

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN ALÜMİNOTERMİT KAYNAĞININ
KALİTESİNİN ARTTIRILMASI**

KENAN BAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ZEKİ ÇİZMECİOĞLU**

İSTANBUL, 2011

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN ALÜMİNOTERMİT KAYNAĞININ
KALİTESİNİN ARTTIRILMASI**

KENAN BAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALÜRJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ÜRETİM PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ZEKİ ÇİZMECİOĞLU**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN ALÜMİNOTERMİT KAYNAĞININ
KALİTESİNİN ARTIRILMASI**

Kenan BAY tarafından hazırlanan tez çalışması 12.10.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ahmet EKERİM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İrfan YÜKLER

Marmara ÜNİVERSİTESİ

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması günümüzde kullanımda olan tüm raylı sistemlerde, rayların birleştirilmesinde temel yöntem olarak kabul görmüş alüminotermite kaynağının ve kaynak malzemesinin ve alüminotermite kaynaklarının özelliklerinin araştırılması ve yerli imkanlarla alternatif bir alüminotermite kaynağı malzemesi üretilmesi amacıyla hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın hazırlanması süresince bilgilerini, desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen başta danışmanım Sn. Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU olmak üzere Yıldız Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nün tüm akademik personeline, beni destekleyen ve yardımcı olan başta Metalürji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Sn. Yasin KÖKÇE ve Makine Yüksek Mühendisi Sn. Mehmet OLGUN olmak üzere TCDD 1. Bölge Müdürlüğü ve KARDEMİR A.Ş. personeline ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 2011

Kenan BAY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
ABSTRACT	xix
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Bulgular.....	2
BÖLÜM 2.....	3
RAYLI SİSTEMLERİN TARİHÇESİ	3
2.1 Raylı Sistemlerin Tanımı ve Gelişimi	3
2.2 Türkiye’de Demiryollarının Tarihçesi	4
2.2.1 1856 – 2000 Arası Dönem	4
2.2.2 2000 Sonrası Dönem	8
BÖLÜM 3.....	13
DEMİRYOLUNUN YAPISI	13
3.1 Demiryolunun Yapısı	13
3.2 Rayın Yapısı.....	16
3.2.1 Ray Üretim Prosesi	17
3.2.2 Raylara Uygulanan Isıl İşlemler	24
3.2.3 Ray Çelik Kaliteleri.....	26
3.2.4 Rayların Mekanik Özelliklerinin Çelik Kalitesiyle İlişkisi	33

3.2.4.1	Aşınma Dayanımı	34
3.2.4.2	Yorulma Dayanımı.....	34
3.2.4.3	Kırılma Dayanımı.....	34
3.3	Ray Kusurları	35
3.3.1	İlerleyen Enine Çatlak	36
3.3.2	Ray Mantarında Paralel Çatlaklar.....	36
3.3.3	Mantarda Uzunlamasına Dikey Çatlaklar	37
3.3.4	Yuvarlanma Yüzeyinde Kabuklaşmalar.....	37
3.3.5	Yuvarlanma Yüzeyinin Bölgesel Yıpranması	38
3.3.6	Tekerlek Yanıkları	38
3.3.7	Mantar-Gövde Radyusunda Yatay Çatlaklar.....	39
3.3.8	Taban-Gövde Radyusunda Yatay Çatlaklar	39
3.3.9	Uzunlamasına Dikey Çatlaklar.....	40
3.3.10	Korozyon	40
3.3.11	Yatay Çatlaklar.....	41
3.3.12	Uzunlamasına Dikey Çatlak.....	41
3.3.13	Kısa Dalgalı Ondülasyon.....	42
3.3.14	Uzun Dalgalı Ondülasyon	43
3.3.15	Cebire Delikleri Etrafında Yıldız Çatlakları	43
3.3.16	Katmanlar.....	44
BÖLÜM 4.....		45
RAY KAYNAĞI		45
4.1	Ray Kaynağının Tarihçesi	45
4.2	Yakma Alın Kaynağı	48
4.2.1	Yöntem Aşamaları	52
1. Aşama:	Kıvılcımlanma.....	53
2. Aşama:	Ön Isıtma	54
3. Aşama:	Yakma.....	54
4. Aşama:	Şişirme	55
5. Aşama:	Soğutma	57
4.3	Alüminotermite Kaynağı.....	58
4.3.1	Yöntem Aşamaları	60
1. Aşama:	Kaynak Bölgesinin Hazırlanması	61
2. Aşama:	Kaynak Aralığının Ayarlanması ve Mastarlama	61
3. Aşama:	Kalıp Bağlanması ve Macunlama	62
4. Aşama:	Ön Isıtma ve Döküm.....	63
5. Aşama:	Kaynak Fazlalıklarının Sıyırılması ve Taşlama	65
4.3.2	Alüminotermite Kaynağı Malzemelerinin Kimyasal Özellikleri.....	66
4.3.3	Alüminotermite Kaynağı Hataları.....	74
4.3.3.1	Kara Delikler	74
4.3.3.2	Kaynak Çekintisi veya Yırtılma.....	75
4.3.3.3	Kum Yanıkları.....	76
4.3.3.4	Cüruf İnküzyonları.....	77
4.3.3.5	Birleşme Hatası.....	77
4.3.3.6	Kalıp Ayarı Bozukluğu.....	78

4.3.3.7 Boşluklar	79
4.3.3.8 Soğuk Katman Hatası	80
1. Ön Isıtma ve Sıvı Metal Sıcaklığının Soğuk Katman Oluşumuna Etkileri	82
2. Kaynak Aralığı ve Ray Başı Uzunluğunun Soğuk Katman Oluşumuna Etkileri	83
4.3.3.9 Çekme Boşluğu	84
4.3.3.10 Eksen Hatası	86
4.3.3.11 Dağılmış Mikro Boşluklar	89
4.3.4 Kaynak Hatası Oluşum Haritaları	92
4.3.4.1 Kaynak Hatası Oluşum Haritalarının Sonuçları	94
4.3.5 Kaynak Hasarları	95
4.4 Alüminotermite Kaynağıyla İlgili Teknolojik Gelişmeler	97
4.4.1 Kaynak Prosesindeki Gelişmeler ve Sonuçları	97
4.4.2 Potayla İlgili Gelişmeler	98
4.4.3 Kalıpla İlgili Gelişmeler	99
4.4.4 Üretim Teknolojileri İle İlgili Gelişmeler	99
4.4.5 Kaynakçıların Eğitimi İle İlgili Gelişmeler	99
4.4.6 Sıkıştırılabilir Kaynaklar	100
4.4.7 Sıvı Çeliğin Titreştirilmesi	100
4.4.8 Sıvı Çeliğin Süzülmesi	101
4.4.9 Kaynak Sonrası Normalizasyon	101
4.4.9.1 Sertlik İncelemesi	103
4.4.9.2 Çekme Özellikleri	108
4.4.9.3 İç Yapı İncelenmesi	109
4.4.9.4 Isıl İşlem Görmüş Kaynağın Karakterizasyonu	111
4.4.10 Sıvı Çeliğin Elektromanyetik Karıştırılması	116
4.4.11 Ray Mantarının Alaşımlandırılması	116
BÖLÜM 5	120
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	120
5.1 Alüminotermite Kaynak Malzemelerinin Karakterizasyonu	120
5.1.1 Kimyasal Kompozisyon	120
5.1.2 Tane Boyutu Dağılımı	122
5.1.3 Alüminyum ve Demir Oksit Yüzde Oranları	128
5.1.4 Faz Analizi	132
5.2 Alüminotermite Kaynağının Karakterizasyonu	134
5.2.1 Sertlik Testi	135
5.2.2 Ergimiş Bölge Şekil ve Boyutları	136
5.2.3 Gözle Görülen Isıdan Etkilenmiş Bölge	137
5.2.4 Kimyasal Analiz	138
5.2.5 Yumuşamış Bölge Sertlik Dağılımı	140
5.2.6 Mikroyapı	145
5.2.7 Ultrasonik Muayene	149
5.2.8 Eğme Testi	151
5.2.9 Yorulma Testi	152
BÖLÜM 6	154

SONUÇLAR, TARTIŞMALAR VE EKONOMİK ANALİZ.....	154
6.1 Sonuçlar ve Tartışmalar	154
6.2 Ekonomik Değerlendirme	156
BÖLÜM 7.....	159
GENEL SONUÇLAR	159
KAYNAKLAR.....	161
ÖZGEÇMİŞ.....	164

SİMGE LİSTESİ

d	Ergime derinliği
d_c	Kritik ergime derinliği
G	Bölgesel sıcaklık gradyanı
R	Soğuma hızı
V	Katılaşma hızı
P_G	Boşluk içindeki gaz basıncı
P_L	Solidüs-likidüs bölgesi arasındaki sıvı basıncı
γ	Sıvı-gaz arası yüzey gerilimi
f_L	Dendritik sıvıların hacim oranı
λ_1	Biricik dendritik kolları arasındaki mesafe
f_E	Ötektik oran
ρ_s	Katı ötektiğin ötektik sıcaklıktaki yoğunluğu
ρ_{LE}	Sıvı ötektiğin ötektik sıcaklıktaki yoğunluğu
M	Gazın molekül kütlesi
T_E	Ötektik sıcaklık

KISALTMA LİSTESİ

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
DB	Deutsche Bahn A.G.
Tülomsaş	Türkiye Lokomotif ve Motor Sanayi A.Ş.
Tüvasaş	Türkiye Vagon Sanayi A.Ş.
SSCB	Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
UIC	Uluslararası Demiryolu Birliği
SKR	Sürekli Kaynaklı Ray
CWR	Continuous Welded Rail
HAZ	Heat Affected Zone
LPG	Liquid Petroleum Gas
BOF	Bazik Oksijen Fırını
XRD	X Işını Difraktometresi
IEB	Isıdan Etkilenmiş Bölge
LME	London Metal Exchange
HASLAB	TCDD-İTÜ Yapısal Hasar Araştırma Laboratuvarı
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Türkiye’de yıllara göre mevcut demiryolu uzunluğu.....	6
Şekil 2. 2	Türkiye’de yıllara göre demiryollarının yük taşımacılığındaki payı	7
Şekil 2. 3	Türkiye’de yıllara göre demiryollarının yolcu taşımacılığındaki payı	7
Şekil 2. 4	TCDD’nin yıllara göre bütçe değişimi	9
Şekil 2. 5	Dünyanın 20 büyük ekonomisine sahip ülkelerin demiryolu uzunlukları ..	10
Şekil 2. 6	Haydarpaşa Garı’nın dıştan görünüşü	10
Şekil 2. 7	Berlin Garı’nın dıştan görünüşü	11
Şekil 2. 8	Berlin Garı’nın iç görünüşü	11
Şekil 3. 1	Demiryolu kesidi.....	13
Şekil 3. 2	Ray bağlantı kesidi.....	14
Şekil 3. 3	Çeşitli ray profilleri	16
Şekil 3. 4	Vinyol ray profili	17
Şekil 3. 5	Sürekli döküm prosesi	21
Şekil 3. 6	Ray haddesi	23
Şekil 3. 7	Q-T ve S-Q işlemlerine ait soğuma eğrileri	25
Şekil 3. 8	DIN S49 Profilinin teknik resmi	31
Şekil 3. 9	60 E 1 Profilinin teknik resmi	32
Şekil 3. 10	Ray çeliklerinin çekme mukavemeti ile sertlikleri arasındaki ilişki	33
Şekil 3. 11	Hataların ray üzerinde bulunabileceği konumlar.....	36
Şekil 3. 12	İlerleyen enine çatlak (111/211)	36
Şekil 3. 13	Ray mantarında paralel çatlaklar (112).....	37
Şekil 3. 14	Mantarda uzunlamasına dikey çatlak (113)	37
Şekil 3. 15	Yuvarlanma yüzeyinde deformasyonlar (122/123).....	38
Şekil 3. 16	Yuvarlanma yüzeyinin bölgesel yıpranması (124).....	38
Şekil 3. 17	Tekerlek yanıkları (125/225)	39
Şekil 3. 18	Mantar-gövde radyusunda yatay çatlaklar (1321).....	39
Şekil 3. 19	Taban-gövde radyusunda yatay çatlaklar (1322).....	40
Şekil 3. 20	Uzunlamasına dikey çatlaklar (133)	40
Şekil 3. 21	Korozyon (154/254).....	41
Şekil 3. 22	Yatay çatlaklar (212).....	41
Şekil 3. 23	Uzunlamasına Dikey Çatlak (213).....	42
Şekil 3. 24	Kısa dalgalı ondülasyon (2201)	42
Şekil 3. 25	Uzun dalgalı ondülasyon (2202).....	43
Şekil 3. 26	Cebire delikleri etrafında yıldız çatlaklar (135)	44

Şekil 3. 27	Rayda Katmanlaşma (239)	44
Şekil 4. 1	Mobil yakma alın kaynağı makinesi.....	48
Şekil 4. 2	Mobil yakma alın kaynağı makinesinin elektrot düzeni	49
Şekil 4. 3	Sabit yakma alın kaynak makinesi.....	49
Şekil 4. 4	Yakma alın kaynağı prensibi.....	52
Şekil 4. 5	Sabit yakma alın kaynağı makinesinde yakma işlemi.....	55
Şekil 4. 6	Sabit yakma alın kaynağı makinesinde şişirme işlemi	56
Şekil 4. 7	Sabit alın kaynağı makinesinde soğutma işlemi.....	57
Şekil 4. 8	Kaynak bölgesinin hazırlanması	61
Şekil 4. 9	Mastarlama işlemi	62
Şekil 4. 10	Kalıp bağlanması ve macunlama işlemi.....	63
Şekil 4. 11	Ön ısıtma ve döküm işlemleri	64
Şekil 4. 12	Kaynak fazlalıklarının sıyrılması ve taşlama işlemi.....	66
Şekil 4. 13	Al- Fe ₂ O ₃ ara yüzeyinin 1000°C de 2 saat reaksiyon gerçekleşmiş BE SEM fotoğrafı.....	69
Şekil 4. 14	Al/Fe ₂ O ₃ karışımı numunelerin DTA grafikleri.	70
Şekil 4. 15	Argon atmosferinde 960°C (a) ve 1060°C (b) de 1 saat reaksiyona girmiş Al/Fe ₂ O ₃ pelet numunelerin üst yüzeylerinin SEM görüntüleri	71
Şekil 4. 16	Al ve Fe ₂ O ₃ reaksiyonu sonucu oluşmuş ürünlerin XRD grafikleri.	71
Şekil 4. 17	960°C deki Al ve Fe ₂ O ₃ arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsü	72
Şekil 4. 18	1060°C deki Al ve Fe ₂ O ₃ arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsü.	73
Şekil 4. 19	1060°C deki Al ve Fe ₂ O ₃ arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsü.	73
Şekil 4. 20	Kara delik hatası	75
Şekil 4. 21	Kaynak çekintisi.....	76
Şekil 4. 22	Kum yanıkları	77
Şekil 4. 23	Birleşme Hatası	78
Şekil 4. 24	Kalıp ayarı bozukluğu.....	79
Şekil 4. 25	Kaynak içinde boşluklar	79
Şekil 4. 26	Soğuk katman hatası	81
Şekil 4. 27	Soğuk katman hatası oluşumu parametreleri	83
Şekil 4. 28	Kaynak dolgusunda çekme boşluğu	84
Şekil 4. 29	Ön ısıtma süresinin çekme boşluğu oluşumuna etkisi	85
Şekil 4. 30	Eksen hatasının (a) radyografik, (b) optik mikroskop görüntüleri	87
Şekil 4. 31	Niyama kriterinin grafiksel gösterimi	88
Şekil 4. 32	Eksen çizgisi hatasına (a) sıvı metal sıcaklığı, (b) kaynak aralığı, (c) ön ısıtmanın etkileri	89
Şekil 4. 33	Dendritik yapı arasında küresel ve düzensiz mikro boşluklar.....	90
Şekil 4. 34	Dağılmış mikro boşlukların hacim yüdesi	91
Şekil 4. 35	Kaynak hatası oluşum haritaları.....	93
Şekil 4. 36	Alüminotermite kaynağından kaynaklanan gizli düşük hasarı	95
Şekil 4. 37	Alüminotermite kaynağındaki vuruntulardan dolayı kırılan bağlantı malzemeleri	95
Şekil 4. 38	Kalıp dizaynı ve metal akışı	102
Şekil 4. 39	Normalizasyondan önce sertlik dağılımı.....	106

Şekil 4. 40	Normalizasyondan sonra sertlik dağılımı	106
Şekil 4. 41	Normalize olmuş kaynakların çekme özellikleri değişimi.....	108
Şekil 4. 42	Kaynağın makro görüntüsü	109
Şekil 4. 43	Isıl işlem görmemiş kaynaklarda ötektoid altı ferrit	110
Şekil 4. 44	Isıl işlemin etkisi	110
Şekil 4. 45	Normalize edilmemiş kaynağın mikro yapısı	111
Şekil 4. 46	Kaynaktan çekme numunesi çıkarılması	112
Şekil 4. 47	Isıl işlem görmemiş kaynağın makro yapısı	113
Şekil 4. 48	Isıl işlem görmüş ve görmemiş numunenin sertlik dağılımları	114
Şekil 4. 49	Isıl işlem görmüş (HT) ve ısıtıl işlem görmemiş (NHT) kaynakların ısıtıl işlemden öndeki ve sonraki mekanik özellikleri	115
Şekil 4. 50	Isıl işlem görmüş ve ısıtıl işlem görmemiş kaynakların mikro yapıları	115
Şekil 4. 51	Üçlü besleyicili alüminotermit kaynağı kalıbı	117
Şekil 4. 52	Alaşımlayıcı parça.....	117
Şekil 4. 53	Alaşımlayıcı parçanın kalıp boşluğuna yerleştirilmesi.....	118
Şekil 4. 54	Ray mantarında V miktarı - sertlik grafiği.....	118
Şekil 4. 55	Çelik kalitelerinin vanadyum içeriğine göre sertleşme miktarları	119
Şekil 5. 1	Kimyasal kompozisyon dağılımının grafiksel gösterimi	121
Şekil 5. 2	Elek üzerinde kalan 1. Malzeme parçaları	123
Şekil 5. 3	Elekler üzerlerinde kalan 2. Malzeme parçaları.....	124
Şekil 5. 4	Elekler üzerinde kalan bu çalışmada üretilen malzeme parçaları	125
Şekil 5. 5	1. Malzemenin tane boyutlarının yüzde oranları.....	126
Şekil 5. 6	2. Malzemenin tane boyutlarının yüzde oranları.....	126
Şekil 5. 7	Bu çalışmada üretilen malzemenin tane boyutları yüzde oranları	127
Şekil 5. 8	Malzemelerin tane boyutlarının yüzde oranlarının karşılaştırılma grafiği	127
Şekil 5. 9	1. Malzeme için belirlenen tane boyutlarında alüminyum ve demir oksit ağırlıkça yüzde oranları.....	129
Şekil 5. 10	2. Malzeme için belirlenen tane boyutlarında alüminyum ve demir oksit ağırlıkça yüzde oranları.....	130
Şekil 5. 11	Bu çalışmada üretilen malzeme için belirlenen tane boyutlarında alüminyum ve demir oksit ağırlıkça yüzde oranları	131
Şekil 5. 12	Malzemelerin tane boyutları ile ağırlıkça demir oksit oranları karşılaştırılması	131
Şekil 5. 13	Malzemelerin tane boyutları ile ağırlıkça alüminyum oranlarının karşılaştırılması	132
Şekil 5. 14	1. Malzemeye ait XRD grafiği.....	133
Şekil 5. 15	2. Malzemeye ait XRD grafiği.....	133
Şekil 5. 16	Bu çalışmada üretilen malzemeye ait XRD grafiği	134
Şekil 5. 17	Sertlik testi	135
Şekil 5. 18	Ergimiş bölge şekil ve boyutları incelenmesi.....	137
Şekil 5. 19	Yumuşamış bölge sertlik dağılımı ölçümü	142
Şekil 5. 20	Tipik sertlik dağılımı grafiği.....	142
Şekil 5. 21	1.Malzemeye ait sertlik dağılımı grafiği	144
Şekil 5. 22	Bu çalışmada üretilen malzemeye ait sertlik dağılımı grafiği	144
Şekil 5. 23	Mikroyapı incelemesi için numune alma bölgeleri	145
Şekil 5. 24	1.Malzemenin dağlanmış hali	146
Şekil 5. 25	1.Malzemedede kaynak bölgesinin X100 büyütmede çekilmiş fotoğrafı	146

Şekil 5. 26	Bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynağın dağlanmış hali	147
Şekil 5. 27	Bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynaktan alınan numuneler	147
Şekil 5. 28	1. Numunenin ısıdan etkilenmiş bölgesinden alınmış fotoğraflar	148
Şekil 5. 29	2. Numunenin ısıdan etkilenmiş bölgesinden alınmış fotoğraflar	148
Şekil 5. 30	1. Numunenin kaynak bölgesinden alınmış fotoğraflar	149
Şekil 5. 31	2. Numunenin kaynak bölgesinden alınmış fotoğraflar	149
Şekil 5. 32	Eğme testi düzeneği	152
Şekil 5. 33	Yorulma testi düzeneği	153

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2. 1	2007 TCDD ile DB'nin karşılaştırılması.....	6
Çizelge 3. 1	TCDD tarafından kullanılan demir çelik ürünler.....	19
Çizelge 3. 2	Türkiye'de kullanılmış bazı rayların metalürjik özellikleri.....	26
Çizelge 3. 3	EN 13674-1'e göre çelik kaliteleri.....	27
Çizelge 3. 4	EN 13674'e göre asgari kırılma tokluğu değerleri.....	28
Çizelge 3. 5	EN 13674'e göre istenen yorulma dayanımı ölçüleri	29
Çizelge 3. 6	EN 13674'e göre rayların kimyasal kompozisyonları ve bazı mekanik özellikleri	29
Çizelge 3. 7	Kardemir A.Ş'de üretilen R260 kalitesinde, UIC 60 profilindeki rayların mekanik özellikleri	30
Çizelge 3. 10	ASTM-AI-680'e göre ray ağırlığı-kimyasal kompozisyon ilişkisi	33
Çizelge 4. 1	Raylı sistemlerde uygulanan kaynak yöntemleri.....	47
Çizelge 4. 2	Farklı termit malzemelerine ait ön ısıtma parametreleri	64
Çizelge 4. 3	Alüminotermit kaynağı geometrik toleransları.....	65
Çizelge 4. 4	Hazırlanan numunelerin özellikleri.....	67
Çizelge 4. 5	Modelleme için kullanılan kaynak parametreleri.....	82
Çizelge 4. 6	İstanbul Ulaşım A.Ş. ait hat bakım maliyeti analizi.....	96
Çizelge 4. 7	TCDD 1.Bölge Müdürlüğü mıntıkasında meydana gelen kaynak kırıkları.....	97
Çizelge 4. 8	Schroeder ve Poirier tarafından yapılan kaynaklar ve parametreleri ...	102
Çizelge 4. 9	Kaynak metali ve HAZ'ın boyutları ve sertlik dağılımı	104
Çizelge 4. 10	Kaynak metalinin normalizasyondan sonraki sertliği.....	105
Çizelge 4. 11	Yapılan kaynakların kimyasal kompozisyonları.....	107
Çizelge 4. 12	Kullanılan ray ve kaynağın kimyasal kompozisyonları.....	112
Çizelge 4. 13	Kullanılan ray ve kaynağın mekanik özellikleri.....	112
Çizelge 5. 1	Alüminotermit kaynak malzemelerinin kimyasal kompozisyonları	121
Çizelge 5. 2	Malzemelerin tane boyutu-yüzde oranları	122
Çizelge 5. 3	1. Malzeme için demir oksit – alüminyum yüzde oranları.....	128
Çizelge 5. 4	2. Malzeme için demir oksit – alüminyum yüzde oranları.....	129
Çizelge 5. 5	Bu çalışmada üretilen malzeme için demir oksit – alüminyum yüzde oranları	130
Çizelge 5. 6	Sertlik testi sonuçları değerlendirme kriterleri	135
Çizelge 5. 7	Ticari malzemeler ve üretilen malzemeye ait sertlik testi sonuçları	136
Çizelge 5. 8	Ergimiş bölge şekil ve boyutları ölçümü sonuçları	137
Çizelge 5. 9	Gözle görülen ısıdan etkilenmiş bölge genişliği ölçümü sonuçları	138

Çizelge 5. 10	İzin verilen kimyasal kompozisyon	138
Çizelge 5. 11	Ticari malzemeler için kimyasal analiz sonuçları	139
Çizelge 5. 12	Bu çalışmada üretilen malzeme için kimyasal analiz sonuçları	140
Çizelge 5. 13	Yumuşamış bölge sertlik dağılımı değerlendirme kriteri.....	143
Çizelge 5. 14	Kaynakların ultrasonik muayenesi için kullanılan proplar	151
Çizelge 6. 1	Gider ve maliyet hesabı	157
Çizelge 6. 2	Nihai satış fiyatı ve karlılık oranı hesabı.....	158

RAYLI SİSTEMLERDE KULLANILAN ALÜMİNOTERMİT KAYNAĞININ KALİTESİNİN ARTIRILMASI

Kenan BAY

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

Son yıllarda raylı sistemler ülkemizde büyük bir ivme kazanan, hem önemli bir kamu yatırım alanı hemde büyük bir endüstriyel pazar haline gelen bir ulaşım alanıdır.

Büyük teknik bilgi ve beceri gerektiren demiryolu inşaatında en önemli aşamalardan biri rayların uygun yöntemlerle, doğru şekilde birleştirilerek sürekli ray dizileri oluşturulmasıdır. Günümüzde dünya literatüründe sürekli ray dizileri meydana getirmek için standart yöntem olarak kabul edilen alüminotermite kaynağı ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada ülkemiz için bir ithalat ürünü olan alüminotermite kaynak malzemelerinin ve kaynakların özelliklerinin incelenmesi ve yerli imkanlarla, uluslararası standartlara uygun, alternatif bir ürün üretilerek ortaya konması hedeflenmiştir. Bunun için hali hazırda piyasada bulunan kaynak malzemeleri incelenmiş, karakterize edilmiş ve elde edilen bilgiler ve uluslararası standartlar ışığında alternatif malzeme imal edilmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde raylı sistemler hakkında genel bilgiler, üçüncü bölümde demiryolları, dördüncü bölümde ise ray kaynağı hakkında teknik bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde yapılan deneysel çalışmalara, altıncı ve yedinci bölümlerde elde edilen sonuçlar ve yapılan ekonomik analize yer verilmiştir.

Üretilen ürünün ve bu ürünle yapılan kaynağın fiziksel ve kimyasal özellikleri hali hazırda piyasada satılan malzemeler ile karşılaştırıldığında arada önemli bir fark

olmadığı görülmüştür. İncelenen tüm malzemeler alüminotermik kaynaklarının özelliklerini belirleyen EN 14730-1 standardına uygundur.

Bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynaklar EN 14730-1 standardında 300 ± 20 HBW toleransla verilen sertlik deneyinde 296 HBW, ≥ 3 mm olarak verilen ergimiş bölgenin incelenmesi deneyinde 3,5 mm, 20-40 mm olarak verilen ısıdan etkilenmiş bölgenin incelenmesi deneyinde 26 mm, ultrasonik muayene, yumuşamış bölgenin sertlik dağılımı, mikroyapı ve eğme deneylerinde de uygun sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada yapılan ekonomik analize göre imal edilen malzemenin seri üretime geçilmesi durumunda karlılık oranı % 52, iki yıllık toplam kar 8.884.000 TL olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Demiryolu, ray, ray kaynağı, alüminotermik reaksiyon, alüminotermik kaynağı, yakma alın kaynağı

ABSTRACT

IMPROVING THE QUALITY OF ALUMINOTHERMIC WELDING IN RAIL TRANSPORTATION

Kenan BAY

Department of Metallurgical and Materials Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU

In our country, rail transportation is a type of transportation which has become an important state investment area and a great industrial market in recent years.

One of the most important topics in railway construction, which requires a great deal of technical knowledge and capability, is establishing continuous welded tracks by joining rails in a appropriate way. Aluminothermic welding, which is accepted as a standart method in establishing continuous welded tracks in the world, is being used widely in our country as well.

In this work, understanding the properties of aluminothermic welds and aluminothermic rail welding mixture, which is an import good for our country, and producing an alternative mixture that complies the needs of international standards with domestic materials are aimed. For this goal, commercial mixtures which are already being sold were researched, charterized and production of the alternative mixture was produced under the light of these researches.

In the second chapter of this work basic information about rail transportation, in third and fourth chapters, technical information about railways and rail welding, in fifth chapter experimental results, in sixth and seventh chapters results, discussions and economical analysis were given.

No major differences were observed between commercial mixtures and mixture that was produced in this work. Both comply the needs of EN 14730-1, which defines the properties of aluminothermic welds.

The mixture that has been produced in this work showed 296 HBW in hardness test, which was defined by tolerance of 300 ± 20 HBW, showed 3,5 mm melting depth which was defined by ≥ 3 mm, showed 26 mm in heat softened zone width measurement which was defined by 20-40 mm, and showed appropriate results in ultrasonic, microstructural, parent rail hardness variation and slow bending tests.

According to economical analysis given in this work, in case of mass producing of the alternative mixture which was produced in this work, the profit percentage would be 52 % and total profit would be 8.884.000 TL in two years time.

Keywords: Railway, rail, rail welding, aluminothermic reaction, aluminothermic welding, flash butt welding

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Ülkemizde ve dünyada raylı sistem inşaatlarında rayların birleştirilmesi ve özellikle sürekli kaynaklı ray dizileri teşkil edilmesinde standart yöntem olarak alüminotermite kaynağı kabul görmektedir. Bir yüzyıldan daha uzun bir geçmişi olan bu yöntem hala incelenmekte, geliştirilmekte ve yenilenmektedir.

Ülkemizde ise alüminotermite kaynağı yönteminin yaklaşık 40 yıllık bir geçmişi olmasına rağmen bu konuda yeterli inceleme ve bilimsel çalışma yapılmamıştır. Bu konuda yayınlanmış Türkçe bilimsel makale sayısı çok sınırlıdır. Kendine özgü bir kaynak ve döküm prosesi olan bu konuya, demiryolu inşaatı ile ilgili kitaplarda değinilmekten öteye gidilmemiştir. Bu nedenle uygulayıcılar bu konuda yeterli bilgiye sahip olmadıklarından kendi bölgelerindeki özel şartlara prosesi uydurma ve mevcut malzemelerde karşılaştıkları kalite sorunlarını giderme konusunda başarılı olamamaktadırlar.

Bununla beraber demiryollarında geniş kullanım alanı bulan alüminotermite kaynağı için kullanılan malzeme ve ekipmanlar ülkemiz için sürekli bir ithalat maddesi konumundadır. Dünyada irili ufaklı 10 kadar üretici olmasına rağmen pazarın büyük kısmı üç büyük üretici tarafından paylaşılmaktadır. Sadece TCDD'nin yıllık alüminotermite kaynağı kiti tüketimi yaklaşık 15.000 adettir. Bu ithalat maddelerinin ülkemize yıllık maliyeti yaklaşık 1.500.000 E'dur.

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında yukarıda sayılan olumsuzlukların giderilmesi için gerekli teorik bilgilerin toplanması, derlenmesi, yayınlanması ve bunlarla beraber piyasadaki ürünlere alternatif bir alüminotermite kaynak malzemesi üretimi konusunda çalışılmıştır.

Bunun için şimdiye kadar Türkiye’de ve yabancı ülkelerde bu konuda yapılmış çalışmalar ve halihazırda piyasada satılmakta olan malzemeler incelenmiş ve araştırılmıştır. Varılan sonuçlar ışığında alternatif bir kaynak malzemesi oluşturulmuş ve malzeme alüminotermite kaynağı prosesini düzenleyen EN 14730-1 standardı uyarınca gerekli deneylere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar bu çalışmada yer almaktadır.

1.3 Bulgular

Bu çalışmada üretilen ürünün ve bu ürünle yapılan kaynağın fiziksel ve kimyasal özellikleri hali hazırda piyasada satılan malzemeler ile karşılaştırıldığında arada önemli bir fark olmadığı görülmüştür. İncelenen tüm malzemeler alüminotermite kaynaklarının özelliklerini belirleyen EN 14730-1 standardına uygundur.

Bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynaklar EN 14730-1 standardında 300 ± 20 HBW toleransla verilen sertlik deneyinde 296 HBW, ≥ 3 mm olarak verilen ergimiş bölgenin incelenmesi deneyinde 3,5 mm, 20-40 mm olarak verilen ısıdan etkilenmiş bölgenin incelenmesi deneyinde 26 mm, ultrasonik muayene, yumuşamış bölgenin sertlik dağılımı, mikroyapı ve eğme deneylerinde de uygun sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmada yapılan ekonomik analize göre imal edilen malzemenin seri üretime geçilmesi durumunda karlılık oranı % 52, iki yıllık toplam kar 8.884.000 TL olacaktır.

RAYLI SİSTEMLERİN TARİHÇESİ

2.1 Raylı Sistemlerin Tanımı ve Gelişimi

Raylı sistemin en geniş tanımı; genelde metalik bir malzemeden özel olarak yapılmış bir yol (ray) üzerinde, tekerleri klavuzlanarak oturtulmuş araçların mekanik bir kuvvetle çekilerek hareket ettirildiği sistem olarak yapılabilir.

Temelinin demiryollarının oluşturduğu raylı sistemler günümüzde çeşitlenmiş ve gelişmiştir. Bugün demiryollarından başka metro hatları, tramvaylar, foniküler sistemler de raylı sistemler sınıfına girmektedir. Demiryolları ile diğer raylı sistemler arasındaki temel fark kullanılan araçların her bir dingili başına düşen yüklerin miktarıdır. Bu nedenle demiryolları ülkemizde 22,5 tonluk dingil yüküyle ağır raylı sistemin örneği, diğer sistemler 3-10 ton arasındaki dingil yükleriyle hafif raylı sistemlere örnek olarak gösterilebilir. Bu tez çalışmasında ağırlıklı olarak demiryolları incelenecektir.

Araçların raylar üzerinde hareket ettirilmesi karayolu üzerinde hareket ettirilmesine göre bazı avantajlar sağlar. Bunlar,

- i. Rayların yüzey pürüzlülüğünün düşük olması sonucu ray-teker arası sürtünme kuvvetinin teker-karayolu arası sürtünme kuvvetinden düşük olması sonucu araçların daha küçük kuvvetlerle çekilebilmesi.

- ii. Tekerlerin klavuzlanması sayesinde gidiş güzergahının sabitlenmesi ve bu sayede yol üstündeki trafiğin kolayca düzenlenebilmesi, seyir güvenliğinin artırılması ve demiryolu yapımı için kullanılan alanın karayolu için kullanılandan daha verimli kullanılması olarak sayılabilir.

Raylı sistemlerin ilk örneği olarak Mısır Piramitleri'nin yapımı sırasında gereken taşların taşınmasında kullanıldığı düşünülen M.Ö. 2600 yakınlarına tarihlenen bronz raylar gösterilebilir. Daha sonraki yıllarda raylı sistemler genelde yük taşımak için özellikle ağır yüklerin dar alanlardan geçirilerek yeryüzüne çıkarıldığı madenlerde kullanılmıştır. 15. yüzyıldan itibaren madenlerde raylı sistem kullanımı yaygınlaşmış, tahta raylar geniş kullanım alanı bulmuştur. İlk demir esaslı ray 1738 yılında İngiltere'de kullanılmıştır.[1]

Avrupa'da görülen raylı sistemlerin ilki olarak ise Yunanistan'da M.Ö. 600 yakınlarına tarihlenen 6 km uzunluğundaki Diolkos Yolu gösterilebilir. Bu sistemde genelde yük taşımak için kullanılan araçlar kumtaşları üzerine açılan oyuklarda klavuzlanarak insan gücüyle yaklaşık 600 yıl boyunca hareket ettirmiştir [2].

Yolcu taşımak için kullanılan raylı sistemlerin ilk örneğine ise İngiltere'de rastlanır. Surrey Demiryolu adlı, 1803 yılında kullanıma giren bu demiryolu sistemi birbirine yakın konumdaki üç kasabayı atla çekilen araçlarla birbirine bağlamaktadır [2].

2.2 Türkiye'de Demiryollarının Tarihçesi

2.2.1 1856 – 2000 Arası Dönem

Ülkemizde ise ilk demiryoluna bir İngiliz şirketi tarafından 1856 yılında İzmir-Aydın arasında inşasına başlanan 130 km'lik demiryolu inşaatında rastlanır. ¹Bu çalışma 10 yılda, 1866 yılında tamamlanmıştır. Bu hattın temel amacı Aydın ve çevresinin tarım ürünlerinin bölgenin en önemli liman şehri İzmir'e taşınmasını kolaylaştırmaktır. Aynı zamanlarda, İzmir-Turgutlu-Afyon ile Manisa-Bandırma hatlarının 98 km'lik bölümü yine bir İngiliz şirketi tarafından yapılır [3].

¹ Bu tarih aynı zamanda ülkemizde demiryolu taşımacılığını düzenleyen, işleten ve kontrol eden Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD)'nin kuruluş tarihi olarak kabul edilir. Kurumun gerçek kuruluş tarihi ise 31 Mayıs 1927'dir.

Daha sonraki dönemde padişah ve hükümetin çalışmalarıyla Haydarpaşa-İzmit arası 91 km'lik hat devlet tarafından 1871-1873 arasında yapılmıştır [3].

Bu tarihlerden sonra Osmanlı Devleti'nin Alman İmparatorluğu ile siyasi olarak yakınlaşmasına paralel olarak demiryollarında Alman etkisi görülmeye başlar. Almanlarla beraber "Anadolu Osmanlı Şimendifer Kumpanyası" kurulur ve Anadolu'daki demiryolu yapım imtiyazları bu şirkete verilir [3].

1893'te Alman sermayesi ile yapılan Alayunt-Kütahya ve Eskişehir-Konya hatları açılır. Eskişehir-Konya 1896'da demiryolu inşaatı bitirilerek birbirine bağlanır [3].

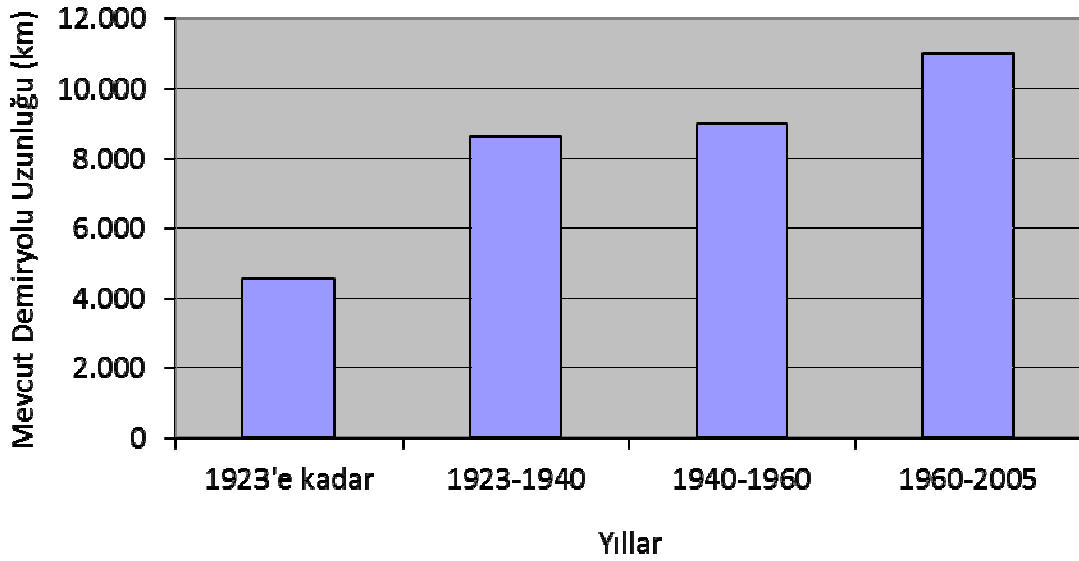
Sonraki yıllarda 1900-1908 arası Şam-Medine arasında Hicaz Demiryolu, 1903-1915 arası İstanbul-Bağdat arasında Bağdat Demiryolu yapılmıştır [3].

1.Dünya Savaşı'nın başlamasıyla birlikte demiryolu inşaatı bir süre durmuş, cumhuriyet döneminde ise hızlanarak devam etmiştir. 1923 yılında 4559 km olan demiryolu şebekesi 1940 yılına geldiğinde yılda ortalama 240 km yeni demiryolu yapılarak 8637 km ye milli imkanlarla çıkarılmıştır [3].

2.Dünya Savaşı sırasında ise, ülkemiz savaşa katılmamasına rağmen savaşın dolaylı etkilerine maruz kalmış, bu nedenle demiryolu yapımı oldukça yavaşlamıştır. 1940-1960 yılları arasında ancak 370 km demiryolu yapılmıştır [3].

1960 yılından sonra ise devletin ulaştırma politikası değiştirilerek öncelik karayollarına verilmiştir. Özellikle ABD'den alınan yardımlarla bu dönemde büyük karayolu yatırımları yapılmış, demiryolları ise geri plana itilmiştir. 1960-2005 yılları arasında yıllık ortalama 43 km olmak üzere yaklaşık 2000 km yeni demiryolu yapılmıştır. Ülkemizde yıllara göre mevcut demiryolu miktarı şekil 2.1'de gösterilmiştir.

Ülkemizde hafif raylı sistemlere ilk örnek ise Karaköy-Beyoğlu (Galata-Pera) arası çalışan 573 metrelik "Tünel" olarak gösterilebilir. İnşaatı 1871-1874 arası yapılmış, 1875'te hizmete açılmıştır. Tünel bir foniküler sistemdir. Bu sistemlerde birbirine bağlı iki vagon bir makara sistemi marifetiyle birbirine ters yönde hareket ettirilmektedir. Tünelde tek yönlü yolculuk yaklaşık 1,5 dakika sürmektedir [4].



Şekil 2. 1 Türkiye’de yıllara göre mevcut demiryolu uzunluğu

Türkiye demiryolları tarihinin birçok gelişmiş ülkeyle yakın zamanlarda başlamasına rağmen günümüzde Türkiye, demiryolları uzunluğu, etkinliği, verimliliği ve ekonomisi açısından Avrupa Birliği üyesi gelişmiş ülkelerden oldukça geridedir. Bu duruma örnek olarak TCDD ile Alman Demiryolları (Günümüzde DB)’nin karşılaştırılması çizelge 2.1’de verilmiştir.

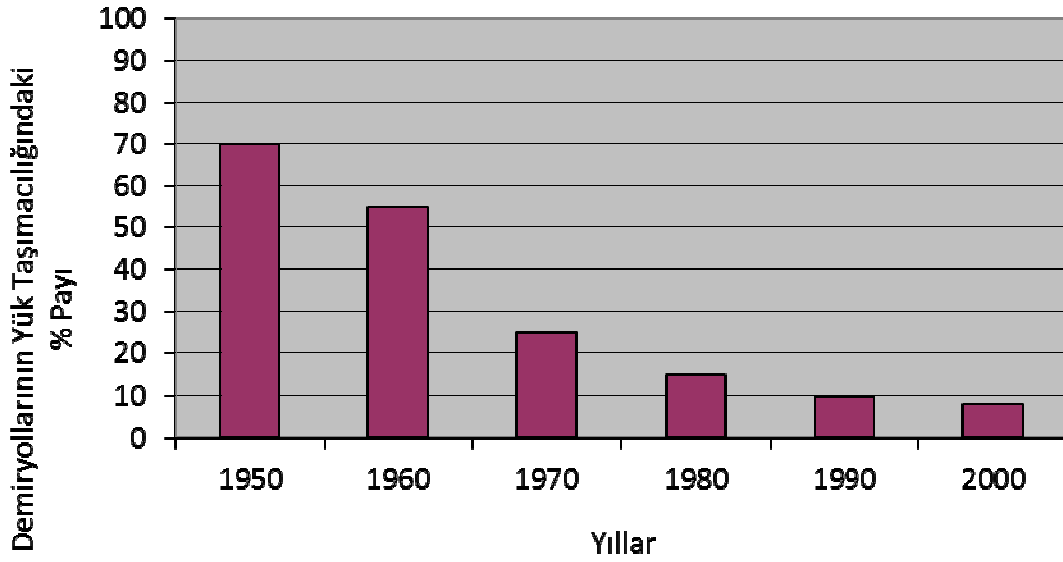
Çizelge 2. 1 2007 TCDD ile DB’nin karşılaştırılması [5]

Kurum	Kuruluş Tarihi	Toplam Hat Uzunluğu	Personel Sayısı	2007 karı/zararı
TCDD	1856	10.994 km	Yak. 35.000	630 milyon TL zarar
DB	1835 ¹	41.315 km	Yak. 229.000	1,6 milyar E kar

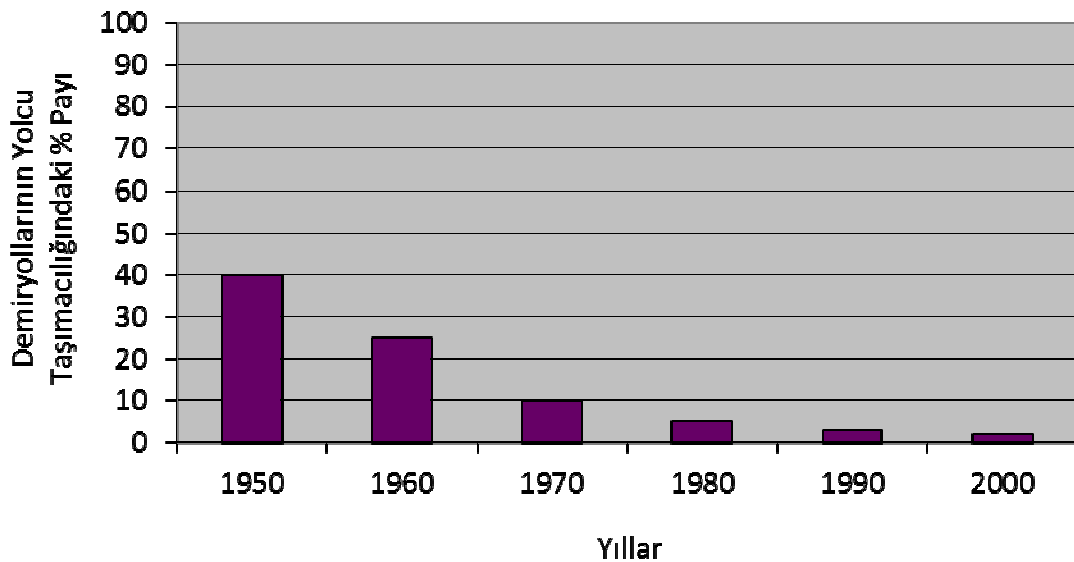
Bu tablodan Türkiye’deki demiryollarının oldukça verimsiz olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun temel nedeni 1950’li yıllara kadar demiryolu ağırlıklı olan ulusal ulaştırma politikasının bu yıllardan sonra karayolu ağırlıklı hale dönüştürülmesidir. Buna bağlı olarak ülkemizde demiryolu gelişimi oldukça yavaşlamıştır. 1950’de Türkiye genelindeki yük taşımacılığının % 70’i ve yolcu taşımacılığının % 40’ını gerçekleştiren demiryolları

¹ Deutsche Bahn A.G. nin resmi kuruluş tarihi 1994 olmasına rağmen Alman demiryolculuğunun başlangıç tarihi Alman Demiryolları’nın kuruluş tarihi olarak alınmıştır.

2000 yılına geldiğinde yük taşımacılığında % 10, yolcu taşımacılığında ise % 2 paya sahiptir. Her iki sektörde de karayollarının payı demiryollarının tersine oldukça artmıştır. Demiryollarının ülke genelinde yük taşıma payı şekil 2.2’de, yolcu taşıma payı ise şekil 2.3’te gösterilmiştir [3].



Şekil 2. 2 Türkiye’de yıllara göre demiryollarının yük taşımacılığındaki payı

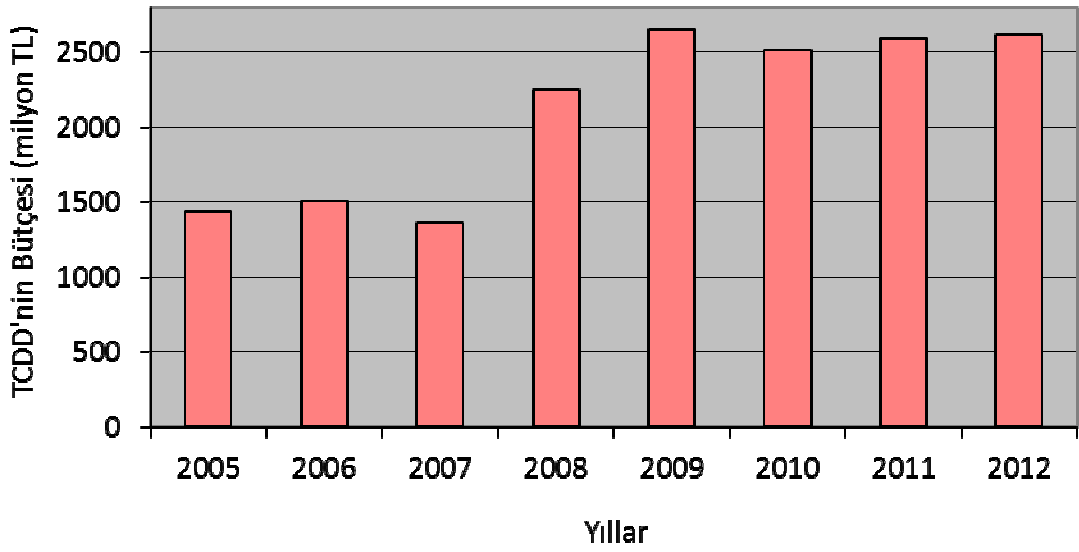


Şekil 2. 3 Türkiye’de yıllara göre demiryollarının yolcu taşımacılığındaki payı

2.2.2 2000 Sonrası Dönem

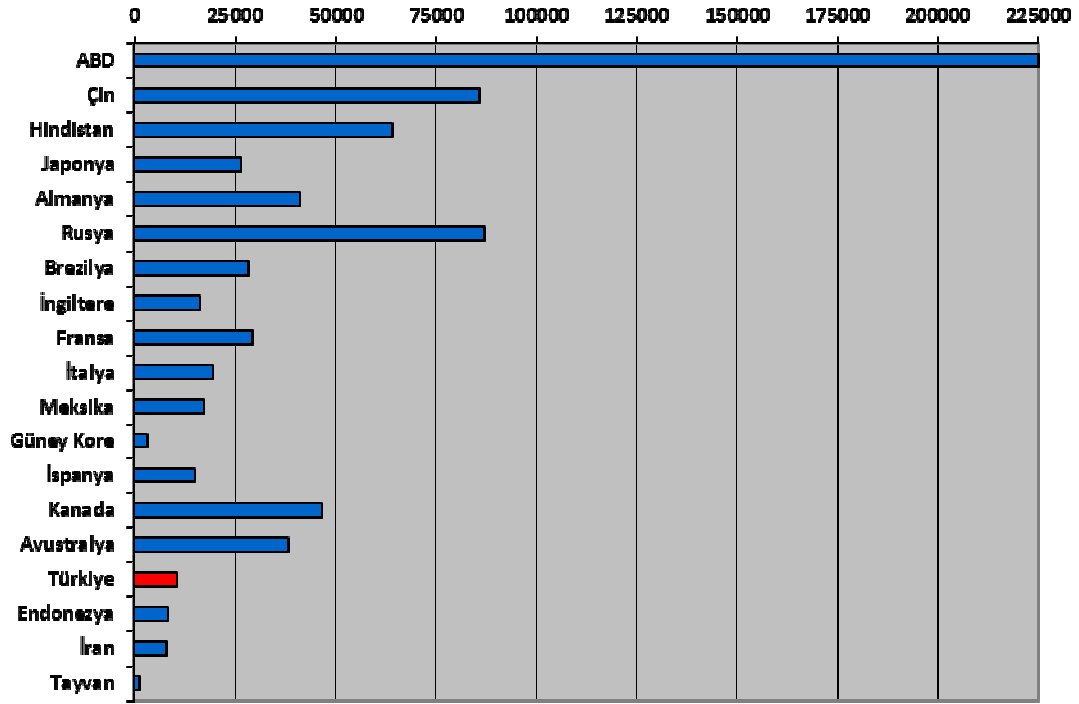
2000 yılı sonrasında Türkiye’de demiryolları ve ulaşıma politikaları açısından önemli değişiklikler meydana gelmiştir. Demiryolu yapımı ve demiryolu sanayisinin geliştirilmesi yeniden ulaştırma politikası içinde önem kazanmıştır. TCDD’nin bütçesi şekil 2.4’de gösterildiği gibi önemli oranda artmıştır. 2000 yılından günümüze kadar demiryollarının gelişmesi için atılan adımlar şu şekilde sıralanabilir;

- İstanbul-Ankara, Ankara-Konya, Ankara-Sivas arası yüksek hızlı tren hattı inşaatı çalışmalarına başlanmış, Ankara-Eskişehir arası hat işletmeye açılmıştır.
- Yol yenileme ve bakım onarım çalışmalarına hız verilmiştir. 2010 yılında yaklaşık 300 km yol yenilenmiştir.
- Sakarya’da hızlı tren ve metro araçları fabrikası açılmış ve üretime başlamıştır.
- Marmaray Projesinin inşaatına başlanmıştır.
- Kardemir A.Ş.’nin 1939’dan beri kullanılan ray haddehanesi 2006 yılında yenilenerek UIC ve EN standartlarında ray üretimine geçilmiştir.
- Kardemir A.Ş., TCDD ve Voestalpine ortaklığıyla Çankırı’ya makas fabrikası kurulmuştur.
- Afyon ve Sivas’a travers fabrikası kurulması planlanmıştır.
- Tülomsaş ve Tüvasaş’ın ürün gamını geliştirmek için lisans anlaşmaları imzalanmıştır.
- İzmir’de Aliğa-Cumaovası arası banliyo işletmesi (EGERAY) İzmir Büyükşehir Belediyesi ve TCDD ortaklığıyla hizmete açılmıştır. Ayrıca bir çok belediye için benzer projeler planlanmıştır.
- Kars-Tiflis-Bakü demiryolu hattının inşaatına başlanmıştır.
- Demiryollarının yeniden yapılandırılması için Demiryolu Kanunu Tasarısı hazırlanmıştır.



Şekil 2. 4 TCDD'nin yıllara göre bütçe değişimi

Gelişmiş, büyük ekonomiye sahip ülkelerin tamamında demiryolları önemsenmekte ve sürekli gelişmektedir. Şekil 2.5'te dünyanın en büyük 20 ekonomisine sahip ülkenin ekonomi büyüklükleri ile mevcut demiryolu uzunluğu grafiği verilmiştir. Rusya'nın SSCB döneminde demiryollarına büyük yatırım yapması, Avustralya ve Kanada'ya kolonizasyon döneminde İngiliz ve Fransızlar tarafından yüklü miktarda demiryolu yapılması nedeniyle bu ülkelerde diğerlerine göre daha fazla demiryolu bulunmakla beraber diğer ülkelerde ekonomik büyüklük ile demiryolları uzunluğu arasında belirgin bir orantı vardır.



Şekil 2. 5 Dünyanın 20 büyük ekonomisine sahip ülkelerin demiryolu uzunlukları [6]

Ülkemizde demiryollarının yeterince tanıtılamamasının ve etkin kullanılmamasının bir diğer nedeni de garların yapısıdır.



Şekil 2. 6 Haydarpaşa Garı'nın dıştan görünüşü

TCDD garlarının çoğu sadece yolcular için bilet gişeleri, idari birimler ve bir veya birkaç küçük büfeden ibaret bir hizmet teşkilatına sahiptir. Şekil 2.6'da TCDD'nin en önemli garı olan Haydarpaşa Garı gösterilmektedir. Bu garda toplam 6 adet bilet gişesi ve 8 adet büfe mevcuttur.



Şekil 2. 7 Berlin Garı'nın dıştan görünüşü

Nüfusu İstanbul nüfusunun ¼'ü olan Berlin'deki Berlin Garı'nda ise 12 adet bilet gişesi ve 80 adet orta büyüklükte mağaza mevcuttur. Şekil 2.7 ve 2.8 de gösterildiği gibi yolcuların ihtiyaçlarının çoğunluğu gar içindeki mağazalardan karşılandığı gibi, dışarıdan da gara alışveriş için gelen bol miktarda şehir sakini bulunmaktadır. Bu sayede gar, şehir için bir "yaşam merkezi" konumundadır.



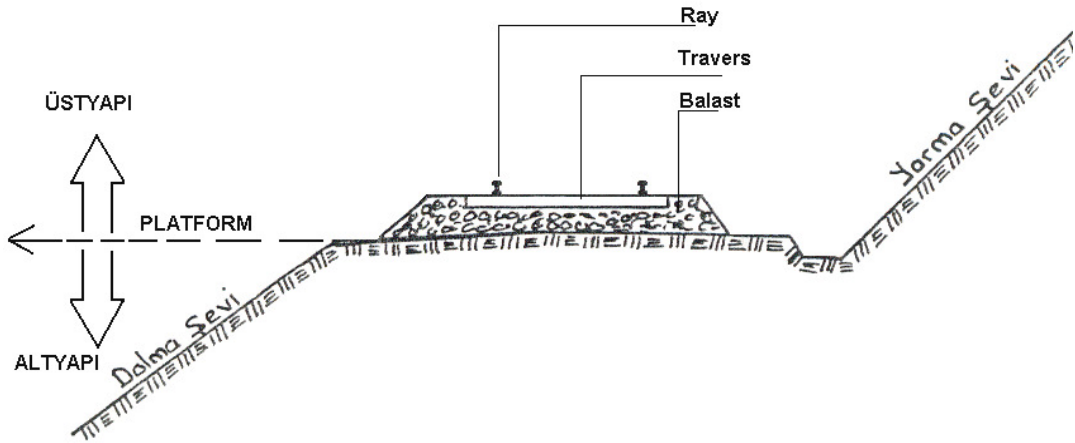
Şekil 2. 8 Berlin Garı'nın iç görünüşü

Ülkemizde son yıllarda demiryolu alanında yapılan çalışmalar sonucunda 2008 de taşınan yük miktarı 2002'ye göre % 43 artarak 23 milyon tona, taşınan yolcu miktarı ise % 10 artarak 81 milyona çıkmıştır. Aynı yıl Alman Demiryolları ise yaklaşık 346 milyon ton yük ve 2,2 milyar yolcu taşımıştır. Bu durumdan da anlaşıldığı üzere Türkiye'de son yıllarda artan önemine ve taşımacılıktaki payına rağmen demiryollarının gelişmiş ülkelerdeki seviyeye gelmesi için orta ve uzun vadede devlet bütçesinden artan oranda pay alması ve planlı şekilde sürekli gelişmesi gerekmektedir [3], [5].

DEMİRYOLUNUN YAPISI

3.1 Demiryolunun Yapısı

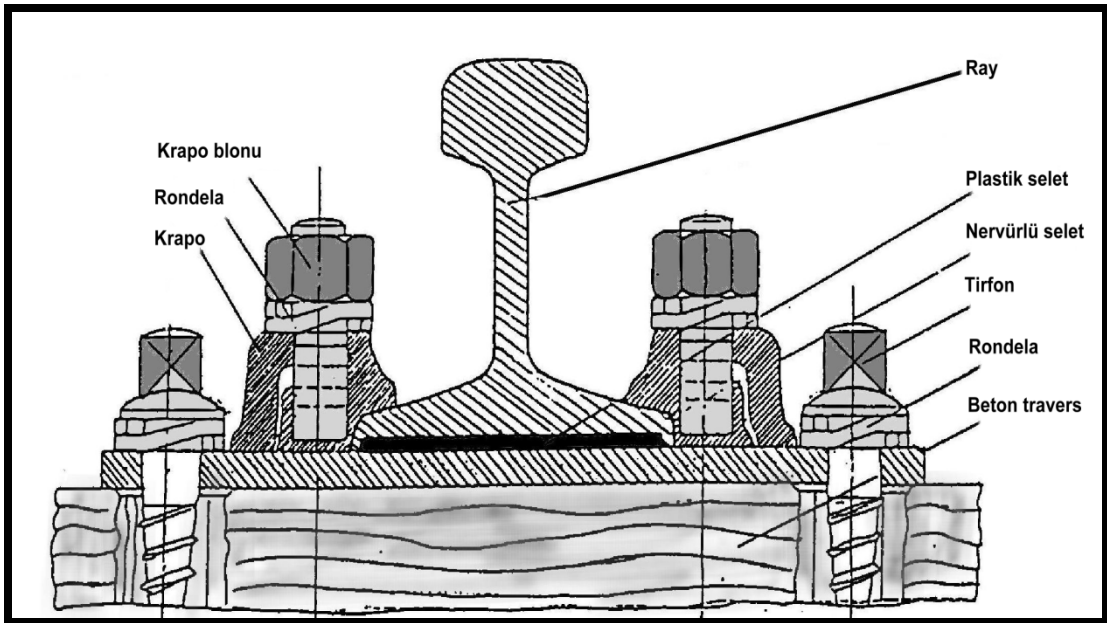
Demiryolu esas olarak balast üzerine yataklanmış traversler üzerine özel bağlantı elemanlarıyla bağlanarak sabitlenmiş raylardan oluşan yollar ve bu yolları birbirine bağlayan makaslardan oluşur (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Bu temel elemanların görevleri şu şekilde sıralanabilir;



Şekil 3. 1 Demiryolu kesidi [7]

- i. Balast: Traversleri yataklar ve destekler. Zemin ile demiryolu arasında ara katman oluşturur ve titreşimleri sönmöler. Çeşitli kayaçların belirli boyutlarda (30-60 mm) öğütölmesi ile elde edilir. En çok kullanılan hammadde bazalttır. Daha az olmakla beraber granit, kireçtaşı vs. de kullanılmaktadır.

- ii. Travers: Raylar için sabit eğimli, uygun bir oturma yüzeyi oluşturur. Rayların ekartman açıklığı¹ sabit olacak şekilde yola bağlanmasını sağlar. Ahşap, çelik ve beton çeşitleri bulunmaktadır. Günümüzde beton traversler ağırlıkla kullanılmaktadır.
- iii. Ray: Demiryolu araçlarının üzerine hareket edeceği düzgün bir yüzey sağlar ve araçtan ve dış etkilere kaynaklı yükleri traverslere aktarır. Tekerleri klavuzlar, elektrik iletkeni olarak görev yapar. Sıcak haddeleme yoluyla üretilir. Profil çeşidine ve çeliğinin cinsine göre sınıflara ayrılır. Üretimde kullanılan çeliklerin tamamı yüksek karbonludur. Ülkemizde 49,430 kg/m ağırlığa sahip S 49 profilinde R260 kalitesindeki raylar mevcut hatlarda çoğunluktadır. Yol yenileme çalışmalarında bu raylar daha dayanıklı 60,21 kg/m ağırlığa sahip UIC 60 tipi R260 kalitesindeki raylarla değiştirilmektedir.



Şekil 3. 2 Ray bağlantı kesidi [7]

Demiryollarının başlangıcından bu yana demiryolu yapısının prensipleri esas olarak değişmemiştir. İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra olan önemli gelişmeler; sürekli kaynaklı rayların girişi, beton traverslerin, ağır rayların, elastik bağlantı elemanlarının kullanımı, mekanizasyon ve gelişmiş ölçme teçhizatının girişidir [7].

¹ Demiryolunda iki rayın iç yüzeyleri arasındaki açıklığa ekartman açıklığı denir. Dünyanın büyük çoğunluğunda bu açıklık 1435 mm olarak kabul edilmiştir.

Demiryolu dizaynının püf noktası demiryolu yapısının kendine uygulanan yükleri, bileşke gerilmeleri ve deformasyonları dağıtmasını sağlamaktadır. Klasik kaynaklı demiryolu rayları sıcaklık değişimlerine bağlı olarak ray uzamalarına veya kısalmalarına izin verecek şekilde genleşme payı ile bağlanmıştır. Bu, ısı gerilme kuvvetlerin doğmasını ve yüksek sıcaklıklarda demiryolunun eğilmesi riskini azaltır. Fakat bunun bedeli tren geçişi esnasında yüksek dinamik yük üreten, yoğun bakım gerektiren bağlantılardır. Bu yükler düşey yol geometrisinin çabuk bozulması, ray başlarının plastik deformasyonu, tehlikeli ray çatlakları nedeniyle travers ve bağlantı malzemelerinde hasarlanma gibi birçok problemin kaynağıdır. Bu problemler hızla orantılı olarak artar. Demiryolu bağlantı elemanlarının servis ömründe önemli ölçüde olumsuz etkisi vardır ve kaçınılmazdır [7].

Sürekli kaynaklı demiryollarında yukarıda sayılan sorunlar görünmez. Bağlantı yokluğuna bağlı olarak demiryolu geometrisinin kalitesi daha iyidir. Bu toplam ömür maliyetinde önemli bir düşmeye sebep olur. Ancak sürekli kaynaklı rayların avantajları yanında dezavantajları da mevcuttur. Yapısından kaynaklanan gerilmeleri, kalıntı ray gerilmelerine ve tren yüküne bağlı eğilme gerilmelerine yol açar [7].

Gerilmeler özellikle küçük kusurlu rayların düşük sıcaklıkta yorulmasına neden olur. Diğer yandan 25°C'nin üzerindeki ortam sıcaklığında gelişen sıkıştırma kuvvetlerine direnç göstermek için demiryolu yeterli büyüklükte yanal stabiliteye sahip olmalıdır.

Raylar demiryolu yapısının en önemli parçası olarak görülebilir. Ray sistemleri 20 ila 50 yıl gibi oldukça uzun yıllar hizmet ederler. Bu nedenle ray sistemlerinin seçimi, döşenmesi, bakım ve tamir metotlarının seçiminde pek çok etken dikkate alınmalıdır.

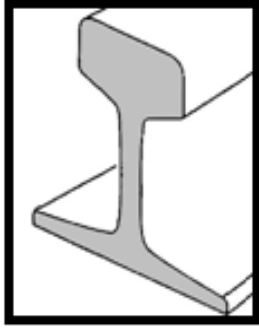
Bu değerlendirmede en iyi dizaynı elde etmek için net olarak yükler ve maksimum hızlar hakkında kesin verilerin bilinmesi gerekir. Raylar ve makaslar her zaman konforlu geçişe uygun olmalıdır. Aksi halde emniyet tehlikede olmasa bile seyahat sırasında lokomotif ve vagonları rahatsız edecek derecede titreşim ve sarsıntılar ortaya çıkabilir. Demiryolu çok iyi inşa edilmiş ve mükemmel geometride olsa bile makasların,

kurpların¹ ve zıt kurpların düzensiz dizilişi yolcuları çok rahatsız edecek hatta korkutacak kuvvetli hareketlere sebep olabilir [7].

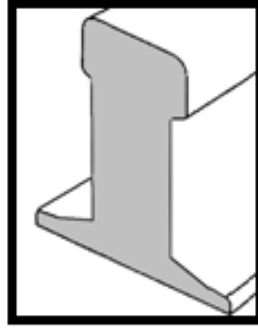
3.2 Rayın Yapısı

Rayların demiryolunda temel görevleri şunlardır;

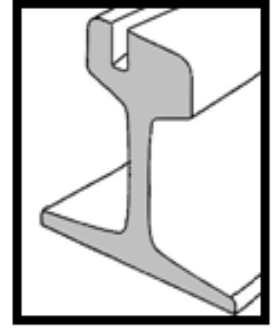
- i. Demiryolu araçlarının üzerinde hareket edeceği düzgün bir yüzey oluşturur.
- ii. Demiryolu araçlarından ve dış etkilere kaynaklanan yükleri transverslere aktarır.
- iii. Tekerlekleri klavuzlayarak demiryolu aracının hareket güzergahını sabitler.
- iv. Elektrikli hatlarda elektrik iletkeni olarak görev yapar.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3. 3 Çeşitli ray profilleri [7]

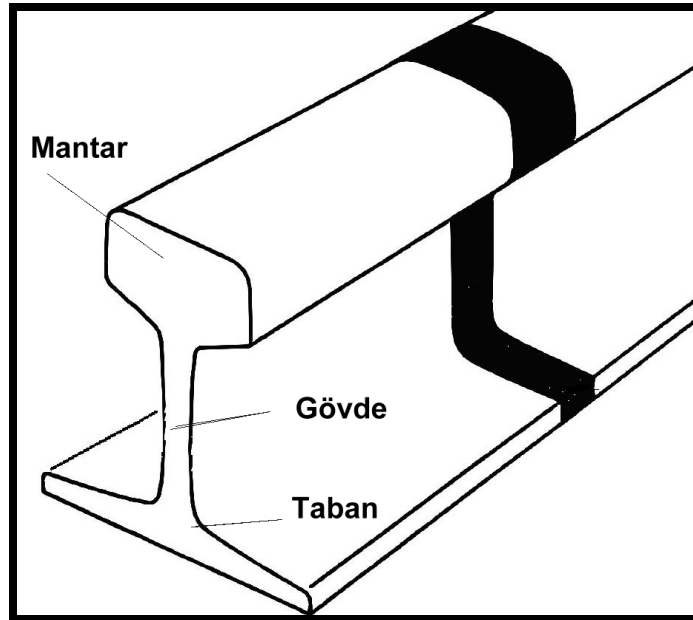
Rayların çeşitli profil tipleri vardır. Bu tipler Şekil 3.3 te gösterilmiştir. Demiryollarında kullanılan ray tipi ise vinyol² ray olarak bilinen çeşittir (Şekil 3.4). 46 kg/m ve daha ağır vinyol rayların profilleri ve çelik kaliteleri EN 13764-1’de standartlaştırılmıştır. Şekil 3.3 (b)’de gösterilen ray tipi ise oluklu ray olarak adlandırılır. Bu raylarda tekerleği klavuzlayan bir oluk bulunur. Bu oluk sayesinde araçların seyir güvenliği daha yüksektir ve şehir içinde dar alanlarda döşenen tramvay hatlarında yaygın olarak kullanılır.

Raylar taban, gövde ve mantar olmak üzere üç bölümden meydana gelir. Bu bölümlerin görevleri;

¹ Kurp, demiryolu aracının seyir açısını değiştiren demiryolu dönemeçlerine (viraj) denir.

² Vinyol ray, tabanı mantarından daha geniş olan rayların genel adıdır.

- i. Mantar: Tekerlekle temasta olan bölümdür. Uygun bir aşınma direncine sahip olması hedeflenir
- ii. Gövde: Mantara gelen yükü tabana aktaran kısımdır. Rayların birbirine bağlantılarının yapıldıkları cebire¹ delikleri bu kısımda bulunur. Dikey ve yatay mukavemeti önemlidir.
- iii. Taban: Rayın travers yüzeyine oturan kısmıdır. Rayın travers üzerinde sabitliğini sağlamaya yarar. Meydana gelebilecek yanal deformasyonlar altında ağırlık merkezinin dışarı kaçarak rayın devrilmemesi için yeterince geniş olması gerekir.



Şekil 3. 4 Vinyol ray profili [7]

3.2.1 Ray Üretim Prosesi

Demiryolları ulaşım sektöründe demir çelik üreticilerinin önemli bir tüketicisi konumundadır. Türkiye’de yaklaşık toplam 11.000 km hat uzunluğu üzerinde çalışan araçları, yolun yapımı ve bunların bakım ve yenileme işleri düşünüldüğünde demir çelik sektörü için iyi bir potansiyel olduğu görülmektedir.

Türkiye’de çelik üretiminin yaklaşık % 30'u cevher ve kömüre dayalı entegre tesislerde gerçekleştirilirken, % 70'i hurdaya dayalı olarak işletilen elektrik ark ocaklı tesislerde

¹ Cebire, rayların birbirine civata-somun takımı marifetiyle bağlanmasına yarayan özel profilli parçadır.

gerçekleşmektedir. Türkiye dünya toplam çeliğinin yaklaşık 1/60'ını üretirken yaklaşık 6-7 milyon ton/yıl hurdayı ithal etmektedir.

TCDD'nin her yıl belirli miktarlarda malzemesi bakım, yenileme çalışmaları ile değiştirilmektedir. Kullanılmaz duruma gelen çelik malzemeler hurdaya ayrılır. Yıllık hurda miktarı ortalama olarak 50.000 ton olup, 2001 yılı için ise hurda miktarı 108.000 tondur [7].

Türk çelik üretim endüstrisi hem teknolojik hemde çelik kalitesi açısından önemli bir gelişme içerisinde. 2010 yılı itibarı ile Türkiye'de çelik üretimi yaklaşık 25 milyon tondur.

TCDD mevcut koşullar göz önüne alındığında yıllık yaklaşık 100.000 ton demir-çelik malzemesini rutin olarak kullanmaktadır. Bu malzemelerin temel nitelikleri ve kullanım miktarları çizelge 3.1'de gösterilmiştir. Bunun dışında hafif raylı sistemlerin ve metroların devreye girmesi ile bu tür işletmeler de potansiyel demiryolu malzemesi alıcısı konumuna gelmiştir. Ülkemizde bu malzemelerin bir çoğunun üretilmemesi, söz konusu malzemelerin dış alım yoluyla tedarikini zorunlu kılmakta bu da ülke ekonomisine önemli bir ekonomik külfet oluşturmaktadır [7].

TCDD tarafından düzenli olarak kullanılmakta olan bu malzemelerden en önemli kalemi ray üretimi oluşturmaktadır. Son yıllarda çelik üretiminin büyük ölçüde modernize olması ile birlikte ray çeliği kalitesi büyük oranda artırılmıştır. Günümüzde bazik oksijen ocağı kullanımının yanı sıra ikincil metalurji ve havasız ortamda gaz alma (vacuum degassing) yöntemleri, bilgisayarlı üretim, sürekli tahribatsız muayene ve sürekli döküm önemli teknolojik gelişmeler olarak sayılabilir. Ray üretim prosesinin akış şeması şu şekildedir;

- i.Yüksek fırın
- ii.İkincil metalürji
- iii.Sürekli döküm
- iv.Haddeleme
- v.Doğrultma

vi.Ölçüm (ultrasonik, geometri, kontrol) [7]

Çizelge 3. 1 TCDD tarafından kullanılan demir çelik ürünleri [7]

MALZEME	TEKNİK ÖZELLİKLERİ	YILLIK İHTİYAÇ
Ray	UIC 860-0 standardına uygun 900 A kalitesinde alaşımsız çelik	50.000 ton
Mantarı sertleştirilmiş ray	900 A Kalitesinde mantarı ısıtılma tabi tutularak sertleştirilmiştir	10.000 ton
Krapo	Çekme Mukv. : 700-610 N/mm Kırılma Uzaması: min%18	200 ton
Cebire	Çekme Mukv. : 550-650 N/mm ² Kırılma Uzaması: min %18	300 ton
HM Gergi Kıskaçı	Kıskaç Basma Kuvveti 2x10=20 (kN) Sertlik(Vickers 30) :400-460	2.000.000 Adet
Besleme Rondelası	DIN 1624 St 2 K 60 (1.0330K60) Üretim Şekli: Soğuk Çekme	2.000.000 Adet

Cevher ocaktan alınıp belli büyüklükte kırılır. Küçük parçalar ayıklanarak sinterlenmek üzere sinter ünitesine gönderilir. Burada küçük parçacıklar kok ve kireç taşı ile karıştırılarak demirce zengin parçalar haline getirilir. Bu parçalara sinter adı verilir. Bu sinter parçaları diğer demir cevheri ile birlikte yüksek fırına atılır. Ayrıca bunlarla beraber kok ve belirli ölçüde kireç taşı da fırına atılarak yakılır. Bu sırada fırının içine sıcak hava üflenir, yanma hızlandırılır ve büyük bir ısı açığa çıkar. Bu sayede demir cevheri indirgenir. Fırına atılan sinter parçaları ve cevher eriyerek yaklaşık 1500°C de fırının dibinde toplanırlar. Fırına atılan kireç taşı ile cevherdeki istenmeyen maddeler birleşir ve curuf oluşturur. Bu oluşan curuf sıvı metalden daha hafiftir ve metalin üzerinde yüzer [7].

Yüksek fırındaki işlemler sürekli. Metalin üzerinde curuf oluşur oluşmaz periyodik olarak alınmaya başlar. Aynı şekilde curufun altından başlayarak da erimiş metal alınarak buradan sıvı çelik üretimine gider. Cevher, sinter, kok ve kireç taşı sürekli

olarak yüksek fırına yüklenir ve sıcak hava aşağıdan üflenir. Bu işlem, fırının ısıya dayanıklı refrakterinin bozulmasına veya düzenlenmesine ihtiyaç göstermesine kadar yaklaşık 4 yıl veya daha fazla süre sürekli olarak devam eder. Bir sonraki işlem çelik yapım işleminin gerçekleştiği bazik oksijen fırınıdır [7].

Bazik oksijen ocak (BOF) işlemi diye bilinen yöntem çelik yapımında oldukça önemli bir yer tutar. Modern bir fırın bir defada 150-350 ton malzeme alır ve yaklaşık 40 dakikada çelik üretir. Sıcak metal bazik oksijen işleminin en önemli malzemesidir. Fırına önce hurda atılır, daha sonra sıvı metal yüklenir ve ağzı yukarıya getirilerek işlem başlatılır. Fırına yüklenen malzemenin % 70'i sıvı metal, % 30'u ise hurdadır [7].

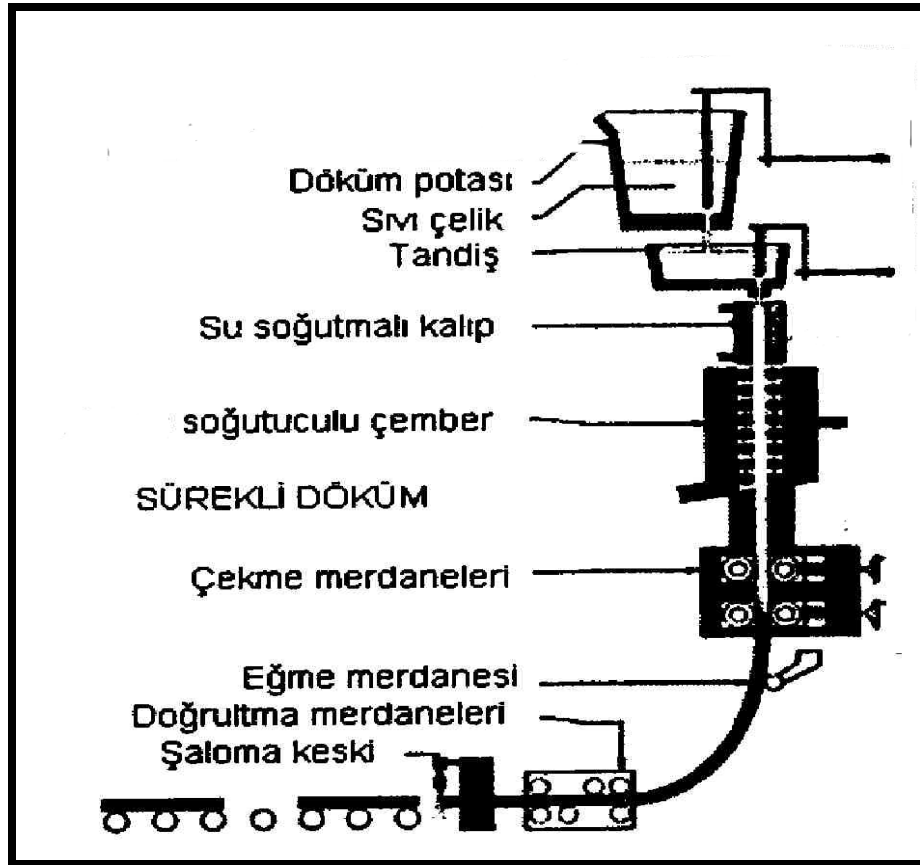
Su ile soğutulan oksijen borusu fırının içine daldırılır ve oldukça yüksek bir hızla kuru ve saf oksijen üflenir. Üflenilen oksijen karbonla ve diğer istenmeyen elementlerle birleşerek sıvı malzemeyi temizler. Karbon % 0,1 den aşağıya düşünceye kadar oksijen üfleme devam edilir. Oksijen üfleme süresince akışkanlığı arttırmak amacıyla kireçtaşı eklenir. Kireç taşının etkisiyle oksijen istenmeyen malzemelerle birleşerek oksitlerini oluşturur. Bu oksitler curuf oluşturup yüzeyde kalırlar. 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 potaya alındıktan sonra ocak ters çevrilerek daha önceden hazırlanmış olan curuf potasına yüzeyde kalan curuf boşaltılır [7].

Potaya alınan sıvı metale alaşım elementleri atılarak karbürize edilir. ikincil metalurji diye adlandırılan proste kimyasal kompozisyon, sıcaklık ayarlanır ve istenmeyen maddeler atılır. Modern çelik yapımında çelik kalitesini yükseltmekte kullanılan bir kaç işlem vardır. Argon üfleme yöntemi sıcaklığı ve kimyasal kompozisyonu homojenleştirmekte kullanılır. Vacuum degassing ünitesi çelikteki hidrojen oranını 2 ppm.'den aşağıya düşürmek ve çelikteki oksitleri yok etmekte kullanılır [7].

Hidrojen miktarının sıvı çelikte 2 ppm.'in altında olması hidrojen flakelerinin (birikinti, yapraklanma) oluşmasını önler. Dolayısıyla soğuma hızının sürekli ölçülmesine gerek kalmaz [7].

Hidrojenin ray üzerindeki olumsuz etkisine değinilecek olunursa, içerisinde hidrojen flakeleri bulunan ray üzerine gelen tekerlek yükü altında ray içinde hidrojen nedeniyle çatlak başlayacak zamanla yorulmadan dolayı kırılmaya neden olacaktır [7].

Bir sonraki adım döküm işlemidir. Şu anda 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 yolla döküm sürekli olarak devam eder (Şekil 3.5).



Şekil 3. 5 Sürekli döküm prosesi [7]

Sıvı çelik potadan tandiş'e dökülürken gömme döküm tekniği kullanılır. Tüm kalıplara aynı miktarda metal akmasını sağlayan hassas ölçülü döküm ağızlıkları kullanılır. Pota ile tandiş arasına ve tandiş ile kalıp arasına refrakter koruma konarak 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

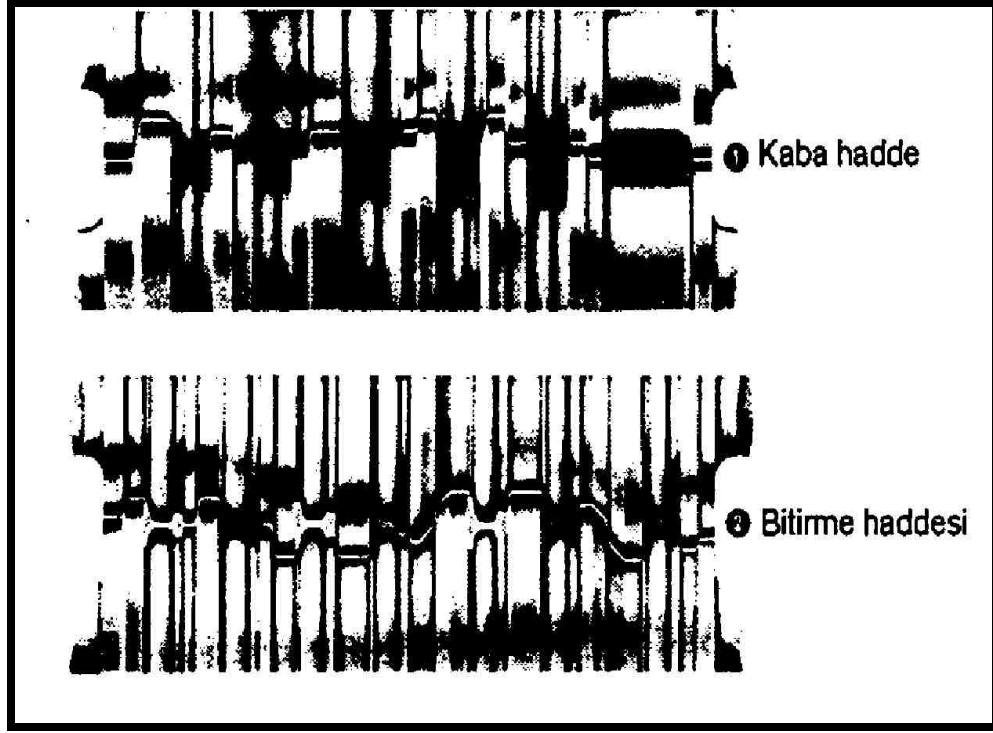
metalurjik kalitesi açısından büyük ölçüde etkiler. Bu nedenle tandışdeki çeliğin sıcaklığı sıvı haldeki sıcaklığının 15 °C üzerinde tutulur. Döküm süresince çeliğin bakır kalıba yapışmasını önlemek amacıyla döküm hızına ve sallantı vuruşuna göre kalıp dakikada 60-200 dönüşlük bir sıklıkla sallanır. Döküm hızı yaklaşık 0,8 m/dak.dır. Sağlıklı katılaşma sağlamak amacıyla kütükler elektro magnetik olarak soğutulacak şekilde donatılmıştır [7].

Haddeden çıkan sıcak kütükler 10-13 m.lik bir yarıçapla dönerek doğrultma tezgahlarına ikinci soğutmayı 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 uniform dağılımlıdır [7].

Kütükler yüzey kalitesinin yüksek tutulması amacıyla kontrol edilir. Daha sonra özel dizayn edilmiş fırınlarda 1250° C ye kadar tavlanylrlar. Tav fırınından çıkan kütüklerin üzerine 200 barlık bir basınçla su fışkırtılır. Bu işlem haddelerin ve haddelenen yüzeylerin zarar görmesini engeller [7].

Kütükler ray formunu veren haddeye girmeden önce ilk şekilleri verilmek üzere ön haddeden geçerler. Ray son şeklini alıncaya kadar 8-11 defa haddeden geçer [7].

Şekil 3.6'da ray haddesi görölmektedir. İlk 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. 125 m ye kadar ray çekmek mümkündür [7].



Şekil 3. 6 Ray haddesi [7]

Son şeklini alan raylar sıcak-kesme ile istenilen boyda kesilirler. Bütün raylar sıcak markalanırlar ve bu marka ray hakkındaki tüm bilgileri içerir [7] (ingot numarası, kütük numarası gibi).

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 önler. Soğumanın ardından raylar doğrultma ünitesine giderler [7].

Sonradan uygulanan düzeltme işlemi her ne kadar düzgünlük sağlasa da rayda zararlı gerilmelere yol açar. Rayın akma gerilmesine bağlı olarak 100-300 N/mm² mertebesinde kalıcı gerilmeler meydana gelir. Bütün raylar doğrultma haddesinden çıkınca test merkezine giderler. Burada rayın tüm özellikleri test edilir ve varsa içsel hataları, yüzey hataları ve boyut hataları tesbit edilir. İçsel hatalar ultrasonik yöntemle tesbit edilir [7].

Üretim sonunda raylar istenilen boyutlarda kesilirler, gerekli ise cebire delikleri delinir. Raylar tekrar teste tabi tutulur ve üretim tamamlanmış olur [7].

3.2.2 Raylara Uygulanan Isıl İşlemler

Perlitik yapının mekanik özellikleri sementit (Fe_3C) lamellerinin aralarındaki uzaklığa, kalınlıklarına ve tane boyutuna bağlıdır. Perlitik yapı oluşurken farklı miktarda karbonun ostenitik yapıdan difüzyonuna sebep olur. Difüzyon hızının kontrol edilmesi alaşım elementlerinin miktarının kontroluyla aynı etkiyi yaratır. Akma sınırı ve çekme mukavemeti, lameller arasındaki mesafe azalırken artar. Sementit lameller arasındaki mesafenin akma sınırını direkt olarak etkilemesi nedeniyle, çekme gerilmesi artarken, akma sınırı da yükselir. Tokluk, sementit lamellerinin kalınlığı ve tane boyutuyla ilgilidir [7].

Rayları alaşımlandırarak kırılma dayanımını arttırmak mümkün olduğu gibi, bir diğer yöntem ise raylara uygulanan ısıt işlemlerdir. Bu yöntemle yalnız kırılma dayanımı değil, aynı zamanda aşınma dayanımının da gelişmesinde de büyük avantaj sağlar. Isıt işlem ya tüm bölüme ya da sadece ray mantarına uygulanabilir. Sadece ray başına uygulandığı durumda ray mantarına çok büyük aşınma dayanımı sağlayan 1200-1350 N/mm^2 arasında kırılma dayanımına sahip olurken, ray gövdesi ve tabanında 900 N/mm^2 'lik kırılma dayanımı ile standart derecede dayanım değerlerine ulaşılır [7].

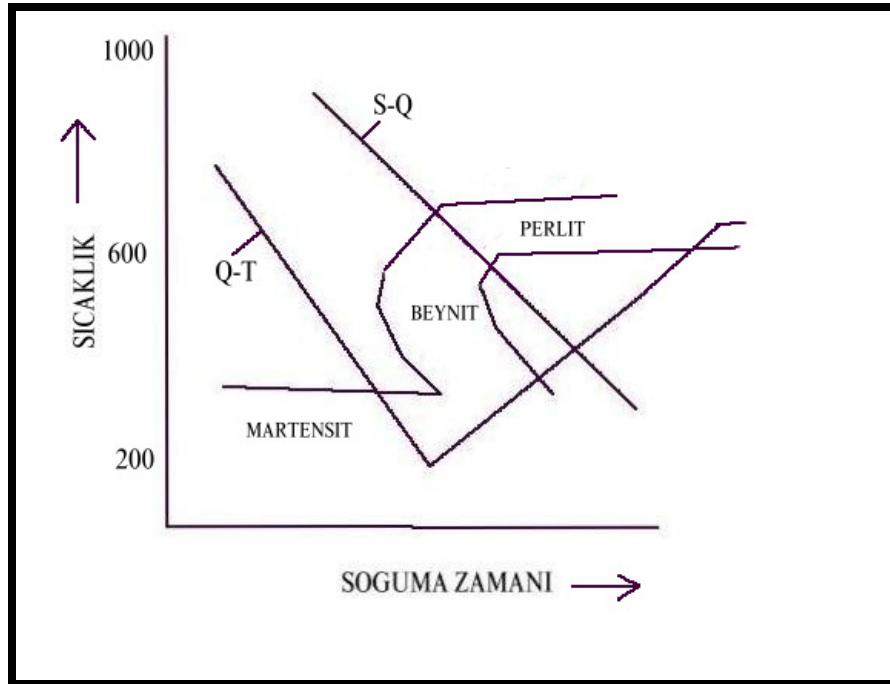
Raylara uygulanan ısıt işlemlerde rayın tamamı veya yalnız mantar kısmı ısıt işleme tabi tutulmaktadır. Rayın tamamını sertleştirerek ısıt işleme tabi tutmak suretiyle, çok ince perlitik bir yapı elde etmek için ekonomik olmayan bir tesis inşa edip işletmek zorunluluğu vardır. Ancak sonradan yapılacak kaynak etkisi ile malzemenin yumuşaması tehlikesini gözardı etmemek gerekir [7].

Bu durumda göz önüne alınarak, rayların tam olarak ısıt işleme tabi tutulmasına gerek kalmadan, kontrollü soğutma ile çok ince perlitik yapı oluşması, Cr-Mo ilavesiyle sağlanmaktadır. Bu bileşimdeki raylar soğutulurken 560-600 $^{\circ}\text{C}$ 'de ince perlit (veya üst beynit) yapısı oluşmaktadır. Standard C-çeliklerinde ise aynı dönüşüm 675-705 $^{\circ}\text{C}$ 'de meydana geldiği için daha kaba perlitik yapı meydana gelmektedir. Ray uçlarının ısıt işleme sertleştirilmesi de 1950'lerden beri geniş çapta uygulanan bir yöntemdir. Bunun için ray uçlarını genellikle gaz alevinde ısıttıktan sonra hava üfleyerek hızlı soğutmak gerekmektedir [7].

Rayın tamamı yerine yalnız mantar kısmına ısıtma işlemi uygulanması, bugün en çok kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, genellikle % 0,60-0,75 C, % 0,70-1,10 Mn içeren raylara uygulanmaktadır. (Q-T) ısıtma işlemi ismi verilen bu uygulamada ray mantarı 815 °C de ısıtıldıktan sonra su ile soğutulmuş martenzit yapı elde edilmekte, sonra tekrar yaklaşık 550 °C'e ısıtılıp su veya hava ile soğutulmuş suretiyle merteşilenmektedir. Mantarın etkilenen yapısı, sorbit şeklinde çok ince perlitten oluşmaktadır [7].

(Q-T) ısıtma işleminden daha basit bir ısıtma işlemi olan (S-Q) ısıtma işlemi son yıllarda Japonya'da geliştirilmiştir. Yeni gelişen bu (S-Q) yönteminde ray mantarı 500 °C'e kadar ön ısıtıldıktan sonra süratle diğeri bir fırına verilmekte ve yüzeyi, en az 1000 °C'e kadar yükseldikten sonra da alınıp basınçlı hava ile soğutulmaktadır. Böylece işlemten etkilenen bölgede 370 Vickers sertliğinde ince perlitik bir yapı oluşmaktadır [7].

(S-Q) işlemindeki ön ısıtma fırını, basınçlı kok gazı ile 400-600 °C'e kadar ısıtılmakta, hızlı ısıtma fırını ise, (basınçlı kok gazı+ oksijenle) 1100-1200 °C'ye kadar uç brülör yardımıyla ısıtılmakta, soğutma ise, basınçlı hava ile gerçekleştirilmektedir. Rayın işleme hızı 50 cm/dak.dır. (Q-T) ve (S-Q) işlemlerine ait soğuma eğrileri Şekil 3.7'de gösterilmiştir [7].



Şekil 3. 7 Q-T ve S-Q işlemlerine ait soğuma eğrileri [7]

Sertleştirme ısı işlemleri özellikle ağır yüklere maruz kalan yollarda kullanılan raylara ve cebireli ray bağlantılarının ömrünü uzatmak için uygulanmaktadır [7].

3.2.3 Ray Çelik Kaliteleri

Dünyada ray üretiminin yaklaşık 200 yıllık bir geçmişi vardır. Ülkemize ise 1856 yılında ilk demiryolunun yapılmasından sonra ray bir demir çelik mamülü olarak girmiştir. Ancak daha sonra yapılan uzun demiryollarının yapım imtiyazları Almanlara verilmiş, bu inşaatlarda kullanılan raylar da Almanya'dan getirilmiştir. Bu raylardan bazılarının metalürjik özellikleri çizelge 3.2'de gösterilmiştir [7].

Çizelge 3. 2 Türkiye'de kullanılmış bazı rayların metalürjik özellikleri [7]

Tipi	Kimyasal Bileşim%					Akma Mukav	Kopma Mukav.	Kopma Uzama. %
	C	Mn	Si	P	S			
Krupp 1891	0,36	0,6	0,21	0,085	0,077	36,9	66,5	18
Utte 1883	0,34	0,1	0,81	0,10	0,073	Yok	80,6	16

Bu dönemden 1950'lere kadar alaşımsız çelikten üretilmiş raylar ortalama % 0,50 C ve % 1,0 Mn içeren R260 (eski gösterimi St70) tipi çeliktendir. Çeliğin sakın dökülmüş olması, yani Al ile oksijenden arındırılması gerekir. Al ile deoksidasyon yöntemi malzeme yapısının temiz olmasına, yaşlanmaya karşı mukavemetine, kaynak kabiliyetinin artmasına ve tane küçültmeye yardımcı olmaktadır. (Çelikte % 0,03 den fazla Al bulunması tavsiye edilir.) ingot dökümü ile üretimde sıvı çeliğin kalıba alttan doldurulması (alttan döküm) özellikle önemlidir. Aksi takdirde, yüzey pürüzleri artabilir. Son yıllarda çeliğin blum halinde sürekli dökümü ve blumdan raya geçilmesi önemli bir gelişme olmuştur [7].

Bu suretle:

- i. Malzeme kayıpları azalmakta,

- ii. Daha homojen özellikler sağlanmakta,
- iii. Enerjiden tasarruf edilmekte,
- iv. Yatırım ve işletme maliyeti düşmekte,
- v. Seri üretim ve geçerli makineleşme ile daha düzenli ve emniyetli üretim yapılabilmektedir [7].

Tüm bu gelişmelerle birlikte 1970'lerden sonra ray malzemesine % 1,00-1,30 kadar Cr ilave edilerek sertliği ve mukavemeti artırılmıştır. (Bu çeliklerin bileşimlerindeki Si oranı da % 0,60-0,75 seviyesine çıkmaktadır). Son yıllarda (Cr-Mo)'li rayların üretimine gidilmektedir. Ray üretiminde çelikteki H₂'nin düşürülmesi için vakumla gaz giderme tekniği uygulanmakta ve H₂ oranının 2 ppm'nin altına düşürülmesi istenmektedir. Vakum tekniği sağlanamadığı takdirde, rayların haddelenme sonunda yavaş soğutulması (örneğin, 50 kg/m'nin üzerindeki rayların 7 saatten önce 150 °C altına soğutulmaması) tavsiye edilmektedir [7].

Günümüzde ise büyük kullanım alanı bulan ray çeliklerinin kaliteleri "EN 13674-1 46 kg/m ve üzeri vignol raylar" da standartlaştırılmıştır. Bu standartta raylar sertliklerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflar çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Bu çeliklerden ülkemizde ve dünyada en fazla kullanılanı R260 kalitesindedir.

Çizelge 3. 3 EN 13674-1'e göre çelik kaliteleri [8]

Kalite	Eski Gösterim	Sertlik (HBW)	Tanım
R200	700 A	200-240	Karbon-Mangan Alaşımlı
R220	800 A	220-260	Karbon-Mangan Alaşımlı
R260	900 A	260-300	Karbon Mangan Alaşımlı
R260Mn	900 B	260-300	Karbon-Mangan Alaşımlı
R320Cr	1100 A	320-360	% 1 Cr Katkılı
R350HT		350-390	C-Mn Alaşımlı, Isıl İşlenmiş
R350LHT		350-390	Düşük Alaşımlı, Isıl İşlenmiş

EN 13674-1'e göre ray çeliklerinin şu özellikleri standardize edilmiştir;

- i.Kırılma tokluğu, (izelge 3.4)
- ii.Yorulma dayanımı, (izelge 3.5)
- iii.Kalıntı gerilmeler,
- iv.Sertlik, (izelge 3.3)
- v.çekme mukavemeti ve yüzde uzama, (izelge 3.6)
- vi.Segregasyonlar,
- vii.Kimyasal kompozisyon, (izelge 3.6)
- viii.Mikroyapı,
- ix.Dekarbürizasyon,
- x.Deoksidasyon, (izelge 3.6)
- xi.Desülfürizasyon, (izelge 3.6)
- xii.Hidrojen içeriği, (izelge 3.6)
- xiii.Profil ve geometrik yapı, (şekil 3.8 ve şekil 3.9)

Çizelge 3. 4 EN 13674'e göre asgari kırılma tokluğu değerleri [8]

elik Kaliteleri	Asgari Tek Test Değeri	Asgari Ortalama Değer
R200 ve R220	30	35
R260 ve R260Mn	35	29
R320Cr	24	26
R350HT	30	32
R350LHT	26	29

Çizelge 3. 5 EN 13674'e göre istenen yorulma dayanımı ölçüleri [8]

Çelik Kaliteleri	$\Delta K = 10 \text{ MPa m}^{\frac{1}{2}}$	$\Delta K = 10 \text{ MPa m}^{\frac{1}{2}}$
R200 ve R320Cr dışındaki tüm kaliteler	17 m/Gc	55 m/Gc

Çizelge 3. 6 EN 13674'e göre rayların kimyasal kompozisyonları ve bazı mekanik özellikleri [8]

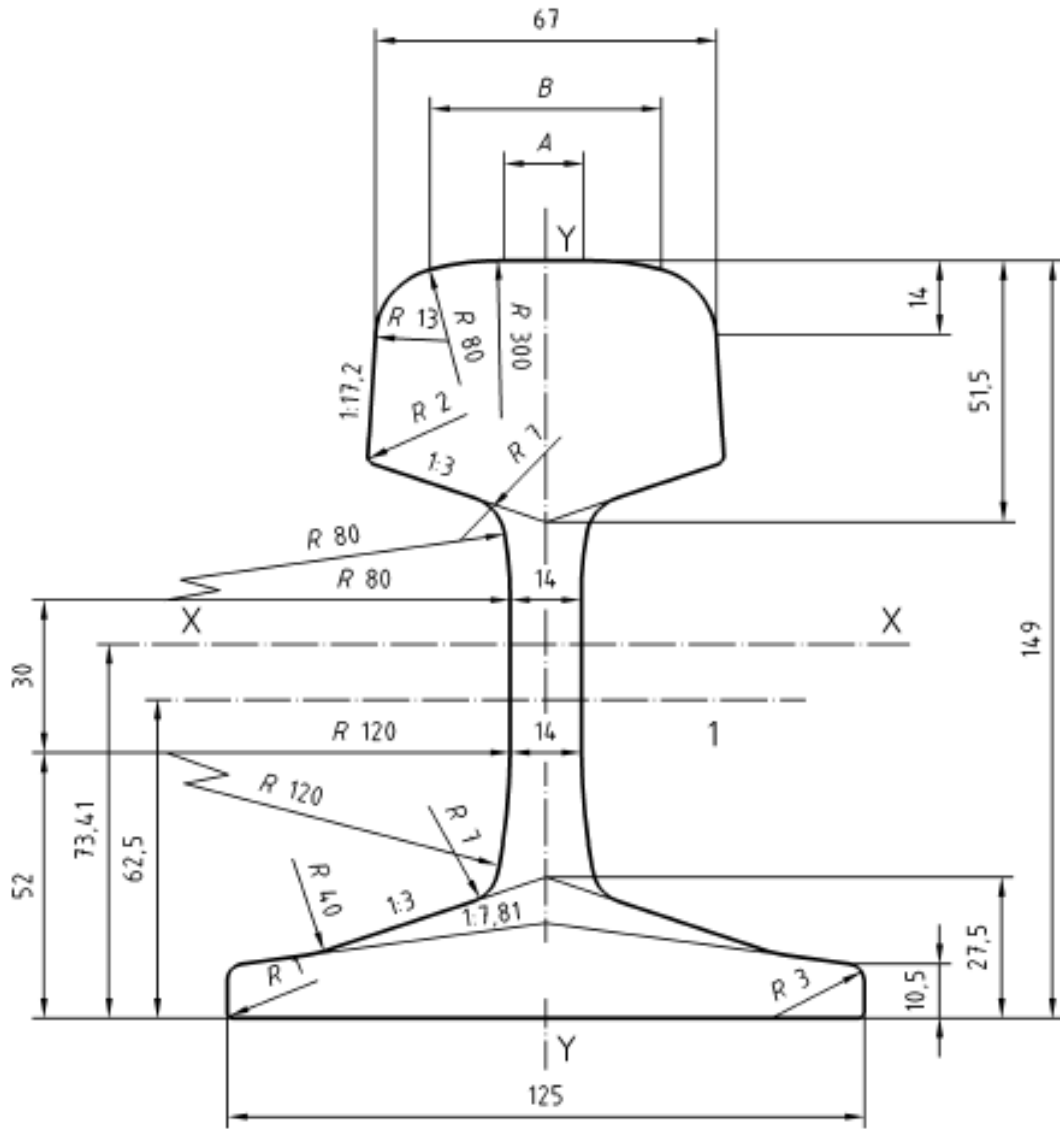
Çelik Kalitesi		Kütle Oranı								Max. ppm		min Rm(Mpa)	Asgari % Uzama
		C	Si	Mn	max P	Cr	max Al	max V	max N	O	H		
R200	Sıvı	0,4-0,6	0,15-0,58	0,7-1,2	0,035	max 0,15	0,004	0,03	0,009	20	3	680	14
	Katı	0,38-0,62	0,13-0,6	0,65-1,25	0,04	max 0,15	0,004	0,03	0,01	20	3		
R220	Sıvı	0,5-0,6	0,2-0,6	1-1,25	0,025	max 0,15	0,004	0,03	0,008	20	3	770	12
	Katı	0,5-0,6	0,2-0,6	1-1,25	0,025	max 0,15	0,004	0,03	0,008	20	3		
R260	Sıvı	0,62-0,8	0,15-0,58	0,7-1,2	0,025	max 0,15	0,004	0,03	0,009	20	2,5	880	10
	Katı	0,6-0,82	0,13-0,6	0,65-1,2	0,03	max 0,15	0,004	0,03	0,01	20	2,5		
R260Mn	Sıvı	0,55-0,75	0,15-0,6	1,3-1,7	0,025	max 0,15	0,004	0,03	0,009	20	2,5	880	10
	Katı	0,53-0,77	0,13-0,62	1,25-1,7	0,03	max 0,15	0,004	0,03	0,01	20	2,5		
R320Cr	Sıvı	0,6-0,8	0,5-1,1	0,8-1,2	0,02	0,8-1,2	0,004	0,18	0,009	20	2,5	1080	9
	Katı	0,58-0,82	0,48-1,12	0,75-1,25	0,025	0,75-1,25	0,004	0,2	0,01	20	2,5		
R350HT	Sıvı	0,72-0,8	0,15-0,58	0,7-1,2	0,02	max 0,15	0,004	0,03	0,009	20	2,5	1175	9
	Katı	0,7-0,82	0,13-0,6	0,65-1,25	0,025	max 0,15	0,004	0,03	0,01	20	2,5		
R350LHT	Sıvı	0,72-0,8	0,15-0,58	0,7-1,2	0,02	max 0,15	0,004	0,03	0,009	20	2,5	1175	9
	Katı	0,7-0,82	0,13-0,6	0,65-1,25	0,025	max 0,15	0,004	0,03	0,01	20	2,5		

Bu standarda göre imal Kardemir A.Ş.'de R260 kalitesinde çelikten imal edilen raylara ait mekanik değerler çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 7 Kardemir A.Ş.'de üretilen R260 kalitesinde, UIC 60 profilindeki rayların mekanik özellikleri [9]

Numune Numarası	Çelik Cinsi	POTA ANALİZİ (%)						KATI ANALİZİ (%)						SAPMA DEĞERLERİ (%)						MEKANİK DEĞERLER			
		C	Mn	Si	S	P	C	Mn	Si	S	P	C	Mn	Si	S	P	Rm	Uzama	Ağırlık Düşür Testi	Sehim	Sertlik HBW		
1	UIC900A	0,75	1,11	0,37	0,005	0,028	0,75	1,09	0,35	0,004	0,026	0,00	0,02	0,02	0,001	0,002	953	12,0	Uygun	38	288		
2	"	0,68	1,16	0,37	0,009	0,029	0,66	1,18	0,38	0,009	0,029	0,02	0,02	0,01	0,000	0,000	946	11,2	Uygun	40	283		
3	"	0,68	1,02	0,39	0,008	0,020	0,70	1,04	0,39	0,008	0,019	0,02	0,02	0,00	0,000	0,001	941	12,2	Uygun	39	281		
4	"	0,68	1,05	0,37	0,010	0,019	0,68	1,05	0,39	0,008	0,018	0,00	0,00	0,02	0,002	0,001	964	12,6	Uygun	41	283		
5	"	0,71	1,08	0,41	0,004	0,022	0,71	1,10	0,41	0,004	0,023	0,00	0,02	0,00	0,000	0,001	976	12,0	Uygun	38	288		
6	"	0,72	1,12	0,40	0,009	0,020	0,69	1,10	0,42	0,007	0,020	0,03	0,02	0,02	0,002	0,000	979	12,2	Uygun	39	278		
7	"	0,73	1,09	0,38	0,009	0,018	0,71	1,06	0,38	0,007	0,020	0,02	0,03	0,00	0,002	0,002	967	13,2	Uygun	38	281		
8	"	0,73	1,07	0,37	0,004	0,023	0,72	1,09	0,38	0,004	0,023	0,01	0,02	0,01	0,000	0,000	974	12,2	Uygun	38	287		
9	"	0,72	1,03	0,37	0,016	0,017	0,70	1,05	0,38	0,018	0,017	0,02	0,02	0,01	0,002	0,000	974	11,4	Uygun	42	275		
10	"	0,72	1,04	0,36	0,004	0,018	0,72	1,07	0,38	0,004	0,021	0,00	0,03	0,02	0,000	0,003	968	11,8	Uygun	38	287		
11	"	0,73	1,04	0,34	0,005	0,017	0,74	1,07	0,37	0,006	0,019	0,01	0,03	0,03	0,001	0,002	1011	11,2	Uygun	38	286		
12	"	0,73	1,02	0,35	0,005	0,024	0,72	1,05	0,37	0,004	0,024	0,01	0,03	0,02	0,001	0,000	981	12,2	Uygun	41	283		
13	"	0,71	0,98	0,38	0,004	0,023	0,71	1,01	0,36	0,006	0,021	0,00	0,03	0,02	0,002	0,002	991	11,4	Uygun	41	284		
14	"	0,69	1,05	0,43	0,006	0,026	0,70	1,05	0,41	0,005	0,024	0,01	0,00	0,02	0,001	0,002	986	11,8	Uygun	40	281		
15	"	0,71	1,01	0,39	0,006	0,017	0,71	1,02	0,40	0,008	0,015	0,00	0,01	0,01	0,002	0,002	978	12,4	Uygun	39	284		
16	"	0,70	1,01	0,43	0,005	0,011	0,71	1,02	0,41	0,006	0,013	0,01	0,01	0,02	0,001	0,002	984	11,6	Uygun	41	278		
17	"	0,71	1,02	0,38	0,003	0,019	0,71	1,01	0,37	0,004	0,017	0,00	0,01	0,01	0,001	0,002	967	12,2	Uygun	41	277		
18	"	0,71	1,04	0,41	0,012	0,013	0,71	1,05	0,42	0,014	0,013	0,00	0,01	0,01	0,002	0,000	964	12,2	Uygun	38	284		
19	"	0,69	1,05	0,39	0,014	0,028	0,69	1,06	0,38	0,017	0,029	0,00	0,01	0,01	0,003	0,001	1000	11,4	Uygun	41	276		
20	"	0,72	1,08	0,37	0,008	0,031	0,71	1,08	0,37	0,010	0,029	0,01	0,00	0,00	0,002	0,002	951	12,2	Uygun	39	284		

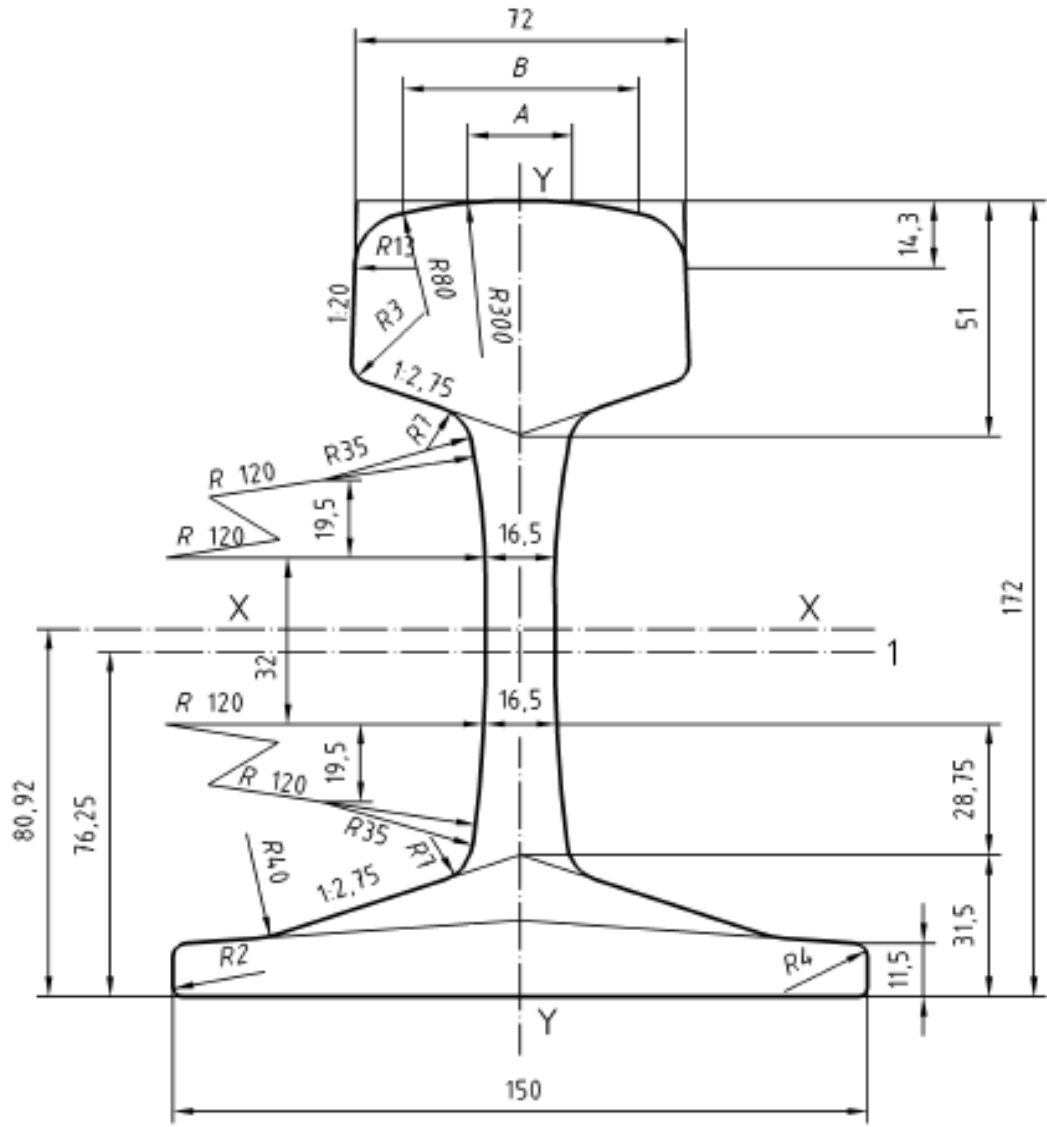
Bunlarla beraber ülkemizde en fazla kullanılan DIN S49 ve 60 E 1 profilindeki rayların teknik resimleri şekil 3.8 ve şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 8 DIN S49 Profilinin teknik resmi [8]

Yüzey Alanı: 62,92 cm²

Metre ağırlığı: 49,39 kg



Şekil 3. 9 60 E 1 Profilinin teknik resmi [8]

Yüzey Alanı: $76,70 \text{ cm}^2$

Metre Ağırlığı: 60,21 kg

Demiryollarında kullanılan ray profillerinin seçiminde göz önüne alınan en temel faktörler yoldaki trafik yoğunluğu ve dingil yükleridir. Bu faktörlerin büyüklükleri arttıkça yolda ray aşınması ve raylar üzerine gelen yük miktarı da artmaktadır. Bu nedenle hem ray yüksekliğini artırarak aşınma ömrünü artırmak, hemde rayların atalet momentini artırarak yolun rijitliğini ve stabilitesini korumak amacıyla dingil yükü ve

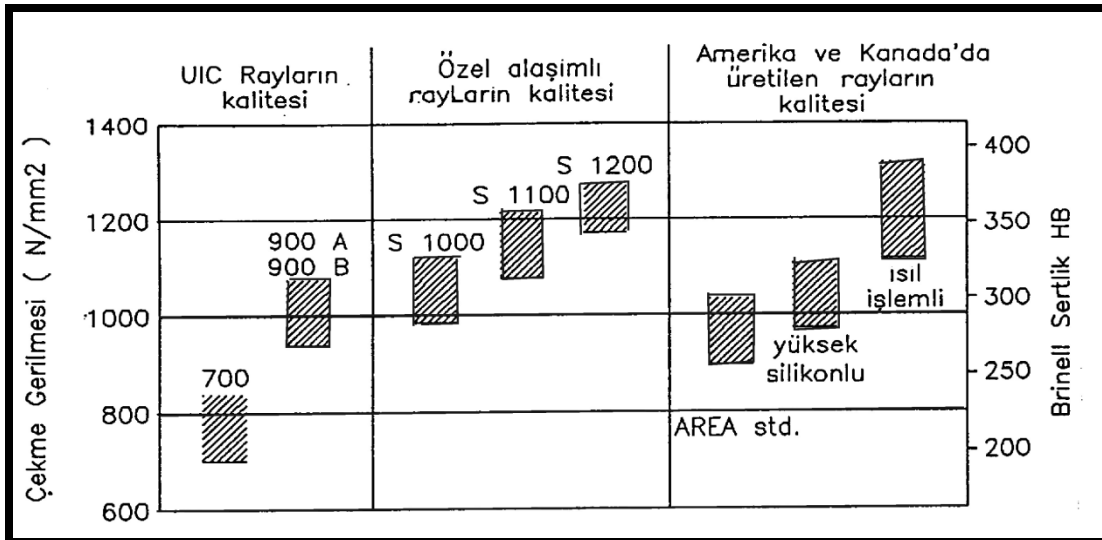
trafik yoğunluğu arttıkça kullanılan rayların metre ağırlıkları da artmaktadır. Rayların ağırlıklarına göre kimyasal kompozisyonları ASTM-AI-680'de standartlaştırılmıştır. Bu standarda göre aradaki ilişki çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3. 8 ASTM-AI-680'e göre ray ağırlığı-kimyasal kompozisyon ilişkisi [7]

Kimyasal Bileşim %	Ray Ağırlıkları (kg/m)		
	40,1- 44,6	54,1- 59,5	60 ve üstü
C	0,64-0,77	0,67-0,80	0,69-0,82
Mn	0,60-0,90	0,70-1,00	0,70-1,00
Si	0,10-0,23	0,10-0,23	0,10-0,23
P(max)	0,04	0,04	0,04
S(max)	0,05	0,05	0,05

3.2.4 Rayların Mekanik Özelliklerinin Çelik Kalitesiyle İlişkisi

Ray çeliklerinin sınıflandırılmasında mukavemetleri göz önüne alınmakta olduğundan, mukavemeti etkileyen faktörler de dolaylı olarak kaliteler arasında ayırıcı olabilmektedir.



Şekil 3. 8 Ray çeliklerinin çekme mukavemeti ile sertlikleri arasındaki ilişki [7]

Ray eliklerinin sertlikleri ile çekme mukavemetleri arasındaki ilişki Şekil 3.10’da gösterilmektedir. Bu iliŐkiye göre elik mukavemetiyle fiziksel özellikleri arasındaki iliŐkiler Şu Şekilde incelenebilir.

3.2.4.1 AŞınma Dayanımı

AŞınma dayanımı, mikro yapıya olduğu kadar karbon içeriği ve diğer alaşım elementlerine de bağlıdır. Normal Şartlar altında aşınma dayanımı kırılma gerilmesine orantılı olan sertliğe göre arttığı genellemesi yapılabilir. Sertlik aynı zamanda ray kalitesini veya kırılma dayanımı belirlemek için de kullanılır [7].

Aynı koşullar altında; R260Mn kalitesi yanal aşınmasının R200 kalitesi yanal aŐınmasına göre üç kat düşük olduğunu tecrübe edilmiştir. R320Cr kalitenin aşınması R260Mn kaliteden 2 veya 3 kez daha düşüktür. R260Mn, yağlama ile R320Cr dereceye denk gelmektedir. R320Cr kalitenin yağlanması sadece küçük gelişmeler sağlar [7].

Dikey ray mantarı aşınması takribi olarak toplam tonajla orantılıdır. Eğer tekerlek flanŐları yağlanırsa aşınma 900N/mm² kırılma dayanımına sahip raylar için, dikey aşınma her 100 megaton için takribi 1 mm’yi geçmez, yağlamaksızın bu değer 100 megaton’da 1 ile 2 mm’den başlar [7].

3.2.4.2 Yorulma Dayanımı

Ray ve kaynak herhangi bir çatlak oluŐmaksızın 0(sıfır) ile yorulma gerilmesi değeri arasında en az 2x10⁶ çevrime dayanabilmelidir [7].

Yorulma dayanımı aşırı yüke dayanma için önemlidir. Eğer bu değer çok düŐükse çatlaklar oluŐabilir ve kabuklanma görülebilir. Haddelenmiş rayların yorulma dayanımı kırılma dayanımı ile lineer olarak artar. Rayın döŐenerek kullanımı sırasında, korozyona bağlı olarak tekrar düşer [7].

3.2.4.3 Kırılma Dayanımı

Rayların kırılmaya karşı emniyeti, demiryolu trafiği için kesin öneme sahiptir. Kırılma mekanikleri bu özellikleri değerlendirmek için kullanılabilir. Esas olarak iki ana durum vardır; kritik gerilim Şiddeti faktörü olarak ifade edilen kırılma dayanımı ve çatlak

uzama oranı. Gerilme şiddeti faktörü dolu raylar için değerlendirilirken kalıntı gerilmeler hesaba katılmalıdır. Bu gerilmeler testlerde ayrıca ölçülebilir [7].

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 dayanımının belirlenmesi için uygulanan testlerde kullanılır [7].

- Haddeli ray $300 \pm 20 \text{ N/mm}^2$
- Kullanılmış ray yakma alın kaynağı: $220 \pm 20 \text{ N/mm}^2$
- Alüminotermite 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 [7].

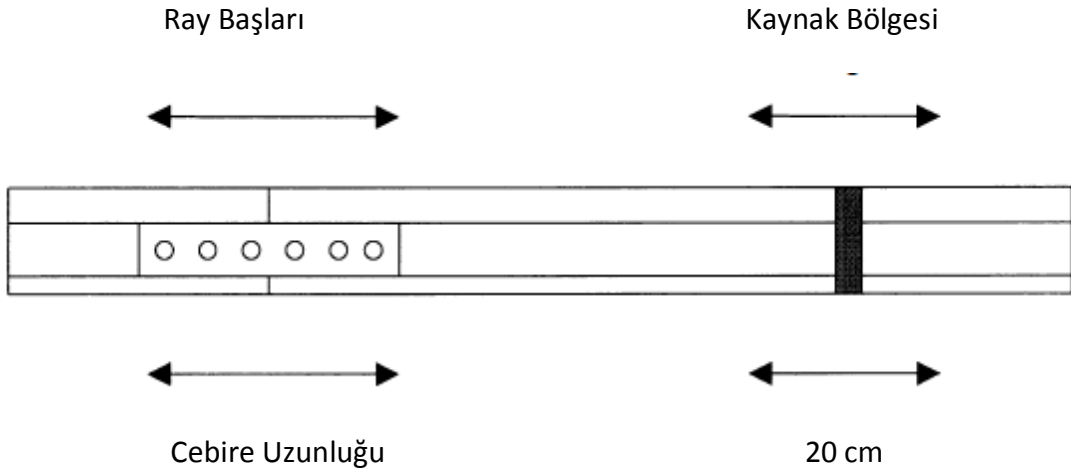
3.3 Ray Kusurları

Ray kusuru, hatta kullanılan bir ray üzerinde meydana gelen, kullanım veya üretim koşullarından kaynaklanan çalاک, kırık veya ray yüzeyinde açığa çıkan hasarlardır.

Ray kusurlarının ve bu kusurlardan kaynaklanan ray hasarlarının izlenmesi ve gereken zamanda müdahale edilmesi demiryolunun seyir güvenliği açısından hayati önem arz eder. Kusur türlerinin ve görülme sıklıklarının istatistiksel analizi ise hem ray üretiminin kalitesinin artırılmasında, hemde muhtemel hasar noktalarının belirlenerek hat bakım maliyetlerinin azaltılması açısından önem arz etmektedir.

Üretim ve kullanım koşullarından kaynaklanan ray kusurları UIC 720 standardında incelenmiş ve sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma ve sık görülen ray kusurlarının bazıları bu çalışmada incelenecektir. Kusur isminin yanındaki parantez içindeki sayı UIC 720'deki hata kodunu göstermektedir.

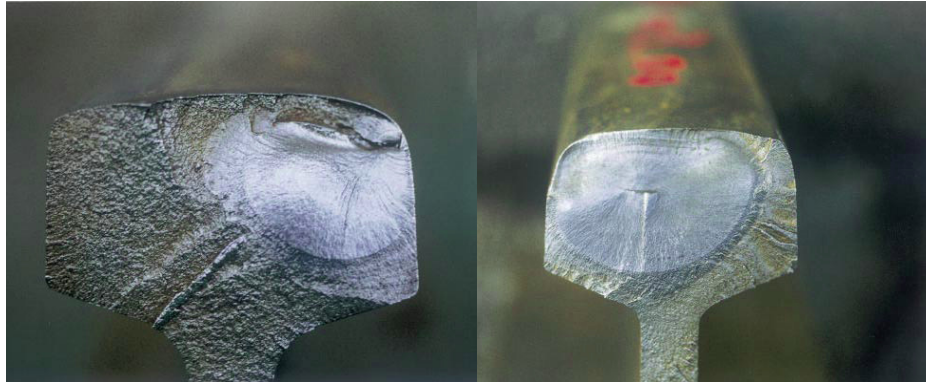
Bu standartta yapılan kusur sınıflandırmasında hatanın ray üzerindeki konumu göz önüne alınmıştır. Kusurların ray üzerinde görülebileceği konumlar şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 9 Hataların ray üzerinde bulunabileceği konumlar [10]

3.3.1 İlerleyen Enine Çatlak

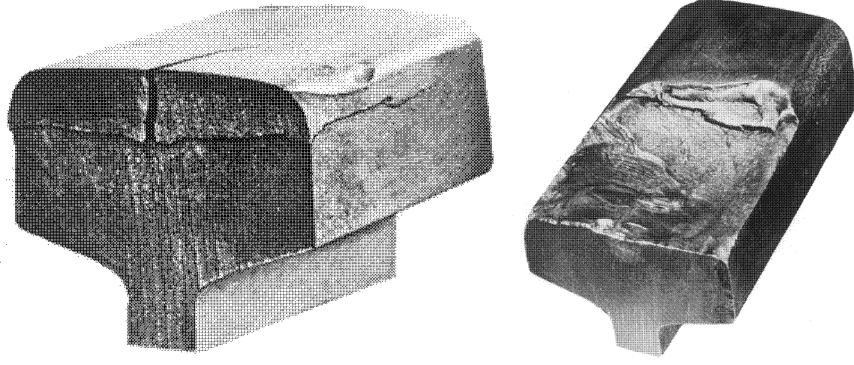
Bu bir imalat kusurudur. Çatlak ray mantarının içindeki küçük bir çatlaktan büyür. Çatlağın başlama noktası genelde kırığın merkezi değildir. Kusur kırılma gerçekleşmeden önce tespit edilemez. Kırılma yüzeyinde tipik bir parlak yüzey görülür. Bu kusur aynı rayda birkaç yerden meydana gelebilir ve aynı dökümden çıkan rayların hepsinde görülme ihtimali vardır [10] (Şekil 3.12).



Şekil 3. 10 İlerleyen enine çatlak (111/211) [10]

3.3.2 Ray Mantarında Paralel Çatlaklar

Ray mantarının kademeli deformasyonu ile tanımlanır. Mantarın içinde başlar ve yuvarlanma yüzeyine doğru büyür. Rayın yüzey kalitesini bozar ve diğer hataların oluşması için zemin hazırlar. İlerlemiş durumlarda ray kırığına neden olabilir (şekil 3.13) [10].



Şekil 3. 11 Ray mantarında paralel çatlaklar (112) [10]

3.3.3 Mantarda Uzunlamasına Dikey Çatlaklar

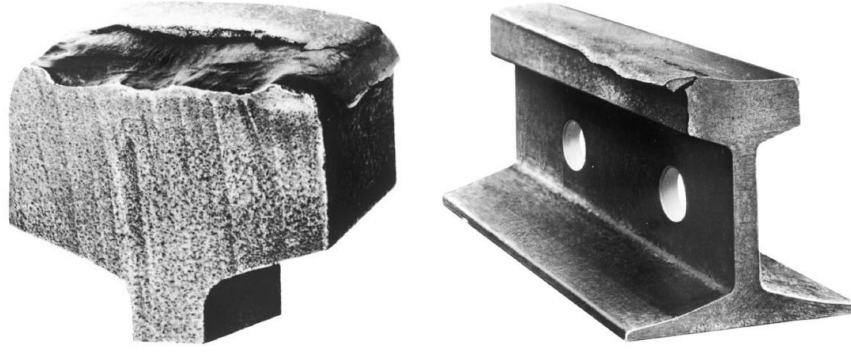
Ray mantarında meydana gelen imalat kökenli bir kusurdur. Ray mantarı çatlak tarafından yere paralel olarak ikiye bölünür. Kusur yuvarlanma yüzeyine ulaşınca siyah bir çizgi olarak görünür (Şekil 3.14) [10].



Şekil 3. 12 Mantarda uzunlamasına dikey çatlak (113) [10]

3.3.4 Yuvarlanma Yüzeyinde Kabuklaşmalar

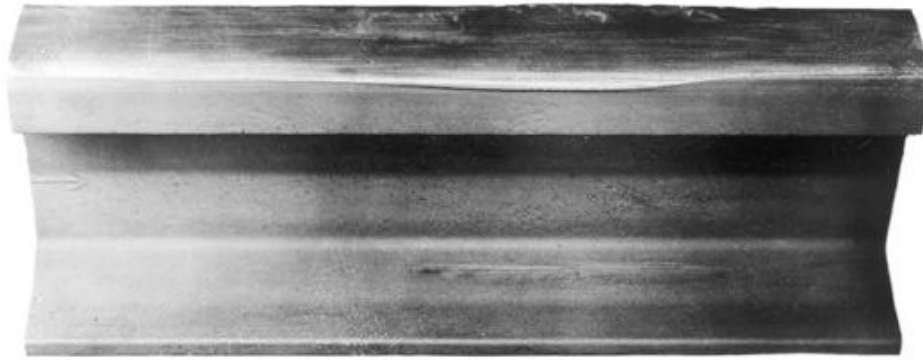
Trafik yüklerinden dolayı meydana gelen bir kusurdur. Yuvarlanma yüzeyinin 2-3 mm altında iki tarafta küçük çatlaklarla belirlenir. İlerlemiş durumlarda mantarın kırılmasına yol açabilir (Şekil 3.15) [10].



Şekil 3. 13 Yuvarlanma yüzeyinde deformasyonlar (122/123) [10]

3.3.5 Yuvarlanma Yüzeyinin Bölgesel Yıpranması

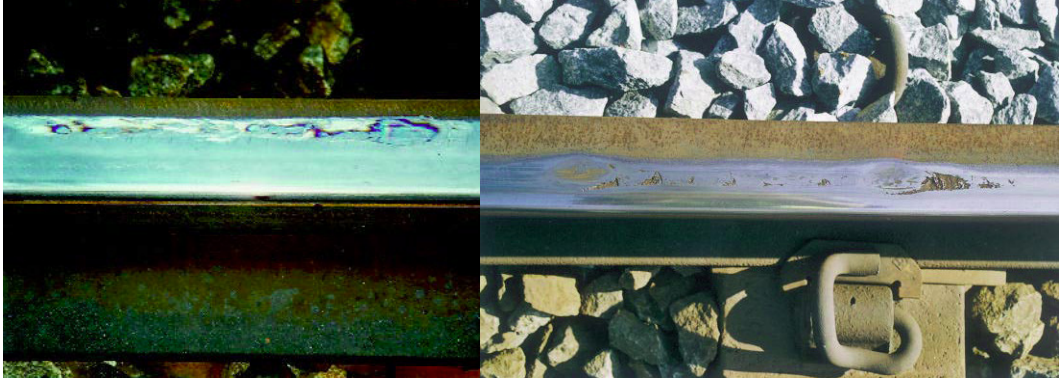
Bir imalat kusurudur. Kaynağı tam olarak belirlenemez. Yuvarlanma yüzeyinde bazı yerlerde metal deformasyonu ve genişleme gözlenir (Şekil 3.16) [10].



Şekil 3. 14 Yuvarlanma yüzeyinin bölgesel yıpranması (124) [10]

3.3.6 Tekerlek Yanıkları

Trafik yüklerinden dolayı meydana gelir. Tekerleğin ray yüzeyine sürtünmesi sonucu elips şeklinde kendi kendine su verilmiş bir bölge oluşur (Şekil 3.17). Bu kusurun ilerlemesi ray kırılmasına neden olabilir [10].

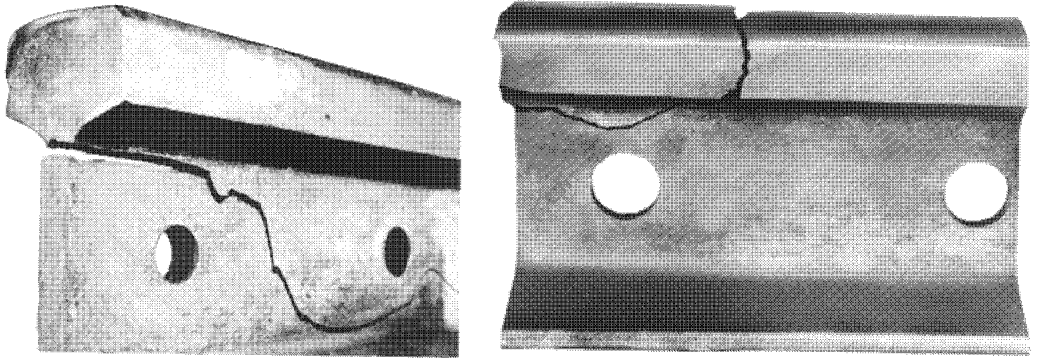


Şekil 3. 15 Tekerlek yanıkları (125/225) [10]

3.3.7 Mantar-Gövde Radyusunda Yatay Çatlaklar

Bu çatlak ray ucunda başlar ve mantarı gövdeden ayırmaya zorlar. Çatlak gövde mantar radyusuna paralel seyreder ve ilerledikçe ya yukarı veya bulon delikleri arasından geçerek aşağı doğru ya da benzer şekilde yukarı ve aşağı doğru yönelir (Şekil 3.18).

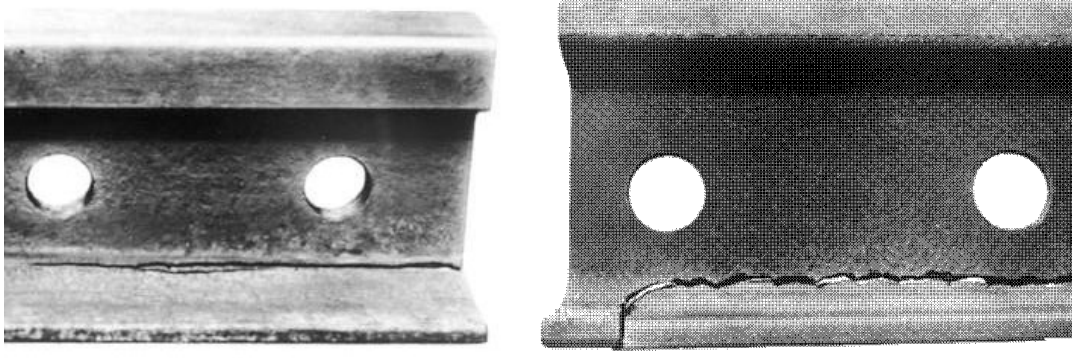
Çatlak şekli her durumda mantarın kırılmasına veya rayın parçalanmasına sebep olur [10].



Şekil 3. 16 Mantar-gövde radyusunda yatay çatlaklar (1321) [10]

3.3.8 Taban-Gövde Radyusunda Yatay Çatlaklar

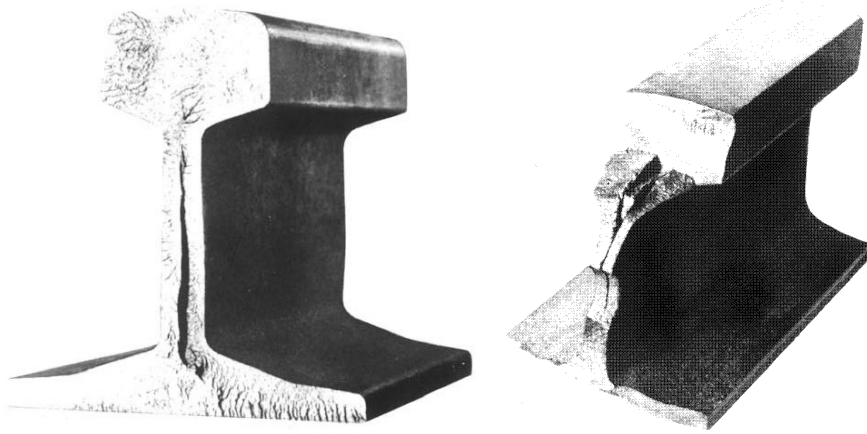
Bu çatlak ray ucunda başlar ve tabanı gövdeden ayırmaya zorlar. Çatlak taban gövde radyusuna paralel seyreder ve ilerledikçe genelde aşağı doğru ilerleyerek rayın kırılmasına yol açar (Şekil 3.19) [10].



Şekil 3. 17 Taban-gövde radyusunda yatay çatlaklar (1322) [10]

3.3.9 Uzunlamasına Dikey Çatlaklar

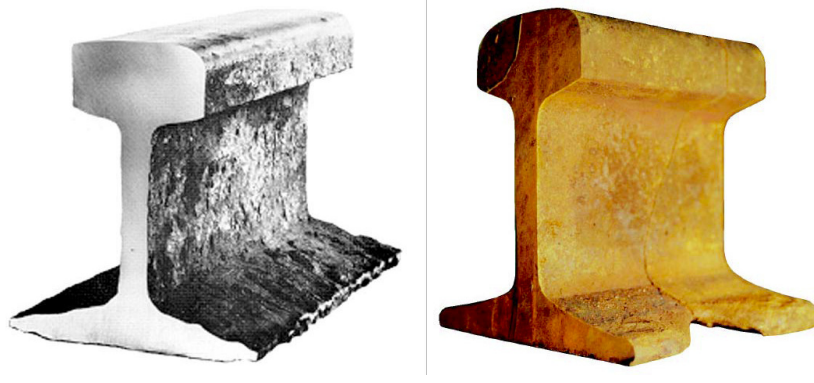
Bu kusur ray gövdesinde ray eksenine dik bir süreksizlik olarak görülür. Diğer kusurlarla beraber veya tek başına rayın kırılmasına neden olabilir (Şekil 3.20) [10].



Şekil 3. 18 Uzunlamasına dikey çatlaklar (133) [10]

3.3.10 Korozyon

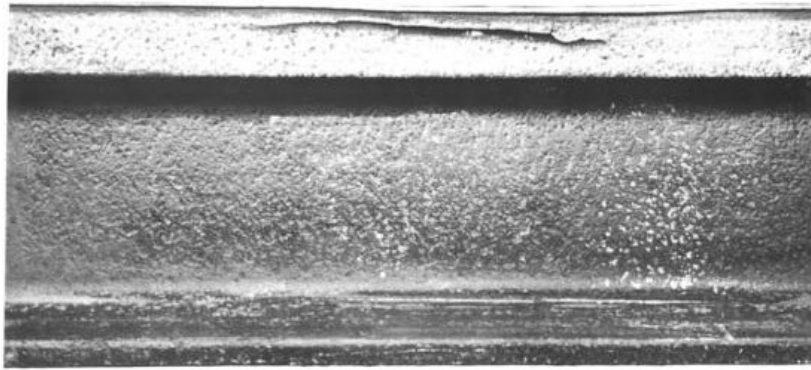
Trafik yüklerinden dolayı meydana gelen bir kusurdur. Özellikle tüneller gibi yerlerde hava veya sudaki korozyf maddelerin etkisiyle meydana gelir (Şekil 3.21). Çok ilerlemesi durumunda profili bozarak kırığa neden olabilir [10].



Şekil 3. 19 Korozyon (154/254) [10]

3.3.11 Yatay Çatlaklar

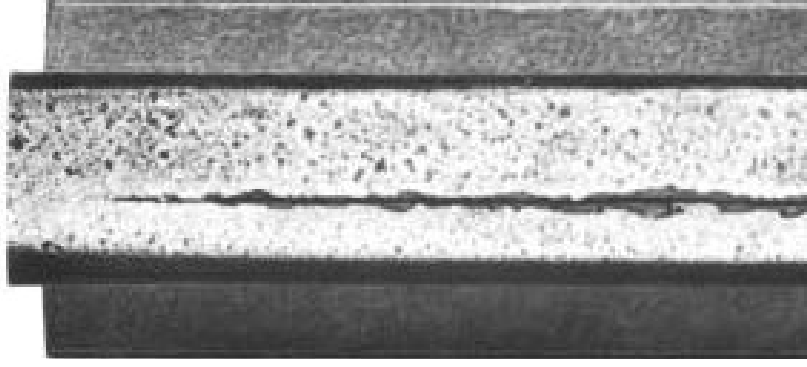
Bir imalat kusurudur. Mantarın üst yüzeyini yere paralel bir şekilde ayırma etkisi gösterir. Bazı durumlarda çatlak eğim yaparak ilerleyerek dikey kırıklara da neden olabilir (Şekil 3.22) [10].



Şekil 3. 20 Yatay çatlaklar (212) [10]

3.3.12 Uzunlamasına Dikey Çatlak

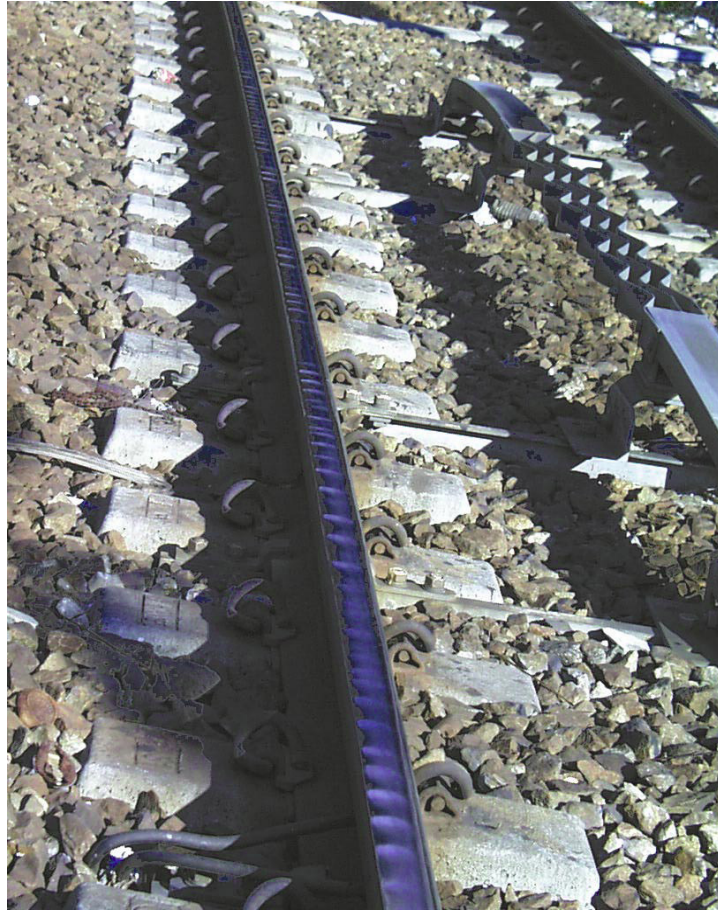
Bir imalat kusurudur. Ray mantarından meydana gelen bir çatlak masyarı boyunca eksene paralel bir şekilde ayırma eğilimi gösterir. Yüzeyde siyah bir çizgi ile belirlenir. Çatlak açıldıkça ray mantarı da genişler (Şekil 3.23) [10].



Şekil 3. 21 Uzunlamasına Dikey Çatlak (213) [10]

3.3.13 Kısa Dalgalı Ondülasyon

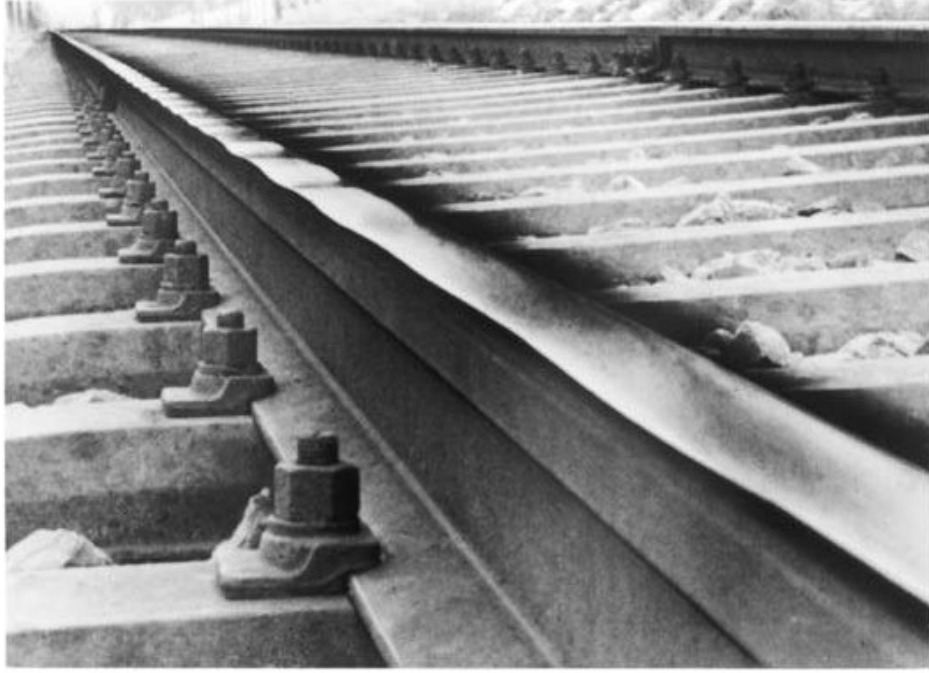
Trafik yüklerinden kaynaklanan bir kusurdur. Adım genişliği 3-8 cm arasında değişir (Şekil 3.24) [10].



Şekil 3. 22 Kısa dalgalı ondülasyon (2201) [10]

3.3.14 Uzun Dalgalı Ondülasyon

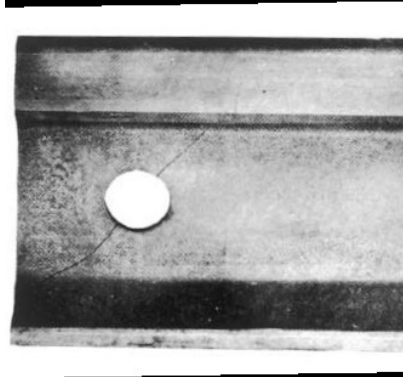
Kısa dalgalı ondülasyon gibidir. Ancak bu kusurda adım genişlikleri 8-30 cm arasında değişir (Şekil 3.25). Genelde kurplarda görülür [10].



Şekil 3. 23 Uzun dalgalı ondülasyon (2202) [10]

3.3.15 Cebire Delikleri Etrafında Yıldız Çatlakları

Bu kusurlar trafik yüküne bağlıdır. Bu kusurlar bulon deliklerinden dağılan çatlaklar ile karakterize edilmiştir. Çatlaklar genellikle takribi 45° lik açıda başlar ve kırılmaya sebep olabilir. Raylara delinen deliklerin kalitesi bu hatanın oluşmasına etkilidir (Şekil 3.26) [10].

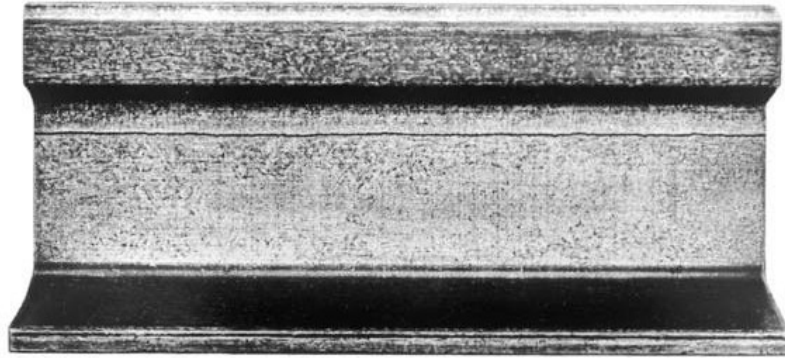


Şekil 3. 24 Cebire delikleri etrafında yıldız çatlaklar (135) [10]

3.3.16 Katmanlar

Çok ender görülen bir imalat kusurudur. Rayda hadde doğrultusunda mantara paralel bir çizgi ile belirlenir (Şekil 3.27). Hadde sırasında meydana gelen bir kusurdur. Aynı dökümden çıkan tüm raylarda görülebilir [10].

Bu kusur gözle muayene ile belirlenebilir. Kusurlu raylar gözlem altında tutulmalıdır.



Şekil 3. 25 Rayda Katmanlaşma (239) [10]

BÖLÜM 4

RAY KAYNAĞI

4.1 Ray Kaynağının Tarihçesi

Geleneksel kaynaklı birleştirilmede raylar birbirine arada açıklıklar bırakılarak cebirelerle bağlanır. Açıklık bırakılmasının nedeni ray döşendikten sonra hava sıcaklığı değişimlerinden meydana gelecek ısı genleşmelerin tolere edilmesidir. Aksi halde meydana gelecek ısı gerilemelerin bağlantı elemanlarının mukavemetinden büyük olduğu durumda ray dizisi ısı kuvvetlere dayanamaz ve travers-ray bağlantıları koparak ray serbest kalır. Bu durumda yolun düzgünlüğü bozulur ve yol kullanılamaz hale gelir.

Doğru yapılmış cebireli bağlantı ile bu tehlike en az indirilmiş olur. Ancak buralarda ray süreksizliği olduğundan teker bir raydan diğerine atlayarak geçer. Dolayısıyla ray uçlarında darbe yükleri görülür. Bu yükler sonucunda bu bölgelerde ray başlarının ezilmesi, traverslerin kırılması, traversler altındaki balastın titreşim yüzünden boşalması, ufalanması ve ray kırıkları sıkça görülen hasarlardır. O nedenle conta olarak adlandırılan bu bağlantılar sürekli gözetim altında tutulması gereken, yüksek bakım maliyetli muhtemel hasar bölgeleri teşkil etmektedir.

Cebireli bağlantılar yerine rayların birbirine kaynaklanarak bağlanması ise günümüzde standart yöntem olarak benimsenmiştir. Bu sayede contaların yüksek bakım maliyetlerinden ve bu bölgelerde kaçınılmaz olan ray ve diğer üstyapı elemanları hasarlarından kaçınılmış ve tren tekerlerinin daha düzgün yüzeylerde hareketi sağlanarak seyir konforu artırılırken, teker bakım ve yenileme maliyetleri de

düşürülmüştür. Özellikle ikinci dünya savaşı sonrasında uygulanmaya başlanan sürekli kaynaklı ray (SKR/CWR) tekniği ile bağlantı contaları tamamen terk edilmiş teoride sonsuz uzunlukta, kaynaklı ray dizilerinin oluşturulması mümkün olmuştur.

Ray kaynağının başlangıcı olarak 1850'lerde Birkenshaw tarafından raylardaki bağlantı problemlerinin azaltılması amacıyla 6 metre uzunluğunda dökme demir rayları birbirine kaynaklanması gösterilebilir. Bu sayede tekerlerin düzgün bir zemin üzerinde yürümesi ve yolun bakım ihtiyacı azaltılmıştır [7].

Ancak yöntemin standart yöntem olarak kabul görmesi sürecinin gerçek başlangıcı 1897' de Dr. Hans Goldschmidt tarafından keşfedilen alüminotermite reaksiyonu ve 1899'da bu reaksiyona dayanan alüminotermite kaynağının icadıdır [11].

Raylı sistemlerde kullanılan kaynak yöntemlerini temel olarak ikiye ayırmak mümkündür. Bunlar;

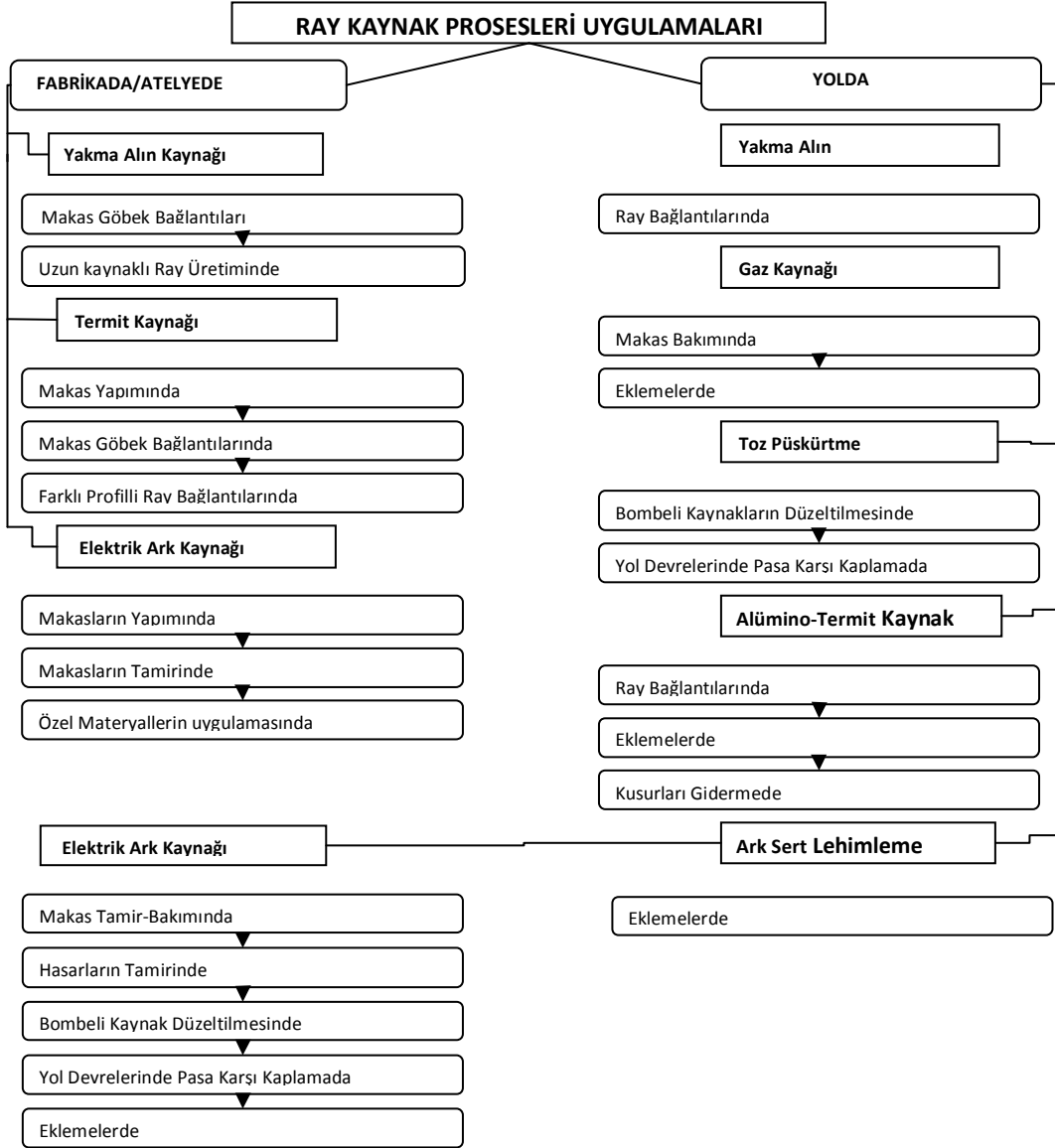
- i.Sahada uygulanan kaynaklar,
- ii.Fabrika veya atölyede uygulanan kaynaklardır.

Demiryollarında uygulanan kaynak yöntemlerinin uygulama alanları çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Gerekli kaynak yönteminin seçiminde en fazla elde bulunan imkanlar ve yöntemden beklenen sonuçlar etkili olmaktadır. Temel olarak sahada uygulanan kaynak yöntemlerinden uygun olanının seçimi için şu faktörler göz önüne alınır;

- i.Yolun ulaşılabilirliği,
- ii.Çalışılabilecek zaman,
- iii.Mevcut tren trafiği,
- iv.Gerekli eğitimli işçi mevcudiyeti

Fabrikada veya atölyede uygulanan kaynaklar için ise temel beklenti saha kaynaklarından daha etkili kontrol olsa da, daha fazla işçilik ve tesis gerekliliği, tesis ortamının sınırlayıcı koşulları seçimde etkili olmaktadır.

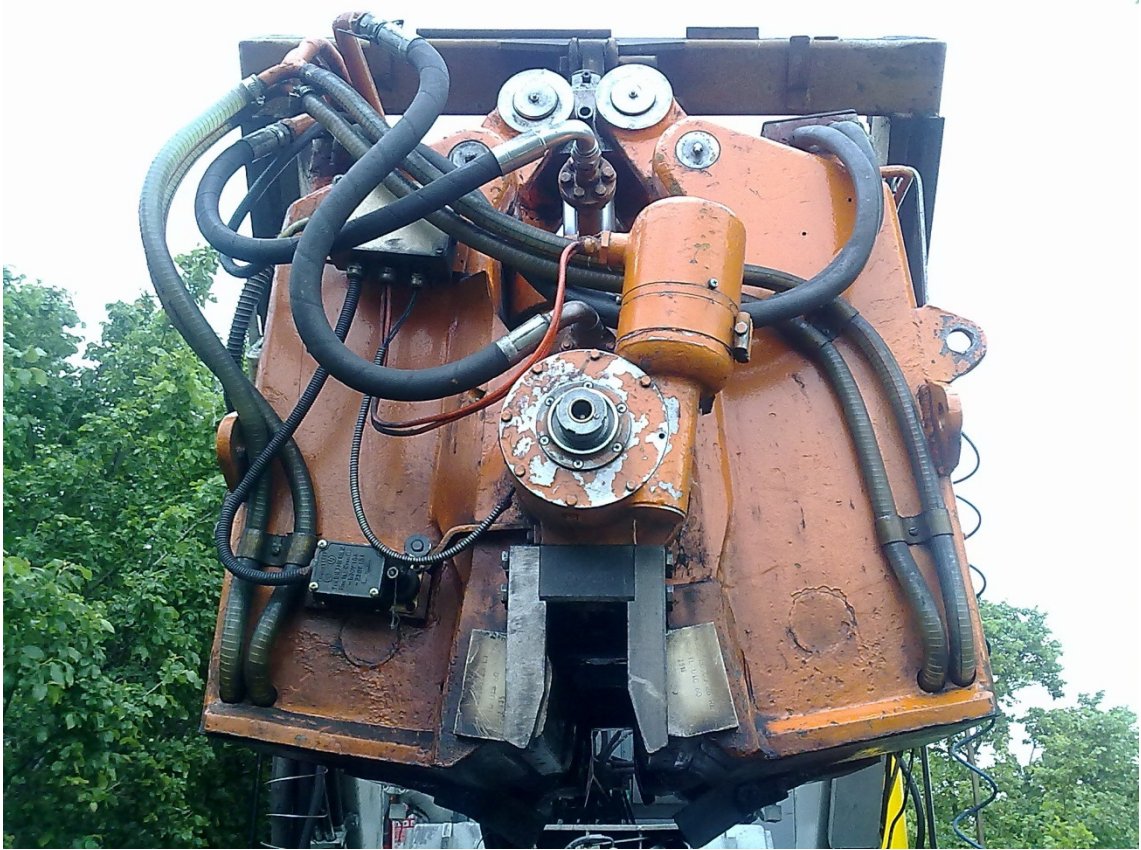
Çizelge 4. 1 Raylı sistemlerde uygulanan kaynak yöntemleri [7].



Çizelge 4.1’den anlaşıldığı üzere demiryollarında bir çok kaynak yöntemi bir çok yerde kullanım alanı bulmaktadır. Ancak bu tez çalışmasında ray birleştirmede kullanılan alüminotermit kaynağı incelenecektir.

4.2 Yakma Alın Kaynağı

Bu yöntem bir direnç kaynağı yöntemidir. Üzerinden elektrik akımı geçirilen rayların kendi dirençleriyle ısınarak yakılmaları ve basınç altında birleştirilerek oksitlenen yüzeylerin kaynak bölgesi dışına atılması prensibine dayanır. TCDD tarafından kullanılan bir mobil yakma alın kaynağı makinesi şekil 4.1’de, bu makinenin elektrot düzeni ise şekil 4.2’de gösterilmiştir.

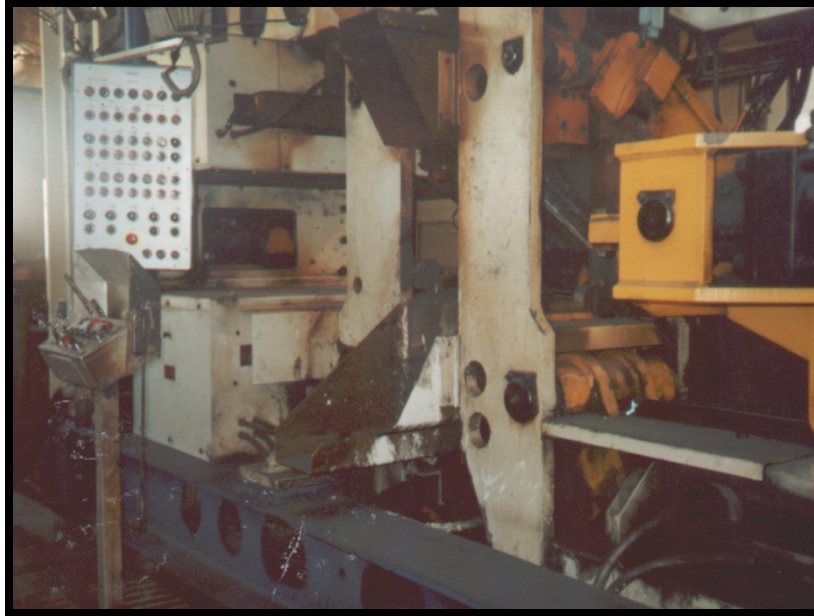


Şekil 4. 1 Mobil yakma alın kaynağı makinesi

Yakma alın kaynağı, atölyelerdeki ray bağlantılarında ve uzun kaynaklı rayların üretimi için en yaygın kullanılan kaynak prosesidir. Bir yakma alın (yakma direnç) kaynağı bir dövme bağlantıdır ve başarısı kaynak makinasının kapasitesine, birbirine bağlanacak kesit boyutlarına bağlıdır. Atölyede kullanılan bir yakma alın kaynak makinesi şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4. 2 Mobil yakma alın kaynağı makinesinin elektrot düzeni



Şekil 4. 3 Sabit yakma alın kaynak makinesi [7]

Genellikle metalürjik özelliklerine göre seçilen doğru kaynak parametreleri ile uzun kaynaklı raylara başarılı kaynak yapılabilir. Parametrelerin seçiminde genel kurallar şöyledir;

- İyi yakma durumuna göre mümkün olan en düşük kaynak voltajı kullanılmalıdır.
- Kaynak prosesinin ilk aşamasında kaynak uçları tüm ray bölümünün üzerinde iyi bir temas sağlamak üzere yakılmalıdır.
- Geniş ölçülü kısa bir ısıtma çevrimi uygulanmalıdır.
- Ön ısıtma aşamasında, temas ve temassızlık periyotları benzer süreye sahip olmalıdır.
- Her bir ısıtma çevriminin arasında kısa yakma periyotları olmalıdır.
- Kısa yakma mesafesi tercih edilmelidir.
- Son yakma sırasında işlem hızlandırılmalıdır.
- Son yakma ve dövme arasında ara olmamalıdır.
- Atıkları çıkarmak için dövme makina uygulayabildiği maksimum yükü kullanarak yapılmalıdır [7].

Yakma alın kaynağından sonra, normal kalitedeki raylar doğal olarak soğumaya bırakılabilir. Yolda daha yüksek üretim oranını sağlamak için son proses/profil verme işleminden önce takribi çevre sıcaklığında olması gereken kaynak yerinde üretim hattına hızlandırılmış soğutma verilebilir. Martenzitin oluşumu ile kırılganlıktan kaçınmak üzere bu düzenin çalıştırılması deneme ile görülmelidir. Sadece su spreylili soğutmanın uygulandığı yerlerde bu kaynağın bitiminden itibaren 8 dakikadan az olmamalıdır. Fakat hava-jeti ile soğutma 4 dakika sonra başlayabilir [7].

R320Cr raylarda doğal soğutma ısı etkili bölgede (HAZ: Heat Affected Zone) martenzitin yüksek seviyede oluşumuna sebep olacaktır. Bu bölgedeki sertliğin artışı ve aynı zamanda rijitliğin azalmasına sebep olur. Sertleşmiş mikro yapı sonradan tavlama ile elimine edilebilir ve bu yakma kaynak makinasında kaynak işleminin bitiminden hemen sonra yapılabilir [7].

Yakma alın kaynağı aynı zamanda monoblok v.b merkezlere sahip makasların imalatında uygulanan bir kaynak prosesidir. Bu metod ile ayakların bağlanması çok uygundur. Ancak parçaların kaynak için yüklenmesine izin verecek tipte açık-önlü tip bir kaynak makinasının kullanımını gerektirir. Bu tip bir kaynak makinası uzun kaynaklı ray üretimine ve makaslara hizmet edecek şekilde dizayn edilebilir. Açık önlü makinaların kabiliyeti; bir kaynak fabrika üretim hattı dizayn edilirken, kaynaklı düz rayların üretimi için gerekli ihtiyaçlara ilaveten kaynatılmamış ve bitmiş durumdaki makasların taşınması için sağlanan ilave kolaylıklara göre değerlendirilmelidir [7].

Temizlenmiş (düzeltilmiş) kaynak, profilin ön belirlemesi için preslenmelidir, ray yola yerleştirilmeden önce uygun standartta ve düzgünlükte bir son profil vermenin sağlanması için bu gereklidir. Presleme operasyonu hassas limitlerde icra edilmelidir ve bu operasyonda operatör fonksiyonunu azaltma metodları geliştirilmelidir. Böyle bir sistem pres operatörüne, kaynak profili gerekli düzeltmesini ve uygulanacak düzeltme ölçüsünü verir. Bu vasıta ile elde edilen profil herhangi bir arzu edilen şekle sahip olabilir. Fakat presleme son profil vermeden önce gerçekleştirilmelidir. O, taşlama veya benzer proses ile küçük miktarda metal sökümüne (temizlenmesine) izin verecek şekilde pozitif (fazla) bir preslenmiş profil şekli bırakmak için avantajdır [7].

Uygun standartta bir kaynak yapıldığından emin olmak gereklidir. Bağlanmış ana raylar kadar iyi bir profil sağlanmalıdır. Bu normal olarak taşlama veya değişik formlarda frezeleme ile gerçekleştirilir ve bu durumlarda ray kaynağının ortam sıcaklığında veya yakın derecedeki sıcaklıkta olması, yüzey işlemine müteakip herhangi bir ısıl distorsiyon olmaması bakımından arzu edilir. Son profil vermenin değişik metodları araştırılmaktadır; sıcak haddeleme, frezeleme, planyalama, taşlama, eğeleme v.b teknolojik olarak daha gelişmiş yüzey işleme prosesleri kullanıldığı zaman birbirine kaynatılacak raylar arasındaki ray profillerinin varyasyonlarına bağlı olarak (varyasyonlar; aşınma, korozyon veya yuvarlanma toleransları veya bunların kombinasyonlarından kaynaklanır) güçlük doğurur [7].

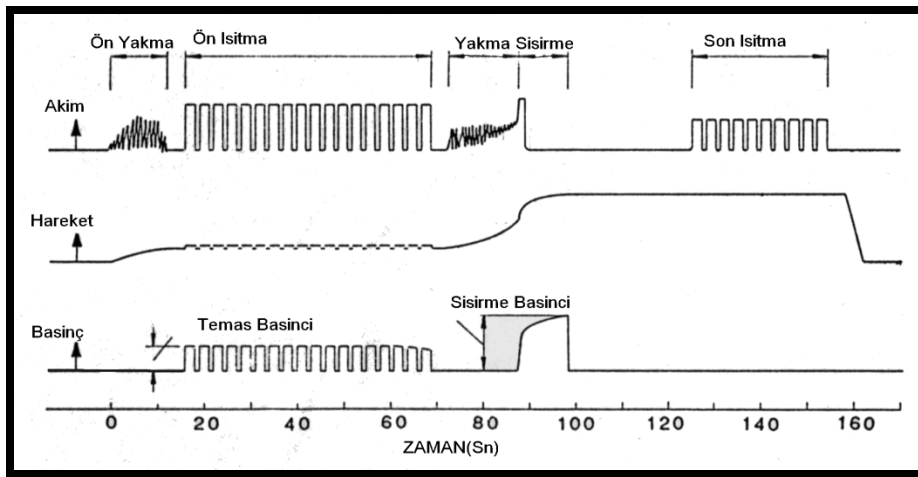
Yakma alın kaynağının diğer bir uygulama şekli yolda yapılan yakma alın kaynağıdır. Uzun kaynaklı rayların üretimine bağlı olan bu prosesin uygulama ve gereksinimleri atölyelerde ki gibidir ve bütün bu faktörler yoldaki benzer işlerde aynen uygulanabilir.

Metalurjik ve mekanik bağlantı açısından bir mobil kaynak makinası ile yapılan kaynak, sabit bir tesisdeki proses ile aynı kalitededir [7].

4.2.1 Yöntem Aşamaları

Yakma alın kaynağı, her iki iş parçasının uçlarına kavrama çeneleri üzerinden bir tranformatörden beslenen bir elektrik akımının geçirilmesi suretiyle birbirine bağlanacak parçaların ısıtıldığı bir direnç kaynak işlemidir. İkinci devre iki iş parçasının bitişmesi sırasında kapanır [7].

Akım, hareket ve basınçla karakterize edilmiş yakma alın kaynağı prensipleri Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. 4 Yakma alın kaynağı prensibi [7]

Her iki ray parçasının uçlarının hafif yakılmasından sonra ön ısıtma uygulanır. Burada enerji girişi yüksek, yakma zamanı kısadır. Isı girişi kesit alanları boyunca üniform olmalıdır. Ön ısıtma aşamasından sonra bağlantıya dik sıcaklık raya doğru yüksek bir seviyede ani olarak düşürülmelidir. Gizli yakma eğer mümkünse hareket oranı ve akımın artışıyla kademeli olarak yapılmalıdır. Bu şekilde metal buharı üretilir bu da oksidasyona karşı ekleme yüzeyini korur böylece metalik olmayan bileşiklerin oluşumu önlenir [7].

Yüksek kalitede kaynak elde etmek için yakma operasyonu krater oluşumu olmaksızın temas yüzeylerini yumuşatmalıdır. Yüzey ve komşu ray bölgesi; kaynak dikişinde gözenekler, mikro boşluklar ve metalik olmayan bileşikleri önlemek için şişirme

esnasında yeterli hareketi sağlamak üzere ergime sıcaklığında olmalıdır. En kaliteli raylar bile son ısıtma gerektirir. Son ısıtma programı ray çeliğinin dönüşüm davranışına bağlıdır [7].

Yakma alın kaynağı işlemi beş farklı işleme kadar olan bir sıra ihtiva eder Bunlar;

- i. Dik köşeli kıvılcımlanma (yakma)
- ii. Ön ısıtma
- iii. Kıvılcımlanma (yanma)
- iv. Basma (şişirme)
- v. Soğutma

Yukarıdaki işlemler, kaynak işleminin karakteristiklerindendir ve daima gereklidir. Bu işlemler genellikle aşağıdaki parametrelerin gerektiği şekilde ayarlanması ile kontrol edilir [7].

- i. Transformatörün yüksüz voltajı,
- ii. Uçların ilerlemesi (hız, hareket),
- iii. İş parçalarının uçlarına tesir eden kuvvet [7].

Kaynak işlemi içindeki en önemli değişkenler bir kaynak diyagramı içinde zamana göre kayıt edilebilir. Bunlar;

- i. İkinci devredeki akımın yoğunluğu
- ii. Besleme seyri
- iii. Besleme kuvvetidir [7].

1. Aşama: Kıvılcımlanma

Kıvılcımlanma için besleme miktarı çok azdır ve yüksüz durumdaki transformatörden temin edilen gücü kullanarak soğuk bir durumda olan iletilemiş malzemeyi ortadan kaldırmak için yeterlidir. İşlem aşağıdaki gibi uygulanır [7].

İki ray ucu farklı noktalarda temas edene kadar birbirine yaklaştırılır. Bu temas noktasında akım akmaya başlar. Yüksek akım yoğunluğunda, çıkıntılı malzeme bölgesel

olarak buharlaşıp eriyebileceği sıcaklığa kadar kısa sürede ısıtılır. Buharlaşma basıncının etkisi altında erimiş metal, aralıktan dışarı atılır. Dik köşeli yakmaya devam edildiğinden, uç yüzeyleri tüm kesit sahası üzerinde temas edene kadar, ray uçlarının diğer kesimleri arasında temas sağlanır [7].

2.Aşama: Ön Isıtma

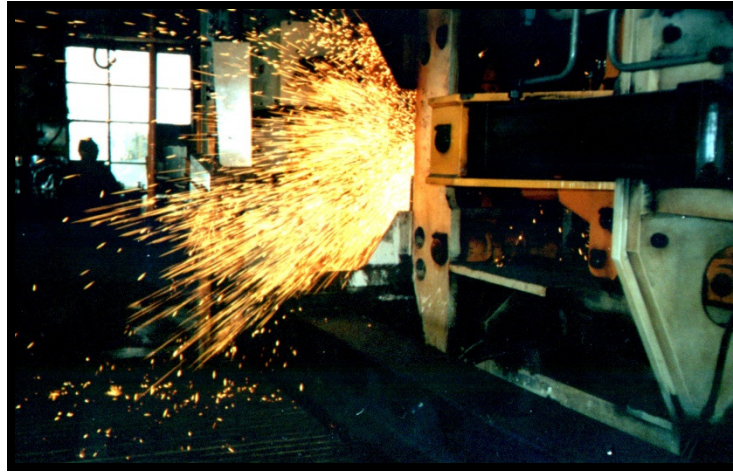
Ön ısıtma için her iki ray ucu temas ettirilir. Transformatör tarafından temin edilen gücün, tüm kesit alanı boyunca çeşitli temas noktalarında metalin atılmasına lüzumundan fazla meydan vermemesi için besleme miktarı çok yüksek tutulur. Yüksek akım şiddeti sonucu olarak temas noktaları ve bunlara yakın bölgeler ısıtılır. Verilen bir besleme miktarında belirli bir güç yaratılır. Mevzi sahalarda bile herhangi bir oluşum olmamasını sağlamak için, bir geri çevirme işlemi ön ısıtma için kullanılır. Bunun için; kısa bir temas süresinden sonra ray uçları geri çekilir ve sonra ikinci bir süre tekrar temas ettirilir. Bu 10 ila 20 defa tekrar ettirilir. Besleme kuvveti ön ısıtma son bulduğunda bunu gösterir. Bu şöyle anlaşılır; eğer ray uçları yeterli miktarda ve üniform olarak tüm kesit sahası boyunca ısıtılmışsa besleme kuvveti azalır. Bu, ön ısıtmadan sonra gelen yanma için önemlidir. Özellikle şişirme için ray uçlarının tüm kesit alanı boyunca üniform olarak ön ısıtılması açısından önemlidir [7].

3.Aşama: Yakma

Yakmaya başlamak için besleme miktarı ön ısıtma ile mukayese edildiğinde önce azaltılır. Böylece transformatörden temin edilen enerji temas noktalarında metalin erimesi ve buharlaşmasına yeterli olur. Ray uçlarının ön ısıtma sıcaklığının faydası birleşen yüzeylerde oksidasyon oluşumunu engelleyen bir koruyucu atmosferin oluşumu için tüm kesit sahası boyunca üniform olarak ortaya çıkan metal buharlaşmasını sağlamak üzere kıvılcımlanmanın yeterli miktarda kısa sürede oluşabilmesidir. Sayısız temas noktalarından metalin dışarı atıldığı küçük kraterler oluşur [7].

Kıvılcımlanma sırasında, giriş akımının yoğunlaştırıldığı sadece birkaç temas noktasında çok yavaş bir kıvılcımlanma oluşur. Bu geniş kraterlerin küçük bir miktarını arkasında bırakacak bir kaç geniş metal artığının düzensiz aralıklarla dışarı atılması nedeniyledir.

Yakma işlemi uniform olmaya başlar ve metal buharlaşması ile meydana çıkan koruma artık yetersiz olur. Ayrıca, kraterlerde daha sonraki şişirme ile bütünüyle ortadan kaldıracak büyüklükte olabilir. Bu nedenle, besleme miktarını ve böylece akımı yakma işleminin sonuna doğru artırmak yani yavaş yavaş artan miktarlarla yakmayı ilerletmek avantajlıdır. Bu birbirlerine basan ray yüzeylerinin metal buharlaşma ile ilave oksidasyona karşı korunması ve erimiş metalin dışarı atılması suretiyle bu yüzeyler temizlendiğinden şişirme işleminden önce derhal birleşim için bu yüzeylerin en iyi yolla hazırlanmasını ve sayısız küçük kraterler nedeniyle yeterli miktarda yassı damar oluşmasını sağlar (Şekil 4.5) [7].



Şekil 4. 5 Sabit yakma alın kaynağı makinesinde yakma işlemi [7]

4.Aşama: Şişirme

Yakma ile hazırlanmış birleşme yüzeyleri şişirme sırasında yaklaşık 100 mm/saniyeye kadar yüksek bir besleme hızında birbirine bağlanır. Kaynak akımının şişirme başlayana kadar devrede kalması böylelikle son ana kadar birleşme yüzeylerinin korunmayı muhafaza etmesi önemlidir (Şekil 4.6) [7].

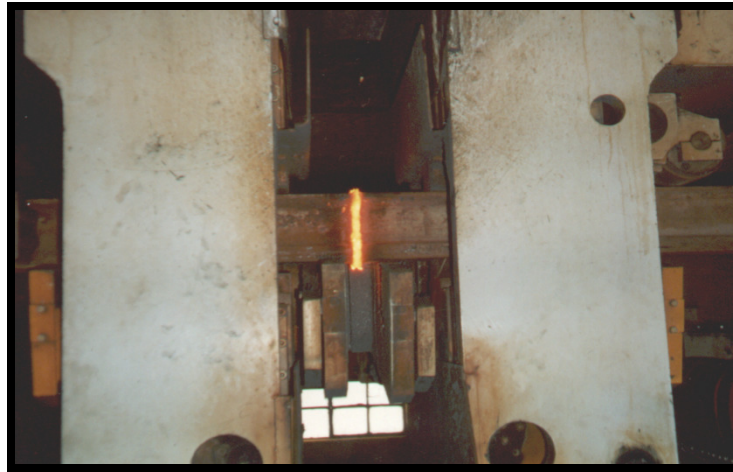
Birleşme yüzeylerinin birbirine karşı preslenmesi ile yumuşak metal, aralığın dışına sıkıştırılır ve ray uçları kendiliğinden tipik bir artık kordonu oluşturarak plastik deformasyona uğrar. Plastik deformasyonun bir sonucu olarak şişirme kuvveti muntazam olarak artar [7].

Birleşme yüzeylerindeki yumuşak metalin sıkıştırılması için bir belirgin minimum şişirme hareketi gereklidir. Bu makinadan makinaya ve şişirmeden önceki yakma

hareketine bağılı olarak değişir. Yakma sırasında iyi korunmuş birleşme yzeyleri, dzensiz yakma hareketi altında çalışanlardan daha az şişirme hareketi gerektirir [7].

Gerekli minimum şişirme hareketi birleşim yzeylerindeki yumuşak ktlenin dışarı bastırılmasında veya birleşim yzeylerinin arkasındaki plastik deformasyon bōlgesinde (aşırı n ısıtmaya bağılı olarak) harcanır [7].

Aslında gerekli minimum şişirme hareketinin, bir aşırı kordon teşkil etmek üzere yumuşak metali dışarı bastırmak suretiyle harcanmasını sağlamak için bir belirli şişirme kuvveti, şişirme sırasında elde edilmelidir. Bu kuvvet sadece, birleşim yzeyleri arkasındaki ısıtılmamış ray parçalarının bir geri tepki sahası olarak çalışması halinde verilen bir son şişirme hareketi ile yaratılabilir. Bir sabit tampon yardımıyla şişirme hareketini sınırlamak btnyle yanlış olacaktır. Bu elde edilen gerekli şişirme kuvvetini önleyecektir [7].



şekil 4. 6 Sabit yakma alın kaynağı makinesinde şişirme işlemi [7]

Gerekli şişirme kuvveti birleşim yzeylerinin kesit sahasına ve kaynak edilecek rayın sıcak akma noktasına bağılıdır. Daha düşük çekme değerli ray çelikleri için basınç daha az olabilir. Örneğin; en azından 880 MPa'lık bir çekme mukavemetine sahip rayların (R260) kaynağı için gerekli şişirme basıncı 40 MPa'dır [7].

Kesit alanı, uniform olarak şişirilebilmesi için uniform olarak ısıtılmalıdır. Eğer kesit alanının bir parçası, örneğin ray mantarı daha ktk sıcaklıkta ise, bu kısım tüm baskı kuvvetini diğer kısmı bırakarak emecek bu takdirde ray tabanı yetersiz şişirilecektir [7].

5.Aşama: Soğutma

Daha önce açıklandığı şekilde, tamamlanan kaynak, malzemenin özelliklerine uygun olarak soğumaya bırakılmalıdır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan haddelenmiş ray çelikleri için şişirmeden hemen sonra durgun havada soğutma, kaynak dikişi içinde ve ısıdan etkilenmemiş bölgede haddeleme şartındaki rayın yapısına uygun bir yapı elde etmek için yeterlidir. Ancak, hadde mamulü özel sınıflar durgun havada soğumaya bırakıldığında, 800°C ila 500°C arasında soğuma için geçen zaman gerekli minimum zamandan daha az olabilir. Soğutma olayını geciktirmek için kaynak yeniden ısıtılmalıdır. Bu işlem şişirmeden hemen sonra ray hala kaynak makinası içinde iken olmalıdır. Ostenit tane yapısını büyütmek için 1000°C'nin üstünde ısıtmadan sakınılmalıdır. Gerekli ısı bu nedenle, düşük bir giriş gücünden kademeli veya sürekli olarak akımla üretilmelidir. Son ısıtmanın doğruluğu (düzgünlüğü) iki yolla kontrol edilebilir; 800 ila 500°C arasındaki katı sıcaklık aralığında soğutma zamanının ölçülmesi ile veya bir kaynak örneğinin yapısının araştırılması suretiyle olabilir (Şekil 4.7) [7].



Şekil 4. 7 Sabit alın kaynağı makinesinde soğutma işlemi [7]

Yakma alın kaynağı uygulamaları çoğunlukla sabit makinelerle atölyelerde yapılmasına rağmen yöntem sahada da mobil kaynak makineleri başarı ve yoğunlukla kullanılmaktadır. Kaynakların, özellikle geometrik kaliteleri atölyede daha iyi olmakla beraber gelişmiş makineler ile sahada da tatmin edici kaynakların üretilmesi mümkündür.

4.3 Alüminotermite Kaynağı

Alüminotermite kaynağı alüminyumun yüksek oksijen ilgisi kullanılarak daha düşük oksijen ilgisine sahip metallerin oksitlerinin indirgenmesi prensibine dayanan bir ergitme kaynağı yöntemidir.

Kendi kendine ilerleyen bu ekzotermik reaksiyonla demir oksitlerden demir ayrılarak temiz sıvı çelik elde edilir. Bu sıvı çelik önceden hazırlanmış bir kalıbın içine doldurularak raylar arasındaki boşluğu doldurarak kaynak işlemini gerçekleştirmiş olur.

Yöntemin temelini teşkil eden alüminotermite reaksiyon Dr. Hans Goldschmidt tarafından 1895 yılında Almanya'da icat edilmiştir. Dr. Goldschmidt ilk olarak 1893 yılında yüksek saflıkta krom ve mangan üretmek amacıyla alüminotermik reaksiyonla ilgili deneylerine başlamıştır. Bu çalışmaların sonucunda 1895 yılında "termit" prosesinin patentini almıştır [11].

Reaksiyon sonucu açığa çıkan büyük ısı enerjisi ve termit prosesinin geniş uygulama alanı sayesinde diğer kullanım alanları hızlıca bulunmuş ve 1897 de Goldschmidt bir şirket kurmuştur. 19. yy sonlarında termit prosesi sonucu meydana çıkan ısı ve sıkıştırma kuvveti kullanılarak büyük dökme ve dövme çelik parçaların tamir edilmesinde ve ilk ray contalarının kaynaklanmasında kullanılmaya başlanmıştır [11].

Yöntemin tarihsel gelişimi şu şekildedir;

- i.1827'de Wöhler, Göttingen'de alüminyum üretimini gerçekleştirmiştir.
- ii.1856'da Tissier, alüminyumun redükleyici etkisini bulmuştur.
- iii.1885'de ABD'de alüminyumun elektroliz yoluyla üretimi gerçekleştirilmiştir.
- iv.1895'de Dr. Hans Goldschmidt, dışarıdan verilen ısı yardımıyla oluşan ve bir metaloksit ile alüminyum tozu arasında gerçekleşen ekzotermik reaksiyonu bulmuş ve "termit" adını verdiği bu prosesin patentini almıştır.
- v.1899'da Almanya'nın Wuppertal kentinde, tramvay rayları ilk defa termit kaynağı ile kaynaklanmıştır [12].

1890'larda Avrupa'da kullanılan raylı sistemlerde at gücü yerine elektrik enerjisi kullanılmaya başlanmış ve bu gelişme daha yüksek hızlara ulaşılmasına olanak

sağlamıştır. Ancak dönemin demiryolu tekniği ve contalı birleştirmeleri bu hızlarda yetersiz kalmışlardır [11].

1899 yılında Almanya’da ilk demiryolu kaynağı demiryollarında gerekli hızlı, güvenilir ve basit bir birleştirme yönteminin gerekliliğini termit prosesi ile sağlayabileceğini gören Goldschmidt şirketinin merkezi, Essen kentinde yapılmıştır. 1904 yılında ise Goldschmidt Termit Şirketi New York’ta kurulmuştur. Yöntem ABD’de derhal yüksek talep görmüştür [11].

Bu yıllarda dünya çapındaki buharlı demiryolu işletmecileri ray kaynağının faydalarını görmeye başlamışlardı. 1924 – 1930 yılları arasında Alman demiryolları işletmecileri tarafından rayların değişik boylarda kaynaklanması denenmiştir. Bu çalışmalar sonunda Krefeld yolunda 7.000 metrelik uzun kaynaklanmış ray yapılmıştır. Ayrıca termit kaynağı İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra Almanya’nın demiryolu ağının tekrar oluşturulmasında önemli bir rol oynamıştır [11].

Günümüzde kullanılan ticari alüminotermite ray kaynağı uygulamalarında yüksek saflıkta demir oksit ve alüminyum partikülleri bir pota içinde tutuşturulur. Meydana gelen reaksiyonlar tipik olarak şunlardır;



İkinci reaksiyonda açığa çıkan sıcaklık 3100°C civarındadır. Ancak reaksiyona girmeyen alaşımların ilavesi, kalıptan açık havaya meydana gelen radyasyon nedeniyle meydana gelen ısı kayıpları nedeniyle ergiyeğin sıcaklığı 2480°C ye kadar düşmektedir. Reaksiyon sona erdikten sonra, cüruf-sıvı çelik ayırımının gerçekleşmesi için 20-25 sn zaman gerekmektedir. Çoğunlukla alüminyum oksit içeren cüruf potanın üst tarafına toplandıktan sonra sıvı çelik potanın tabanından akmaya başlar. Akan çelik sıkıştırılmış kumdan yapılmış ve özel bir macunla raya temas yüzeyleri kaplanmış bir kalıbın içine dökülür. Kaynaktan önce gaz aleviyle tavllanmış olan ray başları sıvı çeliğin temasıyla kısmi olarak erir. Kalıbın içi sıvı çelikle doldurulur ve soğumaya bırakılır. Çelik kalıbın içinde katılaştıktan sonra kalıp kırılır. Tepe ve yan besleyiciler kaynaktan ayrılır ve kaynak tren trafiği için uygun şekilde taşlanır [11].

Genel olarak 1 kg alüminotermite kaynak şarjından 525 gr sıvı çelik ve 475 gr cüruf elde edilir [12].

Termite ray kaynağı prosesinin en önemli yönü sahada hemen hemen her yere taşınabilir olmasıdır. Ayrıca proses basit, uygulaması kolay, hızlı ve ucuzdur. Önemli eksikleri ise; çevre şartlarına ve kullanıcı tarafından kolayca değiştirilebilen bir çok değişkene direkt olarak bağımlı olmasıdır. Bu değişkenler; ray başlarının mastarlanması, kaynak aralığının ayarlanması, ön ısıtma süresi, hava sıcaklığı, kalıp ve termite tozunun nemliliği, kalıp kırılmadan önce geçen süre vs. olarak sayılabilir. Termite üreticileri termite kitleri ile birlikte doğru bir kaynak yapılabilmesi için gerekenleri ayrıntılı olarak tarif eden broşürler kullanmaktadır [11].

Günümüze kadar yapılmış çalışmalardan termite kaynaklarının düktilite ve darbe direncini düşüren mikro boşluklar ve safsızlıklar içerdiği bilinmektedir. Myers çalışmalarında çekme testinde % 1-5,6 uzama ve oda sıcaklığında charpy kırılma tokluğu testinde % 1,8-3,5 kesit daralması değerleri elde ettiğini yayınlamıştır. Termite kaynağı esasen bir döküm işlemi olduğundan büyük taneli bir yapıya sahiptir ve bu yapı kaynağın oldukça gevrek ve yarılmaya (klivaj) kırılmasına meyilli olmasına neden olur [11].

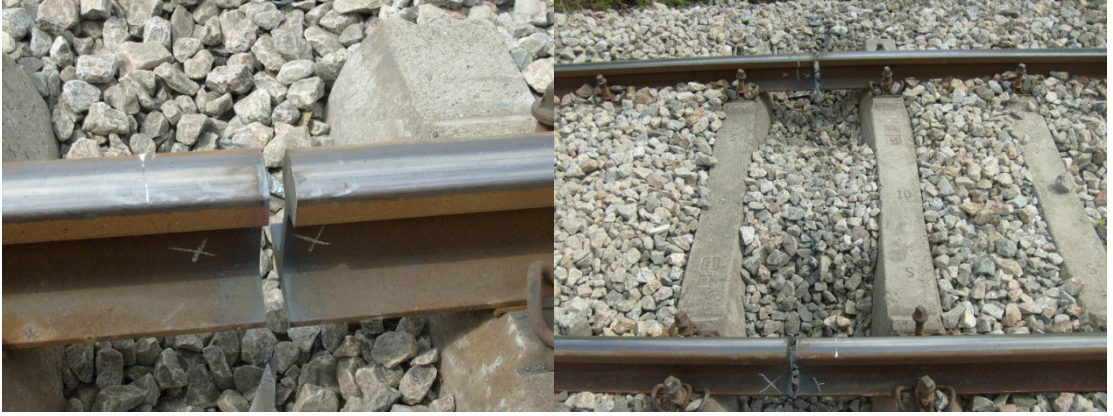
4.3.1 Yöntem Aşamaları

Alüminotermite kaynağı uygulamalarında ticari olarak hazırlanmış kaynak kitleri kullanılmaktadır. Kit içeriği şöyledir;

- i. Alüminotermite kaynağı şarjı
- ii. Prefabrik kalıp
- iii. Otomatik bacağı
- iv. Tutuşturucu maytap
- v. Sızdırmaz macun

1.Aşama: Kaynak Bölgesinin Hazırlanması

Alüminotermite kaynağı yapılmasının ilk aşaması kaynak bölgesinin hazırlanmasıdır. Bu işlem sırasında ray başları uygun şekilde kesilir ve temizlenir. Ray sıcaklığı ölçülür. Traversler arasında kalıp bağlanmasına engel olabilecek fazla balast temizlenir ve bölge kalıp bağlanmasına hazır hale getirilir (Şekil 4.8).



Şekil 4. 8 Kaynak bölgesinin hazırlanması

2.Aşama: Kaynak Aralığının Ayarlanması ve Mastarlama

Kaynak aralığı her ticari ürün için termit miktarına ve reaksiyon sırasında açığa çıkan ısı miktarına göre 24-30 mm arasında değişmektedir. Aralığın doğru ayarlanması doğru bir kaynak yapımı için çok önemlidir. Aralık genişliğiyle ters orantılı olarak kalıp içinde kalan ray uzunluğu da değişmekte, bu durum ergiyen ray uzunluğuna etki etmektedir.

Kaynak aralığının gereğinden az olması durumunda reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı kalıp içinde kalan ray uzunluğunu eritmeye yetmemekte ve bu nedenle istenen özellikleri sağlayabilecek, yeterli genişlikte bir kaynak dikişi oluşturulamamaktadır.

Aralığın fazla olması durumunda ise reaksiyon sonucu pota içinde oluşan sıvı çelik miktarı meydana gelen aralığın doldurulmasına yetmemektedir. Ayrıca kalıp içinde kalan ray miktarının çok kısa olması durumunda kalıp dışında kalan rayın da ergiyerek ergimiş metalin ray-kalıp birleşme yerlerinden kalıp dışına taşması da gözlenebilen bir durumdur.

Raylar arasında kaynak sonrasında pürüzsüz bir geçiş elde edilmesi için ray profilleri karşılıklı olarak aynı hizaya getirilerek mastarlanır. Alüminotermite kaynaklarının

geometrik toleransları EN 14730-1’de standartlaştırılmıştır. Yapılan kaynakların bu toleranslar içinde kalması için mastarlama işleminin önemi büyüktür.

Mastarlama işlemi sırasında göz önüne alınması gereken en önemli nokta kaynak metalinin ve rayların kaynaktan sonra soğuyarak hacimce azalacağıdır. Mastarlama sırasında bu etkiyi yok etmek için ray başları 1,5-2 mm yukarı kaldırılarak işlem gerçekleştirilir. Mastarlama işlemi şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4. 9 Mastarlama işlemi

3.Aşama: Kalıp Bağlanması ve Macunlama

Alüminotermite ray kaynağında kullanılan kalıplar özel olarak dizayn edilmiş prefabrik kalıplardır. İki veya üç parçadan oluşan, alttan veya üstten dolum yapan çeşitleri mevcuttur. Kalıplar kaynak aralığına her iki tarafta eşit ray uzunluğu kalacak şekilde bağlanır.

Kalıplar bağlandıktan sonra ek yerlerinden sıvı metal sızmasını engellemek için bu bölgeler macunla kapatılır. Bu işlem şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4. 10 Kalıp bağlanması ve macunlama işlemi

4.Aşama: Ön Isıtma ve Döküm

Kaynaklanacak rayların uçları kalıpların bağlanmasından sonra ön ısıtma işlemine tabi tutulur. Ön ısıtma işleminde kullanılan yakıt genellikle propan olmasına rağmen asetilen, LPG ve benzin de kullanılabilir. Ön ısıtma sıcaklığı yaklaşık 850-900°C olup, ray başları tamamen östenitlenene kadar devam eder. İşlemin amacı soğuma hızını düşürerek yapıda martenzit oluşumunu engellemektir.

Ön ısıtma işleminde özel olarak dizayn edilmiş ön ısıtma şalamaları kullanılır. Bu şalamaların delik sayısı 20-26 arasında değişmektedir. Kullanılan yanıcı gaz ve oksijen basınçları sabitlenmiş olup, ön ısıtma işlemi için süre ölçüsü kullanılmaktadır. Ray kalitesine, profiline, kaynak aralığına ve kullanılan termitin açığa çıkardığı ısı miktarına bağlı olarak ön ısıtma süresi her üretici ürün için değişkendir. Çizelge 4.1’de iki ticari alüminotermit kaynak malzemesi için gaz basınçları ve ön ısıtma süreleri gösterilmektedir.

Döküm yapılmadan önce pota şalamayla içi 200-300°C’ye gelene kadar ısıtılarak kurutulur. Bu sayede reaksiyonun başlamasıyla kalıp içinde kalmış olan nemin aniden buharlaşarak patlamaya yol açması engellenmiş olur.

Çizelge 4. 2 Farklı termit malzemelerine ait ön ısıtma parametreleri

	1.Malzeme	2.Malzeme
Ray Kalitesi	R260	R260
Yanıcı Gaz	Propan	Propan
Oksijen Basıncı	5 bar	4 bar
Yanıcı Gaz Basıncı	1,5 bar	1,5 bar
Ön Isıtma Süresi	3,5 dk	5 dk

Uygun ön ısıtma işleminden sonra pota içine koyularak hazırlanmış alüminotermit kaynak malzemesi maytapla yakılarak reaksiyon başlatılır. Potanın alt deliğinde bulunan otomatik бага pota içindeki sıcaklık yeterli seviyeye geldiğinde otomatik olarak açılır. Sıcaklığın yeterli seviyeye gelip baganın açılması yaklaşık 25 sn sürer. Bu sürenin 10 saniyeden az olması durumunda pota içindeki reaksiyon tamamlanamaz ve kaynak içinde demir oksitler ve metalik alüminyum kalıntıları kalır. Sürenin 35 saniyenin üzerinde olması durumunda ise dökülen sıvı çelik yeterli sıcaklıkta değildir. Bu durumda çelik-cüruf ayrımı tam olarak gerçekleşemez ve erken katılaşma meydana gelir. Ön ısıtma ve döküm işlemleri şekil 4.11’de gösterilmiştir.



Şekil 4. 11 Ön ısıtma ve döküm işlemleri

5.Aşama: Kaynak Fazlalıklarının Sıyırılması ve Taşlama

Döküm işleminden sonra katılaşmanın tamamlanması için yaklaşık 5 dakika beklenir. Bu bekleme süresinden sonra kalıp kırılır ve kaynak sıyırma makinesiyle kaynak fazlalıkları kesilir. Besleyicilerin kırılması kırılma yüzeylerinde çentik etkisi görülebileceği için tavsiye edilmez.

Sıyırma işleminden sonra mantarın üst ve yan yüzeyleri kaynak taşlama makinesi ile taşlanarak temizlenir. Bu sırada kaynak hala sıcak olduğundan ve soğuyarak hacimce küçülmeye devam ettiğinden üst ve yan yüzeylerde 0,5-1 mm çekme payı bırakılır. Bu paylardan geriye kalanlar kaynak tamamen soğuduktan sonra yine kaynak taşlama makinesiyle taşlanarak giderilir uygun toleranslara getirilir.

EN 14730-2 standardında alüminotermite kaynakları için mantar üstü ve yan yüzey toleransları sınıflandırılmıştır. Ülkemiz konvansiyonel hatlarında kullanılan toleranslar çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Kaynak fazlalıklarının sıyırılması ve taşlama işlemleri şekil 4.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3 Alüminotermite kaynağı geometrik toleransları [22]

Geometrik Toleranslar		
Dikey yuvarlanma yüzeyinde	▲ + 0,3	▼ – 0,2
Taşlama uzunluğu (L/2)	max. 500 mm her iki tarafta	
Mantarın yanal yüzeyi	↔ + 0,3	→← – 0,2



Şekil 4. 12 Kaynak fazlalıklarının sıyırılması ve taşlama işlemi

4.3.2 Alüminotermite Kaynağı Malzemelerinin Kimyasal Özellikleri

Yapılan kaynakların özelliğini ve kalitesini belirleyen en önemli unsur kullanılan şarj malzemesinin yapısıdır. Bu malzemenin kompozisyonu, faz içeriği, tane boyutu ve tane boyutu dağılımı kaliteyi doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışmada iki farklı ticari alüminotermite kaynağı malzemesi incelenmiş ve karakterize edilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında kaynak malzemesi özelliklerinin kaynağın kalitesine olan etkisi incelenmiş ve alternatif malzeme üretiminde dikkate alınmıştır.

Fe_2O_3 /Alüminyum termit yanması reaksiyonu gibi kendi kendine gelişen yüksek sıcaklık reaksiyonları, hızlı kimyasal ve fiziksel dönüşümler ve yüksek sıcaklık nedeniyle deneysel olarak incelenmesi zor reaksiyonlardır [13].

Duraes vd. tarafından ibi incelenmesi zor reaksiyonu incelemek için [13] da verilen bir model hazırlanmıştır. Bu modelde Fe_2O_3 /Alüminyum termit reaksiyonu tek boyutlu

koordinat sistemli silindirik bir geometri için simüle edilmiştir. Bu simülasyon modeli kendinden önce oluşturulmuş daha basit ve sade modellerin bir çoğunun özelliklerini bir araya getirmektedir. Model düzenli olmayan reaksiyonu iletken/ışılmalı ısı iletim mekanizmaları ve sıfır düzenli reaksiyon kinetiği ile ele almaktadır. Ek olarak tüm termofiziksel özelliklerin sıcaklık ve karışımın kompozisyonu ile değiştiği kabul edilmiştir [13].

Modelin özelliklerine göre deneyin özellikleri seçilmiştir. Bunlar, reaksiyona girenlerin numunelerin geometrisi, boyutlar, kompozisyonlar, yoğunluk, malzemeler ve çevresel şartlardır. Bir tanesi sitokiyometrik oranda, diğer dört tanesi alüminyumca aşırı zengin beş adet termit karışımı denenmiştir. Deney sonucu yanma hızı, sıcaklık ve son ürünler karşılaştırılmıştır [13].

Hazırlanan numunelerin özellikleri çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Çizelgede verilen eşitlik oranı, alüminyumdan Al_2O_3 'e oksitlenen O / karışımda Fe_2O_3 'e bağlı, mevcut O olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 4. 4 Hazırlanan numunelerin özellikleri [13]

Karışım	T100	T112	T127	T142	T159
Fe_2O_3/Al Molar Oranı	1:2	1:2,24	1:2,54	1:2,85	1:3,19
Fe_2O_3/Al Kütle Oranı	1:0,338	1:0,379	1:0,429	1:0,482	1:0,538
Eşitlik Oranı	1,00	1,12	1,27	1,42	1,59

Bu model sonucunda, sıcaklık ve kompozisyon profilleri hızla büyüme eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bunlar sınır bölgeleri dışında yaklaşık olarak sabit hızlı, sabit bir maksimum sıcaklığı olan dalgalardır. Karışımlardaki fazla alüminyumun varlığı ısı iletkenliği ve yanma hızını artırarak sistemdeki ısı transferini iyileştirmiştir [13].

Bununla beraber alüminyum fazlalığı reaksiyonda açığa çıkan ısıda herhangi bir artışa neden olmadan bir ısı kapasitansa neden oluyorsa bile, yüksek alüminyum fazlalığı en yüksek sıcaklıkların ortalamasında bir düşüşe neden de olmaktadır [13].

Modelde elde edilen sonuçlarla deneysel veriler arasında T100 ve T112 için iyi bir örtüşme yakalanmıştır. Diğer karışımlardaysa öngörülen değerler deneysel değerlerden önemli ölçüde düşük çıkmıştır. Bu çelişki deneyde meydana gelen ardışık ekzotermik intermetalik reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır. Reaksiyonun tamamlanmamasından ötürü deneysel olarak yaklaşık sitokiyometrik durum sadece T112 ve T127 karışımlarının arasında yakalanmıştır. Modelde ise her zaman reaksiyon tam olarak bitmiş kabul edilmekteydi. Beklenen sıcaklık değeri deneysel olarak elde edilenin üzerindedir (~ 2300 °K). Bunun nedeni yanma sisteminden ürünlerin sıçrayarak uzaklaşmasıdır. Modelde bu göz önüne alınmamıştır [13].

Al/Fe₂O₃ sistemindeki reaksiyon mekanizmalarını incelemek için Mei vd. tarafından [14] de verilen çalışma yapılmıştır.

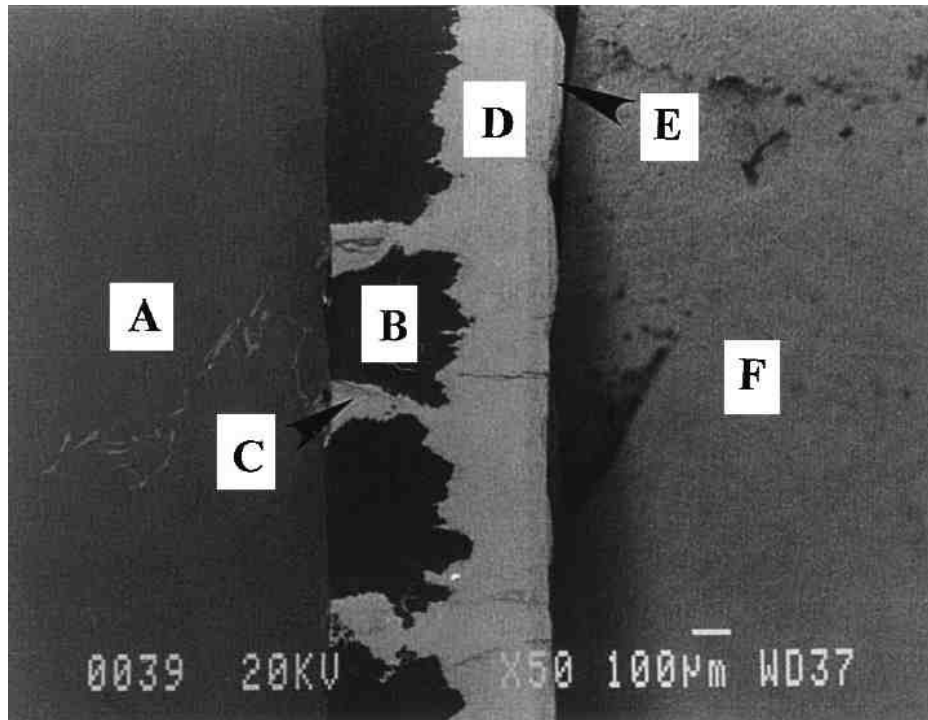
Bu çalışmada reaksiyonun aşamaları deneysel olarak incelenmiş ve önemli bilgiler elde edilmiştir.

Çalışmada ilk aşama sıvı alüminyum ve sinterlenmiş demir oksit ara yüzeyindeki reaksiyonların incelenmesidir. Ortalama partikül boyutu 5 µm demir oksit tozu 4 saat boyunca bir bilyalı değirmende metanolle beraber süspansiyon olarak işlenmiştir. Daha sonra kurutulmuş toz, sinterleme için peletler halinde soğuk preslenmiştir. Peletler havada 2 saat boyunca havada 1100°C ye sinterlenmiştir. Sinterlenmiş demir oksit uygun bir potaya konulmuştur. Ticari saflıktaki sıvı alüminyum 700°C de demir oksit içeren potaya dökülmüştür. Daha sonra pota 1000°C deki fırına değişik zaman dilimleri boyunca koyulmuştur. Soğuyan numuneler Fe₂O₃/Al ara yüzeyinin incelenmesi üzere elektron mikroskobunda incelenmek için hazırlanmıştır [14].

20 µm ortalama partikül boyutu olan % 99+ saflıktaki alüminyum tozu ile maksimum partikül boyutu 5µm olan % 99+ saflıktaki Fe₂O₃ karışımı molar oran 2:1 olacak şekilde karıştırılmıştır. Daha sonra karıştırılmış bu toz 10 mm çapında ve 2 mm kalınlığında diskler şeklinde 150 bar kapasiteli bir hidrolik pres kullanılarak sıkıştırılmıştır. DTA analizinde hem sıkıştırılmamış toz karışını, hem de preslenmiş peletler kullanılmıştır. 40 ml/dk akım hızında argon atmosferinde 10°C/dk lık bir ısıtma rejimi kullanılmıştır. Soğuk preslenmiş numuneler sabit argon akış hızında 1 saat boyunca 960°C ve 1060°C deki tüp fırınlara koyulmuştur [14].

Reaksiyon ürünlerinin yüzey ve kesitleri SEM de EDS kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra reaksiyon ürünleri toz haline getirilip XRD de incelenmiştir.

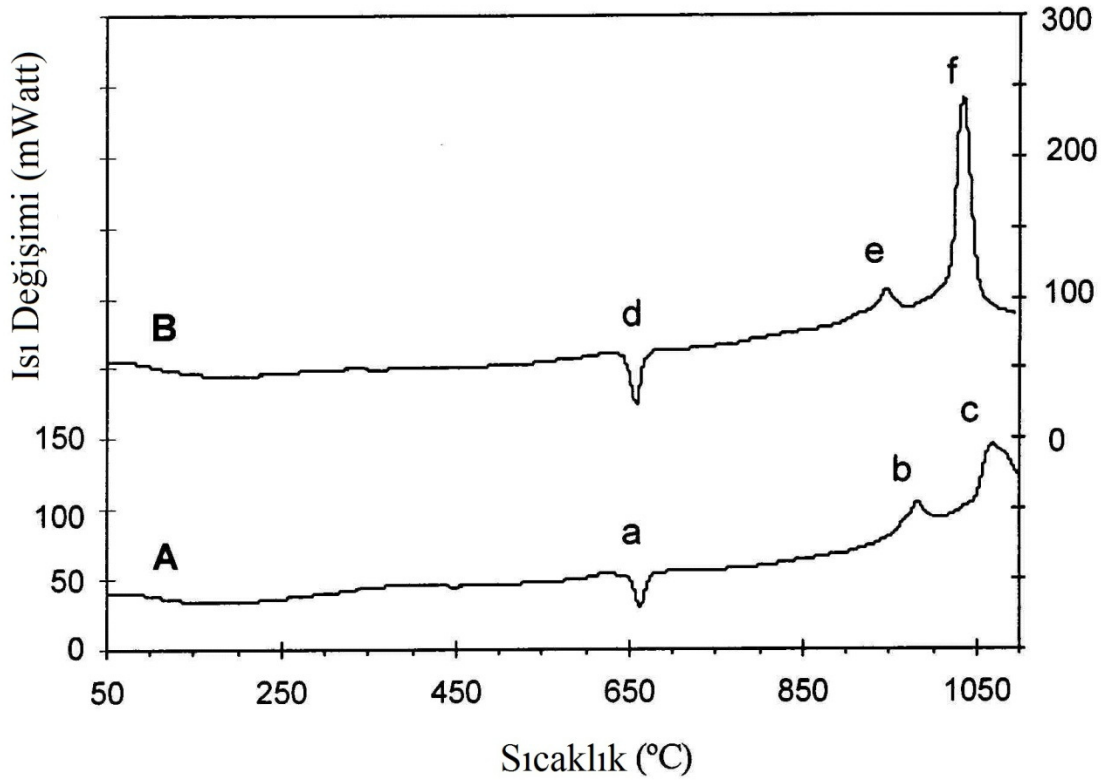
Şekil 4.13 Sıvı alüminyum ve sinterlenmiş Fe_2O_3 nin 1000°C de reaksiyonu sonucu oluşmuş ürünlerin Al- Fe_2O_3 ara yüzeyini göstermektedir. $600\ \mu\text{m}$ kalınlığında bir reaksiyon tabakası incelenmiştir. Al ye yapışmış olan Al_2O_3 ve FeAl_x kompozit (B), ve FeO_x (D ve E) alüminyum ve Fe_2O_3 arasında üretilmiştir. Gri renkle görülen FeO_x tabakası en D ve E olarak gösterilen en az iki faz içermektedir. Ancak EDX analizindeki zorluklardan ötürü fazları tanımlamak mümkün değildir [14].



Şekil 4. 13 Al- Fe_2O_3 ara yüzeyinin 1000°C de 2 saat reaksiyon gerçekleşmiş BE SEM fotoğrafı, A:Al, B: Al_2O_3 ve FeAl_x kompozit. C: FeO_x fazı I, D: FeO_x fazı I, E: FeO_x fazı II, F: Fe_2O_3 [14]

Reaksiyon sıcaklığının belirlenmesi için alüminyum-demir oksit karışımından oluşan toz ısı analizine tabi tutulmuştur. Şekil 4.14 toz ve pelet numunelere ait DTA grafiklerini göstermektedir. 660°C de bir endotermik ve 960°C ve 1060°C de iki ekzotermik reaksiyon piki görülmektedir. Endotermik reaksiyon her iki numune için de alüminyumun ergimesidir. Ekzotermik pikler ise alüminyum ile demir oksit arasındaki reaksiyonları göstermektedir. Ancak pelet numunedeki reaksiyon sıcaklıkları toz numunedekilere göre daha düşüktür. Bunun nedeni pelet numunede alüminyum ile

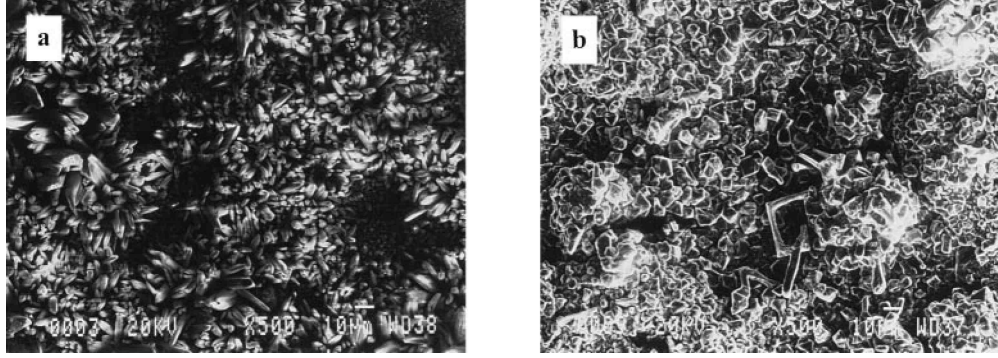
demir oksit arasında daha fazla temas alanı olmasıdır. Bu sayede reaksiyon daha kolay gerçekleşmektedir [14].



Şekil 4. 14 Al/Fe₂O₃ karışımı numunelerin DTA grafikleri. A:Toz numune, B:Pelet numune [14]

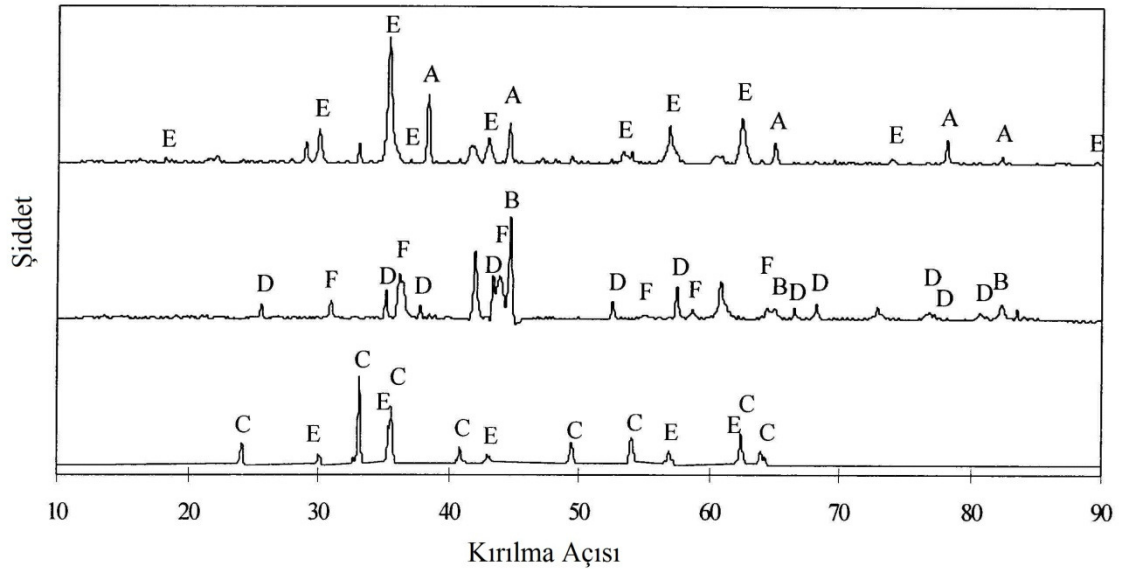
Şekil 4.15, 960°C ve 1060°C de üretilmiş pelet numunelerin üst yüzeylerinden alınan SEM görüntülerini göstermektedir. 960°C de üretilen numunede iğnemi kristaller büyümüştür. (Şekil 4.15 (a)) Bu kristaller EDX kullanılarak alüminyum olarak belirlenmiştir. İğnemi kristaller üst yüzeyin sadece orta kısımlarında gözlenmektedir. Köşelerde görülmemektedir. Bunun nedeni termit prosesi sırasında alüminyum buharının köşelerinden soğumaya başlayan numune üzerine gelmesidir. Benzer bir numune XRD için toz haline getirilmiştir (Şekil 4.16, üst). Numune çoğunlukla Fe₃O₄ ve Al içermektedir. Al₂O₃ konsantrasyonu XRD de saptanmak için çok azdır. Reaksiyon şu şekildedir [14];





Şekil 4. 15 Argon atmosferinde 960°C (a) ve 1060°C (b) de 1 saat reaksiyona girmiş Al/Fe₂O₃ pelet numunelerin üst yüzeylerinin SEM görüntüleri [14]

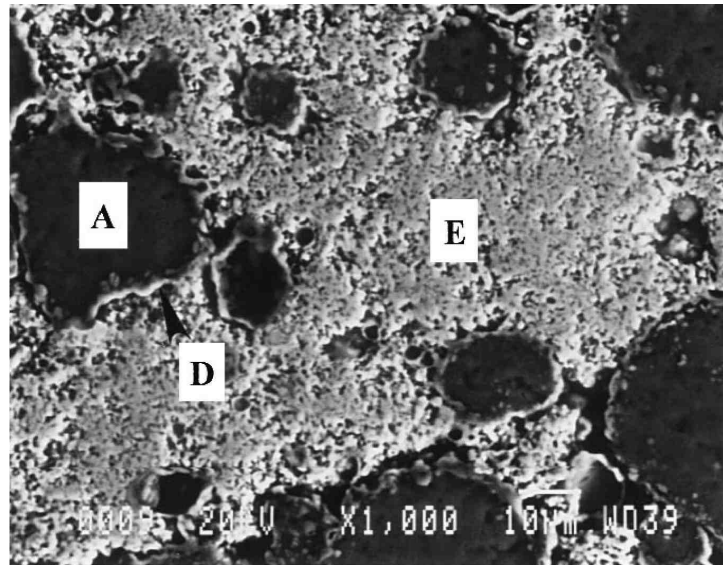
1060°C’de reaksiyon gerçekleştiğinde numunenin üst yüzeyinde eş eksenli taneler görülmüştür (şekil 4.15 (b)). EDX kullanılarak incelenen kompozisyonun ağırlıklı olarak Fe içerdiği görülmüştür. Ayrıca yüzeyde oluşan çubuksu kristaller 3:1 molar oranında Fe ve Al olarak tanımlanmıştır. Üst yüzeyin XRD sonuçları Fe₂O₃ ve Fe₃O₄ varlığını göstermektedir (şekil 4.16 (a)). Fe ve Fe₃Al piklerine rastlanmamıştır. Bu durum üst yüzeyin genel olarak demir oksit ve çok az miktarda Fe₃Al içerdiğini düşündürmektedir [14].



Şekil 4. 16 Al ve Fe₂O₃ reaksiyonu sonucu oluşmuş ürünlerin XRD grafikleri. Üstteki grafik 960°C’de reaksiyona girmiş toz numuneye, ortadaki grafik 1060°C’de reaksiyona girmiş toz numuneye, Altındaki grafik 1060°C’de reaksiyona giren numunenin üst yüzeyine aittir. Pikler; A:Al, B:Fe, C: Fe₂O₃, D:Al₂O₃, E:Fe₃O₄, F: FeAl₂O₄ [14]

Numunenin iç tarafındaki sıcaklığın 1060°C'den daha yüksek olması olasıdır. Bu yüksek sıcaklık yüzünden Fe, oksijen ve Al buharlaşması teşvik edilmiştir. Bu buharlar yüzeye tutunup, demir oksit tabakası ve Fe₃Al kristalleri oluşturmuştur. 960°C ve 1060°C'deki numunelerin her ikisinde de alt yüzeylerde bu oluşumlara rastlanmamıştır [14].

Öğütülmüş bir numune üzerinde yapılan XRD sonuçları numunenin Fe, Al₂O₃ ve FeAl₂O₄ içerdiğini göstermiştir (Şekil 4.16 ortada). Kimyasal reaksiyonlar şu şekildedir.

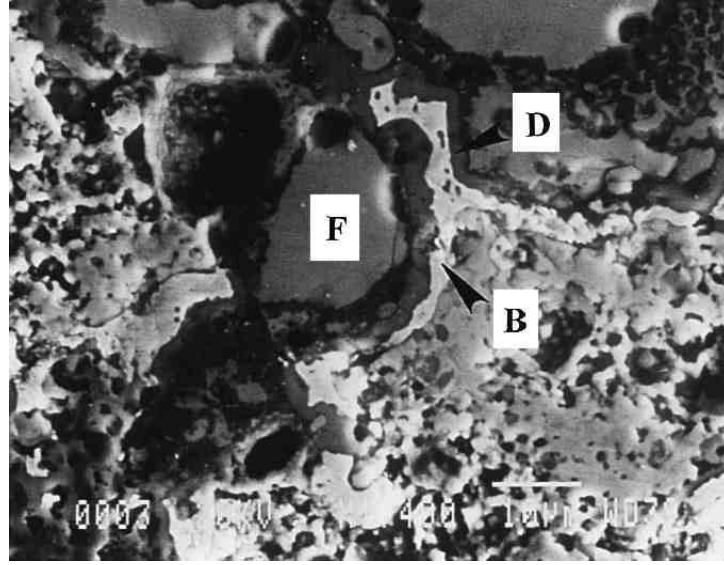


Şekil 4. 17 960°C deki Al ve Fe₂O₃ arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsü.
A: Al, D: Al₂O₃, E: Fe₃O₄ [14]

Şekil 4.17, 960°C deki Al ve Fe₂O₃ arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsünü göstermektedir. Büyük açık renkli alan Fe₃O₄, koyu renkli alan ise alüminyum olarak tanımlanmıştır. Alüminyum partiküllerini sarmış reaksiyon ürünleri gözlenmektedir. Bu ürünler Al₂O₃ olarak tanımlanmıştır [14].

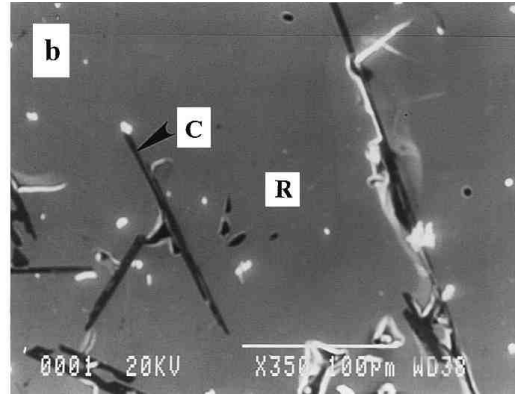
Şekil 4.18, 1060°C deki Al ve Fe₂O₃ arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsünü göstermektedir. Yapıda büyük miktarda boşluk ve farklı fazlar içermektedir. EDX kullanılarak Al₂O₃, FeAl₂O₄ ve Fe tanımlanmıştır. Üst yüzeyin kompozisyonunun malzemenin geri kalanından farklı olması dikkat çekicidir. Üst yüzeyde 10 µm kalınlığında ana olarak Fe ve demir oksit içeren bir tabaka bulunmaktadır (Şekil 4.19 (a)). Ve birçok

iğnemi Fe ve demir oksit kristalleri üst yüzeye yayılmıştır. Bu durum numunenin üst yüzeyinde Fe buharlaşması ve çökmesi olduğunu göstermektedir [14].



Şekil 4. 18 1060°C deki Al ve Fe_2O_3 arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsü.
B: Fe, D: Al_2O_3 , F: FeAl_2O_4 [14]

Sonuç olarak DTA sonuçları sıvı alüminyum ile Fe_2O_3 arasındaki reaksiyonların 960° ve 1060°C de başladığını göstermektedir. Bu iki sıcaklıktaki reaksiyonlar birbirlerinden çok farklıdır. Öyle ki her iki reaksiyonda değişik reaksiyon ısıları açığa çıkmaktadır.



Şekil 4. 19 1060°C deki Al ve Fe_2O_3 arasındaki reaksiyon ürünlerinin SEM görüntüsü. (a), üst yüzeye yakın Fe ve demir oksit tabakası içeren bölge, (b), Üst yüzeyde oluşmuş iğnemi Fe ve demir oksit tek kristalleri, R: Reçine [14]

4.1 numaralı reaksiyonun gerçekleşmesi için reaksiyon ısısı 1036 KJ olmalıdır. 9 mol Fe_2O_3 ve 18 mol Al nin reaksiyona girdiği göz önüne alınırsa, reaksiyon ürünleri 6 mol Fe_3O_4 , 1 mol Al_2O_3 ve 16 mol Al, olmaktadır. Bu ürünlerin toplam ısı kapasitesi 763 J/K olacaktır. Eğer tüm ısı reaksiyon ürünlerini ısıtmak için harcanırsa ürün sıcaklığı 2317°C

olacaktır. Alüminyumun kaynama sıcaklığı 2520°C dir. Üst yüzeydeki alüminyum varlığı reaksiyon sırasında bir miktar alüminyum buharlaşması olduğunu göstermektedir. Alüminyumun buharlaşması büyük miktarda ısı alacaktır. Ancak reaksiyon ürünlerinin düzgün yapısı reaksiyon ürünlerinin tamamının sıvı faza geçmediğini göstermektedir. Bunun nedeninin çevreye veya alüminyumun buharlaşmasına harcanan ısı olması muhtemeldir [14].

4.3.3 Alüminotermite Kaynağı Hataları

Alüminotermite kaynağı gerek malzeme gerekse işçilik konusunda birçok faktöre bağlı olduğundan kaynakta bazı karakteristik hatalar görülmektedir. Ray çeliğine uygun termit şarjı seçilse bile bazı hatalarla karşılaşılabilir. Bunun genel nedeni kötü hazırlık ve detaylara gösterilen özensizliktir.

Kaynaklarda hata meydana gelmesinde temel etkenler şunlardır;

- i. Ray başı hazırlığı
- ii. Kalıp bağlanması ve ayarlanması
- iii. Macunlama
- iv. Ön ısıtıcı ayarlanması
- v. Ön ısıtma
- vi. Pota temizliği ve ön ısıtılması [15]

Alüminotermite kaynak hatalarının kaynak performansına en büyük etkisi gerilme yığılması oluşturmaları, yorulma dayanımını düşürerek servis ömrünü kısaltmalarıdır. Bu nedenle bu hataların oluşum mekanizmalarının incelenmesi elde edilen sonuçlar ışığında hata oluşumlarının engellenmesi kaliteli kaynak yapımında çok önemlidir.

Bu çalışmada alüminotermite kaynaklarında görülen ve sonuç olarak hasara neden olan kaynak hataları incelenecektir.

4.3.3.1 Kara Delikler

Besleyici içinde yalıtılmış gaz boşlukları “kara delik” olarak bilinmektedir. Bu isim şekil 4.20 ‘te görülen karakteristik görüntüden gelmektedir [15].

Kara delikler önemli bir kaynak red nedeni olarak görülmektedir, ancak delik sığ ve yuvarlak olduğundan kara deliklerle ilişkili kayıtlı kaynak hasarı çok azdır. Bu hatanın nedeni katılaşma sırasında kaynak içinden akan gazdır. Gazın kaynağı genellikle macundan açığa çıkan nemdir. Normalden dar kaynak aralıkları kullanmak kara delik oluşumu riskini artırır [15].



Şekil 4. 20 Kara delik hatası [15]

Kara delik oluşumu hatasını en aza indirmek için alınabilecek önlemler şunlardır.

- i. >24 mm kaynak aralığı kullanmak,
- ii. Aşırı nemli macun kullanmamak,
- iii. Doğru ön ısıtma süresi uygulamak [15].

4.3.3.2 Kaynak Çekintisi veya Yırtılma

Kaynak çekintileri veya yırtılmalar aynı tip hatalardır ve genelde şekil 4.21’de gösterildiği gibi en son katılaşan ray tabanında görülürler.

Bu hataların sebepleri şunlardır,

- i. Kaynağa yetersiz ısı girişi,
- ii. Stres pompasının çenelerinde kayma,
- iii. Stres pompasının kullanılmaması veya yanlış kullanılması,
- iv. Soğumakta olan kaynaklara yapılan diğer işler,
- v. Katılaşmakta olan kaynaklarda meydana gelen sıcaklık değişimleriyle meydana

gelen ısı gerilmeler.

- vi. Katılma tamamlanmadan önce stress pompasının sökülmesi,
- vii. Kaynak henüz sıcakken üzerinden tren geçmesi [15].



Şekil 4. 21 Kaynak çekintisi [15]

Kaynağın gerekli mukavemete ulaşması için 350°C 'nin altına soğutulması gerekir. Sıcak çekme testleri göstermiştir ki, bu sıcaklıkta metal normal mukavemetinin % 80'ini kazanmıştır. Kaynağın 350°C 'ye soğuması yaklaşık 24 dk sürmektedir [15].

4.3.3.3 Kum Yanıkları

Kum yanıkları ray yüzeyinde macunun ön ısıtma aleviyle veya sıvı çelikle temas ettiği noktalarda görülür. Buralarda kum vitrifikasyon sıcaklığına kadar ısınır ve kum ray yüzeyinde yanar. Normalde bu hatalar taşlama işlemiyle giderilir. Şekil 4.22, ince taşlama işleminden sonra kum yanıklarını göstermektedir. Bazı durumlarda tamir kaynakları gerekli olabilir [15].



Şekil 4. 22 Kum yanıkları [15]

4.3.3.4 Cüruf inklüzyonları

Cüruf inklüzyonlarının nedenleri,

- i.Çok kullanımlık potaların yetersiz temizlenmesi,
- ii.Rayların yakılarak düzgün kesilememesi sonucu açığa çıkan ve birleşme bölgesinde hapis kalan oksit kalıntıları.
- iii.Ön ısıtmanın yeterli olmaması sonucu kaynağın çok erken katılaşması ve cürufun dışarı çıkmasına fırsat kalmaması
- iv.Kaynak aralığının uygun olmaması ile sıvı metal akışının bozulması
- v.Alüminotermite malzemesinin erken veya soğuk dökülmesidir [15].

4.3.3.5 Birleşme Hatası

Bu hata şekil 4.23'te görüldüğü gibi kaynak raylardan biri veya ikisine nüfuz edemediğinde meydana gelir. Bunun nedenleri ise şunlardır.

- i. Kalıbın düzgün oturtulmaması,
- ii. Soğuk veya geç döküm,
- iii. Yetersiz ön ısıtma,
- iv. Isıtıcının düzgün yerleştirilmemesi sonucu rayların eşit ısınmaması,

- v. Yanlış gaz basıncı kullanılması,
- vi. Yanlış kaynak aralığı kullanılması,
- vii. Ray profiline uygun olmayan miktarda termit kullanılması,
- viii. Ray profiline uygun olmayan kalıp kullanılması [15].



Şekil 4. 23 Birleşme Hatası [15]

4.3.3.6 Kalıp Ayarı Bozukluğu

Kalıbın ayarsız bağlanması kaynağın rayların bir veya daha fazla bۆlümüne nüfuz edememesine neden olabilir. şekil 4.24’de ray tabanında bir bۆlümün kaynaklanmadığı gۆrۆlmektedir. Orjinal alevle kesme yۆzeyi hala gۆrۆlebilmektedir. Kalıp ayarsızlığı yanlış hazırlık, uygunsuz kaynak yeri, ve kalıpların raya yanlış bağlanması nedeniyle meydana gelir. Kalıplar tam dikey olarak bağlanmalı ve kaynak eksenine gۆre ortada olmalıdır [15].



Şekil 4. 24 Kalıp ayarı bozukluğu [15]

4.3.3.7 Boşluklar

Boşluklar genelde kaynak içinde, yüzeyden görünmeyecek şekilde bulunurlar. Yüksek oranda bulunursa kaynağın mukavemeti önemli oranda düşebilir. Şekil 4.25'te bu durum gösterilmektedir.



Şekil 4. 25 Kaynak içinde boşluklar [15]

Alüminotermite kaynaklarında boşluklar aşağıdaki faktörlerin bir veya birkaç tanesinden ileri gelir.

- i. Potanın yetersiz ön ısıtılması veya hiç ısıtılmaması,
- ii. Nemli macun kullanılması,
- iii. Rayların yeterli ön ısıtılmaması,
- iv. Ray profiline uygun olmayan miktarda termit kullanımı,

- v. Islak kalıp kullanımı,
- vi. Yağmurlu havada kaynak yapılması [15].

4.3.3.8 Soğuk Katman Hatası

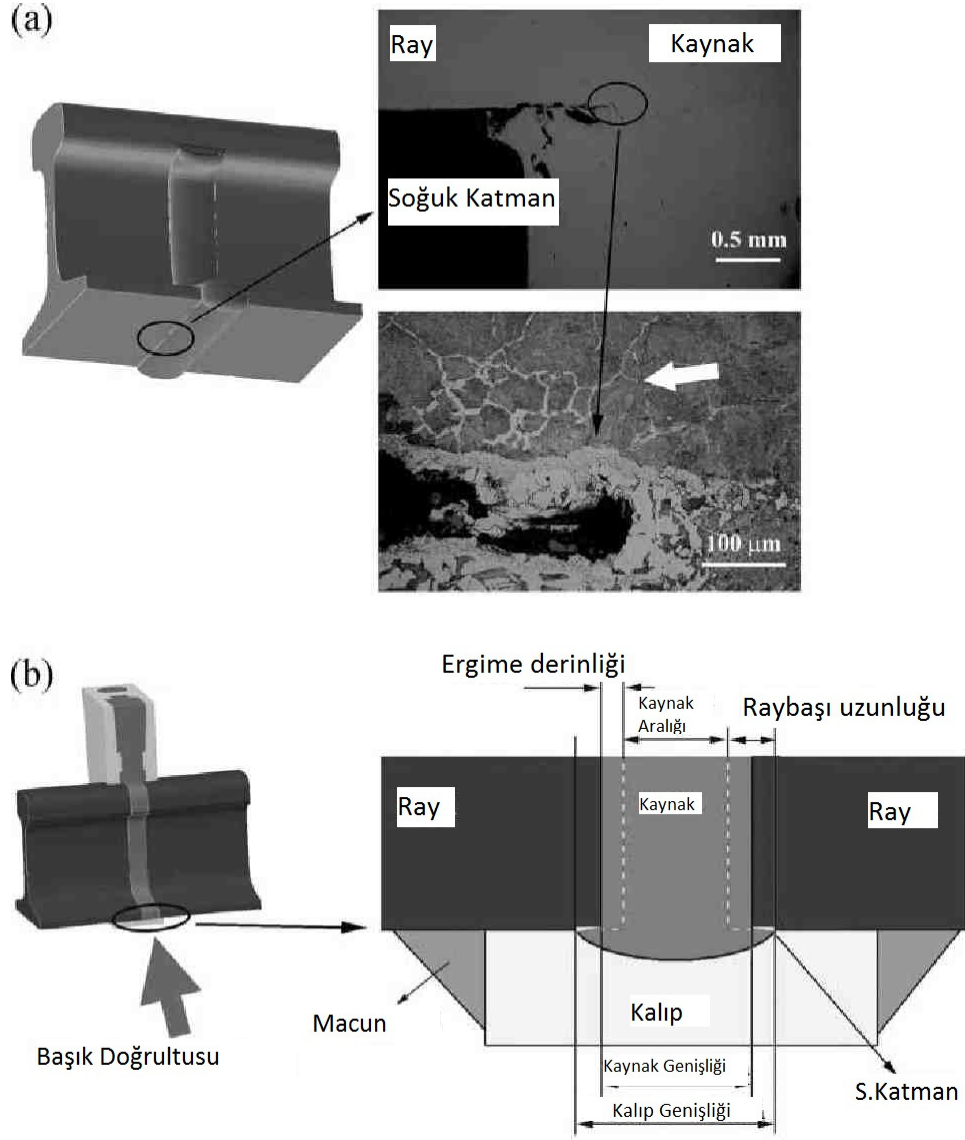
Soğuk katman hatası genel olarak rayların alt yüzeylerinde bulunur ve nedeni kaynak metalinin ray başı yüzeylerine yetersiz nüfuziyetidir. Şekil 4.26 (a), laboratuvar ortamında yapılmış bir kaynaktaki soğuk katmanı göstermektedir. Şekilde yorulma çevrimi uygulanmış bir numunede soğuk katmanın sonucu yorulma mikro çatlakları olarak görülmektedir [16].

Ray ve kalıbın uyumsuzluğu soğuk katman için tek neden değildir. Bu hata kalıp ve rayın uyumlu olduğu zamanlarda da ortaya çıkabilmektedir. Şekil 4.26 (b) katılma sırasında soğuk katmanın meydana gelmesini şematik olarak göstermektedir. Kaynağın yandan görünüşü ray başlarının kalıp içine yerleşmesinin göstermektedir [16].

Kalıp içindeki bölge ray başı olarak adlandırılır ve sıvı metal kalıba döküldüğünde buralarla temas eder. Şekil 4.26 (b) deki kesikli çizgiler ray başlarının orijinal yerlerinin göstermektedir [16].

Sıvı metalle etkileşime girince ray başlarının belli bir kısmı ergir. Sıvı-katı ara yüzeyi raya doğru hareket eder. Ergiyen kısmın derinliğine ergime derinliği denir. Eğer ergime derinliği ray başı uzunluğundan kısaysa, rayın alt yüzeyinde üçgen şeklinde bir ergimiş bölge meydana gelir (şekil 4.26 (b)). Bu kısım yüksek hızda soğumaya maruz kalır ve ısı akışı kaynak metalinden kalıba doğrudur. Bununla beraber ray başına sıvı metalin girişi minimumdur. Bu nedenle rayın alt yüzeyi dökümden hemen sonra katılır. Eğer ray başı yüzeyinde herhangi bir pislik varsa yetersiz nüfuziyet (soğuk katman) oluşması muhtemeldir. Bununla beraber eğer ergime derinliği ray başı mesafesinden fazlaysa soğuk tabaka hatasının meydana gelme ihtimali çok düşüktür [16].

Mekanizmanın temelinde ergime derinliği soğuk katman oluşması ihtimali üzerinde bir parametre olarak düşünülebilir. Soğuk katmanın oluşması için ergime derinliğinin ray başı mesafesinden düşük olması gerekir [16].



Şekil 4. 26 Soğuk katman hatası [16]

Alüminotermite kaynaklarında soğuk katman oluşum mekanizması Chen vd. tarafından laboratuvarında yapılan kaynaklar ve sayısal modellemeler üzerinden incelenmiştir [16]. Bu modellemede parametreler kısa ön ısıtmalı kaynak ve UIC60 profilindeki raya göre ayarlanmıştır. Belirlenen kaynak aralıkları 25,38 ve 50 mm'dir. Ön ısıtma işleminin sonundan katılaşmanın başlangıcına kadar geçen sürenin 60 sn ve homojen bir sıvı sıcaklık dağılımının var olduğu kabul edilmiştir.

Ray üst yüzeyinin 1 mm altındaki solidüs izotermi farklı zamanlar için çizilmiştir. Orijinal ray başından en uzaktaki izotermal eğrisi birleşme çizgisi olarak kabul edilmektedir. Ergime derinliği (d) birleşme çizgisiyle orijinal ray başı arasında

ölçülmüştür. Ve bu ray başı uzunluğu soğuk katman oluşumunu engellemek için gereken kritik ergime derinliği (d_c) olarak düşünülmüştür. Model için belirlenen parametreler çizelge 4.5'te gösterilmiştir [16].

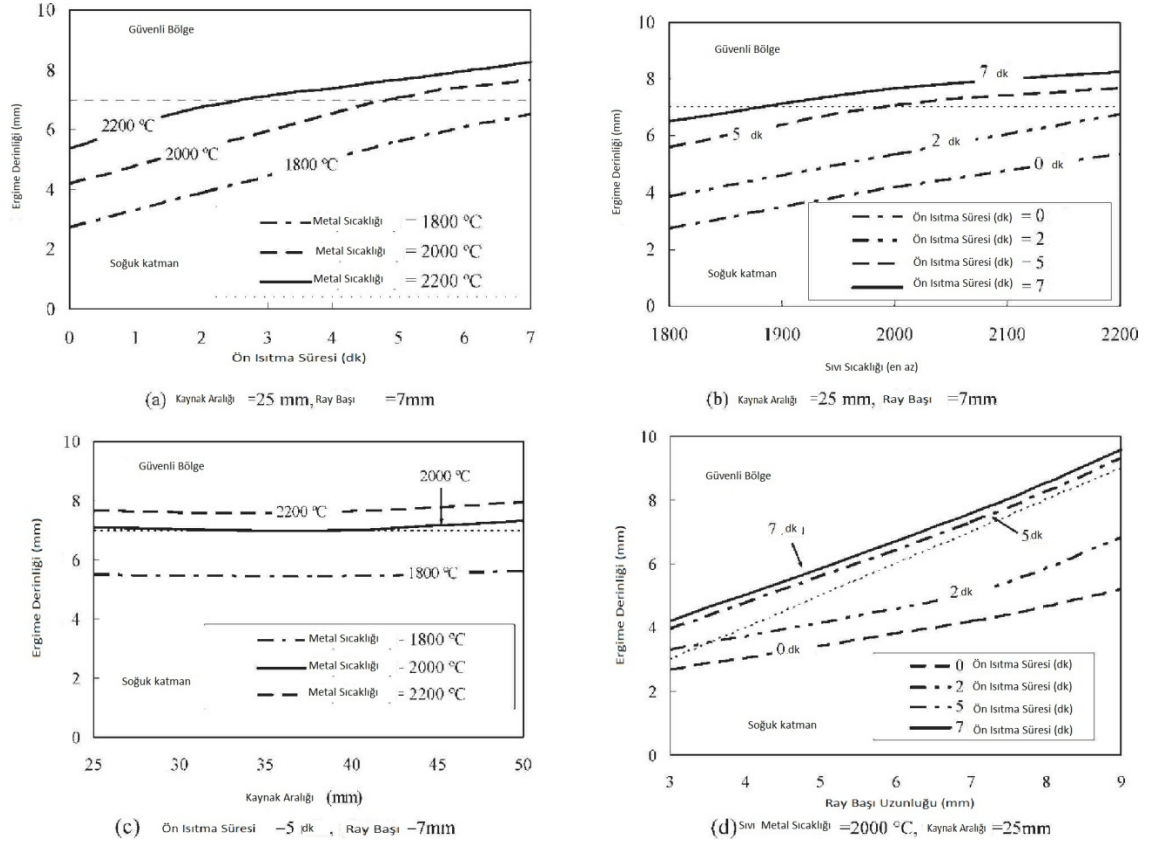
Çizelge 4. 5 Modelleme için kullanılan kaynak parametreleri

Kaynak Parametreleri	Aralık
Sıvı Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	1800-2200
Ön Isıtma süresi (dk)	0-7
Kaynak Aralığı (mm)	25-50
Ray Başı Uzunluğu (mm)	3-9

1. Ön Isıtma ve Sıvı Metal Sıcaklığının Soğuk Katman Oluşumuna Etkileri

Şekil 4.27 (a), 25 mm kaynak aralığı ve 7 mm ray başı uzunluğu için yapılan simülasyon sonuçlarını göstermektedir. Kritik d_c değeri yatay kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Bu çizginin üzerinde sıvı sıcaklığı soğuk katman oluşumunu önleyecektir. Altında ise soğuk katman oluşumu muhtemelen gözlenecektir. Şekil 4.27 (a) dan görüldüğü üzere ön ısıtma süresindeki artış ergime derinliğini artırmaktadır. 2200 ve 2800 $^{\circ}\text{C}$ sıvı sıcaklıklarında, kritik ön ısıtma süreleri 2,5 ve 4,7 dk dır. 1800 $^{\circ}\text{C}$ sıvı metal sıcaklığında kritik ön ısıtma zamanı 7 dk dır [16].

Benzer olarak sıvı metal sıcaklığındaki artış ray başı ergimesini de artırarak soğuk katman oluşma ihtimalinin düşürecektir. Şekil 4.27 (a)'da sıvı metal sıcaklığı arttığında uygun bir ergime derinliği için daha kısa bir ön ısıtma süresi yeterli olacaktır. Şekil 4.20 (b) sıvı metal sıcaklığının kritik değerlerini göstermektedir. 5 ve 7 dk lik ön ısıtma sürelerinde en az gereken sıvı metal sıcaklıkları 1980 ve 1880 $^{\circ}\text{C}$ dir. 0 ve 2 dk lik ön ısıtma sürelerinde ise gereken en az sıvı metal sıcaklığı 2200 $^{\circ}\text{C}$ dir [16].



Şekil 4. 27 Soğuk katman hatası oluşumu parametreleri [16]

2.Kaynak Aralığı ve Ray Başı Uzunluğunun Soğuk Katman Oluşumuna Etkileri

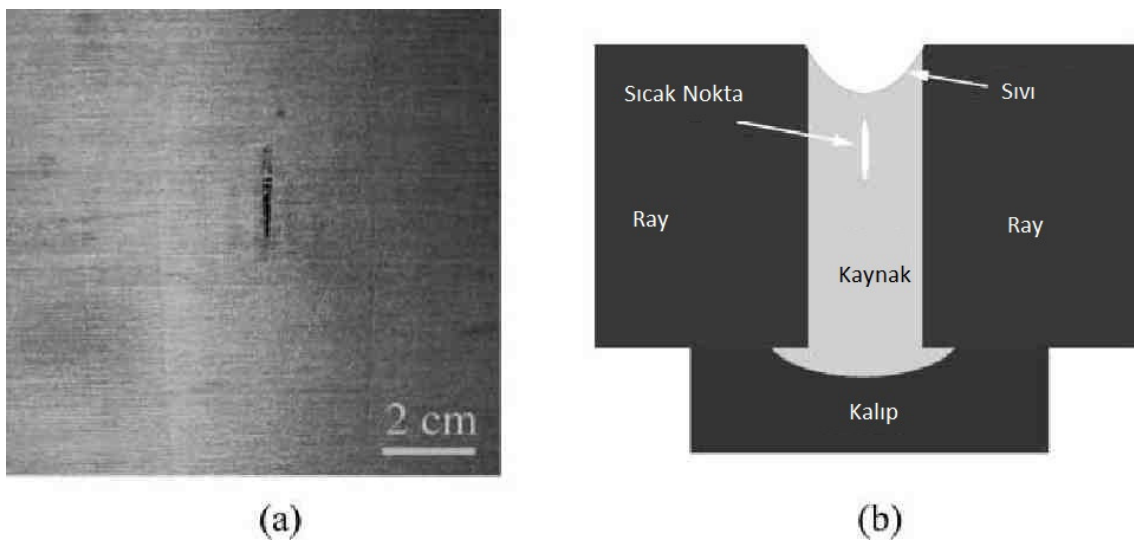
Ergime derinliği kaynak aralığı ile direk olarak ilişkili değildir. Şekil 4.27 kaynak aralığının küçük olduğu durumda ergime derinliğinin değişimini göstermektedir. Sadece yüksek sıvı metal sıcaklıklarında ergime derinliği artmaktadır. Kaynak aralığı ile ergime derinliği arasındaki bu zayıf bağıllık ergimiş ray başındaki ısı transferinin geciktirilmesinden kaynaklanmaktadır [15].

Ergime çizgisinin yeri ergime bölgesinden ve ergime bölgesine olan ısı transferi dengesine bağlıdır. Kısa bir zaman diliminde geniş bir kaynak aralığı raydaki sıcaklık gradyantını dengeleyemez. Bu nedenle kaynak aralığının soğuk katman oluşumu üzerinde az bir etkisi vardır. Kaynak aralığından daha çok ray başı değiştirilebilen bir geometrik parametre ray başı uzunluğudur. Ray başı uzunluğu arttığında daha fazla ray sıvı metalle temas eder. Aynı zamanda ergime derinliği artar. Ancak bu artış soğuk katman oluşumunu engelleyemez çünkü kritik ergime derinliği değeri de artmaktadır. Şekil 4.27 (b) ray başı uzunluğu arttıkça meydana gelen kritik ergime derinliği

değerinde meydana gelen değişmeyi göstermektedir. Bu durum artan ray başı uzunluğu sayesinde elde edilen ergime derinliğinin soğuk katman oluşumunu engellemediğini göstermektedir. Sonuç olarak daha küçük bir ray başı uzunluğu soğuk katman oluşumunu engellemek için daha uygundur. Ray başı uzunluğunun kısaltılması ile sıvı metal sıcaklığı ve ön ısıtma süresi ile ilgili gereksinimler azaltılabilecektir [16].

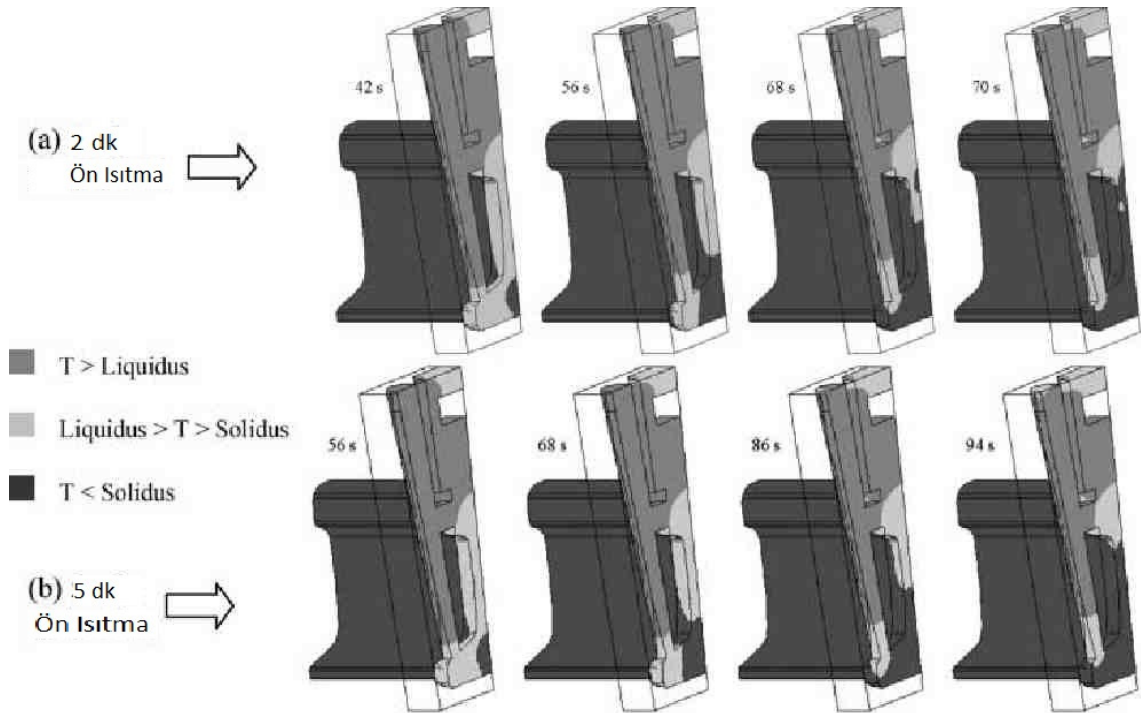
4.3.3.9 Çekme Boşluğu

Çekme boşluğu genellikle kaynak dokusunda görülen bir diğer önemli kaynak hatasıdır. Şekil 4.28 kaynak dokusunda çekme boşluğu ve çekme boşluğunun oluşum mekanizmasını göstermektedir. Isıl genleşme ve faz değişimleri nedeniyle kaynak hacmi soğuma sırasında sürekli olarak değişmektedir. Sıvı metalin ısı genleşme katsayısı katı metalden oldukça büyüktür. Bu nedenle yüksek sıcaklıktaki hacim küçülmesi, düşük sıcaklıktaki hacim küçülmesinden daha fazladır. Donma noktasında ise mikro yapı değişiminden ötürü bir miktar hacim artışı meydana gelir. Faz değişimi veya sıcaklık düşmesinden meydana gelen hacim düşmesi kaynakta bir gerilim meydana getirir. Eğer son aşamada bir miktar sıvı metal neredeyse katılaşmış metalle çevrelenmişse, bu bölgeye hacim küçülmesinin telafi edecek sıvı metal akışı olamayacaktır (şekil 4.28 (b)). Bu nedenle çekme kuvveti kaynak dokusunda çekme boşluğuna neden olacaktır. Ayrıca izole bir sıvı metal bölgesinin oluşumu çekme boşluğu oluşması için kritik bir olaydır [16].



Şekil 4. 28 Kaynak dolgusunda çekme boşluğu [16]

Chen vd. tarafından [16] çekme boşluğu oluşum hatası ile ilgili üç parametreyi incelemek için ısıl modellemeler yapılmıştır. Bu üç parametre; ön ısıtma süresi, ortalama sıvı metal sıcaklığı ve kaynak aralığıdır. Bu simülasyonlarda ray başı uzunluğu 7 mm de sabitlenmiştir. Ray tabanından tepesine doğru artan sıcaklık profili incelenmiştir. Diğer tüm kaynak parametreleri çizelge 4.4'tekilerle aynıdır. Her simülasyonda katılma çizgisinin yeri başka zaman dilimlerinde kaynaktaki katılmanın incelenmesi için görüntülenmiştir. İzole bir sıvı metal bölgesi çekme boşluğunun oluşup oluşmayacağını incelemek için kullanılmıştır [16].



Şekil 4. 29 Ön ısıtma süresinin çekme boşluğu oluşumuna etkisi [16]

Şekil 4.29 aynı ortalama sıvı metal sıcaklığındaki (2050 °C) ve kaynak boşluğundaki (25 mm) iki ayrı simülasyonu göstermektedir. Ön ısıtma süreleri ise farklıdır. Üç sıcaklık bölgesi ($T < \text{solidus}$, $\text{solidus} < T < \text{liquidus}$, $T > \text{liquidus}$) üç farklı renkle gösterilmiştir. Katılma sırasında sıvı/katı ara yüzeyi ray başından kaynağın ortasına, ray tabanından ray mantarına doğru hareket eder. Solidüs izotermal yüzeyi geride kalırken likidüs izotermal yüzeyi ilk olarak kaynak kesitini kat eder. Şekil 4.29 (a) için ön ısıtma süresi 2 dkdir. Solidüs yüzeyi kaynak kesitinde ilerlerken izole bir sıvı metal bölgesi (açık renkli bölge) kaynak dokusunda meydana çıkmaktadır. Eğer ön ısıtma süresi 5 dkya çıkarılırsa (şekil 4.29 (b)) izole sıvı metal bölgesi kaybolmaktadır. Karşılaştırma ön ısıtma

süresindeki artışın çekme boşluğu oluşmasını engellemeye yardımcı olduğunu göstermektedir [16].

Benzer simülasyonlar farklı sıvı metal sıcaklıkları için (1900 ve 2150 °C) gerçekleştirilmiştir. Diğer tüm parametreler ise sabit tutulmuştur. Şekil 4.29’de görülen inceleme çekme boşluğu oluşup oluşmayacağını incelemek için yapılmıştır. Sonuçlar düşük sıcaklık (1900 °C) sıvı metal beslemesinin daha önce kesilmesine neden olmaktadır. Ve izole bir sıvı metal bölgesi 5 dakikalık ön ısıtma süresinde ortaya çıkmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıkta (2150 °C) izole bölge oluşumu ön ısıtma olmadan bile gözlenmemiştir. Bu durumda yüksek sıcaklıkların çekme boşluğu oluşumunu engellemeye yardımcı olacağı düşünülebilir [16].

Çekme boşluğu üzerinde kaynak boşluğunun etkisi sıvı metal sıcaklığının etkisi gibidir. Büyük kaynak aralıklarında (38 veya 50 mm) 2050°C için ön ısıtma olmadan da izole sıvı metal bölgesi bulunmamaktadır. 1900 °C içinse izole sıvı metal bölgesi 38 mmde görülmekteyken, 50 mm de kaybolmaktadır. Bu durumda geniş kaynak aralığı çekme boşluğunun oluşumunu engellemede ve ön ısıtma ve ortalama sıvı metal sıcaklığını düşürmekte faydalı olmaktadır [16].

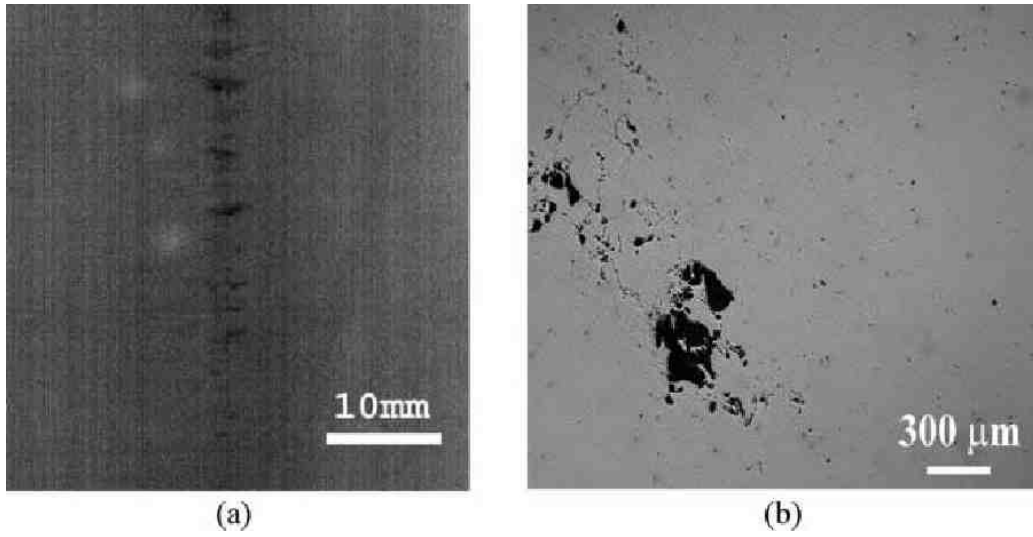
Özetleyüksek sıvı metal sıcaklığı, uzun ön ısıtma süresi ve geniş kaynak aralığı katılaşma üzerinde olumlu etki yapıp çekme boşluklarının oluşumunu engelleyebilir [16].

4.3.3.10 Eksen Hatası

Kaynağın eksenini boyunca hatalar radyografi yöntemi ile görülebilir (Şekil 4.30 (a)). Bu bölgenin optik mikroskopla incelenmesi sonucu (Şekil 4.30 (b)) bu hataların çekme boşluğuna benzer şekilde oluştuğu anlaşılabılır. Ayrıca bu hata ray gövdesinde kaynak dokusuna göre çok daha az olduğu görülür. Laboratuarda yapılan kaynaklarda rayın mantar kısmında hemen hemen hiç eksen çizgisi hatası bulunmamıştır [16].

Çekme boşluğuna benzer olarak eksen çizgisi hataları da hacimsel çekme ve sıvı metalin basıncının katılaşma sırasında düşmesi sonucu oluşmaktadır. Ancak çekme boşluğu hatasından farklı olarak eksen çizgisi hatasının oluşabilmesi için makroskobik bir izole sıvı metal bölgesi oluşmasına gerek yoktur. Basınç düşmesi dendrit yapı içinde sıvı akışı, katılaşma sırasında meydana gelen gaz oluşması gibi nedenlerle meydana

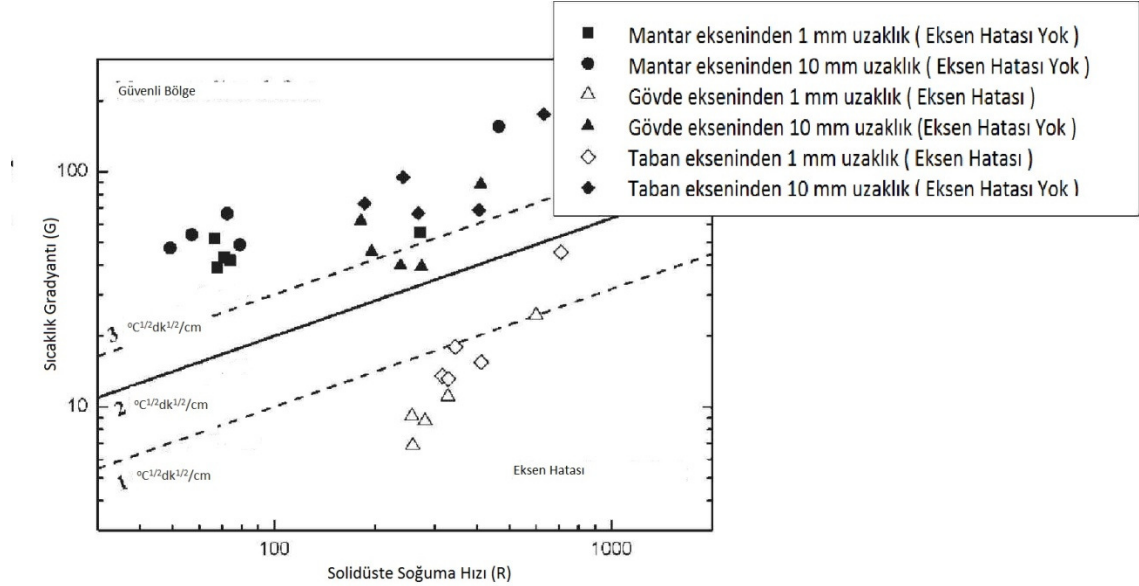
gelir ve eksen hatalarının oluşması için uygun şartları sağlar. Pratikte yapılan uygulamalar incelendiğinde bölgesel sıcaklık gradyanı (G), soğuma hızı (R) ve katılma hızı (V) bu tip hataların oluşması için önemli etkilere sahiptir. Bu ısı parametrelerinin eksen hatası ile ilişkilendirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Elde edilen formüller genel olarak ampiriktir ve çeşitli malzemeler için farklı başarı oranlarına sahiptirler. Bunların arasında Niyama'nın değiştirilmiş sıcaklık gradyanı kriteri çelik dökümleri için özellikle eksen üzerindeki çekme boşluklarının kestirilmesinde başarılı olarak kabul edilmektedir. Niyama sıcaklık gradyanı oranının ve soğuma hızının karekökünün eksen çizgisindeki hataların kestirilmesi için kullanılabileceğini göstermiştir. Düşük karbonlu çelik dökümleri ile yaptıkları deneylerle, $G/VR=1^{\circ}\text{C}^{1/2}\text{dk}^{1/2}/\text{cm}$ olarak tanımladığı kritik bir değer döküm ekseninde çekme boşluğu hataları için oldukça uygun olduğunu bulmuştur. Bu kritik değer altında dökümde çekme boşlukları oluşmuştur. Üzerinde ise çekme boşluğu oluşma ihtimali azalmaktadır [16].



Şekil 4. 30 Eksen hatasının (a) radyografik, (b) optik mikroskop görüntüleri [16]

Ampirik bir formül olarak Niyama'nın değiştirilmiş sıcaklık gradyanı malzemeye bağlıdır ve termit çeliği için özel olarak belirlenmelidir. Simülasyonlarda sıcaklık gradyanı ve bölgesel soğuma hızı kaynağın eksen çizgisinden 1 ve 10 mm uzaklıkta, mantar, kaynak dokusu ve gövde de solidüs sıcaklığında belirlenmiş ve bu noktaların her biri için değiştirilmiş sıcaklık gradyanı değeri hesaplanmıştır. Şekil 4.31'de Niyama'nın analizinin grafiksel gösterimi verilmiştir. Burada sıcaklık gradyanı-soğuma hızı incelenen her bölge için çizilmiştir. Çizilen noktalar iki bölgede toplanmaktadır. 1.

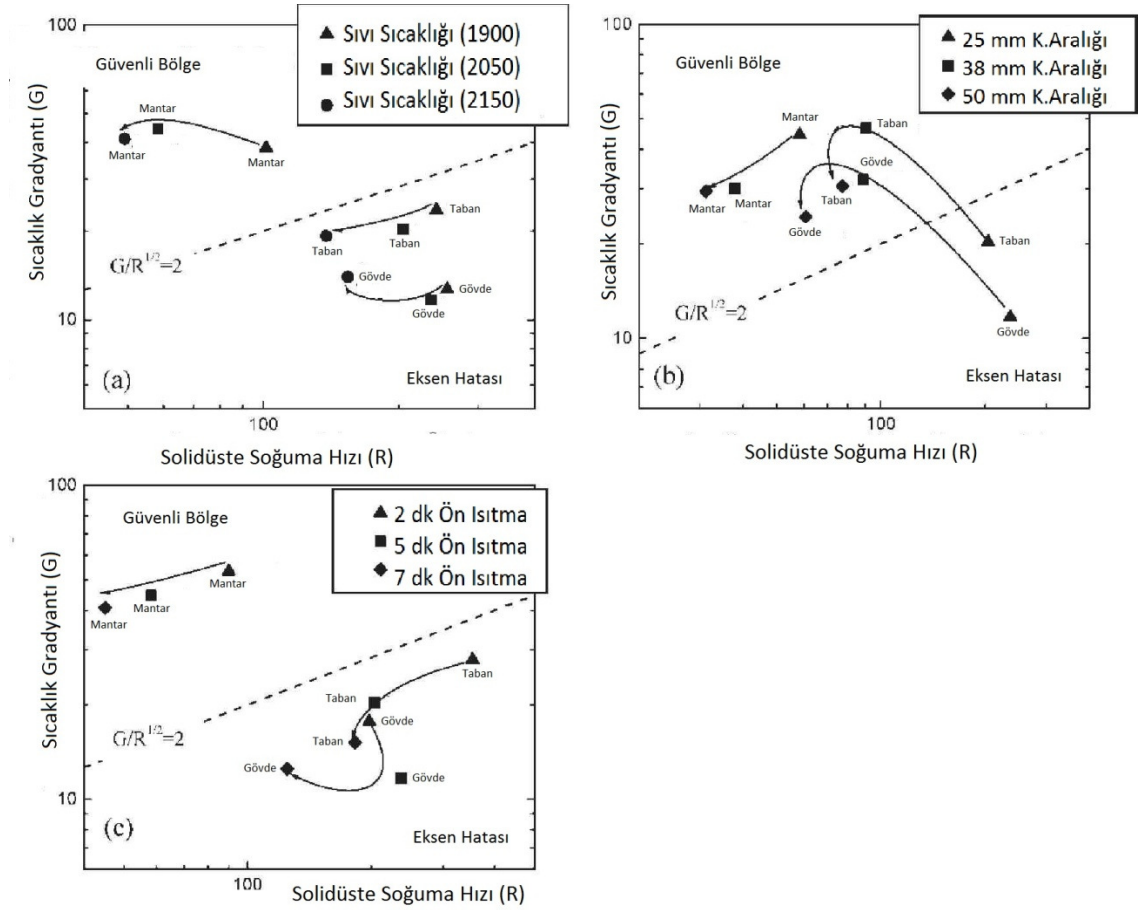
bölge sol üst köşede, çekme boşluğu oluşumunun mümkün olmadığı yerde, diğer bir grup ise sağ alt köşede, çekme boşluğunun beklendiği yerdedir. Kararlı G/VR değerleri paralel çizgiler olarak görülmektedir. Şekil 4.31’te $G/VR=1^{\circ}C^{1/2}dk^{1/2}/cm$ çizgisi hatalı ve hatasız bölgenin ortasından geçmektedir ve termit kaynaklarında eksen çizgisi hatalarının belirlenmesinde kritik değer olarak seçilmiştir [16].



Şekil 4. 31 Niyama kriterinin grafiksel gösterimi [16]

Eksen hatası üzerinde üç kaynak parametresinin (sıvı sıcaklığı, kaynak aralığı ve ön ısıtma süresi) etkilidir. Sıcaklık gradyanı ve soğuma hızı her simülasyon için solidüs sıcaklığında belirlenmiştir. Hesaplanan G ve R değerleri şekil 4.32’de gösterilmiştir. Eksen çizgisi hatasız ve eksen çizgisi hatalı bölge birbirinden $G/VR=1^{\circ}C^{1/2}dk^{1/2}/cm$ ile belirlenen düz bir çizgiyle ayrılmaktadır. Şekil 4.32 deki oklar seçilen kaynak parametreleri için artış yönünü göstermektedir. Şekil 4.32 (a) ortalama sıvı sıcaklığının etkisini göstermektedir. Buradan da sıvı sıcaklığının eksen çizgisi hataları üzerinde fazla etkili olmadığı görülmektedir. Sıvı sıcaklığındaki artışla R azalmakta, G ise sabit kalmaktadır. Bununla beraber Niyama’nın parametresi $(G/R^{1/2})$ aynı kalmaktadır. Sıcaklık arttıkça kaynak kondisyonu sabit $G/R^{1/2}$ çizgisine paralel olarak devam etmektedir. Aynı şekilde ön ısıtma süresinin de Niyama’nın parametresi üzerinde pek büyük bir etkisi yoktur (Şekil 4.32 (c)). Ön ısıtma süresindeki artışla kaynak kondisyonu kaynağın tüm bölgelerinde G-R çizgisinin yine aynı tarafında kalmaktadır. Eksen çizgisi

hatası üzerinde en fazla etkisi olan parametre kaynak aralığıdır (Şekil 4.32 (b)). Kaynak aralığındaki 25 ila 38 mm arasındaki artışta R azalırken, Ray gövdesi ve kaynak dokusundaki G dikkate değer oranda artmaktadır. Ray gövdesi ve dokusundaki kaynak kondisyonu sol üst köşeye geçip, hatasız bölgeye girmektedir. 38 ila 50 mm arasındaki kaynak aralığı daha fazla bir iyileşme sağlamadığı gibi, Niyama'nın parametresinde küçük bir düşüşe de yol açmaktadır [16].



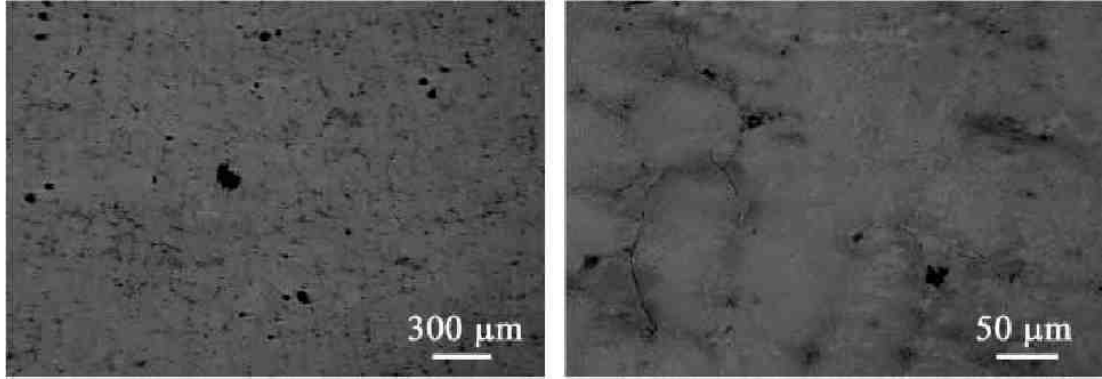
Şekil 4. 32 Eksen çizgisi hatasına (a) sıvı metal sıcaklığı, (b) kaynak aralığı, (c) ön ısıtmanın etkileri [16]

4.3.3.11 Dağılmış Mikro Boşluklar

Dağılmış mikro boşluk kavramı kaynak metalinde düzensizce dağılmış küçük boşlukları tanımlamaktadır. Bu boşlukların boyutları birkaç mikrondan yüz mikrona kadar uzanabilir. Küresel veya düzensiz şekilde bulunurlar ve Şekil 4.33'da gösterildiği üzere dendritik bölgelerin arasında yer alırlar [16].

Mikro boşlukların oluşumunda soğuma sırasında gaz oluşması ve solidüs-likidüs sıcaklıkları arasındaki basınç düşmesi rol oynar. Poirier hidrojen içeren bir Al-Cu alaşımında dendritik yapı içinde oluşan boşlukları incelemiştir. Çalışması sonucunda dendritler arası bir boşluğun oluşması için gereken koşul şöyledir; [16]

$$P_G - P_L = 4\gamma / f_L \lambda_1 \quad (4.4)$$



Şekil 4. 33 Dendritik yapı arasında küresel ve düzensiz mikro boşluklar [16]

P_G boşluğun içindeki gaz basıncı, P_L solidüs-likidüs bölgesi arasındaki sıvı basıncı, γ sıvı ve gaz arasındaki yüzey gerilimi, f_L dendritik sıvının hacim oranı ve λ_1 birincil dendrit kolları arasındaki mesafedir. Görüldüğü üzere kollar arası mesafe genişledikçe boşlukların oluşması daha kolaydır. Gaz fazın katı-sıvı faza aşırı doymun olduğunu varsayarak Poirier ötektik sıcaklıkta dendritik bölgedeki boşlukların hacim oranlarının boşluklar içindeki gaz basıncının (P_G^E) azalan bir fonksiyonudur [16].

$$\text{Vol \%} = \left\{ 1 + \left(\frac{1 - f_E}{\rho_S'} + \frac{f_E}{\rho_{LE}} \right) \frac{MP_G^E}{RT_E \Phi} \right\}^{-1} \quad (4.5)$$

Burada f_E ötektik oran, ρ_S' ve ρ_{LE} katı ve sıvı ötektiklerin ötektik sıcaklıktaki yoğunluklarıdır. M gazın molekül kütlesi, R sabit, T_E ötektik sıcaklık, ve f ötektik sıcaklıktaki alaşımdaki gaz fazının oranıdır. Dendritik boşluk oluşturmak için gereken basınç dendrit kolları arası mesafe ile azalırken, boşlukların hacim yüzdesi dendrit kolları arasındaki mesafe ile artmaktadır [16].

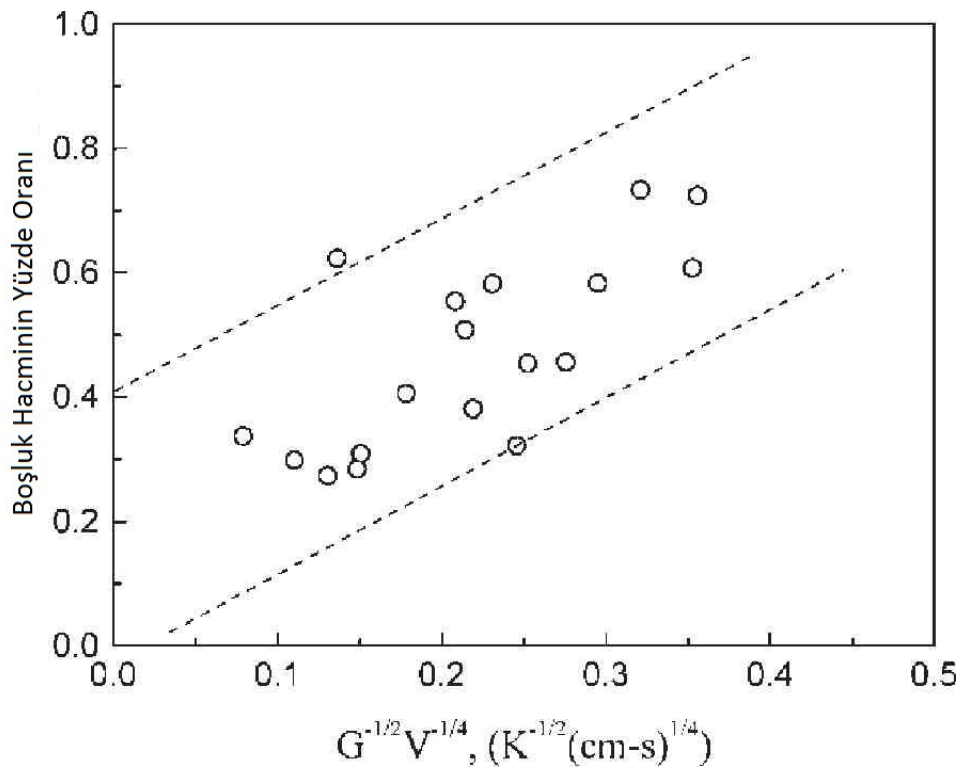
Mikro boşluklar ve termit kaynağı kondisyonu arasında bir ilişki belirlemek için katılaşma durumundaki dendrit kol mesafesinin bilinmesi gerekmektedir. Kurz ve

Fisher'a göre birincil dendrit kol mesafesi artan sıcaklık gradyanı ve katılma hızı (V) ile azalır. Ve bu durum şu şekilde gösterilebilir [16].

$$\lambda_1 \propto G^{-0.5} V^{-0.25} \quad (4.6)$$

Ayrıca termit kaynaklarındaki mikro boşlukların hacim oranı katılma sırasındaki ısı koşulları ile de ilişkilendirilebilir [16].

Bu analize göre, mikro boşlukların hacim oranları ile ısı koşulları arasındaki ilişki laboratuvarındaki termit kaynakları için araştırılmıştır. İlk olarak ısı transferi simülasyonları yapılmıştır. Daha sonra farklı bölgeler için sıcaklık gradyanı ve katılma hızı hesaplanmıştır. Son olarak aynı bölgeler için hesaplanan mikro boşlukların hacim oranı dendrit kolları arası mesafeye karşı grafik olarak çizilmiştir. Şekil 4.34'de bu grafik gösterilmektedir. Dendrit kolları arası mesafeyle mikro boşlukların arttığı barizdir. Ancak mikro boşluk ölçümlerindeki saçılma nedeniyle yapılan hesaplama bir aralık olarak sonuç vermektedir. Sonuç olarak termit kaynaklarında ısı değişkenlerine göre mikro boşluklar üzerinde kantitatif bir hesap yapmak zordur. Ancak şu açıkça ortaya konulabilir ki sıcaklık gradyanında ve katılma hızındaki azalma durumunda kaynağa daha fazla dağılmış bir mikro boşluk profili görülmektedir [16].



Şekil 4. 34 Dağılmış mikro boşlukların hacim yüzdesi [16]

Burada ısı parametresi ile hacim oranındaki artış lineer olarak görülmektedir ve denklemi, $vol\% = 0,18 + 1,32(G^{-0,5} V^{0,25})$ dir [16].

4.3.4 Kaynak Hatası Oluşum Haritaları

Termit ray kaynaklarının kalitesinin artırılması için, kaynak parametrelerinin optimize edilmesi gerekir. Bu nedenle kaynak hatalarının oluşmasına neden olan parametrelerin değerlerinin gösteren haritalar kullanmak yerinde olur. Chen vd. tarafından [15] kaynak hatalarının oluşması için gereken kritik kaynak parametreleri değerleri kullanılarak “hata oluşum haritaları” oluşturulmuştur.

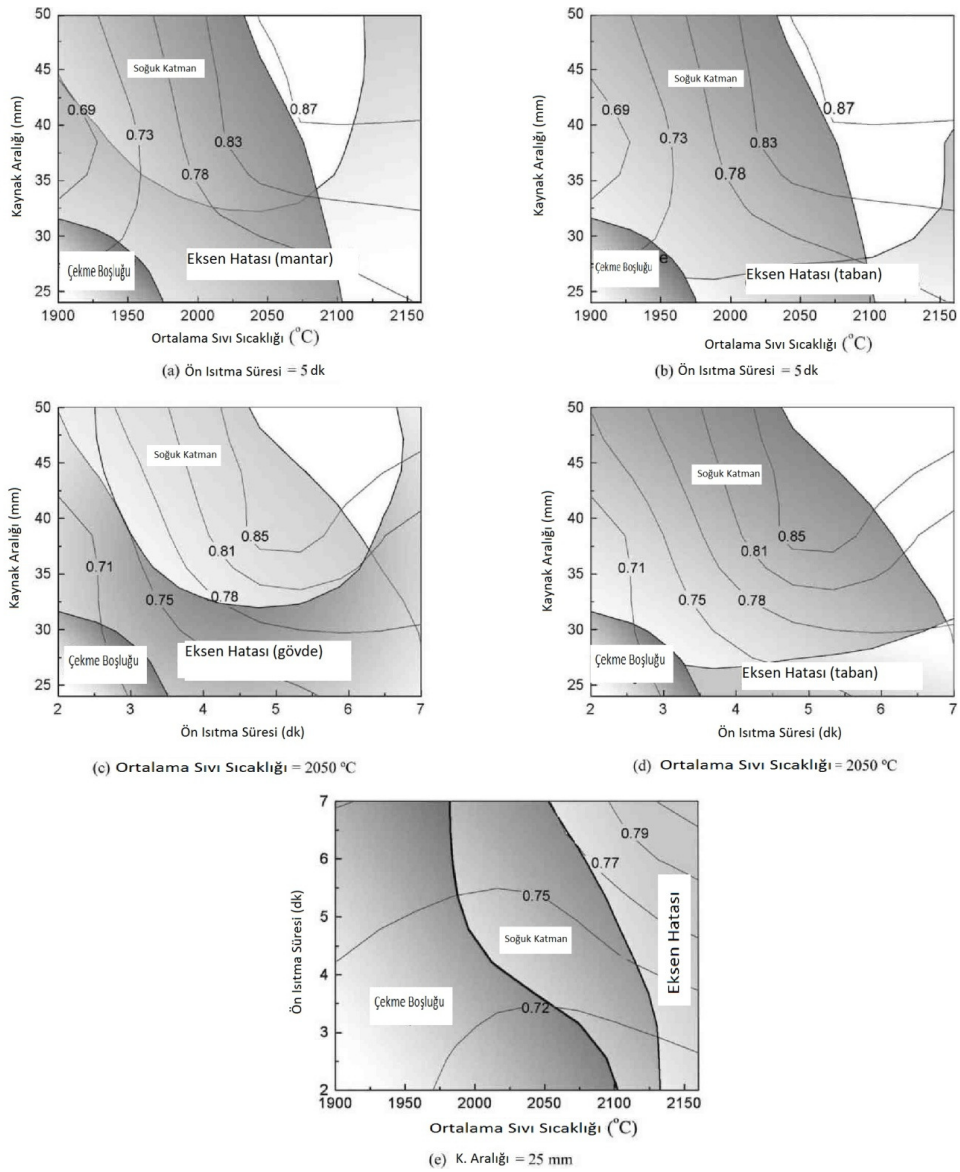
Haritaların oluşturulmasında kaynak kalitesine etki eden üç önemli ve kontrol edilebilir kaynak parametresi göz önüne alınmıştır. Bunlar kaynak aralığı, sıvı metal sıcaklığı ve ön ısıtma süresidir. Ray başı uzunluğu 7 mm ve ön ısıtmanın bitiminden dökümün başlangıcına kadar geçen süre 60 sn olarak sabitlenmiştir.

Kaynak hataları hata oluşum haritalarında farklı bölgeleri kapsayabilmekte veya üst üste binebilmektedir. Bu hata bölgeleri içinde, soğuk katman hatası ve çekme boşluğu hatası benzer şekildedir. Her ikisi de haritaların sol alt köşelerinde yer almaktadır. Sıvı metal sıcaklığının, ön ısıtma süresinin ve kaynak aralığının artırılması soğuk katman oluşumu ve çekme boşluğu oluşumunu engellemeye yardımcı olabilir [16].

Soğuk katmanın engellenmesi için, sıvı metal sıcaklığının ve ön ısıtma süresinin artırılması daha etkilidir. Aynı şekilde sıvı sıcaklığının ve kaynak aralığının artırılması çekme boşluklarının engellenmesinde etkilidir. Çekme boşluğu bölgesinin sınırı tüm hata oluşumu haritalarında soğuk katman hatası bölgesinden sol alttadır. Yani soğuk katman hatasının giderildiği bir kaynak yönteminde çekme hataları da giderilebilir. Ancak soğuk katman hatasının giderilmesi için kaynak parametrelerinde büyük artış gerekmektedir. Eğer ray başı uzunluğu termit kaynaklarında standart olan 7 mm den düşük olursa, soğuk katmanın giderilmesi için gereken koşullar ile çekme boşluğunun giderilmesi için gereken koşullar ile çok farklı olmayacaktır [16].

Eksen çizgisi hatasının engellenmesi için gereken koşullar daha karmaşıktır. Ray dokusu için eksen çizgisi hatası kaynak parametrelerinin orta değerlerinde meydana gelmeyecektir. (Şekil 4.35 (a) ve (c)). Ancak ray tabanında eksen çizgisi hatası büyük

oranda kaynak aralığına, az miktarda ise sıvı metal sıcaklığına ve ön ısıtma süresine bağlıdır. (Şekil 4.35 (b) ve (d)). Hata oluşum haritalarında, eksen çizgisi hatası ray dokusunda ray tabanından daha geniş kaynak aralığında oluşur. Bununla beraber ray dokusundaki eksen çizgisi hatasını engelleyecek kaynak aralığı değeri ray tabanındaki hataları da engelleyecektir. Ancak bazı eşik değerlerinin üzerinde sıvı metal sıcaklığında ve ön ısıtma süresindeki artış eksen çizgisi hatası oluşumunu teşvik edecektir. Bu değer yaklaşık 2050 °C sıvı metal sıcaklığı ve 5 dk ön ısıtma süresidir. Ön ısıtma süresi ve sıvı metal sıcaklığı, metal sıcaklığının çok yüksek olmadığı durumlarda ray tabanındaki eksen çizgisi hatasının üzerinde çok etkili olmaz [16].



Şekil 4. 35 Kaynak hatası oluşum haritaları [16] (izometrik çizgiler üzerindeki sayılar kaynak içindeki dağılmış mikro boşlukların hacim yüzdesini göstermektedir.)

Mikro boşlukların oluşumu kaçınılmazdır. Mikro boşlukların kaynak parametrelerine bağlılığı çekme boşluğu ve soğuk katman hatasının tersinedir. Kaynak aralığı ve sıvı metal sıcaklığı yükseldikçe mikro boşluk miktarı da artacaktır. Yani, soğuk katman, çekme boşluğu ve eksen çizgisi hatası ancak mikro boşluk oluşumu pahasına engellenebilir. Ancak mikro boşluk oluşumundaki bu artış çok fazla değildir [16].

Eğer mikro boşluklar göz ardı edilirse termit kaynaklarını kaynak hatası olmadan yapmak Şekil 4.35 (a)-(d) ye göre mümkün olabilir. Günümüzde kullanılan standart termit koşulları 25 mm kaynak aralığı, 5 dk ön ısıtma süresi ve 2050 °C ortalama sıvı sıcaklığıdır. Mikro boşluktan başka kaynak hatası içermeyen bir termit kaynağı yapmak için ön ısıtma süresi aynı kalmak koşulu ile sıvı metal sıcaklığı yaklaşık 2100 °C'ye, kaynak aralığı ise 35 mm ye çıkarılmalı, veya sıvı metal sıcaklığı aynı kalmak koşulu ile ön ısıtma süresi 6,25 dkya, kaynak aralığı 38 mm çıkarılmalıdır. Her iki durumda da ön ısıtma süresi ve sıvı metal sıcaklığı tek başına kalitenin yükseltilmesi için yeterli değildir [16].

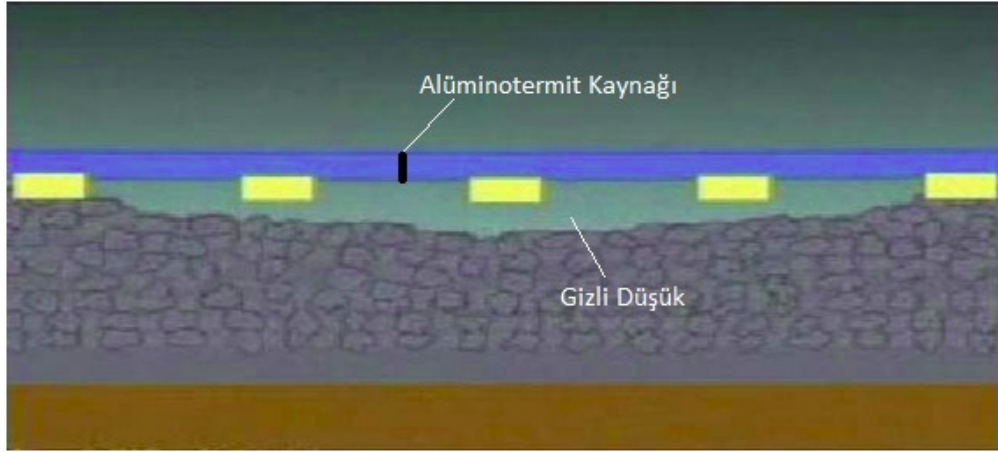
4.3.4.1 Kaynak Hatası Oluşum Haritalarının Sonuçları

- i. Pratikte kullanılan standart termit ray kaynağı ile, çekme boşlukları engellenebilirken, soğuk katman ve eksen çizgisi hatası oluşumu muhtemel olmaktadır. Ön ısıtma süresi ve sıvı sıcaklığı ile soğuk katman ve eksen çizgisi hatası oluşumu azalmaktadır.
- ii. Termit kaynaklarında mikro boşluk oluşumu engellenememektedir. Soğuk katman ve eksen çizgisi hatalarının engellenmesi için uygulanan şartlar daha büyük oranlarda mikro boşluk oluşmasına neden olacaktır.
- iii. Kaynak aralığını artırmak soğuk katman ve eksen çizgisi hatasının engellenmesi için uygundur. Günümüzde kullanılan 25 mm kaynak aralığı artırılmalıdır. Ön ısıtma süresi ve sıvı metal sıcaklığının artırılması kaynak boşluğunun artırılması kadar etkili değildir. Kullanılan standartlara göre 38 mm kaynak aralığı ve ön ısıtma süresindeki bir miktar artış hatasız kaynak yapımı için en kullanışlı yöntemdir [16].

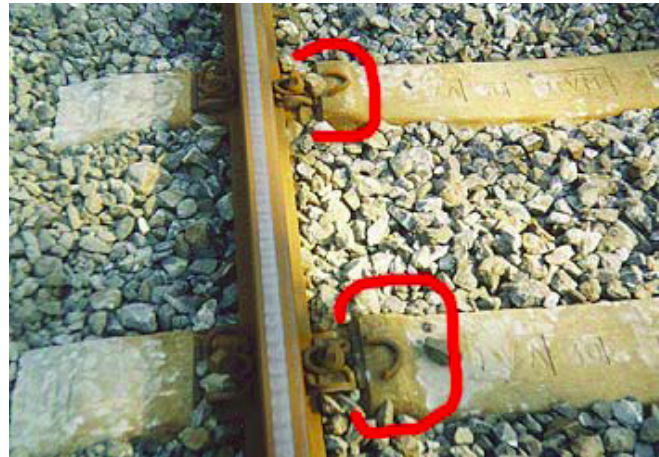
4.3.5 Kaynak Hasarları

Geleneksel kaynaklı demiryollarında meydana gelen ray kırıkları ve hasarlarının çoğunluğu (yaklaşık % 60) contalarda meydana gelmektedir. Cebireli bağlantı sisteminin terk edilmesinin en önemli nedeni bu olmakla beraber cebirelerin yerine kullanılan kaynaklar da muhtemel hasar bölgeleri teşkil etmektedir [17].

Alüminotermite kaynaklarının demiryolu işletmesi için hasar maliyetleri kendinde meydana gelen hasarlara ek olarak demiryolu alt ve üstyapısında neden olduğu hasarlar ve olumsuz durumlar ve bakım maliyetlerinin toplamıdır. Alüminotermite kaynaklarından kaynaklanan hasarlara örnek olarak şekil 4.36'da yolda meydana gelen gizli düşük ve şekil 4.37'de kırılan bağlantı malzemeleri görülmektedir.



Şekil 4. 36 Alüminotermite kaynağından kaynaklanan gizli düşük hasarı [18]



Şekil 4. 37 Alüminotermite kaynağındaki vuruntulardan dolayı kırılan bağlantı malzemeleri [18]

Alüminotermite kaynaklarının bakım ve hasar maliyetlerine örnek olarak İstanbul Ulaşım A.Ş.'ye ait çizelge 4.6'daki hat bakım maliyet analizi gösterilebilir.

Çizelge 4. 6 İstanbul Ulaşım A.Ş. ait hat bakım maliyeti analizi [18]

İŞ NO	İŞİN CİNSİ	BİRİM/ B.FİYAT	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	TOPLAM TUTAR	KAYNAK PROBLEMİ DOLAYISIYLA İLAVE TUTAR
BAKIM ÇALIŞMALARI															
1	RAY ÇANTASI DOLGU KAYNAĞI	ADET				585	575	11	184	173	383	85	126	2.122	
		\$70	0	0	0	40.950	40.250	770	12.880	12.110	26.810	5.950	8.820	148.540	148.540
2	TERMIT KAYNAĞI YAPIMI	ADET	6			2	22	22	63	46	37	72	23	293	250
		\$240	1.440	0	0	480	5.280	5.280	15.120	11.040	8.880	17.280	5.520	70.320	60.000
3	RAY ÇANTASI BAKIMI	ADET				1.034	635	64	366	847	656	1.033	40	4.715	
		\$5	0	0	0	6.785	5.398	544	3.111	7.200	5.916	8.781	340	40.078	40.078
4	RAY TAŞLAMASI	MTÜL	3.120	1.925	25.385		16.564	35.439	1.628	82	62.675	950	115	147.883	
		\$3	9.360	5.064	79.963	0	52.177	111.633	5.128	258	197.426	2.953	362	465.831	
5	MANUEL BURAJ	M.RAY	1.185	3.865		150	1.085	450	1.647	373	341	36	36	9.168	
		\$4	4.740	15.078	0	624	4.344	1.822	6.582	1.552	1.419	150	150	38.130	18.069
6	MAKİNE İLE BURAJ	M.YOL	35.688		36.800	5.100	45.790	47.320	16.930	37.755	19.000	29.400	20.750	294.533	
		\$3	102.781	0	105.984	14.688	131.875	136.282	48.758	108.734	54.720	84.672	69.760	848.255	424.128
7	MANUEL DRESAJ	M.YOL						440	120	203	341	250	150	1.504	
		\$10	0	0	0	0	0	4.400	1.200	2.030	3.410	2.500	1.500	15.040	7.520
8	ÇANTALARDAKİ BALAST DEĞİŞİMİ	M3							27	67					
		\$20	0	0	0	0	0	0	540	1.340	0	0	0	1.880	1.880
9	BALAST TESVİYE	M.TÜL TEK YOL	15.499		33.785	7.800	8.430	24.345	25.000	14.873	27.315	22.954	13.793	193.794	
		\$2	36.423	0	79.355	18.330	19.811	57.211	58.750	34.952	64.190	53.942	32.414	455.416	227.708
10	BALAST YENİLEME	mtül												11.000	
															500.000
Kaynak Çantalarından Dolayı Yapılan Bakımlar Toplamı															\$1.706.695
Normal Bakımlar														\$1.485.942	
Tüm Bakım Maliyeti Toplamı														\$3.192.637	
ORAN															2,15

Bu tablodan anlaşıldığı üzere normal bir demiryolunda olmaması gerektiği halde var olan bu kaynak kusurlarından dolayı 11 yılda yaklaşık olarak 1.706.695 \$ ekstra bakım bedeli harcanmıştır. Bu ekstra bakım giderlerinden dolayı 11 yıllık normal bakım maliyetleri 1.485.942 \$ olması gerekirken yaklaşık olarak 3.192.637 \$ olmuştur. Mukayese edildiğinde kaynak problemlerinden dolayı tüm hat bakım maliyetleri yaklaşık olarak 2,15 kat bir artış göstermiştir.

Japonya'da kaynak hasarları ile ilgili yapılan [19] daki araştırmaya göre, bir yıl içinde 53 adet alüminotermite kaynağı ve 12 adet yakma alın kaynağı hasarı görülmüştür.

Alüminotermite kaynağı hasarlarının % 73'ü ray tabanında başlayan enine çatlaklardır. Bu hasarların % 61'i kaynağın yapılmasından sonraki ilk iki yıl içinde gerçekleşmiştir [19].

Kaynak hasarlarına bir diğer örnek olarak çizelge 4.7’de TCDD 1. Bölge Müdürlüğü mıntıkasında meydana gelen kaynak kırıkları gösterilebilir. Bu çizelgeden de anlaşıldığı üzere kaynak kırıkları sürekli demiryolunda özellikle kış aylarında sürekli olarak meydana gelmekte ve önemli bir maliyet kalemi oluşturmaktadır.

Çizelge 4. 7 TCDD 1.Bölge Müdürlüğü mıntıkasında meydana gelen kaynak kırıkları

AYLAR		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	TOPLAM
2003	ADET	17	12	6	3	0	0	0	1	0	6	5	9	59
2004	ADET	23	11	9	8	4	4	3	2	5	2	16	22	109
2005	ADET	5	6	12	12	17	4	20	11	1	8	15	3	114
2006	ADET	36	48	15	5	6	0	1	0	3	3	16	7	140
2007	ADET	16	9	4	7	2	0	0	0	0	1	8	23	70
2008	ADET	26	6	8	2	0	1	0	1	0	4	16	8	72
2009	ADET	34	13	10	2	0	0	0	0	0	1	2	3	65
2010	ADET	17	8	5	2	0	0	0	0	3	4	0	3	42
2011	ADET	10	3	3	0	1								17

4.4 Alüminotermite Kaynağıyla İlgili Teknolojik Gelişmeler

Alüminotermite ray kaynağı teknolojisi 100 yıldan daha eski olmasına rağmen günümüzde hala gelişmeye devam etmektedir. Son yıllarda uygulamaya koyulan ve yakın gelecekte uygulamaya koyulabilecek teknolojik gelişmeler bu bölümde incelenmiştir.

4.4.1 Kaynak Prosesindeki Gelişmeler ve Sonuçları

Günümüzde artan dingil yükleri, termite kaynakları da dahil olma üzere tüm demiryolu parçalarından beklentileri artırmıştır. Termite kaynakları tarihi boyunca uzun kaynaklı raylarda döküm mikro yapısından dolayı hep bir zayıf nokta olarak görülmüştür. Ancak son 10 yılda yapılan çalışmalar sonucunda oldukça büyük proses gelişimleri gözlenmiştir [11].

Ray yorulması ve aşınmasının azaltılması amacıyla son yıllarda oldukça temiz ve sert ray çelikleri kullanılmaktadır. Özellikle mantarı sertleştirilmiş raylar dikkat çekicidir. Tamamen perlitik mantarı sertleştirilmiş raylar 360-380 BHN hatta 400 BHN ye kadar çıkan sertlik değerleri göstermektedir [11].

Mantarı sertleştirilmiş rayların aşınma dirençleri geleneksel raylara göre çok daha iyidir. Her ne kadar kaynak sertliği ile kaynağın darbe direnci arasında direk bir bağlantı yoksa da, yüksek sertlikteki kaynakların daha iyi sonuç vermesi beklenebilir. Ray sertliklerindeki artışlara uyum sağlayabilmek kaynak sertliğini artırmak üzere değişik kimyasal kompozisyonlarda termit malzemeleri denenmiştir. 1980 li yıllarda kaynak malzemelerinin sertlikleri standart ray sertliği olan 285 BHN civarındaydı. Günümüzde ise piyasadaki tamamen perlitik kaynak malzemesinin sertliği aşağıdaki gibidir [11];

Standart sertlik: 305 BHN $\pm$ 20

Yüksek sertlikteki kaynak - 1.seviye: 340 BHN $\pm$ 20

Yüksek sertlikteki kaynak - 2.seviye: 370 BHN $\pm$ 20

Son yıllarda tane boyutları konusunda da büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Genel olarak, küçük taneler büyük tanelere göre daha yüksek mukavemet, düktilite ve kırılma tokluğu değerleri sağlamaktadır. Eski analizler kaynak bölgesindeki tane boyutunun ASTM'ye göre yaklaşık 1,5 olduğunu göstermektedir. Günümüzde ise bu değer ASTM ye göre 4 civarındadır. Bu değişim alaşım elemanları ve kimyasal kompozisyonda yapılan değişiklikler sonucu ortaya çıkmıştır [11].

4.4.2 Potayla İlgili Gelişmeler

Pota, reaksiyonun içinde gerçekleştiği, ergime, sıvı çelik-cüruf ayrımının meydana geldiği parçadır. Bu nedenle potanın olabildiğince yüksek sayıda kaynak sırasında oldukça yüksek sıcaklıklara dayanması beklenir. Potada yakın gelecekte meydana gelen en önemli gelişme otomatik bagaların ortaya çıkmasıdır. Otomatik бага sisteminde sıvı metal gerekli sıcaklığa geldiğinde döküm ağzını kendiliğinden açan bir tıpa bulunur. Bu icattan önce ergiyik metalin dökülmesi elle yapılmaktaydı. Buda işçi tecrübesine yüksek bağlılık ve kaynak kalitesinde düşüklüğe neden olmakta idi [11].

Bir diğer önemli gelişme ise tek kullanımlık potaların piyasaya çıkmasıdır. Bu gelişme kaynak için gerekli parçaları 13'ten 6'ya indirmiştir. Tek kullanımlık potaların diğer avantajları; ekipmanların daha hafif olması, potanın tavlansının gerekmemesi, sabit бага açılma süresi ve potadan kaynağa kaçan safsızlıkların azalması olarak sayılabilir [11].

4.4.3 Kalıpla İlgili Gelişmeler

Termit kaynağı bir döküm işlemi olduğundan, yüzey kalitesinin mükemmel olması beklenmemelidir. Bununla birlikte, kaynağın çalışması sırasında gerilim yığılmasına neden olacak girinti ve çıkıntılarının mümkün olduğunda azaltılması sonucu olabildiğinde pürüzsüz yüzeyler elde etmek istenmektedir. Günümüzde kullanılan kalıplar sıkıştırılmış kumdan üretilmektedir ve hafiftirler. Geçmişte kullanılanlar ise ağır, yüzey kalitesi yetersiz ve üretimi daha zor kalıplardı [11].

Günümüz kalıpları yüksek refrakter nitelikli malzemelerden yapılmıştır ve ısı dirençleri yüksektir. Bazı kalıplar çinko içeren çözeltilerle kaplanmıştır [11].

Tüm bu gelişmeler sonucu yüzey kaliteleri yükselmiş, taşlama gereksinimi azalmıştır. Ayrıca özellikle bilgisayar programlarının kalıp dizaynında kullanılmasıyla kalıp tasarımındaki iyileşme de inkar edilemez. Bu sayede özellikle farklı kesitlere sahip rayların kaynatılması durumunda problem yaratan kalıp-ray uyumsuzluğu sorunu büyük ölçüde çözülmüştür [11].

Bu iyileşmeler sonunda yorulma hasarlarına neden olan gerilme yığılması noktaları git gide azalmıştır [11].

4.4.4 Üretim Teknolojileri İle İlgili Gelişmeler

Avrupalı başlıca termit üreticileri ISO 9000 kalite yönetim sistemini uygulamaya geçirmişlerdir. Bu sayede üretim koşullarında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Üretim standartları sıkılaştırılmış, tolerans aralıkları daraltılmıştır. Üretimde kullanılan ekipmanların büyük kısımları modernize edilmiştir. Doğru kimyasal kompozisyonlardan emin olmak için bileşenler dikkatlice ölçülmekte, paket üzerlerindeki etiketlerden üretim bilgilerine kolayca ulaşılabilmektedir [11].

4.4.5 Kaynakçıların Eğitimi İle İlgili Gelişmeler

Termit kaynağı malzemeleri üreticileri, ürettikleri malzemenin kalitesinin demiryolunda çalışma sırasında uğradığı hasar sayısı ile ölçüldüğünün bilincindedir. Bilincinde oldukları bir diğer şey ise termit kaynağının kalitesinin kaynakçıya direk olarak bağlı olduğudur. Kurallara uygun yapılmış bir kaynak, kural dışı bir kaynağa göre çok uzun

süreler boyunca hatta hasara uğramadan çalışabilecektir. Bu nedenle termit üreticileri kaynakçı kalitesinin artırmak için sürekli iyileştirilen eğitim yayınları çıkarmaktadırlar. Kaynak eğitimleri kağıt üzerinde kalmayarak sahada uygulamayı da içermektedir. Bu sayede son zamanlarda kaynakçıların bilgi seviyeleri hızla artmaktadır [11].

4.4.6 Sıkıştırılmalı Kaynaklar

Kaynak bünyesindeki süreksizlik sayısını azaltarak kaynağın mekanik özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanan yöntemlerden biri sıkıştırılmalı kaynaktır. Bu yöntem yine normal bir termit kaynağı yöntemi olarak düşünülebilir. Ancak bu yöntemde kaynak hala sıvıyken yapılan bir mekanik dövme işlemi söz konusudur [11].

Yöntemde sıvı metalin büyük bir kısmı dışarı taşar ve daha az inklüzyon ve boşluk içeren dar kaynak aralıklı bir kaynak elde edilmiş olur. Çekme testleri sonuçlarından bu yöntemin normal termit kaynağı yöntemine nazaran daha duktıl bir yapı içerdiği görülmüştür [11].

Bu yöntemde karşılaşılan sorunlar ise; dövme sırasında ray masterlamanın zorluğu, dışarı taşan metalin kaynaktan sonra temizlenme işleminin gerekliliği ve kötü eğme testi sonuçlarıdır. Bu yöntemin demiryollarında kullanılması için henüz gelişmeye ihtiyacı vardır [11].

4.4.7 Sıvı Çeliğin Titreştirilmesi

Katılaşmakta olan bir döküm parçasına titreşim uygulayarak tane küçültmesi yapılabileceği bilinmektedir. Küçük eşit tane boyutlu bir yapı da büyük tanelere göre daha iyi mekanik özellikler gösterecektir. Termit kaynağına sonik etkinin yapılması ile ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada sonik etkinin termit yapısındaki tane küçültme işleminde oldukça etkili olduğu gösterilmektedir. Ancak katılaşmanın son dönemindeki titreşimler termit yapısında sıcak yırtılmalara neden olabilmektedir. Titreşimlerin uygun olarak kullanılması durumunda ise kaynaktaki kalıntı gerilmeler azalmaktadır [11].

Mekanik titreşim uygulanan kaynaklarda 20-100 Hz arasındaki titreşimlerin boşluk içeriğinde bir azalmaya neden olmadığı, sıkıştırma ile titreştirmenin beraber

uygulandığı kaynakların ise normal kaynaklardan çok daha iyi mekanik özellikler gösterdiği görülmektedir [11].

4.4.8 Sıvı Çeliğin Süzülmesi

Eğer termit kaynağındaki safsızlıkların sayısı ve boyutları küçültülebilirse kaynağın ömrü uzayacaktır. AISI 1080 çelik levhalarla yapılan kaynakların incelenmesi sonucunda sıvı termit çeliğinin filtrelenmesiyle safsızlıkların azaltılabileceği görülmüştür [11].

Sıvı çelik potadan kalıba %24 zirconia mullit filtrelerden geçirilerek dökülmüştür. Her ne kadar filtreler kısmen çözüldüyse de kaynak içeriğindeki safsızlık miktarı azalmış, yöntem kısmen başarılı olmuştur. Çözülmeyen ve sahada kolaylıkla kullanılabilen filtrelerin geliştirilmesi ilerideki uygulamalar için faydalı olabilecektir [11].

4.4.9 Kaynak Sonrası Normalizasyon

Bu konudaki çalışmalar kaynağın tane boyutunu küçültmek ve mekanik özelliklerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Schroeder ve Poirier tarafından [20] de verilen çalışmada kaynak sonrası normalizasyonun kaynak yapısına etkisi incelenmiştir. Bu çalışma için yaptıkları kaynaklarda %0,5 veya %0,75 C içeren raylar için uygun, martenzit içermeyen, homojen yapılar elde etmişlerdir. Ancak bu metal de düşük kesit daralması (%2-6) ve düşük darbe enerjisi (1,5-2,8 J/ V çentikli numunelerde) göstermiştir [20].

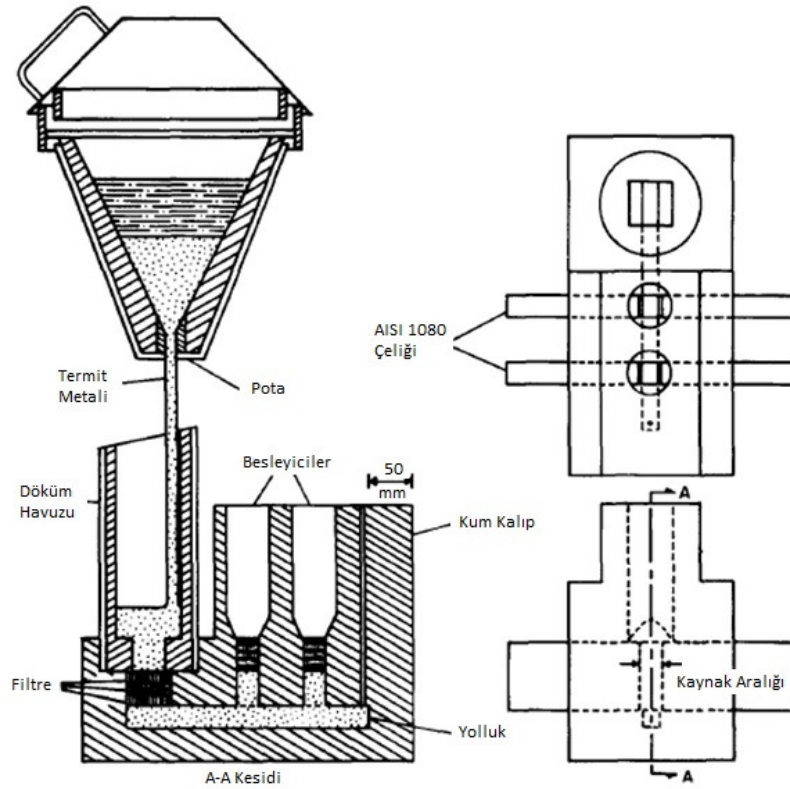
Yapının kırılganlığının nedenleri dönüşümden önceki iri östenit taneleri ve yüksek inklüzyon miktarıdır. Normalizasyon işleminin çelik dökümlerde östenit tane boyutunu küçülttüğü ve çekme uzaması ve darbe enerjisini artırdığı bilinmektedir. Arada bir miktar kompozisyon farkı olsa da aynı işlemin termit metalinin de aynı özelliklerinin iyileştirmesi beklenebilir [20].

Bu çalışmada termit kaynağı 25 mm kalınlığındaki AISI 1080 çeliğini kaynaklamak için kullanılmıştır. Bu işlemden sonraki özellikler ray kaynağıyla kıyaslanabilecek düzeye gelmiştir. Aynı zamanda kaynakların yapılmasında zirconia mullit döküm filtreleri de kullanılmıştır. Daha sonra numuneler normalize edilmiş ve bu işlemin özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir [20].

Yapılan kaynaklar ve uygulanan parametreler çizelge 4.8’de, kalıp dizaynı ve metal akışı ise şekil 4.38’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 8 Schroeder ve Poirier tarafından yapılan kaynaklar ve parametreleri [20]

Kaynak	Açılma Zamanı (s)	K. Aralığı		Filtre
		Alt	Üst	
1-X	21	38	25	Yok
2-X		25	38	Yok
3-X	23	38	25	Var
4-X		25	38	Var
7-X	25	25		Var
8-X		25		Var
9-X	20	25		Var
9-XI		25		Var



Şekil 4. 38 Kalıp dizaynı ve metal akışı [20]

Levhalar kesilmiş ve dağlanmıştır. Kaynağın tepe yüzeyinden 13 mm altta hem kaynak metalinden hemde HAZ bölgesinden sertlik profili alınmıştır. Aynı yerden çekme numuneleri de çıkartılmıştır [20].

Normalizasyon işleminin etkilerini incelemek için çıkarılan numuneler 850°C de östenitlenmiş ve dönüşüm bölgesine kadar (750-550°C) farklı hızlarda soğutulmuştur. Östenitin dönüşümünü incelemek için sertlik ve mikro yapı incelemesi yapılmıştır. Sonuç olarak dönüşümün 20 dkda tamamlandığı, bunda sonra sertlik ve yapıda bir değişiklik meydana gelmediği saptanmıştır. Soğutma işlemi farklı atmosferlerde, farklı hızlarda gerçekleştirilmiştir [20].

4.4.9.1 Sertlik İncelemesi

Sertlik numuneleri kaynağın st yüzeyinden 13 mm alttan, kaynak metali ve HAZ bölgesinden alınmıştır. Ayrıca ısıl işlem görmüş 1-X.3 ve 2-X.5 numunelerinden çok hızlı soğuma rejiminin etkilerini incelemek için tüm eksen boyunca sertlik taramaları alınmıştır [20].

Kalan ısıl işlem görmüş numuneler için sertlik testi ortada 30 mmlik kesimde yapılmıştır. Bu veriler izelge 4.9 ve 4.10'da döküm ve ısıl işlem görmüş kaynaklar için gösterilmiştir. şekil 4.39 ve 4.40'ta sertlik profilleri gösterilmiştir. Kaynağın sertliği ray kaynağının sertliğine yakındır. Ancak burada HAZ bölgeleri daha dar ve daha serttir. Bunun nedeni muhtemelen rayların kaynaktan önce ön ısıtılması ancak bu çalışmada kullanılan levhaların n ısıtılmamasıdır [20].

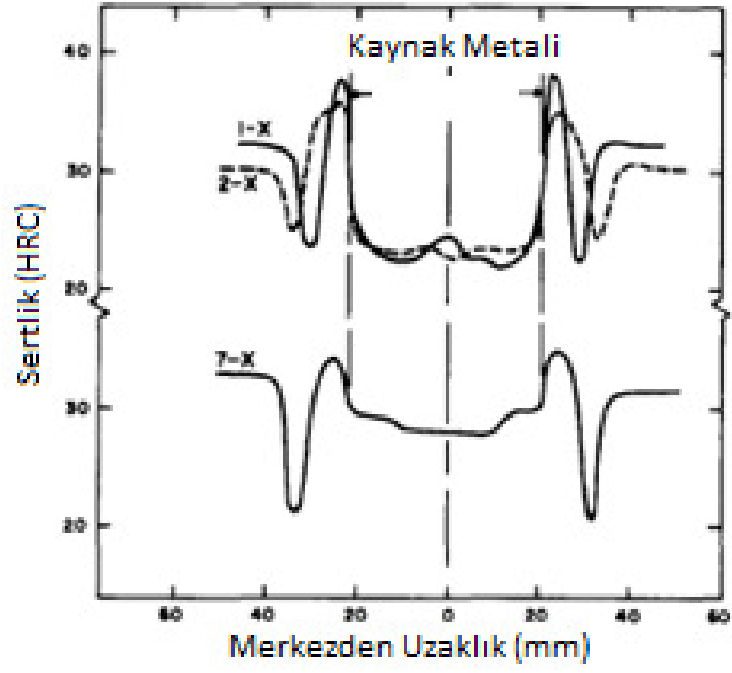
Çizelge 4. 9 Kaynak metali ve HAZ'ın boyutları ve sertlik dağılımı [20]

Kaynak	Kaynak Metali Genişliği (mm)	HAZ Genişliği (mm)		Kaynak Metalinin Sertliği (HRC)	HAZ'ın Sertliği				Levha Sertlikleri (HRC)	
					Max	Min	Max	Min		
1-X	42	10	10	23	38	23	39	22	32	33
2-X	42	14	14	23	36	25	35	24	30	30
3-X	38	16	16	21	33	21	32	20	30	32
4-X	45	13	13	21	32	21	32	20	29	29
7-X	42	14	12	28	34	21	35	20	33	31
8-X	32	12	12	29	34	20	33	21	30	29
9-X	39	13	18	28	33	20	33	20	29	29

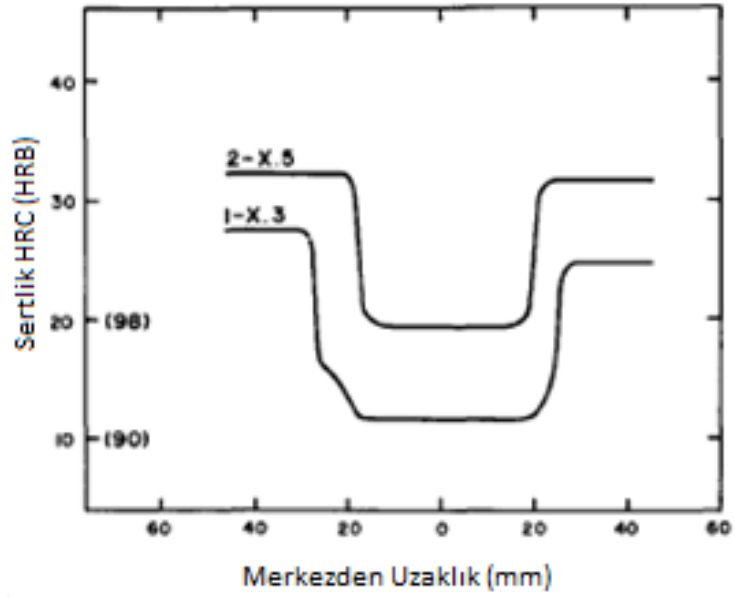
7-X, 8-X ve 9-X numunelerinin sertliklerinin 1-X, 2-X ve 3-X'ten daha yüksek olmalarının nedeni ise aradaki kompozisyon farkıdır [20].

Çizelge 4. 10 Kaynak metalinin normalizasyondan sonraki sertliği [20]

Kaynak (Soğuma Hızı İşaretiyle)	Soğuma Hızı (°K/dk)	Kaynak Metalinin Sertliği (HRC)
1-X.3	12	11
4-X.3	12	9
1-X.4	37	11
4-X.4	37	11
2-X.1	54	14
3-X.1	54	13
2-X.5	154	20
3-X.5	154	19
7-X.3	12	16
9-X.3	12	17
7-X.4	37	19
8-X.1	54	21
8-X.5	154	28
9-X.5	154	28



Şekil 4. 39 Normalizasyondan önce sertlik dağılımı [20]



Şekil 4. 40 Normalizasyondan sonra sertlik dağılımı [20]

Şekil 4.40, en yavaş ve en hızlı soğuma hızlarında ana metal ve kaynak metalindeki sertlik dağılımını göstermektedir. Normalize işlemi sayesinde HAZ'ın dış bölgesindeki yumuşama giderilmiştir. Ana metalin sertliği ısıtılma işlemi sonucu olarak 102-108 HRB arasında değişmektedir [20].

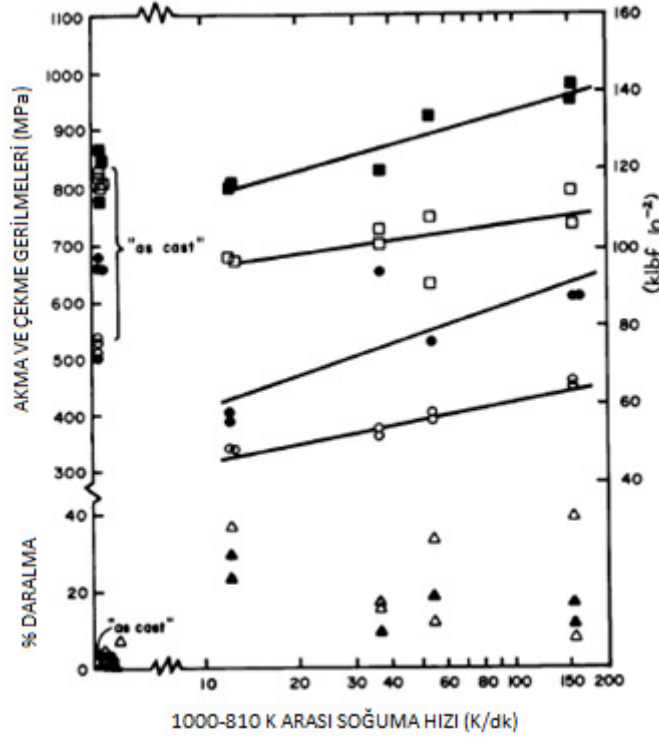
Çizelge 4.11'den anlaşıldığı üzere yumuşak kaynaklar 0,44-0,46 C içerirken, sert kaynaklar 0,52-0,59 arasında C ve 0,06 V içermektedir. Burada iki kompozisyon arasında 8 HRC'lik sertlik farkı vardır ki bu fark sadece C içeriği ile açıklanamaz. Fark C ve V'un ortak etkileri ile VC oluşturmaları ve mikro alaşımlama etkisi göstermeleridir. Manning'e göre 0,06 V içeriği sertlikte 6 HRC'ye kadar fark yaratabilmektedir [20].

Çizelge 4. 11 Yapılan kaynakların kimyasal kompozisyonları [20]

Element	Kaynak 2-X	Kaynak 4-X	Kaynak 8-X	Kaynak 9-X
C	0,44	0,46	0,59	0,52
Mn	0,99	1,00	1,04	0,96
P	0,029	0,029	0,027	0,022
S	0,005	0,005	0,006	0,005
Si	0,29	0,28	0,33	0,38
Ni	0,04	0,04	0,03	0,04
Cr	0,08	0,08	0,06	0,06
Mo	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cu	0,04	0,04	0,05	0,05
Al	0,13	0,12	0,16	0,074
Ti	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
V	<0,005	<0,005	0,059	0,058
Nb	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Zr	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

4.4.9.2 Çekme Özellikleri

Çekme değerleri sadece döküm ve ısıtma işlem görmüş kaynak metali için belirlenmiş ve incelenmiştir. Soğuma hızına bağlı olarak normalizasyon işleminin etkisini şekil 4.41’de gösterilmiştir. Döküm durumunda 0,52-0,59 C içeren kaynakların akma mukavemeti, 0,44-0,46 C içeren kaynaklardan daha yüksek olmasına karşın çekme mukavemetleri neredeyse eşittir. Manning’e göre, C içeriği akma mukavemetini 20 MPa’a kadar, Pickering’e göre 0,06 V içeriği 30 MPa kadar daha artış sağlayabilir. Bu iki faktör beraberce şekil 4.41’de gösterilen iki döküm çeliği grubu arasındaki 150 MPa’lık akma mukavemeti farkında önemli değildir. Ancak Manning ve Pickering’in çalışmaları işlenmiş çeliklerle ilgilidir ve ilk östenit tane boyutu ve mikro alaşımlama olayları döküm çeliklerde tam olarak aynı değildir [20].



Şekil 4. 41 Normalize olmuş kaynakların çekme özellikleri değişimi [20]

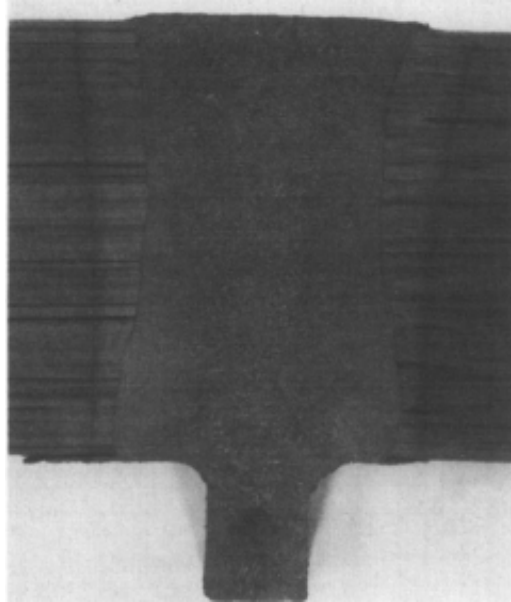
37°K/dk'nin üzerindeki soğuma hızlarında 0,52-0,59 C içeren metalin mukavemeti standart termit porsiyonları ile yapılan ray kaynaklarından fazladır. Çekme kesit daralması iki numune dışındaki diğer numunelerde oldukça iyileşerek %10'un üstüne çıkmıştır. Yani kompozisyon ve normalizasyon işlemi sırasındaki soğuma hızının doğru

kontrolü sayesinde ray kaynağı ile aynı mukavemette ancak daha tok bir kaynak metali elde etmek mümkün olmaktadır [20].

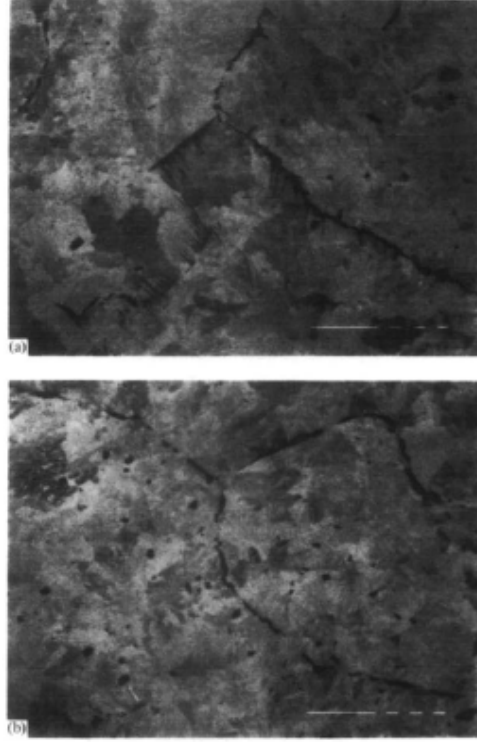
4.4.9.3 İç Yapı İncelenmesi

Tüm döküm çeliklerin makro yapıları, şekil 4.42'dekine benzerdir. Porozite kaynağın ortasında yoğunlaşmış ve muhtemelen çekme davranışlarını hem döküm, hem ısıtma işlemi görmüş halde etkilemiştir.

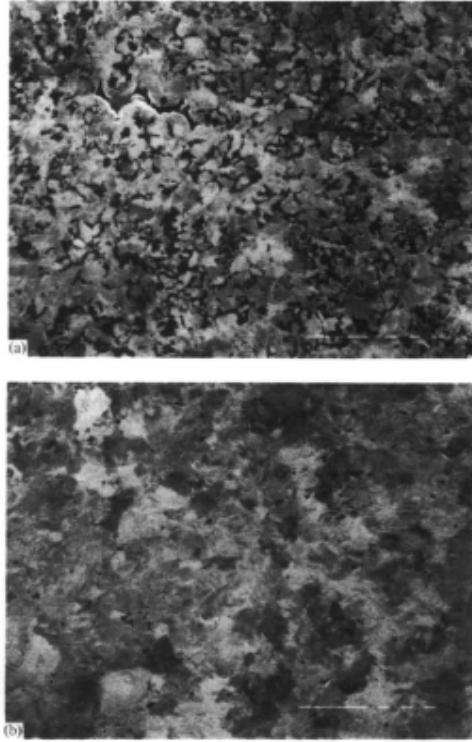
Döküm ve ısıtma işlemi görmüş çeliklerin mikro yapıları şekil 4.43 ve 4.44'de gösterilmektedir. Şekil 4.43 (a), 0,44-0,46 C içeren döküm yapısını göstermektedir. Şekil 4.43 (b) 0,52-0,59 C ve 0,06 V içeren döküm yapıyı göstermektedir. 0,44-0,46 C içeren çelikler (C kaynağı) ilk östenit tane sınırlarında witmanstten kenar levhaları içeren pro-ötektoid ferrit içeren östenitik tane sınırları içermektedir. 0,52-0,59 C ve 0,06 V içeren çeliklerde (C-V kaynağı) ise daha az pro-ötektoid ferrit içerirken, hiç witmanstten kenar levhası içermemektedir. Ray kaynağı metalinde ise hiçbir durumda ferrit içeren levha gözlenmemiştir. Bunların gözlenmiş olması bu levhaların ray kaynağından daha hızlı soğuduğunu göstermektedir [20].



Şekil 4. 42 Kaynağın makro görüntüsü [20]



Şekil 4. 43 Isıl işlem görmemiş kaynaklarda ötektoid altı ferrit (a) 1-X, %0,44 C (b) 7-X, %0,59 C [20]

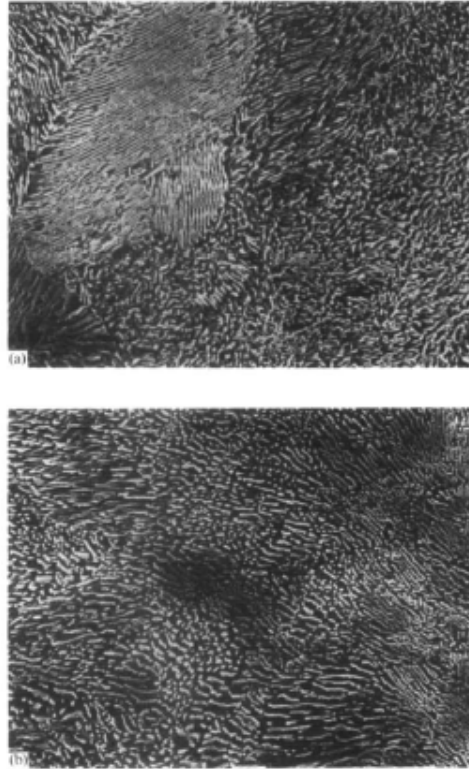


Şekil 4. 44 Isıl işlemin etkisi (a) 4-X, %0,46 C, (b) 7-X.4, %0,59 C [20]

Şekil 4.44 kaynak metalinin normalizasyondan sonra mikro yapısını göstermektedir. Bunlar şekil 4.43 ile karşılaştırıldığında östenit tanelerinin inceldiği açıktır. Karbon

kaynağında (şekil 4.43 (a)) % 15-20 oranında bağlı ferrit bulunmaktadır. C-V kaynaklarında ise bu oran %5 civarındadır (şekil 4.43 (b)). Beklendiği üzere östenit tanelerinin incelmesi soğuma hızından bağımsızdır. Ancak pro-ötektoid ferrit miktarı en yavaş soğuma hızından en hızlı soğuma hızına doğru azalmaktadır [20].

Ferrit ile beraber iç yapıda hakim faz perlittir. Dönüşmüş perlit ve beynit ray kaynaklarında da gözlenen hakim fazlardır. Şekil 4.45 bahsedilen fazlardan oluşan yapıya örnek olarak gösterilebilir. C-V kaynaklarının C kaynaklarından daha fazla dönüşmüş ferrit ve beynit içerdikleri gözlenmiştir. Ayrıca normalize edilmiş kaynak metalinde dönüşmüş perlit ve beynit miktarının soğuma hızının artmasıyla arttığı görülmüştür. Bu durum artan akma ve çekme mukavemetiyle örtüşmektedir (Şekil 4.41) [20].



Şekil 4. 45 Normalize edilmemiş kaynağın mikro yapısı (a) 9-X’de perlit yapısı, (b) 3-X’de beynit yapısı [20]

4.4.9.4 Isıl İşlem Görmüş Kaynağın Karakterizasyonu

Alüminotermite ray kaynaklarının özelliklerinin ısı ilemele iyileştirilmesi ile ilgili bir diğerk çalışma da [17]’de verilmiş olup Ilıc vd. tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan

ray (R260 kalitesinde) ve kaynağın kimyasal kompozisyonları çizelge 4.12’de, mekanik özellikleri çizelge 4.13’te verilmiştir.

Çizelge 4. 12 Kullanılan ray ve kaynağın kimyasal kompozisyonları [17]

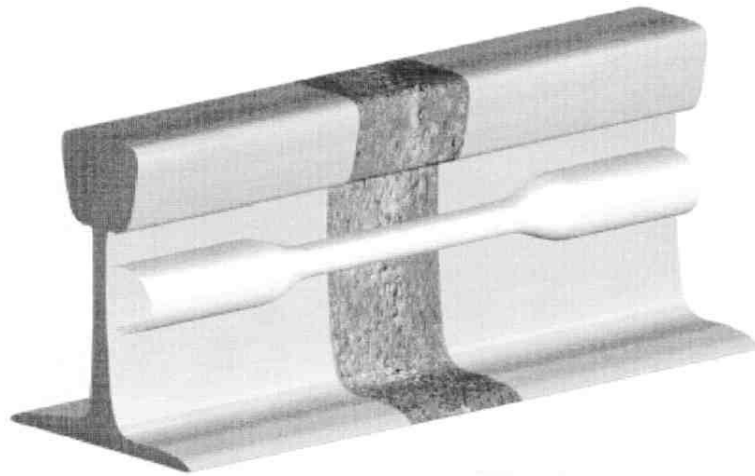
Numune	C	Mn	Al	Si	V	P	S
Ray	0.6-0.8	0.8-1.3		0.1-0.5		<0.04	<0.04
Kaynak	0.58	1.07	0.54	0.48	0.16	<0.02	<0.03

Çizelge 4. 13 Kullanılan ray ve kaynağın mekanik özellikleri [17]

Malzeme	En Büyük Akma Gerilmesi(MPa)	Uzama (%)	Sertlik (HV)
Ray	980		290 ± 30
Kaynak	600	9	290 ± 30

Sertlik ve çekme numuneleri raydan şekil 4.46’da gösterildiği gibi çıkarılmıştır. 9 mm çapında ve 50 mm yüksekliğindeki çekme numuneleri oda sıcaklığında test edilmişlerdir. Sertlik testi 100 Pa altında yapılmıştır [17].

Kaynaklı conta, ısıt işlem görmemiş ve görmüş olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Isıt işlem 820°C de 45 dk boyunca tavlama ve açık havada oda sıcaklığına soğumayı içermektedir [17].



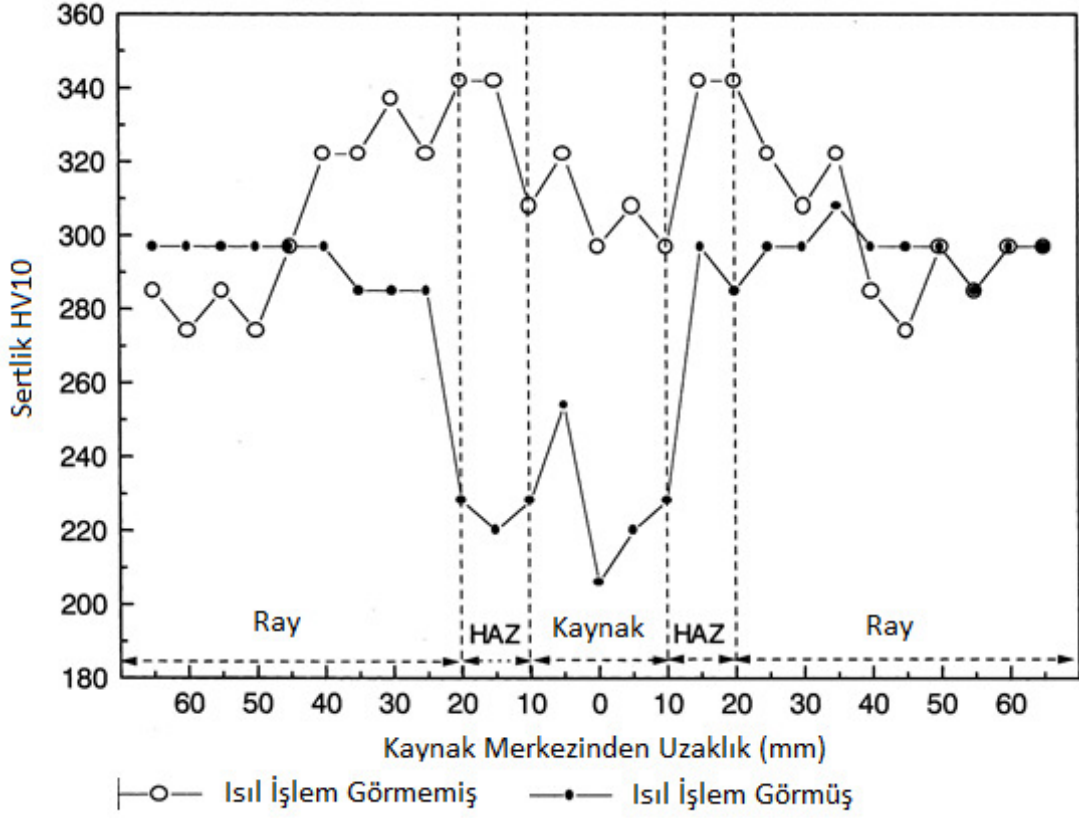
Şekil 4. 46 Kaynaktan çekme numunesi çıkarılması [17]

Şekil 4.47 kaynaklı bir birleştirmenin makro yapısını göstermektedir. Görüntüde üç simetrik bölge açık olarak görülmektedir. Bunlar; birleşme bölgesi ve kaynak metali (kaynak boşluğunun ortasından 17 mm), ısıdan etkilenmiş bölge (HAZ) (kaynak boşluğunun ortasından 27 mm) ve ray metalidir. Kaynak boşluğu 20 mm dir [17].



Şekil 4. 47 Isıl işlem görmemiş kaynağın makro yapısı [17]

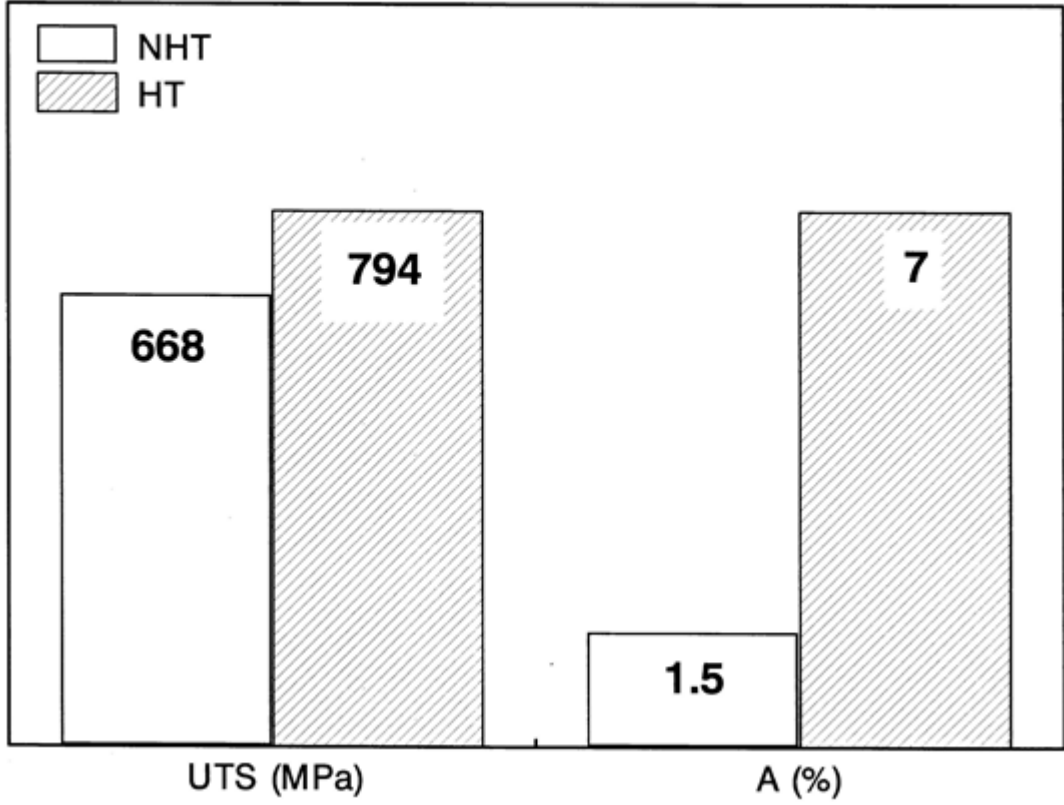
Şekil 4.48’de ısıl işlem den önce ve sonraki sertlik dağılımı gözlemlenmektedir. Eğri her iki durumda da simetrik değildir ancak ısıl işlem görmüş durumda daha düzenlidir [17].



Şekil 4. 48 Isıl işlem görmüş ve görmemiş numunenin sertlik dağılımları [17]

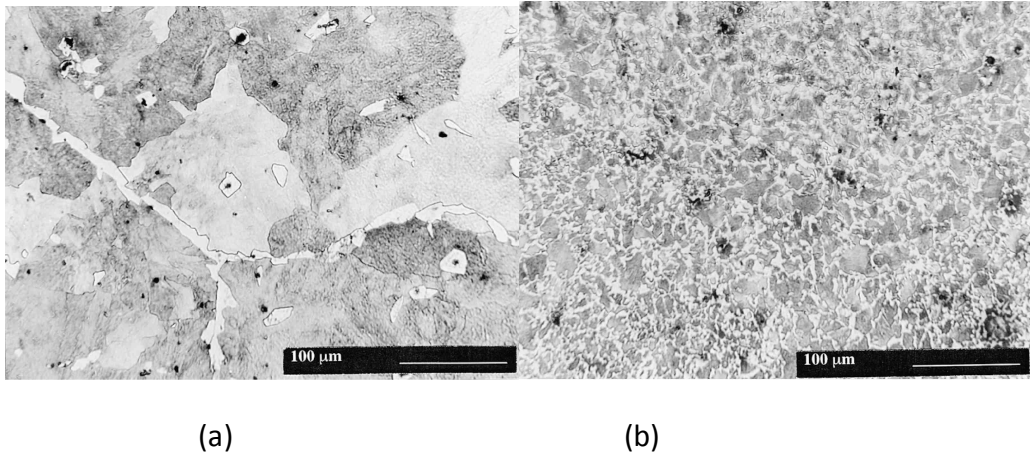
Isıl işlem görmemiş durumda kaynak metali ve ray çeliği arasında büyük bir sertlik farkı yoktur ($290 \pm 20\text{HV}$). Ancak birleşme bölgesinde ve ısıdan etkilenmiş bölgede bu fark 34 HV ye kadar çıkmaktadır. Isıl işlem görmüş durumda da ray çeliğinin sertliği aynıdır. Ancak ısıdan etkilenmiş bölgede ve kaynak metalinde gözle görülür bir düşüş vardır ($230 \pm 10\text{HV}$) (Şekil 4.48) [17].

Kaynakların oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri Şekil 4.49'de gösterilmiştir. Isıl işlemten sonra akma gerilmesi %19, uzama ise % 470 artmıştır [17].



Şekil 4. 49 ısıt işlem görmüş (HT) ve ısıt işlem görmemiş (NHT) kaynakların ısıt işlemden öndeki ve sonraki mekanik özellikleri (UTS:En büyük çekme gerilmesi, A:Kesit daralması) [17]

Şekil 4.50 ısıt işlem görmüş ve görmemiş durumda kaynak metalinin mikro yapısını göstermektedir. Her iki durumda da mikro yapı ferrit ve perlit içermektedir. Ancak ısıt işlem görmüş yapı daha incedir [17].



Şekil 4. 50 ısıt işlem görmüş (a) ve ısıt işlem görmemiş (b) kaynakların mikro yapıları [17]

Aşınma direnci büyük oranda metallerin mikro yapılarına bağlıdır. Ray çeliklerinde aşınma direnci perlitik mikro yapı ile sağlanır. Yakın sertliklere sahip metallerde en iyi aşınma direnci olan çelikler %100 perlit içerirler [17].

Sertlik tipik olarak kaynak bölgesi ve ısıdan etkilenmiş bölge/ana metal sınırında en az değerdayken, ısıdan etkilenmiş bölge/ana metal sınırında en büyük değerdedir. Isıl işlem görmüş durumda kaynak, ana metal ve ısıdan etkilenmiş bölgenin aynı sertlik değerlerinin göstermesi bu bölgelerin aynı aşınma direncini göstereceklerinin kanıtıdır. Isıl işlem görmüş durumda ise ana metal ve ısıdan etkilenmiş bölge ($297 \pm 15\text{HV}$) ve kaynak metali ($230 \pm 10\text{HV}$) arasında önemli bir sertlik farkı vardır. Bu durum kaynak bölgesinde aşınmanın daha hızlı meydana geleceğini göstermektedir [17].

4.4.10 Sıvı Çeliğin Elektromanyetik Karıştırılması

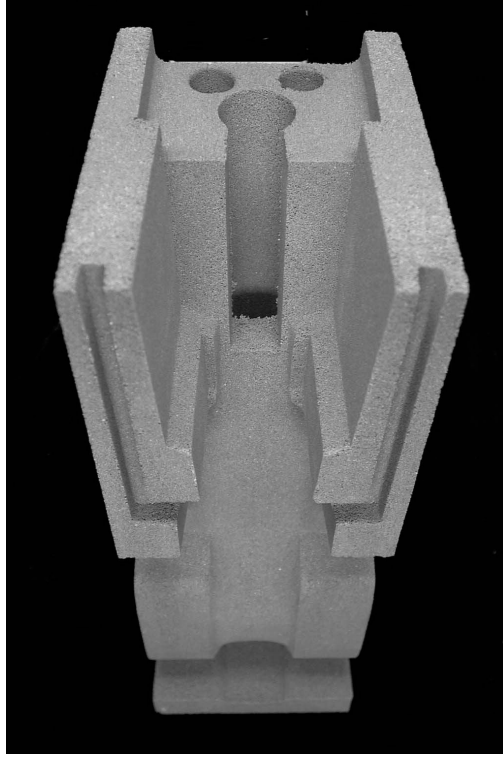
Döküm sırasında sıvı çeliğin elektromanyetik olarak karıştırılmasının eşeksenli taneler içeren, boşlukları az bir yapıyı sağladığı bilinmektedir. Kanada’da yapılan çalışmalarda kaynak etrafına elektriksel bir iletken koyulmuş ve elektromanyetik kuvvet kaynağa uygulanmıştır. İşlem sonunda kaynağın sertlik, akma mukavemeti, ve çekme mukavemetinde bir artış görülmemekle beraber eş eksenli tane yapısının söz konusu yöntemle sağlanabileceği görülmüştür. Eğer karıştırma sonucunda köpüklenme veya safsızlıkların gruplanması gibi olaylar gözlemlenirse düktilite düşecektir [11].

4.4.11 Ray Mantarının Alaşımlandırması

Alüminotermite kaynaklarının mekanik özelliklerini iyileştirmeye yönelik olan bu yöntem daha önce sayılanlara göre daha yenidir.

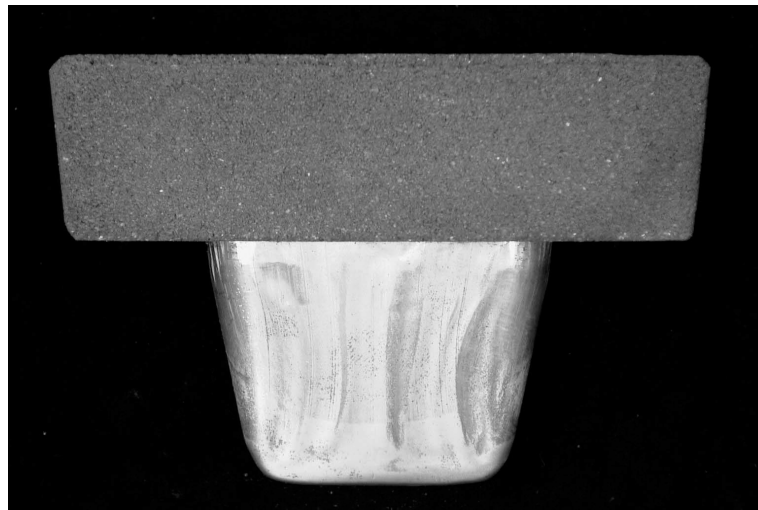
Bu yöntemde ray gövdesi daha yumuşak ve tok bir yapı sergilerken ray mantarı vanadyum ilavesiyle daha sert ve yüksek aşınma direnci gösterebilen bir yapıya kavuşmaktadır.

Bu kaynak yönteminde şekil 4.51’de gösterilen üçlü besleyicili kalıp kullanılmaktadır. Kalıp boşluğu tabandan mantara doğru dolmaktadır. Bu yöntemde kalıp macunu kullanılmamakta, bunun yerine kalıp boşluklarını kapatan özel bir alet kullanılmaktadır.



Şekil 4. 51 Üçlü besleyicili alüminotermite kaynağı kalıbı [21]

Bu yöntemden beklenen yüksek aşınma direnci ikinci bir alaşımlama işlemi ile sağlanmaktadır. Şekil 4.52’de gösterilen özel parça şekil 4.53’de gösterildiği gibi kalıptaki uygun boşluğa ön ısıtma işleminden hemen sonra koyulur. Döküm işlemi tamamlandıktan sonra sıvı metal bu parçaya kadar ulaştıktan sonra parça ergiyerek sıvı metalin içine karışır ve istenen alaşımlama sağlanmış olur [21].

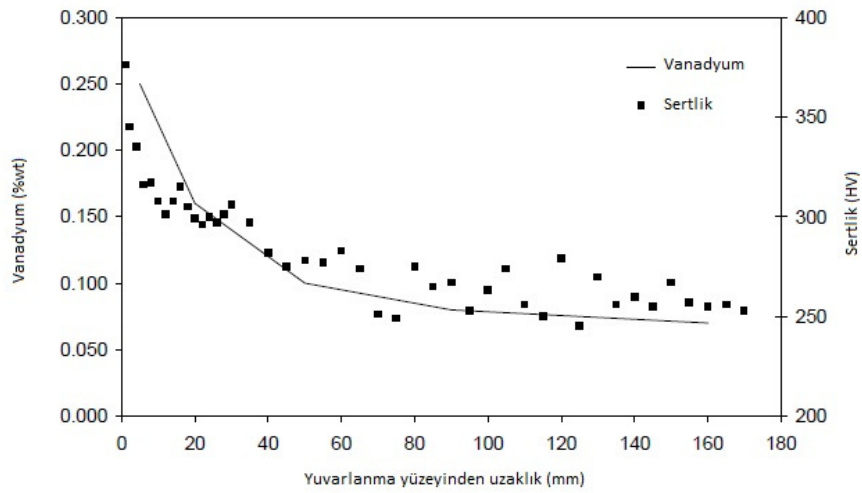


Şekil 4. 52 Alaşımlayıcı parça [21]



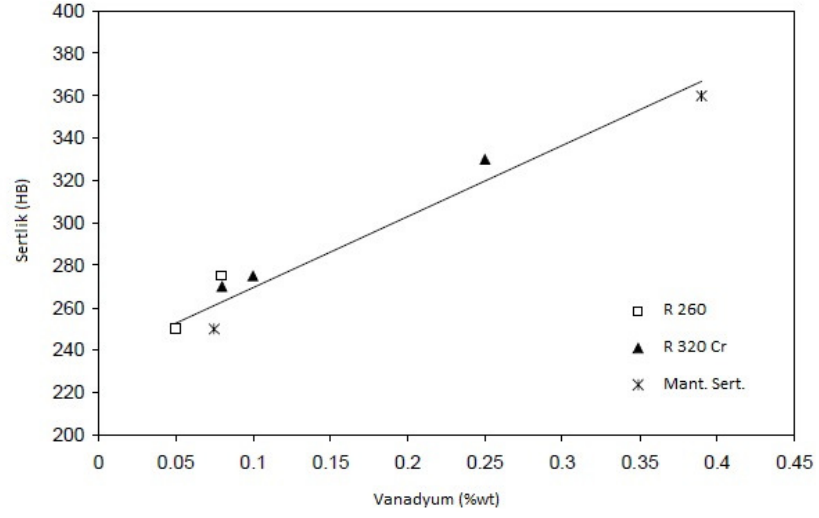
Şekil 4. 53 Alaşımlayıcı parçanın kalıp boşluğuna yerleştirilmesi [21]

Bu yöntem kullanılarak yapılan bir mantarı sertleştirilmiş ray kaynağında vanadyum içeriği ile sertliğin değişim grafiği şekil 4.54'te gösterilmiştir. Bu grafikte vanadyum miktarının rayın içine doğru azaldığı, vanadyum miktarıyla o noktada görülen sertlik değerinin orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 54 Ray mantarında V miktarı - sertlik grafiği [21]

Ray çeliği çeşitlerine göre vanadyumla sertleşme miktarı değişmektedir. Çelik çeşitlerinin vanadyum içeriğine göre sertleşme miktarları şekil 4.55’de gösterilmektedir.



Şekil 4. 55 Çelik kalitelerinin vanadyum içeriğine göre sertleşme miktarları [21]

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada [13] ve [14] deki model ve deneysel çalışmalar incelenerek ve “EN 14730-1 Demiryolu Uygulamaları – Hat – Rayların Alüminotermit Kaynaklanması – Bölüm 1: Kaynak Prosesinin Onaylanması” standardındaki kimyasal kompozisyon baz alınarak alternatif bir alüminotermit kaynağı malzemesi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Bu malzemenin üretiminde hammadde olarak 0 - 2 mm arasında tasnif edilmiş hematit-manyetit karışımı, alüminyum, grafit ve ferromangan kullanılmıştır.

5.1 Alüminotermit Kaynak Malzemelerinin Karakterizasyonu

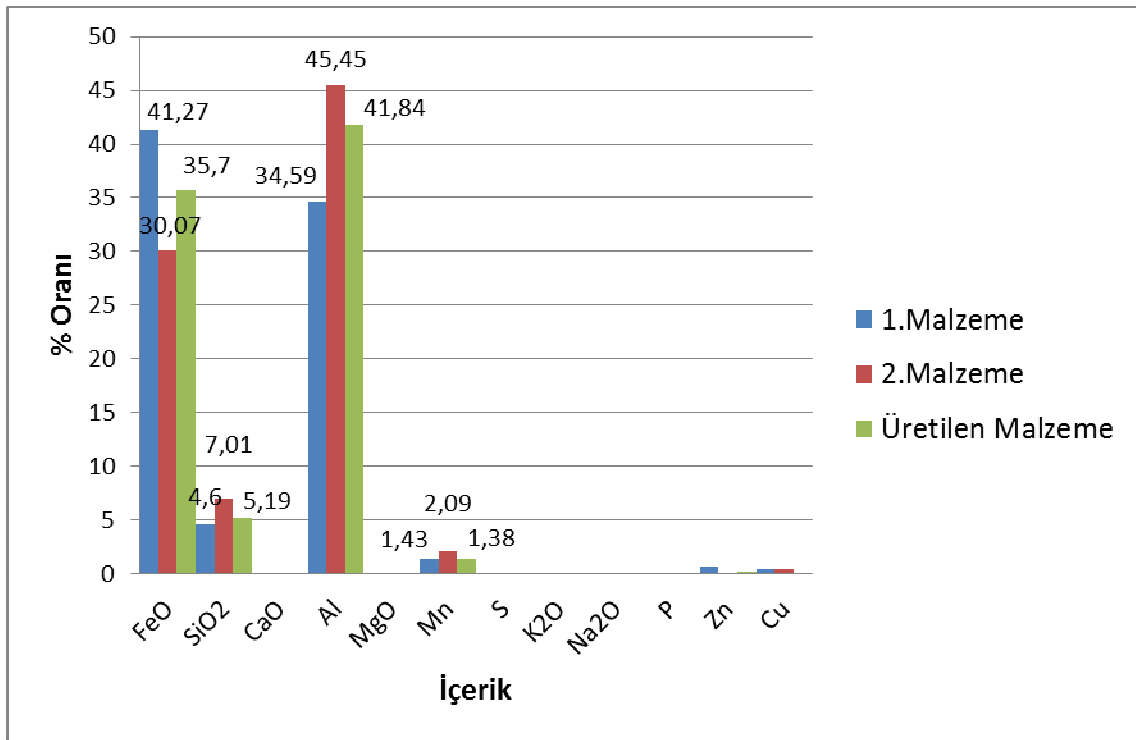
5.1.1 Kimyasal Kompozisyon

Kaynak malzemesinin yanmadan önceki kimyasal kompozisyonu elde edilen kaynağın kimyasal kompozisyonunu belirlemektedir. Kaynağın kalitesini en fazla etkileyen kompozisyon bileşeni karbon olmakla beraber, içerdiği alaşım elemanları miktarı ekzotermik yanma reaksiyonu sonucu sıvı metalde ulaşılan sıcaklığın ayarlanmasında etkili olmaktadır.

İki farklı ticari ürünün ve bu çalışmada üretilen ürünün kimyasal kompozisyonu Kardemir A.Ş. Kalite ve Güvence Laboratuvarı’nda incelenmiş ve sonuçlar çizelge 5.1’de, bu sonuçların grafiksel gösterimi ise şekil 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5. 1 Alüminotermite kaynak malzemelerinin kimyasal kompozisyonları

İçerikler	% Oranı		
	1. Malzeme	2. Malzeme	Bu Çalışmada Üretilen Malzeme
FeO	41,27	30,07	35,70
SiO ₂	4,6	7,01	5,19
CaO	0,01	0,01	0,01
Al	34,59	45,45	41,84
MgO	0,01	0,01	0,01
Mn	1,43	2,09	1,38
S	0,01	0,01	0,01
K ₂ O	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0,01	0,04	0,04
P	0,14	0,1	0,13
Zn	0,7	0,06	0,15
Cu	0,4	0,4	0,07



Şekil 5. 1 Kimyasal kompozisyon dağılımının grafiksel gösterimi

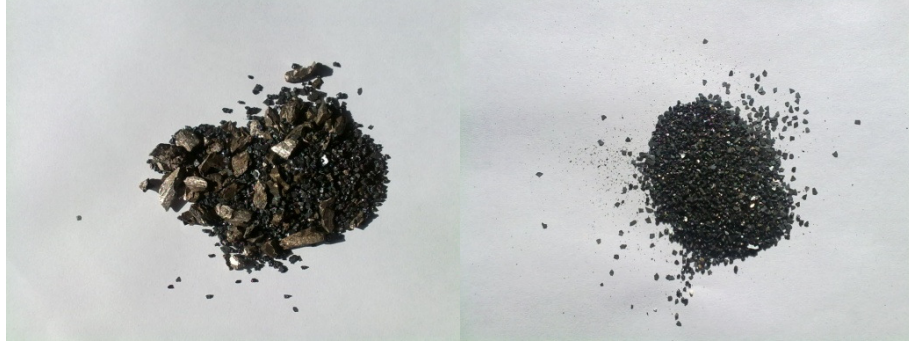
5.1.2 Tane Boyutu Dağılımı

Malzemelerin içeriğindeki demir oksit ve alüminyum oranlarının belirlenmesi amacıyla malzemeler 0,85 – 0,7 – 0,6 – 0,35 – 0,25 – 0,15 – 0,075 – 0,045 mm aralıklı eleklerden geçirilerek şekil 5.2, şekil 5.3 ve şekil 5.4’te gösterildiği şekilde ayrılmıştır.

Her elek üzerinde kalan malzeme miktarı belirlenmiştir. 100 gr malzeme temel alınarak yapılan ölçüm sonuçları ve tane boyutlarının yüzde oranları çizelge 5.2’de, bu oranların grafiksel gösterimi ise 1. Malzeme için şekil 5.5’de, 2. Malzeme için şekil 5.6’da ve bu çalışmada üretilen malzeme için şekil 5.7’de verilmiştir.

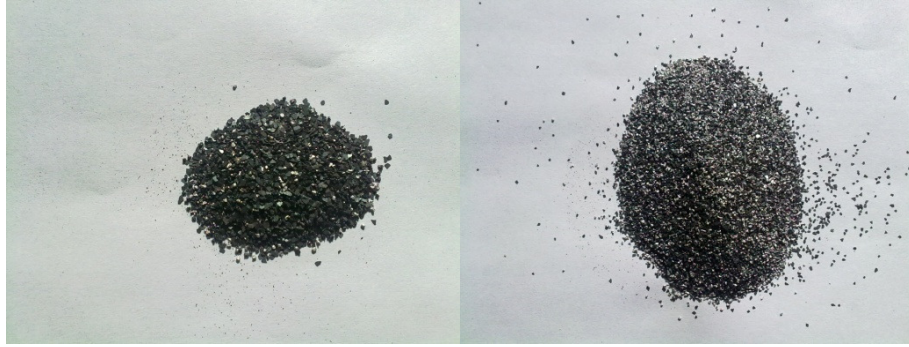
Çizelge 5. 2 Malzemelerin tane boyutu-yüzde oranları

Tane Boyutu (mm)	% Oranı		
	1. Malzeme	2. Malzeme	Bu Çalışmada Üretilen Malzeme
0,85	32,54	31,73	36,26
0,7	5,38	5,3	7,91
0,6	4,35	2,97	5,03
0,5	5,56	3,21	4,08
0,35	16,7	11,34	11,56
0,25	13,63	13,12	11,49
0,15	14,69	23,82	17,24
0,075	7,15	8,51	6,43



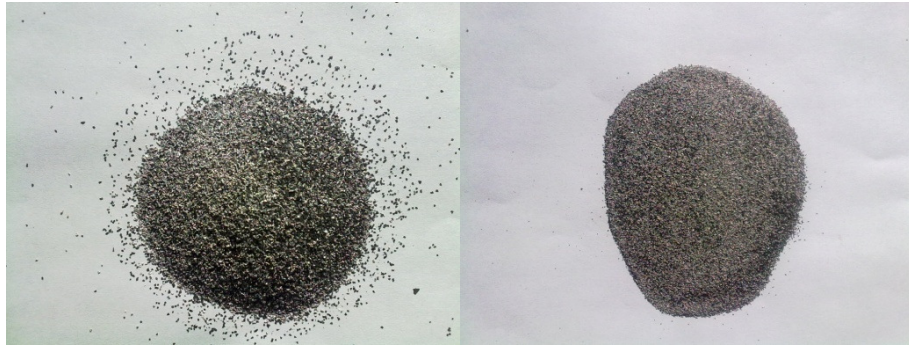
(a) $>0,85$ mm

(b) $>0,7$ mm



(c) $>0,6$ mm

(d) $>0,35$ mm



(e) $>0,25$ mm

(f) $>0,15$ mm



(g) $>0,075$ mm

(h) $>0,045$ mm

Şekil 5. 2 Elek üzerinde kalan 1. Malzeme parçaları



(a) $>0,85$ mm



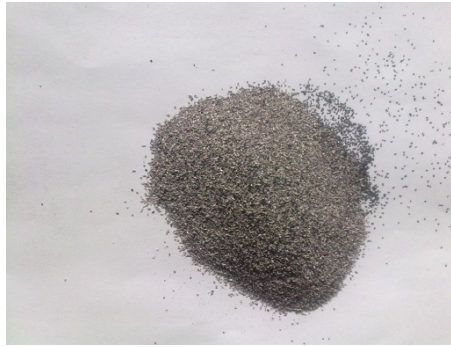
(b) $>0,7$ mm



(c) $>0,6$ mm



(d) $>0,35$ mm



(e) $>0,25$ mm



(f) $>0,15$ mm



(g) $>0,075$ mm



(h) $>0,045$ mm

Şekil 5. 3 Elekler üzerlerinde kalan 2. Malzeme parçaları



(a) $>0,85$ mm



(b) $>0,7$ mm



(c) $>0,6$ mm



(d) $>0,35$ mm



(e) $>0,25$ mm



(f) $>0,15$ mm

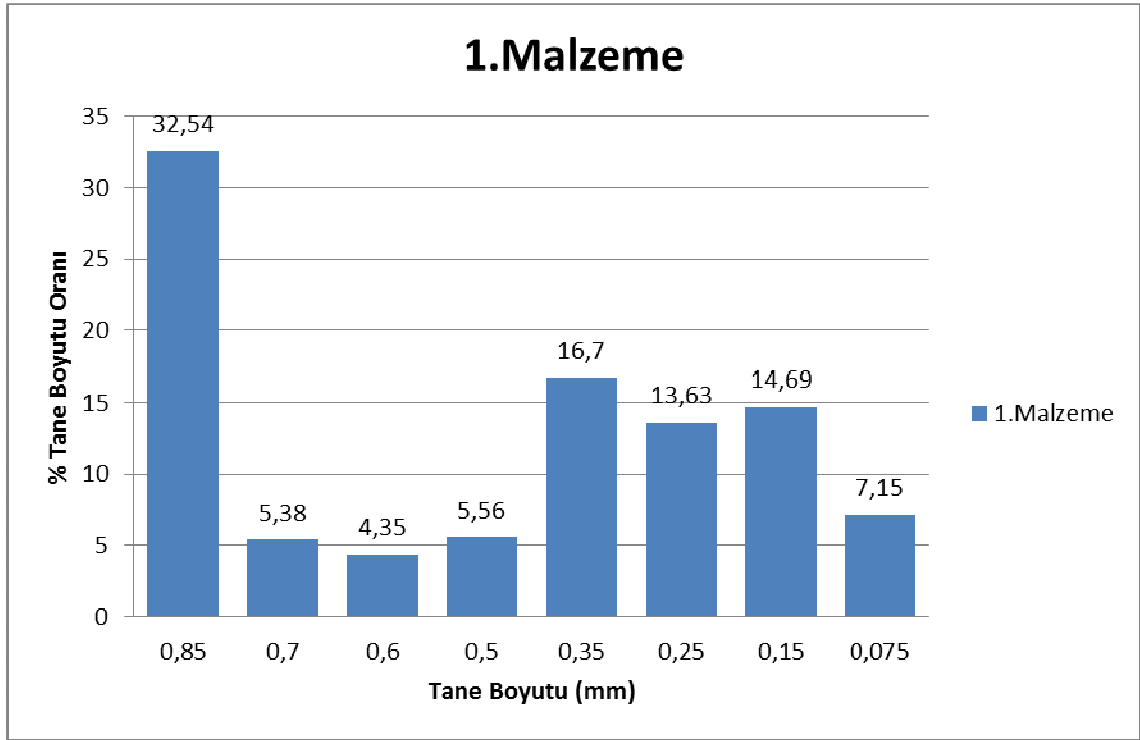


(g) $>0,075$ mm

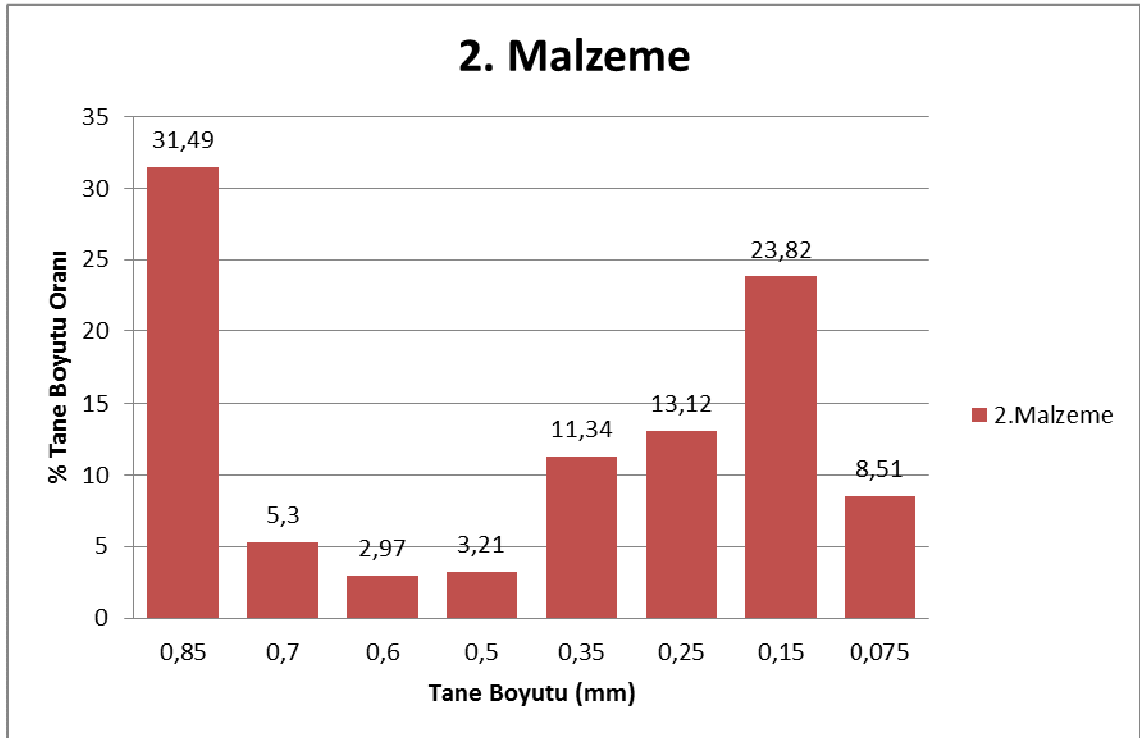


(h) $>0,045$ mm

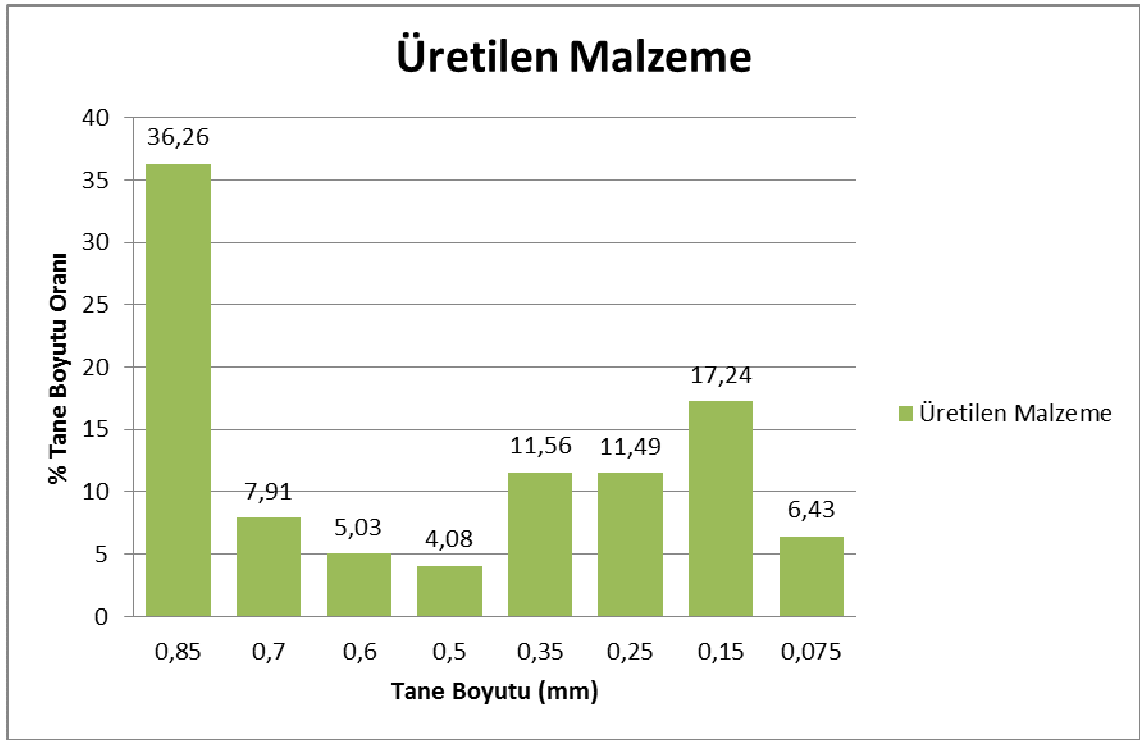
Şekil 5. 4 Elekler üzerinde kalan bu çalışmada üretilen malzeme parçaları



Şekil 5. 5 1. Malzemenin tane boyutlarının yüzde oranları



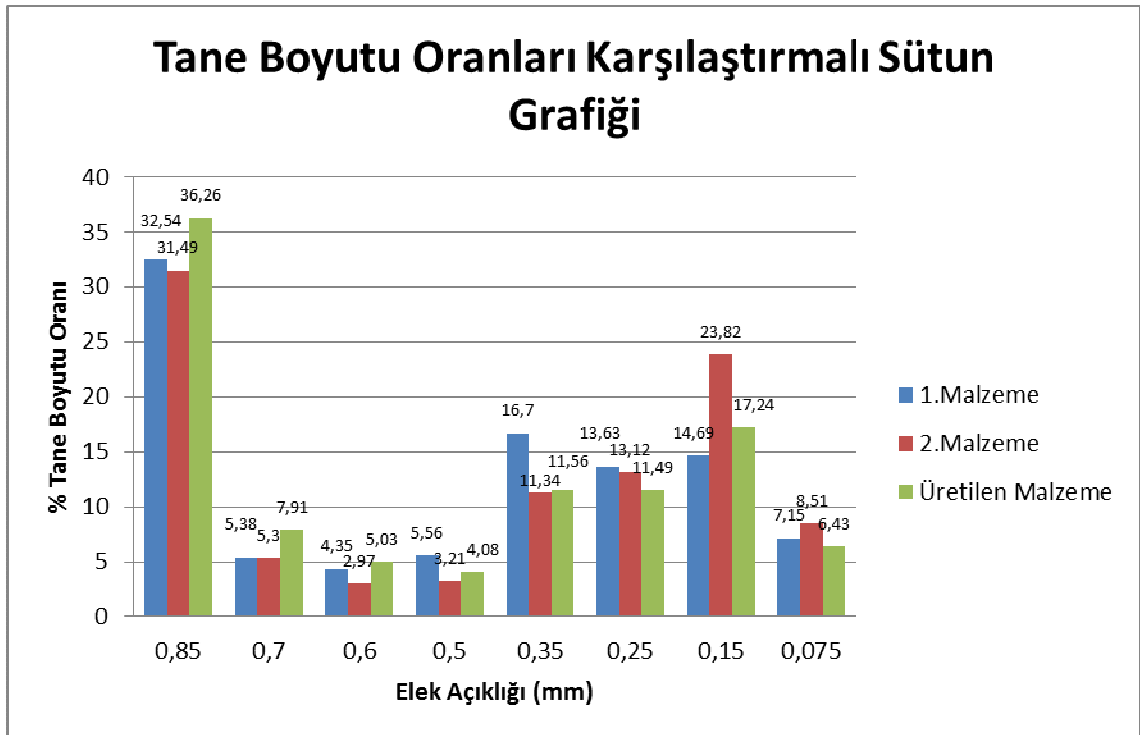
Şekil 5. 6 2. Malzemenin tane boyutlarının yüzde oranları



Şekil 5. 7 Bu çalışmada üretilen malzemenin tane boyutları yüzde oranları

Üç malzemenin tane boyutlarının karşılaştırmalı grafik gösterimi şekil 5.8’de verilmiştir.

1.Malzemenin ortalama tane boyutu 0,488 mm, 2. Malzemenin ortalama tane boyutu 0,453 mm, üretilen malzemenin ortalama tane boyutu ise 0,553 mm’dir.



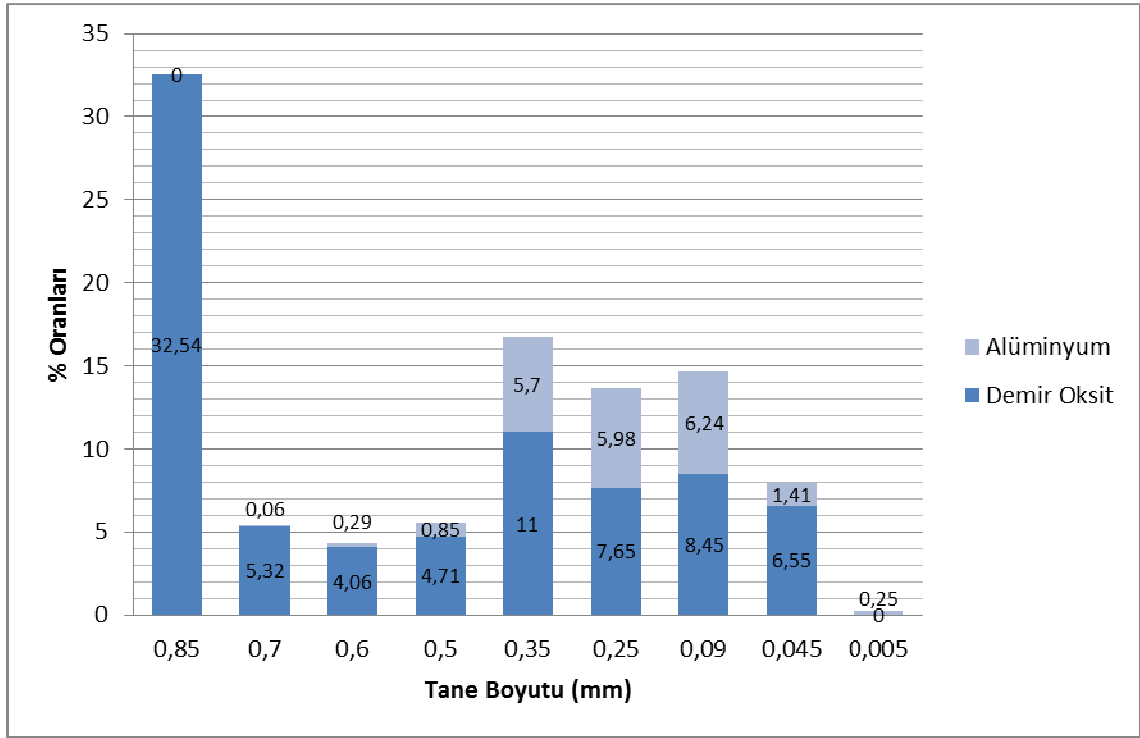
Şekil 5. 8 Malzemelerin tane boyutlarının yüzde oranlarının karşılaştırılma grafiği

5.1.3 Alüminyum ve Demir Oksit Yüzde Oranları

Elekler üzerinde kalan malzemelerden demir oksit manyetik olarak ayrılmıştır. Ayırma sonucu malzemelerdeki alüminyum ve demir oksitin yüzde oranları belirlenmiştir. Malzemeler içindeki demir oksit ve alüminyum oranı termit reaksiyonunda açığa çıkan ısı miktarını direk olarak belirlemektedir. 1. Malzeme için demir oksit ve alüminyum oranları çizelge 5.3’de verilmiştir. Elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi ise şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 3 1. Malzeme için demir oksit – alüminyum yüzde oranları

Tane Boyutu (mm)	1.Malzeme	
	Demir Oksit	Alüminyum
0,85	32,54	-
0,7	5,32	0,06
0,6	4,06	0,29
0,5	4,71	0,85
0,35	11	5,7
0,25	7,65	5,98
0,15	8,45	6,24
0,075	5,55	1,35
0,005	-	0,25

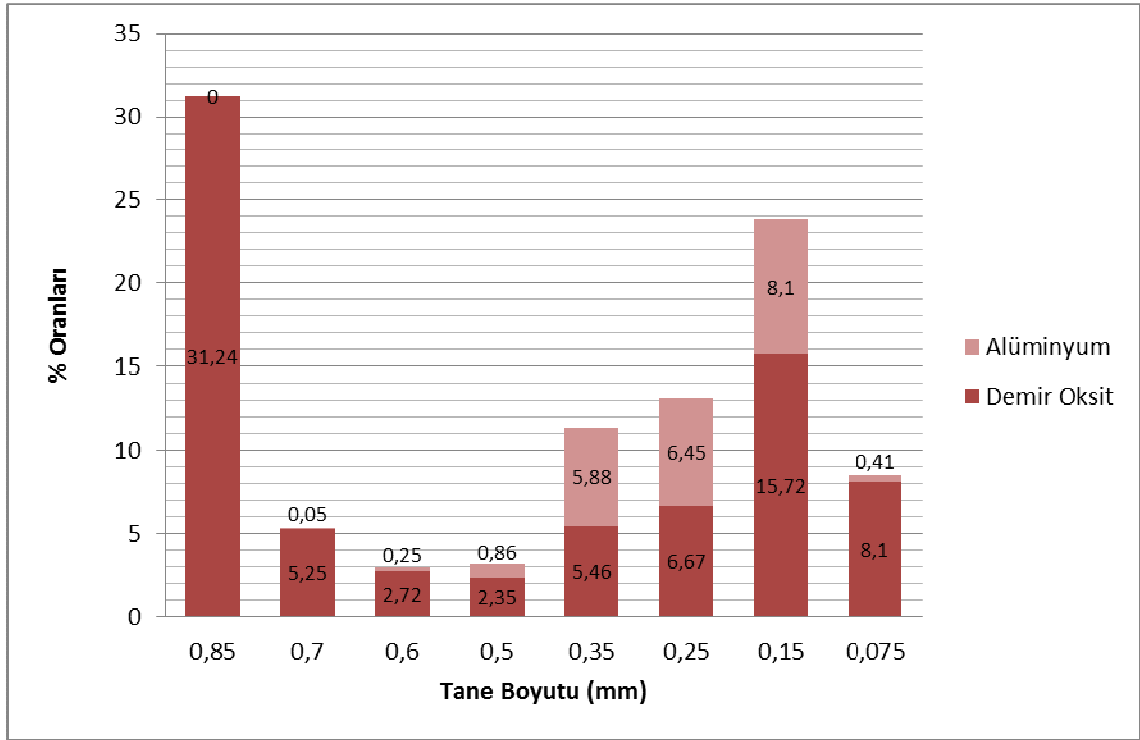


Şekil 5. 9 1. Malzeme için belirlenen tane boyutlarında alüminyum ve demir oksit ağırlıkça yüzde oranları

Aynı şekilde 2.malzeme için demir oksit ve alüminyum oranları çizelge 5.4'te, elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi ise şekil 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5. 4 2. Malzeme için demir oksit – alüminyum yüzde oranları

Tane Boyutu (mm)	2.Malzeme	
	Demir Oksit	Alüminyum
0,85	31,24	
0,7	5,25	0,05
0,6	2,72	0,25
0,5	2,35	0,86
0,35	5,46	5,88
0,25	6,67	6,45
0,15	15,72	8,1
0,075	8,1	0,41

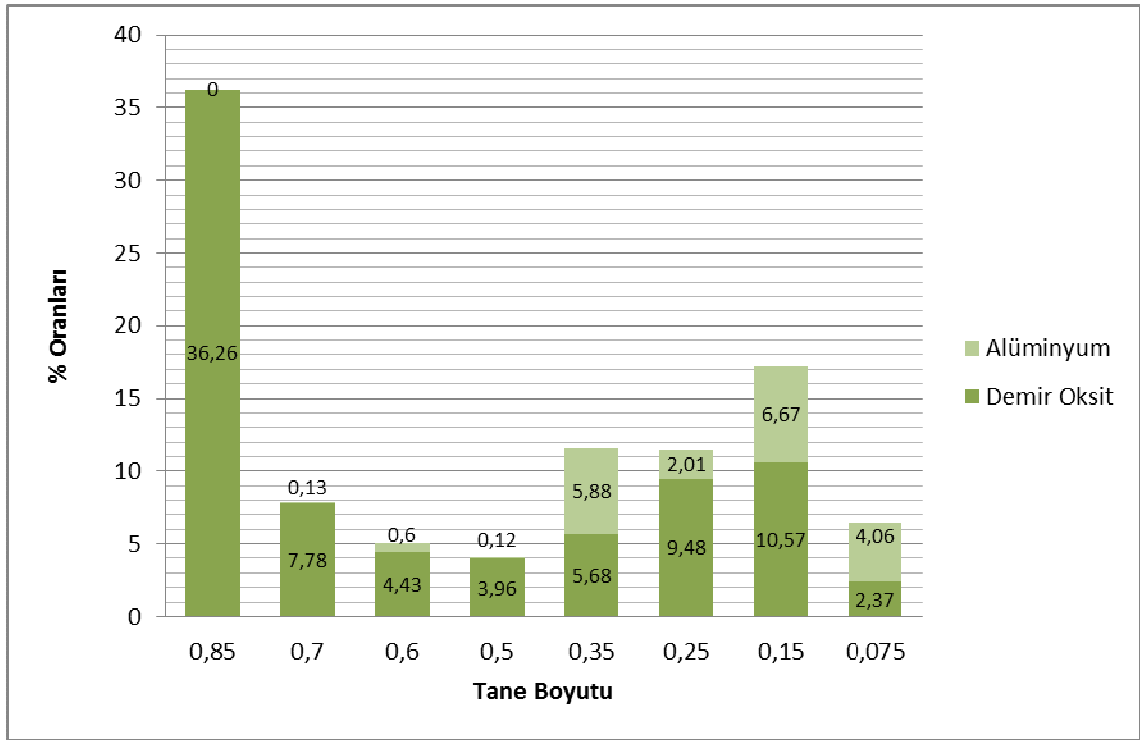


Şekil 5. 10 2. Malzeme için belirlenen tane boyutlarında alüminyum ve demir oksit ağırlıkça yüzde oranları

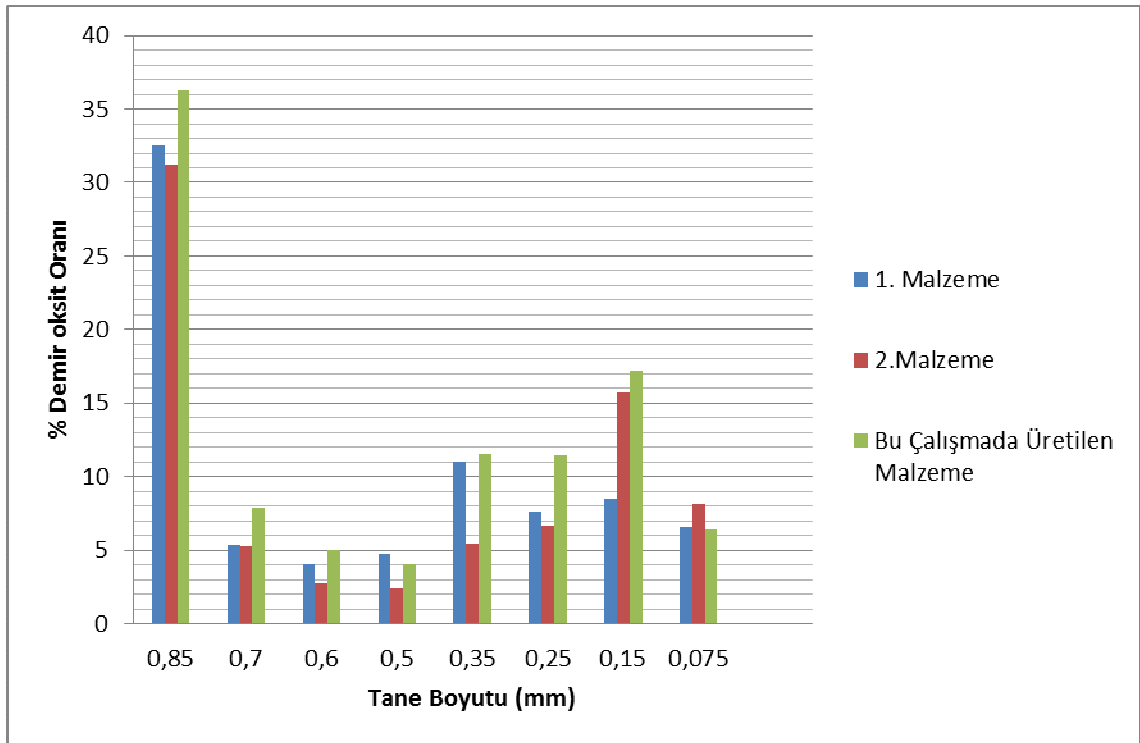
Aynı şekilde, bu çalışmada üretilen alternatif malzeme de incelenmiş ve elde edilen sonuçlar çizelge 5.5 ve şekil 5.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. 5 Bu çalışmada üretilen malzeme için demir oksit – alüminyum yüzde oranları

Tane Boyutu (mm)	Bu Çalışmada Üretilen Malzeme	
	Demir Oksit	Alüminyum
0,85	36,26	0
0,7	7,91	0,13
0,6	5,03	0,6
0,5	4,08	0,12
0,35	11,56	5,88
0,25	11,49	2,01
0,15	17,24	6,67
0,075	6,43	4,06

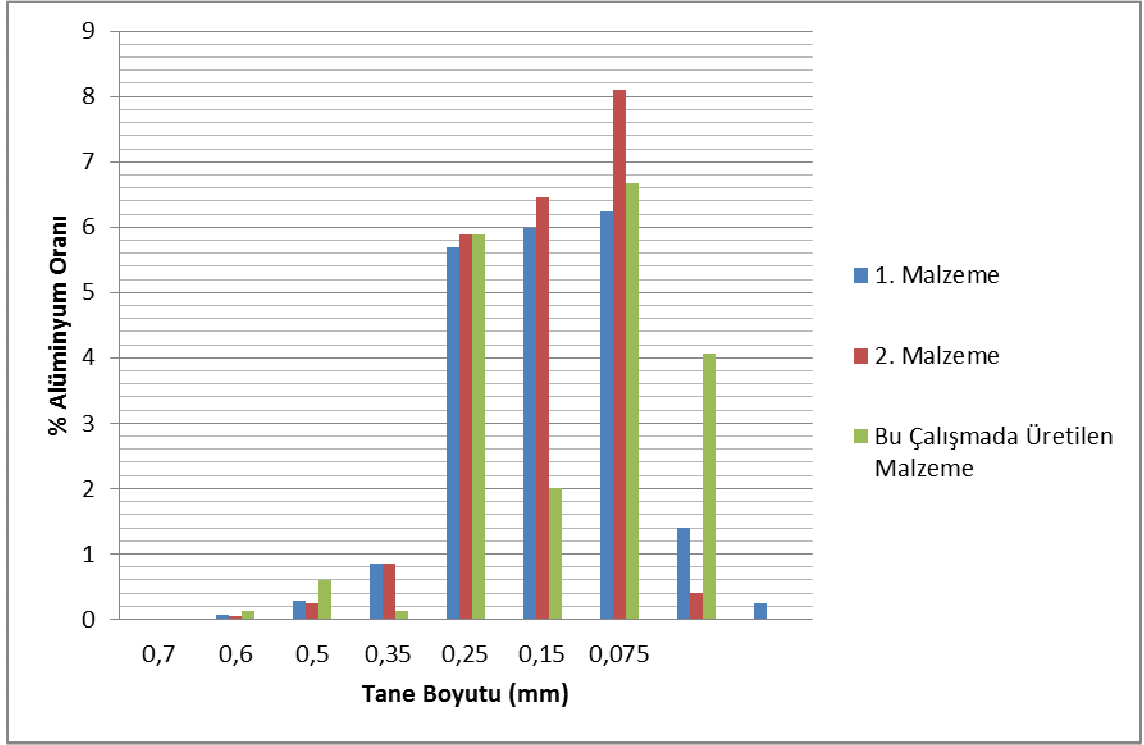


Şekil 5. 11 Bu çalışmada üretilen malzeme için belirlenen tane boyutlarında alüminyum ve demir oksit ağırlıkça yüzde oranları



Şekil 5. 12 Malzemelerin tane boyutları ile ağırlıkça demir oksit oranları karşılaştırılması

İncelenen malzemelerin demir oksit miktarlarının karşılaştırılması şekil 5.12, alüminyum miktarlarının karşılaştırılması şekil 5.13 'de gösterilmiştir.

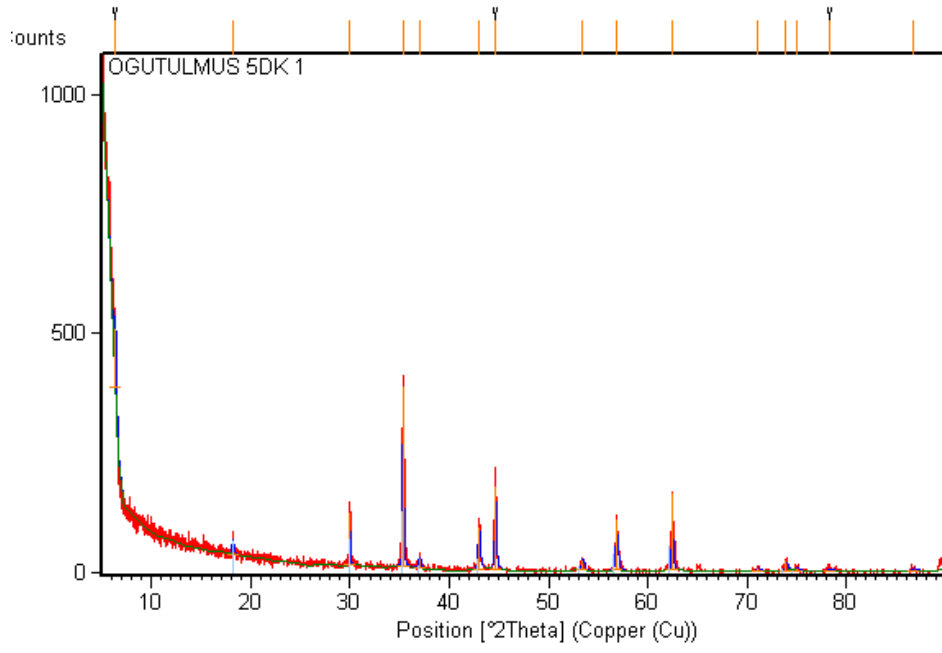


Şekil 5. 13 Malzemelerin tane boyutları ile ağırlıkça alüminyum oranlarının karşılaştırılması

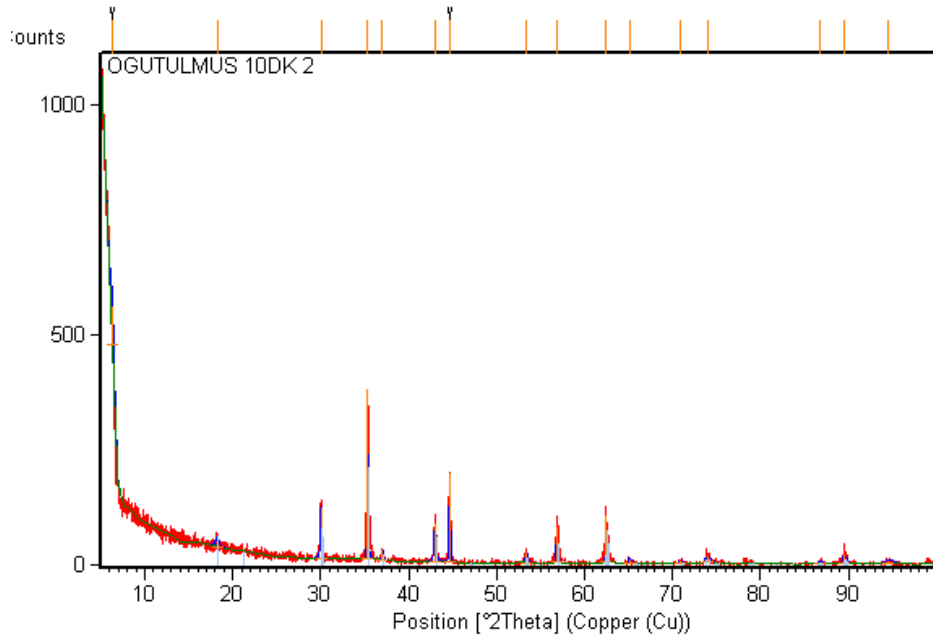
5.1.4 Faz Analizi

Her iki malzemeye de XRD kullanılarak faz analizi yapılmıştır. Sonuçlar 1.malzeme için şekil 5.14'te, 2.malzeme için 5.15'de, bu çalışmada üretilen malzeme için 5.16'de gösterilmiştir.

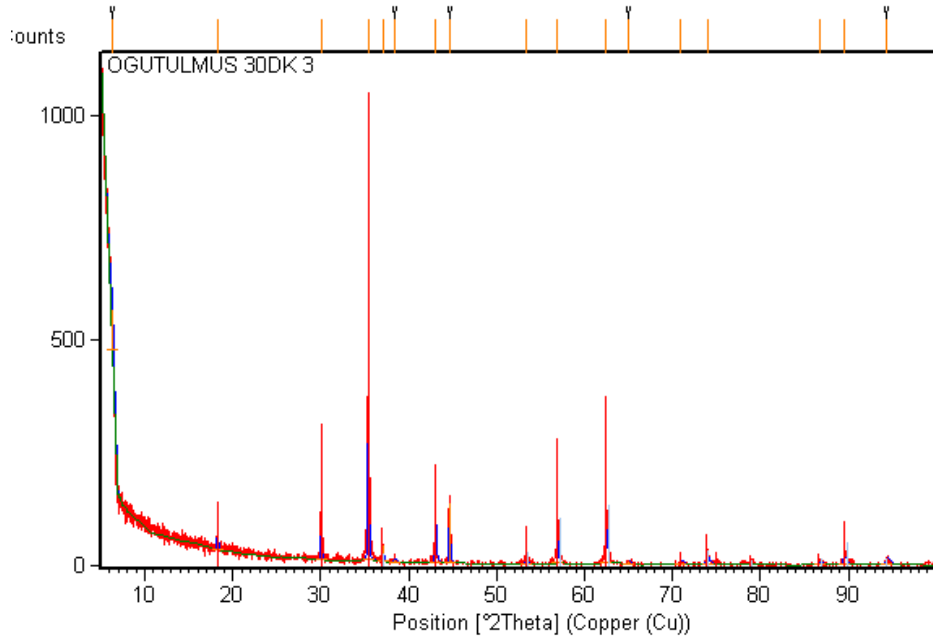
Her üç malzemedede de elde edilen grafikler benzerdir ve manyetit, ferro mangan ve alüminyum piklerinden meydana gelmektedir.



Şekil 5. 14 1. Malzemeye ait XRD grafiği



Şekil 5. 15 2. Malzemeye ait XRD grafiği



Şekil 5. 16 Bu çalışmada üretilen malzemeye ait XRD grafiği

5.2 Alüminotermite Kaynağının Karakterizasyonu

Alüminotermite kaynağının mekanik ve kimyasal özellikleri “EN 14730-1 Demiryolu Uygulamaları – Hat – Rayların Alüminotermite Kaynaklanması – Bölüm 1: Kaynak Prosesinin Onaylanması [22]” standardında belirlenmiştir. Avrupa’da bir çok gelişmiş demiryolu işletmesinde ve ülkemizde TCDD işletmesinde bu standardı baz alan şartnameler ve talimatnameler kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında da, halihazırda piyasada bulunan ticari bu çalışmada üretilen malzeme ile S49 profilinde, R260 kalitesindeki raylara yapılan kaynaklar EN 14730-1 standardı baz alınarak hazırlanmış olan “TCDD Alüminotermite Ray Kaynağı Teknik Şartnamesi” [23]’ne göre karakterize edilmiştir.

Söz konusu şartnamede alüminotermite ray kaynağı prosesinin onaylanması için istenen testler şunlardır;

- 1)Sertlik testi,
- 2)Ergimiş bölge şekil ve boyutları,
- 3)Gözle görülen ısıdan etkilenmiş bölge
- 4)Kimyasal analiz,

5)Yumuşamış bölge sertlik dağılımı,

6)Mikroyapı,

a)Erime bölgesi,

b)Isıdan etkilenmiş bölge,

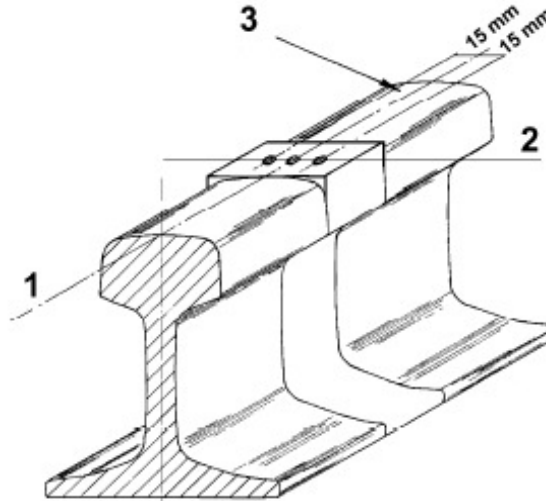
7)Ultrasonik muayene,

8)Eğme testi,

9)Yorulma testi, [23].

5.2.1 Sertlik Testi

Söz konusu şartnameye göre sertlik testi EN ISO 6501-1' e göre yapılmaktadır. Testin uygulaması şekil 5.17'e göre yapılmaktadır. Testte kaynağın üst yüzeyi taşlandıktan sonra, 10 mm çapında tungsten karbit bilya ile 3000 kg yük 15 saniye boyunca uygulanarak üç adet ölçüm alınmaktadır. Üç ölçüm sonucunun aritmetik ortalamasının çizelge 5.6'da gösterilen değerlere uygun olması şartı aranır.



1 Ray tepesi merkez çizgisi

2 Kaynak merkezi enine çizgi

3 Ray seyir yüzeyi

Şekil 5. 17 Sertlik testi [23]

Çizelge 5. 6 Sertlik testi sonuçları değerlendirme kriterleri [23]

Ray kalitesi	Rayın sertliği (HBW)	Kaynak merkezinin sertliği (HBW)
R260 (900 A)	260 – 300	300 ±20

Çalışmada incelenen ticari malzemeler ile bu çalışmada üretilen alternatif malzemeye sertlik testi sonuçları çizelge 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5. 7 Ticari malzemeler ve üretilen malzemeye ait sertlik testi sonuçları

	1.Malzeme	2.Malzeme	Bu Çalışmada Üretilen Malzeme
Ortalama Sertlik	289 HBW	302 HBW	296 HBW

5.2.2 Ergimiş Bölge Şekil ve Boyutları

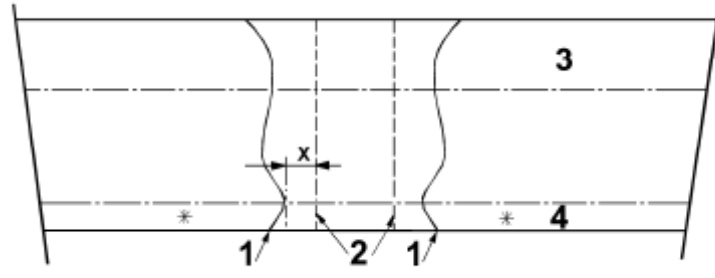
Bu testte enine eksen boyunca kesilen kaynaklar zımparalanıp dağlanarak ergimiş bölgenin Şekil ve boyutları incelenmektedir. Ergimiş bölgenin kaynağın boyuna eksenine göre simetrik olması ve ergime mesafesinin 3 mm veya daha büyük olması istenmektedir. Ergime mesafesinin ölçümü kaynaktan önce raya koyulmuş bir işaret baz alınarak yapılmaktadır. Zımparalama işleminde 220’lik zımpara kullanılmaktadır. Kullanılan dağlama ajanının bileşimi 10 lt çözelti için şu şekildedir;

1,875 kg bakır klorit ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

6 lt hidroklorik asit (HCl %35)

4,2 lt saf su

İnceleme şekil 5.18’e göre yapılmaktadır.



* taban ucuna önceden konulmuş işaret

1 erimiş bölge çizgisi

2 kaynaktan önceki ray ucu

3 ray mantarı

4 ray tabanı

Şekil 5. 18 Ergimiş bölge şekil ve boyutları incelenmesi [23]

Ergimiş bölge şekil ve boyutları incelemesinin sonuçları incelenen ticari malzeme ve bu çalışmada üretilen alternatif malzeme için çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5. 8 Ergimiş bölge şekil ve boyutları ölçümü sonuçları

	1.Malzeme	Üretilen Malzeme
Ergime Mesafesi	4 mm	3,5 mm

5.2.3 Gözle Görülen Isıdan Etkilenmiş Bölge

Bu incelemenin amacı kaynak sırasında ısıdan etkilenen bölgenin genişliğinin belirlenmesidir. Isıdan etkilenmiş bölge en büyük sertlik değerinin görüldüğü bölge olduğundan bu bölgenin genişliğinin sınırlandırılması rayın mekanik özellikleri değişen kısmının genişliğinin de sınırlandırılması demek olacaktır.

Testin uygulanmasında kesilen numuneler dağlanarak ısıdan etkilenen bölgenin genişliği ölçülür. Bu mesafenin 20-40 mm arasında olması istenir. İncelenen ticari malzeme ile üretilen malzemenin ölçüm sonuçları çizelge 5.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 5. 9 Gözle görülen ısıdan etkilenmiş bölge genişliği ölçümü sonuçları

	1.Malzeme	Bu Çalışmada Üretilen Malzeme
IEB Genişliği	30 mm	26 mm

5.2.4 Kimyasal Analiz

Bu analizle kaynağı kimyasal bileşimi incelenmektedir. Ölçüm kaynağın ray yüzeyinde erimiş bölgede enine ekseninden en az 5 mm mesafede ve erimiş bölge sınırından da en az 5 mm mesafede yapılmaktadır.

Çizelge 5. 10 İzin verilen kimyasal kompozisyon [23]

R 260 (900 A)		
Element	İzin verilen %	Çalışma aralığı
C	0.40 – 0.75	± 0.12
Si	0.00 -1.20	± 0.25
Mn	0.50 – 1.40	± 0.20
P	0.00 – 0.035	-
S	0.00 – 0.035	-
Cr	0.00 – 0.20	-
Mo	0.00 – 0.10	-
Ni	0.00 – 0.10	-
Al	0.02 – 0.60	± 0.20
Cu	0.00 – 0.20	-
Sn	0.00 – 0.02	-
Pb	0.00 – 0.02	-

Ölçüm sonuçlarının çizelge 5.10'a uygun olması istenmektedir. İncelenen ticari malzemeler ve bu çalışmada üretilen malzemeye uygulanan test sonuçları sırasıyla çizelge 5.11, ve 5.12'de verilmiştir.

Çizelge 5. 11 Ticari malzemeler için kimyasal analiz sonuçları

	1.Malzeme	2.Malzeme
Element	% Oranı	% Oranı
C	0,495	0,647
Si	0,741	0,636
Mn	1,117	0,703
P	0,031	0,018
S	0,004	0,008
Cr	0,136	0,169
Mo	0,023	0,008
Ni	0,060	0,020
Al	0,149	0,270
Cu	0,046	0,028
Sn	0,005	-
Pb	0,001	-
Nb	0,011	-
V	0,013	0,047
Ti	0,004	0,007

Çizelge 5. 12 Bu çalışmada üretilen malzeme için kimyasal analiz sonuçları

R 260 (900 A)	
Element	% Oranı
C	0,57
Si	0,56
Mn	1,16
P	0,016
S	0,02
Cr	0,057
Mo	0,048
Ni	Eser
Al	0,18
Cu	0,017
Sn	Eser
Pb	Eser
Nb	Eser
V	Eser
Ti	Eser

5.2.5 Yumuşamış Bölge Sertlik Dağılımı

Alüminotermite kaynağı yapılmış rayda her kaynak incelemesinde karşılaşılan, tipik üç farklı bölge meydana çıkmaktadır. Bunlardan ilki sıvı kaynak metalinin katılaşmasıyla meydana gelen kaynak bölgesi, ikincisi kaynak sırasında ergimeyen ancak katılaşma sırasında sıvı metalden ısı alarak dönüşüm sıcaklığına ulaşarak dönüşüme uğrayan

yumuşamış bölge (ısıdan etkilenen bölge), son olarak kaynak sırasında ısınan ancak dönüşüm sıcaklığını geçmeyen ana ray metalidir.

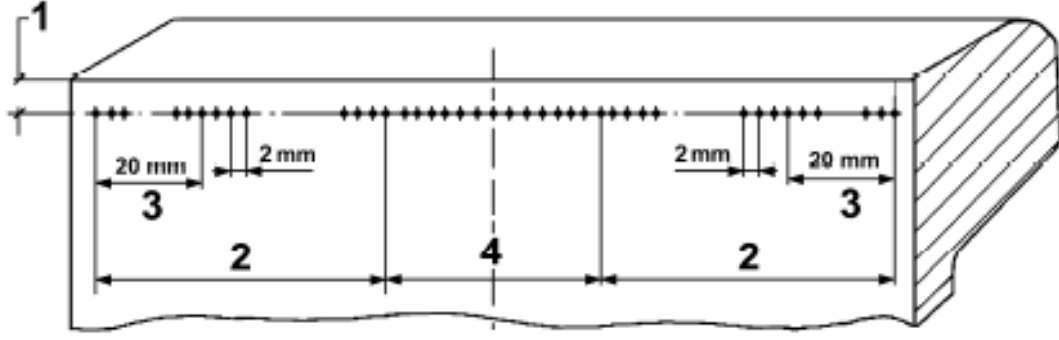
Bunlardan kaynak bölgesi döküm olduğu için tipik iri tane döküm yapısı göstermektedir. Bununla beraber kimyasal kompozisyonu ve dolayısıyla sertliği de ana ray metalinden farklıdır.

Yumuşamış bölge ise ergime olmadığından kaynak metaline göre daha küçük tane boyutuna sahip olmakla beraber uzun süre yüksek ısıya maruz kaldığı için ana ray metalinden daha büyük tane boyutuna sahiptir. Bununla beraber bu bölgede metalürjik dönüşümler meydana gelmektedir. Ergime bölgesine yakın olan kısımla ana malzemeye yakın olan kısım arasında soğuma hızı farklı olduğundan her yumuşamış bölge boyunca sertlik değişmektedir. Tüm kaynak bölgesinde en yüksek sertlik yumuşamış bölgenin ergime çizgisine en yakın olduğu yerde görülür.

Ana malzeme bölgesi ise hadde ürünü olan rayın tipik ince taneli yapısını göstermektedir. Bu bölge kaynak sırasında ısınmakta ancak dönüşüm sıcaklığına ulaşmadığı için orijinal tane boyutu fazla değişmemektedir.

Yumuşamış bölge sertlik dağılım testinin amacı kaynak boyunca bu sertlik değişimini incelemek ve kaynak ile ana ray metalinin uygun bir sertlik geçişi gösterdiğini belirlemektir. Yumuşamış bölgede çok yüksek sertlik kaynakta kırılganlığa, düşük sertlik ise kaynak bölgesinin çabuk aşınarak işlevini kaybetmesine neden olmaktadır.

Testin uygulanmasında EN ISO 6507-1'e göre vickers sertlik testi 30 kg yük uygulanarak kullanılmaktadır. Ölçümler şekil 5.19'da gösterildiği gibi yapılmaktadır.



1 3-5 mm

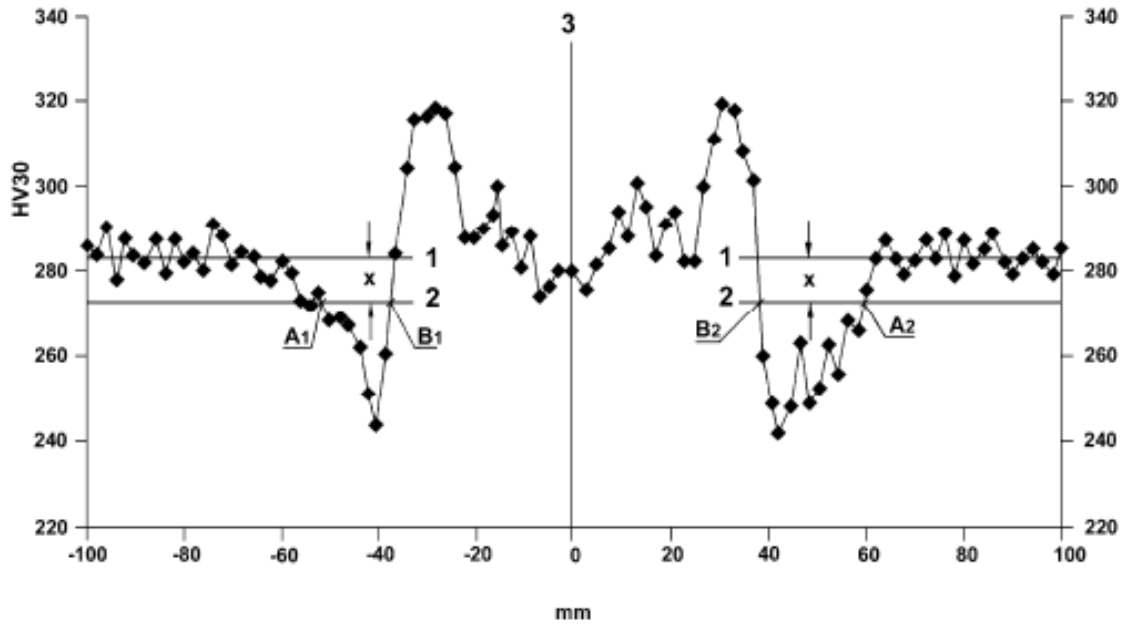
2 Ray

3 Isıdan etkilenmiş bölge

4 Kaynak bölgesi

Şekil 5. 19 Yumuşamış bölge sertlik dağılımı ölçümü [23]

Ölçümler ray üze yüzeyinin 3-5 mm altında 2 mm aralıklarla çizgisel bir tarama olarak yapılmaktadır. Elde edilen tipik grafik şekil 5.20'deki gibidir.



Şekil 5. 20 Tipik sertlik dağılımı grafiği [23]

Testin uygulanmasında ilk adım ana rayın sertliğinin bulunmasıdır. Bu işlem ısıdan etkilenmemiş ana rayda 2'şer mm aralıklı 10 adet ölçüm yapılarak aritmetik

ortalamasının bulunması şeklinde yapılır. Bulunan ortalama ray sertliği şekil 5.20’de gösterilen grafik üzerine 1 çizgisi ile işlenir.

Daha sonra kaynak bölgesi ilk ısıdan etkilenmiş bölgeden başlanarak son ısıdan etkilenmiş bölgenin bitişine kadar 2 mm aralıklarla ölçümler tarama şeklinde alınır. Bu ölçüm sonuçları ile ana raydan alınan 10 ölçümün aritmetik ortalaması alınarak kaynak bölgesinin ortalama sertliği belirlenir. Bu değer de şekil 5.20’deki grafik üzerine 2 çizgisi ile işlenir.

Testin değerlendirilmesi 1 ve 2 çizgisi arasındaki farkın “X” ölçülmesi ile yapılır. Değerlendirme sonucunun çizlge 5.13’e uygun olması istenir.

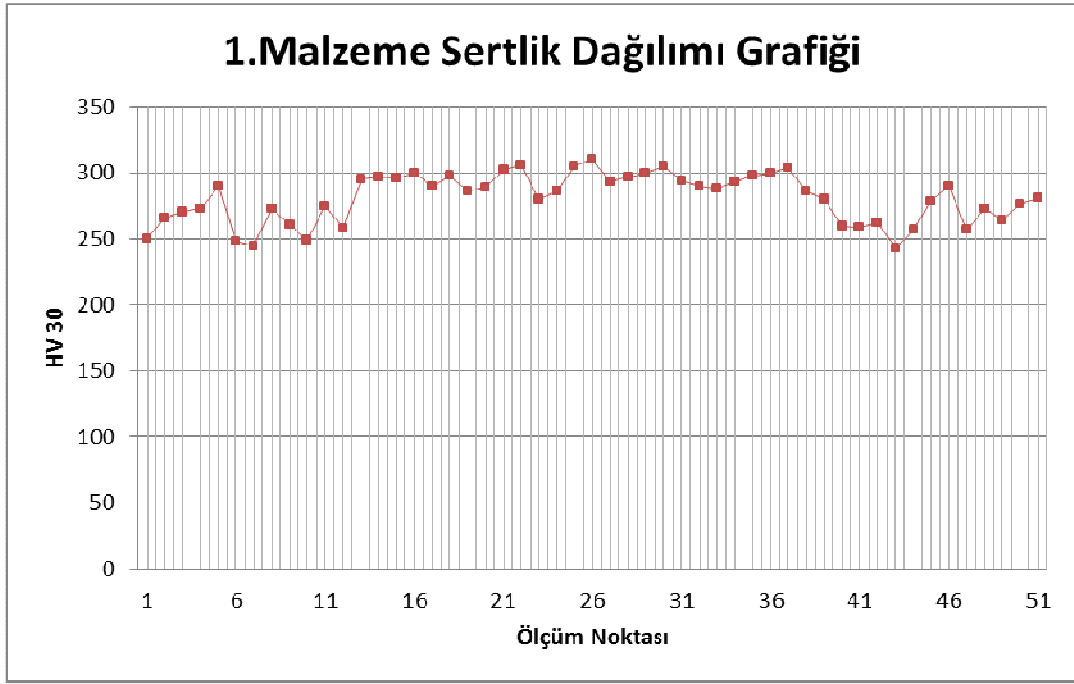
Çizelge 5. 13 Yumuşamış bölge sertlik dağılımı değerlendirme kriteri [23]

Ray Çeliği Kalitesi	X Değeri
R 200, R 220, R 260, R 260 Mn, R 320 Cr	10
R 350 HT, R 350 LHT	25

Etkilenmemiş rayın sertlik değişimi bazen ortalama sertlik değerinden büyük standart sapmaya sahip olabilir. Buda ortalama sertlik ölçüm değerlerini 2. Çizginin altına düşmesine neden olabilir. Bu nedenle yumuşamış bölgenin genişliğinin ölçümünde 2.çizginin altında kalan sertlik değerleri için a) ve b) uygulanırsa önemsenmeyebilir.

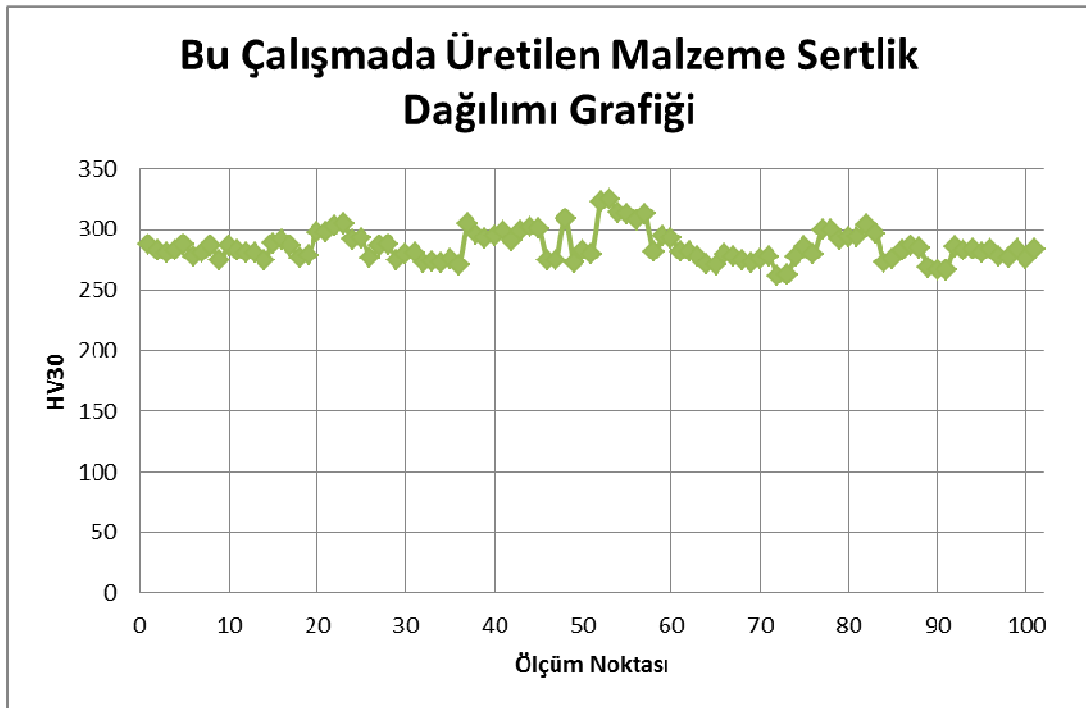
- a) ana rayı tarifleyen ortalama sertlik noktalarının bir taneden daha fazlası 2. Çizginin altında kalmazsa.
- b) 2. Çizginin altında kalan sertlik noktaları A noktasından 4 mm den daha daha altta olacaktır [23].

İncelenen 1. Malzeme için sertlik dağılımı sonuç grafiği şekil 5.21’de gösterilmiştir. Bu malzeme için ortalama ray sertliği 271 HV30, ortalama kaynak sertliği ise 280 HV30 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. 21 1.Malzemeye ait sertlik dağılımı grafiği

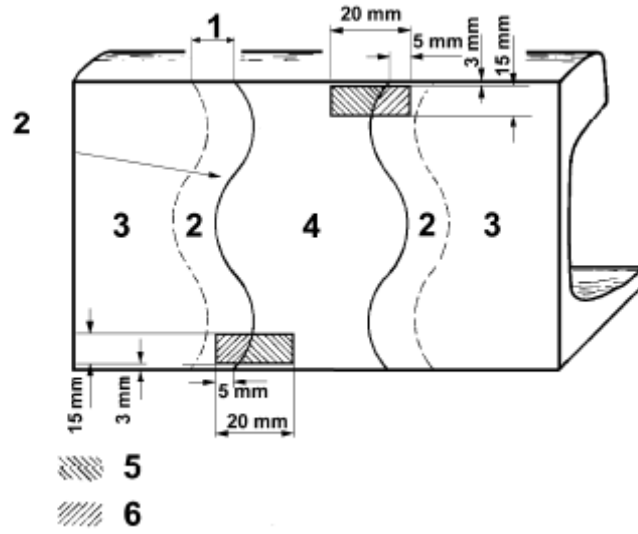
Bu çalışmada üretilen malzemeye ait sertlik dağılımı grafiği ise şekil 5.22’de gösterilmiştir. Bu incelemede ortalama ray sertliği 277 HV30, kaynak sertliği ise 286 HV30 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. 22 Bu çalışmada üretilen malzemeye ait sertlik dağılımı grafiği

5.2.6 Mikroyapı

Bu incelemenin amacı kaynağın ve ısıdan etkilenmiş bölgenin mikroyapısının belirlenmesidir. Kaynak bölgesinin ve ısıdan etkilenmiş bölgenin normal yapısı perlitik-ferritiktir. Bu bölgelerde aşırı sert ve kaynakta kırılabilirliğe neden olan beynit ve martenzit yapıları istenmez. Bu nedenle bu bölgelerin şekil 5.23’da gösterildiği gibi kesilip, dağlanarak X100 büyütmede incelenir.



1 Ray seyir yüzeyinin boyuna merkez çizgisinden ölçülen görünen ısıdan etkilenmiş bölgenin genişliği

2 Isıdan etkilenmiş bölge

3 Etkilenmemiş ray bölgesi

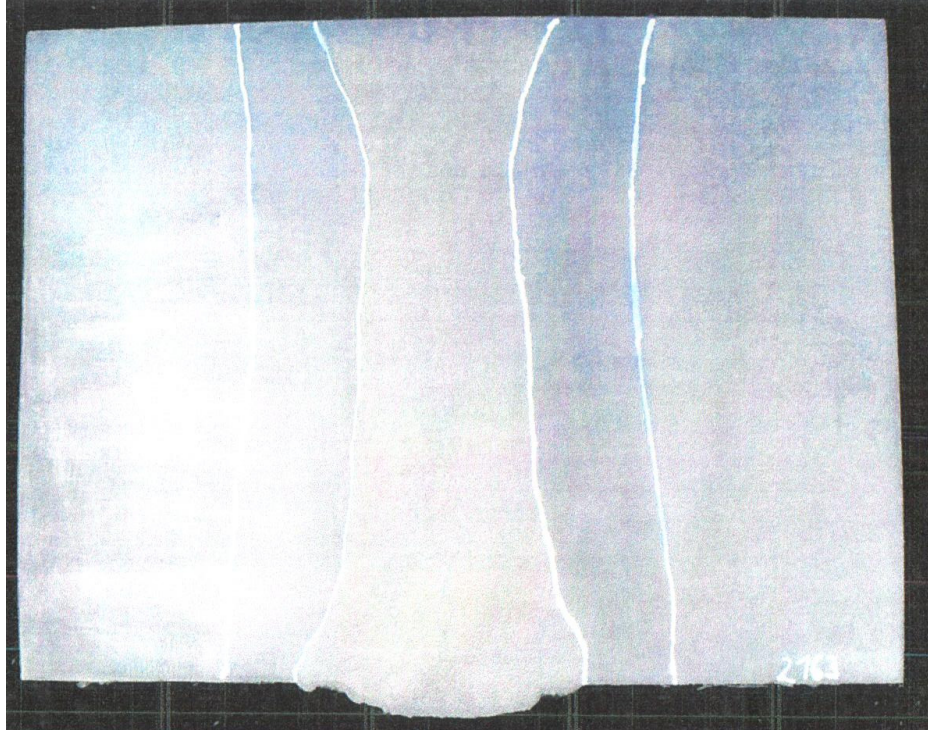
4 Kaynak

5 Mikroskopik olarak test edilecek erimiş bölge

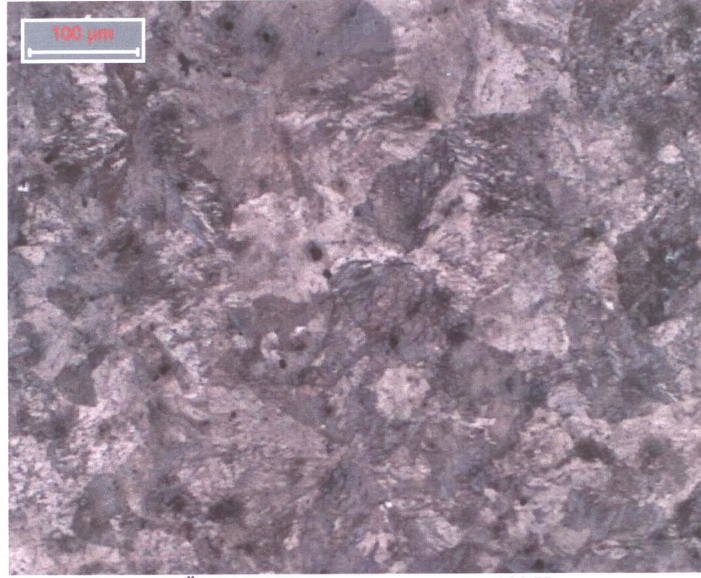
6 Mikroskopik olarak test edilecek ısıdan etkilenmiş bölge

Şekil 5. 23 Mikroyapı incelemesi için numune alma bölgeleri

İncelenen 1. Malzemenin dağlanmış hali şekil 5.24’da, ergimiş bölgenin X100 büyütmede çekilmiş fotoğrafı ise şekil 5.25’de gösterilmiştir. Bu malzemede ergimiş ve ısıdan etkilenmiş bölgede yapı perlitik-ferritiktir. Her iki bölgede de beynitik veya martenzitik yapıya rastlanmamıştır.



Şekil 5. 24 1.Malzemenin dağlanmış hali

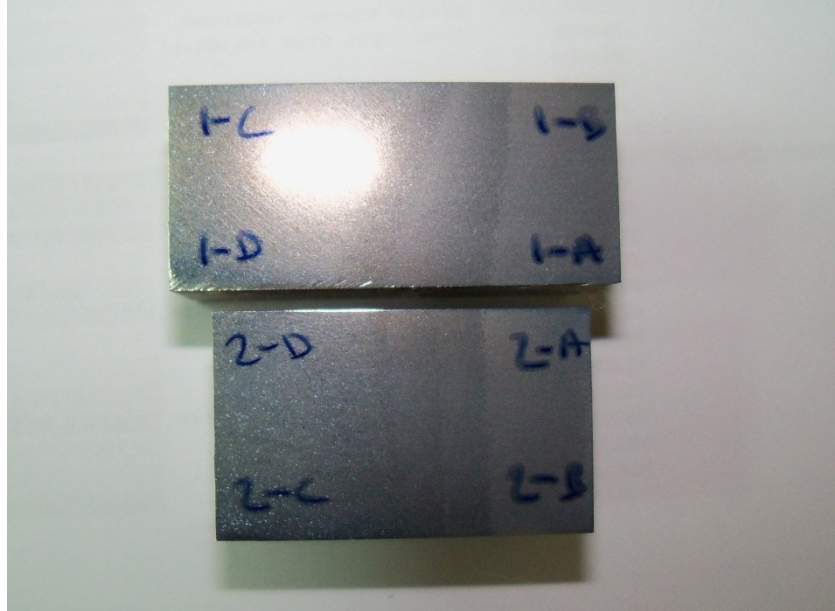


Şekil 5. 25 1.Malzemedeki kaynak bölgesinin X100 büyütmede çekilmiş fotoğrafı

Üretilen numune ile yapılan kaynak da aynı şekilde incelenmiş, ergimiş ve ısıdan etkilenmiş bölgede beynitik veya matenzitik yapıya da rastlanmamıştır. Her iki bölgede de yapı perlitik-ferritiktir. Numunenin dağlanmış hali şekil 5.26'da, alınan numuneler şekil 5.27'de gösterilmiştir.



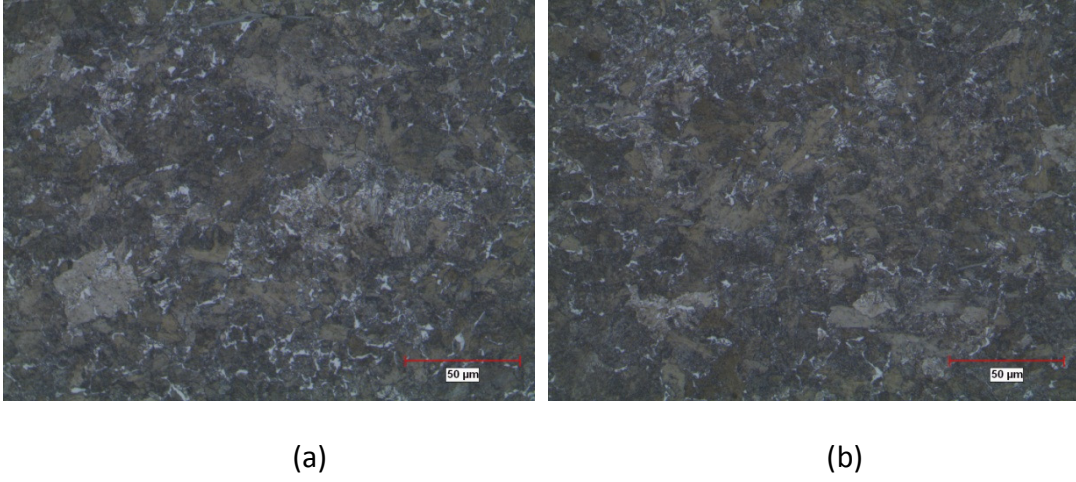
Şekil 5. 26 Bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynağın dağlanmış hali



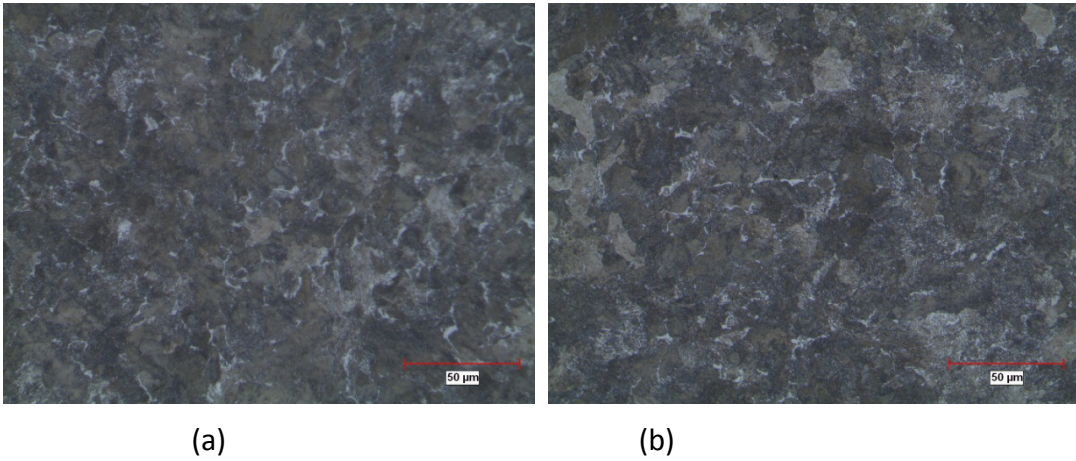
Şekil 5. 27 Bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynaktan alınan numuneler

İncelenen numunelerden 1 nolu numune yuvarlanma yüzeyine yakın, 2 nolu numune ise ray tabanına yakından alınmıştır. 1. Numunenin ısıdan etkilenmiş bölgesinden X100

büyütmede alınan fotoğraflar şekil 5.28’de, 2. Numunenin ısıdan etkilenmiş bölgesinden X100 büyütmede alınan fotoğraflar ise şekil 5.29’da gösterilmiştir.

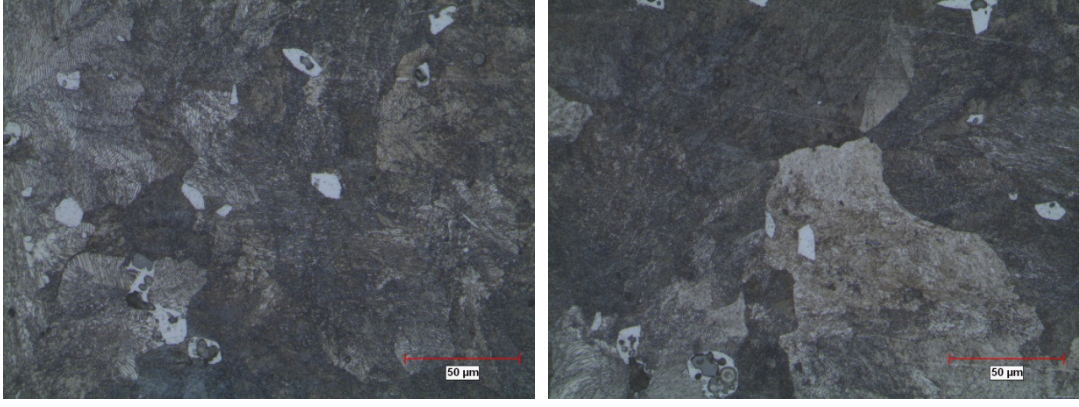


Şekil 5. 28 1. Numunenin ısıdan etkilenmiş bölgesinden alınmış fotoğraflar (a) 1-A, (b) 1-B (100X)



Şekil 5. 29 2. Numunenin ısıdan etkilenmiş bölgesinden alınmış fotoğraflar (a) 2-A, (b) 2-B (100X)

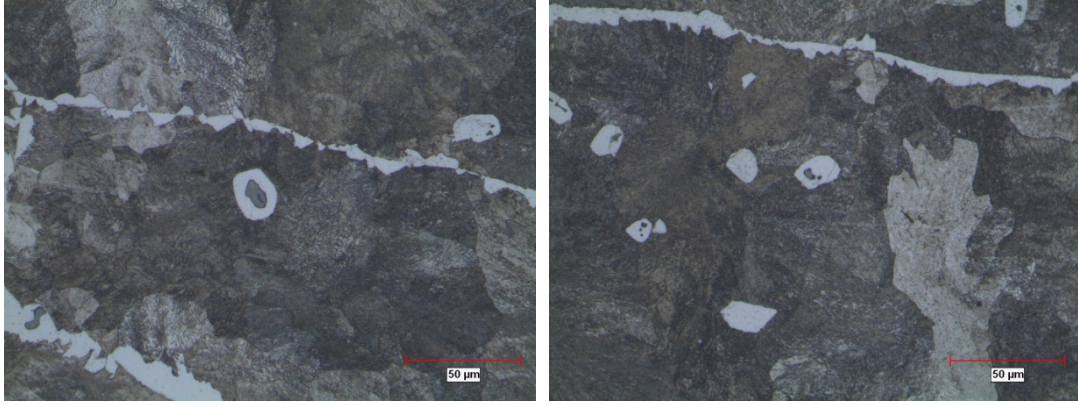
Aynı şekilde kaynak bölgesinin de mikroyapısı incelenmiştir. 1.Numuneden X500 büyütmede alınan fotoğraflar şekil 5.30’da, 2. Numunenin kaynak bölgesinden X500 büyütmede alınan fotoğraflar şekil 5.31’de gösterilmiştir. Bu fotoğraflardan anlaşılacağı üzere kaynak metalinin yapısı perlitik-ferritiktir. Kaynakta kırılmalığa neden olan, dolayısı ile bünyede bulunmasına izin verilmeyen beynit veya martenzit yapılarına rastlanmamaktadır.



(a)

(b)

Şekil 5. 30 1. Numunenin kaynak bölgesinden alınmış fotoğraflar (a) 1-C, (b) 1-D (500X)



(a)

(b)

Şekil 5. 31 2. Numunenin kaynak bölgesinden alınmış fotoğraflar (a) 2-C, (b) 2-D (500X)

5.2.7 Ultrasonik Muayene

Bu muayene ile kaynağın içindeki süreksizliklerin tespit edilmesi hedeflenmektedir.

Muayene kaynağın farklı bölgeleri için şu şekilde yapılmaktadır;

Kaynağın mantar bölgesinin Kontrolü (düzlemsel olmayan hatalar)

Proplar – 70° çift kristalli enine dalgalı; frekans 2 MHz

Test için Prop pozisyonu – rayın seyir yüzeyi

Ret seviyesi – herhangi bir kusur sinyali ≥ 5 mm çaplı düztabanlı delik

Kaynağın mantar bölgesinin Kontrolü (düzlemsel hatalar)

Proplar – iki adet 70° tek kristalli enine dalgalı; frekans 2 MHz

Ek aparat – propları pozisyonlarında sabitlemek için mekanik bilezik

Test için Prop pozisyonu – rayın yan seyir yüzeyi

Ret seviyesi – herhangi bir kusur sinyali ≥ 5 mm çaplı düztabanlı delik

Kaynağın mantar ve gövde bölgesinin Kontrolü (düzlemsel hatalar)

Proplar – iki adet 45° tek kristalli enine dalgalı; frekans 2 MHz

Ek aparat – propları pozisyonlarında sabitlemek için mekanik bilezik

Test için Prop pozisyonu – rayın seyir yüzeyi

Ret seviyesi – herhangi bir kusur sinyali ≥ 5 mm çaplı düztabanlı delik

Kaynak tabanının orta bölgesinin Kontrolü

Proplar – iki adet 45° tek kristalli enine dalgalı; frekans 2 MHz veya 4 MHz

Test için Prop pozisyonu – rayın seyir yüzeyi

Ret seviyesi – herhangi bir kusur sinyali ≥ 5 mm çaplı düztabanlı delik

Kaynak tabanının gövdeyle birleşim bölgesinin Kontrolü

Proplar – bir adet 70° tek kristalli enine dalgalı; frekans 2 MHz veya 4 MHz

Test için Prop pozisyonu – kaynağın hemen dibinde rayda tabanla gövdenin birleşim yerinin üst yüzeyi

Ret seviyesi – herhangi bir kusur sinyali ≥ 5 mm çaplı düztabanlı delik

Kaynak tabanının uç bölgesinin Kontrolü

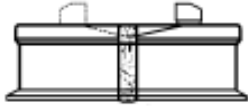
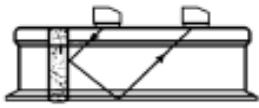
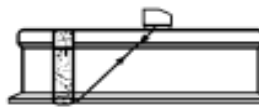
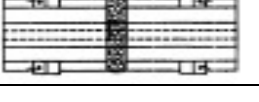
Proplar – bir adet 70° tek kristalli enine dalgalı; frekans 2 MHz veya 4 MHz

Test için Prop pozisyonu – kaynağın hemen dibinde rayda tabanın uç kısımlarının üst yüzeyi

Ret seviyesi – herhangi bir kusur sinyali ≥ 5 mm çaplı düztabanlı delik [23].

Muayene sırasında kullanılan proplar çizelge 5.14’te gösterilmiştir.

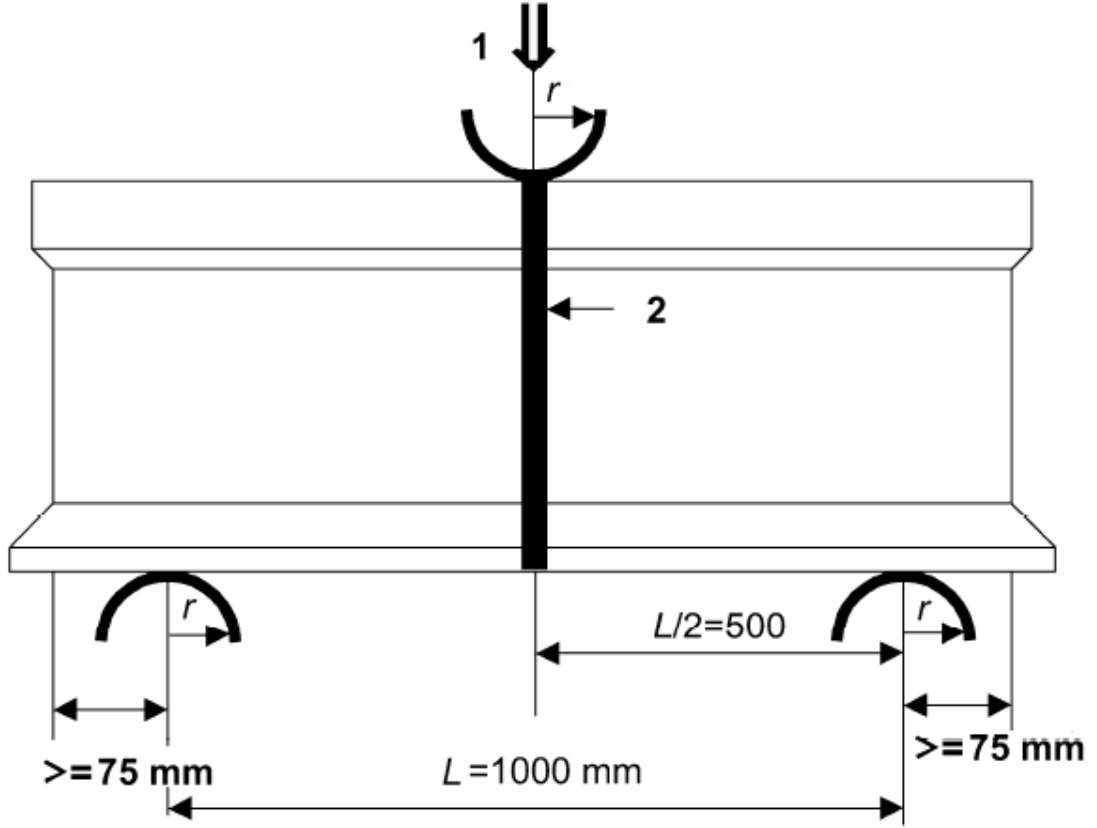
Çizelge 5. 14 Kaynakların ultrasonik muayenesi için kullanılan proplar [23]

Testin özeti			
1	Düzlemsel olmayan hatalar için ray mantarının kontrolü		Her iki tarafta birer adet 70° çift kristalli prop
2	Düzlemsel hatalar için ray mantarının kontrolü		İki adet 70° tek kristalli prop (TX & RX)
3	Düzlemsel hatalar için ray gövdesinin kontrolü		iki adet 45° tek kristalli prop tandem metodu için sabitleyici bilezikli
4	Tabanın orta bölgesinin kontrolü		bir adet 45° tek kristalli prop her iki tarafta
5	Boyun bölgesinin kontrolü		Bir adet 70° tek kristalli prop
6	Taban uçların kontrolü		Bir adet 70° tek kristalli prop

İncelenen ticari malzeme ve bu çalışmada üretilen malzemeye yapılan kaynakların her ikisinin de ultrasonik muayeneleri olumlu çıkmıştır.

5.2.8 Eğme Testi

Bu test kaynağın düşük bir yükleme hızındaki bir tekil kuvvete gösterdiği dayanımı ölçmek için yapılmaktadır. Testin şematik gösterimi şekil 5.32’de verilmiştir. Numunenin S49 profili için 787,84 kN yüke kırılma veya çatlama emaresi göstermeden dayanması istenir. Testte en düşük numune boyu 1150 mm, yükleme hızı ise en fazla 60 kN/sn olmaktadır [23].



1 Kuvvet

2 Kaynak

Şekil 5. 32 Eğme testi düzeneği [23]

1.Malzeme ile yapılan kaynak teste tabi tutulmuş ve 1048 kN yük altında 18,7 mm sehim göstererek kırıldığı gözlenmiştir.

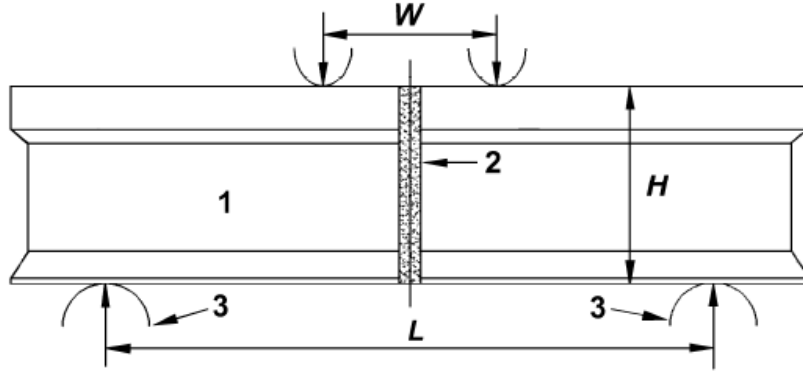
2.Malzeme ile yapılan testte malzeme 989,7 kN yük altında 17,43 mm sehim göstererek kırılmıştır.

Bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynak teste tabi tutulmuş ve 933 kN yük altında 17,21 mm sehim göstererek kırıldığı gözlenmiştir.

5.2.9 Yorulma Testi

Bu deneyle kaynağın uzun süre tekrar eden yüklere karşı dayanımı incelenmektedir. Testin şematik gösterimi şekil 5.33'dedir. Kaynağın asgari gerilim/azami gerilim oranı 0,1 olacak şekilde dört noktalı uygulanan 5×10^6 çevrimden sonra herhangi bir çatlama

veya kırılma belirtisi göstermemesi istenir. TCDD'ye ait Alüminotermite Ray Kaynağı Teknik Şartnamesi [21]'de uygulanması istenen asgari yük 19 KN, azami yük 190 KN'dur.



1 Ray

2 Kaynak

3 Mafsal

Şekil 5. 33 Yorulma testi düzeneği [23]

Bu çalışma gerçekleştirilirken, yorulma testinin yapılabileceği TCDD-İstanbul Teknik Üniversitesi ortaklığıyla kurulmuş ve işletilen HASLAB'da bulunan yorulma deneyi cihazında meydana gelen yazılım arızası nedeniyle yorulma testi gerçekleştirilememiştir.

SONUÇLAR, TARTIŞMALAR VE EKONOMİK ANALİZ

6.1 Sonuçlar ve Tartışmalar

Bu çalışmada üretilen malzemenin ve bu malzeme kullanılarak yapılan kaynağın özellikleri hali hazırda piyasada bulunan ticari malzemelere yakın ve EN 14730-1'e uygundur.

Bu çalışmada üretilen malzeme ile diğer malzemeler arasında kimyasal kompozisyon açısından önemli bir fark görünmemektedir. Bu çalışmada incelenen tüm kaynak malzemeleri S49 ray profiline uygun malzemelerdir. Tüm malzemelerde doldurulması gereken kaynak aralığı 26-30 mm arası olduğundan elde edilmesi hedeflenen sıvı metal miktarı aynıdır. Malzemelerin demir oksit oranları arasındaki fark kullanılan demir oksit malzemesinin yapısına, tenörüne, manyetit ve hematit içeriğine bağlıdır.

Kaynak malzemeleri arasındaki temel fark bu çalışmada üretilen malzemedeki özellikle demir oksitlerin tane boyutunun ticari malzemelerden daha büyük olmasıdır. Bunun nedeni üretimde herhangi bir işlemde geçirilmemiş, yassı haldeki hadde tufali kullanılmasıdır. Ticari malzemelerde ise kullanılan demir oksit bileşenleri daha çok eş eksenlidir ve bu sayede reaksiyon hızını belirlemek için gereken yüzey alanı daha küçük ortalama tane boyutu ile sağlanabilmektedir.

Tane boyutu büyüklüğü reaksiyon hızını belirlemektedir. Bu zamanın çok kısa olması reaksiyonun tam gerçekleşmemesi ve sıvı metal-cüruf ayrımının tam olarak gerçekleşmemesine, çok yavaş olması ise potadan ısı kaybına neden olmaktadır.

Bu çalışmada üretilen malzemenin uygun reaksiyon hızına ulaşmasını sağlamak amacıyla kullanılan alüminyum tozu özellikle ince tutularak yüzey alanı artırılmıştır. Bu sayede tutuşma başladıktan sonra 28. Saniyede potanın açılması sağlanmıştır. Bu zaman 1. Malzeme için 25 saniye, 2. Malzeme için 27 saniyedir.

İncelenen ve üretilen malzemelerin XRD analizine bakıldığında ticari malzemelerin grafiklerinin birbirine yakın olduğu, bu çalışmada üretilen malzemenin grafiğinde ise istenmeyen pikler bulunduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni ticari malzemeleri üreten firmaların daha saf ve aynı kalitede hammadde temin edebilmeleridir. Bu çalışmada üretilen malzemenin imalinde kullanılan hammaddelerde ise bir miktar yabancı maddeler bulunmaktadır. Ayrıca sürekli aynı kalitedeki hammaddeyi temin etmek oldukça zordur.

Yapılan kaynakların karakterizasyonu sırasında yapılan sertlik testi ve yumuşamış bölgenin sertlik dağılımı testinde bu çalışmada üretilen malzeme ile yapılan kaynağın sertliğinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun temel nedeni üretilen malzemeyle yapılan kaynağın karbon oranının 1. ticari malzemedan yüksek olması ve üretilen malzemedan açığa çıkan ısı miktarının ticari malzemedan daha düşük olması nedeniyle soğuma hızının daha fazla olmasıdır. Ancak hem sertlik değerleri, hem de kimyasal analiz sonuçları istenen sınırlar içindedir.

1. Ticari malzemedan açığa çıkan ısı miktarının daha fazla olması kendini ısıdan etkilenmiş bölgenin genişliği ve ergimiş bölge şekil ve boyutları incelemesinde göstermektedir. Beklendiği üzere ergime mesafesi ticari malzemedan daha fazla, ısıdan etkilenmiş bölgesi daha geniştir.

2. Malzemedan ise demir oksit oranının görece düşük, karbon oranının ise görece yüksek olması hem 1. Malzemedan, hem bu çalışmada üretilen malzemedan daha yüksek sertlik gösteren bir kaynakla sonuçlanmıştır. Karbon oranının yüksek olması gibi, düşük demir oksit oranı açığa çıkan ısı miktarını sınırlamış, bu da soğuma hızının artmasına ve sonuç olarak kaynağın sertliğinin artmasına neden olmuştur.

Yumuşamış bölgenin sertlik dağılımı incelenmesinde 1 malzeme ve bu çalışmada üretilen malzeme düzgün birer dağılım göstermektedir. Beklendiği üzere bu çalışmada üretilen malzemenin sertliği daha fazladır.

Her iki kaynağın da mikro yapısı perlitik-ferritiktir. Bu çalışmada üretilen malzemeye yapılan incelemede 500X büyütmede dahi beynit ve martenzit yapılarına rastlanmamıştır. Oluşan perlit lamelleri oldukça incedir ve bu kaynağa ticari malzemedenden daha fazla sertlik vermektedir.

Ray yüksek karbonlu çelik olduğundan kaynak işleminde martenzit oluşumu ve buna bağlı sertleşmeye oldukça hassastır. Ancak yapılan ön ısıtma ve reaksiyon sonucu açığa çıkan yüksek ısı nedeniyle martenzit oluşmaması için yeteri kadar düşük bir soğuma hızı elde edilmiştir.

Kaynağın dağlanmış yüzeyinde boyuna eksin üzerinde kaçınılmaz çekme boşlukları görülmektedir. Bu boşluklar ek son katılaştan merkezde meydana gelen hacimce çekme sonucu oluşmaktadır. Ancak bu boşluklar standarda uygun miktarda ve boyuttur.

6.2 Ekonomik Değerlendirme

Bu bölümde, bu çalışmada imal edilen alüminotermite kaynak malzemesini seri olarak üreten bir üretim tesisinin yaklaşık maliyeti ve yapılan üretimin karlılık oranı hesaplanmıştır.

Hesaplar yapılırken, üretim tesisinin Gebze-Tuzla arasında kurulduğu, yıllık 200.000 adet alüminotermite kaynak kiti üretim kapasitesine sahip olduğu, döviz kurunun 1 E = 2,57 TL olduğu, asgari ücretin 16 yaşından büyükler için 837,00 TL olduğu, alınan üretim araçlarının 400.000 kaynak üretiminden sonra kendini amorti edeceği ve bir kaynak kitinin vergisiz satış fiyatının 65 TL olacağı kabul edilmiştir.

Hali hazırda piyasada satılmakta olan kaynak kitlerinin fiyatları yaklaşık 30 E (77,1 TL) 'dir [24].

Bu kabullere göre yapılan 2 yıllık (400.000 kaynak üzerinden) yapılan gider hesabı tablo 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6. 1 Gider ve maliyet hesabı

KALEM	TUTAR
5100 m ² Fabrika Kira Bedeli	888.000 [25]
Kurutma Fırını	35.000 [26]
2 Adet Büyük Silo	38.000 [27]
5 Adet Küçük Silo	5.000 [28]
5 Adet Helezon Makinesi	9.500 [29]
Çeneli Kırıcı	80.000 [30]
Torbalama Makinesi	45.000 [31]
Hammadde	7.674.800 [32],[33],[34],[35]
Kalıp, Maytap, Macun	6.800.000
Elektrik ve Yakıt Gideri	240.000
Personel Gideri	960.000
Büro Makineleri ve Diğer Makineler	20.000
Kırtasiye ve Sarf Malzeme	20.000
Motorlu Taşıt Giderleri	100.000
Nakliye ve Taşımacılık Giderleri	50.000
Sigorta ve Finansman Giderleri	50.000
Bakım ve Yedek Parça Giderleri	50.000
Diğer Tüm Giderler	50.000
TOPLAM GİDER	17.115.300 TL
(a) 1 ADET İÇİN VERGİSİZ MALİYET	42,79 TL

Bir adet kaynak kitinin vergisiz satış fiyatının 65 TL olacağı kabul edilerek hesaplanan kurumlar vergisi miktarı, nihai satış fiyatı ve karlılık oranı çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6. 2 Nihai satış fiyatı ve karlılık oranı hesabı

(b) 1 Adet İçin Vergisiz Satış Fiyatı	65 TL
(c) Vergi Matrahı (b-a)	22,21 TL
(d) Kurumlar Vergisi Miktarı (c*% 20)	4,44 TL
(e) Toplam Maliyet (a+d)	47,23 TL
(f) Nihai Satış Fiyatı (b+d)	69,44 TL
(g) Bir Adet İçin Kar Miktarı (f-e)	22,21 TL
(h) Karlılık Oranı (g/a)	% 52
400.000 Kaynak Üzerinden Toplam Kar	8.884.000

BÖLÜM 7

GENEL SONUÇLAR

Yapılan çalışmanın sonuçlarından şunlar anlaşılmaktadır.

- i.Yerli imkanlarla halihazırda piyasada satılan ticari malzemelerin özelliklerine yakın nitelikte ve EN 14730-2'ye uygun alüminotermite kaynak kiti üretmek mümkündür.
- ii.Bu çalışmada uygulanan sertlik testinde 1. Malzeme 289 HBW, 2. Malzeme 302 HBW, bu çalışmada üretilen malzeme 296 HBW sertlik değeri göstermiştir.
- iii.Ergimiş bölge hem ticari malzeme, hem de bu çalışmada üretilen malzeme kaynağın dikey eksenine göre simetrik olup, sırasıyla 4 mm ve 3,5 mm'dir.
- iv.Isıdan etkilenmiş bölgenin ölçümü sonucu genişliğin 1. Malzeme 30 mm, bu çalışmada üretilen malzeme 26 mm olduğu görülmüştür.
- v. Ticari malzemeler ve bu çalışmada üretilen malzemelerle yapılan kaynaklarda kimyasal analiz sonucunun EN 14730-1'e uygun olduğu görülmüştür.
- vi.Yumuşamış bölgenin sertlik dağılımı incelemesinde 1. Malzemenin ve bu çalışmada üretilen malzemenin düzgün bir sertlik dağılımı gösterdiği ve EN 14730-1'e uygun olduğu görülmüştür.
- vii.Mikroyapı incelemesinde 1. Malzeme ve bu çalışmada üretilen malzeme beyrit veya martenzit yapısına rastlanmamıştır.
- viii.Ultrasonik muayene 1. Malzeme ve bu çalışmada üretilen malzeme için uygundur.

- ix.Eğme testi sonucu 1. Malzeme için 1016 N/mm^2 yük altında 16,26 mm sehim, 2. Malzeme için $989,7 \text{ N/mm}^2$ yük altında 17,43 mm sehim, bu çalışmada üretilen malzeme için 933 N/mm^2 yük altında 17,21 mm sehimdir.
- x.Alüminotermite kaynak kiti üretiminde en önemli nokta temiz ve sürekli aynı kaliteyi sağlayabilen demir oksit kaynağı kullanmaktır.
- xi.Bu üretimin ülkemizde yapılması halinde yıllık 1,5 – 2 milyon E’luk bir ithalat masrafına gerek kalmayacaktır.
- xii.Ülkemizde bir adet alüminotermite kaynağı kiti üretim maliyeti 42,79 TL olarak hesaplanmıştır. Bu miktar üretim tesisinin gelişmesi, otomasyon sistemi kurulması ve ürün ihracatına başlanması halinde daha da düşecektir.
- xiii.Bu çalışmada yalnızca R260 kalitesindeki S49 ve UIC60 raylara uygun alüminotermite kaynağı kiti üretimi ele alınmıştır. Üretimdeki küçük ve ucuz değişimlerle oluklu raylara ve değişik çelik kalitelerindeki raylara uygun kitler de üretilip, ciro artırılabilir.
- xiv.Ülkemizde kurulacak olan bir tesisle yapılacak üretimde satış fiyatının yaklaşık 70 TL olarak hesaplanması durumunda karlılık oranı % 52 olacaktır.
- xv.Ülkemizde demiryolu sektörünün büyüme trendinde olduğu göz önüne alınırsa kaynak kiti piyasasının da büyüyeceği ön görülebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Wikipedia, Demiryolu, <http://tr.wikipedia.org/wiki/Demiryolu>, 20 Mayıs 2011.
- [2] Wikipedia, Rail Transport, http://en.wikipedia.org/wiki/Rail_transport, 20 Mayıs 2011.
- [3] Wikipedia, Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, http://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye_Cumhuriyeti_Devlet_Demiryollar%C4%B1, 20 Mayıs 2011.
- [4] İETT, Tünel, <http://www.iett.gov.tr/metin.php?no=46>, 20 Mayıs 2011.
- [5] Wikipedia, Deutsche Bahn, http://en.wikipedia.org/wiki/Deutsche_Bahn, 20 Mayıs 2011.
- [6] CIA, The World Factbook, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/>, 20 Mayıs 2011.
- [7] Kökçe,Y.,(2002), Demiryolu Taşıt ve Raylarının Üretim ve Tamir-Bakımında Uygulanan Kaynak Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] EN 13674-1, (2003), Railway applications - Track - Rail - Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above, CEN, I.Baskı, Brüksel.
- [9] Kardemir A.Ş., (2011), UIC 60 Raylara Uygulanan Uygunluk Test Raporu, Karabük
- [10] UIC 720, (2002), Rail Defects, UIC, 4.Baskı, Paris.
- [11] Lonsdale, C.P., Thermite Rail Welding: History, Process Developments, Current Practices and Outlook for the 21st Century, Conrail Technical Services Laboratory, Altoona, PA
- [12] Kaluç, E. ve Taban, E., (2005), "Termit Kaynağı ve Uygulama Alanları", MakinaTek, Sayı 97
- [13] Duraes, L., Brito, P., Campos, J. ve Portugal, A., (2006), "Modelling and Simulation of Fe₂O₃/Aluminum Thermite Combustion: Experimental Validation", 16 th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 9-13 Temmuz 2006, Garmisch-Partenkirchen.

- [14] Mei, J., Halldearn, H.D. ve Xiao, P., (1999), "Mechanisms of Aluminium-Iron Oxide Thermite Reaction", Scripta Materialia, 41(5):541-548.
- [15] Welding Technology Institute of Australia, (2006), Aluminothermic Weld Defects, Yayın No: TGN-R-04, Newington.
- [16] Chen, Y., Lawrence, F., Barkan, C. ve Dantzig, J., (2005), "Weld Defect Formations in Rail Thermite Welds", IMechE, 220:373-384.
- [17] Ilic, N., Jovanovi, M., Todorovic, M., Trtanj, M. ve Saponjic, (1999), "Microstructural and Mechanical Characterization of Postweld Heat-Treated Thermite Weld in Rails", Materials Characterization, 43:243-250.
- [18] Dilaver, Ş., (2006), "Raylı Sistemlerde Termit Kaynak Problemlerinin Hat Bakım Maliyetlerine Etkisi.", Ulaşım A.Ş.
- [19] Terashita, Y. ve Tatsumi, M., (2003), "Analysis of Damaged Rail Weld", QR of RTRI, 44(2):59-64.
- [20] Schroeder, L.C. ve Poirier, D., (1983), "Improving the Structure and Properties of Thermite Weld Metal", Materials Science and Engineering, 63:23-33.
- [21] Moller, R., Mutton, P. ve Steinhurst, M., (2001), "Improving the Performance of Aluminothermic Rail Welding Technology, through Selective Alloying of the Rail Head", 7th International Heavy Haul Conference, 2001, Brisbane
- [22] EN 14730-2, (2005), Railway Applications – Track – Aluminothermic Welding of Rails – Part 2: Qualification of aluminothermic welders, approval of contractors and acceptance of welds, CEN, I.Baskı, Brüksel.
- [23] Tulumtaş, H., (2008), "Alüminotermit Ray Kaynağı Teknik Şartnamesi", TCDD Yol Dairesi Başkanlığı.
- [24] Railtech International, (2011), Proforma Fatura, 109/2011JH, Gennevillers
- [25] Sahibinden, <http://www.sahibinden.com/ilan/emlak-isyeri-kiralik-umut-gayrimenkulden-gebze-osbe-de-iki-katli-5100m2-fabrika-56795280/detay/?>, 16 Ağustos 2011
- [26] Sahibinden, <http://www.sahibinden.com/ilan/is-makineleri-sanayi-sanayi-endustri-makineleri-kereste-kurutma-firini-kazan-bilgisayar-dahil-56700336/detay/?>, 16 Ağustos 2011
- [27] Sahibinden, <http://www.sahibinden.com/ilan/is-makineleri-sanayi-is-makineleri-insaat-yol-tasima-diger-cimento-silosu-75-ton/detay/?>, 16 Ağustos 2011
- [28] Sahibinden, <http://www.sahibinden.com/ilan/is-makineleri-sanayi-sanayi-endustriyel-makineler-sanayi-filtre-emis-tanki-salyangoz-tip-33979683/detay/?>, 16 Ağustos 2011
- [29] Sahibinden, <http://www.sahibinden.com/ilan/is-makineleri-sanayi-is-makinesi-satilik-is-makinesi-helezon-saftli-ve-220-elektrikli-49194949/detay/?>, 16 Ağustos 2011

- [30] Sahibinden, <http://www.sahibinden.com/ilan/is-makineleri-sanayi-sanayi-endustriyel-makineler-90-x-65-ceneli-kirici-besleyici-bunkeri-ile-birlikte-44738656/detay/?>, 16 Ağustos 2011
- [31] Sahibinden, Torbalama Makinesi, <http://www.sahibinden.com/ilan/is-makineleri-sanayi-sanayi-endustri-makineleri-torbalama-makinasi-49388308/detay/?>, 16 Ağustos 2011
- [32] LME, Aluminium, <http://www.lme.com/aluminium.asp>, 21 Ağustos 2011
- [33] Alibaba, Magnetite, http://www.alibaba.com/product-gs/326877399/Factory_price_selling_magnetite_in_filter.html, 21 Ağustos 2011
- [34] Metalprices, Ferromanganese, <http://www.metalprices.com/FreeSite/metals/mn/mn.asp>, 21 Ağustos 2011
- [35] Industrial Minerals, Graphite, <http://www.indmin.com/Article/2885262/Synthetic-graphite-prices-jump-on-shortage-of-material.html>, 21 Ağustos 2011

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Kenan BAY
Doğum Tarihi ve Yeri : 04/10/1985 Turhal
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : kenan_bay@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Met. Ve Malz. Müh	Dokuz Eylül Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Gölcük İhsaniye A.L.	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009 – Halen	TCDD	Kaynak Mühendisi
2008 – 2009	Teksan Mak. ve Yapı Elem. Ltd. Şti.	Kalite Mühendisi