



**ALİMÜNÖTERMİT KAYNAĞIYLA
BİRLEŞTİRİLMİŞ, MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ
“R350HT” RAYIN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Adem ARI

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Bilge DEMİR**

**ALİMÜNÖTERMİT KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ, MANTARI
SERTLEŞTİRİLMİŞ "R350HT" RAYIN MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Adem ARI

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2021**

Adem ARI tarafından hazırlanan “ALİMÜNÖTERMİT KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ ”R350HT” RAYIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin, Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bilge DEMİR

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 02/12 /2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Fatih YILMAZ (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Adem ARI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALİMÜNÖTERMİT KAYNAĞIYLA BİRLEŞTİRİLMİŞ MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ "R350 HT" RAYIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Adem ARI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

Aralık 2021, 127 sayfa

Tren raylarının cebire ve diğer ekipmanlarla bağlamak yerine, kaynak metotlarıyla birleştirilmesi, demiryolu seyahat konforunu ve demiryollarının rijitliğini geliştirmiştir. Bunun yanında günümüzde ray ömrünü uzatan sıcak hadde sonrası kontrollü ve hızlı soğutmayla ray mantar sertleşmesi sağlanarak önemli ekonomik kazançlar elde edilmektedir. Ray kaynak metotlarından Alümünotermit kaynağı saha birleştirme yöntemi olarak günümüzde de önemini devam ettirmektedir. Ray termit kaynağı, basitliği, taşınabilirliği ve ekonomisi nedeniyle demiryolu endüstrisi için değerli bir kaynak teknolojisidir. Bununla birlikte özellikle termal işlem ile üretilen R350HT mantarı sertleştirilmiş rayların birleştirmesinde kritik dönüşümlere sebep olabilmekte ve bunlar ray ömür ve performansını oldukça etkilemektedir. Bundan dolayı bu çalışmada R350HT mantarı sertleştirilmiş rayların Alümünotermit kaynaklı birleştirme yöntemlerinin metalürjik yapı ve mekanik özelliklerinin kaynak

parametrelerine bağlı olarak değişimi ve gelişimi incelenmiş, ayrıca ilgili uluslararası standartlara uygunluğu ve birbirine karşı üstünlükleri ve avantajları araştırılmıştır.

Deneysel alışmalar da 60 adet R350HT mantarı sertleştirilmiş ray numunesi 120 cm uzunluğunda kesilerek hazırlanmış ve bu numunelerin 20 tanesine Pandrol firmasının PLA yöntemi, 20 Tanesine SkV elit L25, 20 tanesine SOW-5 yöntemli alüminotermit kaynağı uygulanmıştır. Sonrasında bu kaynaklı birleştirmeler tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemlerine tabi tutulmuşlardır. Numuneler sırasıyla görsel muayene, ultrasonik muayene, eğme deneyi, makro yapı incelemesi, sertlik taraması, yuvarlanma yüzeyi sertlik deneyi, mikro yapı incelemesi, yorulma deneyi ve kimyasal analiz deneylerine tabi tutulmuş sonuçlar ayrıca, TS EN 14730-1+A1 standardı ile de karşılaştırılarak kritik yapılmıştır. Deneysel sonuçlar bu çalışmada kullanılan parametrelerle üretilen kaynaklı birleştirmelerin bu standartlara uygunluğunu göstermiştir. SKV ve PLA yöntemiyle yapılan kaynak numunelerinin eğme ve yorulma deneyi sonuçları, standartları karşılamadığı için testler durdurulmuş, SOW-5 yöntemiyle birleştirilen numunelerde istenilen değerlere ulaşıldığı için tüm deneyler yapılmıştır. Elde edilen bütün değerler SOW-5 yönteminin diğer yöntemlere göre daha üstün olduğu sonucunu desteklemektedir.

Anahtar Sözcükler : R350HT, Alimunothermit kaynağı, mantarı sertleştirilmiş ray, mikroyapı ve mekanik özellikler.

Bilim Kodu : 91421

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAD-HARDENED "R350HT" RAILS JOINED BY ALUMINOTHERMITE WELDING

Adem ARI

**Karabuk University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Bilge DEMİR

December 2021, 127 pages

Combining railway tracks with welding methods instead of connecting with splint and other equipment has improved the comfort of railway travel and the rigidity of railways. In addition, significant economic gains are achieved by providing rail cork hardening with controlled and rapid cooling after hot rolling, which extends the rail life today. As one of the rail welding methods, alluminothermal welding continues to be important today as a field joining method. However, the R350HT cork produced especially by thermal treatment can cause critical transformations in the joining of hardened rails and these affect the rail life and performance quite a lot. Therefore, in this study R350HT rails metallurgical structure and mechanical properties of head hardened alumunotermit welding assembly methods change depending on the parameters of the source and examined the development of and compliance with the

relevant international standards also investigated the advantages and benefits against each other.

In experimental studies, 60 R350HT Cork hardened rail samples were prepared by cutting 120 cm long and 20 of these samples were welded with Pandrol's PLA method, 20 were welded with SkV elit L25, 20 were welded with SOW-5 method. After that, these welded joints were subjected to destructive and non-destructive testing methods. The samples were subjected to visual inspection, ultrasonic inspection, bending test, macrostructure examination, hardness screening, rolling surface hardness test, microstructure examination, fatigue test and chemical analysis experiments respectively. The results were also compared with TS EN 14730-1 + A1 standard and made critical. Experimental results have shown that the welded joints produced with the parameters used in this study comply with these standards. The tests were stopped because the results of the bending and fatigue experiments of the welding samples made with the SKV and PLA methods did not meet the standards, and all experiments were performed because the desired values were reached in the samples combined with the SOW-5 method. All the obtained values support the conclusion that the SOW-5 method is superior to other methods.

Keywords : R350HT, Alimunothermite welding, head-hardened rail,
microstructure and mechanical properties.

Science Code : 91421

TEŞEKKÜR

Bütün alıőmam boyunca bana yol gösteren, alıőma azmi ve gayret aőılayan en karamsar anlarımda bile, bana olan sonsuz gvenini vurgulayarak zinde tutan, ynlendiren, motive eden pek değerli hocam, bilim insanı Prof. Dr. Bilge DEMİR'e sonsuz Őukranlarımı arz ederim.

TCDD Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi (DATEM) İşletme Müdürü Sayın Atilla KESKİN'e, Bakım Dairesi styapı Őube Müdürlüğünde alıőan Mühendis Sayın Hacer TULUMTAŞ'a Laboratuvar ve deney çalıőmalarında bana verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

DATEM Araç Teknolojileri Müdürü ve DEMUHDRER Baőkanı Sayın etin TEKİN'e Ayrıca, TCDD Ankara Demiryolu Eğitim ve Sınav Merkezi Müdürlüğü ğretmenleri, Dursun YAVUZ ve Hakan KARLIDAğ'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
RAYLAR	6
2.1. RAY ÖZELLİKLERİ.....	6
2.2. RAY TIPLERİ.....	7
2.2.1. Normalizasyon Isıl İşlemlili Raylar	9
2.2.2. Isıl İşlemlili Raylar	9
2.2.3. Yüksek Alaşımli Ray Çelikleri.....	12
2.3. STATİK SERTLİK MUAYENESİ.....	12
2.3.1. Brinel Sertliği.....	12
2.3.2. Rockwel Sertliği	13
2.4. RAYLARIN İŞARETLLENMESİ.....	13
2.5. RAY PROFİLLERİ.....	13
2.6. RAY BOYLARI.....	17
2.7. RAYLARI ZORLAYAN ETKENLER.....	17
2.7.1. Dikey Tekerlek Yüku etkileri	18
2.7.1.1. Raylardaki Yuvarlanma Yüzeyi Temas Yorgunluğu.....	18

Sayfa

2.7.1.2. Ray Mantarında Çatlaklar (Shell-Kabuk atma- Kılcal Çatlaklar)...	18
2.7.1.3. Ray Üst Yüzeyindeki Çatlaklar (Head Checks-Ray-Teker Temas Çatlakları, Spalling-Pullanma ve Squats - Ezilme).....	19
2.7.2. Yönlendirme Kuvvetlerinin Etkileri	20
2.7.3. Dinamik Kuvvetlerin Etkileri	21
2.7.3.1. Ray Mantarında Aşınma (Patinaj).	21
2.7.3.2. Yüzey hatalarından oluşan dinamik kuvvetler.....	22
2.7.4. Isı Değişikliklerinden Dolaylı Oluşan Boyuna Kuvvetler.....	22
2.7.5. Raydaki Gerilmeler.....	22
2.7.6. İş Makinelerinin Etkileri.....	24
2.8. TEKERLEK ve RAY ÇELİKLERİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARI.....	25
2.8.1. Sihirli Aşınma Oranı.....	26
2.8.2. Yanal Ray Aşınması	29
2.8.3. Dikey Ray Aşınması	30
2.9. RAYLARIN KAYNAK İLE BİRLEŞTİRİLMESİ	30
2.9.1. Alüminotermit Kaynağı	31
2.9.1.1. Sonradan Sıcak İşlem Uygulanan Z90-HC.....	32
2.9.1.2. Porsiyon Kalitesi Z 120	32
2.9.2. Yakma Alın Kaynağı	35
2.9.3. Kaynak Yerlerindeki Ray Kırıkları	37
2.9.4. Kesintisiz Kaynaklı Hatların İmalatı.	38
2.10. RAY HASARLARI.....	39
2.10.1. Yuvarlanma Temas Yorgunluğu	40
2.10.2. Kılcal Mantar Çatlakları (Head Checks)	42
2.10.3. Çatlak Yuvaları.....	45
2.10.4. Ezilme (Squat)	45
2.10.5. Tek Yönlü Hatlarda Temas Kenarı Hasarları	46
2.10.6. Çentiklenme.....	46
2.10.7. Periyodik Çentiklenme	47
2.10.8. Düzensiz Çentiklenme (Kahverengi lekeler).....	47
2.10.9. Savrulma Noktaları.....	47
2.10.10. Sürünme Dalgaları- Kısa Dalgalar.....	48

	<u>Sayfa</u>
2.10.11. Ondülasyon	48
2.10.11.1. Oyuk Çeşitleri	49
2.10.11.2. Oyuk Büyümesi	53
2.10.12. Hadde Hataları	53
BÖLÜM 3	54
RAY BAĞLANTILARI	54
3.1. RAY BAĞLANTILARININ GÖREVLERİ	54
3.2. ETKİ EDEN KUVVETLER	55
3.2.1. Dikey Kuvvetler (Q-Vertical Force).....	55
3.2.2. Yatay Kuvvetler (Y-Lateral Force)	55
3.2.3. Hat Boyu (Longitudinal Force.) Yönündeki Kuvvetler.....	56
3.3. KATI/ELASTİKİ RAY BAĞLANTILARININ FARKLILIKLARI.....	57
3.4. ARA SELETLER	57
BÖLÜM 4	60
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	60
4.1. ALÜMÜNÖTERMİT KAYNAK İŞLEMLERİ	61
4.1.1. Ray Kaynak Numunelerinin Kaynak İşlemleri İçin Hazır Hale Getirilmesi	61
4.1.2. Alüminotermit Kaynak Porsiyonları.....	64
4.1.2.1. Pandrol “PLA” Yöntemi	65
4.1.2.2. SkV-Elit L25 Yöntemi.....	66
4.1.2.3. SOW-5 Yöntemi	67
4.1.3. Kaynak Numunelerinin Uygun Pozisyona Getirilmesi ve Ekipmanların Kurulması	67
4.1.4. Kaynak İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi	68
4.1.5. Ekipmanların Çözülüp Kaynak Bölgesinin Taşlanarak Temizlenmesi ..	69
4.2. MAKRO VE MİKRO GÖRÜNTÜ ANALİZLERİ	71
4.3. MEKANİK TESTLER	73
4.3.1. Ray Yavaş Eğme Deneyi	73
4.3.2. Yorulma Deneyi.....	74

	<u>Sayfa</u>
4.3.3. Yuvarlanma Yüzeyi Sertlik Deneyi.....	76
4.4. ULTRASONİK MUAYENE	78
4.5. KİMYASAL ANALİZ	80
BÖLÜM 5	81
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	81
5.1. GÖRSEL MUAYENE	81
5.2. ULTRASONİK MUAYENE SONUCU	84
5.3. EĞME DENEYİ.....	85
5.4. MAKROYAPI İNCELEMESİ.....	97
5.5. SERTLİK TARAMASI.....	100
5.6. YUVARLANMA YÜZEYİ SERTLİK DERESESİ.....	104
5.7. MİKROYAPI İNCELEMESİ.....	106
5.8. YORULMA DENEYİ.....	109
5.9. KİMYASAL ANALİZ	117
BÖLÜM 6	118
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	122
ÖZGEÇMİŞ	127

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Soğuma profilinin nihai mikro yapıya etkisi (CCT diyagramı) [8].	3
Şekil 2.1. Basitleştirilmiş ray çeliği (0,4-1,1%C) İçin Fe-C denge diyagramı [10].	6
Şekil 2.2. Farklı ray çeliklerinin R300 m'lik kurp'ta aşınma derecelerinin karşılaştırılması [15].	10
Şekil 2.3. Yüksek kalite raylardaki aşınmanın 200 kalite raylarla karşılaştırılması. .	11
Şekil 2.4. Muhtelif sertlikteki rayların çatlak derinlikleri [15].	11
Şekil 2.5. Standart Ray profilleri [18].	14
Şekil 2.6. Geometrik ölçüleriyle 60E1 (UIC60) ray profili [15].	14
Şekil 2.7. Ray mantarında iç köşe kabuk atma (Shelling) [21].	19
Şekil 2.8. Yuvarlanma yüzeyi temas yorulması kusurları oluşum bölgeleri [61].	19
Şekil 2.9. Tekerlek profiliyle idare edilen kuvvetler [22].	20
Şekil 2.10. Ray yüzeyinde oluşan tekil tekerlek yanığı kusuru [21].	21
Şekil 2.11. Rayda Yük ve ısı etkisiyle oluşan gerilmeler [11].	23
Şekil 2.12. Önleyici ray taşlama-zaman ilişkisi [28].	27
Şekil 2.13. Sihirli aşınma oranı [10].	28
Şekil 2.14. Kabul edilebilir azami yanal "ray" aşınması [15].	29
Şekil 2.15. Kurp yarıçapına bağlı olarak yanal ray aşınması [30].	30
Şekil 2.16. İzoleli Cebire ve bulonlarla rayların birleştirilmesi [31].	31
Şekil 2.17. A, B Kalite ray çelikleri ile Cr-Mn çeliğinin CCT diyagramları [26].	36
Şekil 2.18. 2004 Yılında SNCF dâhilinde kaydedilmiş ray kırıklarının yüzdeleri [15].	37
Şekil 2.19. Hava sıcaklığına bağlı olarak kırılma sıklığı [15].	39
Şekil 2.20. Ortalama gerdirme ısılarında taşınabilir trafik yoğunluğu [30].	40
Şekil 2.21. Belli gerilim sınırları için çevrimsel kullanımlardaki gerilim-gerinme diyagramı [10].	41
Şekil 2.22. Kurp yarıçapına bağlı yuvarlanma teması yorulma olasılıkları [15].	42
Şekil 2.23. Ray mantarı çatlakları [21].	43
Şekil 2.24. Kılcal çatlak boyu ve derinliği ilişkisi [46].	43
Şekil 2.25. Kurp yarıçapına bağlı "Kılcal Çatlak" olasılıkları [46].	44
Şekil 2.26. Ray mantarında görülen Ezilme (squat) [21].	46

Şekil 2.27. Ray mantarında çentiklenmeler [10].....	47
Şekil 2.28. Kısa dalga boylu ondülasyonlar [10].....	49
Şekil 3.1. Raya etki eden tekerlek yükleri [26].....	55
Şekil 3.2. Ray, travers ve ara seletlerden oluşan bir yolun dikey kesiti [51].	58
Şekil 4.1. R350HT Ray çeliğinin orijinal SEM mikroyapısı ve sertlik dağılımının şematik görünümü [54].	60
Şekil 4.2. Termit kaynağı için hazırlanan R350HT Ray numuneleri.....	62
Şekil 4.3. Conta boşluğuna göre hamlaç mesafesi [57].	65
Şekil 4.4. Termit kaynağından önce masterlama ve kalıpların yerleştirilmesi.	68
Şekil 4.5. Alüminotermit kaynağı başlama anı.	69
Şekil 4.6. Alüminotermit kaynak bölgesinin fazlalıklardan temizlenmesi.	70
Şekil 4.7. Alüminotermit kaynağı yapılmış ve taşlanmış raylar.	70
Şekil 4.8. Dağlamayla ortaya çıkarılan boyuna düşey kısımda ergime bölgesinin şekli.	71
Şekil 4.9. Mikroskopik inceleme için numune alınan bölgeler [60].....	72
Şekil 4.10. Yavaş eğme deneyinin şematik gösterimi [60].....	73
Şekil 4.11. Şematik olarak yorulma deney düzeneğinin gösterilişi [60].....	74
Şekil 4.12. Boyuna sertlik ölçümü [60].	78
Şekil 4.13. Ultrasonik muayene için hazırlanan numuneler.	79
Şekil 5.1. “PLA” numunelerinden “3” Nolu numune görüntüleri.	86
Şekil 5.2. “PLA” numunelerinden “5” Nolu numune görüntüleri.	87
Şekil 5.3. “PLA” numunelerinden “8” Nolu numune görüntüleri.	87
Şekil 5.4. “PLA” Numunelerinden “9” Nolu parça görüntüsü.	88
Şekil 5.5. “PLA” Numunelerinden “15” Nolu parça görüntüsü.	88
Şekil 5.6. “PLA” Numunelerinden “16” nolu parça görüntüsü.	89
Şekil 5.7. “SkV Elite L25” Numunelerinden “2” nolu parça görüntüsü.....	90
Şekil 5.8. “SkV Elite L25” Numunelerinden “4” nolu parça görüntüsü.....	90
Şekil 5.9. “4” nolu parçada tespit edilen kusurlar.	91
Şekil 5.10. “SkV Elite L25” Numunelerinden “7” nolu parça görüntüsü.....	91
Şekil 5.11. “7” Nolu parçada tespit edilen kusurlar.	92
Şekil 5.12. “SkV Elite L25” Numunelerinden “12” Nolu parça görüntüsü.....	92
Şekil 5.13. “12” nolu parçada tespit edilen kusurlar.	93
Şekil 5.14. “SkV Elite L25” Numunelerinden “13” Nolu parça görüntüsü.....	93
Şekil 5.15. “ SOW-5” Numunelerinden “22” Nolu parça görüntüsü.....	94

Sayfa

Şekil 5.16. “ SOW-5” Numunelerinden “24” Nolu parça görüntüsü.....	95
Şekil 5.17. “ SOW-5” Numunelerinden “26” Nolu parça görüntüsü.....	95
Şekil 5.18. “ SOW-5” Numunelerinden “29” Nolu parça görüntüsü.....	96
Şekil 5.19. “ SOW-5” Numunelerinden “34” Nolu parça görüntüsü.....	96
Şekil 5.20. “ SOW-5” Numunelerinden “39” Nolu parça görüntüsü.....	97
Şekil 5.21. “ SOW-5”. ’21’Nolu numune.	98
Şekil 5.22. “ SOW-5” ’23’Nolu numune.	98
Şekil 5.23. “ SOW-5” . “27” Nolu numune.	98
Şekil 5.24. “ SOW-5” . “31” Nolu Numune.	99
Şekil 5.25. “ SOW-5”. “35” Nolu Numune.	99
Şekil 5.26. MT-19-034 SOW-5 umunelerinden “21” nolu parçanın grafiği.....	101
Şekil 5.27. MT-19-034 sow-5 numunelerinden “35” nolu parçanın grafiği.	102
Şekil 5.28. MT-19-034 numunelerinden “27 Nolu” (a,b,c,d,e,f) numune.	106
Şekil 5.29. MT-19-034 numunelerinden 31 Nolu (a,b,c,d,e,f,) numune.....	107
Şekil 5.30. Başarısızlık durumunda çatlak başlangıcının konumu.	111
Şekil 5.31. Başarısızlık durumunda çatlak başlangıcının konumu.	113
Şekil 5.32. “14” nolu numune için kırılma yüzey incelemesi sonuçları.	114

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. En çok kullanılan ray tipleri ve ekartman toleransları [15].	8
Çizelge 2.2. Ray seçimi.	8
Çizelge 2.3. Kontrol mekanizması olmaksızın yapılan çalışmada oluşan maksimum tekerlek yükleri.	24
Çizelge 2.4. Sabit sürtünme kuvveti ile elde edilen aşınma sonuçları [9].	26
Çizelge 2.5. R350HT Kalite Vinyol Raylar ve porsiyonları [60].	33
Çizelge 2.6. Alüminotermit kaynak tipine göre teknik detaylar [38].	34
Çizelge 2.7. Ağır tonajlı aks yükleri altında termit kaynağı ile yakma alın kaynağının karşılaştırılması [39].	37
Çizelge 2.8. Travers çeşidi ile ilgili olarak kılcal mantar çatlağı oluşma olasılığı [30].	45
Çizelge 2.9. Oyuk çeşitleri ve buna bağlı hasar mekanizmaları [15].	50
Çizelge 3.1. Dar kurplarda sürekartman [15].	56
Çizelge 3.2. Yaygın kullanılan ara seletlerin ısı ve frekansa bağlı olarak statik ve dinamik yay eş değerleri [52].	59
Çizelge 4.1. Deneyleerde kullanılan EN 13674 – 4’ e göre R350HT 60E1 Ray Çeliğinin Mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi (%Ağırlık).	60
Çizelge 4.2. Alüminotermit kaynak porsiyon PLA’da kullanılan kodlamalar.	62
Çizelge 4.3. Alüminotermit kaynak porsiyon SkV Elite L25’ de kullanılan numune kodlamaları.	63
Çizelge 4.4. Alüminotermit kaynak porsiyon SOW-5’te kullanılan kodlar.	64
Çizelge 4.5. Conta boşluğuna göre döküm sonrası operasyon süreleri [57].	65
Çizelge 4.6. Yöntemler arasındaki ön ısıtma farklılıkları [57,58,59].	66
Çizelge 4.7. Yöntemler arası kaynak sonrası operasyon süreleri [58].	66
Çizelge 4.8. SOW-5 Termit porsiyon parametreleri [59].	67
Çizelge 4.9. Yuvarlanma yüzeylerinin deneysel sertlik aralıkları [54].	77
Çizelge 4.10. Tarama pozisyonları ve prob seçimi [60].	78
Çizelge 4.11. R350HT Rayın Kimyasal bileşim ve mekanik özellikleri [62].	80
Çizelge 5.1. “PLA” Yöntemi Görsel muayene sonuçları.	81
Çizelge 5.2. “SkV Elit L25” Yöntemi Görsel muayene sonuçları.	82
Çizelge 5.3. “SOW” Yöntemi görsel muayene sonuçları.	83
Çizelge 5.4. Ultrasonik muayene sonucu (<i>Ultrasonic Inspection Report</i>).	84

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.5. MT-20-083 numuneleri (PLA).	86
Çizelge 5.6. MT-19-034 numuneleri: SkV Elite L25.	89
Çizelge 5.7. MT-18-018 SOW-5 numuneleri.	94
Çizelge 5.8. Sertlik tarama deney sonuçları. (Hardness traverse Test Report).....	103
Çizelge 5.9. “28,30,32,36,37,38” Nolu numune sertlik değerleri.....	105
Çizelge 5.10. ‘4’ Nolu numune yorulma deney sonucu.....	110
Çizelge 5.11. ‘19’ Nolu numune yorulma deney sonucu.....	110
Çizelge 5.12. “PLA” Yöntemi için kalibrasyon sonuçları.	111
Çizelge 5.13. “14” nolu numune için için yorulma deney sonuçları.	112
Çizelge 5.14. “25” nolu numune için yorulma deney sonuçları.	115
Çizelge 5.15. “33” nolu numune için yorulma deney sonuçları.	115
Çizelge 5.16. “40” nolu numune için yorulma deney sonuçları.	116
Çizelge 5.17. “SOW-5” Yöntemi için kalibrasyon sonuçları.	116
Çizelge 5.18. ‘034’ No’lu numunenin kimyasal analizi.	117

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Cr-Mo	: krom molibden
PPM	: parts per million (milyonda biri).
Mio. ton	: milyon ton
Hz	: hertz
Wh/tkm	: watt saat/ton kilometre
UHC	: ultra yüksek karbon içerikli raylar.
Fe ₂ O ₃	: demir oksit
Al ₂ O ₃	: alüminyum oksit
MPa	: mega pascal

KISALTMALAR

AT	: Aluminothermic Welding (Alüminotermite Kaynak)
ALİYMAN(alignment)	: Demiryolunun Düz Olan Kısmı
BALAST	: Demiryolu Üstyapısından Gelen Yükleri Altyapıya Aktaran Çapları Genellikle 30 - 60 mm Arasında Olan Taş Taneleri
BHN(HB)	: Brinell Hardness (Brinell Sertliği)
BLUM	: Kare Kesitli Kütüklerden Haddeme veya Doğrudan Sürekli Döküm Suretiyle Elde Edilen Demir Külçe
BURAJ	: Demiryollarında Hattaki Düşüklük ve Yükseklikleri Önlemek Amacıyla Travers Altından Balast Çekilmesi Gibi İşler
CONTA	: Rayların Birbirlerine Temas Eden Ek Yerlerini
CEBİRE	: Rayların Birbirlerine Bağlanmasını Sağlayan ve Rayın Her iki Yanına Konulan Çelikten Mamul Levhalar
DEVER(CANT)	: Kurplarda Merkezkaç Kuvvetini Dengelemek İçin Dış Raya Verilen Yükseklik
EKARTMAN(GAUGE)	: İki Ray Arasındaki Yaklaşık Olarak 1435mm(-3,+10) Olan Standart açıklık
FBW	: Flash-Butt Welding (Yakma Alın Kaynak)
HV	: Vickers Hardness (Vickers Sertliği)
ICE	: İnter City expres (Alman Yüksek Hızlı Trenleri)
ITAB (HAZ)	: Heat Affected Zone (Isı Tesiri Altında Kalan Görünür Bölge)
İNGOT	: Bir Kalıpta Dökülerek Şekillendirilmiş, Ham metal parçası
KAYNAK PORSİYONU	: Ray Tipi ve Kalitesine Göre Seçilen Alüminotermite Malzeme
KURUVAZMAN	: Birbirini herhangi bir açıyla kesen iki yolda, yalnızca göbeklerden oluşan, kendi yönünde geçişi sağlayan yol tesisi.

LHT	: Low Allow Heat Treated (Düşük Alaşımli Isıl İşlem Görmüş)
NİVELMAN	: Düşey Eksende Ölçülen Çeşitli Noktaların Arasındaki Yükseklik Farklılıkları
RAY KALİTESİ	: Rayların Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri
SNCF	: Societe Nationale des Chemins de Fer Français (Fransız Ulusal Demiryolu Şirketi)
TCDD	: Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TGV	: Fransa'nın Yüksek Hızlı Demiryolu Ağı
TRAVERS	: Yol Eksenine Dik Yönde ve Belirli Aralıklarla Döşenen Enine Kirişler
TRİFON VİDA	: Rayı Traverse Bağlamaya Yarayan Vida
UIC	: International Union of Railways (Uluslararası Demiryolları Birliği)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Demiryolu rayları farklı yükler altında çalışan, yüksek gerilmeleri üzerine oturduğu alt yapıya ileten yapı elemanlarıdır. Yolcu sayısı ve yük miktarındaki, sürekli yükselen grafiğiyle demiryolu ağları, gelişmekte olan ülkelerin vazgeçilmez altyapıları arasına girmiştir. Artan tren süratleri, yük kapasitesi, güvenlik ve konfor gibi itici kuvvetlerin etkisiyle rayların daha da iyi mekanik özellikleri taşıması daha anlamlı hale gelmiştir.

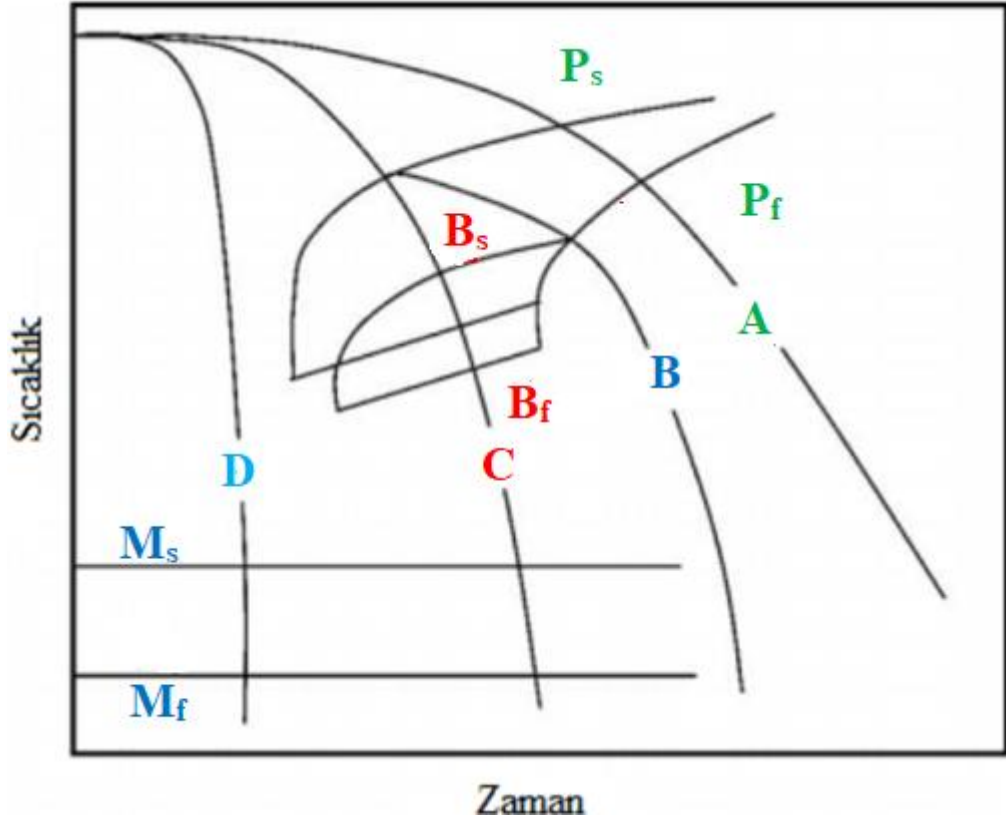
Performans artışını sağlamak için rayların aşınmaya karşı gösterdiği direnç, deformasyon direnci ve daha da önemlisi “yuvarlanma yüzeyi temas yorulması” (RFC. Rolling Contact Fatigue) direnci artırılmalıdır. Demiryolu taşımacılığında Çapı 2000 metreden daha küçük olan kurplara dar karp denir [1,2]. Ülkemizde, mevcut demiryollarının yaklaşık % 34,2’si dar kurlardan oluşmaktadır [3]. Normalde Aliymanda ray ömrü 20-25 yıl iken dar kurlu kesimlerde bu süre 2-3 yıla kadar inmektedir. Bu kısımlarda, mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılması UIC tarafından da tavsiye edilmektedir. Bu kısımlarda, mantarı sertleştirilmiş raylar kullanılarak ray ömrü uzatılırken bakım için harcanan zamanı azaltmak hedeflenmiştir. Mantarı sertleştirilmiş rayların tamamı yurt dışından temin edilirken günümüzde artık ülkemizde üretimi yapılmaktadır [4,5].

1950’lerden sonra ray malzemesine %1,00–1,30 kadar Cr ilave edilerek sertliği ve mukavemeti artırılmıştır. En son durumda Cr-Mo’li rayların üretimine gidilmektedir. Hidrojenin düşürülmesi için vakumla gaz giderme tekniği uygulanmakta ve H₂ miktarının 2 ppm’in altına düşürülmesi istenmektedir. Son yıllarda, çeliğin “ingot” şeklinde dökümü yerine sürekli dökümden elde edilen blumdan raya geçilmesiyle önemli gelişmeler sağlanmıştır. Standart kompozisyonlardaki ray çeliklerinde karşılaşılan esas problem, ekstra maliyetlere karşın düşük aşınma ve kırılma direnci

ve içyapı hatalarıdır. Malzemenin içyapı hatalarının elimine edilmesiyle malzemenin aşınma direncinin artacağı aşikârdır. Yüzeydeki mikro çatlaklar rayın çalışması sırasında parçalar halinde yüzeyden uzaklaştırılsa bile zamanla merkeze doğru ilerleyen bir çatlak düzeneği mevcuttur. Bu çatlak ilerleme hızı; yorulma miktarı, zorlama faktörü ve çatlak tipine bağlı parametrelerdir. Aynı şekilde rayın üzerine uygulanan tekrarlı yükler yumuşak mantar yapıyı inceltmekte ve plastik deformasyon sonucunda bir sertleşme meydana gelmektedir. Bunun sonucunda aşınmadan dolayı meydana gelen çukurlar ve çıkıntılar muhtemel çatlakları desteklemekte ve kırılmaya zemin hazırlamaktadırlar. Bu aşamada ray malzemesinin sertliği ve çatlak oluşumuna gösterdiği direnç, bir noktaya kadar artırılmalıdır. Bu değerler, ray sertliğinin çatlak ilerleme hızını arttırmaya başladığı noktada optimize edilmelidir [6,7].

Perlitik ray çeliği mükemmel mekanik özellikleri ve aşınma direnci nedeniyle demiryolu hattı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Lameller arası mesafenin minimum olduğu bir yapı için arzulanan perlitik mikro yapıyı elde ederken, kompozisyonun hassas kontrolü ve termomekanik işlem gerekir. İnce perlitik yapı, mümkün olan en düşük sıcaklıkta perlitik dönüşüm gerçekleştirilerek elde edilir. Ray çeliğinin istenen mikro yapı mekanik özelliklerini elde etmek için termomekanik süreç esnasında faz dönüşümünü tam olarak kontrol etmek önemlidir [8].

Sertleştirme de ki amaç, rayın servis ömrü süresince aşınmayı azaltmak ve özellikle dar ve orta kuplarda rayların tekerlek takımına teması sonucu görülen yuvarlanma yüzeyi temas yorulmasına (RCF) karşı direncini artırmaktır. Mantar sertleştirme, fırında 800-950°C arasında östenitleştirilip, dizayn edilen su verme sisteminde belirlenen süre kadar su veya su+hava verilerek yapılır [4].



Şekil 1.1. Soğuma profilinin nihai mikro yapıya etkisi (CCT diyagramı) [8].

Sürekli soğuma dönüşüm (CCT) diyagramları çeliğin gerekli termomekanik prosesinin tasarlanmasında çok önemlidir. Şekil 1.1' de verilen örnek CCT diyagramında görüldüğü gibi, perlit, beynit ve martenzit başlangıç (P_s , B_s , M_s) ve bitiş (P_f , B_f , M_f) sıcaklıkları bellidir ve işaretlenmiştir. Bu diyagramlarda soğuma eğrileri üst üste konularak dönüşüm sonucu beklenen fazlar açıklanabilmektedir [8]. Örneğin; soğuma hızı çok yavaş olursa; yani Şekil 1.1' deki A eğrisinde görülen soğuma rotası takip edilerek tavlanmış ötekoit bir çelik soğutulursa, tamamen perlitik bir mikro yapı oluşur. Soğuma hızı artırıldığında (C eğrisi), soğuma eğrisi perlitik ve beynitik dönüşüm sınırları ile kesişerek karışık bir mikroyapı meydana getirir. Eğer çok daha hızlı bir soğutma hızı seçilirse (D eğrisi), perlitik ve beynitik dönüşümler engellenerek denge dışı bir yapı olan martenzitik bir mikro yapı elde edilir. Ray çeliği açısından bakıldığında, bu üç soğuma hızından oluşan üç mikro yapı da beklenen en uygun özellikleri karşılamayacağından dolayı arzu edilmez. A soğuma eğrisi, kaba perlit oluşumu ile birlikte düşük sertlik ve aşınma direnci, C eğrisi, düşük aşınma direncine sebep olan perlit ve beynit karışımı bir mikroyapı ve

D eğrisi ise kırılğan martenzit bir yapıya sebep olur. Ray çeliklerinde; mükemmel sertlik, aşınma direnci ve yorulma özellikleri sunan ince perlitik bir mikro yapı elde edilmesi amaçlanır. Bu amaç doğrultusunda, B eğrisi izlenerek soğuma gerçekleştirilir. Diyagram üzerinde B eğrisi takip edildiğinde; malzeme hızlıca beynit başlangıç eğrisinin hemen üzerindeki bölgede bulunan düşük perlitik başlangıç sıcaklığına ve bu işlemin ardından da havada ortam sıcaklığına soğutulur. B soğuma eğrisi takip edilerek uygulanan soğuma işlemi, kademeli soğuma ya da hızlandırılmış soğuma olarak adlandırılır ve ray çelik üretiminde yaygın kullanılır.

Pratikte, perlitik dönüşüm sabit sıcaklığına; önce hava+su sprej püskürtme yöntemiyle P_s sıcaklığına soğutulur. Ardından da daha küçük nozullar kullanılarak yapılan sprej püskürtme yöntemi sonucu elde edilen yüksek soğuma hızlarına ve son olarak hava ile yavaş soğuma sıralaması uygulanarak ulaşılabilir. Hava ile yavaş soğutma, malzemenin soğuma eğrisinin B_s ile kesişmesini engeller. Soğuma prosesi ve tekrar ısıtma etkisi, ray kesitinde dengeli bir sıcaklık profili elde edilmesini sağlar.

Yukarıda bahsedildiği gibi, arzu edilen mikro yapı, kontrollü soğuma ile elde edilebilir. Fakat pratikte gerekli soğuma hızı çok daha yüksek olabilir. Eğer rayın kesiti çok büyükse, malzemenin çekirdeği istenen oranda soğuyabilir. Bütün bu durumların dışında faz sınırları alaşım yapılarak değiştirilebilir [8].

Diğer taraftan, tren rayları günümüzde 72 m. uzunluğa kadar üretilebilmektedir. Boyu ne olursa olsun sonuç itibariyle tren raylarının yollara döşenmesi ve birbirleriyle bağlanması gerekmektedir. Bu şekilde tren raylarının sürekliliği sağlanmaktadır. Rayların birbiriyle birleştirilmesi ise mekanik-cebire ve kaynaklı bağlantı olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Bununla birlikte mekanik-cebire ile rayların birbirlerine bağlanması sökülebilir olması gibi avantajlar sağlasa da, güvenlik ve konfor gibi talepleri karşılayamamaktadır. Diğer taraftan, rayların kaynaklı bağlantıları şayet doğru olarak yapılabilirse güvenlik ve konfor taleplerini karşılayabilmektedir. Ray kaynak uygulamaları Alüminotermit ve alın kaynak metotları olmak üzere iki tip de yapılmaktadır. Rayların alın kaynağı metoduyla birleştirilmesi ekonomik ve teknolojik olarak fabrika şartlarında uygulanırken, diğer ray kaynak uygulama metodu olan Alüminotermit kaynağı ise saha birleştirme

yöntemi olarak kullanılmakta ve günümüzde de önemini devam ettirmektedir. Bununla birlikte bütün kaynak işlemlerinde olduğu gibi ray kaynak işlemleri de rayların mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerinde oldukça fazla etkiye sahiptir. Özellikle de termal işlem ile üretilen R350HT mantarı sertleştirilmiş rayların birleştirmesinde kritik dönüşümlere sebep olabilmekte ve bunlar ray ömür ve performansını oldukça etkilemektedir. Tüm ergitme kaynağı işlemleri gibi, termit kaynaklarının kalitesi, kaynak sırasındaki termal koşullara bağlıdır. Kaynak metalinin makro ve mikro yapısı, kaynak soğuk bindirme hatası ve artık gerilim, kaynağın termal geçmişinden etkilenir. Bundan dolayı bu çalışmada R350HT mantarı sertleştirilmiş rayların Alüminotermit kaynaklı birleştirme yöntemlerinin metalürjik yapı ve mekanik özelliklerinin kaynak parametrelerine bağlı olarak değişimi ve gelişimi incelenmiş ayrıca ilgili uluslararası standartlara uygunluğu ve birbirine karşı üstünlükleri ve avantajları araştırılmıştır.

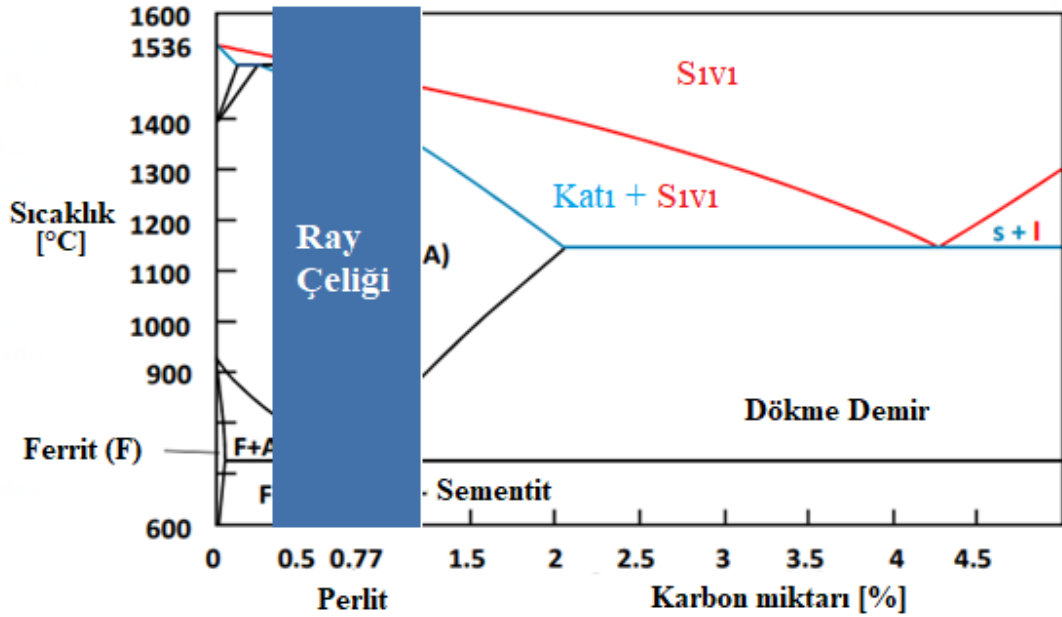
Açık literatür araştırmamızda mantarı sertleştirilmiş R350HT çelik raylarına en uygun termit kaynağı yönteminin belirlenmesine yönelik detaya inen herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bütün bu bahsedilen bilgiler ışığında ülkemizde üretilen mantarı sertleştirilmiş rayların ekonomik ve ticari öneme sahip Alüminotermit kaynaklı birleştirmelerinin anlaşılması, performanslarının ortaya konulması ve proseslerin optimizasyonu için bu çalışma organize edilmiştir. Bu araştırmadaki bütün deneysel çalışmalar TÜRKAK'tan AB-0433-T ile TS EN ISO/IEC 17025 Standardına göre akredite olan, TCDD Demiryolu Araştırma ve Teknoloji Merkezi (DATEM) İşletme Müdürlüğü'nde yapılmıştır.

BÖLÜM 2

RAYLAR

2.1. RAY ÖZELLİKLERİ

Demiryolu vasıtaları ile direk temasta bulunan tekerlekler ile yuvarlanma yüzeyi sağlayan, aşınmaya dayanıklı ve yüksek mukavemetli çelikten özel profilde imal edilmiş üstyapı elemanlarına ray denilmektedir. Demiryolu için ray hem seyir yüzeyi, hem taşıyıcı, hem de yönlendirici elemandır. Hem statik hem de dinamik yüke aynı ölçüde maruz kalır. Ağır yüklü trafikte 35 Tona varan aks yükleri uygulanabilir. Performans artışını sağlamak için raylarda ihtiyaç duyulan ana özellikler; Aşınma direnci, yorulma direnci, plastik deformasyon direnci, kalıntı gerilmeler ve kaynak edilebilme kabiliyetidir.



Şekil 2.1. Basitleştirilmiş ray çeliği (0,4-1,1%C) için Fe-C denge diyagramı [10].

Yüksek hızlı trafikte ise, bugün artık düzenli bir tren ulaşımında bile saatte 350 km'ye varan süratlere ulaşılmaktadır. (Bu konuda rekor 515,3 km/h ile Fransız TGV'ye aittir [11].) Coğrafi şartların topografyası gerektirdiğinde, raylar yarıçapı 300 m altında kurlar halinde döşenmekte ve dolayısıyla dıştaki ray mantarının iç tarafına sürtünen tekerlek bodenleri yüksek yanal zorlanmaya maruz kalmakta ve bazen de hiç istemediğimiz “boden tırmanması” diye tabir edilen, boden aşınmasının ana nedenlerinden biri olan uygunsuz durum ortaya çıkmaktadır. Ray kalitesinin bol çeşitli ve yüksek derecedeki zorlanmalara karşı koyabilmeleri için aşağıdaki beklentilere cevap vermeleri gerekir [12].

- **Aşınmaya karşı yüksek mukavemet:** Perlitik ray çeliklerinin sertlik değerlerinin artırılabilmesi ve metalürjik yapılarındaki gelişmeler ile mümkündür.
- **Yorulma direnci:** Yorulma direncinin iyileştirilmesi; mikro yapı homojenliğinin daha iyi sağlanması, sürtünme dayanımındaki artışlar ile ilişkilidir.
- **Plastik deformasyon direnci:** Plastik deformasyon direnci için ray sertlik değerlerinin artırılması ve dinamik kuvvetlerin etkisiyle oluşan yüzey kaymalarını minimum seviyeye indiren teknolojik gelişmeler önemlidir.
- **Kalıntı gerilmeler ve kaynak kabiliyeti:** Kaynak kabiliyeti karbon arttıkça azalmaktadır. Alaşimsız çelik raylar kolay kaynaklanmakta, mangan, krom, silis, molibden gibi alaşım ilaveleri ise kaynak kabiliyetini olumsuz etkilemektedir. Alaşım elementleri kaynak esnasında martenzit oluşumuna sebebiyet vererek sertlik ve gevrekliğe yol açmaktadır. Elektrik ark kaynağı, termit kaynağı gibi kaynak metotları ile ray malzemesinin kaynak kabiliyeti yüksek olmalıdır.

2.2. RAY TİPLERİ

İlk ray profilleri 25kg/m'den daha küçük ağırlıklarda üretilmekte idi. Sonraları dingil yükleri ve hızların artması ile beraber bakım masraflarını azaltacak şekilde rayın birim ağırlığı 40, 50, 60 ve hatta 70kg/m'ye kadar çıktı. Normal hatlarda ray kesitleri UIC tarafından belirlenmiştir. Başlıca tipleri UIC 50 (ağırlık 50.18kg/m), UIC 54

(ağırlık 54.43kg/m), UIC 60 (ağırlık 60.34kg/m), UIC 71 (ağırlık 71.19kg/m) dir. Demiryollarının genelde kullandığı ray tipleri ve mekanik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Ama 2001 yılında UIC 860 yerine EN13674 ray sınıflandırma standardı yürürlüğe girmiştir. Ülkemizde kullanılan ray tip kodları ise 60E1 (UIC60), 49E1 (DIN S49), 46E2 (S46) ve S39 sayılabilir. YHT hatlarında 60E1 kullanılmakta olup, yeni yapılacak YHT hatlarında 60E2 profil ray kullanımına geçilmiştir.

Çizelge 2.1. En çok kullanılan ray tipleri ve ekartman toleransları [15].

Demiryolu	Ray	Ray Eğimi	Ekartman
Network Rail	BS113A	1:20	1432 ⁻⁰⁺³
DB AG	UIC60	1:40	1435 ⁻⁰⁺³
FS	UIC60	1:20	1435 ⁻²⁺¹
NS	UIC54, NP46	1:20 1:40	1435 ⁻¹⁺³
NSB	UIC54, S49	1:20	1435 ⁻³⁺³
ÖBB	UIC60, UIC54, S49	1:40	1435 ⁻²⁺²
SBB	UIC60	1:40	1435 ⁻²⁺²
SJ	SJ43, SJ50	1:30	1435 ⁻³⁺³
TCDD	S49, UIC60	1: 40	1435 ⁻³⁺³
SNCF	UIC60	1:20	1435 ⁻²⁺²

Ray kesitinin seçimi trafik yüküne bağlıdır. Standart açıklıklı hatlarda, hafif trafik yükü için UIC50, orta ve ağır yükleri için UIC60 kullanılır. Çizelge 2.2 trafik yüküne göre ray seçimini göstermektedir.

Çizelge 2.2. Ray seçimi.

Günlük Trafik	Ray Tipi
≤ 25000 t	50kg/m
25000 - 35000 t	Ahşap, Beton Travers 50/60 kg/m
≥ 35000 t	60kg/m

2.2.1. Normalizasyon Isıl İşlemleri Raylar

Raylar genellikle “doğal” sertlik diye tabir edilen özellikte üretilirler. Burada söz konusu olan kristalleşme evrelerine göre isimlendirilmiş olan perlitik raylardır. 900A kalite ray, alıymanda her 100 Milyon tonda yüksekliğinden takriben 1- 1,7 mm’lik ve 600 m yarıçaplı kurbalarda da 2-3 mm’lik aşınma gösterir [13]. Daha küçük yarıçaplı kurbalarda rayın aşınma direnci yeterli olmaz. Çekme dayanıklılığının 200N/mm^2 oranında yükseltilmesi, aşınma derecesinin yarıya düşmesi anlamına gelmektedir.

2.2.2. Isıl İşlemleri Raylar

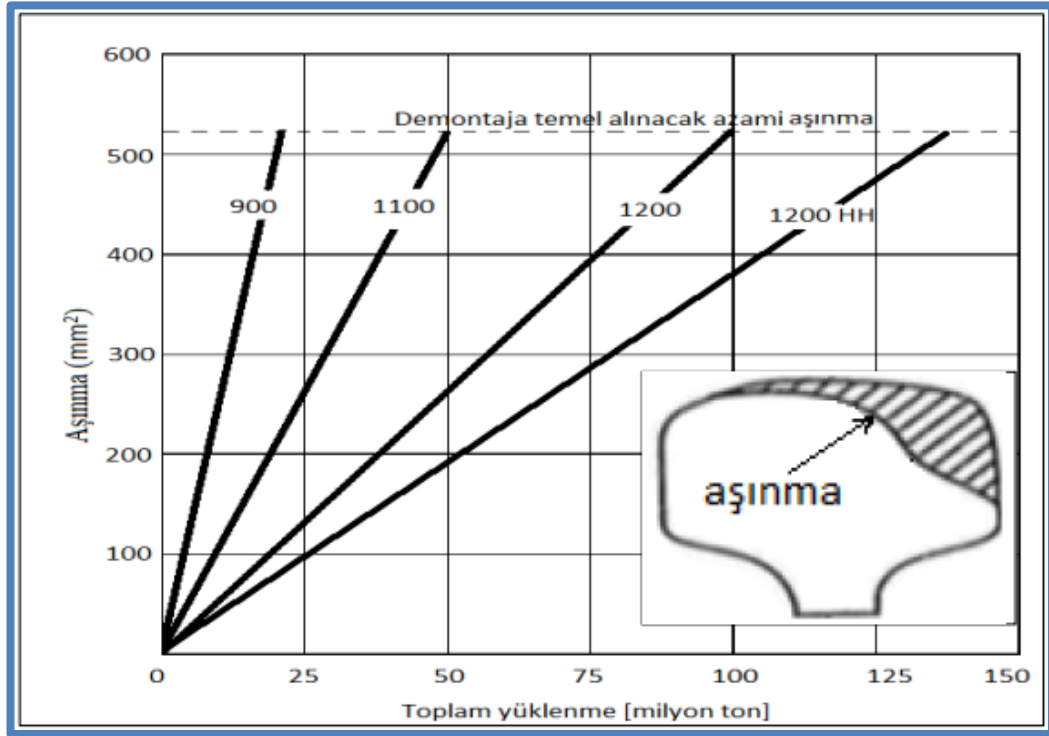
Rayların dayanıklılığını artırmak için perlitik doğal sertlikte raylar, ayrıca ısıl işleminden geçirilir, yani tavlânır. Bu yapılırken özellikle mantar sertleştirilmesi uygulanır. (Head hardened – HH Ray) Bu esnada esas itibariyle iki metot uygulanır.

- Off-line sertleştirme
- In-line sertleştirme

Off-line sertleştirmede ray endüktif olarak 2-6 dakika süreyle $850-950\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’a kadar ısıtılır. Sonrasında mantar, basınçlı hava, püskürtme su veya su buharı ile $650-500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’a kadar soğutulur. Bu hızlandırılmış soğutma, yüksek sertliğe ve dayanıklılığa sahip ince perlitik bir doku oluşuncaya kadar uygulanır. Off-line sertleştirmede sertleştirme derinliği sınırlıdır ve rayların tavdan hem önce, hem de sonra doğrultulması gerekir.

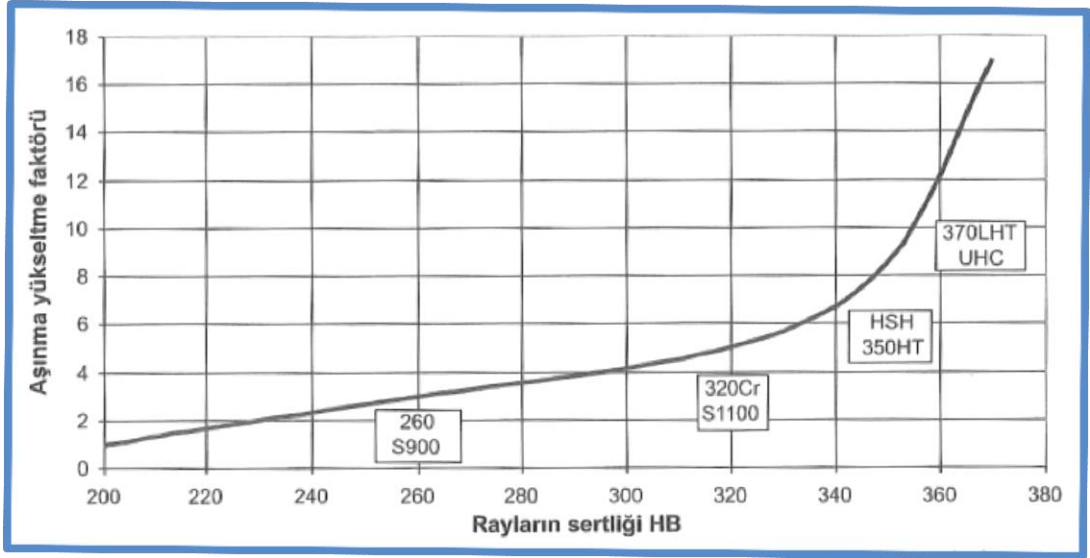
In-line sertleştirmede (Bu metod Voest-Alpine tarafından geliştirilmiştir [14].) Ray haddeden çıkar çıkmaz sertleştirme tesisine sevk edilir. Bu sırada rayın ısısı hala $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’nin üzerindedir. Ray mantarı bütünüyle sentetik katkıları bulunan bir sertleştirme banyosuna daldırılır ve soğutulur. Soğutma malzemesi ray üzerinde, suyun soğutma hızını yavaşlatan bir kat meydana getirir. Bu şekilde arzu edilen her nokta da aynı soğutma şartları elde edilmiş olur. Daldırma süresi takriben 2,5 dakikadır. Rayın ısısı $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’a kadar düşünce, ray doğrultulur ve kontrolü yapılır.

Mantarı sertleştirilmiş raylar (1200 HH) kullanımında, aşınmaya dayanıklı 900A kalitesine nazaran 7 kez daha uzun bir ömre sahiptir. Şekil 2. 2’de değişik çelik kalitesindeki rayların 300 metrelik bir deneme kurpundaki aşınma dereceleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Veriler yağlanmamış Boden-ray teması için geçerlidir. S1100 kalitesindeki raylara nazaran 2,5 kez daha düşük bir yanal aşınma tespit edilmiştir.



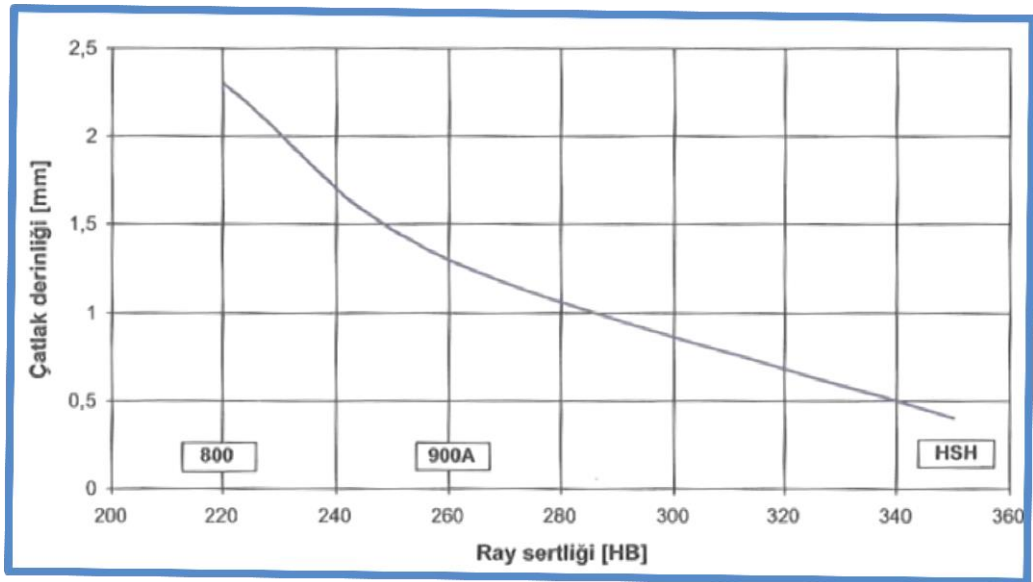
Şekil 2.2. Farklı ray çeliklerinin R300 m’lik kurp’ta aşınma derecelerinin karşılaştırılması [15].

Şekil 2.3 ‘de muhtelif ray kalitelerinin aşınma dayanıklılığı, 200 kalite raylarla karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Bu karşılaştırma sertleştirilmeye tabi tutulmuş en azından 350HB (350HT, 370LHT) sertlikteki rayların, giderek UHC kalitesinde olanlarına kadar (400UHC Ultra-High-Karbon- Çok Yüksek Karbonlu) çok daha düşük aşınma derecesi gösterdiğini bize söylemektedir. Değişik kalitedeki rayların taşlanma aralıklarının araştırılma sonuçlarına göre, R260’larda her yıl, R350HT’de her üç yılda, 370LHT’de her altı yılda ve 400UHC’de her dokuz yılda bir taşlama gerekmektedir.



Şekil 2.3. Yüksek kalite raylardaki aşınmanın 200 kalite raylarla karşılaştırılması.

Alman demiryolu hatlarında yapılan uzun süreli bir deneyle (3 yıl – 90 Mio.ton) mantarı sertleştirilmiş raylarla, 900A ve 800 kalite rayların çalışma şartları altındaki özellikleri karşılaştırılmıştır [16].



Şekil 2.4. Muhtelif sertlikteki rayların çatlak derinlikleri [15].

Kılcal mantar çatlağı (Head-check) oluşumu ve büyümesi, ondülasyon büyümesi ve ray aşınması üzerinde özellikle durmak gerekir. Şekil 2.4'te sonuç olarak kullanılan

rayların sertlik derecesine bağlı olarak oluşan kılcal mantar çatlağının derinliklerini göstermektedir. Şekilde grldğu gibi mantarı sertleştirilmiş rayların çatlak derinliği, 900A standart kalite raylardakinin üçte biridir.

2.2.3. Yüksek Alaşımlı Ray elikleri

Yüksek alaşımlı ray çeliklerinin olumsuz özelliği, kaynağa karşı yüksek hassasiyetleri ve kırılma dayanımının düşüklüğüdür. Kaynak sırasında arzu edilmeyen, gevreklik artırıcı doku parçacıklarının oluşmasına engel olmak için, özellikle kaynaktan sonraki soğuma süratine dikkat etmek gerekir. Krom–mangan çelikleri için 800-500⁰C arasındaki asgari soğutma süresi 200-220 saniye arasındadır [17]. Bu nedenle, mobil yakma alın kaynak makinelerinde kaynak çapağı sıyrılıp alındıktan sonra yeniden ısıtma, akım darbeleriyle devam ettirilir ve bu Şekilde soğuma hızı kontrol altında tutulur.

2.3. STATİK SERTLİK MUAYENESİ.

Sertlik muayenesinde bir test parçası, muayenesi yapılacak malzemeye bastırılır. Test parçasının nüfuz derinliğine göre muhtelif sertlik dereceleri tespit edilir. Malzemenin sertliği, dayanıklılık ve gerilme sınırının birbirine oranına bağlıdır.

2.3.1. Brinel Sertliği

Brinel sertliğinin ölçülmesi için standart çaplı, polisaj yapılmış sert bir metal kullanılır. Uygulanan kuvvet ve geriye kalan baskı alanından Brinell sertliği HBW (Brinell hardness BHN) Eşitlik 2.1 deki formülle hesaplanır.

$$HBW = 0,102 \cdot \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

$$F = \text{Kuvvet [N]}$$

$$A = \text{Baskı alanı [mm}^2\text{]}$$

2.3.2. Rockwel Sertliği

Rockwell sertliği test parçasının nüfuz derinliği ile ölçülür. Rockwell-B-deneyi ve Rockwell-C-deneyi olarak ikiye ayrılır. “Rockwell-B” deneyinde test parçası olarak çelik bir küre, “Rockwell-C” deneyinde ise bir koni kullanılır. Sertlik dereceleri deney sırasında doğrudan ölçü sayacından okunur. Bu metodun üstünlüğü tespit süresinin kısalığıdır. Ancak ölçüm değerleri o kadar hassas değildir.

2.4. RAYLARIN İŞARETLENMESİ.

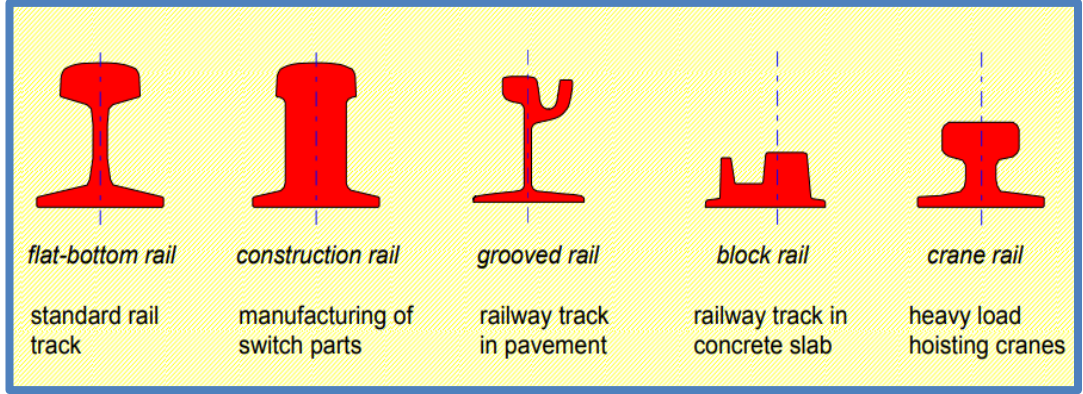
Rayların işaretleme aşığıdaki verileri içerir.

- Firma
- Haddelenme Yılı
- Profil Çeşidi
- Çeliğin cinsi

2.5. RAY PROFİLLERİ

Günümüzde kullanılan başlıca ray profilleri şunlardır [18].

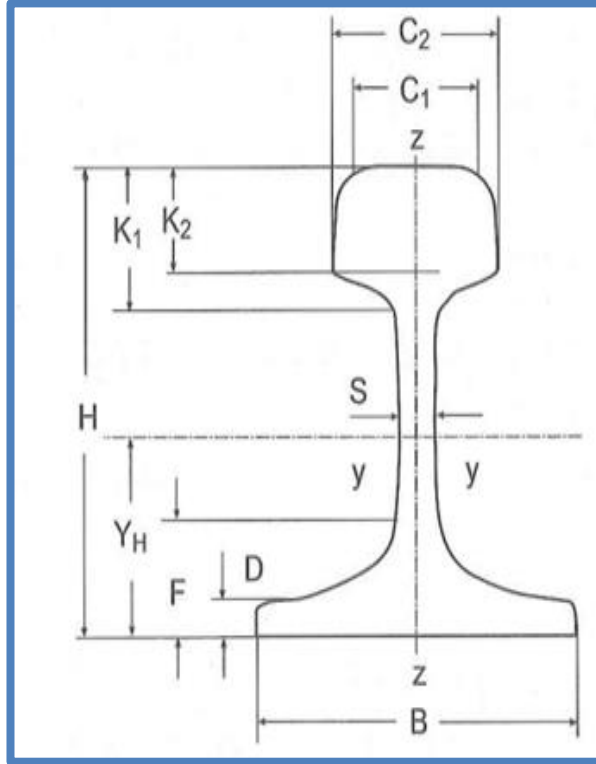
- Vinyol Ray (mantar, gövde ve tabanlarıyla standart demiryolu rayları)
- İnşaat Rayı
- Tramvay hatları için oluklu Ray
- Makas Rayı
- Vinç Rayı vs.



Şekil 2.5. Standart Ray profilleri [18].

Ray profillerinin asgari olarak aşağıda ki beklentileri karşılamaları gerekir.

- Yuvarlanma yüzeyi yeterli genişlikte ve tekerlek ile ray arasındaki temas, yüzey baskısını sönmüleyecek biçimde şekillenmiş olmalıdır.
- Uzun yıllar kullanımda kalacağı düşünülürse, mantar yüksekliğinin aşınmaya karşı yeterli kalınlığa sahip olması gerekmektedir.



H (Ray Yüksekliği):	172mm
B (Taban genişliği):	150mm
C₁ (Mantar Eni):	72mm
C₂ (Mantar Eni):	74,3mm
S (Ray gövdesi):	16,5mm
K₁ (Mantar eni Toplam):	51mm
K₂ (Mantar Yüksekliği):	37,5mm
F (Taban yüksekliği):	31,5mm
D (Taban Kalınlığı):	11,5mm
A (Alan):	7687mm ²
G (Ağırlık):	60,3 kg/m
Y_H (Nötr Eksen):	80,9mm
I_x (Atalet Momenti):	3055cm ⁴
W_x (Kesit Mukavemet Momenti):	335,5 cm ³

Şekil 2.6. Geometrik ölçüleriyle 60E1 (UIC60) ray profili [15].

- Gövde, taşıma kapasitesini kaldıracak ve eğilme rijitliğini temin edecek yeterli kalınlıkta olmalıdır.
- Durma emniyetinin zamanında sağlanması ve traverse yüklenen yüzey baskısının minimum seviyede tutulması için taban yeterli genişliğe sahip olmalıdır.
- Ray kesiti mukavemet momenti öngörülen yatay ve dikey kuvvetlerle uyumlu olmalıdır.
- Gerilim eğrisi hareketinin uygun olması için dengeleyici yarıçaplara sahip geçişlerin yapılmış olması gerekir
- Mantar yüksekliliği ve taban genişliği yeterli devrilme emniyetini sağlayacak şekilde seçilmelidir.
- Statik nedenlerden ötürü ağırlık merkezi takriben yarı ray yüksekliliği seviyesinde olmalıdır.

Çizelge 2.3'te Uluslararası geçerliliği olan bazı ülkelerin kullandığı Ray profilleri ve parametrelerine genel bir bakış verilmektedir.

Çizelge 2.3. Muhtelif ray profil parametreleri [15].

Tanım	Ray yüksekliği H [mm]	Taban genişliği B [mm]	Mantar eni C ₁ [mm]	Mantar eni C ₂ [mm]	Ray Gövdesi S [mm]	Mantar eni Toplam K ₁ [mm]	Mantar yüksekliği K ₂ [mm]	Taban yüksekliği F [mm]	Taban kalınlığı D [mm]	Alan A [mm ²]	Ağırlık G [kg/m]	Nötr eksen Y _n [mm]	Atalet momenti I _x [cm ⁴]	Kesit mukavemet momenti W _x [cm ³]
Alman Profiller														
SMR29	115	90	47	55	12	40	31	19	10	3794	29.8	55	624	104
S30	108	108	60.3	60.3	12.3	31	24	19.5	7	3825	30	52.1	606	109
S33	134	105	58	58	11	39	31.8	19	9.5	4264	33.5	67.3	1040	155
S41, 10R	138	125	67	67	12	43	31.8	24	9.5	5271	41.4	68.2	1368	196
S41, 14R	138	125	67	67	12	43	31.8	24	9.5	5216	41	68.2	1368	196
49E1 (S49)	149	125	67	70	14	51.5	39.8	27.5	10.5	6297	49.4	73.3	1819	240
54E3 (S54)	154	125	67	70	16	55	43.3	29	12	6948	54.5	75	2073	262
UIC Profiller														
50E4 (UIC50)	152	125	70	72.2	15	49.4	36.3	28	10	6392	50.2	76	1940	253.6
54E2 (UIC54E) (SBBIV)	161	125	67	69.5	16	51.4	38.7	30.2	12	6855	53.8	69.5	2308	276.4
54E1 (UIC54) (SBB III)	159	140	70	72.2	16	49.4	36.3	30.2	11	6934	54.4	75	2127	279.2
60E1 (UIC60)	172	150	72	74.3	16.5	51	37.5	31.5	11.5	7687	60.3	80.9	3055	335.5
Amerikan Profiller														
ASCE60	108	108	60.3	60.3	12.3	31	24	19.5	7	3825	30	52.1	606	108.5
ASCE75	122	122	62.7	72.2	13.5	36.1	28.9	21.4	7.3	4727	37.1	58.4	952	149
ASCE80	127	127	63.5	63.5	13.9	38.1	30.8	22.2	7.6	5070	39.8	61.2	1098	165
ASCE90	142.9	130.2	61.5	65.1	14.3	37.3	29.2	25.4	9.1	5686	44.6	64.5	1610	205.5
ASCE100	152.4	136.5	65.3	68.3	14.3	42.1	33.5	27	9.9	6414	50.4	75.4	2040	247
ASCE115	168.3	139.7	69.1	69.1	15.9	42.9	34.2	28.6	11.1	7236	56.8	75.7	2730	295
ASCE132	181	152.4	74.5	76.2	16.7	44.5	35	30.2	11.1	7633	65.5	81.3	3671	368.7
ASCE133	179.4	152.4	71.1	76.2	17.5	49.2	36.5	30.2	11.6	8429	66.2	81.3	3576	364.7
ASCE136	185.7	152.4	72.6	74.6	17.5	49.2	39.9	30.2	11.1	8606	67.6	85	3949	391.5
CB122	172.2	152.4	71.1	74.7	16.5	49	36	31.5	11.4	7743	60.8	80.8	3080	337
İngiliz Profiller														
BS60R	114.3	109.5	57.2	57.2	11.1	35.7	26.2	16.7	7.6	3792	29.8	55.7	677	115.4
BS70A	123.8	111.1	60.3	60.3	12.3	39.7	28.2	23	7.9	4438	34.8	61.3	912	146
BS80A	133.4	117.5	63.5	65.4	13.1	42.5	30.6	25	8.7	5071	39.8	65.6	1209	178
BS90R	142.9	136.5	66.7	66.7	13.9	43.7	32.5	20.6	9.3	5684	44.6	68	1600	214
BS90A	142.9	127	66.7	68.75	13.9	46	33.5	26.2	9.1	5735	45	70	1558	214
BS113A	158.8	139.7	69.9	72	20	49.2	36.1	30.2	11.1	7183	56.4	84.3	2349	278.6

2.6. RAY BOYLARI

Uzun raylar aşağıdaki üstünlüklere sahiptir:

- Düşük maliyetler (İmalathanedeki üretim, inşaat alanındaki üretimden ucuzdur)
- Her nakliye işleminin başına daha fazla ray yükleme imkânı.
- Bunun sonucu olarak kısalan yükleme ve boşaltma zamanı
- Normalleştirme, sertleştirme ve kaynak işlerinde daha yüksek verimliliğin sağlanması. (kaynak noktaları azalır)
- İnşaat hızının artması
- Yüksek üretim kapasitesi

Bu gün artık haddehanelerde 120 metre uzunluğunda raylar üretilebilmekte ve şantiye alanlarına nakledilebilmektedir. Fakat çoğunlukla standart olarak 60m uzunluğundaki raylar kullanılmaktadır. Raylar genel olarak 12-18-24-36-54-72 metre uzunluklarında üretilmektedir. (Ülkemiz demiryollarında 36 m veya 72 m raylar kaynak yapılarak birleştirilmektedir.)

Ülkemizde 2007 yılından itibaren 72 m uzunluğunda ray üretimine başlanmıştır. TCDD konvansiyonel hatlarda S49 ray, hızlı tren hatlarında ise UIC60 (CEN'e göre 60E1) profilindeki rayları kullanılmaktadır. Hafif raylı sistemlerde ise farklı ve daha küçük profilde raylar kullanılmaktadır [19].

2.7. RAYLARI ZORLAYAN ETKENLER

Raylar kullanım sırasında aşağıdaki kuvvetlerin etkisi altında kalmaktadır.

- Dikey Tekerlek Yüğü. (Radyal Q-Kuvvetleri)
- Yönlendirme Kuvvetleri. (Eksenel Y-Kuvvetleri)
- Tekerlek düzensizliklerinden, rayın yüzey hatalarından ve geometri hatalarından oluşan dinamik kuvvetler.
- Hava ve iklim şartları.

- Isı değişiklikleri dolayısıyla oluşan boyuna kuvvetler.
- İvme ve fren kuvvetlerinden dolayı oluşan boyuna kuvvetler.
- Rayların haddelenmesi ve doğrultulması esnasında oluşan kalıntı gerilmeler.

2.7.1. Dikey Tekerlek Yükü etkileri

2.7.1.1. Raylardaki Yuvarlanma Yüzeyi Temas Yorgunluğu

Bir tekerlek bir ray üzerinde yuvarlandığında oluşan gerilmeler “Hertz” teorisine göre tahmin edilebilir. Temas yüzeyi yaklaşık olarak eliptik bir yüzeydir ve başparmağımızın tırnağı kadardır. Tekerlek yükü normal gerilmeler oluşturur, bunların yanında ray mantarı yüzeyinin altında itme gerilmeleri oluşur. Bu itme gerilmeleri yaklaşık 6mm derinlikte en yüksek değerlerine ulaşırlar. Normal gerilmeler 22,5 tonluk dingil yükünde 1300N/mm^2 ye varan değerlere ulaşırlar [20]. Bu gerilmeler ray çeliklerinin alışılmış mukavemet değerlerini aşar. Bundan dolayı da ray, üzerinden her tekerlek geçişinde temas alanında şekil değiştirir. Developman üzerindeki seyir esnasında, dış ray üzerindeki doğrudan gerilmelerin 2500N/mm^2 ye ulaşacağına hesaba katılması gerekir. Sinüzoidal harekette, ivmede ve frenlemede ayrıca boylamasına kuvvetler oluşur.

Geniş alanlı temas bölgelerinde aşınma profilinde, aşınma minimum düzeydedir, ancak maksimum gerilmeler hep aynı noktada kalır, bu nedenle de yorulma zorlanmasının etkileri görülür. İki noktalı temaslarda özellikle seyir kenarı çok zorlanır ve aşınır, ancak yorulma görülmez. Tek noktalı temasta, aşınma ve yorulma ortalama düzeydedir. Çatlak oluşma olasılığı da ortalama düzeydedir.

2.7.1.2. Ray Mantarında Çatlaklar (Shell-Kabuk Atma- Kılcal Çatlaklar)

Temas yüzeyinin yapısına, yüklenmeye ve ray çeliğinin sertliğine göre soğuk şekillendirilmiş bir kenar tabaka oluşur. Bu soğuk şekillenmiş kenar tabakadan etki altına girmemiş ray malzemesine geçişte büyük bir gerilim düşüşü olur. Bu yüzden bu geçiş alanı çatlak oluşmasına zemin hazırlar. Bu çatlak oluşumu raydaki ametal

eklentiler nedeniyle ortaya çıkan çentik etkisi ile daha da kolaylaşır. Bu şekil çatlaklara “kabuk atma” (Shelling) adı verilir.



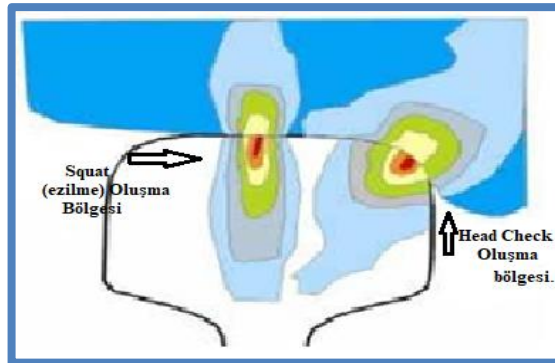
Şekil 2.7. Ray mantarında iç köşe kabuk atma (Shelling) [21].

Bu çatlaklar sertleştirilmiş, soğuk şekillendirilmiş kenar tabakadan üst yüzeye doğru büyür ve orada parçalanıp dökülmelere neden olurlar. Eğer çatlak, malzeme hatası olan bir yerde oluştuysa, o zaman önce yatay olarak büyür ve sonra çapraz yöne dönerek devam eder ve değişerek kılcal bozulma olarak tanımlanan şekle dönüşür.

Bu cins çatlakların oluşmasını engellemek için, mikro boyutlu eklentileri olmayan çok saf ray çeliği temin etmek gerekir.

2.7.1.3. Ray Üst Yüzeyindeki Çatlaklar (Head Checks-Ray-Teker Temas Çatlakları, Spalling-Pullanma ve Squats - Ezilme)

Ray üst yüzeyindeki çatlaklar kritiktir. Tespit edilmeleri kolaydır, ama derinlikleri ve neden oldukları zararlar hakkında bir şey söylemek zordur.



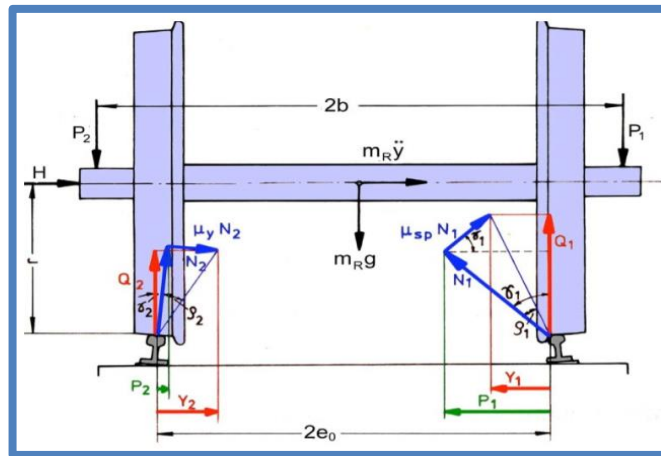
Şekil 2.8. Yuvarlanma yüzeyi temas yorulması kusurları oluşum bölgeleri [61].

Head Checks (ray-teker temas çatlakları) kurb dış rayının temas kenarında sürünme dolayısıyla ve bununla bağlantılı olarak boylamasına oluşan kuvvetler neticesinde meydana gelir. Ray-teker temas çatlakları 2-7 mm aralıklarda oluşur. Head Check'lerin başlangıç noktası, belirli sayıda bir tekerlek geçişinden sonra kritik kırılma enerjisinin ulaşıldığı deformasyon tabakasındaki mikro çatlaklardır. Bu çatlaklar yüzeyin altında birleşir ve sonradan küçük metal çapaklar olarak yüzeye çıkarlarsa, bunlara “Pullanma” (Spalling) denir.

Ezilmenin (Squat) oluşum mekanizmaları henüz tamamen bilinmemektedir. Bunlar yüksek hızla geçilen düz hatlarda veya büyük yarıçaplı kurlarda oluşmaktadır. Ray yuvarlanma yüzeyinde koyu lekeler olarak görülürler. Böyle bir lekenin altında çoktan büyük bir çatlak oluşmuş olabilir. Koyu leke ray yüzeyinde oluşmuş bir çukurluğa işaret etmektedir. Bu çukurluk dolayısıyla tekerlek ve ray arasında ayrıca dinamik karşılıklı etkileşim oluşur ki bunlarda yeniden çatlak oluşumunu artırır. Ray-teker temas çatlaklarının aksine ezilmeler az aşınma olan yerlerde oluşur. Yüzey çatlakları yüksek mukavemete sahip ray çeliklerinin kullanılmasıyla yavaşlatılabilir.

2.7.2. Yönlendirme Kuvvetlerinin Etkileri

Şekil 2,9'da görüldüğü gibi rayda araçların yanal yönlendirme kuvvetleri dolayısıyla hem Aliymanda (sinüzoid hareketten dolayı), hem de Developman da hareket halindeki tekerlek bodeninin sürtünmesi dolayısıyla “Eğilme Gerilmesi” oluşur.



Şekil 2.9. Tekerlek profiliyle idare edilen kuvvetler [22].

2.7.3. Dinamik Kuvvetlerin Etkileri

2.7.3.1. Ray Mantarında Aşınma (Patinaj).

Tekil tekerlek aşınma kusurları, Şekil 2.10'da görüldüğü üzere trafik yoğunluğu nedeniyle ortaya çıkar. Hareket halindeki tekerleğin, frenleme etkisiyle kayması veya patinajı sonucu ray yüzeyinde eliptik şekilli bir tabaka oluşur. Bu tabaka, ray mantarında yatay veya enine yönde gelişebilir. Tabakanın yatay yönde ilerlemesi sonucu bozulma, yerel kabuklanma kusuruna döner. Bu durumda, tekrarlı trafik yükleri altında kusur, derinlere doğru ilerlemez fakat ray yuvarlanma yüzeyinde çökme meydana gelir. Tabakanın, ray mantarında enine yönde ilerlemesi ise ray gövdesine karşı gelişen iç kusurların oluşmasına neden olur. Bu tür iç kusurlar nedeniyle yuvarlanma yüzeyinde çökme meydana gelir. Belli bir süre zarfında, iç kusurlar ray yüzeyine ulaşır ve ray kırılmasına yol açabilir. Rayda, görsel muayene ile tespit edilebilen tekil tekerlek aşınma kusurları bulunması durumunda, enine yönde çatlak içermeyen kusurlar sürekli gözlem altında tutulmalıdır. Başlangıç aşamasındaki tekerlek aşınma kusurları, ray taşlama ile giderilmelidir. Enine yönde çatlak içeren kusurlar için ise geçici cebire ile önlem alınmalı ve kusurlu ray kesiti değiştirilmelidir. Hafif dereceli tekerlek aşınma yanıkları ray taşlama ile giderilmelidir. Tekerlek aşınma kusurları, ray yüzeyinin iç köşesine doğru uzayan raylar ise değiştirilmelidir [23,29]. Fren sırasında bloke edilmiş tekerleklerin sürtünmesinden veya malzeme yoğunlaşmalarından oluşur.



Şekil 2.10. Ray yüzeyinde oluşan tekil tekerlek yanığı kusuru [21].

2.7.3.2. Yüzey Hatalarından Oluşan Dinamik Kuvvetler.

Yüzeyleri hasarlı olan hatlardan trenlerin geçişlerinde 100g'ye varan ray ivmeleri ölçülmüştür. Yüzeylerdeki bu hataların giderilmesinden sonra ivme üst sınırının 10g'ye düştüğü görülmüştür. Oyuk taşlama ile vagon gövdesinde ölçülen ivmeler 5g'den 0,8 g'ye düşürülmüştür. Bu dinamik kuvvetler her şeyden önce tekerlek takımlarındaki sönümlenmemiş kütlelerden oluşmaktadır. SNCF'nin kayıtlarına göre 6 cm dalga boyundaki oyuklar 825 Hz'te 4 tonluk ek dinamik yüke neden olmaktadır (v=180km/h).

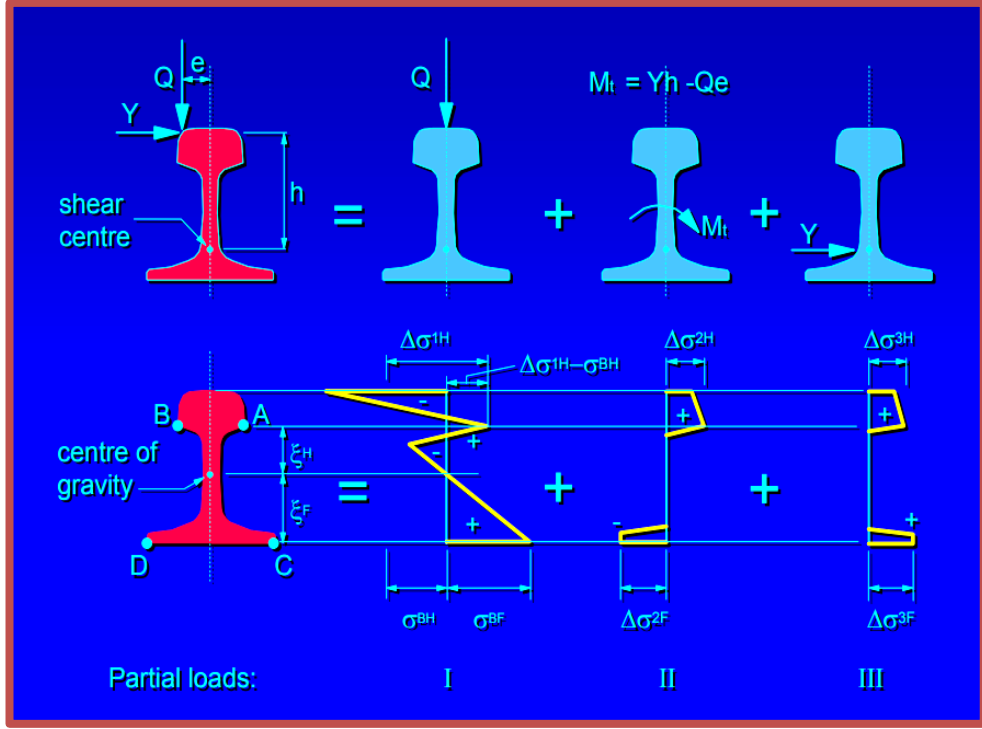
Yüksek frekanslı alanda oluşan bu büyük ivmeler, hataların mevcudiyeti halinde raylarda çatlakların hızlanmasına neden olur. Ray bağlantı malzemelerini gevşetirler ve onlara zarar verirler. Amerika'da yapılan ölçümler, yaklaşık 300 mm dalga boyundaki kısa dalgalar için 0,8-1 mm arası hata üst değerlerinde lokomotiflerin ek enerji ihtiyaçlarının 2 – 3Wh/tkm arttığını göstermektedir [16].

2.7.4. Isı Değişikliklerinden Dolayı Oluşan Boyuna Kuvvetler

Tekerlek ile ray arasındaki temas dolayısıyla, Hat'ta büyük boyuna kuvvetler oluşabilir. Bunların en büyük payı frenlenen akslar tarafından oluşturulur ki bunlar henüz yüklenilmemiş hat bölümünde, yani vagonun önündeki raylarda itme gerilimi ve vagonun arkasında da çekme gerilimi olarak kendini gösterir [24]. Vagonların ivme kazanması sırasında oluşan kuvvetler önemsizdir.

2.7.5. Raydaki Gerilmeler

Şekil 2.11'de Şematik olarak ray mantarının maruz kaldığı farklı etkiler gösterilmektedir. Radyal yük rayda eğilme gerilmelerine neden olur, bunlar ray mantarında itme gerilmesi, ray tabanında ise çekme gerilmesi olarak karşımıza çıkar.



Şekil 2.11. Rayda Yük ve ısı etkisiyle oluşan gerilmeler [11].

Ancak Navier'in tespit etmiş olduğu gözlenebilen eğilme gerilmesi hareketi, uygulamada istenmeyen ilave gerilmelerin etkisiyle karmaşıklaşır. Radyal Q yükleri etkisiyle ray gövdesinin ezilmesi sonucu, ray mantarında ayrıca eğme-çekme gerilmeleri oluşur. Tekerlek yükü altında rayda gerçekte oluşan gerilim hareketi, bu iki gerilmenin çakışması sonucunda meydana gelmektedir. Yuvarlanma yüzeyi temas gerilimi, ek bir itme gerilmesi olarak ortaya çıkar. Isının, normal ısının üzerinde veya altında oluşuna göre, rayda ayrıca itme veya çekme gerilmeleri oluşur. Ray üretimi sırasındaki makaralı doğrultma işlemi, rayda özellikle boyuna yönde yüksek iç gerilimlerin oluşmasına neden olur. Doğrultma işlemi, ray üzerinde değişken yönlerde bir elasto-plastik (esneme-yoğrulma) eğilmeye yol açar. Yuvarlanma yüzeyinde ve ray tabanı alt yüzeyinin orta bölümünde gerilme sınırının yarı değerlerine varan çekme gerilmeleri oluşur [25]. Ray içine doğru bu gerilmeler azalır ve ray mantarı – ray gövdesi ve ray tabanı – ray gövdesi geçiş noktalarında sıfırlanırlar. Ray gövdesi ortalarına doğru 200 N/mm^2 'ye varan itme gerilmeleri oluşabilir.

2.7.6. İş Makinelerinin Etkileri

İş makineleri, bakım/onarım işlemlerinin çeşitlerine göre hat çerçevesini (Buraj vagonları, balast eleme vagonları, altyapı ıslah vagonları gibi) hat ızgarasını veya bağlantılarından çözülmüş rayları (yol yenileme makinesi) kaldırmak durumundadır. Bu işlemler sırasında da raylarda gerilmeler oluşur.

Çizelge 2.3. Kontrol mekanizması olmaksızın yapılan çalışmada oluşan maksimum tekerlek yükleri.

Ölçüyü esas tekerlek çapı D (mm)d					Azami tekerlek yükü (kN)	
					Ray değeri $\sigma_{Kırılma} = 880 \text{ [N/mm}^2\text{]}^1$	Ray değeri $\sigma_{Kırılma} = 680 \text{ [N/mm}^2\text{]}^2$
Ø	≥	920			243	145
920	>	Ø	≥	840	222	136
840	>	Ø	≥	760	201	120
760	>	Ø	≥	680	179	107
680	>	Ø	≥	630	167	99
630	>	Ø	≥	550	146	89
550	>	Ø	≥	470	124	74
470	>	Ø	≥	390	103	62
390	>	Ø	≥	330	87	52
D ... Maksimum Tekerlek çapı						
d Minimum Tekerlek çapı						
1) UIC 60, S54, S49 ray örneklerine uyar (880 N/mm ²)						
2) S49 ray örneğine uyar (680 N/mm ²)						
İnşaat aracı cinsi		Kaldırma yüksekliği			Kaldırma kuvveti	
Buraj makinesi		4 – 5 cm			150 – 200 kN	
Balast eleme vagonu		30 – 60 cm			70 – 170 kN	
Poz vagonları		40 cm			5 – 170 kN	

Bu çalışmalar için tekerlek çapı ile bağlantılı olarak çizelge 2.4'teki azami tekerlek yükleri geçerlidir.

2.8. TEKERLEK ve RAY ÇELİKLERİNİN AŞINMA DAVRANIŞLARI.

Sürtünme deney platformunda (Amsler metoduna göre) yapılan araştırmalar teker çeliklerinin aşınmasının artan mukavemetle azaldığını göstermiştir [26]. Denenen muhtelif sürtünme numune çiftinde en az aşınma, numunelerin mukavemet değerlerinin birbirine yakın olduğu durumlarda görülmüştür (Çizelge 2.5). Isı ile tavllanmış ray çeliklerinin tekerleklerde, tavlılmamış 900A standart kaliteye nazaran daha fazla aşınmaya yol açtıkları tespit edilmiştir. Ayrıca deneyler, sürtünme sayılarının artan yüzey baskısıyla azaldığını göstermiştir. Raylar tekerin yuvarlanma yüzeyi ile devamlı temas halinde bulduklarından dolayı birbirlerini aşındırırlar. Rayın yüksek mukavemetli olması tekerin raydan aşınmasına, tekerin yüksek mukavemetli olması rayın fazla aşınmasına neden olur. Asıl amaç, ray ve tekerin beraberce aşınmasının en düşük düzeyde olmasını sağlamaktır. R350HT ray, R260 rayın ısı ile sertleştirilmiş formudur. R350 LHT ise krom oranı %0,3 ile sınırlandırılmış düşük alaşımlı ısı ile sertleştirilmiş raydır.

Rayın mukavemetinin yükselmesi çeliğin kimyasal terkiibini değiştirmekle, karbon miktarını çoğaltıp, ayrıca manganez karıştırmakla temin edilir, bu ise rayda uzamanın azalmasına yani kırılmalığın artmasına neden olur. Rayda aşınma mukavemetinin yüksek olması istendiği gibi, kopma uzamasının da %10'dan az olması istenmez. Ray çeliğinin birleşiminde demirden başka karbon, silis, manganez, fosfor ve kükürt bulunur. Bunlardan karbon, silis ve manganezin belirli bir miktarda bulunması, rayı daha mukavemetli yapması için gereklidir. Fosfor ve kükürt ise çeliğin bünyesinden tamamen çıkarılamayan zararlı elementlerdir. Silis, çeliğin oksitlenmesini zorlaştıran bir element olup, ayrıca malzemenin daha akıcı, yoğun ve ince zerrelili, homojen olmasını sağlar. Rayın cinsine göre silis miktarı on binde 30-50 civarındadır.

Tren hızlarının ve dingil yüklerinin artması ray çeliğinin kalitesinin de artmasını zorunlu kılmıştır. 1882 yılında maksimum çekme dayanımı 50kg/mm^2 iken günümüzde 70 ile 120 kg/mm^2 arasındadır. Ray çeliğinin mekanik dayanımının artması ani kırılmalara sebep olabilir. Bu yüzden, daha fazla dayanım istenmeyen bir durumdur.

Çizelge 2.4.Sabit sürtünme kuvveti ile elde edilen aşınma sonuçları [9].

No:	Sertlik (HB)		Temas Aşınması (g)		Toplam Aşınma	Kayma (%)
	Tekerlek	Ray	Tekerlek	Ray		
1	229	207	0.0497	0.0285	0.0782	0.20
2	255	288	0.0691	0.0230	0.0920	0.28
3	241	350	0.0730	0.0088	0.0818	0.22
4	241	401	0.0896	0.0056	0.0952	0.22
5	241	522	0.1234	0.0023	0.1257	0.34
6	300	217	0.0602	0.0694	0.1296	0.26
7	300	288	0.0900	0.0386	0.1286	0.40
8	306	352	0.0844	0.0164	0.1088	0.37
9	318	404	0.1071	0.0096	0.1167	0.52
10	298	522	0.1508	0.0059	0.1567	0.42
11	363	217	0.0729	0.0917	0.1646	0.30
12	356	285	0.0938	0.0508	0.1446	0.56
13	385	352	0.1018	0.0310	0.1328	0.56
14	380	404	0.1320	0.0200	0.1520	0.56
15	385	573	0.1598	0.0066	0.1664	0.60
16	423	217	0.0650	0.1190	0.1840	0.36
17	432	295	0.0790	0.0674	0.1464	0.38
18	429	352	0.0867	0.0576	0.1443	0.38
19	429	412	0.1060	0.0450	0.1510	0.50
20	438	522	0.1320	0.0207	0.1527	0.46
21	510	217	0.0045	0.2225	0.2270	0.12
22	510	300	0.0065	0.1258	0.1323	0.18
23	534	343	0.0164	0.0948	0.1112	0.20
24	530	438	0.0317	0.0802	0.1119	0.24
25	547	582	0.0490	0.0600	0.1090	0.34

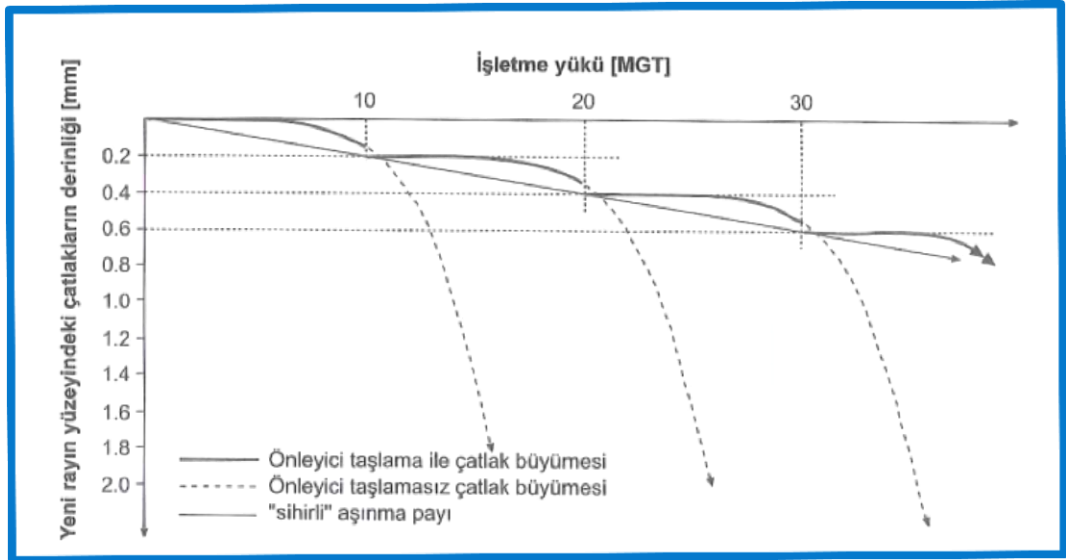
2.8.1. Sihirli Aşınma Oranı

Ray ham maddeleri S900 gibi doğal sert malzeme kalitelerinden başlayıp, krom alaşımlı S1100 kalitelerinden geçerek, en az 350 HB sertlik derecelerine ulaşan ince perlitik raylara kadar geliştirilmiştir. Bunun yanında, ergime noktaları aşırı düşük olan ince kristalli malzeme karışımından yapılmış “aşırı ötektoid” karbon içerikli kalitelerde geliştirilmiştir. (Ultra-Yüksek –Karbon- İçerikli Raylar – UHC -) Bir başka çeşit olarak da yaklaşık % 0,5 kromla alaşımlanmış, ısı ile tavlanmış raylar sayılabilir. Bu çok dayanımlı kaliteler, ayrıca başka önlemlere gerek bırakmadan, aşınmayı 10 mm/100 Mio. tona kadar düşürmeye izin verirler. Tekerlek boden – Yan

ray temas yüzeyinin yeterli şekilde yağlanması halinde aşınma payını yoğun kullanımlı hatlarda dahi 1 mm/100 Mio.Ton altına düşürmek mümkündür [27].

Son yıllarda raylarda ve tekerlekte, en uygun aşınma payının ne olacağı sorusunu ortaya çıkaran hatalar görülmeye başlanmıştır. Bir tekerleğin yuvarlanması sırasında rayda 1000 N/mm^2 'yi aşan gerilmeler oluşabilmektedir. Bu derece yüksek kullanımda malzeme artık sabit kalmamakta, aksine esnemeler birbirine eklenmekte ve bunlar da tırtıllı çatlakların oluşumuna neden olmaktadır (ratchetting). Hat boyundaki hasar mekanizmasını "Dark spots" denilen koyu lekeler belirler. Bu koyulaşmış noktalar, altlarında, daha alt tabakalara doğru giden çatlaklar olduğuna işaret eder. Bu çatlaklar 20 – 30 mm'ye ulaşabilir. Görülen bu hataların ortak özelliği normalde 2mm/100 Mio. ton altında olan düşük aşınmalardır.

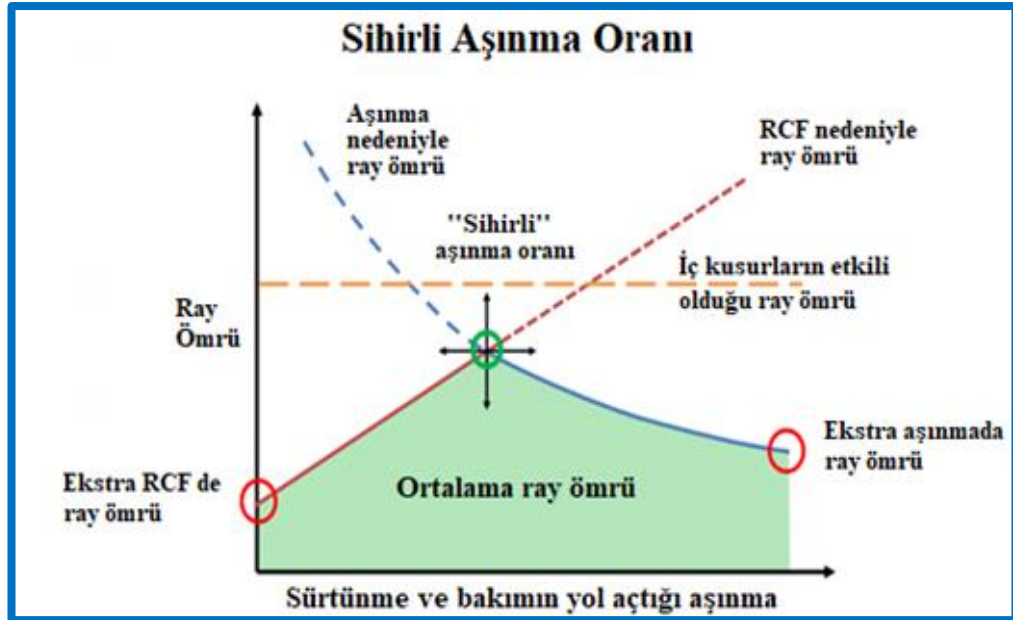
Aşırı çatlak büyümesinin parametreleri, yüksek tekerlek yükü, yönlendirme kuvveti ve boyuna kuvvetlerin bileşimleridir. Yukarıda bahsedilen 1000 N/mm^2 üzerindeki yüksek gerilmeler özellikle tek nokta temas geometrisinde görülür.



Şekil 2.12. Önleyici ray taşlama-zaman ilişkisi [28].

Bu nedenle de, rayların yeniden taşlanması sırasında, yüksek temas kuvvetleri oluşmasını engellemek veya en uygun tekerlek - ray profili çiftine ulaşmak amacıyla, ray üzerinde orijinal profil yerine, bir aşınma profili oluşturmak daha anlamlı olabilir. Bu taşlama sırasında eğimli alanların oluşturulmamasına dikkat etmek

gerekir. Şekil 2.13’ de “Sihirli” aşınma payı prensibi gösterilmektedir. Bu prensip, önleyici taşlamanın yapıldığı hallerde geçerlidir. Eğer çatlak derinlikleri 0,2 mm’den az değilse önleyici taşlama uygulanır. Önleyici taşlamanın uygulanmasından sonra, rayın kullanımına yine çatlaksız bir aşamadan başlanmış olur. Uluslararası uygulamalar bu metotla, çok yoğun trafiğe maruz kalan hatlarda dahi, rayların kullanım ömrünün 1000 Mio.ton, orta yarı çaplı kurplarda 1400-2000 Mio.ton ve geçiş kurplarında da 2000 Mio.tonun üzerinde rakamlar hesaba katılır. Daha hızlı bir çatlak ilerlemesi göze alınırsa, rayları daha sık ve daha erken değiştirmek gerekir. Son bahsedilen metot tabiki daha fazla işletme gideri anlamına gelmektedir.



Şekil 2.13. Sihirli aşınma oranı [10].

Dar yarı çaplardaki ideal aşınma payı 0,01 – 0,02 mm/Mio.ton’dur. orta yarı çaplı kurplardaki ideal aşınma payı dar kurpdakinin 2/3’ü, geçiş kurplarında ise 1/3’ü oranındadır.

Mantarı sertleştirilmiş rayların kullanıldığı hallerde, yukarıdaki aralıklar 2 ile çarpılarak artırılabilir.

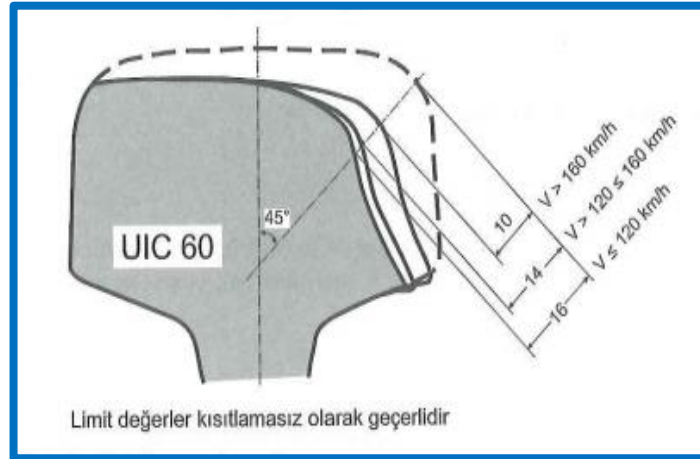
Literatürde en uygun taşlama kalınlıkları olarak aşağıdaki rakamlar verilmektedir:

- Her 5 – 10 Mio.tondan sonra 0,005-0,125 mm
- Her 10 – 25 Mio. Tondan sonra hafif taşlama
- 100 Mio. Tondan sonra toplam 2mm

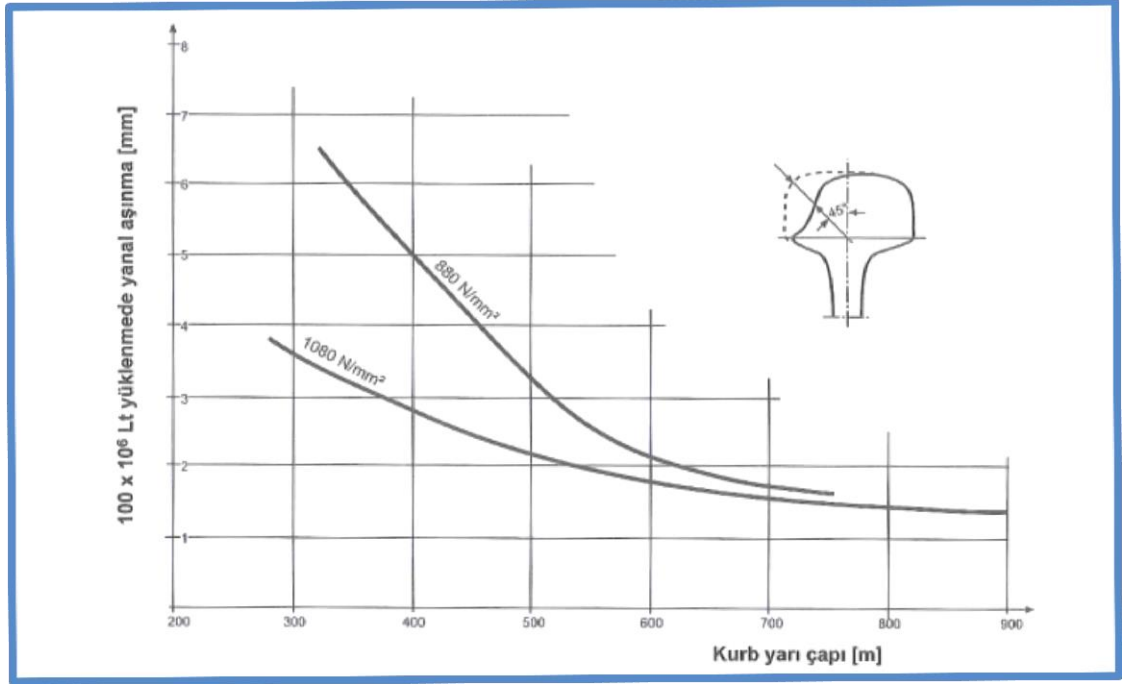
Ondülasyon da taşlama, oyuk derinliğinin 0,1 mm altına kadar uygulanır. Genel olarak oyuklar da dâhil olmak üzere çatlak benzeri kusurlar için söylenebilecek husus, giderilmelerinin iktisadi ve teknik açıdan kabul edilebilir en uygun zamanda yapılmasının gerekliliğidir. Tekerlek-ray teması giderek artan derecede, kaliteyi tanımlayan ve masraflı bir faktör olmuştur.

2.8.2. Yanal Ray Aşınması

Ray aşınması, kurp iç rayında başka, kurp dış rayında başka şekilde oluşmaktadır. Kurp iç rayında sadece yükseklikte bir aşınma gözlenirken kurp dış rayında ise özellikle yanal yüzeyde aşınma gözlenmektedir. Ortaya çıkan sürtünme kuvvetleri seyir kenarında malzemenin aşınmasına neden olur. Kabul edilebilir aşınma standartları Şekil 2.14’de görülmektedir.



Şekil 2.14. Kabul edilebilir azami yanal “ray” aşınması [15].



Şekil 2.15. Kurp yarıçapına bağlı olarak yanıl ray aşınması [30].

Şekil 2.15’de UIC60 rayın muhtelif kalitelere göre, kurp dış rayında oluşan özgül yanıl aşınma görülmektedir.

2.8.3. Dikey Ray Aşınması

Rayın dikey aşınması Aliymanda (düz hatta) veya büyük yarıçaplı kurblarda (Developmanda) 0,7 - 1mm/100 mio.tondur. Ana hatlarda UIC60 ray için kabul edilebilir en yüksek dikey aşınma 14 mm’dir. Ana hatların tali bölümlerinde UIC60 rayda 22 mm’ye kadar aşınmaya müsaade edilebilir.

2.9. RAYLARIN KAYNAK İLE BİRLEŞTİRİLMESİ

Günümüzde farklı ray bağlantı yöntemleri kullanılmaktadır. Demiryollarında, termit kaynağı, elektrik ark kaynağı, gaz kaynağı, toz püskürtme ile kaplama, ark sert lehim ve elektrot ile tam dolgu kaynağı gibi çeşitli kaynak yöntemleri kullanılmaktadır. Kaynaklı birleştirmelerden önce raylar Şekil 2.16’da görüldüğü gibi cebireli yöntemle birbirine bağlanırdı. Dünya’da günümüzde yakma alın kaynağı yönteminden sonra en çok kullanılan yöntem alüminotermit ray kaynağı yöntemidir.

Kaynağın yapımı sırasında, alın kaynağına göre, kaynağı etkileyen daha çok parametre içerdiğinden uygulaması daha kontrollü olarak yapılmalıdır. Ayrıca yakma alın kaynağı yöntemine göre bu yöntemde kaynak operatörlerinin daha etkin olmasından dolayı, belirli bir eğitim sertifikasına sahip ve tecrübeli olması daha fazla önem taşımaktadır. Bu kaynak yöntemi çok kullanımlı potalarda olduğu gibi tek kullanımlı potalarda da uygulanabilmektedir [21].



Şekil 2.16. İzoleli Cebire ve bulonlarla rayların birleştirilmesi [31].

2.9.1. Alüminotermit Kaynağı

Termit denilen malzeme karışımının, ateşe dayanıklı potalar içerisinde eritilerek iki ray arasında bırakılan kaynak aralığına akıtılması ve katılaştırılması suretiyle yapılan kaynağa “Alüminotermit Ray Kaynağı” denir. Termit malzemesi, demir oksit (Fe_2O_3) ve alüminyum (Al) karışımından oluşmaktadır. Her kaynak işlemi için hazırlanan tek kullanımlık bu termit karışımına porsiyon denilmektedir. Yakarak kesme ve kaynak çalışmalarına başlamadan önce hadde işareti vasıtasıyla çelik çeşidi tespit edilmelidir. Bir rayın profili ve çelik çeşidi, kullanılacak olan THERMIT porsiyonunun türünü belirler. Esasen, İnce/hassas perlitleştirilen (mantarı sertleştirilmiş) olan raylar, kimyasal bileşimleri açısından aşağı yukarı R260 çelik çeşidine denktir. Bununla birlikte mantar bölgesine haddeleme işleminden sonra uygulanan sertleştirmeden sonra sertliği ve dayanımı artmaktadır. Uygulamada mantarı sertleştirilmiş olan raylara kaynak yapılması için iki değişik yöntem kullanılmaktadır [32]. Bunlar konunun devamında açıklandığı gibi, sonradan sıcak işlem uygulanan Z90-HC ve porsiyon kalitesi Z 120 dir.

2.9.1.1. Sonradan Sıcak İşlem Uygulanan Z90-HC

Bu porsiyon ve Alimünotermit kaynak işlemi, kaynak işlemi sonrasında sertlik artırıcı ısıtma işlemi uygulanmasıyla bilinmektedir. Bu kapsamda Z90 – HC porsiyonu ile standart kaynak işlemi yapılır. Daha sonra kaynatılmış yüzeyler taşlanarak düzeltilir ve soğuyan kaynak yapılan yerde sertliği artırıcı ısıtma işlemi uygulanır, 100 saniyelik bir süre boyunca (R350HT çelik türü için, diğer çelik türlerinin süresi talep üzerine bildirilir) şok ısıtma işlemine tabi tutulmalıdır. Şok ısıtma işlemi, ısıtma işlemi takip eden kapak başlığının ray mantarı üzerine yerleştirilmesi ve 2 dakika (R350HT çelik türü için, diğer çelik türlerinin süresi talep üzerine bildirilir) bekledikten sonra çıkartılmasını yani hızlı soğumayı ifade etmektedir [59].

2.9.1.2. Porsiyon Kalitesi Z 120

Bu yöntem standart olarak yapılan kaynak işlemidir ve ek tedbirler alınmadan yapılmaktadır. R320Cr çelik çeşidinin aksine, Z120 porsiyon kalitesi söz konusu olduğunda, kapak gerekli değildir.

+10°C'nin altında sıcaklıklar söz konusu olduğunda, mümkünse hiç kaynak yapılmamalıdır.

Ray sıcaklığı 0°C'nin altında ise kaynak öncesi kaynak noktası Acil durumlarda kalıp yerleştirilmeden önce, rayın her iki ucunun da 0,5 ilâ 1,0 m. uzunluğunda bir bölümü yaklaşık 50°C olacak şekilde ısıtılmalıdır [33].

-3 °C 'nin altındaki sıcaklıklarda kaynak yapılmaz. (Zorunlu ve istisnai hallerde özel tedbirler alınarak “Kaynak bölgesi kaynaktan hemen sonra koruma tünelleriyle koruma altına alınarak” -10°C'ye kadar kaynak yapılır -10°C'nin altındaki sıcaklıklarda kesinlikle kaynak yapılmaz) [33].

Yağmurlu havalarda kaynak yapılması durumunda özel önlemler alınmış olmalıdır.

Çizelge 2.5. R350HT Kalite Vinyol Raylar ve porsiyonları [60].

Ray kaliteleri Şimdiye kadarki tanımlama	EN 13674-1'e uygun çelik çeşidi	Hadde işareti	Kullanılacak olan porsiyon kalitesi
Mantarı Sertleştirilmiş (880/1180N/mm ²)	R350HT	== _	Z120, Alternatif: Sonradan ısıtılmış Z90 HC

Alüminotermite reaksiyonları ise yüksek sıcaklıkta metal oksitler ile alüminyum metali arasında oluşan ekzotermik reaksiyonlardır. Termite 1300°C'lik bir ısı tatbik edildiğinde, aşağıda belirtilen alüminotermite reaksiyonu oluşur



Bu reaksiyon sırasında demir oksit-alüminyum karışımı, sıcaklığı 2500°C civarında olan bir eriyik haline gelir. 15 ila 30 saniye süren reaksiyon sırasında, demir metali (Fe) ağır olduğu için alta çöker ve alüminyum oksit (Al₂O₃) yani cüruף hafif olduğu için potanın üst kısmında toplanır. Potanın alt kısmından açılan delikten bir kalıbın içine akıtılan eriyik, kalıp içinde bulunan conta başlarını da eriterek birleştirir ve kalıbın şeklini alır. Son olarak, fazlalıklar sıyrıldığında düzgün kaynaklanmış bir ray profili elde edilir [34].

Kaynak için geçen süre yaklaşık olarak 15 dak/kaynaktır.

Kaynağın yapım aşamaları;

- Raylar kaynak yapılacak yere aralarında boşluk bırakılarak yerleştirilir.
- Kaynak kalıpları bağlanır ve sızdırmazlık sağlanır.
- Kaynak yapılacak mahal yaklaşık 600-900 °C'ye kadar ısıtılır.
- Potadaki ergimiş metal kaynak yapılacak kısma dökülür.
- Ray uçları dökülen metalin ısıyla eriyerek kaynak malzemesiyle birleşir.
- Kalıplar sökülür, fazla taşan kısımlar raya zarar vermeden taşlanır.

Çizelge 2.6. Alimünotermit kaynak tipine göre teknik detaylar [38].

KAYNAK TİPİ	RAY-MALZEME TİPİ	Kaynak Boşluğu (mm)	Gaz basıncı	Kaynak Porsiyon Adı	Ön ısıtma şaloma yüksekliği (mm)	Ön ısıtma süresi (dak.)	Ray üst yükseliği (mm)	Kalıp Sacı Çıkartma Süresi (dak.)	Metal akışından itibaren min. sıyırma süresi (dak.)
SKV-F	49E1 / 900A	24-26	Oksijen 5bar, propan 1.5 bar	49/Z 90 SKV	30 - 35	1,5	1,2-1,4	3-3,5	4-4,5
SKV-F	49E1 / HSH	24-26	Oksijen 5bar, propan 1.5 bar	49/Z 120 SKV	30 - 35	1,5	1,2-1,4	3-3,5	4-4,6
SKV-L75	49E1 / 900A	65-75	Oksijen 5bar, propan 1.5 bar	49/Z 90 SKV ve 712/Z 90 SKV-75	40-45	2	2-2,4	7,00	10-11
SKV-F	54E1-54E3 / 900A	24-26	Oksijen 5bar, propan 1.5 bar	54/Z 90 SKV	30 - 35	1,5	1,2-1,4	3-3,5	4-4,5
SKV-F	54E1-54E3 / HSH	24-26	Oksijen 5bar, propan 1.5 bar	54/Z 120 SKV	30 - 35	1,5	1,2-1,4	3-3,5	4-4,6
SKV-L75	54E1-54E3 / 900A	65-75	Oksijen 5bar, propan 1.5 bar	54/Z 90 SKV ve 712/Z 90 SKV	40-45	2	2-2,4	7,00	10-11
SoW-5	49E1 / 900A	28-30	Oksijen 4bar, propan 1.5 bar	49/Z 90 SoW	40-45	5	1,0-1,2	3,5	5
SoW-5	49E1 / HSH	28 - 30	Oksijen 4bar, propan 1.5 bar	49/Z 120 SoW	40-45	5	1,0-1,2	3,5	5
SoW-5 L75	49E1 / 900A	65-75	Oksijen 4bar, propan 1.5 bar	49/Z 90 SoW ve 1112/Z 90 SoW5-L-75	40-65	5	2-2,4	7	13,5-14
SoW-5	54E1-54E3 / 900A	28-30	Oksijen 4bar, propan 1.5 bar	54/Z 90 SoW	40-45	5,5	1,0-1,2	3,5	5
SoW-5	54E1-54E3 / HSH	28 - 30	Oksijen 4bar, propan 1.5 bar	54/Z 120 SoW	40-45	5,5	1,0-1,2	3,5	5
SoW-5 L75	54E1-54E3 / 900A	65-75	Oksijen 4bar, propan 1.5 bar	54/Z 90 SoW ve 1112/Z 90 SoW5-L-75	40-65	5,5	2-2,4	7	13,5-14

NOT I: 1.Kaynağı ateşlemek için mutlaka maytap kullanılacaktır. 2.Delinmiş veya açılmış porsiyon torbaları hemen kullanılmalıdır. Aksi takdirde kesinlikle kullanılmamalıdır. 3. Kaynak öncesi ray kenarları 0,3mm iç tarafa doğru ayarlanır.

NOT II: SoW-5-E tipi EURO porsiyonlar sadece EURO potalarla kullanılır ve sıyırma süreleri çok kullanımlık potalara göre dar kaynaklarda 1 dk, geniş kaynaklarda 0,5 dk daha uzundur.

Kaynak malzemesinin özellikleri, ray çeliğinin özellikleriyle aynı değildir. Conta başları 50 mm boyunca yüksek ısıya tabi tutulur, buda rayın kristal yapısının değişmesine (dolayısıyla mekanik özelliklerin bozulmasına) neden olabilir. Bunun sonucu ise yorulma kırıklarını kaçınılmaz kılar.

Alimünotermit kaynağı, kusurların yoğun olarak görüldüğü ray kaynak türlerinden biridir. Bu kaynaklardaki hatalar, kaynak yapım uygulamasında yer alan aşamalarda yapılan hatalar ve kaynak yapımı esnasında yapılan hataların kaynakta oluşturduğu kusurlar olarak 2 ana bölümde incelenebilir. Kaynak yapımı aşamasında yapılan hatalar, conta ayar hataları, kalıp kurulum hataları, ön ısıtma hataları, döküm hataları, sıyırma hataları, taşlama hataları ve diğer hatalardır [35].

Ray mantarı ve ray tabanı, ray gövdesinden daha az ısıldığından ve daha yavaş soğuduğundan, rayda büzülmeden dolayı istenmeyen gerilmeler oluşur. Bunun yanında termit kaynaklı raylarda, ısının tesiri altında kalan bölge (ITAB), yani sertliğin azalmış olduğu bölge daha büyüktür [36].

2.9.2. Yakma Alın Kaynağı

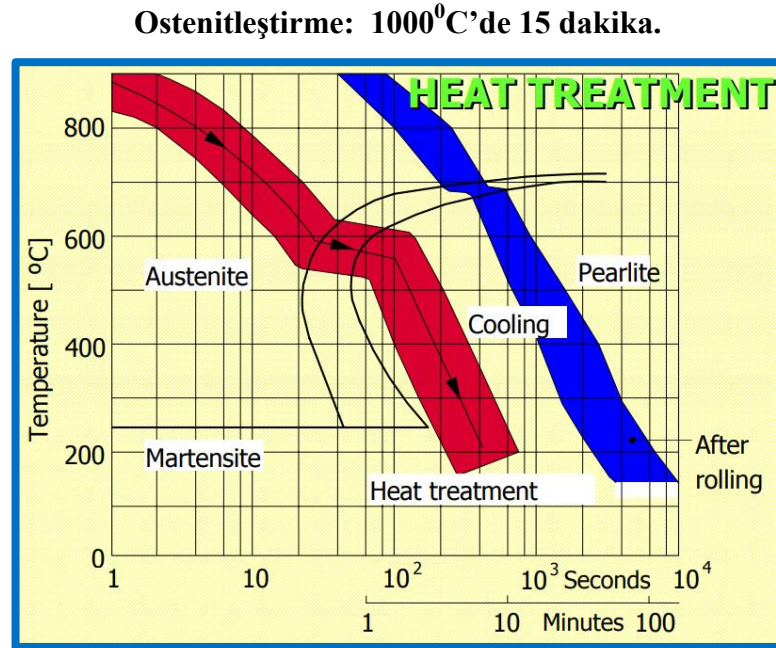
Yakma elektrik alın kaynağı hem üretim yerinde, hem de mobil makinelerle inşaat alanında yapılan bir kaynak çeşididir. Ray malzemesi elektrik akımı ile gereken ısıya getirilip kaynak edildiğinden, kaynak kendi malzemesinden elde edilmiş olur [36,37]. Yakma alın kaynağı, bir direnç basınç kaynak yöntemidir. Kaynak yapılacak rayların conta başları, düzgün bir şekilde tesviye edilerek ergime sıcaklığına kadar ısıtılır. Daha sonra, belirli bir basınç uygulanarak birbirine alın kısımlarından yapıştırılır. Kaynak basıncı, sıcaklık ve geçen zaman, rayın kendi kimyasal ve fiziksel özelliklerini bozmayacak şekilde ayarlanır. Gerekli kaynak ısısı, elektrik akımının aktığı temas noktasının direnci ve yüzeyler arasında oluşan ark ile sağlanır. Uygulanan aksenal basınç ile ergimiş metal ve oksitler dışarı atılarak ana metale bir miktar yığılma yapılır. Yakma alın kaynağı, elektrik ark sistemi ile conta başları eritilip, iki ray birleştirilerek yapıldığı için kaynakta hiçbir ilave madde (elektrot, eritici madde, koruyucu gaz vb.) kullanılmamaktadır [38]. Sertlik derecesi düşmüş olan, yani ısı tesiri altında kalmış bölge (ITAB) termit kaynağına nazaran çok küçüktür. Bir alın kaynağı yaklaşık olarak üç dakika sürmektedir.

İş akışı:

- Ray uçlarının doğrultulması, uç uca getirilmesi
- Ray uçlarının yakılması ve geçirilen akımla ısıtılması
- Rayların uçlarından sıkıca bastırılması
- Akım darbeleriyle kaynak sonrası ısıtma veya (uygun bir kristal yapı elde edebilmek amacıyla) hedef ısıya düşüş değerlerine göre soğutma
- Mekanik Çapak temizliği.
- Kaynak yerlerinin taşlanması.

Faydaları:

- Ray malzemesine yabancı olan bir malzeme kullanılmaz.
- Kısa ısıtma bölgesi (erime kaybı 30-40mm) dolayısıyla eşit kalan bir sertlik derecesi
- Tam mekanize bir kaynak işlemi
- Kaynakların her zaman eşit, aynı kalitede ve sürekli kalıcı olması, insani yorgunluklardan veya dikkatsizliklerden etkilenmemesi
- Kaynak yerlerinin yüksek dayanıklılığından ve daha yüksek yorulma davranışlarından dolayı, kırılma ve çatlamların oluşmaması.

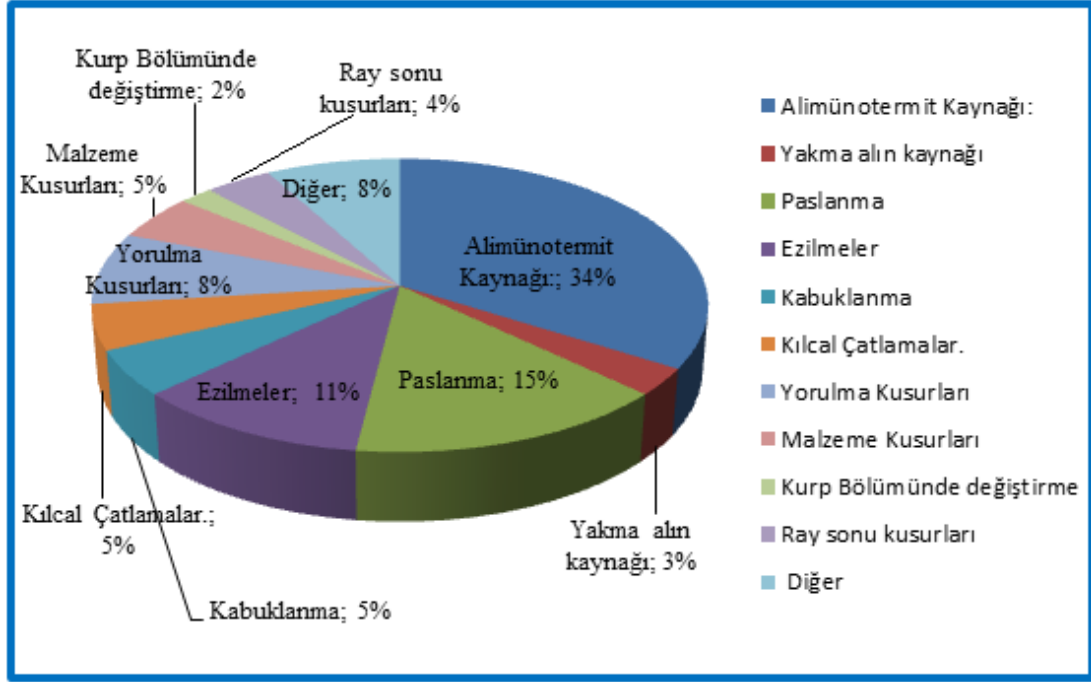


Şekil 2.17. A, B Kalite ray çelikleri ile Cr-Mn çeliğinin CCT diyagramları [26].

Yüksek esneklik sınırı olan çeliklerin kaynak işleminde karbon diyagramı ve TTT diyagramı yol gösterir niteliktedir [15]. (TTT- Time-Temperature-Transformation – Zaman-Sıcaklık Dönüşümü) Şekil 2.17’de iki değişik ray çeliğinin üst üste konmuş TTT-diyagramları gösterilmektedir. Perlitik dokulu çelikler kolay kaynak yapılabilirler. Soğutma eğrisi, çeliğe perlitik kristal dokuyu oluşturabilecek zamana verecek kadar yavaş seçilmelidir.

2.9.3. Kaynak Yerlerindeki Ray Kırıkları

Şekil 2.18’de 2004 yılında SNCF dâhilinde kaydedilmiş ray kırıklarının sayısı görülmektedir. Bu diyagramdan da anlaşılacağı üzere kırıkların % 34’ü termit kaynak yerlerinde, % 3’ü ise yakma alın kaynak yerlerinde meydana gelmiştir. Yakma alın kaynağının daha avantajlı olduğu grafikte hemen göze çarpmaktadır.



Şekil 2.18. 2004 Yılında SNCF dâhilinde kaydedilmiş ray kırıklarının yüzdeleri [15].

Ağır Aks yükleri altında termit kaynağı ile yakma alın kaynağı arasında Amerika’da yapılmış bir karşılaştırmalı incelemede aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 2.7. Ağır tonajlı aks yükleri altında termit kaynağı ile yakma alın kaynağının karşılaştırılması [39].

Aks Yüğü.	Termit Kaynak Kırılma [%]	Yakma Alın Kaynağı Kırılma [%]
33 t 65 Mio.ton’dan sonra	29	3
39 t 65 Mio.ton’dan sonra	67	5

2.9.4. Kesintisiz Kaynaklı Hatların İmalatı.

Kesintisiz kaynaklı hatların kaynak edilme işlemleri aşağıdaki metotlarla yapılır [40].

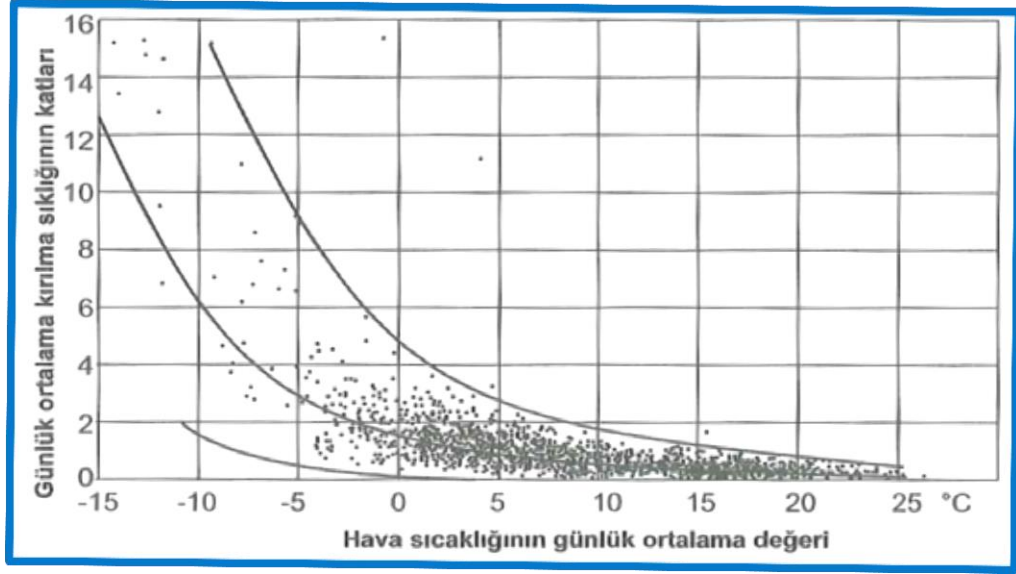
- Balast yatağının temizlenme, doğrultma ve buraj işlemleri için herhangi bir ısıda traversler ve raylar döşenir ve ön germe yapılır.
- Hat balast malzemesi ile doldurulur. Buraj ve drenaj işlemleri uygun şekilde yapılır.
- Raylar kaynatılır.

Kaynak işlemine başlamadan önce gerilim dengelemesi yapmak gerekir. Boy değişikliklerine müsait bir durum oluşturmak için gerekli bölgedeki ray bağlantıları gevşetilmelidir. Gerdirme ısısı altında kalan sıcaklıklarda bu iş en çok -3°C 'ye kadar yapılabilir. Normal ısının altındaki sıcaklıklarda rayın dışardan ısıtılması gerekmektedir.

Nötrleştirme işlemi bittikten sonra bağlantı malzemesinin tekrar sıkıştırılması gerekir. Termit kaynağında, kaynak yapılan noktanın iki tarafına doğru, üçer adet komşu travers üzerindeki bağlantı elemanlarının, kaynak noktasının soğumasından sonra gerdirilmesi gerekir. Termit kaynağının yanında, daha kaliteli bir kaynağı, mobil yakma alın kaynak makinesi ile yapma imkânı vardır.

Derzli hatlarda raylar, gerekli derzler öngörülerek yerleştirilir ve bağlanır. Derz ısı değişimlerinde rayların boyunun değişmesini sağlamaya yarar. Kaynatılacak olan yeni raylar, önce derzli olarak döşenir, daha sonra uzun boylar halinde kaynak edilir ve en sonunda normal ısıda kaynak doğrultusunda gerdirilir.

Alman demiryolları büyüklüğünde bir demir yolu şirketi her yıl birkaç yüz ray kırılmasıyla karşı karşıyadır. Toplam 650 adet kırık rayda, 220 adet termit kaynak noktası kırığı bulunmaktadır [15]. Ray kırıklarının çoğu 0°C 'nin altındaki sıcaklık değerlerinde oluşmaktadır. Sıcaklık ne kadar düşerse, ray kırıkları o kadar artar. Aşağıda Şekil 2.19 kırılma sıklığını, hava sıcaklığının günlük ortalamasına bağlı olarak göstermektedir.



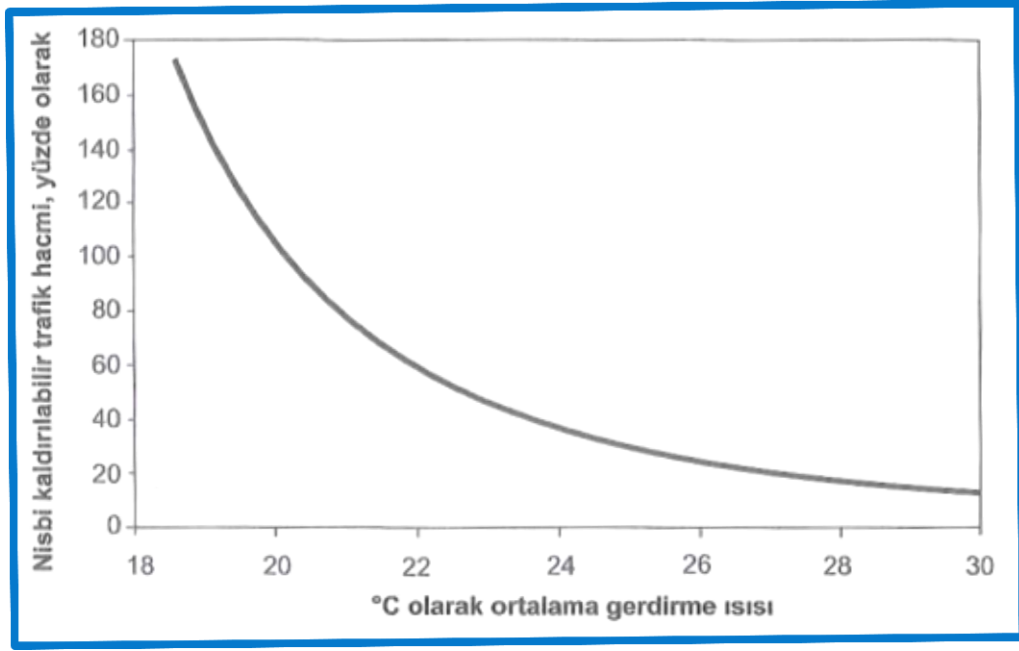
Şekil 2.19. Hava sıcaklığına bağlı olarak kırılma sıklığı [15].

Simülasyonla yapılan taşlama hesaplamaları yüksek gerdirme ısısı alanlarında çatlak büyüme hızının ve bununla beraber ray kırılması olasılığının kuvvetli bir şekilde arttığını göstermiştir [42]. Bu simülasyon hesaplamasında norm olarak kabul edilen 5 mm'den 35mm'ye kadar çatlak derinliği ile bağlantılı olarak asgari trafik yoğunluğundan hareket edilmiştir. Aşağıdaki Şekil 2.20'deki diyagram gerdirme ısısındaki en ufak bir artışın bile, taşınabilir trafik yoğunluğunu hızlı bir şekilde azalttığını göstermektedir.

Gerdirme ısısının, örneğin $17 - 23^{\circ} \text{C}$ 'den $20 - 26^{\circ} \text{C}$ 'ye çıkmasıyla kritik çatlak büyüklüğü önceki değerinin %92 sine düşer, ama aynı anda çatlak büyüme hızı katlanarak artar, buna bağlı olarak hizmette kalma süresi yarı yarıya azalır.

2.10. RAY HASARLARI

Ray hasarlarının tanımı için UIC, "Ray Hataları Kataloğu" olarak tanımlanan bir katalog çıkartmıştır. Raylardaki ve bağlantı yerlerindeki arızalar, çatlaklar ve kırılmalar ray hataları olarak tanımlanır [23].

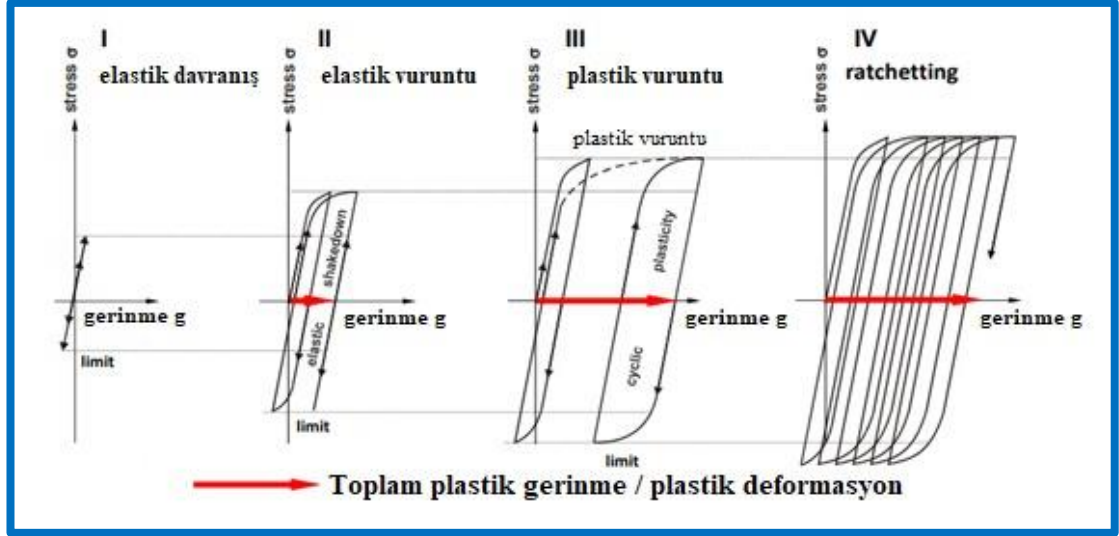


Şekil 2.20. Ortalama gerdirme ısılarında taşınabilir trafik yoğunluğu [30].

Bu hasarlar yerlerine, görünüşlerine ve nedenlerine göre sınıflandırılırlar [43]. Bununla ilgili olarak ray hataları konulu “UIC-Bülteni 712 R” mevcuttur ve toplam 55 ray kusuru anlatılmıştır [23].

2.10.1. Yuvarlanma Temas Yorgunluğu

Tren hatlarının en büyük avantajlarından biri tekerleğin ray üzerinde karşılaştığı düşük yuvarlanma direncidir. Bunun elde edilebilmesi için, büyük yükler altında dahi temas alanını bir tırnak büyüklüğünde tutabilen, elastikiyet modülü yüksek ham maddelerle çalışılmasıdır. Ancak bu avantajın bedeli de 1000 N/mm^2 'nin çok üzerinde olan gerilmelere maruziyettir. Bu yüklenmeler çok büyüktür ve ray bu gerinmenin etkisiyle şekil değiştirebilir ve yüzeye yakın bölgelerde sık sık çatlaklar oluşur. Bunlar özellikle dikey kuvvetlere tanjant kuvvetlerin eklendiği hallerde oluşur (sürünme, frenleme ve harekete geçirme kuvvetleri). Bu tutum çevrimsel tekerlek yuvarlanmalarının, her turda oluşan esnemelerinin birbirine eklenmesiyle tanımlanabilir. Gerilimler Şekil 2.21’de görüldüğü gibi belli bir seviyenin üzerine çıkınca çatlaklar oluşur.

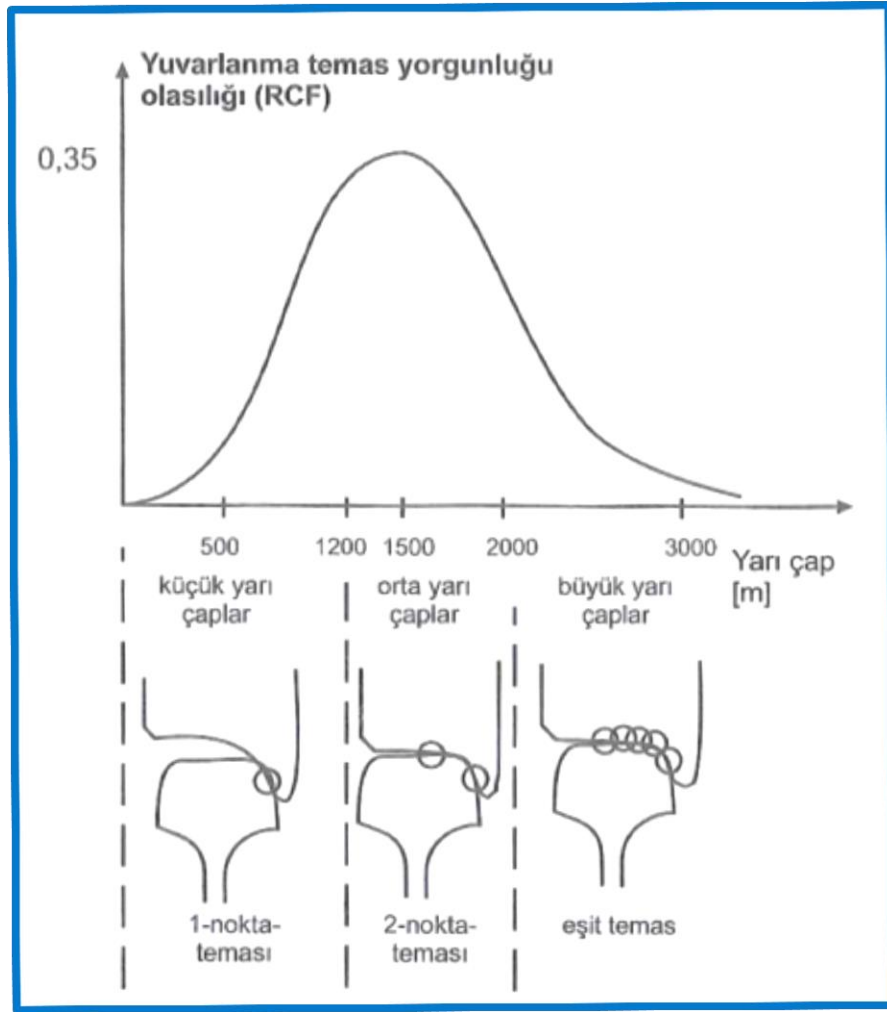


Şekil 2.21. Belli gerilim sınırları için çevrimsel kullanımlardaki gerilim-gerinme diyagramı [10].

Gerilimler elastikiyet sınırının altında kalırsa, plastik bir şekil değişikliği olmaz, malzeme tam bir elastik davranış gösterir. Yüklenmenin artmasıyla soğuk bir sertleşme oluşur; bu yükün herhangi bir şekil değişikliği olmadan taşınmasını sağlayacak kadar yüksek olur. Buna elastik vuruntu (shakedown) alanı denir. Gerilim daha fazla artınca plastik bir şekil değiştirme oluşur, ama çevrimsel yüklenmelerden dolayı buda daha fazla ilerlemez. Buna da plastik vuruntu alanı denir. Yüklenmeler daha da artarsa, o zaman her müteakip çevrim yeni bir deformasyon oluşturur, buda sonunda çatlak oluşumuna neden olur. Bu davranışa Tırtılınma (ratchetting) adı verilir.

Network Rail tarafından yapılmış olan bir araştırma, muhtelif kurb yarıçaplarında oluşan yuvarlanma temas yorgunluklarının, temasın çeşidine göre değiştiği tespit edilmiştir. Üç değişik temas söz konusudur [44].

- Tek nokta Teması. (Steady State)
- İki nokta teması. (Bi-stable Contact),
- Çok nokta teması (Convergent Motion. Aşınma dolayısıyla tekerlek ve rayın geometrik olarak birbirine uyması),



Şekil 2.22. Kurb yarıçapına bağlı yuvarlanma teması yorulma olasılıkları [15].

İngiltere’de geçerli olan şartlarda en çok yuvarlanma temas hasarı 1200-2000 metre yarıçaplı kurplar üzerinde, yani iki nokta temas bölgesinde oluşmaktadır.

2.10.2. Kılcal Mantar Çatlakları (Head Checks)

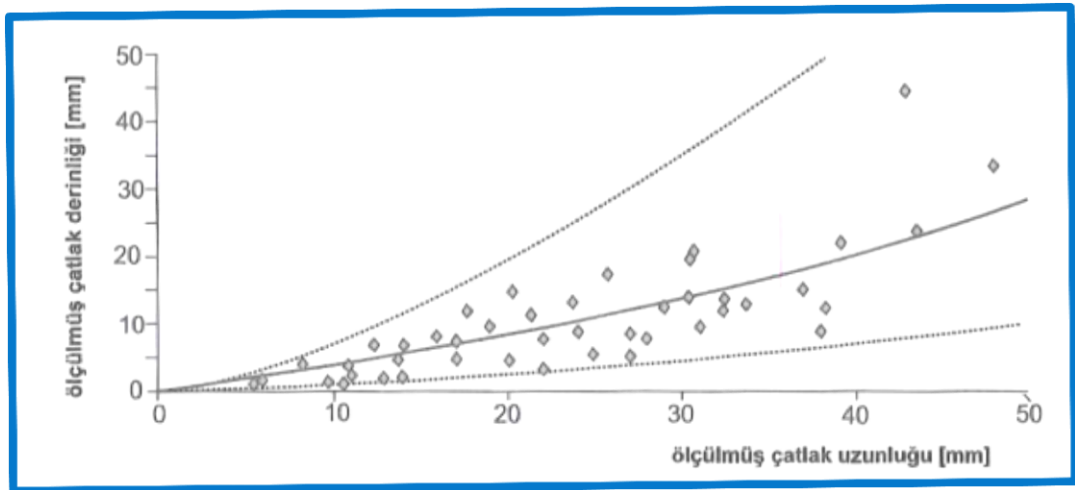
Kılcal mantar çatlakları yuvarlanma teması yorgunluğu sonucu oluşan hasarların başında gelir. Tipik oluşma özellikleri şunlardır:



Şekil 2.23. Ray mantarı çatlakları [21].

- Kurb dış rayının tekerlekle temas kenarlarında (R1200 metreye kadar)
- Aliyanda ve R2000 metre üzerindeki kurplarda değişimli olarak her iki rayda tekerlekle temas kenarlarında.
- Ekartman açıklığındaki her iki ray mantarının yuvarlanma yüzeylerinde.

Aşağıdaki Şekil 2.24, kılcal mantar çatlaklarında ölçülen çatlak boyu ile ona ait olan çatlak derinliğinin birbiriyle olan ilişkilerini göstermektedir.

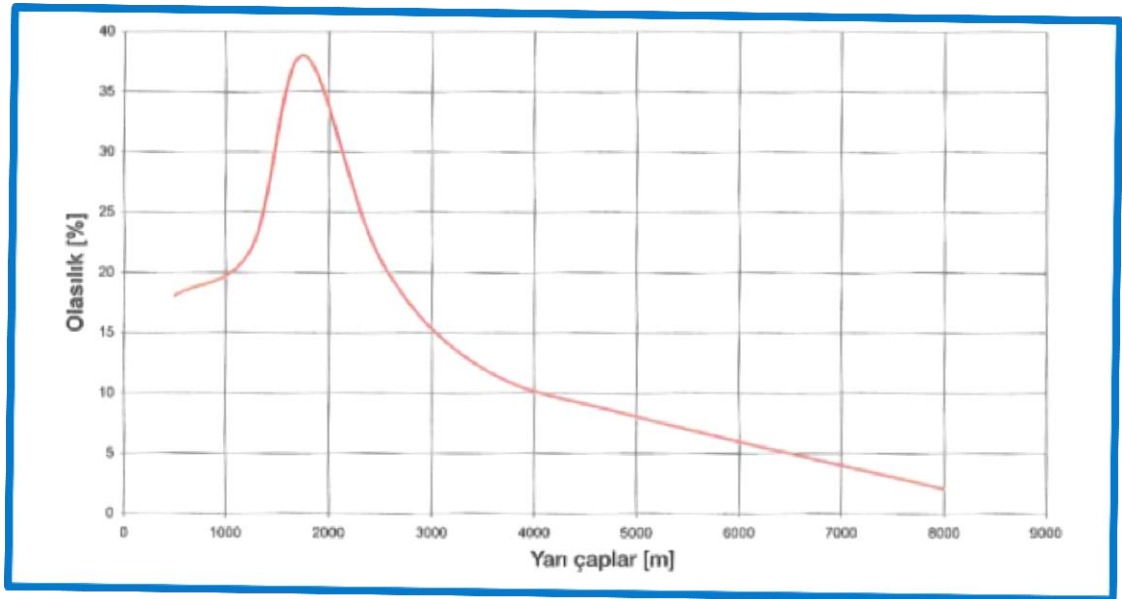


Şekil 2.24. Kılcal çatlak boyu ve derinliği ilişkisi [46].

Kılcal mantar çatlakları dışardan bakıldığında sürekli ve düzenli (0,5 – 10 mm'lik aralıklarla) ortaya çıkan yüzeysel çatlaklar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu çatlaklar, raya yukardan baktığımızda, ray eksenine 35 – 70 derecelik bir açıda oluşurlar. Çatlaklar giderek dikleşen bir açıyla ray içine doğru hareket ederler. Head Check'ler bu nedenle tehlikeli ray hasarları olarak kabul edilirler.

Yorulmanın artmasıyla çatlaklar büyür ve bazen de birleşirler. Bu ise küçük ve daha büyük parçacıkların ray yüzeyinden veya seyir kenarından kopmasına neden olur. Küçük parçacıkların kopmasına "Flaking" (Pullanma), daha büyük parçacıkların kopmasına ise "Spalling" (Yapraklanma) denir. Miktar olarak çok parçacığın koptuğu haller "gouge corner collaps" (seyir kenarı çöküntüsü) olarak adlandırılır.

Aşağıdaki Şekil 2.25'te ağır ve kritik Head Check'lerle kurb yarıçapları arasındaki korelasyon gösterilmektedir. (Ölçümler Hollanda'da yapılmıştır.)



Şekil 2.25. Kurb yarıçapına bağlı "Kılcal Çatlak" olasılıkları [46].

Şekilde, yuvarlanma temas hasarlarının en çok ortaya çıkma olasılığının R1500 – 2000 metre arası kurbalarda olduğu görülmektedir. (Hollanda'da elde edilen sonuçlar ile İngiltere Network Rail'de elde edilen sonuçların örtüştüğü görülmektedir)

Araştırmalar aynı zamanda kılcal mantar çatlağı oluşum olasılığının travers çeşidine, yani üst yapı sertliğine bağlı olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki tablo Hollanda Demiryolları şebekesi ana hatlarındaki bu ilişkiyi göstermektedir.

Çizelge 2.8. Travers çeşidi ile ilgili olarak kılcal mantar çatlağı oluşma olasılığı [30].

Travers Çeşidi.	Hat toplamında % olarak payı	Kılcal mantar çatlağı gelişme Olasılığı [%]
Ahşap traversler	51,2	5,1
Çift blok traversler	26,5	7,2
Monoblok-Beton traversler	9,8	14,2
Diğerleri	1,2	16,1
Sabit hat	0,6	23
Makaslar ve kuruvazmanlar	11	8,9

2.10.3. Çatlak Yuvaları

Çatlak yuvaları, 20-100 mm aralıklarla oluşurlar bu ray hataları da yuvarlanma temas yorulmasından oluşmaktadır. İlk olarak Almanya’da yüksek hızlı tren hatlarında tespit edilmiştir [47]. Bu hasar özellikle üstünde, 200 km/h süratle hareket edilen raylarda görölmektedir. Mutlaka ondülasyon hataları ile bir arada görölürler. Yayılmaları 5-15 mm arasında olur. Yukarıdan bakıldığında, ray eksenine 45⁰’lik bir açđ gösterir ve çapraz olarak ray içerisine doğru giderler. İndüksiyon akımı muayenesi burada başarıyla uygulanabilir.

2.10.4. Ezilme (Squat)

Squat ray mantarı üzerinde ve rayın seyir kenarına doğru açık yarım daire veya “V” şeklindeki çatlaklardır ve seyir yüzeyinde rengi koyulaşmış düşük satırları da beraberlerinde getirirler. Aliyanda ve daha çok da yüksek hız trafiği olan (>200km/h) hatlarda görölürler.



Şekil 2.26. Ray mantarında görülen Ezilme (squat) [21].

Seyir yüzeyindeki Çukur yerlerde temas eksikliğinden dolayı pas oluşur ve bölge koyulaşır. Genellikle seyir dinamiğinin etkisiyle, karşılıklı etkileşim sonucunda balast yatağında beyaz yerler oluşur ki bunlarda balast yatağındaki bozukluklara işaret etmektedir.

2.10.5. Tek Yönlü Hatlarda Temas Kenarı Hasarları

Kılcal Mantar Çatlaklarının alışılmış hasar görüntüleri tek yönlü hatlarda bambaşka ortaya çıkar. Temas kenarının alt tarafında oluşan çapaktan hareket eden çatlaklar ray mantarının içine doğru büyür. Temas kenarında ezilmeler ve kusmalar görülür. Genellikle bu tür yüksek ileri dereceli hasarlar rayların uzun kullanım sürelerinden sonra ortaya çıkar [47].

2.10.6. Çentiklenme

Yuvarlanma yüzeyinin yatay kısmında oluşan ezilmeler periyodik olabileceği gibi düzensiz de olabilir.

2.10.7. Periyodik Çentiklenme

Bu ray hasarının hareket noktası, ray mantarı seyir yüzeyinde mekanik darbelerle oluşmuş çentiklerdir. Böyle bir çentikte yoğun bir paslanma başlar. Buna ek olarak seyir kenarından başlayan, hafif bir açı ile ray malzemesinin içine doğru hareket eden, artan iş yoğunluğuyla da büyüyen, alansı bir çatlak oluşur.

2.10.8. Düzensiz Çentiklenme (Kahverengi lekeler)

Bu ezilmeler önce ray yüzeyinde parlak olarak göze çarpar. Ancak kuvvetli paslanma sonucu açık kahve ile koyu kahve arası bir renge dönüşür. Kısa bir zaman içerisinde birkaç cm² bir alana yayılır ve ray derinliklerine doğru ilerlerler.(0,7 mm'ye kadar)



Şekil 2.27. Ray mantarında çentiklenmeler [10].

2.10.9. Savrulma Noktaları

Lokomotifler hareket sırasında sürtünme kuvveti sınırını aşan hızlara ulaşırlarsa tekerlekler ray üzerinde patinaj yaparak apletiye neden olabilirler. Isınma dolayısıyla malzemede, yaklaşık 1mm kalınlığa kadar perlitten martenzite doğru bir değişim meydana gelir.

2.10.10. Sürünme Dalgaları- Kısa Dalgalar

Kısa dalgalar, dalga boyu 8-30 cm, hata üst değeri 0,3-1 mm arasında olan dalgalardır. Normal şartlarda sadece R500 m. altındaki kurbalarda ve daha çok kurbun iç rayında oluşurlar. Tekerlek sürünmesi sonucu meydana gelirler.

Bu oluşum sürekli olacaktır, günümüzde en yüksek verimle çalışmak üzere tasarlanan araçlar ve lokomotifler seyir ve frenleme hareketleri açısından sürünme sınırında tasarlanmaktadır. Modern anti blokaj ve anti sürünme sistemleri bugün artık çok ucuza mal olmaktadır ve kapsamlı bir şekilde kullanılmaktadır. Kurbalar da kısa dalgalı alanlarda 0,3mm'ye kadar dalga derinlikleri tolere edilebilir. Takriben bu değerden itibaren artan tekerlek dinamiği yüzünden "balast akması " adı verilen oluşum dolayısıyla hat yerleşim hataları meydana gelir.

Beton traversler ahşap traverslere nazaran çok daha çabuk sürünme dalgaları oluşumu gösterirler. İncelemeler, tabanlı traverslerin kullanımı ile sürünme dalgalarının oluşumunun yavaşladığını göstermektedir, ancak ahşap traverslerin düşük değerlerine ulaşamamaktadır. Çok yumuşak ara seletlerin kullanılması (300 N/mm'den küçük dinamik katılık) sürünme dalgalarının azaltılması yolunda tabanlı traverslere iyi bir alternatif olabilir.

2.10.11. Ondülasyon

Sürünme dalgaları için geçerli olan hususlar oyuklar içinde geçerlidir. Modern demiryolu tekniği bu sorunla mücadele ederek, minimum düzeye indirgeyecek çözümler bulmayı sürdürmenin yanında bu sorunla yaşamak durumundadır. Bugüne kadar ki yapılan çalışmalar, oyukların oluşmasını geniş ve bütün sebepleriyle ortaya koyacak, tutarlı bilimsel açıklamalar bulmayı başaramamıştır [48].

Oyuklar, ray mantarının üst yüzeyinde oluşan kısa dalgalı hatalardır. Tipik dalga boyu 3-6 cm arasında olup, dalga derinliği 0,1-0,4 mm kadardır. Özellikle sinüzoid hareketin görüldüğü Aliymanda ve büyük yarıçaplı kurbalarda oluşur.

Ray mantarının üst yüzeyinde oluşan Şekil 2.28’de görülen bu düzensizlikler, demiryolu trafiğinin emniyetini etkilemez, ancak istenmeyen bir gürültüye neden olurlar.



Şekil 2.28. Kısa dalga boylu ondülasyonlar [10].

Hattın ve araçların daha yüksek bir dinamik etkiye maruz kalmalarına sebep olurlar. Değişik ülkelerin demiryolu işletmelerinin tecrübelerine göre, ray üst yüzeyindeki düzensizlikler 0,1 mm oyuk derinliğinden itibaren ray malzemesinin davranışının bozulmasına neden olur [49]. Ondülasyona karşı, özellikle makasların dil kilitleri çok hassas reaksiyon gösterirler. Taşlama işlemlerinin yapılmaması halinde klasik “K” bağlantılarda transvers tirfonlarının kırılmasından dolayı bakım masrafları dört katına çıkar. W-bağlantılarda, oyuk derinliğinin 0,1 mm’yi aşması halinde transvers tirfonları ve yaylı kıskaçlar kırılır.

2.10.11.1. Oyuk Çeşitleri

Oyuklar altı çeşit altında incelenir [50].

- Ağır trafikteki oyuklar (Heavy haul)
- Hafif trafikteki oyuklar (Light Rail)

- Yuvarlanma yüzeyi temas yorgunluğu oyukları (Rolling Contact Fatigue)
- Yumuşak ara selet üzerindeki çizmeli travers oyukları (Booted Sleeper)
- Takırtıya neden olan oyuklar (Rutting)
- Hızlı tren hatlarında çınlamaya neden olan oyuklar (Roaring Rail)

Çizelge 2.9. Oyuk çeşitleri ve buna bağlı hasar mekanizmaları [15].

Oyuk Çeşidi	Dalga Boyu [mm]	Dalga boyu etkenleri	Hasar mekanizmaları
Ağır trafikte (Heavy haul)	200-300	P2-Rezonans	Plastik akıntı
Hafif trafikte (Light Rail)	500-1500	P2-Rezonans	Rayın plastik eğilmesi
Yuvarlanma yüzeyi Temas yorgunluğu. (Rolling Contact Fatigue)	150-450	P2-Rezonans dikey ve/veya yanıl.	Yuvarlanma Temas Yorgunluğu.
Yumuşak ara seletler (Booted Sleeper)	45-60	Travers rezonansı Tekerlek takımı rezonansı.	Aşınma
Tıkırtı sonucu (Rutting)	50-450	Burulma rezonansı.	Aşınma
Çınlamaya yol açan (Roaring rail)	25-80	Ray-travers rezonansı.	Aşınma

P₂-Rezonans tanımı ile yaylanmış araç kütesinin, mevcut olan hat ızgarasının yay özelliği ile birlikte oluşturduğu rezonans anlaşılır. Aracın yaylanmamış kütesi ile hat ızgarasının karşılıklı etkilenmesi P₂-kuvvetini oluşturur. Bu kuvvet göreceli olarak hafifletilmiştir ve bir rezonans artışına neden olur. Balastlı Hat'ta 30 – 50 Hz arasında, sabit Hat'ta ise 150 Hz'e varan frekanslarda ortaya çıkar.

Ağır trafikteki oyuk (Heavy haul): Bu oyuklar genellikle ağır y¼k hatlarında g¼r¼l¼r. Bu hatlarda 40 tona varan aks y¼kleri mevcuttur, ama katarlar eşit vagonlardan oluşurlar. Bu katarların s¼ratleri hep aynı olup, oldukça d¼ř¼kt¼r (30km/h). Bu çeşit oyukların dalga boyları 200 – 300 mm arasındadır; bu tipik s¼rate uygun frekanslar takriben 30 Hz'dir. Bu oyuklar muhtemelen tekerlek ve ray arasındaki çok y¼ksek temas gerilmelerinden oluşmaktadır.

Hafif trafikteki oyuk (Light Rail): Bunlara ilk kez Avustralya'da Adelaide/Perth hattında rastlanmıştır. Bu hatta karışık bir trafik mevcuttur. Bu oyuk çeşidi 500 – 1500 mm arası dalga boyları ile tanınır ve tipik frekansları 30 – 50 Hz arasındadır. ¼zellikle hafif raylı taşımada g¼r¼l¼rler (47 kg/m – 54 kg/m). Bu oyuklara neden olan mekanizmanın, boyuna gerilmelerin akma sınırını aşmaları halinde ortaya çıkan plastik eğilme olduğu kabul edilmektedir.

Yuvarlanma y¼zeyi temas yorgunluğu oyuğu (Rolling Contact Fatigue (RCF): Bu oyuk çeşidi ilk olarak Kanada'nın y¼k nakil hatlarında g¼r¼lm¼řt¼r. Ray yuvarlanma y¼zeyi pul pul olur. Bu pullar kırılıp d¼k¼l¼r ve geriye midye kabuğuna benzer izler bırakırlar, bunlar daha sonraki oyuk çukurlarına d¼n¼ř¼r. Dalga boyları 150 – 450 mm arasındadır ve başlangıçta çok yaygın olarak ortaya çıkarlar. Zamanla periyodikleşme s¼recine girerek kendilerini tekrarlarlar. Bu oyukların oluşumunun nedeni, tekerlek profilleriyle ray profillerinin uyumsuzluğu neticesinde ortaya çıkan b¼lgesel temas gerilmelerinden dolayı meydana gelen temas yorgunluğudur. Bunlara tekerlek ve ray arasındaki b¼y¼k s¼rt¼nme kuvvetlerinden dolayı oluşan b¼y¼k tanjant kuvvetleri katılır. Bu y¼klenmeler ¼nce mikro çatlaklara neden olarak hasarlı b¼lgeler oluşturur (shells, Shelly spots) ve malzeme patlayıp öz¼lene kadar b¼y¼meye devam ederler. Bu mikro çatlakların b¼y¼mesi yağ, yağlama maddeleri ve su ile hızlanır.

Yumuşak ara selet ¼zerindeki izmeli travers oyuğu (Booted Sleeper): Bu tip oyuklar teker teker traverslerin, balast yatağı olamayan sabit hatta ve çok yumuşak ara seletlerle bağlı olduğu keskin kurlarda oluşur (< R400m). Hem iki bloklu hem de normal beton traverslerde g¼r¼l¼rler. 250-350 Hz arasında frekanslara tekab¼l eden 45 – 60 mm arasında dalga boyları vardır. Bu oyuklar ilk ¼nce kurb i rayında

görülürler. Booted-sleeper oyukların nedeni, muhtemelen boyuna hareketler ile yanal sürünmenin ortaya çıkardığı müşterek aşınmadır. Bu da kurlarda iyi yön tutmayan boji çerçevesine ait arkadan gelen tekerin iç tarafında oluşan kuvvetlere uyar. Açıkça bellidir ki, dalga boyları, yumuşak ara seletler üzerinde hareket eden traverslerin iyi sönümlenmemiş rezonansları tarafından belirlenir. Tipik frekans 250 Hz civarındadır.

Takırtıya neden olan oyuk (Rutting): Rutting Oyuklar, en yaygın olarak görülen oyuklar arasındadır. Ancak oluşma nedenleri hakkında çok az şey bilinmektedir. Adları ray mantarında oluşan karakteristik çapraz ince çizgi biçiminden dolayı verilmiştir. Bunlar oyuğun tepesinde tipik, açık renkli bir çizgi meydana getirirler, oyuğun dibinde ise aşınma ile oluşan tipik koyu yivler görülür. Tramvay rayları üzerinde bu oyuklar takriben 50 mm olur, metro hatlarında ise 200 mm'ye kadar ulaşabilir. Bu oyukların nedeni aşınmadır. Aşınma esas itibariyle, sürünme hareketleri ve boyuna hareketler nedeniyle olur. Dalga boyları periyodik bir aşınma tarafından belirleniyor gibidir. Buna ise muhtemelen, tekerlek takımının burulma rezonansının kendisi neden olmaktadır. Burulma titreşimlerinin nedeni tekerlek takımının her iki tekerleğindeki değişen boyuna sürünme veya tahrik gücündeki ani değişimlerdir.

Hızlı tren hatlarında Çınlamaya neden olan oyuklar (Roaring Rail): Bu oyuklar yüksek hızlı tren hatlarında görülür. Çoğunlukla aliymanlarda veya boden teması gerektirmeyen büyük yarıçaplı developmanda görülürler. Dalga boyları 25 – 80 mm arasındadır. Oluşum mekaniği henüz tamamen anlaşılamamıştır, ancak en akla yatkın olanı, bunları tekerleklerin, özellikle de lokomotifin tekerleklerinin sürünmesi ile ilişkilendirmektir. Bu oyuk çeşidinin nedeni, genellikle yanal sürünme ile oluşan aşınma durumlarında aranmalıdır. Bu oyuk çeşidinin dalga boyu, muhtemelen rayın görece küçük tepe noktalarla travers üzerinde ve oldukça yüksek tepe noktalarıyla da travers aralarında titreşmesinden oluşan rezonans tarafından belirlenmektedir (pinned-pinned-Rezonanz). Bu titreşimin tipik frekansı 750 Hz civarındadır. Tekerlek-ray temas gücü travers yakınlarında büyük, travers boşluğu ortasında küçük olur.

2.10.11.2. Oyuk Büyümesi

Alman Demiryollarının bir araştırması oyuk büyümesi ile ilgili olarak aşağıdaki formülü vermektedir [45].

$$y = c \cdot \sqrt{M^3} \quad (2.3)$$

y = Genlik [mm]

M = İşletme yoğunluğu [mio.ton]

c = Orantı katsayısı (ray çeliği kalitesine bağlı olarak 0,0048-0,0073 arasındadır)

AREA'nın yapmış olduğu başka bir araştırma çok daha karamsar bir bağlantıya ulaşmaktadır.

$$y = 0,0005 \cdot M^2 \quad (2.4)$$

Bu ilişki, Amerika'da alışılmış olduğu gibi, özellikle 30 t üzeri dingil tonajları olan hatlar için geçerlidir.

2.10.12. Hadde Hataları

Bunlar dalga boyu 0,6-2 mm arasında, ortalama 0,5 mm olan (ki, 0,3 mm altındakilerin bertaraf edilmesi çok zordur) çoğunlukla haddehanede, rayların haddelenmesi sırasında oluşan hatalardır. (Periyodu 1,6-1,7 m). Bu tür hatalarda kurbun dış tarafındaki rayda yanal bir aşınma, kurbun iç rayında ise yükseklik aşınması görülür.

BÖLÜM 3

RAY BAĞLANTILARI

3.1. RAY BAĞLANTILARININ GÖREVLERİ

Ray bağlantılarının görevi, bir yandan ekartmanı sabit tutmak, diğer yandan da hem ray üzerine etki eden, hem de ray içinde oluşan kuvvetleri ray altlarında dizili bulunan travers sistemine aktarmaktadır. Bağlantı sisteminin, dikey yönde hem yukarıya, hem aşağıya doğru harekette yumuşatılmış olması gerektiğinden, küçük bağlantı malzemesinin özelliklerinin, rayın trafik ağırlığı altında yükselen bir dalga oluşturma halinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

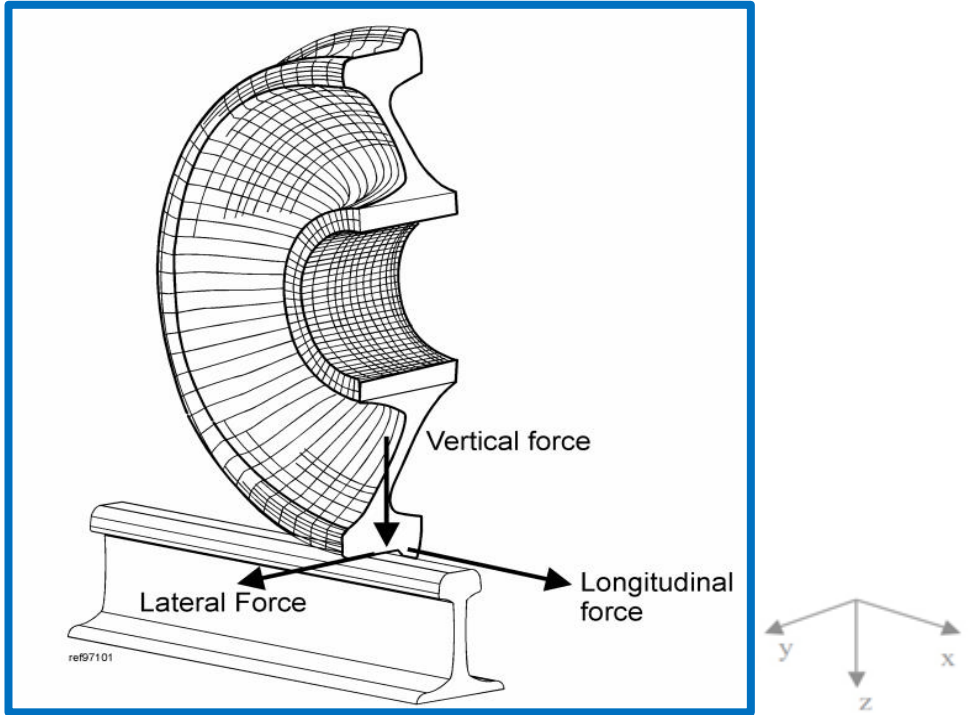
Bu özellikle beton traverslerde önemlidir, çünkü beton traverslerdeki hat çerçevesi ağırlığı ahşap traverslere göre 2-3 kat daha yüksektir. Bağlantı sistemi için dikey yönde yeterli bir direncin mevcut olması önemlidir. Bağlantı elemanlarının her bir çifti, beton traversin ve ona ait ray bölümünün ağırlığını bağlama sisteminde önemli bir şekil değişikliğine maruz bırakmadan taşıyabilmelidir.

Beton traverslerde bağlantı sisteminin önemli görevlerinden biri de, rayı elektrik akımı açısından hat çerçevesine karşı izole etmektir. Bu, rayın tabana karşı yetersiz izolasyonu nedeniyle hat akım devresinde meydana gelebilecek sinyal kayıplarını asgariye indirebilmek için gereklidir. Elektrik izolasyonu yağmurlu ve nemli şartlarda da görevini yerine getirebilecek durumda olmalıdır.

3.2. ETKİ EDEN KUVVETLER

3.2.1. Dikey Kuvvetler (Q-Vertical Force)

Ray bağlantı malzemesine etki eden dikey kuvvetler, ray altına yerleştirilen esnek ara seletler ve bunlara ait yay elemanlarıyla kısmen sönmülenebilir.



Şekil 3.1. Raya etki eden tekerlek yükleri [26].

3.2.2. Yatay Kuvvetler (Y-Lateral Force)

Hat'ta çapraz olarak etki eden dinamik kuvvetlerin karşılanması, kısmen bastırılmış esnek ara seletler tarafından, kalanı esnek dikey elemanlarla doğrudan traverslere aktarılabilir. Raya etki eden bu çapraz kuvvetler çok büyük olabilmektedir. Ray bağlantı malzemesine kuvvetli tutunacak şekilde aktarılabilirdir. Bu yapılamazsa, ortaya çıkan kuvvetler o kadar büyük olur ki, hat bunun altında ezilebilir.

Sürekartman: Dar kurlarda tekerleğin geçişini kolaylaştırmak için “Sürekartman” uygulanır. Sürekartman ile kurlar arasında aşağıdaki ilişki vardır.

Çizelge 3.1. Dar kurplarda sürekartman [15].

Yarıçap[mm]	Sürekartman [mm]
$150 < R < 200$	10
$120 < R < 150$	15
$R < 120$	20

1435 mm genişliğindeki normal bir ekartman da en düşük değer 1430 mm ve en yüksek değer olaraksa 1470 mm hat açıklığı kabul edilebilir sınırlardır.

Sürekartman, bağlama sisteminin çapraz sağlamlık özelliklerinin bir elemanıdır. Ray bağlantı sisteminin en önemli görevlerinden biri ekartmanın devamlılığını sağlamak olduğundan, ray bağlantı sisteminin, üstüne yüklenen çapraz kuvvetlere karşı fazla bir çapraz hareket göstermemesi, yani sürekartmana karşı direnç göstermesi, kritik öneme sahip bir özelliğidir. Sürekartman aşağıdaki üç faktörün kombinasyonu ile oluşabilir.

- **Ray Aşınması:** Bundan anlaşılması gereken genel olarak kurbun dış tarafında kalan rayda, ray mantarının iç tarafındaki malzeme aşınmasıdır.
- **Ray Kayması:** Ray tabanının traverse göre çapraz hareketi. (Aşınma, Toleranslar, Bağlantı malzemesi hataları.)
- **Ray Dönmesi:** Bir ray bölümünün başlangıçtaki dikey ekseninin her türlü dönmesi ve bununla ilgili olarak ray mantarının ray tabanına göre çapraz kayması.

3.2.3. Hat Boyu (Longitudinal Force.) Yönündeki Kuvvetler

Hattın boyuna yönündeki kuvvetlerin sönmelenmesi (yol verme kuvvetleri, fren kuvvetleri ve ısınmadan dolayı oluşan gerilme kuvvetleri) ancak esnek ara seletler aracılığıyla ve traverslerde oluşan momentin karşılanabilmesi özelliğiyle mümkündür.

Traverslerin hem boyuna itme direnci, hem de çapraz itme direnci, balast yatağının burajı ve stabilizasyonu ile sağlanmalıdır. Eğer bu gerilmeler yeterli ölçüde karşılanamazsa, hat, trenlerin gidiş yönünde istenmeyen tarzda hareket eder. Boyuna itme direncine bağlı olarak, iki rayın yürütmesinde farklı ivmelenmeler görülebilir.

Traverslerin balast yatağı üzerine yerleştirilmesi ile ilgili bilinen usullerde, ray bağlantı elamanlarının boyuna direnci traversin balast üzerindeki boyuna itme direncinden daha fazla olmalıdır.

3.3. KATI/ELASTİKİ RAY BAĞLANTILARININ FARKLILIKLARI

Ray bağlantıları raya, sürekli kuvvetle tutunan, ama gene de yukarıya doğru esneyebilen bir aşağı bastırma imkânı ve ayrıca iyi bir yanal rijitlik vermelidir. Rayın esnek bir şekilde aşağı bastırılması, yukarıya doğru hareketinin yumuşak tutulabilmesi ve yüksek bir ray yürütmesine karşı direncin sağlanması açısından önemlidir.

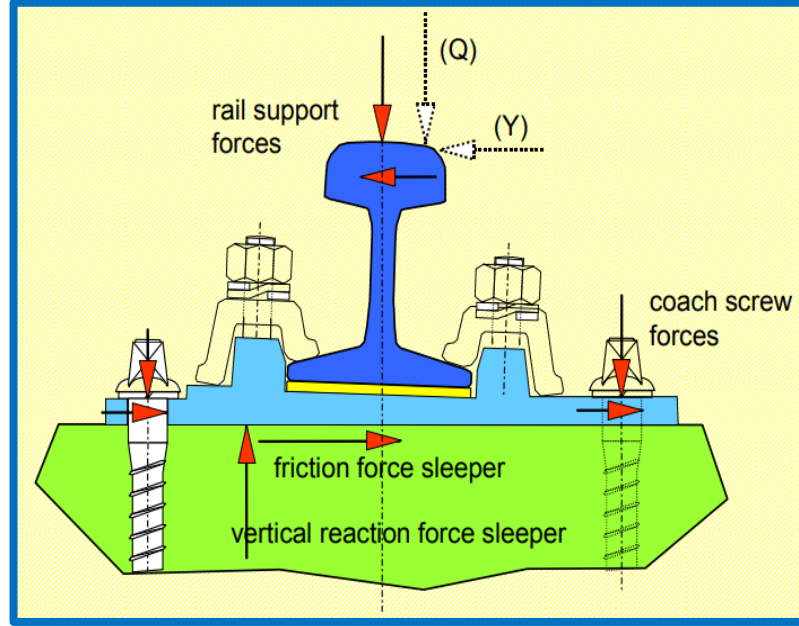
Katı bir ray bağlantısı bu talepleri yerine getiremez. Tabandaki en ufak bir geçici şekil değişikliği bile, kuvvetle uygulanan yere tutunmayı azaltır. Tabandaki kalıcı bir şekil değişikliği halinde ise, yere tutunma ve bununla beraber kaydırma direnci tamamen yok olur.

Ayrıca rayın darbe ve devrilme hareketleri dolayısıyla bağlantı malzemesinin maruz kaldığı darbeler sonucu mil ve tirfon yuvaları yavaş yavaş gevşer ve yana doğru itilir. Ray çivileri veya travers tirfonları ile yapılmış bu tür katı ray bağlantıları kesintisiz kaynaklı hatlar için uygun değildir. Esnek ray bağlantılarında ise tirfonlar, yaylı kıskaçlar ve rondela yaylar üzerlerine bir ön gerilim binecek şekilde sıkıştırılır.

3.4. ARA SELETLER

Ara seletler, titreşimlerin sönümlenmesini sağlayan, elastiki yumuşatıcı elemanlardır (Şekil 3.2). Bu nedenle ara seletin yük dağıtıcı bir etkisi vardır. Alman demiryolları

esnek ara seletlerde artık 50kN/mm -70 kN/mm arası bir statik katılık ve 3 Hz ile 5 Hz arası, 50 kN/mm'den, 130 kN/mm'ye kadar bir dinamik katılık aranmaktadır.



Şekil 3.2. Ray, travers ve ara seletlerden oluşan bir yolun dikey kesiti [51].

Araseletler TS EN 13481-2'ye göre aşağıdaki gibi ayrılır.

- Yumuşak Katılık < 80 kN/mm
- Orta Katılık $\geq 80 < 150$ kN/mm
- Sert Katılık ≥ 150 kN/mm

Aşağıdaki Çizelge 3.2'de Yaygın kullanımda olan ara seletlerle ilgili bazı tipik eş değerler verilmektedir.

Çizelge 3.2. Yaygın kullanılan ara seletlerin ısı ve frekansa bağlı olarak statik ve dinamik yay eş değerleri [52].

	C_{stat} [kN/mm]	C_{stat} [kN/mm]..	C_{dyn} [kN/mm]	C_{dyn} [kN/mm]	C_{dyn} [kN/mm]
	25 ⁰ C	-30,+70 ⁰ C	25 ⁰ C 5 – 30Hz	10 Hz -30 ,+70 ⁰ C	25 ⁰ C 100-2000Hz
Zw700a	53	51-64	71-77	182-63	80-275
Zw900a	56	53-68	75-83	179-68	-
Zwp104NT	23	22-25	28-29	47-25	-
Zwp104	27	26-29	40-42	36-63	-
Zw1000NT	42	42-41	57-61	56-91	-

Deneyleyler, sert ara selet Z_w 687a ($c_{stat} = 560$ kN/mm) yerine daha yumuşak olan Z_w 900a kullanıldığında, ICE (Inter City Expres. Alman Yüksek Hızlı Trenleri) trenlerindeki vibrasyonun 100 Hz'lik kritik alanda, zemine aktarılan travers titreşimlerin % 50 oranında, hattın titreşimlerinin köprülerde % 20-50 oranları arasında azaldığını göstermektedir [48,49].

Tabi aynı şekilde ICE trenlerindeki vagon içi sesler azalmıştır. Yumuşak seletler hat katılığını da takriben % 30 oranında azaltmıştır (Z_w 687a'da $c = 166$ kN/mm, Z_w 900a'da, $c = 111$ kN/mm).

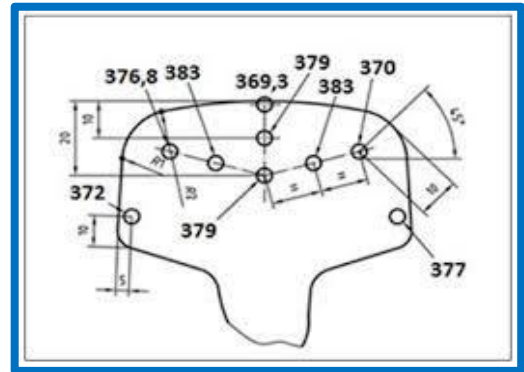
BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda KARDEMİR A.Ş. üretimi 60E1 profilli demiryolu literatüründe ise R350HT kalite olarak bilinen demiryolu çelik ray malzemeleri kullanılmıştır. Bu raylar haddelemeyle 72m boyunda üretilmektedir. Çalışmalarda kullanılmak üzere çelik ray numuneleri 120 cm uzunluğunda sıvı soğutmalı şerit testere ile oldukça yavaş kesme hızında kesilmiştir. R350HT kalite ray çeliğinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.1 de, mikroyapı görüntüsü de Şekil 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan EN 13674 – 4' e göre R350HT 60E1 Ray Çeliğinin Mekanik özellikleri ve kimyasal bileşimi (%Ağırlık)

R350HT	Mekanik Özellik						Kimyasal Bileşimler						
	Akma Dayanımı		Kopma Dayanımı		Uzama	Sertlik	C	Si	Mn	S	P	Hppm	Om
	MPa	Kg/mm ²	Mpa	Kg/mm ²	min	HB				≤	≤	≤	≤
			≥1175		9%	350-390	0,72-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	0,025	0,020	2,5	20



Şekil 4.1. R350HT Ray çeliğinin orijinal SEM mikroyapısı ve sertlik dağılımının şematik görünümü [54].

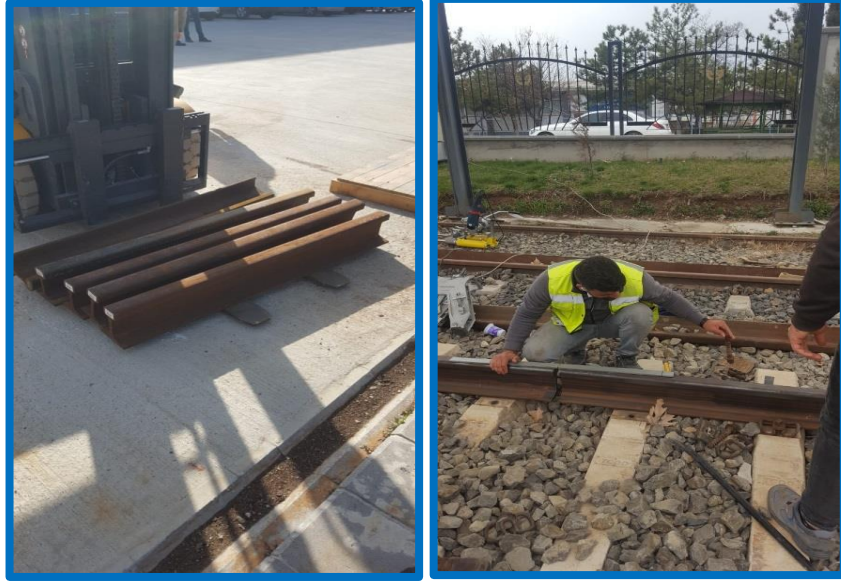
4.1. ALÜMÜNÖTERMIT KAYNAK İŞLEMLERİ

Bu çalışmada Alümünötermiit kaynak işlemleri aşağıda belirtilen aşamalar takip edilerek gerçekleştirilmiştir;

- Ray kaynak numunelerinin kaynak işlemleri için hazır hale getirilmesi,
- Alümünötermiit kaynak porsiyonları,
 1. Pandrol “PLA” porsiyonu (Fransız)
 2. SkV Elit L25 porsiyonu (Alman)
 3. SOW-5 porsiyonu (Alman)
- Kaynak numunelerinin uygun pozisyona getirilmesi ve ekipmanların kurulması,
- Kaynak işlemlerinin gerçekleştirilmesi,
- Ekipmanların çözülüp kaynak bölgesinin taşlanarak temizlenmesi.

4.1.1. Ray Kaynak Numunelerinin Kaynak İşlemleri İçin Hazır Hale Getirilmesi

Alümünötermiit kaynak numuneleri ileriki bölümde açıklanan kaynak porsiyonlarına göre yapılan kodlamaları, numune sayıları ve uygulanan diğer tahribatlı ve tahribatsız deneyler sırasıyla Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’ te verilmiştir. Alümünötermiit kaynak işlemleri için numuneler R350HT Mantarı sertleştirilmiş UIC60 Profil vinyol tip 72m çelik ray malzemesinden 120’şer cm uzunluğunda olacak şekilde şerit testere ile kesilmiş ve çapaklarından temizlenerek kaynak işlemlerine hazır hale getirilmiştir. Sonuçta PLA gurubu porsiyonu için 20 adet, SkV Elite L25 gurubu için 20 adet ve Sow-5 gurubu için 20 adet olmak üzere toplamda 60 adet ayrı numune hazırlanmıştır.



Şekil 4.2. Termit kaynağı için hazırlanan R350HT Ray numuneleri

Çizelge 4.2. Alüminotermit kaynak porsiyon PLA 'da kullanılan kodlamalar

SıraNo:	Ray Profili	Deney Kodu	Açıklama
1	60E1	MT-20-083-1	PLA-CCK-25-350HT
2	60E1	MT-20-083-2	PLA-CCK-25-350HT
3	60E1	MT-20-083-3	PLA-CCK-25-350HT
4	60E1	MT-20-083-4	PLA-CCK-25-350HT
5	60E1	MT-20-083-5	PLA-CCK-25-350HT
6	60E1	MT-20-083-6	PLA-CCK-25-350HT
7	60E1	MT-20-083-7	PLA-CCK-25-350HT
8	60E1	MT-20-083-8	PLA-CCK-25-350HT
9	60E1	MT-20-083-9	PLA-CCK-25-350HT
10	60E1	MT-20-083-10	PLA-CCK-25-350HT
11	60E1	MT-20-083-11	PLA-CCK-25-350HT
12	60E1	MT-20-083-12	PLA-CCK-25-350HT
13	60E1	MT-20-083-13	PLA-CCK-25-350HT
14	60E1	MT-20-083-14	PLA-CCK-25-350HT
15	60E1	MT-20-083-15	PLA-CCK-25-350HT
16	60E1	MT-20-083-16	PLA-CCK-25-350HT
17	60E1	MT-20-083-17	PLA-CCK-25-350HT
18	60E1	MT-20-083-18	PLA-CCK-25-350HT
19	60E1	MT-20-083-19	PLA-CCK-25-350HT
20	60E1	MT-20-083-20	PLA-CCK-25-350HT

Çizelge 4.3. Alüminotermit kaynak porsiyon SkV Elite L25’ de kullanılan numune kodlamaları

SıraNo	Ray Profili	Deney ve Numune No	Yöntem
1	60E1	MT-19-34-1	SkV Yöntemi
2	60E1	MT-19-34-2	SkV Yöntemi
3	60E1	MT-19-34-3	SkV Yöntemi
4	60E1	MT-19-34-4	SkV Yöntemi
5	60E1	MT-19-34-5	SkV Yöntemi
6	60E1	MT-19-34-6	SkV Yöntemi
7	60E1	MT-19-34-7	SkV Yöntemi
8	60E1	MT-19-34-8	SkV Yöntemi
9	60E1	MT-19-34-9	SkV Yöntemi
10	60E1	MT-19-34-10	SkV Yöntemi
11	60E1	MT-19-34-11	SkV Yöntemi
12	60E1	MT-19-34-12	SkV Yöntemi
13	60E1	MT-19-34-13	SkV Yöntemi
14	60E1	MT-19-34-14	SkV Yöntemi
15	60E1	MT-19-34-15	SkV Yöntemi
16	60E1	MT-19-34-16	SkV Yöntemi
17	60E1	MT-19-34-17	SkV Yöntemi
18	60E1	MT-19-34-18	SkV Yöntemi
19	60E1	MT-19-34-19	SkV Yöntemi
20	60E1	MT-19-34-20	SkV Yöntemi

Pandrol “PLA” yöntemiyle kaynatılmak üzere hazırlanan numuneler 1-20 arası rakam verilerek kodlanmıştır. SkV elit L25 yöntemi için hazırlanan numuneler 1 den başlayıp 20’ye kadar kodlanmıştır. Sow-5 yöntemi ile hazırlanan numuneler ise 20 den başlayıp 40’a kadar kodlanmıştır.

Çizelge 4.4. Alüminotermite kaynak porsiyon SOW-5'te kullanılan kodlar

Sıra No	Ray Profili	Deney ve Numune No	YÖNTEM
1	60E1	MT-19-034-21	SOW Yöntemi
2	60E1	MT-19-034-22	SOW Yöntemi
3	60E1	MT-19-034-23	SOW Yöntemi
4	60E1	MT-19-034-24	SOW Yöntemi
5	60E1	MT-19-034-25	SOW Yöntemi
6	60E1	MT-19-034-26	SOW Yöntemi
7	60E1	MT-19-034-27	SOW Yöntemi
8	60E1	MT-19-034-28	SOW Yöntemi
9	60E1	MT-19-034-29	SOW Yöntemi
10	60E1	MT-19-034-30	SOW Yöntemi
11	60E1	MT-19-034-31	SOW Yöntemi
12	60E1	MT-19-034-32	SOW Yöntemi
13	60E1	MT-19-034-33	SOW Yöntemi
14	60E1	MT-19-034-34	SOW Yöntemi
15	60E1	MT-19-034-35	SOW Yöntemi
16	60E1	MT-19-034-36	SOW Yöntemi
17	60E1	MT-19-034-37	SOW Yöntemi
18	60E1	MT-19-034-38	SOW Yöntemi
19	60E1	MT-19-034-39	SOW Yöntemi
20	60E1	MT-19-034-40	SOW Yöntemi

4.1.2. Alüminotermite Kaynak Porsiyonları

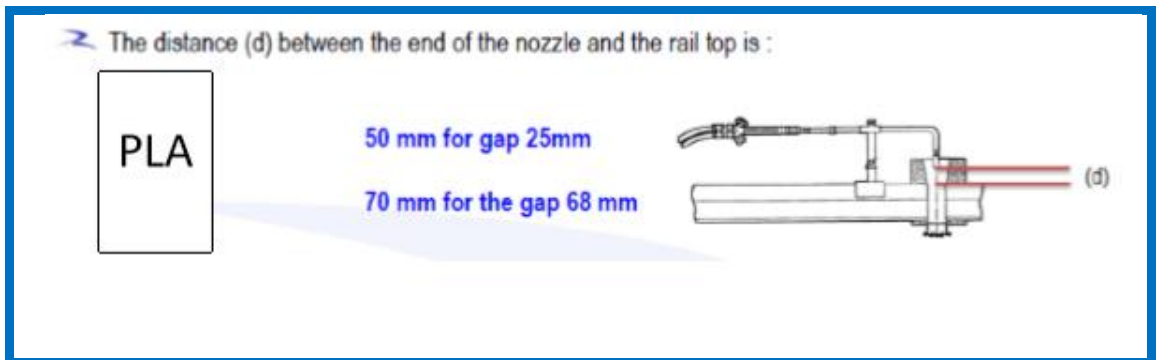
Alüminotermite kaynak porsiyonlarının hazırlanmasında ray profili ve çelik çeşidi, dikkate alınarak kullanılacak olan THERMITE porsiyonunun türü belirlenmiştir. Bu kapsamda İnce/hassas perlitleştirilen (mantarı sertleştirilmiş) raylar, kimyasal bileşimleri açısından aşağı yukarı R260 çelik çeşidine denk olduğu için bu raylarda kullanılan porsiyonlar çok az değiştirilerek bir prosedür uygulanmıştır. Bu prosedürler aşağıda açıklanmıştır.

4.1.2.1. Pandrol “PLA” Yöntemi

Esasen Fransız Pandrol Firmasının kullandığı porsiyon türüyle yapılan kaynağın adıdır “PLA” yöntemi. Genel bakıldığında aynı işleve sahip olmasına rağmen uygulamada tutulan süre ve kullanılan birkaç farklı alet ve yöntemden ibarettir.

Çizelge 4.5. Conta boşluğuna göre döküm sonrası operasyon süreleri [57].

PLA	OPERATION AFTER THE CASTING	
	25 mm	68 mm
One shot crucible removal	1 minutes	1 minutes
Slag tray removal	3 minutes	3 minutes
Sides plates removal	3 minutes	5 minutes
Start the unmoulding	5 minutes	8 minutes
Start the shearing	6 minutes	10 minutes
Waiting time before running	25 minutes	35 minutes



Şekil 4.3. Conta boşluğuna göre hamlaç mesafesi [57].

Çizelge 4.6. Yöntemler arasındaki ön ısıtma farklılıkları [57,58,59].

Yöntem	Ray Profili	Süre (dk.)	Basınç (bar)	
			O	C ₃ H ₈
SkV-Elite L25	S49	2	5	1,5
	UIC60	2	5	1,5
SoW-5	S49	5	4	1,5
	UIC60	6	4	1,5
PLA	S49	4 (5/G68)	1,5	0,4
	UIC60	4 (5/G68)	1,5	0,4

4.1.2.2. SkV-Elit L25 Yöntemi

Bu yöntem yine Almanların kullandığı “SkV” yönteminin bir değişik versiyonudur. Temelde aynı olmasına rağmen süre ve işlem basamağı farklılıkları vardır.

Çizelge 4.7. Yöntemler arası kaynak sonrası operasyon süreleri [58].

Yöntem	Ray Profili ve Aralık		Potanın Alınması (dk.)	Kalıpların Çıkarılması (dk.)	Kafanın Kesilmesi (dk.)
SkV-Elite L25	S49			3,0 - 3,5	3,5 - 4,0
	UIC60			3,5	4,0
SoW-5	S49- UIC60	28-30		3,5	4,5
		50		5	9,5
		75		7	12
PLA	S49- UIC60	25	1	3	5
		68	1	5	8

4.1.2.3. SOW-5 Yöntemi

Bu çalışmada SOW-5 yöntemi kullanılarak alüminotermite kaynağı yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılan diğer yöntemlerle ana farklılıkları oluşturan proses parametreleri çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. SOW-5 Termit porsiyon parametreleri [59].

Ray profili		THERMIT [®] Porsiyonu ¹⁾²⁾	Ön ısıtma tahmin süresi ¹⁾²⁾ [dak.]	Dökümden sonraki bekleme süresi kalıp tutma sacının sökülmesi ¹⁾²⁾ [dak.]	Dökümden sonraki bekleme süresi kalıp kafasının kesimi ¹⁾²⁾ [dak.]	Dökümden sonra kesimin başlaması [dak.] ¹⁾²⁾³⁾	Dökümden sonra kesimin başlaması [dak.] ¹⁾²⁾³⁾
Alışıldık tanımlama	CEN'e göre tanımlama					LZT	Euro- eritme potası
S49, ÖBB B	49E1, 49E5	49 ¹⁾	6,0	3,5	4,0	5,0-5,5	5,5-6,0
UIC54, SBBIII	54E1	54 ¹⁾	6,0	3,5	4,0	5,0-5,5	5,5-6,0
UIC60, SBB VI	60E1, 60E2, 60E2-40	60 ¹⁾	6,5	3,5	4,0	5,0-5,5	5,5-6,0

1.2.1 Talimat: SoW-5 için standart boşluklar (Propan / Oksijen)

Hamlaç tipi: 55.502, ürün no.: 250393

Gaz basınçları: Oksijen: 400 kPa (4,0 bar); Propan: 150 kPa (1,5 bar)

Dever Tavsiye: 0,5 m uzunluk boyunca her iki tarafta da her biri 1,0 - 1,5 mm olacak şekilde

Boşluk genişliği: 28 - 30 mm

Hamlaç yüksekliği: 40 - 45 mm^{4) 5)}

Döküm işleminden sonra kalıp tutma sacının çıkarılması için gereken bekleme süresi: en az 3,5 dakika^{4) 5)}

Döküm işleminden sonra kalıp kafasının çıkarılması için gereken bekleme süresi: en az 4,5 dakika^{4) 5)}

SOW-5

4.1.3. Kaynak Numunelerinin Uygun Pozisyona Getirilmesi ve Ekipmanların Kurulması

Raylar uygun pozisyona getirilerek yatay, nivelman farklılıkları giderilip hizalandı. Daha sonra kalıp yerleştirilerek sızıntıları önlemek için uygun macunla bütün boşluklar hassas bir şekilde dolduruldu. Herhangi bir istenmeyen ergimiş metal kaçağının bütün operasyonu boşa çıkarma olasılığı göz önünde bulundurularak gerekli hassasiyet ve titizlik sağlandı.



Şekil 4.4. Termit kaynağından önce mastarlama ve kalıpların yerleştirilmesi.

4.1.4. Kaynak İşlemlerinin Gerçekleştirilmesi

Kalıbın ön ısıtması yapıldıktan sonra, uygun termit kiti eklenmiş pota kalıbın üzerine daha önceden hizalandığı noktaya getirilerek sabitlenmiş ve maytapla yapılan ilk ateşlemeyle (PLA yönteminde kendinden ateşlemeli) birlikte potanın içindeki karışım kimyasal tepkimeyle birlikte oluşan yüksek ısının etkisiyle ergiyerek altında bulunan kalıba akmaya başlamıştır. Bu esnada herhangi bir taşma ya da kaçağı önlemek için sistemin başında bir kişi anında müdahale için elinde bir miktar macunla beklemiştir.



Şekil 4.5. Alüminotermite kaynağı başlama anı.

4.1.5. Ekipmanların Çözülüp Kaynak Bölgesinin Taşlanarak Temizlenmesi

Reaksiyon bitip ergimiş sıvı sorunsuz bir şekilde kalıba aktıktan sonra belirli bir süre beklenmesi gerekmektedir. Eğer o süre beklenmez ve zamanından önce kalıp açılırsa nüfuziyet azlığı yüzünden kaynak yeterince ana metali eritip istenilen yapışmayı sağlayamaz. Eriyik bölgesi istenilen alana yayılacak zamanı bulamaz. Kaynak yüzey kusurları oluşabilir. Eğer gereğinden fazla bekletip kalıp açılmaz ise kaynak fazla soğumadan dolayı sertleşir ve istenmeyen kısımların ray üzerinden atılması sorun oluşturur. Kalıp kırıldıktan sonra kaynak sıyırma makinasıyla ray profiline göre gereksiz kısımlar kesilmiş, kesilen kısımlar Jet taşlama makinasıyla ray tabanından koparıldıktan sonra ray mantarı yuvarlanma yüzeyinin taşlama işlemine geçilmiştir. Ray yuvarlanma yüzeyi Nivelman kuralları göz önünde bulundurularak uygun biçimde taşlanıp pürüzsüz hale getirilip, kaynak metali yüzeyi cüruf ve kum inklüzyonlarından tamamen temizlendikten sonra işlem sonlandırılmıştır.



Şekil 4.6. Alüminotermite kaynak bölgesinin fazlalıklardan temizlenmesi.

Kaynak bölgesi ince taşlamadan sonra prüzsüz hale getirildikten sonra uç uca eklenen ray numuneleri tekrar 120 cm uzunluğunda kaynak yapılan kısımlar ortada kalacak şekilde kesilerek mevcut deneylerin yapılacağı laboratuvar ortamına taşınacak hale getirilmiştir.



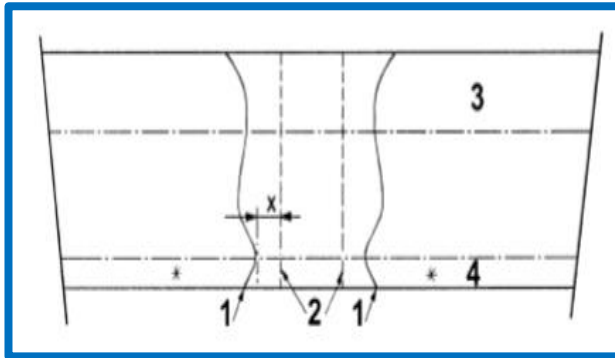
Şekil 4.7. Alüminotermite kaynağı yapılmış ve taşlanmış raylar.

4.2. MAKRO VE MİKRO GÖRÜNTÜ ANALİZLERİ

Bu çalışmada makro inceleme ve görüntü analizleri fotoğraflama ve görsel muayene ile yapılmıştır. Makro inceleme için Fry çözeltisi ile dağlama işleminin ardından ergime bölgesinin ölçümü, Şekil 4,8’de gösterildiği şekilde yapılmıştır [60]. Dağlama işleminden önce numuneler EN 220 zımpara makinesi yardımıyla yüzeyleri pürüzsüz hale getirilmiştir. Oda sıcaklığında makro dağlama işleminde tane sınır çizgilerini açıkça görebilmek için en az 30 dakika süre ile dağlama yapılmıştır. Dağlama çözeltisi aşağıdaki kimyasal bileşime sahiptir.

(10 L’lik bir çözelti için):

- 1,875 kg bakır klorür ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);
- 5 L hidro klorik asit (HCl 1,18 g/ml – 35 %);
- 4,2 L saf su.



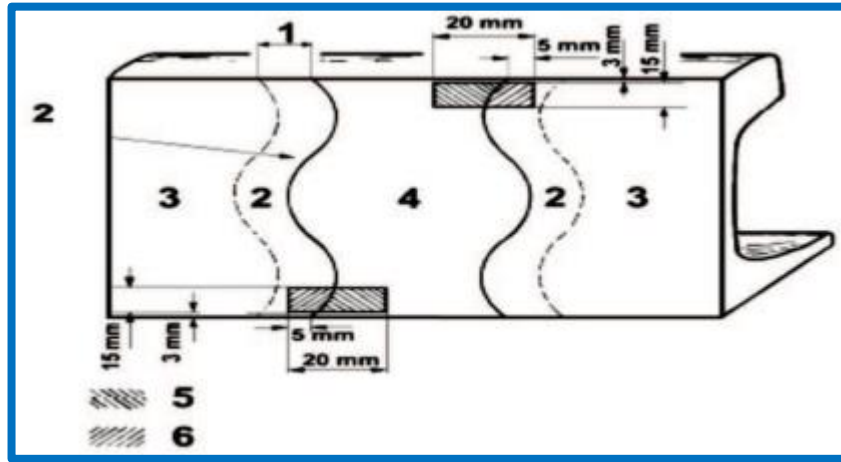
Açıklama

- * Taban kısmındaki referans noktaları
- 1 Ergime çizgisi
- 2 Kaynak yapılmadan önceki ray uçları
- 3 Ray mantarı
- 4 Ray tabanı

Şekil 4.8. Dağlamayla ortaya çıkarılan boyuna düşey kısımda ergime bölgesinin şekli.

Mikro görüntü analizleri ise optik ve SEM mikroskopları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Optik ve SEM incelemeleri için numuneler, standart metalografik test prosedürü takip edilerek hazırlanmıştır. Bu kapsamda olmak üzere nihayi dağlama işlemi %4'lük nital çözeltisi kullanılarak yapılmıştır. Metalografik inceleme için elde ettiğimiz numunelerin mekanik özellikleri abrasiv aşınma yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen ray kesitlerinin kaynak ve geçiş bölgeleri üzerinden inceleme yapılmıştır. Ray kesitinin mantar kısmının yüzeyleri

zımparalanıp parlatılmıştır. Kesim işlemleri tamamen biten numuneler çelik macunu yardımıyla kalıp içine alınmıştır. Daha sonra yeterli ve gerekli yüzey görüntüsünü sağlamak amacıyla 1 mikron elmas solüsyonu ile parlatılmıştır. % 4'lik nital ile hazırlanan numuneler 20x15mm boyutundaki gözle görülen ergime bölgesi ve ITAB'dan ray mantarı ve alt tabandan 3 mm içerden, şekil 4.9 da gösterildiği gibi alınan numuneler optik mikroskop cihazı yardımıyla incelenmiş ve resimleri alınmıştır.



Şekil 4.9. Mikroskopik inceleme için numune alınan bölgeler [60].

Açıklama:

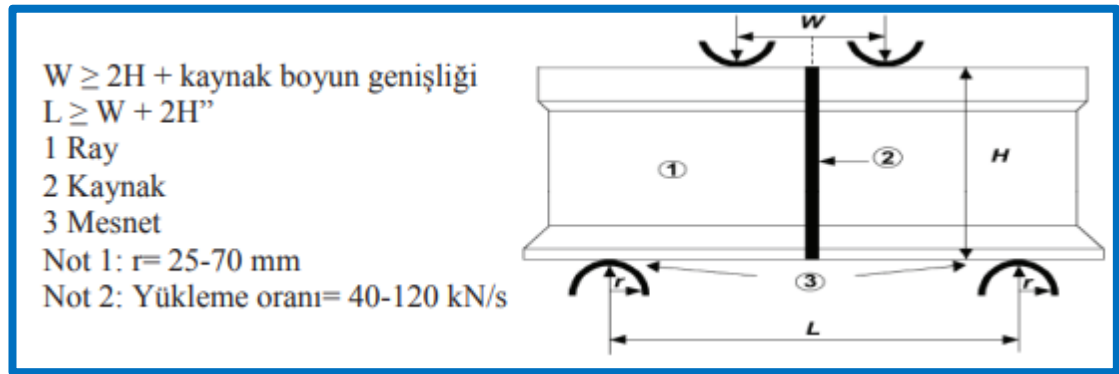
1. Rayın merkez eksen çizgisi üzerinde kaynak kısmının gözle görülen ITAB genişliği.
2. Gözle görülen ITAB.
3. Kaynak ısısından etkilenmemiş ana ray malzemesi.
4. Kaynak ergime bölgesi.
5. Mikroskopik olarak incelenecek ergime bölgesi.
6. Mikroskopik olarak incelenecek olan gözle görülen ITAB.

Muayene ve deney standardı için TS EN 14730-1 ayrıca deney metodu olarak da 100X büyütme kullanılmıştır.

Yapılan kayıta kaynağın niteliği ve yavaş eğme veya yorulma deneyi için kullanılıp kullanılmadığı gösterilmiştir. Kusur içermeyen bir kaynak, kırılma yüzeyi kaydında ray profil ağı üzerine açıkça görülecek şekilde “ görünür bir kusur yoktur” şeklinde yazılmıştır [60].

4.3.2. Yorulma Deneyi

Yorulma dayanımı öteleme veya çoğunluk metoduyla değerlendirilir. Çalışmalarımızda çoğunluk metodu kullanılmıştır. Ortalama değer olarak yorulma dayanımı ve öteleme metodu için standart sapma veya çoğunluk metodu için ray tabanının üst gerilme noktasının en düşük değeri demiryolu otoritesince verilen limitlere uygun seçilmiştir.



Şekil 4.11. Şematik olarak yorulma deney düzeneğinin gösterilişi [60].

Çoğunluk metodunda 3 numune seçilir verilen döngü sayısında hiç birinin kırılmadığı üç kaynak deneyi içinde tanımlanır. Deney parçalarından biri 5 milyon döngüden daha önce kırılırsa işlem reddedilir.

Öteleme deney metodunda ise on adet deney numunesi gereklidir. 5 Milyon döngüde ortalama yorulma gerilmesi ile ilgili en yüksek gerilme belirlenir. Sinüs eğrisi şeklinde döngüsel yük uygulanır. Yükleme döngüsü, parça kırılana veya döngü sayısı 5 milyona ulaşıncaya kadar devam ettirilir. Parça kırılırsa, sonuç “malzeme başarısız” olarak kaydedilir. Parça kırılmadan 5 milyon yük döngüsü tamamlanırsa kayıt “tamamlandı” olarak tutulur. Deney sonucu olarak 5 milyon döngüye ulaşıncaya,

deney başka bir numunede tekrar edilir ancak döngüsel kuvvet aralığı, dış fiber anma gerilmesi taban kısmında 10 MPa artırılmalıdır. Deney sırasında numune kırılırsa, deney başka bir numune ile döngüsel kuvvet aralığı 10 MPa azaltılmak sureti ile tekrar edilir. Her iki durumda da uygulanan en düşük yük, en yüksek yükün %10'u kadar olmalıdır. Yukarıdaki şekilde on numune tamamlanana kadar deneye devam edilir. Hem tamamlanma hem de kırılma meydana gelen deneylerde, Yorulma dayanımının ortalama değeri ve standart sapması aşağıdaki şekilde tahmin edilir.

Yapılan deneylerde toplam döngü sayısının tamamlanması ile mi yoksa döngü sayısını tamamlamadan kırılma meydana gelen deneylerin sayısı mı daha fazla belirlenir [60]. Aşağıdaki eşitlik kullanarak ortalama yorulma dayanımı, σ_m ile hesaplanır.

$$\sigma_m = \sigma_0 + d. \left(\frac{A}{N} \pm 0,5 \right) \quad (4.1)$$

Burada;

σ_0 uygulanan deneyler içerisinde en düşük sayıda sonucu veren (istenen döngü sayısını tamamlayan veya kırılan) en düşük gerilme aralığı (MPa)

$d = 10$ MPa

$A = \sum i \cdot n_i$ (burada i , 0 ile z arasında değişir)

$N = \sum n_i$ (burada i , 0 ile z arasında değişir. z , deney sırasında toplam döngü sayısını tamamlama veya kırılma şeklinde sonuçlanan deney sonuçlarından daha az olanların sayısıdır).

Burada:

$n_i =$ yukarıda verilen i sayısına denk gelen σ_0 gerilme seviyesinin üzerinde alınan sonuçlardan (istenen döngü sayısını tamamlama veya kırılma) daha az olanı.

$i =$ kodlanmış gerilme seviyesi (σ_0 için $i = 0$)

$z =$ yapılan deneylerde σ_0 üzerindeki gerilme seviyesi sayısı

Formülde “tamamlanma” ile sonuçlanan deney sayısı fazla ise $(A/N) + 0,5$ 'i, “kırılan” ile sonuçlanan deney sayısı fazla ise $(A/N) - 0,5$ 'i kullanılır.

Standart sapma aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$S = 1,62 \cdot d \cdot \left(\frac{B \cdot N - A^2}{N^2} + 0,029 \right) \quad (4.2)$$

Burada:

$$B = \sum i_2 \cdot n_i \text{ dir [60].}$$

Kabul edilme kriteri: Tüm deneylerin kırılma ile sonuçlanması durumunda bu işlem kabul edilemez. Tüm deneylerin kırılma olmadan tamamlanması durumunda işlem kabul edilebilir. Hem kırılma hem de kırılma olmadan tamamlanan deneylerin olması durumunda ise ortalama yorulma dayanımı demiryolu otoritesi tarafından belirlenen değeri aşmalıdır ve standart sapma da verilen değer altında olmalıdır. Hesaplanan değer $S \leq 5,3$ MPa şeklinde olursa, standart sapma küçüktür ve kabul edilebilir olarak değerlendirilir [60].

Yorulma deneyinden sonra kırılmayan deney parçalarının tamamı kırık yüzeylerinin incelenmesi için yavaş eğme deneyi ile kırılmıştır. Yorulma deneyi sırasında kırılan kaynakların kırık yüzeyleri gözle muayeneye tabi tutulmuştur. Yorulmanın ergimenin oluşmadığı bir kusur sayesinde meydana geldiği anlaşıldığında işlem reddedilmiştir. Her durumda kaynaklı numunelerin kırık yüzeyleri sağlamlık açısından incelenmiştir [60].

4.3.3. Yuvarlanma Yüzeyi Sertlik Deneyi

Her bir kaynaktan alınan üç sertlik ölçümünün ortalamasının aşağıdaki çizelgede verilen R350HT ray sınıfı gurubunun sertlik aralıklarına uygun olup olmadığına bakılmıştır. Sertlik ölçümü TS EN ISO 6506-1 standardına göre yapılmıştır. Ölçme yükü 3000 kg tungsten karbür bilye ile 25 sn. süre ile uygulanmıştır. Sertliği ölçülecek kaynaklı parçanın üst kısmı düz bir yüzey elde etmek için taşlanmıştır. Düz yüzeyin eksenleri düşey eksen ile kesişmiş ve yüzey bu noktada ray mantarına teğet olmuştur.

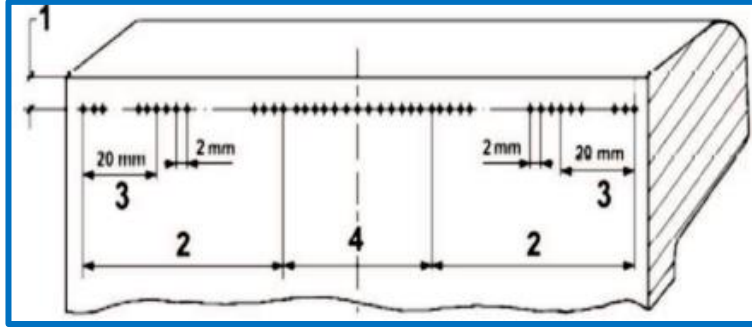
Her bir kaynaktan 3 sertlik değeri alınmıştır. SOW-5 porsiyonuyla yapılan 6 adet kaynak numunesinin kaynak bölgesi ortalama sertlik değerleri, 372,373, 372, 356, 364 ve 342 HB olarak llmştr. Kaynak bölgesinin ortalama sertlik değeri 363,2 HB' dir. R350HT ana ray malzemesinin sertlik değeri 350 HB'dir. EN 14730-1'e göre kaynağın Brinell Sertlik değerinin ray çeliğinden ± 20 HB olması gerekmektedir. Bu da llen sertlik değerlerinin normal sınırlar içerisinde olduğunu bizlere göstermektedir.

Çizelge 4.9. Yuvarlanma yüzeylerinin deneysel sertlik aralıkları [54].

Ray Sınıfı.	Sertlik Aralığı (HBW)	
	Kaynak ısısından Etkilenmemiş rayın yuvarlanma yüzeyi.	Kaynak Merkez izgisi.
R200	200-240	230 \pm 20
R220	220-260	250 \pm 20
R260	260-300	280 \pm 20
R260	260-300	300 \pm 20
R260Mn	260-300	280 \pm 20
R320Cr	320-360	330 \pm 20
R350HT	350-390	350\pm20
R350LHT	350-390	350 \pm 20

NOT: Sertlik lmleri yapılmadan önce yuvarlanma yüzeyinden 0,5 mm kalınlığında bir tabaka taşlanmalıdır.

Boyuna sertlik ölümü, ısının tesiri ile sertliği azalmış bölgenin sertlik dağılımı TS EN ISO 6507-1'e uygun şekilde vickers yöntemi kullanılarak 30 kg yük altında belirlenmiştir. Sertlik lm izleri şekil 4.12'de görüldüğü gibi rayın yuvarlanma yüzeyinin boylam ekseninin 3-5 mm altında bir çizgi üzerinde yapılmıştır. Sertlik lm hattı, ısdan etkilenmemiş ana ray malzemesi sınırını 20 mm geçinceye kadar devam etmiştir. lmler 2 mm aralıklarla yapılmıştır.



Açıklama:

1. 3mm ve 5 mm arasında derinlik.
2. Ana ray malzemesi.
3. Kaynak ısısından etkilenmemiş bölge.
4. Ergime bölgesi

Şekil 4.12. Boyuna sertlik ölçümü [60].

4.4. ULTRASONİK MUAYENE

UT Cihazı “SIUI CTS9009PLUS/-” marka, seri numarası ”568.321.171.035” olan ultrasonik test cihazıyla (Üretici/Tip/Seri No) kaynaklı bağlantı deney numuneleri ultrasonik muayeneye tabi tutulmuştur.

Çizelge 4.10. Tarama pozisyonları ve prob seçimi [60].

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	İki 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
Gereken toplam prop sayısı		6 veya 7

Alimünotermit kaynağıyla kaynak edilmiş rayların kısımlara ayrılması, kaynak bileziğinin kenarlarına eşit mesafede enine iki kesimle gerçekleştirilmiştir. Kesimler kaynağın boylamasına eksenine dik, birbirine ve kaynak bileziğine paralel yapılmıştır. Kesilen yüzeyler arasındaki uzaklık, standart kaynak boşluğu için 180-200 mm ve geniş kaynak boşluğu için 210-230 mm alınmıştır. Zamana bağlı metrik kalibrasyon bloğu kullanılarak kusur detektörü kalibre edilmiştir. Prob enine kesilen yüzeylerden birine yerleştirilmiş ve diğer taraftaki paralel yüzeyden tam ekran yüksekliğinde sinyal algılaması elde edilmiştir. Ray kesitinin tamamı taranmış ve sinyalin ekran yüksekliğinin %50'sinin daha alt seviyesine düştüğü kısımlar olup olmadığı gözlenmiştir. Sinyalin ekran yüksekliğinin %50'sinden daha aşağıya düştüğü bölgelere rastlanması durumunda, prob hareket ettirilerek kusurun sınırları belirlenerek işaretlenmiştir. Düşük sinyal durumunda zamana bağlı tarama yapılmış ve kusurun yüzeyden ne kadar içeride olduğu tespit edilmiştir. Her defasında zıt yüzeylerde tarama yapılmıştır. Bu deneyi gerçekleştiren personel TS EN ISO 9712'ye göre "Mesleki Yeterlilik" belgesi sahibidir [60].



Şekil 4.13. Ultrasonik muayene için hazırlanan numuneler.

4.5. KİMYASAL ANALİZ

20 adet SOW-5 porsiyonuyla kaynaklanmış 120 cm uzunluğunda UIC60 (CEN'e göre 60E1) profil "Çelik Ray" numuneleri içinden 32,36 ve 37 Nolu numunelere yapılmıştır. Kimyasal analiz için alınan numuneler rayın yuvarlanma yüzeyinin ergimiş bölgesinin ekseninden en az 5mm ve ergime sınırından en az 5 mm mesafededir [60]. Diğer yöntemler eğme ve yorulma deneyini geçemediği için kimyasal analiz yapılmamıştır. Çizelge 4.11'de R350HT Ray ana metalinde bulunması gereken elementlerin kütlece oranı ve mekanik özellikleri görülmektedir.

Çizelge 4.11. R350HT Rayın Kimyasal bileşim ve mekanik özellikleri [62].

Steel grade		% by mass										10 ⁻⁴ % (ppm) by mass max.		Tensile strength R _m min.	Elongation A min.	Hardness of the rail running surface, centre line ^c HBW
Steel name	Sample	C	Si	Mn	P max.	S max.	Cr	Al max	V max	N max	O ^a	H ^b	MPa	%		
R350HT	Liquid	0,72 to 0,80	0,15 to 0,58	0,70 to 1,20	0,020	0,025	≤ 0,15	0,004	0,030	0,009	20	2,5				
	Solid	0,70 to 0,82	0,13 to 0,60	0,65 to 1,25	0,025	0,030	≤ 0,15	0,004	0,030	0,010	20	2,5	1 175	9	350 to 390	

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. GÖRSEL MUAYENE

Çizelge 5.1. “PLA” Yöntemi Görsel muayene sonuçları.

Numune Numarası	Açıklama
MT-20-083-1	Taban altı taşma 16,69mm'ye kadar, 4,35mm taşma yüksekliği, taban köşesi fazla kaynak metali-çapak 50,44x9,01 mm boyutlarında.
MT-20-083-2	Taban altı taşma 9,27 mm'ye kadar
MT-20-083-3	Taban altı taşma 10,35 mm'ye kadar
MT-20-083-4	Taban altı taşma 10,05 mm'ye kadar
MT-20-083-5	Taban altı taşma 9,48 mm'ye kadar
MT-20-083-6	Gövdede 3 adet yüzey gözeneği (7,69mm, 8,94mmve 9,40mm boyutlarında)
MT-20-083-7	Mantar altı taşma 14,54 mm'ye kadar. Gövde-taban geçiş bölgesi 6,60x7,40 mm boyutlarında yüzey gözeneği.
MT-20-083-8	Taban altı taşma 10,59 mm'ye kadar. Gövde-taban geçişi 5,86mm boyutlarında yüzey gözeneği.
MT-20-083-9	Taban altı taşma 12,71 mm'ye kadar. Mantar altı 15,01 mm'ye kadar taşma.
MT-20-083-10	Taban altı taşma 12,72 mm'ye kadar. Gövdede 12,52 mm boyutunda enine çatlak.
MT-20-083-11	Taban altı taşma 11,18mm'ye kadar. Gövdede 9,36;7,41mm boyutlarında yüzey gözeneği. Taban altı 10,03x6,80mm boyutlarında yüzey gözeneği.
MT-20-083-12	Taban altı 7,07 mm'ye kadar taşma . Taban altı 3,32x2x20mm boyutlarında yüzey gözeneği. Gövde taban geçişi 10,36mm boyutlarında yüzey gözeneği.
MT-20-083-13	Taban altı taşma 9,89 mm'ye kadar. Taban altı 5,69mm boyutlarında yüzey gözeneği. Gövdede 16,59x6,85 mm boyutlarında boşluk.
MT-20-083-14	Taban altı taşma 11,19 mm'ye kadar, Gövde-taban geçişi 9,74x9,83 yüzey gözeneği.
MT-20-083-15	Taban altı taşma 16,82 mm'ye kadar. Besleyiciler yukarıdan kırılmış, gövdede 13,94 mm ve gövde taban geçişi 8,22x5,60mm boyutlarında yüzey gözeneği.
MT-20-083-16	Mantar boyunca enine yetersiz nufuziyet. Taban altı taşma 14,78 mm'ye kadar
MT-20-083-17	Taban altı taşma 9,05 mm'ye kadar. Mantarda 10,62 mm boyutlarında kümeleşmiş gözenek.
MT-20-083-18	Taban altı taşma 16,40 mm'ye kadar. Mantar altı taşma 16,41 mm'ye kadar. Gövdede 10,95x6,53 mm boyutlarında boşluk.
MT-20-083-19	Taban altı taşma 9,25 mm'ye kadar. Gövdede boşluk 25,72x16,46 mm boyutlarında 5,94 mm derinliğinde.
MT-20-083-20	Taban altı taşma 10,11 mm'ye kadar

Yapılan görsel muayenede Çizelge 5.1, 5.2 ve 5.3'te verildiği gibi bütün numunelerde kum inklüzyonları mevcut olup yüzeyseldir. Maksimum 16 mm kadar taban altı taşmaları, homojen olmayan taşlama, kaynak eksen kaçıklığı, mantar altı taşmaları, kümeleşmiş ve yekpare gözenekler, taban köşesinde çapaklar mevcuttur.

Çizelge 5.2. “SkV Elit L25” Yöntemi Görsel muayene sonuçları.

Numune Numarası	Yuvarlanma yüzeyindeki doğrusallık. (mm)	Tabandaki burulma. (mm)	Açıklama
MT-19-034-1	2,10	1,20	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-2	2,85	0,40	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 3mm kaynak eksen kaçıklığı gövdede 3x3mm yüzey gözeneği
MT-19-034-3	3,60	0,70	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 4mm kaynak eksen kaçıklığı gövdede 5x4mm yüzey gözeneği
MT-19-034-4	0,00	0,40	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 4mm kaynak eksen kaçıklığı gövdede 4x4mm yüzey gözeneği, 1mm gözenek.
MT-19-034-5	0,00	0,20	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-6	0,50	0,65	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-7	0,00	0,25	Homojen olmayan taşlama. 10x20mm alanda küme gözenek, 4x5mm yüzey gözeneği, tabanda 3 mm kaynak eksen kaçıklığı
MT-19-034-8	0,40	0,40	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-9	0,00	1,30	Tabanda 5x4 mm yüzey gözeneği.
MT-19-034-10	0,90	1,15	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 3 mm kaynak eksen kaçıklığı
MT-19-034-11	0,70	1,80	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 3 mm kaynak eksen kaçıklığı, gövdede 8x5mm yüzey gözeneği.
MT-19-034-12	1,95	0,40	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-13	0,70	0,45	Homojen olmayan taşlama. Gövdede 5 adet max. 5mm boyutunda yüzey gözeneği, tabanda 4mm ve 1mm 1 adet gözenek.
MT-19-034-14	0,95	0,00	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 2 mm kaynak eksen kaçıklığı
MT-19-034-15	0,00	1,00	Tabanda 2mm kaynak eksen kaçıklığı
MT-19-034-16	1,00	0,10	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-17	0,55	0,15	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-18	0,00	0,45	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 3 mm kaynak eksen kaçıklığı
MT-19-034-19	0,90	0,60	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-20	1,60	0,15	Homojen olmayan taşlama. Gövdede 1mm gözenek.

Ayrıca tabanlarda sıvı metal taşması olup düzensiz bir yapı mevcuttur. Bunlar ilgili çizelgelerde bütün numunelere değinilerek açıklanmıştır.

Çizelge 5.3. “SOW” Yöntemi görsel muayene sonuçları.

Numune Numarası	Yuvarlanma yüzeyindeki doğrusallık. (mm)	Tabandaki burulma. (mm)	Açıklama
MT-19-034-21	6,90	1,55	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 3mm kaynak eksen kaçıklığı.
MT-19-034-22	2,85	0,45	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-23	2,70	0,85	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 2mm kaynak eksen kaçıklığı.
MT-19-034-24	0,00	0,15	Homojen olmayan taşlama. Gövde-taban geçişi lineer süreksizlik.
MT-19-034-25	2,45	0,05	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-26	2,90	0,30	Homojen olmayan taşlama. Yuvarlanma yüzeyinde 2-6mmx2mm 3 adet gözenek.
MT-19-034-27	1,95	1,40	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-28	5,20	0,65	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-29	0,00	0,10	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-30	0,00	0,70	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 2mm kaynak eksen kaçıklığı.
MT-19-034-31	2,85	1,30	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-32	3,00	2,70	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 1mm kaynak eksen kaçıklığı.
MT-19-034-33	6,70	0,00	Homojen olmayan taşlama. Mantar-gövde geçişi homojen olmayan kaynak, çekinti boşluğu, tabanda 1mm kaynak eksen kaçıklığı.
MT-19-034-34	5,20	0,20	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-35	0,40	2,05	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 2mm kaynak eksen kaçıklığı, tabanda 1mm gözenek.
MT-19-034-36	2,80	0,35	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-37	4,40	1,80	Homojen olmayan taşlama.
MT-19-034-38	0,10	1,10	Homojen olmayan taşlama. Gövdede 5x5 mm yüzey gözeneği, tabanda 3 mm kaynak eksen kaçıklığı.
MT-19-034-39	4,50	0,25	Homojen olmayan taşlama. Gövdede 3x4mm yüzey gözeneği.
MT-19-034-40	0,50	0,00	Homojen olmayan taşlama. Tabanda 5x4mm yüzey gözeneği.

TS EN 14730-1 Deney standardı ve TS EN 13018 inceleme tekniği standardına göre gerçekleştirilen görsel muayene sonucunda, numunelerde yukarıdaki çizelgelerde belirtilenlerin dışında herhangi bir kusur bulgusuna rastlanmamıştır.

5.2. ULTRASONİK MUAYENE SONUCU

Üretici/Tip Cihaz “GİLARDOİ RDG 2500 SIUI” marka seri numarası ”538.321.120.010-538.321.120.007” olan ULTRASONİK TEST cihazıyla yapılan kaynaklı bağlantı deney numunelerinin ultrasonik muayene sonuçları Çizelge 5.4’te verilmiştir. Rayın yuvarlanma yüzeyi, ray mantarının iki yanı, rayın kaynatılmış gövde, taban orta, taban dirsek kısmı ve taban ucunu kapsayan ultrasonik muayene test sonuçlarında görüldüğü gibi örneklenen kaynaklı test numunelerinde belirgin bir süreksizliğe rastlanmamıştır. Bu sonuçlar kaynak yerlerinin ve ITAB bölgesinin ısı tesiriyle mikro yapısında herhangi bir değişiklik olmadığını, homojen bir kaynak yapısı elde edildiğini göstermektedir.

Çizelge 5.4. Ultrasonik muayene sonucu (*Ultrasonic Inspection Report*).

TEST SONUÇLARI							
Numune Tanımı	Hata derinliği (mm)	En yüksek eko yüksekliği	Hatanın başlangıç noktası	Hatanın bitiş noktası	Hata Boyutu	Değerlendirme	
	Z	%	Xs	Xe	Xe-Xs	Kabul	Red
MT-19-034-9	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-17	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-18	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-19	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-20	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-21	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-23	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-27	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-31	-	-	-	-	-	-	-
MT-19-034-35	-	-	-	-	-	-	-

5.3. EĞME DENEYİ

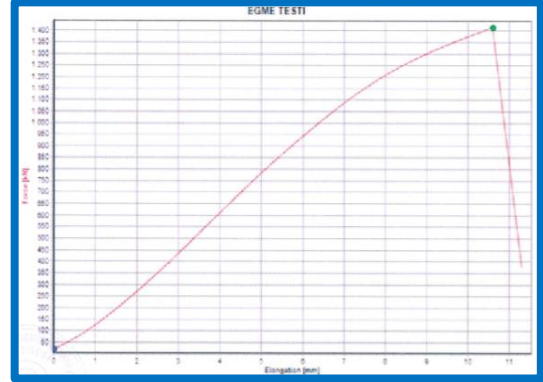
Bu çalışmada ilgili demiryolu mevzuatının kabul ettiği TS EN ISO 7438 Muayene ve TS EN 14730-1 ilgili ulusal ve uluslararası kaynaklı ray numunesi değerlendirme standartlarına uygun olarak ray eğme deney sonuçları çizelgeler 5.5, 5.6 ve 5.7'de verilmiştir. Yapılan bütün ray yavaş eğme testlerine, numuneler kırılıncaya kadar devam edilmiştir. Sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Yalnızca SOW-5 yöntemli kaynakların test sonuçları standartları karşılar niteliktedir.

Yük, rayın yuvarlanma yüzeyine tek bir noktadan uygulanmıştır. Deney, kırılma gerçekleşene kadar devam etmiştir. Kuvvetler, TS EN ISO 7500-1:2004'te verilen Sınıf 2.0 kriterlerine göre doğrulanmış bir yük hücresi ile ölçülmüştür. Statik eğme deneyi uygulanmış rayların deney sonrası durumları aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibidir. Statik eğme deneyi sonrası elde edilen veriler incelendiğinde, bütün numunelerin istenilen değerlerde olmadığı gözlemlenmiştir. PLA Yönteminde 6, SkV yönteminde 6 ray, eğme deneyine tabi tutulmuş kırılma meydana gelinceye kadar yükleme hızı 50 kN/s'de devam edilmiştir. Diğer ray ve yöntemlerde görünür bir kusura rastlanmazken, MT-20-083 Nolu PLA yöntemindeki numunelerde 5 ve 15 Nolu kırılan parçalarda yüzeye kadar erişmeyen gözeneklere rastlanmıştır. Grafiklere bakıldığında gevrek kırılma öncesi oluşan sehim değerlerinin düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durumun, numunelerdeki oluşan kaynak bölgesindeki sertlik değerlerinin yüksek olmasından, soğuk bindirme neticesinde nufuziyet azlığından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır. Kusurlu kaynak kırıklarına bakıldığında oluşan gözeneklerin genellikle ray tabanında ve uçlara yakın oluştuğu görülmektedir. Bu gözeneklerin oluşmasındaki ana etkenin başlangıçta akan ilk erimiş metalin kat ettiği mesafe dikkate alındığında ısı kaybettiği ve bunun neticesinde oluşan gaz kabarcıklarının hızlı katılma ve hızlı soğumayla kalıbı terk edecek yeterli zamanı bulamadığı şeklinde yorumlanmıştır. Sonuç olarak kaynak başlangıcındaki ön ısıtma süresi ve şiddetinin, kritik dönüşümlerin ana sebebi olarak, kaynak dayanımında ne kadar hayati önem arz ettiğini bizlere göstermektedir.

PLA Numuneleri:

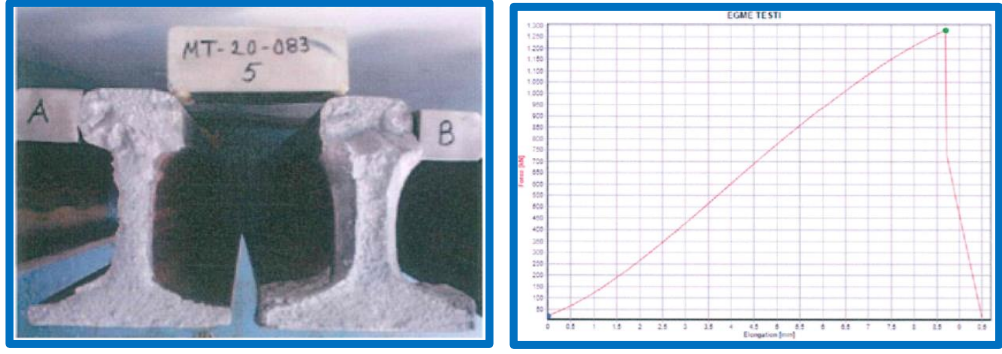
Çizelge 5.5. MT-20-083 numuneleri (PLA).

Numune Adı:	Numune boyu: (>115mm)	Yükleme hızı: (40-120 kN/s)	Uygulanan Yük:	Numunenin Sehimi:
MT-20-083-3	120cm	50kN/s	1415,18 kN	10,59mm
MT-20-083-5	120cm	50kN/s	1281,53 kN	8,69mm
MT-20-083-8	120cm	50kN/s	1210,40 kN	8,07mm
MT-20-083-9	120cm	50kN/s	1174,76kN	7,79mm
MT-20-083-15	120cm	50kN/s	1097,09 kN	7,20mm
MT-20-083-16	120cm	50kN/s	1331,40 kN	9,25mm



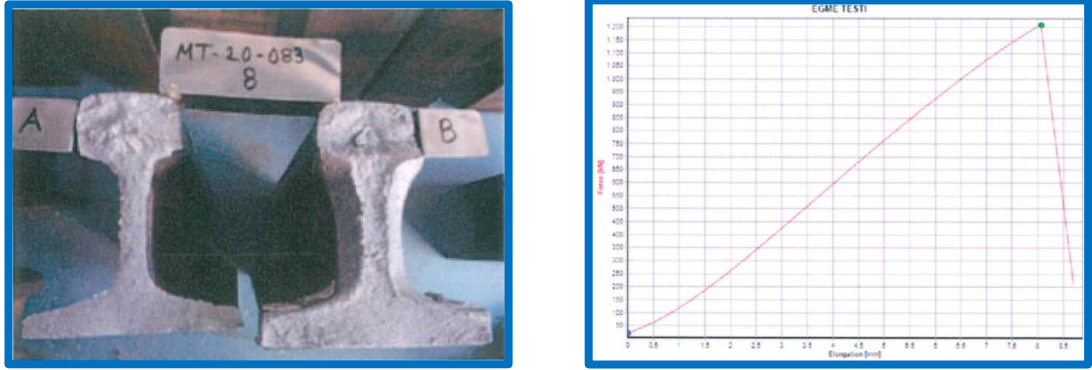
Şekil 5.1. “PLA” numunelerinden “3” Nolu numune görüntüleri.

PLA yöntemiyle yapılan alüminotermite kaynaklı 3 Nolu numuneye 50 kN/s ile yüklem yapılmış olup 1415,18 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 10,59 mm'dir Kaynak ekseninde kırılma gerçekleşmiştir. Görünür bir kusura rastlanılmamıştır.



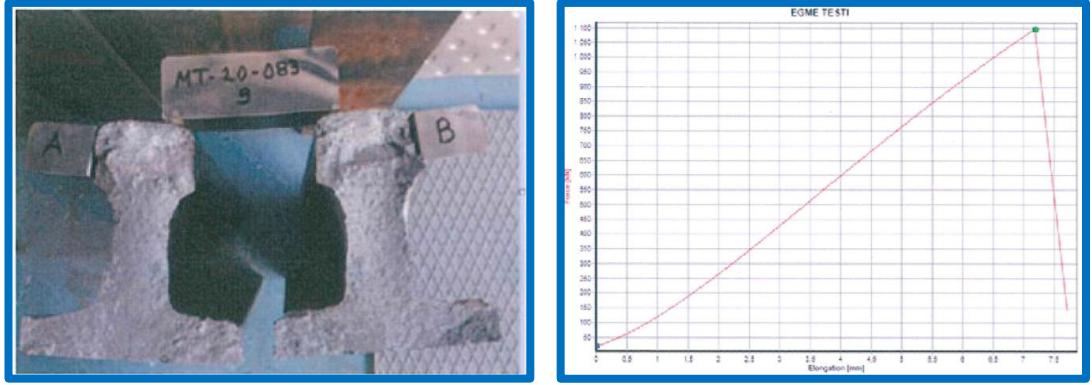
Şekil 5.2. “PLA” numunelerinden “5” Nolu numune görüntüleri.

PLA yöntemiyle yapılan alüminotermite kaynaklı 5 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1281,53 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 8,69 mm’dir Kaynak eksenine civarında kırılma meydana gelmiştir. A yüzeyinde sağ tabana yakın kısımda 0,58 mm çap x 1,47 mm derinlikte yüzeye erişmeyen gözeneğe, B yüzeyindeyse sol tabana yakın kısımda 0,66 mm çapında yüzeye erişmeyen gözeneğe rastlanmıştır.



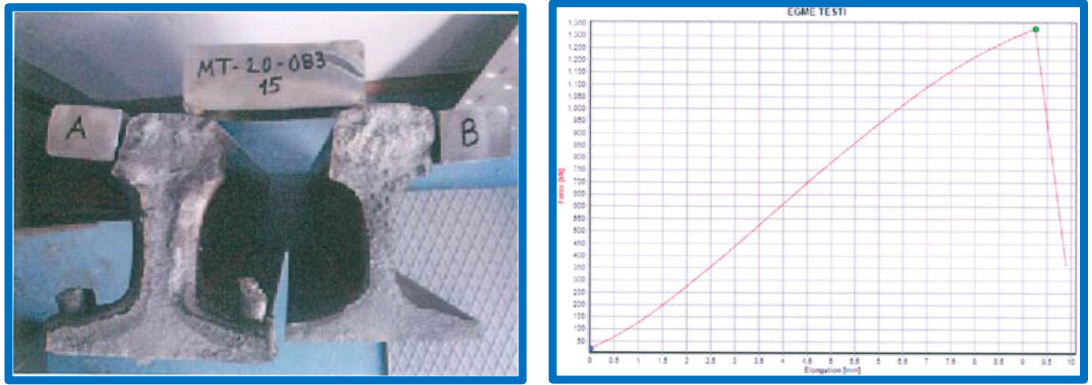
Şekil 5.3. “PLA” numunelerinden “8” Nolu numune görüntüleri.

PLA yöntemiyle yapılan alüminotermite kaynaklı 8 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1210,40 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 8,07 mm’dir. Görünür bir kusur yoktur, kaynak eksenine civarında kırılma meydana gelmiştir.



Şekil 5.4. “PLA” Numunelerinden “9” Nolu parça görüntüsü.

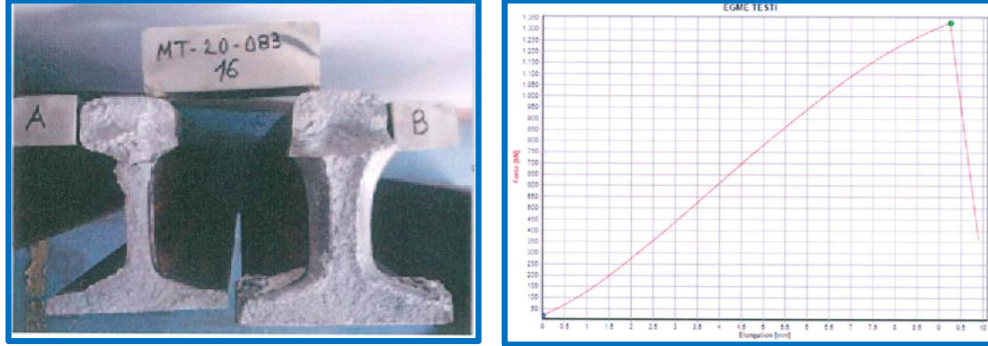
PLA yöntemiyle yapılan alüminotermite kaynaklı 9 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1174,76 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 7,79 mm'dir. 9 Nolu Numunede görünür bir kusur yoktur, kaynak eksenine civarında kırılma meydana gelmiştir.



Şekil 5.5. “PLA” Numunelerinden “15” Nolu parça görüntüsü.

PLA yöntemiyle yapılan alüminotermite kaynaklı 15 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1097,09 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 7,20 mm'dir. 15 Nolu Numunede 'A' kırılma yüzeyinde H₇ noktasında, 7,05 X 4,35mm derinlikte yüzeye erişen gözenek, 'B' yüzeyinde ise L₇ noktasında 6,89 x 2,73 mm derinlikte yüzeye erişen gözeneğe

rastlanmıştır. Bahsedilenlerin dışında görünür bir kusur yoktur, kaynak eksenine civarında kırılma meydana gelmiştir.



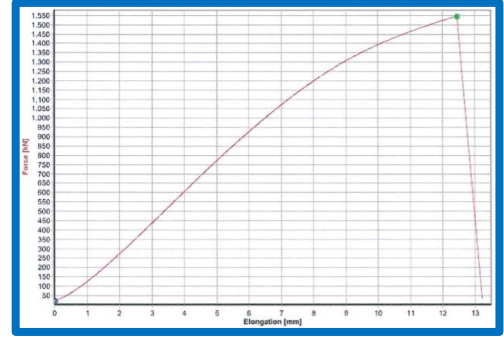
Şekil 5.6. “PLA” Numunelerinden “16” nolu parça görüntüsü.

PLA yöntemiyle yapılan alüminotermite kaynaklı 16 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1331,40 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 9,25 mm’dir. 16 Nolu numunede görünür bir kusur yoktur, kaynak eksenine civarında kırılma meydana gelmiştir.

SkV Elite L 25 Numuneleri:

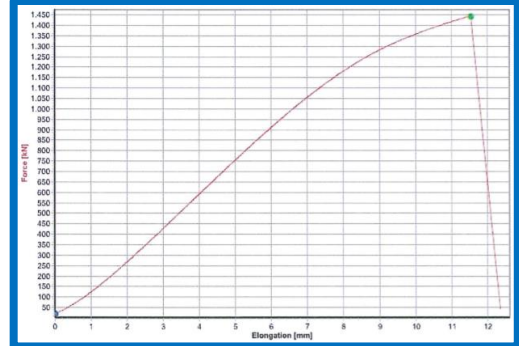
Çizelge 5.6. MT-19-034 numuneleri: SkV Elite L25.

Numune Adı:	Numune boyu: (>115mm)	Yükleme hızı: (40-120 kN/s)	Uygulanan Yük:	Numunenin Sehim:
2 Nolu Numune	120cm	50kN/s	1543,12kN	13,18mm
4 Nolu Numune	120cm	50kN/s	1445,20kN	11,54mm
7 Nolu Numune	120cm	50kN/s	1122,39kN	7,47mm
8 Nolu Numune	120cm	50kN/s	1465,76kN	11,71mm
12 Nolu Numune	120cm	50kN/s	1547,16kN	12,46mm
13 Nolu Numune	120cm	50kN/s	1565,26kN	12,50mm



Şekil 5.7. “SkV Elite L25” Numunelerinden “2” nolu parça görüntüsü.

SkV Elite L25 alüminotermite kaynaklı 2 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1543,12 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 13,18 mm'dir. Kaynak ekseninde civarında numune kırılmıştır. Her iki yüzeyde de görünür bir kusura rastlanmamıştır.

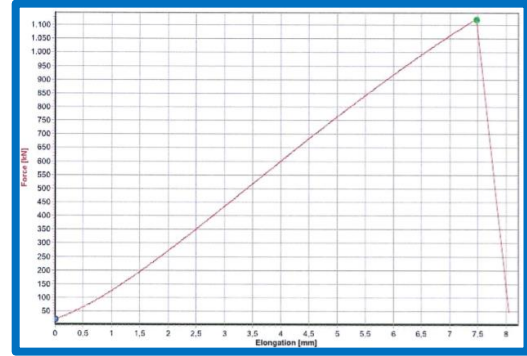


Şekil 5.8. “SkV Elite L25” Numunelerinden “4” nolu parça görüntüsü.

SkV Elite L25 alüminotermite kaynaklı 4 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1445,20 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 11,54 mm'dir. Kaynak ekseninde civarında kırılma meydana gelmiştir. “A” kırılma yüzeyinde herhangi bir kusura rastlanılmamıştır. Kırığın B yüzeyinde tespit edilen kaynak kusurları Şekil 5.9’ te verilmiştir.

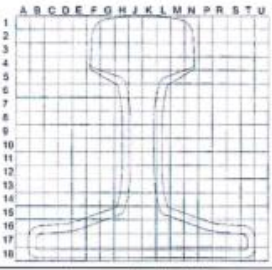

1.Kırılma Yüzeyi (A)	2.Kırılma Yüzeyi (B)
Görünür bir kusur yoktur.	<p>B₁₇: 2 mm çap x 0,5 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p> <p>C₁₇: 1,5 mm çap x 2,5 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p> <p>C₁₇: 1,5 mm çap x 2 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p> <p>P₁₆: 1 mm çap x 3 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p> <p>R₁₆: 3 mm çap x 4 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p> <p>S₁₈: 2 mm çap x 4 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p> <p>S₁₈: 1 mm çap x 2 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p> <p>R₁₇: 2 mm çap x 4 mm derinlikte gözenek (Yüzeze erişmiyor)</p>

Şekil 5.9. “4” nolu parçada tespit edilen kusurlar.

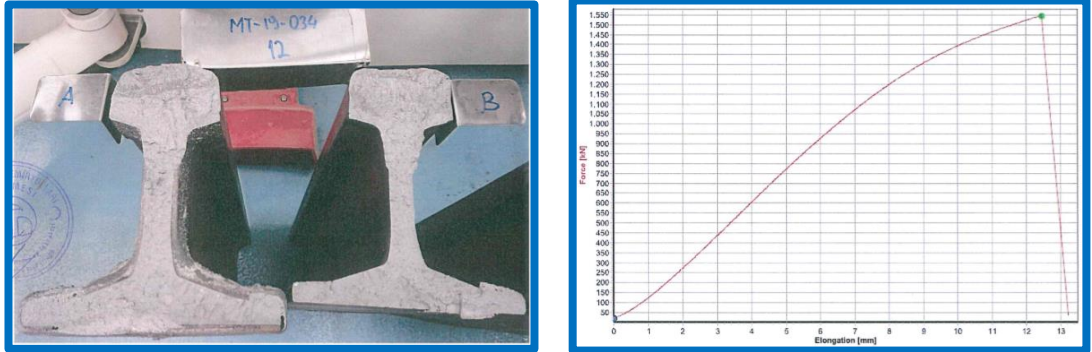


Şekil 5.10. “SkV Elite L25” Numunelerinden “7” nolu parça görüntüsü.

SkV Elite L25 alüminotermite kaynaklı 7 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1112,39 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 7,47 mm'dir. Kaynak ekseninde kırılma meydana gelmiştir. Kırığın “A” ve “B” yüzeylerindeki kusurlar Şekil 5.11’de tarif edilmiştir.

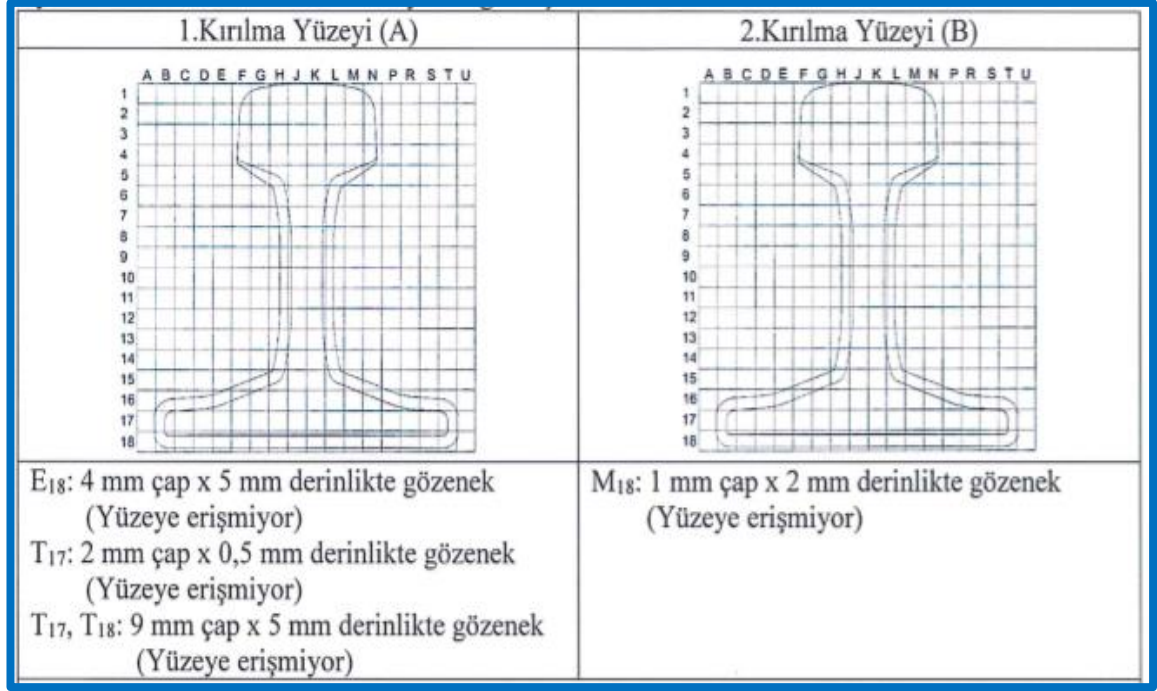
1.Kırılma Yüzeyi (A)	2.Kırılma Yüzeyi (B)
	
<p>B₁₈: 3 mm çap x 4 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>C₁₈: 2 mm çap x 3 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>C₁₈: 2 mm çap x 2 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>P₁₇: 1 mm çap x 2 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>N₁₈: 1 mm çap x 3 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>P₁₈: 1 mm çap x 2 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p>	<p>M₁₆: 1 mm çap x 4 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>M₁₆: 3 mm çap x 5 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>R₁₇: 4 mm çap x 5 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>S₁₈: 2 mm çap x 3 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>S₁₈: 1 mm çap x 2 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>S₁₈: 3 mm çap x 7 mm derinlikte gözenek (Yüzeeye erişmiyor)</p> <p>D₁₈, C₁₈, B₁₈, B₁₇, B₁₆, C₁₆, D₁₆, E₁₆: Yetersiz nüfuziyet</p> <p>P₁₆, R₁₆, S₁₇, T₁₇: Yetersiz nüfuziyet</p>

Şekil 5.11. “7” Nolu parçada tespit edilen kusurlar.

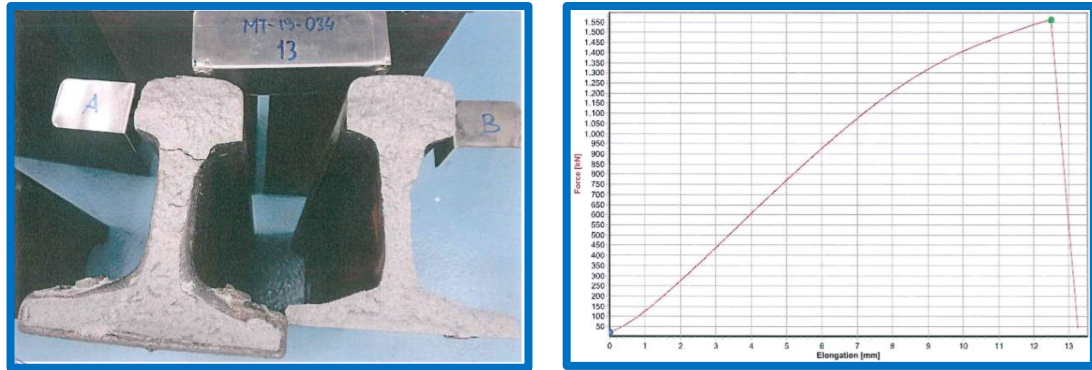


Şekil 5.12. “SkV Elite L25” Numunelerinden “12” Nolu parça görüntüsü.

SkV Elite L25 alüminotermite kaynaklı 12 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1547,16 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 12,46 mm'dir. Kaynak ekseninde kırılma meydana gelmiştir. Kırılan kaynağın “A” ve “B” yüzeylerinde tespit edilen kusurlar Şekil 5.13’te sıralanmıştır.



Şekil 5.13. “12” nolu parçada tespit edilen kusurlar.



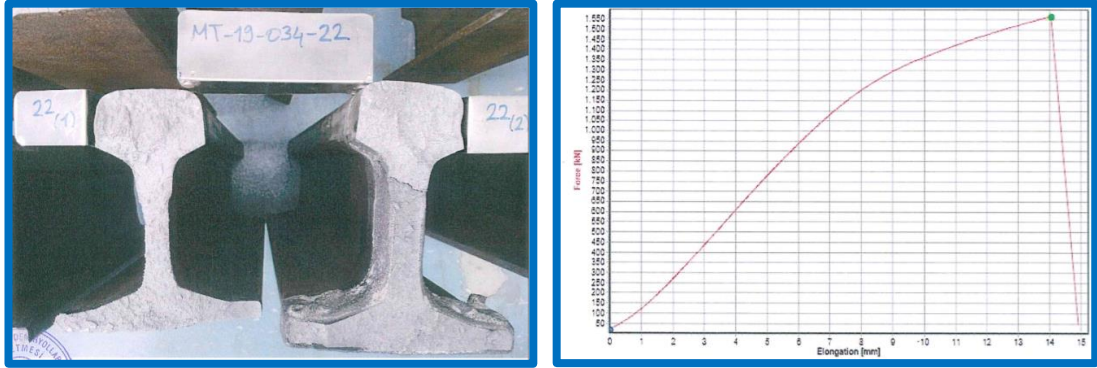
Şekil 5.14. “SkV Elite L25” Numunelerinden “13” Nolu parça görüntüsü.

SkV Elite L25 alüminotermite kaynaklı 13 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1565,26 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 12,50 mm'dir. Kaynak eksenine civarında kırılma meydana gelmiştir. Her iki yüzeyde görünür bir kusura rastlanmamıştır.

SOW-5 Numuneleri:

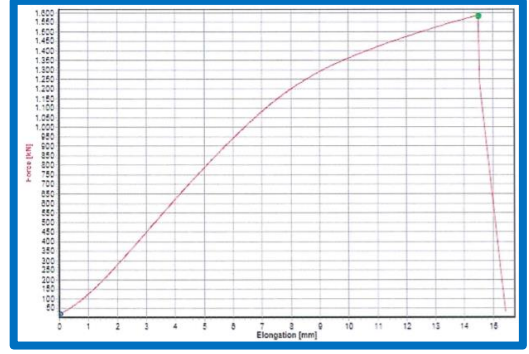
Çizelge 5.7. MT-18-018 SOW-5 numuneleri.

Numune Adı:	Numune boyu: (>115mm)	Yükleme hızı: (40-120 kN/s)	Uygulanan Yük:	Numunenin Sehimi:
MT-19-034-22	120cm	50kN/s	1567,14 kN	14,06mm
MT-18-018-24	120cm	50kN/s	1585,65 kN	14,49 mm
MT-18-018-26	120cm	50kN/s	1538,59 kN	9,30 mm
MT-18-018-29	120cm	50kN/s	1576,09 kN	15,53 mm
MT-18-018-34	120cm	50kN/s	1517,06 kN	13,23 mm
MT-18-018-39	120cm	50kN/s	1435,46 kN	11,47 mm



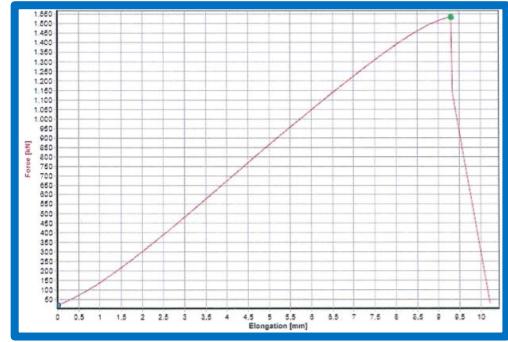
Şekil 5.15. “SOW-5” Numunelerinden “22” Nolu parça görüntüsü.

SOW-5 alüminotermite kaynaklı ‘22’ Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1567,14 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 14,06 mm’dir. Kaynak ekseninde kırılma meydana gelmiştir. Görünür bir kusura rastlanılmamıştır.



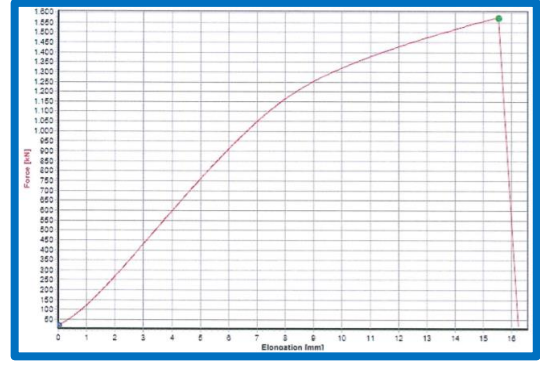
Şekil 5.16. “ SOW-5” Numunelerinden “24” Nolu parça görüntüsü.

SOW-5 alüminotermite kaynaklı 24 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1585,65 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehimi ise 14,49 mm'dir. Kaynak ekseninde kırılma meydana gelmiştir. Görünür bir kusur yoktur.



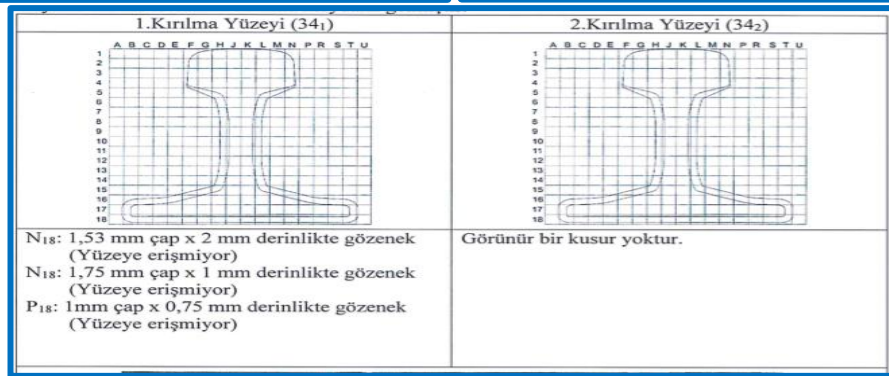
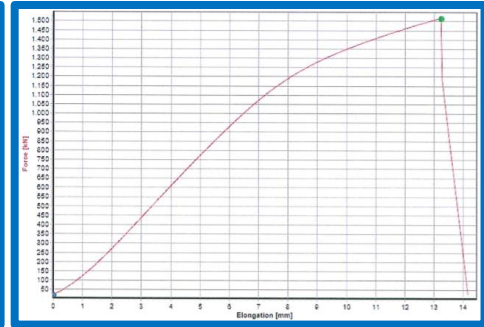
Şekil 5.17. “ SOW-5” Numunelerinden “26” Nolu parça görüntüsü.

SOW-5 alüminotermite kaynaklı 26 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1538,59 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehimi ise 9,30 mm'dir. Kaynak ekseninde kırılma meydana gelmiştir. 2 Nolu kırılma yüzeyinde görünür bir kusur yokken 1 Nolu kırılma yüzeyinde sağ ray tabanı uç kısmında “T₁₆” bölgesinde yüzeye kadar ulaşmayan 0,5mm çap x 1mm derinlikte gözenek bulunmaktadır.



Şekil 5.18. “SOW-5” Numunelerinden “29” Nolu parça görüntüsü.

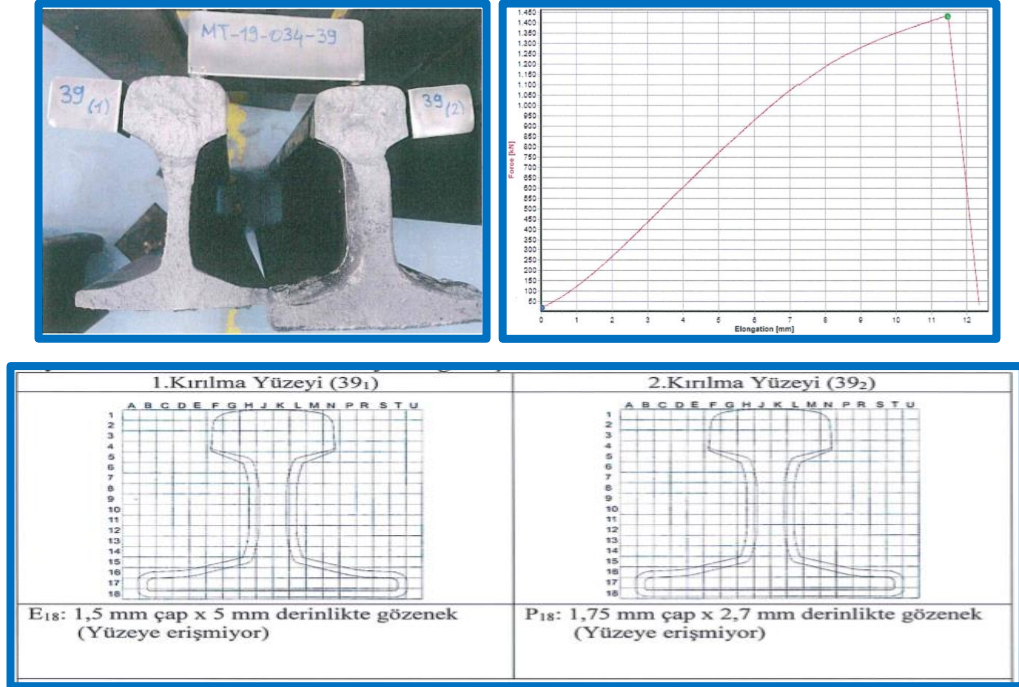
SOW-5 alüminotermite kaynaklı 29 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1576,09 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 15,53 mm'dir. 29 Nolu numunede kaynak ekseninde kırılma meydana gelmiştir. Görünür bir kusura rastlanmamıştır.



Şekil 5.19. “SOW-5” Numunelerinden “34” Nolu parça görüntüsü.

SOW-5 alüminotermite kaynaklı 34 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1517,06 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek

numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 13,23 mm'dir.

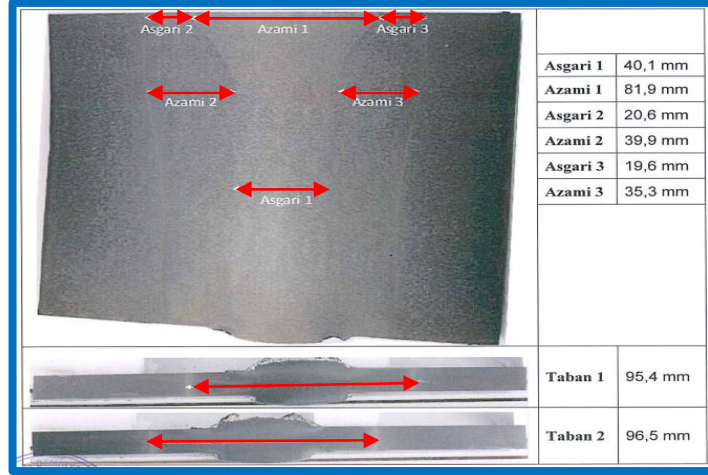


Şekil 5.20. “SOW-5” Numunelerinden “39” Nolu parça görüntüsü.

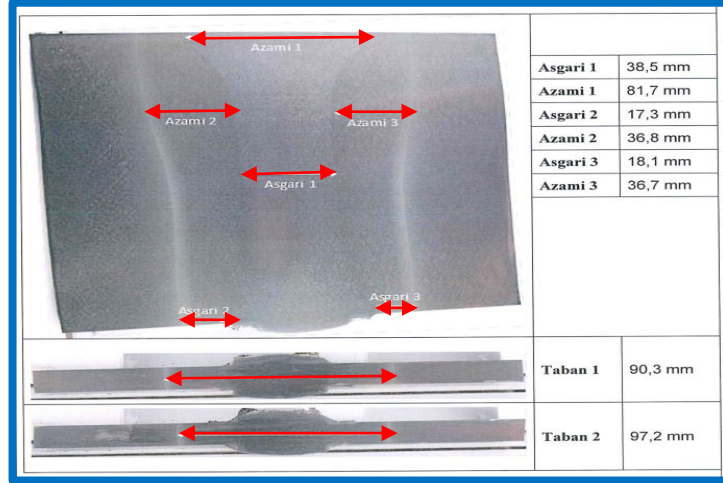
SOW-5 alüminotermit kaynaklı 39 Nolu numuneye yükleme hızı 50 kN/s ile yükleme yapılmış olup 1435,46 kN yüke geldiğinde kopmanın gerçekleşerek numunenin kırıldığı gözlemlendiği için deney sonlandırılmıştır. Deney sonrası ölçülen maksimum sehim ise 11,47 mm'dir. Sol kırık yüzeyinde E₁₈ bölgesinde 1,5mm çap x 5mm derinlikte, P₁₈ bölgesinde 1,75mm çap x 2,7 mm derinlikte yüzeye erişmeyen gözeneklere rastlanmıştır.

5.4. MAKROYAPI İNCELEMESİ

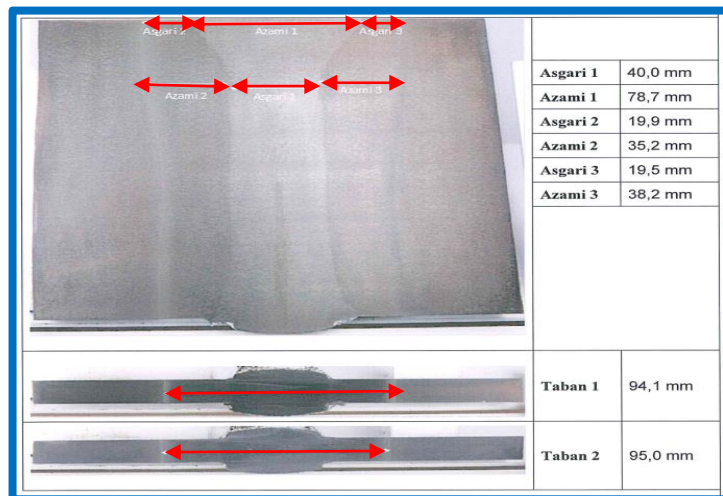
TS EN 14730 -1'e göre yapılan FRY çözeltisiyle dağlanarak yapılan makro yapı incelemesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.



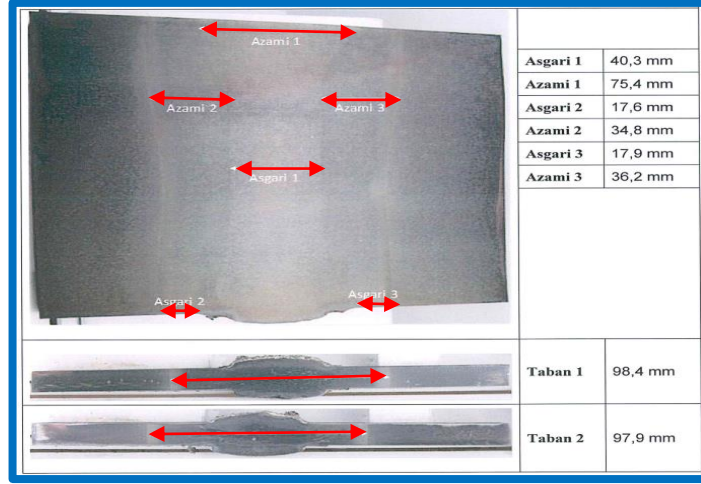
Şekil 5.21. “ SOW-5”. ’21’Nolu numune.



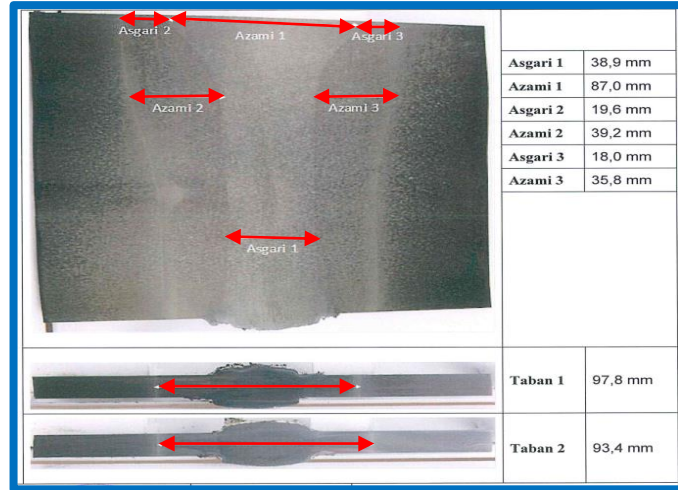
Şekil 5.22. “ SOW-5” ’23’Nolu numune.



Şekil 5.23. “ SOW-5” . “27” Nolu numune.



Şekil 5.24. “ SOW-5” . “31” Nolu Numune.



Şekil 5.25. “ SOW-5” . “35” Nolu Numune.

Farklı beş kaynak bölgesi genel numune görünümü, Şekil 5.20,21,22,23,24’te verilmiştir. Bütün numunelerde ergime bölgesi kaynak eksenine etrafında simetriktir. Ray ve ergime yüzeyi arasında ergime olmamış bölgelere, mikro gözeneklere ve dendritler arası büzülme içeren alanlara rastlanılmamıştır. Kaynak yapılmadan önceki ray ana malzemesinin uç kısmı ile ergime çizgisi arasındaki en küçük mesafe, $X \geq 3$ mm olması gerekmektedir. Parçalarımızda bu mesafenin en düşük 19,25 mm ile ‘23’ Nolu numunede olduğu görülmektedir. Buda bize kaynak ve ray metalinin arasındaki kaynaşmanın homojen olduğunu göstermektedir. Isıdan etkilenen bölgenin genişliği minimum 17,3 mm ile 23 Nolu numunede, maksimum ise, 39,9 mm ile “21” Nolu parçada görülmektedir. Diğer numuneler bu değerler arasındadır.

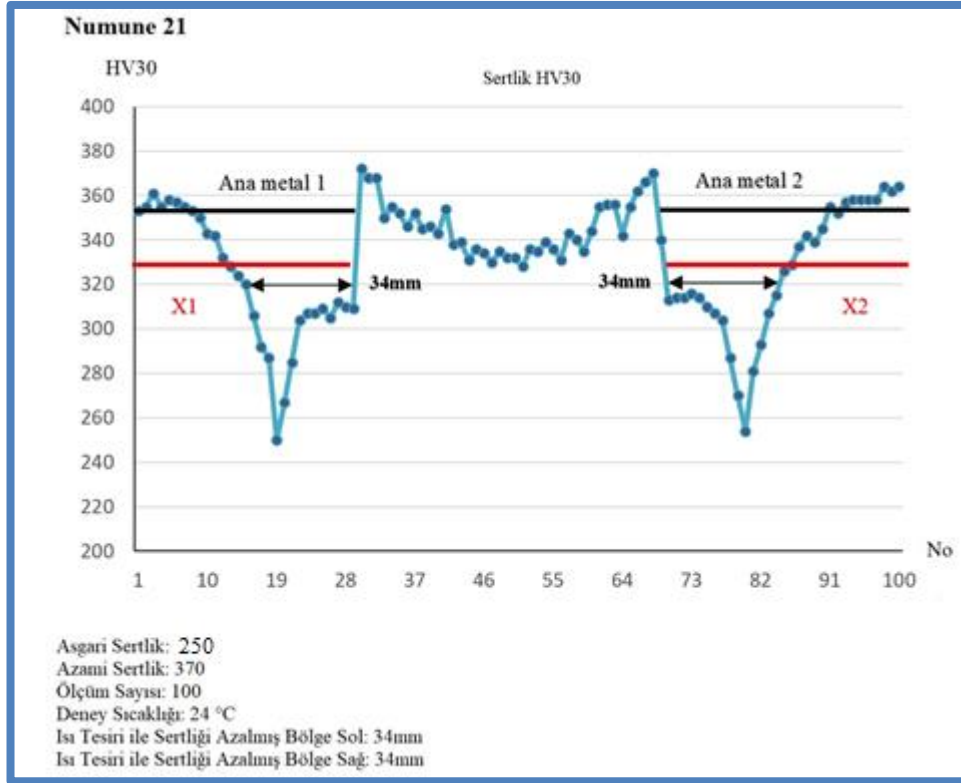
Alüminotermite kaynağı yapılmış ray incelendiğinde üç farklı bölge meydana çıkmaktadır. Bunlardan ilki sıvı kaynak metalinin katılaşmasıyla meydana gelen kaynak bölgesi, ikincisi kaynak sırasında ergimeyen ancak katılaşma sırasında sıvı metalden ısı alarak dönüşüm sıcaklığına ulaşarak dönüşüme uğrayan ısıdan etkilenen bölge, son olarak kaynak sırasında ısınan, ancak dönüşüm sıcaklığını geçmeyen ana ray metalidir. Kaynak bölgesinin kimyasal kompozisyonu ve dolayısıyla sertliği de ana ray metalinden farklıdır. Isıdan etkilenen bölge (ITAB) ise ergimediyinden kaynak metaline göre daha küçük tane boyutuna sahip olmakla beraber uzun süre yüksek ısıya maruz kaldığı için ana ray metalinden daha iri tane boyutuna sahiptir. Aynı zamanda bu bölgede metalürjik dönüşümler meydana gelmektedir. Ergime bölgesine yakın olan kısım ana malzemeye yakın olan kısım arasında soğuma hızı farklı olduğundan ısıdan etkilenmiş bölge boyunca sertlik değişmektedir.

Bütün numunelerde mantar kısmına denk gelen bölgedeki ergimiş kısmın daha geniş olmasının sebebinin ilk temas halinde ve en yüksek ısıdaki ergimiş metalin etkisiyle oluştuğu, ray gövdesi ve tabana inildikçe erimiş metal ısısının daha düşük seviyelere gerileyerek, etkisini azaltmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hemen hemen bütün kalıp içinde bulunan erimiş metal başlangıçta ray mantarına temas edip ısısını bıraktıktan sonra altlara doğru akmaktadır. Minimum ITAB bölgeleri 23 ve 31 Nolu numunelerde tabanda, 21, 27 ve 35 Nolu numunelerde ise ray mantarı üst kısmında görülmektedir. Maksimum ITAB bölgeleri ise numunelerin tamamında ray mantarı alt kısmıyla ray gövdesinin başlangıcının oluşturduğu bölgede görülmektedir. Görsel muayene neticesinde yüzeyde herhangi bir çatlama, çekme, yetersiz nüfuziyet vs. gözlemlenmemiştir.

5.5. SERTLİK TARAMASI

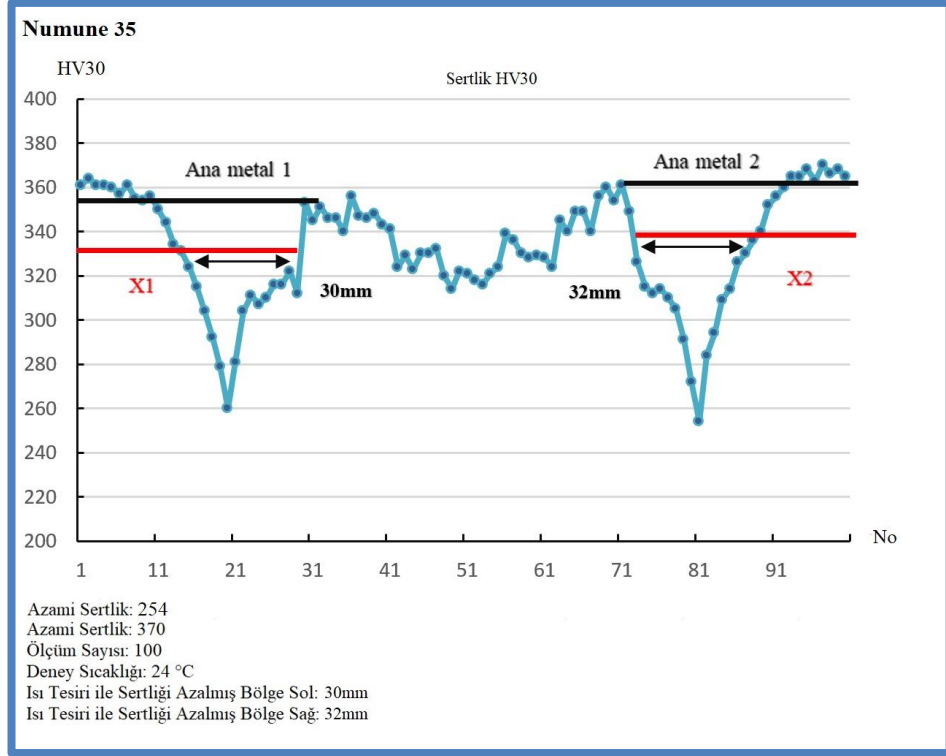
Bu çalışmada elde edilen kaynaklı bağlantıların ana malzeme kaynak metalini, ana malzeme hattında TS EN 6507-1, TS EN 14730-1 Standartlarına göre, HV30 ile ölçülen örnek numunelerin sertlik değerleri çizelge 5.8'de sertlik tarama raporu olarak verilmiştir. Ayrıca boyuna sertlik deney sonuçları şekiller 5.26 ve 5.27'de çizgi grafik haline dönüştürülerek de verilmiştir. Sırasıyla 21 ve 35 Nolu numunelerde sertlik taraması yapılmış ve her bir numunede ortalama 100 noktanın

sertlik derecesine bakılmıştır. En az sertlik 250 HV ile ‘21’ Nolu numunede, azami sertlik ise 372 HV ile yine ‘21’ Nolu numunede görülmüştür. Kırmızıçizgi siyah ana metal çizgisinden x değeri kadar aşağıdan oluşturulmuştur. X değerleri R350HT için 25 tir [60].



Şekil 5.26. MT-19-034 SOW-5 umunelerinden “21” nolu parçanın grafiği.

Alüminotermite kaynak numunesinden ölçülen bütün sertlik değerleri ile şekil 5.26’da gösterilen sertlik profili oluşturulmuştur. 21 Nolu numunede ısıdan etkilenen bölge sağ ve sol tarafta 34mm olarak ölçülmüştür. Şekilde ki siyah ana metal çizgisi ana rayın ortalama sertlik değeri ile çizilmiştir. Kırmızıçizgi, siyah ana metal çizgisinden 25 HV çıkartılarak çizilmiştir. Kırmızı Çizginin grafiği kestiği noktalar ITAB bölgesinin genişliğini vermektedir. Isı tesiri altında kalan bölgede ki sertlik değerlerinin ergimiş bölge ve ray ana malzemesindeki sertlik değerlerine göre daha düşük olduğu grafikten de anlaşılmaktadır. Bunun nedenin buraya tesir eden ısının ergimeye yetmeyecek kadar düşük, dönüşümlere yol açmayacak ısıdan yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.27. MT-19-034 sow-5 numunelerinden “35” nolu parçanın grafiği.

35 Nolu numunede ITAB bölgesi sağ tarafta 32 mm, sol tarafta 30mm olarak ölçülmüştür. Ölçüm farklılıklarının kalıp yerleştirmedeki eksen kaçıklığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Termit kaynağının soğuması kontrollü yapılamadığı için kritik dönüşümlere sebep olmakta ve ITAB’de sertliği azalmış bölge geniş olmaktadır. Bu istenmeyen bir durumdur. ITAB bölgesinin genişliğinin minimum olması istenmektedir. Kaynak sonrası kaynak metalinde soğuma hızının kontrol edilememesi, karışık bir yapı elde edilmesine yol açmış ve bunun sonucunda sertlik değerleri farklılıkları ortaya çıkmıştır. Yine burada da Isı tesiri altında kalan bölgede ki sertlik değerlerinin ergimiş bölge ve ray ana malzemesindeki sertlik değerlerine göre daha düşük olduğu grafikten de anlaşılmaktadır. Bunu nedeni buraya tesir eden ısının ergimeye yetmeyecek kadar düşük, dönüşümlere yol açmayacak ısıdan yüksek olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 5.8. Sertlik tarama deney sonuçları. (Hardness traverse Test Report)

5 Sertlik Tarama Deney Raporu - VII											
Hardness traverse Test Report											
Teknik Bilgiler											
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar						TS EN 6507-1 Numune için TS EN 14730-1					
Deney Metodu						HV30					
Üretim Şekli						Alüminotermit kaynağı					
Ortam Sıcaklığı						24°C					
NUMUNE 21						NUMUNE 35					
No	HV ₃₀	No	HV ₃₀	No	HV ₃₀	No	HV ₃₀	No	HV ₃₀	No	HV ₃₀
1.	353	35.	352	69.	340	1.	361	35.	340	69.	360
2.	355	36.	346	70.	313	2.	364	36.	356	70.	354
3.	361	37.	352	71.	314	3.	361	37.	347	71.	361
4.	355	38.	345	72.	314	4.	361	38.	346	72.	349
5.	358	39.	346	73.	316	5.	360	39.	348	73.	326
6.	357	40.	343	74.	314	6.	357	40.	343	74.	315
7.	355	41.	354	75.	310	7.	361	41.	341	75.	312
8.	353	42.	338	76.	307	8.	355	42.	324	76.	314
9.	350	43.	339	77.	304	9.	354	43.	329	77.	310
10.	343	44.	331	78.	287	10.	356	44.	323	78.	305
11.	342	45.	336	79.	270	11.	350	45.	330	79.	291
12.	332	46.	334	80.	254	12.	344	46.	330	80.	272
13.	328	47.	330	81.	281	13.	334	47.	332	81.	254
14.	324	48.	335	82.	293	14.	331	48.	320	82.	284
15.	320	49.	332	83.	307	15.	324	49.	314	83.	294
16.	306	50.	332	84.	315	16.	315	50.	322	84.	309
17.	292	51.	328	85.	326	17.	304	51.	321	85.	314
18.	287	52.	336	86.	329	18.	292	52.	318	86.	326
19.	250	53.	335	87.	337	19.	279	53.	316	87.	330
20.	267	54.	339	88.	342	20.	260	54.	321	88.	336
21.	285	55.	336	89.	339	21.	281	55.	324	89.	340
22.	304	56.	331	90.	345	22.	304	56.	339	90.	352
23.	307	57.	343	91.	355	23.	311	57.	336	91.	356
24.	307	58.	340	92.	352	24.	307	58.	330	92.	360
25.	309	59.	335	93.	357	25.	310	59.	328	93.	365
26.	305	60.	344	94.	358	26.	316	60.	329	94.	365
27.	312	61.	355	95.	358	27.	316	61.	328	95.	368
28.	310	62.	356	96.	358	28.	322	62.	324	96.	363
29.	309	63.	356	97.	358	29.	312	63.	345	97.	370
30.	372	64.	342	98.	364	30.	353	64.	340	98.	366
31.	368	65.	355	99.	362	31.	345	65.	349	99.	368
32.	368	66.	362	100.	364	32.	351	66.	349	100.	365
33.	350	67.	366			33.	346	67.	340		
34.	355	68.	370			34.	346	68.	356		

Sertlik profili grafiği üzerinde ortalama sertlik değerine denk gelen bir çizgi çizilir. (Çizgi 1) Ana metalden R350HT rayları için 25 HV aşığıya bir çizgi çizilerek X_1 ve X_2 çizgileri elde edilmiştir. 21 nolu parça için ITAB'da sertliği azalan bölge sol ve sağ tarafta 34 mm dir. 35 nolu numunede ise ısı tesiri altında sertliği azalmış bölge sol tarafta 30 mm sağ taraftaysa 32 mm olarak ölçülmüştür.

5.6. YUVARLANMA YÜZEYİ SERTLİK DERECESESİ

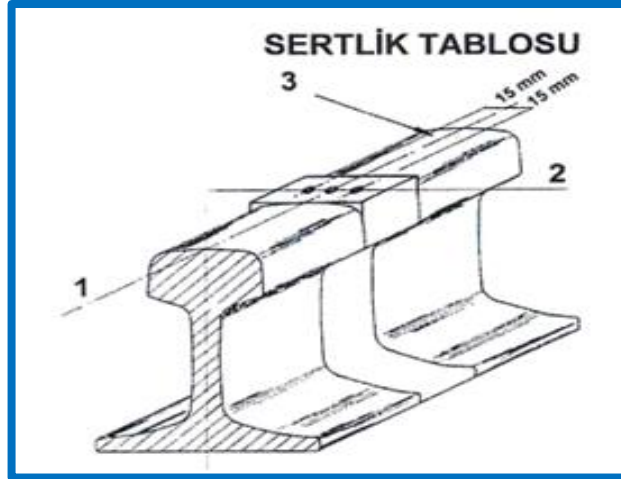
Kaynak bölgesinin sertliğini belirlemek için, kaynağın yuvarlanma yüzeyinin üzerinde birbirinden 15 mm aralıklı farklı noktalar için ölçüm yapılmıştır. Kaynaklı ray numunesinin yuvarlanma yüzeyinden 0,5 mm kalınlığında bir tabaka taşlanarak alındıktan sonra, üst yüzeyi zımparalanıp parlatılmıştır. Homojen olmayan bölgeler ve hatalı ölçümden doğan yanlışlıkları azaltmak amacıyla üç farklı noktada sertlik ölçümleri Brinell ölçeğine göre gerçekleştirilmiştir.

Muayene ve değerlendirmeler için TS EN 6506-1, TS EN 14730-1 Standartları ve Deney metodu olarak da HBW 10/3000 kullanılmıştır.

Brinell sertlik değeri ölçümü TS EN ISO 6506-1 standardına göre yapılmıştır Ölçüm sırasında 10 mm çapında tungsten karbür bilye kullanılmış, 3000 kg ölçme yükü 15 s süre ile uygulanmıştır. Sertliği ölçülecek kaynaklı parçanın üst kısmı düz bir yüzey elde etmek için, düz yüzeyin eksenleri düşey eksen ile kesişinceye ve yüzey bu noktada ray mantarına teğet oluncaya kadar en az 0,5 cm olacak şekilde taşlanmıştır. Kaynaklı ray numunesine yapılan üç farklı ölçümün ortalaması alınarak kaynak bölgesi için sertlik değerleri tespit edilmiştir. Kaynak bölgesinin ve rayın sertlik değerlerinin değişimi incelenmiştir. Ayrıca uygulanan ısı işlemlerin ve kaynak yüzey taşlamasının sertlik üzerine etkisi incelenmiştir. Kaynak bölgesinin ortalama sertlik değeri 363.17 HB dir. SOW-5 porsiyonuyla yapılan 6 adet kaynak numunesinin kaynak bölgesi ortalama sertlik değerleri, çizelge 5.9 da görüldüğü gibi 372, 373, 372, 356, 364 ve 342 HB olarak ölçülmüştür. R350HT ana ray malzemesinin sertlik değeri 350 HB'dir. EN 14730-1'e göre kaynak merkez çizgisi üzerindeki Brinell Sertlik değerinin ± 20 HB olması gerekmektedir. Bu da ölçülen sertlik değerlerinin normal sınırlar içerisinde olduğunu bizlere göstermektedir.

MT-19-034 NUMUNELERİ SOW-5:

Teknik Bilgiler	
Üretim Şekli / Nr	Alüminotermite kaynağı
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 6506-1 TS EN 14730-1
Deney Metodu	HBW 10/3000
Deney sıcaklığı	23°C



Açıklama

- 1 Ray merkezi merkez çizgisi
- 2 Kaynak enine kesit çizgisi
- 3 Ray yuvarlanma yüzeyi

Çizelge 5.9. “28,30,32,36,37,38” Nolu numune sertlik değerleri.

Sertlik						
HBW (10/3000)	28	30	32	36	37	38
Ölçüm 1	373	372	371	356	364	342
Ölçüm 2	371	372	372	357	364	343
Ölçüm 3	373	374	372	356	364	342
Ortalama	372	373	372	356	364	342

5.7. MİKROYAPI İNCELEMESİ



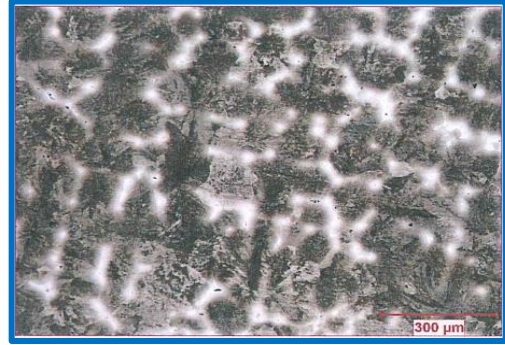
a-100X Ray mantarı-Kaynaklı Bölge-
Perlitik İç yapı- Tane sınırlarında ferritler.



b-100x Yeniden kristalleşme bölgesi ve
tane büyümesi-perlitik yapı.



c-100X Ana metal- perlitik içyapı.



d- 100X Ray Tabanı-Kaynaklı Bölge-Ana
Yapı Perlitik-Tane Sınırlarında Ferritler.



e-100X Yeniden kristalleşme bölgesi ve tane
büyümesi- perlitik yapı.



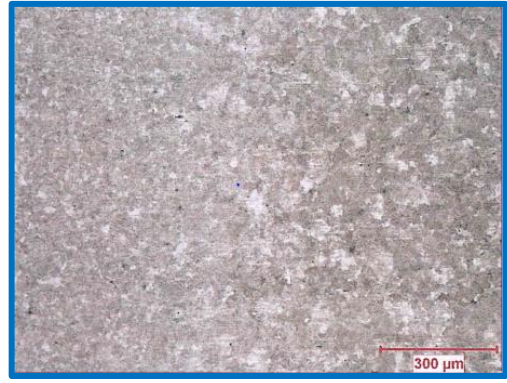
f-100X Ana metal- Perlitik iç yapı.

Şekil 5.28. MT-19-034 numunelerinden “27 Nolu” (a,b,c,d,e,f) numune.

Aşağıdaki Şekil 5.29’da MT-19-034 numunelerinden, ‘31’ Nolu numunenin mikro yapı görüntüleri verilmiştir.



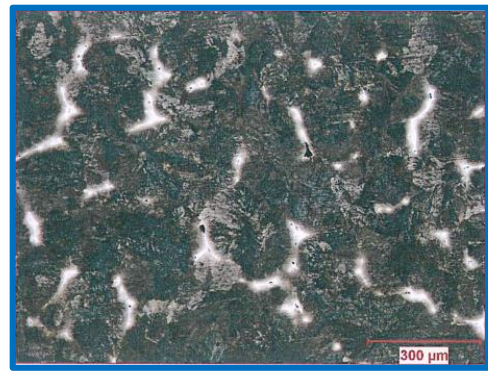
a-100X Ray Mantarı- Kaynaklı Bölge-Ana yapı Perlitik-Tane sınırlarında ferritler.



b.100X Yeniden Kristalleşme Bölgesi ve Tane Büyümesi-Perlitik Yapı



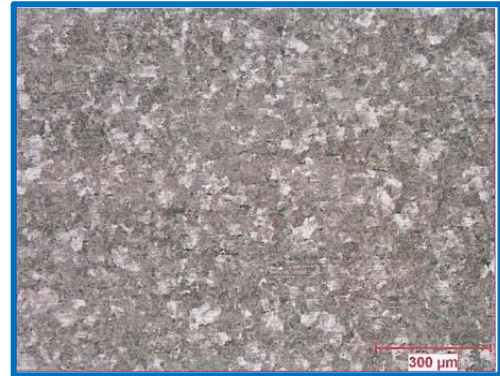
c-100X Ana Metal Perlitik İç Yapı.



d-100X Ray Tabanı-Kaynaklı Bölge-Ana Yapı Perlitik-Tane Sınırlarında Ferritler



e-100X Yeniden Kristalleşme Bölgesi ve Tane Büyümesi-Perlitik Yapı.



f-100X Ana Metal Perlitik iç Yapı.

Şekil 5.29. MT-19-034 numunelerinden 31 Nolu (a,b,c,d,e,f,) numune.

Yukarıdaki Şekil 5.28 ve 5.29'da, mikroyapı görüntüleri verilen '27' ve '31' Nolu numuneler mikroskobik inceleme için uygun olarak alındıktan sonra, hazırlanmış ve % 4'lük Nital çözeltisinde dağlanmıştır. Merkez çizgide boyuna düşey olarak kesilen

bölgenin alt taban ve üst ray mantarı kısımdan, yüzeylerden 3 mm derilikte 20x15mm ebadında dikdörtgen parçalar alınmıştır. Alınan parçalar ITAB ve kaynak bölgesini içine almakta ve bunların 5mm'lik kısmı ITAB'yi 15 mm'lik kısmı ise kaynak bölgesini kapsamaktadır. UIC60 kaynaklı ray numuneleri temizlenip, 220'lik zımpara ile zımparalanıp, parlatılmış ray ve ergime yüzeyi arasında ergime olmamış bölüme rastlanmamıştır. Daha sonrasında optik mikroskopta metalografik incelemeler yapılmıştır. Kaynak bölgesinin ve geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafları yukarıdaki bölümde verilmiştir. Mikroyapı fotoğraflarında perlit ve ferrit fazı görülmektedir. Kaynak bölgesinin mikroyapı fotoğrafında, kaynak bölgesinde ferrit ve perlit yapıların olduğu ayrıca iri ferrit taneleri arasında perlit yapının bulunduğu ancak dağılımın homojen olmadığı, belirli bölgelerde yoğunlaşmaların olduğu görülmektedir. Kaynak ray geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlemlenmiştir. Kaynak bölgesi içyapısında yer yer ferrit kümelenmeleri görülmüştür. Kaynak bölgesinin üst kısımlarındaki tanecikler büyümeye fırsat bulamadan hızlı bir şekilde soğumuş ve sonuçta tanecikler daha küçük kalmıştır. Ray-kaynak geçiş bölgesinin içyapısı beklendiği gibi tamamen perlitik yapıdadır. Kaynak esnasındaki cüruf oluşumunun kaynak yapısının hava ile direk temas etmesini engellediği ve bu yüzden dekarburizasyonun oluşmadığı anlaşılmıştır. Beklendiği gibi ana metal tamamen perlitiktir. Ray tabanı kaynaklı bölgede ana yapı perlitiktir ve tane sınırları arasında ferritlere rastlanmıştır. Yeniden kristalleşme bölgesinde perlitik içyapıyla birlikte tane büyümesi gözlenmiştir. Mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında da kaynak malzemesindeki zayıf alfa fazının ray malzemesine göre %25'e yakın daha fazla olması kaynağın raya göre zayıf bir karakterde olduğunu göstermektedir. Alüminotermite kaynağı mikro yapısı incelendiğinde yapının büyük çoğunluğunun perlitik olduğu halde yapı içinde ferrit fazının olduğu görülmektedir. Bu yapının dayanımı attırdığı gibi kırılma ihtimalini de arttıracığı düşünülmektedir. Böylece, aslında sertlik veya malzemenin çekme dayanımı arttırılarak yorulma dayanımı azaltılmış olacaktır. Genellikle düşük dayanımlı çelik, dayanımı yüksek ve sert bir malzeme ile karşılaştığında bir gerilim başlangıcı oluşacağı ve kaynağın yorulmaya karşı daha az duyarlı olacağı düşünülmektedir. Ayrıca termite kaynağı yapım aşamasında ısı transferinin kaynak merkezinden raya doğru hızla gerçekleşmesi, eş

eksenli olması gereken kaynak metalindeki tanelerinde merkeze doğru yönelmiş, iri ve uzun taneler şeklinde katılaşmasına yol açmıştır.

5.8. YORULMA DENEYİ

Yorulma testi, R350HT 60E1 ray numunesi üzerinde, Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa Standardı EN 14730-1'e uygun olarak 500 kN kapasiteli universal servohidrolik dinamik test sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Numuneye, kaynaklı birleştirme bölgesi tam ortaya gelecek ve maksimum çekme gerilmeleri rayın taban kısmında olacak şekilde, 4 noktalı eğme düzeneği kullanılarak yorulma testi uygulanmıştır. Yorulma deneyi parametreleri 120 cm numune boyu, İç açıklık W: 154mm, Dış mesnet açıklığı L: 1110 mm, 480 devir/dakika çevrim sayısı, 190 MPa üst yük, 19MPa alt yük, 5.000.000 yük çevrim sayısı sinuzoidal olarak uygulanmıştır. Kaynaklı ray numunesinin yorulma test sonrası görüntüleri ilgili bölümde verilmiştir. Çoğunluk deney metoduna göre yapılan deneyde 3 adet termite kaynaklı ray kullanılmıştır. Ray üzerine en yüksek ve en düşük gerilme değerlerine ulaşılabilmesi için sinüs eğrisi şeklinde döngüsel yük uygulanmıştır. Elde edilen yorulma testi sonucunda SOW-5 dışındaki numunelerde 5.000.000 yük döngüsü çevrimini tamamlayamadan kırılan numuneler olduğu için malzeme başarısız olarak kaydedilmiştir. Bu durum kabul edilemez. PLA ve SkV Elite L25 yöntemiyle yapılan kaynak sonucunda bazı parçalarda tabanda nüfuziyet azlığı nedeniyle çok gözenekli bir yapının meydana geldiği, oluşan cüruf ve kalıntıların yorulma mukavemetine etkisinin olduğu şeklinde değerlendirilmiştir. Yorulma testinin sonucu olarak SOW-5 yöntemi dışındaki kaynaklı numunelerin yüksek yorulma dayanımına sahip olmadığı belirtilebilir.

MT-20-083 PLA NUMUNELERİ:

R350HT Alüminotermite kaynaklı Rayın Numunesine uygulanan Yorulma Deneyinde Muayene ve değerlendirme için TS EN14730-1 Ek K standardı, Çoğunluk Metodu (Past the Post) kullanılmıştır.

İç Açıklık 154 mm.

Dış Açıklık 1100mm.

Uygulanan Maksimum Gerilme 190 MPa.

Uygulanan Minimum Gerilme 19 MPa.

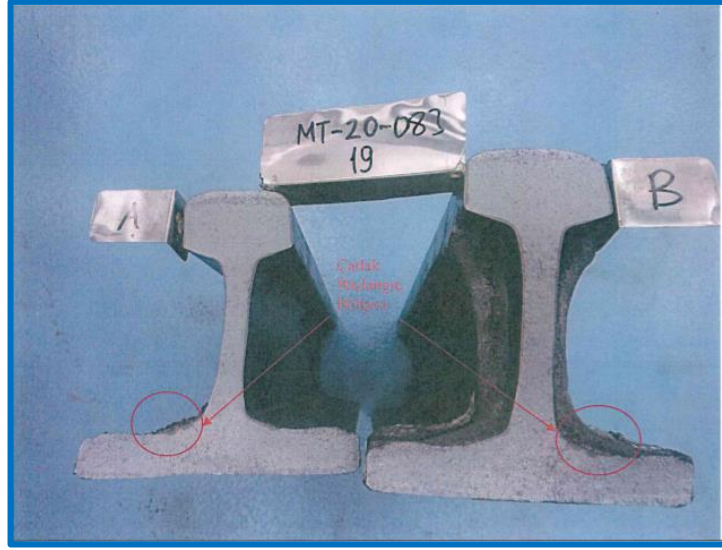
Aktivatörün Merkez ekseninden Yükleme noktalarına kadar olan uzaklık ≤ 3 mm dir.

Çizelge 5.10. ‘4’ Nolu numune yorulma deney sonucu.

Malzeme	R350HT Kalite Alüminotermik Kaynaklı Ray
Ana ölçüler	60 E1 Profil Ray
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Annex J
Deney Metodu	Past-the-post testing method
İç Açıklık (≥ 150 mm)	150 mm plus weld collar
Dış Açıklık (≥ 494 mm)	1116 mm
Uygulanan Azami Gerilme	190 MPa
Uygulanan Asgari Gerilme	19 MPa
Aktivatörün merkez ekseninden yükleme noktalarına kadar olan uzaklık	≤ 3 mm
Uygulanan Çevrim Sayısı	Test numunesine 5.000.000 çevrim uygulanmıştır.
Deney Sonu Numune Durumu	Deney numunesi çevrim sayısını tamamlamıştır.

Çizelge 5.11. ‘19’ Nolu numune yorulma deney sonucu.

Malzeme	R350HT Kalite Alüminotermik Kaynaklı Ray
Ana ölçüler	60 E1 Profil Ray
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Annex J
Deney Metodu	Past-the-post testing method
İç Açıklık	150 mm plus weld collar
Dış Açıklık	1116 mm
Uygulanan Azami Gerilme	190 MPa
Uygulanan Asgari Gerilme	19 MPa
Aktivatörün merkez ekseninden yükleme noktalarına kadar olan uzaklık	≤ 3 mm
Uygulanan Çevrim Sayısı	Deney numunesine 5.000.000 çevrim uygulanmıştır.
Deney Sonu Numune Durumu	Deney numunesi 2088826.çevrimde kırılmıştır.



Şekil 5.30. Başarısızlık durumunda çatlak başlangıcının konumu.

“19 Nolu” Test Numunesine 5.000.000 Çevrim uygulanmıştır. Test Numunesi Çevrim sayısını tamamlayamadan, 2088826 çevrimde kırılarak başarısız olmuştur. Başarısızlık durumundaki çatlak başlangıcının konumu yukarıda gösterilmektedir. Numune başarısız olduğu için çalışmalar durdurulmuş ve PLA yöntemi için diğer deneylere geçilmemiştir. İlgili standart gereği malzeme başarısız kabul edilerek reddedilmiştir. Kırılan yüzeylerde herhangi bir kusur tespit edilememiştir.

Çizelge 5.12. “PLA” Yöntemi için kalibrasyon sonuçları.

K	σ_i (MPa)	U_{sig} V	İlgili kuvvet kN	Ortalama kuvvet F_k en az kN	σ_i MPa	U_{sig} V	İlgili kuvvet kN	Ortalama kuvvet F_k en fazla kN	ΔF_k kN
1	15	$3,848 \times 10^{-4}$	22,377	22,364	150	$3,848 \times 10^{-3}$	239,912	239,910	217,546
			22,340				239,899		
			22,375				239,919		
2	17	$4,361 \times 10^{-4}$	25,764	25,773	170	$4,361 \times 10^{-3}$	272,539	272,550	246,777
			25,789				272,555		
			25,766				272,557		
3	19	$4,874 \times 10^{-4}$	29,197	29,151	190	$4,874 \times 10^{-3}$	305,439	305,450	276,299
			29,125				305,449		
			29,131				305,462		
4	21	$5,388 \times 10^{-4}$	32,884	32,899	210	$5,388 \times 10^{-3}$	336,957	336,991	304,092
			32,912				337,006		
			32,872				337,010		
5	23	$5,900 \times 10^{-4}$	36,020	36,125	230	$5,900 \times 10^{-3}$	367,125	367,110	330,985
			36,195				367,103		
			36,160				367,102		
6	25	$6,414 \times 10^{-4}$	39,951	39,936	250	$6,414 \times 10^{-3}$	399,051	399,002	359,066
			39,945				399,018		
			39,912				399,937		
7	27	$6,927 \times 10^{-4}$	42,085	42,101	270	$6,927 \times 10^{-3}$	429,991	429,929	387,828
			42,061				429,902		
			42,157				429,894		
8	29	$7,440 \times 10^{-4}$	46,050	46,009	290	$7,440 \times 10^{-3}$	458,202	458,161	412,152
			46,021				458,117		
			45,956				458,164		

$\Delta F_k = F_{ken\ fazla} - F_{k\ en\ az}$

MT-19-034 NUMUNELERİ: SKV Elite L25:

R350HT Alimünotermik kaynaklı Rayın Numunesine uygulanan Yorulma Deneyinde Muayene ve değerlendirme için TS EN14730-1 Ek J standardı, Geçmiş son deney metodu (Past the Post) kullanılmıştır.

İç Açıklık 154 mm.

Dış Açıklık 1100mm.

Uygulanan Maksimum Gerilme 190 MPa.

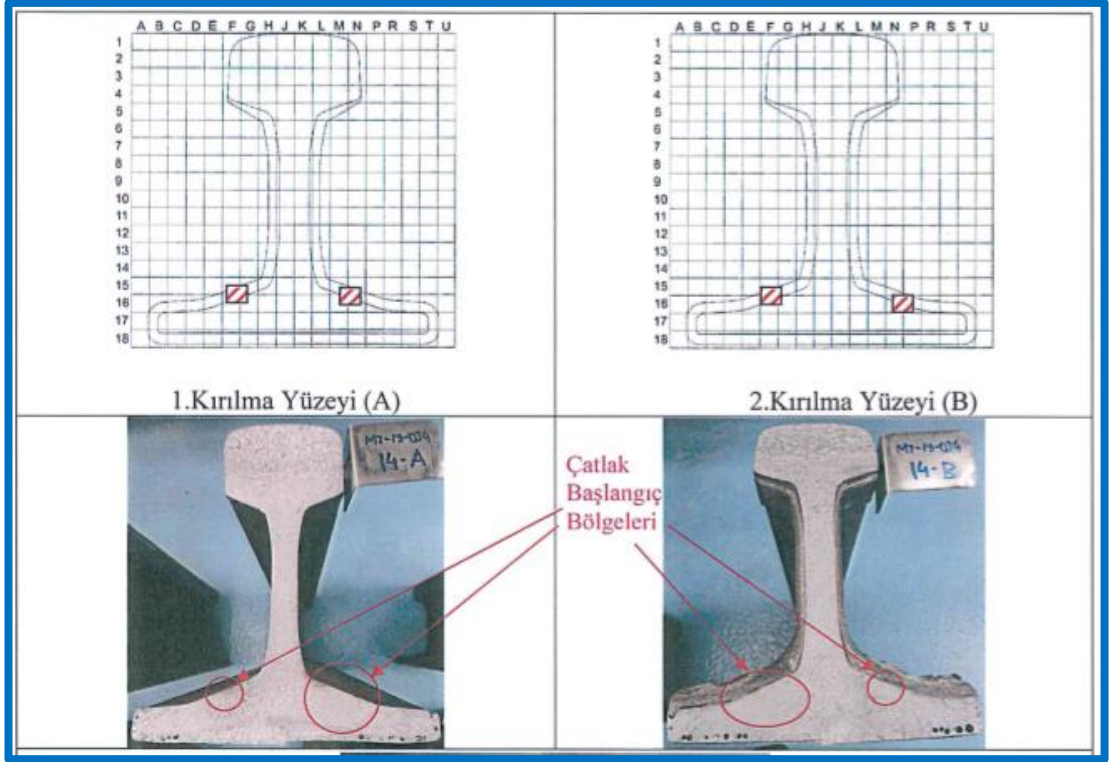
Uygulanan Minimum Gerilme 19 MPa.

Aktivatörün Merkez ekseninden Yükleme noktalarına kadar olan uzaklık ≤ 3 mm dir.

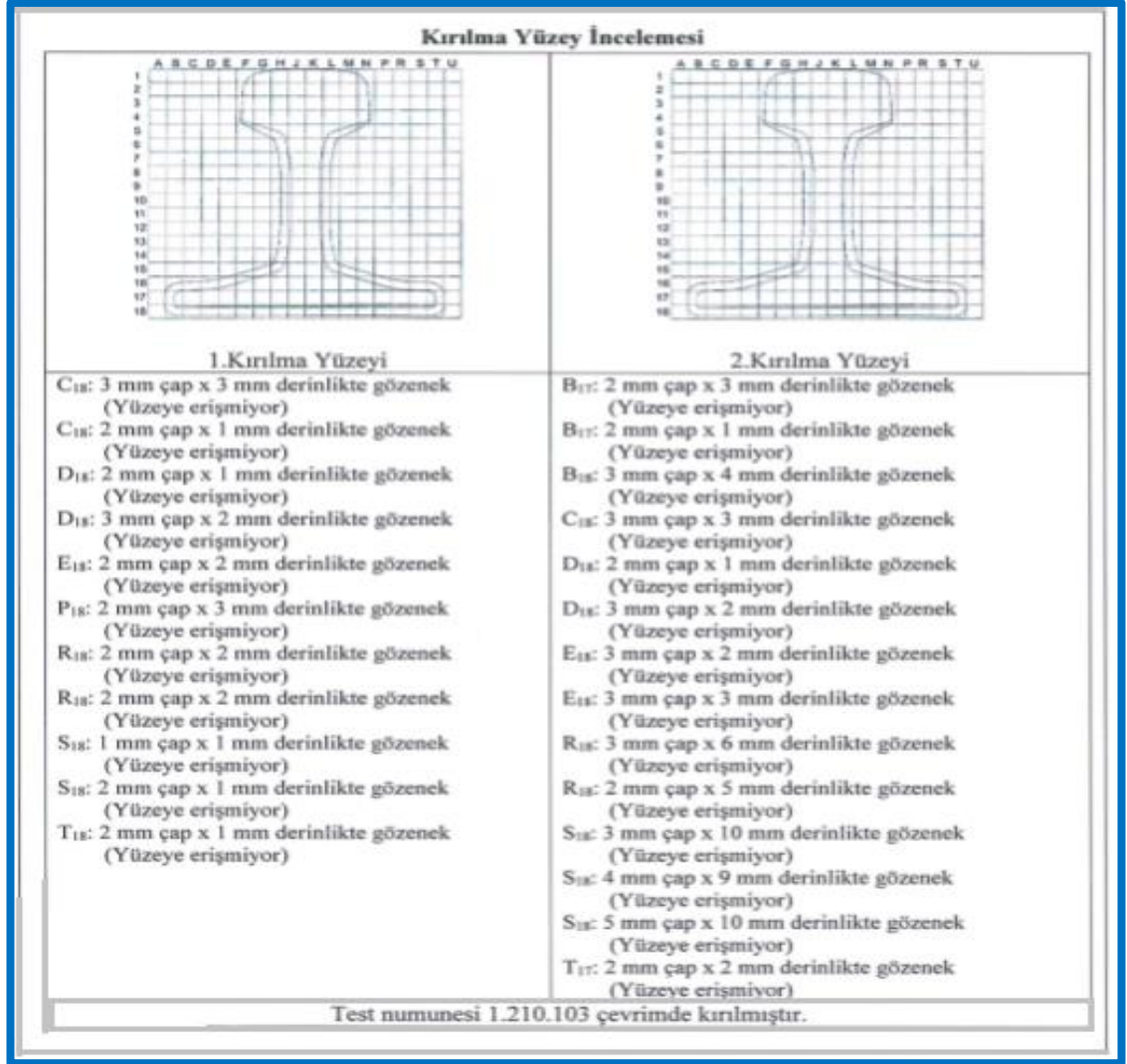
Çizelge 5.13. “14” nolu numune için için yorulma deney sonuçları.

Malzeme	350 HT Alüminotermik Kaynaklı Ray
Ana ölçüler	60 E1 Profil Ray
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Ek J
Deney Tipi	Onay Deneyi
Deney Metodu	Geçmiş Son Deney (Past the post)
İç Açıklık (≥ 150 mm)	154 mm
Dış Açıklık (≥ 472 mm)	1116 mm
Uygulanan Azami Gerilme	190 MPa
Uygulanan Aşgari Gerilme	19 MPa
Aktivatörün merkez ekseninden yükleme noktalarına kadar olan uzaklık	≤ 3 mm
Uygulanan Çevrim Sayısı	Deney numunesine 5000000 çevrim uygulanmıştır.
Deney Sonu Numune Durumu	Deney numunesi 1210103.çevrimde kırılmıştır. Numune başarısız.

“14 Nolu” Test Numunesine 5.000.000 Çevrim uygulanmıştır. Test Numunesi Çevrim sayısını tamamlayamadan, 1210103 çevrimde kırılarak numune başarısız olmuştur. Başarısızlık durumundaki çatlak başlangıcının konumu aşağıda gösterilmektedir. Numune başarısız olduğu için çalışmalar durdurulmuş ve SkV yöntemi için diğer deneylere geçilmemiştir. İlgili standart gereği malzeme başarısız kabul edilerek reddedilmiştir. Başarısızlık durumundaki çatlak başlangıcının konumları şekil 5.31 ve kırılan yüzeylerdeki tespit edilen kusurlar ise şekil 5.32 de gösterilmiştir.



Şekil 5.31. Başarısızlık durumunda çatlak başlangıcının konumu.



Şekil 5.32. “14” nolu numune için kırılma yüzey incelemesi sonuçları.

MT-18-018 NUMUNELERİ: SOW-5

R350 HT Alimünotermite kaynaklı Rayın ilgili numunelerine uygulanan Yorulma Deneyinde Muayene ve değerlendirme için TS EN14730-1 Ek j standardı, Geçmiş Son Deney (Past the Post) kullanılmıştır.

İç Açıklık 154 mm.

Dış Açıklık 1100mm.

Uygulanan Maksimum Gerilme 190 MPa.

Uygulanan Minimum Gerilme 19 MPa.

Aktivatörün Merkez ekseninden Yükleme noktalarına kadar olan uzaklık ≤ 3 mm dir.

Çizelge 5.14. “25” nolu numune için yorulma deney sonuçları.

Malzeme	350HT Alüminotermik Kaynaklı Ray
Ana ölçüler	60 E1 Profil Ray
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Ek J
Deney Tipi	Onay Deneyi
Deney Metodu	Geçmiş Son Deney (Past the post)
İç Açıklık (≥ 150 mm)	154 mm
Dış Açıklık (≥ 472 mm)	1116 mm
Uygulanan Azami Gerilme	190 MPa
Uygulanan Asgari Gerilme	19 MPa
Aktüatörün merkez ekseninden yükleme noktalarına kadar olan uzaklık	≤ 3 mm
Uygulanan Çevrim Sayısı	Test numunesine 5.000.000 çevrim uygulanmıştır.
Deney Sonu Numune Durumu	Test numunesi çevrim sayısını tamamlamıştır.

Başarısızlık Durumdaki Çatlak Başlangıcının Konumu

1. Kırılma Yüzeyi

2. Kırılma Yüzeyi

Çizelge 5.15. “33” nolu numune için yorulma deney sonuçları.

Malzeme	350HT Alüminotermik Kaynaklı Ray
Ana ölçüler	60 E1 Profil Ray
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Ek J
Deney Tipi	Onay Deneyi
Deney Metodu	Geçmiş Son Deney (Past the post)
İç Açıklık (≥ 150 mm)	154 mm
Dış Açıklık (≥ 472 mm)	1116 mm
Uygulanan Azami Gerilme	190 MPa
Uygulanan Asgari Gerilme	19 MPa
Aktüatörün merkez ekseninden yükleme noktalarına kadar olan uzaklık	≤ 3 mm
Uygulanan Çevrim Sayısı	Test numunesine 5.000.000 çevrim uygulanmıştır.
Deney Sonu Numune Durumu	Test numunesi çevrim sayısını tamamlamıştır.

Başarısızlık Durumdaki Çatlak Başlangıcının Konumu

1. Kırılma Yüzeyi

2. Kırılma Yüzeyi

Çizelge 5.16. “40” nolu numune için yorulma deney sonuçları.

Malzeme	350HT Alüminotermik Kaynaklı Ray
Ana ölçüler	60 E1 Profil Ray
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	TS EN 14730-1 Ek J
Deney Tipi	Onay Deneyi
Deney Metodu	Geçmiş Son Deney (Past the post)
İç Açıklık (≥ 150 mm)	154 mm
Dış Açıklık (≥ 472 mm)	1116 mm
Uygulanan Azami Gerilme	190 MPa
Uygulanan Asgari Gerilme	19 MPa
Aktüatörün merkez ekseninden yükleme noktalarına kadar olan uzaklık	≤ 3 mm
Uygulanan Çevrim Sayısı	Test numunesine 5.000.000 çevrim uygulanmıştır.
Deney Sonu Numune Durumu	Test numunesi çevrim sayısını tamamlamıştır.

TS EN 14730-1 belirtildiği şekilde yorulma testi yapılan 25,33 ve 40 Nolu numunelerde kaynağın asgari gerilim/azami gerilim oranı 0,1 olacak şekilde dört noktalı uygulanan 5×10^6 çevrimden sonra herhangi bir çatlama veya kırılma belirtisi gözlenmemiştir. SOW-5 alüminotermik kaynaklı numunelerin standartta belirtilen 5.000.000 çevrime dayandığı için deney sonlandırılmıştır. Sow yönteminin standartları karşılayarak diğer yöntemlerin aksine başarılı olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.17. “SOW-5” Yöntemi için kalibrasyon sonuçları.

K	σ_1 (MPa)	U_{sig} V	İlgili kuvvet kN	Ortalama kuvvet F_k en az kN	σ_1 MPa	U_{sig} V	İlgili kuvvet kN	Ortalama kuvvet F_k en fazla kN	ΔF_k kN
1	15	$3,848 \times 10^{-4}$	22,377 22,340 22,375	22,364	150	$3,848 \times 10^{-3}$	239,912 239,899 239,919	239,910	217,546
2	17	$4,361 \times 10^{-4}$	25,764 25,789 25,766	25,773	170	$4,361 \times 10^{-3}$	272,539 272,555 272,557	272,550	246,777
3	19	$4,874 \times 10^{-4}$	29,197 29,125 29,131	29,151	190	$4,874 \times 10^{-3}$	305,439 305,449 305,462	305,450	276,299
4	21	$5,388 \times 10^{-4}$	32,884 32,912 32,872	32,899	210	$5,388 \times 10^{-3}$	336,957 337,006 337,010	336,991	304,092
5	23	$5,900 \times 10^{-4}$	36,020 36,195 36,160	36,125	230	$5,900 \times 10^{-3}$	367,125 367,103 367,102	367,110	330,985
6	25	$6,414 \times 10^{-4}$	39,951 39,945 39,912	39,936	250	$6,414 \times 10^{-3}$	399,051 399,018 399,937	399,002	359,066
7	27	$6,927 \times 10^{-4}$	42,085 42,061 42,157	42,101	270	$6,927 \times 10^{-3}$	429,991 429,902 429,894	429,929	387,828
8	29	$7,440 \times 10^{-4}$	46,050 46,021 45,956	46,009	290	$7,440 \times 10^{-3}$	458,202 458,117 458,164	458,161	412,152

$\Delta F_k = F_{k \text{ en fazla}} - F_{k \text{ en az}}$

5.9. KİMYASAL ANALİZ

Çizelge 5.18. '034' No'lu numunenin kimyasal analizi.

Numune No:MT-19-034			
	Numune No 32	Numune No 36	Numune No 37
Element	%	%	%
C	0,779	0,771	0,817
Si	0,789	0,799	0,845
Mn	0,721	0,756	0,766
P	0,0148	0,0135	0,0152
S	0,0036	0,0032	0,0064
Ti	0,00072	0,00069	0,00083
Mo	0,164	0,166	0,164
Cr	0,127	0,129	0,130
Al	0,0307	0,0279	0,0525
Cu	0,0322	0,0297	0,0312
Nb	0,0089	0,0087	0,0097
Ni	0,0587	0,0564	0,0560
Sn	0,0046	0,0047	0,0046
V	0,0095	0,0098	0,0100

Not: Kimyasal analiz sonuçları yapılan beş analizin ortalamasıdır.

Teknik Bilgiler	
Muayene ve değerlendirme için kullanılan standartlar	ASTM E 415-99a
Deney Metodu	Fe 10

Alüminotermite kaynağın ray yüzeyinde erimiş bölgede yapılan kimyasal analiz sonuçları çizelge 5.18'de gösterilmiştir. Açıklanan kimyasal analiz sonuçlarındaki, her bir element değerine ulaşmak için beş farklı analiz yapılmış ve bu beş analizin ortalaması alınmıştır. R350HT ray çeliğinde bulunması gereken oranlarla, kaynaklı bölgedeki oranların standartlarda belirtilen tolerans değerleri içerisinde olduğu e örtüştüğü gözlemlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda alüminotermite kaynaklı numunenin EN 14730-1 standardında belirtilen değerleri sağladığı görülmüştür.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada R350HT 60E1 profil kodlu perlitik ray çeliklerinin alüminotermite kaynağı ile birleştirilmesi gerçekleştirilerek mikro yapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Türkiye’de de demiryolu ağlarında en yaygın perlitik çelikler kullanılmaktadır. Perlit önemli derecede sertleşme kapasitesine sahiptir ve bu yüzden uygulamada çok yüksek mukavemetli olabilirler. Ray malzemeleri diğer gereksinimleri karşılarken mümkün olduğunca çatlama karşı dirençli olmalıdır. Ferrit, çatlama karşı perlitte daha dirençlidir ancak daha düşük zayıf aşınma direncine sahiptir. Östenit ve martenzitin aksine perlit, ferrit ve sementit olmak üzere iki fazdan oluşur. Tüm ergitme kaynağı işlemleri gibi, termite kaynaklarının kalitesi, kaynak sırasındaki termal koşullara bağlıdır. Kaynak metalinin makro ve mikro yapısı, kaynak hatası ve artık gerilim, kaynağın termal geçmişinden etkilenir. Kaynak esnasında ana ray malzemesinin olumsuz etkilenmelerden uzak kaldığı temel yapısını koruduğu gözlenmiştir. Kaynak kusurlarının oluşumu, kaynak sırasındaki katılma ve soğutma işlemi ile yakından ilişkili olduğundan, ısı transferinin, kaynak metalinin ve ray ucunun termal geçmişinin iyi anlaşılması esastır. Kaynak bölgesi ve geçiş bölgesi esas alınarak EN 14730-1’e uygun yorulma testleri, makro ve mikro inceleme, statik eğilme testleri, sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, kaynak kusurlarının oluşum mekanizmalarının güçlü bir termal temele sahip olduğu yönündeki düşünceye odaklanılmıştır

1. Yapılan deneylerde PLA ve SkV Elit L25 yöntemleri eğme ve yorulma deneylerini karşılayamadığı için bu yöntemlerde deneylere devam edilmemiştir. PLA yöntemi ülkemizde pek yaygın değildir yeni yeni kullanılmaya başlamıştır. Daha öncede denendiği halde aşağıdaki çizelgelerden de anlaşılacağı gibi istenilen sonuçları karşılayamadığı için testlerden geçmeyi başaramamıştır.

MT-21-017 / PLA Yöntemi (Ağustos 2021)						
Görsel	Raporda değerlendirme var					
UT	Herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.					
Eğme						
Numune No	1	2	3	5	7	9
Sehim (mm)	8,21	7,06	6,36	6,84	8,81	7,92
Kuvvet (kN)	1234,84	1072,90	966,55	1059,45	1267,71	1162,53
Eğme deneylerinde 14730-1 standartına göre yeterli değerler sağlanamadığı için deneylere devam edilmemiştir. Raporlama devam etmektedir.						

SkV yöntemi PLA ya göre daha bilindikdir ve nispeten standartlara daha yakın sonuçlar vermiştir ama oda testlerden istenilen performansı sağlayamadığı için geçememiştir. PLA ya göre daha esnek ama SOW-5'e göre daha kırılğan olduğunu verdiği sehimlere baktığımızda hemen anlamak mümkündür. Bu başarısızlıkta ön ısıtma süresinin azlığının etkili olduğu düşünülmektedir.

MT-19-034 / SKV Yöntemi						
Görsel	Raporda değerlendirme var					
UT	Herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.					
Eğme						
Numune No	2	4	7	8	12	13
Sehim (mm)	13,18	11,54	7,47	11,71	12,46	12,50
Kuvvet (kN)	1543,12	1445,20	1122,39	1465,76	1547,16	1565,26
Yorulma	14 no'lu numune 1210103 çevrimde kırılmıştır.					
Eğme ve yorulma deneylerinde 14730-1 standartına göre yeterli değerler sağlanamadığı için deneylere devam edilmemiştir.						

SOW-5 yöntemi başlangıçta istenilen şartları karşıladığı için bütün testlere tabi tutulmuştur. Sow-5 yönteminin diğer yöntemlere göre daha üstün olduğu görülmüştür.

MT-19-034 / SOW Yöntemi						
Görsel	Raporda değerlendirme var					
UT	Herhangi bir bulguya rastlanmamıştır.					
Eğme						
Numune No	22	24	26	29	34	39
Sehim (mm)	14,06	14,49	9,30	15,53	13,23	11,47
Kuvvet (kN)	1567,14	1585,65	1538,59	1576,09	1517,06	1435,46
Makro	Kaynak öncesi markalama yapılmadığı için x değerleri ölçülmemiştir. Simetri kontrolü için rapora bkz.					
Isı tesiri ile sertliği azalmış bölge						
Numune No	21		25		35	
Sol (mm)-Sağ (mm)	34		34		30	
Yuvarlanma yüzeyi sertlik	Standartın talep ettiği sınır değerinin üzerindedir.					
Yorulma	Yorulma deneyi yapılan 25, 33 ve 40 no'lu numuneler 5000000 çevrimi tamamlamıştır.					
Kimyasal	Standartta istenilen değerler sağlanmıştır.					

Kaynak malzemesinin mikro yapı fotoğraflarında iri ferrit taneleri arasında perlit yapının bulunduğu buna karşın ray geçiş bölgesinin mikroyapı fotoğrafında ise kaynak esnasındaki sıcaklığın etkisiyle perlit tanelerinin biraz daha küçük olduğu ve alfa yapılar arasında daha homojen dağıldığı gözlenmiştir. Ray mantarı kaynaklı bölge, ITAB'de, ray tabanı kaynaklı

bölgede, kaynak bölgesinden ITAB'ye geçişte, ITAB'dan ana metale doğru geçildikçe perlitik tane sınırlarında ferritlere rastlanmıştır. ITAB ve Ergime bölgesi 100X büyütme ile incelendiğinde beynit veya martenzit yapıya rastlanmamıştır. Ön ısıtma süresinin kaynak nüfuziyetinde ve termal dönüşümlerde hayati bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

2. Eğme deneylerinde Rayların Alüminotermite Kaynağı Avrupa standardı EN 14730-1" standardına göre, bütün numuneler kırılıncaya kadar eğme işlemine devam edilmiştir. En düşük sehim 7,20 mm ile PLA yöntemiyle kaynatılan MT-20-83 "15" Nolu numunede görülürken, en yüksek sehim miktarı 15.53 mm ile Sow-5 yöntemiyle kaynaklanan MT-19-034 numunelerinden "29" Nolu numunede görülmüştür. Sow-5 yönteminin dayanım ve esnekliğinin diğer yöntemler olan Fransız Pandrol firmasının "PLA" ve Alman "SkV Elit25" yöntemine göre daha üstün olduğu görülmüştür. Ön ısıtma ve kalıpların çıkarılma sürelerinin termal dönüşümlerde etkili olduğu ve uygun zamanın kaynak mukavemetini olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.
3. Elde edilen yorulma testi sonuçlarında bütün numuneler içinde 5.000.000 yük döngüsü çevrimini tamamlayan sadece SOW-5 yöntemli numuneler olmuştur. İstenilen çevrimi sağlayamayan diğer yöntemlerde malzeme başarısız olarak kaydedilmiştir. Bu durum kabul edilemez olduğu için deneyler sadece sow-5 yönteminde sürdürülüp diğer yöntem numunelerinde durdurulmuştur. Bu durum yapılan kaynak sonucunda cüruf ve kalıntıların yorulma mukavemetine etkisinin olduğu şeklinde yorumlanabilir. PLA ve Skv yöntemlerinin kırılan numuneleri incelendiğinde daha gözenekli bir yapıya sahip olduğu, bu gözeneklerin daha çok ray tabanında yoğunlaştığı gözlenmektedir. Gözenekli yapının oluşumunda hızlı soğuma ve hızlı katılaşmanın etkili olduğu, bu durumda daha kırılğan bir yapının oluşmasına yol açtığı düşünülmektedir.
4. Soğuk bindirmeler genellikle ray tabanındaki kaynak uçlarında ortaya çıkmış ve kaynak metali ile ray uçlarının yüzeyi arasındaki yetersiz füzyondan

kaynaklanmıştır. Eğme testlerinde kırılan numuneler incelendiğinde bütün gözeneklerin mantara doğru olan sıcaklık gradyanında etkisiyle ray tabanında toplandığı görülmektedir. Ray tabanının daha ince olmasından dolayı, bu gözeneklere engel olmak için kalıpta oluşan gaz kabarcıklarının yok olmasına fırsat verecek zaman ve sıcaklığın sağlanması için ön ısıtma süresinin ray tabanındaki ısı esas alınarak ayarlanması gerektiği kanısına varılmıştır.

5. Kaynak bölgesinin sertlik değeri ortalama 363.2 HB'dir, SOW-5 porsiyonuyla yapılan 6 adet kaynak numunesinin (28,30,32,36,37,38 Nolu numuneler) kaynak bölgesi ortalama sertlik değerleri, 372, 373, 372, 356, 364 ve 342 HBW olarak ölçülmüştür. R350HT ana ray malzemesinin sertlik değeri 350 HBW'dir. EN 14730-1'e göre kaynak merkez çizgisi Brinell Sertlik değerinin ray çeliğinden ± 20 HBW olması gerekmektedir. Ölçülen sertlik değerlerinin normal sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.
6. Kaynaklı bölge, tanecik yapısına göre raydan farklıdır. Bu yüzden, çarpma kuvvetlerini, sürtünme ve kayma gerilmelerini ray ile aynı miktarda karşılayamaz. Lichtberger çalışmasında alüminotermite kaynaklarda tespit edilen kusurların %72,31'i kaynağın mantar bölgesinde, %27,69'u ise gövde bölgesinde bulunduğunu tespit etmiştir [15]. Hız ve aks yükleri arttıkça üstyapıdaki kusurların güvenliği daha fazla etkileyeceğinden üstyapı tabakalarının teknik olarak doğru ve yeterli oluşturulması zorunludur. Tespit edilen kusurların çoğunluğunun mantar bölgesinde olması nedeniyle, zamanla çökmeye neden olacağı bunun sonucunda istenmeyen ses ve deray olasılığını artıracığı düşünülmektedir.
7. Yapılan kimyasal analizlerin sonuçlarında sınırların dışında bir değere rastlanmamıştır.

KAYNAKLAR

1. Tulumtaş, H., “Ray Üretim Teknolojisindeki Gelişmeler Ve Türkiye’de Üretim Miktarları” *TCDD Genel Müdürlüğü*.
2. Koymatçık, H., Tozlu, İ., Çuğ, H., Sun, Y., & Ahlatçı, H., “Hardening of the head portions of the pearlitic rails by accelerated cooling”, *Engineering Science & Technology*, an International Journal, 16(2), 2013
3. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, “Konvensiyonel hatların yol bilgileri”, *T.C. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2006-2010*, 24, 2010.
4. Onat, Ö., “Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 2012, 316278.
5. Özçelik, S., “Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışı İncelenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2014, 411504.
6. Kalaycıoğlu, O., “Kardemir’de Ray Üretiminde İyileştirmeler”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 2006, 181887.
7. Deroche, R.Y., “Rolling Contact Fatigue Cracks on S.C.N.F. Conventional Tracks” *International Conferance on Rail Quality and Maintance for Modern Railways Operation*, Ed: J.J Kalker, D. F. Cannon and O. Orringer Kluwer Academic Publishers, pp, 435-448,.
8. Sahay, S.S., Mohapatra, G. and Totten, G.E., “Overview of pearlitic rail steel: accelerated cooling, quenching, microstructure, and mechanical properties” *Journal of ASTM International*, 6 (7): 1-26, 2009 .
9. Markov, D., (1995). "Laboratory tests for wear of rail and wheel steels", *Wear*, 181-183:678-686

10. Wheel-Rail Damage Mechanisms (2018)Dr. Richard Stock Milling Technology Manager, *LINMAG Rail Service* 1 May. 2018
11. Esveld, C.(2006) “TU Delft Coventional Track structures” session Session 4 Track Loads TU Delft, *Railway Engineering*
12. Kern, A., Schmedders, H., & Grohmann, H.-D. (Kalender 1997, s.161-181). “Schienen und Schienenstähle-Heutige Beanspruchung und Neue Entwicklungen.” *Eisenbahningenieur*.
13. Schultheiss, H. (6/1990). “Scheinen - ein Teil der Fahrbahn”, *EL-(41)*, s 296-300.
14. Moser, A., & Oswald, R. (1991, s. 87-92). “Herstellung und Einsatz aus der Walzhitze kopfgehärteter Schienen.” *Eisenbahntechnische Rundschau*.
15. Lichtberger, B., 2005, “Track compendium: formation, permanent way, maintenance, economics, Eurail press”, *Hamburg, Almanya*, 42-122.
16. Girsch, G., & Heyder, R. (1/2004, s. 42-44). “Head-Hardened rail put to the test”. *Railway Gazette* International.
17. Heller, W. (5/1972, s. 176-183). “Herstellung, Eigenschaften und Betriebsverhalten von naturharten Schienen aus Chrom”-Manganstahl mit 110 kp/mm² Mindestfestigkeit, ETR - *Eisenbahntechnische Rundschau*.
18. Schramm, G. (1973). “Oberbautechnik – Oberbauwirtschaft”, *Verlog Otto Ernst*.
19. T.C.Milli Eğitim Bakanlığı(2013). “Raylı Sistemler Teknolojisi” *Raylar ve Bağlantılar*” içinde Ankara. s.13
20. Pointner, P., & Frank, N. “Rollkontaktermüdung an Schienen” - *Werkstoff oder Beanspruchung*, Voest-Alpine Schinen.
21. TCDD Rayların gözle muayenesine ait **106 numaralı genel emir**. 27.01.2012. 6350. “Rayların süreksizlik (kusur) tipleri ve hata katoloğu.”
22. Jussel, D. “Araç Dinamiği, Temas geometrisi ve eşdeğer koniklik eğitimi. **TCDD YHT Bölge Müdürlüğü** Mayıs 2018 s.17
23. UIC-712 R (2002). “Rail defects,” **International Union of Railways (UIC)**, Paris, Fransa
24. Hoppe, H., Franz , J., Führer, G., Hasak, B., & Wolf, M. (1977). Das lückenlose Gleis; transpress **VEB Verlag für VErkehrswesen**, 2. Auflage., Berlin.
25. Jericho, E. (10/1997). “Schienen mit geringen Eigenspannungen”, ETR - *Eisenbahntechnische Rundschau*(46).

26. Herbst, B., Palzeit, B., & Heyder, R. (5/1999). "Modelluntersuchungen zum Verschleissverhalten von Rad- und Schienenstählen", *Eisenbahningenieur* (50).
27. Pointner, P. (9/2000). "Auswirkungen des Rad-Schiene-Kontaktes auf Werkstoffwahl und Fahrweggüte". *Eisenbahningenieur* (51).s. 122-126
28. J, L., & E, M. (March 1997). The "Magic"Wear Rate, *RT&S*
29. Yılmaz, H., 2013, "Ray kusurlarının örnek hat üzerinde ultrasonik yöntemle incelenmesi ve ray gerilmelerinin belirlenmesi," *Yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul, 137-176.
30. Schultheiss, H. (10/1984). "Die Schiene, Entwicklungsstand und zukünftige Anforderungen", *ETR - Eisenbahntechnische Rundschau* (33).
31. Esveld, Coenraad.(2006) *TU Delft Coventional Track structures* session 8 s.71
32. SoW-5 Çalışma Kılavuzu turce editoryal standı 14.06.2016
Arbeitsanweisung SoW-5 türkisch Redaktionsstand 14.06.2016
©*ELEKTRO-THERMIT* GmbH & Co KG Yan 1/110
33. AAR Bericht, "Workshop Heavy AXle Loads,". (1990). **Colorado**.
34. Arbeitsanweisung SoW-5 türkisch Redaktionsstand 14.06.2016)"Hızlı Kaynak Yöntemine Yönelik Çalışma Kılavuzu" *SoW-5 2016*
35. Milli Eğitim Bakanlığı (2008). "Raylı sistemler teknolojisi:" *alüminotermit kaynak*, Ankara, Türkiye.
36. Haunold, F. (3/1982). "Die neue Thermit Schienenstossschweissung", *Eisenbahntechnik*.
37. Hounold, F. (6/1981)."Die mobile Abbrenn-Stumpfschweissung", *Internationales Verkehrswesen*.
38. Arlı, V. (2009). "Kentiçi Raylı Sistemler", *İstanbul Ulaşım A.Ş.*, İstanbul, Türkiye.)
39. Evolution of CWR System. (8/1988). *RT&S Railway Track & Structures*.
40. Meissner, K., & Hug, H. (16-17.11.2000). Detektion und Behandlung von Schienenfehlen in Gleisen und Weichen der DB Netz Ag. Internationales Symposium "Schienenfehler". *Brandenburg an der Hevel*.
41. (1980). Db Fachbuch cilt 8/14 Oberbauschweissen. *Eisen-bahn-Fahverlag Heidelberg*. içinde Mainz.

42. Pointner, P. (9/2000). "Auswirkungen des Rad-Schiene-Kontaktes auf Werkstoffwahl und Fahrweggüte", *El - Eisenbahningenieur* (51).
43. Heyder, R. (9/2001). "Der neue Schienenfehlerkatalog der UIC". *El - Eisenbahningenieur* (52).
44. Dembosky, M., Clark, S., & Care, R. (*Switch to Delft 2004*). "Rolling Contact Fatigue Modes and Management in British Railway Switches."
45. Hiensch, M., & Watson, A. (1/2004). "ProRail predicts RCF Hotspots." *Railway Gazette International*, 38-40.
46. Grohmann, H.-D. "Schädigung der Lauffläche von Schienen durch den Rad/Schiene-Kontakt"- Schlussfolgerungen für die Herstellung und Instandhaltung der Schienen, **DB AG**.
47. Fastenrath, F. (1977). "Die Eisenbahnschiene, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn,". *Berlin, München, Düsseldorf*.
48. Ebersbach, D. (1998). "Ressourcenschonung durch Schienenschleifen, Eisenbahningenieur"-**VDEI**, (s. 215-237).
49. Grassie, S. (10/1995). "Riffeln - gründe und Gegenmassnahmen, El" - *Eisenbahningenieur*(46), (s. 714-723).
50. Alias, J. (11/1986). "Characteristics of Wave Formation in Rails", *Rail International*.
51. Fa, S. (2004). *Technische information*, "Elastische Lagersysteme aus elastomeren für den Gleisoberbau."
52. Müller-Baruttau, Frank, H., & Ebersbach, D. (September 1994). "Elastische Zwischenlagen im Gleis Lösen Schwingungsprobleme", *Vorabdruck*.
53. Bundesbahn-Zenterlamt München: "Kurzfassung des Untersuchungsberichts 85a Lov 161.1erg4, Grossversuch elastische Zwischenlage Zw900 im jahr" 1993: Ergebnis Der Messungen am Fahrweg und im ICE-Mittelwagen am *Versuchsabschnitt Licherode*. (*SFS-Gleis Fulde - Kassel*) 31.12.1993).
54. Ahlatcı, H., Sun, Y., Esen, İ., Turan, E., Özçelik, S. and Tozlu, İ. "Türkiye'de Üretilen İlk **R350HT** Kalite Rayların Karakterizasyonu ve Servis Şartlarındaki Başarısı"
55. *TS EN 14730-1 +A1* "Demiryolu uygulamaları – Demiryolu – Rayların Alüminio termik kaynağı" – Bölüm 1: Kaynak işleminin onayı
56. Ertan S., " Farklı kalitedeki rayların mikroyapı, kalıntı gerilme ve kırılma tokluğu özelliklerinin incelenmesi." *Yüksek Lisan Tezi, Karabük Üniversitesi Lisans üstü eğitim enstitüsü*. Ocak (2021)

57. Pandrol Aluminotermic Welding. *PLA Yöntemi* işlem basamakları kitapçığı 2020.
58. **GOLDSCHMIDT THERMIT GROUP** “SkV Elit termit kaynağı yöntemi İşem basamakları ürün kataloğu kitapçığı” syf:22. 2016
59. **GOLDSCHMIDT THERMIT GROUP**. SOW-5 “Hızlı kaynak yöntemine yönelik çalışma klavuzu.” 2016.
60. **TS-EN-14730-1-A1:2011-01**. “Demiryolu uygulamaları-Demiryolu-Rayların Alüminotermite kaynağı”. K4 Yorulma deney yöntemi. Syf:13-37
61. Agin Onur., *Demiryolu Mühendisleri Derneği*. “Hızlı tren hatlarında yeni ray profili” Syf.30. 2019.
62. **TS EN 13674-1:2011+A1:2017(E)** Syf:21. “Demiryolu uygulamaları - Demiryolu hattı “- Ray - Bölüm 1: 46 kg/m ve üzeri vignole demiryolu rayları Ocak 2018.

ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, “Talaşlı Üretim Bölümünü”, 2016 Yılında ise Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi “Makine Mühendisliği Bölümünü” bitirdi. Halen 1990 yılından beri TCDD Taşımacılık A.Ş. çalışmakta olan “Adem Arı” Evli ve iki çocuk babasıdır.