi vd., 2000).

4.1.2.5. Tel sürme sistemleri

Bu sistemler bir dizi bileşenden yapılmakta olup, basitten karmaşığa doğru değişim gösterir. Esasen, teli makaradan çekme amacıyla telin gerektiği kadar kavranması ile kılavuz tüpü boyu kadar kaynak noktasına itilmesi için bir araçtan oluşmaktadır. Telin beslenmesi, soğuk tel işleminde ön kenara, sıcak tel işlemin de arka kenara gerçekleşir (AWS, A5 1991).

4.1.3.TIG Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

TIG kaynak yönteminin avantajları aşağıda verilmiştir;

- Düşük distorsiyonlu ve yüksek kalitede kaynak kabiliyetine sahip olması,
- Dolgu teli olmadan ya da dolgu telli çalışabiliyor olması,
- İnce malzemelerin kaynak işlemine uygun olması,
- Kaynak yapılabilme imkanının her pozisyonda mümkün olması,
- Ayrı cinsteki metaller ve alaşımları birbirleriyle kaynak yapma imkanının mümkün olması,
- Ark ile kaynak dikişinin görülebilir olması,
- Dolgu metalinin ark ile geçmemesi ve ekleme yapılan dolgu miktarının kaynak akım seviyesine bağlı olmaması,
- Tungsten elektrot kullanımıyla dikişte oldukça az miktarda karbür ayrışması oluşması,

TIG kaynak yönteminin dezavantajları aşağıda verilmiştir;

- ✓ Başka ark kaynağı yöntemlerine göre TIG kaynak yönteminde metal yığıma hızı düşüktür,
- ✓ Kalın kesite sahip malzemelerin kaynak işleminde ekonomik olan bir yöntem olmaması,
- ✓ Kire karşı hassas olmasından dolayı yüzey temizliği icap ettirir,
- ✓ TIG kaynak yönteminin koruyucu gaz gerektirmesi,
- ✓ TIG kaynak yönteminin açık hava şartlarında kullanılmasının zor olması,
- ✓ Bu yöntemde dolgu malzemesinin ve iş parçasının kimyasal yapısını düzeltmek mümkün değildir,
- ✓ Oldukça düşük erime noktasına sahip metaller (kalay ve kurşun gibi) için genel olarak kullanılmamaktadır (AWS, 1991).

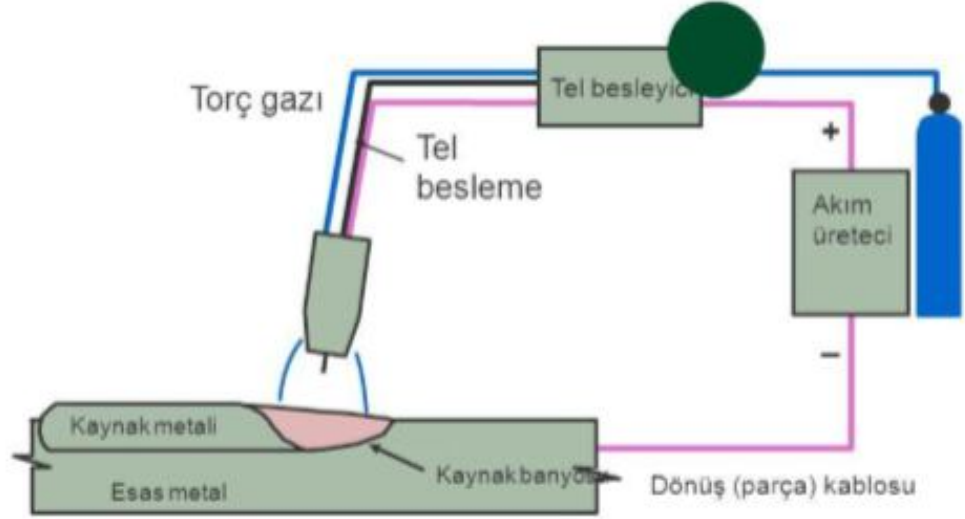
4.2. MIG Kaynağı ve Özellikleri

4.2.1. MIG Kaynağı

Kaynak işlemi için gerekli olan ısının, iş parçası ile tükenen bir elektrod arasında meydana gelen ark işlemi yardımıyla ortaya çıkan bu ark kaynağı yöntemi MIG kaynak yöntemi olup, SIGMA kaynağı şeklinde de bilinmektedir. Kaynak metali, kaynak bölgesine devamlı olarak beslenen masif halde olan tel elektrodun ergiyerek tükenmesi sonucu oluşur.

Atmosferin zararlı olan etkilerinden kaynak banyosu, iş parçasının kaynak işlemine yakın olan bölgeleri, ark ve elektrodun korunması kaynak torcundan gelmekte olan soygaz yahut karışım gazlarınca sağlanır. Kaynak bölgesini gaz tamamen korumalıdır, çünkü oldukça küçük hava girişi bile kaynak yapılan metalde hataya

yahut hatalara sebep olabilir. En fazla tercih edilen soygaz ise argon gazıdır. MIG sembolü, Metal Inert Gas ifadesinin kısaltılmasından oluşmuştur (Nalçacı, 2017). Şekil 4.6’da MIG kaynağının elemanları gösterilmiştir (Nalçacı, 2017).



Şekil 4.6. MIG kaynağının elemanları (Nalçacı, 2017)

4.2.2. Koruyucu Gazlar

Bu kaynak yönteminde helyum, argon yahut her iki gazın karışımı koruyucu gaz olarak kullanılmakta olup, hafif metallerin bu yöntemle kaynak işlemlerinde kullanılan argon gazı yüksek saflıkta olmalıdır (%99,99). MIG kaynağı ile çelik malzemelerin kaynak işleminde argon gazına karbondioksit ve oksijen gazları karıştırılmaktadır. Karıştırılan karbondioksit gazı %5 ile 13 oksijen gazı ise %3 ile 6 arasında bir değerdedir. Kullanılan gaz karışımına göre dikişte elde edilmiş olan dikiş profilleri değişim göstermektedir. Hazırlanan karışımda oksijen gazının bulunması gözenek teşekkülünü önlemekte olup, oksijenin varlığı arkın kararlılığı ile erimiş olan damlaların yüzey üzerinde kolayca tutunmalarını sağlar (Tülbentçi ve Kaluç, 2001; Porter, 2001; Oğuz, 1985; Anık, 1983).

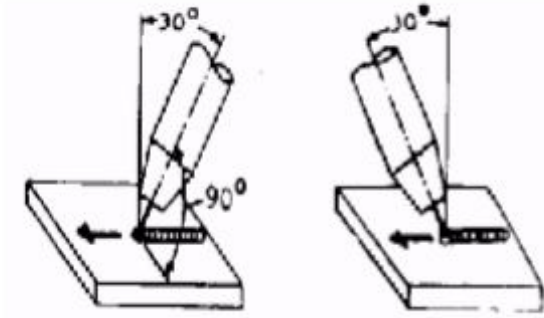
4.2.3. Akım Şekli ve Kaynağı

Bu kaynak yönteminde doğru akım kullanılmakta olup, elektrod ise genel olarak pozitif kutba bağlanmaktadır (ters kutuplama). Ark kararlı olarak yanarak derin nüfuziyet sağlamaktadır. Birtakım özel durumlarda doğru kutuplamayla kaynak işlemi yapılabilmektedir. Hafif metallerin kaynak işleminde kullanılan parça yüzeyinde oluşan oksit tabakasının parçalanması yalnızca elektrodun pozitif kutba bağlanması ile mümkün olmaktadır. Doğru akımda elektrodun negatif kutba bağlanması ile oksidin parçalanma etkisi yok olduğu gibi, arkın kararlılığı ile öte yandan nüfuziyet derinliği azalmaktadır. Böylelikle hem oksit tabakasının parçalanması, hem de derin nüfuziyet sağlanmış olmaktadır. Paslanmaz çeliklerde doldurma kaynakları ile iç köşe kaynağında, elektrod negatif kutba bağlanmaktadır. Sabit tipte statik karakteristik özellikli kaynak makineleri MIG kaynak yönteminde kullanılan kaynak makineleri olup, bunların akım şiddeti ayarları, ark geriliminin ayarlanmasıyla yapılmaktadır. Kaynak telinin sabit hızda sevk edilmesi, ark boyunun otomatik olarak sabit tutulmasını sağlamaktadır. Kaynak telinin sevki sabit hızda olursa, ark boyu otomatik sabit tutulur (Anık, 1983).

4.2.4. Çalışma Tekniği

MIG kaynak yöntemi bilindik dikiş biçimlerinin tümüne uygundur. Hem otomatik hem de el ile yatay pozisyonlarda kaynak yapılabilmektedir. Aynı olan hamlaç tutuşunda kaynak dikişinin genişliği, yüksekliği ve nüfuziyeti kaynak hızını, kaynak gerilimini ve kaynağın akım şiddetini değiştirerek ayarlanabilmekte olup, bahsedilen faktörlerin oluşturdukları etkiler, toz altı kaynağındaki gibidir. Kaynak işlemi esnasında kaynak hamlacı, kaynağın yönüne ters doğrultuda en fazla 30°'lik eğim ile tutulmakta olup, bu sayede kaynak yapan kişi, kaynak banyosu ile elektrodun erimesine kolaylıkla bakabilmektedir. Meyilin fazla olması durumunda dikiş incelik ve nüfuziyet azalır, ayrıca dikişte kalıntı ve gözeneklerin oluşmasına ve gazın koruma kabiliyetinin azalmasına neden olur. Kök pasoları ile ince sacların kaynak işleminde bu çalışma tarzı kullanılmaktadır. Şekil 4.7'de gösterildiği gibi, kalın bir kaynak pasosu ve derin nüfuziyet eldesi istenmesi durumunda kaynak yönünde

hamlaca en fazla 30°'lik eğim verilmektedir (Tülbentçi ve Kaluç, 2001; Oğuz, 1985; Norrish, 2001).



Şekil 4.7. MIG kaynağında hamlaca (üflece) verilen eğimler (Norrish, 2001)

4.2.5. MIG Kaynağının Avantaj ve Dezavantajları

MIG kaynak yönteminin avantajları aşağıda verilmiştir;

- ❖ Sürekli bir yöntem olup mekanize edilebilmektedir.
- ❖ Bu yöntem ile tüm pozisyonlarda kaynak işlemi yapılabilmektedir.
- ❖ Yüksek bir kaynak hızı temin eder.
- ❖ Bu yöntem ile derin nüfuziyet eldesi, daha ince olan dolgu metali ile aynı dayanımın eldesi mümkün olmaktadır.
- ❖ Bu yöntemde kaynak işleminin açık ark şeklinde gerçekleşmesi daha rahat ark kontrolüne imkan sağlamaktadır.
- ❖ MIG kaynak yönteminde metal yığıma oranı fazladır.
- ❖ Kaynak hızının yüksek olmasından dolayı daha çok malzeme, daha az distorsiyeye olmaktadır.

- ❖ Bu kaynak yönteminde her kaynak pasosu ardından cüruf temizleme işlemi gerekmemektedir.
- ❖ Örtülü elektrod ark kaynağı ekipmanlarına nazaran gaz altı kaynak ekipmanları daha pahalı, taşınması daha zor ve daha karmaşık olmaktadır.
- ❖ Gaz altı kaynağı kullanılarak yapılan kaynak birleştirmeleri sertleşme özelliği gösteren çeliklerde uygulandığında bu birleştirmeler çatlamaya daha yatkındır çünkü, bu yöntemde örtülü elektrod kaynağında bulunan ve kaynak metalinin soğumasını yavaşlatmakta olan cüruf tabakası yoktur.
- ❖ Hava akımlarına karşı gaz altı kaynağı ilave koruma gerektirmektedir.
- ❖ Gazaltı kaynak torcu iş parçasına yakın olmak zorunda olduğu için örtülü elektrod ark kaynağı gibi ulaşılması zordur ve dar alanlarda kaynak yapmak kolay değildir (Nalçacı, 2017).

4.3. TIG-MIG Hibrit Kaynağı

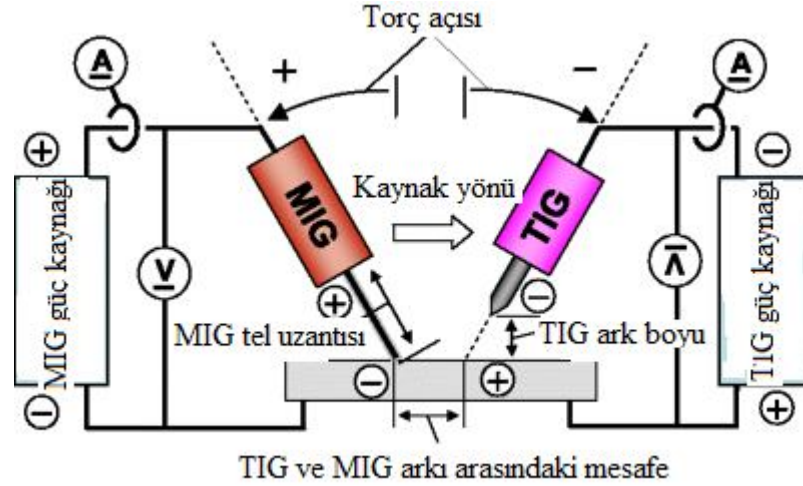
Üretim rekabetinin durmadan yoğunlaşmasıyla birlikte, tungsten atıl gaz kaynağı (TIG) ve metal atıl gaz kaynağı (MIG) gibi geleneksel ark kaynağı işlemleri, işletmenin yüksek miktar ve yüksek kalitede kaynak teknolojisi gereksinimlerini karşılamak için geliştirilmiştir. TIG-MIG hibrit kaynak işlemi, DE-GMAW 'ya (çift elektrotlu gaz metal ark kaynağı) benzeyen iki işlemin avantajları nedeniyle kaynak verimliliğini ve kalitesini geliştirmenin etkili yollarından biridir (Zhang vd., 2004; Kanemaru vd., 2012; Shi vd., 2014)

TIG-MIG ve DE-GMAW hibrit kaynak prosesleri arasındaki ana farklar şunlardır: (1) TIG-MIG mekanizması, geleneksel GMAW 'ı iyileştirmek için TIG arkı ile iş parçası üzerinde uygun bir ark enerjisi dağıtımının serbest bırakılmasıdır (Zhang vd., 2004). TIG arkının ana etkileri birbirinden farklıdır. TIG-MIG hibrit kaynak sırasında, iş parçasını yeniden ısıtmak ve kaynak deformasyonunu iyileştirmek için ek olarak TIG arkı kullanılır (Matthews ve Porter, 1991; Ueyama vd., 2005; Fang vd., 2012).

TIG-MIG hibrit kaynak, TIG ve MIG kaynağının avantajlarını düşük maliyetle kullanmanın kolay bir yoludur, çünkü ne özel koruyucu gaz ne de karmaşık sinerjik güçlere ihtiyaç duyulmamaktadır. Saf argon koruyucu gaz kullanılmasına rağmen, TIG'in basit hibridizasyonu ile MIG arkının stabil olabileceğini gösterir, bu da kaynak metalinin tokluğunun iyileştirildiği ve kaynak kalitesinin geliştirildiği anlamına gelir (Kanemaru vd., 2012).

Son yıllarda, düşük kaynak akımında, MIG için çift elipsoid ısı kaynağı modeli, TIG için gauss veya eliptik ısı kaynağı modeli gibi çeşitli kaynak işlemlerini ortaya çıkarmak için ısı kaynağı modelleri üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Çift elipsoid + EHGC (Gaussian silindirde ılımlı olarak sivrilen-konik tepe değeri) plazma ark kaynağı için ısı kaynağı modeli, lazer ışını kaynağı ve plazma ark kaynağı için kendinden uyarlanabilir ısı kaynağı modelleri kaynak işlemleri sırasında dinamik enerji dağılımını dikkate alarak kullanılmaktadır (Goldak vd., 1984; Ko vd., 2001; Fang vd., 2005; Hu vd., 2007; Xu vd., 2011; Cho vd., 2013). Lazer + GMAW hibrit kaynak veya lazer + TIG hibrit kaynak için birçok gelişmiş ısı kaynağı modeli çıkarılmış olmasına rağmen, araştırmaların çoğu iki kaynağın sinerjik ısı etkilerine odaklandığından, torç açılarının etkisi kapsamlı bir şekilde çalışılmamıştır (Ribic vd., 2008; Guen vd., 2011). TIG-MIG'ye benzeyen DE-GMAW işlemini simüle etmek için yeni bir hibrid ısı kaynağı modeli geliştirilmiştir. Bununla birlikte, fiziksel mekanizmaları farklıdır. Örneğin, DE-GMAW işlemi sırasında, TIG arkını takip eden kaynak doğrudan kaynak havuzuna etki etmeden sadece iletken akım yoludur (LiveWu, 2009). Her şeyden önce, ısı ya da ark kuvveti modellerinin parametrelerinin, torç açısı değiştiğinde deneylerle doğrulanması gerekir. Bu sorunu çözmek için Cho vd. tozaltı tandem ark kaynağı işlemi için karmaşık bir ısı kaynağı modeli geliştirmişlerdi. Torç açılarının ısı akısı ve ark basıncı dağılımı üzerindeki etkisini yansıtmak için iki farklı etkili ark plazma yarıçapı sunulmuştur. Ön ve arka ark tarafından indüklenen manyetik alan nedeniyle Lorentz kuvveti göz önüne alındığında, bu iki ark etkileşimi kısmen ön ark yer değiştirmesi tarafından domine edilir. Önde gelen ve takip eden ark modellerinde dokuz farklı model parametresi karmaşık bir şekilde kullanılmasını sağlar. Tanaka vd. Üç boyutlu sayısal modeller kullanarak TIG-MIG hibrit kaynak işleminde farklı açılarla ark olaylarını analiz etmişlerdir (Mishima vd., 2013).

Isı akışının yakınsamasının, TIG ve MIG'nin bazı torç açıları altında maksimum değer alacağı ve arkın sertliği ile her iki arkın itilmesi arasındaki denge ile açıklanabileceği bulunmuştur. Bununla birlikte, torç açılarının etkisini ve arkların etkileşimini incelemek için karmaşık akım koruma denklemi ve Maxwell-Amper denkleminin çözülmesi gerekir (Mishima vd., 2013). Bu nedenle, ilk önce torç açılarının kaynak işlemi üzerindeki etkisini değerlendirmek için basit ve etkili bir yol gerekir. Ark kaynağı işleminde, ilave dolgu metali sadece kaynak dikişi üretmekle kalmaz, aynı zamanda ısı iletimi işlemini de etkiler. Karmaşık yüzey durumu, Kartezyen koordinat sistemindeki kaynak dikişi ve ark krater bölgelerinin sınır koşullarının çözülmesini zorlaştırır (Chen vd., 2012). TIG ve MIG hibrit kaynağı Şekil 4.8'de verilmiştir (Kanemaru vd., 2014).



Şekil 4.8. TIG ve MIG hibrit kaynağı (Kanemaru vd., 2014)

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneysel Yöntem

Bu çalışmada kalıp setleri, orta düzeyde zorlanan dişli ve makine parçalarının yapımına uygun, bazı aparatların da yapımında kullanılan, aynı zamanda da sertleşmeye uygun bir çelik olan 1050 çeliği kullanılmıştır. Temel alaşım elemanı karbon olan 1050 çeliği içerisinde Si ve Mn de bulunmaktadır. Aşağıda Tablo 5.1’de 1050 çeliğinin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 5.1. 1050 çeliğinin kimyasal bileşimi(%)

C	Si	Mn	P _{max}	S _{max}
0,52	0,25	0,8	0,045	0,045

Bu malzeme için karbon eşdeğeri

$$\%Ceş = \%C + \% \frac{MN}{6} + \frac{\%Cr+Mo+V}{5} + \% \frac{Ni}{15} + \% \frac{Cu}{15} \quad (5.1)$$

bağıntısına göre hesaplandığında

$$\%Ceş = \%0,52 + \% \frac{0,8}{6} = \%0,65 \quad (5.2)$$

Daha önceki çalışmalardan ve kabul görmüş prensiplerden karbon eşdeğeri (%Ceş) 0,6’den büyük olan çeliklere 200 °C -350 °C arasında bir ön tavlama uygulanması sert içyapıların önlenmesi için şiddetle tavsiye edilmektedir.

Literatürdeki kaynaklarda karbon eşdeğeri 0,6-0,9 arasındaki çeliklere 200°C - 350°C’lik ön tavlama uygulanmasının sert içyapı oluşumlarına engel olmak için en etkin yol olduğu ifade edilmektedir. Bu çalışmada ön tavlama sıcaklığın etkilerinin hibrit kaynaktaki etkilerle karşılaştırılabilmesi için 150°C, 200°C ve 250°C’lik ön tavlama sıcaklıkları seçilmiştir.

5.2. Numunelerin Hazırlanması

Deneyleerde kullanılacak olan 1050 çeliğinin karbon eşdeğeri alt sınır olan 0,6 değeriine yakın olduğundan ön tavlama sıcaklığı olarak 150°C, 200°C ve 250°C seçilmiştir.

100x100 mm boyutlarında kesilen 4 ve 8mm kalınlığındaki parçalar fırında 150°C, 200°C ve 250°C'lik ön tavlama işlemlerine tabi tutulmuş daha sonra MIG kaynak yöntemi kullanılarak kaynak işlemi yapılmıştır. Kaynak işlemi kör paso olarak tabi edilen, yüzey üzerine atılan kaynaktır. Elde edilecek sonuçların mukayese edilmesi amacıyla oda sıcaklığında ön tavlama işlemine tabi tutulmadan 100x100 mm boyutunda deney numunesinde de kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir. Böylece hibrit kaynağı etkileşimi ön tavlama yapılan kaynak işlemi ile de mukayesesi yapılmıştır.

MIG kaynağı için Ø1mm çapında SG2 tipi gazaltı kaynak teli kullanılmıştır. Kaynak işlemi OERLIKON marka kaynak makinesi kullanılarak yapılmış, 45 cm/dk kaynak hızı ve 120 amper kaynak akımı kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak 12 litre/dakika debide argon gazı kullanılmıştır. Kaynak akımı 120 amper ve ark gerilimi 19 volt olarak ölçülmüştür. Oda sıcaklığında (20°C), 150°C, 200°C ve 250°C sıcaklıkta ön tavlama işlemine tabi tutulan numuneler MIG kaynağı ile 45 cm/dk hızında kaynak edilmiştir.

TIG kaynağının ön tavlama etkisinin incelenmesi için MIG kaynağı ile entegre edilmiştir. TIG ve MIG kaynak torçları arasında 2 cm mesafe olacak şekilde sabitlenmiş oda sıcaklığındaki numuneler üzerinde farklı akım şiddetine sahip TIG arkı ile kaynak bölgesinden geçildikten sonra MIG kaynağı ile kör paso ile dikiş atılmıştır. TIG kaynağında 2,4 mm çapında tungsten elektrot kullanılmış, ark kararlılığı için (arkın sönmemesi için) yüksek frekans devreye alınmıştır. Ön tavlama işlemine tabi tutulan numunelerin kaynak işleminde olduğu gibi MIG kaynağı için 120 amper kaynak akımı ve 45 cm/dk ilerleme hızı kullanılmıştır. TIG arkının akım şiddeti 30, 45, 60 ve 75 amper olarak seçilmiştir. 75 amperlik TIG kaynağı arkı hariç

parça üzerinde TIG arkı erimeye neden olmamıştır. 90 amperlik TIG kaynağı akımı kaynak bölgesinde erimeye neden olduğundan kullanılmamıştır.

Gerek ön tavlama işlemine tabi tutularak MIG kaynağı ile gerekse TIG arkı ile ön tavlama etkisi yaratıldıktan sonra kaynak işlemi yapılan parçalar durgun havada soğumaya bırakılarak oda sıcaklığına soğuması beklenmiştir. Ardından kaynak bölgeleri tel fırça yardımıyla temizlenmiş ve metalografik olarak hazırlanmıştır. Metalografik numuneler sırasıyla 180, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200'lük su zımparasıyla ve ardından 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyon ile yüzey hazırlama işlemi tamamlanmıştır.

5.3. Mikroyapı İncelemesi

Çalışmada üretilen kaplamaların mikroyapı ve faz bileşimi incelemesi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve optik mikroskop (OM) ile yapılmıştır.

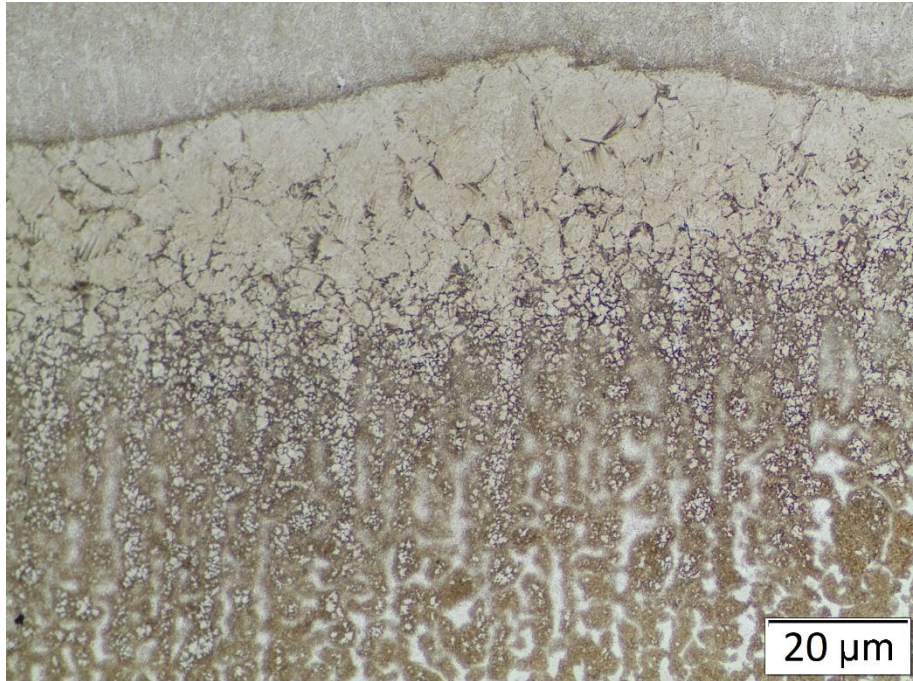
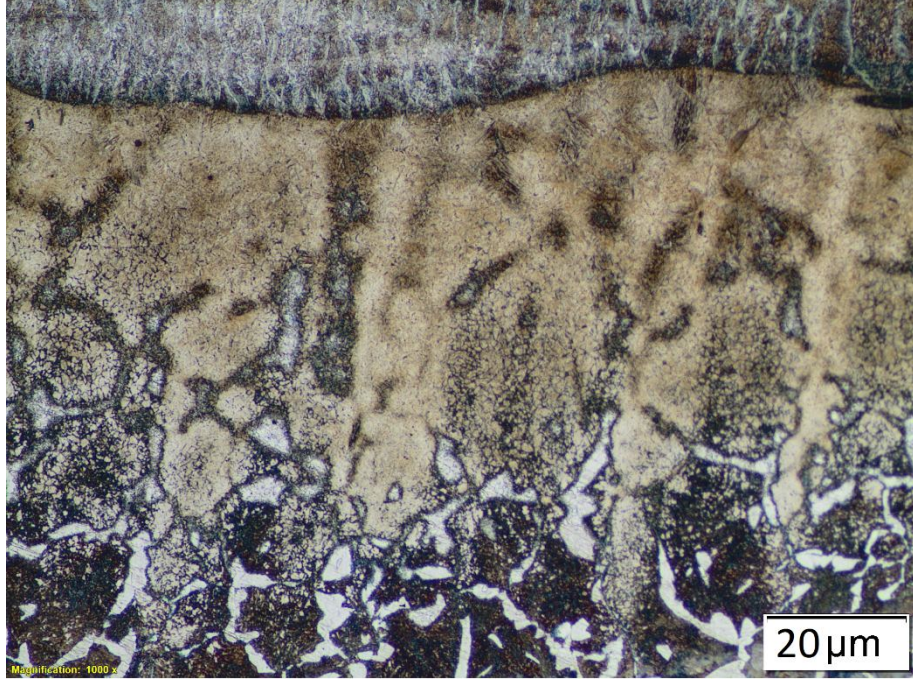
Numuneler soğuk bakalite alınmış ve sırasıyla kaba ve ince zımparalama kademelerinden geçirilmiş zımparalanmış, daha sonra sırasıyla 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyonlar kullanılarak parlatılmıştır. Numunelerin dağlanmasında ise % 5'lik Nital çözeltisi kullanılmıştır. Böylece Kaynak bölgelerindeki ısıdan etkilenen bölgeler ve ITAB optik mikroskop ve SEM için hazır hale getirilmiştir. SEM analizleri için ise FEI QUANTA 250 FEG marka SEM cihazı kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri SHIMADZU HVM-2 model dijital mikro sertlik cihazı ile ölçülmüştür.

5.4. Sertlik Deneyi

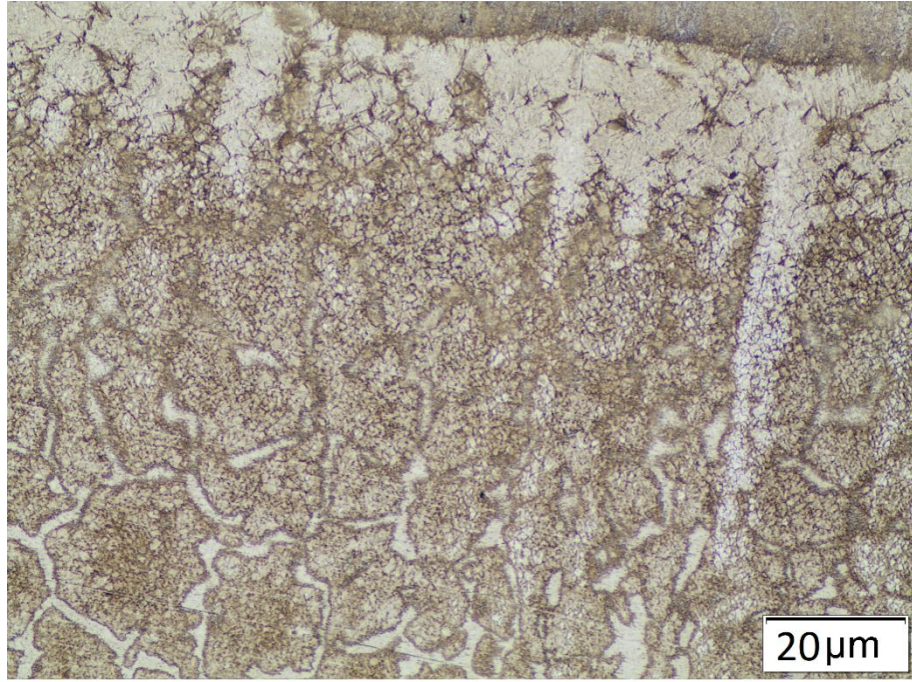
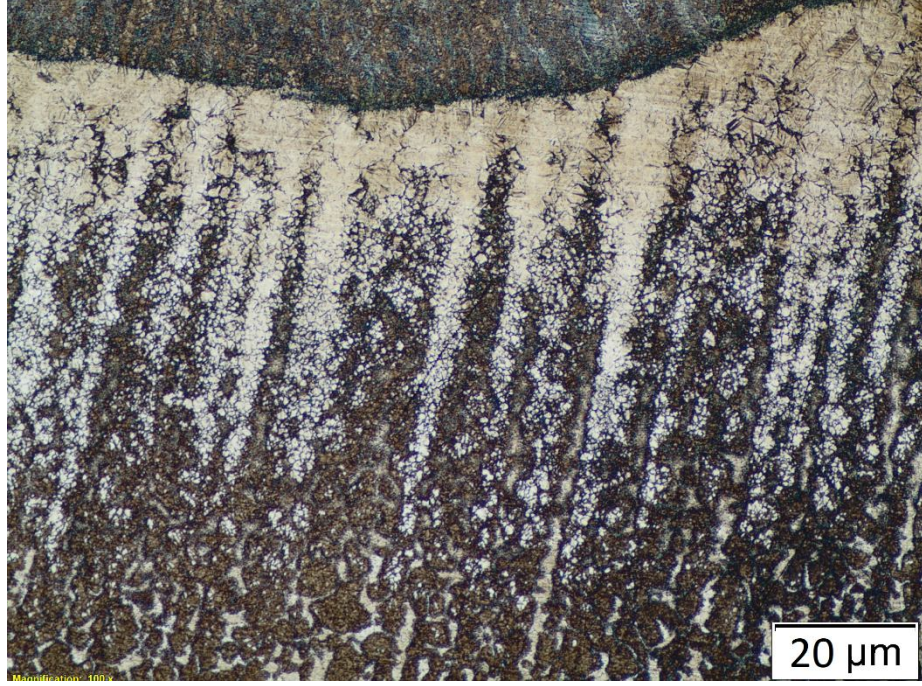
Sertlik ölçümü öncesi numune yüzeyleri zımparalama ve parlatma işlemlerine tutulmuştur. Kaynak bölgelerinin sertlikleri Shimadzu HVM-2 model mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Sertlikler 500 gr yükte ve 15 sn sürede ITAB tan başlayarak esas metale doğru alınmıştır. Bu değerlerin grafikleri çizilerek değerlendirme yapılmıştır. Ölçüm aralıkları 0,25mm olacak şekilde yapılmıştır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

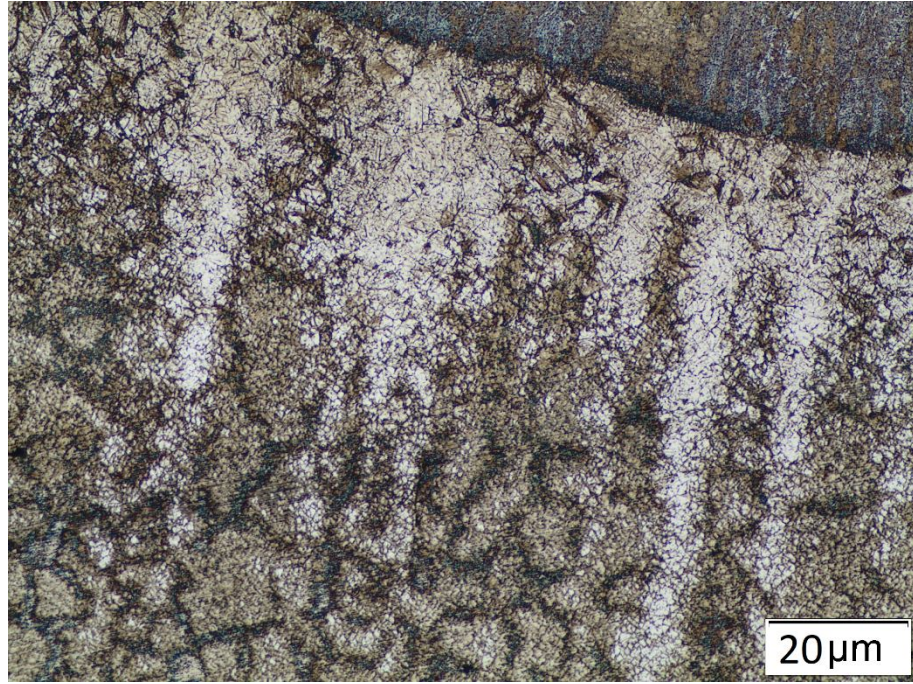
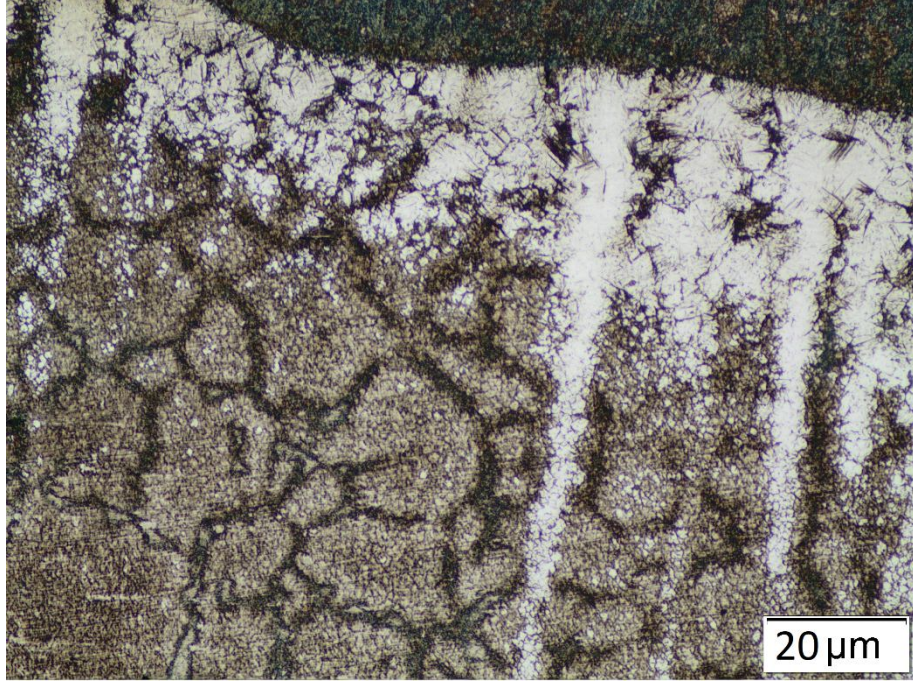
6.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları



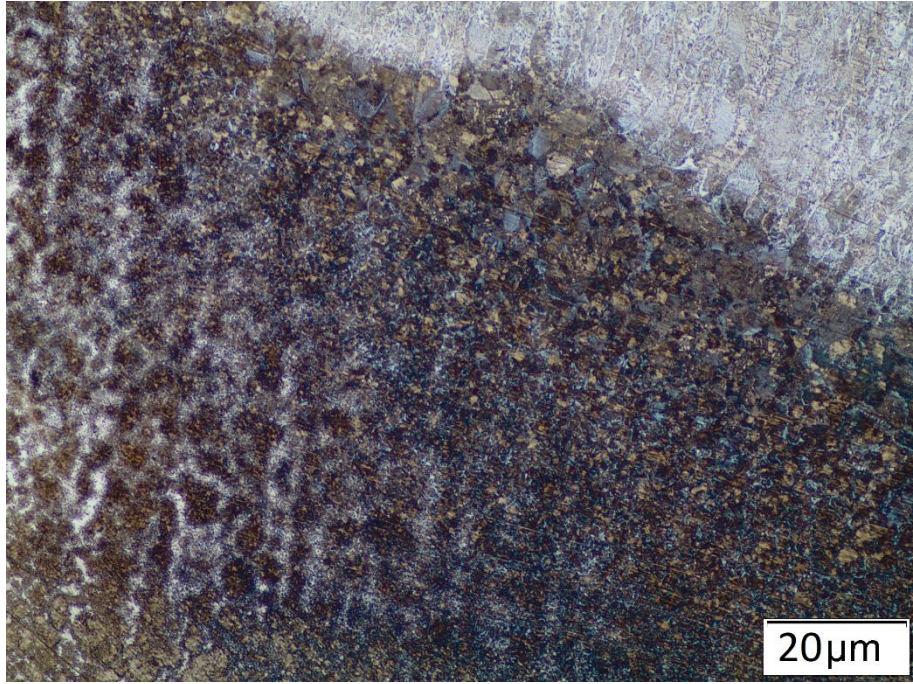
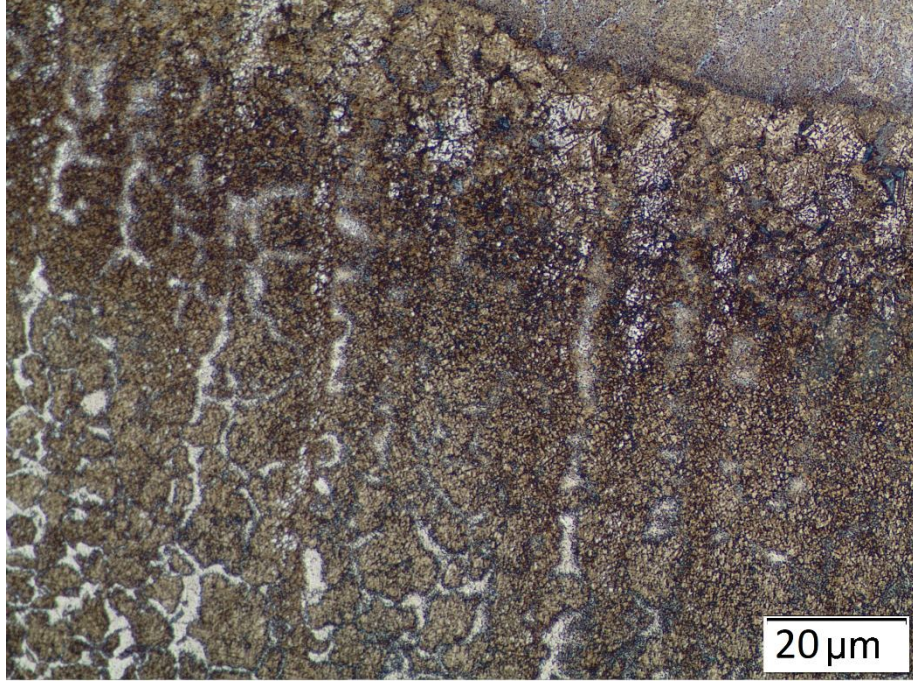
Şekil 6.1. 4 mm'lik parçaların 25°C , 150 °C ön tavlamaıyla kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri



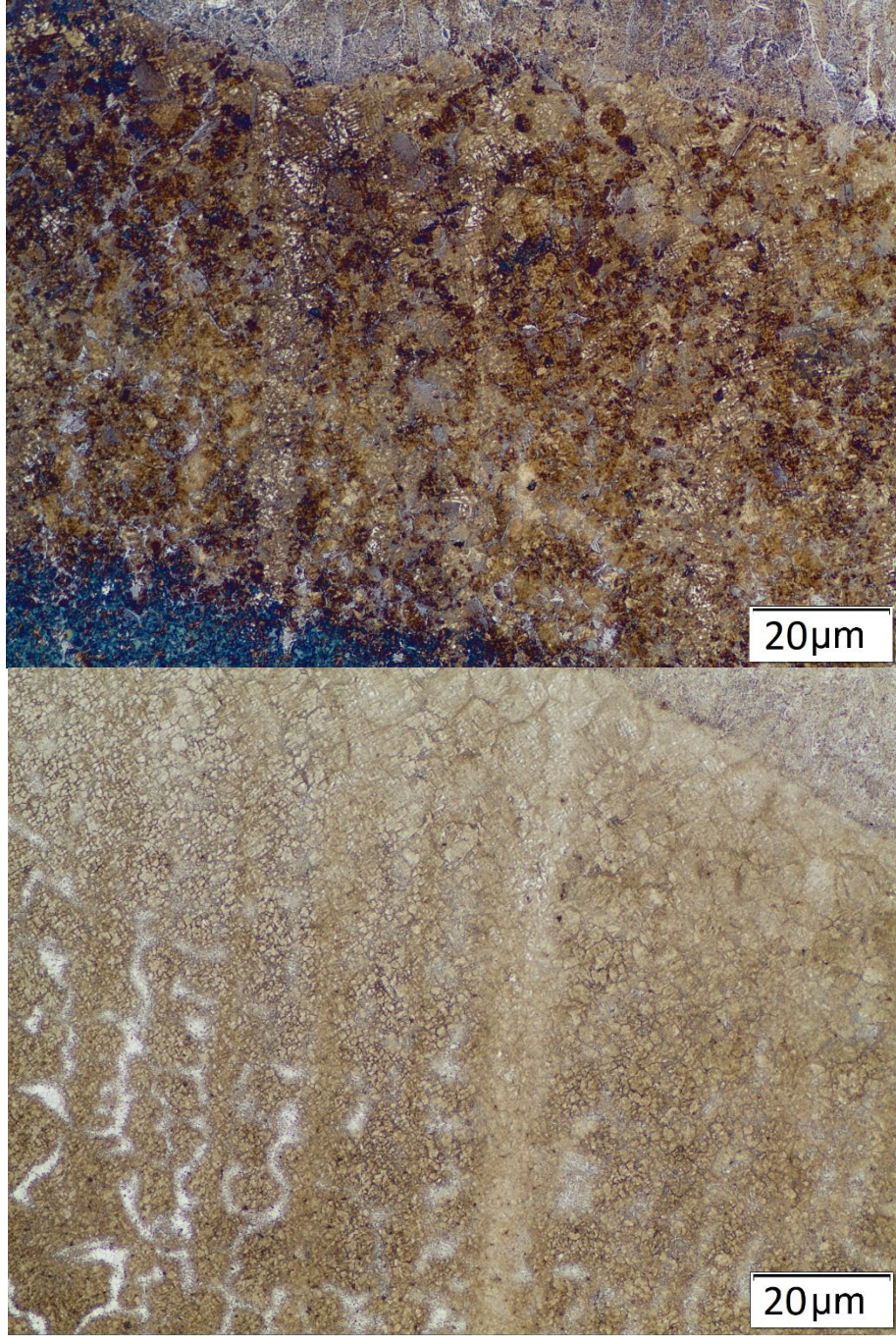
Şekil 6.2. 4 mm'lik parçaların 200 °C ve 250 °C ön tavlama ile kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri



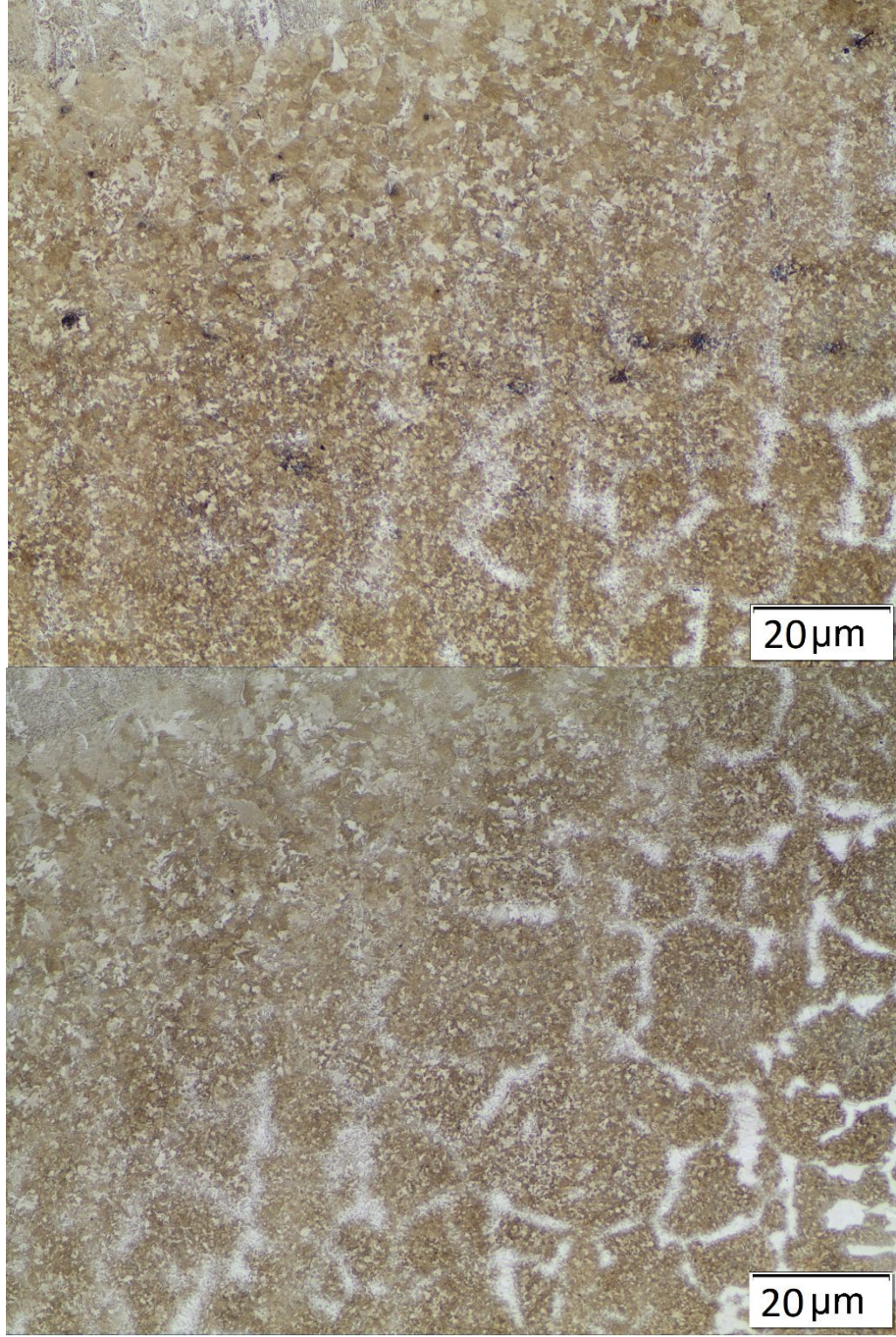
Şekil 6.3. 8 mm'lik parçaların 25 °C, 150 °C ön tavlama ile kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri



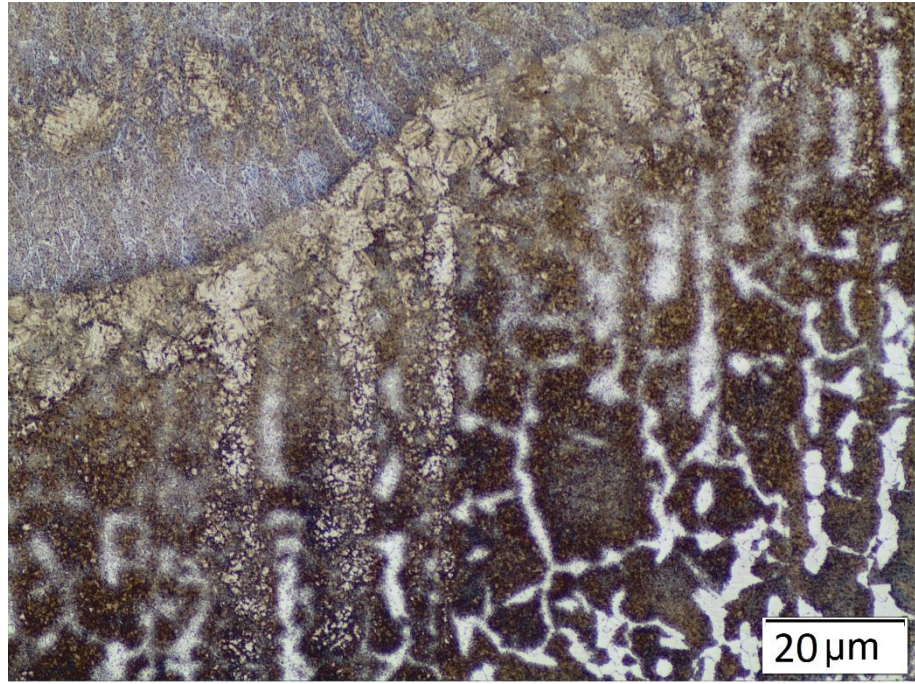
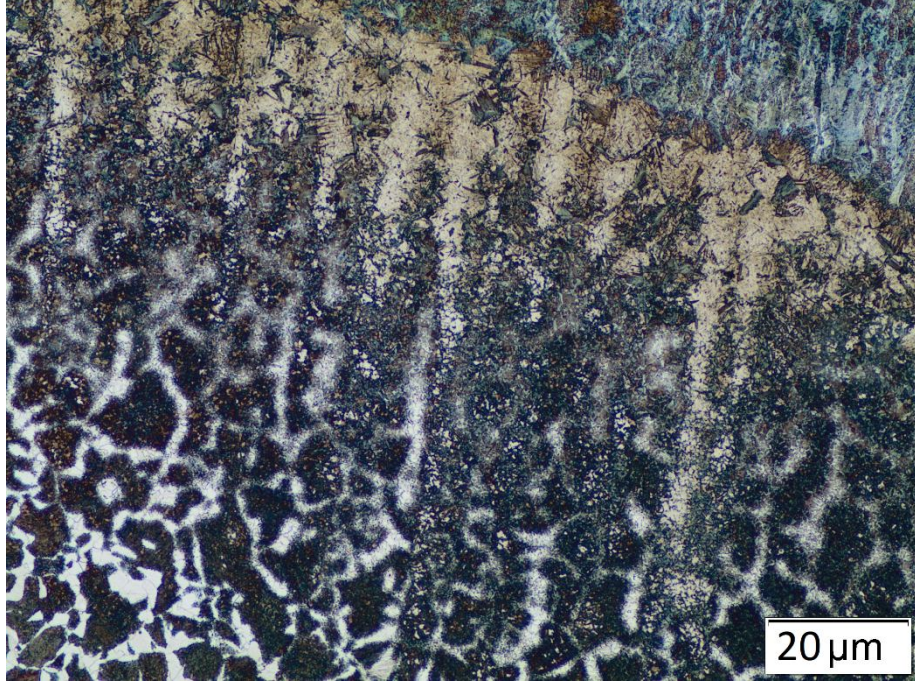
Şekil 6.4. 8 mm'lik parçaların 200 °C ve 250 °C ön tavlama ile kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri



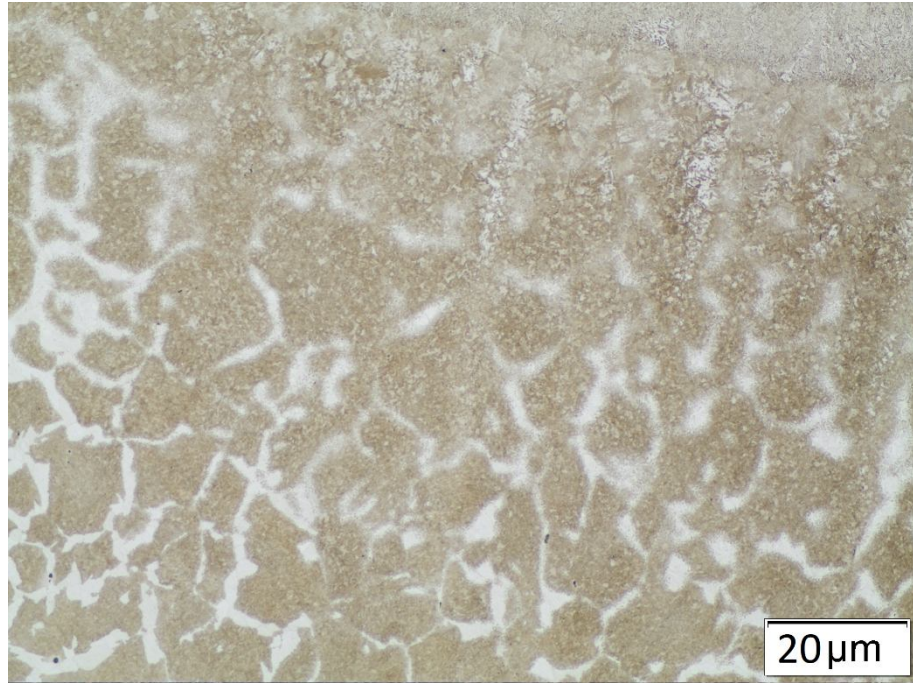
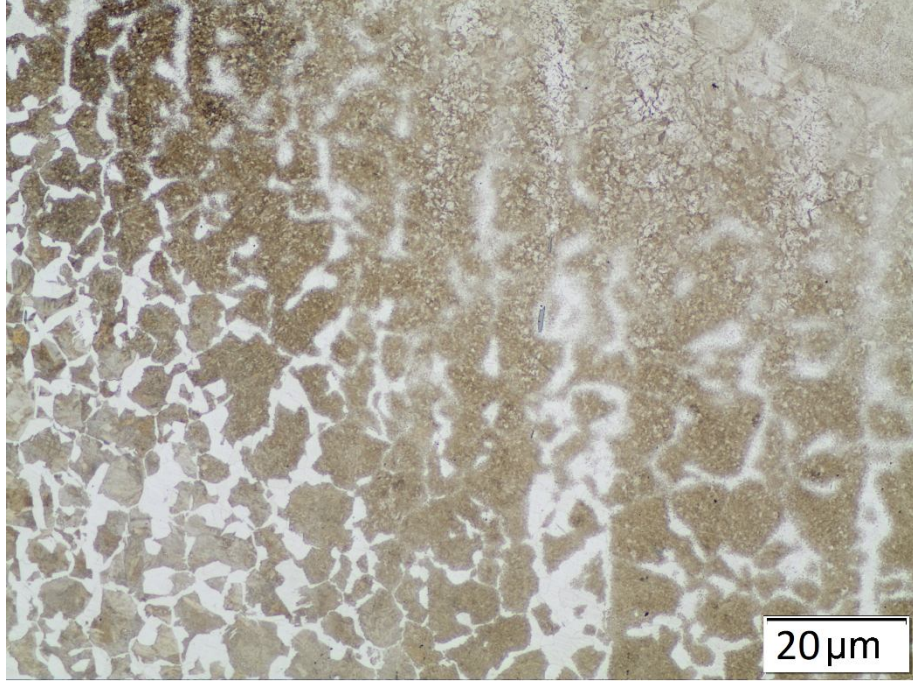
Şekil 6.5. 4 mm'lik parçaların 30, 45 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri



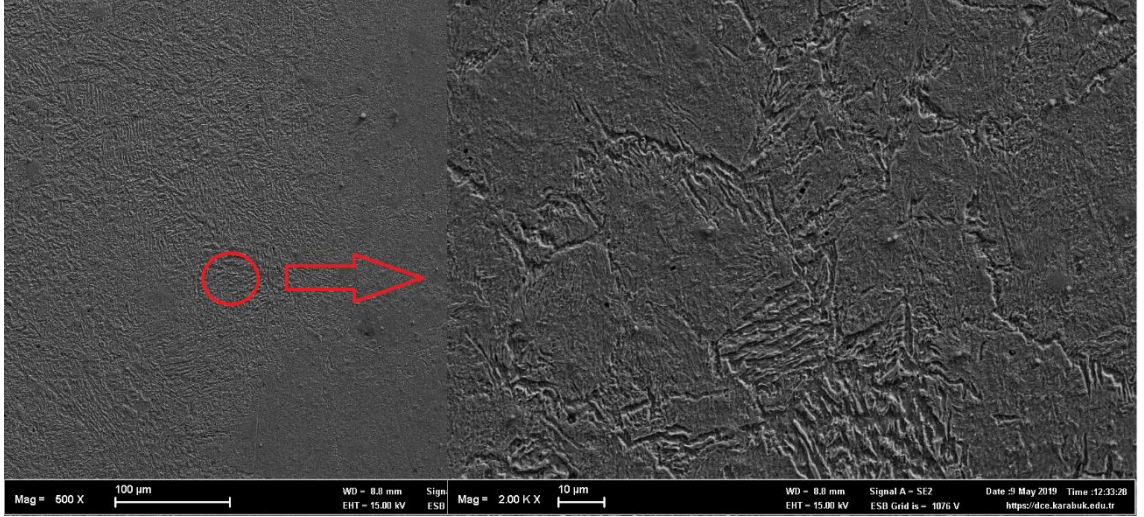
Şekil 6.6. 4 mm'lik parçaların 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri



Şekil6.7. 8 mm'lik parçaların 30, 45 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri

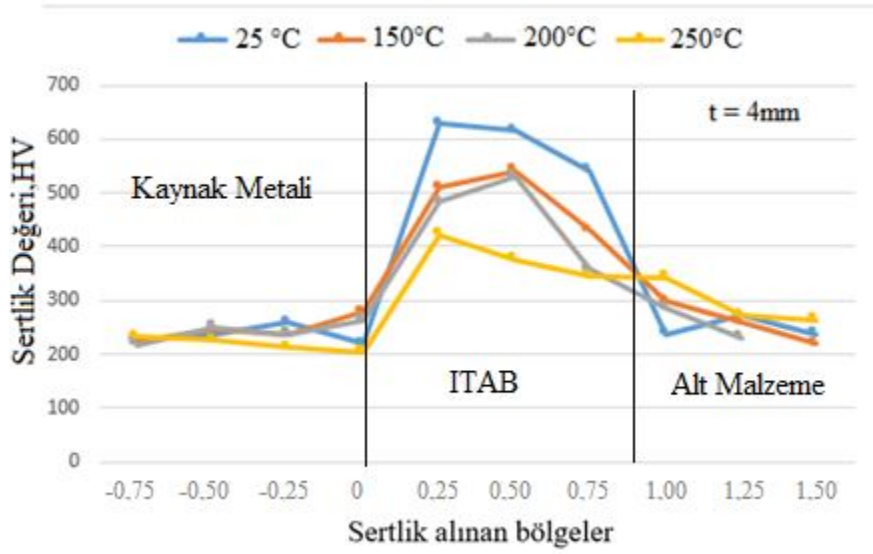


Şekil 6.8. 8 mm'lik parçaların 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası mikroyapı görüntüleri

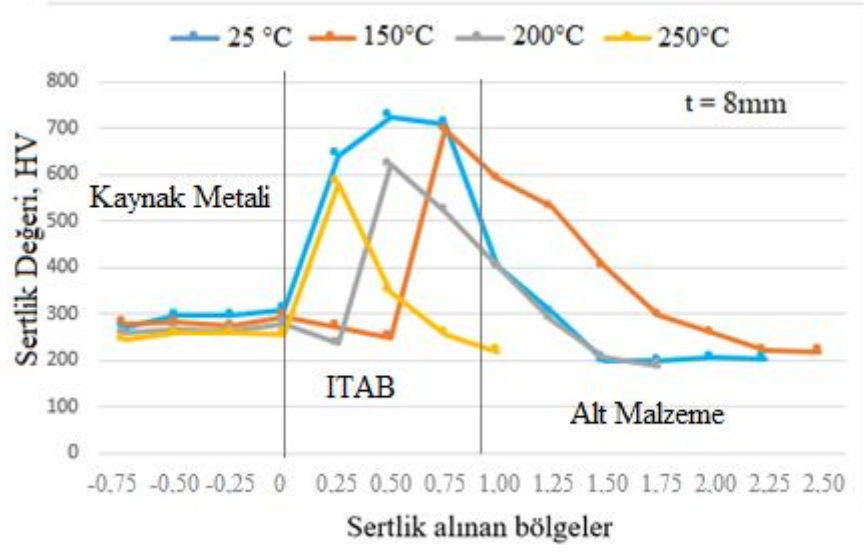


Şekil 6.9. Kaynak bölgesinde oluşan martenzitik yapının SEM görüntüsü

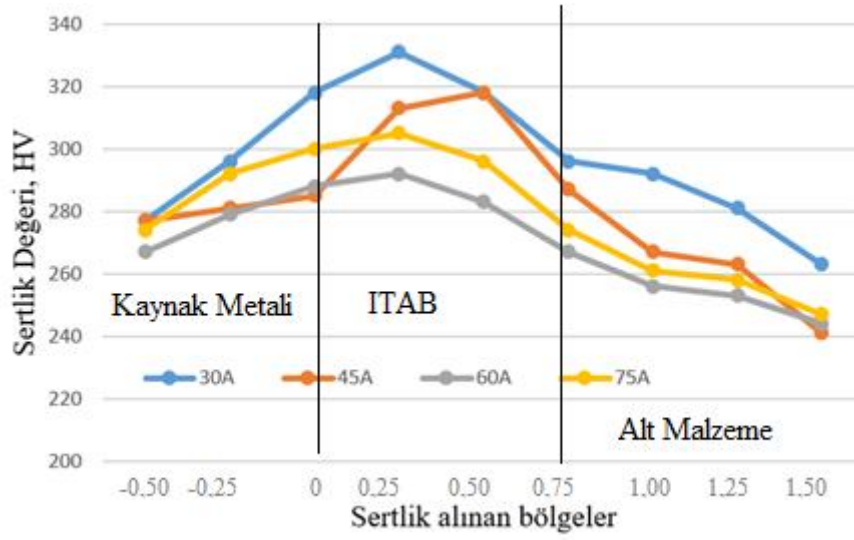
6.2. Sertlik Deneyi Sonuçları



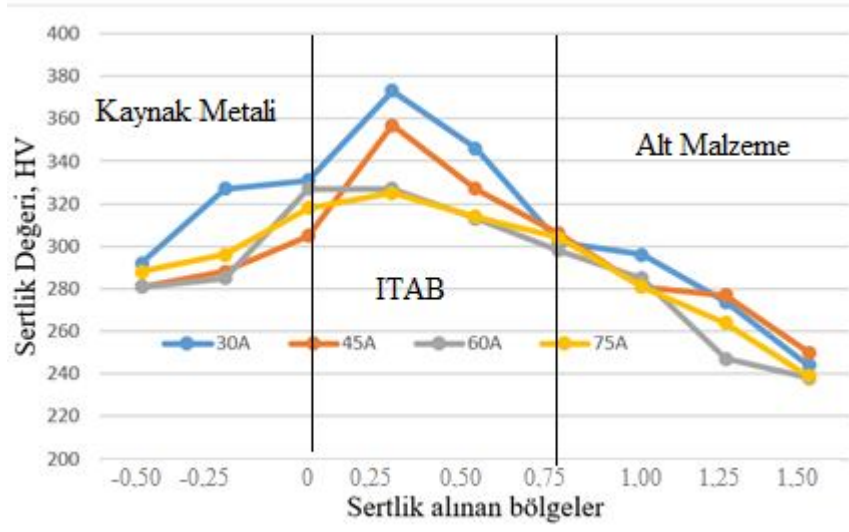
Şekil 6.10. 4 mm'lik parçaların 25 °C , 150 °C , 200 °C ve 250 °C ön tavlama ile kaynak sonrası sertlik sonuçları



Şekil 6.11. 8 mm'lik parçaların 25 °C , 150 °C, 200 °C ve 250 °C ön tavlama ile kaynak sonrası sertlik sonuçları



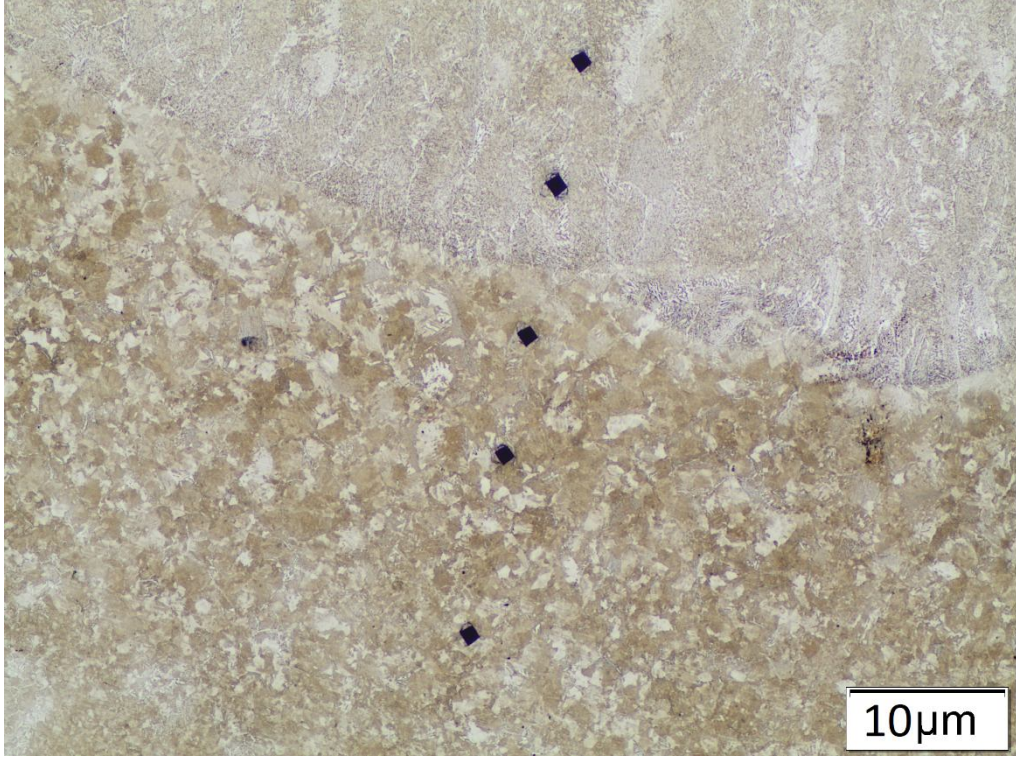
Şekil 6.12. 4 mm'lik parçaların 30, 45, 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası sertlik sonuçları



Şekil 6.13. 8 mm'lik parçaların 30, 45, 60, 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası sertlik sonuçları



Şekil 6.14. 4 mm'lik parçaların 25 °C de ön tavlama etkisi kaynak sonrası sertlik fotoğrafları



Şekil 6.15. 4 mm'lik parçaların 75 amper TIG kaynağıyla ön tavlama etkisi kaynak sonrası sertlik fotoğrafları

7. SONUÇLAR

4 mm kalınlıktaki parçalar için ilave metal kullanılmaksızın TIG kaynak akımı ile sağlanan ısı girdisinin kaynak bölgesinde yavaş soğumaya neden olduğu, bunun sonucunda ITAB'daki sertlik değerinin 350 HV değerinin altına düştüğü görülmüştür.

Burada TIG kaynağı ile sağlanan ısı girdisinin ön tavlama etkisi yarattığı görülmektedir.

8 mm kalınlıktaki parçalar için 4 mm kalınlıkta parçalar düzeyindeki TIG kaynağı ısı girdisi yeterli olmadığından parça kalınlığının artması ısı transferini iki boyutlu halden üç boyutlu hale dönüştürdüğünden yeterli olmamıştır. ITAB'da elde edilen sertlik sonuçlarında sertliğin 350 HV den daha büyük olduğu görülmektedir.

Aynı zamanda 250 °C olarak belirlenen ön tavlama sıcaklığı yetersiz kalmıştır.

Özetle ince parçaların kaynağından hemen önce TIG kaynak arkı ile sağlanan ısı girdisi 1050 çeliğinin kaynağında ön tavlamanın sert iç yapı oluşturmaması yönünde etkisine ulaşılmıştır.

Kalın parçalar için daha yüksek TIG kaynağı ısı girdisi incelenmelidir. Kaynak bölgesinin kaynak işleminden önce erimeden kaynak bölgesinin yavaş soğutulması için kaynaktan sonra yeniden nihai tavlamasının TIG kaynağı ile sağlanıp sağlanmayacağı araştırılmalıdır.

8. ÖNERİLER

Kalın parçalar için daha yüksek TIG kaynağı ısı girdisi incelenmelidir. Kaynak bölgesinin kaynak işleminden önce erimeden kaynak bölgesinin yavaş soğutulması için kaynaktan sonra yeniden nihai tavlama için TIG kaynağı ile sağlanıp sağlanmayacağı araştırılmalıdır.

Soğuma hızının yavaşlatılması için TIG kaynağı ile ön tavlama etkisinin yetersiz kaldığı kalın parçalarda kaynak işleminden hemen sonra TIG kaynak arkı ile nihai tavlamanın etkisi araştırılmalıdır.

Kalın parçalarda erime olmadan TIG kaynak akımının sağlanabilmesi için paralel (çift tungsten elektrotlu) kaynak arkı oluşturulabilmesi için çalışmalar uygulanabilir. Böylece erime olmadan kaynak bölgesine ön tavlama etkisi yaratarak daha yüksek ısı girdisi sağlama imkanları araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Anık, S. (1972). Kaynak Tekniği –Tozaltı ve Koruyucu Gaz Kaynak Usulleri-Cilt2. İstanbul: İTÜ Yayını
- Anık,S., Anık, E.S. & Vural, M. (1993). 1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı, Cilt I ve II, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anık, S. (1983). Kaynak Teknolojisi El Kitabı. Ergör Matbaası
- Awang, M. (2002). The Effects Of Process Parameters On Steel Welding Response In Curved Plates, MSC Thesis, College Of Engineering And Mineral Resources West Virginia University, Morgantown, West Virginia.
- AWS, (1991). A5.32-9X Standard, Specification For Shielding Gases.
- AWS, (1991). Welding Handbook 8th Edition, Volume 2, 74-107.
- Baydur, G. (1979). Malzeme Bilgisi. ANKARA: Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları
- Baylan,O.,(2015). TIG Kaynağı Şematik Gösterim Ve Özet Bilgi.
<https://www.metaluzmani.com/tig-kaynagi-sematik-gosterim-ve-ozet-bilgi/>
- Baylan,O., (2015-2). Torç Elemanları. <Http://Www.Metaluzmani.Com/Torc-Elemanlari/>
- Chen, J., Schwenk, C., Wu, C. S. & Rethmeier, M. (2012). Predicting The Influence Of Groove Angle On Heat Transfer And Fluid Flow For New Gas Metal Arc Welding Processes. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 55(1-3), 102-111.
- Chen J., Schwenk C., Wu, C.S., M. (2012). Rethmeierpredicting The Influence Of Groove Angle On Heat Transfer And Fluid Flow For New Gas Metal Arc Welding Processes Int J Heat Mass Transfer, 55 (2012), Pp. 102-111
- Chen, J., Wu, C.S., M.A. (2014). Chen, Improvement Of Welding Heat Source Models For TIG-MIG Hybrid Welding Process, *Journal Of Manufacturing Processes*, Volume 16, Issue 4, Pages 485-493,
- Cho D. W., Kiran D.V., Song W.H. & Na S.J., (2014). CFD Simulation Of Submerged Tandem Arc Welding Process. IIW Doc. 212-1286-13.
- Cho, D. W., Na, S. J., Cho, M. H., & Lee, J. S. (2013). A Study On V-Groove GMAW For Various Welding Positions. *Journal Of Materials Processing Technology*, 213(9), 1640-1652.
- Cho, D.W., Na, S. J., M.H. & Cho, J.S. (2013). LeeaStudy On V Groove GMAW For Various Welding PositionsJ Mater Process Technol, 213, Pp. 1640-1652

- Ding, M., Liu, S. S., Zheng, Y., Wang, Y. C., Li, H., Xing, W. Q., et al., (2015). TIG–MIG Hybrid Welding Of Ferritic Stainless Steels And Magnesium Alloys With Cu İnterlayer Of Different Thickness. *Materials& Design*, 88, 375-383.
- Erden, G. G., (2012). Farklı Kaynak Parametrelerinin Çelik Kaynak Özelliklerine Etkisinin İncelenmesinde Taguchi Yönteminin Kullanılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi.
- Ericsson, M. (2002), Simulation Of Robotic TIG-Welding, Lund Institute Of Technology Department Of Mechanical Engineering, Sweeden.
- Eroğlu, M., (2004), Kaynak Teknikleri ve Metalurjisi Ders Notları, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Fang, C. F., Meng, X. H., Hu, Q. X., Wang, F. J., He, R. E. N., Wang, H. S., et al. (2012). TANDEM And GMAW Twin Wire Welding Of Q690 Steel Used İn Hydraulic Support. *Journal Of Iron And Steel Research, International*, 19(5), 79-85.
- Fang, H.Y., Meng, Q.G., & Xu, S.D. (2005). Jinew General Double Ellipsoid Heat Source Model Sci Technol Weld Join, 10 (2005), Pp. 361-368
- Goldak, J., Chakravarti, A., & Bibby, M. (1984). A New Finite Element Model For Welding Heat Sources. *Metallurgical Transactions B*, 15(2), 299-305.
- Goldak, J., A. Chakravarti, & M. Bibbya, (1984). New Finite Element Model For Welding Heat Sources Metall Trans B, 15 (1984), Pp. 299-305
- Guen, E.L., M. Carin, R., Fabbro, F., & Coste, P.L., (2011). Masson3D Heat Transfer Model Of Hybrid Laser Nd:Yag-MAG Welding Of S355 Steel And Experimental Validation Int J Heat Mass Transfer, 54, Pp. 1313-1322
- Hongyuan, F., Qingguo, M., Wenli, X., & Shude, J. (2005). New General Double Ellipsoid Heat Source Model. *Science And Technology Of Welding And Joining*, 10(3), 361-368.
- Hu, Q.X., Wu, C.S., & Zhang, Y. (2007). Finite Element Analysis Of Keyhole Plasma Arc Welding Based On An Adaptive Heat Source Mode. *China Welding (English Edition)*, 16(2), 55-58.
- Hu, Q.X., Wu, C.S. & Y.M., (2007). Zhang finite Element Analysis Of Keyhole Plasma Arc Welding Based On An Adaptive Heat Source Mode China Weld, 16, Pp. 55-58
- Kanemaru, S., Sasaki, T., Sato, T., Mishima, H., Tashiro, S., & Tanaka, M. (2014). Study For TIG–MIG Hybrid Welding Process. *Welding İn The World*, 58(1), 11-18.

- Kanemaru,S.,Sasaki, T.,Sato, Mishima,T.H. & Tashiro, S. M. (2014). Tanakastudy For TIG–MIG Hybrid Welding Process Weld World, 58, Pp. 11-18
- Kanemaru,S.,Sasaki, T., & Sato, M. (2012). Tanakabasic Study On TIG-MIG Hybrid Welding Process Q J Jpn Weld Soc, 30, Pp. 29-34
- Ko, S. H., Yoo, C. D., & Choi, S. K. (2001). Effects Of Surface Depression On Pool Convection And Geometry İn Stationary GTAW. *Welding Journal (USA)*, 80(2), 39.
- Kou, S. (1987). *Welding Metallurgy* Second Edition, John Wiley&Sons.
- Kou, S., (2003), *Welding Metallurgy*, John Wiley&Sons, New Jersey.
- Ko, S.H. & Choi, C.D. (2001). Yooeffects Of Surface Depression On Pool Convection And Gefometry İn Stationary GTAW Weld J, 80, Pp. 39s-45s
- Kurt, H.,İ., (2006). TIG Kaynak Yöntemiyle Birleşen Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. (Yüksek Lisanstezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Le Guen, E., Carin, M., Fabbro, R., Coste, F., & Le Masson, P. (2011). 3D Heat Transfer Model Of Hybrid Laser Nd: Yag-MAG Welding Of S355 Steel And Experimental Validation. *International Journal Of Heat And Mass Transfer*, 54(7-8), 1313-1322.
- Lancaster, J.F., (1999), *Metallurgy Of Welding*, Sixth Edition, Abington Publishing, Cambridge.
- Li, K., & Wu, C.S., (2009) Mechanism Of Metal Transfer İn DE-GMAW. *Journal Of Materials Sciences And Technology*, 25(03), 415-418
- Li, K.H., (1999).Wumechanism Of Metal Transfer İn DE-GMAW J Mater Sci Technol, 25,Pp. 415-418
- Lothongkum, G., Viyanit, E. &Bhandhubanyong, P. (2001). Study On The Effects Pulsed TIG Welding Parameters On Delta-Ferrite Content, Shape Factor And Bead Quality İn Orbital Welding Of AISI 316L Stainless Steel Plate, *Journal Of Materials Processing Technology*, (110), 233238.
- Matthews, J.R. & PorterJ.F. (1991). An Evaluation Of T.I.M.E. Welding Of HY80 Plate Weld J, 70,Pp. 35s-41s
- Matthews, J. R., & Porter, J. F. (1991). An Evaluation Of TIME Welding Of HY80 Plate.

- Meng, X., Qin, G., Zhang, Y., Fu, B., & Zou, Z. (2014). High speed TIG–MAG hybrid arc welding of mild steel plate. *Journal of Materials Processing Technology*, 214(11), 2417-2424.
- Messler, R. W. (1999) Principles Of Welding, John Wiley&Sons, New Jersey
- Mishima, H., Tashiro, S., Kanemaru, S., & Tanaka, M. (2013). Numerical Simulation On Plasma Property In TIG-MIG Hybrid Welding Process. *Quarterly Journal Of The Japan Welding Society*, 31(4), 22s-25s.
- Mishima, H., Tashiro, S., & Kanemaru, M. (2005). Tanaka numerical Simulation On Plasma Property In TIG-MIG Hybrid Welding Process. *Q J Jpn Weld Soc*, 31 (2013), Pp. 22s-25s
- Modenesi, J.P., Apolinario, R.E., & Pereira, M.I. (2000), TIG Welding With Single-Component Fluxes, *Journal Of Materials Processing Technology*, (99), 260-265.
- Na, S. J., Cho, D. W., Kiran, D. V., & Song, W. H. (2013, September). CFD Simulation Of Submerged Tandem Arc Welding Process. In *66th Annual Assembly Of The International Institute Of Welding*. International Institute Of Welding.
- Nalçacı, B., (2017) ST 52 Çeliğine Mig Yöntemiyle Yapılan Kaplama Kaynağında Ön Tavlama Sıcaklığının Etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Norrish, J (1992) Advanced Welding Processes (Bristol: Institute Of Physics Publishing)
- Oğuz, B., (1985), Karbonlu Ve Alaşımli Çeliklerin Kaynağı, Burhan Oğuz, OERLIKON Yayını,
- Porter, D.A.& Easterling, K.E., (2004). Phase Transformations In Metals And Alloys, CRC Press, Taylor & Francis Group, Finland
- Ribic, B., Rai, R., & Debroy, T. (2008). Numerical Simulation Of Heat Transfer And Fluid Flow In GTA/Laser Hybrid Welding. *Science And Technology Of Welding And Joining*, 13(8), 683-693.
- Sahasrabudhe, O. S., & Raut, D. N. (2018). Effect Of Heat Source Positioning On Hybrid TIG-MAG Arc Welding Process. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 18518-18526.
- Serfiçeli, Y. S., (2004). Elektrik Ark ve Oksi Gaz Kaynağı, Tekaç Eylül Kitap ve Yayınevi,

- Shi, Y., Han, R., Huang, J., & Yan, S. (2014). Numerical And Experimental Study Of Temperature Field For Double Electrode Gas Metal ArcWelding. *Journal Of Manufacturing Science And Engineering*, 136(2), 024502.
- Shi, Y., Zhang, G., Huang, Y., Lu, L., Huang, J., & Shao, Y. (2014). Pulsed Double-Electrode GMAW-Brazing ForJoining Of Aluminum To Steel. *Weld. J*, 93(6), 216-224.
- Shuhei, K., Tomoaki, S., Toyoyuki, S., & Manabu, T. (2012). Basic Study On TIG-MIG Hybrid Welding Process. *QJ Jpn. Weld. Soc.*, 30(1), 29-34.
- Suban, M., Tusek, J. & Uran, M. (2001), Use Of Hydrogen İn Welding Engineering İn Former Times AndToday, *Journal Of Materials Processing Technology*, (119), 193-198.
- Subaşı, M. & Karabaş, Ç., (2010).AISI 4140 Çeliğinde Sertlik, Yorulma Dayanımı İlişkisi, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13 (1).
- Savaşkan,T.(2004). Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi, 3. Baskı, Akademi Kitabevi, Trabzon.
- Ueyama, T.,Ohnawa, K.,Yamazaki, M.,Tanaka, M.,& Ushio, K. (2005). Nakatahigh-Speed Welding Of Steel SheetsByThe Tandem Pulsed Gas Metal Arc Welding System *Trans JWRI*, 34, Pp. 11-18
- Thelning, K.E., (1992). Çelik ve Isıl İşlemi, Çeviri: A. Tekin, Hakan Ofset, İstanbul, 1984, E. Tekin, Mühendisler İçin Çelik Seçimi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını, Yayın No: 119, Ankara.
- Turhan, F. (2017). 1100 serisi alüminyum malzemelerde TIG kaynağı ile oluşan kaynak dikiş geometrisinin optimizasyonu (Master'sthesis, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Tusek, J. & Suban, M. (2000). Experimental Research Of The Effect Of Hydrogen İn Argon As A Shielding Gas İn Arc Welding Of High-Alloy Stainless Steel, *International Journal Of Hydrogen Energy*, (25), 369-376.
- Tülbentçi, K. & Kaluç, E., (2001). Gaz Ergitme Kaynağı ve Oksijen ile Kesme TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- Ueyama, T., Ohnawa, T., Yamazaki, K., Tanaka, M., Ushio, M., & Nakata, K. (2005). High-Speed Welding Of Steel SheetsByThe Tandem PulsedGas Metal Arc Welding System. *Transactions Of JWRI*, 34(1), 11-18.
- Uzun, A. (2017). The Effect Of Welding Speed On The Weld Seam Profile İn MAG And TIG/MAG Hybrid Arc Welding. *Practical Metallography*, 54(4), 225-240.

- URL1, Teknik Eğitim El Kitabı14 Ekim 2019, <https://www.askaynak.com.tr/yayinlar/teknik-yayinlar/teknik-egitim-el-kitabi> adresinden alınmıştır.
- Xu, G. X., Wu, ChuanSong, Qin, G. L., Wang, X. Y. & Lin, S. Y. (2011). Adaptive Volumetric Heat Source Models For Laser Beam And Laser + Pulsed GMAW Hybrid Welding Processes. *The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 57(1), 1433-3015.
- Xu, G.X., C.S. Wu., G.L. Qin, X.Y. & Wang, S.Y.(2011).Linadaptive Volumetric Heat Source Models For Laser Beam And Laser Plus Pulsed GMAW Hybrid Welding Processes Int J Adv Manuf Technol, 57 ,Pp. 245-255
- Shi,Y.,Zhang, G.,Huang, Y., Lu, J.L. & Huang, Y. (2014). Shaopulsed Double-Electrode GMAW-Brazing For Joining Of AluminumTo Steel Weld J, 93, Pp. 216s-224s
- Shi, Y., Han, R.H & Huang, S. (2014). Yannumericaland Experimental Study Of Temperature Field For Double Electrode Gas Metal Arc Welding JManuf SciEng, 136, Pp. 024502-1-024502-5
- Yalçın, H., & Gürü, M. (2002). Malzeme Bilgisi. Palme Yayıncılık, Ankara
- Zhang,Y.M.,Jiang, M. & Lu,W.(2004).Double Electrodes İmprove GMAW Heatİnput Control Weld J, 83, Pp. 39-41
- Zhang, Y. M., Jiang, M., & Lu, W. (2004). Double Electrodes İmprove GMAW Heatİnput Control. *Welding Journal*, 83(11), 39-41.
- Zong, R., Chen, J., & Wu, C. (2019). A Comparison Of TIG-MIG Hybrid Welding With Conventional MIG Welding İn The Behaviors Of Arc, Droplet And Weld Pool. *Journal Of Materials Processing Technology*, 270, 345-355.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Necla YILDIZ
Doğum Yeri ve Yılı : Safranbolu 1970
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : yildiz.necla@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Karabük Demir Çelik Lisesi -1987
Lisans : Hacettepe Üniversitesi Zonguldak Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü -1991