



**RAY ÇELİKLERİNE ÖSTEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN
UYGULANMASI VE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAK
EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Şafhak TURAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2017

Şafhak TURAN tarafından hazırlanan “RAY ÇELİKLERİNE ÖSTEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN UYGULANMASI VE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Uğur ARABACI

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

İmalat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç. Dr. Ahmet GÜRAL

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Doç. Dr. Mustafa GÜNAY

Makine Mühendisliği, Karabük Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 23/01/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Şafhak TURAN

23/01/2017

RAY ÇELİKLERİNE ÖSTEMPERLEME ISIL İŞLEMİNİN UYGULANMASI VE YAKMA ALIN KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAYNAK EDİLEBİLİRLİĞİNİN

ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Şafhak TURAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2017

ÖZET

Bu çalışmada, demiryollarında kullanılan R260 kalite ray çeliğine ısıtma işlemleri uygulanarak beynit mikroyapısı elde edilmiştir. Mevcut ray çeliklerine göre daha avantajlı olduğu düşünülen bu çelikler, rayların kaynak işlemlerinde genellikle kullanılan yakma alın kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır ve elde edilen numunelerin mekanik ve mikro yapıları incelenerek birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deney çalışmaları esnasında yakma alın kaynak parametreleri sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar ile yakma alın kaynak yöntemini kullanarak beynit iç yapılı çeliklerin kaynak performansları incelenmiş ve normal ray ile kıyaslanmıştır. Yapılan ısıtma işlemi sonucunda elde edilen beynit iç yapısının kaynak sonrasında kaynak bölgesinde kısmen dönüşümlere uğradığı ana metale doğru gidildikçe yine kendi iç yapısını koruduğu görülmüştür. Ayrıca kaynak bölgesinde sertlik ve çekme mukavemeti değerlerinin de arttığı gözlemlenmiştir.

Bilim Kodu : 91511

Anahtar Kelimeler : Ray çelikleri, Beynit yapılı çelikler, Yakma alın kaynağı

Sayfa Adedi : 77

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Uğur ARABACI

APPLICATION OF AUSTEMPERING HEAT TREATMENT TO RAIL STEELS AND
INVESTIGATION OF WELDABILITY WITH FLUSH BUTT WELDING METHOD

(M. Sc. Thesis)

Şafhak TURAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2016

ABSTRACT

In this study, bainitic microstructure was obtained by heat treatment on R260 rail steel, which is generally used in railways. These steels are considered to be more advantageous than current rail steels, and are obtained by heat treatment. The mechanical and micro structures of the samples obtained by this technique were investigated and compared with each other. Flash-butt welding parameters were kept constant during the experiment. In the light of test results, welding performances of bainitic steels were analyzed and compared with R260 steels. It is observed within the study that the bainite structure that was obtained by heat treatment was partially transformed on the welding area, however, it remained still on base metal. Moreover, it is also observed that the hardness level and tensile strength on the welding zone were increased.

Science Code : 91511
Key Words : Rail steels, Bainitic rail steels, Flush butt welding
Page Number : 77
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Uğur ARABACI

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca kıymetli tecrübelerinden faydalandığım, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Yrd. Doç. Dr. Uğur ARABACI'ya sonsuz şükranlarımı sunarım. Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü ve TCDD Ray Kaynak Fabrikası ve DATEM İşletme Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca ısıt işlemler konusunda değerli katkılarından dolayı Doç. Dr. Ahmet GÜRAL hocama teşekkürü borç bilirim.

Beni bugünlere getiren ve tez çalışmam boyunca benden manevi desteğini hiç esirgemeyen çok değerli aileme, eşime, Elif Ece, Ela ve Yiğit'e şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI	3
2.1. Elektrik Direnç Kaynağı Çeşitleri	4
2.1.1. Nokta direnç kaynağı	4
2.1.2. Dikiş direnç kaynağı	6
2.1.3. Kabartılı direnç kaynağı	8
2.1.4. Alın direnç kaynağı	10
3. YAKMA ALIN KAYNAĞI	13
3.1. Yakma Alın Kaynağı Çeşitleri	15
3.1.1. Basınçlı alın kaynağı.....	15
3.1.2. Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı	15
3.1.3. Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı	16
3.2. Alın Yığma Kaynağı	16
3.3. Yakma Alın Kaynağı.....	17

	Sayfa
3.3.1. Kaynak parametreleri	19
3.3.2. Isı dağılımı	20
3.3.3. Isıl işlemler	20
3.4. Yakma Alın Kaynağı Avantajları.....	22
3.5. Yakma Alın Kaynağı Dezavantajları	22
3.6. Rayların Yakma Alın Kaynağı Yöntemi İle Kaynatılması ve Kontrolü	23
4. RAY ÇELİKLERİ VE ISIL İŞLEMLER.....	27
4.1. Demir Yollarında Kullanılan Raylar	27
4.2. Beynit Yapısı.....	29
4.2.1. Östenitten beynite Dönüşüm	29
4.3. Beynitin Türleri	30
4.3.1. Üst beynit	30
4.3.2. Alt beynit.....	32
4.4. Beynitin Mekanik Özellikleri.....	33
4.5. Ticari Beynitik Alaşımlar	33
4.6. Beynit Yapılı Ray Çelikleri.....	35
4.7. Uygulanan Isıl İşlem.....	37
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	41
5.1. Malzeme	41
5.2. Deney Numunesi ve Isıl İşlem	42
5.3. Mekanik Deneyler	46
5.3.1. Sertlik deneyi	46
5.3.2. Çekme deneyi.....	48
5.4. Mikroyapı İncelemesi.....	49

	Sayfa
5.5. XRD Analizi	51
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR.....	53
6.1. Mikroyapı Sonuçları.....	53
6.2. Sertlik Sonuçları	56
6.3. XRD Sonuçları	57
6.4. Kaynaklı Numunelere Ait Mikroyapı İncelemeleri.....	60
6.5. Kaynaklı Numunelere Ait Sertlik İncelemeleri	65
6.6. Kaynaklı Numunelere Ait Çekme Deneyi ve Kırık Yüzeylerin İncelenmesi	67
6.6.1. Perlitik numunenin kırık yüzey morfolojisi	68
6.6.2. Beynitik numunenin kırık yüzey morfolojisi	69
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
7.1. Sonuçlar	71
7.2. Öneriler	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Dikiş kaynağının kullanıldığı malzemeler ve kalınlıkları	8
Çizelge 4.1. Ray sınıfları ve özellikleri	27
Çizelge 4.2. Farklı ısıt işlemler uygulanmış AISI 1095 çeliğinin oda sıcaklığındaki özellikleri	33
Çizelge 4.3. Beynit yapılı ray çeliğinin genel ray kalitesi ile karşılaştırılması	36
Çizelge 4.4. Japonya’da deneme aşamasındaki beynit yapılı rayın içeriği ve sertliği....	36
Çizelge 4.5. Amerika’da üretilen J6 beynitik çeliğinin içeriği	37
Çizelge 5.1. R260 ray çeliğine ait kimyasal bileşim sonucu	41
Çizelge 6.1. Kaynak öncesi ve sonrasında R260 ray çeliği ve beynit yapılı çeliğin sertlik değerleri	66
Çizelge 6.2. Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları.....	67

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi	5
Şekil 2.2. Nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı...	6
Şekil 2.3. Yığma alın kaynağında dikişin durumu	12
Şekil 3.1. Yakma alın kaynak ekipmanı.....	17
Şekil 3.2. Yakma alın kaynağı işlem basamakları	19
Şekil 3.3. Yakma alın kaynak işleminin grafiksel gösterimi.....	19
Şekil 3.4. Kaynak ve civarındaki bölgelerde zaman-sıcaklık değişimi.....	20
Şekil 3.5. Normalizasyon tavlamasında zaman-sıcaklık ilişkisi	21
Şekil 4.1. Yaygın kullanılan ray boyutları	28
Şekil 4.2. AISI 4360 çeliğinde üst beynitin mikroyapısı	30
Şekil 4.3. Alt ve üst beynitik dönüşümün şematik gösterimi	31
Şekil 4.4. AISI 4360 çeliğinde 300°C’de izotermal dönüşüm sonrası alt beynitin mikroyapısı	32
Şekil 4.5. Ticari olarak kullanılan beynitik alaşımlar	35
Şekil 4.6. Ötektoit dönüşüm diyagramı	38
Şekil 4.7. Ötektoid çeliğinin TTT diyagramı	39
Şekil 5.1. Kaynak numunesinin ölçüleri	42
Şekil 5.2. Kaynak numunelerinin ray üzerinde alındığı bölgeler	42
Şekil 5.3. Uygulanan TTT diyagramı ve çeliğin Fe-C denge diyagramındaki yeri	43
Şekil 5.4. Numunelerin çeneye bağlanması	45
Şekil 5.5. Numune sertliği ölçüm noktaları.....	47
Şekil 5.6. Kaynaklı numunelerin sertlik tarama noktaları.....	47
Şekil 5.7. Standart çekme numunesi	48

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. Perlitik ve beynitik numunenin sertlik taraması.....	56
Şekil 6.2. Perlitik numuneye ait XRD analizi	58
Şekil 6.3. Beynitik numuneye ait XRD analizi	58
Şekil 6.4. Bir ray çeliğine ait XRD analizi.....	59
Şekil 6.5. 42 – 48 dereceler arasındaki Fe-C XRD analizi	60
Şekil 6.6. Perlitik ve beynitik numunelerin kaynak sonrası sertlik tarama değerleri.....	65

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı	8
Resim 2.2. Kabartılı direnç nokta kaynak makinesi	10
Resim 2.3. Kabartılı kaynak	10
Resim 2.4. Direnç alın kaynak makinesi	12
Resim 3.1. Yakma alın kaynağı kullanım alanları	23
Resim 3.2. Ray kaynak makinesi	24
Resim 3.3. Ray kaynağı	24
Resim 3.4. Ray kaynağı çapak sıyırma	25
Resim 3.5. Kaynaklanmış ray resmi	25
Resim 5.1. Heraeus kutu tipi tavlama fırını.....	44
Resim 5.2. Prothem tuz banyosu	44
Resim 5.3. Numunlerin yakma alın kaynak yöntemi ile kaynatılması	45
Resim 5.4. Kaynak edilmiş deney numunesi	46
Resim 5.5. Sertlik test cihazı	48
Resim 5.6. Çekme testi cihazı	49
Resim 5.7. Zımpara ve parlatma cihazı	50
Resim 5.8. Optik mikroskop.....	50
Resim 5.9. Spektral analiz cihazı	50
Resim 6.1. R260 kalite ray çeliği mikro yapı resimleri	54
Resim 6.2. Beynitik ve perlitik numuneye ait farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüsü	55
Resim 6.3. Perlitik ve beynitik kaynaklı numuneye ait mikro yapı görünümleri.....	61
Resim 6.4. Beynitik kaynak numunesine ait SEM görünümleri	63
Resim 6.5. R260 ray çeliği kaynak kaynak numunesine ait SEM görünümleri.....	64

Resim	Sayfa
Resim 6.6. Beynitik ve R260 çeliğine ait çekme numuneleri	67
Resim 6.7. Perlitik yapıya ait çekme numunesi kırık yüzey SEM görüntümleri	68
Resim 6.8. Beynitik yapıya ait çekme numunesi kırık yüzey SEM görüntümleri	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
R_m (Ω)	Parçaların, çenelerle temas bölgesindeki temas direnci
R_p (Ω)	Malzemelerin, çenelerden taşan kısımlarının dirençleri
R_c (Ω)	Birbirine temas eden yüzeylerdeki temas direnci
HV	Vickers sertliği
HBW	Brinel sertliği

Kısaltmalar	Açıklamalar
AISI	American Iron and Steel Institute
HAZ	Heat Affected Zone
HT	Isıl İşlem Uygulanmış
ITAB	Isı Tesiri Altındaki Bölge
KHM	Kübik Hacim Merkezli
KYM	Kübik Yüzey Merkezli
SEM	Scanning Electrone Microscope
ZSD	Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm

1. GİRİŞ

Ülkemizde gelişen demiryolu ağına bağlı olarak rayların servis ömürlerinin uzatılması son derece önemlidir. Özellikle yoğun ve ağır yüklerin taşındığı hatlarda ve hızlı tren hatlarında; hat bakımı ve rayların kontrolü büyük önem taşımaktadır. Rayların virajlı kısımlarda, kaynak bölgesinde ve teker temas bölgesinde aşınma, yorulma ve mekanik dayanımlarının artırılma çalışmaları yapılmaktadır.

Son 10 yılı aşkın bir süredir dünyada mantarı sertleştirilmiş ray üretimi önem kazanmıştır. Bunun nedeni bir yandan R260 raylarının aşınma dirençlerinin yeterince yüksek olmaması, diğer yandan hızlı tren uygulamalarında yetersiz kalmalarıdır. Bunun ilk fark edilişi 1960'lı ve 1970'li yıllara rastlamaktadır. Araştırmalar ray çeliklerinin içyapısına yönelmiş ve kaba taneli perlitli içyapıdan sıkı dizili perlitli içyapıya yönelmiştir. Artık dünyada yaygınlaşan ve Türkiye' de de başlatılan hızlı tren işletmeciliği içinde R350HT standardı raylar daha çok kullanılmaya başlanmıştır [1].

Buna ek olarak beynit yapılı ray çeliklerinin araştırılması oldukça yaygınlaşmıştır. Bu alanda Bhadesia tarafından yapılan çalışmalar dikkat çekmektedir [2]. Beynit yapılı ray çelikleri farklı ülkelerde denenmeye başlanmıştır [3]. Perlitik yapılı raylara göre daha fazla yorulma ve mekanik dayanım sağlayan bu raylar, düşük C oranı nedeniyle de daha iyi kaynak kabiliyetine sahiptir.

Rayların da kaynatıldığı yakma alın kaynağı yöntemi hemen hemen her türlü alaşımın birleştirilmesinde kullanılır. Bu yöntemle çok sayıda demir esaslı ve demir dışı alaşımları kaynakla birleştirmek mümkündür; günümüz endüstrisinde geniş kullanım alanına sahip sade karbonlu çelikler, alüminyum alaşımları büyük bir hazırlık ve özel bir önlem gerektirmeden bu yöntem ile kaynatılabilmektedir. Son yıllarda bu yöntem soygaz koruması altında titanyum ve alaşımlarına da uygulanmış ve uygun sonuçlar alınmıştır [4].

Bu yöntem, en ilkel kaynak yöntemi olan demirci kaynağının modernize edilmiş şeklidir. Demirci kaynağında birleştirilecek parçaların uçları kaynak sıcaklığına kadar tavlanylıp, üst üste getirilip dövülerek birleştirme sağlanır. Bu dövülme sırasında arada kalan yabancı maddeler kısmen dışarı atılır ve yine dövme etkisi ile kaynak ara yüzeyi incelmış olur [4].

Yakma alın kaynağı işlemi aslında elektrik direnç kaynağı işleminin bir türüdür ve ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur [5].

Demiryollarının yapımında spesifik bir kaynak işleminin ilk önemli uygulaması Avusturya Demiryollarında Budapeşte’de 1902 yılında kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. O dönemlerde çeşitli kaynak yöntemleri uygulanmış ve uzun kaynaklı rayların imalatı ile birlikte yakma alın kaynağını uygulanmasına gidilmiştir. Bugün kilometrelerce uzunlukta olan tek parça halinde olan sürekli kaynaklı raylar demiryollarında kullanılmaktadır [6]. Geniş kesite sahip olan rayların bu yöntemle kaynak edilmesi hem daha pratik hem de daha güvenilir bir yöntemdir.

Farklı bileşimdeki malzemelerin birleştirilmesinde, eğer boyutları ve şekilleri müsaade ediyor ise ergitme kaynağına nazaran bir ergitme olayının olmaması ya da sınırlı olması, çok daha az kaynak hatası içermesi ve kaynak sonrası iç gerilmelere sahip olması nedeniyle katı hal kaynak yöntemleri büyük bir üstünlük göstermektedir. Bu nedenle yakma alın kaynağı günümüzde farklı takım çeliklerinin birleştirilmesinde en ideal kaynak yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır [7].

Bu çalışmada, demiryolu hatlarında kullanılan R260 kalite ray çeliğinden çıkarılan numunelere uygun ısıtıl işlem uygulanarak beynit iç yapısı elde edilmiştir. Son dönemlerde daha iyi yorulma ve mekanik özellikler gösterdiğinden dolayı araştırma konusu olan bu çelik yapısının kaynak sonrası mekanik özellikleri incelenmiştir. Demiryollarında kullanılan R260 ve ısıtıl işlem sonrası elde edilen beynitik çeliğinin kaynak bölgesi mikro ve makro incelemeleri yapılmış ve mekanik özellikleri test edilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar ile ileride üretilecek olan beynitik ray çalışmalarına yardımcı olması amaçlanmıştır.

2. ELEKTRİK DİRENÇ KAYNAĞI

Direnç kaynağı, gerçekte oldukça eski bir kaynak yöntemidir. Bu yöntem 1877’de Birleşik Amerika’da bir rastlantı sonucu bulunmuş ve I. Dünya Savaşı’na kadar endüstride çok az kullanılmıştır. II. Dünya Savaşı’ndan sonra günümüze kadar direnç kaynağı yöntemlerinde ve özellikle elektrik devreleri ve zaman kontrol cihazlarında büyük gelişmeler olmuştur [8].

Direnç kaynağı; iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı iş parçasının gösterdiği dirençten sağlanan ısı ve aynı zamanda, basıncın tatbikiyle yapılan bir kaynak usulüdür. Malzemeden geçen elektrik akımının meydana getirdiği ısıнын dışında, herhangi bir ısı tatbik edilmemektedir. Isı, kaynak edilecek kısımlarda meydana gelir ve basınç kaynak makinesindeki elektrodlar veya çeneler vasıtası ile uygulanır. Elektrik direnç kaynağı için gerekli alçak gerilim ve yüksek akım şiddetindeki elektrik gücü, kaynak transformatörlerinden elde edilir [5].

Elektrik direnç kaynağı, seri imalata uygun ve oldukça yaygın kullanılan bir kaynak yöntemidir. Kaynak işlemi, bir düğmeye veya bir ayak pedalına basarak makineyi devreye sokan ve devreden çıkaran bir operatör tarafından büyük bir hızla gerçekleştirilir. Elektrik direnç kaynağı, metal parçalardan geçirilen elektrik akımına karşı, bu parçaların gösterdiği dirençten oluşan ısı yardımıyla yapılan birleştirmedir. Parçalar kısmi olarak ergitilerek kaynak için gerekli kaynak banyosu oluşturulur. Kaynak banyosunun oluşumundan itibaren elektrik akımı kesilerek iş parçalarına basınç uygulanır ve bu basınç altında soğuma gerçekleştirilerek sökülemeyen türden bir birleşim sağlanmış olur. Bu yöntemle yapılan kaynak işleminin genel adı elektrik direnç kaynağı olarak adlandırılır.

Otomotiv sektörü, uzay ve uçak teknolojileri, çelik yapılar, çelik eşya imalatı, hassas cihazların imalatı, elektroteknik, boru üretimi, makine sektörü gibi pek çok alanda kullanılan ince kesitli metal malzemelerin kaynağında yaşanan sorunlar, farklı kaynak türlerinin gelişimini sağlamıştır. İnce kesitli malzemeler yüksek ısı altında kaldıklarında kalıcı şekil bozukluklarına neden olur. Bu nedenle kaynaklama işleminin asgari ısıda ve en kısa sürede gerçekleştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Kaynaklı bağlantıların hızlı bir şekilde en az deformasyonla gerçekleştirilmesi, ekonomik ve kaynak mukavemetinin

yüksek olması istenilen yerlerde, elektrik direnç kaynağı ilk seçim olarak karşımıza çıkmaktadır [8].

2.1. Elektrik Direnç Kaynağı Çeşitleri

Ana esasa bağlı kalmak şartıyla, elektrik direnç kaynağını 4 farklı uygulama gurubuna ayırmak mümkündür:

- Nokta direnç kaynağı
- Dikiş direnç kaynağı
- Kabartılı direnç kaynağı
- Alın direnç kaynağı [9].

Bütün direnç kaynak yöntemleri, uygun bir kaynak zamanı - akım şiddeti düzenlemesini gerektirir.

Kaynak sırasında çeşitli işlemlerin sırası, en genel halde şu şekilde ifade edilebilir; önce sınırlı bir metal hacminin erimesi için gerekli ısı miktarını elde etmek ve bundan sonra da bu metalin basınç altında yeniden soğumasıyla katılaşmasına imkan sağlamaktır. İş parçasının ısınma ve soğuma hızları, zaman tasarrufu ve ısı kayıplarının azaltılması bakımından mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Eğer soğuma hızı gevrek bir kaynak dikişi meydana getirecek kadar yüksek ise yine kaynak makinesinde gerçekleştirilen bir temperleme işlemine ihtiyaç duyulacaktır [8].

2.1.1. Nokta direnç kaynağı

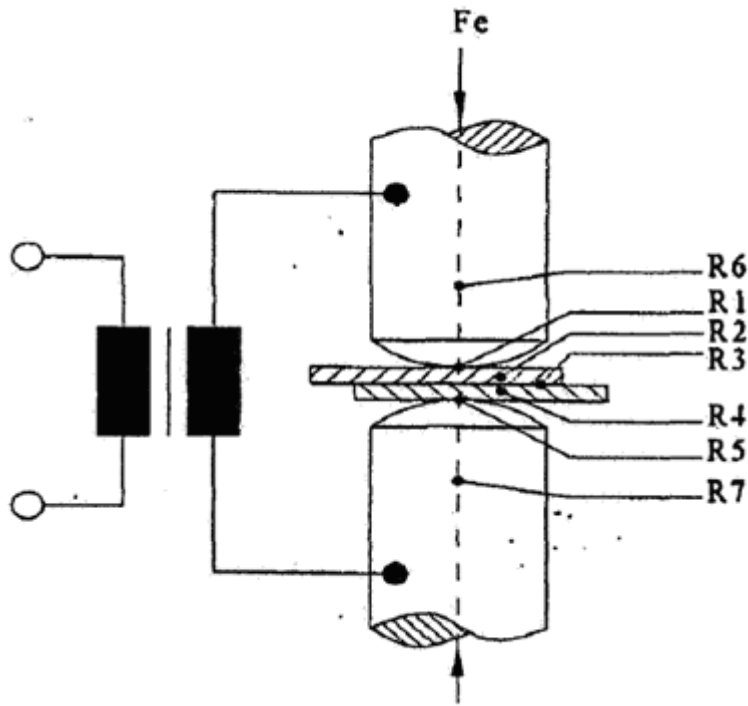
Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi, elektrodlar arasında basınç altında bir arada tutulan iş parçalarından geçen elektrik akımına karşı, iş parçalarının gösterdiği direnç nedeniyle meydana gelen ısı ile yapılan kaynak yöntemidir [10-11].

Kaynak için gerekli akım, yüksek gerilim ve düşük akım şiddetindeki şebeke elektrik akımını, düşük gerilim ve yüksek akım şiddetinde kaynak akımına çeviren kaynak makinesinden sağlanır. Gerekli basınç veya elektrod kuvveti, hidrolik, pnömatik veya mekanik donanımlarla gerçekleştirilir [10,12]. Şekil 2.1’de elektrik nokta direnç

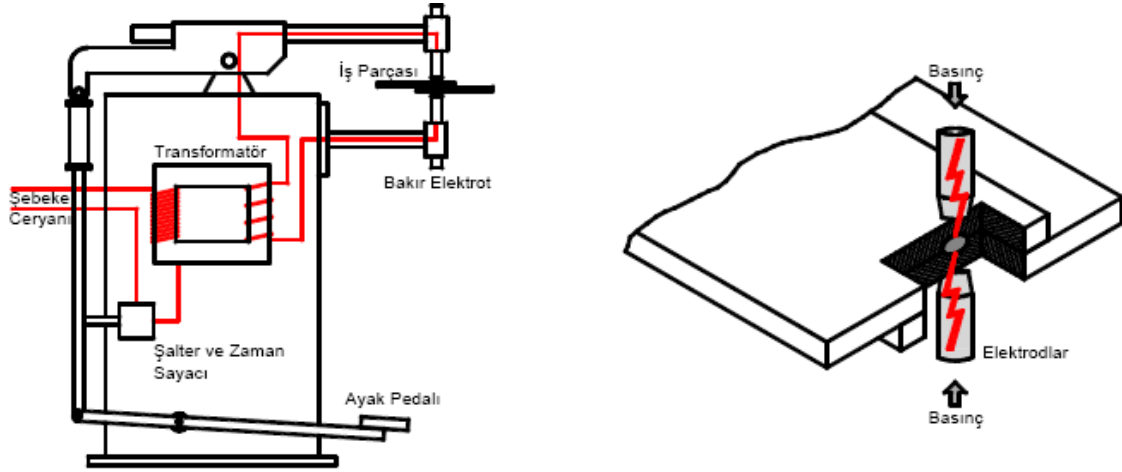
kaynağının prensibi, Şekil 2.2’de nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı gösterilmiştir.

Genel olarak nokta kaynağı, dört aşamadan meydana gelir:

- a- Basma süresi: Elektrod kuvvetinin ilk uygulandığı an ile kaynak akımının verildiği ilk an arasında geçen süredir.
- b- Kaynak süresi: Kaynak akımının geçtiği zaman aralığıdır.
- c- Tutma süresi: Kaynak akımının kesilmesinden sonra, elektrod kuvvetinin etkisinin devam ettiği süredir.
- d- Ölü süre: Elektrodların iş parçası ile temasta olmadığı zaman aralığıdır [11,13].



Şekil 2.1. Elektrik nokta direnç kaynağının prensibi [10]



Şekil 2.2. Nokta direnç kaynak makinesi temel bileşenleri ve kaynak bölgesi detayı [14]

Nokta kaynak yöntemiyle 12 mm kalınlığa kadar çelik sacların, 1 mm kalınlığa kadar bakır levhaların ve 5 mm kalınlığa kadar alüminyum levhaların kaynağı yapılabilmektedir. Bakır ve alüminyumun yüksek ısı iletkenlikleri ve düşük elektrik dirençleri, daha kalın levhalarda kaynak işlemini zorlaştırmaktadır. Malzeme dirençleri, kaynak yapılacak malzemelerin ve elektrodların öz dirençlerine, akım yolunun büyüklüğüne (elektrod çapı, levha kalınlığı v.b.) ve akım yolundaki sıcaklığa bağlıdır [15].

İki iletkenin temas alanı boyunca ortaya çıkan temas direnci, sadece sıcaklığa ve malzemeye değil, aynı zamanda yüzey şartlarına ve elektrod kuvvetine bağlıdır. Bu direnç, yüzeylerin doğal pürüzlülükleri nedeniyle akım yollarının, temas yüzeyindeki gerçek metalik temasın olduğu çok küçük temas noktaları boyunca daralmasıyla ortaya çıkan daralma direnci ve parça yüzeyleri üzerinde mevcut olan oksit filmlerinin meydana getirdiği film direnci toplamına eşittir. Kaynak akımı öncesi uygulanan elektrod kuvveti arttıkça, temas yüzeyindeki oksit filmlerinin parçalanması, temas noktalarının sayılarının ve alanlarının artması nedeniyle temas direnci azalır [16].

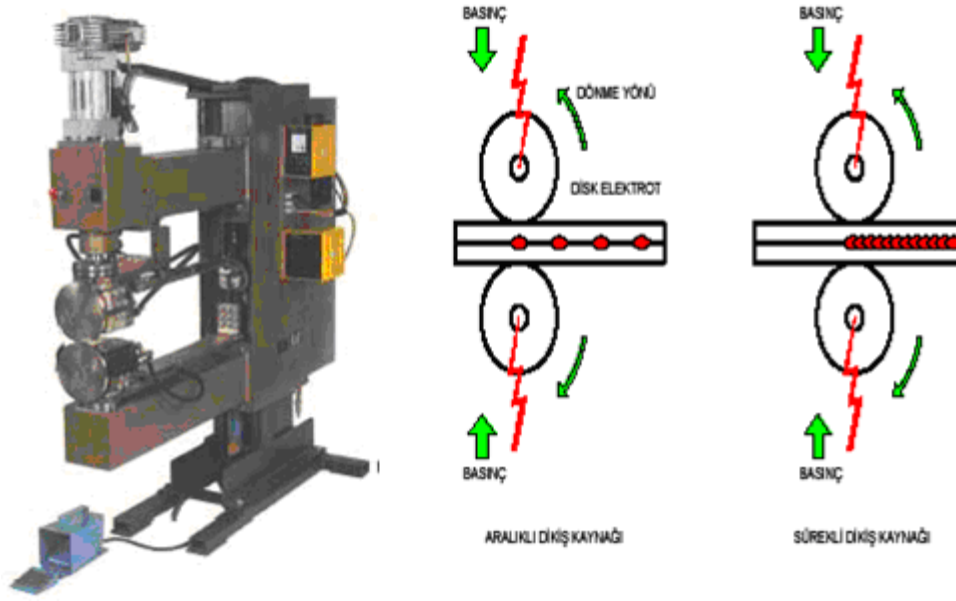
2.1.2. Dikiş direnç kaynağı

Direnç dikiş kaynağı, yapım tekniği bakımından nokta direnç kaynağına benzer. Nokta kaynağında ardışık olarak noktaların sıralanması dikiş direnç kaynağını oluşturur. Dikiş kaynağı, nokta kaynağındaki gibi birbiri üzerine bindirilen sac parçaların, temas yüzeylerinden geçen elektrik akımına gösterdiği direnç ile ergiyerek basınç altında

birleştirilmesidir. Resim 2.1’de dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı gösterilmiştir. Kaynağı yapılacak olan saç malzemeler, bakır alaşımdan yapılmış disk biçimindeki iki elektrod arasına konularak pnömatik veya hidrolik bir sistemle sıkıştırılır. Bakır disk elektrodlar dönmeye başladığında elektrik akımı da verilerek kaynak işlemi gerçekleştirilir. Tekerleklerin dönmesi sırasında akım kesilerek dönme devam ederse aralıklı dikiş kaynağı yapılmış olur. Sürekli elektrik akımı kullanılırsa kesintisiz bir kaynak birleşimi sağlanır. Bu tür kaynaklar sıvı ve gazlar için sızdırmazlık özelliğine sahiptir.

Elektrodların soğutulması merkezi bir dolaşım sistemi ile veya elektrot üzerine su püskürtülerek yapılır. Soğutma sıvısı olarak % 5 oranında bor yağı karışımı su kullanılır. Dikiş direnç kaynağında amper ayarı kaynatılan malzemenin cinsine, kaynatma hızına, kaynatılan malzemelerin kalınlığına ve soğutma suyu olarak kullanılan sıvının miktarına göre farklılıklar gösterebilir. En uygun amper ayarını deneme yanılma yoluyla bulmak, en uygun yöntemdir.

Dikiş direnç kaynağında kullanılan elektrodlar ısı işlem görmüş, bakır alaşımlarından üretilir. Kullanılan elektrod çapları 50 – 600 mm arasındadır. Elektrodların malzemeye temas eden yüzey genişliği, kaynatılacak malzemenin kalınlığına göre farklılık göstermektedir. Elektrodun malzemeye uyguladığı basınç nokta kaynağına göre daha fazla olmaktadır. Kaynak kabiliyetini etkileyen unsurlardan birisi de malzemelerin kaynak öncesi boya, kir, yağ, pas vb. temizlenmesidir [14].



Resim 2.1. Dikiş direnç kaynak makinesi ve kaynak bölgesi detayı [14]

Dikiş direnç kaynağı yöntemiyle farklı malzemeler kaynaklanabilmektedir. Dikiş kaynağının kullanıldığı malzemeler ve kalınlıkları Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Dikiş kaynağının kullanıldığı malzemeler ve kalınlıkları [14]

MALZEME	SAC KALINLIĞI (mm)	
	Min.	Max.
Çelik sac	0,1	3,5
Paslanmaz çelik	0,1	3,0
Alüminyum	0,2	2,5
Pirinç	0,1	1,5
Çinko	0,2	1,0

2.1.3. Kabartılı direnç kaynağı

Kabartılı nokta kaynağı, yöntem olarak nokta direnç kaynağına benzer. Nokta direnç kaynağında kaynatılacak sac malzemeler üst üste bindirilip, elektrotlar arasında sıkıştırılıyor ve elektrik akımı geçiriliyordu. Bu yöntemle elektrot başlıklarının boyut ve şekilleri, geçen akımı sınırlandırırken, kabartılı nokta kaynağında akım, kaynatılacak malzemelerin en az birinde bulunan kabartılarla sınırlıdır [14].

Kabartılı kaynakta, basma kuvveti ve kaynak akımının geçişi, birleştirilecek parçaların birinde bulunan kabartılarla sınırlanan noktalarda gerçekleşir. Resim 2.3’de gösterilmiştir.

Kabartılı kaynakta, nokta kaynağında olduğu gibi, levhaların bindirme kaynağı ve ayrıca çeşitli tiplerdeki kaynakları gerçekleştirmek mümkündür [16]. Kabartılı kaynak yönteminde kaynak bölgesi, kaynak yapılacak saclardan birinde bulunan kabartının olduğu bölgedir. Saclar üst üste bindirildiğinde sadece kabartının olduğu noktadan birbirlerine temas eder. Bu noktadan geçen elektrik akımı kabartı üzerinde yoğunlaşır ve bu nedenle kabartı hızla ısınır. Isınmadan dolayı kabartı ergiyerek çöker ve iki sac arasında erimiş bir bölge oluşur. Elektrik akımı kesilerek basınç uygulamaya bir müddet daha devam edilir ve kaynak tamamlanır. Kabartılı direnç nokta kaynak makinesi Resim 2.2’de gösterilmiştir.

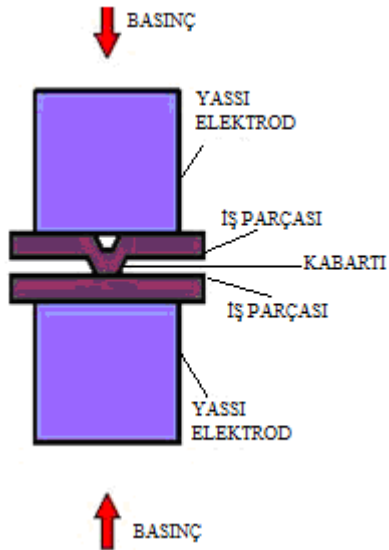
Kabartılı nokta kaynak makineleri, temelde nokta kaynak makineleri ile aynıdır. Ancak bu yöntemde nokta kaynağında kullanılan elektrot tipleri yerine eşit basınç uygulanabilen yassı elektrotlar kullanılır. Kabartılı nokta direnç kaynağı, sac yapıları küçük bağlantı parçalarının birleştirilmesinde kullanılır. Bu yöntem özellikle otomotiv sektöründe, sabit somunların şasiye bağlantılarında, ev aletlerinin vida bağlantılarında, büro mobilyalarında, makine parçalarının imalatında, dişli saplamalarda vb. pek çok alanda kullanılmaktadır. Kabartılı kaynak yöntemi inşaat sektöründe takviyeli beton uygulamalarındaki çelik hasırların üretiminde de kullanılmaktadır [14].

Kabartılı direnç kaynağı uygulaması yönteminden çoğunlukla sac malzemelerin, tek işlemde iki veya daha çok noktasının birleştirilmesi gerçekleştirilmektedir. Yöntemde kaynak akımı, oluşturulan çıkıntılardan aktığı için, kaynak belirli bir kısım olarak sınırlandırılmış olur.

Kabartılı kaynak için düzenlenmiş, tek faz beslemeli kaynak makinelerinde, en yüksek güç 800 kVA, akım şiddeti ise 100 kA’ye kadar olabilmektedir. Elektroda uygulanan kuvvet ise, hidrolik olarak üretilmekte ve 40 kN’a kadar çıkabilmektedir. Bu tür kaynak makinelerinde, basınç ve akım şiddetlerinin kumandası, elektronik bir zaman ayarlayıcı aracılığıyla sağlanmaktadır. Kaynak ünitesinin kazalara karşı güven yönünden, çift kademeli sigortalarla donatılmış olmaları gerekmektedir [16].



Resim 2.2. Kabartılı direnç nokta kaynak makinesi [14]



Resim 2.3. Kabartılı kaynak [14]

2.1.4. Alın direnç kaynağı

Alın direnç kaynağı, kaynak dikişi oluşum mekanizması bakımından yığma alın kaynağı ve yakma alın kaynağı olarak iki kısımda incelenebilir. Yığma alın kaynağı bu bölümde, yakma alın kaynağı ise Bölüm 3’de bölümde açıklanmıştır.

Yığma alın kaynağı

Yığma alın kaynağı; kaynak edilecek parçalar, kaynak transformatörünün kutuplarına elektriksel olarak bağlanmış çeneler vasıtasıyla sıkıştırılır. Sıkıştırma çeneleri sabit tezgâhtan bağımsızdır [5].

Elektrik akımı hareketli çeneler üzerinden iletilir. Kaynak işlem başlangıcında elektrik akım devresi açılarak, hareketli çeneler ile iş parçaları yüzeyleri arasında küçük bir boşluk kalıncaya kadar birbirine yaklaştırılır. Düzgün olmayan yüzeydeki birkaç çıkıntıdan iş parçalarının birbirine teması sağlanır [14].

Parçaların temas yüzeylerinde direnç yüksek olduğundan, bu bölgelerde ergime başlar. Aynı anda parçaların, sıkıştırma kuvvetlerine karşı mukavemetleri azalır. Böylece plastik hale gelen ve ergiyen uçlar birbirine kaynar [17].

Temas noktaları kıvılcım ve patlama halinde parçalanır ve metal damlacıkları dışarı fırlatılır. İş parçalarının yüzeyini ısıtan arklar bu şekilde oluşur. Aynı zamanda oluşan metal buharı, kaynak bölgesini kaplayarak havanın olumsuz etkilerinden kaynak bölgesini korur. İş parçalarının hareketli çenelerle yavaş yavaş birbirine yaklaştırılmasıyla oluşan yeni temas noktaları da yanarak tüm kesitte kaynak ısısına ulaşılır. Bu noktadan sonra hareketli çeneler basınçla itilerek iş parçaları birbirine bastırılır ve elektrik akımı kesilir. Kaynak için geçen süre birkaç saniyedir ve akım kesildikten sonra bir müddet daha basınç uygulanmasına devam edilerek kaynaklama işlemi tamamlanır [14]. Yığma alın kaynağında oluşan kaynak dikişi Şekil 2.3’de gösterilmektedir.

Elektrik akımını ileten, doğrultuyu ve kaynak için gerekli basıncı sağlayan hareketli çenelerin iş parçasını bağlama ve hareket ettirme yeteneği vardır. Kaynak sırasında oluşan yoğun akımdan dolayı bu çeneler ısınır ve soğutulmaları gerekir. Makine üzerindeki merkezi bir su dolaşım sistemi ile hareketli çenelerin soğutulması sağlanır. Resim 2.4’de Direnç alın kaynak makinesi gösterilmektedir [14].

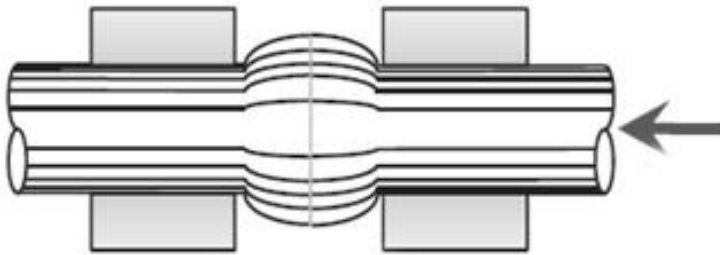
Yığma alın kaynak yöntemi, basit geometrik kesitli, düşük C’lu çeliklerin 200 mm²’ye kadar yüzeylerinin birleştirilmesinde uygulanmakta ve demir olmayan metallerin birleştirilmesinde de kullanılmaktadır.

Kaynak bölgesindeki sıcaklığın 850 °C - 1250 °C'ye ulaşması sonrası etki ettirilen yığma kuvveti ile birleştirme tamamlanmaktadır. Bu yöntemin kullanılması için bazı sınırlamalar ve esaslar vardır, bunlar [9];

- Sadece küçük kesitli parçaların kaynağında kullanılır.
- Alın yüzeylerinin, paralellik şartı sağlamalıdır.
- Yüzeyler eş kesitli olacak şekilde işlenmesi, yabancı maddeler bulamayacak şekilde olması gerekmektedir.
- Elde edilen kaynaklı birleştirmenin dayanımı, özellikle dinamik zorlamalara karşı yeterli bulunmamaktadır.



Resim 2.4. Direnç alın kaynak makinesi [14]



Şekil 2.3. Yığma alın kaynağında dikişin durumu [17]

3. YAKMA ALIN KAYNAĞI

Yakma yalın kaynak yöntemi ray bağlantılarında ve uzun kaynaklı rayların üretimi için en yaygın kullanılan kaynak prosesidir. Bir yakma alın (yakma direnç) kaynağı bir dövme bağlantıdır. Genellikle metalürjilerine göre seçilen doğru kaynak şartları ile uzun kaynaklı raylara başarılı bir şekilde kaynak yapılabilir. Ray çeliklerinin kaynağı için fabrikada kazanılan tecrübeler arzu edilen yorulma mukavemetine sahip kaynak üretimi sağlar.

Bu tecrübelerden aşağıdaki kurallar çıkarılmıştır;

- İyi yakma davranışına göre mümkün olan en düşük kaynak voltajı kullanılmalıdır.
- Kaynak işleminin ilk aşamasında kaynak uçları tüm ray bölümünün üzerinde iyi bir temas sağlamak üzere yakılmalıdır.
- Geniş ölçülü kısa bir ısıtma çevrimi uygulanmalıdır.
- Ön ısıtma aşaması sırasında temas ve temassızlık periyotları benzer süreye sahip olmalıdır.
- Her bir ısıtma çevrimi arasında kısa yakma periyotları olmalıdır.
- Kısa yakma mesafesi tercih edilmelidir
- Son yakma işlemi hızlandırılmalıdır.
- Son yakma ile dövme arasında zaman olmamalıdır.
- Atıkları çıkarmak için maksimum yük uygulanmalıdır [6].

Sabit tesisler ve mobil kaynak makineleri için ayrı standartlar bulunmaktadır. TCDD Ray Kaynak Fabrikasında “EN 14587-1; R 220, R 269Mn, R 350HT kalitesindeki rayların sabit tesisler için yakma alın kaynağı” standartına uygun olarak üretim yapılması amaçlanmaktadır.

Ray kaynak uygulanması öncesi elektrot temas bölgelerinin ve ray alın yüzeylerinin fırçalanarak temizlenmesi gerekmektedir. İyi bir ark oluşması ve ark geçişinin düzgün bir şekilde sağlanması için bu işlem yapılmaktadır. Fırçalama işlemi gerçekleştirildikten sonra

gözle muayene gerçekleştirilerek herhangi bir yüzeysel çatlak olup olmadığı ve ray alın yüzeylerinin düzgünlüğü masterlar ile kontrol edilerek raylar kaynağa hazır hale getirilir.

Kaynak makinesine gelen raylar, makine çeneleri tarafından sabitlenir ve elektrotlar rayın alt ve üst gövdesine temas ettirilir. Burada doğru bir merkezlenme ve sabitleme yapmak, kaynak için son derece önemlidir. İki ray arasında belirli bir kaynak boşluğu bırakılır ve raylar kaynak için hazır hale getirilir. Yaklaşık 80000 amper, bakır alaşımlı elektrotlar üzerinden geçirilir. Birleşecek olan alın yüzeylerin uç kısımları yeterince tavlaniıp ergime sıcaklığına ulaştıktan sonra iki ray eksenel yönde hidrolik basınç kullanılarak hareket ettirilir. Temas halindeki raylardan akım geçirilmesi belli aşamalardan oluşmaktadır. Ray temas bölgelerinin tavlama sıcaklığına çıkması için belirli bir sürede akım sürekli geçirilir, daha sonra kademeli olarak akım kesilerek basınç yardımı ile raylar eksenel yönde hareket ettirilir. Buradaki amaç; temas eden yüzeyler ideal bir düzlemde olmadıkları için temas sırasında yüzeylerin az bir noktası birbirine değeri bu da elektrik geçiş bölgesini oldukça daralttığından bu noktalarda direnç artışı gerçekleşir. Bu noktalarda sıcaklık, hızla yükselerek ergime noktasına ulaşır. Akımın kademeli olarak kesilmesindeki amaç, akımın farklı noktalardan geçerek homojen bir ergime alanı ve ara yüzey oluşturmaktır. Bu esnada raylar birbirlerinden uzaklaştırıp yakınlaştırılarak ısının bu ara yüzeyde dağılması sağlanır. Ray kesitinin büyüklüğüne göre bu işlem birkaç kez tekrarlanır. Küçük temas yüzeylerinden yüksek akım geçmesi bu bölgelerde metalin az miktarda buharlaşmasına neden olur. Oluşan bu gaz tabakası görece koruyucu bir atmosfer sağlamaktadır. Bu aşamada kullanılan basınç yaklaşık 60 ton civarındadır.

Son olarak rayların son yakma işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamada akım sürekli geçirilerek meydana gelen gaz boşlukları, inklüzyonlar, vb. yapılar dışarı atılır ve yaklaşık 120 ton basınç ile iki ray birbirine doğru itilerek kaynak işlemi gerçekleşir. Bu aşamalardaki süreler rayın türüne göre değişmektedir. S49 ve UIC 60 raylar genellikle kaynatıldığından uygun kaynak sıcaklığı elde edinceye kadar bu aşamaların süreleri ayarlanmaktadır. Kaynak sıcaklığı yaklaşık 1100 °C'dir.

Sıcaklığın oluşmasını sağlayan dirençler rayların elektrot temas bölgesindeki R_m direnci, malzemelerin dışına taşan kısımlarının R_p direnci ve birbirine temas eden yüzeylerdeki R_c direncidir. Burada etkin olan direnç R_c direncidir.

Bu direnç şu faktörlere bağlıdır;

- Temas halindeki rayların mukavemet, sertlik ve iletkenlik gibi fiziksel özelliklerine
- Temas halindeki yüzeylere uygulanan basınç miktarı ve türüne
- Temas yüzeyindeki oksit, cüruf ve yüzey özelliklerine
- Temas halindeki metallerin sıcaklığına bağlıdır.

Kaynağın hemen sonrasında meydana gelen kaynak çapağı makine tarafından sıyrılarak kaynak diğer işlemlere hazır hale getirilir. Burada uygun sıcaklıkta sıyırma işlemi yapmak ray yüzeyinde çatlak oluşumunu önlemek için önemli bir parametredir [18].

3.1. Yakma Alın Kaynağı Çeşitleri

Alın kaynağı, uygulamaları; Basınçlı alın kaynağı, Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı ve Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı olmak üzere üç başlık altında toplanacaktır.

3.1.1. Basınçlı alın kaynağı

Bu yöntemde parçalar, kaynak transformatörünün kutuplarına elektriksel olarak bağlanmış çeneler aracılığıyla sıkıştırılır. Kaynak işlemi esnasında parçalar birbirlerine kuvvetli bir şekilde bastırılır. Parçaların üzerinden uygulanan sekonder akım sonucu parçaların temas yüzeylerinde direnç yüksek olduğundan bu bölgelerde plastik hale gelen ve ergiyen uçlar basınç etkisiyle birbirine kaynar. Uygulanan basınçlar 0,5 ilâ 1,2 kg/mm² arasındadır. Parçaların alınları, oldukça düzgün olmalıdır. Basınçlı alın kaynağında, parçalar yüksek bir basınçta temas ettirilir ve akım tatbik edilir. Yakma alın kaynağında ise, parçalar temas etmeden elektrik akımı uygulanır [19].

3.1.2. Ön ısıtmasız yakma alın kaynağı

Soğuk alın yakma kaynağında, yakma ve yığma işlemleri bir arada yapılmaktadır. Bu özellik, özellikle relatif küçük kesit ve çevre uzunluklarına sahip yüzey birleştirilmelerinde uygun görülmektedir. Dönel ve benzer kesitler, çelikler, hafif metaller, prinç ve bronz gibi alaşımlarda yaklaşık 300 mm² 'ye kadar kesitler, bu tür birleştirme için uygun görülmektedir [19] .

3.1.3. Ön ısıtmalı yakma alın kaynağı

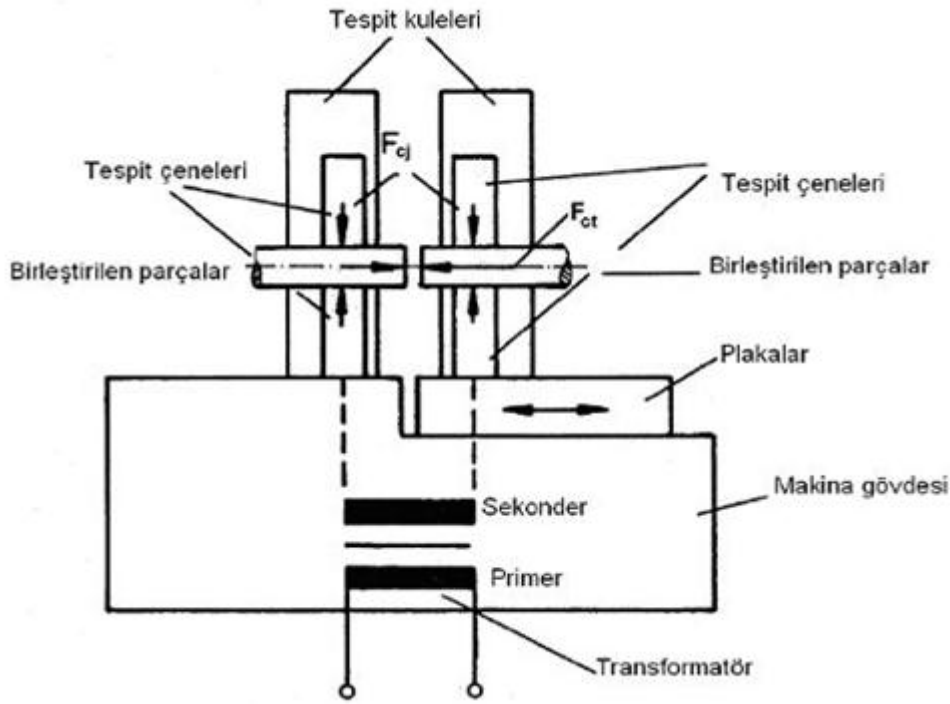
Daha büyük kesitlerin kaynağında, ön ısıtmalı alın yakma kaynağı uygulamasından yararlanılmaktadır. Bu tür uygulamada, parçalar yakma aşamasından önce, direnç esasından yararlanılarak bir ön tavlama işlemine tabi tutulmaktadırlar. Yeter derecede bir ön tavlama sonrası, parçalar elle kumandalı makinalarda basınç altında tutulmakta, bu aşamada yanma olayını da sağlayacak kaynak akımı defalarca devreye sokulmaktadır. Kesite bağlı olarak 0,5-1,0 s'lik periyodlarda, bu işlem 5-20 kez tekrarlanmaktadır [19].

3.2. Alın Yığma Kaynağı

Elektrik alın direnç kaynağında, kabartılı kaynakta olduğu gibi, parçanın toplam temas yüzeyinden akım geçirilerek bu kısım kaynak sıcaklığına getirilmektedir. Bu uygulamada, elektrot olarak tanımlanan elemanlar, parçaları tamamen veya kısmen kuşatmaktadır. Bu germe elemanlarının tipini, kaynak yapılacak parçanın şekli, büyüklüğü ve bileşimleri belirlemektedir. Bağlantı elemanları iş parçasının şişme doğrultusuna doğru hareketli olarak düzenlenmektedir. Bu elemanların işlevleri sıralanacak olursa; 1. Kaynak işlemi esnasında parçaları tam ölçülerinde tutmak, 2. Kaynak akımını parçalara iletmek, 3. Parçalara yığma (şişirme) kuvvetini iletmek Elektrik direnç alın kaynağı; kaynak dikişinin oluşum mekanizması bakımından, alın yığma kaynağı olarak incelenebilir. Bu uygulama pres alın kaynağı olarak da adlandırılmaktadır. Yöntem, basit geometrik kesitli, düşük C'lu çeliklerin, 200 mm² 'ye kadar yüzeylerinin birleştirilmesinde uygulanmaktadır. Yöntemden demir dışı metallerin birleştirilmesinde de yararlanılmaktadır. İşlem, iş parçalarının alın yüzeylerinin temizlenmesi ve paralel konumda, alın altına sıkıştırılması ile başlamakta, relatif kontak noktalarının arttırılması aşamasından sonra, kaynak akımı devreye sokulmaktadır. Kontakt direnci ve kaynak akımının beraberce etkisinden, temas yüzeylerinde büyük bir ısı oluşmaktadır. Kaynak bölgesindeki sıcaklığın 850-1250 °C'a ulaşması sonrası, etki ettirilen yığma kuvveti ile birleştirme tamamlanmaktadır. Birleştirme uygulamalarında, alın yakma kaynağından, alın yığma kaynağına kıyasla daha fazla yararlanılmaktadır. Bu yöntemde çok büyük kesitlerin birleştirilmesine yatkın bulunmamaktadır. Bu yöntemin en önemli üstün yönü, birleştirilecek yüzeyler için özel bir hazırlama işlemine gerek bulunmaması ve yüzeyin her birim alanının kaynak edilebilme imkanının bulunmasıdır. Bu özellik nedeni ile homojen ve dayanım güvenirliliği yüksek birleştirmeler elde edilebilmektedir [19].

3.3. Yakma Alın Kaynağı

Kaynak; uygulandığı malzemeye, işlemlerine ve amacına göre çeşitlere ayrılmaktadır. Yakma alın kaynağı aslında elektrik direnç kaynak işleminin bir türüdür; ısı, dövme ve yığma işlemlerinden oluşur [20-21]. Yakma işlemi, dirençle ısıtma işleminden farklılık gösterir. Yakma alın kaynak işlemi kaynak için gerekli ısının, metallerin elektriğe karşı gösterdikleri omik ve temas dirençten, yığma işleminin ise mekanik veya hidrolik sistemlerin yardımıyla gerçekleştirildiği modernleşmiş bir kaynak yöntemidir [22-23]. Yakma alın kaynağı yöntemi genellikle boruların, yuvarlak kesitli malzemelerin, kare kesitli malzemelerin, düz sacların, rayların, zincirlerin, takım kesme parçalarının, takım gövdelerinin birleştirilmesinde kullanılır. Bu kaynak yöntemi ile çelik ve alaşımlarının kaynağı başarılı olmaktadır. Yakma alın kaynağı yöntemi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

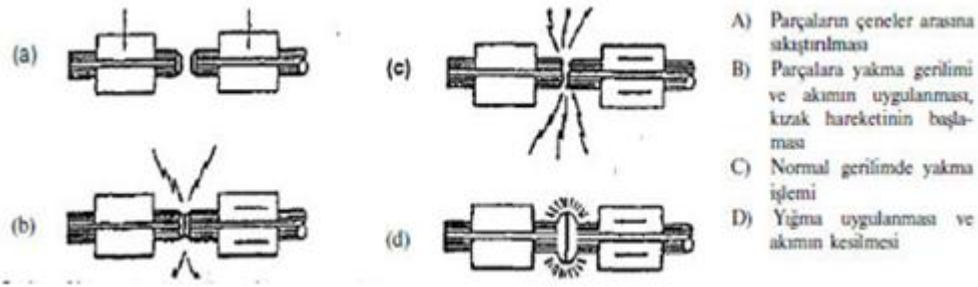


Şekil 3.1 Yakma alın kaynak ekipmanı

İşlemin genel prensibi, yakma alın kaynak prosesinde, birleştirilecek parçaların temas yüzeyinden akım geçirilerek malzemeler kaynak sıcaklığına getirilmektedir. Kaynak işlemi sırasında parçaları tam ölçüsünde tutan, kaynak akımını ve yığma kuvvetini parçalara ileten elemanlara "elektrot" veya "germe elemanı" adı verilmektedir. Bu elektrotlar, yüksek

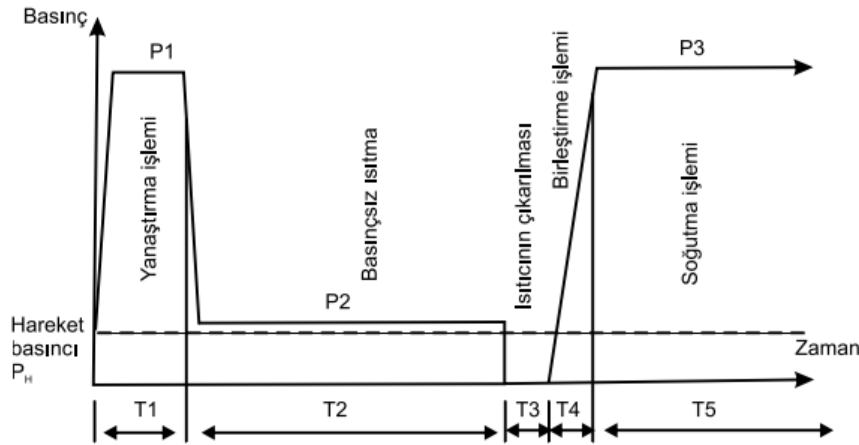
akımın geçişine izin veren, basınç altında yeterli fiziksel mukavemete sahip bakır ve özel bakır alaşımlarıdır. Elektrik akımını ileten, doğrultuyu ve kaynak için gerekli basıncı sağlayan hareketli çenelerin iş parçasını bağlama ve hareket ettirme yeteneği vardır. Kaynak sırasında oluşan yoğun akımdan dolayı bu çeneler ısınır ve soğutulmaları gerekir. İnce parçaların kaynağında hava soğutmalı, kalın parçaların kaynağında ise su soğutmalı elektrotlar kullanılır. Yakma alın kaynak prosesinde yüzeyler henüz temas etmeden parçalara gerilim uygulanır. Kaynak prosesi uygulanarak birleştirilecek parçalar düşük basınç altında temas ettirilmelidir. Gerçek temas ise yüzeylerdeki malzemelerin pürüzlülüklerin tepe noktalarında meydana gelmektedir. Yüzeydeki pürüzler temas anında temas yüzeyinin küçük oluşuna, bu da direncin artmasına neden olacaktır. Malzemelerdeki temas direnci ve yüksek akım şiddetinin etkisiyle, ilk temasın sağlandığı pürüzlülük uçları hızlıca ısınmakta ve akışkan bir temas köprüsü oluşmaktadır. Yani temas noktaları ani olarak ergime sıcaklığına ulaşır. Malzemelerin ergime sıcaklıklarına ulaştıkları nokta ise malzeme göçümünün başladığı nokta olarak bilinmektedir. Metal buharlaşma basıncının yüksekliği, ergimiş ve yanmış küçük metal parçacıkların hacimlerini patlatır ve kıvılcım demetleri halinde dışarı fırlamasını sağlayarak yeni krater ve çukurlar oluşturur. Yanma olayında metal zerreciklerin yanması ve metal buharının meydana gelmesi, birleştirilecek yüzeyleri örten sıvı metalin oksitlenmesini önler. Kızak hareket ettirildiğinde bu kraterlerin uç noktaları tekrar temasa geçer ve böylece olay alın yüzeyinin kaynak sıcaklığına gelmesine kadar devam eder [24-25].

Yanmanın bütün yüzeyi kaplaması ve birleştirilecek yüzeyin tamamının ergimesinden sonra, tablanın ani hareketi ile yüksek sıcaklıktaki yüzeyler aksel olarak birbirine bastırılır ve malzeme yığılması başladıktan sonra akım kesilir. Böylece pürüzlerin temas dirençleri ortadan kalkar ve kıvılcımlanma da biter. Ön ısıtma ve yanma işlemi çok kısa sürede meydana geldiğinden, yüksek sıcaklık yalnız alın kısımlarında ve yakınlarında etkisini gösterir. Kıvılcımlanma süresi; malzemenin ısı iletkenliğine, parçaların kesitine, kıvılcımlanma çevrimine ve sekonder devre gücüne bağlıdır [26]. Şekil 3.2’de yakma alın kaynağında işlem basamakları görülmektedir [22-23].



Şekil 3.2. Yakma alın kaynağı işlem basamakları [23]

Erime ve patlamalar sebebiyle meydana gelen malzeme kaybı, hareketli tablaların yaklaşmasıyla karşılanır.



Şekil 3.3. Yakma alın kaynak işleminin grafiksel gösterimi [27]

Kaynak işleminde basınç akım ve süre parametreleri eş zamanlı olarak kontrol altında tutularak kaynak işlemi gerçekleştirilir. Bu parametreler kaynatılacak malzemenin iç yapısına ve istenilen mekanik özelliklere göre ayarlanır.

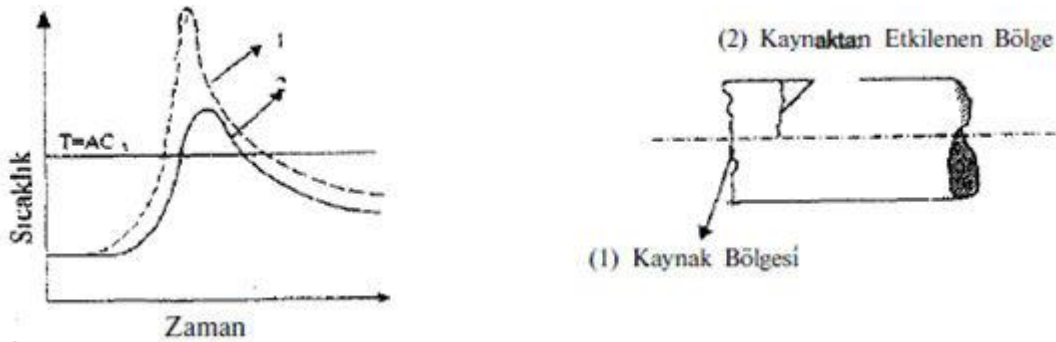
3.3.1. Kaynak parametreleri

Yakma alın kaynak işlemi, ön ısıtma, yakma ve yığma kademelerinde çok sayıda işlem parametresine sahiptir. Bu parametreler basınç, süre ve sıcaklık ile eş zamanlı olarak kontrol edilir. Kaynatılan malzemenin türüne ve kesitine göre bu parametreler ayarlanır ve

kontrol edilir. Basınç değerleri kesit kalınlığına göre değişmektedir ve genellikle hidrolik üniteler ile sağlanmaktadır.

3.3.2. Isı dağılımı

Yakma alın kaynağı prosesinde, yüzey pürüzlülüklerinin uçlarından temas ettirilmiş olan malzeme yüzeyleri ön ısıtma aşamasında tav sıcaklığına kadar ısınırlar, yakma aşamasında ise ergiyen bölgelerden iç kısımlara doğru ısı iletimi gerçekleşir. Kaynak işleminin kaç adet yığma ile tamamlanacağına, dolayısıyla sıcaklık dağılımının hangi derinliğe kadar gerçekleşeceğine malzemelerin kimyasal bileşimleri ve buna bağlı olarak da fiziksel özellikleri göz önünde bulundurularak karar verilir. Isının elektrik akımı ile sağlanması çok yüksek ısıtma ve soğutma hızlarının ortaya çıkmasına neden olur. Isının elektrik akımı ile sağlanması çok yüksek ısıtma ve soğutma hızlarının ortaya çıkmasına neden olur.



Şekil 3.4 Kaynak ve civarındaki bölgelerde zaman-sıcaklık değişimi

Kaynak işlemi esnasında karşılaşılan bu ısıl çevrimi kısaca incelemek gerekirse; işlem esnasında ısıtma hızının çok yüksek olması, sıcaklık farkından dolayı iç gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Kaynak sonu gerilme giderme ve normalizasyon tavlamalarının uygulanması, ısı farkından dolayı oluşan bu gerilmeleri en alt düzeye indirecektir. Önceden de belirtildiği gibi, ısıtma hızının çok yüksek olması, erime bölgesinde çok yüksek sıcaklıklara ulaşılmasına neden olacaktır. Bu durumun malzeme özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır; kaynak parametrelerinin uygun ayarlanamaması durumunda istenmeyen iç yapı değişimleri meydana gelmektedir [23].

3.3.3. Isıl işlemler

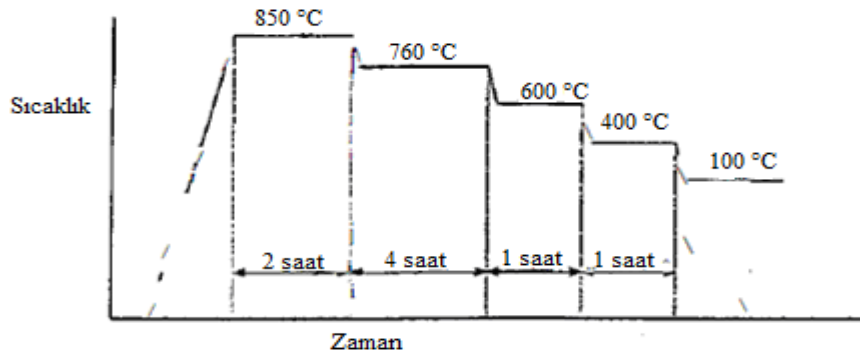
Yakma alın kaynak prosesinde ısıl dağılımın neden olduğu gerilmeler meydana gelebilmektedir. Oluşan bu iç gerilmelerin yoğunlaşması ve akma gerilmesini aşması, bağlantıda çatlama, kırılma meydana getirecektir. Bu duruma fırsat vermemek için yakma alın kaynak prosesinde kaynak sonu gerilme giderme ve normalizasyon tavlamlarına başvurulmaktadır [23].

Gerilme giderme tavlaması

Yakma alın kaynak prosesinde çok yüksek sıcaklığa kadar ısınmış kaynak bölgesi ile diğer bölgeler arasında soğuma esnasında sıcaklık farkından dolayı oluşacak gerilmeleri kısmen önleyebilmek amacıyla, kaynak sonunda parçalar 550°C' de gerilme giderme tavlamasına tabi tutulurlar. Gerilme giderme tavlaması sırasında iç yapı değişime uğramaz [23].

Normalizasyon tavlaması

Normalizasyon tavlamasının amacı, malzemelerin normal yapısını, yani kaynak öncesi ince homojen dağılımlı taneli yapısını kazanmasıdır. Normalizasyon tavlamasındaki ısıtma sıcaklığı, malzemelerin karbon miktarına bağlı olup, zaman-sıcaklık değişimi Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 Normalizasyon tavlamasında zaman-sıcaklık ilişkisi

Grafikten anlaşılabileceği gibi giderme tavlamasından gelen parçalar ilk etapta 850°C'ye ısıtılmaktadır. Daha sonraki aşamalarda ise ani soğuma ile iç gerilmelerin oluşmaması amacıyla kademeli soğutma yolu izlenmelidir. Numunelere uygulanan tam tavlama ısıl işlemi hem ana metalin hem de kaynak metalinin sertliğinin azalmasına neden olur.

Dolayısıyla ana metal ve kaynak metali arasındaki sertlik farkı azalır. Uygulanan tam tavlama ısı işlemi, bütün numunelerin çekme dayanımlarında azalmaya neden olur [23].

Sertleştirme

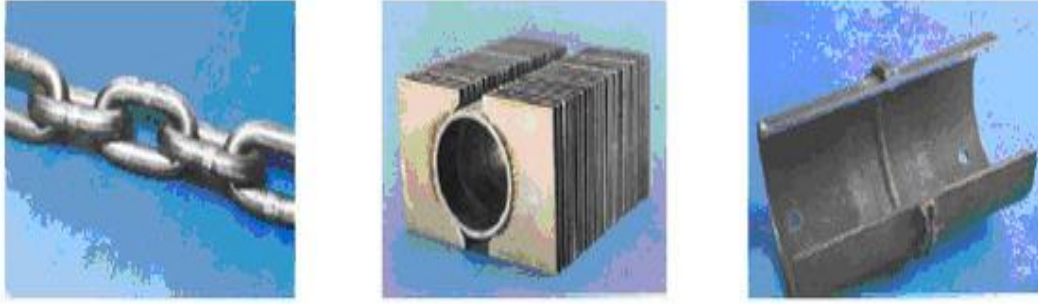
Numunenin en yüksek sertlik derecesine ve aşınma mukavemetine sahip olması istenir. Bu arada soğuk şekil değiştirme kabiliyeti ve süneklik düşer. Sertleştirme işlemi, numunenin özel aparata bağlanıp ocaklar içerisine daldırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerde en yüksek sertlik değeri kaynak bölgelerinde elde edilir [23].

3.4. Yakma Alın Kaynağı Avantajları

Büyük kesitlerin kaynağı mümkündür. Bu yöntemin en önemli üstün yönü, birleştirilecek yüzeyler için özel bir hazırlama işlemine gerek bulunmaması ve yüzeyin her birim alanının kaynak edilebilme imkanının bulunmasıdır. Bu özellik nedeni ile homojen ve dayanım güvenilirliği yüksek birleştirmeler elde edilebilmektedir. Malzemedan geçen elektrik akımının meydana getirdiği ısı dışında, herhangi bir ısı tatbik edilmemektedir. - İlave metal gerektirmez ve ortaya çıkan ısı elektrotlarla ortamdan atılır. Koruyucu gaz gerektirmez.

3.5. Yakma Alın Kaynağı Dezavantajları

Yüksek elektrik bağlantı değerleri gereklidir. - Büyük yığma kuvvetleri gereklidir. - Büyük ve düzensiz oluşan kenar taşması (çapak). - Kaynak bölgesindeki aşırı sertlik ve heterojen bir dokusal durum oluşabilir. Bu ve benzeri problemleri engellemek amacıyla ITAB (Isı tesiri altında kalan bölge) genişliğinin azaltılması ve çatlak oluşumunu önlemek için kaynak parametrelerin uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. - İş parçalarının aynı doğrultuda olması gerekir. Aynı doğrultuya getirilmeden kaynatılan iş parçalarında eksenel kaçıklıklar oluşur, bu da kaynak kalitesini düşüren bir unsurdur.



Resim 3.1. Yakma alın kaynağı kullanım alanları [23]

3.6. Rayların Yakma Alın Kaynağı Yöntemi İle Kaynatılması ve Kontrolü

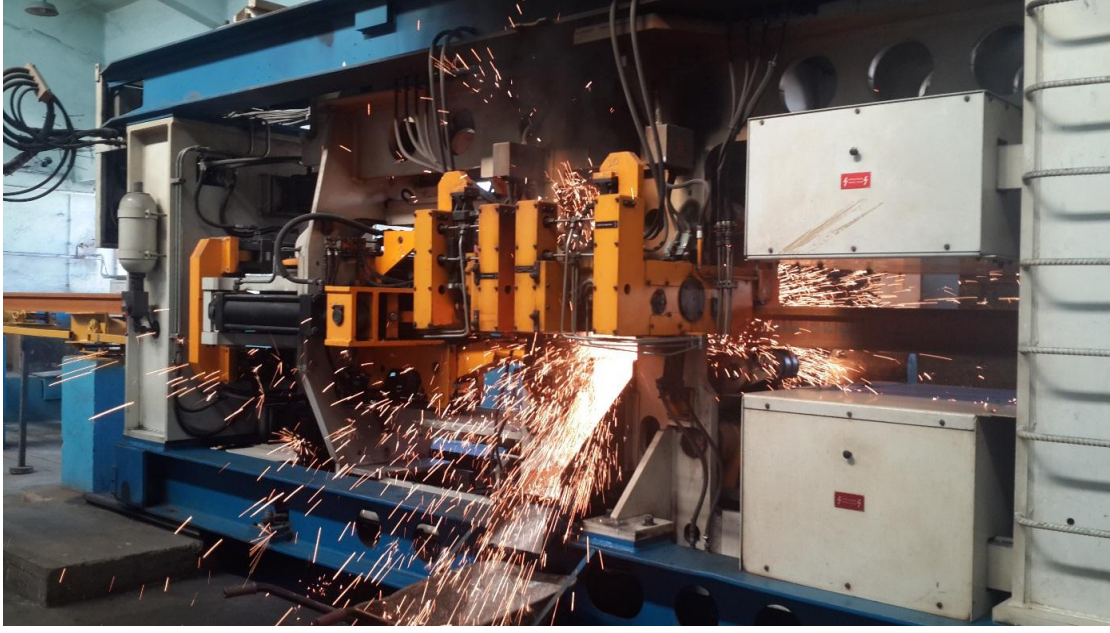
Demiryolu hat yapımlarında rayların birleştirilmesi iki kaynak yöntemi ile gerçekleştirilmektedir:

- Alümina termit kaynağı
- Yakma alın kaynağı

Demir yollarında kullanılan yakma alın kaynağı yöntemi kısaca şu şekilde özetlenebilir;

Kaynak makinesine gelen rayların nasıl kaynatıldığına daha önce değinilmişti. Sabit ve mobil olmak üzere iki tür yakma alın kaynak makinesi bulunmaktadır. Yatırım maliyeti açısından sabit tesisler pahalı olmasına rağmen kaynak kalitesi ve uygulama açısından daha pratiktir. Kaynak sırasında akım, basınç ve süre ilişkisi kaynak kalitesini etkilemektedir. Çalışmalar ve tecrübe sonucunda kaynakla ilgili bir kaynak işlemi tablosu hazırlanabilmektedir. Farklı rayların kesit alanları ve üretim bandından farklı iç yapıda oluşları bu çalışmaları kaynak öncesinde yapmayı zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle rayın iç yapısının bilinmesi, boyut kesit kontrolü ve hizalama ve eksenel kontrol son derece önemlidir.

Yüksek akım ve düşük gerilimin kullanıldığı rayların kaynaklama işleminde taşlama doğrultma gibi birçok işlem mevcuttur. Ray teker ilişkisi göz önünde bulundurularak yapılan bu işlemler güvenlik açısından son derece önemlidir. Kaynak kalitesi EN 14587-1 standartına göre belirlenmektedir. Kaynağın yorulma, mekanik ve içyapı özelliklerinin incelenmesi bu standarta göre gerçekleştirilmektedir. Özellikle yorulma dayanımı raylarda son derece önem taşımaktadır. Bu nedenle rayların mantar bölgesinin sertleştirilmesi ve beynit yapıları raylar ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.



Resim 3.2. Ray kaynak makinesi

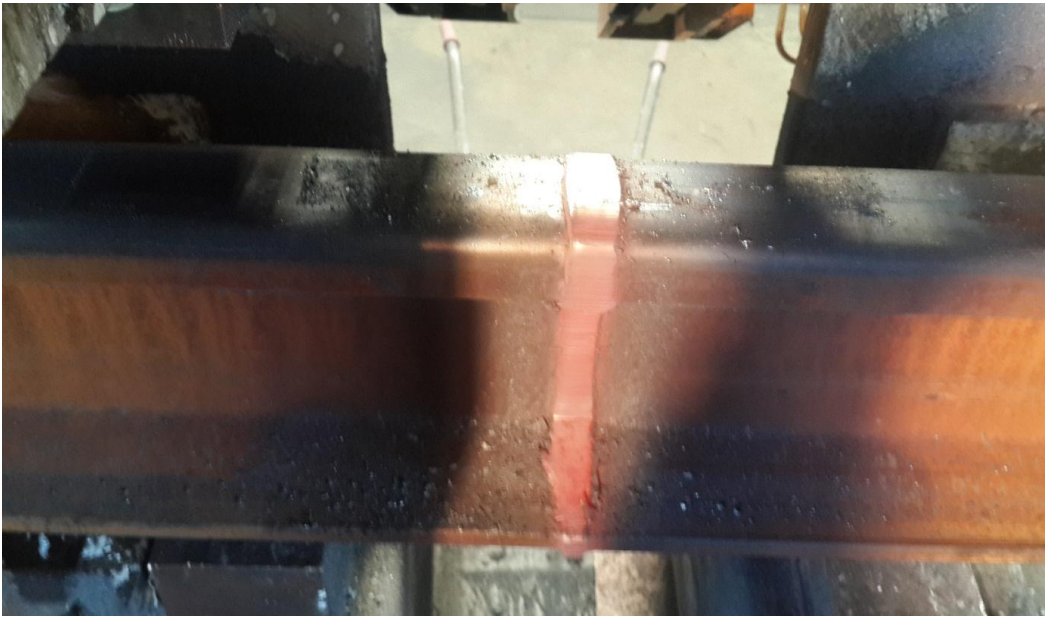
Temas yüzeylerinden yüksek akım geçmesi bu bölgelerde metalin az miktarda buharlaşmasına neden olur. Oluşan bu gaz tabakası kısmi bir koruyucu atmosfer sağlamaktadır. Bu aşamada kullanılan basınç yaklaşık 60 ton civarındadır.



Resim 3.3. Ray kaynağı



Resim 3.4. Ray kaynağı çapak sıyırma



Resim 3.5. Kaynaklanmış ray resmi

Son olarak rayların son yakma işlemi gerçekleştirilir. Bu aşamada akım sürekli geçirilerek meydana gelen gaz boşlukları, inklüzyonlar, vb. yapılar dışarı atılır ve yaklaşık 120 ton basınç ile iki ray birbirine doğru itilerek kaynak işlemi gerçekleşir. Bu aşamalarındaki süreler rayın türüne göre değişmektedir.

S49 ve UIC 60 raylar genellikle kaynatıldığından uygun kaynak sıcaklığı elde edinceye kadar bu aşamaların süreleri ayarlanmaktadır. Kaynak sıcaklığı yaklaşık 1100 °C'dir.

4. RAY ÇELİKLERİ VE UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

4.1. Demir Yollarında Kullanılan Raylar

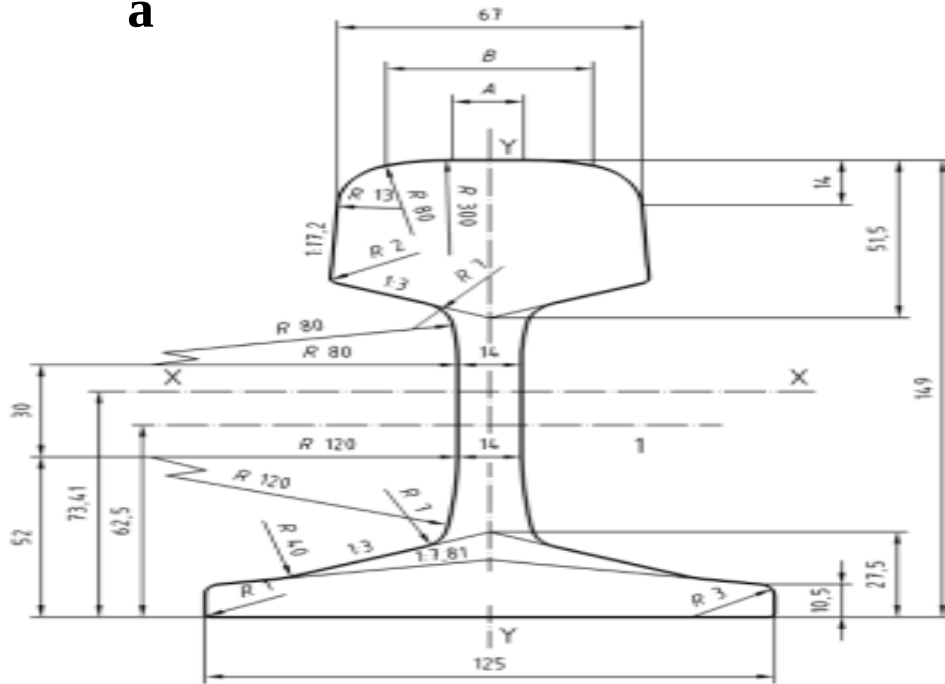
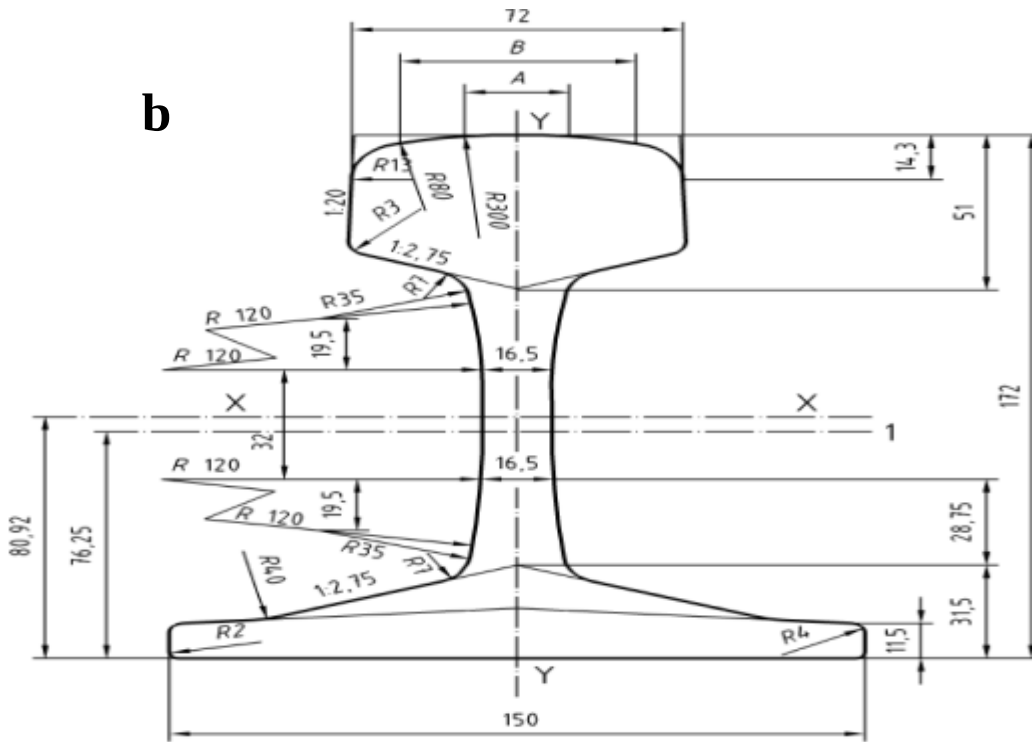
Demiryollarında kullanılan ray sınıfları içerdikleri alaşım elementi miktarına ve boyutlarına göre değişmektedir. Alaşım elementi miktarı rayın sertlik, dayanım, yorulma dayanımı ve aşınma özelliklerine etki etmektedir.

Boyut ve şekil olarak farklı uygulama sahalarında kullanılan raylar; metro, konvansiyonel hat, hızlı tren hatlarında kullanılmaktadır. TCDD bünyesinde genellikle S49 ve UIC 60'lık raylar kullanılmaktadır. Kalite standartı olarak ise genellikle R260, R260Mn kalite ray çeliği kullanılmaktadır. Bu raylar EN 13674-1 standartına göre üretilmektedir. Son dönemde mantarı sertleştirilmiş raylar, ısıtıl işlem görmüş ray çelikleri gibi çalışmalar da yapılmaktadır.

Çizelge 4.1. Ray sınıfları ve özellikleri [28]

Ray Sınıfı	Sertlik (HBW)	Açıklama	Ray Marka İşareti
R200	200 – 240	Karbon – manganez (C-Mn) Isıl işlemsiz	
R220	220 – 260	Karbon – manganez (C-Mn) Isıl işlemsiz	—
R260	260 - 300	Karbon – manganez (C-Mn) Isıl işlemsiz	— —
R260 Mn	260 - 300	Karbon – manganez (C-Mn) Isıl işlemsiz	— — —
R320 Cr	320 – 360	Alaşım (1% Cr)	— — — —
R350 HT	350 – 390	Karbon – manganez (C-Mn) Isıl işlemli	— — — —
R350 LHT	350 - 390	Düşük alaşım, ısıtıl işlemli	— — — — —

Demiryollarında genellikle UIC 60 ve S 49 rayları kullanılmaktadır. Yük ve yolcu kapasitesine göre dayanımı ve boyutları daha fazla olan UIC 60 rayı daha çok tercih edilmektedir. Raylar, alümina termit ve yakma alın kaynağı olmak üzere iki farklı yöntemle kaynatılmaktadırlar. Kaynaklama bakımından yakma alın kaynağının kullanım alanı oldukça geniştir. Salınım yükünün fazla olduğu demiryolunda meydana gelen hataların birçoğu yorulma sonucunda oluşmaktadır. Bu nedenle kaynaklarda lineer hataların olmaması ve yorulma dayanımı yüksek yapıların kullanılması son derece önemlidir.

a**b**

Şekil 4.1. Yaygın kullanılan ray boyutları; a) S49, b) UIC 60 [28]

Toplam 1213 km yüksek hızlı tren hattı 2014 yılında yaklaşık 5 milyon yolcu sayısına ulaşmıştır [29]. TCDD, yapılacak hızlı tren hattını 10 yıl içerisinde 15.000 km olarak planlamaktadır. Bunun yanında konvansiyonel hatlarında artışı ile birlikte hat bakım

maliyetleri de artış göstermiştir. Özellikle rayların bu artışa göre değişim periyot süreleri azalmıştır. Bu açıdan ülkemizde ray-tekerlek ilişkisinin yanı sıra rayların dayanımlarının, aşınmalarının artırılması gibi mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gibi çalışmalar hız kazanmıştır. Bu nedenle mantarı sertleştirilmiş rayların üretimi birkaç ülkede gerçekleştirilirken beynit yapılı ray çeliklerinin de pratik uygulamaları birçok ülkede denenmiştir.

4.2. Beynit Yapısı

Beynit tanım olarak, ferrit ve lamelli olmayan sementitin (Fe_3C) karışımından oluşan oldukça tok ve sünek bir yapıdır [30]. Beynit, perlit burnunun altında izotermal sıcaklıkta östenitin dönüşümü sonucu oluşan bir yapıdır. Östenitin bozunması sırasında soğuma difüzyon kontrollüdür ve bu esnada perlitin oluşmasına imkân yoktur. Ayrıca soğuma yeterli miktarda yavaş olduğu için martensit oluşumunu da engellemektedir [31]. Şekil 4.7.'de verilen Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (Time-Temperature-Transformation-TTT) diyagramında perlit ve martensit oluşum sıcaklıkları arasında beynit oluşumu için gerekli olan soğutma ve izotermal bekleme koşulları görülmektedir [32].

4.2.1. Östenitten beynite dönüşüm

Östenitin beynite dönüşümü ferrit çekirdeklenmesinin iki farklı şekilde olduğuna dair bilimsel alanda görüş farklılıkları vardır. Görüşlerden biri, ilk oluşmuş ferrit difüzyonsuz kayma (diffusionless shear) veya martensit dönüşümü ile oluşmaktadır. Diğer görüş ise ilk oluşmuş ferrit çıkıntı tipinde (ledge-type) çekirdeklenir ve büyür bu esnada kısa mesafeli demir atomu ferrit östenit çıkıntıları arasında yeniden düzenlenir [32].

Fakat düşük sıcaklıklarda beynit oluşumu sırasında demir atomlarının difüzyonu sınırlandırılmaktadır. Alaşım elementlerinin beynit başlangıç sıcaklığını (B_s) önemli ölçüde etkilediği ampirik formül ile gösterilmiştir. Çeliklerin ısıtılmasında Beynitik dönüşüm büyük önem arz etmektedir. Alaşımli çeliklerde perlit ve beynitik dönüşümler birbirinden ayrılmaktadır. Bu durum TTT diyagramında körfez bölgesi (bay region) oluşumuna neden olmaktadır. Alaşım elementleri ferrit veya ferrit-östenit ara yüzeylerini ayırarak beynitik ferrit oluşumunu yavaşlatmaktadır.

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2’de beynit başlangıç sıcaklığının (Bs) alaşım elementlerine bağlı ampirik formülü verilmiştir [32]. Karbon östenit içinde yüksek çözünürlüğe sahiptir ve güçlü bir östenit dengeleyicidir ve buda reaksiyon kinetiğini yavaşlatmaktadır. Çelikte bulunan en son mikroyapıda karbon miktarının artması ile karbürlerinde arttığı tespit edilmiştir [33].

Sertleştirilebilir ve düşük alaşımlı 0,1 - 0,55 % C içeren çelikler için;

$$Bs(^{\circ}C) = 830 - 270 C - 90 Mn - 37 Ni - 70 Cr - 83 Mo \quad \text{Eşitlik 1}$$

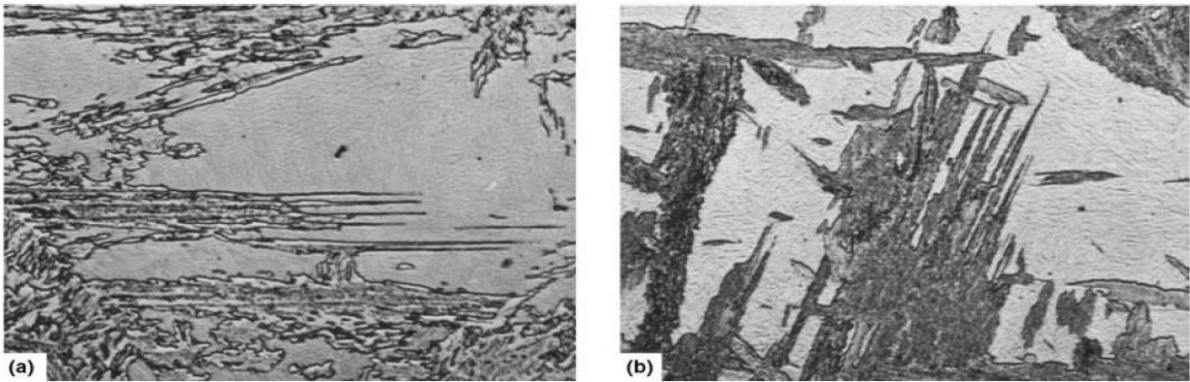
Düşük karbonlu ve alaşımlı 0,15 - 0,29 % C içeren çelikler için;

$$Bs(^{\circ}C) = 844 - 597 C - 63 Mn - 16 Ni - 78 Cr \quad \text{Eşitlik 2}$$

4.3. Beynitin Türleri

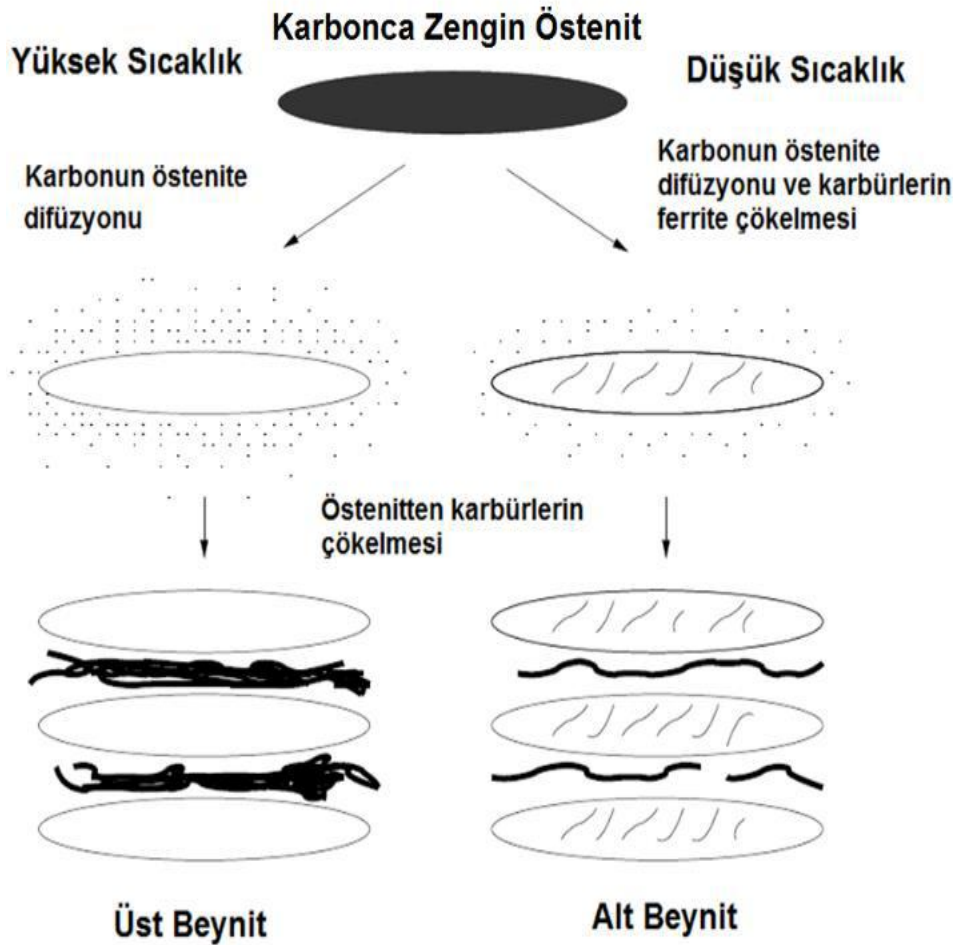
4.3.1. Üst beynit

Ötektoid çeliklerde üst beynit (350°C - 550°C) arasında izotermal ısıtım sonucu elde edilmektedir [33]. Şekil 4.2’de üst beynitin optik mikroskopta gözlenen tipik mikroyapısı verilmiştir. Üst beynit kalınlığı 0,2 µm ve uzunlukları yaklaşık 10 µm olan ince ferrit plakalarından oluşmaktadır. Plakalar kümeler halinde oluşmaktadır ve bu yapı demet olarak bilinmektedir. Her bir demette plakalar birbirine paraleldir ve her bir plakanın kendine has kristal dizilimi vardır. Demet içerisinde ayrı bulunan plakalara beynitin alt birimi olarak adlandırılır. Beynit alt birimleri genellikle sementit parçacıkları veya düşük düzensiz sınırlar tarafından ayrılır. Üst beynit birbirinden farklı iki aşamada oluşur. İlk aşamada, karbon çözünürlüğünün çok düşük olduğu (ağırlıkça % 0,02) beynitik ferrit oluşur.



Şekil 4.2. AISI 4360 çeliğinde üst beynitin mikroyapısı; a) 495°C ve b) 410°C’de izotermal dönüşüm X750, Dağlama: Pikral [32]

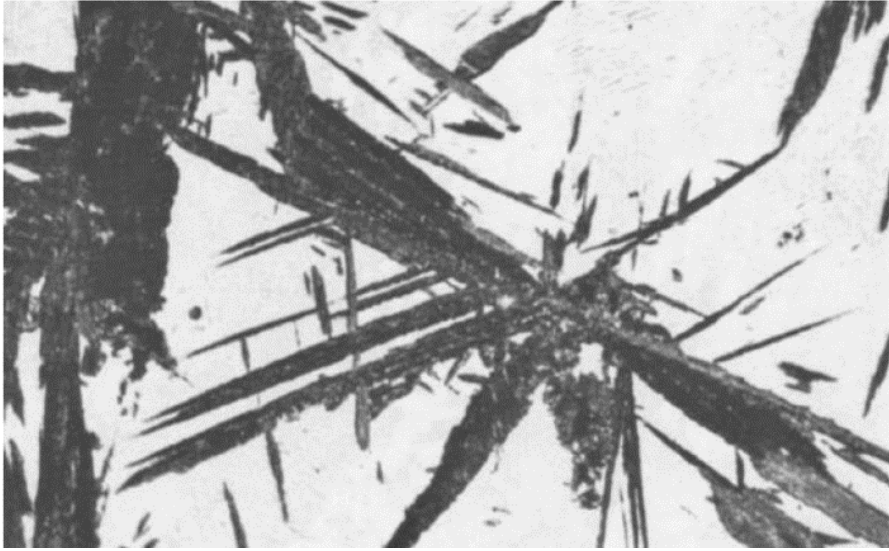
Ferrit oluştuktan sonra kalan östenit karbonca zenginleşir ve sonunda sementit parçacıkları geri kalan östenit katmanlarındaki ferrit alt birimlerine çöklerler. Sementit miktarı alaşımdaki karbon miktarına bağlıdır. Yüksek karbon miktarı ile oluşan sementit tabakaları artar. Yeterli miktarda alaşım elementleri eklenmesi sonucu (Si veya Al gibi), çelik içerisinde sementit oluşumu baskılanmaktadır. Şekil 4.3'te alt ve üst beynitin karbonca zengin östenitten dönüşümü şematik olarak verilmiştir. Düşük izotermal sıcaklıklarda ferrit içerisinde ince karbürler çöklerken yüksek izotermal sıcaklıklarda ferrit içerisinde karbür gözlenmez. Yüksek östempereleme sıcaklıklarında üst beynit oluşmaktadır. İlk aşamada oluşan beynitik ferrit karbonca fakirdir. Ferrit oluşumu tamamlandıktan sonra karbon dönüşmemiş östenite difüze olur ve östenit karbonca zenginleşir ve karbür oluşturur. Karbürler ferrit katmanları arasında çökler. Düşük östempereleme sıcaklıklarında alt beynit oluşmaktadır. Her iki yapı arasındaki büyük ayrım, üst beynitten farklı olarak alt beynitte sementit parçacıklarının ferrit içine çökelmiş olmasıdır.



Şekil 4.3. Alt ve üst beynitik dönüşümün şematik gösterimi [34]

4.3.2. Alt beynit

Ötektoid çelikte 250°C - 350°C'ler arasında izotermal bekletme sonucu oluşan alt beynit mikroyapı ve kristalografik olarak üst beynite çok benzemektedir. Her iki yapı arasındaki büyük ayırım, üst beynitten farklı olarak alt beynitte sementit parçacıkları ferrit içine çökelmiş olmasıdır. Bu nedenle iki farklı sementit çökmesi olmaktadır, beynitik ferrit plakalarını ayıran; karbonca zengin östenitten çökelen sementit ve aşırı doymuş ferritten çökelen sementit olarak çökeler [33]. Şekil 4.4'te Optik mikroskopta gözlenen alt beynitin tipik mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 4.4. AISI 4360 çeliğinde 300°C'de izotermal dönüşüm sonrası alt beynitin mikroyapısı, X750, Dağlama: Pikral [32]

Ferrit içerisinde oluşan karbürler her zaman sementit olmak zorunda değildir, kimyasal kompozisyon ve dönüşüm sıcaklıkları etki etmektedir. Örnek olarak silisyumca zengin ($\text{Si} > 1,5\%$ ağırlıkça) yüksek karbonlu çeliklerde sementit çökmesi yüksek silisyumdan dolayı yavaşlamaktadır bu nedenle beynitik ferrit içinde epsilon karbür sıklıkla çökelebilmektedir. Alt beynitteki karbürler aşırı incedirler, sadece birkaç nanometre kalınlığında ve yaklaşık 500nm uzunluğundadırlar. Üst beynitik mikroyapı ile kıyaslandığında, daha az ve daha ince sementit parçacıkları ferrit plakaları arasında çökeler. Sonuç olarak alt beynitik mikroyapı, üst beynitik mikroyapıya göre daha fazla tokluk sergilemektedir. Bunun nedeni; üst beynitteki kaba sementit parçacıkları yarıma (cleavage) çatlakları ve mikro boşluklara (micro voids) neden olmaktadır [33].

4.4. Beynitin Mekanik Özellikleri

Çeliklerde beynitik yapılar, geniş çapta dayanım ve süneklik sunmaktadırlar. Yüksek karbonlu alt Beynitik mikroyapıya sahip bir çelik; 1400 MPa çekme dayanımına ve 55 HRC sertliğe ulaşabilmektedir. Bu dayanımlar, ince ferrit plakalarına, yüksek dislokasyon yoğunluğuna ve ince sementit dağılımları ile elde edilir. Dönüşüm sıcaklığı düştükçe, beynitik ferrit daha ince karbür dağılımına sahip olur. Bu durumda beynitik ferrit daha yüksek sertlik ve dayanım sağlamaktadır. Su verilmiş ve temperlenmiş çelikler ile kıyaslandığında, östemperlenmiş çelikler benzer sertlik ancak daha yüksek tokluk sergilemektedir (Çizelge 4.2). Su verme sonrası oluşan martensit oldukça sert ve kırılgandır. Bu nedenle su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin tokluğu östemper-lenmiş çeliklere göre oldukça düşüktür (Çizelge 4.2). Beynitik çeliğin mikroyapısı, çeliğin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Araştırmacılar [35 6], üst beynitik mikroyapıya sahip bir çeliğin alt beynitik çelik ile kıyaslandığında daha düşük tokluk ve süneklığe sahip olduğunu bildirmektedir [32].

Çizelge 4.2. Farklı ısı işlemler uygulanmış AISI 1095 çeliğinin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [36].

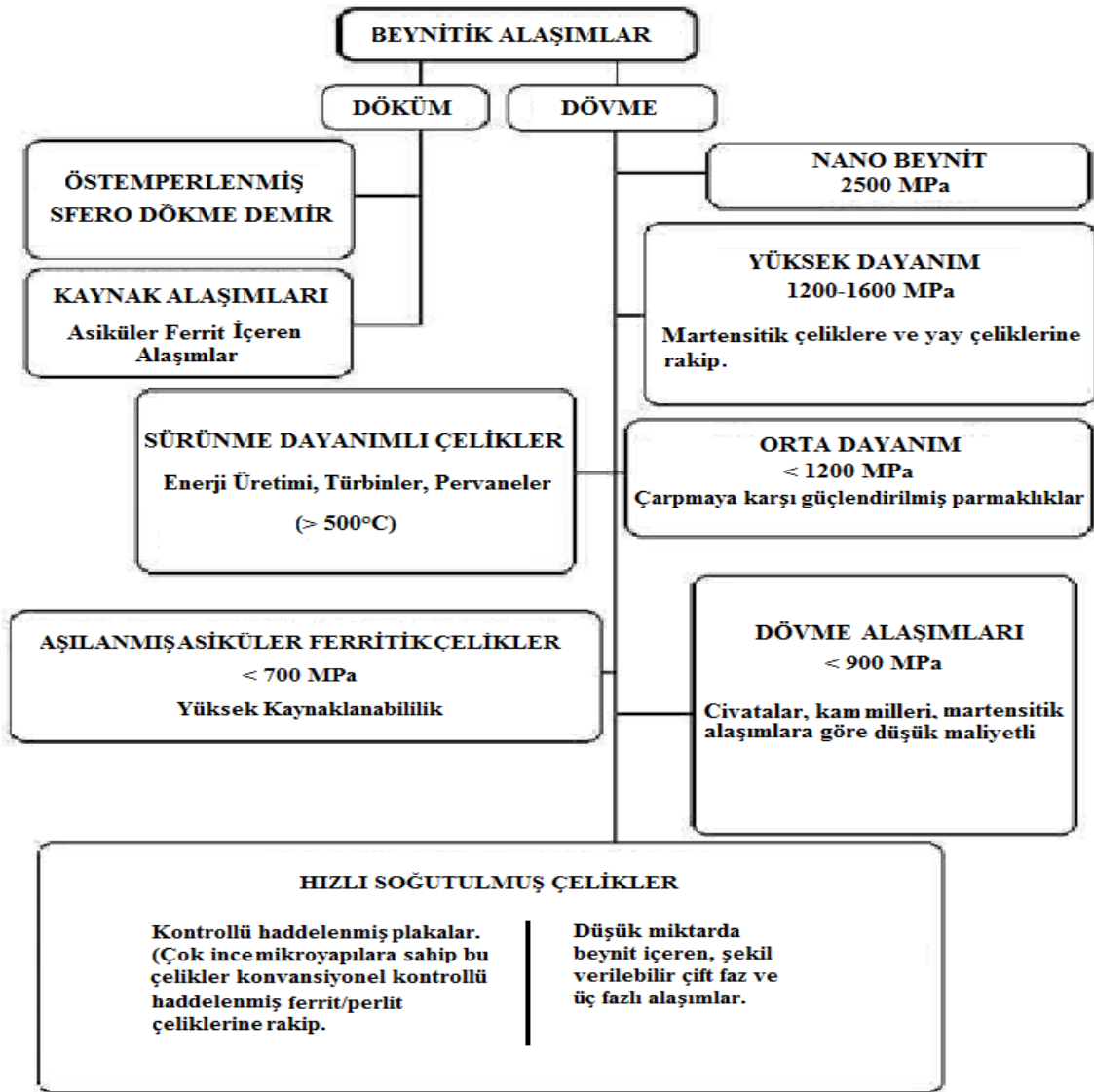
Isıl İşlem	Sertlik (Rockwell C)	Tokluk (J)	Toplam Uzama (%)
Su verme + temperleme	53,3	16,43	0
Su verme + temperleme	52,5	19,17	0
Martemperleme	53,0	31,50	0
Martemperleme	52,8	32,87	0
Östemperleme	52,0	61,64	11
Östemperleme	52,5	54,79	8

4.5. Ticari Beynitik Alaşımlar

Ticari olarak kullanılan beynitik alaşımlar Şekil 4.5'te gösterilmiştir [33]. Çok yüksek dayanıma sahip çeliklerde (Ultra High Strength Steels) beynitik ferrit, martensit ve kalıntı östenit bulunmaktadır. Yüksek dayanımlı bu çeliklerin yapısında bulunan Mn, Cr ve Ni bu çeliklerin sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Yapıda bulunan yüksek Si ($Si > \%1,5$) sementit çökmesini engellemektedir. Yüksek dayanıma sahip çeliklerde kirlilik (impurity) ve

ökelti (inclusion) oldukça düşüktür. Bu sebeple sementit oluşumu için bir engel bulunmamaktadır.

Orta dayanıma sahip çelikler benzer mikroyapıya sahip olup, alaşıım elementleri oranı bir miktar düşüktür. Otomobil endüstrisinde kullanılan bu çelikler, çarpmaya karşı güçlendirilmiş parçaların yapımında kullanılmaktadır. Benzer şekilde, beynitik dövme alaşıımlar otomobil sektöründe kam milleri yapımında kullanılmaktadır. Sürünme dayanımlı çelikler 1940'lı yılların başından itibaren enerji jeneratörlerinde kullanılmaktadır. Cr, Mo içeren bu çeliklerin sertliğı yüksektir. İçerisindeki alaşıım elementleri ve ısıl işlemlerle karbürler çökelmektedir. Bu karbürler sürünme dayanımını arttırmaktadır. Asiküler ferrit içeren çelikler yüksek kaynaklanabilirliğe sahip olup petrol boru hatlarında ve olumsuz hava şartlarında kullanılmaktadır. Haddeleme sonrası hızlı soğutulan beynitik çelikler iyi şekillendirilebilirliğe sahiptir [43].



Şekil 4.5. Ticari olarak kullanılan beynitik alaşımlar [33]

4.6. Beynit Yapılı Ray Çelikleri

Beynit içyapılı raylar da dünyanın çeşitli ülkelerinde denenmektedir[1]. Beynitli çelikler üzerine en kapsamlı araştırmaları Bhadesia yapmıştır[2]. Polonya’ da bir deneme hattında bu çelikler denenmeye başlanmıştır. Beynitli raylar düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerden üretilmektedir. Bu nedenle kaynaklanabilirlikleri de daha yüksektir. Ayrıca, sıkı dizilişli perlit ile karşılaştırıldığında daha iyi sertliğe, akma dayancına, yorulma direncine ve aşınma direncine sahiptir [1].

Artan yükler karşısında daha iyi mekanik özelliklere sahip beynit iç yapılı ray çelikleri farklı firmalar tarafından üretimleri denenmiştir. Bunlardan bir tanesi Rolls – Rolls firması tarafından geliştirilen RB 370 ve RB 390 kalite beynitik ray çelikleridir Bu çeliklerin

özellikleri normal R260 çeliği ile karşılaştırılmış ve daha iyi mekanik özellikler sağlandığı gözlemlenmiştir. RB 390 çeliği nikel alaşımlı olduğundan daha iyi mekanik dayanım sağlanmasına rağmen üretiminin zorluğuna değinilmiştir [37].

Çizelge 4.3. Beynit yapılı ray çeliğinin genel ray kalitesi ile karşılaştırılması [37]

Çelik sınıfı	HBW	R _{p0.2} MPa	R _m MPa	A %	Z J	KV J	KU2 J	K _k (MPa.m ^{1/2})	K _k (MPa.m ^{1/2})
RB370	371-378	843-858	1197-1211	12.2-14.1	38.6-43.0	28.3-33.9	31.2-36.2	51.9-54.5	40.3-42.3
RB390	390-398	825-832	1347-1353	13.0-14.9	43.0-49.0	33.2-38.4	73.1-79.5	90.5-92.1	61.2-63.0
R260	262-270	-	880-893	10.0-10.4	-	-	-	min. 29 ¹⁾	-
R350 HT	350-390	700-712	1080-1098	10.3-11.1	-	-	23.2-25.6	min. 32 ¹⁾	-

Çizelge 4.4. Japonya’da deneme aşamasındaki beynit yapılı rayın içeriği ve sertliği [38]

Spec.	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Mo	Nb	B	Hardness
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[HV]
A	0.28	0.3	1.21	0.013	0.009	1.65	0.1				422
B	0.31	0.31	1.32	0.013	0.008	1.32		0.26			374
C	0.29	0.55	1.10	0.01	0.006	2.21			0.04		396
D	0.34	0.32	0.70	0.011	0.007	2.51				0.0015	410

Aşınmanın fazla olduğu kurplarda ve makaslarda başarı ile uygulanan beynit yapılı çeliklerin aşınma performansları Cr ilavesi ile güçlendirilebilir [38]. Ancak bu alaşım elementlerinin pahalı oluşunun yanında kaynakta ve yüzeyde kırılabilirliğe ve martenzit yapısının oluşmasına neden olabileceği de belirtilmiştir. Bu çeliklerin yuvarlanma temas yorulma direnci ve yorulma direnci oldukça yüksektir[38]

Amerika’da üretimi gerçekleştirilen J6 beynit yapılı ray çeliği, elektrik fırınında üretildikten sonra vakum ortamında gaz alma ve potalı arıtma fırınında işlemlerden geçirilerek üretilmiştir. Rayın üretimi ise haddeleme yöntemi ile yapılmıştır. Titanyum ve boron ilavelerini korumak ve oksijen ve nitrojeni kontrol etmek için az miktarda Al ilavesi yapılmıştır. Yüksek sertliğe sahip olan çeliklerin hidrojen gevrekliğine yatkınlığı daha

fazla olduğundan H miktarı kontrol edilerek düşük tutulmuştur. 18 ve 24 mt üretilen raylara ilave bir ısıt işlem uygulanmamıştır [39].

Çizelge 4.5. Amerika’da üretilen J6 beynitik çeliğinin içeriği [39]

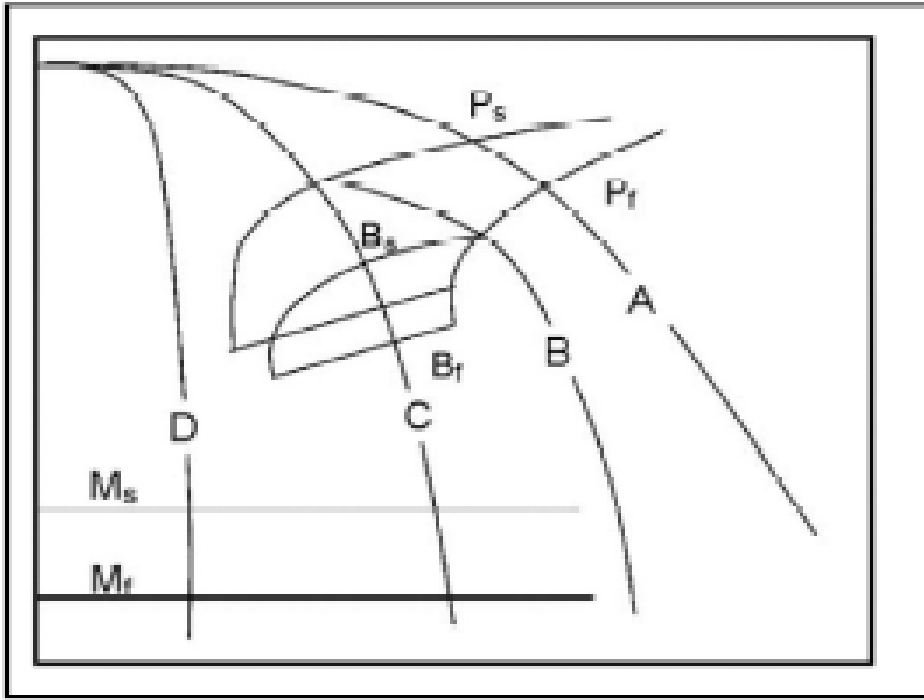
Karbon	Mn	Fosfor	Sülfür	Silis	Nikel	Krom
0.26	2.00	0.008	0.006	1.84	0.11	1.94
Molibden	Alüminyum	Vanadyum	Bakır	Titanyum	Boron	Hidrojen
0.44	0.033	0.009	0.17	0.04	0.0026	1.1

(Tüm değerler Hidrojen hariç %’de ağırlık olarak verilmiştir)

Beynit yapısının kompleks ısıt işlemlere gerek duyulmadan üretimi bu çalışmada belirtilmiştir. En az perlitik ray kadar aşınma direnci sağlayan beynitik ray, yüksek yorulma ve dayanım göstermiştir. 400 HB üzerinde sertlik elde edilmiştir [39].

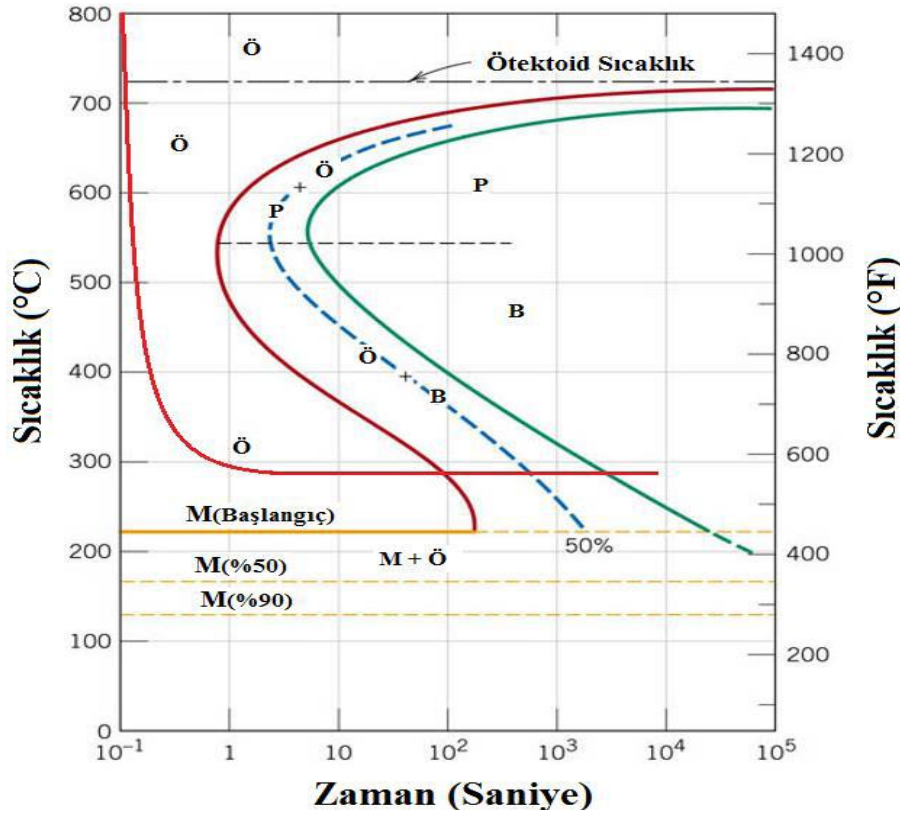
4.7. Uygulanan Isıl İşlem

R260 ray çeliğinden çıkarılan numunelere uygun bir ısıt işlem uygulanmıştır. Çeliklerin gerekli termo mekanik süreçleri tasarlamak için sürekli soğuma dönüşüm diyagramları çok önemlidir. Bu, ötektoit çeliği için dönüşüm diyagramı kullanarak izah edilebilir (Şekil 4.6) [40]. Bu şekilde perlit, beynit ve martensit başlangıç (sırasıyla Ps, Bs, Ms) ve bitiş sıcaklıkları (sırasıyla Pf, Bf, Mf) işaretlemiştir. Soğuma yolları bu diyagramın üzerine koyarak, dönüşümden beklenen mikroyapı gösterilebilir.



Şekil 4.6. Ötektoit dönüşüm diyagramı [40]

Örneğin, çok yavaş soğuma hızlarda (yol A) tam perlitik mikroyapı beklenmektedir. Soğuma hızı artırılınca (yol C) soğuma yolu, perlitik ve beynitik dönüşüm sınırları geçerek karışık mikroyapı elde edilir. Çok hızlı soğuma takip edildiğinde (yol D), perlitik ve beynitik dönüşüm sınırlarından tamamen kurtulabilir. Böylece martenzit yapı oluşuyor. Ray çeliği açısından bu üç yolun hiçbiri fazla arzu edilir değildir. A soğuma yolu, düşük sertlik ve aşınma dayanımına sahip kaba perlitik yapıya sebep oluyor. C soğuma yolu düşük aşınma direncine sahip arzu edilmeyen perlitik ve beynitik yapıya sebep oluyor. D soğuma yolu martenzit yapıya sebep oluyor. B soğuma yolu, beynit başlama sıcaklığın biraz üstünde perlit bitiş sınırına kadar sabit termal dönüşümü oluyor. Burada bileşim çok hızlı soğuyor, yüksek aşınma direnci, mükemmel sertlik, iyi yorulma özellikleri ile arzu edilen ince perlitik mikroyapı elde edilir. B soğuma yolu aksatılmış soğuma ya da hızlandırılmış soğuma olarak adlandırılır ve ray çelik üretiminde yaygın kullanılır[40].



Şekil 4.7. Ötektoid çeliğinin TTT diyagramı [43]

R260 çeliğinin C oranı yaklaşık 0,7% olduğundan dolayı TTT diyagramı olarak C1070 çeliğinin soğuma eğrisi baz alındı. Raydan çıkarılan numunelerin tamamen östenitlenmesi için ısıtılma fırını 810 °C’de 20 dakika tutuldu. Sıcaklık termokupul ile ölçüldü. Daha sonra beynit iç yapısını elde etmek için numuneler hızlı bir şekilde 240 °C’deki tuz banyosuna daldırılmıştır ve burada 40 dakika bekletilmiştir ve daha sonra havada soğuma sağlanmıştır. Beynit iç yapısının araştırılması için bu numunelerin mikro incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, R260 kalite ray çeliğinden elde edilen numuneler kullanılmıştır. Bu çeliklerden bir gruba ısıtıl işlem uygulanarak beynitlik yapı elde edilmiştir. Diğer gruba ise herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Bu iki grup kendi aralarında ve birbirleri ile yakma alın kaynağı ile kaynatılarak mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir

5.1. Malzeme

Çalışmalarda kullanılan R260 ray çeliğinin kimyasal bileşimi Çizelge 5.1’de verilmiştir. Alaşım miktarına göre uygun ısıtıl işlem rejimi belirlenerek beynit içyapısı elde edilmiştir. Özellikle Mn ve C oranları göz önünde bulundurularak bu çeliğe yakın alaşım elementine sahip olan C1070 çeliğinin TTT diyagramındaki sıcaklık ve soğuma eğrileri göz önüne alınarak ısıtıl işlem gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.1. R260 ray çeliğine ait kimyasal bileşim sonucu

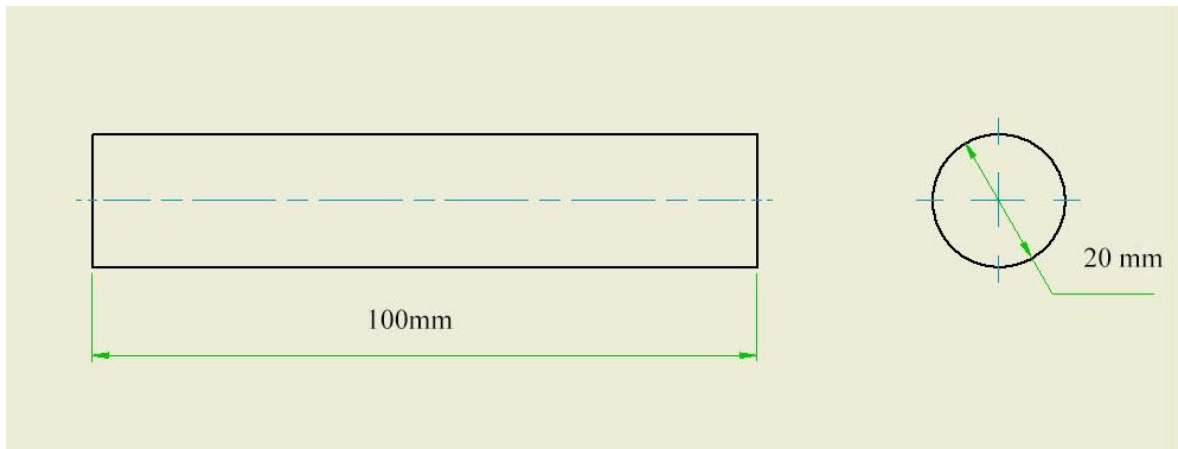


Numune Sonucu

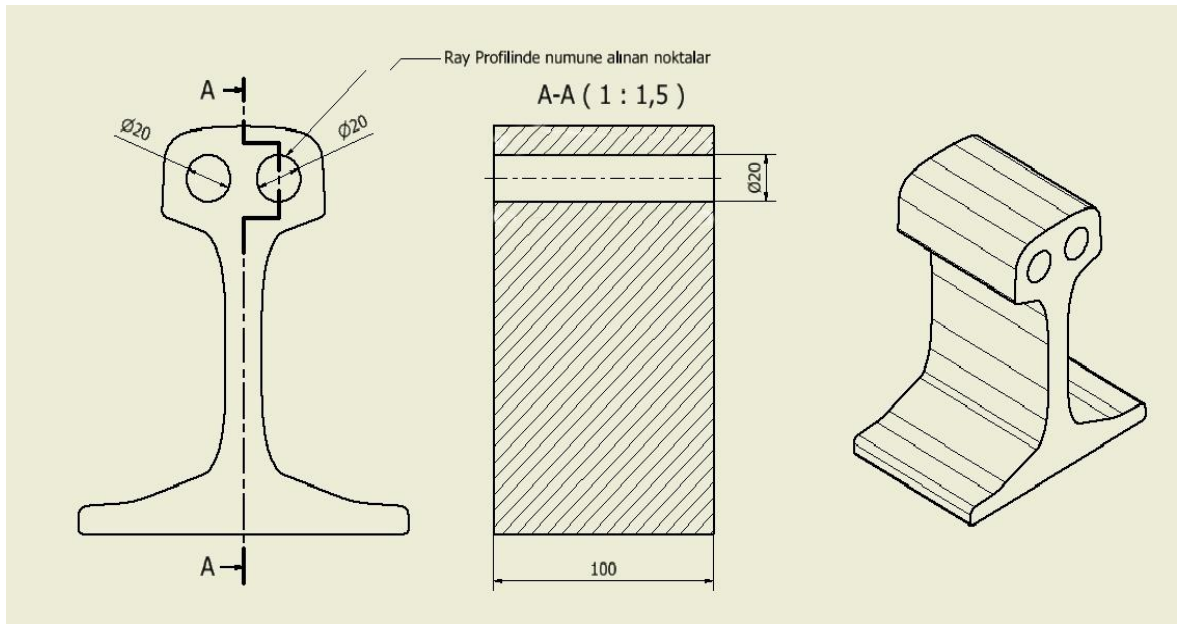
Sample Result Name	Type	Measure Date Time	Recalculation Date Time	Origin	Method Name	Operator Name											
şafak numune	Unknown	30.12.2014 15:33	30.12.2014 15:36	Measured	Fe-10	Operator											
Check Type	Check Status	Correction Type	Outlier Test Type	Status													
None	Not Used	None	None	Not Used													
Sample Name Kalite																	
şafak numune																	
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	
Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
1	0,68	0,31	1,15	0,016	0,017	0,018	0,008	0,038	0,035	0,016	0,077	<0,0002	0,003	0,002	0,001	<0,0002	0,004
2	0,66	0,31	1,13	0,018	0,013	0,017	0,008	0,038	0,035	0,015	0,081	<0,0002	0,003	0,002	0,001	<0,0002	0,004
3	0,68	0,32	1,18	0,021	0,018	0,018	0,009	0,037	0,035	0,016	0,082	<0,0002	0,004	0,002	0,002	<0,0002	0,004
4	0,66	0,30	1,11	0,014	0,013	0,017	0,007	0,037	0,034	0,014	0,079	<0,0002	0,002	0,002	0,0003	<0,0002	0,004
Mean	0,67	0,31	1,14	0,017	0,015	0,017	0,008	0,038	0,035	0,015	0,080	<0,0002	0,003	0,002	0,001	<0,0002	0,004
SD	0,010	0,006	0,030	0,003	0,003	0,0007	0,0007	0,0005	0,0007	0,0009	0,002	0,0000	0,0008	0,0001	0,0006	0,0000	0,0003
RSD	1,56	2,05	2,67	15,62	18,32	4,32	8,24	1,29	1,96	5,97	2,57	0,0000	26,17	5,13	49,54	0,0000	8,25
Rep	0,67	0,31	1,14	0,017	0,015	0,017	0,008	0,038	0,035	0,015	0,080	<0,0002	0,003	0,002	0,001	<0,0002	0,004
As	Zr	Bi	Ca	Ce	Sb	Se	Te	Ta	B	Zn	La	Ag	N	O	Fe		
Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc	Conc		
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%		
1	0,069	0,0003	0,0009	0,0005	0,0005	0,008	0,006	<0,0010	0,003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0002	<0,0004	<0,002	97,5	
2	0,071	0,0003	0,0008	0,0004	0,001	0,008	0,005	<0,0010	0,004	0,0003	0,0003	0,0006	0,0002	<0,0004	<0,002	97,6	
3	0,084	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,011	0,007	<0,0010	0,005	0,0004	0,0003	0,0006	0,0002	<0,0004	<0,002	97,5	
4	0,057	0,0002	0,0005	0,0004	0,0005	0,005	0,002	<0,0010	0,0008	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	<0,0004	<0,002	97,6	
Mean	0,070	0,0003	0,0008	0,0004	0,0008	0,008	0,005	<0,0010	0,003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0002	<0,0004	<0,002	97,5	
SD	0,011	0,0001	0,0003	0,0001	0,0004	0,002	0,002	0,0000	0,002	0,0001	0,0001	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,070	
RSD	15,51	21,95	31,39	13,91	45,27	31,08	37,41	0,0000	58,0	18,07	25,92	34,57	12,78	0,0000	0,0000	0,072	
Rep	0,070	0,0003	0,0008	0,0004	0,0008	0,008	0,005	<0,0010	0,003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0002	<0,0004	<0,002	97,5	

5.2. Deney Numunesi ve Isıl İşlem

Numuneler Şekil 5.1’de gösterildiği gibi 20 mm çapında ve 100 mm boyunda hazırlanarak, yüzey temizlikleri yapılmıştır. Numuneler TCDD Ray Kaynak Fabrikasında Şekil 5.2’de gösterildiği gibi ray mantarının her iki yanından talaşlı imalat yöntemi ile hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin bir bölümüne Gazi Üniversitesi Metalurji Malzeme Mühendisliğinde bulunan Heraeus marka fırında ısıtıl işlem uygulanmış ve daha sonra Prothem marka tuz banyosunda izotermal dönüşümü sağlanmıştır.

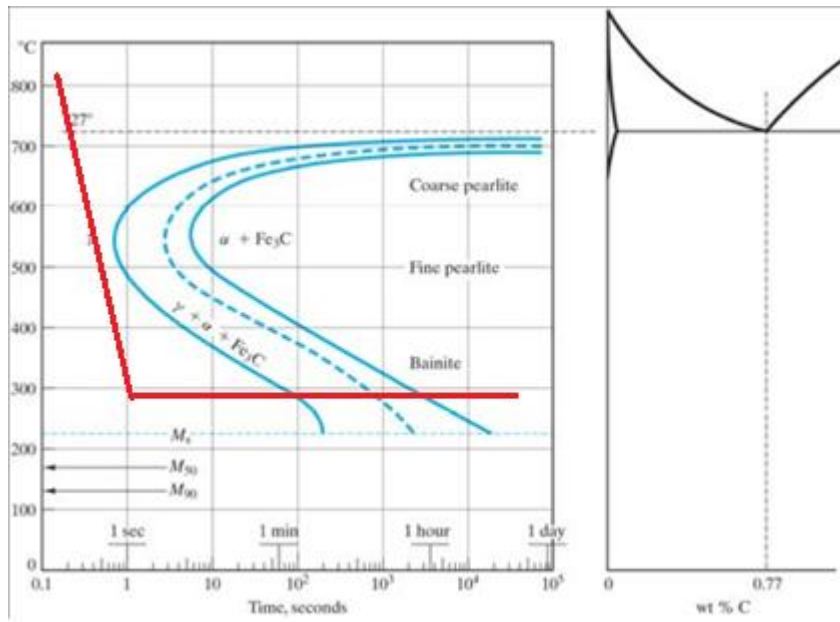


Şekil 5.1. Kaynak numunesinin ölçüleri



Şekil 5.2. Kaynak numunelerinin ray üzerinde alındığı bölgeler

Hazırlanan numunelerin bir bölümüne Çizelge 5.1’de verilen kimyasal bileşim sonucuna bağlı olarak ısıtım işlemi uygulanmış ve beynitik yapı elde edilmiştir. Bunun için R260 kalite ray çeliğine uygun bir TTT (zaman sıcaklık dönüşüm) diyagramından yararlanılmıştır. Bu TTT diyagramına göre belirlenen ısıtım prosesine uygun olarak ısıtım fırınında (Resim 5.2) 810 °C’de 30 dk östenitlendikten sonra 240 °C’de tuz banyosuna (Resim 5.3) ani bir şekilde daldırılarak oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Ani soğutmanın amacı soğuma hızına bağlı olarak TTT diyagramındaki perlit burnunu kesmeden beynitik yapıya ulaşması ve burada soğumasıdır.



Şekil 5.3. Uygulanan TTT diyagramı ve çeliğin Fe-C denge diyagramındaki yeri

Yapılan ısıtım işlemleri sırasında uygulanan sıcaklık ve soğuma rejimleri bir çok kez farklı sıcaklık ve soğuma şartlarında denendi. Hizmet alımı dahil yapılan ısıtım işlemlerinde mikroyapıda kısmi beynitik dönüşüm görülmesine rağmen numunelerin birçoğunda ince perlitik yapı gözlemlendi. Bunun nedeni olarak soğuma hızı ve sıcaklık ilişkileri irdelenerek östempirleme için ideal şartlar oluşturuldu. Fırın sıcaklıkları termokupullar ile hassas bir şekilde ölçülerek hem sıcaklık hem de soğuma değerleri istenilen değerlere ayarlandı. Böylece beynitik dönüşümün homojen olarak gerçekleşmesi sağlandı.



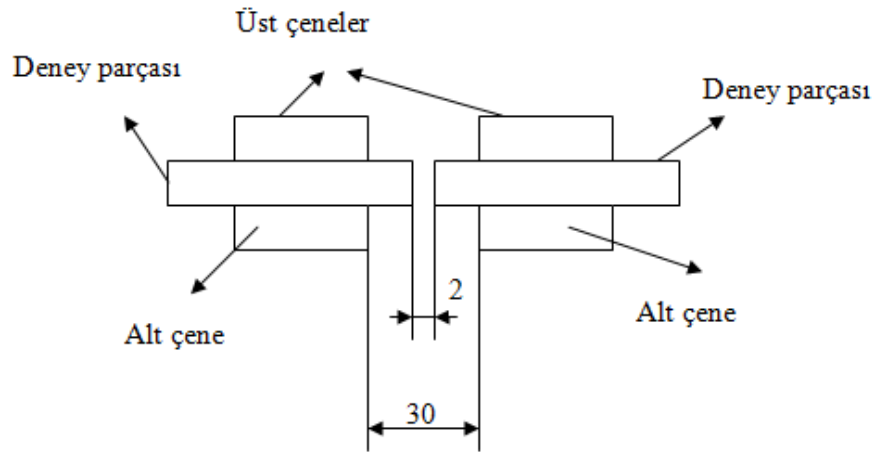
Resim 5.1. Heraeus kutu tipi tavlama fırını



Resim 5.2. Prothem tuz banyosu

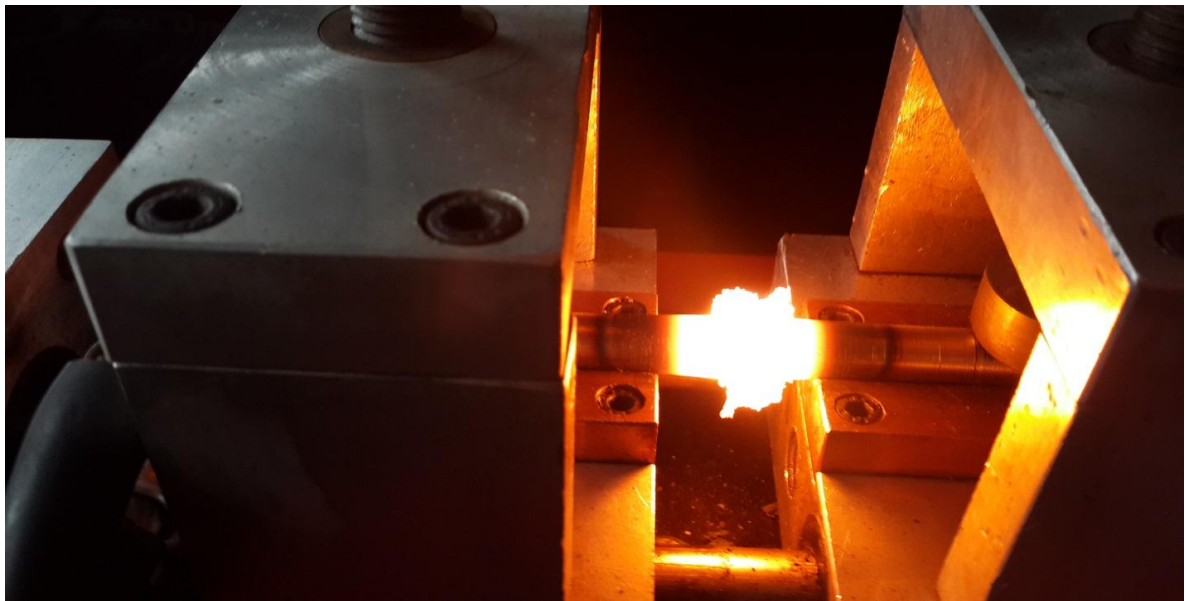
Isıl işlem sonrası beynitik yapı elde edilip edilmediği SEM incelemesi yapılarak belirlenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda ısıtma işlemi uygulanan numunelerde beynitik yapının elde edildiği gözlemlenmiştir.

Perlitik yapıya sahip olan R260 ray çeliği kaynak numuneleri ve ısıtım işlem sonucu elde edilen beynitik numuneler Resim 5.4'te verilen kaynak makinesine bağlanarak kaynak yapılmıştır. Yakma alın kaynak makinesi olarak yine Metalurji Malzeme Mühendisliğinde bulunan yakma alın kaynak makinesi kullanılmıştır.



Şekil 5.4. Numunelerin çeneye bağlanması

Kaynak makinesi alın altına getirilen numunelerden akım geçirilerek oluşan dirençten dolayı ergimenin sağlanması ile gerçekleştirilir. Makinenin kullandığı kaynak akımı 25 kA'dır. Kaynak işlemi yaklaşık 40 sn. sürmektedir. Kaynak sonrası oluşan çapak temizlenmiştir.



Resim 5.3. Numunelerin yakma alın kaynak yöntemi ile kaynatılması



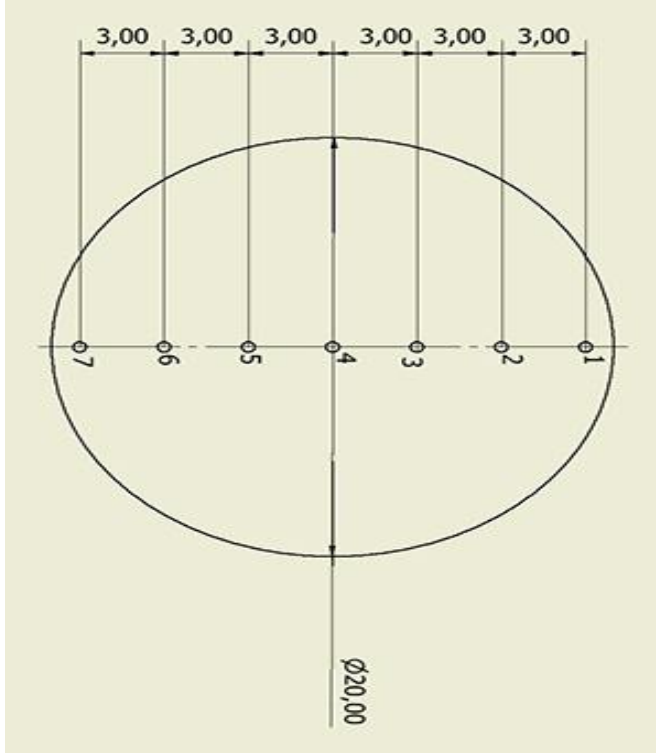
Resim 5.4. Kaynak edilmiş deney numunesi

5.3. Mekanik Deneyler

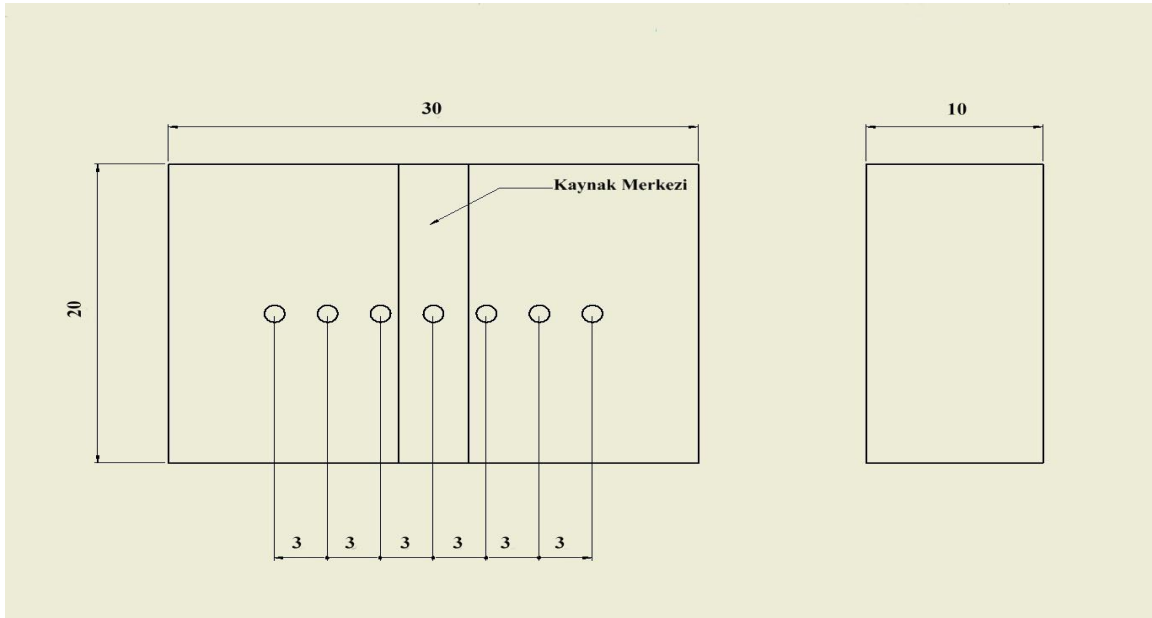
Sabit kaynak parametreleri kullanılarak kaynaklanan numunelere, çekme ve sertlik deneyleri yapılmıştır. Test numuneleri, kaynak işleminden sonra her biri (5'er adet), çekme deneyi, sertlik ölçümleri ve mikroyapı fotoğrafları için gruplara ayrılmış ve her grup gerekli işlemlere tabi tutulmuştur. Numune hazırlıkları, kullanılan cihazlar ve özellikleri ile deneylerin yapıları konu başlıkları altında detaylı olarak belirtilmiştir.

5.3.1. Sertlik deneyi

Bu deney için, kaynaklı numune çiftlerinden birer adet numune kullanılmıştır. Sertlik test numuneleri, 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla zımparalanıp daha sonra keçeleme işlemiyle parlatılarak deney için standart yüzey kalitesi oluşturulmuştur. Yüzey kalitesi oluşturulan test numuneleri üzerinde boydan boya çizgisel bir hat belirlenip, belirlenen bu hat üzerinde 1 mm aralıklarla sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri için HV₃ sertlik ölçüm test metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümlerinde, EMCO - TEST marka SP - 1000 model cihaz kullanılmış olup Resim 5.5'te gösterilmiştir. Ölçülen sertlik değerleri kullanılarak sertlik grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler Bölüm 6'da verilmiştir. Şekil 5.5'te ısıtıl işlem sonrası sertlik ölçümü için numunelerden alınan sertlik ölçüm noktaları gösterilmiştir. Buna benzer şekilde kaynak sonrasında numunelerden alınan sertlik ölçüm noktaları da Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Numune sertliği ölçüm noktaları



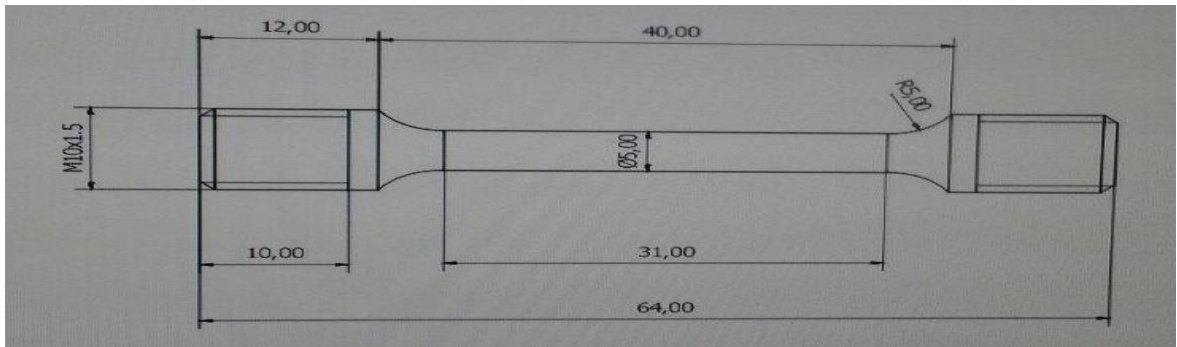
Şekil 5.6. Kaynaklı numunelerin sertlik tarama noktaları



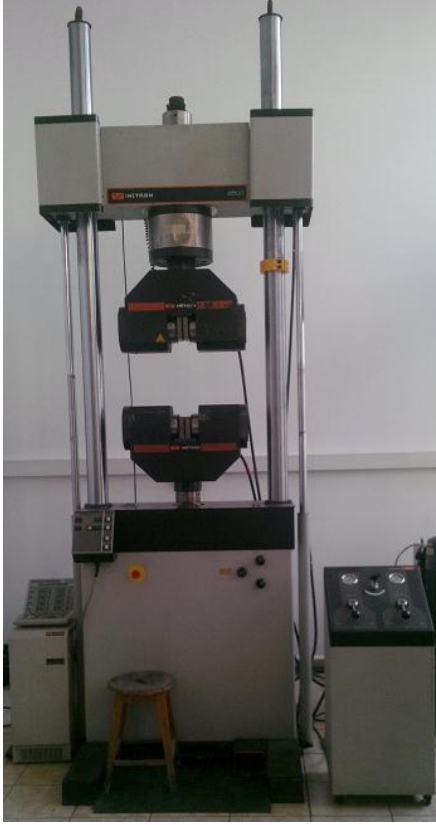
Resim 5.5. Sertlik test cihazı

5.3.2. Çekme deneyi

Yakma alın kaynağı ile kaynatılan numune çiftlerinin her birinden 3'er adet çekme numunesi hazırlanmış, daha sonra Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde, ASTM E8/E8M standartlarına uygun olarak CNC tezgahında çekmeye hazır hale getirilmiştir. Bu standartlara göre hazırlanan çekme numunesinin ölçüleri Şekil 5.7'de verilmektedir. Çekme testleri, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında bulunan INSTRON marka çekme test cihazında yapılmıştır. Test cihazı, Resim 5.6'te gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlar Bölüm 6'da karşılaştırılmıştır.



Şekil.5.7. Standart çekme numunesi



Resim 5.6. Çekme testi cihazı

5.4. Mikroyapı İncelemesi

Mikroyapı incelemeleri için numuneler, Resim 5.8’de gösterilen zımpara ve parlatma cihazında sırasıyla 200, 400, 600, 800 ve 1200 gritlik zımparalarla su altında zımparalanmış ve daha sonra özel mikro yapı incelemelerinde kullanılan keçe üzerinde sırasıyla 3 ve 1 μm elmas süspansiyonlar kullanılarak parlatmaları yapılmıştır. Kaynak numune çiftlerinin yatay ekseninde kesitleri alınarak numuneler hazırlanmıştır. Böylece kaynak bölgesi, HAZ ve ana metalin incelenmesi sağlanmıştır. Mikro yapı incelemeleri, TCDD DATEM İşletme Müdürlüğünde gerçekleştirilmiştir. Resim 5.8’de optik mikroskop gösterilmiştir. Ayrıca çekme testinden sonra perlitik ve beynitik numunenin kırık yüzeylerinin mikroyapıları incelenmiştir ve kırılma davranışları irdelenmiştir.



Resim 5.7. Zımpara ve parlatma cihazı



Resim 5.8. Optik mikroskop



Resim 5.9. Spektral analiz cihazı

5.5. XRD Analizi

Östemperleme ısıtıl işleminde sonra elde edilen beynitik numuneye ve ısıtıl işleml uygulanmamış olan R 260 kalite pertlitik yapıdaki numuneye Gazi Üniversitesi Metalurji Mühendisliği bölümünde bulunan Brukel marka cihaz kullanılarak XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki sonuç karşılaştırılarak mevcut piklerin ısıtıl işleml sonrasında ne şekilde değiştiği gözlemlenmiş ve ısıtıl işleml sonucunda meydana gelen fazların mikroyapıları ile göstermiş olduğu paralellik irdelenmiştir.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMALAR

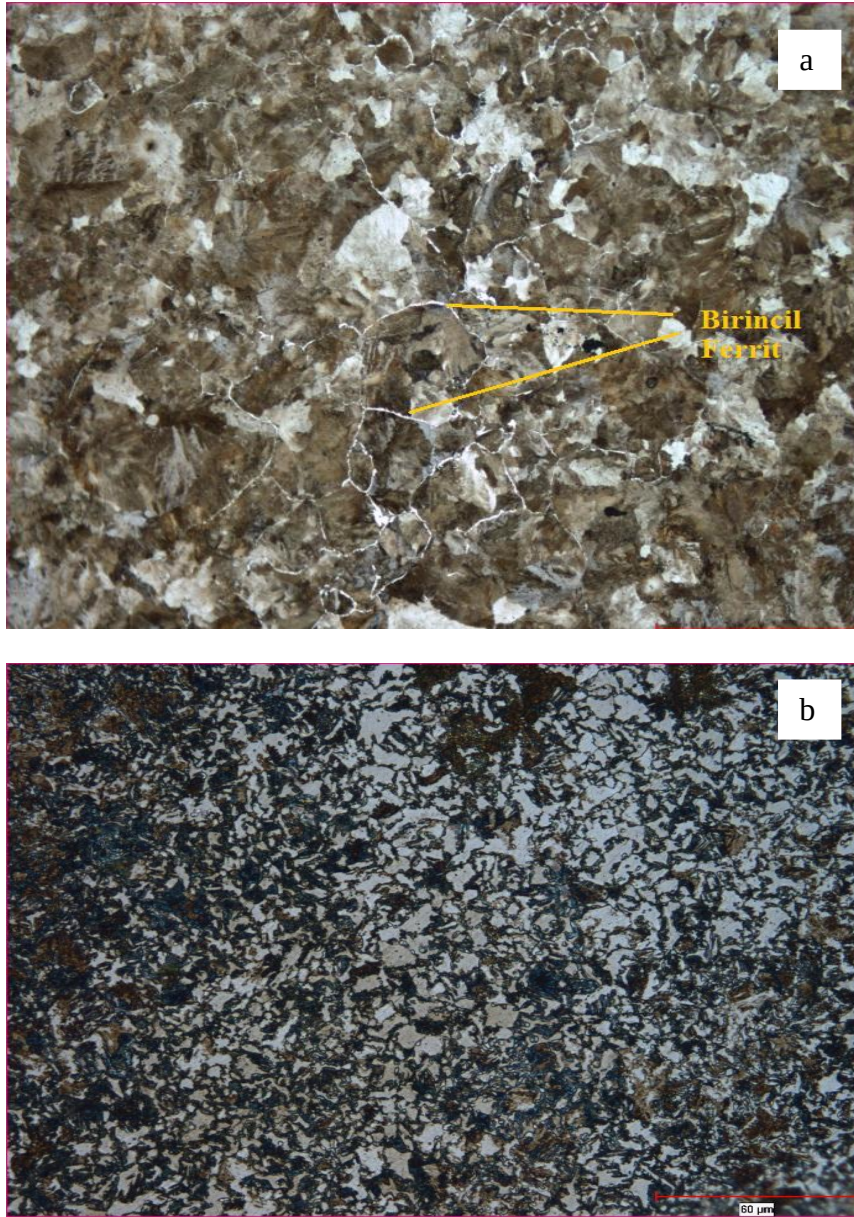
Son yıllarda üretimi araştırılan beynitik yapılı raylarının kullanım performansı incelenmek üzere, geleneksel perlitik yapılı raylara göre ne gibi avantajlar sağlayacağı araştırılmıştır. Bu noktada standart raydan çıkarılan deney numunelerine ısıtma işlemi uygulanarak beynitik yapı elde edilmiştir ve mikroyapıları analiz edilmiştir. Raylar demiryolu uygulamalarında yakma alın kaynak yöntemi ile kaynatıldığı için ısıtma işlemle elde edilen beynitik numuneler yakma alın kaynak yöntemi ile kaynatılmıştır. Elde edilen kaynaklı numunelerin sertlikleri, çekme mukavemetleri ve mikro yapı özellikleri incelenmiş, bütün numunelere ait deney sonuçları, tartışmaları ve mukayeseleri aşağıda bölümler halinde verilmiştir. İlk önce hem perlitik hem de beynitik numunelere ait mikro yapı ve sertlik özellikleri incelenmiştir, daha sonra perlitik ve beynitik kaynak numunelerinin incelemesi yapılmıştır.

6.1. Mikroyapı Sonuçları

Kardemir üretimi R260 kalite rayın mantar kısmından talaşlı imalat yöntemi ile çıkarılan numuneler kaynak makinesi için uygun bir boyuta getirilmiştir. Bu numunelere beynit iç yapısı elde edilmek üzere ısıtma işlemi uygulanmıştır. Uygun ZSD diyagramı seçimi rayın karbon ve alaşım oranına bağlı olarak seçilmiştir. R260 çeliğinin kimyasal kompozisyonu C1070 çeliği ile büyük benzerlik gösterdiği için C1070 çeliğine ait ZSD diyagramı seçilmiştir.

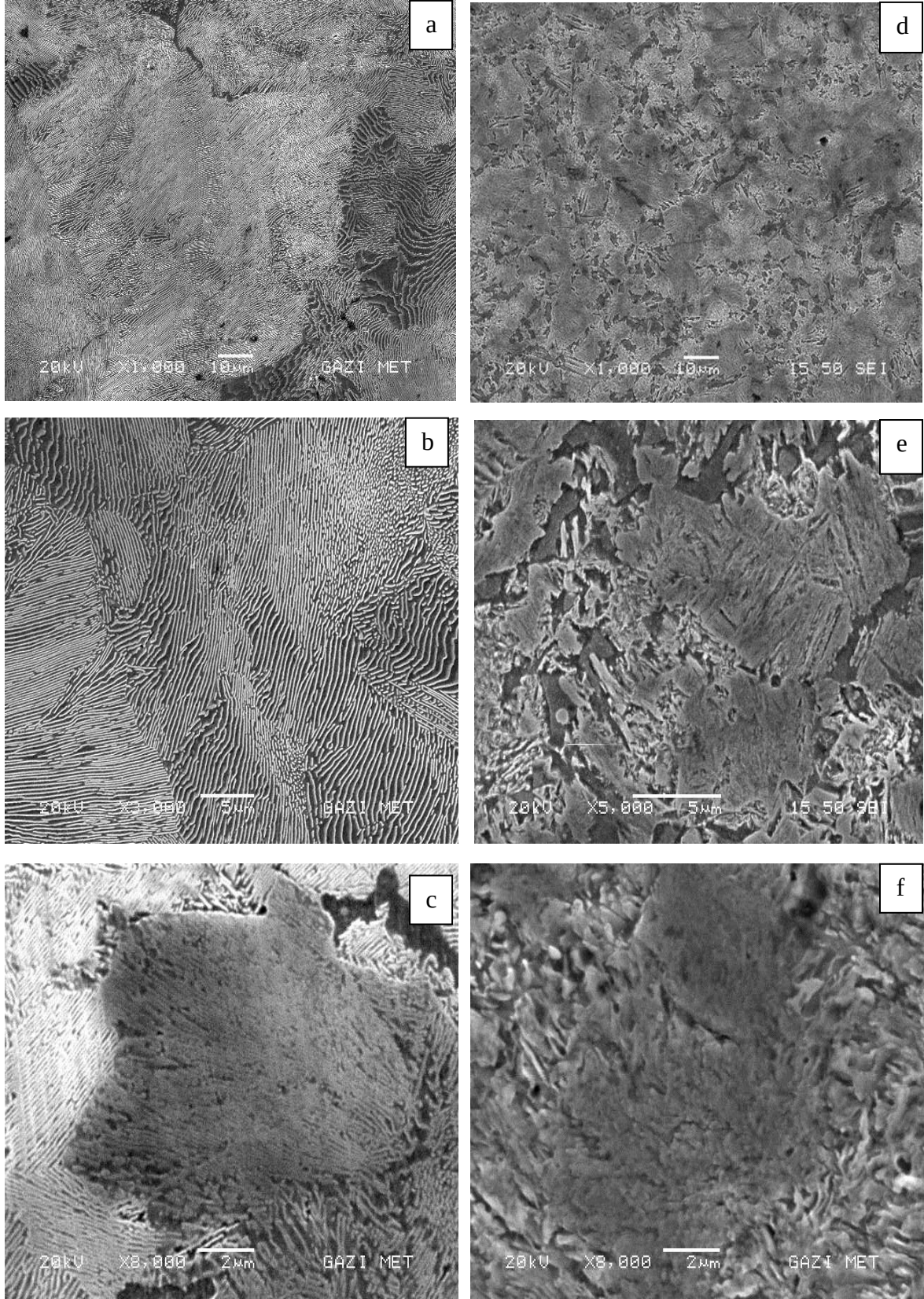
Deney numuneleri ısıtma işlemi fırınında yaklaşık 810 °C’de 20 dk östenitlendikten sonra tuz banyosunda 240 °C’de ani olarak soğumaya bırakılmıştır. Aşağıda Resim 6.1’de perlitik ve elde edilen beynit iç yapısının mikro yapı resimleri verilmiştir. Resim 6.1 a’da ısıtma işlemi uygulanmamış ray çeliğinin optik mikroyapısına göre çeliğin, ötektoid birleşimine yakın ancak ötektoid birleşimin hemen altında olduğu anlaşılmaktadır. Aynı resimde açıkça görüldüğü üzere ince lamelli perlit kolonilerinin sınırlarında çok ince ama bağlantılı birincil ferrit ağları ve genelde eş eksenli perlit taneleri mevcuttur. Resim 6.2 b’de ise östempereleme ısıtma işlemi sonrası elde edilen beynitik mikroyapılı ray çeliği görülmektedir. Isıtma işlemleri sonrasında hem ortalama tane ebatı azalmış hem de birincil ferritten eş kesimli hale geldiği görülmektedir. Optik mikroyapılardan koyu renkli bölgelerin beynitik

olduğu düşünölebilir. Ancak Resim 6.2’de bulunan SEM mikroyapıları ile beynitik alanların varlığı açıkça gösterilmiştir.



Resim 6.1. R260 kalite ray çeliği mikroyapı resimleri a) Perlitik (100X), b) Beynitik (500X)

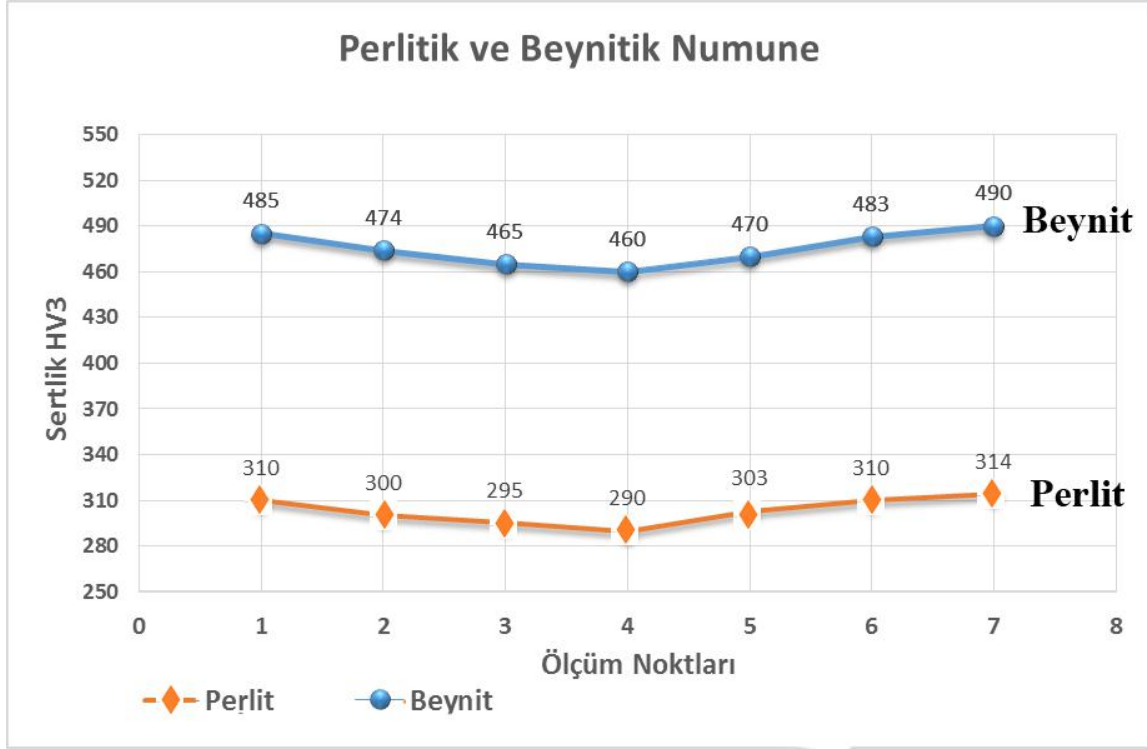
Optik mikroskopta incelenen numuneler Jeol JEM 6060 model SEM ile mikroyapıları incelenmiştir. Aşağıda Resim 6.2’de perlitik ve ısıt işlemler sonucu elde edilmiş olan beynitik numunelerin SEM görüntöleri verilmiştir.



Resim 6.2. Perlitik (a, b, c) ve beynitik (d, e, f) numuneye ait farklı büyütmelerdeki SEM görüntüsü

6.2. Sertlik Sonuçları

R260 tip ray çeliğinden alınan perlitik numune ile ısıtılma işlem sonucu elde edilen beynitik numuneye uygulanan sertlik test sonuçları Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Perlitik ve beynitik numunenin sertlik taraması

Numuneye uygulanan ısıtılma işlem sonucunda elde edilen beynitik yapının sertliğinde değişim olduğu tespit edilmiştir. 20 mm çapındaki numunelerden beynitik numunenin sertlik ölçümleri incelendiğinde merkezi inildikçe sertlik değerlerinde bir düşüş olduğu görülmektedir. Yüzeydeki soğuma hızı merkeze doğru gidildikçe azalacağından sertlik değerlerinde düşme gözlemlenmiştir. Fakat bu soğuma hızındaki fark yapıda herhangi bir değişikliğe sebep olmamıştır.

Perlitik numuneye ve ısıtılma işlem sonrasında elde edilen numuneye sertlik ölçümü yapılmıştır. Sertlikte mevcut olan değişimler faz değişimlerinden ve soğuma hızından kaynaklanmaktadır. Burada rayın geometrik yapısı göz önünde bulundurularak yapılacak olan ısıtılma işlem buna göre belirlenmelidir. Soğuma hızları rayın kesit farklılıklarından dolayı

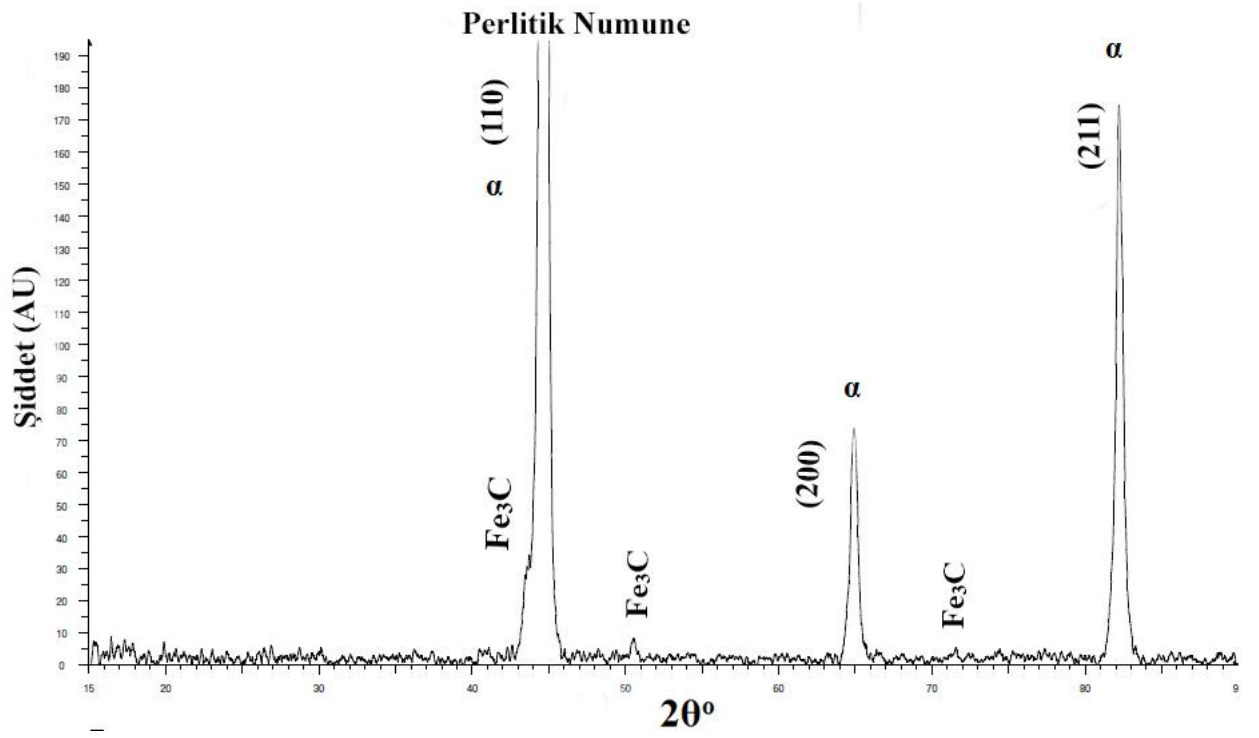
farklı olacağından dolayı meydana gelecek iç yapı, benyit yapısının formu farklılık gösterebilir. Bunun kontrolü dikkatli bir şekilde yapılmalıdır.

6.3. XRD Sonuçları

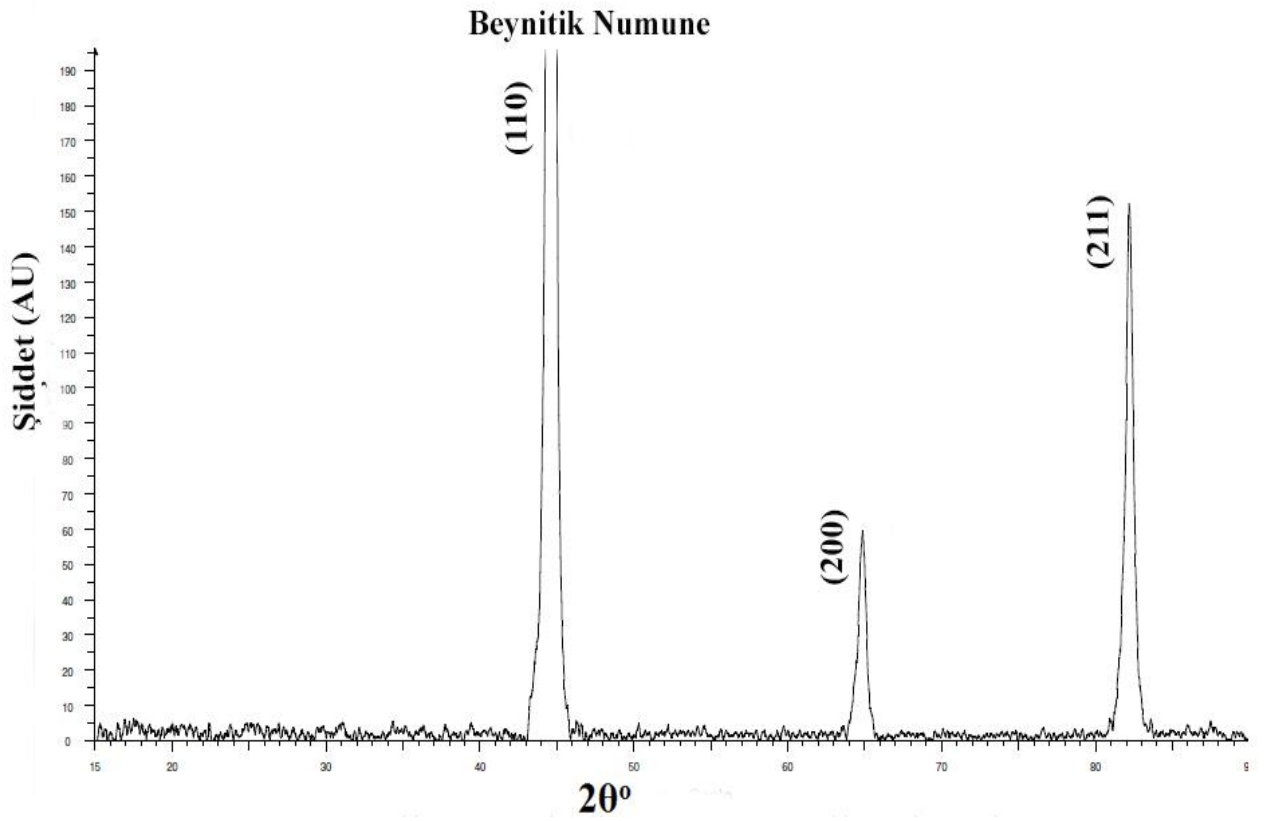
Östemperleme ısıt işlemlerinden sonra SEM mikroyapı incelemelerinde elde edilen beynitik mikroyapılardaki mikro bileşenleri tespit edebilmek amacıyla ısıt işlemlerden önce ve sonrasında numunelerin karşılaştırılmalı XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 6.2’de östemperleme ısıt işlemi öncesi, Şekil 6.3’te ısıt işlemler sonrası numunelerde XRD grafikleri gösterilmektedir. Her iki XRD grafiklerine göre (110), (200) ve (211) düzlemlerinde ana yansımalar HMK demir fazını göstermektedir.

Şekil 6.2’de görüldüğü gibi ısıt işlem öncesi tamamen tipik lamelli perlitik yapıya sahip numunede sementit (Fe_3C) yansımaları belirgindir. Bunlar, Şekil 6.5’de örnek olarak gösterilen tipik bir sade C’lu çeliğinde bulunan Fe_3C için XRD yansıma açıları referans alınarak belirlenmiştir. Perlitik numunede Şekil 6.4’te görülen referans değerlerdeki sementit fazı şiddetleri, bu çalışmada da ısıt işlem uygulanmamış perlitik numunede de benzer derecelerde görülmektedir. Östemperleme sonrasında ısıt işlem ile elde edilen beynitik yapıda ise sementit fazı azalırken ferrit fazının şiddetinin arttığı görülmektedir.

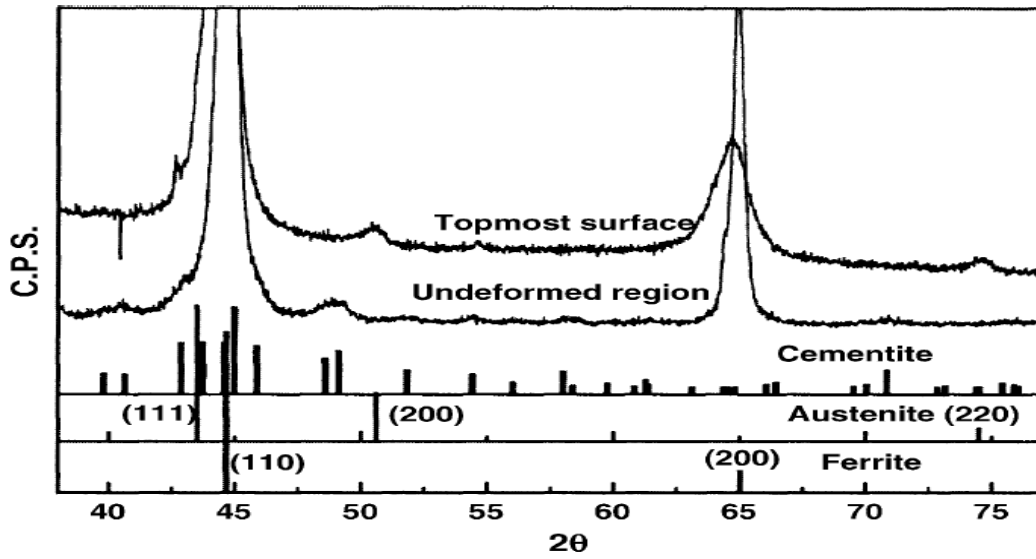
Perlitik numuneye ait XRD analizinde 40 – 50 dereceler ve 60 – 70 dereceler arasında ferrit fazı gözlemlenmektedir. 40 – 45 dereceler arasında sementit fazı görülmektedir. Östemperleme ısıt işlemi sonrası elde edilen beynitik yapıda sementit piklerinde azalma meydana gelmiştir.



Şekil 6.2. Perlitik numuneye ait XRD analizi



Şekil 6.3. Beynitik numuneye ait XRD analizi

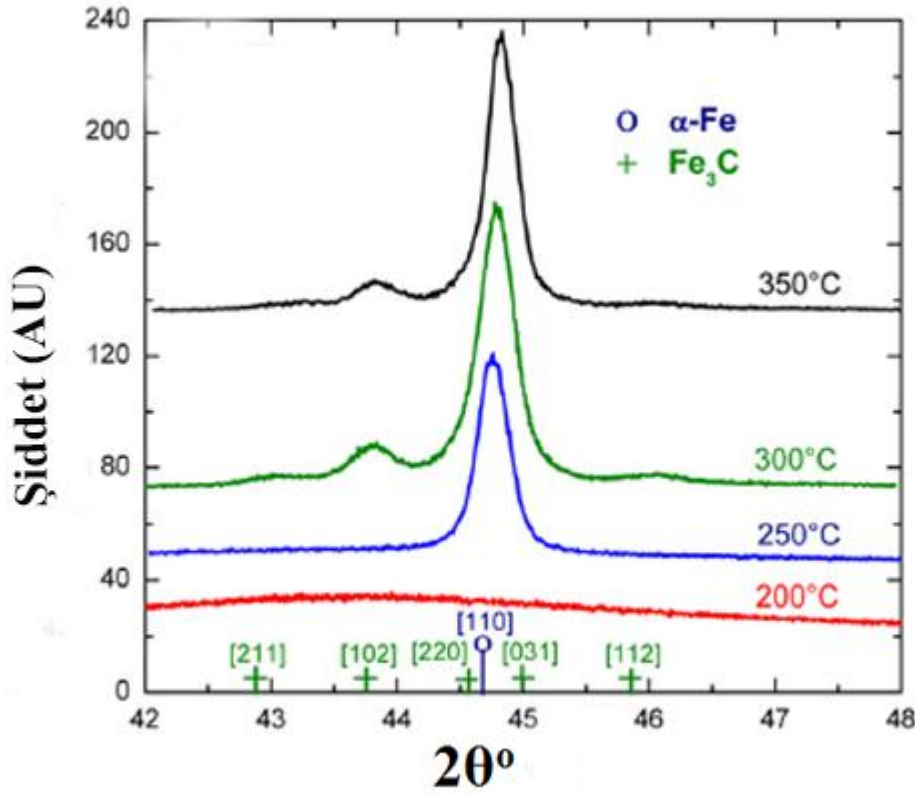


Şekil 6.4. Bir ray çeliğine ait XRD analizi [41]

Beynit yapısının oluşma mekanizmasına bakıldığında martenzit fazının oluşmasında etkin olan yer değiştirme dönüşümünün aksine difüzyon mekanizması etkindir. Üst beynit için yüksek sıcaklıklarda östenit içerisinde karbon difüzyonunun ardından östenitten karbür çökmesi meydana gelir. Alt beynit için ise düşük sıcaklıklarda östenit içerisinde karbon difüzyonu meydana gelir ve ardından östenitten karbür çökmesi meydana gelir [42].

Üst beynit birbirinden farklı iki aşamada oluşur. İlk aşamada, karbon çözünürlüğünün çok düşük olduğu (ağırlıkça % 0,02) beynitik ferrit oluşur. Ferrit oluşuktan sonra kalan östenit karbonca zenginleşir ve sonunda sementit parçacıkları geri kalan östenit karbonca zenginleşir ve karbür oluşturur. Karbürler ferrit katmanları arasında çöker. Düşük östemperleme sıcaklıklarında alt beynit oluşmaktadır. Her iki yapı arasındaki büyük ayrım, üst beynitten farklı olarak alt beynitte sementit parçacıklarının ferrit içine çökelmiş olmasıdır [43].

Her iki beynit türünde de sementit parçacıkları ferrit katmanları ve ferrit içerisinde çökelmiş olmasından dolayı östemperleme sonucunda sementit miktarı azalmıştır. Şekil 6.3'te gözlemlenen sementit fazları beynitik dönüşüm sonrasında azaldığı görülmektedir.



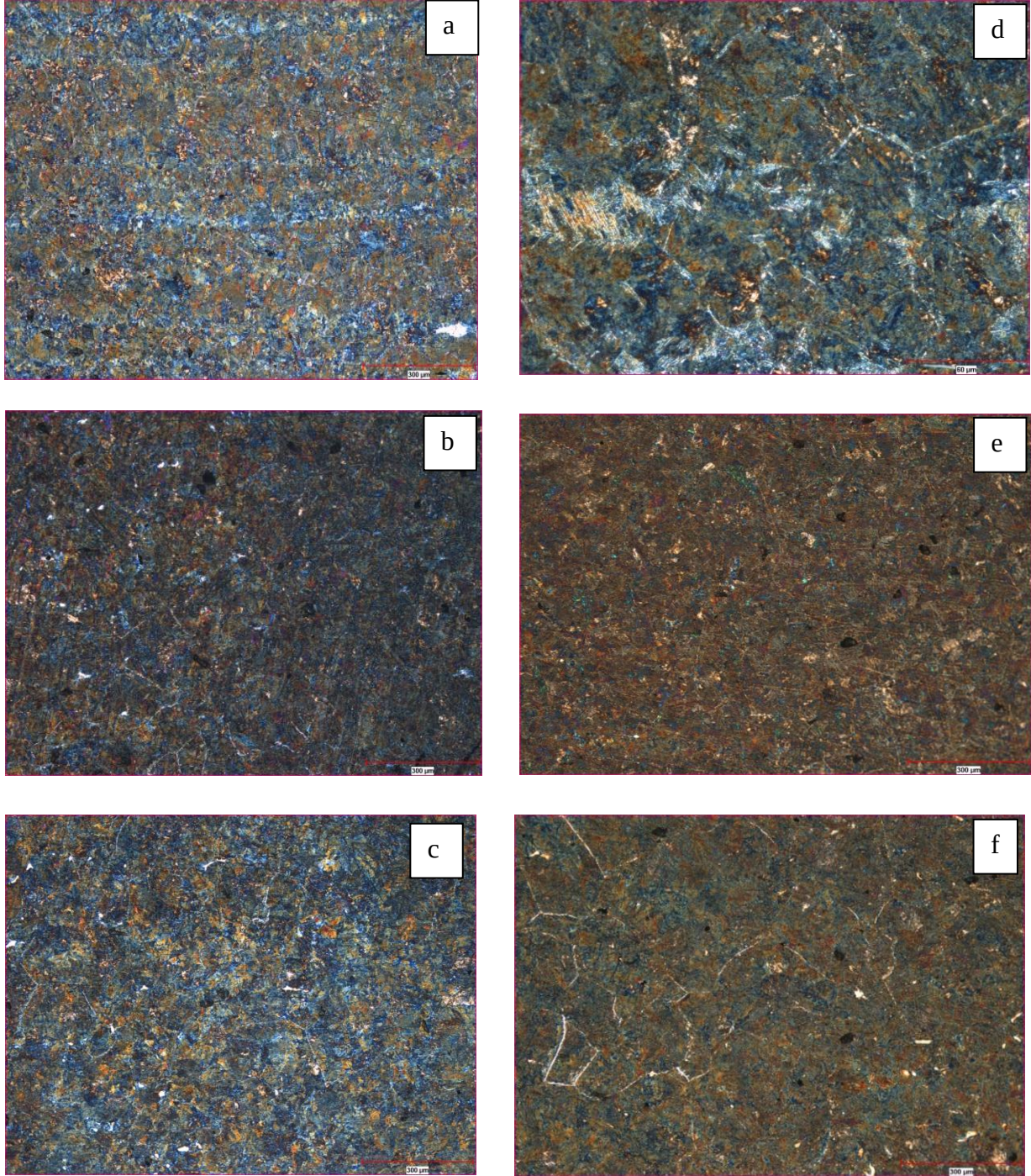
Şekil 6.5. 42 – 48 dereceler arasındaki Fe-C XRD analizi [44]

Şekil 6.5'ta görüldüğü üzere 40-50 dereceler arasında genişletilmiş XRD görüntüsünde sementit fazının 43-46 dereceler arasında bulunduğu gözlemlenmiştir. Perlitik numunenin XRD analizinde de bu dereceler arasındaki şiddetlerin varlığı ve beynitik numunede ise bu şiddetlerin azalmış olduğu sementit miktarının azaldığını göstermektedir.

6.4. Kaynaklı Numunelere Ait Mikroyapı İncelemeleri

Beynit yapısı elde edilen numuneler ve normal perlitik yapılı numuneler yakma alın kaynak makinesinde uygun parametreler seçilerek kaynakları yapılmıştır. Kaynaklı numunelerin mikro yapı incelemeleri, sertlik ve çekme deneyleri yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Öncelikle beynit yapılı kaynaklı numunenin mikro yapı resimlerine bakıldı. Bu resimlerde kaynak bölgesinde perlitik yapı, kaynak merkezinden uzaklaştıkça dönüşüme uğramayan beynit yapıları ile birlikte ferritik perlitik bir yapı gözlemlenmiştir.

Resim 6.3'de perlit ve beynit yapılı kaynak numunelerinin ana metal, ITAB ve Kaynak merkezinin mikro yapı resimleri verilmiştir.

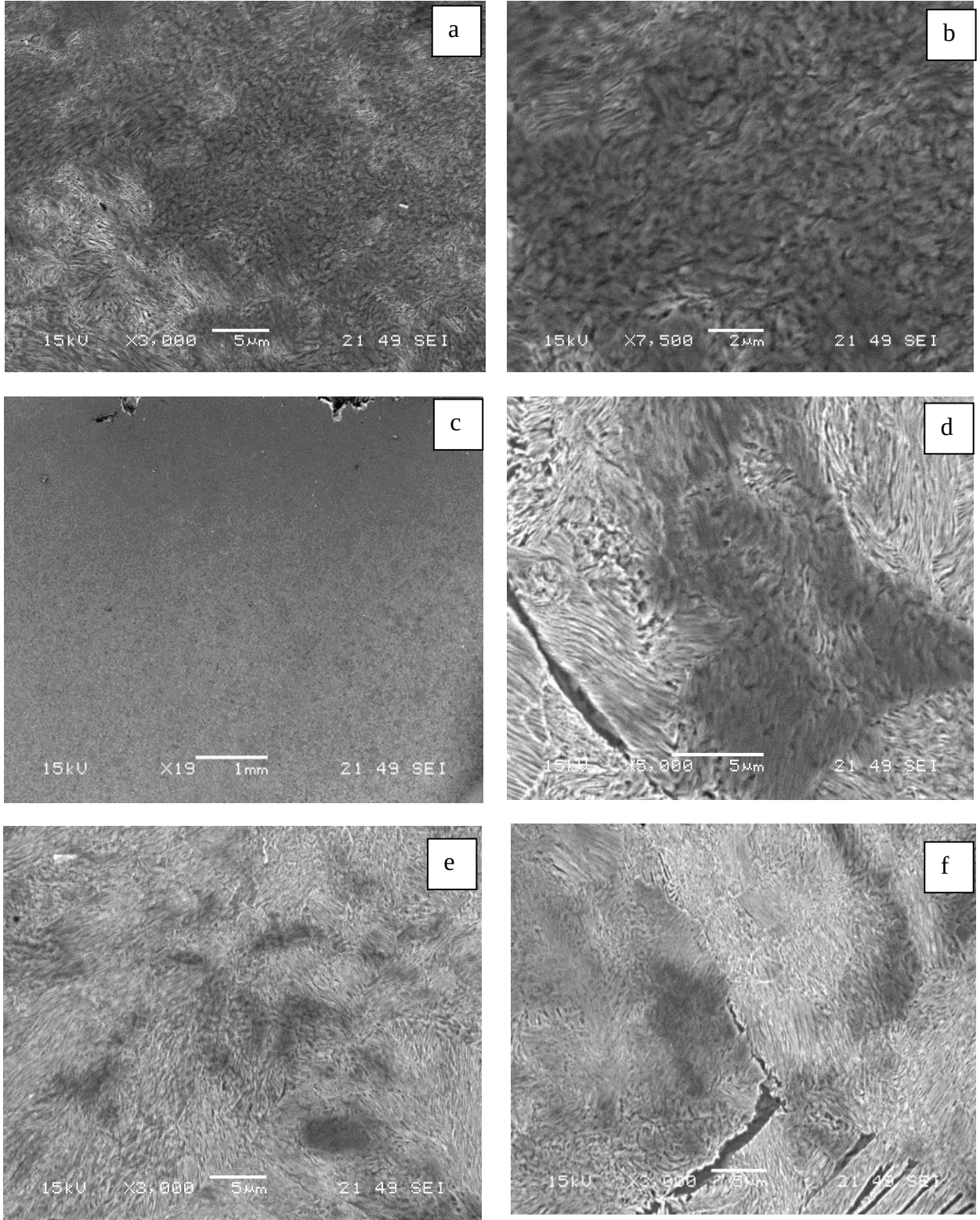


Resim 6.3. Perlit ve beynitik kaynaklı numuneye ait mikroyapı görünümleri (x500) (a) Perlitik ana metal, (b) Perlitik ITAB, (c) Perlitik kaynak ara yüzeyi (d) beynitik ana metal, (e) Beynitik ITAB, (f) Beynitik kaynak ara yüzeyi

Perlit yapılı kaynaklı numunelerin ITAB bölgesinde perlit tanelerinin büyümeye başladığı gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesine yaklaşıldıkça ferrit fazının tane sınırlarında oluştuğu gözlemlenmiştir. Kaynak ara yüzeyi incelendiğinde tanelerin büyüdüğü ve ferrit fazı gözlemlenmiştir.

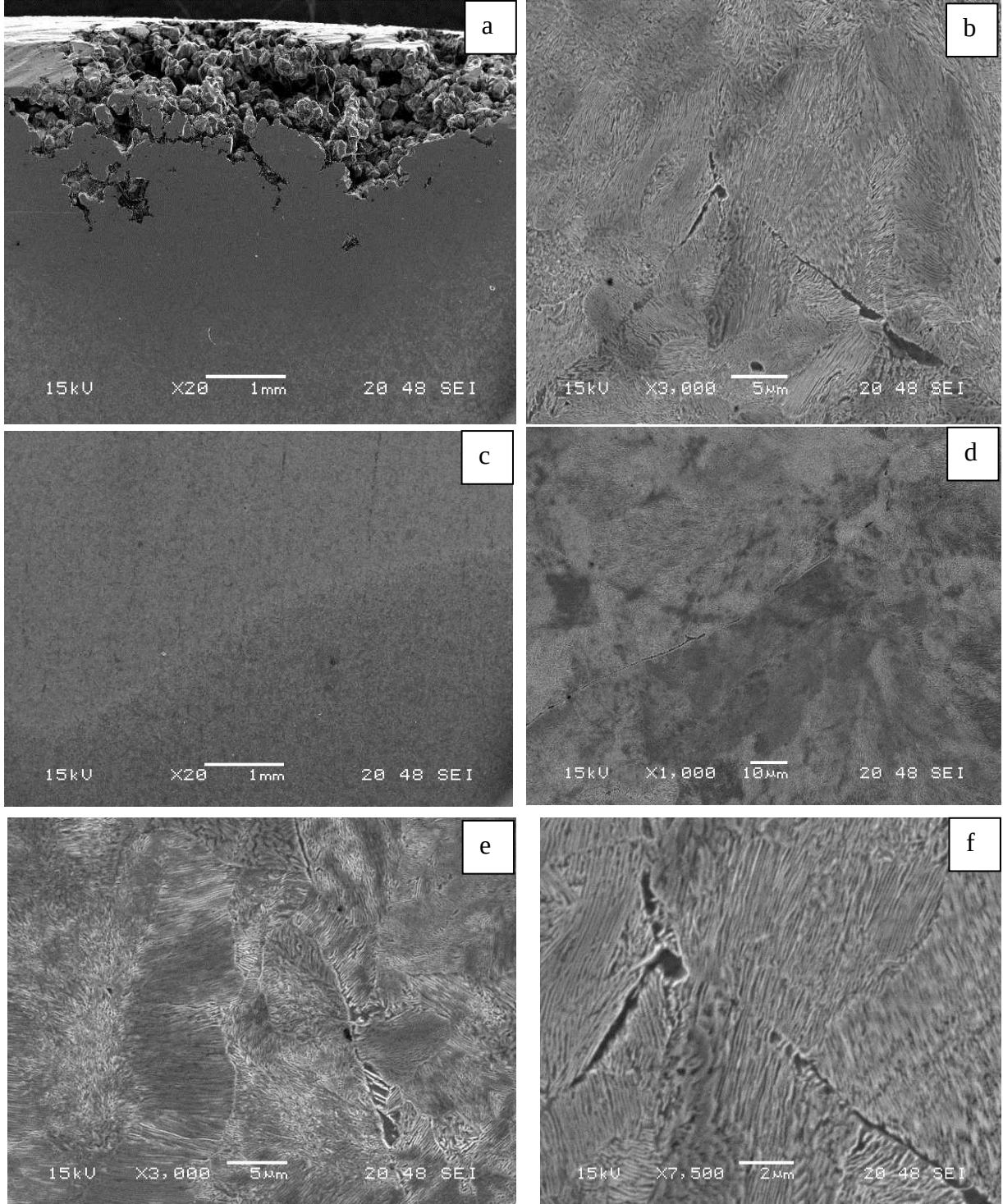
Beynitik kaynaklı numunede kaynak ara yüzeyinde tane sınırlarında oluşmuş ferrit fazının bulunduğu belirlenmiştir. ITAB bölgesinde perlitik yapı gözlemlenmiş ve ana metale yaklaşıldıkça dönüşüme uğramayan beynit yapısının bulunduğu belirlenmiştir. Optik mikroskop ile mikro yapılar incelendikten sonra her iki iç yapıya sahip kaynaklı numunelere ait SEM incelemesi gerçekleştirilmiştir.

Optik resimlerin incelenmesinden sonra numunelerin yine ana metal, kaynak merkezi ve ITAB bölgelerinden SEM görüntüleri alınmıştır. Resim 6.4'te verilen bu resimlerde beynitik numunenin kaynak sonrasında ana metalde kendi iç yapısını koruduğu gözlemlenmiştir. Kaynak merkezinde ince perlitik bir yapının olduğu ve ITAB bölgesinde ise kaynak sıcaklığının östenitleme sıcaklığı üzerine çıktığı bölgelerin dönüşüme uğrayıp beynitik alanların yanında perlitik bölgelerin varlığı gözlemlenmiştir. Perlitik numunenin kaynak sonrası yapılan SEM incelemesinde ise yapının beklenildiği üzere perlitik bir yapıda olduğu gözlemlenmiştir. Kaynak sonrası soğuma hızına bağlı olarak perlit kolonilerinin dizilimleri daha sıkı bir hale geldiği yorumlanmıştır.



Resim 6.4. Beynitik kaynak numunesine ait SEM görünümleri (a,b) Ana metal, (c,d) ITAB , (e,f) Kaynak ara yüzeyi

R260 ray çeliğine ait SEM görüntüleri ise Resim 6.5'te verilmiştir. Bu birleşmede beklenen perlitik yapı yapılan incelemede gözlemlenmiştir.

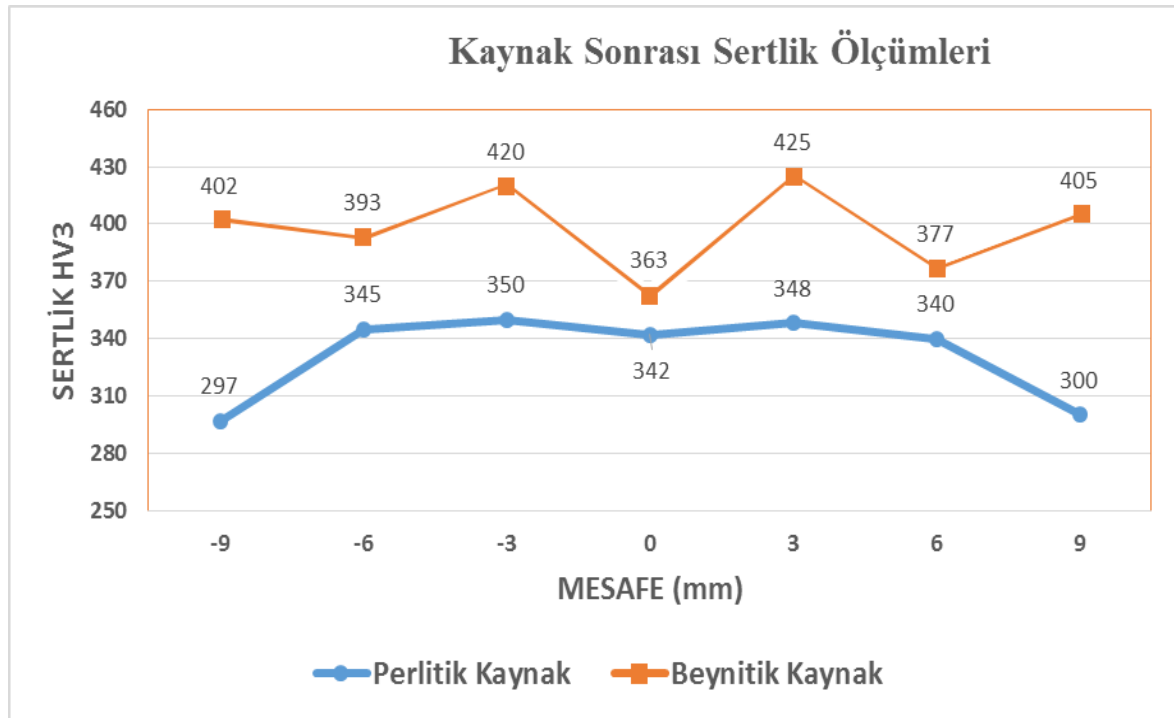


Resim 6.5. R260 ray çeliği kaynak numunesine ait SEM görüntüleri (a) Kaynak birleşme yüzeyi, (b) Ana metal, (c,d) ITAB, (e,f) Kaynak ara yüzeyi

Perlitik yapılı çeliğe ait SEM incelemesinde perlit kolonilerinin kaynak ısısından dolayı daha sıkı dizilişli oldukları belirlenmiştir. Resimlerde görülen koyu alanların bakış yönüne dik olarak konumlanmış perlit tabakaları olarak yorumlanmıştır.

6.5. Kaynaklı Numunelere Ait Sertlik İncelemeleri

Kaynakları yapılan her iki yapıya ait numunenin sertlik taraması yapılmıştır ve sertlik değerleri Şekil 6.6'da verilmiştir. Sertlik taraması numunenin merkezinden başlanıp numune kenarlarında doğru 3mm mesafelerde ölçümler alınmıştır.



Şekil 6.6. Perlitik ve beynitik numunelerin kaynak sonrası sertlik tarama değerleri

Çizelge 6.1. Kaynak öncesi ve sonrasında R260 ray çeliği ve beynit yapılı çeliğin sertlik değerleri

Numune	R260 Ray çeliği	Isıl işlem sonucu elde edilen beynitli ray çelik	Kaynak edilmiş beynitli çelik	Kaynak edilmiş R260 ray çeliği
HV3	310	485	402	297
	300	474	393	345
	295	465	420	350
	290	460	363	342
	303	470	425	348
	310	483	377	340
	314	490	405	300
Ortalama	303	475	397	331

Her iki kaynak sertlik incelemesinde ITAB bölgesinden soğuma hızından dolayı bir artış gözlemlenmiştir. Beynit yapısının merkezden uzaklaştıkça dönüşüme daha az uğraması sertliğin bu bölgelerde daha yüksek olmasına neden olmuştur. Beynit yapılı kaynaklı numunesindeki sertlik farklılıkları bu bölgelerde dönüşüme uğramış olan bölgelerin var olması şeklinde yorumlanmıştır. Normal ray çeliğine göre sertlikteki bu değişimin dönüşüme uğramış olan bölgelerin R260'a göre daha fazla olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Çizelge 6.1 incelendiğinde beynitik numunenin sertlik değerinin kaynak edilen beynitik numune sertliğine göre yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak, kaynak sırasında meydana gelen ısının daha önce SEM analizi ile de tespit edilmiş olan beynit yapısından yer yer perlit dönüşen bölgelerin sertlikle düşüşe neden olduğu tespit edilmiştir.

Perlitik malzemenin kaynağının sertliği, ana malzeme ile kıyaslandığında arttığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni kaynak ısısından dolayı meydana gelen soğuma olarak tespit edilmiştir. Burada sertlik farkının nedeni beynitik kaynaktan farklı olarak faz dönüşümü değil perlit plakalarının dizilimidir.

Beynitik yapı ile perlitli yapı karşılaştırıldığında sertlikte önemli bir artış gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra beynitik yapıdaki sertlik değişimi perlitli numuneye göre daha fazladır. Gerek beynit yapısının sertliği gerekse dönüşüme uğrayan beynit yapısının sıkı dizilimli bir perlit fazına dönüşmesi sertlik artışına neden olmaktadır.

6.6. Kaynaklı Numunelere Ait Çekme Deneyi ve Kırık Yüzeylerin İncelenmesi

Kaynak edilmiş iki farklı yapıdaki numunelerin çekme deneyleri yapılmıştır. Çekme numuneleri, numunelerin tam merkezinde kaynak bölgesi olacak şekilde hazırlanmıştır.

Çizelge 6.2. Kaynaklı numunelerin çekme deneyi sonuçları

Numune	Akma gerilmesi (MPa)	Çekme gerilmesi (MPa)	% Uzama
R260	581	1056	40
Beynit	634	1100	32



a) Beynit



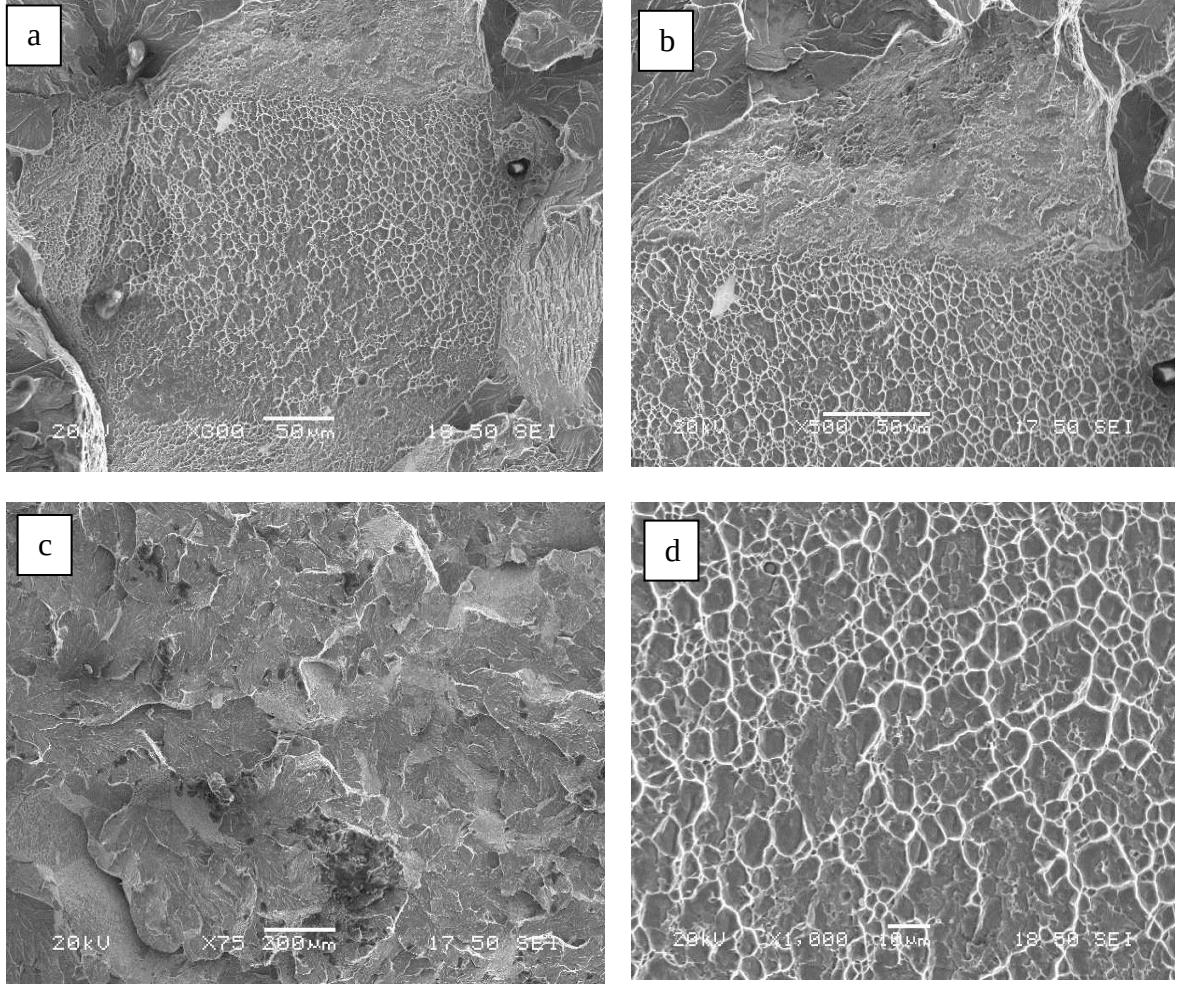
b) R260

Resim 6.6. Beynitik ve R260 çeliğine ait çekme numuneleri

Beynitik numunenin R260 ray çeliğine göre çekme değerlerindeki artış ITAB ve kaynak bölgesinde dönüşüme uğramayan beynit yapısından kaynaklandığı ve sertliğinde buna etki ettiği öngörülmüştür. Akma değerindeki artış yorulma dayanımına ve tokluğu artıracı bir etki yapacağı yönünde yorumlanmıştır. Sertlik ve dayanımdaki bu artış beynit yapılı çeliğin daha yüksek mekanik dayanım sağlayacağı ön görülmüştür. Bunun yanı sıra süneklik değeri sertliğe bağlı olarak R260 çeliğine göre azalmıştır.

6.6.1. Perlitik numunenin kırık yüzey morfolojisi

Resim 6.7’de çekme deneyi sonrası perlitik numunenin kopma yüzeyi farklı büyütme oranlarında gösterilmiştir.

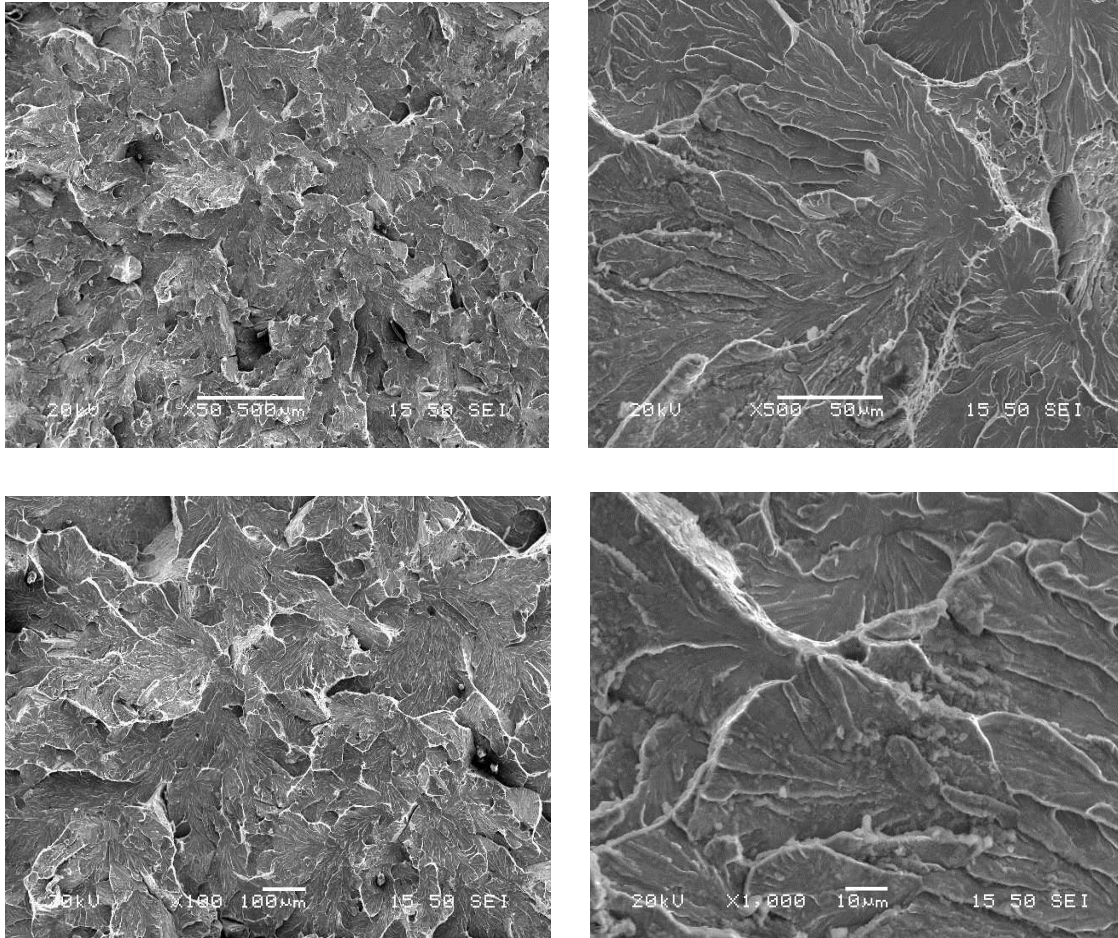


Resim 6.7. Perlitik yapıya ait kopma numunesi kırık yüzeyi SEM görünümüleri

Perlitik iç yapıya ait ray çeliğinin kaynak sonrasında yapılan çekme testi sonucunda kırık yüzeylerin SEM analizleri yapılmıştır. Bu analiz sonucunda perlitik yapıya ait görüntüler incelendiğinde tane içi klevaj kırılma tipi görülmektedir (c). Bunun yanında kırık yüzeyde sünek kırılma bölgeleri de görülmektedir (d). Perlit kolonileri arasındaki mesafenin daha fazla olması nedeni ile ferrit fazının plastik deformasyona neden olduğu ve bu bölgelerde oyukların meydana geldiği gözlemlenmiştir (a, b). Bu yapıların da sünek kırılma bölgeleri oluşturduğu değerlendirilmiştir. Uzama miktarında ki artışa bu bölgelerin neden olduğu değerlendirilmiştir.

Yüzeydeki merdiven görünümlü morfoloji (c), perlitik yapının varlığını göstermektedir [45]. Aynı zamanda inklüzyonların varlığı da görülmektedir. Bu tür tamamen perlitik olan çeliklerde kırılma, ferrit ve sementitin farklı lamelleri aracılığı ile perlit kolonilerinin içerisinde başlar [45].

6.6.2. Beynitik numunenin kırık yüzey morfolojisi



Resim 6.8. Beynitik yapıya ait kopma numunesi kırık yüzeyi SEM görüntüleri

Beynitik yapıya ait numunenin kaynak sonrası çekme testi sonucunda oluşan kırılma yüzeyleri incelendiğinde gevrek kırılma tipi olan klevaj kırılma tipi görülmektedir. Sementit katmanları stres konsantrasyonunun artmasına neden olmuş ve kırılmanın başlamasına neden olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda kaynak sonrasında mikroyapılarda gözlemlenen kaynak bölgesi ve HAZ bölgesindeki farklı fazların mevcudiyetinden dolayı stres konsantrasyonun artırdığı ve taneler arası kırılmaya neden olduğu düşünülmektedir.

Kırılmaya maruz kalan her bir yüzeyin perlit içerisindeki ferritin kristalografik yönelimi ile bağlantılıdır [45]. Isıl işlem ve kaynak işlemi sırasında östenitleme süresi ve sıcaklığı da kırılma mekanizmasını etkilemektedir. Östenit taneleri başlangıçta ne kadar büyük olur ise aynı kristal yönelimlere sahip ferrit içeren perlit kolonilerinin oluşması bir o kadar fazla olur. Bu nedenle klevaj kırılması düşük açılı tane sınırıyla komşu koloniler boyunca yayılmak suretiyle büyük yüzeyler üretmektedir [45]. Perlitik yapının mekanik dayanımı mikroyapı özellikleri ile özellikle lameller arası boşluk miktarı ve koloni boyutları ile ilgilidir. Genellikle lameller arasındaki boşluk, dayanımı etkileyen önemli bir faktördür [46]. Isıl işlem görmüş numunenin kaynak sonrasında perlitik numuneye göre dayanımının artması kaynak sonrası oluşan perlitik yapının daha sıkı dizilimli olmasından kaynaklandığı öngörüldü.

Klevaj kırılma mekanizmasında komşu olan koloniler benzer ferrit yönelimlere sahip olduğu düşünülmektedir. Böylece çatlak daha kolay ilerlemektedir [46]. Beynitik numunenin kaynak işleminden sonra gevrek yapıda kırılmasının bir nedeninin benzer ferrit yönelimlerine sahip komşu koloniler olması şeklinde değerlendirildi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

- R 260 ray çeliği numunelerine uygulanan östemperleme ısı işlem sonucunda beynitik yapının oluştuğu gözlemlenmiştir. Oluşan beynit yapısının alt beynite yakın olduğu belirlenmiştir.
- Beynitik numunelerin yakma alın kaynağı sonucunda elde edilen numunelerinde kaynak bölgesi incelendiğinde, kaynak ara yüzeyindeki bölgelerde beynitik yapının yerine ince lamelli perlitik yapıların varlığı da görülmektedir.
- Aynı zamanda yapıda hala birincil ferrit fazlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Bunun muhtemel nedeni kaynak sırasında sıcaklığın yüksek östenitleme sıcaklıklarına çıkılması ve bu sıcaklıktan havada soğuma şartları sonucunda östenitin perlite dönüşümü şeklinde sonuçlanmıştır.
- Beynitik kaynaklı numunenin kaynak merkezinden 1-2 mm mesafede bulunan ITAB bölgesinde beynit yapısının yanında perlitik fazında bulunduğu görülmektedir. Bu durum soğuma hızına bağlı olarak dönüşüme uğrayan bölgelerin varlığı olarak yorumlanmıştır.
- Isıdan etkilenmeyen ana metalde, ısı işlem ile elden edilen orijinal beynitik yapının korunduğu ve görünüm itibari ile üst beynite yakın bir mikro yapı elde edildiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda ferritlerin zincir şeklinde beynit kolonilerini kestiği gözlemlenmektedir.
- R 260 ray çeliğinin yakma alın kaynağı sonucunda kaynak metalinde yoğun ve sıkı diziliimli ince perlit kolonileri görülmektedir. Yer yer lamelli olmayan ve üst beynite benzeyen bölgeler görülsede bu bölgelerin bakış yönüne dik olarak konumlanmış perlit lamelleri olduğu görülmektedir. Bu bölgede az da olsa primer ferritlerin varlığı görülmektedir.
- ITAB bölgesinde yoğun miktarda ince perlit ve yer yer birincil ferrit fazlarının varlığı gözlemlenmektedir. Ana metalde ise beklenildiği gibi birincil ferrit tane sınırlarında, kaba perlit koloni boyutunun ve ince lamelli perlitik mikroyapının oluştuğu açıkça görülmektedir.
- Perlitik kaynaklı numunede yapıda perlitik mikroyapının korunduğu gözlemlenmiştir.
- Rayların yakma alın kaynağı standartında çekme testi deneyi bulunmamasına rağmen ana malzemeye göre yaklaşım ölçülmüştür. Kaynak merkezinden ayrılan numunelerin

perlitik dokudan ayrıldığı görülmüştür. Beynitli yapının çekme mukavemeti değerindeki artışın ITAB bölgesindeki beynit yapısının varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

- XRD analizleri sonrasında perlitik yapıda bulunan sementit fazının ısıtılma sonrasında elde edilen beynitik yapıda bulunmadığı görülmüştür. Bu dönüşüm gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır.
- Çekme deneyi sonrasında kırık yüzeyleri incelenen her iki yapının da gevrek kırılma gösterdiği perlitik numunede yer yer sünek alanların bulunduğu gözlemlendi. Beynitik numunenin kaynak sonrasında çekme testi sonrası kırık yüzey incelemesinde klevaj kırılması gözlemlendi.

7.2. Öneriler

- Demiryollarına beynitik yapıya rayların kullanılması mekanik dayanım açısından mevcut raylara göre avantaj sağlayabilir. Özellikle yorulma dayancısı noktasında demiryolu hatlarının kurp (viraj) ve makas kısımlarında kullanılabilir.
- Kaynak sırasında iç yapıdaki değişimin kontrollü olarak meydana getirilmesi önemlidir. Aynı bölgede farklı mikro yapılar, yorulma dayanımına olumsuz etkide bulunabilir. Bu nedenle kaynak bölgesindeki değişimler, soğuma hızları ve kaynak parametreleri irdelenmelidir.
- Beynitik iç yapıya raylar dünyada araştırma konusu olmuş ve deneme hatlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada R260 ray çeliğinden ısıtılma ile beynit yapısı elde edilebileceği ispatlanmıştır. Bu iç yapıya sahip çeliğin yakma alın kaynağı ile kaynatılması sonucunda kaynak merkezinde beynit yapısının perlit yapısına dönüşüme uğramasından dolayı kaynak parametrelerin, ısıtma-soğutma işleminin kontrollü bir şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir.
- Yorulma dayanımının beynit yapısı elde edilince artacağı her ne kadar düşünülse de kaynak sonrasındaki dönüşümler kontrollü bir şekilde yapılmalıdır. Farklı fazların kaynak bölgesinde bir arada bulunması yorulma ömrüne ne gibi etkiler yapacağı araştırılmalıdır.
- Sertlik ve dayanım değerindeki artışa bağlı olarak beynitli rayın kullanımı hat bakım sürelerini uzatacaktır ancak ray-teker ilişkisi mutlaka özellikle aşınma yönünden incelenmelidir.

KAYNAKLAR

1. Tekin, E., Başkonuş M. (2012). *Yüksek Hızlı Tren Olgusu, Mantarı Sertleştirilmiş ve Beynitli Ray Çelikleri*, Atılım Üniversitesi, Uluslar Arası Demir Çelik Sempozyumu, Karabük Bildiri Kitabı, 234-238.
2. Behadeshia, H.K.D.H. (1992). *Bainite In Steels*, England. University of Cambridge, 382-385.
3. Pacyna, J. (Mayıs 2008). Microstructure and properties of new bainitic rails. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* , 18-19.
4. Tülbentçi, K., Yılmaz, M. (1990). *Yakma Alın Kaynağı. Kaynak Dünyası*, İstanbul: Birsan Basımevi, 14-25.
5. Anık, S. (1983). *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar*, İstanbul: Birsan Basımevi, 40-50.
6. Kудay, N. (1997). *Rayların Yakma Alın Kaynağı İle Kaynaklanabilirliğinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-50.
7. Anık, S. (1983). *100 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı*, İstanbul: Birsan Basımevi, 7-34.
8. Eryürek, B. (1982). Elektrik Direnç Kaynağı. *Mühendis ve Makine*, 24, 22-28.
9. Gültekin, N. (1985). *Kaynak Tekniği*, İstanbul: Y.Ü Yayınevi, 12-27, 36-37.
10. Aslanlar, S. (1999). *Galvanizli Kromathlı Mikro Alaşımlı Çeliklerin Elektrik Direnç Nokta Kaynağında Uygun Hasar Modunun Tespiti*, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-80.
11. Anık, S., Anık, E.Sabri., Vural, M. (1993). *1000 Soruda Kaynak Teknolojisi El Kitabı. 1, Kaynak Yöntemleri ve Donanımları*, İstanbul: Birsan Yayınevi, 186-195.
12. Vural, M. (1992). *Galvanizli Çelik Saçların Karbonlu ve Ferritik Paslanmaz Çelikler ile Nokta Kaynağında Kaynak Parametrelerinin Kaynak Davranışına ve Bağlantının Dayanımına Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-45.
13. Anık, S. (1991). *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar*, İstanbul: Gedik Holding Yayını, 124-131.
14. MEGEP, (2006). *Motorlu Araçlar Teknolojisi Direnç Kaynağı ve Lehimleme*, Ankara: MEB Yayınları, 5, 17-19.
15. Arabacı, U. (2003). *16MnCr5 Çeliğine Yakma Alın Kaynak Uygulaması ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 5-90.

16. Gülenç, B. (2000). *Elektrik Direnç Kaynağı Ders Notları*, Ankara: Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, 3-8.
17. İnternet: Flush Welding Process, URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ftechatmech.blogspot.com.tr%2F2015%2F03%2Fflash-welding-process-flash-butt.html.&date=2017-02-11>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.
18. Turan, Ş. (2015, Kasım). *Rayların Yakma Alın Kaynak Yöntemi ile Kaynatılması*. Kaynak Teknolojisi Ulusal Kongre ve Sergisinde sunuldu, Ankara.
19. İnternet: Basınç Kaynağı ve Uygulama Alanları. URL:
http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Feroltunaasar.6te.net%2Fbasinc_kaynagi_uygulama_alanlari.pdf&date=2017-02-15, Son Erişim Tarihi: 15.02.2015
20. Tülbentçi, K., Yılmaz, M. (1990). *Yakma Alın Kaynağı, Kaynak Dünyası*, İstanbul: Birsen Basımevi, 14-25.
21. Anık, S. (1983). *Kaynak Tekniği El Kitabı, Yöntemler ve Donanımlar, Cilt 1*, İstanbul: Birsen Basımevi, 40-50.
22. Çetinkaya, C., Arabacı, U. (2004). Yakma Alın Kaynağı ile Birleştirilen 16MnCr5 Zincir Çeliğinde Yığılma Akım Zamanı ve Tam Tavlama Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, *Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19(4), 455-465.
23. Şimşek, E.T. (2015). *Farklı Malzemelerin Yakma Alın Kaynağı İle Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Sivas, 10-25.
24. Kuchuk, S. (1990). *Experince of flash-butt welding application in pipeline construction in the USSR*, Proceeding of pipeline technology Conference, Östend, Belgium, 37-39.
25. Trompler, R. J. (1996). Flash butt welding of crane rail, *Iron And Steel Engineer*, 73 (10), 42-44.
26. Thomas, K. Michailov, V. Wohlfahrt, H. (2000). Toughness Investigations On Narrow Process- Affected Zones Of Resistance- Butt, *Welding and Cutting*, 52, 254-262.
27. İnternet: Preparation Required For Butt Welding. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.kuzeyboru.com.tr%2Fhdpe-pipe-connection-methods.&date=2017-02-11>, Son Erişim Tarihi: 11.01.2017.
28. TS EN 14587-1. (2014). *Demiryolu uygulamaları-Yol-Rayların yakma alın kaynağı - Bölüm 1: Sabit bir tesiste yeni R220, R260, R260Mn ve R350HT sınıf raylar*, TSE Standartı.
29. İnternet: TCDD İstatistik Yıllığı 2010 - 2014, S:21. URL:
<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.tcdd.gov.tr%2Ffiles%2Ffistatistik%2F20102014yillik.pdf&date=2017-02-11>, Son Erişim Tarihi: 11.02.2017.

30. Smith W.F. (2000). *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*, (Çev. Erdoğan, M.), Ankara: Nobel Yayınevi.
31. Caballero, F.G., Bhadeshia, H.K.D.H., Mawella, K.J.A., Jones, D.G., Brown, P. (2002). Very Strong Low Temperature Bainite, *Materials Science and Technology*, 18(3), 279-284.
32. Krauss, G. (2005). *Steels: Processing, Structure and Performance 2nd edition*, USA: ASM International, 99-101.
33. Bhadeshia, H.K.D.H., Honeycombe, R. (2006). *Steels: Microstructure and Properties 3rd edition*, USA: Metallurgy and Materials Science.
34. Bhadeshia, H.K.D.H. (1992). *Bainite in Steels*, UK: Institute of Metals.
35. Callister, W.D., Rethwisch, D.G. (2007). *Materials Science and Engineering: An Introduction*, USA:Wiley, 5-10.
36. Davis, J. R., Mills, K. M., Lampman, S. R. (1990). *Metals Handbook. vol. 1. Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. USA: ASM International.
37. Pacyna, J. (2008). The microstructure and properties of the new bainitic rail steels, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 18(1) 30-59.
38. Hlavatý, I., Sigmund. M., Krejčí, L., Mohyla, P. (2009). The Bainitic Steels For Rails Application. *Materials Engineering*, 16 (4), 45-50.
39. Sawley, K., Kristan, K. (2003). *Development of bainitic rail steels with potential resistance of rolling contact fatigue*, National Research Council, Center for Surface Transportation, Ottawa, Ontario, Canada.
40. Koymatçık, H. (2012). *R260 Kalite Rayların Optimum Mantar Sertleştirme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 37.
41. Zhang, H.W., Ohsaki, S., Mitao, S., Ohnuma, M., Hono. K. (2006). Microstructural investigation of white etching layer on pearlite steel rail, *Materials Science and Engineering*, A 421, 191–199.
42. Mahnken, R., Schneidt, A., Tschumak, S., Maier., H.J. (2011). *On the simulation of austenite to bainite phase transformation*, *Computational Materials Science*, 50(6), 1823-1829.
43. Kılıçlı, V., Murathan, F. (2016). Nano Beynitik Çelikler, *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, 19 (2), 115-128.
44. Fillon, A., Sauvage, X., Lawrence, B., Sinclair, C., Perez, M., Weck, A., Cantergiani, A., Epicierc, T., Scotte P. (2014). On the direct nucleation and growth of ferrite and cementite without austenite, *Scripta Materialia*, 95, 35-38.

45. Maya-Johnson, S., Ramirez, A.J., Toro, A. (2015). Fatigue crack growth rate of two pearlitic rail steels, *Engineering Fracture Mechanics*, 138, 63-72.
46. Shitong, Z., Zuo, Y., Li, Z., Wang, X., Yong, O. (2016). Microstructural analysis on cleavage fracture in pearlitic steel, *Metarials Characterization*, 119, 110-113.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : TURAN Şafhak
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 11.06.1984, Erzurum
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (312) 211 24 40
Faks : 0 (312) 211 24 41
e-mail : safakturan@outlook.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi/Metalurji ve Malzeme Mühendisliği	2008
Lise	Karamürsel Anadolu Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010-Halen	TCDD	Kaynak Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Yüzme, Gitar, Satranç



GAZİ GELECEKTİR..