

Farklı Sıcaklıklarda Yakma Alın Kaynak Yöntemi ile
Kaynaklanmış Rayların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Umut Biçer

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat 2015

Mechanical Properties Comparison Of Jointed Rails Welded At Different Temperatures
By Flash Butt Welding Process

Umut Biçer

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Metallurgical Engineering

February 2015

Farklı Sıcaklıklarda Yakma Alın Kaynak Yöntemi ile
Kaynaklanmış Rayların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Umut Biçer

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Remzi Gürler

Şubat 2015

ONAY

Metalurji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Umut BİÇER'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Farklı Sıcaklıklarda Yakma Alın Kaynak Yöntemi ile Kaynaklanmış Rayların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Remzi GÜRLER

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Remzi GÜRLER

Üye : Doç. Dr. Hakan GAŞAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nedret AYDINBEYLİ

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇELİKYÜREK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Neşe ÖZTÜRK KÖRPE

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Remzi GÜRLER danışmanlığında hazırlamış olduğum “Farklı Sıcaklıklarda Yakma Alın Kaynak Yöntemi ile Kaynaklanmış Rayların Mekanik Özelliklerinin Karşılaştırılması” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 03/03/2015

Umut BİÇER

İmza

ÖZET

Demiryolu ray kaynağı, demiryolu raylarının bakım ve üretim süreçlerinde sıklıkla kullanılan bir kaynak yöntemidir. Yakma alın kaynak yöntemi ile kaynaklanmış raylar, tren işletmeciliğinden gelen yüklere karşı dayanıklı olmalı ve bu yüklerin altyapıya iletilmesinde gerekli performansı göstermelidir. Bundan dolayı, diğer ray kaynak yöntemlerinde olduğu gibi yakma alın kaynak yönteminde de ilgili standartlar ve talimatnameler uyarınca kaynağın uygulanmış olması çok önemlidir.

Yakma alın kaynak yönteminin uygulanması sırasında kaynak yapacak personel tarafından takip edilen ve farklı ülkelerdeki farklı koşullara bağlı olarak değişen bazı kurallar (sıcaklık koşulları, kaynak makinesinin durumu, kaynakçının kabiliyeti vb.) vardır. Türkiye’de ve diğer ülkelerin çoğunda tüm ray kaynak yöntemleri için eğer ray sıcaklığı $(-3)^{\circ}\text{C}$ ’nin altında ise kaynak yapılmasına izin verilmemekte, $(45)^{\circ}\text{C}$ ’nin üstünde ise kaynaklı rayların bağlantı elemanları ile yola sabitlenmemesi gerekmektedir. Ray kaynak işleminin yapıldığı yere bağlı olarak değişen nötr ray sıcaklık aralığında kaynakların uygulanmasına önem verilmelidir.

Bu çalışmada; $(-5)^{\circ}\text{C}$, $(51)^{\circ}\text{C}$ ve nötr ray sıcaklık aralığı (21°C ile 27°C) içerisinde (22°C) ’de kaynaklanmış rayların mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmıştır. Araştırmada, EN 13674-1’de adı geçen 60 E1 rayları kaynaklanmış ve her kaynaklanmış ray grubuna EN 14587-2 standardı uyarınca görsel muayene, sertlik testi, eğme testi, makro ve mikro inceleme, manyetik parçacık ve ultrasonik muayene yöntemleri uygulanmıştır.

Yapılan araştırmalar ve çalışmaların neticesinde düşük sıcaklıklarda kaynaklanmış rayların mekanik özelliklerinin kötüleştiği ve daha kolay kırılabilirdiği sonucuna varılmıştır. Daha kırılgan raylar ise demiryolu taşımacılığını ciddi olarak tehdit etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu Ray Kaynağı, Yakma Alın Ray Kaynağı

SUMMARY

Flash butt welding is a commonly used welding method in railway construction and maintenance. The track that is constructed with flash butt welding should be resistant to the vehicle operation forces, fatigue loads and show sufficient performance against impact loads. Therefore, application of flash butt welding method as well as any other rail welding techniques becomes crucial in accordance with related regulations.

In this welding technique, like other techniques, there are several rules (temperature conditions, welding machine conditions, welder skill etc.) which vary depending on different conditions in different countries and have to be followed by the staff in charge. For all welding techniques for tracks, the welding application cannot be applied under -3°C degree and above 45°C degree the welder should not fix the fasteners on the track and be more careful about the duration of de-stressing of rails in Turkey. And obviously, there is a specific temperature called as "rail neutral temperature" which changes by location of an application.

This paper studied the mechanical properties of rails welded at three different temperatures which are -5°C , 51°C and 22°C within the neutral operating temperature range (21°C to 27°C). 60E1 rails have been chosen for this study as specified in EN 13674-1 and welded rails in different temperatures were tested (visual inspection, hardness test, bending test, macro and micro examination, magnetic particle and ultrasonic inspection) according to EN 14587-2.

The analysis results showed that at a low temperature the mechanical properties (particularly bend test results) of welded rail joints get worse and brittle failures take place more easily. This threatens the railway transportation seriously. It is necessary to understand the mechanical properties of flash butt welded rail steels under service at low temperature conditions because the railway constructions carried on at low temperatures gradually increase.

Keywords: Rail Welding, Welding of Rails by Flash Butt Welding Method

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışmanım Prof. Dr. Remzi GÜRLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca sevgili eşime ve aileme maddi, manevi hiçbir yardımı esirgemedi yanımdaydıkları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxii
 BÖLÜM 1	 1
1.1. Demiryollarının Tarihçesi ve Gelişimi.....	1
1.2. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (T.C.D.D.)	3
1.2.1. TCDD’nin tarihçesi ve gelişimi.....	3
1.2.2. TCDD’nin mevcut durumu.....	5
 BÖLÜM 2	 6
2.1. Demiryolu Nedir?.....	6
2.2. Üstyapı	7
2.2.1. Raylar	8
2.2.2. Traversler.....	10
2.2.3. Balast	11
2.2.4. Bağlantı Elemanları	12
2.3 Altyapı.....	13
 BÖLÜM 3	 15
3.1. Rayın Tanımı ve Tarihi	15

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.2. Ray Üretim Prosesi	16
3.2.1. Yüksek fırın	18
3.2.2. Çelik imalatı	19
3.2.3. Vakumla gaz giderme ve argon üfleme	21
3.2.4 Sürekli döküm	22
3.2.5. Haddeleme	24
3.2.6. Rayların doğrultulması	26
3.3. Rayın Özellikleri	27
3.3.1. Rayın metalurjik özellikleri	27
3.3.2. Rayların kimyasal bileşimi	28
3.3.3. Rayların ısıtılması.....	36
3.3.4. Rayların mekanik dayanımı.....	40
3.3.5. Beynitik raylar	47
BÖLÜM 4	53
4.1. Ray Kaynağının Tarihçesi ve Amacı	53
4.2. Uzun Kaynaklı Ray ve Sürekli Kaynaklı Ray.....	55
4.2.1. Raylarda optimum sıcaklık hesaplamaları.....	56
4.3. Raylarda Uygulanan Kaynak Yöntemleri	62
4.3.1. Yakma alın kaynağı	64
4.3.2. Alüminotermi ray kaynağı.....	76

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.3.3. Gaz basınç kaynağı.....	89
4.3.4. Metal ark kaynağı.....	94
BÖLÜM 5	96
5.1. Kullanılan Raylar	96
5.2. Kullanılan Yöntem.....	97
5.3. Farklı Sıcaklıklarda Yapılan Ray Kaynakları ve Kaynak Sonrası Uygulanan Testler.....	97
5.3.1. (-5°C)'de yapılan kaynaklar	98
5.3.2. (+22°C)'de yapılan kaynaklar	99
5.3.3. (+51°C)'de yapılan kaynaklar	99
5.3.4. (-5°C), (+22°C) ve (+51°C)'de yapılan kaynaklara uygulanan testler	99
BÖLÜM 6	107
6.1. Test Parçası / 1. Grup (-5°C)'de Yapılan Kaynaklara Uygulanan Testlerin Sonuçları	108
6.1.1. Gözle muayene	108
6.1.2. Kimyasal analiz	108
6.1.3. Makro inceleme	108
6.1.4. Mikro inceleme.....	110
6.1.5. Sertlik testi.....	114
6.1.6. Eğme testi	115

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.1.7. Manyetik parçacık ve Ultrasonik yöntem ile muayene	116
6.2. Test Parçası / 2. Grup (+22°C)'de Yapılan Kaynaklara Uygulanan Testler	118
6.2.1. Gözle muayene	118
6.2.2. Kimyasal analiz	118
6.2.3. Makro inceleme	118
6.2.4. Mikro inceleme.....	120
6.2.5. Sertlik Testi.....	124
6.2.6. Eğme testi	125
6.3. Test Parçası / 3. Grup (+51 °C)'de Yapılan Kaynaklara Uygulanan Testler	126
6.3.1. Gözle Muayene.....	126
6.3.2. Kimyasal analiz	126
6.3.3. Makro inceleme	126
6.3.4. Mikro inceleme.....	128
6.3.5. Sertlik testi.....	132
6.3.6. Eğme testi	133
6.4. Yorumlar ve Öneriler	134
KAYNAKLAR DİZİNİ	138

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Üstyapı ve Altyapı Elemanları.....	8
2.2 Ray Kısımları.....	8
2.3 Şekil bakımından ray tipleri a) Oluklu ray, b) Çift mantarlı ray, c) Tek mantarlı ray.....	10
2.4 Raya seletler ile eğim verilmesi.....	10
2.5 Contalı yollarda ray bağlantı elemanları (cebire, cebire blonu, rondela).....	12
2.6 HM tipi bağlantı ve üstyapı elemanları.....	13
3.1 Ray üretim prosesi.....	18
3.2 Yüksek fırın şematik gösterimi.....	19
3.3 Bazik oksijen fırını şematik gösterimi.....	20
3.4 Vakumla gaz giderme ve argon üfleme potası ve şematik gösterimi.....	22
3.5 Sürekli döküm prosesi.....	23
3.6-a Haddeleme prosesi.....	25
3.6-b Haddeleme prosesi.....	25
3.7 Perlitik yapı.....	27
3.8 Lameller arası mesafe ile akma dayanımı arasındaki ilişkinin grafiği.....	28
3.9 Mantarı sertleştirilmiş raylar ve doğal olarak sert rayların germe-gerilme çizelgesi.....	38
3.10 Mantarı sertleştirilmiş rayın mantar kısmı sertlik dağılımı.....	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.11 300 m test kavisinde çeşitli ray çeliklerine ait aşınma oranlarının karşılaştırılması.....	41
3.12 200 HB sertliğinde raylarla karşılaştırıldığında yüksek kaliteli rayların aşınmaya karşı artan direnç değerleri.....	42
3.13 Farklı sertlikteki raylar üzerinde çatlakların derinliği.....	43
3.14 Farklı sertlikteki rayların raydaki yüzey ve yükseklik aşınması.....	43
3.15 Sürekli Soğuma Dönüşüm Diyagramı.....	48
3.16 Beynitik ve Perlitik Ray Çeliklerindeki Mikroyapı, Mekanik Özellikleri ve Yorulma İlişkileri.....	50
3.17 Temas yorulma çatlakları (RCF).....	51
4.1 Cebireli Ray Bağlantısına Bir Örnek.....	53
4.2 UKR Yollarda Isı Değişimlerinin Etkilediği Bölgeler.....	55
4.3 Kaynak Koruma Tüneli.....	59
4.4 Ray kaynak işlemi için dikkate alınması gereken sıcaklık değerleri (Ankara ili için).....	60
4.5 Yakma alın kaynağı prosesinin şematik gösterimi.....	65
4.6 Düz ve küresel elektrot uçlarının kullanımı ve küresel uçlu elektrot ile yüzey oksidinin parçalanması.....	66
4.7 Fabrika Kaynağı.....	68
4.8 Mobil Yakma Alın Kaynak Makinası.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.9 Ray başlarının taşlanması.....	70
4.10 Kaynak makinasında bulunan bakır elektrotlar.....	71
4.11 Kaynak bölgesinin sıyırma sonrası görünümü.....	72
4.12 Yakma alın kaynağı makinası kaynak parametrelerinin diyagramı.....	73
4.13 Alüminotermite kaynak çalışma prensibi.....	79
4.14 a) Contanın kalıp bağlanmaya uygun hale getirilmesi, b) Kaynak aralığının ayarlanması.....	79
4.15 Rayın kaynak öncesi mastarlanması.....	80
4.16 Kalıpların bağlanması.....	81
4.17 Kalıpların macunlanması.....	81
4.18 Termit porsiyonları.....	82
4.19 Potanın döküme hazırlanması.....	83
4.20 a) Manyezit tozunun dökülmesi, b) Termit porsiyonunun dökülmesi.....	83
4.21 Ray uçlarının ön ısıtma işlemi.....	84
4.22 Döküm Akış Prensibi.....	85
4.23 Döküm anı.....	85
4.24 Kalıpların çıkartılması.....	86
4.25 a) Kaynak bölgesinin sıyırılması, b) Kaynak bölgesinin sıyırılması.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.26 a) Ön Taşlama işleminin yapılması, b) İnce Taşlama Sonrasında Kaynaklı Rayın Görünümü.....	87
4.27 Ray başları yüzeylerinin taşlanması.....	90
4.28 Gaz Basınç Kaynağı Makinasının Kurulması.....	90
4.29 Gaz Basınç Kaynağı uygulanma anı.....	91
4.30 Gaz basınç kaynağının bitirilmesi.....	91
4.31 Çapak alma işlemi.....	92
4.32 Yeniden ısıtma işlemi.....	92
4.33 Yeniden ısıtma işleminin sonlandırılması.....	93
4.34 Hava ile soğutma işlemi.....	93
4.35 Tamir kaynağı.....	95
5.1 Mobil Alın Kaynak Makinası.....	97
5.2 (-5°C)'de kaynaklanmış rayların kaynak anında çekilmiş fotoğrafları.....	98
5.3 (+22°C)'de kaynaklanmış rayların kaynak anında çekilmiş fotoğrafları.....	99
5.4 Raydan mikroyapı tarama için alınan numunenin yeri ve fotoğrafı.....	101
5.5 Raydan sertlik testi için alınan numunenin yeri ve numune üzerinde gösterimi.....	102
5.6 Eğme Test Düzeneği ve Ayarlamalar (birimler mm cinsinden).....	103

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.7 Rayın Ultrasonik Muayene Yerleri.....	106
6.1 (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tam Kesitine Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf.....	109
6.2 (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tabanına Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf	110
6.3 (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Ana Malzemesinin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	111
6.4 (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayda Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	112
6.5 (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Kaynak Bölgesinin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	113
6.6 (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Sertlik Testi Sonuç Diyagramı.....	114
6.7 (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Eğme Testi Sonuç Diyagramı.....	115
6.8 (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Eğme Testi Sonrası Kırık Kesit Yüzey Fotoğrafları	116
6.9 (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Uygulanan Manyetik Parçacık Testi.....	117
6.10 (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Uygulanan Ultrasonik Muayene Testi.....	117
6.11 (22°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tam Kesitine Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf.....	119

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.12 (22°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tabanına Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf	119
6.13 (22°C)'de Kaynaklanmış Rayın Ana Malzemesinin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	121
6.14 (22°C)'de Kaynaklanmış Rayda Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	122
6.15 (22°C)'de Kaynaklanmış Rayın Kaynak Bölgesinin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	123
6.16 (22°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Sertlik Testi Sonuç Diyagramı.....	124
6.17 (22°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Eğme Testi Sonuç Diyagramı.....	125
6.18 (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tam Kesitine Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf.....	127
6.19 (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tabanına Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf.....	127
6.20 (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Ana Malzemesinin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	129
6.21 (51°C)'de Kaynaklanmış Rayda Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	130
6.22 (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Kaynak Bölgesinin Mikroyapı Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x.....	131
6.23 (51°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Sertlik Testi Sonuç Diyagramı.....	132
6.24 (51°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Eğme Testi Sonuç Diyagramı.....	133

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**Şekil****Sayfa**

6.25	Numunelere Uygulanan Sertlik Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	135
------	--	-----

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Yeni bir hatta yapım maliyetlerinin dağılımı	2
2.1 Demiryolu hattı altyapı ve üstyapı elemanları.....	6
3.1 UIC 860'a göre ray çeliği kalitesi, kimyasal kompozisyon ve mekanik değerleri.....	30
3.2 EN 13674'e göre ray çeliği kalitesi, kimyasal kompozisyon ve mekanik değerleri.....	31
3.3 Uluslararası standartlarda geçen 49,43 kg/m ve 60,34 kg/m rayların eski ve yeni isimlendirilmeleri.....	33
3.4 R260 raylara ait bazı teknik bilgiler.....	34
3.5 49E1 ve 60E1 rayların mekanik özellikleri.....	34
3.6 Rayların üzerindeki hadde işaretleri ve anlamları.....	35
3.7 Raydaki Kalıntı Gerilimler.....	44
3.8 Sıkı dizilimli perlit raylar ile beynitli rayların kimyasal kompozisyon olarak karşılaştırılması.....	49
3.9 Sıkı dizili perlitli ray çelikleri ile beynitli çeliklerin mekanik özelliklerinin karşılaştırmaları.....	49
4.1 Bazı Şehirler için UKR'li Kesimlerde Gerilim Alma İşleminin Ve Nihai Bağlantının Yapılabileceği Sıcaklık Aralıkları	57
4.2 Ülkeler Tarafından Kabul Edilen Minimum ve Maksimum Ray Sıcaklık Değerleri.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.3 Ray Kaynak Prosesleri.....	63
4.4 Kırılan ray kaynaklarının proseslere göre dağılımı.....	88
5.1 R260 tipi 60E1 rayların kimyasal kompozisyonu.....	96
5.2 TS EN 14587-2 Ek-A'ya göre asgari eğme testi gereklilikleri.....	104
6.1 (-5) °C'de kaynaklanmış rayların ana malzeme kimyasal analizleri.....	108
6.2 22 °C'de kaynaklanmış rayların ana malzeme kimyasal analizleri.....	118
6.3 51 °C'de kaynaklanmış rayların ana malzeme kimyasal analizleri.....	126
6.4 Numunelere Uygulanan Test Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	134

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklamalar

Bar	Deniz seviyesindeki atmosfer basıncı
N	Kütlesi 1 kg olan bir cismin hızını, 1 m/s arttırmak için o cisme uygulanması gereken kuvvet ($\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$)
ppm	Herhangi bir karışımda toplam madde miktarının milyonda biri
R_m	Çekme mukavemeti (bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek gerilme değeri)
T	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
t	Zaman (dakika, saat)
$\sigma_{0,2}$	Metaller için akma mukavemeti değeri (plastik deformasyon oluşturmaksızın bir malzemede gelişmiş olabilecek en büyük gerilme değeri)

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASM	Amerika Metalik Malzemeler Cemiyeti (American Society for Metals)
BOF	Bazik Oksijen Fırını
Ceş	Karbon Eş Değeri
DB	Almanya Demiryolları
dBA	Desibel
EN	Avrupa Standartları (European Standard)

HB	Brinell sertlik değeri
HRC	Rockwell (C) sertlik değeri
HV	Vickers sertlik değeri
IIW	Uluslararası Kaynak Enstitüsü (International Institute of Welding)
KARDEMİR	Karabük Demir Çelik Fabrikaları A.Ş.
LD	L(inz)-D(onawitz)
LDAC	Argon yöntemli konvertör tipi
T.C.D.D.	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü
TS	Türk Standartları
UIC	Uluslararası Demiryolları Birliği (International Union of Railways)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Demiryollarının Tarihçesi ve Gelişimi

Ulaşımın en temel icatları olan tekerleğin, demiryolunun ve uçağın keşfi ile insanların ve malların hızlı ve güvenli ulaşımı her toplumun hedefi haline gelmiştir. Demiryolu gelişimi, endüstri gelişiminden, buharın kullanılmasından, kömür ve demir madenlerinin yaygın olarak işlenmesinden çok fazla etkilenmiştir. İnsanlığın gelişimini izleyen Sanayi Devrimi ile birlikte demiryolları ilk defa 1830'lu yıllarda İngiliz maden ocaklarında şekillenmeye başlamıştır. Demiryolunun başlıca özelliği tekerleğin metal-metal teması ile bir hat tarafından kılavuzlu hareketidir ve bu hareket demiryolu aracına belirli bir serbestlik sağlar. Klasik demiryollarına paralel olarak 1970'li yılların ortasından beri deneysel gelişmeler ilerlemiş ve aracın tekerleği ile taşıyıcı altyapısı arasında temas olmaksızın aracın hareketi sağlanmıştır. Bunlar aerotren ve manyetik levitasyonlu trenler yani diğer adıyla Maglev Trenlerdir. Test çalışmasında aerotrenle 1969 yılında 422 km/h hıza ve 1991 yılında Maglev Trenler ile 600 km/h hıza ulaşılmıştır.

Şehirciliğin artması ile kentsel raylı sistemlere de ihtiyaç duyulmuştur. Dünya çapında metro, hafif metro ve tramvay kullanımı yaygınlaşmıştır. Metro sistemlerinde genellikle hatların ve istasyonların büyük çoğunluğu yer altı istasyonlarından oluşur, dolayısıyla diğer kent içi raylı sistemlere göre alt yapı maliyeti daha yüksektir. Hafif metro sistemi de bir sürücü tarafından kontrol edilen, 600-1000 m aralıklarla özel istasyonlarda yolcu indirip bindirilen, yaklaşık 300 yolcu kapasiteli ve kendine ait hatlarda işletilen raylı toplu taşıma sistemidir. Tramvay ise karayolu ulaşım araçları ile aynı yolu kullanan, genelde bir sürücü tarafından kontrol edilen, daha çok inip-binmenin olduğu en düşük yolcu taşıma kapasiteli raylı toplu taşıma sistemidir. (Arlı ve Öztürk, 2009)

Demiryolları taşımacılığının diğer taşımacılık yöntemlerine göre avantajlı yönleri şunlardır: (Çelik, 1993)

- En kısa mesafeli yol ve düşük yol yapım maliyeti: Karayollarında yol yapım maliyeti demiryollarında yol yapım maliyetinin ortalama 2,4 katı kadara çıkmaktadır. Kaldı ki karayolunda faydalı ömür 10-15 yıl iken demiryollarında faydalı ömür 30 yıldır. Faydalı ömür esasını da katarak değerlendirme yaparsak karayolları yol yapım maliyeti, demiryolu yol yapım maliyetinin 4,8 katına yükselmektedir. Yeni bir demiryolu hattının yapım maliyeti güzergâh özelliklerine, özellikle köprü ve tünel sayısına ve ebatlarına, kamulaştırma ve işçilik maliyetine bağlıdır. Çizelge 1.1’de Fransa, İspanya, Yunanistan, Almanya’nın verilerine göre büyük sanat yapılarının olmadığı hatlarda ortalama maliyetlerin toplam maliyetlere göre oranlı dağılımı gösterilmiştir. (Profillidis, 1995)

Çizelge 1.1. Yeni bir hatta yapım maliyetlerinin dağılımı (Demiryol-İş Yayını, 2004)

Altyapı	45-30 %
Sanat yapıları	10-25 %
Hat	20 %
Sinyal ve telekomünikasyon	10 %
Elektrik çekim	10 %
Proje	4-5 %

- En az yakıt tüketimi, en düşük egzoz gazı ve çevre kirliliği oranları: Elektrikli trenlerin işletiminde önemli bir kirlilik olmazken dizel trenler otomobile göre 15 kez daha az kirlilik üretirler. (Demiryol-İş Yayını, 2004)
- En düşük kaza oranları: Karayoluna göre aynı trafikte demiryolu kazasında ölüm riski 8 kez ve yaralanma riski 200 kez daha azdır. (Devlet İstatistik Enstitüsü, 2004)
- Az alan ve yüksek kapasite: Platform genişliği 13,7 m olan çift hatlı elektrikli bir demiryolu hattı kapasite açısından 37,5 m genişliğinde 6 şeritli bir otoyola eşdeğerdir. Buna göre karayolları 2,7 kat daha fazla arazi kullanımı gerektirmektedir. (Demiryol-İş Yayını, 2004)

- Düşük gürültü: Ulaştırma sistemlerinde konforlu bir seyahat için üst gürültü düzeyi 65 dBA (desibel), tahammül bölgesi 65-75 dBA ve rahatsızlık bölgesi 75-120 dBA olarak kabul edilmektedir. Yapılan çeşitli araştırmalarda karayollarında gürültü şiddetinin 75-92 dBA arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ağır taşıtlar için bu değer 103 dBA kadar çıkmaktadır. Havayollarında ise gürültü şiddeti 103-106 dBA'dır. Ray bağlantıları kaynaklı, uluslararası standartlara sahip vagonlarla saatte 150 km hızla giden bir trenin gürültüsü 65-75 dBA arasındadır. (Demiryol-İş Yayını, 2004)

1.2. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (T.C.D.D.)

Türk Demiryolu tarihi 1856 yılında başlar. Ülkemiz demiryolu tarihi Cumhuriyet öncesi, Cumhuriyet Dönemi (1923-1950 arası), 1950-2000 yılları arası ve 2000'den sonrası dönem olmak üzere dört başlık altında incelenmelidir. Bu dönemlerin birincisinde demiryolu hatlarının büyük bölümünün yabancılar verilen imtiyazla yaptırılması, ikincisinde demiryolu ulaştırmasının altın çağı olması, üçüncüsünde ise demiryolu ulaştırmasının yok sayılmasıdır. Dördüncü dönemde ise tekrar yol yenileme çalışmalarına hız verilmiş, yüksek hızlı tren işletmeciliğine başlanmış ve demiryollarının ulaşım sektöründeki yatırım payı ve önemi de artmıştır.

1.2.1. TCDD'nin tarihçesi ve gelişimi

İlk demiryolu hattı olan 130 km'lik İzmir-Aydın hattına ilk kazma bir İngiliz şirketine verilen imtiyazla vurulmuştur. İzmir-Aydın yöresinin özelliği diğer yörelere göre daha kalabalık, ticari potansiyeli yüksek bir İngiliz pazarı olmaya elverişli etnik unsurların yaşadığı ve İngiliz sanayisinin gereksinim duyduğu ham maddeye kolay ulaşılabilecek bir yöre olmasıydı. Osmanlı Devleti'ndeki demiryollarına, demiryolu imtiyazı verilen İngiliz, Fransız ve Almanların ayrı ayrı etkileri olmuştur. Batılı sermayeler, sanayi devrimi ile çok önemli ve stratejik bir ulaşım yolu olan demiryolunu tarım ürünlerini ve önemli madenleri limanlara, oradan da kendi ülkelerine ulaştırmak için inşa ettiler. Üstelik km başına kar güvencesi, demiryolunun 20 km çevresindeki

maden ocaklarının işletilmesi vb. imtiyazlar olarak demiryolları inşaatlarını yaygınlaştırdılar. Dolayısıyla Osmanlı İmparatorluğu zamanında yapılan demiryolları, inşa eden ülkelerin iktisadi ve siyasi amaçlarına göre biçimlendirildi. 1856-1922 yılları arasında Osmanlı Toprakları içerisinde yapılan toplam 8619 km demiryolu hattının yabancı şirketlere ait olan 2282 km'lik normal hat kesimi, 70 km. dar hat kesimi ve devletin yönetiminde olan 1378 km'lik normal hattı olmak üzere yaklaşık 4000 km'lik bölümü Cumhuriyetin ilanı ile belirlenen milli sınırlar içerisinde kalmıştır.

Cumhuriyet Dönemi ile birlikte (1923-1950 arası) birçok imkânsızlıklara rağmen toplam 3578 km'lik demiryolu hattı yapımı gerçekleştirildi. Bu yapılan yolların 3208 km'si 1939 yılına kadar gerçekleştirilmiş, savaş nedeniyle ve Atatürk'ün vefatı ile 1940 yılından sonra demiryollarına gerekli ilgi azalmaya başlamıştır. Cumhuriyet öncesi dönemin aksine ise bu yıllar arasında ekonomik gelişmenin ülke düzeyinde yayılmasını sağlamak amacıyla özellikle az gelişmiş bölgelere ulaşması amaçlanmıştır. Cumhuriyet öncesinde demiryollarının %70'i Ankara-Konya doğrultusunun batısında kalırken, Cumhuriyet devrinde yolların %78,6'sı doğuda döşenmiş ve günümüz itibarıyla batıda %46, doğuda %54 gibi oransal dağılım elde edilmiştir.

1950 sonrası dönemde ise bu yıla kadar uygulanan politika karayolu demiryolunu besleyecek ve bütünleyecek bir sistem olarak görülmüşken bu tarihlerden itibaren demiryolları yok sayılmış ve karayolları ile demiryolları arasında roller değişmiştir. Kurtuluş Savaşı'ndan sonra tüm olanaksızlıklar içinde yılda ortalama 240 km uzunluğunda demiryolu yapılırken, 1960 yılından sonra gelişen teknoloji ve maddi olanaklara rağmen yılda sadece 39 km'lik demiryolu yapılabilmektedir. 1950-1997 yılları arasında karayolları uzunluğu % 80 artarken, demiryolu uzunluğu sadece % 11 artmıştır. Yatırım payları ise karayolları % 50, demiryolları % 30 iken 1985'ten 2003'e kadar bu oran %10'larda kalmıştır. Yine 2000'li yıllara kadar karayolu-demiryolu yük taşıma paylarına bakıldığında karayolu yük taşıma oranı % 94, demiryolları ise % 4'dür yani 1950 sonrası dönemde yük taşımacılığındaki demiryollarının payı % 60 azalmıştır.

1.2.2. TCDD'nin mevcut durumu

TCDD, 2010 yılına kadar 8722 km'si ana hat, 1421 km yüksek hızlı tren hattı ve 2.330 km'si tali hat olmak üzere toplam 12473 km'lik demiryolu hattında taşımacılık faaliyetlerini sürdürmektedir. Söz konusu ana hatların %94'ü tek hat olup toplam hatların 3082 km'si elektrikli, 3631 km'si ise sinyalli hale getirilmiştir. Mevcut yolların yaklaşık %20'si 30 yaşın üstünde raylarla kaplıdır. Son yıllarda yapılan atılımlar neticesinde yük taşımacılığında % 45 artış sağlamış ve yolcu taşımacılığı da yüksek hızlı tren hatları ile önemini gitgide artırmaktadır. Ankara-Eskişehir, Ankara-Konya ve Ankara-İstanbul arası yüksek hızlı tren hatları taşımacılığa başlamış olup ileriki yıllar için planlanan bazı hızlı tren hatları şu şekildedir: Ankara-Afyon-Uşak-İzmir, Ankara-Kayseri, İstanbul-Bursa, Ankara-Bursa, İstanbul-Edirne-Kapıkule, Konya-Mersin-Tarsus-Adana, Eskişehir-Afyon-Antalya, Sivas-Erzincan-Erzurum-Kars, Samsun-Ankara, Ankara-Konya-Antalya, İzmir-Afyon-Konya, Kayseri-Konya-Antalya, Sivas-Malatya-Elazığ-Diyarbakır. (T.C.D.D., 2011)

BÖLÜM 2

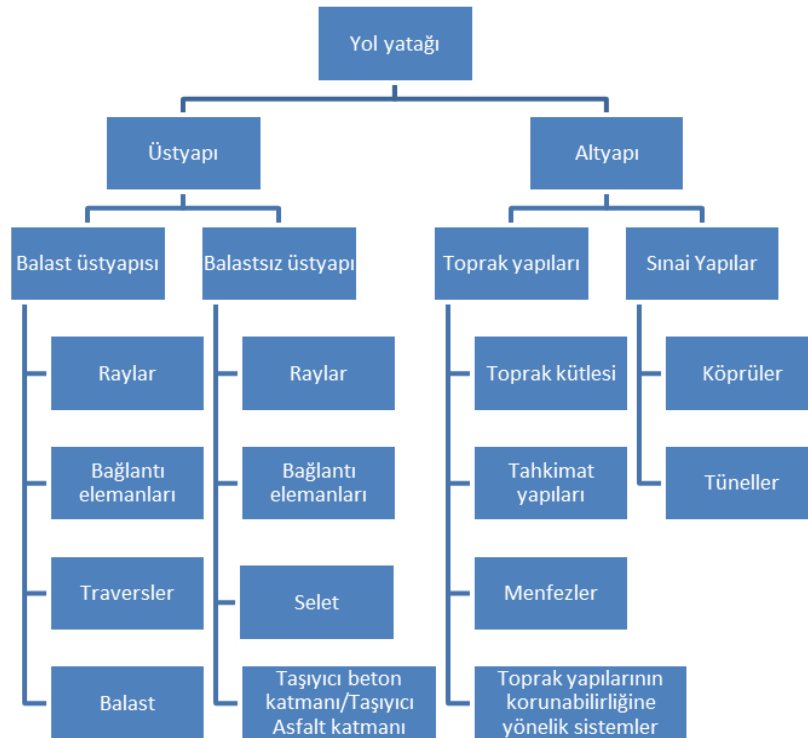
DEMİRYOLLARININ ÜSTYAPI VE ALTYAPISI

2.1. Demiryolu Nedir?

Bir yerden bir yere madeni bir yol üzerinde, mekanik bir güçle hareket ettirilen araçlar içinde, insan ve eşya taşımalarını temin eden tesislerin hepsine birden demiryolu denir.

Aşağıda bir demiryolu hattındaki iki farklı kısım gösterilmiştir:

Çizelge 2.1. Demiryolu hattı altyapı ve üstyapı elemanları



2.2. Üstyapı

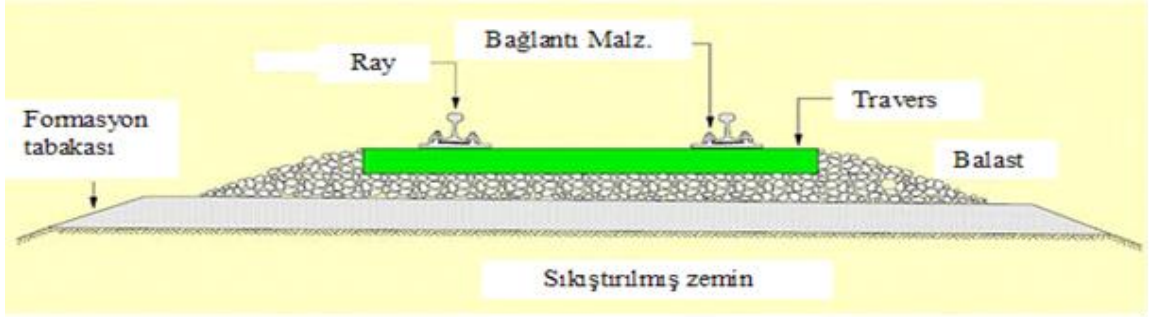
Demiryolu üstyapısı ray, bağlantı elemanları, travers, balast veya betonarme plak gibi kısımlardan oluşurlar. Demiryolu taşıtlarının güvenli, konforlu ve ekonomik olarak seyrini sağlayan ve altyapı (zemin, formasyon tabakası vb.) üzerine döşenmiş bulunan malzeme ve elemanlarının tümüne üstyapı denir. Demiryolu üstyapısı basit olarak ray ve traversler tarafından çerçevelendirilmiş ve balast tarafından desteklenmiştir.

Üstyapının görevleri:

- Yol boyunca demiryolu araçlarına düzgün ve pürüzsüz bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak,
- Demiryolu taşıtlarından gelen statik ve dinamik yükleri güvenli ve kalıcı şekil değişikliğine uğramadan karşılamak ve kısmen azaltarak altyapıya iletmek,
- Yeterli elastikliğe sahip olmak,
- Şekil bozukluğuna uğradığında kolayca eski durumuna getirilebilir özellikte olmak,
- Yüzey sularını bünyesinden kolaylıkla tahliye edebilir özellikte olmak,
- Uzun ömürlü ve ekonomik olmak. (Arlı ve Öztürk, 2009)

Şekil 2.1’de üstyapının elemanları gösterilmektedir ve üstyapı aşağıdaki kısımları içerir:

- Raylar: tren tekerleklerini kılavuzlar ve tekerleklerle temas yüzeyi sağlar.
- Bağlantı elemanları ile beraber traversler, raylara gelen yükleri yayar ve ekartmanı korurlar.
- Balast: Genellikle kırma taştır, tren vibrasyonlarının önemli kısmını sönmülemeli, yeteri kadar yükü yaymalı ve yağmur sularını çabuk drene etmelidir.
- Alt balast tabakası çakıl, kum, doğal agrega karışımıdır. Alt balast tabakası, balastın altyapıya gömülmesini önler, drenaja yardım eder ve ayrıca daha fazla yük dağılımını sağlar. (Arlı ve Öztürk, 2009)

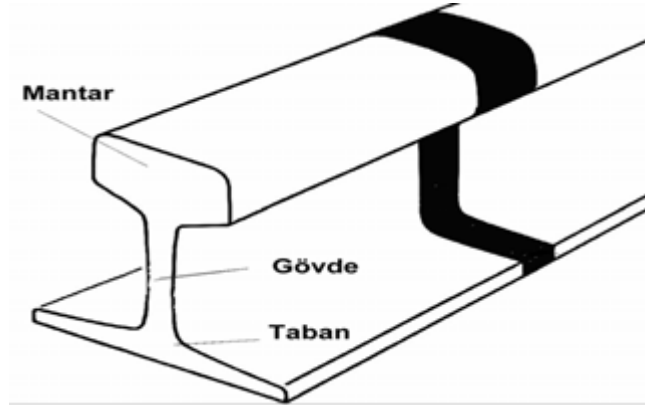


Şekil 2.1. Üstyapı ve Altyapı Elemanları (Kaçer, 2008 a)

2.2.1. Raylar

Demiryolu araçları ile direk temas halinde bulunan tekerleklerle yuvarlanma yüzeyi sağlayan, aşınmaya dayanıklı ve yüksek mukavemetli çelikten ve özel profilden imal edilmiş üstyapı elemanına ray denilmektedir. (Sevim, 2007)

Rayın mantar, gövde ve taban olmak üzere üç kısmı vardır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2: Ray Kısımları (Kaçer, 2008 a)

- Ray mantarı: Tekerleklerle yuvarlanma yüzeyi sağlayan kısımdır. Şekli, tekerlek profili ile iyi temas edecek biçimde olmalıdır.
- Ray gövdesi: Mantar ile taban arasında, rayların birbirine cebire ile bağlanmasına imkân veren kısımdır. Gövde kalınlığı zamanla meydana gelebilecek korozyon tesiriyle zayıflamalara rağmen kesitin bu gerilmeleri karşılayacak tarzda ve cebire delikleri civarında çatlamlar meydana gelmeyecek

şekilde ve kalınlıkta imal edilmesi gerekir. Bu kalınlık tecrübeler sonucu 15 mm'den aşağı olmayacak şekilde tespit edilmiştir.

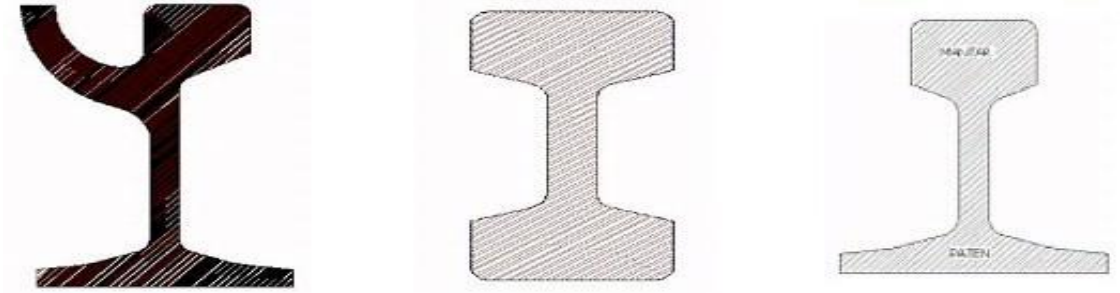
- Ray tabanı: Rayların traverslere basmasını ve tespitini sağlayan kısımdır. Ray tabanının geniş olması rayın selete sağlamca oturmasını ve devrilmemesini sağlar. Geniş tabandan traverse gelen gerilmeler azalacağından travers daha az yorulur.

Rayın demiryolu yapısındaki temel işlevleri şunlardır: (Esveld, 2001)

- Tekerlek yüzeyini karşılar ve bu yükleri traversler veya destekler üzerine dağıtır.
- Tekerleğe yanal yönde kılavuzluk eder ve ray başı üzerine gelen herhangi bir yatay enine kuvveti transfer ederek, traverslere ve desteklere dağıtır.
- Düzgün çalışma yüzeyi sağlar. Hızlanma ve frenleme kuvvetlerini dağıtır.
- Elektrikli hatlarda elektrik iletkeni gibi fonksiyon gösterir.
- Sinyal akımlarını iletir.

Şekil bakımından üç tip ray çeşidi kullanılmaktadır: (Şekil 2.3)

1. Oluklu raylar: Oluklu raylar daha çok tramvay hatlarında olmak üzere demiryolu ve karayolunun kesiştiği yerlerde (hemzemin ve özellikle rıhtım hatlarında) de kullanılırlar.
2. Çift mantarlı raylar: Bu raylar simetrik bir şekil gösterip bir alt bir de üst mantardan meydana gelirler. Bu rayın ortaya atılışındaki fikir üst mantarın aşınmasından sonra rayın çevrilmesiyle bu defa yuvarlanma yüzeyi olarak alt mantarın kullanılmasıdır. Fakat üst mantarla beraber alt mantarın da sürtünmeler ve korozyon nedeniyle aşınmasından dolayı bu hususun imkânsızlığı anlaşıldı.
3. Tek mantarlı raylar (Vinyol tipi): Bu tip raylar ilk defa 1832 yılında Amerikalı Stevens tarafından yapılmış, ancak yapanın değil geniş anlamda kullanımını sağlayan İngiliz mühendis Vinyol'un ismi verilmiştir. Ülkemizde ve Dünyada kullanılan ray tipidir.

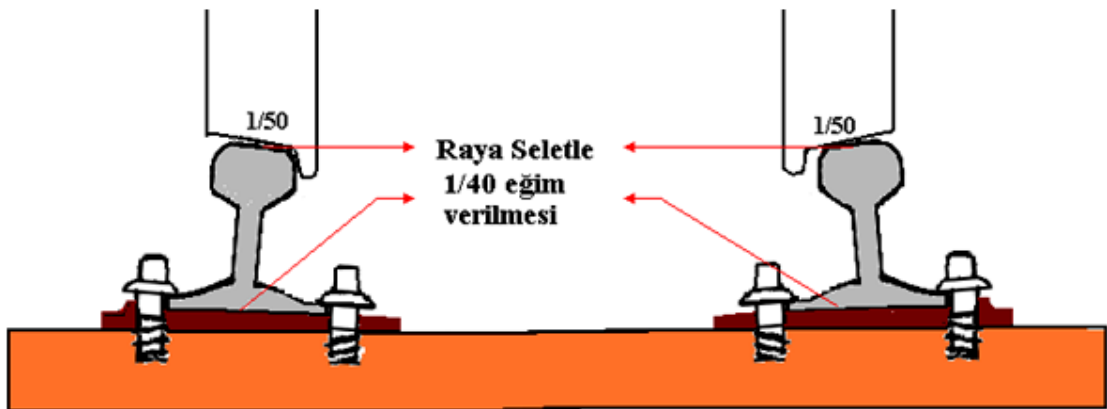


Şekil 2.3: Şekil bakımından ray tipleri a) Oluklu ray, b) Çift mantarlı ray, c) Tek mantarlı ray (Kaçer, 2008 a)

2.2.2. Traversler

Demiryollarında yol eksenine dik yönde ve rayların altına mesnet olarak belirli aralıklarla yerleştirilmiş üstyapı elemanına travers denir. Traversin görevleri aşağıda açıklanmıştır: (Arlı ve Öztürk, 2009; Sevim, 2007; Kaçer, 2008 a)

- Yol açıklığını sağlamak ve korumak,
- Raylardan gelen yükleri düzgün bir şekilde balast tabakasına iletmek,
- Rayların traverslere $1/20$ veya $1/40$ eğimle montesini sağlamak. Araçların budenleri konik olup belli bir eğimi vardır. Bu haldeki bandajların ray üzerine oturabilmesi için raylara da içeri doğru aynı eğimi vermek gerekir. Bu da ray altına yerleştirilen seletlere hat içine doğru eğim vererek sağlanır. (Şekil 2.4)



Şekil 2.4: Raya seletler ile eğim verilmesi (Kumbasar, 1972)

Traverslerde olması gereken özellikler: (Arlı ve Öztürk, 2009; Kaçer, 2008 a)

- Aşınmaya karşı mukavemet yani ahşap traverslerin yeteri kadar sert olması,
- Elastikiyet, kırılmaya, ezilmeye ve dış etkilere karşı mukavemet,
- Rayların tespitine elverişli olması,
- Üstyapının stabilitesi bakımından çok hafif olmaması ve bakım sırasında çok fazla işgücü gerektirecek kadar da ağır olmaması,
- Maliyetin uygun olması,
- Elektrikli hatlarda raylar arasında elektrik yalıtımını sağlaması.

Travers çeşitleri ahşap, demir ve beton travers olmak üzere üçe ayrılmaktadır. (Sevim, 2007; Kaçer, 2008 a)

2.2.3. Balast

Boyutları en küçük 30 mm'lik elekten geçmeyecek ve 60 mm'lik elekten geçecek şekilde olan bazalt, granit, diyorit, dolomit, andezit gibi sert kayalardan konkasörle kırılması ile elde edilen kırma taş balast denilir. Bu yüzden iyi bir balastın aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekir: (Profillidis, 1995)

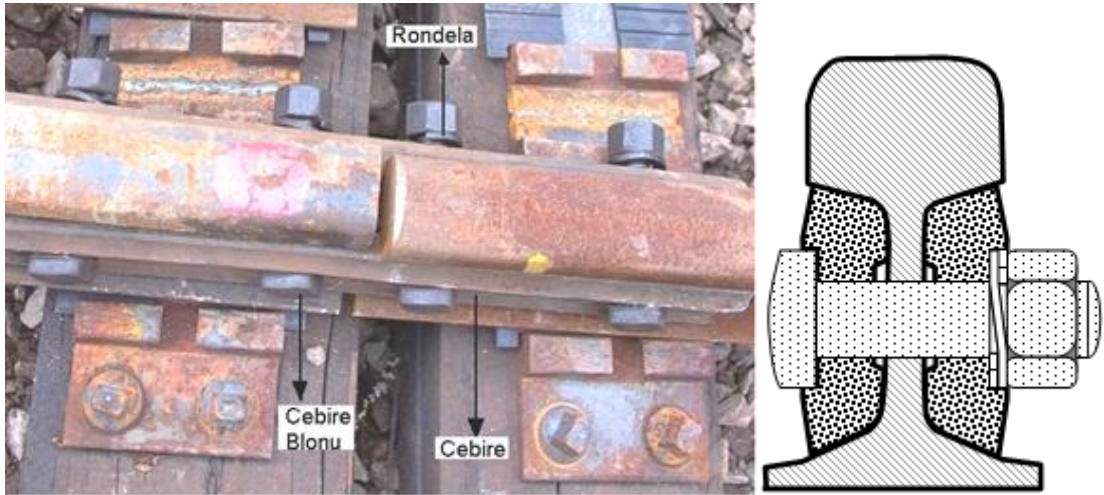
- Temiz ve topraksız olmalıdır,
- Bünyesinde su tutmamalı, tabiat şartlarına karşı dayanıklı olmalıdır,
- Basınca karşı dayanıklı olmalıdır,
- Elle ve makine ile yapılan çalışmalarda darbelere karşı dayanıklı olmalıdır,
- Traverslerin yanal ve boyuna kaymasını engelleyecek yapıda keskin kenarlı, keskin köşeli ve kübik şekilli olmalıdır,
- Yolda yeterli miktarda bulunmalıdır.

Balast tabaka kalınlığı 200 km/saat kadar hızlar için 30 cm ve daha yüksek hızlar için 35-40 cm olmalıdır. Balast banketi 200 km/saat hızlar için genişliği 40 cm ve daha yüksek hızlar için 45-40 cm olmalıdır, banket eğimi ise 2/3 dür. (Lichtberger, 2005)

2.2.4. Bağlantı Elemanları

Rayları birbiri ile ve rayları traverslere bağlayan malzemelere küçük bağlantı malzemeleri denir. 2'ye ayrılır:

1. Rayların birbirine bağlantısı: Rayların birbirine bağlandıkları ek yerine conta denir. Bağlantı yerlerinde rayın her iki yanına cebire adı verilen iki ek levha konur. Cebireler, ray tiplerine ve kullanım durumlarına göre yumuşak çelikten özel profillerde imal edilirler. Cebireleri iki rayın yan yüzeylerine koyarak, raydaki deliklerden geçerek birbirine bağlamak için cebire bulonu ve rondela kullanılır. Cebire bulonları baş, gövde, ve somundan oluşmaktadır. Cebire bağlantıları yolcu konforunu düşürür, tekerlek ve rayın aşınmasına ve yorulmasına neden olur. Ayrıca cebire yerlerinde sürekli kot düşmesi olduğu için bakım masrafları uzun kaynaklı raylara göre yüksektir. Almanya Demiryolları (DB)'na göre uzun kaynaklı raylar cebireli hatta göre yıllık ortalama 520,5 \$/km maliyet tasarrufu sağlar. Uzun kaynaklı raylarda ise işletme hızı daha yüksek, yolcu konforu daha fazla ve hat kalitesi daha yüksektir. (Şekil 2.5)



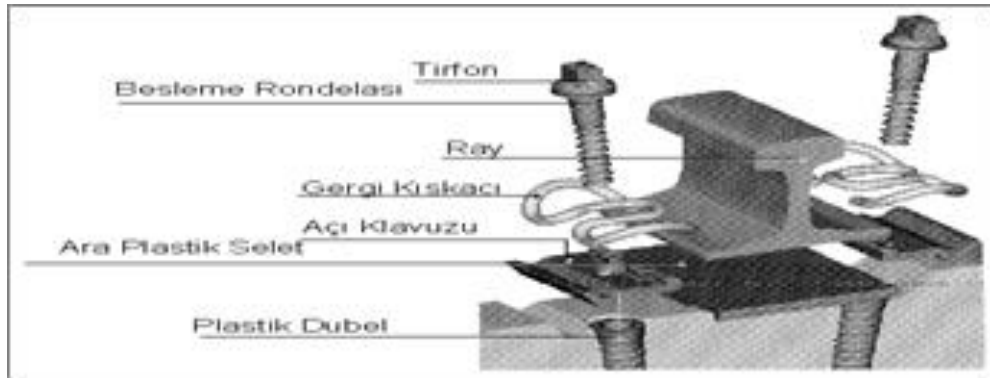
Şekil 2.5: Contalı yollarda ray bağlantı elemanları (cebire, cebire blonu, rondela)

2. Rayların traverse bağlantısı: Bağlantı elemanları ray ile traverse arasındaki bağlantıyı sağlayan malzemelerdir ve aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekir:

- Ekartmanı ve traversteki yanal ray eğimini sürekli korumak,
- Raydan traverse gelen yükleri iletmeli, esnek olmalı,

- Montajı ve bakımı kolay olmalı,
- Elektrik yalıtımı olmalı,
- Yeterli korozyon direncine sahip olmalı, tahribata dayanıklı olmalı,
- Elemanlar arasında aşınma ve gerilme birikmesi olmamalı,
- Maliyeti uygun olmalı.

TCDD’de kullanılan başlıca rayı traverse bağlantı yöntemleri: K tipi bağlantı, N tipi bağlantı, HM tipi bağlantı, Demir-Travers bağlantısı ve Blon-tirfon tipi bağlantılardır. YHT hatlarında ve yeni yapılan yollarda en yaygın olarak kullanılan bağlantı şekli HM tipi bağlantıdır. HM tipi bağlantının bileşenleri Şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6: HM tipi bağlantı ve üstyapı elemanları (Kaçer, 2008 a)

2.3 Altyapı

Demiryolu güzergâhının geçtiği doğal arazi üzerinde; yol kotunu ifade eden kırmızı çizgi ile arazi kotunu ifade eden siyah kot arasındaki yükseklik farkını ortadan kaldırarak, düzgün ve doğrusal bir demiryolu profilini elverişli kılan imalatlarla, bu imalatlar ve üstyapıyı dış etkenlere karşı koruyan ve üstyapının sağlıklı çalışmasına olanak sağlayan tesislerin tümüne birden altyapı denir. (Arlı ve Öztürk, 2009; Kaçer, 2008 b)

Bu tanımlama çerçevesinde altyapı aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- a) Platform
- b) Yarmalar
- c) Dolgular (Dolmalar)
- d) Tüneller
- e) Köprüler
- f) Geçitler
- g) Sağlamaştırma ve önleme yapıları (Tahkimatlar)

Bu bilgiler ışığında altyapının görevleri şunlardır;

- Ağır dingil yüklerini taşıyarak üstyapının sağlıklı çalışmasını sağlamak,
- Üstyapıyı dış etkenlere karşı korumak,
- Düzgün ve doğrusal bir demiryolu profili elde edilmesini sağlamak,
- Siyah çizgiyi (kotu) kırmızı çizgiye (kota) getirmek,
- Yolu sürekli olarak kırmızı çizgide (kotta) tutmak.

Alt yapının bu görevleri sağlaması için ise zeminin ve sıkıştırılmış toprak dolguda oturmaların sınırlı olması, demiryolu yükleri ve üstyapı ağırlığı altında stabilizasyonun sağlanması ve hattın servis ömrü boyunca formasyon tabakası özelliklerinin bozulmaması gerekmektedir.

BÖLÜM 3

RAY

3.1. Rayın Tanımı ve Tarihi

Demiryolu rayı; değişken yükler altında yüksek zorlamaları üzerinde oturduğu malzemeye intikal ettiren bir yapı elemanıdır. (Martens ve Wirick, 1994.)

Raylı taşımacılığın tarihi 500 yıl önceye dayanmakta ve tahtadan veya taştan yapılmış raylardaki vagonların insan gücü veya atlar ile çekilmesi başlamaktadır. Vagon yollarında tahta raylar ve atlar tarafından çekilen vagonlar 1550'lerde Almanya'da geliştirildi. Bunlar 1600'lerde Britanya'da da popüler hale geldiler. Wollaton demiryolu bilinen en eski demiryoludur. İlk yol Nottingham yakınlarında Strelley'den Wollaton'a kadar 1604 yılında tamamlanmıştır. Daha sonra 1760'ların sonlarında tahta raylar boyunca dökme demir plakaların birlikte kullanımı başlamıştır. Vagonlar ise flanşlı tekerleklerle sahiptiler. Diğer sistemde ise tahta raylara ("L") şeklinde monte edilmiş metal plakalar bulunmaktaydı ve böylece flanşsız tekerlekler kullanılabilmekteydi. Bununla birlikte, bir süre sonra flanşlı tekerleklerin düz raylar üzerinde düz tekerleklerin ("L") şeklindeki rayların üzerindeki göre daha iyi çalıştığı anlaşılmıştır. Flanşlı tekerleklerin düz raylar üzerindeki çalışma kombinasyonu günümüzde hala devam etmektedir.

Uzun ve dar demir raylar tahta raylara monte edilmiş ince uzun demirlere sahip ve çok kırılgan olup ağır yükleri taşıyabilecek uygunlukta değildirler. Yine de, yapım maliyetlerinin düşük olmasından ve demiryolu hatlarının ucuz ve hızlı bir şekilde tamamlanmasından dolayı bu rayların kullanımları bir süre daha devam etmiştir. Bu raylar ile ilgili ana problem tahta raylardan ayrılan ince demirlerdir ve bu yüzden bakım gereksinimleri yaşam döngüsü açısından bakıldığında maliyet artışına sebep olmuştur.

1767 senesinde, ilk demir ray dökme demirden üretilmiştir. Bu raylar normal döküm prosesi ile elde edilmiştir. Bu raylar 3 feet (yaklaşık 90 cm) uzunluğundaydı. Daha sonra rayların haddeme yoluyla üretimine başlandı. Bu çelik raylar ilk olarak

1857 yılında üretildi ve İngiltere'deki Derby istasyonuna serildi. Çelik dökme demire göre daha iyi ve kuvvetli bir materyal olduğu için zamanı geldiğinde ray imali için dökme demirlerin yerini almıştır. Çelik üretimindeki gelişmeler ile birlikte ray çeliğinin kimyasal kompozisyonu ve çeşitli bileşenlerin özellikle de karbon, mangan ve silikonun yüzdeleri yıllar boyunca değişime uğramıştır. Krom gibi pahalı alaşım elementlerinin eklenmesi ile çelik kalitesinin yükseltilmesine çalışılmıştır. Çelikteki karbon katkısı özellikler üzerinde en fazla etki eden element olduğu için farklı ray çelikleri üretimi için değişik karbon yüzdeleri denenmiştir. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2007)

3.2. Ray Üretim Prosesi

II. Dünya Savaşı'ndan önce ray çelikleri Bazik Bessemer, Asid Bessemer, Elektrik Fırınları, Siemens-Martin'lerde üretilirdi. 1950-1960 arasında oksijen üfleme metotları yerleşmeye başladı. 1960-1970 yılları arasında bu metot ray çeliği üretimi için kullanılmaya başlandı. Bazik oksijen üfleme metodu, çelik üretiminde sıcak metal banyosuna oksijen üfleme suretiyle uygulanan bir metottur. LD ve LDAC metotlarında olduğu gibi saf oksijen kullanılır. Bu metotlardan farklı olarak oksijen, nozulların içerisinden pota dibinden verilir. Bu metot 1967-1968'de Maximillianshütte Sulzbach-Rosenberg'de geliştirilmiştir. Nozul ağzında yüksek sıcaklıkta alev oluşuyorsa soğutma özellikle önemlidir. Bu uca doğru hidrokarbon ayrışma ısısı olarak kullanılır (propan, doğalgaz). Buhar CO₂ yakıt ayrışma ısısı da kullanılabilir. Bu Fransa'da LWS prosesi olarak uygulanır. (Encyclopedia of Materials Science and Technology, 2002)

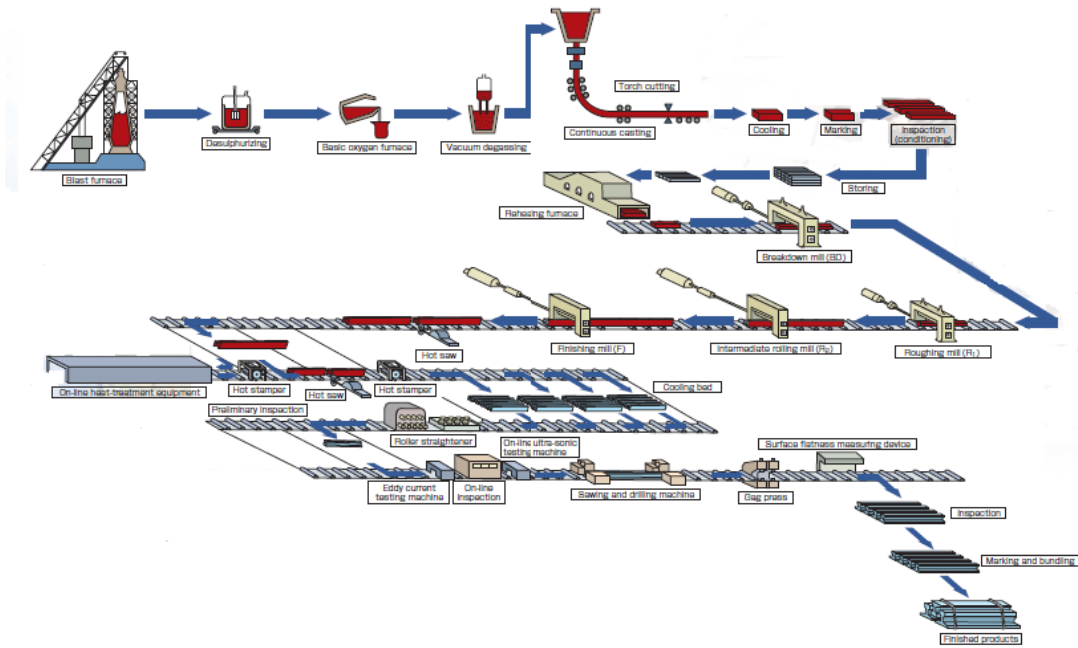
Ülkemizde Karabük Demir Çelik Fabrikaları'nın faaliyete geçmesinin ardından, 1950'li yıllarda küçük partiler halinde ray üretimi yapılmış ve ülke ihtiyaçları karşılanmaya çalışılmıştır. Daha sonraki dönemlerde uzun bir süre ray üretimine ara verilmiştir. 2001 yılında gerekli düzenlemeler yapılarak tekrar ray üretimine başlanmıştır. KARDEMİR A.Ş. Haddehaneler Müdürlüğü'nde üretimi hali hazırda devam eden rayın üretim aşamalarında sistemin optimizasyonu için yapılan çalışmalarla

kalite en üst seviyede tutulmaya çalışılmaktadır. (Encyclopedia of Materials Science and Technology, 2002)

Modern ray üretim teknolojisi Avrupa Birliği'nin EN 13674 standardında ele alınmaktadır. Daha önce var olan şartnamelerden farklı olarak, verimlilik esaslı bir standarttır. Bazı üretim teknikleri rayların iyi kullanım özellikleri sağladığından emin olmak için tanımlanmıştır. Çelikler hem bazik oksijen fırınları hem de elektrik ark fırınlarında üretilebilmesine rağmen elektrik ark ocağı Avrupa'da kullanılmamaktadır. Vakumda gaz giderme metalik olmayan inklüzyonlardan ve tanelerden kaynaklanan ray kırıklarından kaçınmak için zorunlu olarak uygulanmalıdır.

Ray üretim prosesi Şekil 3.1'de de belirtildiği gibi aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır:

- Yüksek fırın,
- Çelik üretimi,
- Sürekli döküm,
- Haddeleme,
- Doğrultma,
- Ölçüm (ultrasonik, geometri, manuel muayene),
- Son kabul. (Esveld, 2001)



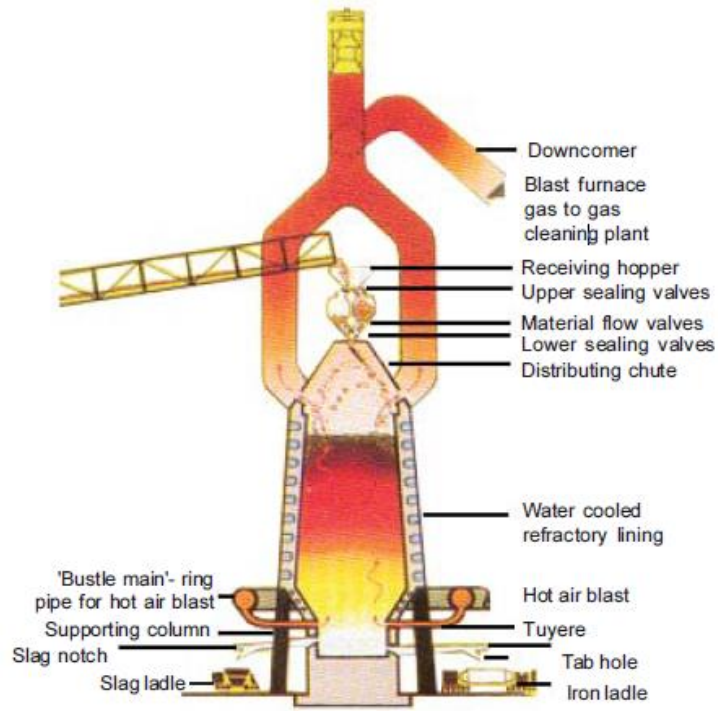
Şekil 3.1: Ray üretim prosesi (JFE Steel Corporation, bt)

3.2.1. Yüksek fırın

Çelik, diğer elementleri hassas ölçülerde içerisinde bulunduran bir demirdir. Demir kayalarda demir oksit olarak bulunur ve buna demir cevheri denilmektedir. Demir madeni yeterli düzeyde ve makul ölçülerde Dünya'nın dağınık bölgelerinde özellikle de İskandinavya, Amerika, Avustralya, Kuzey Afrika ve Rusya'da bulunmaktadır.

Maden cevheri büyüklüklerine göre ayrılır, öğütülür ve buradan çıkan iyi cevherler kok ve kireçtaşı ile karıştırılarak sinter olarak bilinen demirce zengin form oluşturulan sinterleme bölümüne alınır. Bu sinter, demir cevheri, kok ve kireçtaşı kontrollü oranlarda yüksek fırının en üst noktasına kadar şarj edilerek tutuşturulur. (Esveld, 2001)

Bu proses aracılığıyla demir cevheri azaltılır. Sinterdeki ve demir cevherindeki demir, fırının ayağındaki maden havuzunda 1500 °C'lere varan sıcaklıklarda eritilir. Kireçtaşı, demir cevherinin içindeki empürite ile birleşerek metalden hafif olan sıvı cüruf şekline dönüşür ve yüzeye çıkar. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2: Yüksek fırın şematik gösterimi (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2007)

Yüksek fırın prosesi sürekli bir prosestir. Eriyiğin üzerinde oluşan cüruf periyodik olarak uzaklaştırılmalıdır. Benzer şekilde, yeterli miktarda erimiş demir cürufun altında birikir ve çelik fırınlarına alınır.

Aynı zamanda, ham malzemeler, sinter, cevher, kok ve kireçtaşı sürekli olarak fırının üstünden içeri atılır. Bu proses fırındaki ısıya dayanıklı tuğlaların aşınması ile fırının zarar görmesine kadar devam eder (dört yıl veya daha fazla süre boyunca). (Esveld, 2001)

3.2.2. Çelik imalatı

Pik demiri çeliğe dönüştürmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlar:

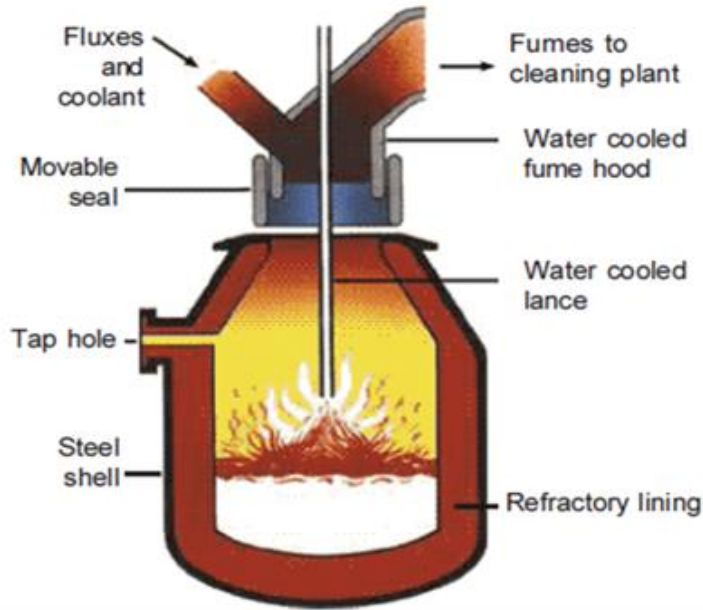
1. Bessemer Prosesi
2. Açık ocak işlemi

3. Bazik oksijen fırını
4. Elektrik ark ocağı. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2007)

Bazik oksijen fırını (BOF) çelik imalatının en başlıca metodudur. Modern fırınlara 150-350 ton veya daha fazla şarj yüklenebilir ve bu şarj 40 dakikada çeliğe dönüştürülür.

Sıcak metal, Bazik Oksijen prosesinde kullanılan en önemli materyaldir. İlk olarak sıcak metal desülfürizasyona uğratılır. Fırın yana yatırılır ve önce hurda ile sonra ise erimiş demir şarj edilir ve dik pozisyona getirilir. Şarjın %70'i ergimiş demir %30'u ise hurdadır.

Su soğutmalı oksijen üfleme borusu fırının alt tarafında ve yüksek saflıkta kuru oksijen metale çok yüksek hızda üflenir. Böylece erimiş şarjdan oksijen ile karbon birleşerek oluşturduğu CO_2 ve diğer istenilmeyen elementler uzaklaştırılır. Böylece karbon % 0,1'in altına düşürülür. Üfleme işlemi sırasında kireç, oksidize olmuş empüritelerin cürufun yüzen tabakasından uzaklaştırılmasını sağlar. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3: Bazik oksijen fırını şematik gösterimi (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2007)

Fırının içine daldırılan oksijen borusunun konumu, üflenecek oksijen miktarı, eklenecek malzeme miktarları bilgisayar kontrolünde ve tamamen otomatik olarak yapılır.

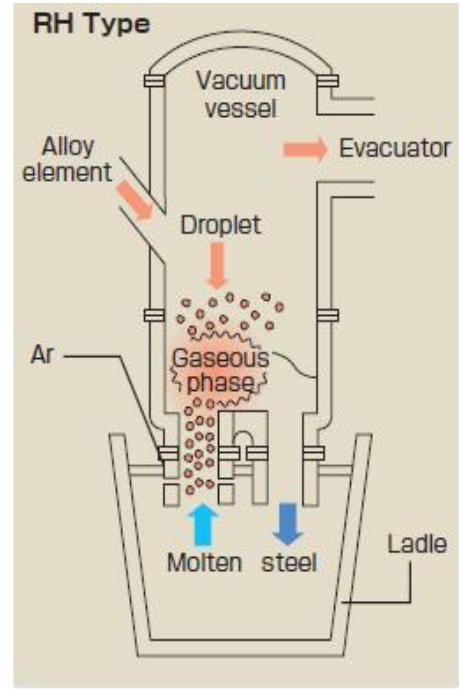
İşlem bitiminde metal alma kapağından tüm metal alındıktan sonra ocak ters çevirilerek daha önceden hazırlanmış olan cüruf potasına yüzeyde kalan cüruf boşaltılır. (Esveld, 2001)

3.2.3. Vakumla gaz giderme ve argon üfleme

Potaya alınan sıvı metale alaşım elementleri atılarak karbürize edilir. İkincil metalurji diye adlandırılan proseste kimyasal kompozisyon, sıcaklık ayarlanır ve istenmeyen maddeler atılır. Modern çelik yapımında çelik kalitesini yükseltmekte kullanılan birkaç işlem vardır. Argon üfleme yöntemi sıcaklığı ve kimyasal kompozisyonu homojenleştirmekte kullanılır. Vakumla gaz giderme ünitesi, çelikteki hidrojen oranını 2 ppm.'den aşağıya düşürmek ve çelikteki oksitleri yok etmekte kullanılır. (Şekil 3.4)

Hidrojen miktarının sıvı çelikte 2 ppm.'in altında olması hidrojen flakelerinin (birikinti, yapraklanma) oluşmasını önler. Dolayısıyla soğuma hızını sürekli ölçmemize gerek kalmaz.

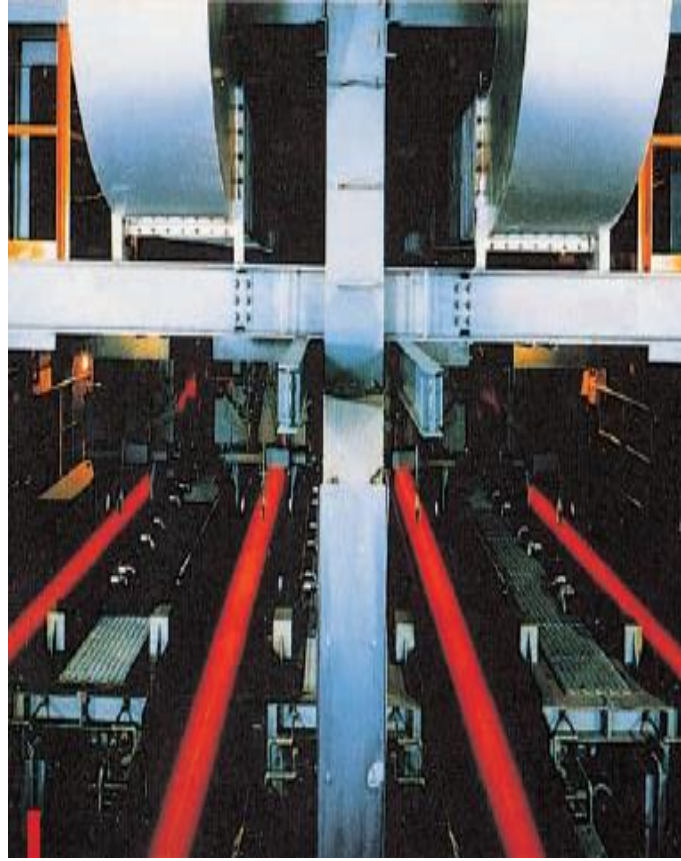
Hidrojenin ray üzerindeki olumsuz etkisine değinilecek olunursa, içerisinde hidrojen flakeleri bulunan ray üzerine gelen tekerlek yükü altında ray içinde hidrojen nedeniyle çatlak başlayacak ve zamanla yorulmadan dolayı kırılmaya neden olacaktır. (Esveld, 2001)



Şekil 3.4: Vakumla gaz giderme ve argon üfleme potası ve şematik gösterimi (JFE Steel Corporation, bt)

3.2.4 Sürekli döküm

Dünya’da çelikhanelerin çoğunda kullanılmakta olan yöntem sürekli döküm yöntemidir. Sıvı çelik 150-350 tonluk potalarda biriktirilerek turretlerin içine yerleştirilir. Turretler 2 pota alabilir. İlk pota tandişle dökülür dökülmez ikinci pota hazırlanır. Bu şekilde sürekli döküm devam eder. (Şekil 3.5)



Şekil 3.5: Sürekli döküm prosesi (JFE Steel Corporation, bt)

Sıvı çelik potadan tandişe dökülürken gömme döküm tekniği kullanılır ve yine tüm kalıplara aynı miktarda metal akmasını sağlayan hassas ölçülü döküm ağızlıkları kullanılır. Pota ile tandiş arasına ve tandiş ile kalıp arasına refraktör koruma konularak tüm sıvı çeliğin döküm esnasında atmosferden etkilenip oksitlenmesi önlenir. Çift duvarlı kalıplar su soğutmalıdır. Kalıplar farklı şekillerde olabilir ve tandişlerden akan sıvının belli bir şekilde olmasını sağlar. Kalıbın köşeleri oluşabilecek çatlakları önlemek amacıyla yuvarlanmıştır.

Sıvı çeliğin çok yüksek sıcaklığa sahip olması döküm kütüğünü metalürjik kalitesi açısından büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle tandişdeki çeliğin sıcaklığı sıvı haldeki sıcaklığının 15 °C üzerinde tutulur. Döküm süresince çeliğin bakır kalıba yapışmasını önlemek amacıyla döküm hızına ve sallantı vuruşuna göre kalıp dakikada 60-200

dönüştürücü bir sıklıkla sallanır. Döküm hızı yaklaşık 0,8 m/dk'dır. Sağlıklı katılma sağlamak amacıyla kütükler elektro manyetik olarak soğutulacak şekilde donatılmıştır.

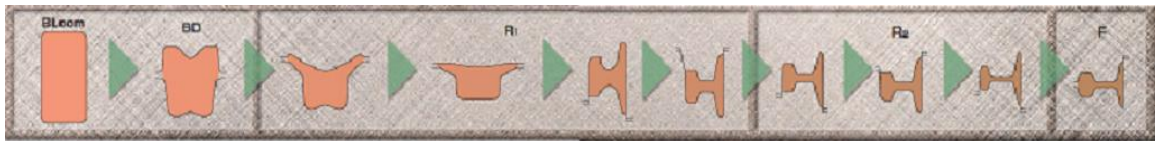
Haddeden çıkan sıcak kütükler 10-13 m'lik bir yarıçapla dönerek doğrultma tezgahlarına ikinci soğumayı sağlayan sprej çemberinden geçerek gider. İstenen uzunlukta kesilen kütükler yığın halinde soğurlar. Daha sonra kütükler yürüyen bantlarla yeniden ısınmak üzere ısıtma ünitesine giderler. Döküm işleminin başında hidrojen yüklemesi olabilir. Eğer hidrojen miktarı kritik bir değere ulaşırsa kütükler hidrojen miktarını kontrol altında tutmak amacıyla kontrollü olarak soğutulurlar. Sürekli döküm ile elde edilen çelik, ingot döküme nazaran daha temizdir ve içerdiği istenmeyen maddeler daha küçük boyutta ve üniform dağılımlıdır.

3.2.5. Haddeleme

Kütükler kontrol edilerek son mamulün oldukça iyi bir yüzeye sahip olmasının sağlanması amacıyla bozukluklarından arındırılır. Daha sonra kütükler özel dizayn edilmiş fırınlarda 1250 °C'ye kadar tavlantırlar. Tav fırınından çıkan kütüklerin üzerine 200 Bar'lık bir basınçla su fışkırtılır. Bu işlem haddelerin ve haddelenen yüzeylerin zarar görmesini engeller. Haddeleme aşamasından itibaren üretilmek istenen malzeme şekline göre hadde hattına girer. Kütükler ray formunu veren haddeye girmeden önce ilk şekilleri verilmek üzere ön haddeden geçerler. Ray son şeklini alıncaya kadar 8 ile 11 defa haddeden geçer. (Şekil 3.6-a, Şekil 3.6-b)



Şekil 3.6-a: Haddeme prosesi (JFE Steel Corporation, bt)



Şekil 3.6-b: Haddeme prosesi (JFE Steel Corporation, bt)

Rayın haddelenmesi sırasında ilk olarak kütük yüzeyine dik olan iki bıçak geçer ve ilk çıkıntıyı yapar. Oluşan ilk çıkıntıları yatay olarak yeniden düzeltme ray tabanının dinamik eğilme gerilimi altındaki davranışını düzenler. Ürünün son olarak yüzeyi temizlenir ve düz bir yüzey elde edilir. Son haddeden geçerken ray üzerine markalama

yapılır. Bu marka: üretici hakkında bilgi, üretim yılı, üretildiği bölüm ve ray kalitesi bilgilerini içerir.

Son şeklini alan raylar sıcak kesme ile istenilen boyda kesilirler. Bütün raylar sıcak markalanırlar ve bu marka ray hakkındaki tüm bilgileri içerir.

Sıcak raylar yürüyen bantlar üzerinde soğumaya götürülürler. Soğuma yaklaşık 3-4 saat sürer. Ray sıcaklığı 800 °C'den 100 °C'ye düşer. Rayın yürüyen bantlarla taşınması rayı tutmakla meydana gelebilecek yüzey kusurlarının oluşmasını engeller. Soğumanın ardından raylar doğrultma ünitesine giderler.

3.2.6. Rayların doğrultulması

Haddeleme sonrası asimetrik profilden dolayı ray mantarı ve ray tabanı farklı oranlarda soğumalarının sonucu olarak dikey yönde raylar eğilirler. Bunun düzeltilmesi için raylar yatay ve dikey yönde doğrultma araçları ile doğrultulurlar.

Bugüne kadar uygulanmış olan merdaneli doğrultma prosesi, mükemmel doğrultma sağlar fakat kalıcı gerilmede ray çeliğinin akma gerilmesine bağlı olarak 100 ile 300 N/mm² arasında bir kayba neden olur. (Avrupa Standardında kalıcı gerilme 250 N/mm² ile ray tabanının merkezinde sabit tutulmuştur) (Esveld, 2001)

Her bir ray, yüzeyindeki ve içyapısındaki kusurların tespiti amacıyla kontrol edilir. Ultrasonik muayene yöntemi ile ray mantarı üzerinde hareket eden ultrason cihazı rayın iç yapısında bulunması muhtemel kusurları tespit eder. (Nippon Steel Corporation, 1989) Girdap akımları muayenesi ile de ray mantarındaki ve ray tabanındaki yüzeye açık hataların muayenesi gerçekleştirilir.

Rayların doğrultulma durumu 0,5-3 m aralıklarla lazer aracılığı ile ölçülür. Ray sonları daha sonra hem otomatik doğrultma tezgahı vasıtasıyla hem de manuel olarak kontrol edilir. Zorunlu durumlarda raylar ek olarak doğrultucu presler ile düzeltilirler. (Esveld, 2001)

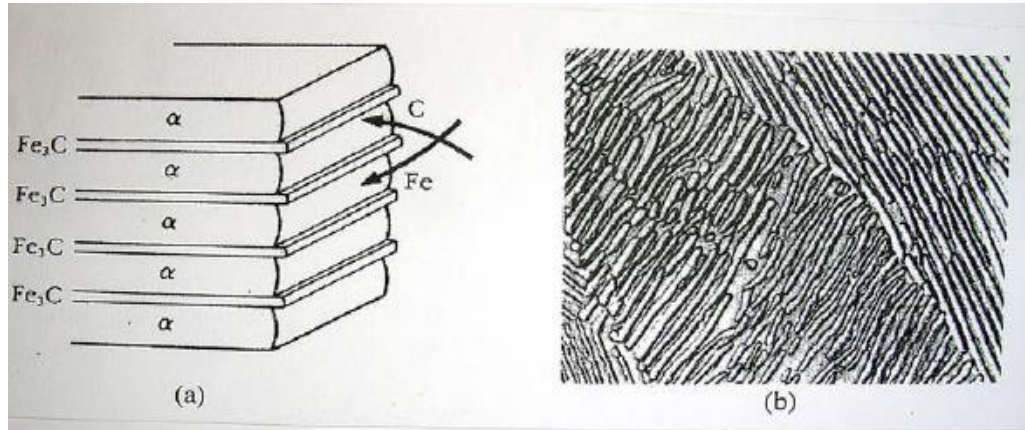
Doğrultmadan çıkan yeterli şartları sağlamış raylar soğuk olarak testere ve frezelerde kesilip delinebilmektedir.

3.3. Rayın Özellikleri

3.3.1. Rayın metalurjik özellikleri

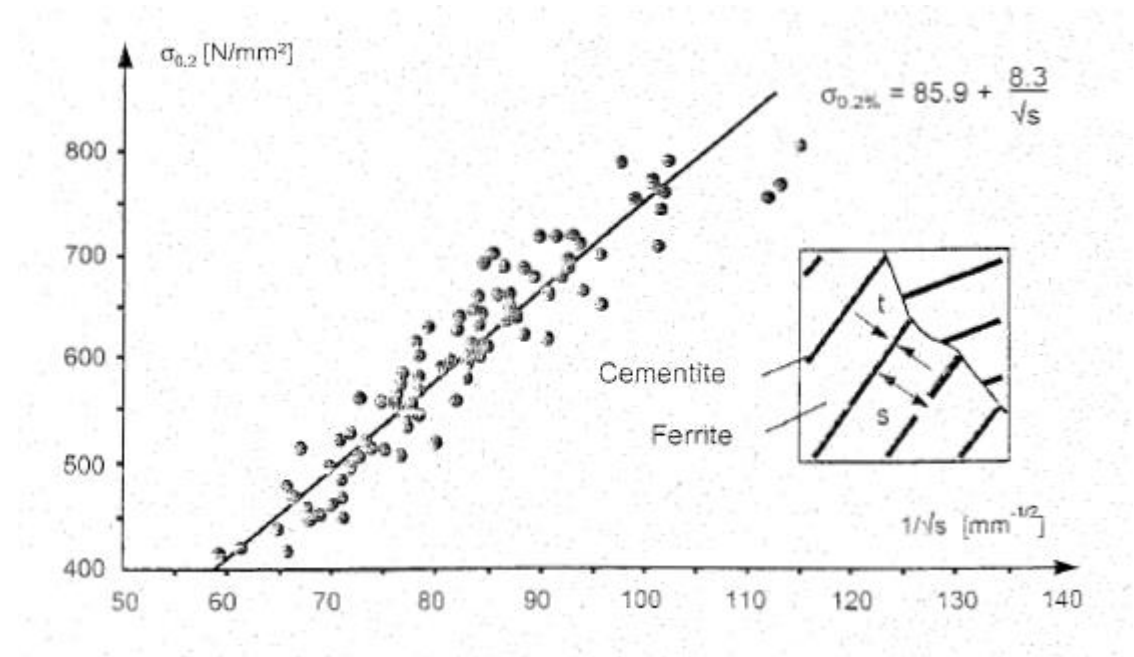
Demiryollarında genelde en yaygın biçimde kristalleşme şartlarına göre isimlendirilen perlitik raylar kullanılmaktadır. Perlitik ray malzemesi, ferrit ve sementitlerin oluşturduğu damarlı bir kristal yapıdır. (Arlı ve Öztürk, 2009) Perlit, çelikteki bir mikro oluşumdur. Perlitteki lameller etkili bir dağılım dayanımı oluşturur. Kesintisiz ferrit, nispeten yumuşak ve sünektir. Sementit ise sert bir yapıya sahiptir.

Perlitik çeliklerde mekanik özellikler büyük ölçüde sementit (Fe_3C) tabakalarının kalınlıkları, lamel kalınlıkları ve tane boyutlarına bağlıdır. Sementit tabakalar arası mesafe azaldıkça, kırılma dayanımı ve akma noktası artar, bu mesafe azaldıkça çekme dayanımından ziyade akma dayanımı ($\sigma_{0,2}\%$) daha fazla artar. Çünkü akma noktasında sementit tabakalar arasındaki mesafenin etkisi daha büyüktür. Bu aynı zamanda elastiklik değerinde ilerleme anlamına gelmektedir. (Şekil 3.7) Rayın mukavemeti de tane boyutları ve sementit tabakalar arasındaki kalınlığa bağlıdır. Benzer etki alaşım katkılarının difüzyon oranlarının kontrolü ile de sağlanabilir. (Esveld, 2001; Arlı ve Öztürk, 2009)



Şekil 3.7: Perlitik yapı (Askeland, 1995)

Sementit lameller arası mesafe azaldıkça rayın akma dayanımı, çekme dayanımı ve sertliği artar, bu mesafe azaldıkça çekme dayanımından ziyade akma dayanımı daha fazla artar. (Şekil 3.8) Lameller arası mesafe alaşım elementlerinin oranlarına veya soğuma hızına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin: tokluk, sementit lamellerinin kalınlığı ve tane büyüklüğünden doğrudan etkilenir. Sementit lamellerin kalınlığı arttıkça lameller arasında kalan alan azalır ve tokluk artar. Benzer bağlantı, çarpma testleri sonuçlarından da elde edilmektedir. (Esveld, 2001)



Şekil 3.8: Lameller arası mesafe ile akma dayanımı arasındaki ilişkinin grafiği

3.3.2. Rayların kimyasal bileşimi

3.3.2.1. Çeliğe alaşım elementlerinin etkileri

Raylar çelik malzemeden üretilmektedir ve bilindiği üzere çeliğin temel elementi demirdir. Ray çeliğinin bileşiminde demirden başka karbon, silis, manganez, krom, fosfor ve kükürt bulunmaktadır. Bu her elementin ray çeliğine olan katkıları aşağıda kısaca bahsedilmektedir:

Karbon (C): Karbon miktarının artırılması ile sertlik ve aşınma direnci artarken süneklik azalmaktadır. Ray çeliği % 0,4-0,75 arası karbon içerir.

Manganez (Mn): Bütün ticari amaçlı kullanılan çelikler düşük miktarlarda manganez içerirler. (%1,0-1,05) Manganez ile yüksek dayanım ve tokluk elde edilir. Manganez yüzdesinin artırılması ve karbon yüzdesinin azaltılması ile eşdeğer çekme dayanımı elde edilirken tokluk değerlerinde artma gözlenir.

Silisyum (Si): Oksijen ile olan ilişkisinden dolayı çeliklerin oksitini alan bir elementtir. Yabancı maddeleri çelik üzerinde toplayarak cüruflaştırır ve dışarıya atılmasını sağlar.

Krom (Cr): Krom miktarı kuvvetli karbür oluşturduğundan dolayı sertlik ve aşınma dayanımı değerlerini artırır. Ray çeliğinde krom miktarı çoğunlukla %1'i geçmez.

Fosfor (P): Çeliği gevrek hale getirir ve darbe altında kırılma eğilimini artırır.

Kükürt (S): Haddeleme prosesi sırasında kırılmalara sebep olur. Kükürdün çelikteki miktarı mümkün olduğu kadar az olmalıdır.

Karbon, manganez ve kromun yüzdeleri ile karbon eşdeğeri bulunur. Karbon eşdeğeri ifadesinde, çeliğin bileşimindeki alaşım elementlerinin oluşturduğu sertliğe eşdeğer sertliği veren karbon miktarı bulunur. IIW (International Institute of Welding- Uluslararası Kaynak Enstitüsü) tarafından oluşturulan ve tüm dünyada en yaygın şekilde kullanılan karbon eşdeğeri formülü aşağıdaki gibidir:

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

Eşdeğer karbon miktarının % 0,1 oranında arttırmak çekme dayanımında 7 kg/mm²'lik bir artış ve düşey aşınmada % 4,5-7,5 oranında azalma sağlar. (Profillidis, 1995)

3.3.2.2. Ray kaliteleri

Çelik endüstrisi uluslararası düzeyde geçerli olan UIC (International Union of Railways) veya EN (European Norms) standartlarına göre birçok çeşit ray profili

üretimi yapmaktadır. Bunun yanında her ülkenin kendi ulusal standartları gereği kullanmakta olduğu farklı ray çeşitleri mevcuttur.

UIC 860 (Ray Temini İçin Teknik Şartname) üretilmekte olan demiryolu raylarının karşılamak zorunda olduğu malzeme özelliklerini belirtmektedir. Avrupa Standardı EN 13674'ün aksine üretim için gerekli olan şartlar kesin bir biçimde tanımlanmamaktadır. En son değişiklikler 1986 yılında yapılmıştır ve sonuç olarak UIC 860 o zamanın en gelişmiş olan en son teknolojisini yansıtmaktadır. Bu standardın çekme direnci yalnızca dört demiryolu rayı çelik kalitesini (700, 900A, 900B, 1100) tanımlamaktadır. (Çizelge 3.1)

Çizelge 3.1. UIC 860'a göre ray çeliği kalitesi, kimyasal kompozisyon ve mekanik değerleri

Kalite	Kimyasal Kompozisyon						Çekme Dayanımı R_m (N/mm ²)	Kırılma sonrası yüzde uzama (A_5)
	C %	Mn%	Si%	Cr%	P_{maks} %	S_{maks} %		
700	0,40-0,60	0,80-1,25	0,05-0,35	-	0,05	0,05	680-830	≥ 14
900A	0,60-0,80	0,80-1,30	0,10-0,50	-	0,04	0,04	880-1030	≥ 10
900B	0,55-0,75	1,30-1,70	0,10-0,50	-	0,04	0,04		
1100	0,60-0,82	0,80-1,30	0,30-0,90	0,80-1,30	0,03	0,03	≥ 1080	≥ 9

Avrupa standardı EN 13674-1 (Demiryolu uygulamaları – Demiryolu hattı – Ray – Bölüm 1: 46 kg/m ve üzeri Vignole Demiryolu Rayları) ise sertlik derecelerine göre yedi tane demiryolu kalitesini (R200, R220, R260, R260Mn, R320Cr, R350HT, R350LHT) tarif etmektedir. (Çizelge 3.2)

Çizelge 3.2: EN 13674'e göre ray çeliği kalitesi, kimyasal kompozisyon ve mekanik değerleri

Kimyasal Kompozisyon / Mekanik Özellikler											
Çelik Kalitesi	% Hacim								Rm. min MPa	Minimum Uzama A (%)	Merkez Hattı Sertlik HB
	C%	Si%	Mn%	P _{maks}	S _{maks}	Cr _{maks}	Al _{maks}	V _{maks}	N _{maks}		
R 200	Sıvı	0,40-0,60	0,15-0,58	0,70-1,20	0,035	0,15	0,004	0,030	0,009	680	14
	Katı	0,38-0,62	0,13-0,60	0,65-1,25	0,040	0,15	0,004	0,030	0,010		
R 220	Sıvı	0,50-0,60	0,20-0,60	1,00-1,25	0,025	0,15	0,004	0,030	0,009	770	12
	Katı	0,48-0,62	0,18-0,62	0,95-1,30	0,030	0,15	0,004	0,030	0,010		
R 260	Sıvı	0,62-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	0,025	0,15	0,004	0,030	0,009	880	10
	Katı	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,030	0,15	0,004	0,030	0,010		
R 260 Mn	Sıvı	0,55-0,75	0,15-0,60	1,30-1,70	0,025	0,15	0,004	0,030	0,009	880	10
	Katı	0,53-0,77	0,13-0,62	1,25-1,75	0,030	0,15	0,004	0,030	0,010		

Çizelge 3.2: EN 13674'e göre ray çeliği kalitesi, kimyasal kompozisyon ve mekanik değerleri (devam)

	Sıvı	0,60-0,80	0,50-1,10	0,80-1,20	0,020	0,025	0,80-1,20	0,004	0,18	0,009	1080	9	320-360
R 320 Cr	Katı	0,58-0,82	0,48-1,12	0,75-1,25	0,025	0,030	0,75-1,25	0,004	0,20	0,010			
R 350 HT	Sıvı	0,72-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	0,020	0,025	0,15	0,004	0,030	0,009	1175	9	350-390
	Katı	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,025	0,030	0,15	0,004	0,030	0,010			
R350 LHT	Sıvı	0,72-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	0,020	0,025	0,30	0,004	0,030	0,009	1175	9	350-390
	Katı	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,025	0,030	0,30	0,004	0,030	0,010			

TCDD bünyesinde kullanılmakta olan rayların birçoğu ve yeni alınmakta olan raylar; 49E1 (49,43 kg/m) ve 60E1 (60,34 kg/m) raylarıdır. Bu ray kalitelerinin 49E1 veya 60E1 diye nitelendirilmesinin sebebi: 60E1 ray profilinin boyutlarının 49E1 ray profiline göre daha büyük olmasından dolayı meydana gelen ağırlıktaki artıştır (metrede 60 kg-60E1 için veya metrede 49 kg-49E1 için).

Eski UIC 860 standardında S49 ve UIC60 diye geçen ray profilleri yeni EN13674-1 standardında 49E1 (49,43 kg/m) ve 60E1 (60,34 kg/m) olarak değişmiştir. (Çizelge 3.3)

Çizelge 3.3: Uluslararası standartlarda geçen 49,43 kg/m ve 60,34 kg/m rayların eski ve yeni isimlendirilmeleri

Uluslararası Standart	49,43 kg/m’lik raylar (metresi 49,43 kg)	60,34 kg/m’lik raylar (metresi 60,34 kg)
UIC 860	S49	UIC60
EN 13674-1	49E1	60E1

Dünya’da yaygın olarak kullanılmakta olduğu gibi Türkiye’de de kullanılan 49E1 (49,43 kg/m) ve 60E1 (60,34 kg/m) rayları, EN 13674-1 (Demiryolu uygulamaları – Demiryolu hattı – Ray – Bölüm 1: 46 kg/m ve üzeri Vignole demiryolu rayları) standardında sertlik derecelerine göre yapılan yedi adet (R200, R220, R260, R260Mn, R320Cr, R350HT, R350LHT) kalite grubundan R260 grubu içerisinde yer alır yani 260 HB sertliğe sahiptir. Bu çalışma boyunca bu bilgi göz önünde bulundurulmalıdır.

49E1 (49,43 kg/m) ve 60E1 (60,34 kg/m) raylarının, EN 13674-1 ve EN13674-2 standartlarına göre içinde bulunduğu R260 grubuna ait bazı teknik bilgiler aşağıda verilmektedir:

Çizelge 3.4: R260 raylara ait bazı teknik bilgiler

Çelik türü (Yeni) EN 13674-1	Ray Kalitesi (Eski) UIC 860	Sertlik aralığı (yeni) HBW*	Asgari Çekme Mukavemeti (eski) (N/mm ²)	Cinsi	Hadde işareti (Sembol)
R 260	900 A	260-300	880	Karbon- mangan çeliği (C- Mn)	

HBW*= Brinell ölçeğine göre sertlik

YHT hatlarında kullanılan tek tip ray çeşidi, diğer hatlarda ise en yaygın olarak kullanılan ray çeşidi R260 cinsi 60E1 tip raylardır. 60E1 tip rayların diğer ray çeşitlerine göre daha çok kullanılmasının sebebi kesit büyümesinden dolayı oluşan mekanik değerlerin artış göstermesidir. (Çizelge 3.5)

Çizelge 3.5: 49E1 ve 60E1 rayların mekanik özellikleri (Arlı ve Öztürk, 2009)

Ray Tipi	Kesit Alanı (A _k)(mm ²)	Birim Uzunluk Kütlesi (m)(kg/m)	Mukavemet Momenti (W)(cm ³)	Atalet Momenti (I)(x10 ⁻⁸ m ⁴)	Eğilme Rijitliği (EI)(x10 ⁶ Nm ²)	Kesme Faktörü (γ)
49E1	6297	49,43	248	1819	3,82	1,33
60E1	7687	60,34	377	3055	6,42	0,97

Şöyle ki Çizelge 3.5’de görüldüğü üzere:

- ✓ 60E1 rayların mukavemet momenti yani sürekli şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı direnci daha yüksektir,

- ✓ 60E1 tipi rayların atalet momenti yani burulma, eğilme veya şekil değiştirmeye karşı direnci daha yüksektir,
- ✓ 60E1 rayların eğilme rijitliği yani malzemenin kesiti boyunca eğilmeye veya çarpılmaya karşı gösterdiği direnç daha yüksektir,
- ✓ 49E1 tipi rayların kesme faktörünün ise 60E1 tipi raylara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bu yüzden 49E1 tipi rayların deformasyona uğrama olasılıkları daha yüksektir.

Bu bilgilere dayanarak “UIC 715-2 Ray değerlendirilmesi için tavsiyeler” teknik şartnamesinin 1.1.2. nolu maddesinde de belirtildiği üzere; yorulma dayanımı ve diğer nedenlere bağlı olarak 60E1 (UIC60) rayının, ağır yük taşımacılığı yapılan konvansiyonel hatlarda ve hızlı tren yollarında tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.

Ayrıca yollarda serili olan her bir rayın üzerine hadde işareti uygulanmaktadır. Bu sayede kullanılmakta olan ray üzerinden dahi rayın menşei ve kalitesi gibi birçok konuda bilgi alınabilmektedir.

Örneğin: rayın gövde kısmında yazan KARDEMİR 07 TÜRKİYE 100.A.10 ifadesi ile:

KARDEMİR : imalatı yapan firma,
 07 : imalat tarihini (2007),
 TÜRKİYE : hangi ülke için imal edildiğini,
 100.A.10 : pota adedini, çekilen rayın potadan çekilen kaçınıcı ray olduğunu gösterir.

Çeliğin kalitesi ile ilgili olarak ise yine hadde işareti uygulanmaktadır:

Çizelge 3.6: Rayların üzerindeki hadde işaretleri ve anlamları

Kalite	Sembol
700	Sembol yok
900 A	==
900 B	===
1100	====

3.3.3. Rayların ısıt işlemleri

Araştırmalar sonunda deney numunelerinde ray çelikleri için yapılacak optimum ısıt işlemlerde çeliğin maksimum K_c değeri ve minimum çatlak büyüme hızına sahip olması gerektiği bulunmuştur. Bu gereksinimler için bütün ısıt işlemlerin veya soğutma-ısıtma işlemlerinin 420-450 °C veya izotermal soğumanın 450-550 °C sıcaklığında, sertlik değerlerinin ise 35-45 HRC değerleri arasında olması gerektiğini göstermiştir. (Rogova, et al., 1989) Eğer daha yüksek sertlik değeri elde edilmek isteniyorsa (45-50 HRC) en iyi aşınma direnci düşük beynit yapıya izotermal soğuma ile gerçekleşecektir. (ASM, 2005)

Bir önceki bölümde bahsettiğimiz üzere standart ray malzemesi yaygın olarak kullanılan yapı çeliklerine nispeten yüksek oranda karbon (yaklaşık %0,7) içerir. Ray ile ilgili standartlarda bahsedilen tüm malzeme çeşitleri, yüzey sertliklerine göre sınıflandırılmış ve tam perlitik yapıya sahiptirler. Sınıflandırılan bu ray çeşitlerinin nerede kullanılacağı birkaç faktöre ve bu faktörlerin rayın uygulaması yapılacak olan yer, maksimum aks yükü, kurp yarıçapı, dever, hız, yıllık geçen tonaj, yağlama işlemi ve hava şartları gibi etkenlerle olan etkileşimine bağlıdır. Ray malzemesi, uluslararası standartlarda tanımlandığı gibi iki ürün çeşidine ayrılmaktadır: doğal sertlikteki raylar ve mantarı sertleştirilmiş raylar (ince perlitik). (Schmid, et al., 2010)

Ray kalitesi R260 (900A) için rayın yüksekliğindeki aşınma oranı; yaklaşık olarak her 100 milyon gross tonluk (MGT) yük başına düz yollarda (aliyman) yaklaşık 0,7-1 mm ve yaklaşık 600 m yarıçaplı kurplarda ise 2-3 mm aşınma oranı göstermektedir. (Lichtberger, 2005) Daha küçük yarıçaplı kurplarda ise R260 kalite rayın aşınma direnci yeterli olmayacaktır ve bu durumda aşınmaya dayanım için raylara ısıt işlem uygulanması gerekecektir.

Isıt işlem, alaşımlandırma ile karşılaştırıldığında kazandırdığı tokluk değerlerindeki artıştan dolayı diğer bütün yöntemlere göre daha büyük talep görmektedir. Raylara uygulanan ısıt işlem tüm raya olduğu gibi sadece ray mantarına da uygulanabilmektedir. Sadece ray mantarına uygulandığı durumda o bölge için çok büyük aşınma dayanımı sağlayan 1200–1350 N/mm² (350–400 HB) arasındaki değerlerde çekme dayanımına

sahip olurken, ray gövdesi ve tabanında ise standart raylarda olduğu gibi 900 N/mm²'lik çekme dayanımı değerlerini korumaktadır. (Esveld, 2001)

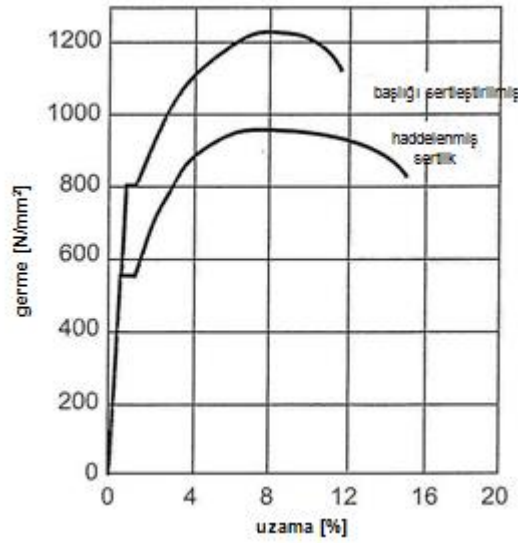
3.3.3.1. Doğal sertlikteki raylar

Haddemeleme işleminden sonra standart (düşük alaşımlı) ray çeşitleri doğal olarak soğutulur ve genellikle “doğal” sertlikte teslim edilir. Bunlar, kristalleşme durumuna göre adlandırılan perlitik (sert karbonlu pik demir) raylardır. (Arlı ve Öztürk, 2009) Perlitik çeliklerde, dayanıklılık ve tokluk üretim prosesi sırasında mikroyapı gelişiminin kontrolü ile sağlanır. Farklı doğal sertlikteki rayların oluşma sebebi karbon oranının farklı değerlerde olmasıdır. Karbon oranının artması ile sertlik, dayanıklılık ve aşınma direnci artar.

Ayrıca, alaşımlandırılmış doğal sertlikteki raylar geliştirilmektedir. Alaşım elementleri (krom, molibden vb.) havada soğumadan sonra daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmak için üretim sırasında katırlılar ve böylece aşınma direnci artar. (Madler, et al. 2008)

3.3.3.2. Mantarı sertleştirilmiş raylar

Tarih boyunca ray malzemesinin araştırılması için birincil hedef, daha uzun süre kullanım ömrü sağlayacak aşınma direncini ve dayanıklılığı artırmak olmuştur. (Schmid, et al., 2010) Bu kazançları sağlamak için ise ray mikroyapısı iyileştirilmeye çalışılmıştır ve böylece yüzey sertliği artmıştır. Rayın tamamı yerine yalnız mantar kısmına ısıtılma işlemi uygulanması bugün en çok kullanılan bir yöntemdir ve rayı daha iyi bir servis ömrü sağlamaktadır. (Şekil 3.9)



Şekil 3.9: Mantarı sertleştirilmiş raylar ve doğal olarak sert rayların germe-gerilme çizelgesi (Lichtberger, 2005)

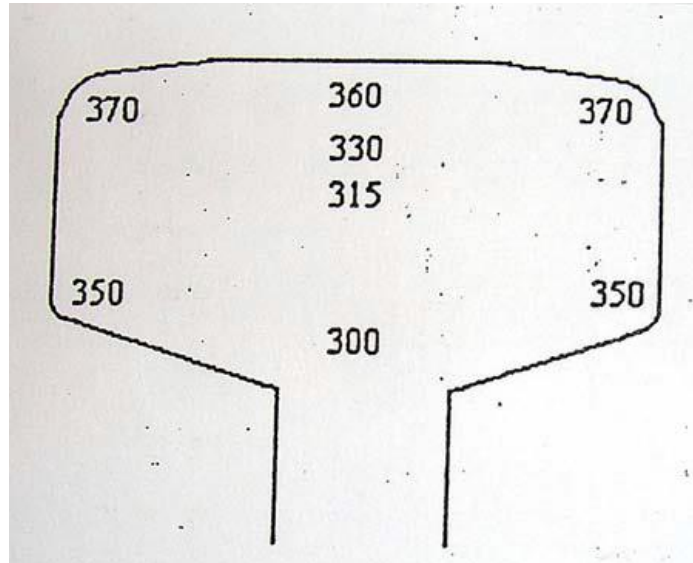
Sert çelik elde etmek için ray mantarlarında ısıtım işlemi uygulanmaktadır. Bu yöntem genellikle % 0,6-0,75 C, % 0,7-1,0 Mn içeren raylara uygulanmaktadır. Japonya’da JIS ve JRS standartlarına uygun çelikler için ray mantarı yüzeyinde sertlik 50 ± 3 Shore, kesitinde ise maksimum 390 HV sertliğindedir. Sertlik derinliği 14-40 mm aralığındadır.

Su verme ve temperleme (Q&T) ısıtım işleminde ray mantarı 815°C ’de östenitlendikten sonra su ile soğutularak martenzit bir yapı elde edilip, sonra tekrar yaklaşık 550°C ’ye ısıtılıp su veya hava ile soğutulmak suretiyle menevişlenmektedir. Mantarın bu işlemlerden sonra etkilenen yapısı sorbit şeklinde çok ince perlitlerden oluşmaktadır. (Kökçe, 2002, s:121)

Haddeleme sonrası sertleştirme ısıtım işlemi Off-Line (hat dışı) sertleştirme ya da In-Line (hat içi) sertleştirme olarak gerçekleştirilir:

- a) Off-Line Isıl İşlem Metodu:** Off-Line yönteminde doğrultma sonrası ısıtım işlem ünitesine transfer edilen rayların mantar kısmı indüksiyon bobinleri ile ısıtılır. Ray, askı şeklindeki ve mantar kısmını kuşatan indüksiyon bobinlerinin altından

sabit bir hızda hareket ederek hava jetlerinin olduğu soğutma bölümüne girer ve arzu edilen dönüşüm sıcaklığına kadar basınçlı hava ile soğutulur. Örneğin: % 0,78 C ve % 0,9 Mn bileşimine sahip yalın karbon rayının mantar sıcaklığı 1050 °C'ye kadar çıkarılır. Bu sıcaklıktan itibaren 3-4 °C/sn hızla 500 °C'ye kadar basınçlı hava ile soğutulur ve sonra havada serbest soğumaya bırakılır. Bu hızlandırılmış soğutma, yüksek sertlik ve mukavemetlikte çok ince bir perlitik yapının elde edilmesiyle orantılıdır. Bu işlem perlitik yapının sertliğini 280 HB'den 360 HB'ye çıkartır. Fakat bu yöntem ile rayın östenize olan ve tam östenize olmayan kısımları arasında bir sınır şeklinde mikroyapı farklılığı oluşma ihtimali çok yüksektir. Dolayısıyla son ürünün mekanik özellikleri açısından bu bir dezavantajdır. (Şekil 3.10) (Brantfitt, 1994)



Şekil 3.10: Mantarı sertleştirilmiş rayın mantar kısmı sertlik dağılımı (Kalaycıoğlu, 2006)

b) In-Line Isıl İşlem Metodu: Voest-Alpine firması tarafından geliştirilen bir yöntem olan hat içi sertleştirmede ray, doğrudan haddeleme işleminin dışında sertleştirme tesisine taşınır. In-Line sertleştirme yönteminde haddeleme sonrası yaklaşık 900 °C olan ray hiçbir ek ısıtma olmaksızın otomasyon kontrollü su

jetleri ile 3-5 °C/s hızla 550-650 °C'ye kadar soğutulur ve en sonunda da ray yaklaşık 60°C'ye soğutulduğunda güçlendirilir ve test edilir. Bu yöntemin avantajı maliyetinin daha düşük olması ve yapıdaki sertlik derinliğinin daha fazla olmasıdır. Haddeme sonrası sıcaklığında mantar kısmı tümüyle östenit fazındadır. Dolayısı ile soğutma sonrası daha üniform bir mantar mikro yapısı elde edilir. Bunun yanında rayın farklı kısımları için farklı sertlik değerleri elde edilebilir. Böylece delinmesi gereken kısımlar olan flanş ve ayakların daha düşük sertlik değerlerinde olması sağlanabilir. (Economopolous and Lambert, 1990)

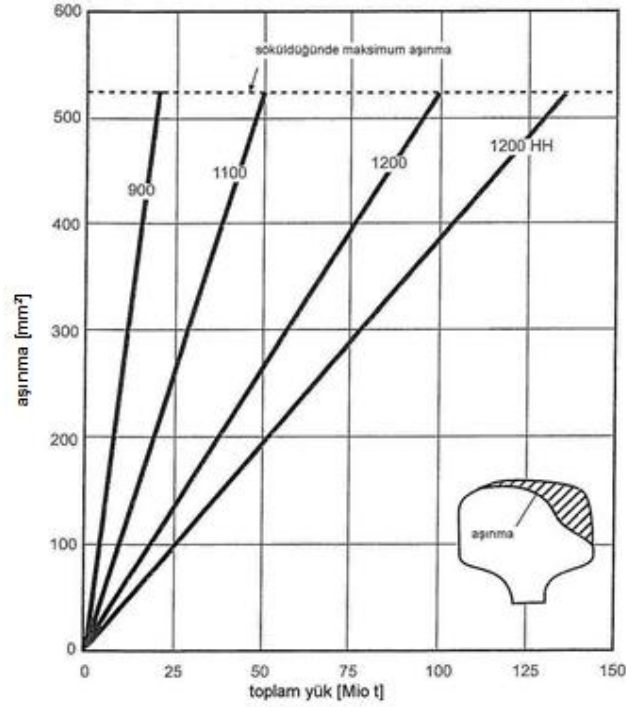
3.3.4. Rayların mekanik dayanımı

3.3.4.1. Aşınma dayanımı

Aşınma dayanımı, lameller arası boşluğa bağlı olduğu kadar karbon içeriği ve diğer alaşım elementlerinin katkısına da bağlıdır. Bunun anlamı normal şartlar altında aşınma direnci, çekme dayanımı ile orantılı olan sertlik ile birlikte artar. Sertlik, Avrupa kıtası dışında ve 2001 senesinden itibaren Avrupa'da da ray kalitesini veya çekme dayanımını belirlemek için kullanılır. En önemli sertlik ölçüleri Vickers (HV) ve Brinell (HB)'dir.

Çekme dayanımının 200 N/mm² artması ile abrasif aşınma yaklaşık %50 düşer. Bu eğilim işletme testleri ile doğrulanmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda ray mantarındaki alanın; DB ve SBB demiryollarındaki kurplu yollarda 100 milyon gross tonda ve 200 – 220 kN dingil yükünde, Almanya'daki ağır maden taşımacılığının yapıldığı 340 kN değerindeki dingil yüklerinde mm² cinsinden kayba uğradığı bulunmuştur. Her durumda tekerlek bodenleri yağlanmıştır. Beklenildiği üzere, mevcut yol koşulları nedeniyle gerçek işletme koşulları bu şekilde tanımlanan laboratuvar koşullarından daha kapsamlı sonuçlar vermektedir. Yüksek çekme dayanımına sahip çeliklerin kullanılması ile ray mantarındaki plastik deformasyona olan direncin artırılmasında ilave bir avantaj sağlanmaktadır.

NS (Norfolk Southern Demiryolları, ABD), R260Mn (900B) kalite rayın R200 (700) kalite raya göre yanal aşınmasının üç kat daha düşük olduğunu tecrübe etmiştir. R320 Cr (1100) raydaki aşınma ise R260Mn (900B) raydakinden iki veya üç kez daha düşüktür. R260Mn (900B) rayın yağlanması ile R320Cr (1100) kalite raya denk aşınma oranı sağlanmaktadır. R320Cr (1100) kalite rayın yağlanması ise sadece ufak kazanımlar sağlamaktadır. Mantarı sertleştirilmiş ray ise R260 (900A) raya göre en az üç kat, R320Cr (1100) raya göre ise iki kat daha yüksek aşınma direnci sergilemektedir. (Şekil 3.11) (Lichtberger, 2005)

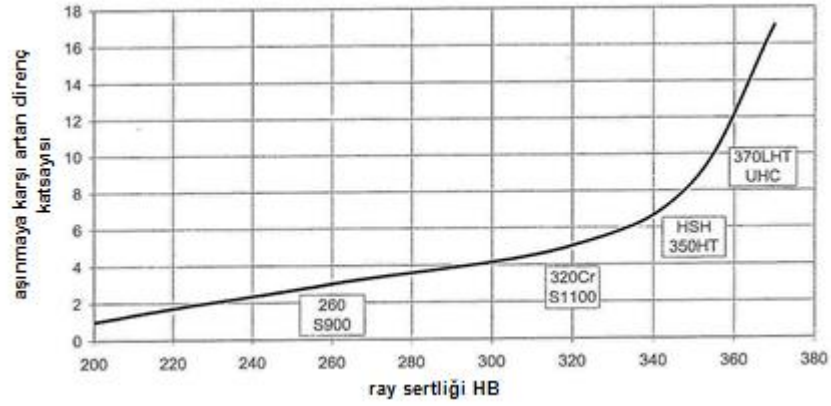


Şekil 3.11: 300 m test kavisinde çeşitli ray çeliklerine ait aşınma oranlarının karşılaştırılması (Lichtberger, 2005)

Ray mantarındaki dikey aşınma yaklaşık olarak toplam tonajla orantılıdır. Eğer tekerlek bodenleri yağlanırsa, 900 N/mm^2 çekme dayanımlı raylardaki dikey aşınma her 100 MGT için yaklaşık 1 mm'dir. Yağlama yapılmaksızın bu değer her 100 MGT için 1 ile 2 mm arasındadır. (Esveld, 2001)

Ray aşınmasını önlemek için birkaç yöntem olduğu bilinmektedir. Bunlar:

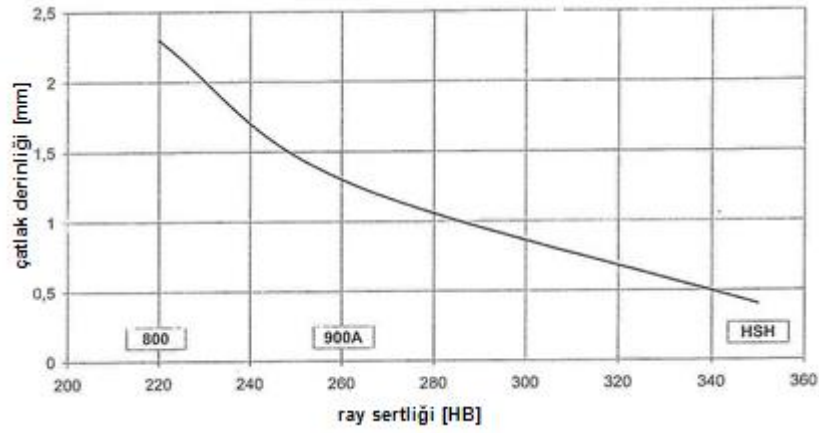
- Ray yağlayıcılarının kullanılması,
- Tekerlek-ray basıncını azaltacak şekilde ray profilini değiştirmek,
- Ray sertliğini arttırmak. (Pan and Shumilin,1994)



Şekil 3.12: 200 HB sertliğinde raylarla karşılaştırıldığında yüksek kaliteli rayların aşınmaya karşı artan direnç değerleri (Lichtberger, 2005)

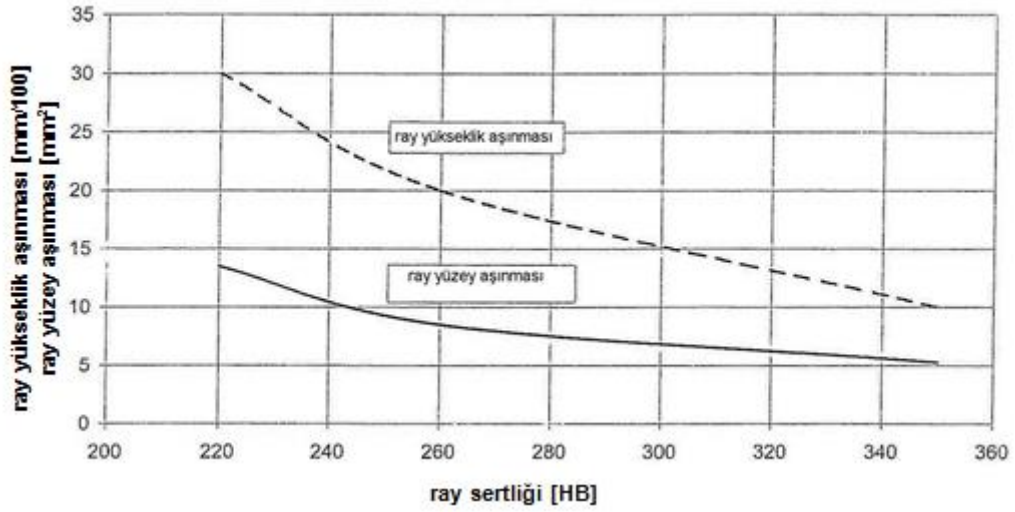
Çeşitli ray tiplerinin aşınmaya karşı direncini R200 ray tipinin direnciyle karşılaştıran Şekil 3.12 yukarıda gösterilmektedir. Bu tabloda; UHC (ultra yüksek karbon) içeren ray türlerine kadar en az 350 HB (350HT, 350 LHT) sertlik değerlerinde ısıtılmış rayların aşınmasının önemli ölçüde azaltıldığını göstermektedir. (Lichtberger, 2005)

Kullanılan rayların sertliğine bağlı olarak gelişen çatlakların derinliği Şekil 3.13'de gösterilmektedir. Mantarı sertleştirilmiş raylardaki çatlakların derinliğinin 900A standardı kalitesinde raylar üzerinde gelişen derinliklerin yalnızca üçte biri kadar olduğu bu tablodan görülebilmektedir. (Lichtberger, 2005)



Şekil 3.13: Farklı sertlikteki raylar üzerinde çatlakların derinliği (Lichtberger, 2005)

Şekil 3.14’de ise hem yükseklik hem de yüzey alanında test edilen rayların aşınmasını göstermektedir. Bu tablo ise mantarı sertleştirilmiş rayların, yaygın olarak kullanılan 900A (R260) kalitesindeki rayların aşınmasının %40 altında olduğu gözlemlenmektedir. (Lichtberger, 2005)



Şekil 3.14: Farklı sertlikteki rayların raydaki yüzey ve yükseklik aşınması (Lichtberger, 2005)

3.3.4.2. Kalıntı gerilme faktörü

Geçmiş imal proseslerinden kaynaklanan kalıntı gerilme, gevrek kırılma riski gibi güvenlik ile ilgili durumlarda önemli bir etkiye sahiptir. Yuvarlanma yüzeyi kılcal çatlak olayının içeriğinde kalıntı gerilmenin çatlak başlangıcında etkisinin olmadığı fakat çatlak ilerlemesinde muazzam etkisinin olduğu bilinmektedir. Ray üretim süreci normalde merdane ile doğrultma işlemini de içerir. Bu işlem ray mantarı ve ray gövdesinin her ikisi için de istenilmeyen çekme gerilmelerine yol açar. Aşağıdaki tabloda gösterildiği gibi, ısıtılma işleminden sonra merdane ile düzeltilmiş ısıtılma işlemli raylar istenilmeyen kalıntı gerilmelere sahiptir. Buna karşın, bu ardışık üretim süreci tüm ısıtılma işlemli rayların neredeyse tamamına uygulanmaktadır. (Çizelge 3.7)

Çizelge 3.7: Raydaki Kalıntı Gerilmeler

Ray Koşulları	Boyuna Gerilim (MPa)			Testere ile Kesilmiş Yerlerin Testi (mm)
	Mantar	Gövde	Ayak	
Doğrultmadan önce ısıtılma işlemsiz	+30	-20	+30	+0,2
Standart doğrultulmuş ve ısıtılma işlemsiz	+180	-160	+220	+1,8
Doğrultulmamış ve In-Line yöntemi ile ısıtılma işlem görmüş	-140	+150	+64	-1,6
Doğrultulmuş ve In-Line yöntemi ile ısıtılma işlem görmüş	+270	-160	+330	+2,8
(+) çekme dayanımını ve (-) basma dayanımını ifade eder. Not: Testere ile Kesilmiş Yerlerin Testi ray mantarının kesilmesini ve kesilen yüzeylerden alınan ölçümleri ifade etmektedir.				

1999 yılında Perrin, birkaç yıldır ticari faaliyetlerde kullanılan yeni bir sertleştirme prosesini önermiştir (Çizelge 3.7). Bu yöntemin merdane ile düzeltme gerektiren diğer yöntemlerden farkı, raylar ısıtılma işleminden önce doğrultulmuştur ve bu prosesin doğası

gereği ısıt ışlemden ayrılması durumunda raylar doğrultulamazlar. Bu sonuçların ray mantarı ve tabanında basma gerilimi kazancı ile güvenlik değerlerinde artış sağlanmaktadır. (Schmid, et al., 2010)

3.3.4.3. Yorulma dayanımı

Yorulma bir malzemede devamlı yüklerin etkisi ile oluşan gerilmenin yorulma limitine ulaştığı zaman malzemenin mekanik dayanımının kademeli olarak azalmasıdır. Yorulma limitinin altındaki gerilmelerde bu olay olmaz.

Metallerde yorulmanın sebebi baştan beri bulunan kristaller arasındaki boşluklardır. Eğer gerilme çok küçük olursa içerideki bu boşluklar yayılamaz ve denge sağlanmış olur. Fakat gerilmeler yorulma limitine ulaştığı zaman boşluklar yayılır, genişler ve gözle görünebilir deformasyonlar olmaksızın malzemenin bozulmasına sebep olur. Boşlukların ray mantar yüzeyinin %55’den daha fazlasını kaplaması durumunda rayın kırılma riski çok yüksektir. (Lichtberger, 2005)

Ray veya kaynak, 0 (sıfır) ile hiçbir çatlak oluşmaksızın gelişen yorulma gerilmesi arasında minimum 2×10^6 gerilme tekrarına dayanabilmelidir.

Ray yorulma analizleri sonucunda:

- Maksimum kesme kuvveti mantar yüzeyinden 6 mm aşağıda oluşur,
- Maksimum gerilmeler düşeyden 30° eğimdeki düzlemlerde olur,
- Tekerlek çapının arttırılması ray içindeki boşlukları arttırır,
- Yorulmaya sebep olan ray içindeki boşluklar, tekerlek yükü Q’nn 4’e yakın olmak üzere 3-4 ssyle orantılıdır. (Lichtberger, 2005)

Yorulma dayanımı aşırı yük durumuna dayanma için muazzam önemlidir. Eğer bu değer çok düşükse çatlaklar ve kabuklanma gibi durumlar oluşabilir. Haddelenmiş rayların yorulma dayanımı çekme dayanımı ile lineer olarak artar. Fakat işletme sırasında korozyondan dolayı tekrar düşer. (Esveld, 2001)

Çatlaklar her zaman dış hasarlardan veya i kusurlardan kaynaklanan entiklerden başlarlar. Bu sebeple düşük metalik olmayan inklüzyonlar ve düşük hidrojen katkısı

açısından saflık çok önemlidir. EN 13674 standardı rayların güvenilirliğini arttırmak amacıyla kabul edilebilir yüzey kusurları için limitleri belirtmektedir.

1,25 m boyundaki bir raya 20 Mpa basınç uygulaması ile yapılan dört noktalı eğme testinden alınan sonuçlar şunlardır:

- Haddelenmiş ray: $300 \pm 20 \text{ N/mm}^2$
- Kullanılmış ray: $220 \pm 20 \text{ N/mm}^2$
- Alın kaynaklı ray: $200 \pm 20 \text{ N/mm}^2$
- Termit kaynaklı ray: $180 \pm 20 \text{ N/mm}^2$

Literatürdeki değerler ile karşılaştırıldığında bu değerler nispeten düşüktür. (Esveld, 2001)

3.3.4.4. Kırılma mekanikleri

Rayların kırılmaya karşı emniyeti, demiryolu trafiği için kesin öneme sahiptir. Kırılma mekanikleri bu özelliği değerlendirmek için kullanılabilir. Gerçekte iki temel yaklaşım mevcuttur: kritik gerilim şiddet faktörü K_{IC} olarak adlandırılan kırılma tokluğu ve çatlak ilerleme hızı.

Dolu raylar için gerilme şiddeti faktörü değerlendirilirken kalıntı gerilmeler dikkate alınmalıdır.

Çatlaklar daima dış hasarlar veya iç kusurlardan kaynaklanabilen çentiklerden başlar. Bu nedenle yüksek seviyede temizlik yani düşük metalik olmayan bileşim muhtevası ve düşük hidrojen muhtevası önemlidir. Örneğin kaynaklanmış raylarda kaynak bölgesinin dayanımı eğilme testi ile kontrol edilmektedir. Aşağıdaki değerler eğilme dayanımı için NS (Norfolk Southern Demiryolları, ABD)'de kullanılır:

- Haddeli ray: $300 \pm 20 \text{ N/mm}^2$
- Kullanılmış ray yakma alın kaynağı: $220 \pm 20 \text{ N/mm}^2$
- Termit kaynağı: $180 \pm 20 \text{ N/mm}^2$

Bu değerler 1,25 m'lik bir ray destekleme köprüsü ile 4 noktadan eğme testinde elde edilir ve minimum 20 N/mm^2 'lik gerilim uygulanır. (Esveld, 2001)

3.3.5. Beynitik raylar

Beynitik raylar 1980 yılından itibaren demiryolu hatları üzerinde test edilmektedir. Üretim teknolojisi diğer tip raylara göre çok daha kompleks ve pahalı olduğu için endüstriyel olarak üretilmeye henüz başlanmamıştır.

Geçmişte beynitik ve martenzitik çelikler yüksek karbon içerdiğinden dolayı perlitik çeliklere göre daha az aşınma dayanımı verdiği için kullanılmamışlardır. Daha sonraki çalışmalarda ise karbon oranı düşürülerek beynitik çeliklerin dayanımı arttırılmıştır. Düşük karbonlu beynitik çelikler yüksek tokluğa sahip olup darbe direnci ve temas yorulma çatlaklarına karşı daha dayanımlıdır. (Singh, et al., 2001)

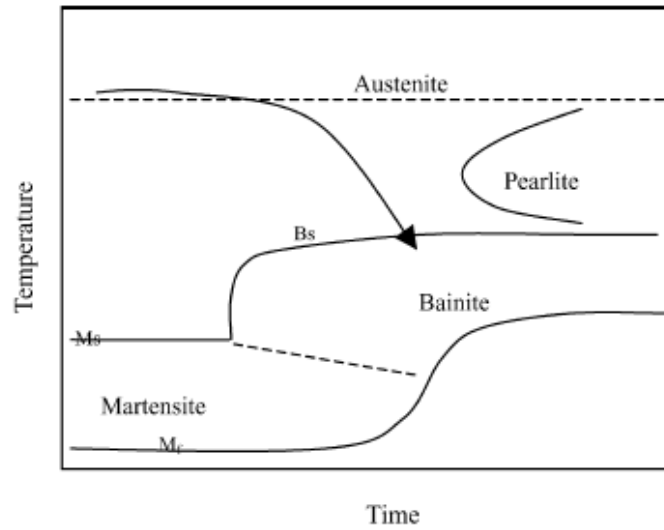
Alpine Donawitz şirketinin (DOBAIN rayı adı verilen) başlığı sertleştirilmiş rayları, Avusturya'da Semmering hattıyla birlikte Almanya'da RWE Rheinbahn demiryolu hattında şu anda test edilmektedir. Şimdiye kadar her iki test bölümü de başlık çatlakların gelişimine karşı beklenen yüksek direnci göstermişlerdir. Başlık çatlakları, karşılaştırma amacıyla yerleştirilen HSH rayında da ortaya çıkmıştır, oysa DOBAIN rayı hala yuvarlanma teması kusurları içermemektedir. (Lichtberger, 2005)

Perlitik raylara alternatif olarak bu rayların geliştirilmesinin başlıca nedeni daha iyi bir ray aşınma dayanımından çok, daha iyi bir yorulma dayanımı elde etmektir. Yorulma ve aşınma problemlerine karşı genelde tercih edilen ray tipi 1300 MPa (N/mm^2) çekme mukavemetine sahip ısıtılmış perlitik ray olup bu rayın çeliği mukavemetini ince perlit yapısından elde etmektedir. Fakat çok ince tanecikli yapı üretiminde ve sonrasında ısıtılmış iyileştirme yönteminde bir sınırlama vardır. Beynitik çelikte mukavemet ise zararsız olan ve yüksek mukavemet sağlayan çok sayıda yer değişikliği ve ultra ince yapı ile sağlanır (Sawley & Kristan, 2003). Perlitik ray teknoloji olarak gelebilecek en üst noktaya varmak üzeredir ve bu nedenle gelecekte beynitik rayların daha ön plana çıkması beklenilmektedir. Spesifik alaşım dizaynı ile beynitik raylar, sertleştirilmiş perlitik raylardan daha yüksek dayanımlara sahiptir. (Fateh, et al., 2004)

Beynitik raylar düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerden üretilmektedir. Bu nedenle kaynaklanabilirlikleri daha yüksektir. Ayrıca sıkı dizilimli perlit ile

karşılaştırıldığında daha iyi sertliğe, akma dayancına, yorulma direncine ve aşınma direncine sahiptir ki sıkı dizilimli perlitik yapı yaygın olarak kullanılan perlitik yapıdan çok daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. (Svejkovsky & Nerzak, 2007)

Beynitik çelik; karbit, martenzitle birlikte yüksek oranda ferrit içeren çok komponentli ve perlitik raydan daha kompleks bir yapıdır. (Esveld, 2001) Genelde silisyum, krom, molibden ve ayrıca nikel, bakır, niobyum, vanadyum, titanyum veya bor alaşımlarından en az birini içerir. Beynitik yapı, östenitten izotermal dönüşümle veya sürekli soğuma dönüşümü ile oluşmaktadır ve mikroyapısı, perlitik yapıya geçiş sıcaklığının altında ve martenzit yapıya geçiş sıcaklığının üstünde östenit dönüşümü ile üretilmektedir. (Şekil 3.15) Alt beynit üst beynite göre daha yüksek dayanıma ve tokluğa sahiptir. (Davis, 1998)



Şekil 3.15: Sürekli Soğuma Dönüşüm Diyagramı

Beynit, ferrit ve sementitlerin yarı kararlı karışımıdır. Perlitik rayın mikro yapısından farklı olarak, beynitik çelikteki ferrit ayrı bir yapı biçimindedir ve karpitler ayırık durumdadır. (Fateh, et al., 2004)

Sıkı dizilimli perlitik iç yapılı çelikler (R350HT) ile beynitli çeliklerin kimyasal bileşimleri ve bazı mekanik özelliklerinin karşılaştırılmaları Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da verilmektedir.

Çizelge 3.8: Sıkı dizilimli perlit raylar ile beynitli rayların kimyasal kompozisyon olarak karşılaştırılması

RAY	C	Si	Mn	Cr	Mo	Nb	V
Perlitik	0,65-0,80	0,25-0,95	0,75-1,45	0-0,50	0	0	0-0,10
Beynitik	0,20-0,55	0,40-0,45	0,40-2,10	0-0,20	0-2,0	0-0,15	0-0,10

Çizelge 3.8’de de görüldüğü gibi, beynitli raylar için karbon oranının düşük olması ön görülmüştür. Alaşım elementleri ekleyerek de beynit oluşumunda uygulanacak olan izotermal dönüşümün olabilirliği arttırılmıştır. Dünya’da halen denenmekte olan beynitli ray çeliği üretiminde düşük karbonlu ve düşük alaşımlı çelik kullanılmakta ve iç yapısal olarak aşağı beynit oluşumuna yönlendirilerek aşınma direnci özelliği sağlanmaya çalışılmaktadır.

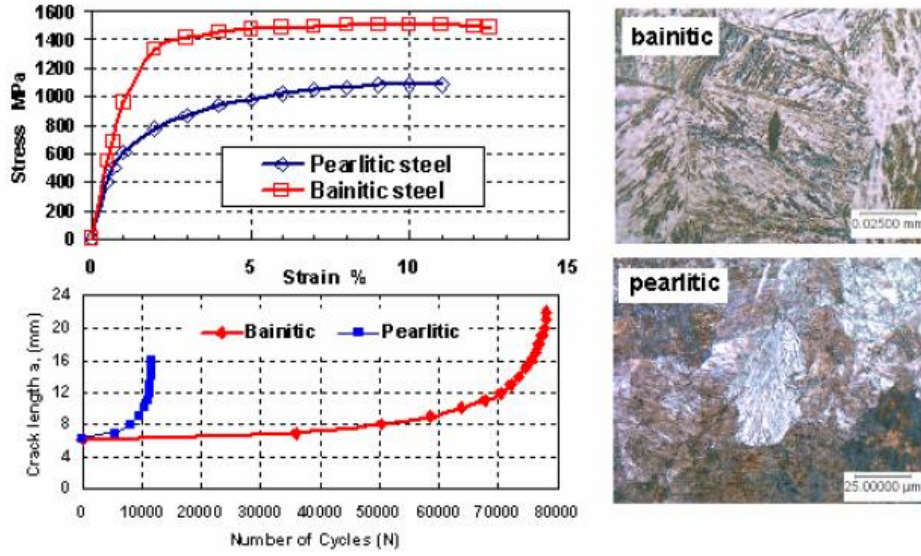
Çizelge 3.9: Sıkı dizili perlitli ray çelikleri ile beynitli çeliklerin mekanik özelliklerinin karşılaştırmaları

	Çekme Dayancı (MPa)	Çekme Uzaması (%)	Kırılma Tokluğu (MPa)	Çarpılma Tokluğu(U-Çentiği)(J)	Yorulma Dayancı (MPa)
Perlitli ray çeliği	1300	13,5	43	20	750
Beynitli ray çeliği	1420	15,5	98	39	870

Çizelge 3.9’da beynitli ray çeliklerinin özellikle çekme dayancının ve kırılma tokluğunun sıkı dizili perlitli ray çeliğine göre çok daha iyi olduğu görülmektedir. Böylelikle EN standardı R350 HT çeliğinin istenilen aşınma direnci sağlamasıyla

birlikte, beynitli içyapıya sahip ray çeliğinin R350 HT çeliğine alternatif olarak kullanılabilir olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca aşağıda Şekil 3.16'da beynitik ve perlitik ray çeliklerindeki mikroyapı, mekanik özellikleri ve yorulma ilişkileri gösterilmektedir. (U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, 2006)

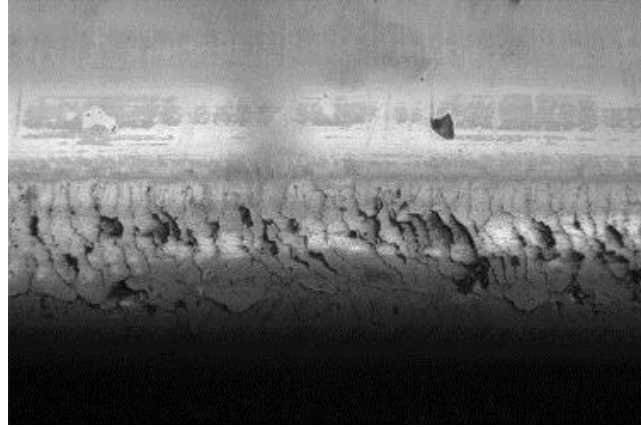


Şekil 3.16: Beynitik ve Perlitik Ray Çeliklerindeki Mikroyapı, Mekanik Özellikleri ve Yorulma İlişkileri

Yük taşımacılığı yapılan hatlarda raylarla ilgili en önemli iki sorun ray aşınması ve ray yorulma kusurlarıdır. Ray aşınması, yük hatlarında ray ömrünü belirleyen en önemli faktördür. Ray aşınması denince sadece ray-tekerlek sürtünmesi ile olan aşınma değil ray taşlamadan kaynaklanan aşınma da anlaşılır. Çünkü ray profilini düzeltmek, yüzey çatlaklarını ve yorulma kusurlarını gidermek için yapılan ray taşlama işinde ray yüzeyinden epeyce metal kaldırılmaktadır. Beynitik rayın normal aşınma dayanımı mantarı sertleştirilmiş raya göre daha az olmasına rağmen taşlama ihtiyacı daha az olduğu için ray ömrü daha fazla olmaktadır. ABD Demiryolları tarafından 250-540 m yarıçaplı kurplar için yapılan araştırmaya göre, taşlanan metalin sürtünme ile aşınan metal miktarına oranı iç rayda 1,4 ile 3,1 arasında iken, bu oran dış rayda 2,1 ile 9,8 arasında değişmektedir. Örneğin, Kuzey Amerika yük hatlarında 440 m yarıçaplı bir

kurpta yapılan ölçümlere göre mantarı sertleştirilmiş iç rayın ömrü 576 MGT ve dış rayın ömrü 468 MGT'dur. Beynitik rayın normal aşınma hızının sert raya göre iki kat fazla olduğu kabul edilse bile ray taşıma ihtiyacı %75 daha az olacağı için aynı kurptaki beynitik rayın iç raydaki ömrü 858 MGT ve dış raydaki ömrü 903 MGT olarak hesaplanacaktır. Yani beynitik rayın ömrünün, mantarı sertleştirilmiş perlitik raya göre iç rayda %50 ve dış rayda %92 daha fazla olması beklenilmektedir. (Sawley & Kristan, 2003)

Rayın aşınma toleranslarına gelmeden değiştirilmesinin en büyük nedeni de yorulma kusurlarıdır. Yük hatlarında özellikle kurbun dış rayının üstünde kavlama ile başlayan ve daha sonra yorulma neticesinde çatlamalara neden olan temas yorulma çatlakları (RCF, Rolling Contact Fatigue) vardır. (Şekil 3.17) Kurbun dış rayında tekerleğin yuvarlanma doğrultusu ile rayın doğrultusu tam çakışmadığı için yanal yükler tekerleğin yanal kayma hareketine neden olur ve bu durum da kavlamanın sebeplerinden biridir. Bu nedenle yeni ray çeliklerinin aşınma dayanımı ile yorulma dayanımı artarsa ömürleri de daha fazla olacaktır.



Şekil 3.17: Temas yorulma çatlakları (RCF)

Beynitik ve perlitik ray karakteristiklerini karşılaştırdığınız zaman ortaya çıkan genel tablo şöyledir:

- Genelde perlitik rayların aşınma dayanımı daha yüksektir, (Sawley & Kristan, 2003)

- Beynitik rayların yorulma dayanımı perlitik raylardan daha fazladır,
- Beynitik rayların kırılma tokluğu perlitik rayların hemen hemen iki katıdır,
- Her iki tip arasında yorulma, çatlak ilerleme davranışında önemli bir fark yoktur,
- Beynitik rayın kaynaklanabilmesi ve mukavemeti perlitik raya göre daha üstündür.

Kavlama, kırılma gibi temas yorulma kusurlarının önlenmesi açısından beynitik raylar perlitik raylara göre eşdeğer veya daha sütun özelliklere sahiptir. (Fateh, et al., 2004)

BÖLÜM 4

RAY KAYNAĞI

4.1. Ray Kaynağının Tarihçesi ve Amacı

Tren çalışma sıklığının, ağır dingil yüklerinin ve yüksek tren hızlarının artması gibi faktörler yola etki eden kuvvetlerin ve bağlı gerilimlerin artmasına neden olmuştur. Günümüzde halen kullanılmakta olan cebireli ray bağlantıları, tekerlek raylar arası boşluklardan geçtiğinde dikkate değer tepki kuvvetleri ortaya koyar. (Şekil 4.1) (Esveld, 2001)



Şekil 4.1: Cebireli Ray Bağlantısına Bir Örnek (Kaçer, 2008 a)

Cebire bağlantılı raylarda meydana gelen yol arızaları sebebiyle yapılan bakım çalışmalarının fazlalığı ve bu arızaların sebep olduğu diğer olumsuz durumlar demiryolunun kuruluşundan beri sorun olmaktadır. Tüm bunlardan daha önemli olarak contalarda meydana gelen ray kırılmaları ciddi kazalara yol açabilmektedir.

Sorunun çözümü için daha dayanıklı cebireler geliştirilmesine rağmen herhangi bir olumlu sonuç alınamamıştır. Bunun üzerine rayların birbirine kaynaklanması fikri gündeme gelmiş ve bu konuda yoğun çalışmalar yapılmıştır.

Bu açıdan bakıldığında aşağıda sayılan ana amaçlar doğrultusunda ray kaynağı yapılmakta ve contalar ortadan kaldırılmaktadır.

- a) Yolun tamir ve bakım masraflarını azaltmak,
- b) Yol altyapı ve üstyapısına etkiyen kuvvetleri minimize etmek,
- c) Çeken ve çekilen araçlardaki arıza ve yıpranmaları azaltmak,
- d) Konforlu bir ulaşım sağlamak.

1850’lerde Birkenshaw tarafından raylardaki bağlantı problemlerini azaltmak için 6 metre uzunluğundaki dökme demir rayların birbirine kaynatılması amaçlandı. 1895-1897 yılları arasında Dr. Goldschmidt, ray kaynağı gelişiminde bir dönüm noktası anlamına gelen Alüminotermite kaynak yöntemini kullanılabılır bir yöntem olarak geliştirdi ve demiryollarının yapımında spesifik bir kaynak prosesinin ilk önemli uygulaması oldu. Mucit; alüminotermite karışımını “Termite”, kaynak yöntemini ise “Termite Yöntemi” olarak adlandırmıştır.

Termite yöntemi, 1899’dan itibaren tramvay hatlarında kesintisiz kaynak yapmak için kullanılmaya başlanmıştır. 1902 yılında ilk olarak Macar Demiryolları trafiğe açılmamış yollarını termite yöntemine göre kaynak yapmıştır. 1910 yılında Alman eyalet demiryolları bu yöntemle başlamış ve 1928 yılında Alman İmparatorluk Demiryolları termite kaynağını 30 metre uzunluğundaki raylarda uygulamıştır.

1932 yılında ilk kez her biri 1 km uzunluğunda çok sayıda hat kesintisiz olarak termite yöntemiyle kaynak yapılmıştır. İkinci Dünya savaşıdan sonra ise Federal Almanya Demiryolları, termite yönteminin tatbikiyle tüm demiryolu ağının kesintisiz olarak kaynak yapılması kararını almıştır.

Yabancı bir firma tarafından patenti alınan ve 1955 yılında Alman Demiryollarında kullanılmaya başlanan ön ısıtmalı termite kaynağı, modern ve hızlı bir kaynak yöntemidir. 1971 yılında ise Alman Demiryollarında kısa ön ısıtmalı yöntem geliştirilmiştir. Kısa ön ısıtmalı kaynak için sadece 12 ila 15 dakika yeterlidir.

Bu gelişmelerin yanı sıra yine bu yıllar arasında (1920-1925) oksiasetilen gaz kaynağı yöntemi ile ray kaynağı gerçekleştirildi. Gaz kaynağı oldukça yaygın olarak kaynaklanmış makasların bakımı için kullanıldı ve başarılı kullanımı önemsiz küçük değişikliklerle bu güne kadar geldi. Elektrik ark kaynağının ise 1881 yılında keşfedildiği bilinir ve 1920’li yıllarda manuel metal-ark (MMA) prosesinin

uygulamasına geçilmiştir. Bu metodun raylarda uygulanması için farklı ark kaynak yöntemleri denenmiştir. Bu işlemlerde ise yakma alın kaynağı prosesi başarılı olmuş ve ilk uzun kaynaklı raylarda fabrika ortamında denemesi gerçekleştirilmiştir.

4.2. Uzun Kaynaklı Ray ve Sürekli Kaynaklı Ray

Sıcaklık değişmesi ne olursa olsun, orta kısmında sabit bir bölge bulunacak uzunluğa sahip olan ve gerilim dengelemesi yapılmış raylara UKR (Uzun Kaynaklı Ray) denir.

Devamlı kaynaklı olan, yani makaslar dâhil hiç nefes alma bölgesi bulunmayan raylara ise SKR (Sürekli Kaynaklı Ray) denir.



Şekil 4.2: UKR yollarda ısı değişimlerinin etkilediği bölgeler

Yapılan deney ve gözlemler sonucunda; ısı değişikliğine maruz kalan rayların hareketli bölgelerinin her iki uçta bağlantı malzemelerinin de durumuna göre 60 ila 75 metre civarında olduğu ve bu mesafenin en fazla 150 metreye kadar çıktığı tespit edilmiştir. Bu durumda ortada sabit bir bölge şartını sağlayabilmek için $(150 + 150 = 300 \text{ m})$ ray uzunluğu gerektiği için pratik olarak 300 m'den (ülkelere göre değişir) uzun olarak teşkil edilen kaynaklı raylara UKR denir. (Şekil 4.2)

4.2.1. Raylarda optimum sıcaklık hesaplamaları

Uzun kaynaklı veya sürekli kaynaklı yolların yapımından önce yoldaki mevcut balast miktarı, yol malzemelerinin durumu, yapılacak işlerin detaylarına dikkat edilmelidir.

Ayrıca UKR yapılacak hat kesiminde en az 1 yıl boyunca ray ısıları ölçülmelidir. Yani minimum ve maksimum sıcaklıklar tespit edilerek ortalama ve optimum sıcaklıklar hesaplanmalıdır. Bununla ilgili TCDD Yol Dairesi Başkanlığı tarafından esas alınan ve uygulanan ray kaynağı yapılması sırasında dikkat edilecek sıcaklık sınırlamaları ve çalışma aralıklarını belirten bilgiler şu şekildedir:

- Kaynağın yapıldığı illere göre yıl boyunca hava sıcaklıkları ve ray sıcaklıkları ölçümleri esas alınır. Örneğin: Türkiye için bazı illerin bulunduğu bu ölçümler ve sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1: Bazı Şehirler için UKR'li Kesimlerde Gerilim Alma İşleminin Ve Nihai Bağlantının Yapılabileceği Sıcaklık Aralıkları (Kaçer, 2008 a)

Bölge	İli	Son 50 Yılda Ölçülen Hava Sıc.		Yaklaşık Ray Sıcaklıkları		Ort. Ray Sıcaklığı	Optimum Ray Sıc.	Nihai Bağ. Yap. Sıcak. Aralığı	
		Maks A	Min. B	Maks. C=Ax1,5	Min. D=B	E= (C+D)/2	F=E+5	Min F-3	Maks s F+3
1	Edirne	42.20	-19.50	63.30	-19.50	21.90	26.90	24	30
	İstanbul	40.50	-13.90	60.75	-13.90	23.43	28.43	25	31
	Eskişehir	40.60	-23.80	60.90	-23.80	18.55	23.55	21	27
2	Zonguldak	39.50	-8.00	59.25	-8.00	25.63	30.63	28	34
	Ankara	40.80	-24.40	61.20	-24.40	18.40	23.40	20	26
	Kayseri	40.70	-31.40	61.05	-31.40	14.83	19.83	17	23
3	Bursa	43.80	-19.20	65.70	-19.20	23.25	28.25	25	31
	İzmir	42.70	-6.40	64.05	-6.40	28.83	33.83	31	37
	Denizli	42.40	-11.40	63.60	-11.40	26.10	31.10	28	34
4	Samsun	38.30	-8.10	57.45	-8.10	24.68	29.68	27	33
	Sivas	40.00	-34.60	60.00	-34.60	12.70	17.70	15	21
	Erzurum	35.60	-37.00	53.40	-37.00	8.20	13.20	10	16
5	Van	37.50	-28.70	56.25	-28.70	13.78	18.78	16	22
	Malatya	42.20	-22.20	63.30	-22.20	20.55	25.55	23	29
	Diyarbakır	45.90	-23.00	68.85	-23.00	22.93	27.93	25	31
6	Gaziantep	44.00	-17.50	66.00	-17.50	24.25	29.25	26	32
	Şanlıurfa	46.80	-11.40	70.20	-11.40	29.40	34.40	31	37
	Adana	45.60	-8.10	68.40	-8.10	30.15	35.15	32	38
7	Bursa	43.80	-19.20	65.70	-19.20	23.25	28.25	25	31
	Afyon	39.80	-27.00	59.70	-27.00	16.35	21.35	18	24

- Optimum ray sıcaklığı olarak verilen değer ortalama ray sıcaklığına +5 °C eklenerek elde edilir.

Örneğin: Ankara için optimum sıcaklık 23,40°C, Adana için 35,15°C'dir. (Bkz. Çizelge 4.1)

- Bulunan optimum ray sıcaklığının $\pm 3^{\circ}\text{C}$ aralığına çalışma sıcaklık aralığı denilir. Çalışma sıcaklık aralığının anlamı rayda istenilen kaynak işleminin bu sıcaklık aralığında anında uygulanabilir olması, hiçbir ön veya son gerilim alma işlemine gerek kalmamasıdır.

Örneğin: Ankara için çalışma sıcaklık aralığı hesaplanırken optimum sıcaklık aralığı $\pm 3^{\circ}\text{C}$ formülü ile;

$23,40^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C} \approx 20 - 26^{\circ}\text{C}$ sıcaklık dereceleri arasındadır.

- Uzun kaynaklı yollarda (UKR) kaynaktan önce mutlaka rayların gerilimi alınmalıdır. UKR'li yollarda kaynak yapılırken; (DB 824.5510 yönergesi)
 - i. Eğer gerdirme veya ray ısıtma grubu kullanılmayacaksa, optimum sıcaklıktan en fazla $\pm 3^{\circ}\text{C}$ farklı sıcaklıkta raylar serbest bırakılarak gerilimi alınır. (Örneğin: Ankara için 20 – 26 °C arasındaki sıcaklıklarda)
 - ii. Gerdirmeye veya ray ısıtma grubu kullanılarak rayların gerilimi alınacaksa;
 - ✓ Mantarı sertleştirilmiş raylarda +10°C ile optimum sıcaklık toleransının altında gerilim alınmalıdır. (Örneğin: Ankara için +10 °C ile +19 °C arasındaki sıcaklıklarda)
 - ✓ Diğer raylarda, R260 gibi, (-3°C) ile optimum sıcaklık toleransının altında gerilim alınmalıdır. (Örneğin: Ankara için -3°C ile +19°C arasındaki sıcaklıklarda)
- +3°C ve (-3)°C arasındaki ray sıcaklıklarında ($\approx 0^{\circ}\text{C}$ civarı) kaynak yapılacak her iki rayın 50'şer cm'lik kesimleri el değecek kadar ($\approx 50^{\circ}\text{C}$) ısıtılmalıdır. (DB 824.5510 yönergesi)

Bu durumda kaynaktan önce gerilmeler eşitlenmelidir. Uzunlukta engellenmemiş değişimi sağlamak için ray bağlantıları ilgili uzunluk üzerinden vidalanmamalıdır. Nötr

sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda ray yapay olarak ısıtılmalıdır. Mobil ray ısıtma cihazları bu amaçla kullanılmaktadır. (Lichtberger, 2005)

- (-3)°C'den az ray sıcaklıklarında kaynak yapılmamalıdır. (DB 824.5510 yönergesi)

R320Cr (1100-UIC 860 teknik şartnamesine göre) ve R350HT'li (1175-UIC 860 teknik şartnamesine göre) raylarda ise +10°C'nin altında kaynak yapılmamalıdır.

Bu raylarda düşük sıcaklıklarda ve rüzgârlı havalarda kaynak yapılırken, kaynak bölgesinin hızlı soğumasına engel olmak amacıyla kaynak koruma tünelleri kullanılmalıdır. (Şekil 4.3) Ayrıca kaynağın kopmasını önlemek amacıyla kaynak civarındaki raylarda emniyet ısıtması yapılmalıdır.

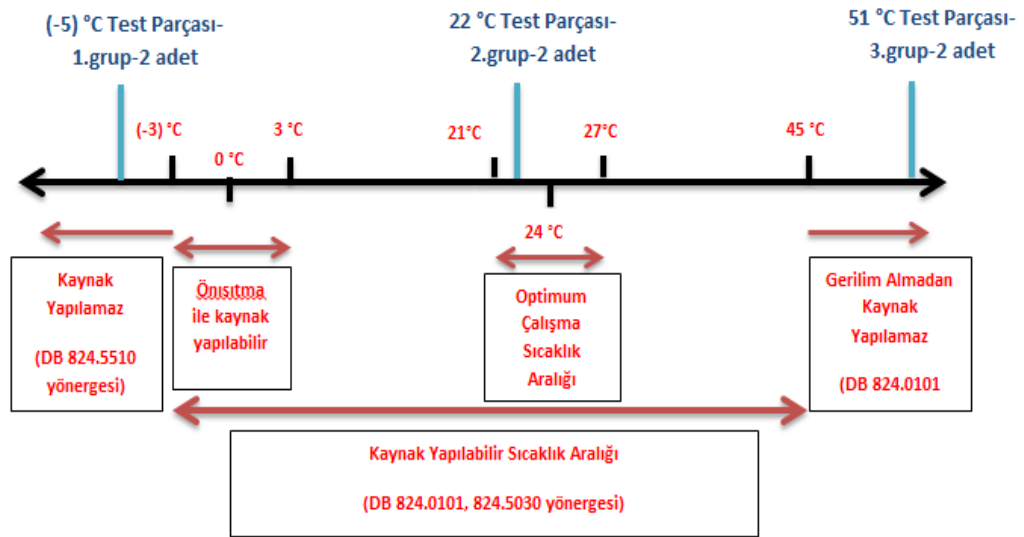


Şekil 4.3: Kaynak Koruma Tüneli (Kaçer, 2008 a)

- Eğer öğleden önce 35°C ve üzerinde, gününün ilerleyen saatlerinde de 45°C'nin üzerinde ray sıcaklıkları ölçülürse, ertesi gün ray ısıları (+35°C'nin) altında olsa dahi UKR'li yollarda hattın enine ve uzunlamasına direncini azaltacak üstyapı çalışmaları yapılamaz. (DB 824.5510 yönergesi) (Bu maddede fark edileceği üzere “kaynak yapılamaz” ifadesi yer almıyor, “UKR'li yollarda üstyapı çalışmaları yapılamaz” olarak geçiyor. Yani, UKR'li yollarda kaynaklanacak rayların geriliminin mutlaka alınması gerektiği belirtiliyor.)

- Yağmurlu ve kar yağışlı havalarda kaynak yapılmamalıdır. Ancak zorunlu hallerde yalnız şemsiye altında kaynak yapılabilir.

Ülkemizdeki mevcut demiryollarında yapılan tüm ray kaynağı işlemlerinde (alın kaynağı, alüminotermite kaynağı, elle ark kaynağı, gaz basınç kaynağı) dikkate alınan sıcaklık değerlerinden yukarıda bahsedilmiştir. Ayrıca Şekil 4.4’de ise şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Ray kaynak işlemi için dikkate alınması gereken sıcaklık değerleri (Ankara ili için)

Alman Demiryolları (DB), mümkün olan maksimum ray sıcaklığını +60°C ve mümkün olan minimum sıcaklığı ise (-30)°C olarak kabul eder. Nötr sıcaklık olarak +20°C seçilir. Böylece basınç tarafına doğru 40°C ve gerilme tarafına doğru 50°C sıcaklık farkı mümkündür. Diğer ülkeler tarafından kabul edilen minimum ve maksimum ray sıcaklık değerleri ise Çizelge 4.2’de gösterilmiştir:

Çizelge 4.2: Ülkeler Tarafından Kabul Edilen Minimum ve Maksimum Ray Sıcaklık Değerleri (Lichtberger, 2005)

Demiryolu İdaresi	Ray Sıcaklıkları		Gerilme Sıcaklığı [°C]
	Minimum[°C]	Maksimum[°C]	
CFR (Romanya Demiryolları)	-30	60	7-18
CSD (Çek Cumhuriyeti Demiryolları)	-30	60	5-25
DB (Almanya Demiryolları)	-30	60	17-23
DR (Eski Doğu Almanya Demiryolları)	-25	65	12-25
MAV (Macaristan Demiryolları)	-30	60	5-20
NetworkRail (İngiltere Demiryolları)	-20	50	21-27
NS (Hollanda Demiryolları)	-30	60	25
ÖBB (Avusturya Demiryolları)	-30	60	15-20
PKP (Polonya Demiryolları)	-30	60	17-23
SJ (İsveç Demiryolları)	-40	60	15-20
SNCF (Fransa Demiryolları)	-15	60	20-32
SZD (Rusya Demiryolları)	-50	65	1-23
USA (ABD Demiryolları)	-40	55	16-21

Bu çalışma ile ilgili Alman Demiryolları'nın (DB) yönergeleri esas alınarak TCDD Yol Dairesi Başkanlığı tarafından "Alüminotermite Ray Kaynağı Talimatnamesi" hazırlanmıştır. Bu talimatnamedeki sıcaklık koşulları alüminotermite ray kaynağı yönteminden bağımsız olup diğer kaynak yöntemleri için de geçerli olduğundan tüm yöntemler ile raya kaynak yapılırken bu sıcaklıklar dikkate alınır.

4.3. Raylarda Uygulanan Kaynak Yöntemleri

Günümüzde mevcut olan 35 çeşit farklı kaynak çeşidi varken bu kaynak yöntemleri basitçe iki grup altında incelenebilir: basınç kaynağı ve ergitme kaynağı. Fakat bu yöntemler ray kaynağı yöntemi için uygun değildir.

Ray kaynağından beklenen özellikler şunlardır:

1. Statik dayanım,
2. Yorulma dayanımı,
3. Darbe direnci,
4. Süneklik,
5. Tokluk ve elastikiyet,
6. Sertlik.

Kaynak prosesi ray çeliğinin metalürjisini önemli oranlarda değiştirmeyecek şekilde olmalıdır. Aynı zamanda ekonomik olmalı, ekstra zaman ve sermaye gerektirmemelidir. Bu kıyaslama temel alınarak, ray kaynağı için sadece 4 adet yöntem mevcuttur. Bunlar:

1. Yakma Alın Kaynağı,
2. Alüminotermite Kaynağı,
3. Gaz Basınç Kaynağı,
4. Metal Ark Kaynağı. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006)

Yapılacak iş için en uygun ve avantajlı proses seçilmeli ve kontrol edilmelidir. Ray kaynağı, uygulama yeri açısından iki yönden incelenebilir: atölyelerde veya fabrikalarda yapılan kaynak ve demiryolu hattı üzerinde yapılan kaynak. Atölyelerdeki ray kaynağı, daha fazla işçilik, tesis ve kontrol gerektirdiğinden yolda yapılan kaynaktan farklıdır. Ray Kaynağı proses ve uygulamaları aşağıda Çizelge 4.3’de gösterilmektedir.

Tüm ray kaynağı işlemlerine başlanılmadan evvel; kaynak sonrasında meydana gelmesi muhtemel olan olumsuz durumların önlenmesi, yapılan kaynağın sağlıklı olması ve kaynaklanan yolun geometrik değerlerini muhafaza edebilmesi için bazı şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. Bu şartların neler olduğundan Bölüm 5’de bahsedilecektir.

Çizelge 4.3: Ray Kaynak Prosesleri (Kaçer, 2008 a)

Yolda rayları kaynatmak için seçilen proses ve çalışma metodu büyük oranda:

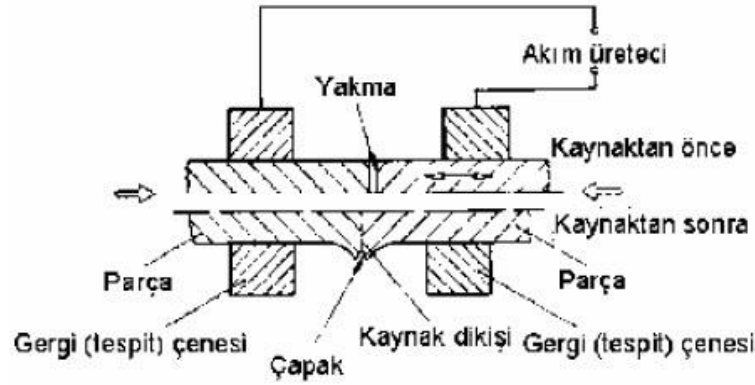
- Demiryoluna ulaşım kolaylığına,
- Zamana,
- Tren çalışma sıklığına,
- Uygun ekip mevcudiyetine bağlıdır.

4.3.1. Yakma alın kaynağı

Yakma alın kaynağı, elektriksel bir direnç kaynağı prosesidir. Elektrik direnç kaynağı ise temelde metallerin içinden geçirilen elektrik akımına karşı gösterdiği direnç nedeniyle üretilen ısı sayesinde birleştirme işleminin gerçekleştirildiği bir kaynak yöntemidir. Bu kaynak yöntemi değişik uygulamaları bulunan bir kaynak grubudur. Bu nedenle, rezistans kaynağı olarak da bilinen bu yöntem çok hızlı ve ekonomik bir kaynak prosesi olup otomatik imalat için oldukça uygundur. Örneğin bir binek otomobilin gövdesinde yaklaşık 5000 nokta kaynağı bulunmaktadır.

Bu yöntem ile 100.000 mm²'ye kadar olan çeliklerin kaynağı mümkündür. Kullanım alanları: mil ve borular, krank milleri parçaları, raylar, takım kesme parçaları ile takım gövdeleri ve bant testerelerdir.

Bu kaynak uygulamalarında ısı ve basınç birleştirme elde etmek amacıyla birlikte uygulanır. Isı, elektrik akımına karşı iş parçaları ve ara yüzeyin gösterdiği direnç sonucu açığa çıkar. Basınç başlangıçta iş parçalarını bir arada tutmak ve ara yüzeydeki direnci kontrol etmek amacıyla uygulanır. Isı belirli bir değere ulaştığı anda basınç artırılır. Bu şekilde, kaynak dikişinde tane rafinasyonu sağlanarak kaynak dikişinin mekanik özellikleri artırılır. (Şekil 4.5) (Gedik Eğitim Vakfı, 2010)



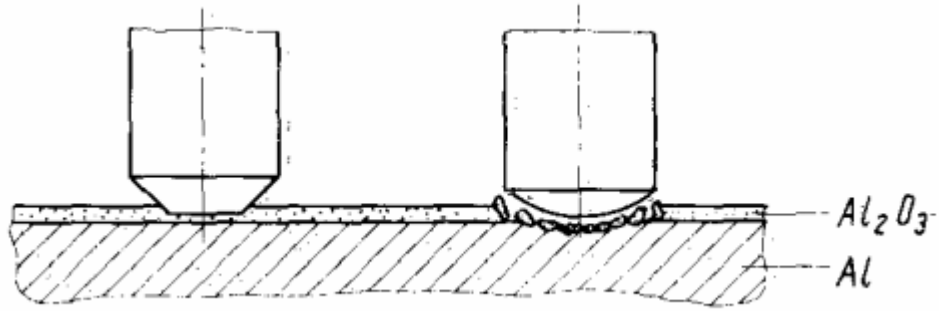
Şekil 4.5: Yakma alın kaynağı prosesinin şematik gösterimi

Temelde, yakma alın kaynağında elektrot-iş parçası ve iş parçası-iş parçası arasında temas direnci ile yakma gerçekleşir. Temas direnci (veya geçiş direnci), bir akımın birinden diğerine aktığı, iki iletken arasındaki direnç olarak tarif edilir ve yüzey pürüzlülüğüne, elektriği ya hiç iletmeyen ya da çok az ileten pas, yağ, gres veya boya gibi yüzey tabakalarına bağlıdır.

Temas direncini etkileyen faktörlerden biri olan yüzey pürüzlülüğü, kaynak işleminin başında, akımın tüm temas yüzeyi üzerinden değil, gerçek temas yüzeyi denilen sadece belirli kısımlardan akmasının nedenidir. Elektrot kuvveti arttıkça, plastik deformasyon artar ve temas direnci düşer. Düşük elektrot kuvvetlerinde temas direncinin çok büyük bir aralıkta dağıldığı görülmektedir. Bu nedenle düşük elektrot kuvvetleri uygulandığında, kaynak akımının farklı değerlerinde, her bir kaynak noktasının dayanımı da birbirinden çok büyük farklılıklar göstermektedir. Benzer bir çelişki, oksit gibi malzeme yüzey tabakalarının davranışdır. Yeteri kadar yüksek elektrot kuvvetleri, elektrot ucunun formu da uygun olduğu takdirde (örneğin hafifçe küresel uçlu elektrotlar) ince oksit tabakalarını ezebilmektedir. Ancak, bu durumda yüzeyde derin elektrot izleri oluşmakta ve elektrotun aşınması da artmaktadır. Bu nedenle, çoğu durumda yüzey tabakalarının uzaklaştırılması gerekir. Bu işlemler:

- ✓ Mekanik yöntemlerle (fırçalama, taşlama vs.)
- ✓ Fiziksel-kimyasal yöntemlerle (örneğin redükleyici ortamlarda tavlama) yapılabilir.

Yüzeydeki oksit tabakaları, kaynak akımının geçişine karşı bir direnç gösterir ve bu direnç o derece büyük olabilir ki, akımın geçişi imkansız hale gelebilir. Ancak, yine de bir akım geçişi sağlanacaksa, bu oksit tabakasının parçalanması gerekir. Küresel uçlu elektrotlarla bastırarak oksit tabakası parçalanabilir ve elektrot-iş parçası temas yüzeyi büyütülebilir. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6: Düz ve küresel elektrot uçlarının kullanımı ve küresel uçlu elektrot ile yüzey oksidinin parçalanması

Bu oksit tabakası ne kadar inceyse, o kadar çok çatlak oluşturulabilir. Bu işlem, elektrot-iş parçası temas direncinde bir azalmaya yol açar ve daha iyi bir akım akışı sağlar. Düz uçlu elektrotların kullanılması halinde ise, oksit tabakası parçalanmadan, saçla birlikte bastırılır. İş parçası-iş parçası geçişinde ilk temas, yüzeyde temas eden pürüzlerden olacaktır. Bu durumda oksit tabakası, yeteri kadar yüksek bir basınçla ezilip parçalanmalıdır. Kalın oksit tabakaları, yüksek elektrot kuvvetlerinde dahi parçalanamayabilir. Bu durumda oksit tabakasının kimyasal yöntemlerle veya fırçalama ve taşlama gibi mekanik yöntemlerle uzaklaştırılması gerekir. (Gedik Eğitim Vakfı, 2010) Yakma alın kaynağı ile ray çeliklerinin kaynatılması sırasında elektrotların iş parçasına bastığı yüzeylerin ve iş parçası-iş parçası temas yüzeylerinin taşlama ile temizlenmesinin sebebi budur.

Direnç kaynağı yöntemlerinden biri olan ve yukarıda bazı avantaj ve dezavantajlarından bahsedilen yakma alın kaynağı prosesinde ise diğer ray kaynağı prosesleri olan alüminotermite veya ark dolgu kaynağının aksine hiçbir ilave ve koruyucu madde kullanılmadan elektrik ark sistemi ile ray başları ergime derecesine

kadar ısıtılır. Daha sonra erimiş ray başları hidrolik güç kullanılarak büyük bir basınçla ($300\text{--}400\text{ kg/cm}^2$) çarpıştırılır ve böylece raylar kaynaklanmış olur. (Voestalpine, 2011)

Bu kaynak yönteminde temel prensip Joule yasasının uygulanmasında yatmaktadır. Bir elektrik iletkenin içinde akım geçtiğinde bir direnç sağlanır, bu da ısıya dönüştürülür.

Yasa şöyledir:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

- Q: Isı miktarı, ($J = W_s = W = VA$)
 I: Elektrik akım kuvveti (A)
 R: Elektrik direnci ($\Omega = V/A$)
 T: Zaman (s)

Joule yasasına göre, direncin en yüksek olduğu yerde en yüksek ısı üretilir. İş parçalarının birbirine dayana alın yüzeyleri nispeten nokta şeklinde temas etmelerinden dolayı yüksek geçiş direnci istenen hızlı ve yüksek ısınmayı sağlamaktadır.

Rayların yakma alın kaynağı için kullanılan makineler genelde 40.000 A ile 100.000 A akım gücü ve 6 V ile 15 V arası bir gerilimle çalışırlar.

Bir yakma alın kaynağı dövme şeklinde bir bağlantıdır ve kaynak makinasının kapasitesine, birbirine bağlanacak kesit boyutlarına bağlıdır. (Kökçe, 2002)

Ray kesitine bağlı olarak her bir kaynak için toplam uzunlukta yaklaşık 25 ile 35 mm kısılma meydana gelir. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006)

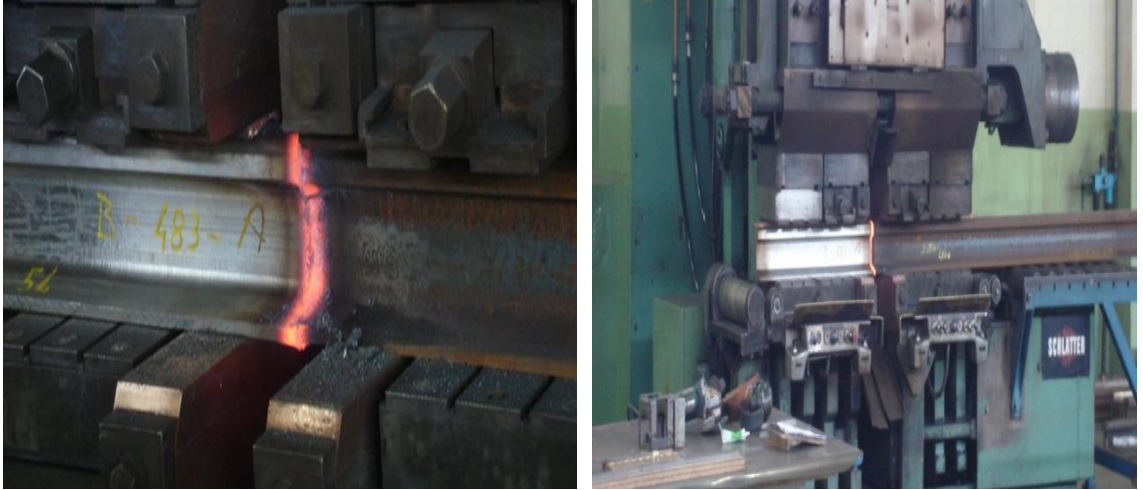
Yakma alın kaynağı yapımında temel bileşenler ise basitçe şunlardır:

- Sabit pozisyonadaki kaynaklanacak rayları sıkma mekanizması,
- Çift fonksiyonlu dövme mekanizması:
 - Kaynak çevriminin başlangıç ısıtma basamağı sırasında düşük kuvvet altında rayların temas eder hale getirilmesi,

- Kaynak çevriminin tamamlanmasında ray ara yüzeylerine yüksek kuvvet uygulanması,

Elektrikli direnç alın kaynağının iki uygulaması vardır:

- Fabrikada sabit-alın kaynağı makineleri ile raylar belirli uzunluğa kadar kaynaklanır. Kaynaklanan bu raylar özel taşıma vagonları ile kullanım yerlerine sevk edilir. Kullanım yerlerinde de raylar daha uzun hale getirilmek istenildiğinde alüminotermite kaynağı veya seyyar direnç alın kaynakları ile kaynak yapılır. Fabrikalarda yapılan kaynaklar zaman, hava şartları, arazi şartları gibi olumsuzluklar olmadığı için daha ekonomik ve kalitelidir. Tek olumsuz yanı kullanım yerlerine gönderilmeden yaşanan gecikmedir. Manganlı rayların ve manganlı makas göbeklerinin kaynağı sadece elektrik direnç alın kaynağı yöntemiyle genellikle fabrika ortamında yapılmaktadır. (Şekil 4.7)



Şekil 4.7: Fabrika Kaynağı

- Seyyar ray kaynak makinası ile hatta döşenmiş veya hat kenarında serilmiş vaziyette bulunan rayların elektrikli direnç kaynağı metodu ile kaynatılarak uzun kaynaklı hale getirilmesi işlemidir. 1973 yılında Plasser & Theurer firması tarafından ilk mobil kaynak makinası K366PT geliştirilmiştir. (Arlı ve Öztürk, 2009)

Seyyar ray kaynak makinelerine kaynak sırasında gerekli olan elektrik enerjisi makinelerin üzerinde bulunan 400 Kw'lık bir jeneratörle sağlanmaktadır. Jeneratörden elde edilen elektriğin çıkış gerilimi 380 Volt olup, kaynak esnasındaki akım ise 20.000 Amperdir. (Şekil 4.8)



Şekil 4.8: Mobil Yakma Alın Kaynak Makinası

Uluslararası yakma alın ray kaynağı yapım standartları aşağıda verilmektedir:

- TS EN 14587-1 Demiryolu uygulamaları-Yol-Rayların alın ve alın yakma kaynağı bölüm 1:Sabit tesislerde yeni R220, R260, R260Mn ve R350H sınıf rayların kaynağı
- TS EN 14587-2 Demiryolu uygulamaları-Yol-Rayların alın ve alın yakma kaynağı bölüm 2:Mobil kaynak makinaları ile yeni R220, R260, R260Mn ve R350H sınıf rayların kaynağı
- TS EN 14587-3 Demiryolu uygulamaları-Yol-Rayların alın ve alın yakma kaynağı bölüm 3:Geçit yapıları ile ilgili kaynak

4.3.1.1. Yakma alın kaynağı yapım prosesi basamakları

Kaynaklanacak raylar arasında seviye farkı bulunmamalıdır. Kaynak sırasında raylara akım verildiğinden iletkenliğin sağlanması için elektrotların geldiği ray başlarının 50 cm'lik kısmı taşlanarak yağ, pas ve kirden arındırılmalıdır. Bir önceki bölümde anlatıldığı üzere bu taşlama ile amaçlanan oksitleri uzaklaştırmaktır. (Şekil 4.9)



Şekil 4.9: Ray başlarının taşlanması

Daha sonra yatay ve düşey ekseninde bir olacak şekilde kaynaklanacak olan rayların baş kısımları aynı hizaya getirilir ve mobil alın kaynak makinası ile kaynak yapılır. Yakma alın ray kaynağında kaynaklanacak raylar kaynak işleminin hemen öncesinde birbirine temas edecek durumda bulunmalıdır.



Şekil 4.10: Kaynak makinasında bulunan bakır elektrotlar

Elektrot-parça yüzeyi arasındaki temas yüzeyinde ısı üretiminin düşük tutulabilmesi ve sonuçta elektrotun yüzeye yapışmaması için yüksek ısı iletimli veya suyla soğutulan elektrotlar gerekir. (Şekil 4.10) Kaynak elektrotları, akımı geçirmeye yarayan birer elektrik iletkenleridir. Malzemeye kaynak akımını ve elektrot kuvvetini (veya yığma kuvvetini) taşırlar. Elektrot malzemeleri, şekilleri, boyutları ve ısı iletkenlikleri ve soğumalarıyla, kaynak işlemindeki ısı bilançosunu etkilerler. Elektrot malzemelerinden beklenen özellikler çok çeşitlidir. Beklenen yaygın özellikler:

- ✓ yüksek bir elektrik iletkenliği,
- ✓ yüksek bir ısı iletkenlik,
- ✓ yüksek bir normal ve sıcakta sertlik,
- ✓ yüksek bir tavlama direnci,
- ✓ yüksek bir yumuşama sıcaklığı,
- ✓ kaynak yapılan malzemeyle düşük bir alaşım oluşturma eğilimi,
- ✓ kolayca işlenebilme özelliğidir.

Bu farklı ve kısmen birbiriyle çelişen özellikler, sadece bakır ve bakır alaşımları tarafından sağlanabilmektedir. Tüm bu koşulların aynı anda yüksek olması mümkün değildir. (Gedik Eğitim Vakfı, 2010)

Kaynaklanmış ve kaynak bölgesi sıyırılmış rayların işletmeye alınabilmesi için taşlama ile kaynak bölgesinin standartlardaki sapmalar içerisinde kalmak koşuluyla normal ray hizasına getirilmesi gerekir. Bunun için sıyırma işleminden belli bir süre sonra kaba taşlama ve ince taşlama yapılmalıdır. (Şekil 4.11)

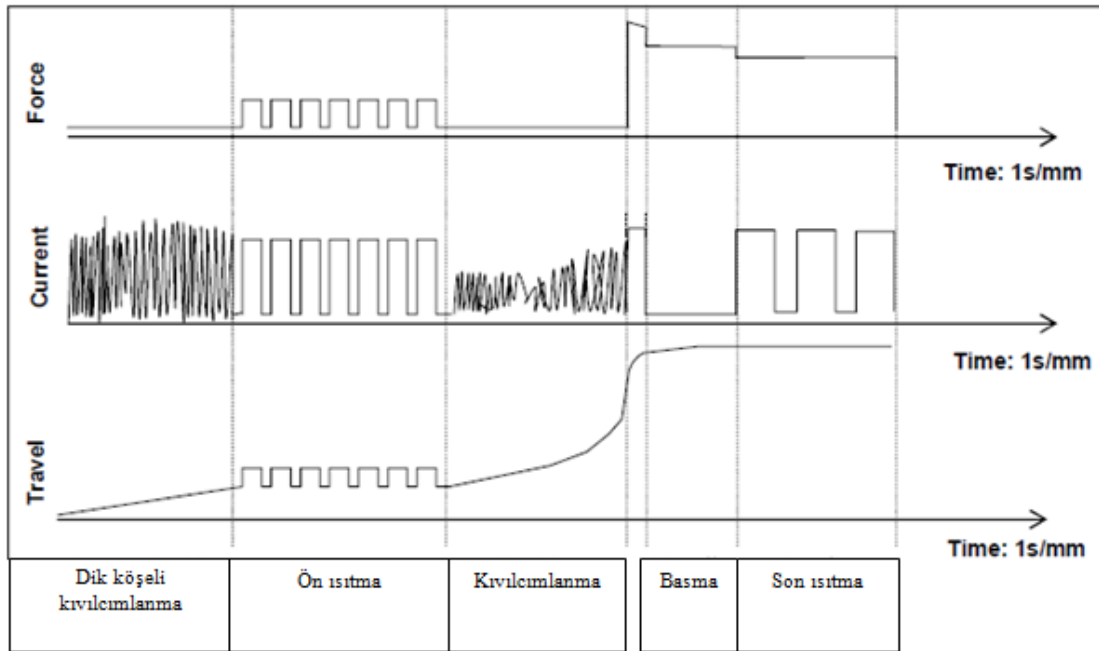


Şekil 4.11: Kaynak bölgesinin sıyırma sonrası görünümü

4.3.1.2. Yakma alın kaynağı makinalarının çalışma prensibi

Sabit bir yakma alın kaynağı prosesi beş basamağa ayrılır. Bunlar sırasıyla:

- a) Dik köşeli kıvılcımlanma,
- b) Ön ısıtma,
- c) Kıvılcımlanma,
- d) Basma (şişirme),
- e) Soğutma veya son ısıtma.



Şekil 4.12: Yakma alın kaynağı makinası kaynak parametrelerinin diyagramı

a. Dik Köşeli Kıvılcımlanma:

Dik köşeli kıvılcımlanma iki sebepten dolayı zorunludur:

- Eğer ray başları düz değilse ve besleme yönünde hatalı dikey yönelim olması durumunda,
- Kaynak başlarındaki oksidasyon uzaklaştırılmışsa zorunludur.

Dik köşeli yakma için besleme miktarı çok azdır ve yüksüz durumdaki transformatörden temin edilen gücü kullanarak soğuk bir durumda olan beslenmiş malzemeyi ortadan kaldırmak için yeterlidir. Proses:

- İki ray ucu farklı noktalarda temas edene kadar birbirine yaklaştırılır,
- Temas noktalarında: akım akmaya başlar,
- Yüksek akım yoğunluğunda: temas noktalarındaki malzeme bölgesel olarak eriyebileceği sıcaklığa kadar kısa sürede ısıtılır,
- Buhar basıncı: erimiş metal aralıktan dışarı atılır,

- Dik köşeli yakmaya devam edilirken ray başların tüm kesit sahası üzerinde temas edene kadar ray uçlarının diğer kısımlar arasında temas sağlanır. (Voestalpine, 2011)

b. Ön Isıtma:

Ray başları tüm kesit alanı boyunca üniform olarak ısıtılmalıdır. Ray başlarında ısıdan etkilenmiş bölgeden bir hayli uzaklaşılması durumunda keskin bir sıcaklık düşüşü olmalıdır.

- Transformatör tarafından desteklenen besleme miktarı tüm kesit alanı boyunca sayısız temas noktasında çok yüksektir,
- Yüksek akım yoğunluğu: temas noktaları ve bunlara yakın bölgeler ısıtılır. Verilen bir besleme miktarında belirli bir güç yaratılır,
- Geri çevirme prosesi: belirli bir temas zamanından sonra ray başları geri çekilir ve tekrar temas noktasına getirilir,
- Bu işlem 4 ile 10 defa tekrar ettirilir,
- Besleme kuvveti tarafından ön ısıtma sona erdiğinde: ray uçları yeterli miktarda ve üniform olarak tüm kesit boyunca ısıtılmışsa besleme kuvveti azalır. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006)

c. Kıvılcımlanma:

Kıvılcımlanma bitişik yüzeylerin oksidasyonunu önler. Sayısız temas noktalarından metalin dışarı atıldığı küçük kraterler oluşur.

Giriş akımının yoğunlaştırıldığı sadece birkaç temas noktasında çok yavaş bir kıvılcımlanma miktarı oluşur. Bu oluşum, geniş kraterlerin küçük bir miktarını geride bırakacak birkaç geniş metal artığının düzensiz aralıklarla dışarı atılması nedeniyle oluşur. Yakma işlemi üniform olmaya başlar ve metal buharlaşması ile meydana çıkan koruma artık yetersiz durumda olur. Ek olarak, kraterlerde daha sonraki şişirme ile bütünüyle ortadan kaldıracak büyüklükte olabilir. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006) Bu nedenle, besleme miktarını ve böylece akımı yakma işleminin

sonuna doğru artırmak yani yavaş artan miktarlarla yakmayı ilerletmek avantajlıdır. (Schwerzer, 1981)

d. Basma (Şişirme):

Basma (şişirme), gerçek kaynak işleminin tamamlandığı proses sürecidir.

Basma (şişirme) sırasında bitişik yüzeyler yüksek besleme oranında birleştirilir. Kaynak akımının şişirme başlayana kadar devrede kalması böylelikle son ana kadar birleşme yüzeylerinin korunmayı muhafaza etmesi önemlidir.

Birleşme yüzeylerinin birbirine kadar preslenmesi ile yumuşak metal, aralığın dışına sıkıştırılır ve ray uçları kendiliğinden tipik bir artık kordonu oluşturarak plastik deformasyona uğrar. Plastik deformasyonun bir sonucu olarak şişirme kuvveti istikrarlı bir şekilde artar.

Birleştirme işlemi yetersiz basma (şişirme) işlemine maruz kalmışsa erimiş metal boşluklarda tutsak kalır. Bu bölgenin (kaynak dikişi) katılaşma sonrası karakteristik döküm yapısı uzunlamasına kesik olarak görülür. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006)

e. Soğutma veya Son Isıtma:

Tamamlanmış kaynak, malzemenin özelliklerine uygun olarak kaynak sıcaklığından soğumaya bırakılmalıdır. Eğer ray yüksek miktarda alaşım elementi içeriyorsa son ısıtma işlemi martenzitik yapıdan korumak amacıyla uygulanmalıdır.

Her kaynak için gerekli işlemler:

- Doğrultma,
- Taşlama,
- Boyutsal kontroldür. (Voestalpine, 2011)

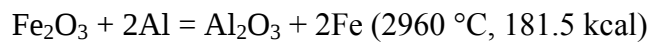
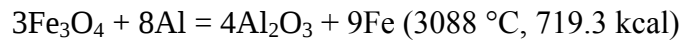
4.3.2. Alüminotermite ray kaynağı

Alüminotermite kaynağı, eritme kaynağı prosesleri arasında sayılmaktadır. (Stahl, 1983) Bu yöntemde termit denilen malzemenin ateşe dayanıklı potalar içerisinde eritilerek iki ray arasında bırakılan kaynak aralığına akıtılmak suretiyle yapılan kaynağa alüminotermite ray kaynağı denilmektedir. Alüminotermite kaynak prosesi tüm Dünya’da ray başlarının kaynağından yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, termit kaynağı yoldaki raylarda daha yaygın kullanımın yanında uzun kaynaklı rayların fabrika üretimi için, parçaların tesisinde kullanılabilir. Özellikle makasların kaynağında başarı ile kullanılmaktadır. Termit kaynağı prosesi aynı zamanda döküm prosesine benzer bir prosestir.

Goldschmidt prosesi olarak da bilinen alüminotermite kaynak prosesi Alman kimyager Profesör Hans Goldschmidt tarafından 1896 yılında geliştirilmiştir. Bu proses demir oksit ile alüminyumun kimyasal reaksiyonuna dayalıdır.

Alüminotermite ray kaynağı prosesi ile hem vignol tipi raylar hem de oluklu raylar kaynaklanabilir. Oluklu raylar için vignol tipi raylara göre daha fazla kaynak prosedürü mevcuttur. (Voestalpine, 2011)

Demir oksit (Fe_2O_3), alüminyum (Al), hurda demir-çelik parçaları ve diğer maddelerden oluşan karışıma termit adı verilir. Termit kaynağı; ağır metal oksitlerinden alüminyum sayesinde ağır metallerin çıkarılmasına dayanır. Ekzotermik bir reaksiyon olup ortaya çok yüksek ısılar (yaklaşık 2500 °C) çıkmaktadır. Aşağıdaki denklemlere göre Al ile reaksiyona giren üç temel demir oksit formu (Fe_3O_4 , FeO, Fe_2O_3) vardır: (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006)



Bu ekzotermik reaksiyonların sonucu olarak yaklaşık 2400 °C civarında neredeyse eşit hacimlerde ergimiş çelik ve sıvı Al_2O_3 birbirinden ayrılır. Al_2O_3 (cüruf) daha hafif olduğundan ergimiş metalin üstünde yüzer.

Bu kaynak yönteminde Al miktarını kontrol altında tutmak önemlidir. Potadan akan eriyik içindeki alüminyum miktarının istenilen oranlar dâhilinde kalması, kaynak porsiyonu doğru birleştirilerek ve doğru zamanda döküm yapılarak sağlanmaktadır. Alüminyumun kimyasal kompozisyon içerisindeki miktarının % 0,2-0,6 arasında olması idealdir. Bu miktarın % 0,7'den fazla olması çeliği katılaştırabilir, kaynak metalinde sertliğe ve gevrekliğe yola açabilir. (Profillidis, 1995) Az olması ise kaynaktaki çelikten karbon ve magnezyum kaybına, oksidasyona ve zayıf aşınma direnci karakteristiklerine yol açar.

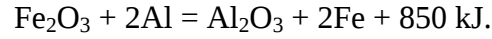
Doğru kompozisyonda alaşım üretmek için, ekzotermik reaksiyonu kontrol etmek adına bir parça metal ile birlikte karışıma ferro-magnezyum katılır. Ayrıca termit çeliğine uygun alaşım elementleri katılarak ve miktarı değiştirilerek kaynaklanacak rayların farklı boyutlardaki aşınma direncini karşılaması sağlanır.

Uluslararası olarak kullanılmakta olan alüminotermit ray kaynağı yapım standartları aşağıda verilmektedir:

- TS EN 14730-1 Demiryolu uygulamaları - Demiryolu - Rayların alüminotermit kaynağı - Bölüm 1: Kaynak işlemlerinin onayı
- TS EN 14730-2 Demiryolu uygulamaları- Şehir içi ve banliyö çeken ve çekilen taşıtlar için havalandırma-Bölüm 2: Alüminotermit kaynakçıların kalifikasyonu, müteahhitlerin onayı ve kaynakların kabulü

4.3.2.1. Alüminotermite ray kaynağı kimyasal tepkimesi

Kaynaklanmak istenen raylar arasındaki boşluğa, ilave bir çelik malzemenin eritilerek akıtılması esasına dayanır. Oluşan tepkime şöyledir:



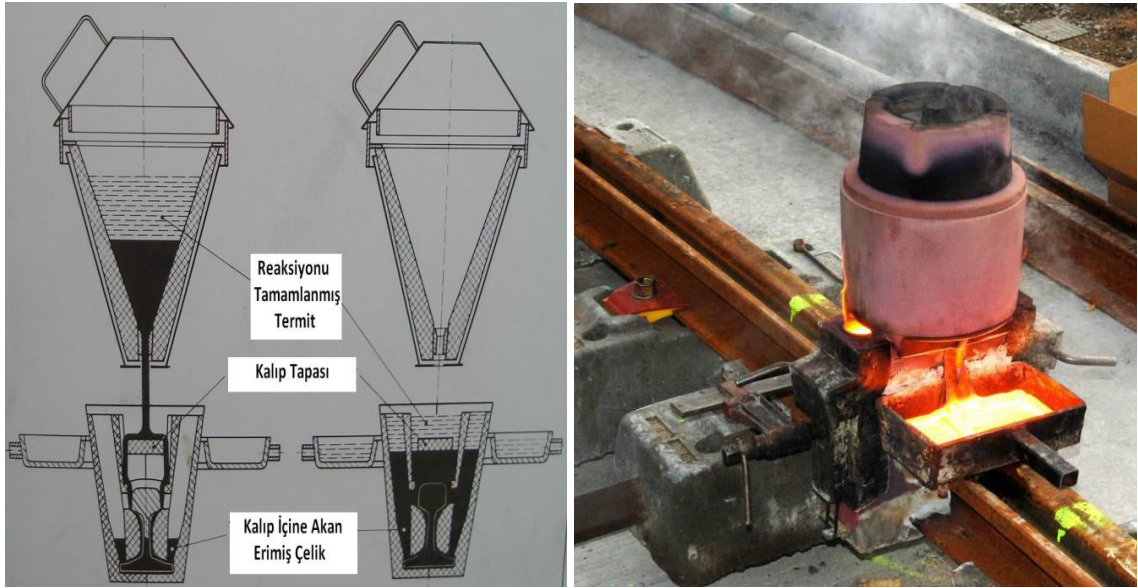
$$1000 \text{ gr. Thermit} = 476 \text{ gr cüruf} + 524 \text{ gr demir} + 3970 \text{ kJ.}$$

Yukarıdaki reaksiyon tepkimelerden de görüleceği üzere 18 – 28 sn süren bu reaksiyon sırasında (bazı kaynak firmalarınca bu süre 16 – 30 sn olarak kabul edilmektedir) demir oksit alüminyum karışımı, sıcaklığı 2500 °C civarında olan bir eriyik haline gelir.

Yaygın olarak kullanılmakta olan tüm termit işlemlerinde önceden hazırlanmış kalıplar ve porsiyonlar kullanılır. Ray başlarının ön ısıtması gaz ile (şaloma aracılığıyla) sağlanır. Ön ısıtma zamanı kaynak prosedürüne göre 1,5 ile 6 dakika arasında değişmektedir.

Yukarıda belirtilen tepkime sırasında kaynak porsiyonunda mevcut olan alüminyumun bir bölümü, hemen hâlihazırdaki çelikle reaksiyona girerek alaşım oluşturur. Eriyik içerisinde bulunan demir metali ağır olduğu için alta çöker ve alüminyum oksit (cüruf) hafif olduğu için potanın üst kısmında toplanır. Kalan alüminyum ile reaksiyon sırasında ortaya çıkan oksijenin tepkimeye girebilmesi için ise belirli bir zamana ihtiyaç vardır. Eğer bu “ardıl tepkime” dökümün erken alınmasıyla nedeniyle tamamlanamazsa, potadan akan çelik yüksek miktarda alüminyum içerir. (Şekil 4.13)

Potanın alt kısmından açılan delikten bir kalıbın içine akıtılan eriyik, kalıp içinde bulunan ray uçlarını da eriterek birleştirir ve kalıbın şeklini alır. Fazlalıklar sıyrıldığında düzgün kaynaklanmış bir ray profili elde edilir.



Şekil 4.13: Alüminotermite kaynak çalışma prensibi

4.3.2.2. Alüminotermite ray kaynağı yapım prosesi basamakları

Alüminotermite ray kaynağı yapım prosesi aşağıdaki sırayla gerçekleştirilmelidir:

a. Kaynaklanacak olan ray uçlarını hazırlamak (contaların hazırlanması):

Alüminotermite kaynak yapılmasında ilk adım, contaların kaynak yapılmaya uygun ve hazır hale getirilmesidir. Kaynak öncesi kalıpların bağlanılacağı ray uçları arası mesafeler bırakılır. (Şekil 4.14-a ve Şekil 4.14-b)



Şekil 4.14-a: Contanın kalıp bağlanmaya uygun hale getirilmesi, b: Kaynak aralığının ayarlanması

- b. Ray uçlarını hizalamak (masterlamak): Kaynak yapılması esnasında kaynaklanacak rayların masterlaması düzgün olarak yapılmalıdır. Masterlama dengeli olmalı ve kaynak sonrasında ray yuvarlanma yüzeyinde herhangi bir hataya sebebiyet verilmemelidir. (Şekil 4.15)



Şekil 4.15: Rayın kaynak öncesi masterlanması

c. Kalıpların hazırlanması.

- i. Kalıpların seçimi: Kaynaklanacak olan rayın cinsine ve ebatlarına göre ilgili kalıpların seçimi gerçekleştirilir.
- ii. Kalıpların kurulması: Masterlama yapılmasının ardından kalıpların bağlanması işlemine geçilir. Nemli, çatlak ve kırık kalıplar kullanılmamalıdır. Kalıbın bir parçası kaynak aralığını tam ortalayacak şekilde yerleştirilir. Kalıbın diğer yarısı önce yerleştirilen parçanın tam karşısına ve yine kaynak aralığını ortalayacak şekilde yerleştirilir. Kalıp üç parçalı ise alt parçası da düzgün bir şekilde tabana yerleştirilir. Her iki kalıp parçasının tam olarak merkezlendiğinden emin olduğunda kalıp mengenesi ile kalıplar çatlamayacak şekilde sıkılır. (Şekil 4.16)



Şekil 4.16: Kalıpların bağlanması

- iii. Kalıpların macunlanması: Kalıbın doğru olarak bağlanmasından sonra birleşim yerleri özel macunu ile aralıksız ve sıkı bir şekilde kapatılır. (Şekil 4.17)



Şekil 4.17: Kalıpların macunlanması

- d. Ray tipine ve kesitine göre porsiyon seçimi: Kaynaklanacak olan rayın şekline (vignol veya oluklu ray) veya kesitine göre (49E1 veya 60E1) uygun termit porsiyonu seçilir. (Şekil 4.18)



Şekil 4.18: Termit porsiyonları

- e. Potanın döküme hazırlanması: Kaynakta kullanılacak pota, kullanımdan önce döküme hazır hale getirilmelidir. İlk işe başlandığında çok kullanımlık pota, şalomalarla en az 100 °C' ye kadar ısıtılır veya bozuk bir termit varsa boşa döküm yapılarak ısınması sağlanır. (Şekil 4.19)



Şekil 4.19: Potanın döküme hazırlanması

Pota yüksekliği ayarlanır. Pota ile kalıp arasındaki mesafe 30 ila 35 mm olmalıdır. Çok kullanımlık potada, otomatik бага, бага maşası ile pota dibine yerleştirilir. Çok kullanımlık potalarda, kaynak şarjı tamamen ergimeden baganın açılmaması için, otomatik baganın üzerine manyezit tozu dökülür. Kaynak şarjı (termit) torbası açılarak potaya dökülür ve pota içerisinde homojen olması için karıştırılır. Termitin çabuk tutuşmasını temin için üst kısmı koni şekline getirilir. (Şekil 4.20-a ve Şekil 4.20-b)



Şekil 4.20-a) Manyezit tozunun dökülmesi, b) Termit porsiyonunun dökülmesi

f. Ray uçlarının ön ısıtma işlemine tabi tutulması: Rayların termit malzemesi ile ideal bir şekilde kaynaşmasını sağlamak, kaynaklanacak ray başlarını ergime derecesine yaklaştırmak ve kaynak bölgesindeki olası bir nemlenmeden oluşan hataları önlemek amacıyla döküm yapılmadan evvel kalıp içindeki ray uçları belli bir dereceye kadar ısıtılır. Ön ısıtma yapılırken;

- Basınçlı hava – Benzin
- Oksijen – Propan
- Oksijen – Asetilen
- Oksijen – LPG
- Propan

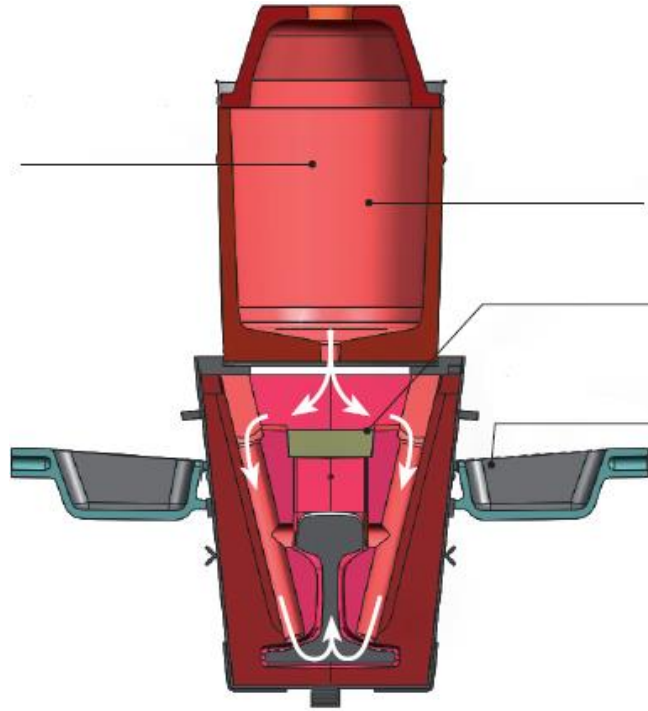
Kombinasyonlarından herhangi birisinin kullanılması mümkündür. Ancak günümüzde benzin – hava karışımı terk edilmeye başlanmış ve ağırlıklı olarak oksijen – propan karışımı kullanılmaya başlanmıştır. Zorunlu hallerde kullanılan asetilen gazı ile LPG karışımı içinde bulunan bütan gazının kalorileri yüksek olduğundan, ön ısıtma sırasında rayın kimyasal yapısının bozulma riski yüksektir. Bu yüzden ön ısıtmada bu gazlar mümkün olduğunca kullanılmamalıdır. (Şekil 4.21)



Şekil 4.21: Ray uçlarının ön ısıtma işlemi

g. Döküm: Ön tavlamanın tamamlanmasından hemen sonra döküm işlemine geçilir. Şaloma (Brülör) kalıp üzerinden alındıktan sonra kalıp tapası

yerleştirilir. Pota kalıp üzerine alınır. Potanın kapağı açılarak maytap ile termit ateşlenir. Termit malzemesi yanmaya başladığında meydana gelen ısı neticesinde termit içerisinde bulunan alüminyum ve çelik eriyik haline gelir. Çelik ağır oluğundan dibe çökmeye başlar. Cüruf potanın üstünde toplanır. Bu işlem 20 – 25 sn arasında gerçekleşir. (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23)



Şekil 4.22: Döküm Akış Prensibi



Şekil 4.23: Döküm anı

- h. Kalıpları bekletme ve sökmek: Kalıp, ray üst seviyesinin yukarısından kesilmelidir. Döküm başlama anından itibaren gerekli süre geçtikten sonra kalıp mengenesi sökülerek kalıbın iki yanında bulunan kalıp iskeleti alınır. Döküm başlama anından itibaren gerekli süre geçtikten sonra kalıbın üst kısmı kesilerek alınır. (Şekil 4.24)



Şekil 4.24: Kalıpların çıkartılması

- i. Kaynak bölgesinin sıyrılması ve taşlanması: Kalıplar söküldükten sonra kaynak bölgesindeki fazlalıkların kesilerek alınması, sıyrılması gerçekleştirilir. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006) (Şekil 4.25-a ve Şekil 4.25-b)



Şekil 4.25-a) Kaynak bölgesinin sıyrılması, b) Kaynak bölgesinin sıyrılması

Kaynaklanan raylar 1100 kalitesinde ise sıyırma işleminden hemen sonra kaynak bölgesi 30 dakika süren bir normalleşme işlemine tabi tutulmalıdır. Bunun için ray sıcaklığı 500 °C' ye düşünceye kadar kaynak bölgesinin üzeri cam yünü ile kapatılır.

Kaynaklanmış ve kaynak bölgesi sıyırılmış rayların işletmeye alınabilmesi için taşlama ile kaynak bölgesinin standartlardaki sapmalar içerisinde kalmak koşuluyla normal ray hizasına getirilmesi gerekir. Bunun için sıyırma işleminden belli bir süre sonra kaba taşlama ve ince taşlama yapılmalıdır. (Şekil 4.26-a ve Şekil 4.26-b)



Şekil 4.26-a) Ön Taşlama işleminin yapılması, b) İnce Taşlama Sonrasında Kaynaklı Rayın Görünümü

4.3.2.3. Alüminotermi ve yakma alın ray kaynak yöntemlerinin karşılaştırılması

Son yıllarda Yakma Alın Ray Kaynağı prosesinin Alüminotermi Ray Kaynağı prosesine göre daha fazla kullanıldığı bilinmektedir. Bahsi geçen Bölüm 4.3.3.'deki Alüminotermi Ray Kaynağı Prosesi ile Bölüm 4.3.2.'deki Yakma Alın Ray Kaynağı proseslerinin karşılaştırması şöyledir:

1. Rayların yakma alın yöntemi ile kaynağı bir dövme prosesidir ve kaynaklı bağlantıların dayanımı neredeyse ana malzemenin dayanımı kadardır. Porozite,

inklüzyonlar ve ergime noksanlığı kusurlarından kaçınılmalıdır. Diğer yandan termit prosesi bir döküm prosesidir ve bundan dolayı poroziteye, inklüzyonlara ve ergime noksanlığı kusurlarına karşı daha müsaittir.

2. Rayların yakma alın yöntemi otomatik bir prosestir ve bu yüzden operatörün becerilerine daha az bağlıdır. Bu sayede istikrarlı bir kalite sağlanmaktadır.
3. Yakma alın kaynağı kullanılması durumunda rayların ısıdan etkilenmiş bölgesinin büyüklüğü termit kaynağındakine göre daha küçüktür.
4. Rayların yakma alın kaynağı yönteminde zehirli gazların emisyonu nispeten daha az olduğu için termit yöntemi ile kıyaslandığında çevre kirliliğine daha az sebep olmaktadır.
5. Rayların yakma alın kaynağı yönteminde ergimiş metal bulunmadığından dolayı insan sağlığı açısından daha güvenlidir.
6. Alüminotermit ray kaynağı prosesinde yakma alın kaynağı prosesi ile karşılaştırıldığında harici bir güç ihtiyacı bulundurmamasından ötürü avantajlıdır. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006; Kökçe, 2002)

Japonya’da 1985 ile 2001 yılları arasında dört farklı ray kaynak yöntemi ile kaynaklanmış raylarda oluşan hasarlar incelenmiştir. Bu 17 yıllık süre içerisinde 100’den fazla kaynak hasar görmüş ve bu hasar gören rayların yaklaşık %70’i termit ve elle kaynak yöntemlerinden meydana gelmiştir. Çizelge 4.4’de kırılan ray kaynaklarının kaynaklara dağılımı şu şekildedir: (Terashita & Tatsumi, 2003)

Çizelge 4.4: Kırılan ray kaynaklarının proseslere göre dağılımı

Kaynak Yöntemi	Adet
Termit Kaynağı	53
Elle Ark Kaynağı	35
Gaz Basınç Kaynağı	21
Yakma Alın Kaynağı	12
Toplam	121

4.3.3. Gaz basınç kaynağı

Ray gaz basınç kaynağı 1953 yılında Japonya’da yapılmaya başlandı. (Hakusan MFG.CO., bt) Bu yöntem, ray bağlantılarının kaynakları için benimsenmiş diğer bir ticari kaynak yöntemidir. Bu proses ile ray bağlantılarının kaynağı aşağı yukarı yakma alın kaynağı yöntemine benzerdir. Her iki metotta da iki ray kaynaklanmış bir bağlantı için birlikte ergitilir. Alüminotermite ray kaynağı veya metal ark kaynağında olduğu gibi iki ray arasını dolduracak bir harici metale gerek yoktur.

Gaz basınç kaynağı inşaat yapım amaçları için güçlendirilmiş çelik çubukların kaynağında Hindistan’da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kaynak prosesi çeşitli tekno-ekonomik değerlendirmelerden dolayı ray başlarının kaynaklanmasında birçok gelişmiş ülkede kullanılmaktadır. Buna güvenlik, kalitenin devamlılığı ve prosesin kolaylığı da eklenebilir. Japonya Demiryolları bu metodu yaygın olarak kullanmaktadır. Gaz basınç kaynağı tesisleri sabit tesislerde, mobil tesislerde ve yerinde kullanım için dizayn edilmişlerdir. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006)

1974 yılında, hafif rayların gaz basınç kaynağında kullanılmak üzere küçük kaynak aparatları geliştirildi. Bu aparat, uç uca gelmiş ray başlarının oksijen-asetilen alevi ile ısıtılarak basınç altında kaynaklanmasını sağlamaktadır. Bu kaynak yöntemi sırasında ray kaynak yüzeylerinin maksimum sıcaklığı 1200 °C ile 1400 °C arasındadır. (Hakusan MFG.CO., bt)

4.3.3.1. Gaz basınç kaynağı yapım prosesi basamakları

a. Ray Başlarının Kaynağa Hazırlanması:

Kaynaklanacak olan rayların başları taşlama cihazları ile taşlanarak düzeltilmeli ve diğer raya tam olarak temas etmelidir. Tam olarak birbirine yapışma dik açıdan kontrol edilmelidir. Kaynak sırasında kelepçelerin altında bulunacak olan ray gövdesindeki kabartmalı izler, boyalar, paslar ve tozlar taşlama ile kaldırılmalıdır. Kaynak öncesi merdanelerin üstüne alınan raylar 1 m uzunluğundaki mastar ile kontrol edilmelidir. (Şekil 4.27)



Şekil 4.27: Ray başları yüzeylerinin taşlanması

b. Gaz Basınç Kaynağı Makinasının Kurulması:

Kaynak makinası rayın üzerine koyulur. Makinanın kaynak aparatları her rayın üstüne yerleştirilir.



Şekil 4.28: Gaz Basınç Kaynağı Makinasının Kurulması

c. Gaz Basınç Kaynağının Yapılması:

Kaynak makinası basınç uygular ve rayın tamamını çevreleyen oksî-asetilen alevli özel brülörler ile ray parçalarının altınlarını ısıtır. Alevin karakteri günde en az bir kere

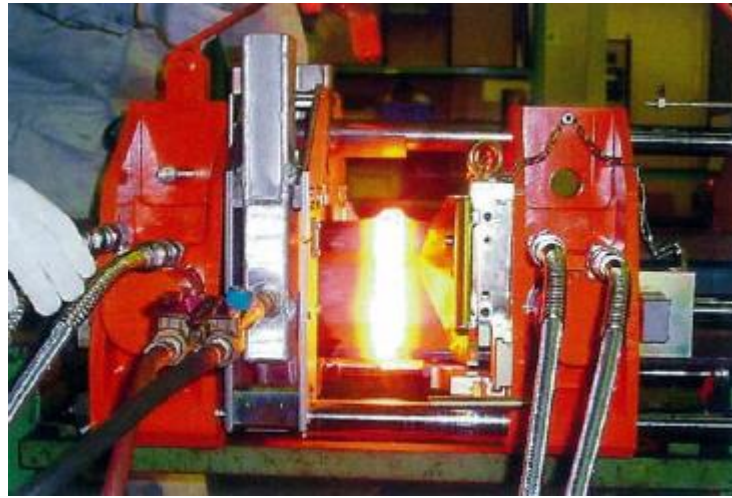
kaynaktan önce kontrol edilmelidir. Sıcaklık yaklaşık 1050 °C'yi bulduğunda şişirme işlemi başlar. Sıcaklık arttıkça şişirme oranı da artar. Gerekli şişirme sağlandığında brülörler kaldırılır. (Şekil 4.29)



Şekil 4.29: Gaz Basınç Kaynağı uygulanma anı

d. Kaynağın Bitirilmesi:

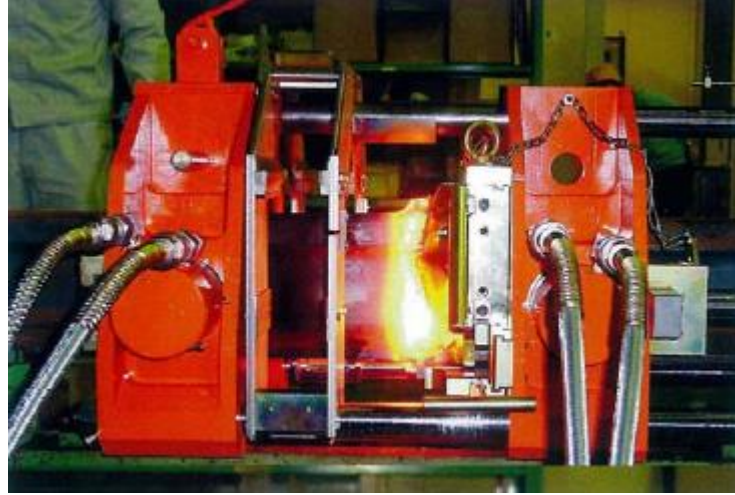
Kaynak işleminden sonra basınç uygulayan kelepçeler makinadan sökülerek kazıyıcı bıçaklar makineye yerleştirilir. (Şekil 4.30)



Şekil 4.30: Gaz basınç kaynağının bitirilmesi

e. Çapak Alma (Tıraşlama):

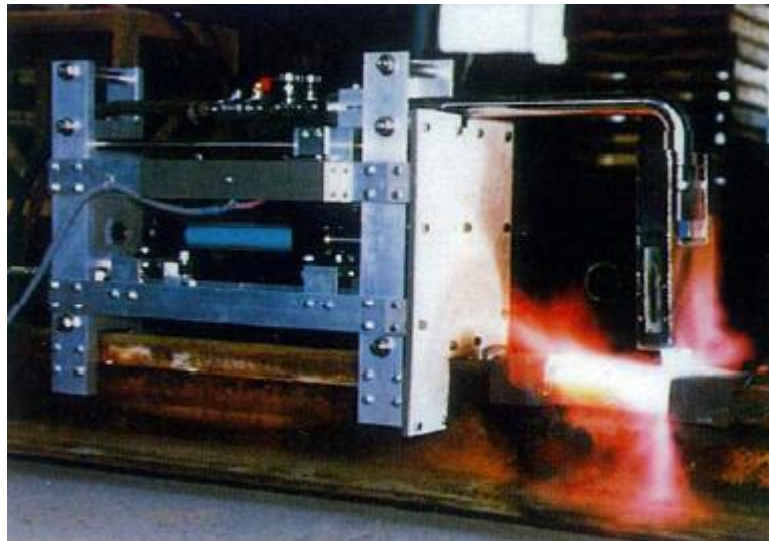
Kaynak üzerindeki tümseklik bıçaklar ile alınır. Kaynaktan hemen sonra kaynak henüz sıcak iken çapaklar alınırsa tıraşlanan yüzeyin altındaki bölge plastik deformasyona uğrar. (Şekil 4.31)



Şekil 4.31: Çapak alma işlemi

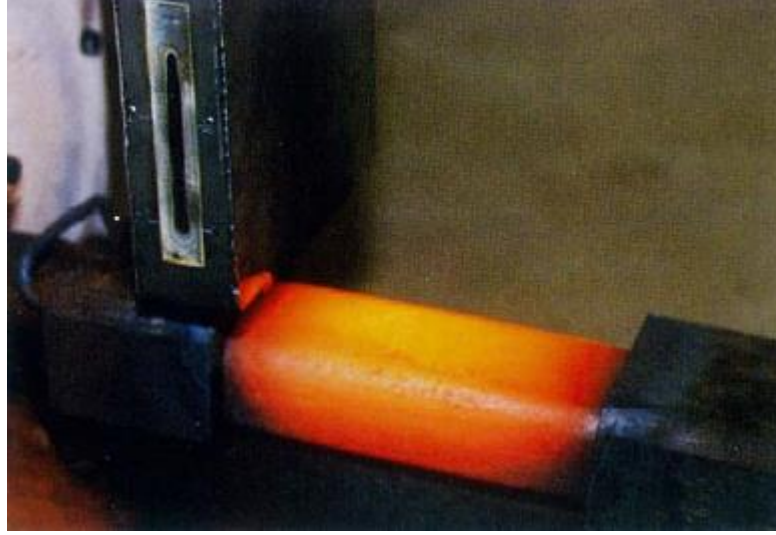
f. Kaynak Sonrası Isıl İşlem:

- i. Yeniden Isıtma: Rayın sıcaklığı 600°C veya altına ulaştığında ray mantarı özel brülörler ile ısıtılır. (Şekil 4.32)



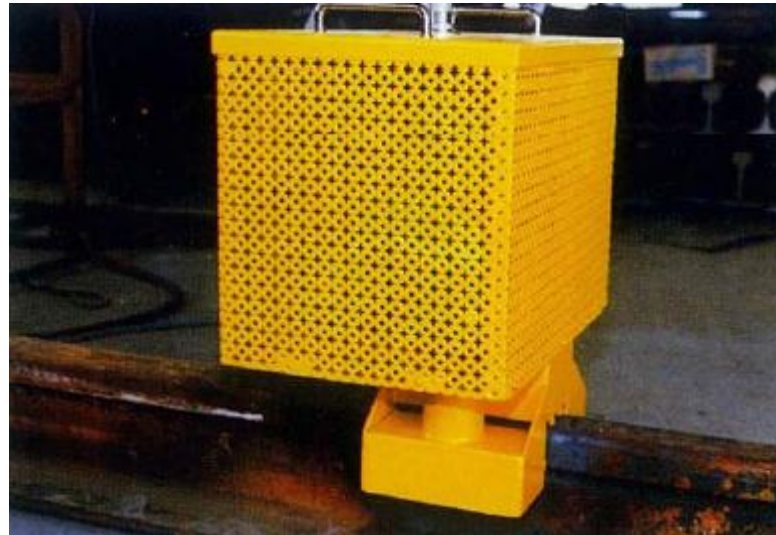
Şekil 4.32: Yeniden ısıtma işlemi

- ii. Yeniden Isıtmanın Bitirilmesi: Ray 90 saniye boyunca ısıtılır ve rayın sıcaklığı 1000 °C'ye ulaşır ise yeniden ısıtma işlemi sonlandırılır. (Şekil 4.33)



Şekil 4.33: Yeniden ısıtma işleminin sonlandırılması

- iii. Hava ile Soğutma: Isıtmadan hemen sonra ray özel üfleyiciler ile 300°C'nin altına indirilir. (Şekil 4.34)



Şekil 4.34: Hava ile soğutma işlemi

4.3.3.2. Gaz basınç kaynağı çalışma prensibi

“Basınç Kaynağı” terimi yaygın olarak, basınç gerektiren neredeyse tüm katı durumdaki proseslerden itibaren katı fazlı bağlantılar için eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Isı kaynağı gaz karışımı, elektriksel veya açık ocak alevi olabilir. Gaz basınç kaynağı bir ergime prosesi değildir, katı fazlı bağlantı tekniğidir. Ray başlarının gaz basınç kaynağında kısa bir sürede yaklaşık 1250 °C ile 1400 °C arasına erişmek için oksijen ve asetilen gazlarının karışımı kullanılır ve bunun üzerine yüksek basınç uygulanması ile ray başlarının bağlantısı sağlanır. (Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006) Sonuç olarak ana metaller ergime olmadan birleştirilir ve kaynağın dayanımı neredeyse ana metalinkiyle aynıdır. Gaz basınç kaynağı çoğunluğunda mekanik olarak gerçekleştirilir. Bundan dolayı, kaynakların dayanımı yüksek derecede güvenlidir. Aynı dayanım yakma alın kaynak yöntemi ile de elde edilir. (Hakusan MFG.CO., bt)

4.3.4. Metal ark kaynağı

4.3.4.1. Metal ark kaynağı yapım prosesi basamakları

Çubuk elektrot ile kaynak yöntemi (Elle Ark Yöntemi), ray çelikleri ve tüm profiller için temelde aynı metodolojiye sahiptir. (Voestalpine, 2011)

- a. Her iki ray ucunun 250 mm’lik bölümü ön ısıtmaya tabi tutulur, (ön ısıtma sıcaklığı rayın sertliğinin değil kimyasal kompozisyonun bir fonksiyonudur, R260 ray için ön ısıtma sıcaklığı: 350 °C, R350 HT rayı için ön ısıtma sıcaklığı 400 °C)
- b. Ray tabanının, gövdesinin ve mantarının 2/3’ünün sırasıyla düşük alaşımlı elektrot ve özlü kaynak teli ile kaynağı, (düşük alaşımlı elektrot kullanımı önerilir, çünkü ray tabanı ve gövdesinde yüksek süneklik istenilir) yapılır. Daha sonra rayın yuvarlanma yüzeyinin sertliği kadar yüksek elektrot ile ray mantarının geri kalan 1/3’ünün kaynağı, (aşınmaya ve yuvarlanma yüzeyi yorulmasına maruz kalan ray mantarının üst tarafının kaynağında kullanılacak

olan elektrotun sertliği rayın yuvarlanma yüzeyinin sertliği ile aynı olmalıdır). Yapılan kaynak sonrası taşlama ile yuvarlanma yüzeyindeki tümseklikler giderilir ve 1 m’lik master ile kontrolü yapılır,

- c. Kaynak sonrası ısıtıl işlem (kaynak sonrası rayın mantar sertliğine göre olması gereken sıcaklıklarda raya işlem uygulanır.

4.3.4.2. Tamir kaynağı

Tamir kaynağı, genelde ray mantarındaki bölgesel kusurların giderilmesi için kullanılır. (Şekil 4.35)

Tamir kaynağının yöntemi şu şekildedir: (Voestalpine, 2011)

- i. Taşlama: Bölgesel hatalar yüzeyde olmalı ve eğer kusur tam olarak giderilmişse sıvı penetrant ile muayenesi yapılmalıdır,
- ii. Ön Isıtma: rayın kaynak yapılacak bölgesi kaynak öncesi ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır, (R260 ray için ön ısıtma sıcaklığı: 350 °C, R350 HT rayı için ön ısıtma sıcaklığı 400 °C)
- iii. Kaynak: Elle Ark Kaynak yönteminde izlenilen yol ve elektrotlar ile kaynak yapılmalıdır,
- iv. Kaynak Sonrası Isıtma: Kaynak sonrası ısıtıl işlem (kaynak sonrası rayın mantar sertliğine göre olması gereken sıcaklıklarda raya işlem uygulanır.
- v. Taşlama: Orijinal profil elde edilmelidir.



Şekil 4.35: Tamir kaynağı

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, 60 E1 tip çelik raylar kullanılmış ve hava sıcaklıklarına bağlı olarak değişen ray sıcaklıklarında bu rayların kaynak sonrası mekanik davranışları incelenmiştir.

Deneysel çalışma için ray kaynağının yapılması sırasında seçilen sıcaklıklar; Bölüm 4.2.1.'deki bilgiler göz önüne alınarak kaynak yapılmaması gereken sıcaklık değerleri (-5C ve 51C) ile Ankara için optimum kaynak çalışma sıcaklık aralığı tercih edilmiştir.

5.1. Kullanılan Raylar

Mobil alın kaynak yöntemi ile kaynaklanmış R260 cinsi 60E1 tipi raylardır. 60E1 tipi raylar YHT hatlarında kullanılan tek tip ray çeşidi olup diğer hatlarda ise yaygın olarak kullanılan ray çeşididir. 60E1 tip rayların diğer ray çeşitlerine göre daha çok kullanılmasının sebebi kesitteki büyümeden dolayı dayanım değerlerindeki artıştır. (Bkz. Bölüm 3.3.2.2'de Çizelge 3.5)

Bu çalışmada kullanılan R260 tipi 60E1 rayların kimyasal kompozisyonu aşağıda Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1: R260 tipi 60E1 rayların kimyasal kompozisyonu

Çelik	Kimyasal Kompozisyon (% ağırlık)							
Kalitesi	C	Si	Mn	P _{maks}	S _{maks}	Cr _{maks}	Al _{maks}	V _{maks}
R260	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,030	0,030	0,15	0,004	0,030

5.2. Kullanılan Yöntem

Mobil Alın Kaynağı ile kaynaklanan raylar; TS EN 14587-2 standardına göre kaynak yaptığı deney parçaları onaylanmış yani TCDD raylarında kaynak yapabilme ruhsatını almış ve halen bilfiil çalışmakta olan kaynak makinası ile deneysel çalışma için kullanılacak rayların kaynağı yapılmıştır (Şekil 5.1). Bu tez çalışması için yakma alın kaynağı yönteminin kullanılmasının sebebi Bölüm 4.3.2.3’de anlatılmıştır.



Şekil 5.1: Mobil Alın Kaynak Makinası

Rayların yakma alın kaynağı için kullanılan makineler genelde 40.000 A ila 100.000 A akım gücü ve 6 V ila 15 V arası bir gerilimle çalışırlar.

5.3. Farklı Sıcaklıklarda Yapılan Ray Kaynakları ve Kaynak Sonrası Uygulanan Testler

Deneysel çalışma için kaynaklanmış rayların kaynak sırasındaki ray sıcaklıkları:

- ✓ (-5°C)’de kaynaklanmış ray,
- ✓ (+22°C)’de kaynaklanmış ray,
- ✓ (+51°C)’de kaynaklanmış raylardır.

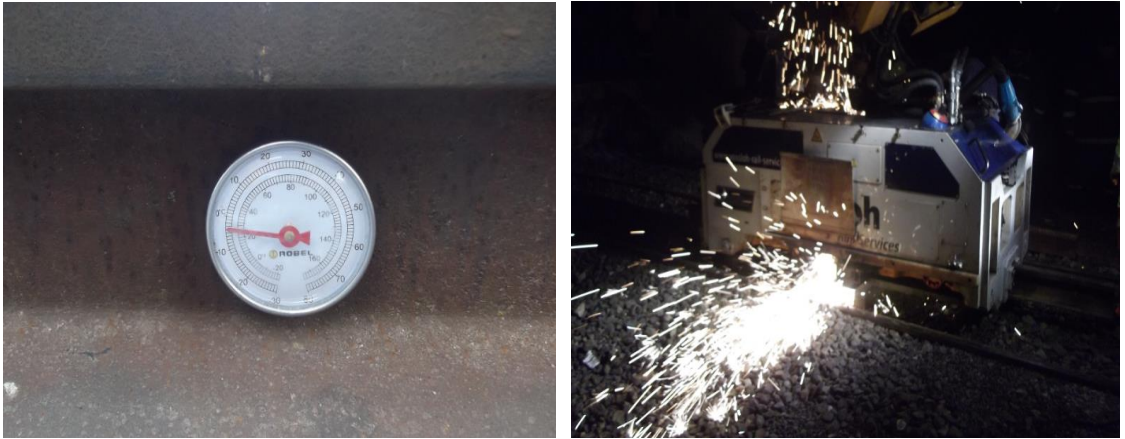
Bu çalışma sırasında kaynaklanmış raylara; “TS EN 14587-2 Demiryolu Uygulamaları-Yol-Rayların Alın Yakma Kaynağı Bölüm 2: Mobil Kaynak Makinaları ile Yeni R220, R260, R260Mn ve R350H Sınıf Rayların Kaynağı” şartnamesindeki “5.3. Onay Testleri” maddesindeki test yöntemlerinden:

- ✓ Gözle Muayene,
- ✓ Eğme Testi,
- ✓ Makro İnceleme,
- ✓ Mikro İnceleme,
- ✓ Sertlik Testleri uygulanmıştır.

Ayrıca (-5°C)’deki test numuneleri için TS EN 14587-2 standardında da geçen ve Tahribatsız Muayene Yöntemlerinden olan Manyetik Parçacık veya Penetrant ile Muayene yöntemlerinden “Manyetik Parçacık Yöntemi” ve ayrıca “Ultrasonik Muayene Yöntemi” uygulanmıştır.

5.3.1. (-5°C)’de yapılan kaynaklar

1. grup test numuneleri, (-5°C)’de mobil alın kaynak makinası ile kaynaklanmış raylardır. Bu raylar Ankara ili Polatlı ilçesi sınırları içerisinde kaynaklanmıştır. (Şekil 5.2)



Şekil 5.2: (-5°C)’de kaynaklanmış rayların kaynak anında çekilmiş fotoğrafları

5.3.2. (+22°C)'de yapılan kaynaklar

2. grup test numuneleri için Ankara ili Polatlı ilçe sınırları için geçerli olan çalışma sıcaklığı baz alınarak (+22) °C'de ray kaynağı yapılmıştır. (Şekil 5.3)



Şekil 5.3: (+22°C)'de kaynaklanmış rayların kaynak anında çekilmiş fotoğrafları

5.3.3. (+51°C)'de yapılan kaynaklar

3. grup test numuneleri için İzmir il sınırları içerisinde gerçekleşmiş olup 51°C'de kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir.

5.3.4. (-5°C), (+22°C) ve (+51°C)'de yapılan kaynaklara uygulanan testler

5.3.4.1. Gözle muayene

Gözle muayene: “TS EN ISO 9712 Tahribatsız Muayene-NDT Personelinin Kalifikasyonu Ve Belgelendirme - Genel Özellikler” standardında belirtilen Seviye 2 (Level 2) sertifikaya sahip personel tarafından gerçekleştirilmiştir.

Test sırasında ise “TS EN 13018 Tahribatsız Muayene-Gözle Muayene-Genel Kurallar” standardına uygun olarak doğrudan gözle muayene yapılmıştır. Doğrudan gözle muayenede göz ile muayene edilecek yüzey arası mesafe 600 mm'lik mesafe

içerisinde bulunmakta ve gözün yüzeye 30°'den az olmayan bir açı ile bakacak şekilde koşullar sağlanmıştır. Görme açısının iyileştirilmesi için inceleme sırasında büyüteç kullanılmıştır. Ayrıca muayene edilecek yüzeyde genel gözle muayene için en az 160 lüks, yerel gözle muayene için ise en az 500 lüks aydınlatma şartları sağlanmıştır.

Bu yöntem ile rayın yüzeyindeki kaynak sonrası süreksizlikler, yapısal bozukluklar, yüzey durumu gibi kaliteyi etkileyen parametreler kontrol edilmiştir.

5.3.4.2. Kimyasal analiz

Farklı sıcaklıklarda yapılmış olan kaynak numunelerinin ana malzeme tarafından ikişer adet kimyasal analiz sonuçları alınmış ve ortalama değer hesaplanmıştır.

5.3.4.3. Makro inceleme

TS EN 14587-2 standardında da belirtildiği gibi uzunlamasına bir dikey kesit, tam rayın dikey ekseninden aşağıya doğru merkezi olarak füzyon çizgisinin her iki tarafına 60 mm uzamış şekilde alınmıştır. Aynı zamanda taban uçlarının 10 mm iç tarafından da benzer kesitler alınmıştır. Asgari 220 kum taşlı zımpara kullanılmasıyla kesitler uygun bir sonlandırma için parlatılarak tüm bir ray derinliği numunesi ve kaynağın her birinden ilgili ray tabanı örnekleri, kaynak sınır çizgilerini göstermek için dağlanmıştır. Oda sıcaklığındaki dağlamada, inceleme yapıldığında sınır çizgilerinin belirgin olarak görülebilmesini sağlamak için en az 30 dakika beklenilmiştir.

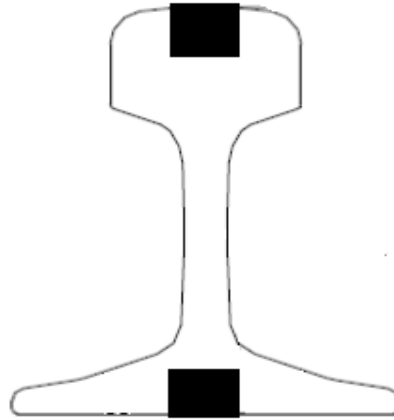
TS EN 14587-2 standardında belirtilmiş olan dağlayıcının her 10 litresi aşağıdaki kimyasal bileşime sahiptir:

- 1,875 kg bakır klorid ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
- 5 litre hidroklorik asit (HCl 1,18 ml - %35),
- 4,2 litre saf su.

5.3.4.4. Mikro inceleme

Yapılmış olan kaynaklı raylarda eğme testi sonrası kırılan rayın ray mantarından bir adet (20 mm x 20 mm) ve tabanından bir adet (10 mm x 20 mm) numune çıkartılmış ve numuneler % 4 Nital ile dağlanmıştır. (Şekil 5.4)

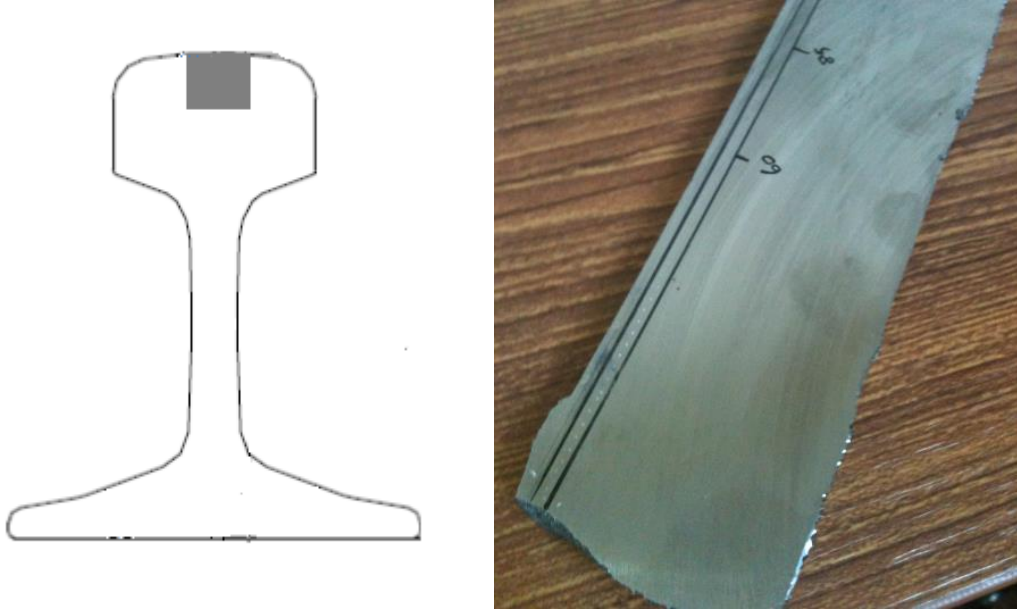
Mikroyapı incelemeleri 100x büyütme altında ana malzemeden, kaynak bölgesinden ve ısıdan etkilenen bölgede yapılmıştır.



Şekil 5.4: Raydan mikroyapı tarama için alınan numunenin yeri ve fotoğrafı

5.3.4.5. Sertlik testi

Sertlik testi için numune, ray mantarının dikey eksenini boyunca kaynak bölgesinden ana malzeme tarafına doğru yaklaşık olarak 100 mm'lik bir kesit şeklinde alınmıştır. (Şekil 5.5)



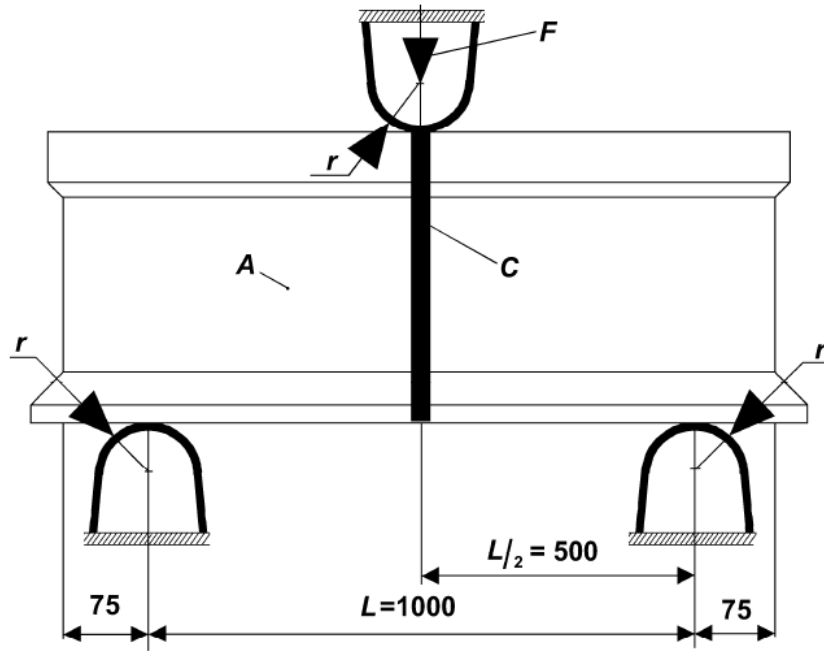
Şekil 5.5: Raydan sertlik testi için alınan numunenin yeri ve numune üzerinde gösterimi

TS EN 14587-2 standardında da geçtiği üzere numunenin sıcaklıktan etkilenen bölgesi boyunca sertlik değişiklikleri EN ISO 6507-2 standardı gereğince Vickers sertlik testi kullanılmak sureti ile ve aşağıdaki parametrelerle ölçüm yapılmıştır:

- a) HV 30,
- b) İzler, rayın dikey uzunlamasına ekseninde çalışan yüzey altında 3 mm ile 5 mm arasındaki bir çizgi üzerinde olmalıdır. Merkezler arası uzaklık 2 mm olmalıdır, (Şekil 5.5)
- c) Sertlik taraması kaynaktan etkilenmemiş ana rayın içinde en az 20 mm'de kaynağın her iki tarafındaki noktalara doğru uzatılmalıdır.

5.3.4.6. Eğme testi

Yolda bir Yakma Alın Kaynak Makinası kullanıldığında kaynak numunelerine eğme testi uygulanmıştır. Test, TS EN 14587-2 Ek-A'ya göre şu şekilde yapılmıştır:



Şekil 5.6: Eğme Test Düzeneği ve Ayarlamalar (birimler mm cinsinden)

F: Kuvvet

Not 1: r: 25 mm ile 75 mm

A: Ray

Not 2: Yükleme hızı: 40 kN/s ile 120 kN/s

C: Kaynak

Test sırasında uygulanan yükleme hızı 65 kN/s'dir. Şekil 5.6'da görüldüğü üzere eğme testi için hazırlanan kaynak numunesi test düzeneğine yerleştirilir ve teste başlanır. Numuneye uygulanacak eğme testi şu gereklilikleri karşılamalıdır:

- Her eğme testi kırılma oluşuncaya kadar devam eder veya pres Çizelge 5.2'de verilen limit kuvvete ulaştığında test sonlandırılır.

Çizelge 5.2: TS EN 14587-2 Ek-A'ya göre asgari eğme testi gereklilikleri

Ray Profili	Onay ve Üretim Testleri İçin Asgari Eğilme Sehim Değeri (mm)	Onay İçin Asgari Eğilme Testi Kuvveti (kN)	Üretim İçin Asgari Eğilme Testi Kuvveti (kN)
	900 A (R260)	900 A (R260)	900 A (R260)
S49 (EN 49E1)	30	1050	995
UIC60 (EN 60E1)	20	1600	1520

- Eğer kırılma kaynak çizgisi üzerinde olur ise kırılma yüzeyleri muayene edilmelidir. Bu test için birleşme noksanlığına izin verilmez ve düz noktalar birleşme noksanlığı olarak değerlendirilmemelidir.

Eğer kırılma kaynaktan uzakta gerçekleşmiş ise kırılma yüzeylerinde elektrot temas yanıklarının bulunduğu kontrolü yapılmalıdır. Elektrot temas yanıkları hatası mevcut ise proses onayının başarısız olmasına neden olur. Eğer kırılma elektrot temas yanıklarının dışındaki hatalardan dolayı rayın içerisinde gerçekleşirse diğer test numunesi test için değiştirilir.

EN 14587-2'de bahsedilen onay ve üretim süreçleri şu anlama gelmektedir:

- Onay Süreci:** Kaynak yüklenicisinin onayı yani makinenin onayı ve sahada uygulamaların ilk onayı anlamına gelmektedir. Ray kaynak işlemi yapacak makinenin üretime başlaması için gereken minimum koşulları tanımlar.
- Kaynakların Üretimi:** Kaynak yüklenicisinin onayından sonra seri kaynak işine başlayan makinenin kaynakladığı rayların sahip olması gereken minimum koşulları tanımlar.

5.3.4.7. Manyetik parçacık testi

Ayrıca bütün bu testlere ilave olarak EN 14587-2 standardı 5.3.4. maddesinde belirtildiği üzere alın kaynağı yapılmış raylara tahribatsız muayene yöntemlerinden olan Manyetik Parçacık veya Penetrant ile Muayene testleri uygulanmıştır. Manyetik Parçacık ile Muayene “TS EN ISO 9712 Tahribatsız Muayene-NDT Personelinin Kalifikasyonu Ve Belgelendirme - Genel Özellikler” standardında belirtilen Seviye 2 (Level 2) belgeye sahip bir kişi tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada (-5°C)’de kaynağı yapılmış raylara TS EN ISO 17638’a uygun olarak Manyetik Parçacık testi uygulanmıştır. Manyetik Parçacık Testi, yüzeydeki veya yüzeyin hemen altındaki kusurların, çatlak benzeri süreksizliklerin tespit edilebilmesi için kullanılan bir Tahribatsız Muayene yöntemidir.

Manyetik parçacık testi sırasında kayıt edilen bilgiler şunlardır:

- ✓ Mıknatıslandırma Cihazı (Üretici/Tip): TMM MP 2500-2AC
- ✓ Aydınlatma (Lüksmetre /Aydınlatma Şiddeti): 6 lx
- ✓ Muayene Parametreleri (Akım Şiddeti): 2500 A
- ✓ Ortam Sıcaklığı: 20°C
- ✓ Siyah Işık (UV Metre ile): UVX E 29968 / 1500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
- ✓ Alan Şiddeti (Manyetometre ile): 2,44 kA/m (HIRST GM-081342)
- ✓ Tespit Ortamı Özellikleri: Dairesel mıknatıslandırma, enine ve boyuna %100 yüzey muayenesi.

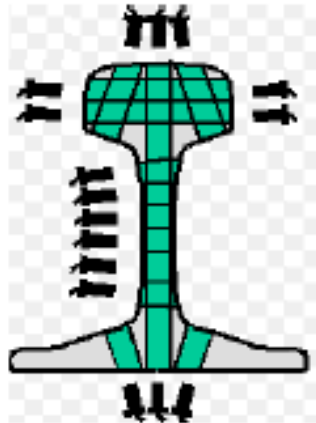
5.3.4.8. Ultrasonik muayene testi

Ultrasonik Yöntem ile Muayene “TS EN ISO 9712 Tahribatsız Muayene-NDT Personelinin Kalifikasyonu ve Belgelendirme-Genel Özellikler” standardında belirtilen Seviye 2 (Level 2) belgeye sahip bir kişi tarafından gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, (-5°C)’de yapılmış kaynaklara TS EN ISO 17640 standardına uygun olarak Ultrasonik Muayene ile tarama yapılmıştır. Ultrasonik muayenede kullanılan prob’lar genelde 0, 37, 45 ve 70 derece açıya sahiptir. 0 dereceli prob ile rayın tüm yüzeyleri, 70 derece açılı prob ile dikey olarak mantar, 45 ve 37 dereceli prob ile de rayın gövdesinin

muayenesi yapılmaktadır. Ultrasonik muayene ile amaç, ses dalgaları kullanılarak malzeme içi hataların tespittir.

Ultrasonik muayene sırasında kayıt edilen bilgiler şunlardır:

- ✓ UT Cihazı (Üretici/Tip): SIUI CTS 9009
- ✓ Kalibrasyon Bloğu: TS EN 12223-K1
- ✓ Temas Sıvısı: Makine Yağı
- ✓ Muayene Parametreleri (Kazanç Değeri): 36 dB
- ✓ Ortam Sıcaklığı: 20°C
- ✓ Muayene Kapsamı / Kesiti: Ray Mantarı, Gövde, Taban



Şekil 5.7: Rayın Ultrasonik Muayene Yerleri

BÖLÜM 6

SONUÇ

Bu çalışmada, Ankara il sınırları için ray kaynağı yapım esnasındaki çalışma sıcaklık aralıklarının (20°C ile 26°C arası) altında ve üstünde (-5°C’de ve 51°C’de) yapılan kaynaklar ile Ankara il sınırları için geçerli olan optimum koşullar altında yapılan (22°C’de) ray kaynaklarının TS EN 14587-2 standardında istenilen testleri karşılaştırma amacıyla gerçekleştirilmiştir. Amaç, DB (Alman Demiryolları) tarafından oluşturulmuş ve TCDD tarafından kabul edilerek uygulanmakta olan “Demiryolu Yol Kaynağı” yönetmeliklerindeki parametrelerin değerlendirilmesidir.

Çalışma esnasındaki numuneler, dünya üzerinde olduğu gibi TCDD’deki konvansiyonel ve yüksek hızlı tren hatlarında da kullanılmakta olan 60E1 kalite raydan tercih edilmiştir. Tercih edilen bu ray sınıfına günümüzde demiryollarında en yaygın olarak kullanılan elektrik yakma alın kaynağı (electrical flash butt welding) yöntemi uygulanmıştır. Elektrikli yakma alın kaynağı ile yapılan ray kaynağında, diğer kaynak yöntemlerinde olduğu gibi yapım esnasında hatalar oluşabilmekte ve bu da rayların beklenen ömürlerinde daha kısa sürede kırılmasına neden olmaktadır. Bu yüzden prosesin basamakları ve proses ile ilgili standartlarda ve yapım yönetmeliklerinde yer alan kısıtlamalara harfiyen uymak çok önemlidir.

Her 3 gruptaki numuneler için TS EN 14587-2 standardında yer alan üretim ve kabul testleri yapılmıştır. Ayrıca (-5°C)’de kaynaklanmış raylara diğer iki gruptaki raylara yapılan testlere ilave olarak tahribatsız muayene yöntemlerinden “Manyetik Parçacık ile Muayene” ve “Ultrasonik Muayene” yöntemleri de uygulanmıştır.

6.1. Test Parçası / 1. Grup (-5°C)'de Yapılan Kaynaklara Uygulanan Testlerin Sonuçları

6.1.1. Gözle muayene

Eğme testi öncesi kaynağı yapılmış rayların taşlama ile çapakları alınmıştır. Gözle muayene sonucu kaynak ve ısıdan etkilenen bölgelerde bir süreksizlik, yapısal bozukluk, ergime noksanlığı ve nüfuziyet eksikliğine rastlanılmamıştır.

6.1.2. Kimyasal analiz

(-5) °C'de kaynaklanmış rayın ana malzeme tarafından çıkarılan numune üzerinden spektrometre ile alınan iki kimyasal analizin ortalama sonucu Çizelge 6.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 6.1: (-5) °C'de kaynaklanmış rayların ana malzeme kimyasal analizleri

Çelik Kalitesi	C	Si	Mn	P _{maks}	S _{maks}	Cr _{maks}	Al _{maks}
1	0,774	0,272	1,07	0,0256	0,019	0,0412	0,001
2	0,765	0,266	1,16	0,0241	0,022	0,0292	0,001
Ort. değer	0,769	0,269	1,11	0,0248	0,020	0,0352	0,001

6.1.3. Makro inceleme

TS EN 14587-2 standardına göre makro inceleme sonucu istenilen bulgular şunlardır:

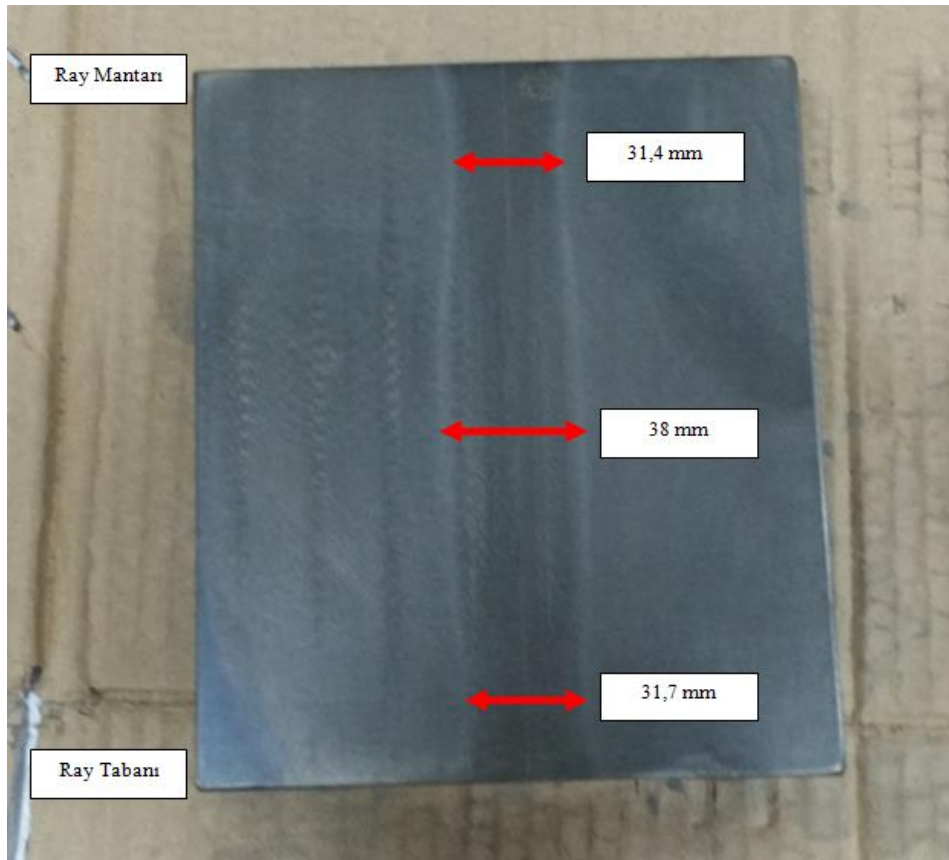
a) Isıdan etkilenmiş bölge, kaynak eksenini etrafında simetrik bir şekilde olmalıdır ve en fazla 45 mm ve en az 20 mm genişlikler içerisinde bulunmalıdır. Herhangi bir kaynak üzerinde ısıdan etkilenmiş görünür bölgenin azami ile asgari boyutları arasında izin verilen sapma 20 mm'yi aşmamalıdır. Bu koşul, tüm ray derinliği boyunca kesen ve her bir ray tabanından alınan dikey eksene eşit olarak uygulanmalıdır.

b) Yetersiz kaynama, kalıntılar, çatlaklar veya çekme ile ilgili hiçbir belirti olmamalıdır. Makro muayene vasıtasıyla tam olarak belirlenemeyen kusurlar, mikro muayene vasıtasıyla kontrol edilmelidir.

c) Düzleşmiş noktaların bulunduğu bu durumda, 100x büyütmede mikro muayene vasıtasıyla kontrol edilmelidir. Çatlaklar bulunursa, işlem reddedilir.

Yapılan muayene sonucunda ısıdan etkilenmiş bölgenin biçimi kaynak ekseninde simetriktir. Isıdan etkilenmiş bölgenin genişliği minimum 31,4 mm, maksimum 38,0 mm'dir. Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma, numune 20 mm'den azdır. (Şekil 6.1 ve Şekil 6.2)

Ayrıca incelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği vs. gibi hatalar bulunmamaktadır.



Şekil 6.1: (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tam Kesitine Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf



Şekil 6.2: (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tabanına Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf

6.1.4. Mikro inceleme

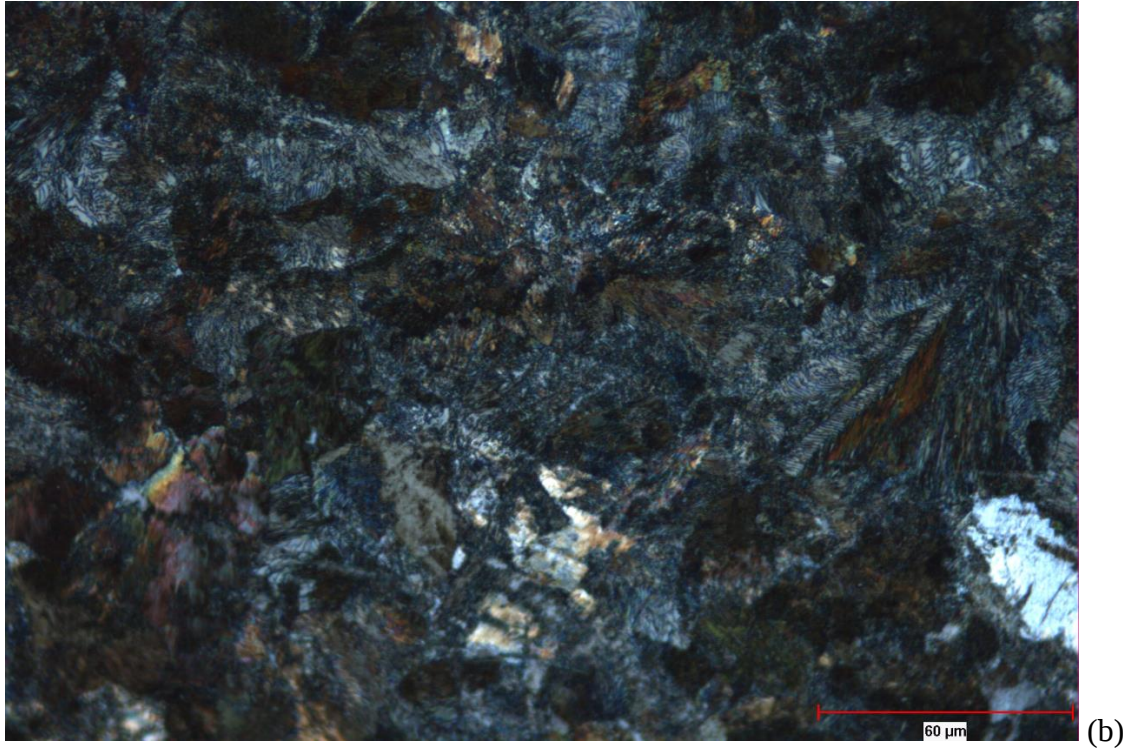
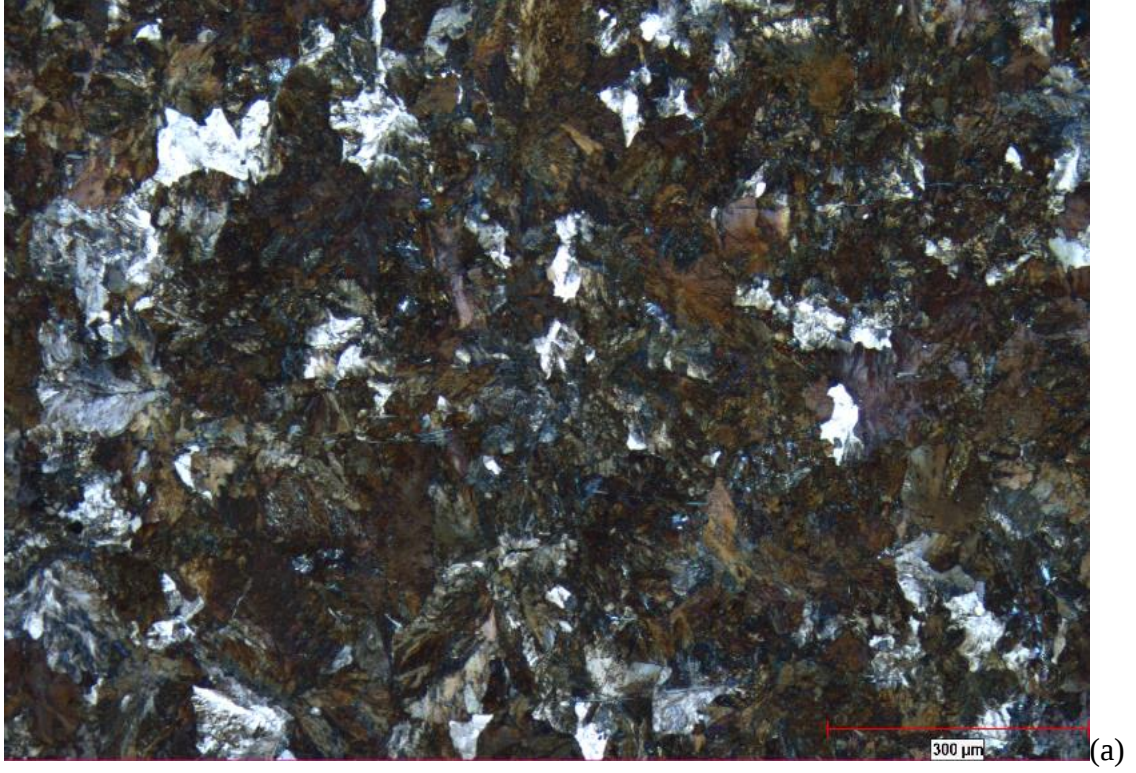
TS EN 14587-2 standardına göre mikro incelemeler sonrası istenilen bulgular şunlardır:

- Makro incelemenin tamamlanmasının ardından yapılmalıdır,
- Görünür ısıdan etkilenmiş bölgede 100x büyütmede martenzitik yapı veya beynitik yapı belirtisi bulunmamalıdır.

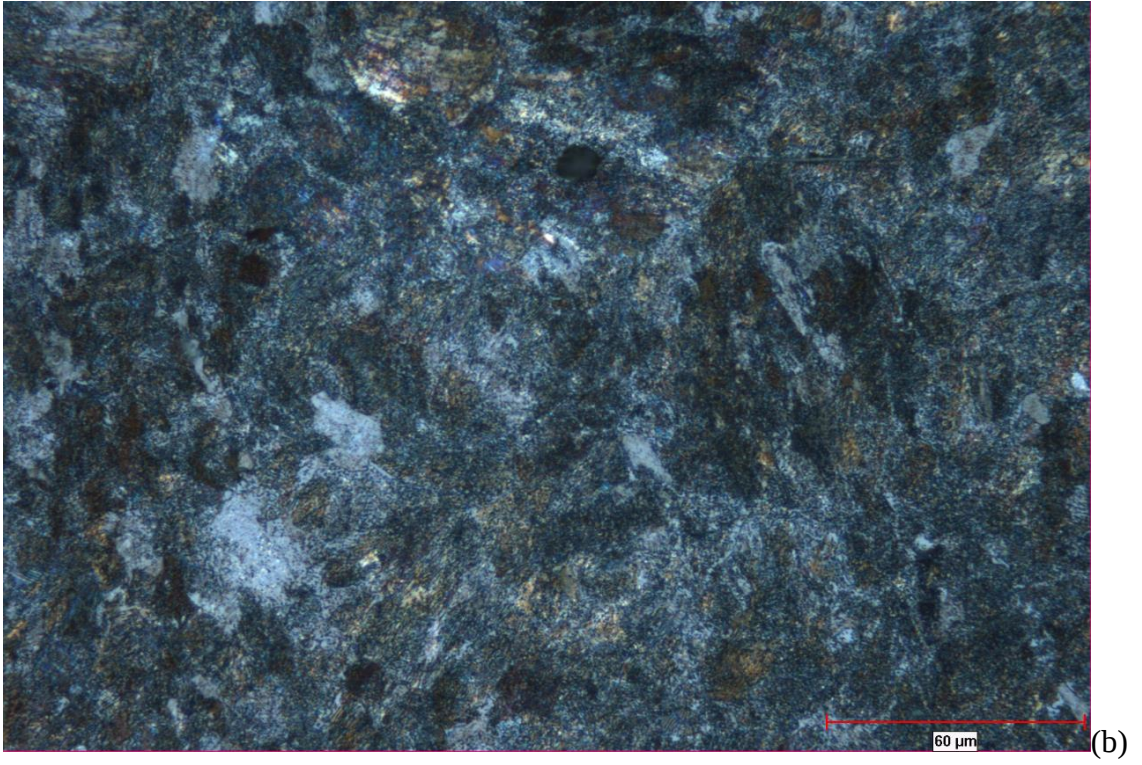
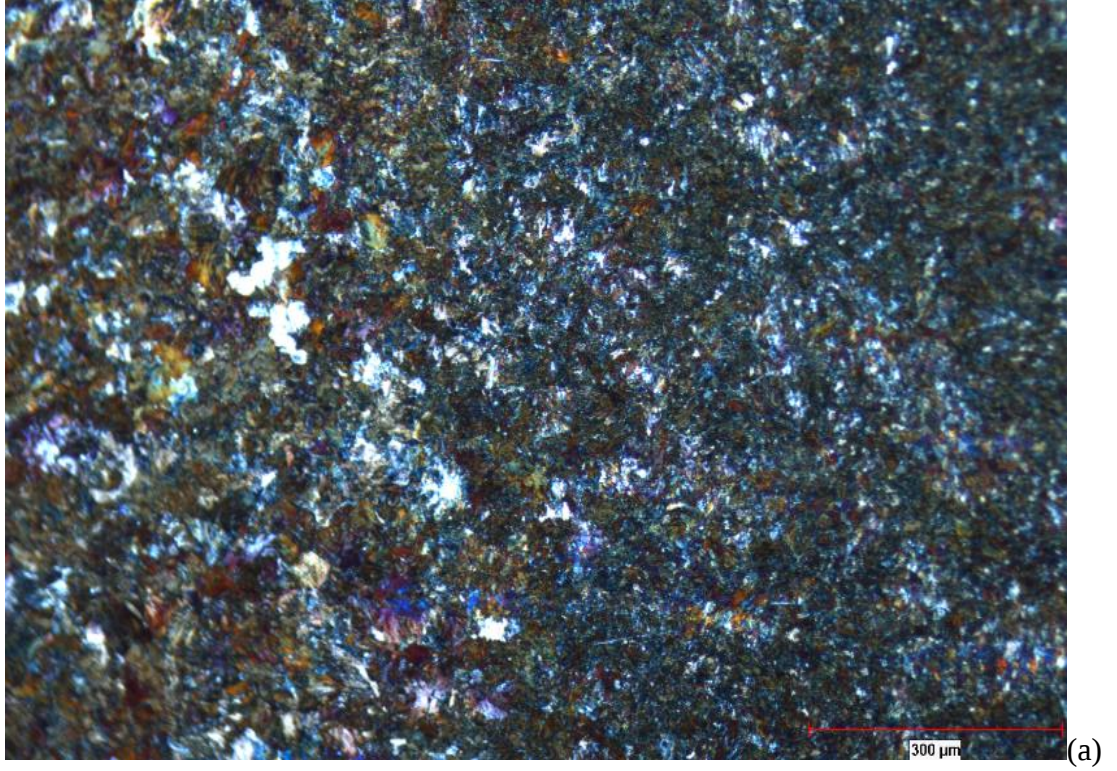
Ayrıca 500x büyütme altında ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüleri de incelenmiştir.

Kırık raya ait numunelerin dağıldıktan sonra yapılan incelemesinde; numunenin ana yapısının tamamen perlitik yapıda olduğu ve eser miktarda ferrit mevcut olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.3). Kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenen bölgenin ise 100x ve 500x büyütme altındaki fotoğrafları Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de verilmiştir.

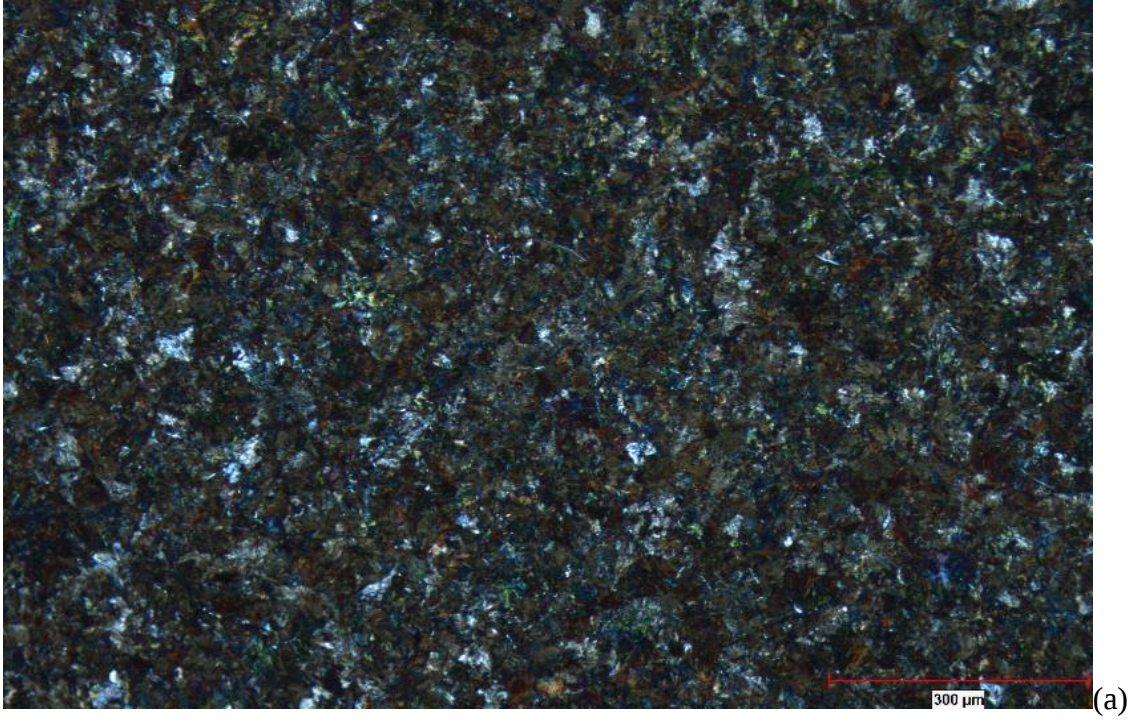
İncelenen ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak bölgesinde martenzit veya beynit fazına rastlanmamıştır.



Şekil 6.3: (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Ana Malzemesinin Mikroyapı Fotoğrafları:
a) 100x, b) 500x



Şekil 6.4: (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayda Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikroyapı
Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x



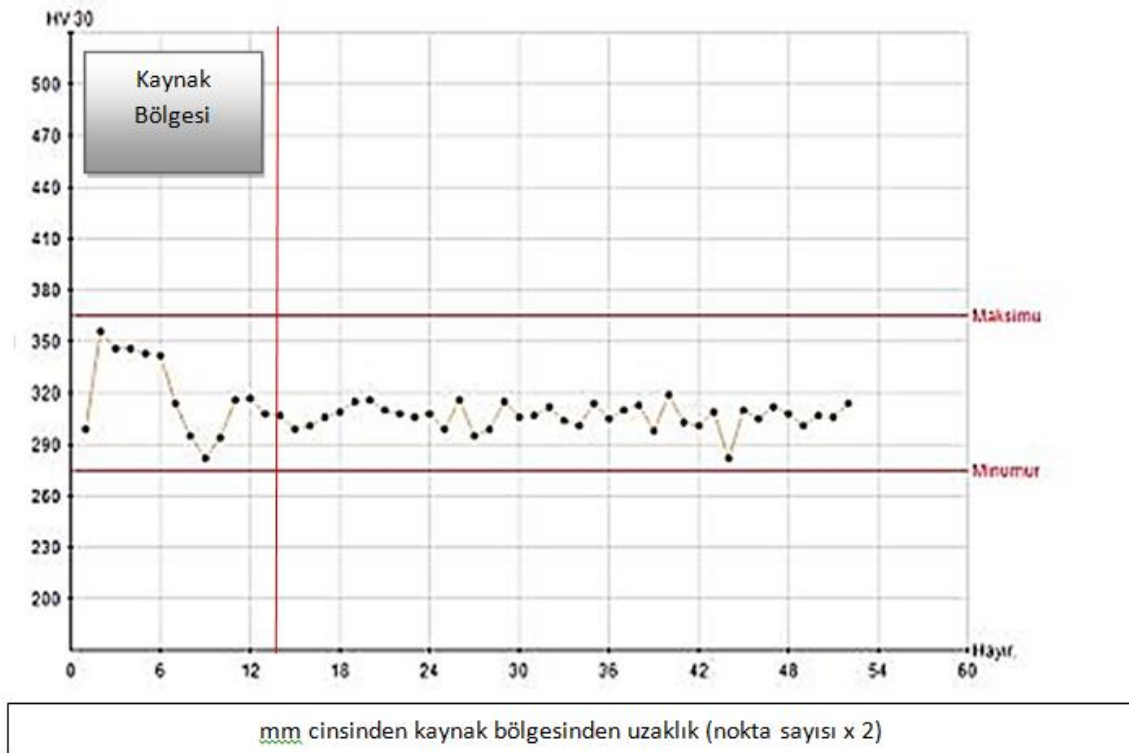
Şekil 6.5: (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Kaynak Bölgesinin Mikroyapı Fotoğrafları:
a) 100x, b) 500x

6.1.5. Sertlik testi

TS EN 14587-2 'ye göre elde edilen sertlik değerleri için olması gerekli şartlar:

- P : Etkilenmemiş ana metalin sertlik ortalaması
- P_{min} : P - 30 HV₃₀
- P_{maks} : P + 60 HV₃₀ değerleri arasında yer almalıdır.

Koşulları sağlayan bir sertlik değeri iki bitişik değer arasında olduğunda, belirtilen en az ve en çok değerlerin dışında kalan istisnai bir sertlik değerine izin verilmelidir. Bu koşullar sağlanamazsa işlem reddedilir.



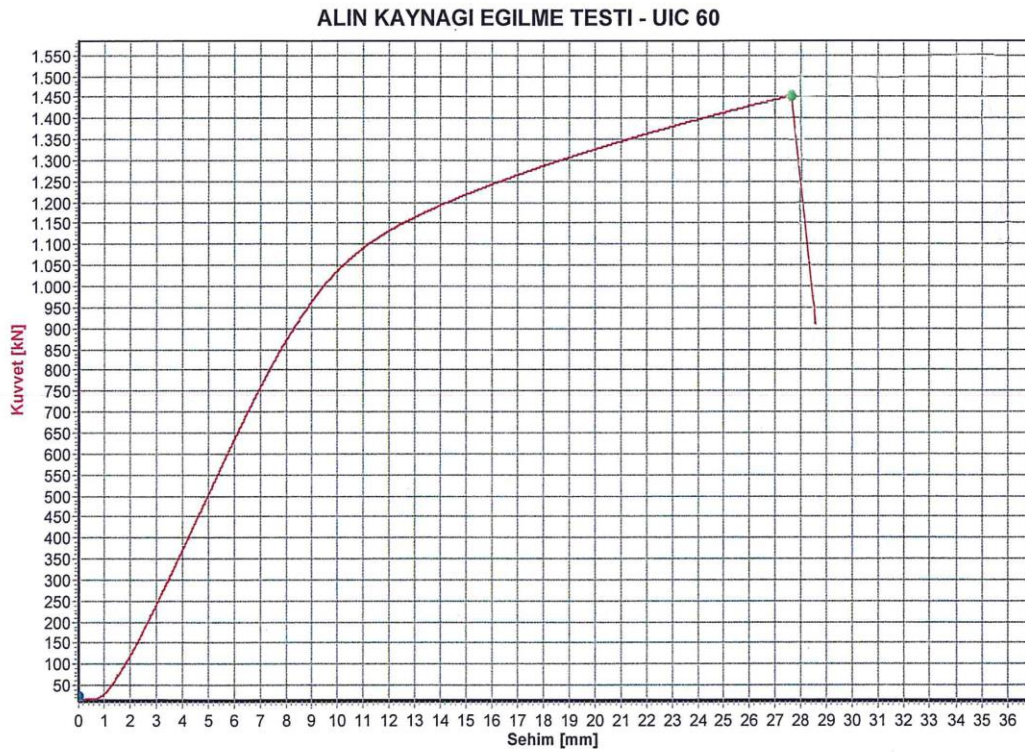
Şekil 6.6: (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Sertlik Testi Sonuç Diyagramı

Yukarıdaki Şekil 6.6'da "0" noktası kaynağın merkezidir. Alt eksen kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ölçülen noktaların sayısıdır ve bu noktalar arası 2 mm olduğu için; nokta sayısı x 2 mm bize kaynaktan olan uzaklığı verir. (Örneğin alt eksendeki 30 noktası bize sertlik değerinin kaynak merkezinden 60 mm uzaktan aldığını ifade etmektedir.)

Ana rayın ortalama sertliği $P=309,88 \text{ HV}_{30}$ 'dur. Elde edilen kaynak bölgesi sertlik değerleri, teknik şartnamedeki gereklilikleri ($P_{\min}=P-30$, $P_{\max}=P+60$) sağlamaktadır.

6.1.6. Eğme testi

TS EN 14587-2 Ek-A'ya göre numuneye eğme testi uygulanmıştır. Şekil 6.7'de test sonucu elde edilen değerler gösterilmektedir. Buna göre numunede kırılma kaynak bölgesinde oluşmuş ve 1454,21 kN'da kırılma gerçekleşmiştir. Oluşan sehim ise 27,57 mm'dir.



Test sonuçları

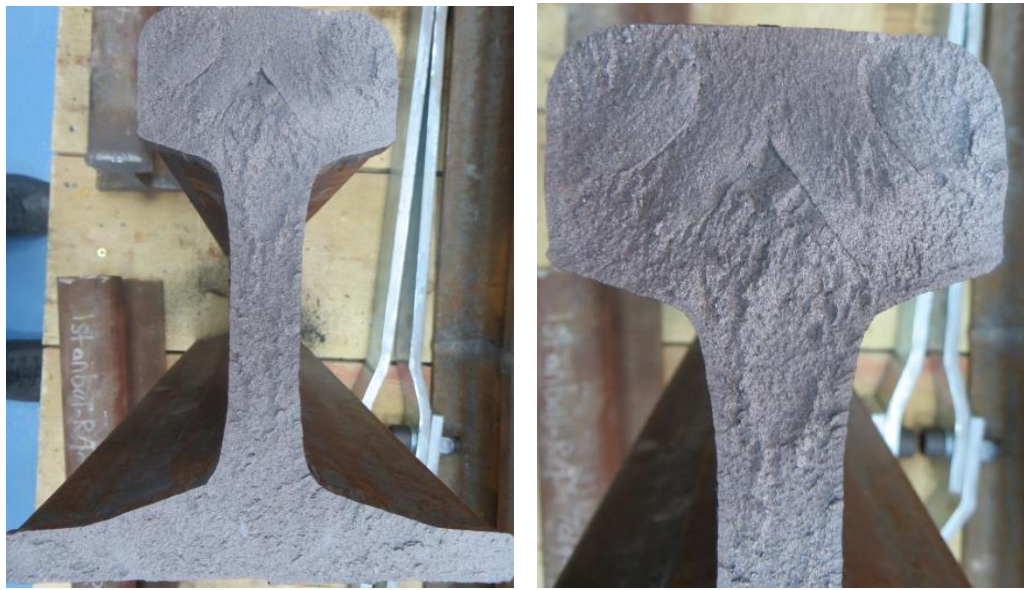
	OK	Tarih	Süre	FH-Maksimum Kuvvet kN	AH-Yüzde Uzama %	DLH-Uzama mm	FB-Yenilme Kuvveti kN
1	x	23.01.14	16:07	1454,21	20,41	27,57	1454,21

	AB-Maksimum % Uzama %	LB-Maksimum Uzama mm
1	20,41	27,57

Şekil 6.7: (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Eğme Testi Sonuç Diyagramı

Elde edilen bu sonuçlar altında Çizelge 5.4'a göre üretim (1520 kN) ve onay (1600kN) için asgari eğilme testi değerlerine ulaşılardan kırılma gerçekleşmiştir. Fakat sehim değerleri ise ilgili tablodaki gereklilikleri karşılamıştır.

Eğme testi sırasında kırılan raya ise; TS EN 14587-2 standardı 5.3.1 maddesine göre yapılan görsel muayenede genel olarak kırılma yüzeyi incelendiğinde rayda gevrek kırılmanın olduğu anlaşılmıştır. (Şekil 6.8)

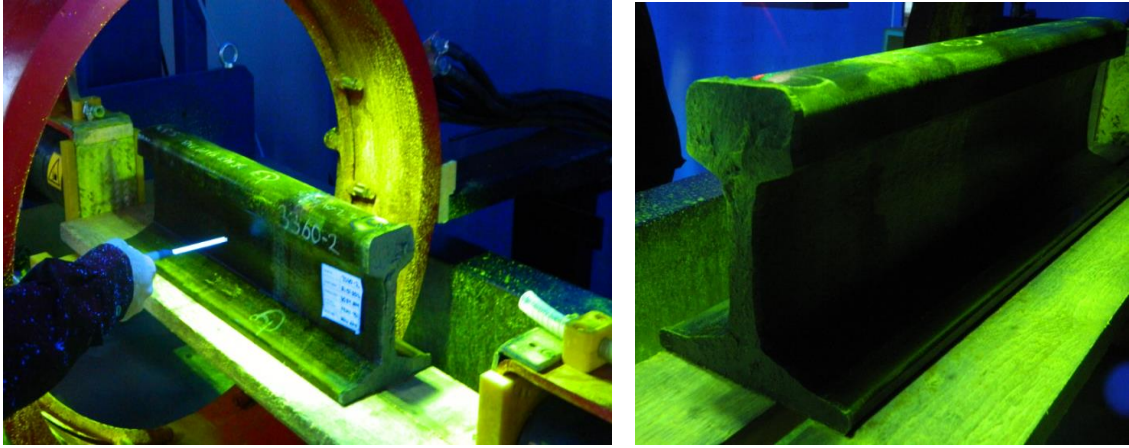


Şekil 6.8: (-5°C)'de Kaynaklanmış Rayın Eğme Testi Sonrası Kırık Kesit Yüzey Fotoğrafları

6.1.7. Manyetik parçacık ve Ultrasonik yöntem ile muayene

6.1.7.1. Manyetik parçacık testi:

Kaynağın tüm yüzeyleri ve elektrot temas alanları yukarıda verilen bilgiler dahilinde kusurlara karşı kontrol edilmiş olup herhangi bir yüzeydeki veya yüzeyin hemen altındaki kusurlara, çatlak benzeri süreksizliklere rastlanmamıştır. (Şekil 6.9)



Şekil 6.9: (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Uygulanan Manyetik Parçacık Testi

6.1.7.2. Ultrasonik muayene testi:

Kaynağın tüm yüzeyleri Şekil 6.10'da gösterildiği gibi kusurlara karşı kontrol edilmiş olup herhangi bir iç hataya (porozite, kalıntı, cüruf vb.) rastlanmamıştır.



Şekil 6.10: (-5°C)'de Kaynaklanmış Raya Uygulanan Ultrasonik Muayene Testi

6.2. Test Parçası / 2. Grup (+22°C)'de Yapılan Kaynaklara Uygulanan Testler

6.2.1. Gözle muayene

Eğme testi öncesi kaynağı yapılmış rayların taşlama ile çapakları alınmıştır. Gözle muayene sonucu kaynak ve ısıdan etkilenen bölgelerde bir süreksizlik, yapısal bozukluk, ergime noksanlığı ve nüfuziyet eksikliğine rastlanılmamıştır.

6.2.2. Kimyasal analiz

(+22) °C'de kaynaklanmış rayın ana malzeme tarafından çıkarılan numune üzerinden spektrometre ile alınan iki kimyasal analizin ortalama sonucu Çizelge 6.2'de verildiği gibidir.

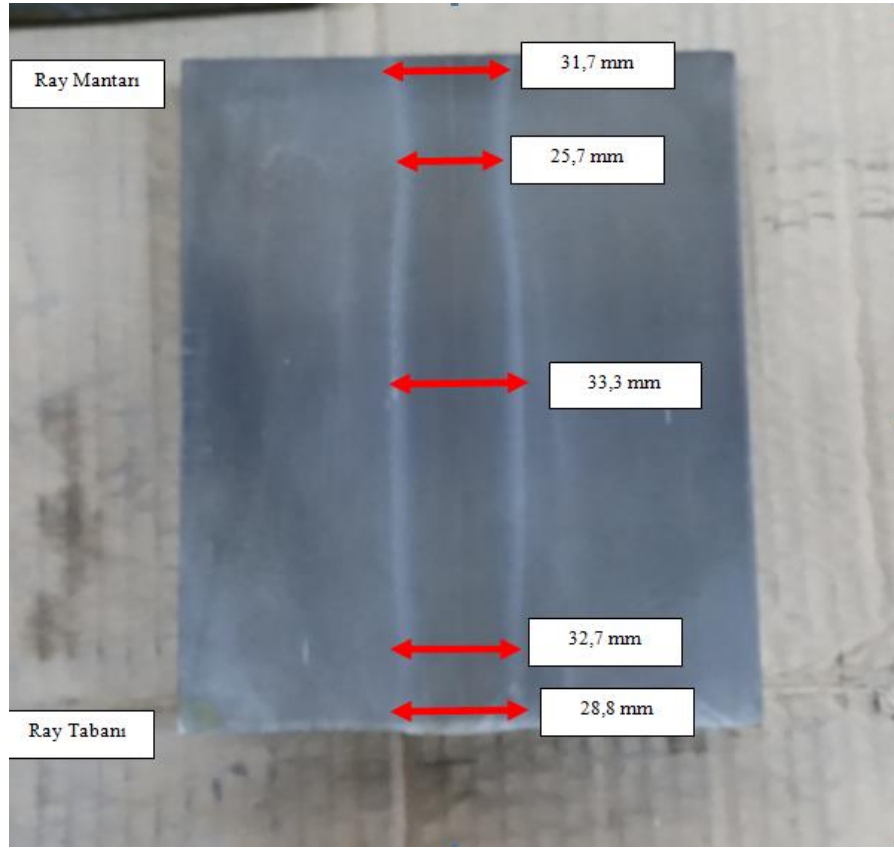
Çizelge 6.2: (+22) °C'de kaynaklanmış rayların ana malzeme kimyasal analizleri

Çelik Kalitesi	C	Si	Mn	P _{maks}	S _{maks}	Cr _{maks}	Al _{maks}
1	0,712	0,256	1,02	0,0217	0,020	0,0356	0,001
2	0,745	0,253	1,10	0,0233	0,022	0,0311	0,001
Ort. değer	0,72	0,25	1,06	0,022	0,021	0,0667	0,001

6.2.3. Makro inceleme

Yapılan muayene sonucunda ısıdan etkilenmiş bölgenin biçimi kaynak eksenini etrafında simetriktir. Isıdan etkilenmiş bölgenin genişliği minimum 25,7 mm, maksimum 33,3 mm'dir. Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma, numunede 20 mm'den azdır. (Şekil 6.11 ve Şekil 6.12)

Ayrıca incelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği vs. gibi hatalar bulunmamaktadır.



Şekil 6.11: (22°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tam Kesitine Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf



Şekil 6.12: Ray Tabanına Yapılan Makro Muayene Fotoğrafi

6.2.4. Mikro inceleme

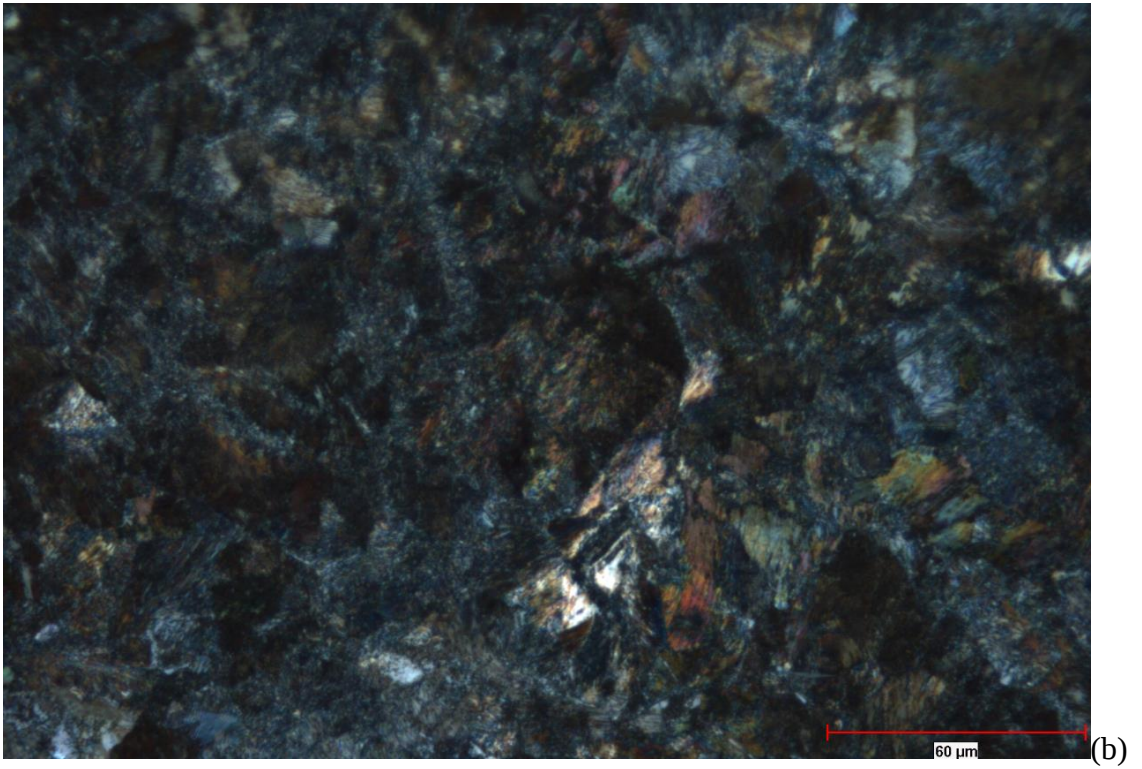
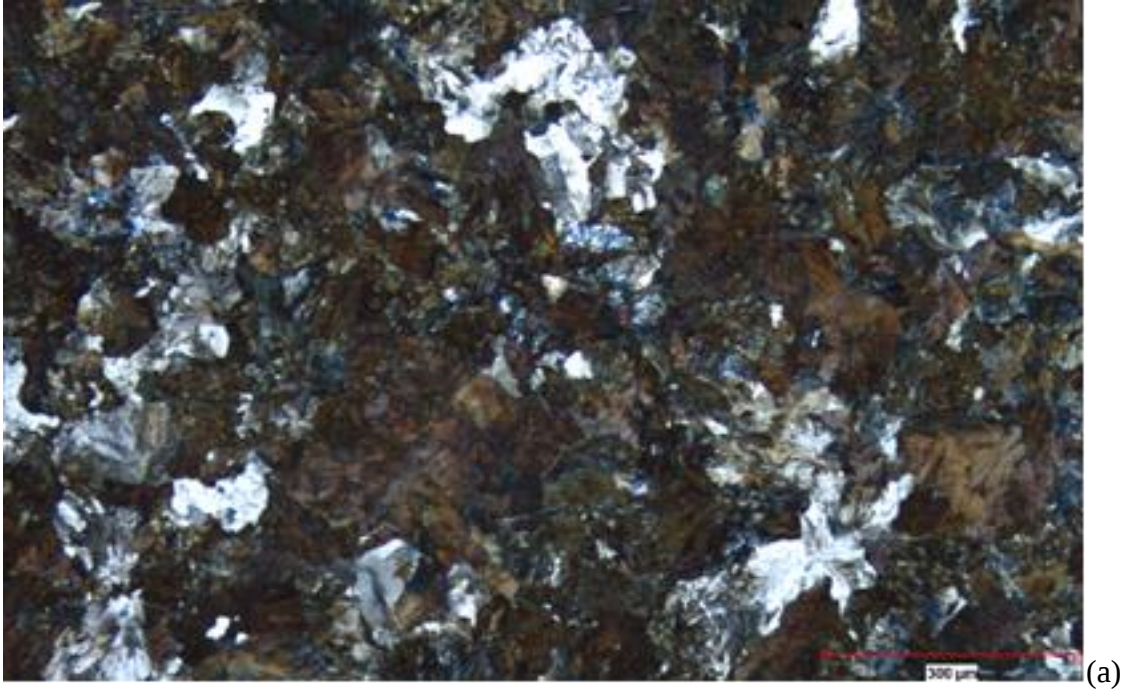
TS EN 14587-2 standardına göre mikro incelemeler sonrası istenilen bulgular şunlardır:

- Makro incelemenin tamamlanmasının ardından yapılmalıdır,
- Görünür ısıdan etkilenmiş bölgede 100x büyütmede martenzitik yapı veya beynitik yapı belirtisi bulunmamalıdır.

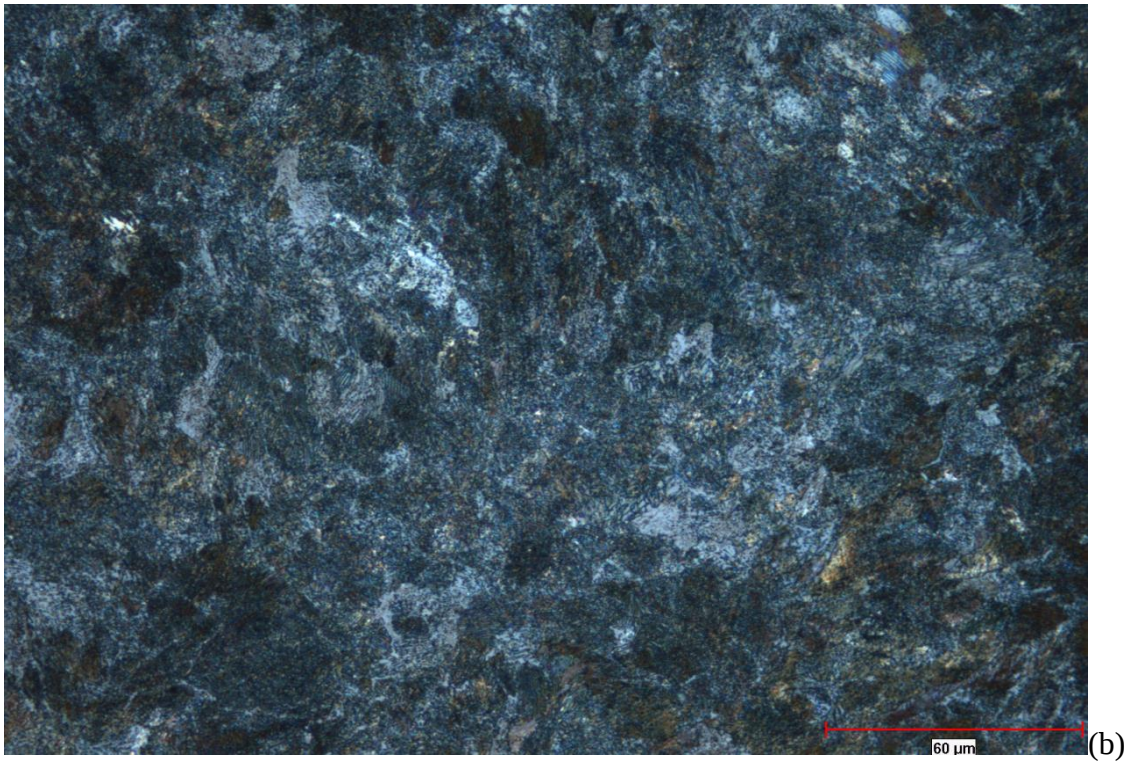
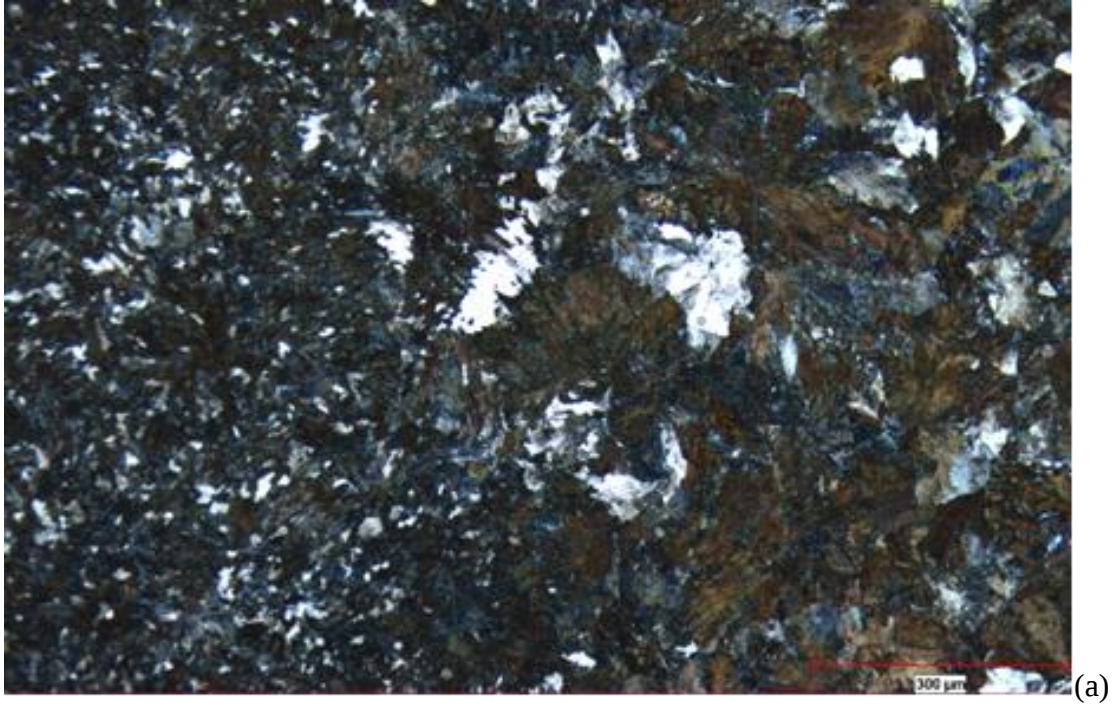
Ayrıca 500x büyütme altında ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüleri de incelenmiştir.

Kırık raya ait numunelerin dağıldıktan sonra yapılan incelemesinde; numunenin ana yapısının tamamen perlitik yapıda olduğu ve eser miktarda ferrit mevcut olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.13). Kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenen bölgenin ise 100x ve 500x büyütme altındaki fotoğrafları Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’de verilmiştir.

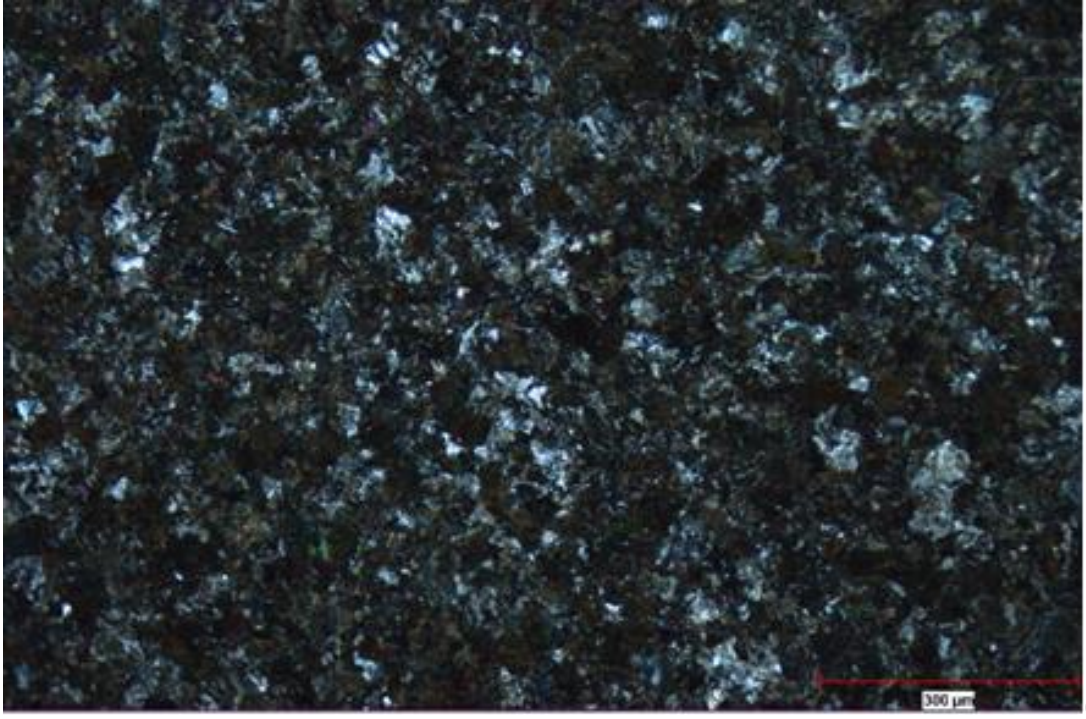
İncelenen ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak bölgesinde martenzit veya beynit fazına rastlanmamıştır.



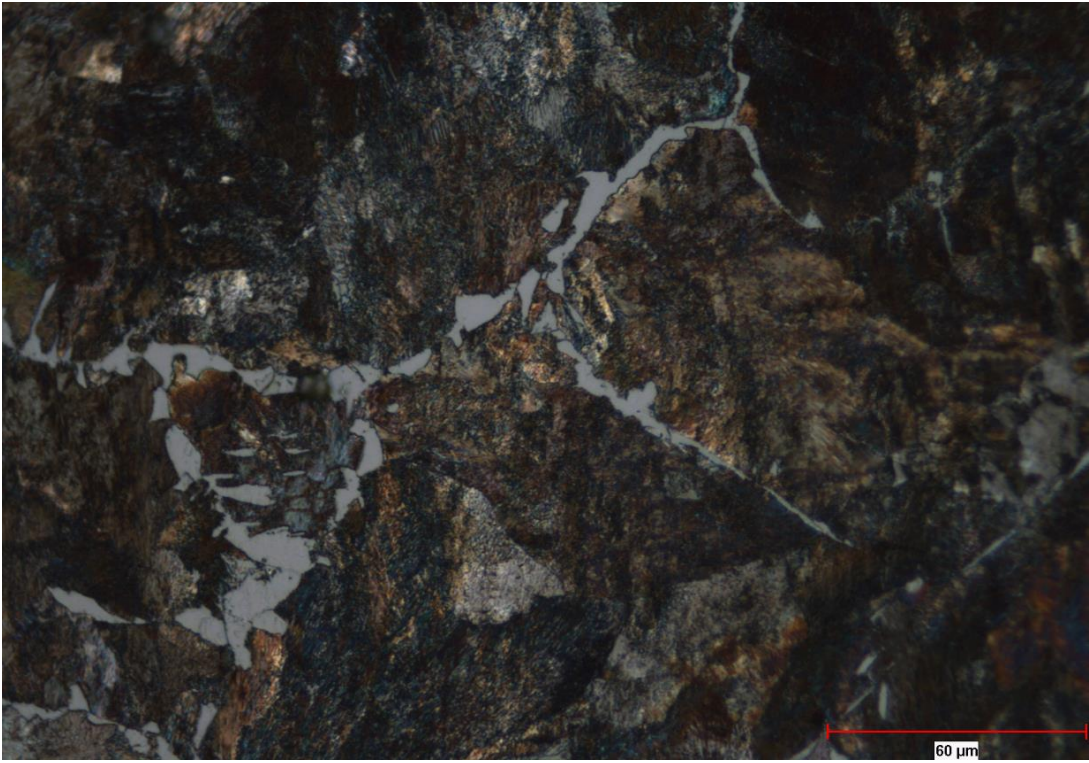
Şekil 6.13: (22°C)'de Kaynaklanmış Rayın Ana Malzemesinin Mikroyapı Fotoğrafları:
a) 100x, b) 500x



Şekil 6.14: (22°C)'de Kaynaklanmış Rayda Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikroyapı
Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x



(a)



(b)

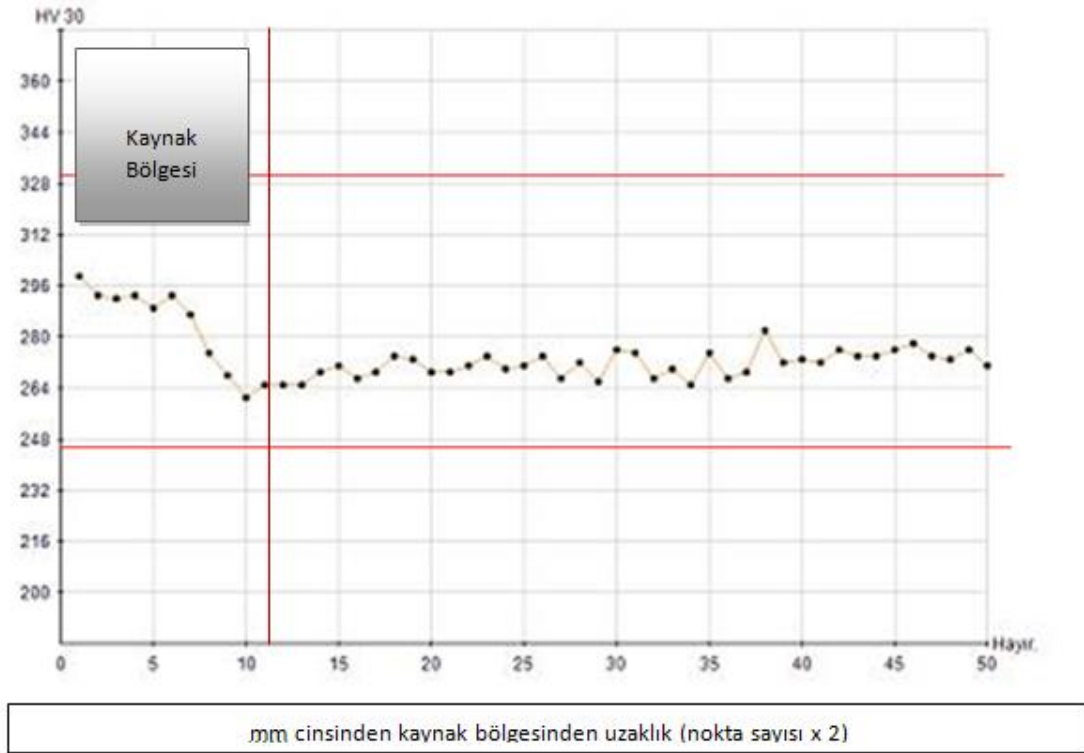
Şekil 6.15: (22°C)'de Kaynaklanmış Rayın Kaynak Bölgesinin Mikroyapı Fotoğrafları:
a) 100x, b) 500x

6.2.5. Sertlik testi

TS EN 14587-2 'ye göre elde edilen sertlik değerleri için olması gerekli şartlar:

- ✓ P : Etkilenmemiş ana metalin sertlik ortalaması
- ✓ P_{min} : P - 30 HV₃₀
- ✓ P_{maks} : P + 60 HV₃₀ değerleri arasında yer almalıdır.

Koşulları sağlayan bir sertlik değeri iki bitişik değer arasında olduğunda, belirtilen en az ve en çok değerlerin dışında kalan istisnai bir sertlik değerine izin verilmelidir. Bu koşullar sağlanamazsa işlem reddedilir.



Şekil 6.16: (22°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Sertlik Testi Sonuç Diyagramı

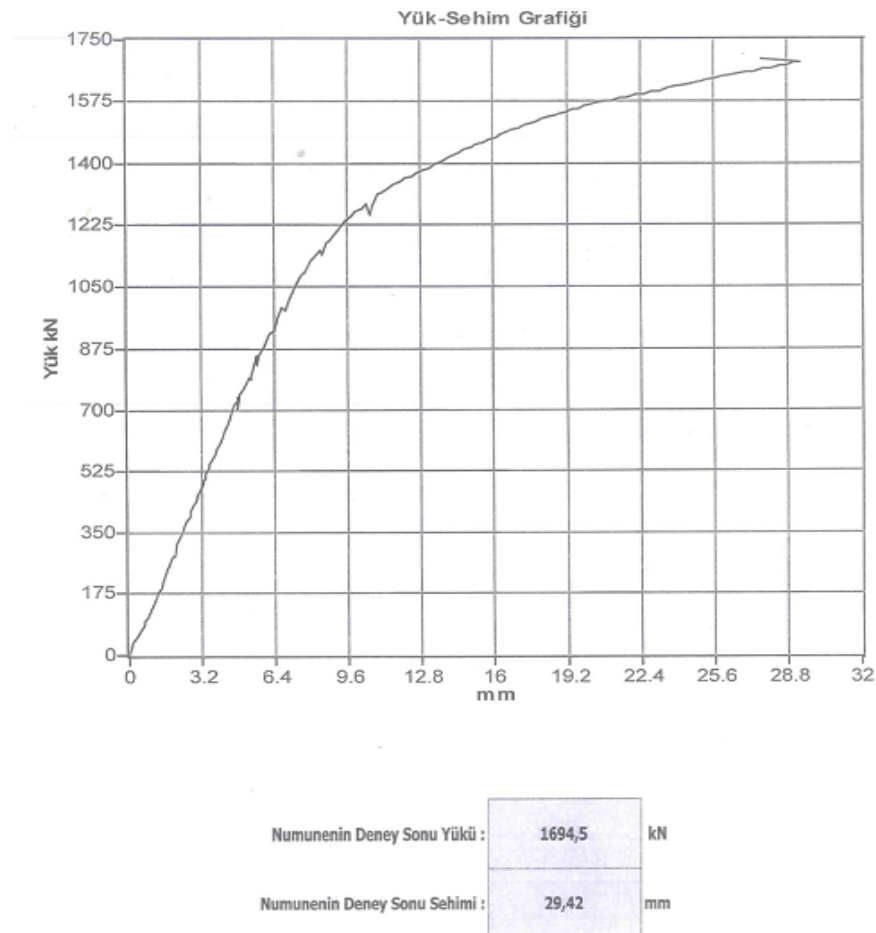
Yukarıdaki Şekil 6.16'da "0" noktası kaynağın merkezidir. Alt eksen kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ölçülen noktaların sayısıdır ve bu noktalar arası 2 mm olduğu için; nokta sayısı x 2 mm bize kaynaktan olan uzaklığı verir. (Örneğin alt eksendeki 30 noktası bize sertlik değerinin kaynak merkezinden 60 mm uzaktan aldığını ifade etmektedir.)

Ana rayın ortalama sertliği $P = 274,12 \text{ HV}_{30}$ 'dur. Elde edilen kaynak bölgesi sertlik değerleri, teknik şartnamedeki gereklilikleri ($P_{\min}=P-30$, $P_{\max}=P+60$) sağlamaktadır.

6.2.6. Eğme testi

TS EN 14587-2 Ek-A'ya göre numuneye eğme testi uygulanmıştır. Şekil 6.17'de test sonucu elde edilen değerler gösterilmektedir.

Eğme testi sırasında numuneye uygulanan yük 1694,5 kN'da iken deney sonlandırılmış ve oluşan sehim ise 29,42 mm olarak kayda geçirilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında: onay ve üretim için asgari eğilme testi kuvvetleri ve sehim değerlerine ulaşılmıştır.



Şekil 6.17: (22°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Eğme Testi Sonuç Diyagramı

6.3. Test Parçası / 3. Grup (+51 °C)'de Yapılan Kaynaklara Uygulanan Testler

6.3.1. Gözle Muayene

Eğme testi öncesi kaynağı yapılmış rayların taşlama ile çapakları alınmıştır. Gözle muayene sonucu kaynak ve ısıdan etkilenen bölgelerde bir süreksizlik, yapısal bozukluk, ergime noksanlığı ve nüfuziyet eksikliğine rastlanılmamıştır.

6.3.2. Kimyasal analiz

(51) °C'de kaynaklanmış rayın ana malzeme tarafından çıkarılan numune üzerinden spektrometre ile alınan iki kimyasal analizin ortalama sonucu Çizelge 6.3'de verildiği gibidir.

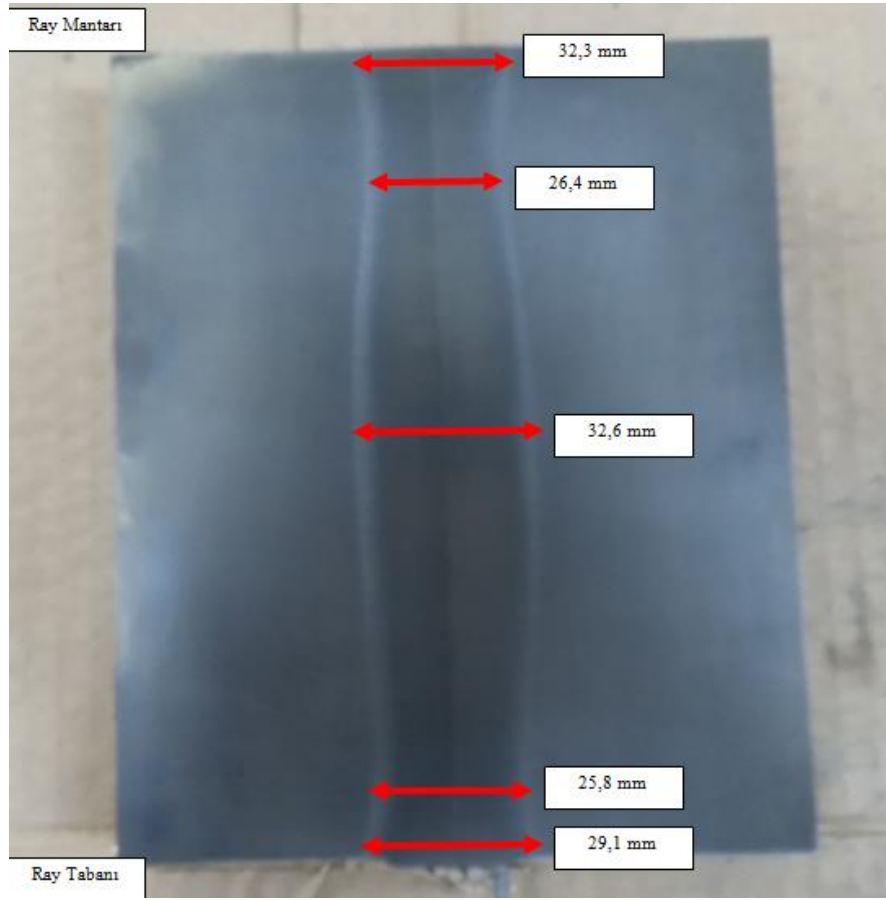
Çizelge 6.3: (51) °C'de kaynaklanmış rayların ana malzeme kimyasal analizleri

Çelik Kalitesi	C	Si	Mn	P _{maks}	S _{maks}	Cr _{maks}	Al _{maks}
1	0,701	0,268	1,10	0,0223	0,025	0,0399	0,001
2	0,741	0,289	1,08	0,0227	0,022	0,0283	0,001
Ort. değer	0,721	0,557	1,09	0,0225	0,023	0,0341	0,001

6.3.3. Makro inceleme

Yapılan muayene sonucunda ısıdan etkilenmiş bölgenin biçimi kaynak eksenini etrafında simetriktir. Isıdan etkilenmiş bölgenin genişliği minimum 25,8 mm, maksimum 32,6 mm'dir. Minimum ve maksimum genişlik arasındaki sapma, numunede 20 mm'den azdır. (Şekil 6.18 ve Şekil 6.19)

Ayrıca incelenen yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yapışma eksikliği vs. gibi hatalar bulunmamaktadır.



Şekil 6.18: (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tam Kesitine Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf



Şekil 6.19: (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Tabanına Uygulanan Makro Muayene İncelemesine Ait Fotoğraf

6.3.4. Mikro inceleme

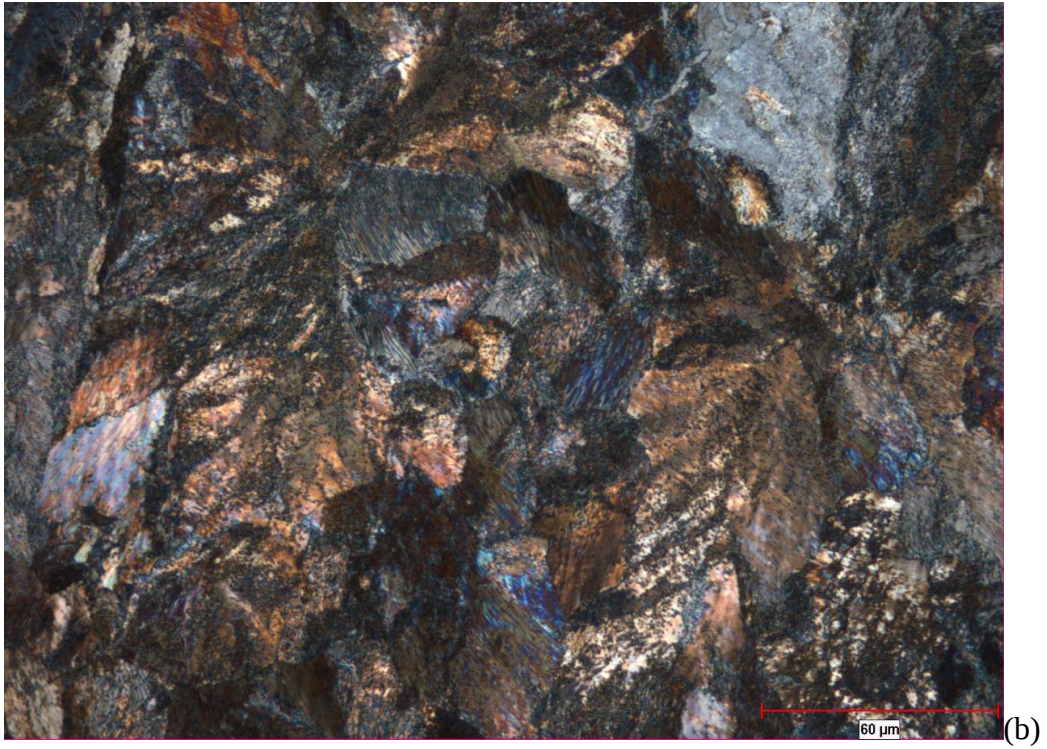
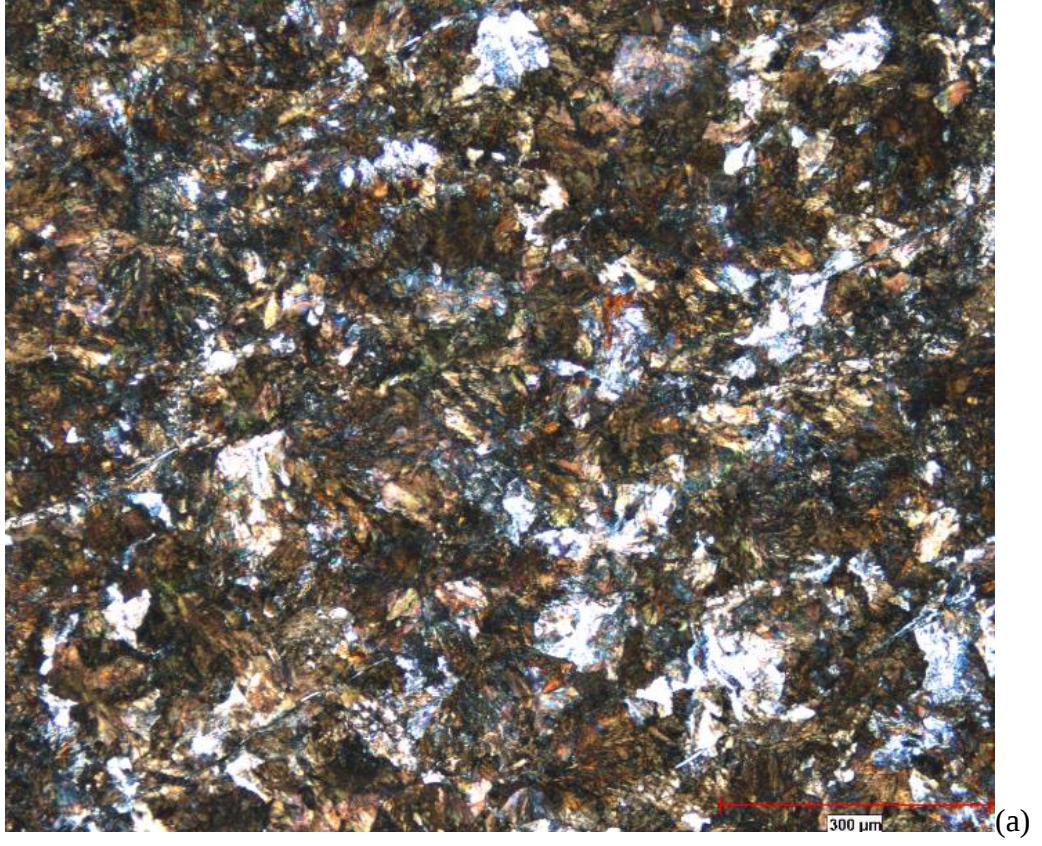
TS EN 14587-2 standardına göre mikro incelemeler sonrası istenilen bulgular şunlardır:

- Makro incelemenin tamamlanmasının ardından yapılmalıdır,
- Görünür ısıdan etkilenmiş bölgede 100x büyütmede martenzitik yapı veya beynitik yapı belirtisi bulunmamalıdır.

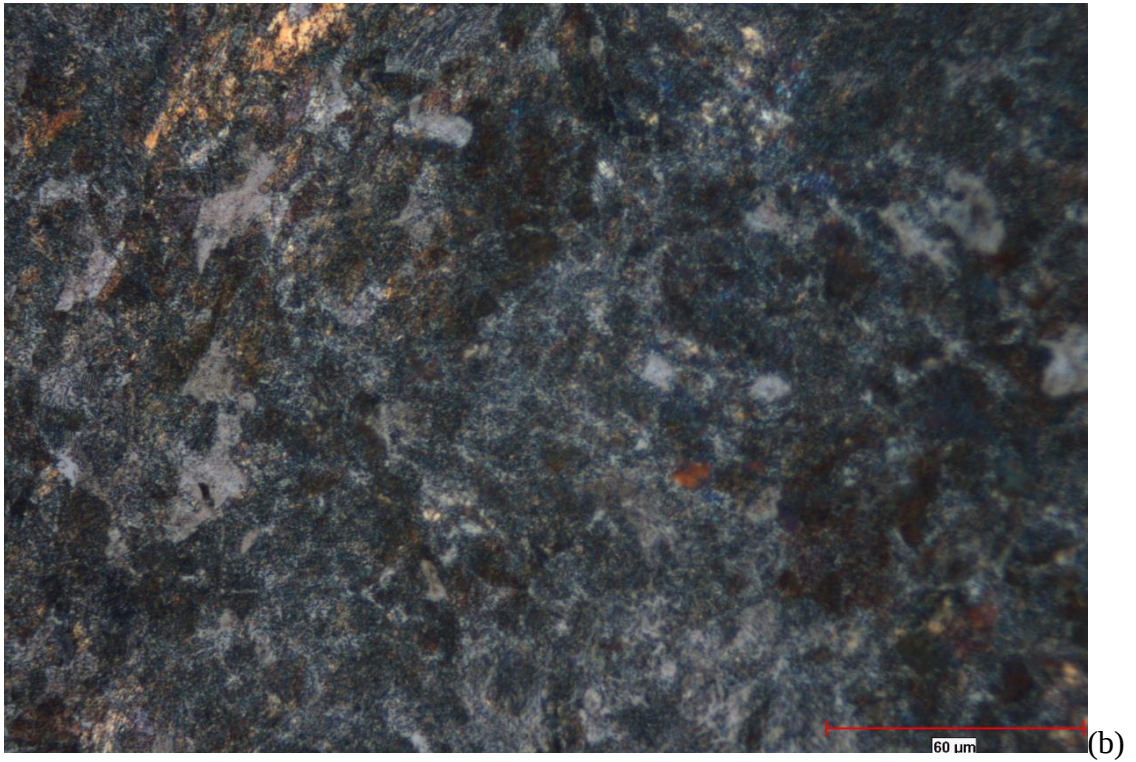
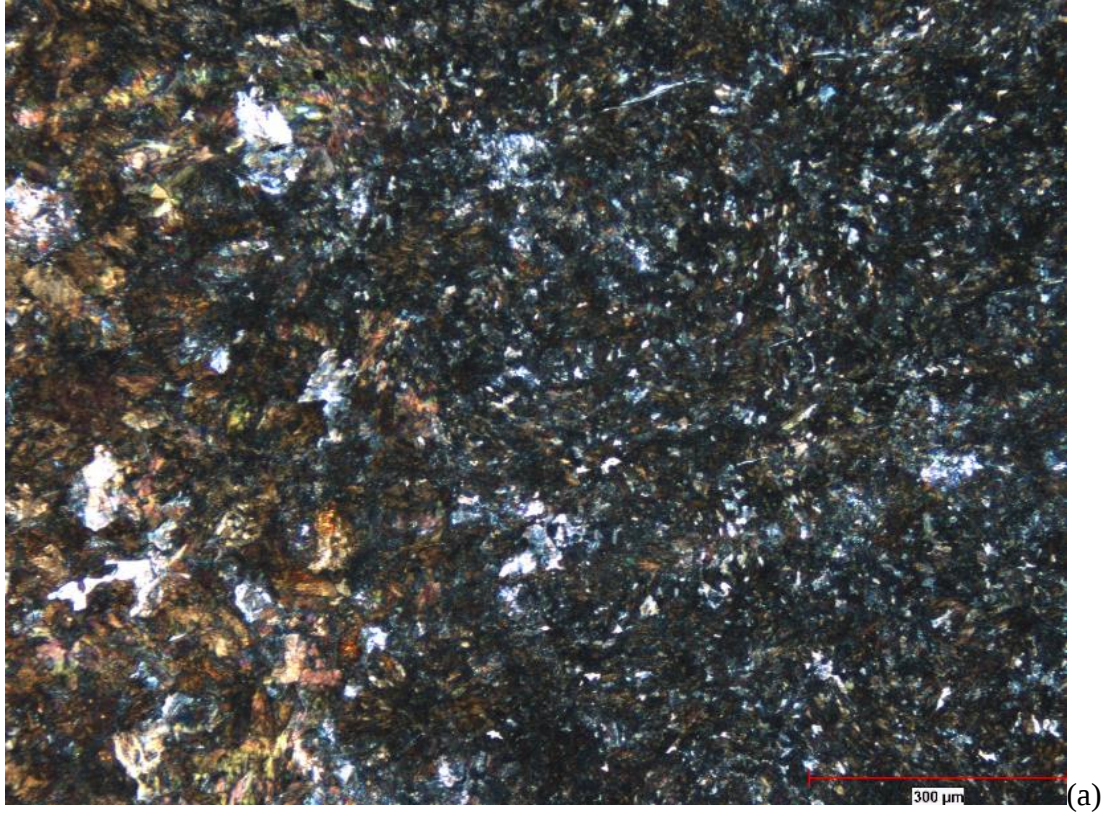
Ayrıca 500x büyütme altında ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak bölgesinin mikroyapı görüntüleri de incelenmiştir.

Kırık raya ait numunelerin dağıldıktan sonra yapılan incelemesinde; numunenin ana yapısının tamamen perlitik yapıda olduğu ve eser miktarda ferrit mevcut olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6.20). Kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenen bölgenin ise 100x ve 500x büyütme altındaki fotoğrafları Şekil 6.21 ve Şekil 6.22’de verilmiştir.

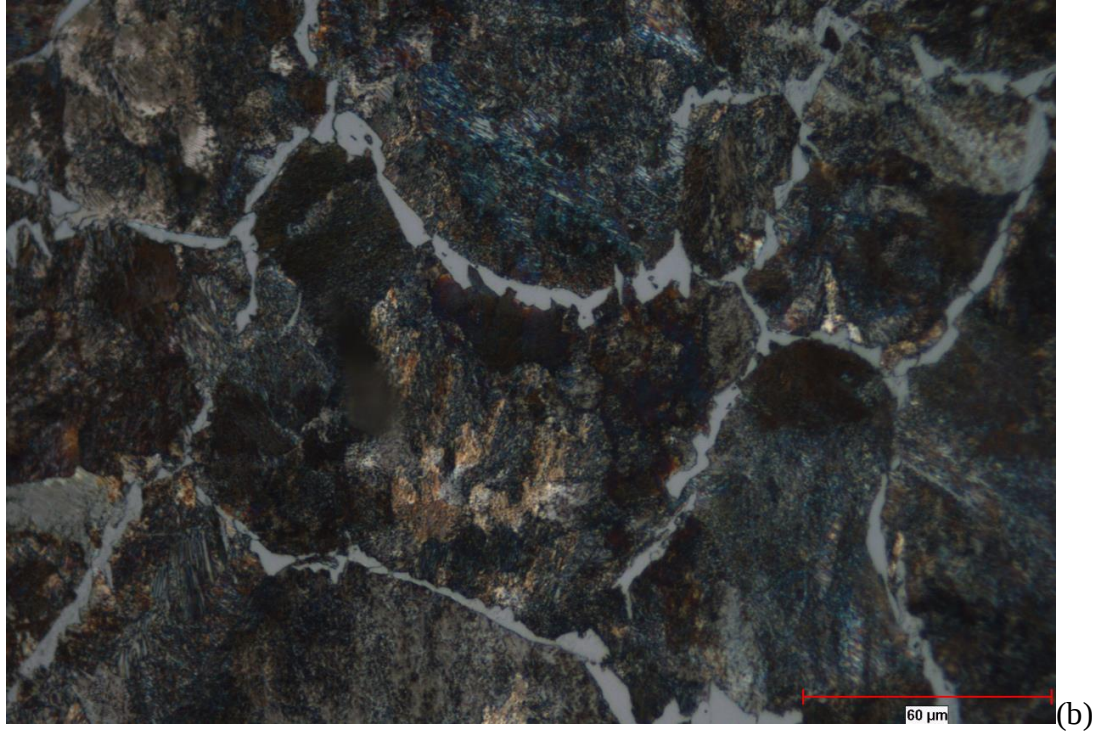
İncelenen ana malzeme, ısıdan etkilenen bölge ve kaynak bölgesinde martenzit veya beynit fazına rastlanmamıştır.



Şekil 6.20: (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Ana Malzemesinin Mikroyapı Fotoğrafları:
a) 100x, b) 500x



Şekil 6.21: (51°C)'de Kaynaklanmış Rayda Isıdan Etkilenen Bölgenin Mikroyapı
Fotoğrafları: a) 100x, b) 500x



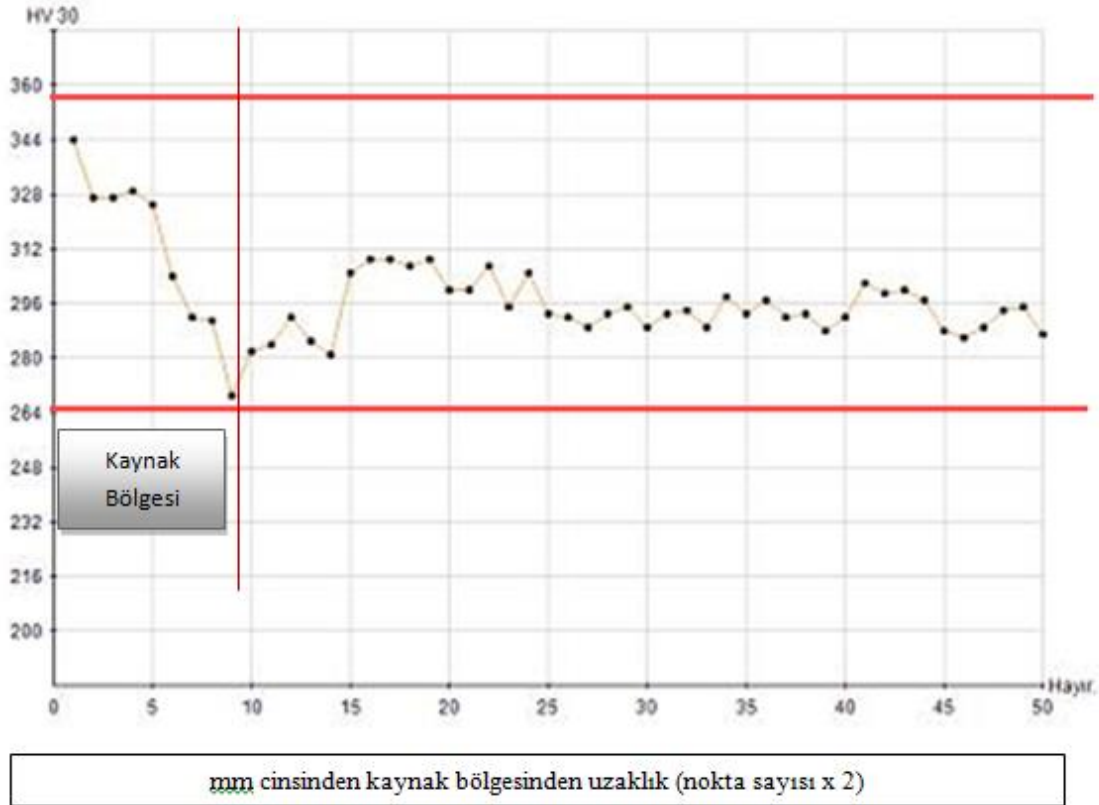
Şekil 6.22: (51°C)'de Kaynaklanmış Rayın Kaynak Bölgesinin Mikroyapı Fotoğrafları:
a) 100x, b) 500x

6.3.5. Sertlik testi

TS EN 14587-2 'ye göre elde edilen sertlik değerleri için olması gerekli şartlar:

- ✓ P : Etkilenmemiş ana metalin sertlik ortalaması
- ✓ P_{min} : P - 30 HV₃₀
- ✓ P_{maks} : P + 60 HV₃₀ değerleri arasında yer almalıdır.

Koşulları sağlayan bir sertlik değeri iki bitişik değer arasında olduğunda, belirtilen en az ve en çok değerlerin dışında kalan istisnai bir sertlik değerine izin verilmelidir. Bu koşullar sağlanamazsa işlem reddedilir.



Şekil 6.23: (51°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Sertlik Testi Sonuç Diyagramı

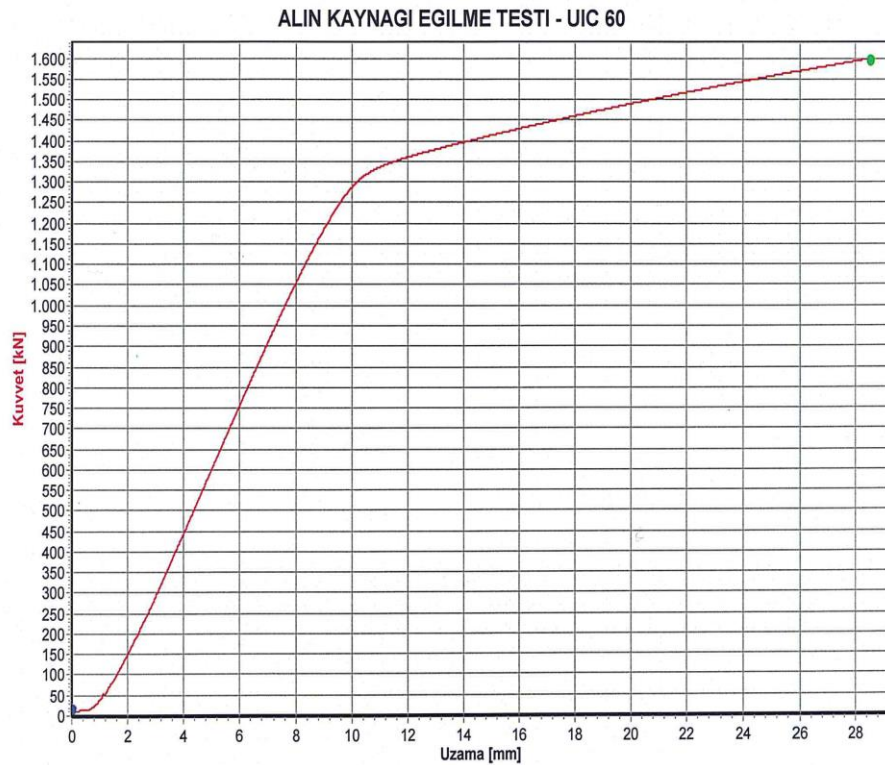
Yukarıdaki Şekil 6.23'de "0" noktası kaynağın merkezidir. Alt eksen kaynak bölgesinden uzaklaştıkça ölçülen noktaların sayısıdır ve bu noktalar arası 2 mm olduğu için; nokta sayısı x 2 mm bize kaynaktan olan uzaklığı verir. (Örneğin alt eksenindeki 30 noktası bize sertlik değerinin kaynak merkezinden 60 mm uzaktan aldığını ifade etmektedir.)

Ana rayın ortalama sertliği $P = 297,90 \text{ HV}_{30}$ 'dur. Elde edilen kaynak bölgesi sertlik değerleri, teknik şartnamede öngörülen gerekleri ($P_{\min}=P-30$, $P_{\max}=P+60$) sağlamaktadır.

6.3.6. Eğme testi

TS EN 14587-2 Ek-A'ya göre numuneye eğme testi uygulanmıştır. Şekil 6.24'de test sonucu elde edilen değerler gösterilmektedir.

Eğme testi sırasında numuneye uygulanan yük $1600,01 \text{ kN}$ 'da iken deney sonlandırılmış ve oluşan sehim ise $28,56 \text{ mm}$ olarak kayda geçirilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında; onay ve üretim için asgari eğilme testi kuvvetleri ve sehim değerlerine ulaşılmıştır.



Test sonuçları

	OK	Tarih	Süre	FH-Maksimum Kuvvet kN	AH-Yüzde Uzama %	dLH-Uzama mm	FB-Yenilme Kuvveti kN
5	x	22.01.14	16:14	1600,01	16,60	28,56	0,00

Şekil 6.24: (51°C)'de Kaynaklanmış Raya Ait Eğme Testi Sonuç Diyagramı

6.4. Yorumlar ve Öneriler

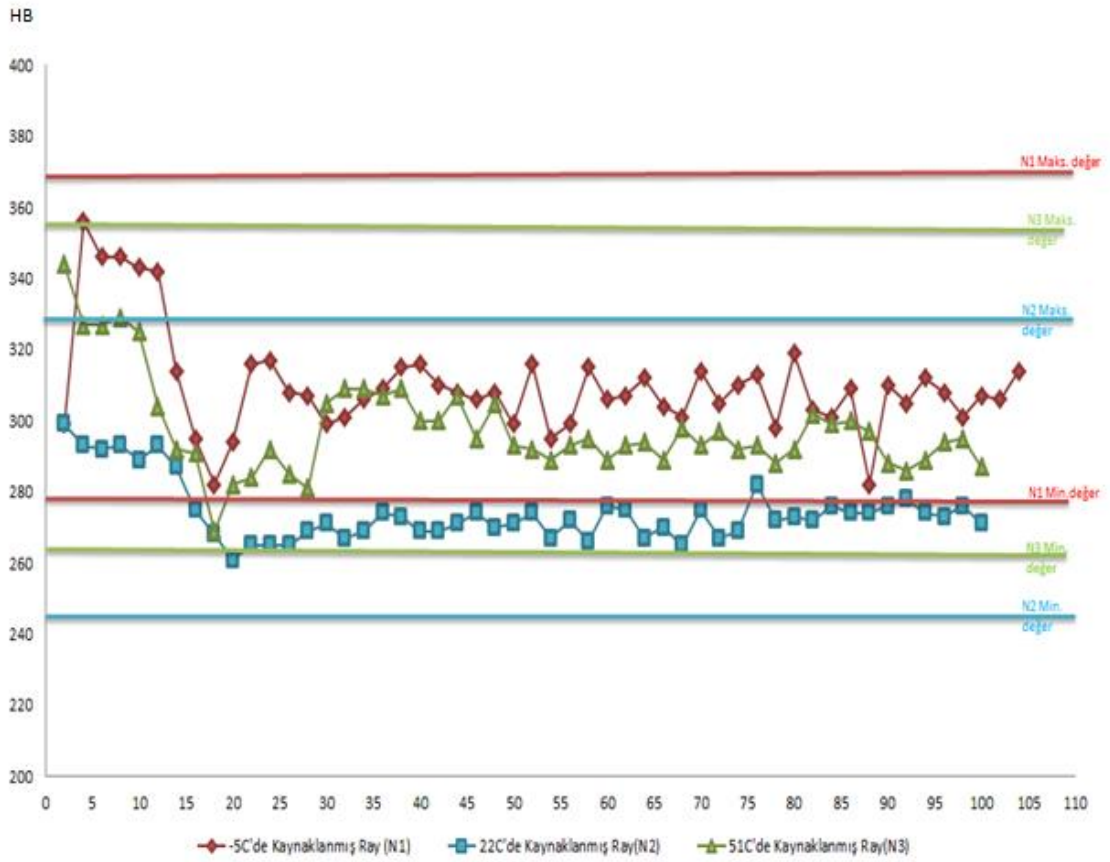
Yapılan bütün testlerin neticesinde (-5)°C, 22°C ve 51°C sıcaklıklarında kaynaklanmış raylara TS EN 14587-2 standardı uyarınca yapılan testler ve bu testlerin ilgili standarttaki değerleri karşılayıp karşılamadığı karşılaştırmalı olarak aşağıda Çizelge 6.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.4: Numunelere Uygulanan Test Sonuçlarının Karşılaştırılması

	Gözle Muayene (TS EN 13018)	Makro İnceleme (TS 3868 ISO 4967 Metot A)	Mikro İnceleme (TS EN ISO 4499-1)	Sertlik Testi (EN ISO 6507-2)	Eğme Testi (TS EN ISO 5173)
-5°C’de Kaynaklanmış Ray	✓	✓	✓	✓	✗
22°C’de Kaynaklanmış Ray	✓	✓	✓	✓	✓
51°C’de Kaynaklanmış Ray	✓	✓	✓	✓	✓

(✓=Gerekli sonuçları karşılıyor) (✗=Gerekli sonuçları karşılamıyor)

Farklı sıcaklıklarda testleri yapılmış bu rayların sertlik testi sonuçları TS EN 14587-2 standardındaki değerler arasında yer almaktadır. Her grup malzeme için sertlik sonuçları karşılaştırmalı olarak Şekil 6.25’de verilmiştir.



Şekil 6.25: Numunelere Uygulanan Sertlik Testi Sonuçlarının Karşılaştırılması

Her 3 grup kaynak için sertlik testi sonuçları standartta belirtilen değer aralığında bulunmaktadır. Şekil 6.25'dan çıkarabileceğimiz ek bir bilgi ise; (-5°C)'de kaynaklanmış raylar kaynak işlemi sonrası hava sıcaklığının düşük olmasından dolayı diğer iki gruptaki raylara göre daha hızlı soğumaya uğramış ve sertlik sonuçlarının daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. (-5°C)'de kaynaklanmış rayda kaynağın merkezine doğru sertlik değeri 360 HV₃₀'e kadar çıkmıştır. Optimum sıcaklıkta (22°C)'de kaynaklanmış rayda ise kaynaktan ana malzemeye doğru sertlik dağılımı daha stabildir.

Kaynaklı bir bağlantıda; ısıtım işlemlerdeki ve kaynak esnasındaki zamana bağlı sıcaklık değişimleri karşılaştırıldığında, yanlış bir prosedür uygulanmış olsa bile kaynak işleminin de ana metal için bir ısıtım işlemi olduğu sonucuna varılır. Bu nedenle, ana

malzemenin çeşidine bağlı olarak ısıdan etkilenmiş bölgede sertlik ve tokluğu değiştirecek şekilde az veya çok miktarda bir içyapı değişimi meydana gelir.

Netice itibari ile TS EN 14587-2 standardı gereğince; 22°C ve 51°C’de kaynağı yapılan rayların test sonuçları olması gereken değerleri karşılamaktadır. Bu sıcaklıklarda kaynağı yapılmış rayların demiryolu hatlarında kullanılmasında bir sakınca bulunmamaktadır. Fakat UKR yollarda 51°C’de yapılacak ray kaynakları için DB’nin 824.0101 numaralı yönergesinde belirtildiği üzere gerilim alınarak çalışma yapmak zorunludur. Fakat (-5)°C’de kaynaklanmış raylara uygulanan testlerde eğme testi hariç diğer tüm tahribatlı ve tahribatsız testlerden olumlu sonuçlar alınmıştır. Yapılan eğme testi sonucunda (-5)°C’de kaynaklanmış rayın kırıldığı yük 1454,21 kN, sehim değeri ise 27,57 mm’dir. Çizelge 5.2’ye göre 60E1 ray için istenilen asgari sehim değerine (20 mm) ulaşılmış fakat onay (1600 kN) ve üretim (1520 kN) için asgari eğilme test kuvveti karşılanmamıştır.

Böyle bir durumda yapılması gerekenler ile ilgili TS EN 14587-2 standardı 8.10.4 maddesinde ve Yol Dairesi Ray Kaynağı Teknik Şartnamesindeki kabul gereklilikleri bölümünde yer alan ibareler şöyledir:

“Kaynak belirtilen en az üretim deney yükü ve en az sehim değerlerinde kırılmadıysa, kaynağın gerekli standardı karşıladığı kabul edilir.

Kaynak belirtilen en az üretim deney yükü veya en az sehim değerini yerine getiremiyorsa, daha sonra aşağıdaki faaliyetler gerçekleştirilmelidir:

a) yüklenici tarafından bir inceleme gerçekleştirilmelidir.

Not – Müşteri tarafından kararlaştırıldığı gibi üretim başlayabilir veya devam edebilir... ”

Bu durumda; (-5)°C’de kaynağı yapılmış ray eğme testi sonuçlarında gerekli değerleri sağlamamasından dolayı standartta bahsedilen *“Kaynak belirtilen en az üretim deney yükü veya en az sehim değerini yerine getiremiyorsa....”* ibaresi kapsamına alınmalıdır. Bu durumunda yapılacak bir inceleme ile firmanın (-5°C)’de kaynağı yaptırmış olduğu anlaşılacak ve TCDD tarafından kaynak işi durdurulabilecektir.

Böyle bir durumda kaynak işleminin TCDD tarafından da kullanılan ve rayların DB (Alman Demiryolları)'nın 824.5510 numaralı yönergesinde belirtilen “(-3)°C altı sıcaklıklarda ray kaynağı yapılamaz” ibaresine uygun olarak yapılmadığı ortaya çıkacaktır. Böylelikle çalışma koşullarına uygun olmayan bu sıcaklıklardaki bir kaynağın reddi söz konusu olacaktır.

(-5°C)'de kaynağı yapılmış olan ve standarttaki eğme testi gerekliliklerini karşılamayan düşük sıcaklıklardaki kaynak işleminde olduğu gibi düşük sıcaklıklarda kaynaktan kaçınılmasının sebebi ise kısaca şöyle tanımlanabilir: Büyük soğuma hızları tehlikeli iç gerilimleri yaratırlar (Kutay, bt). Hatta yapılan deneyler ve ölçümler kalın bir çelik parça üzerinde kaynak bölgesinin soğuma hızının, yüksek sıcaklığa kadar ısıtılmış ve suya atılarak soğutulan bir parçanın soğuma hızına eşdeğer olduğunu göstermiştir (Vural vd., 2003). Malzemede yüksek sıcaklıklarda yapılan termal işlemler sonrası (kaynak, ısıl işlem vb.) soğuma hızının değişimi farklı içyapıların oluşmasına, sertlik artışına ve iç gerilimlerdeki artışlara neden olmaktadır. Bu tez çalışması sonuçlarına göre numunelere uygulanan mikroyapı incelemelerinde martenzitik veya beynitik yapı ile karşılaşılmamış ve (-5°C)'de yapılmış bu kaynağın eğme testi sırasında daha düşük yükte kırılmasının sebebinin ise hızlı soğuma sebebiyle oluşan iç gerilimlerdeki artıştan dolayı olabileceği düşünülmelidir.

Gerek kullanılacak olan test numunelerine (rayların) ve kaynak makinalarına ulaşılabilirliğin düşük olması, gerek kaynak yönteminin istenilen uygulama koşullarında sağlanmasının (düşük ve yüksek sıcaklıklarda kaynak) zorluğu ve yapılan testlerin maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle her grup ray için birer adet eğme numunesi kaynaklanabilmiştir. Daha kapsamlı bir araştırma için: düşük sıcaklıklarda kaynak uygulanabilirliğinin araştırılması sırasında her test için birden fazla numune çıkarılmalı ve testler uygulanmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Arlı, V., Öztürk, Z., 2009, Demiryolu Mühendisliği, İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul, 205 s.
- Askeland, D. R., 1995, The Science and Engineering of Materials
- ASM, 2005, “High-Carbon Steels Fully Pearlitic Microstructures and Applications”, Chapter 15-Steels Processing, Structure, and Performance
- Brantfitt, B. L., 1994, “Advanced In Line Head hardening of Rail”, Bethlehem Steel Corporation Research Department
- Çelik C., 1993, Vagon İmalinde Uygulanan Kaynak Yöntemlerinin Analizi ve Uygun Yöntemlerin Çıkarılması, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. F.B.E., İstanbul
- Davis, J.R., 1998, Metals Handbook, Desk Edition, ASM International
- Demiryolu İş Sendikası, 2004, EU transport in Figures, Muhtelif Yıllar TCDD İstatistik Yılları, Türkiye’nin Gelişimi için Demiryolları
- Devlet İstatistik Enstitüsü (DİE), 2004, TCDD 2004 Türkiye İktisat Kongresi Demiryolu Ulaştırma Raporu
- Economopolous, M. and Lambert, N., 1990, “A New Process for In –line Head Hardenening of Rails: Part 1- Metallurgical and Thermal and Principles of the Process” Mechanical Working and Steel Processing Proceedings,
- Encyclopedia of Materials Science and Technology, 2002, “Steels for Rails,” Elsevier Science, H. K. D. H. Bhadeshia pp. 1-7
- Esveld C., 2001, Modern Railway Track, MRT-Productions, Germany
- Fateh, M., Aglan, H.A., Liu, Z.Y., Hassan, M.F., 2004, “Mechanical and Fracture Behaviour of Bainitic Rail Steel”, Journal of Materials Processing Technology
- Gedik Eğitim Vakfı, 2010, Kaynak Mühendisliği Eğitim Notları, İstanbul
- Hakusan MFG.CO., bt, “Rail Gas Pressure Welding Apparatus”, Tokyo
- Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2006, Welding Techniques, p.70
- Indian Railways Institute of Civil Engineering, 2007, Rail Steel, p.82
- JFE Steel Corporation, bt., Rail Catalog, Tokyo/Japan
- Kaçer İ., 2008, Üstyapı Bilgisi ve Tekniği, TCDD Ankara Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Ankara

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kaçer İ., 2008, Altyapı Bakımı ve Korunması, TCDD Ankara Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Ankara
- Kalaycıoğlu, O., 2006, Kardemir’de Ray Üretiminde İyileştirmeler, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi FBE
- Kökçe, Y., 2002, “Demiryolu Taşıt Ve Raylarının Üretim Ve Tamir Bakımında Uygulanan Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ FBE
- Kumbasar F., 1972, Üstyapı ve Demiryolu Mekaniği, Ankara
- Kutay, M.G., bt, “Kaynak Bağlantıları”
- Lichtberger B., 2005, Track Compendium: Formation, Permanent Way, Maintenance, Economics, Hamburg, Germany, ISBN 3-7771-0320-9 (1st edition 2005)
- Madler, K., Zoll, Heyder, Brehmer, 2008, “Rail Materials-Alternatives and Limits”, Seoul, WCRR
- Martens, J. H. and Wirick, D.P., 1994, “Premium Rail Steels for the 21st.Century” Pennsylvania Steel Technologies, Inc.
- Nippon Steel Corporation, 1989, “Rails”, Tokyo
- Pan, A.V, and Shumilin E. N., 1994, “ Production of Wear –Resistans Rail at the NTMK,” Tagil Iron and Steel Plant
- Profillidis V.A., 1995, Railway Engineering, Ashgate Publishing Company, Brookfield, UK
- Rogova, E., Alalkyn V. And Chelysen, N. A., 1989, “Choice of Heat Treatment for Rail Steel to Ensure Cracking Resistance”
- Sawley, K. and Kristan J., 2003, “Development Of Bainitic Rail Steels With Potential Resistance To Rolling Contact Fatigue, Fatigue Fracture Engineering Of Material Structure
- Schmid, F., Burstow, M., Clark, S., Eickhoff, B., Hiensch, M., Hsu, S. S. and Kent, S., 2010, Best Practice in Wheel Rail Interface Management for Mixed Traffic Railways, University of Birmingham Press, England
- Schwerzer, R., 1981, “Flash Butt Welding of Rails”, Stahl-Beratungstelle für Stahlverwendung
- Sevim R., 2007, İstanbul’da Kent İçi Raylı Sistemler ve Üstyapı Hesapları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. F.B.E, İstanbul

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Singh, U.P., Roy, B., Jha. S., Bhattacharyya, S.K., 2001, Materials Science Technology, 17. Chapter
- Svejkovsky U., Nerzak, T., 2007, “Modern Rail Production Using CCS & Railcool Technology”, Stahl und Eisen 127, Heft 8
- Terashita, Y., Tatsumi, M., 2003, “Analysis of Damaged Rail Weld”, Track Technology Division Rail Welding Department, Vol. 44, No. 2
- Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD), 2010, 2010 yılı Faaliyet Raporu, Araştırma ve Planlama Koordinasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara
- U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration, 2006, “Fracture and Fatigue Damage Tolerance of Bainitic and Pearlitic Rail Steels”, Federal Railroad Administration
- Voestalpine Schienen GMBH, 2011, “Welding Recommendation For Vignol And Grooved Rails”
- Vural, M., Piroğlu F., Çağlayan Ö. B., Uzgider E., 2003, “Yapı Çeliklerinin Kaynaklanabilirliği”, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, Sayı 426