

**MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ R260 KALİTE RAYLARIN AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer ONAT

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Haziran 2012**

Ömer ONAT tarafından hazırlanan “MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ R260 KALİTE RAYLARIN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/ 06/ 2012

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Bilge DEMİR (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)

İmzası



...../...../2012

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri 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.”

Ömer ONAT

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ R260 KALİTE RAYLARIN AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Ömer ONAT

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği**

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN

Haziran 2012, 104 sayfa

Bu çalışmada; laboratuvar ortamında mantarı sertleştirilmiş R260 kalite (EN 13674-1) rayların aşınma özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, farklı sıcaklıklarda östenitlenen raylara laboratuvar ortamında yalnızca su ya da su ve hava karışımı verilerek (püskürtülerek) uygun sertlik ve içyapının belirlenmesi sağlanmıştır. Standartlara uygun sertlik değerleri ve içyapının belirlendiği raylar, aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Östenitleme sıcaklığı olarak 800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklar ve her bir östenitleme sıcaklığında yalnızca su ve su+hava karışımı püskürtme için 10, 15, 20 ve 30 saniye süreler denenmiştir. Isıl işlem sonrasında EN 13674-1 standardına uygun olarak yüzeyde 370 HB ve merkezde 320 HB değerlerini yakalan ısıtıl işlem koşulları optimum parametreler olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda mantarı sertleştirilmiş raylara aşınma testleri uygulanmıştır. Aşınma testleri farklı yüklerde (20N ve 40N) ve farklı kayma mesafelerinde (2000m, 4000m ve 6000m) gerçekleştirilmiştir. Standartlara en uygun sertlik değerleri farklı

sıcaklıklarda östenitlenen ve 20 saniye sürede su ve hava+su karışımı ile soğutulan raylardan elde edilmiştir. Aşınma deneyleri bu koşullarda mantarı sertleştirilen raylara uygulanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Aşınma, ray çeliği, mantar sertleştirme, perlitik çelik.

Bilim Kodu : 915.1.194

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

RESEARCH ON THE WEARING PROPERTIES OF HEAD HARDENED R260 QUALITY RAILS

Ömer ONAT

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Metallurgy and Materials Science Engineering

Thesis Advisor:

Asst. Prof. Dr. Yavuz SUN

June 2012, 104 pages

In this study; determining wear properties of head hardened R260 quality rails (EN 13674-1) produced in laboratory conditions, is aimed. Within this scope, only water or mixture of air + water spraying was applied to the austenitized rails in different temperatures in order to catch appropriate hardness and internal structure according to the standarts. Wear tests were subjected to the rails that have appropriate hardness and internal structure defined in the standarts. Firstly the rails were austenitized and then in a few seconds the rails were carried to the spraying equipment. Three austenitization temperatures (800°C, 850°C and 900°C) and 10, 15, 20, 30 seconds periods of only water or mixture of air and water spraying were tested for each austenitization temperatures. After heat treatment, 370 HB at surface and 320 HB in the centre were accepted as the optimum heat treatment parameters according to the EN 13674-1 standarts. Wear tests were applied to the head of the rails that hardened in optimum conditions and carried out in different loads (20N and 40N) and slip

distances (2000m, 4000m and 6000m). The most conformable hardness rates according to the standarts were achieved in the rails austenized in different temperatures and cooled with water or water+air mixture for 20 seconds. Wear tests were applied to the rails that have these head hardening conditions.

Key Words : Wear, rail steel, head hardening, pearlitic steel.

Science Code : 915.1.194

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının planlanmasında, araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Yavuz SUN'A sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans yapabilmemiz için destek ve yardımlarını esirgemeyen ve önümüzü açan KARDEMİR A.Ő. Genel Müdürü Sayın Fadıl DEMİREL'e, elikhane Müdürüm Sayın Mansur YEKE'ye, Ray Profil Haddehanesi Müdürü Sayın İbrahim TOZLU'ya, başmühendisim Sayın Ayberk ÖZDUMAN'a ve başta Karabük Üniversitesi yönetimi olmak üzere Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümü akademisyen ve hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim. Deneylerimin yapılmasında büyük desteğini gördüğüm arkadaşlarım, Yük.Müh. Bünyamin ÇİÇEK ve Yük.Müh. Engin ÇEVİK'e teşekkür ederim.

Sevgili eşim Nur, oğlum Ahmet Mert ve aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
DEMİR YOLU RAYLARI	3
2.1. ÇELİKLERDE GÖRÜLEN FAZLAR	9
2.1.1. Ferrit	9
2.1.2. Östenit	10
2.1.3. Sementit	11
2.1.4. δ -Ferrit	11
2.1.5. Perlit	11
2.1.6. Beynit	12
2.1.7. Martenzit	13
2.2. RAYDAN BEKLENEN ÖZELLİKLER	14
2.3. RAYIN ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	15
2.3.1. Kimyasal Analiz	15
2.3.1.1. Karbon	15
2.3.1.2. Mangan	16
2.3.1.3. Silisyum	17
2.3.1.4. Fosfor	17

	<u>Sayfa</u>
2.3.1.5. Kükürt	18
2.3.1.6. Oksijen	18
2.3.1.7. Azot.....	18
2.3.1.8. Hidrojen.....	19
2.3.1.9. Krom	19
2.3.1.10. Molibden	19
2.3.1.11. Vanadyum	20
2.3.1.12. Niyobyum.....	20
2.3.2. Soğutma Kontrolü.....	20
2.4. RAY ÜRETİMİ.....	21
2.4.1. BOF Konverterleri	22
2.4.2. Pota Fırınları.....	22
2.4.3. Vakum Altında Gaz Giderme (Vacuum Degassing)	22
2.4.4. Sürekli Dökümler.....	23
2.5. RAY ÇELİĞİNİN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ	23
BÖLÜM 3	24
RAYLARIN ISIL İŞLEMİ VE MANTAR SERTLEŞTİRME.....	24
3.1. ISIL İŞLEM.....	26
3.1.1. Faz Diyagramları	26
3.1.2. Su Verme Isıl İşlemi	28
3.1.2.1. Isı Transferi	28
3.1.2.2. Soğutucular.....	29
3.1.3. Hızlandırılmış Soğutma	29
3.2. RAYDA SERTLİĞİN ÖNEMİ.....	30
3.3. AŞINMA VE YUVARLANMA TEMAS YORULMASININ ETKİSİ	31
3.3.1. Aşınma ve Yuvarlanma Temas Yorulmasını Etkileyen Parametreler	33
3.4. RAY ÇELİK CİNSLERİ VE GELİŞMELER.....	33
3.4.1. Doğal Olarak Sert Raylar	33
3.4.2. Mantarı Sertleştirilmiş Raylar	34
3.4.2.1. Geleneksel Isıl İşleme Sertleştirme	34
3.4.2.2. Hat Dışı Sertleştirme (off-line) Metodu İle Mantar Sertleştirme	34

Sayfa

3.4.2.3. Hat İçi Sertleştirme (in-line) Metodu İle Mantar Sertleştirme	34
3.4.3. Yüksek Alaşımlı Raylar	35
3.4.4. Korozyona Dirençli Raylar	36
3.4.5. Beynitik Raylar	36
3.5. YAYGIN OLARAK KULLANILAN RAY STANDARTLARI	37
BÖLÜM 4	43
AŞINMA	43
4.1. AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER	43
4.2. AŞINMA ZAMAN İLİŞKİSİ	44
4.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ	45
4.3.1. Adhesif (Yapışma) Aşınma	45
4.3.2. Abrasif (Kazıma) Aşınma	46
4.3.3. Yorulma Aşınması	48
4.3.4. Erozyon Aşınması	48
4.3.5. Korozyon Aşınması	49
4.4. AŞINMANIN AZALTIKMASI İÇİN GEREKLİ ÖNLEMLER	50
4.5. AŞINMANIN KULLANIM ALANLARI	51
4.6. AŞINMA ÖLÇÜM METODLARI	52
4.6.1. Ağırlık Farkı Metodu	52
4.6.2. Kalınlık Farkı Metodu	53
4.6.3. İz Değişimi Yöntemi	53
4.6.4. Radyoizotoplar İle Ölçme	53
4.6.5. Bilgisayar Destekli Ölçme	53
4.7. TRIBOSİSTEMLER	54
4.8. AŞINMA DENEYLERİ VE AŞINMA DENEY YÖNTEMLERİ	54
4.9. AŞINMA DENEYLERİNDE KULLANILAN BAZI AŞINMA DENEY CİHAZLARI	56
4.9.1. Pin on Flat (Düzlem Üzeri Çubuk) Deney Cihazı	58
4.9.2. Dört Top Deney Aparatı	59
4.9.3. Ball on Flat (Düzlem Üzeri Bilye) Deney Cihazı	59
4.9.4. Ball on Disk (Disk Üzeri Bilye) Deney Cihazı	60
4.9.5. Levha – Kayış Deney Cihazı	61

	<u>Sayfa</u>
4.9.6. Pin on Cylinder (Silindir Üstü Çubuk) Deney Cihazı	62
4.9.7. Çapraz Silindir Deney Cihazı.....	62
4.9.8. Plint TE 97 Sürtünme ve Aşınma Deney Cihazı.....	63
BÖLÜM 5	64
MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ RAYLARLA İLGİLİ ÖNCEDEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	64
BÖLÜM 6	69
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	69
6.1. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	69
6.2. MİKRO YAPI ÇALIŞMALARI.....	71
6.3. RAYLARIN SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	72
6.4. RAYLARIN AŞINMA DENEYLERİ.....	73
BÖLÜM 7	74
DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME	74
7.1. KULLANILAN RAYIN KİMYASAL ANALİZİ.....	74
7.2. İNCELENEN RAYLARIN MİKRO YAPI KARAKTERİZASYONU	74
7.3. İNCELENEN RAYLARIN SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI	79
7.4. ISIL İŞLEM UYGULANAN RAY NUMUNELERİNİN AŞINMA DENEY SONUÇLARI	83
BÖLÜM 8	98
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	98
KAYNAKLAR.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	104

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Lameller arası uzaklığın sertlikle ilişkisi.....	7
Şekil 2.2. Östenit tane boyutunun akma dayanımı ve sertlikle ilişkisi	7
Şekil 2.3. İzotermal tavlama sonrası a) 620°C, b) 570°C, c) 520°C sıcaklıklarda çelik mikro yapısı.....	8
Şekil 2.4. Ferrit yapısı	10
Şekil 2.5. Östenit yapısı	10
Şekil 2.6. Sementit kafes yapısı.....	11
Şekil 2.7. Perlit yapısı	12
Şekil 2.8. Beynit yapısının; a) Optik mikroskop görüntüsü, b) TEM görüntüsü, c) TEM’de alınmış beynit demetleri görüntüsü d) Beynit çekirdeklenmesinin ve büyümesin şematik görüntüsü.....	13
Şekil 2.9. Martenzit mikro yapıları; a) Çıta martenzit, b) Tabakalı martenzit	14
Şekil 3.1. % 0,75 C ve % 1 Mn’lı bir çeliğin izotermal dönüşüm diyagramı	24
Şekil 3.2. % 0,74 Cr + % 0,18 Mo alaşımlamasının % 0,8 C + % 0,75 Mn içerikli ray çeliğinin dönüşüm eğrilerine etkisi	25
Şekil 3.3. Rayların mantar sertleştirme için indüksiyonla östenitleme sıcaklığına ısıtılması	25
Şekil 3.4. Rayların östenitleme sonrası mantar kısımlarının soğutulması	26
Şekil 3.5. Soğutma rejiminin nihai mikro yapıya etkisi.....	26
Şekil 3.6. Sertliğin yuvarlanma temas yorulması başlangıcı ile ilişkisi.....	33
Şekil 3.7. Geleneksel yöntemle, hat dışı ve hat içi sertleştirme yöntemlerinde üretilen sertliğin dağılımları	35
Şekil 3.8. Çeşitli sertlikteki perlitik rayların aşınmaya karşı artan dirençleri	36
Şekil 3.9. Standart kitapçıklarının; a) UIC 860–0, b) EN 13674-1 kapak sayfaları	37
Şekil 3.10. Standartlarda belirtilen çelik kaliteleri	38
Şekil 3.11. Tane sınırlarında izin verilen maksimum ferrit miktarını gösteren a) mikro yapı fotoğrafı ve b) diyagram	40
Şekil 3.12. Ray aşınma yüzeyinde izin verilen karbonsuzlaştırma derinliğini gösteren mikro yapı fotoğrafı	41
Şekil 3.13. Karbonsuzlaştırma kontrolleri için mantar yüzeyinde dağılım aralığı.....	41
Şekil 3.14. Sertlik testi konumları ve değerleri	42

Sayfa

Şekil 4.1. Aşınma zaman grafiği.....	44
Şekil 4.2. Adhesif aşınma.....	45
Şekil 4.3. Bakır esaslı bronz ve pirinç yataklarda kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme katsayısı- zaman diyagramı	47
Şekil 4.4. Pürüzlü sert bir yüzey veya abrasif parçacıkların bir yüzeye yapışık olması	47
Şekil 4.5. Yüzeylerden en az birinden daha sert abrasif parçacıkların iki yüzey arasında sıkışması	48
Şekil 4.6. Yorulma aşınması oluşum mekanizması	49
Şekil 4.7. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenekler.....	55
Şekil 4.8. Deney cihazlarında temas biçimleri	55
Şekil 4.9. Lastik tekerli abrasif aşınma deney cihazı şematik görünümü	57
Şekil 4.10. Abrasif aşınma deney cihazı şematik görünümü	57
Şekil 4.11. Aşındırıcı partiküllü aşınma deney cihazı	58
Şekil 4.12. Pin on Flat deney cihazı şematik görünümü.....	58
Şekil 4.13. Dört top aşınma deney aparatı	59
Şekil 4.14. Ball on Flat deney cihazı	60
Şekil 4.15. Ball on Disk deney cihazı.....	60
Şekil 4.16. Levha-kayış aşınma deney cihazı.....	61
Şekil 4.17. Silindir üstü çubuk deney cihazı şematik görünümü	62
Şekil 4.18. Plint firmasının ürettiği ilk TE -97 aşınma deney cihazı.....	63
Şekil 5.1. Sıcak haddelemenin ardından çelik mikro yapısı	64
Şekil 5.2. Uygulanan farklı ısıl işlem metotlarıyla malzeme mikro yapısı ve mekanik özelliklerinin kontrolü.....	65
Şekil 5.3. Karbon içeriğinin mikro yapı ve çekme mukavemetine etkisi	65
Şekil 5.4. Alaşımın perlit oluşumuna etkisini gösteren TTT diyagramı	66
Şekil 5.5. Sertliğin aşınma davranışı ile ilişkisi.....	67
Şekil 6.1. Ray mantarı sertleştirme düzeneği.....	70
Şekil 6.2. Mikro yapı incelemelerinde kullanılan optik ışık mikroskobu.....	71
Şekil 6.3. Numune hazırlamada kullanılan parlatma cihazı.....	71
Şekil 6.4. Numune hazırlamada kullanılan kesme cihazı.	72
Şekil 6.5. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro sertlik test cihazı.....	72
Şekil 6.6. Aşınma deneylerinde kullanılan aşınma cihazı.....	73

Şekil 6.7. Ağırlık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Precisa marka XS 220A model hassas terazi.	73
Şekil 7.1. Isıl işlem görmemiş rayın mikro yapı görüntüleri.....	75
Şekil 7.2. 800°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle a) yalnızca su, b) su+hava püskürtülerek soğutulan rayın mikro yapı görüntüleri.	76
Şekil 7.3. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle a) yalnızca su, b) su+hava püskürtülerek soğutulan rayın mikro yapı görüntüleri.	77
Şekil 7.4. 900°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle a) yalnızca su, b) su+hava püskürtülerek soğutulan rayın mikro yapı görüntüleri.	78
Şekil 7.5. Sertlik testinin ray kesiti üzerindeki konumları.	79
Şekil 7.6. 800°C’de östenitlendikten sonra sırasıyla 10, 15, 20 ve 30 saniye sürelerle a) yalnızca su, b) hava+su püskürtülerek soğutulan rayın sertlik değerleri.	80
Şekil 7.7. 850°C’de östenitlendikten sonra sırasıyla 10, 15, 20 ve 30 saniye sürelerle a) yalnızca su, b) hava+su püskürtülerek soğutulan rayın sertlik değerleri.	81
Şekil 7.8. 900°C’de östenitlendikten sonra sırasıyla 10, 15, 20 ve 30 saniye sürelerle a) yalnızca su, b) hava+su püskürtülerek soğutulan rayın sertlik değerleri.	82
Şekil 7.9. Isıl işlem görmemiş rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.	83
Şekil 7.10. 800°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle; a) yalnızca su, b) su+hava karışımı püskürtülen rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.	84
Şekil 7.11. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle; a) yalnızca su, b) su+hava karışımı püskürtülen rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.	85
Şekil 7.12. 900°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle; a) yalnızca su, b) su+hava karışımı püskürtülen rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.	86
Şekil 7.13. Ray numunelerinin 40N yük altında gördükleri ısıl işleme bağlı olarak aşınma hızlarını gösteren grafik.	87
Şekil 7.14. Isıl işlem görmemiş rayın, a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.	88

Şekil 7.15. 800°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle yalnızca su püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.	89
Şekil 7.16. 800°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle hava+su karışımı püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.	90
Şekil 7.17. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle yalnızca su püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.	91
Şekil 7.18. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle hava+su karışımı püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.	92
Şekil 7.19. 900°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle yalnızca su püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri	93
Şekil 7.20. 900°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle hava+su karışımı püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.	94
Şekil 7.21. Isıl işlem görmemiş ve 800°C’ sıcaklıkta östenitlendikten sonra hava+su karışımı püskürtülerek soğutulmuş rayların 40N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin SEM ve EDS sonuçları.	96
Şekil 7.22. 850°C ve 900°C sıcaklıklarda östenitlendikten sonra hava+su karışımı püskürtülerek soğutulmuş rayların 40N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin SEM ve EDS sonuçları.	97

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. 2010 yılı itibariyle TCDD hatlarındaki kurp dağılımı.....	2
Çizelge 2.1. Değişik Avrupa demiryolları idarelerinin 22,5 ton dingil yükü ve en az 20 milyon gross ton/yıl yük altında işleyen demiryolu hatları için kullandıkları viraj yarıçapına göre ray kalitesi seçim kriterleri çizelgesi.....	5
Çizelge 2.2. Alaşım elementlerinin çeliğin özelliklerine etkisi.....	21
Çizelge 3.1. Ray çeliğinde soğuma hızının mikro yapıya etkisi	28
Çizelge 3.2. Çeşitli soğutucuların ısı transfer hızlarının karşılaştırılması	29
Çizelge 3.3. Perlitik ve beynitik ray çeliklerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması	37
Çizelge 3.4. UIC 860–0 standardında rayların katı analiz sonuçları	39
Çizelge 3.5. EN 13674-1 standardında rayların sıvı ve katı analiz sonuçları	40
Çizelge 3.6. R350HT ray kalitesinin kimyasal analiz ve mekanik özellikleri	42
Çizelge 3.7. R350HT ray kalitesinin maksimum artık elementleri	42
Çizelge 4.1. Malzeme özelliklerinin adhesif aşınmaya etkisi	46
Çizelge 6.1. Ray numunelerine mantar sertleştirme işlemlerinde püskürtülen su ve hava değerleri ve püskürtme süreleri.....	70
Çizelge 7.1. Kullanılan rayın sıvı kimyasal analizi.	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: Karbon
Cr	: Krom
Fe	: Demir
H	: Hidrojen
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
Nb	: Niyobyum
Ni	: Nikel
O	: Oksijen
S	: Kükürt
Si	: Silisyum
V	: Vanadyum

KISALTMALAR

AISI	: Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü (American Iron and Steel Institute)
CCT	: Sürekli Soğuma Dönüşüm (Continuous Cooling Transformation)
DIN	: Alman Endüstri Normları (Deutch Industrie Normen)
EN	: Avrupa Normu (Europäische Norm)
HB	: Brinell Sertliği (Hardness of Brinell)
HRC	: Rockwell C Sertliği (Hardness of Rockwell C)
HV	: Vickers Sertliği (Hardness of Vickers)
LCC	: Kullanım Ömrü Maliyeti (Life Cycle Cost)
RCF	: Yuvarlanma Temas Yorulması (Rolling Contact Fatigue)
UIC	: Uluslararası Demiryolları Birliği (Union Internationale des Chemins de fer)
TTT	: Zaman Sıcaklık Dönüşüm (Time Temperature Transformation)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mantarı sertleştirilmiş raylar, mükemmel aşınma dayanımlarından dolayı günümüzde tercih edilmektedirler. Bu rayların bileşimlerinde ana element olarak % 72-80 arası karbon bulunur. Dünyada (ülkeden ülkeye değişiklik gösterse de); demiryollarında 2000m ve daha küçük çapa sahip virajlar, dar viraj olarak tanımlanır. Ülkemizde, mevcut demir yollarının yaklaşık % 34,2'si dar virajlı yollardan oluşmaktadır [1]. Normalde düz yollarda ray ömrü 20-25 yıl iken dar virajlı kesimlerde bu süre 2-3 yıla kadar inmektedir. Bu kısımlarda, mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılması Uluslararası Demiryolları Birliği (UIC) tarafından da tavsiye edilmektedir. Mantarı sertleştirilmiş raylar ülkemizde üretilmemekte bu sebeple tüm ihtiyaç yurt dışından temin edilmektedir. Bu çalışmanın amacı, üretiminin sayılı ülkeler ve firmalar tarafından yapılabildiği ve yapım prosesinin ticari sır olarak saklandığı mantarı sertleştirilmiş rayların üretim teknolojisinin geliştirilerek ülkemizde üretimine öncülük etmektir. TCDD'nin önümüzdeki 10 yıl içinde yaklaşık 15000 km yeni demiryolu hattı döşemeyi planladığı ve planlanan hatların % 30 kadarının aşınmanın en çok olduğu dönemeçleri (kurp) içerdiği varsayılırsa, yaklaşık 9000 km (4500km çift hat) yeni mantarı sertleştirilmiş raya gereksinim olacaktır. Bunlara, eski ve değiştirilmesi gereken ve ayrıca hızlı tren ile ağır yük hattı rayları da eklenirse bu gereksinim yaklaşık 25000 km uzunluğa ulaşmaktadır [1]. Bu kadar rayın yurtdışı yerine yurtiçinden sağlanabilmesi Türkiye için hem ekonomik ve hem de teknolojik olarak büyük kazanç sağlayacaktır.

UIC raporlarına göre yıllık aks yükü 20 milyon tondan fazla ve yarıçapı 400m'den az virajlı hatlar için mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılması öngörülmektedir [2].

Çizelge 1.1. 2010 yılı itibariyle TCDD hatlarındaki kurp dağılımı [1].

Kurp Yarıçapı Grupları (metre)	Adet	Uzunluk (km)	Tüm Hat Uzunluğuna Yüzdesi (%)
200-500	6100	1576	18,1
501-1000	2971	1031	11,8
1001-1500	457	179	2,1
1501-2000	442	192	2,2
2000'den büyük	348	122	1,4
Düz Yol		5622	64,5
Toplam	10318	8686	100,0

Bu tez çalışması kapsamında; laboratuvar ortamında mantarı sertleştirilmiş R260 kalite (EN 13674-1) rayların aşınma özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, farklı sıcaklıklarda östenitlenen raylara laboratuvar ortamında yalnızca su ya da su ve hava karışımı verilerek (püskürtülerek) uygun sertlik ve içyapının belirlenmesi sağlanmıştır. Standartlara uygun sertlik değerleri ve içyapının belirlendiği raylar, aşınma testlerine tabi tutulmuştur. Östenitleme sıcaklığı olarak 800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklar ve her bir östenitleme sıcaklığında yalnızca su ve su+hava karışımı püskürtme için 10, 15, 20 ve 30 saniye süreler denenmiştir. Isıl işlem sonrasında EN 13674-1 standardına uygun olarak yüzeyde 370 HB ve merkezde 320 HB değerlerini yakalan ısıtma işlem koşulları optimum parametreler olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda mantarı sertleştirilmiş raylara aşınma testleri uygulanmıştır. Aşınma testleri farklı yüklerde (20N ve 40N) ve farklı kayma mesafelerinde (2000m, 4000m ve 6000m) gerçekleştirilmiştir. Standartlara en uygun sertlik değerleri farklı sıcaklıklarda östenitlenen ve 20 saniye sürede su ve hava+su karışımı ile soğutulan raylardan elde edilmiştir. Aşınma deneyleri bu koşullarda mantarı sertleştirilen raylara uygulanmıştır.

BÖLÜM 2

DEMİR YOLU RAYLARI

Demiryolu rayları; değişken yükler altında, yüksek zorlamaları, üzerinde oturduğu malzemeye ileten bir yapı elamanıdır [3]. Demiryolu sektörü; ister özel ister kamu olsun, hepsi bakım ve işletme maliyetlerini düşürmek için çaba gösterir. Öyle ki bu maliyet çalışmaları (LCC-life cycle cost) satın alma proseslerinin temelini oluşturur. Aynı zamanda demiryolları sektörü, üretim ve demiryolu hatlarının uygunluk özelliklerini de geliştirmek zorundadırlar. Bu gereksinimleri karşılamak için en başta yolcu trenleri daha yüksek hız ve frekanslarda çalışırlar. Tüm bunlar; 1990'lı yılların en önemli sorunları arasında olan, sürekli ağır yükler, aşınmada artış ve yuvarlanma temas yorulması (RCF-rolling contact fatigue) gibi kusurların ortaya çıkmasına yol açmıştır.

Demiryolu sektörü sürekli olarak hem uzun servis ömrü sunan, hem de az bakım gerektiren, böylelikle işletme maliyetlerini gözle görülür biçimde düşüren, geliştirilmiş özellikte demiryolu hatlarının arayışındadır. Bu sebeptir ki; mümkün olan en uzun servis ömrü ve en az bakım gereksinimi sunan perlitik ve beynitik ray çelik kaliteleri geliştirilmiş ve geliştirilmektedir.

Bu konuda bir başka aşama ise üreticilerin müşterileriyle iş birliği içerisinde gerçekleştirdiği demiryolu hat testleridir. Genel olarak izlenen yol; söz konusu rayların, performanslarını ölçmek ve değerlendirmek amacıyla, farklı yükler altında değişik test bölgelerinde konumlandırılmalarıdır. Sonraki kritik adım rayların ve demiryolu hatlarının performanslarının ekonomik perspektiften değerlendirilmesidir. Yeni teknolojilerin demiryolu standartları ve şartnamelerinde yer bulabilmesi için; hat performansı, maliyet ve güvenlik kriterlerinde mevcut teknolojiye üstünlük sağlaması gerekmektedir.

Avrupa genelinde yapılan testlerde, mantarı sertleştirilmiş R350HT kalitedeki ray çeliği, R260 ray çeliğine göre yaklaşık ortalama 3 kat aşınma direncine sahip olduğu gözlenmiştir. 370 HB veya 400 HB üzerinde daha yüksek sertlikteki çeliklerin aşınma direnci, artan sertlikle birlikte yükselir. Bu sebeple R350HT kalite raylar ağır yük uygulamalarında tercih edilmektedir.

Yapılmış olan testler ışığında, ray çeliğindeki sertlik artışı, daha yavaş çatlak yayılma-büyüme-ilerleme oranını beraberinde getirmiştir. Yine en çok kullanılan iki ray çeliği olan R260 ve R350HT kaliteleri göz önüne alındığında, yuvarlanma temas yorulması da aşınma gibi benzer özellikler göstermiş, ancak mantarı sertleştirilmiş raylarda bu, yaklaşık 3 katı daha iyi özellik göstermiştir. Özellikle beynitik ray çelikleri de yüksek yuvarlanma temas yorulması ve aşınma direncini sağlamakla birlikte günümüzde geliştirilmeleri yönündeki çalışmalar halen sürmektedir [4].

Yapılan spesifik araştırmalara göre; mantarı sertleştirilmiş raylar, çok daha iyi aşınma ve yuvarlanma temas yorulması dirençleri sayesinde dikkate değer derecede daha az bakıma ihtiyaç duymaktadır. Yapılan taşlama (grinding) testlerine göre R350HT ray çelikleri için, R260 ray çelikleri ile karşılaştığında kılcal mantar çatlaklarının uzaklaştırılması için yarısı kadar taşlama pasosu yeterli olmaktadır. Sabit taşlama aralıklarında yüzeyden uzaklaştırılması gereken materyal miktarı, R350HT ray çeliklerinde çok daha az olmaktadır.

Almanya'da Voestalpine Schienen firmasının öncülüğünde; Gregor Girsch, Norbert Frank tarafından; 1400 m çap ve orta hız bir hat üzerinde, aşınma ve yuvarlanma temas yorulmasının geliştirme özellikleri baz alınarak yürütülen araştırma sonuçlarına göre R260 ray çeliklerinin servis ömrü yaklaşık 13 yıl olarak hesaplanmıştır. Sahip oldukları düşük hasar oranları ve daha düşük taşlama frekansları sayesinde ısıtılmış çelikler ile 45 yıldan daha fazla servis ömrüne ulaşılmıştır. Demiryolu hatlarının, uluslararası kriterlerde baz alınan 40 yıl servis ömürleri göz önüne alındığında R260 kalite rayların yaklaşık olarak 2 kez değişmesi gerekmektedir. Isıtılmış tüm çelikler söz konusu 40 yıllık servis ömrüne kolaylıkla ulaşabilmektedir.

Sonuç olarak servis ömürleri açısından yüksek mukavemetli ray çelikleri kayda değer bir artış sağlamaktadır. Ray sertliğine bağlı olarak aşınma ve yuvarlanma temas yorulması direncindeki gelişme faktörleri R260 ray çeliğiyle karşılaştırıldığında 3 ila 8 kat daha fazla olmaktadır [4].

Dünya ülkelerinde ve ülkemizde temel ve ağırlıklı olarak 900 A (UIC 860-O) ve/veya eşdeğeri R260 (EN 13674-1) kalite ray kullanılmaktadır. Mantarı sertleştirilmiş, R350HT (EN 13674-1) kalite raylar, söz konusu raylara (R260) göre çok daha yüksek aşınma ve yuvarlanma temas yorulması direncine sahip olduğundan dolayı özellikle dar kurplar (dönemeç) ve ivmelenme bölgeleri gibi hızlı aşınma görülen yerlerde mantarı sertleştirilmiş rayların kullanılmasına ihtiyaç vardır. Günümüzde, Avrupa ülkelerinin büyük çoğunluğu, 800 metreden küçük yarıçapa sahip hatlarda mantarı sertleştirilmiş ray kullanılmaktadır.

Çizelge 2.1. Değişik Avrupa demiryolları idarelerinin 22,5 ton dingil yükü ve en az 20 milyon gross ton/yıl yük altında işleyen demiryolu hatları için kullandıkları viraj yarıçapına göre ray kalitesi seçim kriterleri çizelgesi [5].

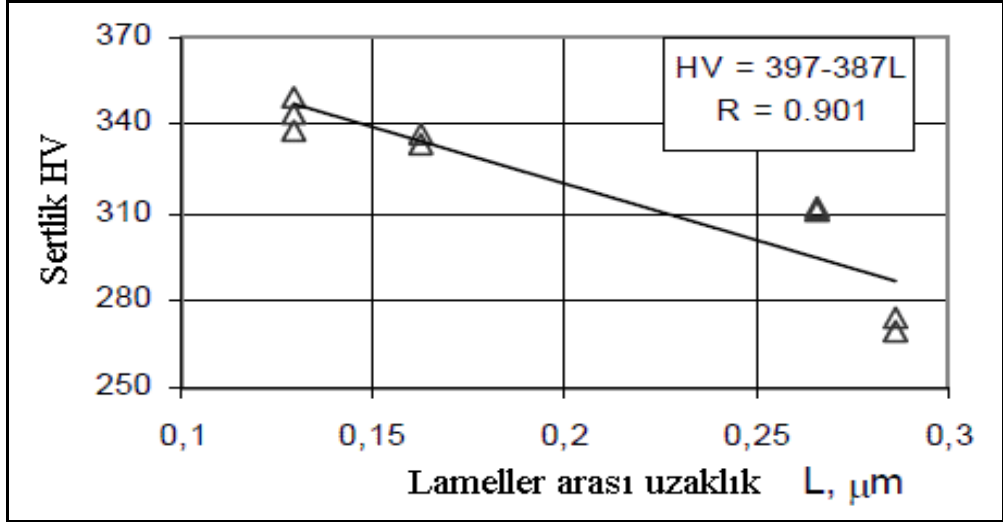
Radius [m]	≤ 300	≤ 400	≤ 500	≤ 600	≤ 700	≤ 800	≤ 1500	≤ 3000	> 3000	
UIC	R350HT		R350HT/R260			R260				
DB	R350HT (≥ 30.000 t/d)					R260				
DB new	R350HT (≥ 50.000 t/d)							R260		
CH	R350LHT		R350LHT/R320Cr			R320Cr R350LHT	R260			
CH (pro- posal)	R370CrHT		R350LHT		Bainite up to 1200 m		R260			
AT	R350HT	R260								
SWE	R350HT	R260								
SWE (HH)	R350HT							R260		
NOR	R350HT					R260				
UK	R260									
IT	R260									
BE LUX	R350HT					R260				
NL	R350HT R370CrHT	R370CrHT					R370CrHT		R260	
DK	R350HT					R260				
PL	R350HT					R260				
H	R350HT					R260				
RO	R350HT					R260				

Karbon-mangan çeliklerinden yapılan ray çeliklerinin dayanıklılığı, özellikle izotermal tavlama süresindeki perlit morfolojisiyle olmak üzere kontrollü perlitik mikro yapı sayesinde sağlanabilmektedir. Bu termal işlem, perlit kolonilerinin boyutlarında küçülme ve sementitteki lameller arası uzaklıkta azalma ile sonuçlanır.

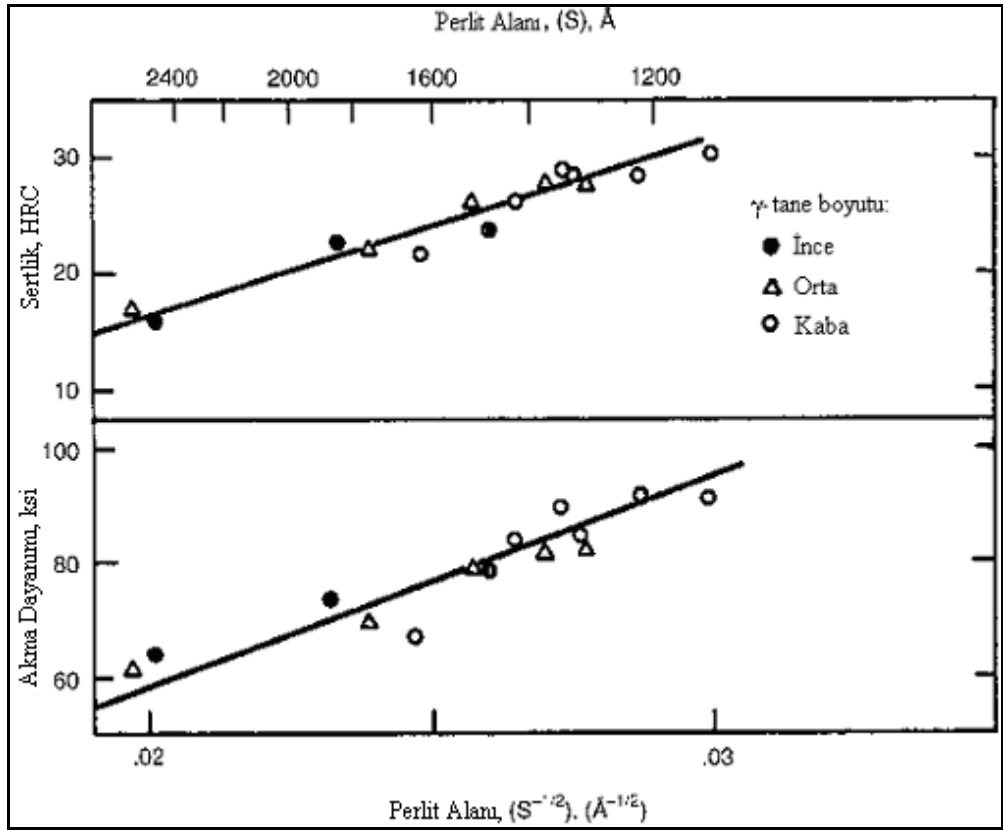
Daha önce de belirtildiği gibi dünyada rayların üretimi için temel materyal, perlitik yapıdaki R260 kalite ray çeliğidir. Raydaki artırılmış karbon içeriği mukavemet özelliklerini artırmaktadır. Aynı zamanda mangan, perlitik dönüşüm noktasının düşmesine sebep olup küçülmüş perlit kolonilerinin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu çelikler, ana elementler ve düşük oranda alaşım elementleri yönünden kararlı, yüksek metalürjik saflığa sahip, özellikle hidrojen (2,5 ppm'den az) ve oksijen (20 ppm'den az) olmak üzere düşük gaz konsantrasyonuna sahiptir.

Perlitik yapıyla beraber yeterli süneklığe sahip çeliklerin yüksek mukavemet ve sertliğe ulaşmaları; östenitleme aralığından perlitik dönüşüm noktasına (620-520°C) kadar kontrollü soğutulması ve benzer sıcaklıkta östenitin tamamen bozununcaya kadar tutulmasıyla sağlanır. Perlitik dönüşüm kinetikleri, ray çeliklerinin perlitik özelliklerini belirler. Dönüşüm kinetikleri, çeliğin kimyasal kompozisyonuna, soğutma hızına ve dönüşüm başlangıç anındaki östenit tane boyutuna bağlıdır. Düşük dönüşüm sıcaklığı, yüksek ilerleme hızı demektir. Soğutma derecesinin yüksekliği, sırasıyla ferrit ve sementitten oluşan lamel dizilişte daha ince koloniler anlamına gelmektedir. Perlitik dönüşüm sıcaklığındaki düşüş, lameller arası mesafede azalmayla sonuçlanır. Akma noktası, çekme mukavemeti ve sertlik artarken sementit lamellerinin kalınlığı azalmaktadır.

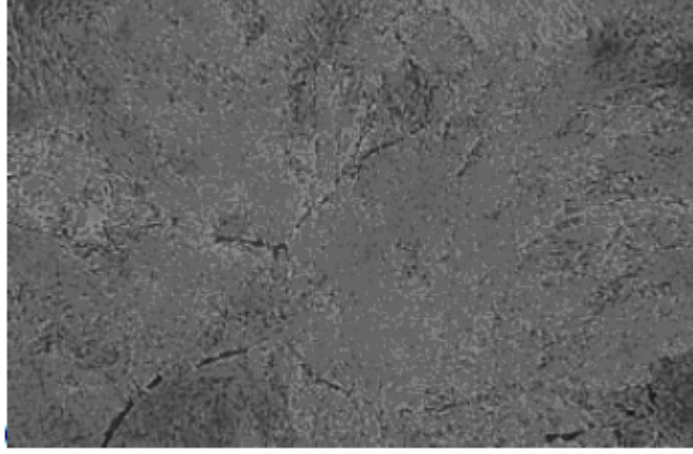
Son özellik, abrasif aşınma direnciyle bağlantılıdır. Lameller arası mesafedeki azalma ray aşınma şiddetinde düşüş anlamına gelmektedir (Şekil 2.1). Aynı zamanda östenit tane boyutu malzemenin mekanik özellikleriyle ters orantılı bir davranış sergilemektedir (Şekil 2.2). Perlitik ray çeliklerinde aşınmaya karşı direnç, direk olarak sertlikle doğru orantılıdır.



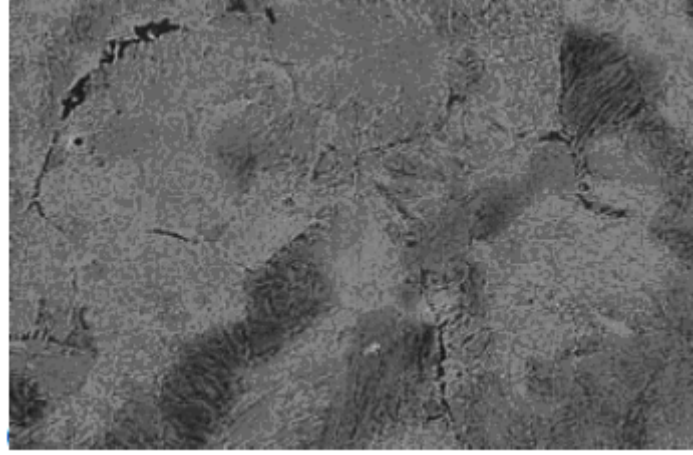
Şekil 2.1. Lameller arası uzaklığın sertlikle ilişkisi [6].



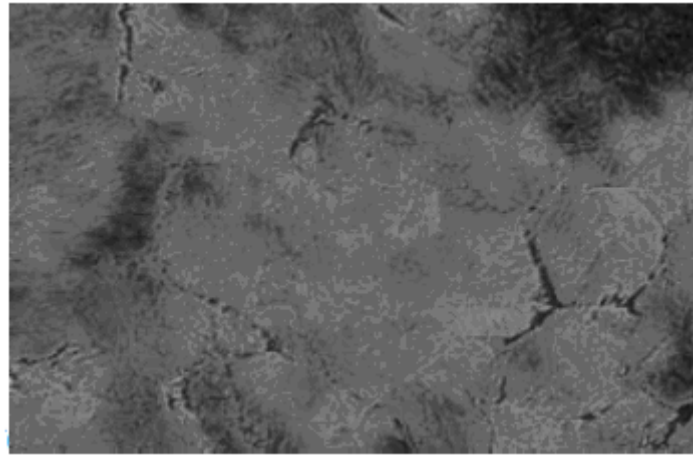
Şekil 2.2. Östenit tane boyutunun akma dayanımı ve sertlikle ilişkisi [6].



(a)



(b)



(c)

Şekil 2.3. İzotermal tavlama sonrası a) 620°C, b) 570°C, c) 520°C sıcaklıklarda çelik mikro yapısı [6].

Yapılan mekanik testler sonrasında izotermal dönüşüm sıcaklığını düşürmek lameller arası uzaklığın düşmesine ve sertliğin artmasına sebep olmaktadır. En yüksek sertlik (350 HB) ve aynı zamanda sementitin en düşük lameller arası uzaklığı 520°C dönüşüm sıcaklığında elde edilmiştir (Şekil 2.3).

Yapılan testlerden elde edilen sonuçlara göre; ray çeliğindeki abrasif aşınma, mekanik özelliklerde belirleyici etkiye sahip olan perlit morfolojisiyle kesinlikle bağlantılıdır. En yüksek aşınma sıcak haddelenmeden sonra, en yüksek aşınma direnci izotermal tavlama sonrası gözlenmiştir. Lameller arası uzaklık ne kadar küçükse sertlik ve aşınma direnci o kadar fazladır.

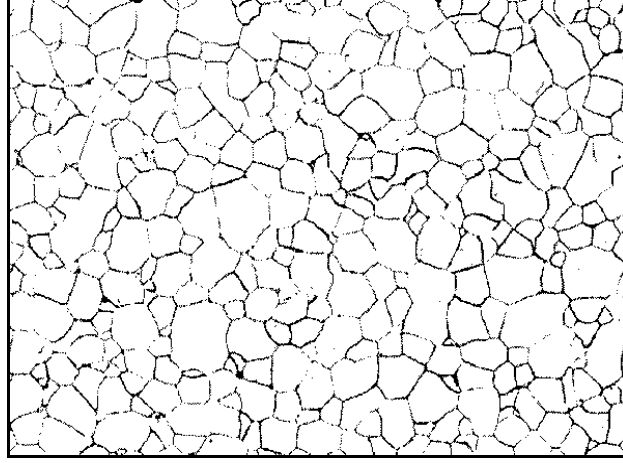
520-620°C sıcaklık aralığında izotermal tavlama sonrasında mikro yapı, haddelenmiş durumdaki ile ilişkili şekilde, perlit koloni boyutlarında azalma, daha düşük lameller arası uzaklık ve daha küçük sementit lamel kalınlığı ile karakterize edilmiştir. İzotermal tavlama sıcaklığının düşürülmesi, lameller arası uzaklıkta düşüşe ve çelik sertliğinde artışa sebep olmaktadır. 0,12 – 0,13 µm lameller arası uzaklık, yaklaşık 340-350 HB sertliği sağlamaktadır. Bu yapı, 800°C östenitleme sıcaklığından, 20-30°C/sn soğutma hızında 520-550°C izotermal tavlama sıcaklığına soğutulması sonucu elde edilebilir [6].

2.1. ÇELİKLERDE GÖRÜLEN FAZLAR

Çelik malzemeler sahip oldukları C miktarına, buldukları sıcaklıklara ve uygulanan çeşitli işlemlere bağlı olarak ferrit, östenit, sementit, perlit, δ-ferrit, beynit ya da martenzit gibi fazların birini ya da bir kaçını içerebilmektedirler.

2.1.1. Ferrit

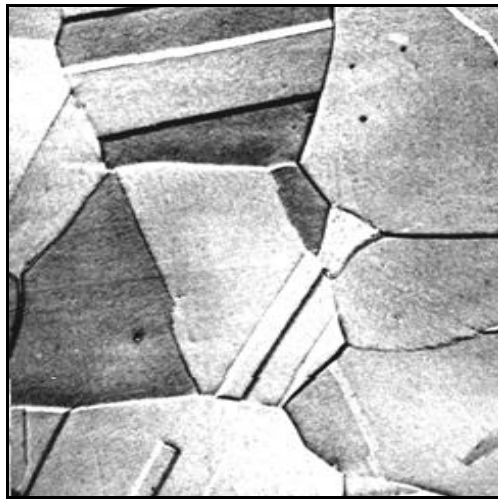
Ferrit fazı, kübik hacim merkezli (KHM) kafes yapısına sahiptir. Ferritin oda sıcaklığındaki karbon çözünürlüğü % 0,006, 723°C'deki karbon çözünürlüğü ise % 0,02'dir.



Şekil 2.4. Ferrit yapısı [7].

2.1.2. Östenit

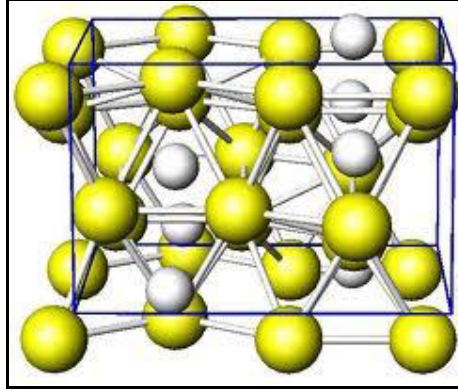
Östenit fazı, kübik yüzey merkezli (KYM) kafes yapısına sahiptir. 723°C'deki karbon çözünürlüğü ise % 0,8'dir. Maksimum karbon çözünürlüğü ise % 2,06'dır. Çeliklerin sertleştirilmesi işleminde, östenitleştirme aşamasında elde edilen östenit fazının tane büyüklüğü, ısıl işlem sonrası elde edilecek olan malzeme özellikleri üzerinde belirleyici rol oynar. Östenit tane büyüklüğünü; malzemenin kimyasal bileşimi, östenitleştirme sıcaklığı, yapı içerisinde yer alan safsızlıkların miktarı, ısıtma, bekleme ve soğutma süreleri etkiler [8].



Şekil 2.5. Östenit yapısı [7].

2.1.3. Sementit

Sementit, ortorombik kafes yapısına sahip olan intermetalik (metaller arası) bir fazdır. İntermetalik faz yapısında 3 Fe atomu 1 C atomu ile birleşerek sementit yapısını oluşturur. Sert ve kırılğan bir yapıdır. Sementitin karbon çözünürlüğü % 6,67'dir [8].



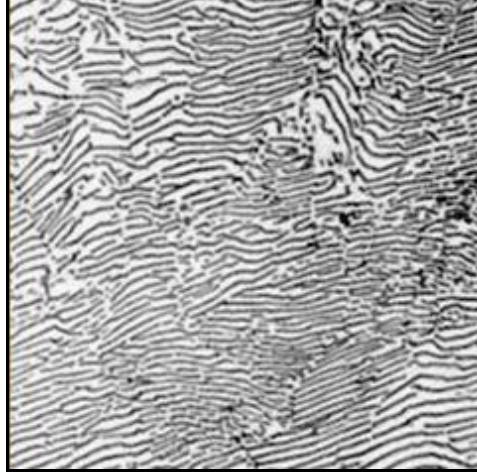
Şekil 2.6. Sementit kafes yapısı [7].

2.1.4. δ -Ferrit

δ -ferrit, α -ferrit yapısı gibi kübik hacim merkezli küp (KHM) kafesine sahiptir. Fakat kafes parametresi, α -ferritin kafes parametresine göre daha büyüktür. 1495°C'de karbonun, δ -ferritindeki çözünürlüğü % 0,09'dur.

2.1.5. Perlit

Perlit, östenitin ötektoid dönüşüm mekanizması ile ferrit ve sementite parçalanması ile oluşan ötektoid dönüşüm ürünüdür. Parçalanma, 723°C'de, % 0,8 C içeren bileşimde gerçekleşir. Ötektoid dönüşüm ile meydana geldiği için, perlit oluşumu sırasında sıcaklık sabittir. Perlit oluşumu sırasında, östenit kafesinin içerdiği karbon atomları tane sınırlarına doğru hareket eder. Tane sınırlarında demir atomları ile birleşen karbon atomları sementit yapısını oluştururken, karbonca fakirleşen KYM yapısındaki östenit, KHM yapısında ferrite dönüşür. Bu dönüşüm sonucunda lameller şeklinde dizilmiş olan ferrit ve sementit fazları perlit yapısını oluşturmuş olur [8].

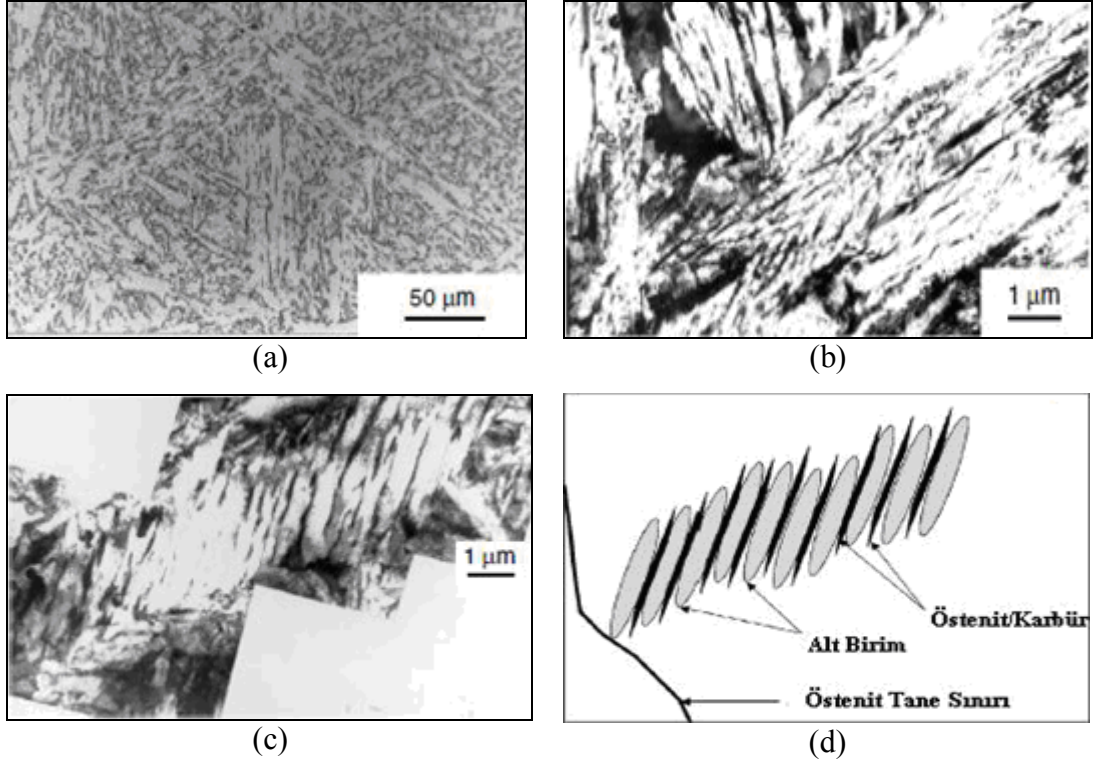


Şekil 2.7. Perlit yapısı [7].

2.1.6. Beynit

Beynit, östenit fazından izotermal dönüşüm sonucunda oluşan yapıdır. Beynit oluşumu iki ayrı oluşum teorisi ile açıklanmaktadır. İlk oluşum teorisine göre, östenit fazından çekirdeklenen ferrit ve sementit, beynit yapısını oluşturur. Lamel yapılı olmayan fazda, ferrit taneleri arasında yer alan sementitler bulunur. Yapının oluşumu ve büyümesi karbon difüzyonu ile gerçekleşir. Diğer oluşum teorisine göre ise, ikizlenme ve kayma mekanizmaları ile aşırı doymuş ferrit kristallerine sahip beynit yapısı oluşur [8].

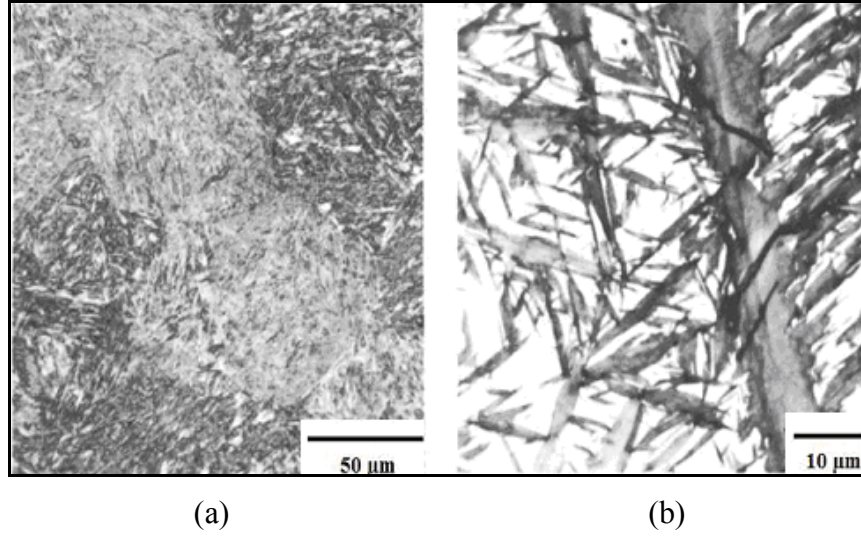
Beynit oluşumunda, anlatılan oluşum teorilerinin her ikisi birlikte yürümektedir. Perlit oluşum sıcaklığının hemen altındaki sıcaklıklarda oluşan beynit yapısında, ilk oluşum teorisi baskındır. Bu nedenle, östenit tanelerinden çekirdeklenmiş ferrit ve küresel sementit yapıları, beynit mikro yapısını oluşturur. Bu yapı üst beynit olarak adlandırılır. Martenzit başlama sıcaklığının (M_s) hemen üzerindeki sıcaklıklarda oluşan beynit yapısında ise ikinci oluşum teorisi baskındır. Bu nedenle, oluşan beynit yapısını ikizlenme ve kayma teorisine göre oluşmuş aşırı doymuş ferrit kristalleri ve bu kristaller arasında yer alan sementit fazı oluşturur ve yapı alt beynit olarak adlandırılır [9].



Şekil 2.8. Beynit yapısının; a) Optik mikroskop görüntüsü, b) TEM görüntüsü, c) TEM'de alınmış beynit demetleri görüntüsü d) Beynit çekirdeklenmesinin ve büyümesinin şematik görüntüsü [10].

2.1.7. Martenzit

Martenzit yapısı, östenit fazından kayma ve ikizlenme yapısı ile oluşmuş aşırı doymun bir fazdır. Martenzit oluşumu, hızlı soğuma ile elde edilen denge dışı soğuma ile oluşturulur. Martenzit başlama sıcaklığında (M_s) başlayan martenzit dönüşümü, martenzit bitiş sıcaklığı (M_f) ile sonlanır. Martenzit oluşumuna dair iki teori bulunmaktadır. İlk teori atermal (ısılı olmayan) teoridir. Bu teoriye göre martenzit oluşumu zamandan bağımsızdır ve oluşum için gerekli aşırı soğuma (ΔT) şartının sağlanması yeterlidir. Diğer teori ise izotermal dönüşüm teorisidir. M_s sıcaklığının, oda sıcaklığının altına düştüğü durumlarda izotermal dönüşüm teorisine göre dönüşüm meydana gelir. Malzemenin sahip olduğu karbon oranına göre, oluşan martenzitin başlama ve bitiş sıcaklıkları değişmektedir. Artan karbon miktarıyla birlikte M_s ve M_f sıcaklıkları düşer. Yaklaşık % 0,6'dan fazla karbon içeren çeliklerin M_f sıcaklıkları 0°C 'nin altına düşer. Bu nedenle, % 0,6'dan fazla karbon içeren çeliklerin hızlı soğutulmasında martenzit ile birlikte artık östenit oluşur.



Şekil 2.9. Martenzit mikro yapıları; a) Çıta martenzit, b) Tabakalı martenzit. [11,12].

Hızlı soğuma sonucunda oluşan martenzit yapısı, malzemenin içerdiği karbon miktarına bağlıdır. Düşük karbonlu çeliklerde, karbon miktarı yüksek gerilme alanlarının oluşumu için yeterli değildir. Bu sebeple, çıta martenzit adı verilen yapı oluşur. Çıta martenzit, % 0,6 karbon oranına kadar varlığını korur. % 0,6 ile % 1,0 karbon arasında karbon içeren çeliklerde ise çıta martenzit ve tabakalı martenzit bir arada bulunur. % 1'den daha fazla karbon içeren çeliklerde ise çıta martenzit yapısı görülmez ve oluşan martenzit yapısı, tabakalı martenzittir [9].

2.2. RAYDAN BEKLENEN ÖZELLİKLER

1. Yüksek aşınma ve yorulma direnci
2. Yüksek sıkıştırma direnci
3. Yüksek akma dayanımı, çekme mukavemeti ve sertlik
4. Yüksek gevrek kırılma direnci
5. İyi kaynaklanabilirlik
6. Yüksek saflık derecesi
7. İyi yüzey kalitesi
8. Profilin düzlüğü ve kurallara uygunluğu
9. İmalat sonrası düşük kalıntı gerilim
10. Gerekli hızda ve tasarlanan aks yükünü taşıma

Kısaca özetleyecek olursak;

1. Raylar; trenin ivmelenmesi ve yavaşlaması esnasında, lokomotif tekeri tarafından meydana getirilen, mekanik kuvvetlere (dikey, yanal yük) karşı dirençli olmalıdır.
2. Raylar; ortam sıcaklığının nötrden veya rayın yüksüz sıcaklığından farklı sıcaklıklara değişmesinin sebep olduğu termal kuvvetlere karşı dirençli olmalıdır. Bu kuvvetler sıcaklığın, yüksüz sıcaklığın altında ya da üzerinde olmasına bağlı olarak ortaya çıkan çekme ve basma kuvvetleridir. Ray prosesinin dizaynında, eğme ve boyuna gerilimler önemli rol oynamaktadır. Ray yorulmasına sebep olan bakım prosesinde en önemli faktör temas gerilimleridir.
3. Ray kullanım ömrü, aşınma hadisesinin temel ilkeleriyle açıklanır, bu yüzden materyal daha düşük aşınmayı sağlayacak kadar sert olmalıdır. Kusurlar; enine, boyuna, orta bölge (web bölgesi), yüzey v.b. bölgelerinde olur ve temel olarak buna üretim prosesi etki eder. Bu kusurlar, üretim boyunca kusursuz üretim prosesiyle kontrol edilebilir.
4. Ray mantarında kabuklanma, ray mantarında yorulma, raylarda katlanma gibi servis kusurları, son günlerde üzerinde çalışılan problemlerdir [13].

2.3. RAYIN ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

2.3.1. Kimyasal Analiz

2.3.1.1. Karbon

Demirin yapısında Fe_3C halinde bulunan karbon, mekanik özellikleri belirleyen en önemli elementtir. Karbon, çelikte demir karbür şeklinde bulunur. Karbon ve ferritin bu bileşiği de sementit diye adlandırılır. Oda sıcaklığında, normalize edilmiş sade karbon çeliklerinde, ötektoid bileşik diye adlandırılan % 0,8'e kadar karbon içeriğine kadar, karbür ve ferrit, perlit adıyla adlandırılan birbirini izleyen lamelli yapıyı meydana getirir (silis, mangan gibi elementlerde α Fe - alfa ferrit katı çözelti formundadır). % 0,8 karbon içeriğinde yapının tamamı perlitiktir. Daha düşük karbon

içeriklerinde; normalize edilmiş yapı, serbest halde ferrit bölgeleriyle daha düşük oranda perlitik yapı meydana getirirler. % 0,8 karbon içeriğinin üzerinde tane sınırlarında ince iğnemsî yapıda serbest sementit oluşur, bazen de perlit tanelerinin içerisinde iğnemsî yapıda çökler. % 0,8 oranının az üzerine kadar karbon; sertliği, akma noktasını ve çekme mukavemetini artırır. Bu artışları, perlitik yapıyı artırarak yapar. Ancak bu artışlara, uzama ve süneklik özelliklerinde azalma eşlik eder. γ Fe - Gama ferrit (östenit), karbon için yüksek çözünürlüğe sahiptir. 1130°C'de maksimum çözünürlük % 2 iken, ferritin oda sıcaklığındaki allotropik yapısı olan α Fe - alfa ferritin çözünürlüğü % 1'in altına iner. Karbonun çözünürlüğündeki bu fark, çeliğe uygulanacak ısı işlemin seçiminde temel özellik niteliğindedir. Örneğin, çeliğin östenit aralığına ısıtılmasıyla karbon, katı çözeltinin içine alınır. Sonrasında uygulanan soğutma işlemi, karbonu sementit yapıda çökeltir. Yükselen soğutma oranları ince sementit ve ferrit oluşumuna sebep olur. Sementitin incilmesiyle sertlik, akma noktası, çekme noktası artar ancak süneklikte de azalma meydana gelir. Eğer soğutma hızı belirli bir değeri aşarsa karbon, doymuş çözelti halinde alfa ferritin içerisinde kalır. Bu yapının adı martenzit yapı diye adlandırılır ve materyal bu karbon içeriği için çok sert ve gevrek olur.

Özet olarak karbon oranındaki artış, çekme mukavemeti ve sertlikte artış, süneklikte azalmayla sonuçlanır ve ısı işleme çok duyarlıdır. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen karbon konsantrasyonu % 0,60 ile % 0,80 aralığındadır.

2.3.1.2. Mangan

Mangan, oksijene afinitesi demirden daha yüksek olduğundan sıvı çeliği deokside etmek için kullanılır. Bu element aynı zamanda çelikte bulunan kükürdü bağlayarak bileşik oluşturur (MnS). Eğer kükürt, yetersiz mangan ihtivasi sebebiyle MnS olarak çelikte bulunmaz ise demir sülfür (FeS) fazında tane sınırlarında çökler. Demir sülfür yapısı düşük ergime noktasına sahip olup bu özelliği ile çeliği, zorlama neticesinde kırılmaya müsait (sıcak yırtılma) hale getirir. Bunun bir başka manası da yeterli konsantrasyondaki mangan, sıcak yırtılmanın önlenmesinde de kullanılır. Mangan eğer yeterli konsantrasyondan fazla bulunursa, her sıcaklıkta, ferrit içerisinde katı çözelti halinde bulunur. Bir kısmı da karbonla birleşerek demir karbür

gibi karbür bileşimi oluşturup birlikte çökerek kompleks karbür yapısını oluşturur. % 0,8 oranının üzerinde olduğunda, manganın çeliğin özelliklerine etkileri, süneklikte azalma olmadan daha yüksek çekme mukavemeti ve daha iyi sertliktir. Normalize edilmiş çeliklerde daha ince perlit ve daha ince taneli yapı oluşumunu artırır. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen mangan konsantrasyonu % 0,80 ile % 1,30 aralığındadır.

2.3.1.3. Silisyum

Silisyumun oksijene afinitesi çok yüksektir. Bu yönüyle mangandan daha iyi bir deoksidayon malzemesidir. Silikat yapıda bileşikler halinde, çelik matrisinde çok küçük inklüzyonlar halinde bulunur. Ancak en yüksek payı, tüm sıcaklıklarda ferrit içerisinde katı çözelti halinde bulunmasıyla alır. Malzemenin mekanik özelliklerine bir etkisi yoktur. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen silisyum konsantrasyonu % 0,10 ile % 1,10 aralığındadır.

2.3.1.4. Fosfor

Fosfor çelikte zararlı bir elementtir. Çelikte soğuk yırtılmaya sebep olur. Örneğin çeliği gevrek yapar ve soğuk çalışma esnasında çatlak oluşumundan sorumludur. Bu sebeple çoğu çelik cinslerinde fosfor oranı % 0,05 ile sınırlandırılmıştır. Fosfor, çeliğin katılaşması esnasında büyük bir alanda toplanır. Segregasyon, çeliğin katılaşmasına bağlı olarak, en son katılaştığı yerde düşük katılaşma noktasına sahip fosforca zengin metal oluşumuna sebep olur. Segregasyon parçaları, bu sebeple daha düşük sünekliğe sahiptir. Gevrekleşme etkisi sebebiyle, fosfor içeriğindeki kısıtlama yüksek karbonlu çeliklerde (daha az sünekliğe sahip olduğu için) düşük karbonlu çeliklere göre daha fazladır. Ayrıca, statik yüke maruz kalacak parçalarda, dinamik gerilmelere maruz kalacak parçalara nazaran daha fazla fosfor içeriği tolere edilebilir. Fosfor oranı geleneksel çeliklerde % 0,07, kaliteli çeliklerde % 0,05 ve yüksek kaliteli çeliklerde de % 0,04 ile sınırlandırılmıştır. Fosfor; çekme mukavemetini, sertliği ve akma dayanımını artırırken darbe mukavemetini çok şiddetli bir biçimde düşürür. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen silisyum içeriği % 0,035 ile sınırlandırılmıştır.

2.3.1.5. Kükürt

Fosfor gibi yapıda istenmeyen bir diğer elementtir. Malzemenin tokluğunu ve sünekliğini olumsuz etkilediğinden ve kaynak kabiliyetini düşürdüğünden otomat çelikleri hariç çeliklerde bulunması istenmez. Kükürt, demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Bu faz, düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılma sebepleri olur. Yukarıda da bahsedildiği gibi mangan elementinin kükürdü bağlama özelliğinden yararlanılarak bu olumsuz etkiden korunabilir. Sadece talaşlı şekillendirilmeye uygun otomat çeliklerinde kükürt miktarı yüksek tutulur [14]. Kaynak gerektiren çeliklerde aşırı oranda MnS inklüzyonları, kaynak esnasında porozite oluşumuna sebep olduğundan % 0,06'dan fazla kükürt oranına izin verilmez. Ayrıca inklüzyonların varlığı, özellikle değişken yükler altında kullanılan çeliklerde yorulma mukavemetini düşürür. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen kükürt içeriği genelde % 0,025 ile sınırlandırılmıştır [13].

2.3.1.6. Oksijen

Oksijen çelik için zararlı bir element olarak bilinse de, aynı zamanda çelik yapımı esnasında kullanılmaktadır (örneğin kaynar çelik, yarı öldürülmüş ve öldürülmüş çeliklerde). Oksijenin çekme ve mukavemete etkisi yoktur, ancak sertliği çok az derecede artırır, süneklik ve darbe direncini de azaltır. Oksijen içeren düşük karbonlu çelikler yaşlanma sertleşmesine duyarlıdır. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen oksijen içeriği genelde 20 ppm ile sınırlandırılmıştır.

2.3.1.7. Azot

Azot çelik içerisine ergitme fırınlarında kullanılan hava ile girer. Azot çelik içerisinde nitrit (Fe_4N) fazında bulunur ve çeliği yaşlanma sertleşmesine hassas hale getirir. Aynı karbon konsantrasyonuna sahip çeliklerde azot oranının fazlalığı aşınma direncinde artışa sebep olur. Ancak yine de kırılma sebepleri olması ve eğme özelliklerini kötüleştirilmesi nedeniyle istenmeyen bir elementtir. Atom çapının çok küçük olması nedeniyle yapıdan uzaklaştırmak oldukça zordur. Yalnız kübik yüzey

merkezli kafes yapısında çözünlüğü çok yüksek olduğundan γ sahasını genişleten elementlerdendir [14]. Çeliğin içindeki % 0,007-0,009 oranındaki azot, rayın soğuşa karşı direncini artırır. Örneğin, Kuznetsky Çelik fabrikasında üretilen çeliklerde azot miktarının % 0,003'ten % 0,008'e çıkması ile -60°C 'de tokluk değerinin 2,5 kat arttığı tespit edilmiştir [15]. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen azot konsantrasyonu genelde 1,6 ppm ile sınırlandırılmıştır.

2.3.1.8. Hidrojen

Hidrojen çelik içerisine ergitme ve tasfiye etme işlemleri esnasında girer. Hidrojen oda sıcaklığında çelik içerisinde çözünmez ve düşük karbonlu çeliklerde eğer soğutma müddetince uzaklaşmasına yetecek zaman verilirse herhangi bir zararı yoktur. Soğutma işlemi çok hızlı olursa çok kalın kesitte, yüksek karbonlu ve alaşımlı çeliklerde hidrojen gevrekliği veya parçalanma çatlağı gibi çok küçük iç çatlaklara sebep olur. Azottan daha tehlikelidir. Malzemenin elastikiyetini azaltır [14]. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen hidrojen konsantrasyonu genelde 2,5 ppm ile sınırlandırılmıştır [13].

2.3.1.9. Krom

Krom, perlitin hem ferrit hem de sementit fazında katı çözeltili mukavemeti sağlar [16]. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir. Karbon ile tane sınırlarında biriken Cr_{23}C_6 bileşimini oluşturur [13].

2.3.1.10. Molibden

γ karışık kristal bölgesini daraltan bir alaşım elementi rolü üstlenmesi nedeniyle östenitleme esnasında tane büyümesini önlemektedir. Sertleşebilme kabiliyetini artırır ve meneviş gevrekliğini giderir. Kullanım alanında yüksek sıcaklıklara kadar ısınan çeliklerde meneviş gevrekliği riski doğmaktadır. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarak molibden kullanılır [14].

2.3.1.11. Vanadyum

Dönüşüm süresince perlit içindeki ferrit fazının mukavemet ve sertliğini artırmak için artık karbonla birleşerek vanadyum karbür bileşimini oluşturur. Vanadyum, sürekli sementit ağı yapısını önlemek amacıyla, karbon için demirle mücadele eder [16]. Vanadyum, tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Ayrıca sertleşebilme kabiliyetini artırır, sıcakta çalışan çeliklerde ikinci sertleşmede de olumlu etkileri vardır. Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile mikro alaşımlı çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir.

2.3.1.12. Niyobyum

γ karışık kristal sahasını daraltan alaşım elementleri içerisinde yer almaktadır ve mikro alaşımlı çeliklerde kullanılan tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir [14].

2.3.2. Soğutma Kontrolü

Perlitik çeliklerde mekanik özellikler, sementit lamelleri arasındaki uzaklık, kalınlık ve tane boyutuyla yönetilir. Lamellerin kapladığı alanın; akma dayanımı, çekme mukavemeti ve bu alanın kontrolü üzerindeki etkileri, izotermal reaksiyonlar ile kontrol edilir. Aynı çeliğe ait mikro yapılar, karbonun östenit içerisinde difüzyonuna bağlı olarak değişik soğuma oranlarına bağlıdır [13].

Çizelge 2.2. Alaşım elementlerinin çeliğin özelliklerine etkisi [17]

ALAŞIM ELEMENTLERİ	SERTLİK	MUKAVEMET	AKMA NOKTASI	UZAMA	KESİT BÜZÜLMESİ	DARBE DİRENCİ	ELASTİSİTE	YÜKSEK SICAKLIĞA DAYANIM	SÖĞÜMA HIZI	KARBÜR OLUŞUMU	AŞINMA DİRENCİ	DÖVÜLEBİLİRLİK	İŞLENİLEBİLİRLİK	OKSİTLENME EĞİLİMİ	KOROZYON DİRENCİ
Si	↑	↑	↑↑	↓	✦	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	□
Mn*	↑	↑	↑	✦	✦	✦	↑	✦	↓	✦	↓↓	↑	↓	✦	□
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	✦	□	□	□	↓↓↓	□	□	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	□
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	□	↓↓↓	↑↑↑
Ni*	↑	↑	↑	✦	✦	✦	□	↑	↓↓↓	□	↓↓	↓	↓	↓	□
Ni**	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	□	↑↑↑	↓↓↓	□	□	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↑↑
Al	□	□	□	□	↓	↓	□	□	□	□	□	↓↓	□	↓↓	□
W	↑	↑	↑	↓	↓	✦	□	↑↑↑	↓↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	□
V	↑	↑	↑		✦	↑	↑	↑↑	↓↓↓	↑↑↑	↑↑	↑	□	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	□	↑↑	↑↑	□	↑↑↑	↓	✦	↓	□
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	□	↑↑	↓↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	□
S	□	□	□	↓	↓	↓	□	□	□	□	□	↓↓↓	↑↑↑	□	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	□	□	□	□	□	↓↓↓	↓↓↓	↓↓↓	↑↑

* : Perlitik Çeliklerde, ** : Östenitik Çeliklerde

2.4. RAY ÜRETİMİ

Ray üretimi 2 ana aşama ve tesisle gerçekleştirilir. Bunlardan ilki Çelikhane ikincisi ise Haddehane tesisleridir. Özellikle Çelikhane bölümünde çok çeşitli yöntemlerle üretim yapılmasıyla birlikte günümüzde en çok tercih edilen, kabul gören ve kullanılan üretim yöntemi sırasıyla BOF (Bazik Oksijen Fırını) – Pota Fırırları (İkincil Metalurji) - Vakum Altında Gaz Giderme - Sürekli Döküm prosesleridir.

2.4.1. BOF Konverterleri

Daha önceki dönemlerde alttan hava üflenerek çelik üretiminde kullanılan BESSEMER konverterlerine üstten saf oksijen üflenmesi sonucu geliştirilen bir metoddur. Bu metod ilk defa 1952-1953 yıllarında Avusturya'da bulunan Linz ve Donawitz işletmelerinde uygulanmıştır. Tabandan saf oksijen üflenmesine uygun kalitede refrakter bulunmaması bazı problemler yaşanmasına sebep olmuştur ve daha sonraki yıllarda üstten su soğutmalı lans ile yüksek hızda oksijen üflenerek bu proses geliştirilmiştir. Bu proses Avrupa'da LD proses ve Amerika'da ise bazik oksijen prosesi(BOP) olarak da adlandırılmaktadır.

BOF konverterleri ile çelik üretilmesi esnasında harici bir yakıt kullanılmamaktadır. Sıvı maden içerisinde bulunan karbon (C), silisyum (Si) ve mangan (Mn) gibi elementler oksijenle reaksiyona girerek çeliğin sıcaklığının yükselmesini sağlar. Sıvı madenin ve cürufun oksitlenmesi oldukça komplike bir prosestir ve bu işlemler konverter içerisinde bir çok kademedен oluşmaktadır. Konverter içerisinde simultane olarak değişik fazlar (gaz-metal, gaz-curuf, curuf-metal) arasında muhtelif reaksiyonlar oluşturmaktadır.

2.4.2. Pota Fırınları

Konverterlerden pota ile getirilen sıvı çeliğin işlenerek sıcaklık ve analiz değerlerinin Sürekli Döküm Makinelerinin döküm şartlarına göre ayarlanmasını sağlar. Burada mevcut elektrotlarla ark oluşturmak sureti ile sıvı çeliğin sıcaklığı yükseltilir ve potada karışım yapılarak sıvı çelikte homojen sıcaklık ve kimyasal analiz elde edilir.

2.4.3. Vakum Altında Gaz Giderme (Vacuum Degassing)

Uluslararası ray çeliği standartlarında hidrojen, oksijen ve kükürt değerlerinin sınırlandırılmasının yanında çelik iç temizliğinde de çok büyük sınırlandırılmalar geliştirilmiştir. Bu sistem ile çelikte istenmeyen gazlar istenen seviyeye rahatlıkla düşürülmektedir,

2.4.4. Sürekli Dökümler

Vakum tesisinde gerekli işlemleri yapılan ray çeliği sürekli döküm prosesiyle, kapalı dökümle dökülmek suretiyle (hava ile temas etmeksizin) yarı mamul (blum) haline getirilir ve gerekli haddeleme işlemlerinin yapılması için Haddehane tesisine gönderilir [18].

2.5. RAY ÇELİĞİNİN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Raylarda yorulma, çatlak ve aşınma direncini sağlamak için ray çeliği metalurjisinin geliştirilmesi amacıyla ray üretiminde uygulanabilecek çeşitli yöntemler vardır:

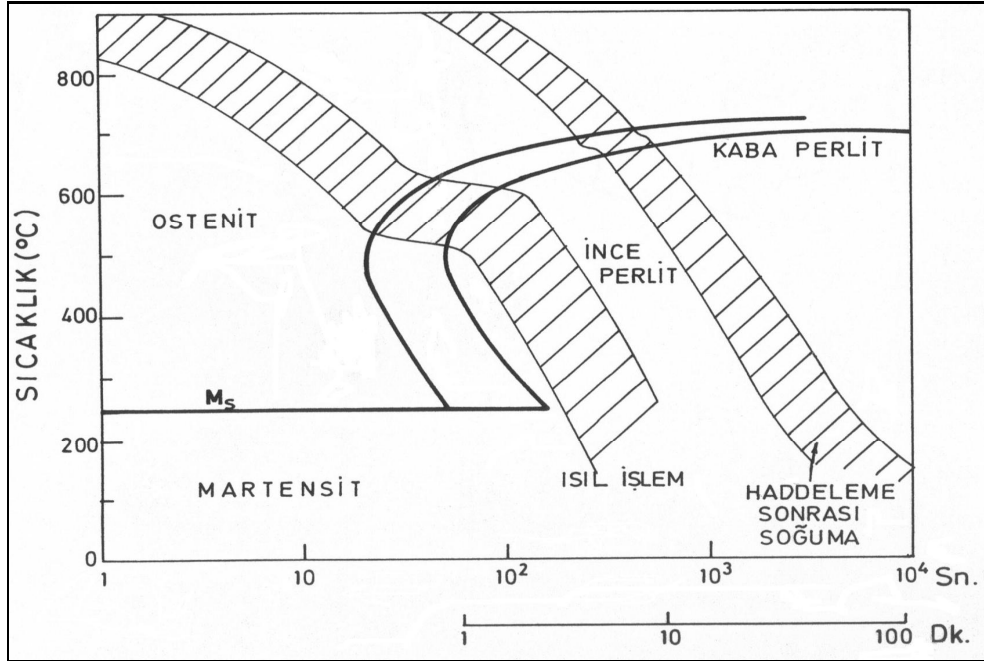
1. Karbon içeriğini artırmak; karbon içeriğindeki artış; çekme mukavemetinde, sertlikte ve akma noktasında artış, süneklikte azalmayla sonuçlanır.
2. Alaşım elementleri ilave etmek; ray çeliği üretiminde kullanılan başlıca alaşım elementleri; mangan, silisyum, nikel, krom, molibden ve vanadyumdur.
3. Isıl işlem; perlitik çeliklerde Fe_3C sert ve kırılğan bir yapıdır. Sementitin miktar, boyut ve şeklinin kontrolü ile çeliğin özellikleri kontrol edilebilir.
4. İnklüzyonları azaltarak metalürjik temizliği geliştirmek; metalürjik temizlik, özellikle oksit ve sülfür olmak üzere içerdikleri kimyasal analizle ifade edilir.
5. Sertleştirme; sertleştirme, mantar sertleştirme işlemi ile yapılır. Sertlik ne kadar yüksekse aşınma o kadar azdır [13].

BÖLÜM 3

RAYLARIN ISIL İŞLEMİ VE MANTAR SERTLEŞTİRME

Sertleştirme, aşınmayı azaltmayı ve çalışma sırasında özellikle dar ve/veya orta kurplarda, aşınma ve rayların yuvarlanma temas yorulmasına karşı direncini artırmayı amaçlamaktadır. Mantar sertleştirme, fırında 800-950°C arasında östenitlenip, tasarlanan su verme sisteminde belirlenen süre kadar pülverize su veya su+hava verilerek yapılır [15].

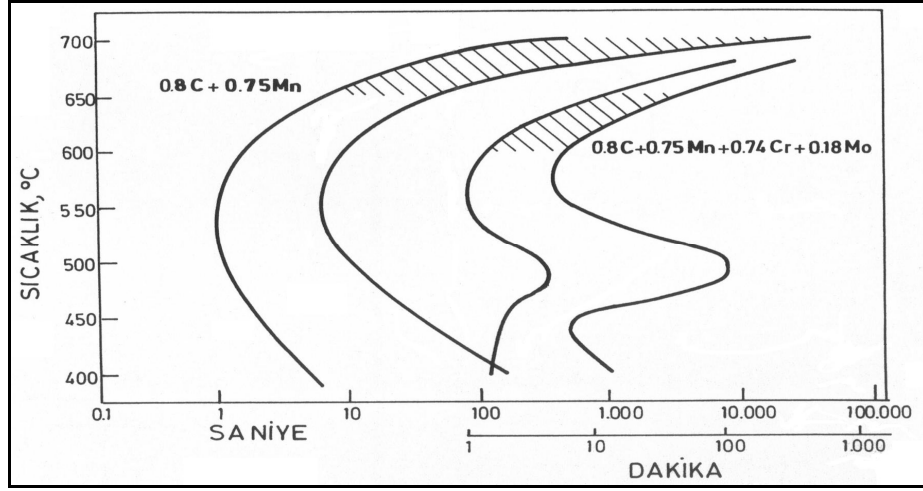
Aşağıdaki şekilde % 0,75 C + % 1 Mn konsantrasyonlu bir ray çeliğinin içyapısının, soğuma hızını kontrol ederek nasıl değiştirilebileceği görülmektedir. Soğuma eğrisi (CCT) östenit bölgesinde $t=0$ 'da başlar ve soğuma hızına bağlı olarak eğimi ortaya çıkar.



Şekil 3.1. % 0,75 C ve % 1 Mn'lı bir çeliğin izotermal dönüşüm diyagramı [19].

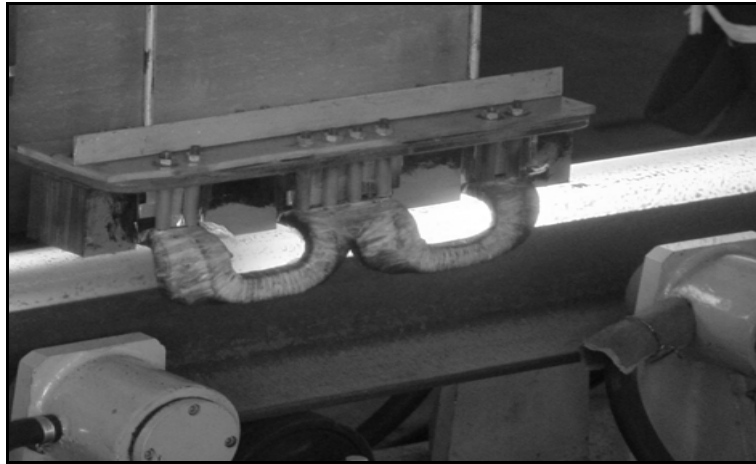
Östenitleme sonrası ya da sıcak hadde çıkışı yavaş soğutmalar kaba perlit oluşumuna, hızlı soğutmalar ise ince perlit oluşumuna yol açmaktadır (Şekil 3.1).

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi alaşımlı ray çeliklerinde, havada soğutma gibi oldukça yavaş soğutmalarda bile sıkı dizilmiş ince perlit oluşabilir.

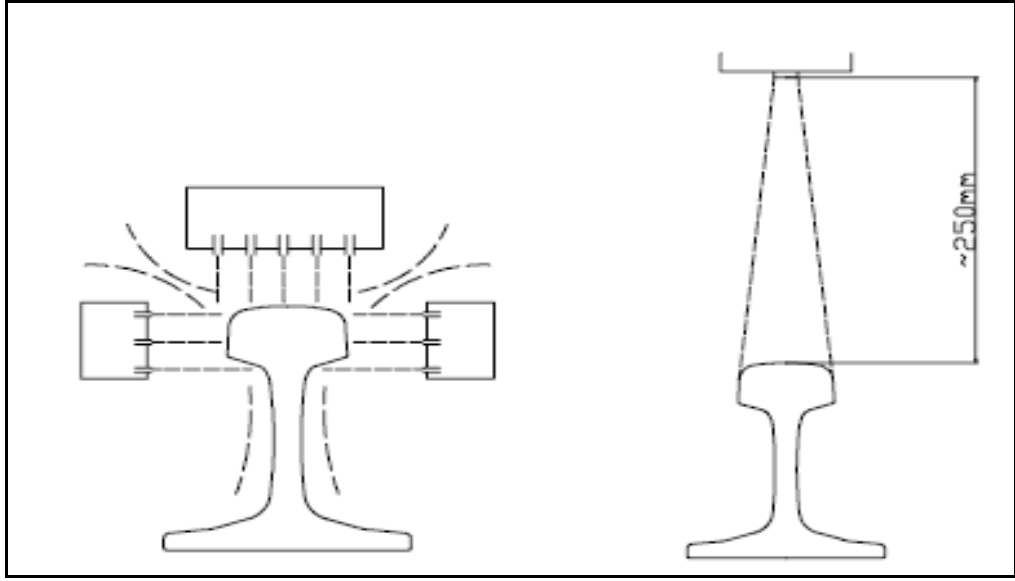


Şekil 3.2. % 0,74 Cr + % 0,18 Mo alaşımlamasının % 0,8 C + % 0,75 Mn içerikli ray çeliğinin dönüşüm eğrilerine etkisi [19].

Aşağıdaki şekillerde sırasıyla ray mantarının indüksiyonla östenitleme sıcaklığına ısıtılması, daha sonra da mantar yüzeyinin soğutulmasında kullanılan düzenekler şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Rayların mantar sertleştirme için indüksiyonla östenitleme sıcaklığına ısıtılması [19].



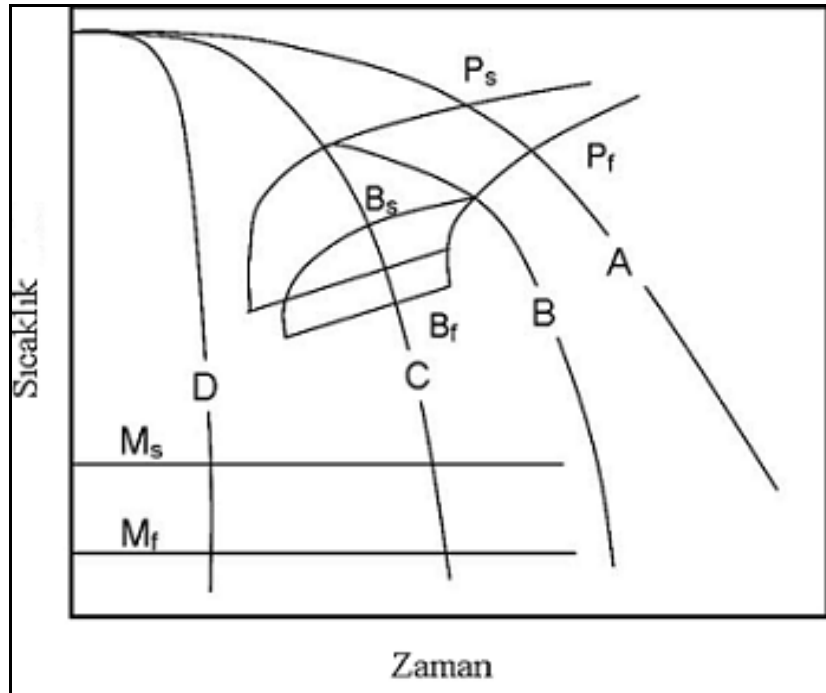
a) Basıncılı su soğutma

b) Su + Hava Soğutma

Şekil 3.4. Rayların östenitleme sonrası mantar kısmının soğutulması [20].

3.1. ISIL İŞLEM

3.1.1. Faz Diyagramları



Şekil 3.5. Soğutma rejiminin nihai mikro yapıya etkisi [21].

CCT diyagramları çeliğin gerekli termomekanik prosesinin dizaynında çok önemlidir (Şekil 3.5). Bu şekilde; perlit, beynit ve martenzit başlangıç (Ps, Bs, Ms) ve bitiş (Pf, Bf, Mf) sıcaklıkları işaretlenmiştir. Söz konusu diyagramda soğuma eğrileri üst üste konularak dönüşümden beklenen fazlar açıklanabilir. Örneğin; çok düşük soğuma hızlarında (A eğrisi), tamamen perlitik bir mikro yapı beklenir. Soğuma hızı artırıldığında (C eğrisi), soğuma eğrisi perlitik ve beynitik dönüşüm sınırları ile kesişerek karışık bir mikro yapı meydana getirir. Eğer çok daha hızlı bir soğutma hızı seçilirse (D eğrisi), perlitik ve beynitik dönüşümler engellenerek martenzitik bir mikro yapı elde edilir. Ray çeliği açısından bakıldığında, bu üç soğuma hızı da arzu edilmez. A soğuma eğrisi, düşük sertlik ve aşınma direnciyle birlikte kaba perlit, C eğrisi, düşük aşınma direncine sebep olan perlit ve beynit karışımı bir mikro yapı 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 etmek amacıyla 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 sprey püskürtme yöntemiyle perlit başlangıç sıcaklığına soğutma, ardından da daha küçük sprey nozullar kullanılarak yapılan sprey püskürtme yöntemi sonucu elde edilen yüksek soğuma hızları, en son da hava ile yavaş soğuma rejimi uygulanmasıyla ulaşılabilir. Yavaş soğutma rejimi materyalin soğuma eğrisinin beynit başlangıç sınırı ile kesişmesini engeller. Soğuma prosesi ve dönüşüm ısısı (tekrar ısıtma etkisi), ray kesitinde dengeli bir sıcaklık üretir.

Yukarıda belirtildiği gibi, tasarlanan mikro yapıya, kontrollü soğuma ile ulaşılabilirse de pratikte gerekli soğuma hızı çok daha yüksek olabilir. Eğer materyalin kesiti çok büyükse, materyalin çekirdeği istenen oranda soğuyabilir. Bütün bu durumların dışında faz sınırları alaşımlama ile değiştirilebilir [21].

3.1.2. Su Verme Isıl İşlemi

3.1.2.1. Isı Transferi

Su verme ısıl işlem çeliğin termomekanik prosesinde önemli bir rol oynar. % 0,77 C, % 0,95 Mn, % 0,22 Si ve % 0,1 Cr içerikli tipik bir karbon mangan çeliğini ele alacak olursak; sürekli soğuma şartlarında çeşitli mikro yapıları elde etmek için gerekli soğuma hızları Çizelge 3.1’de verilmiştir. Ancak ince perlitik mikro yapı elde etmek isteniyorsa sırasıyla; 640°C/dk. soğuma hızında 1050°C’den 580°C’ye soğutma, 45°C/dk. yavaş soğuma hızında 480°C’ye soğutma ve 380°C/dk. yumuşak soğutma hızında oda sıcaklığına soğutma işlemleri gerçekleştirilir.

Su gibi buharlaşabilen bir soğutucunun kullanıldığı konvensiyonel daldırma ile su verme yönteminde gözlenen üç ana soğuma mekanizması vardır. Su, sıcak metal yüzeyine ilk temas ettiğinde film kaynaması (FB) sonucu oluşan ısı transferi neticesinde meydana gelen bir buhar film tabakasıyla yüzey kaplanır. Sıcaklık, Leidenfrost sıcaklığına düştüğünde buhar filmi bozunur ve çekirdekleşme kaynama prosesi (NB) ile oluşan sıvı ile yüzey ıslanır. Yüzey sıcaklığı kaynama noktasından daha düşük bir sıcaklığa gerilediğinde ise NB sona erer ve konveksiyonel soğuma (CONV) başlar. Soğuma hızları; çeliğin boyutuna, şekline ve termal özelliklerine bağlıdır.

Çizelge 3.1. Ray çeliğinde soğuma hızının mikro yapıya etkisi [21].

Soğuma Hızı	Fazlar
< 240 °C/dk.	Perlit
250 °C/dk.	Perlit + Beynit
400 °C/dk.	Perlit + Beynit + Martenzit
> 643 °C/dk.	Martenzit
Kademeli Soğuma	İnce Perlit

3.1.2.2. Soğutucular

Su, hava yağ ve gazlardan oluşan çeşitli akışkanlar soğutucu olarak kullanılmaktadır. Bu soğutucuların ne kadar etkili oldukları ısı transfer hızlarına bağlıdır. Örneğin hareketsiz hava 50-80 W/m² ısı transfer hızına sahipken sirkülasyon halindeki suyun ısı transfer hızı 3000 – 3500 W/m²'dir (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Çeşitli soğutucuların ısı transfer hızlarının karşılaştırılması [21].

Soğutucular	Isı Transferi (W/m ²)
Hareketsiz Hava	50 – 80
Azot (1 bar)	100 – 150
Tuz Banyosu	350 – 500
Azot (10 bar)	400 – 500
Helyum (10 bar)	550 – 600
Helyum (20 bar)	900 – 1000
Hareketsiz Yağ	1000 – 1500
Hidrojen (20 bar)	1 250 – 1350
Sirkülasyon Halindeki Yağ	1800 – 2200
Hidrojen (40 bar)	2100 – 2300
Sirkülasyon Halindeki Su	3000 – 3500

3.1.3. Hızlandırılmış Soğutma

Hızlandırılmış soğutma, su + hava karışımı püskürtme, polimer veya su soğutma gibi, havada soğutmadan daha hızlı olan kontrollü soğutma metotları olarak düşünülebilir. Modern ray üretiminde tercih edilen hızlandırılmış soğutma, daha düşük sıcaklıklarda faz dönüşümüne imkan sağlar. Hızlandırılmış soğutmanın; geleneksel, hat dışı ve hat içi diye adlandırılan üç farklı yöntemi vardır [21].

3.2. RAYDA SERTLİĞİN ÖNEMİ

Sertlik; yayınma, kazınma, aşınma, yıpranma ve kesme gibi mekanik özelliklerle ilişkilendirilir. Materyalin sertliğini değiştirmek için soğuk çalışma veya ısıtma işlemi gibi prosesler kullanılır [13]. Raylarda, yüzey aşınmasına karşı ağırlıklı olarak perlitik yapı kullanılır. Perlitik yapıdaki sertlik değeri de lameller arasındaki uzaklık ile doğru orantılıdır. Rayın kimyasal yapısında yapılacak değişiklikler ile maksimum 340-355 HB (R260 için doğal sertlik 260–300 HB) sertlik değerine ulaşılabilirdiği halde ısıtma işlemi yapılarak 350-450 HB sertlik değerine ve 880 N/mm² değerinden minimum 1175 N/mm² çekme mukavemeti değerine ulaşılabilir [20]. Ancak, sertlik değeri çok yüksek olursa plastik deformasyondan etkilenme ve aşınma az olsa da yorulmadan dolayı ray kullanılamaz hale gelir. Sonuçta; sertlik, rayın yüzeyinde yorulmayı engelleyecek şekilde düşük, aşınmaya izin vermeyecek şekilde de yüksek olmalıdır [22].

Sertlik değeri birkaç yolla belirtilebildiği gibi yaygın olarak HB - Hardness of Brinell değeriyle belirtilir. HB değeri; kgf biriminde yük değerinin, çentik bölgesinin mm² cinsinden değerine oranıdır:

$$HB = 3000 \text{kgf} / \text{Çentik alanı (mm}^2\text{)} \quad (3.1)$$

Ancak diğer sertlik ölçme yöntemleri olan HRC - Hardness of RockwellC ve HV- Hardness of Vickers yöntemleri de kullanılmaktadır. HB ve HC sertlik değerleri birbirine çok yakın olup HB ve HRC arasında aşağıdaki bağıntı yaklaşık sonuç vermektedir:

$$HRC \approx HB / 10 \quad (3.2)$$

Uygulanan testler baz alınarak, sertlik ve çekme mukavemeti arasında;

$$HB = \text{Çekme mukavemeti} / 500 \quad (3.3)$$

bağıntısı bulunmuştur (çekme mukavemeti psi birimindedir) [13].

Bu bağıntı göstermektedir ki; çekme mukavemeti ne kadar yüksekse sertlik de o kadar yüksektir, böylece aşınma da o kadar düşüktür. Çekme mukavemeti, rayların sınıflandırılmasında başlıca parametrelerden biri olarak kabul edilir. Ray mantarının aşınma direnci, rayın çekme mukavemetiyle çok yakın ilişkilidir. Yüksek aks yüklerinde, yüksek çekme mukavemetli ray kullanımı, aşınmayı düşük düzeyde tutabilmektedir [13].

3.3. AŞINMA VE YUVARLANMA TEMAS YORULMASININ ETKİSİ

Ray boyunca dönen demiryolu tekeri, teker ve ray arasında genel olarak eliptik temas alanında yüksek yüzey gerilimine sebep olur. Dikey gerilimin yanı sıra çekme yükü, sırasıyla teker temas bölgesinin ve yürüme yüzeyinin altında lokal olarak enine gerilim üretir. Bu gerilimler, eğer ray çeliğinin akma noktası geçilirse, yüzey alanında materyallerin plastik deformasyonuna yol açar. Rayın yüzeyinde yinelenen plastik deformasyon, sıkışmış kalıntı yüklere sebep olur. Plastik deformasyon, yüzeyde gerilme sertleşmesine sebep olur, ayrıca akma dayanımının lokal olarak artmasına yol açar. Sonuç olarak; materyal, başlangıçtaki saf elastiklik vasıtasıyla sonraki gerilmeleri absorbe eder. Bu, materyallerin, temas bölgesindeki bu yüksek gerilmelere karşı durabilmesi için ön hazırlık aşamasıdır. Raydaki yeniden yükleme devirleri, uygulanan dikey gerilim ve sürtünme katsayısının bir fonksiyonu olan birikmiş plastik deformasyonlar üretir. Bir kere gerilme sertleşmesi (kritik deformasyon) elde edildiğinde ve plastik deformasyonun derecesine bağlı olarak, ray yüzeyinde adhesif aşınma az olduğunda yüzeyde çatlaklar oluşur. Bunlar sonradan, dökülme veya kavlama gibi hasarlara yol açar. Bu oluşumu önlemek için çatlaklar taşlama (suni aşınma) ile giderilir. Yeterli gerilmeye sahip olma ihtiyacının yanında ray çelikleri, aşınmaya karşı yüksek direnç geliştirmeli, aynı zamanda, özellikle eğer rayda çatlaklar varsa, gevrek kırılmayı önlemek için yeterli süneklik sunmalıdır.

Genel olarak tekerlek ve raylarda kullanılan çelikler, aşınmaya karşı yüksek direnç garanti eden, sert sementit lamelleri içeren baskın perlitik mikro yapıya sahiptir. Bu mikro yapı, termodinamik dengeye bağlı olarak dönüşüm sonucu üretilir ve daha hareketsiz bir dönüşüm sağlar (örnek olarak beynitik veya martenzitik yapı) [23].

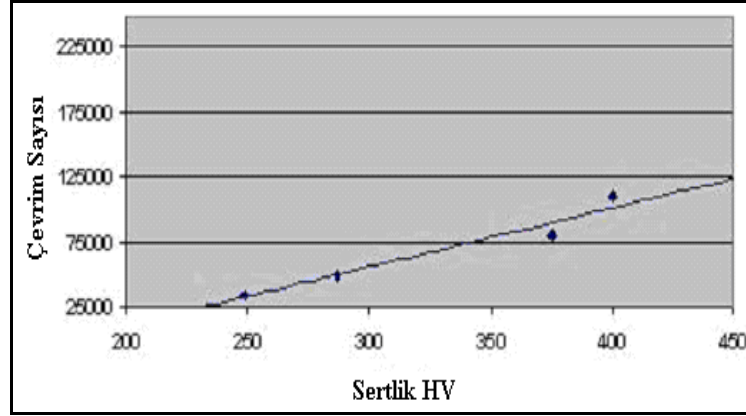
Yuvarlanma temas yorulması prosesini sınırlamak için seçeneklerden biri de daha yüksek akma mukavemetine sahip çeliklerdir.

Perlitik çeliklerde; katı eriyik mukavemeti ve çökme sertleşmesini elde etmek için karbon (C) oranını % 0,8 in üzerine çıkarmak, katı eriyik mukavemeti ve ilk olarak perlitteki lamel alanında azalma elde etmek için alaşım elementleri ilave etmek, perlitteki lamel alanını azaltmak (ince perlit elde etmek) için ısıl işlem uygulamak akma dayanımını artırır [23].

Ray mantarının söz konusu ısıl işlemi mantar sertleştirme diye adlandırılır ve martenzitik dönüşüm sebebiyle standart çelik sertleştirilmesi oluşturmaz. Aşınma direncinde bir artış olmasına karşın buna süneklikte bir düşüş eşlik eder. Sonuç olarak bu çelikler şartlı olarak aşınma ve yuvarlanma temas yorulmasını mümkün olduğu kadar düşük seviyede tutma görevini yerine getirirler.

Avrupa'da tekerlek-ray temas alanındaki materyal özelliklerini optimize etmek amacıyla çeşitli ray çelikleri, değişik hat koşullarına uygunlukları ve tekerlek aşınmalarına etkilerine göre karşılaştırılmıştır. Doğal olarak sert olan sert perlitik çelik cinsleri R260 ve R320Cr arasında önemli bir aşınma farklılığı olmadığı gözlenmiştir. Ancak mantarı sertleştirilmiş R350HT ray çeliğinde aşınmada önemli bir düşüş görülmüştür. Bu durum göstermektedir ki; R350HT çeliğinin inceltilmiş perlit mikro yapısındaki ferrit ve sementit lamellerinin dar bir alan kaplaması, sertlik artışında % 1 Cr ilavesinden daha fazla etkili olmuştur.

Daha düşük S içeriği ve sifero (globular) süfitlere sahip olmaları bakımından, R220 çeliği yuvarlanma temas yorulması problemi sebebiyle demiryolu hatları için uygun değildir. Çünkü düşük akma dayanımı sebebiyle R260 çeliğine göre daha düşük aşınma direncine sahip olup mantar çapaklarının yayılmasını önlemek için yetersiz kalmaktadır [24]. Şekil 3.5'de artan sertlikle birlikte yuvarlanma temas yorulması başlangıcı için gerekli eşik dönüş sayısının arttığı görülmektedir.



Şekil 3.6. Sertliğin yuvarlanma temas yorulması başlangıcı ile ilişkisi [24].

3.3.1. Aşınma ve Yuvarlanma Temas Yorulmasını Etkileyen Parametreler

1. Viraj (kurp) yarıçapı
2. Eğim
3. Taşıdığı tonaj
4. Sürüş dinamikleri
5. Aks yükleri
6. Hız
7. Yağlama
8. Ezme
9. Sürtünme [5].

3.4. RAY ÇELİK CİNSLERİ VE GELİŞMELER

3.4.1. Doğal Olarak Sert Raylar

Raylar genelde doğal sertlikte teslim edilir. Bunlar, kristalleşme durumuna göre adlandırılan perlitik raylardır. R260 kalite raylar, düz yol üzerinde her 100 m'de yaklaşık 0,7-1,0 mm ray yüksekliğinde ve yaklaşık 600 m yarıçaplı kavislerde 2-3 mm aşınma göstermektedir. Daha küçük yarıçaplı kavislerde bu rayın aşınma direnci kabul edilebilir düzeydedir. 200 N/mm² çekme mukavemeti artışı, aşınma oranının yarısına denk gelmektedir. Bu artış, ısıl işleme elde edilir [13].

3.4.2. Mantarı Sertleştirilmiş Raylar

3.4.2.1. Geleneksel Isıl İşleme Sertleştirme

Geleneksel ısıl işlemde ray östenitleme sıcaklığına (840-860°C) ısıtılır ve kısa süre içinde, ince perlitik yapı elde etmek için 40°C'deki yağ banyosunun içine daldırılır ve üretilen gerilimi gidermek için 450°C sıcaklıkta temperlenir. Bu yöntemle ray, uniform bir sertlik ve mukavemete kavuşur ve mantar yüzeyinde 365-375 HB sertliğe ulaşılabilir. Yöntemin en büyük dezavantajı ilave prosese ihtiyaç duyulması ve bu yüzden yüksek maliyet ve üretimde azalmaya sebep olmasıdır [21].

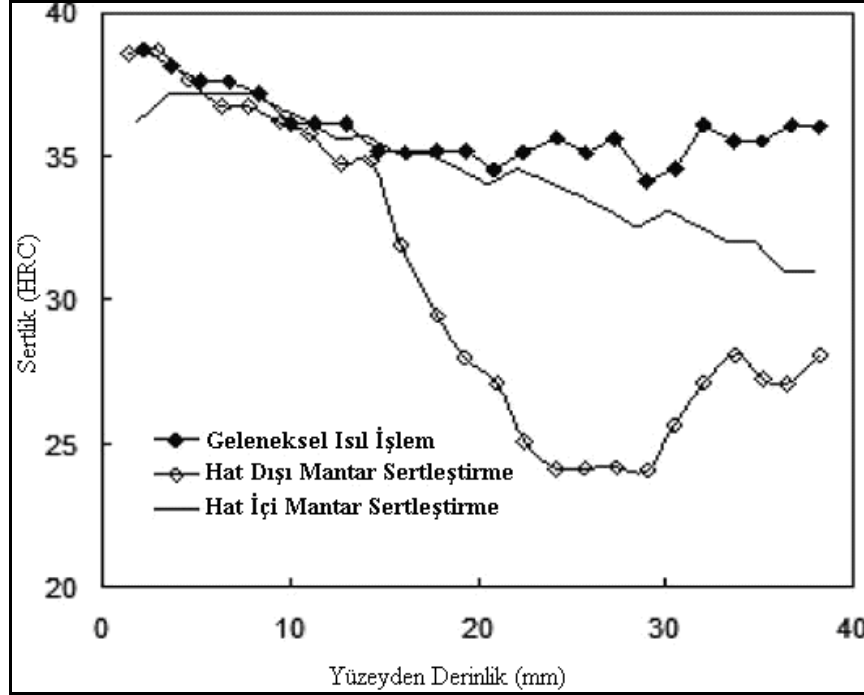
3.4.2.2. Hat Dışı Sertleştirme (off-line) Metodu İle Mantar Sertleştirme

Hat dışı sertleştirme işlemi uygulandığında ray, 2-6 dakika arasında östenitleme sıcaklığına (850-950°C) indüksiyon veya alevle ısıtılır. Sonra mantar bölgesi; sıkıştırılmış hava, su veya hava+su karışımıyla 650-500°C sıcaklıkta söndürülür [13]. Hat dışı sertleştirmede söndürme durumu sınırlıdır, raylar ısıl işlemde önce ve sonra doğrultulmalıdır. Yöntemin en büyük dezavantajı geleneksel yöntemde olduğu gibi ilave prosese ihtiyaç duyulması ve bu yüzden yüksek maliyet ve üretim hızında düşüşe sebep olmasıdır. Bu hızlandırılmış soğutma, yüksek sertlik ve mukavemete sahip, çok ince bir perlitik yapının elde edilmesiyle orantılıdır.

3.4.2.3. Hat İçi Sertleştirme (in-line) Metodu İle Mantar Sertleştirme

Hat içi sertleştirme bilinen en etkili yöntem olup; ray, haddeleme işleminin ardından, sıcaklığı hala 800°C'den fazla iken doğrudan sertleştirme tesisine taşınır. Ray mantar kısmının tamamı, su püskürtmeyle ya da sertleştirme banyosunda (sentetik ilaveli su) söndürülür. Daldırma süresi yaklaşık 2-2,5 dakikadır. Ray sıcaklığı, yaklaşık 60°C sıcaklığa düşürüldüğünde doğrultma ve test yapılır [13]. Hat dışı sertleştirmeye göre en büyük avantajı; sıcak haddeleme prosesine entegre bir sistem olduğundan ek bir prosese ihtiyaç duymaz ve sertleştirme işleminde süreklilik mevcuttur. Hat dışı sertleştirmeye göre 4-5 kat daha fazla üretim hızı sağlanmaktadır [21].

Geleneksel ve hat içi sertleştirme metotlarında yüzeyden derinlere inildikçe hat dışı sertleştirme metodunda görülen sertlik düşüş oranına rastlanmamaktadır (Şekil 3.7).

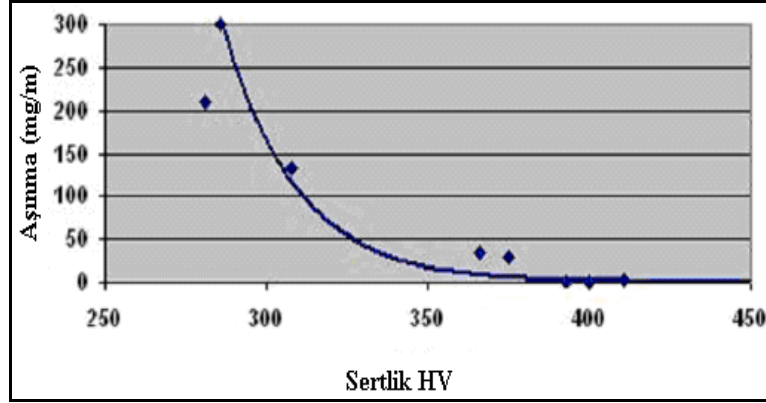


Şekil 3.7. Geleneksel yöntemle, hat dışı ve hat içi sertleştirme yöntemlerinde üretilen sertliğin dağılımları [21].

3.4.3. Yüksek Alaşımli Raylar

Bu tip raylarda amaç yüksek çekme mukavemetidir. Alaşımli ray çeliklerinin en yüksek çekme mukavemeti değeri yaklaşık 1300 N/mm^2 'dir. Bu yüksek çekme mukavemetine, perlitin büyüme oranının kontrolü sayesinde elde edilen düşük perlit lameller arası uzaklıkla ulaşılabilir. Bununla birlikte Krom ve Nikel gibi alaşım elementleri de ilave edilir [25]. Ancak yüksek alaşımli raylarda en büyük dezavantaj kaynak kabiliyetinin düşük olmasıdır [13].

Şekil 3.8'de ise çeşitli ray tiplerinin aşınmaya karşı direnci karşılaştırılmaktadır. Rayların sertliklerindeki artış ile aşınmanın önemli oranda azaldığı görülmektedir.



Şekil 3.8. Çeşitli sertlikteki perlitik rayların aşınmaya karşı artan dirençleri [19].

3.4.4. Korozyona Dirençli Raylar

Korozyona dirençli raylar; bakır, alüminyum, silis ve krom elementleriyle alaşımlama ile geliştirilmiştir. Bu elementler, çelik yüzeyini korozyona karşı koruyan ince fakat yoğun ve yapışkan özellikli oksit filmi tabakası oluşturur. Eğer mekanik özelliklerde de gelişme sağlamak isteniyorsa krom en uygun alaşım elementidir. Bu tip çeliklerde yaklaşık % 0,33 Cu ve % 0,15 Mo içeriği mevcuttur.

3.4.5. Beynitik Raylar

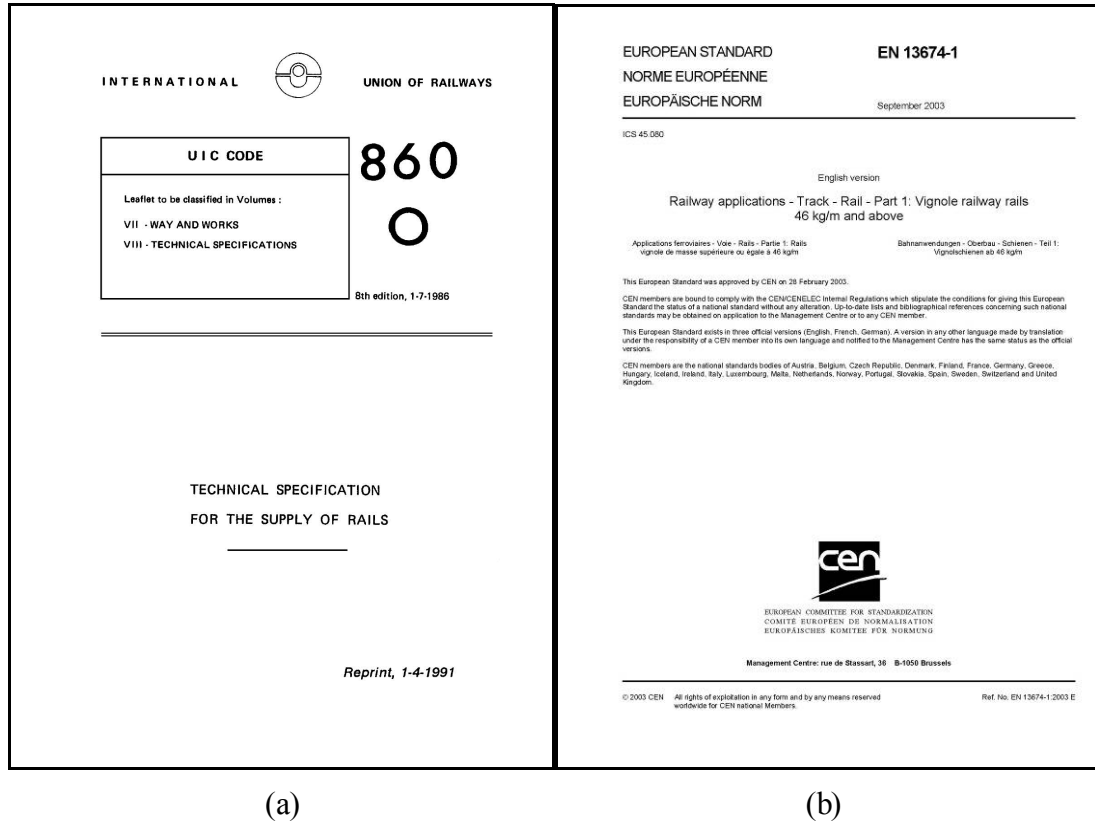
Günümüzde uygulanan perlitik ray çeliğinin limitleri, belli bir kullanım yoğunluğuna ulaşmış gözükmemektedir. Beynitik ray çeliğinin kullanımından perlitik çeliklerde ortaya çıktığı gibi, viskozitede kayıp olmaksızın daha yüksek mekanik mukavemet beklenmektedir. Bu çelikler, düşük karbonlu, krom ve molibden ihtiva eden çeliklerdir. Geliştirme prosesi makul düzeyde su verme işlemi içerir. Mikro yapı, tabakalardan oluşmayan topaklanmış sementit ve plaka şeklinde ferritten oluşur [25].

Çizelge 3.3. Perlitik ve beynitik ray çeliklerinin mekanik özelliklerinin karşılaştırılması [19].

Ray İçyapısı	R _m (MPa)	% A	K _{IC} (MPa·m ^{1/2})	u-çentikli Charpy (J, 20°C)	Yorulma Dayancı (MPa)	Aşınma (gr/saat)
Perlitik	1300	13,5	43	20	750	0.76
Beynitik	1400	13,5	98	39	870	0.77

3.5. YAYGIN OLARAK KULLANILAN RAY STANDARTLARI

Demiryolu raylarının üretiminde bazı ülkelerin kendi standartları olmasına karşın, dünyada ve ülkemizde en yaygın kullanılan standartlar UIC 860-0 ve EN 13674-1 standartlarıdır. Materyallerin unvan ve özellikleri, bu iki standartta belirtilmektedir. Aşağıda bu iki standardın tipik bir karşılaştırması verilmiştir:



(a)

(b)

Şekil 3.9. Standart kitapçıklarının; a) UIC 860-0, b) EN 13674-1 kapak sayfaları [2,26].

<ul style="list-style-type: none"> • UIC 4 kalite – 700 – 900A – 900B – 1100 – 1100 HH 	<ul style="list-style-type: none"> • EN 7 kalite – R 200 – R 220 – R 260 – R 260Mn – R 320Cr – R 350HT – R 350LHT 	Mantarı sertleştirilmiş raylar
---	--	--------------------------------------

Şekil 3.10. Standartlarda belirtilen çelik kaliteleri [2, 26].

UIC 860–0 standardındaki perlitik ray çeliği kalitelerinin, aralarında çok küçük analiz ve/veya mekanik farklar bulunsa da EN 13674-1 standardında karşılıkları vardır (Şekil 3.9).

DIN EN 13674-1 standardı özellikle R220, R260, R320Cr ve R350HT gibi karbon oranları % 0,6 ila 0,8 arasında olan perlitik çelikleri ihtiva eder. Bu çelikler temel olarak aşağıdaki şekilde değişiklik gösterirler:

1. Isıl işlem koşulları; R220, R260 ve R320Cr için “doğal olarak sert”, R350HT için “mantarı sertleştirilmiş” (perlit inceltimesi)
2. Minimum sertlikleri; R220, R260 ve R320Cr için sırasıyla 220, 260 ve 320 HB ve R350HT için 350 HB [26].

UIC 860–0 standardında (Çizelge 3.1) ve EN 13674-1 standardında (Çizelge 3.2) rayların kimyasal analiz sonuçları gösterilmiştir.

Bu iki standart içerisinde günümüzde ağırlıklı olarak kullanılanı, TCDD’nin de ray ihalelerinde istediği EN 13674-1 standardıdır.

Çizelge 3.4. UIC 860–0 standardında rayların katı analiz sonuçları [2].

Kalite	Kimyasal Analiz (% Ağırlık)						Çekme Muk. (N/mm ²)	Çatlak Sonrası Uzama (%)
	C	Mn	Si	Cr	P	S		
700	0,40-0,60	0,80-1,25	0,05-0,35	-	≤ 0,05	≤ 0,05	680-830	≥ 14
900 A	0,60-0,80	0,80-1,30	0,10-0,50	-	≤ 0,04	≤ 0,04	880-1030	≥ 10
900 B	0,55-0,75	1,30-1,70	0,10-0,50	-	≤ 0,04	≤ 0,04		
1100	0,60-0,82	0,80-1,30	0,30-0,90	0,80-1,30	≤ 0,03	≤ 0,03	≥ 1080	≥ 9

EN 13674-1 standardına göre; üretim 5000 tonun altında olursa, toplam oksijen miktarı en fazla 30 ppm (10^{-4} %) ve toplam hidrojen miktarı en fazla 2,5 ppm olmalıdır.

Üretim 5000 tonun üzerinde olursa, toplam oksijen miktarı, üretimin en az % 95'i için en fazla 20 ppm, üretimin en fazla % 5'i için en fazla 30 ppm ve toplam hidrojen miktarı en fazla 2,5 ppm olmalıdır. Mikro yapı tamamen perlitik yapıda olmalıdır, ancak tane sınırlarında ferritik yapı da görülebilir. Tane sınırlarında izin verilen maksimum ferrit miktarı Şekil 3.10'da görülmektedir.

Oksit temizliğinde ise K3 (DIN standartlarına göre ray çeliğindeki inklüzyon indeks katsayısı) değeri; numunelerin en az % 95'i için maksimum 10, numunelerin en fazla % 5'i için 10-20 aralığında olması gerekmektedir [26]. Ray mantar yüzeyinin, 0,5 mm derinliğine kadar olan bölgesinde kaba ferritik ağına izin verilmez. Şekil 3.11'de izin verilen karbonsuzlaşma derinliği görülmektedir.

Çizelge 3.5. EN 13674-1 standardında rayların sıvı ve katı analiz sonuçları [26].

Kalite		Kimyasal Analiz										
		% Ağırlık									% 10-4 ppm Ağırlık	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	V	N	O	H
R200	Sıvı	0,40-0,60	0,15-0,58	0,70-1,20	≤ 0,035	0,008-0,035	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,009	≤ 20	≤ 3,0
	Katı	0,38-0,62	0,13-0,60	0,65-1,25	≤ 0,040	0,008-0,040	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,010	≤ 20	≤ 3,0
R220	Sıvı	0,50-0,60	0,20-0,60	1,00-1,25	≤ 0,025	0,008-0,025	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,008	≤ 20	≤ 3,0
	Katı	0,50-0,60	0,20-0,60	1,00-1,25	≤ 0,025	0,008-0,025	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,008	≤ 20	≤ 3,0
R260	Sıvı	0,62-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	≤ 0,025	0,008-0,025	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,009	≤ 20	≤ 2,5
	Katı	0,60-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	≤ 0,030	0,008-0,030	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,010	≤ 20	≤ 2,5
R260 Mn	Sıvı	0,55-0,75	0,15-0,60	1,30-1,70	≤ 0,025	0,008-0,025	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,009	≤ 20	≤ 2,5
	Katı	0,53-0,77	0,13-0,62	1,25-1,75	≤ 0,030	0,008-0,030	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,010	≤ 20	≤ 2,5
R320 Cr	Sıvı	0,60-0,80	0,50-1,10	0,80-1,20	≤ 0,020	0,008-0,025	0,80-1,20	≤ 0,004	≤ 0,18	≤ 0,009	≤ 20	≤ 2,5
	Katı	0,58-0,82	0,48-1,12	0,75-1,25	≤ 0,025	0,008-0,030	0,75-1,25	≤ 0,004	≤ 0,20	≤ 0,010	≤ 20	≤ 2,5
R350 HT	Sıvı	0,72-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	≤ 0,020	0,008-0,025	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,009	≤ 20	≤ 2,5
	Katı	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	≤ 0,025	0,008-0,030	≤ 0,15	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,010	≤ 20	≤ 2,5
R350 LHT	Sıvı	0,72-0,80	0,15-0,58	0,70-1,20	≤ 0,020	0,008-0,025	≤ 0,30	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,009	≤ 20	≤ 2,5
	Katı	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	≤ 0,025	0,008-0,030	≤ 0,30	≤ 0,004	≤ 0,030	≤ 0,010	≤ 20	≤ 2,5

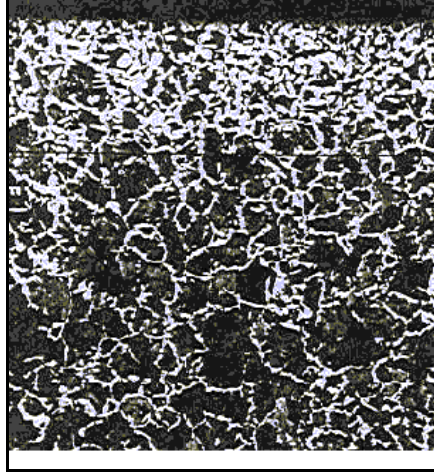


(a)

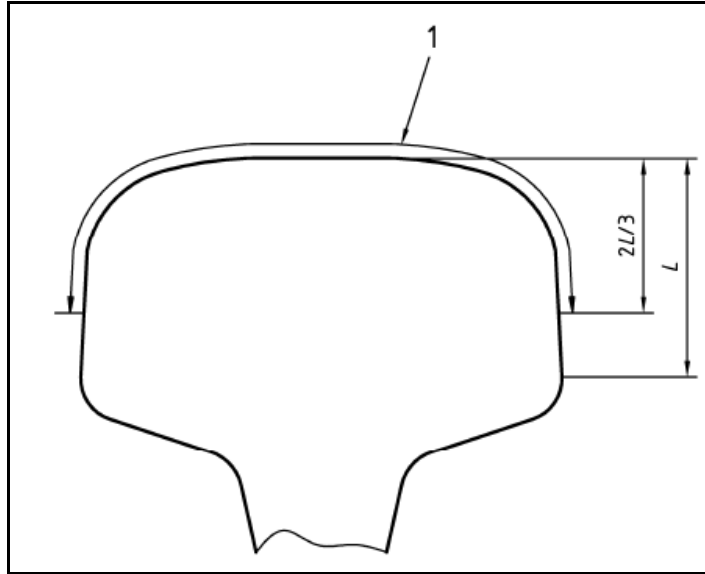


(b)

Şekil 3.11. Tane sınırlarında izin verilen maksimum ferrit miktarını gösteren a) mikro yapı fotoğrafı ve b) diyagram [26].



Şekil 3.12. Ray aşınma yüzeyinde izin verilen karbonsuzlaştırma derinliğini gösteren mikro yapı fotoğrafı [26].



Şekil 3.13. Karbonsuzlaştırma kontrolleri için mantar yüzeyinde dağılım aralığı [26].

EN 13674–1 standardında mantarı sertleştirilmiş R350HT kalitesindeki rayların sıvı ve katı analiz sonuçları ve artık element değerleri Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

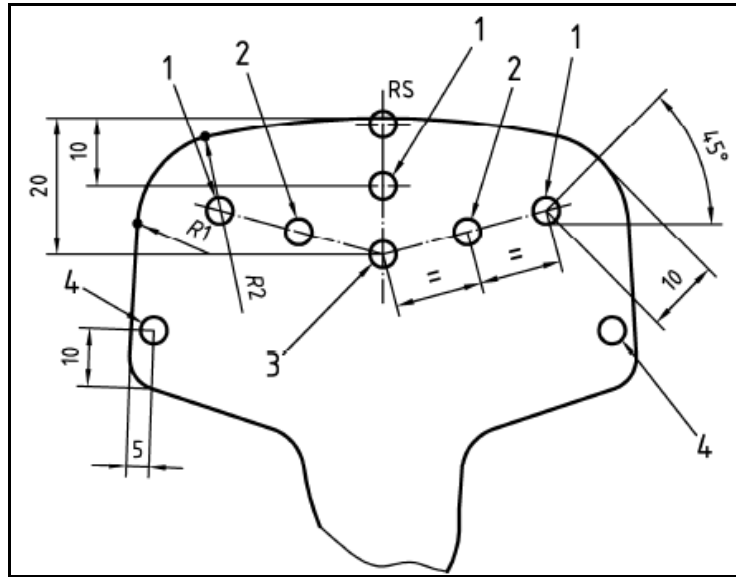
Çizelge 3.6. R350HT ray kalitesinin kimyasal analiz ve mekanik özellikleri [26].

Çelik Numune Kalitesi	% Kütle olarak										10 ⁺ ppm max. Kütle olarak		R _m min. MPa	min. uzama A %	Merkez çizgi üzerinde yüzey Sertliği HBW R 5.
	C	Si	Mn	P max	S max	Cr	Al max.	V max.	N max.	O _a	H _a				
R350HT	Sıvı	0,72/0,80	0,15/0,58	0,70/1,20	0,020	0,025	0,15 max	0,004	0,030	0,009	20	2,5	*	*	
	Kah	0,70/0,82	0,13/0,60	0,65/1,25	0,025	0,030	0,15 max	0,004	0,030	0,010	20	2,5	1175	9	350/390

Çizelge 3.7. R350HT ray kalitesinin maksimum artk elementleri [26].

	Mo	Ni	Cu	Sn	Sb	Ti	Nb	Cu & 10 Sn	Diğerleri
R350HT	0,02	0,10	0,15	0,030	0,020	0,025	0,04	0,35	0,25 (Cr + Mo + Ni + Cu + V)

EN 13674-1 standardında R350HT kalitedeki demir yolu rayının sertlik ölçümü yapılırken 4 farklı bölge tanımlanmıştır (Şekil 3.14).



Konum	Ray çelik kalitesi	Sertlik HB
RSa	R350HT	350-390
1		≥ 340
2		≥ 331
3		≥ 321
4		≥ 340

Şekil 3.14. Sertlik testi konumları ve değerleri [26].

BÖLÜM 4

AŞINMA

DIN 50320' ye göre aşınma; “cisimlerin yüzeylerinden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin koparak ayrılması nedeni ile istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir” şeklinde tanımlanmaktadır. Aşınma sonucunda, malzeme kayıpları ile beraber makine parçası üzerinde hasarlar meydana gelir. Bu aşınma hasarları önemli ölçüde maddi kayıplara sebep olabilmektedir. Mühendislik malzemelerindeki yıpranmanın aşınma sayılması için;

1. Mekanik bir etkinin olması,
2. Sürtünmenin olması,
3. Yavaş fakat devamlı olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi,
5. İsteğimiz dışında meydana gelmesi gerekir.

Bu şartlardan biri sağlanmıyorsa meydana gelen yıpranma aşınma değildir [27]. Aşınma olayında dört unsur vardır. Bunlar; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve harekettir.

4.1. AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

1. Malzeme seçimi
2. Sürtünme
3. Yüzeye uygulanan yük
4. Kayma mesafesi
5. Yüzey sertliği
6. Yüzey kalitesi
7. Yağlama [28].

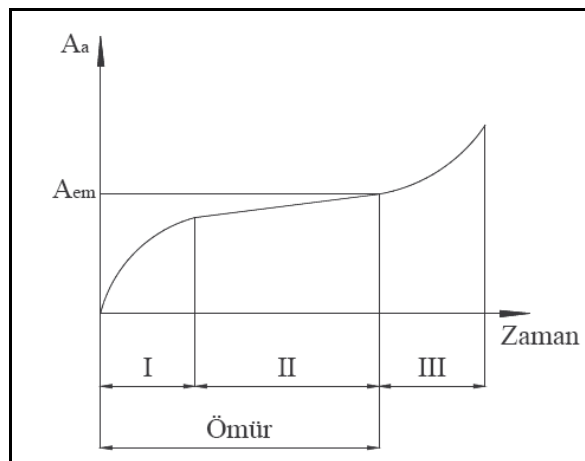
4.2. AŞINMA ZAMAN İLİŞKİSİ

Aşınma pratikte ikiye ayrılır:

1. Zaman ile gelişen aşınma
2. Aniden meydana gelen aşınma

Zamanla meydana gelen aşınmayı üç safhada incelemek mümkündür:

1. 1. Safha (Rodaj safhası): Bu safha birbirine alıştırma safhasıdır. Bu safhada parçanın ilk çalışması sırasında şiddetli bir aşınma meydana gelir. Bu nedenle parçaların birbirilerine alıştırmasının iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmesi, bu safhaya ait en önemli şarttır. Genelde alıştırma, yüksüz normal hızlardan daha düşük hızlarda yapılır. Alıştırmamanın iyi ve kısa sürede tamamlanması için bu safhaya ait özel ağırlıklar kullanılır [29].
2. 2. Safha: Bu safhada, aşınma, 1. Safha'ya göre daha yavaş ilerler (Şekil 4.1). Fakat zamanla aşınma oranı artmakta ve şiddetli aşınmalar bu safhadan sonra meydana gelmektedir.
3. 3. Safha: Bu safhada, artan aşınma hızı ile şiddetli aşınmalar meydana gelmektedir. Sistemde önemli hasarlar oluşabilir.



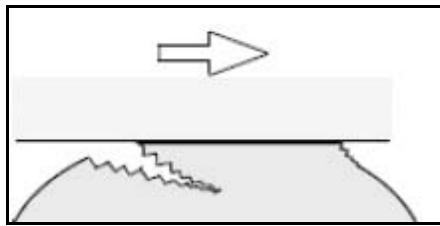
Şekil 4.1. Aşınma zaman grafiği [28].

Aşınan elamana ait, çalışma şartlarına bağlı olarak müsaade edilen bir aşınma sınırı $A_{(em)}$ tayin edilirse, aşınma zaman diyagramından, normal çalışma zamanı (ömür) tespit edilir. Bu zamandan sonra, parça değiştirilmeli veya tamir edilmelidir [28]. Aniden meydana gelen aşınmada, parçaların yüzeyleri bozulur veya bazı hallerde birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Genellikle beraber çalışan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen bu aşınma şekli, mukavemet alanında statik zorlamanın etkisi altındaki kopmanın benzeridir.

4.3. AŞINMA ÇEŞİTLERİ

4.3.1. Adhesif (Yapışma) Aşınma

Adhesif aşınma, kayma ve yapışma aşınması olarak da bilinen bir aşınma türüdür. İki düzgün katı cismin yağlamalı veya yağlamasız ortamda kayma teması ile oluşur. Adhesif ara yüzeydeki pürüzlerin teması ile meydana gelir ve bu temas noktaları kayma ile kesilir. Bununla birlikte bir yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışabilirler. Kayma devam ettiğinde diğer yüzeye yapışmış olan parçalar tekrar orijinal yüzeye yapışabilir veya her iki yüzeyden bağımsız aşınma partikülü olabilirler [30].



Şekil 4.2. Adhesif aşınma [30].

Adhesif aşınma, temas halinde olan, birbirine göre bağıl hareket yapan kuru kayma yüzeylerinde, diğer aşınma unsurları önlenmiş bile daima mevcut olan bir aşınma türüdür [31]. Yüzey ne kadar hassas işlense de gerçek temas alanı görünür temas alanından daima küçüktür. Birbiri üzerine temas eden malzemelere yük uygulandığında, temas noktalarında aşırı gerilmeler meydana gelir.

Akma sınırı aşıldığında ise küçük kaynak bağları oluşur. Yük ve sıcaklık, kaynak bağlarının oluşumunu hızlandırır. Temas halindeki malzemelerde kaynak veya yapışma olmuşsa, hareket ile bu bağ kopacak ve temas noktalarında kırılmalar meydana gelecektir. Genel olarak kırılma, yani kopma, zayıf olan metalde oluşmaktadır.

Çizelge 4.1. Malzeme özelliklerinin adhesif aşınmaya etkisi [29].

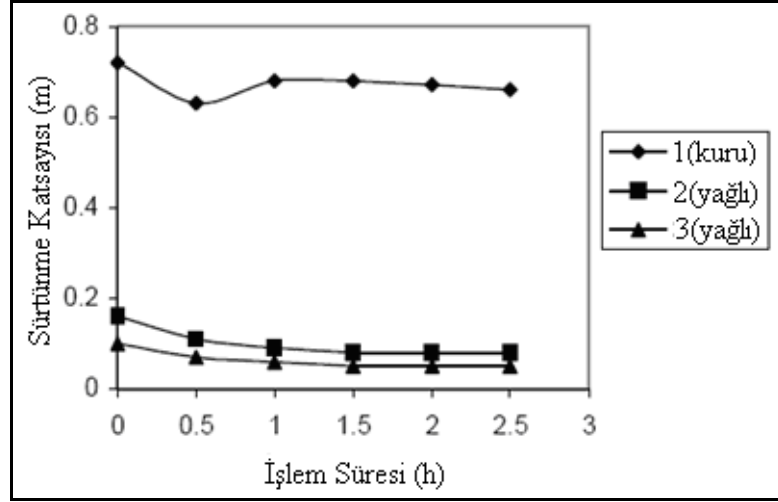
Malzeme Özellikleri	Adhesif Aşınma
Oksitli Yüzey	Az
Kübik Kristal Yapı	Çok
Hegzagonal Kristal Yapı	Az
Yüksek Deformasyon Sertleşmesi	Çok
Yüksek Sertlik	Çok
Yüksek Elastiklik Modülü	Çok
Yüksek Ergime Sıcaklığı	Çok
Yüksek Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	Çok
Küçük Atom Yarıçapı	Çok

Yapılan bilimsel çalışmalar göstermektedir ki, metaller arasındaki yağlamanın adhesyon aşınmasına büyük etkisi vardır. Yağlayıcı madde kullanıldığında malzeme transferinin ve sürtünme katsayısında bir azalma meydana geldiği görülmektedir (Şekil 4.3).

Adhesif aşınma; uygulanan yük, kayma mesafesi ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile doğru orantılıdır.

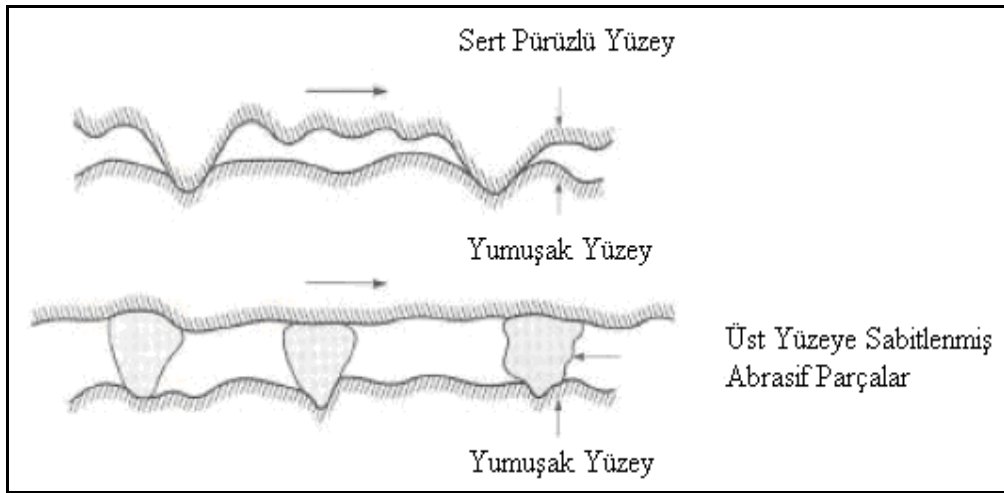
4.3.2. Abrasif (Kazıma) Aşınma

Birbiri üzerinde kayan yüzeyler arasında sert ve pürüzlü yüzey veya partiküller ile sistemi hasara uğratan bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma için iki genel durum vardır. Birinci durumda; sert yüzey, iki sürtünen yüzeyin daha sert olanıdır (iki cisimli abrasyon). Bu duruma örnekler öğütme, kesme ve talaşlı imalat gibi makine çalışmalarıdır.

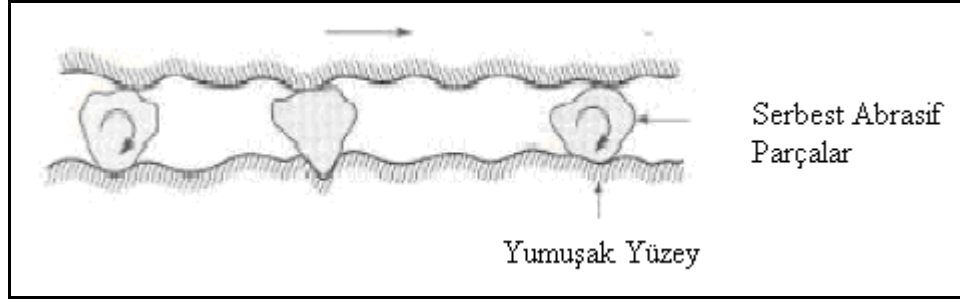


Şekil 4.3. Bakır esaslı bronz ve pirinç yataklarda kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme katsayısı- zaman diyagramı [32].

İkinci durumda; sert yüzey üçüncü bir cisim olup genellikle küçük abrasif partiküllerdir, diğer iki yüzey arasında bulunur ve yüzeylerden birini veya ikisini de aşındırabilir (üç cisimli abrasyon). Buna örnek, serbest abrasif alıştırma ve parlatmadır. Birçok durumda başlangıçta aşınma mekanizması adhesiftir. Adhesif aşınmada aşınma partikülleri oluşur, bu partiküller ara yüzeyde sıkışır ve üç cisimli abrasif aşınmaya sebep olur [33].



Şekil 4.4. Pürüzlü sert bir yüzey veya abrasif parçacıkların bir yüzeye yapışık olması [33].



Şekil 4.5. Yüzeylerden en az birinden daha sert abrasif parçacıkların iki yüzey arasında sıkışması [33].

1. Artan sertlik,
2. Azalan deformasyon sertleşme hızı,
3. Ana fazdan daha sert, tok, elastik modülü yüksek ve iri boyutlu partiküller,
4. Yabancı partiküller, abrasif aşınma direncini arttırabilir [34].

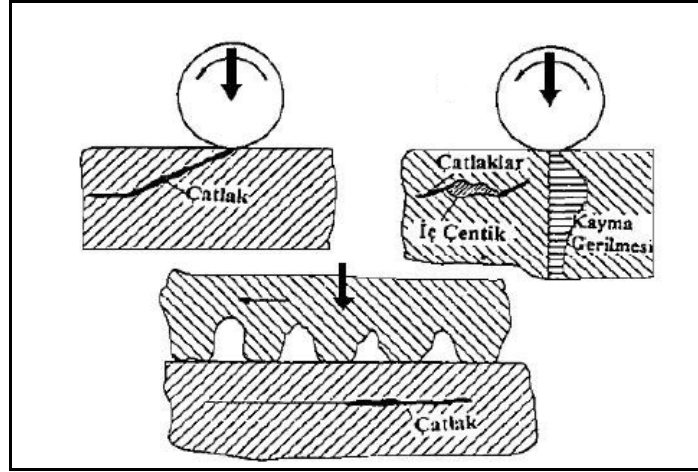
4.3.3. Yorulma Aşınması

Yüzey yorulması; yüksek basınç altında çalışan parçalarda fazla sayıda yük tekrarlarının ardından, ya yüzey altında gelişen çatlakların yüzeye doğru büyümesi ya da yüzeydeki çatlakların gelişip yüzey altındaki çatlaklarla birleşmesi sonucu, yüzeyden malzeme parçacığının kopup ayrılması ile oluşan bir aşınma şeklidir. Yetersiz yağlama sebebi ile ortaya çıkan aşınma hasarlarından farklıdır, iyi yağlama şartlarında bile görülebilir [35].

Yorulma aşınmasına “pitting” de denilmektedir. Genellikle dişli çark mekanizmaları, araçların kam mili mekanizmaları, rulmanlı yataklarda, demir yolu raylarında, soğuk ve sıcak haddelemede, sirkülasyon pompaları gibi makine elemanlarında görülmektedir.

4.3.4. Erozyon Aşınması

Bir sıvı ya da gaz akımı tarafından taşınan farklı geometrik boyut ve yapıdaki taneciklerin, temasta buldukları katı yüzeylerinde sürekli darbe etkisi yaparak oluşturdukları hasar erozyon aşınması olarak tarif edilmektedir [37].



Şekil 4.6. Yorulma aşınması oluşum mekanizması [36].

4.3.5. Korozyon Aşınması

Korozyon aşınması, düşük ve yüksek korozyon aşınması olarak iki şekilde gerçekleşir. Metalik malzemeler, içerdikleri alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak yüzeylerinde 0,1 mikron kadar doğal bir oksit tabakası bulunur. Bu tabaka sayesinde korozif ortamlara karşı direnç gösterirler. Aşındırıcı ortam tarafından metal yüzeyine uygulanan tekrarlı darbeler esnasında yüzeyden malzeme ile beraber oksit tabakası da kalkar. Tekrarlı darbelerin sıklığından veya koruyucu tabakayı oluşturan elementin alaşım içinde zamanla tükenmesinden dolayı oksit tabakası tekrar şekillenemez duruma gelir. Korozyonun beraber geliştiği ve korozyonun aşınma hasarına katkıda bulunduğu bu olaya “düşük sıcaklık korozyon aşınması” denir.

Yüksek korozyon aşınmasına; kimya, maden ve metalürji sektörleri, nükleer reaktörler, dizel motorlar ve birçok sanayi alanında karşılaşılır. Metalik malzemeler birçok uygulamada yüksek sıcaklıklarda korozif ortamlara maruz kalırlar ve malzemenin korozyon direnci bu ortamlardan etkilenir. Sıcaklık ve ortama bağlı olarak aşınma sekiz farklı şekilde meydana gelebilir:

1. Oksitlenme
2. Karbürleme ve metal tozlaşması
3. Nitrürleme

4. Halojen korozyonu
5. Sülfürleme
6. Kül (tuz) çökeleği korozyonu
7. Erimiş tuz korozyonu
8. Sıvı metal korozyonu.

Korozif ortamlar, oksitleyici ya da redükleyici olarak sınıflandırılır. Oksitleyici atmosfer, yanma için hava veya oksijen girişinin olduğu, yüksek oranda moleküler oksijen (O_2) içeren oksijen aktivitesinin moleküler oksijen konsantrasyonu ile kontrol edildiği ortamlardır. Redükleyici atmosfer ise, oksijen girişinin olmadığı yanmanın oksijensiz şartlarda gerçekleştiği ortamlardır.

En önemli yüksek korozyon aşınma türü oksitlenmedir. Metal ve alaşımlar yüksek sıcaklıklarda hava veya oksitleyici ortama maruz kaldıklarında yüzeylerdeki oksit tabakası doğal olarak büyür. Metalik malzeme ve üzerindeki oksit tabakası, farklı ısıl genişleme katsayılarına sahiptirler. Oksit tabakası, çalışma ortamındaki ısınma soğuma çevrimleriyle oluşan iç gerilmeler sebebi ile (metal tabaka ara yüzeyinde) zaman zaman dökülür ve hemen doğal olarak kendini yeniler. Koruyucu oksidin kendini tekrar yenileyemeyecek duruma gelmesi durumunda savunmasız kalan metal ise hızla oksitlenir ve zamanla pul pul dökülerek yüzeyde malzeme kaybı oluşur [35].

4.4. AŞINMANIN AZALTILMASI İÇİN GEREKLİ ÖNLEMLER

1. Aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi, parçanın çalıştığı ortamdaki mevcut aşınma türü ve şiddeti belirtilerek yapılmalıdır.
2. Parçanın geometrisi, aşınmayı en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır.
3. Sadece aşındırıcı ortamlarla temas halindeki yüzeyler veya tüm yüzey alanı, esas malzemenin özelliklerinden daha üstün özelliklere sahip ve mevcut aşınma türüne daha dayanıklı bir malzeme ile kaplanmalıdır.
4. Parçanın tamamının aşınmaya dirençli malzemeden üretilmesi yerine, maliyeti azaltmak açısından sadece aşınan yerlerin aşınmaya dirençli malzemelerden üretilmesi daha uygun olacaktır.

5. Parçanın üretim aşamasında herhangi bir imalat hatasına (gözenek, cüruf, çatlak, kalıcı çekme gerilmeleri, istenmeyen mikro yapı, yüksek yüzey pürüzlülüğü vb.) yer verilmemelidir.
6. Parça, dayanım limitlerini aşan yükleme şartlarında (yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yüksek hız vb. gibi) kullanılmamalıdır.
7. Bir yağın viskozitesi sıcaklığa göre değişir. Viskozite indeksi büyük olan yağlar, sıcaklık ile, özellikleri daha az değişim gösteren yağlardır. Yağlayıcı ile çalışan ortamlarda yüksek viskozite değerli ve yüksek basınca dayanıklı yağlar (fosfor ve kükürt katkılı) kullanılarak yağ filminin çabuk bozulması önlenir. Bununla beraber, katkılı yağların oksidasyon aşınmasını arttırıcı bir rol oynadığı da düşünüldüğünde malzeme seçiminde daha dikkatli olunmalıdır.
8. Soğutucu seçimi, parçanın çalışma ortamına uygun biçimde olmalıdır.
9. Yağlayıcı ve soğutucunun uygun bir filtreleme işleminden geçirilerek içindeki aşındırıcı partiküllerin sisteme tekrar girmesine engel olunmalıdır.
10. Yağlayıcının kontrolleri düzenli olarak yapılmalı ve en düşük kullanım limiti belirlenerek belli aralıklarla yenilenmelidir.
11. Sürtünme elemanları, malzeme açısından bir birine uygun seçilmelidir. Özellikle korozyon aşınmasına maruz kalan parçalarda, parçanın üzerindeki korozyon tabakalarının, belli aralıklarla yapılan temizlik işlemleriyle kaldırılması, parçanın ömrünü arttırıcı rol oynayacaktır [35].

4.5. AŞINMANIN KULLANIM ALANLARI

Aşınma, her ne kadar birçok makine ve makine elemanını olumsuz etkilese de tahılların öğütülmesinde (abrasif aşınma) ve teknolojinin birçok değişik alanında gelişmelere yol açmıştır.

En önemli gelişmelerden bir tanesi de talaşlı imalatta hassas ve işlenmesi zor iş parçalarının işenmesinde kullanılan tezgahların üretilmesi ile yaşanmıştır. Örneğin adından da anlaşılacağı gibi elektro erozyon ve tel erozyon tezgahları elektro erozyon aşınması mantığı ile çalışan tezgahlardır. Burada iş parçası anot (+), elektrot katot (-) yüklü iki parçadır. Elektrot ile iş parçası arasında çok küçük ark boşluğunda kıvılcım

atlaması meydana gelir. Burada aşınma sürekli ve uzun zaman almaktadır.

Araştırmacılar, hareket halindeki suyun yaptığı aşındırma olaylarını yağın yağmurun, yüksek yerden düşen su damlalarının, şelalelerden akan suların aşındırma olayından yola çıkarak yine çok önemli bir tezgah olan su jeti tezgahını üretmişlerdir.

Tezgahın çalışma prensibi, katı partiküllü erozyon mantığı ile aynıdır. Öncelikle düşük basınçlı suyun basıncı yükseltilir. Gerekliğinde aşındırıcı partiküllerde karıştırılarak delik çapı \varnothing 0,08-0,40 mm olan lüleden geçirilerek yüksek hızlarda, kesilecek malzeme üzerine teması ile kontrollü olarak erozyon yöntemi ile kesme işlemi yapılır.

4.6. AŞINMA ÖLÇÜM METODLARI

4.6.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesinde bulunması sebebi ile en çok kullanılan ölçüm metodudur. Ağırlık kaybının ölçümü, 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyette, oldukça duyarlı terazi ile yapılır.

Aşınma miktarı gram ve miligram cinsinden ifade edilmiş, alınan yol metre veya kilometre olarak tespit edilmiş ise, bulunan kayma veya sürtünme yoluna göre birim kayma yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (gr/km) veya (mg/m) ile ifade edilir. Ağırlık kaybı birim alanı için hesap edilecekse (gr/cm^2) gibi bir birim ile ifade edilebilir. Ağırlık farkı ölçme yönteminde en çok kullanılan bağıntı aşağıdaki gibidir [36].

$$W_a = G / d.M.S \quad (4.1).$$

W_a: Aşınma oranı (mm^3 / Nm)

G : Ağırlık kaybı (gr)

M : Yükleme ağırlığı (N)

S : Aşınma yolu (m)

d : Malzeme yoğunluğu (gr/mm^3) olarak ifade edilir.

4.6.2. Kalınlık Farkı Metodu

Aşınma esnasında meydana gelecek boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeriyle karşılaştırılması sureti ile yapılır. Kalınlık olarak tespit edilen değer, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilir. Kalınlık, hassas ölçme aletleri ile 1µm duyarlılıkta ölçülebilir. Boyutsal değişimin ölçülmesinde sistemin durdurulması gerekmez. Bunun için mekanik (mikrometre), optik (mikroskop), elektronik (lineer deplasman ölçer) yöntemler de kullanılabilir.

4.6.3. İz Değişimi Yöntemi

Sürtünme yüzeyi bölgesi, geometrisi belirli bir iz, plastik deformasyon ile oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Uygulamalarda en çok kullanılanı Vickers veya Brinell sertlik ölçme aletidir. Bilye veya elmas piramidin bıraktığı iz çapındaki değişimin mikroskop yardımıyla ölçülmesi suretiyle değişim incelenir.

4.6.4. Radyoizotoplar İle Ölçme

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü atom parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi, avantajlarıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle özel problemlerin çözümü dışında yaygın bir yöntem değildir.

4.6.5. Bilgisayar Destekli Ölçme

Bu yöntemde aşınma ve aşınma değişkenlerine ait veriler, esas itibarı ile pim disk aşınma test mekanizmasına ilave edilen sensörler vasıtası ile belirlenmektedir. Aşınma kayıpları ve sürtünme katsayısı verileri bilgisayara A/D-D/A kartlar üzerinden aktararak işlenir. Bu veriler, paket programla grafik formlara dönüştürülebilir, istatistiksel analizlere tabi tutulabilir ve diğer hesaplamalarda kullanılabilir [36].

4.7. TRİBOSİSTEMLER

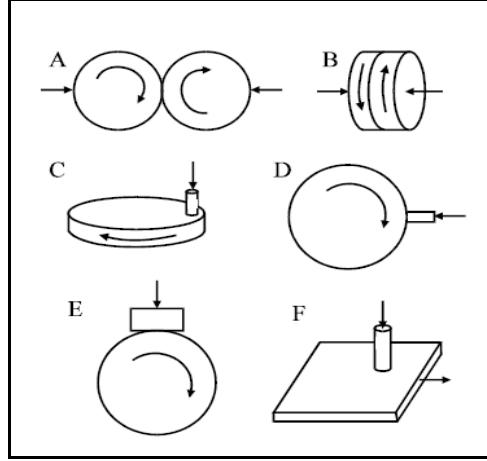
Tribolojinin sözlük anlamı birbiri ile temas eden yüzeyler arasındaki etkileşimi inceleyen bilim ve teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Tribolojik araştırmaların amacı yüzey sürtünmelerinin ve aşınmadan kaynaklanan kayıpları azaltmak ve gidermektir. Aşınma tiplerinin çok çeşitli olması ve birçok farklı durumda aşınma probleminin ortaya çıkması, çok sayıda tribotestin gelişmesine sebep olmuştur. Genel olarak aşınma araştırmaları şu amaçlarla yapılır;

1. Sistemlerin verimliliği, ömrü, güvenilirliği, performansı, fonksiyonu, bakım yapılabilirliğinin değerlendirilmesi,
2. Sistem elemanlarının kalite kontrolü,
3. Malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarının karakterize edilmesi
4. Aşınmanın sebep olduğu malzeme kayıplarının araştırılması.

4.8. AŞINMA DENEYLERİ VE AŞINMA DENEY YÖNTEMLERİ

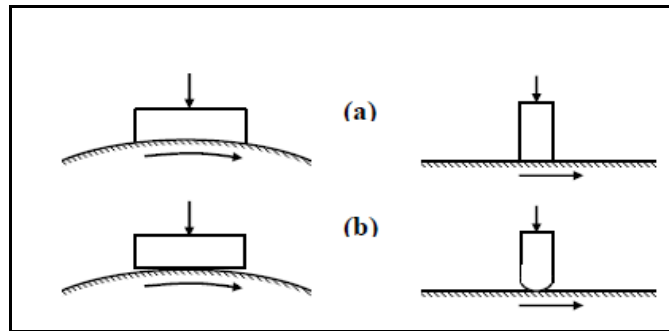
Aşınma çalışmalarında birçok değişik deneysel düzenekler kullanılmaktadır. Aşınma için yapılan laboratuvar araştırmaları, genellikle hem oluşan aşınma mekanizmalarının incelenmesini hem de pratik uygulamaların benzeşiminin yapılması ve aşınma oranları ile sürtünme katsayıları için kullanışlı dizayn verilerinin elde edilmesini ortaya çıkarmaktadır. Her iki amaç için de aşınmayı etkileyebilen tüm değişkenlerin kontrol ve ölçümü oldukça önemlidir. Şekil 4.7'de yaygın olarak kullanılan birkaç tip aşınma ve test aparatlarının geometrik şekilleri görülmektedir. İlk defa 1774 yılında sürtünmeyi ölçmek için kullanılan bir alete isim olarak verilen Tribometre kelimesi bazen birkaç aparat için kullanılmaktadır. Son zamanlarda kabaca tibotester ve daha fazla bunun fiil ile birleşmiş haliyle oluşan terimler için kullanılmaktadır [37]. Şekil 4.7'de görülen metotlar iki tipe ayrılabilirler. Bunlardan birincisi, aşınma oranının her iki kayma yüzeyinde de aynı malzemeden olsa bile aşınma oranlarının farklı olduğu asimetrik düzendedir.

Simetrik düzen, aşınma çalışmasında pek sık kullanılmaz. Bu düzene Şekil 4.7'deki A ve B düzenleri örnek olarak gösterilebilir. Bu düzen tipinde ya çevreleri boyunca temas halinde olan (A), ya da yüzeyleri boyunca temas halinde olan (B), her ikisi de dönen bilezik veya iki disk bulunur.



Şekil 4.7. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenekler [27].

Çok yaygın olarak asimetrik cihazlarda bir diske karşı bastırılan pim kullanılır. Bu pim diskin ya düz yüzeyi üzerine (C) ya da kenarına (D) bastırılır. Bu düzen tipi bileziğe karşı bastırılan bir blok (E) veya düz bir yüzey üzerine bastırılan pim (F) şeklinde olabilir. Bu test cihazında temas şekilleri belirli bir alan teması (düz bir disk üzerine düz uçlu bir pim veya bir bilezik üzerine tam yerleşmiş bir blok) veya bir nokta ya da çizgi teması (bir disk üzerine düz uçlu bir pim veya bilezik üzerine düz bir blok) şeklindedir. Bu temas şekilleri Şekil 4.8'de detaylı olarak gösterilmektedir [37].



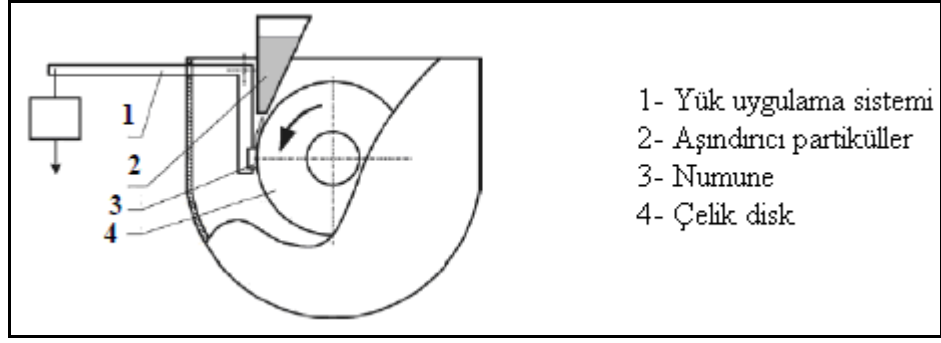
Şekil 4.8. Deney cihazlarında temas biçimleri [37].

Kayma şartları altındaki aşınma; kayma aralığına, ayrıca kayma hızı ve test süresinin her ikisinin birden büyüklüğüne bağlıdır. Kayma hızı, sürtünme enerjisinin dağılıma oranını ve böylece iç yüzeydeki sıcaklık oranını etkiler. Bir aşınma testinin sonuçları ile, bu aşınma testinin yarı süresi ve iki kat hız ile elde edilen bir başka aşınma testinin sonuçlarının aynı olması düşünülemez. Kayma hızı değişken aşınma mekanizması ve oranında ani geçişler olabilir. Aşınma ayrıca kayma yüzeyleri arasındaki nominal temas basıncına da bağlıdır. Temas basıncındaki değişmelerin oluşturduğu geçişleri de içerir. Temas basıncından bağımsız olarak numunenin lineer boyutları da önemlidir. Uzun bir numunenin kenarına yakın bir yerdeki aşınma hasarı, temas bölgesinden geçişi esnasında kısa bir numunedeki aşınma hasarına göre daha etkilidir.

Normal yük, temas alanı, kayma hızı ve test süresindeki büyük değişikliklerden başka diğer çeşitli faktörlerde aşınma testinde hesaba katılmalı ve izlenmelidir. Test sıcaklığı, malzemenin mekanik özellikleri üzerine ve sıcaklığın hareket geçirdiği işlemler üzerinde etkisinden dolayı önemlidir. Yağlı sistemlerde yağ viskozitesi üzerine olan etkisinden dolayı test sıcaklığı önemlidir. Atmosferik bileşenler de önemlidir. Su buharı ve oksijen gibi reaktif bileşenler tüm malzemelerde aşınma oranını ve mekanizmasını kuvvetli bir şekilde etkiler. Yağlı sistemlerde, yağ filmlerindeki basınç dağılımı ve bunun sonucu film kalınlığı ve yağlayıcı maddenin miktarı da önemli faktörlerdir.

4.9. AŞINMA DENEYLERİNDE KULLANILAN BAZI AŞINMA DENEY CİHAZLARI

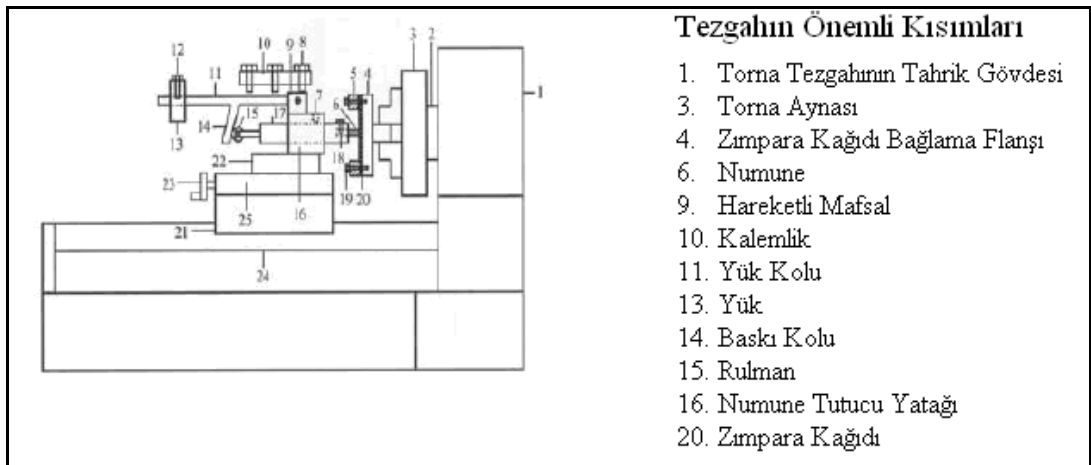
Klaasen ve Kübarsepp, bazı karpit bileşiklerinin aşınma performansı hakkında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Aşınma deneyi için Şekil 4.9'da şematik olarak gösterilen lastik (kauçuk) tekerli abrasyon (ASTM G65-94) deney cihazını kullanmışlardır. Bu deney cihazı üç partiküllü abrasif aşınma deneyleri için ideal bir tasarım olmakla birlikte disk üstü blok deneyi içinde rahatlıkla kullanılabilir [38]. Ayrıca abrasif aşınma deneyleri ASTM standartlarına göre; G 65 Lastik tekerli abrasyon testi(aşındırıcı kuru kum), G 105 Lastik tekerli abrasyon testi(aşındırıcı ıslak kum), B 611 Yüksek gerilimin olduğu yerlerde çelik teker kullanılır.



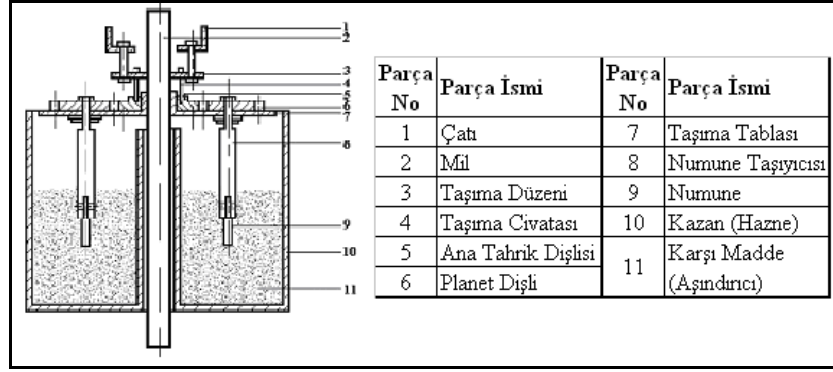
Şekil 4.9. Lastik tekerli abrasif aşınma deney cihazı şematik görünümü [38].

Taşgın ve Kaplan, yaptıkları çalışmada dubleks döküm tekniğiyle üretilen FeCrC katkılı malzemenin abrasif aşınma davranışını incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmada şekil 4.10'da şematik olarak gösterilen aşınma deney cihazını kullanmışlardır. Deney cihazı, bir torna tezgahı üzerine gerekli aparat ve ölçüm sisteminin monte edilmesi ile oluşturulmuştur [39].

Sarı ve Yılmaz, yaptıkları abrasif aşınma deneyinde, Şekil 4.11'deki aşınma deney cihazını kullanmışlardır. Aşındırıcı tanecik olarak 820 Knopp sertlik değerinde çakmak taşı kullanmışlardır. Aşınma makinesi dönme – karıştırma sistemine göre çalışmaktadır. Kazan içerisindeki aşındırıcı tanecikler içinde planet dişli mekanizması ile hem kendi ekseninde hem de ana mil ekseninde dönerek numuneler zaman ile aşınmaktadır [40].



Şekil 4.10. Abrasif aşınma deney cihazı şematik görünümü [39].

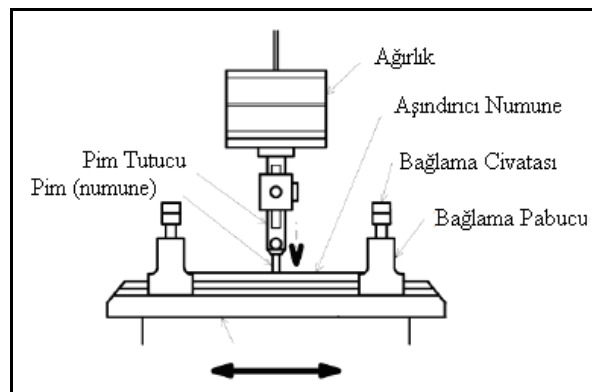


Şekil 4.11. Aşındırıcı partiküllü aşınma deney cihazı [40].

Aşınma deneylerinin pim-ring kayma sisteminde değişik yük ve kayma hızı şartları altında gerçekleştirildiği deneylerde kullanılan deney cihazının şematik görünümü Şekil 4.11’de görülmektedir. Burada uygulanan normal yük, bir hidrolik pompa yardımı ile iç tutucunun üstünde bulunan hazneye gönderilen basınçlı yağın lastik diyaframı şişirmesi ve tutucuyu kaymalı yatağı içinde itmesi şeklinde uygulanmaktadır. Sürtünme ölçülmesinde bir ucu ankastre, diğer ucu serbest olan dikdörtgen kesitli çelik bir kirişin elastik sınır içindeki sehiminden faydalanılmaktadır. Sehim miktarı, bir deplasman transduseri ile ölçülmüştür [41].

4.9.1. Pin on Flat (Düzlem Üzeri Çubuk) Deney Cihazı

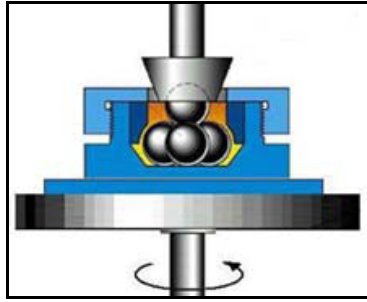
Düzlem üzerinde çubuk aparatında, sabit duran çubuk üzerinde bir düzlem, git-gel hareketi yapar. Bazı durumlarda düzlem sabit ve çubuk hareketlidir. Çubuk, bir bilye, yarım küre uçlu bir ilave veya düz uçlu bir silindir olabilir [39].



Şekil 4.12. Pin on Flat deney cihazı şematik görünümü [39].

4.9.2. Dört Top Deney Aparatı

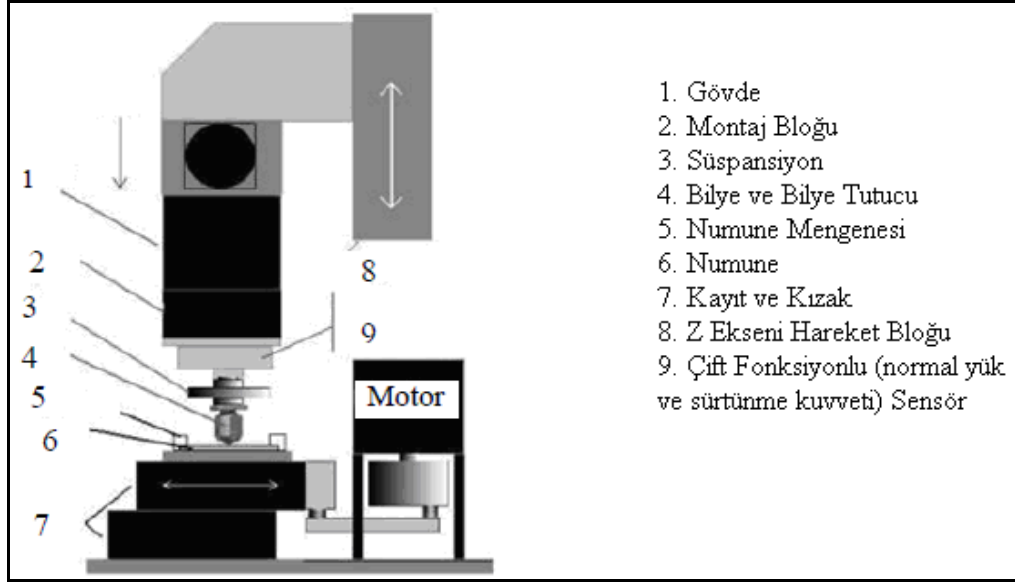
Şekil 4.13’de şematik olarak dört top test aparatı gösterilmektedir. Alt taraftaki üç top, bir taşıyıcı içerisinde hep birlikte döner ve üst taraftaki topa doğru izafi olarak hareket eder. Üstteki top, yerinde sabittir ve aşağıya doğru normal bir yük uygulamaktadır. Bilyeler, standart rulmanlı yatak çeliğinden yapılabilir. Bu test, malzeme davranış çalışmalarından çok, yağlama performansının değerlendirilmesinde kullanılan bir metottur.



Şekil 4.13. Dört top aşınma deney aparatı [41].

4.9.3. Ball on Flat (Düzlem Üzeri Bilye) Deney Cihazı

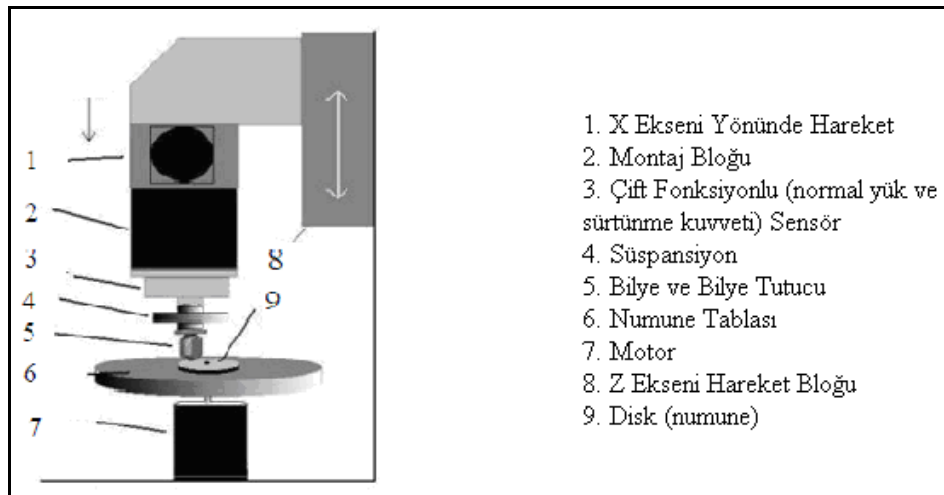
Bu deney lineer olarak ileri geri hareket eden düz bir numune yüzeyine belirli bir yük ile temas ettirilen kürenin kayması esasına dayanmaktadır. Şekil 4.14’deki modelde görüldüğü gibi yük, küre üzerinden uygulanmaktadır. Ayrıca aşınma deneyi ile birlikte sürtünme kuvveti deneyleri de yapılabilmektedir. Bu deney cihazının çalışma prensibi, motordan alınana dairesel hareket ile kızak üzerinde bulunan kayıt, lineer olarak ileri geri hareket ettirilmektedir. Kayıt üzerine bağlama aparatları ile bağlanan numune yüzeyine belirli ölçülerdeki bir kürenin belirlenen yük ile temasına dayanmaktadır. Bu deneydeki önemli parametreler uygulan yük, numunenin hareket uzunluğu, hareket sıklığı ve hızı, test sıcaklığı ve test süresidir.



Şekil 4.14. Ball on Flat deney cihazı [41].

4.9.4. Ball on Disk (Disk zeri Bilye) Deney Cihazı

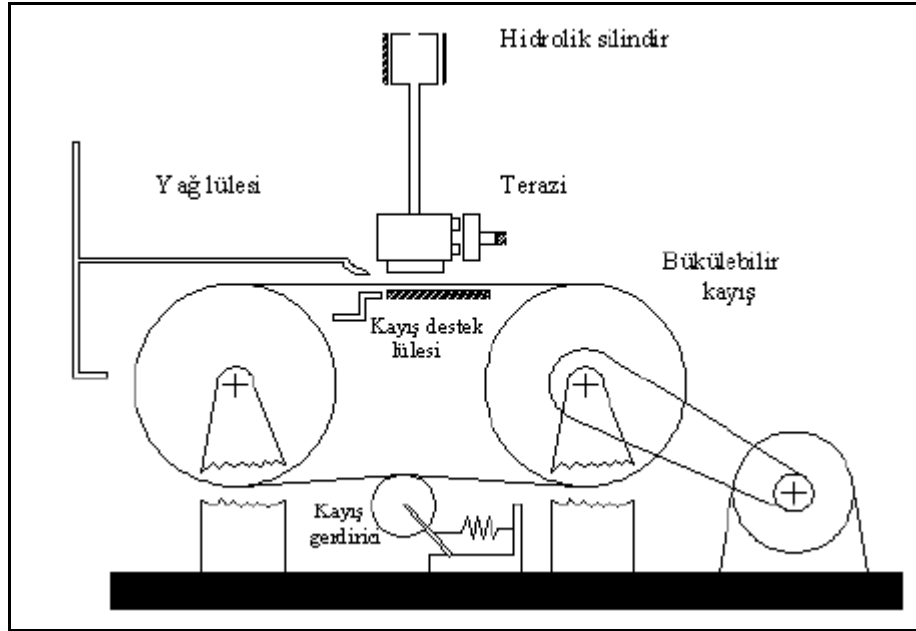
Bu deney cihazı ile pin on disk deney cihazının çalışma prensipleri birbirilerine benzer. Ball on disk deneyinde, numune (disk) yüzeyine bir kürenin belirlenen yk ile temas ettirilmesi ile aşınma gerçekleştirilir. Motordan alınan dairesel hareket ile diskin kendi eksenini etrafında dönmesi sağlanır. Küre, bağlama aparatları ile montaj bloğuna bağlanır. Ayrıca kürenin x veya y eksenini yönünde hareket etmesi gereklidir. Şekil 4.15’deki modelde yk düşey olarak küre üzerine uygulanmaktadır.



Şekil 4.15. Ball on Disk deney cihazı [41].

4.9.5. Levha – Kayış Deney Cihazı

Bu sistem, iki geniş silindir ve bu iki silindirin üzerinden geçen, eğilebilme özelliğine sahip bir kayıştan meydana gelmektedir. Bu iki büyük silindirden bir tanesi hızı ayarlıdır. Kayış, silindirlerin etrafında dönmekte olup gevşeklik şeklinde görüldüğü gibi basit bir gerdirme tekeri ile düzeltilir. Kayış; kumaş, lastik, çelik şerit veya takviye edilmiş kompozit malzemelerden olabilir. Deneylerde kullanılacak yüzey tekstürü ise imalatı esnasında kayışın bir yüzüne zımpara kağıdı yapıştırılarak veya aşındırıcı örtülerek sağlanır. İki silindirin arasında kalan kayışın düz kısmı bir hava veya su yastığıyla desteklenmiştir. Kayışın hızında yaklaşık olarak eşit hızda akış hızına sahip olan, su yastığını temin eden kayış destek lülesi vardır. Bu lüleye gelen suyu kontrol eden, elle ayarlanabilen veya silindirin hızıyla kontrol edilen bir vana vardır. Kayış hareketi ve vananın açılmasıyla birlikte homojen bir su tabakası oluşur.



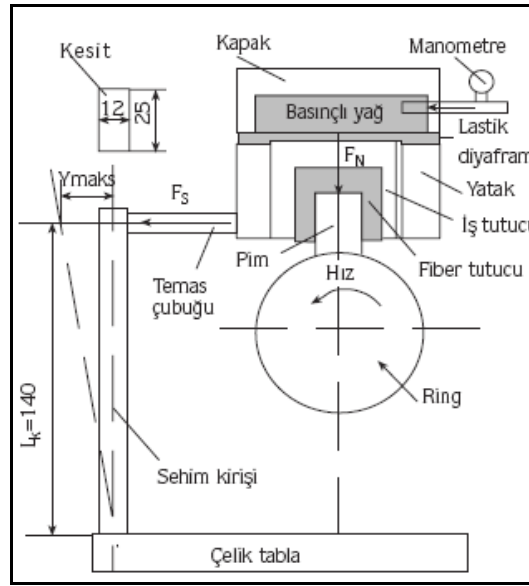
Şekil 4.16. Levha-kayış aşınma deney cihazı [28].

Deneyde kullanılmakta olan test numunesi bir hidrolik silindir vasıtasıyla itilmek suretiyle kayış üzerine bastırılarak bir normal yük meydana getirilir. Kayış ve numune arasında oluşan sürtünme kuvveti etkisiyle numune deformasyona uğrar. Numuneyi tutmakta olan kafa sağ ve sol taraftan yataklanmıştır.

Kayış hareket yönü tarafında bulunan yatağa, sürtünme kuvvetinin ölçülmesi maksadıyla bir terazi yerleştirilmiştir. Şekilde görülen B vanası yardımıyla, yağ besleme lülesi kayışın sürtünen yüzeyinde homojen bir su tabakası meydana getirir. Bu düzeneğin, kayış ile numune arasında oluşturulabilecek çok büyük izafi hızları taşıyabilecek kabiliyettedir. Sistemin en büyük avantajı iç ve dış silindirin düzeneğindeki gibi temas yüzeyinde bir eğrinin olmayışıdır [28].

4.9.6. Pin on Cylinder (Silindir Üstü Çubuk) Deney Cihazı

Silindir üzerinde çubuk aparatı, pin on disk aparatına benzer. Farkı, numunenin yüklemesi, dönen silindir üzerine diktir. Numune, düzlem veya yarım küresel uç olabilir.



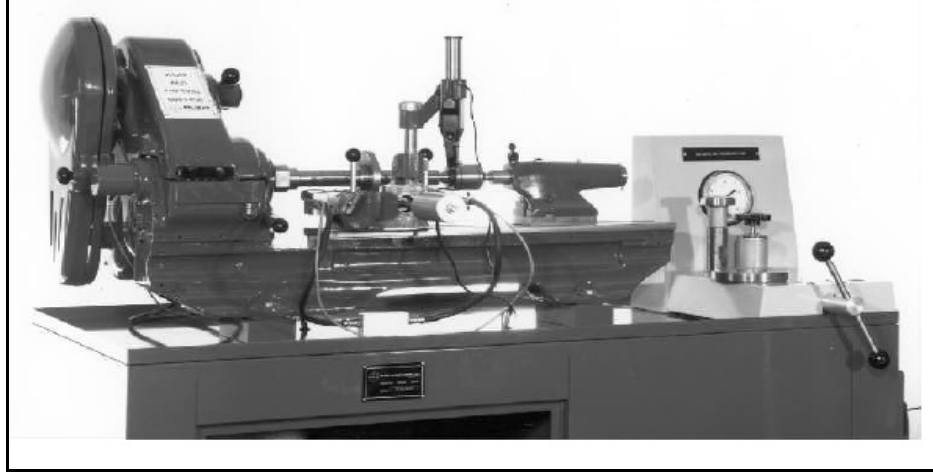
Şekil 4.17. Silindir üstü çubuk deney cihazı şematik görünümü [41].

4.9.7. Çapraz Silindir Deney Cihazı

Kağıt, kumaş, sac metal vb. malzemelerin kesiminde aşağıdaki gibi makas sistemi kullanılır. Bu tür kesimlerde bıçakla metal arasında çok küçük temas alanı ve yırtılmalar meydana gelir. Özellikle sac metal kalıplarındaki kesme işlemi buna çok iyi bir örnektir. Bu gibi bıçaklarda aşınma, metal-metal aşınması veya abrasif aşınma şeklinde meydana gelmektedir.

4.9.8. Plint TE 97 Sürtünme ve Aşınma Deney Cihazı

Plint firmasının ürettiği ilk tribolojik test cihazı TE 97 model test cihazıdır. Bu cihazın tasarımı Dr. Michael Plint ve Prof. Duncan Dowson tarafından yapılmıştır [42].



Şekil 4.18. Plint firmasının ürettiği ilk TE -97 aşınma deney cihazı [42].

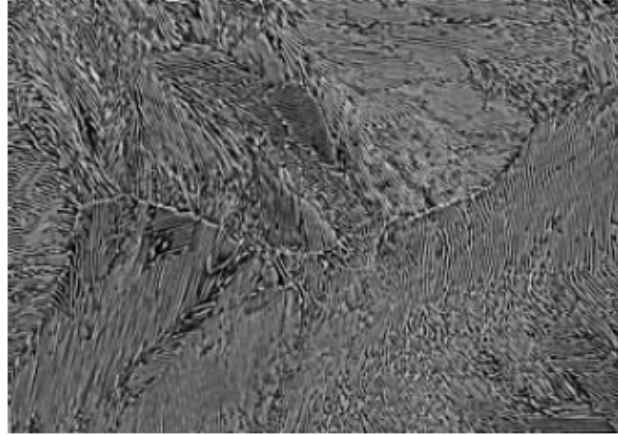
Sürtünme ve aşınma üzerine eski tarihlerden beri birçok çalışma yapılmış ve insanların asırlar önce tahılları öğütmek için aşınmayı ve sürtünmeyi azaltarak büyük kütleli parçaları daha az kuvvetle itebilmek için yağları kullandıkları bilinmektedir. Özellikle yakın tarihimizde sanayi devrimlerinin başlaması ile birlikte aşınma ve sürtünme daha fazla önem kazanmıştır. Birçok ülkenin aşınma ve sürtünme yüzünden milyon dolarlarca zarar ettikleri bilinmektedir. Sürtünme ve aşınma deneyleri için birçok deney cihazı kullanılmaktadır. Model aldığımız deney cihazı TE 97 aşınma deney cihazıdır. TE 97 Sürtünme ve aşınma deney cihazı tribolojik olayları, kuru ve sıvı kaymayı, iki ve üç parçalı aşınmayı, yapışıp bırakma olaylarının incelenmesi için dizayn edilmiştir. Bu cihazın konfigürasyonunda bazı değişiklikler yapılarak çeşitli deneyler yapılabilir.

BÖLÜM 5

MANTARI SERTLEŞTİRİLMİŞ RAYLARLA İLGİLİ ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasında kullanılan R260 kalite doğal sertlikteki ve mantarı sertleştirilmiş ray malzemelerinin mikro yapısında bulunan yapılar; ferrit ve perlit fazlarından oluşmaktadır. Bu fazlar hakkında yapılan çalışmalara göz atacak olursak;

Herian ve Aniolek, yaptıkları çalışmada [6]; çeşitli perlit morfolojilerine sahip R260 kalitedeki ray çeliğinin perlitik yapısını sıcak haddeleme sonrası elde etmişlerdir. Kullanılan Gleeble simülatörü; yüksek ölçüm hassasiyeti ve östenitleme sıcaklık kontrolü, sabit perlitik dönüşüm sıcaklığı ve sabit soğuma oranını sağlamaktadır. Sıcak haddelemenin ardından perlitik yapı bulunmuştur.

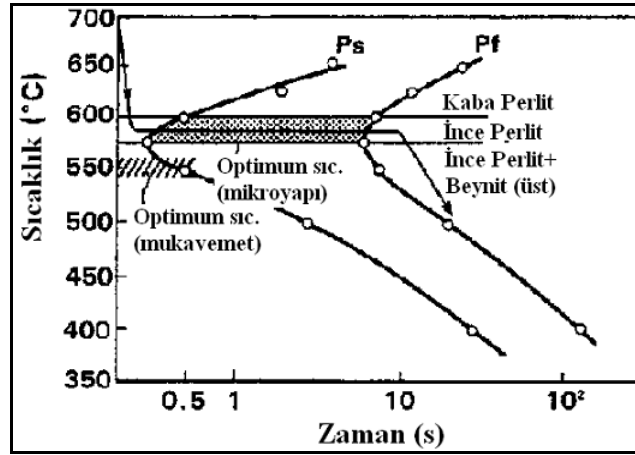


Şekil 5.1. Sıcak haddelemenin ardından çelik mikro yapısı [6].

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi izotermal tavlamanın ardından sıcak haddeleme sonrasına nazaran daha ince kolonilerden oluşan perlitik yapı görülmüştür. Isıl işlem sonrası yapılar, daha küçük lameller arası uzaklık ve daha küçük sementit lamel kalınlığı ile tanımlanmıştır.

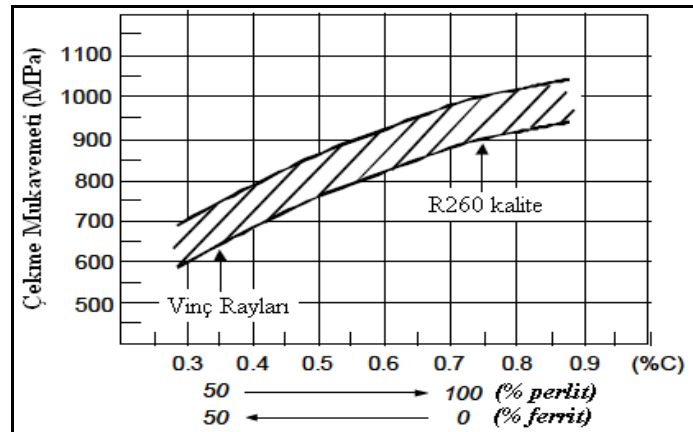
Clayton ve Danks perlit lameller arası uzaklığın sertlikte ilişkisini ortaya koydukları çalışmada [43]; sertliğin lameller arası mesafeyle ters orantılı olduğunu göstermişlerdir.

Paris yapmış olduğu çalışmada [44]; ince perlitik yapı elde etmek için dönüşüm sıcaklık aralıklarını ve izotermal dönüşüm eğrilerini elde etmiştir (Şekil 5.2).



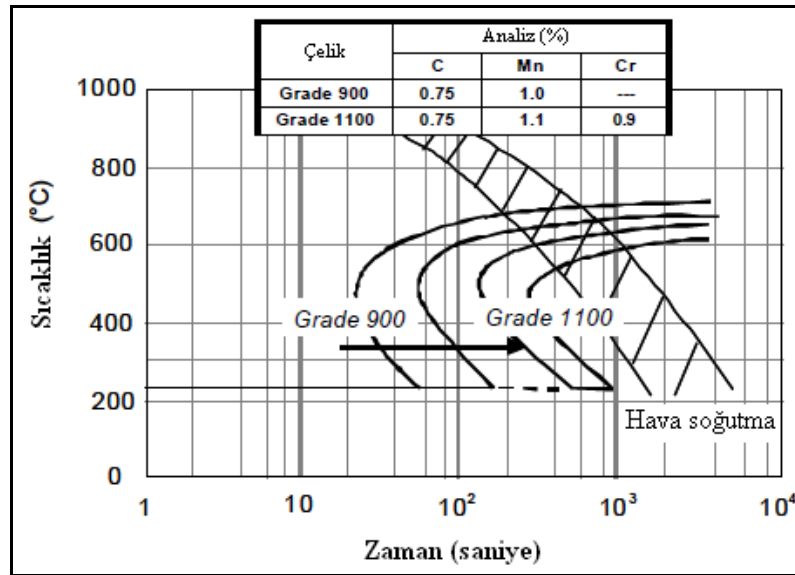
Şekil 5.2. Uygulanan farklı ısıl işlem metodlarıyla malzeme mikro yapısı ve mekanik özelliklerinin kontrolü [44].

Williams et al. yaptıkları çalışmada [45]; karbon oranının mikro yapıya ve mekanik özelliklerine etkisini incelemişler ve artan karbon içeriğiyle birlikte çekme mukavemetinin arttığını, mikro yapının da perlitik yönde artış gösterdiğini belirlemişlerdir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Karbon içeriğinin mikro yapı ve çekme mukavemetine etkisi [45].

Heller ve Schmedders yaptıkları çalışmada [46]; 900 (UIC) kalite ray çeliğinin perlitik mikro yapının maksimum çekme mukavemetini 1 200 MPa olarak belirlemiş ve ince perlitik yapıya ulaşmanın 2 muhtemel yolu olduğunu belirtmişlerdir. Bunlardan birincisi alaşım elementinin (örneğin Cr) ilavesiyle östenit-perlit dönüşüm bölgesinin, CCT diyagramında mantar kısmında hava soğutmayla östenitin ince perlite dönüştüğü sağ tarafa kaymasıdır. Bu şekilde elde edilen ray çeliği artık yüksek mukavemete ve yüksek aşınma direncine sahip 1100 (UIC) kalite ray olarak adlandırılır. İkinci yol, ince perlit yapısını elde etmek için 900 kalite raylarda östenitin perlite dönüşümünü sağlamak amacıyla diyagramın soluna doğru kaydırarak ray mantarının soğumasını hızlandırmaktır. Bu yolla aynı kimyasal analizde 1100-1200 MPa çekme mukavemeti değerleri yakalanabilir.



Şekil 5.4. Alaşımlamanın perlit oluşumuna etkisini gösteren TTT diyagramı [46].

Yokoyama yaptığı çalışmada [47]; % 0,35 C konsantrasyonlu yüksek mukavemetli beynitik ray çeliğinin 1400 MPa çekme mukavemetine sahip ve çok iyi aşınma direnci gösterdiğini tespit etmiştir.

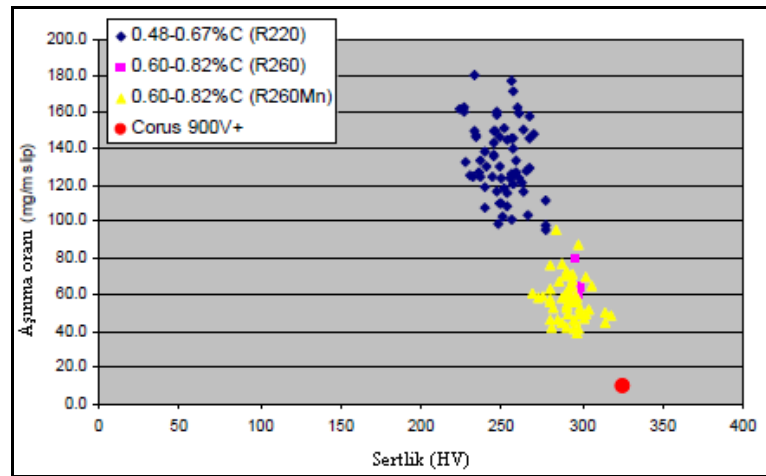
Girsh ve Frank yaptıkları çalışmada [4]; sertliğin artmasıyla hem aşınma hem de yuvarlanma temas yorulması direncinin arttığını göstermişlerdir.

Madler et al. tarafından, perlitik ve beynitik ray çeliklerinin, yuvarlanma temas yorulması ile birlikte hat virajlarında kullanılabilirliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda [22]; aşınma az olmasına rağmen, yüksek sertlikteki perlitik çelikler aynı zamanda mantar çapaklarına ve kılcal çatlaklara yol açtığını, ancak bu özellikleri yine de raylarda oluşabilecek muhtemel hasarların ötelenmesi ile sonuçlandığını belirlemişlerdir. Uygun alaşımlama ve sülfür yapılarının kontrolü ile ısıtılmamış doğal olarak sert çeliklerin mantarı sertleştirilmiş raylara alternatif olarak geliştirilebileceğini belirtmişlerdir.

Garnham ve Beynon aşınma ile ilgili yaptıkları çalışmada [48]; beynitik çeliklerin daha düşük karbon içeriği ile perlitik çeliklerdekine benzer sertlik ve aşınma direnci gösterdiklerini belirlemişlerdir.

Clayton ve Jin yaptıkları çalışmada [49]; beynitik çeliklerde aşınmanın perlitik çeliklere göre sertliğe daha az bağlı olduğunu tespit etmiştir. Clayton ayrıca karbür içermeyen, kafes martenzit yapıya sahip beynitik çeliklerin, diğer beynitik yapıların aksine perlitik çeliklerle karşılaştırıldıklarında daha fazla aşınma direnci gösterdiklerini de belirlemiştir.

Jaiswal çeşitli perlitik ray çelikleri ile yaptığı çalışmada [50]; sertlikle aşınmanın ilişkisini ortaya koymuştur (Şekil 5.5). Şekilde de görüleceği gibi karbon oranı arttıkça sertlik, dolayısıyla aşınma direnci de artmaktadır.



Şekil 5.5. Sertliğin aşınma davranışı ile ilişkisi [50].

Clayton ve Danks yaptıkları çalışmada [43]; sertlikle aşınma oranının ilişkisini belirlemiştir. Bu çalışmada kullandığı ray çeliğine 2 farklı yük uygulamış ve sonuç olarak artan sertlikle azalan aşınmayı tespit etmiştir.

Yokohama yapmış olduğu bir çalışmada [51]; yüksek mukavemetli perlitik ve beynitik ray çeliklerinde yuvarlanma temas yorulması başlangıcı için su ve yağlama ile birlikte aşınma testi uygulamıştır. Bu çalışmada beynitik çeliklerde perlitik çeliklere göre hasar başlangıç zamanının daha uzun sürdüğünü tespit etmiştir.

Williams et al. yaptıkları çalışmada [45]; ray çeliğinin niobyum ile alaşımlandırılmasının çekme mukavemetini artırdığını bunun da aşınma direncini artırdığını tespit etmişlerdir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

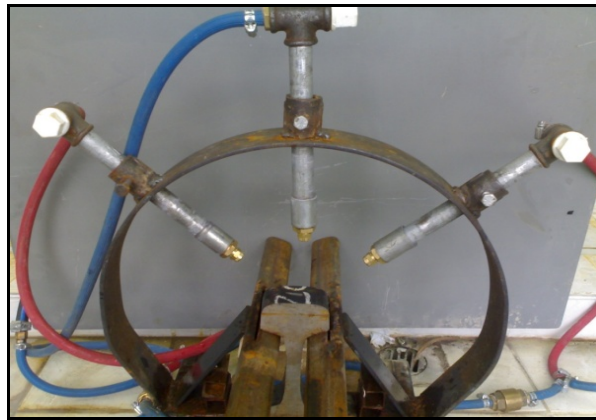
Bu çalışmanın amacı R260 kalitede (EN 13674-1) aşınmaya dayanıklı rayların mantar bölgelerinin sertleştirilerek aşınma özelliklerinin incelenmesidir. Bu çalışmada R260 kalite raylardan alınan numuneler mantar sertleştirme işlemi için başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Yapılan düzeneğe; çeşitli östenitleme sıcaklıklarındaki rayların mantar bölgesine belirli oranlarda ve belirli sürelerle yalnızca su ve daha sonra hava+su karışımı püskürtülerek ince perlit yapısı elde edilmesi amaçlanmıştır. Mantar sertleştirme işlemine tabi tutulan rayların mikro yapı karakterizasyonu ve sertlik testleri yapılmıştır. İlgili standartta belirtilen sertlik değerleri yakalanan raylara daha sonra aşınma testleri uygulanmıştır.

6.1. RAYLARA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER

Raylara mantar sertleştirme ısıl işlemi; 800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklarda 2 saat süre ile östenitleştirilip önce yalnızca su, sonra hava+su karışımı püskürtmek suretiyle gerçekleştirilmiştir. Su verme işlemi için özel olarak hazırlanmış bir düzenek kullanılmıştır (Şekil 6.1). Kullanılan özel düzenek sayesinde rayın mantar bölgesine üç farklı bölgeden üç meme (nozül) kullanılarak su verilmiştir. Sadece mantar bölgesi soğutulmuş, rayın alt bölgelerinin su ile temas etmesi önlenmiştir. Böylece rayın mantarına su verilerek soğutulurken rayın alt bölgelerinin hala sıcak kalması sağlanmıştır. Sadece su verildiğinde bir memedeki debi 4,3 litre/dakika, hava+su verildiğinde bir memedeki debi 2,4 litre/dakikadır. Su ile beraber 5 bar hava verilmiştir. Bu değerler ön çalışmalar sırasında yapılan çok sayıda deney ile belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda östenitleştirilen raylar bu düzenek sayesinde 10, 15, 20 ve 30 saniye sürelerle yalnızca su ve hava+su püskürtülerek ısıl işlemler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sprey püskürtmelerin değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ray numunelerine mantar sertleştirme işlemlerinde püskürtülen su ve hava değerleri ve püskürtme süreleri.

Numune No	Sıcaklık (°C)	Süre (saniye)	Su verme tipi	Kullanılan ortalama su miktarı (litre)
1	900	10	H + S	1.2
2	900	10	S	2.15
3	900	15	H + S	1.8
4	900	15	S	3.225
5	850	10	H + S	1.2
6	850	10	S	2.15
7	850	15	H + S	1.8
8	850	15	S	3.225
9	800	10	H + S	1.2
10	800	10	S	2.15
11	800	15	H + S	1.8
12	800	15	S	3.225
13	850	20	S	4.3
14	850	20	H + S	2.4
15	900	20	S	4.3
16	900	20	H + S	2.4
17	800	20	H + S	2.4
18	800	20	S	4.3



Şekil 6.1. Ray mantarı sertleştirme düzeneği.

6.2. MİKRO YAPI ÇALIŞMALARI

Mikro yapı çalışması; standart metalografik prosedüre göre numuneleri hazırladıktan sonra optik ışık mikroskopunda (Şekil 6.2) gerçekleştirilmiştir. Metalografik prosedür; numuneleri kesme, bakalitleme, zımparalama (220 grade), sırasıyla 9 µm, 3 µm ve 1 µm keçeler kullanılarak Struers Tegrafol 21 Tegraforce 5 marka otomatik parlatma cihazında (Şekil 6.3) parlatma şeklindedir. Mikro yapı resimleri, Nikon Eclipse MA 200 model optik ışık mikroskopunda % 2,0 Nital ile dağlama işlemi uygulanan numuneler üzerinden çekilmiştir.



Şekil 6.2. Mikro yapı incelemelerinde kullanılan optik ışık mikroskobu.



Şekil 6.3. Numune hazırlamada kullanılan parlatma cihazı

6.3. RAYLARIN SERTLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Doğal sertlikteki ve ısıtılmış ray numunelerinden, Struers Discotom-6 kesme cihazı ile özel numuneler kesilmiş (Şekil 6.4), sertliklerini belirlemek için Zwick / Roell marka sertlik cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.5). Sertlik değerleri, standarda uygun olarak 15 saniye süreyle, 1,839 kN yük altında, 10 adet başarılı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir.



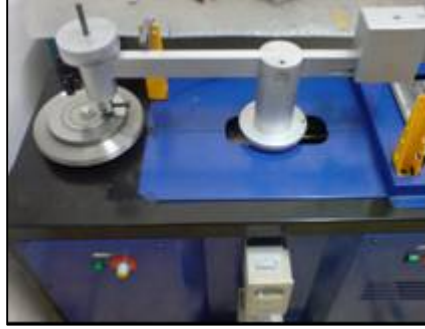
Şekil 6.4. Numune hazırlamada kullanılan kesme cihazı.



Şekil 6.5. Sertlik ölçümlerinde kullanılan mikro sertlik test cihazı.

6.4. RAYLARIN AŞINMA DENEYLERİ

İncelenen rayların kuru ortam aşınma deneyleri pim üzeri disk tipi (Şekil 6.6) aşınma cihazında yapılmıştır. İncelenen numunelerin aşınma deneyleri sırasında karşı malzeme olarak AISI 4140 (DIN 1.7225) kalite ıslah çeliğinden (55 HRC) imal edilmiş disk üzerinde yapılmış ve 7 mm çapında 23 mm yüksekliğinde deney numunesi kullanılmıştır.



Şekil 6.6. Aşınma deneylerinde kullanılan aşınma cihazı.

Numuneler; 20N ve 40N yükler altında 0,5 m/s kayma hızında 2000m aralıklarla toplamda 6000m kayma mesafesinde test edilmiştir. Deney öncesi ve sonrası numunelerin, 0,0001 gr hassasiyete sahip elektronik terazide (Şekil 6.7) ağırlıkları ölçülmüş ve deney sonuçları ağırlık kaybına göre değerlendirilmiştir. Aşınma deneyleri sonrasında aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için numune yüzeyleri optik mikroskopta (LOM) ve taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelenmiştir. Bu amaçla Jeol Jsm 6510 marka SEM cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.8).



Şekil 6.7. Ağırlık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan Precisa marka XS 220A model hassas terazi.

BÖLÜM 7

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELEME

7.1. KULLANILAN RAYIN KİMYASAL ANALİZİ

Bu çalışmada kullanılan doğal sertlikteki rayın sıvı kimyasal analizi Çizelge 7.1 'de verilmiştir. Analiz sonucunda görüldüğü gibi EN 13674-1 standardına göre R260 kalitede ötektoid bileşiğe yakın bir ray çeliği kullanılmıştır.

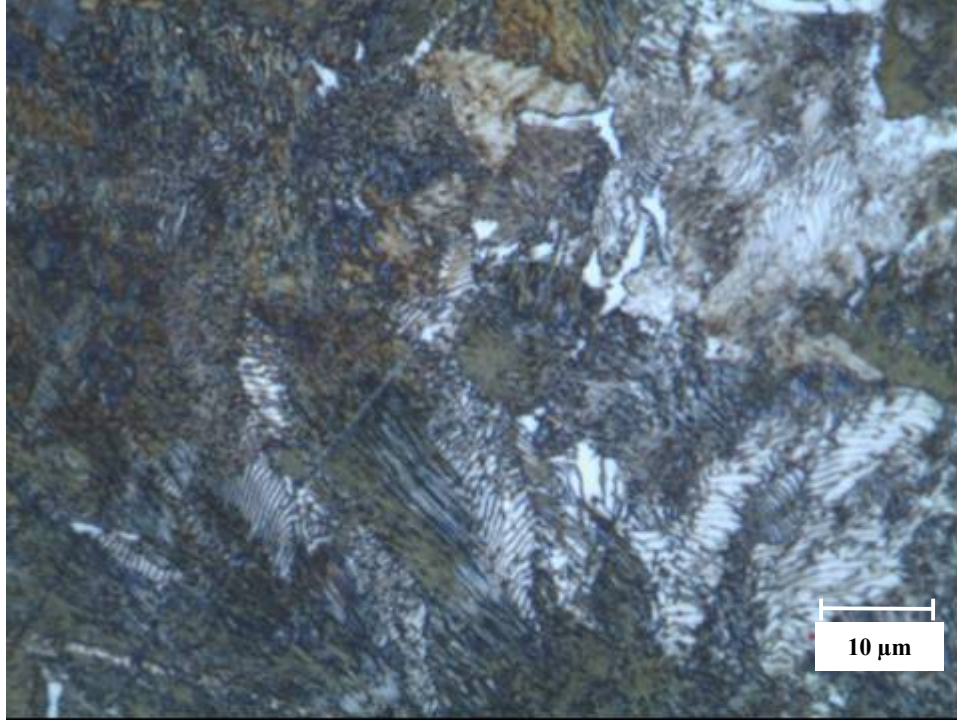
Çizelge 7.1. Kullanılan rayın sıvı kimyasal analizi.

Malzeme	%							10 ⁻⁴ ppm %	
	C	Mn	Si	P	S	Al	N	O	H
R260	0,72	1,06	0,38	0,020	0,008	0,002	0,006	19	2,4

7.2. İNCELENEN RAYLARIN MİKRO YAPI KARAKTERİZASYONU

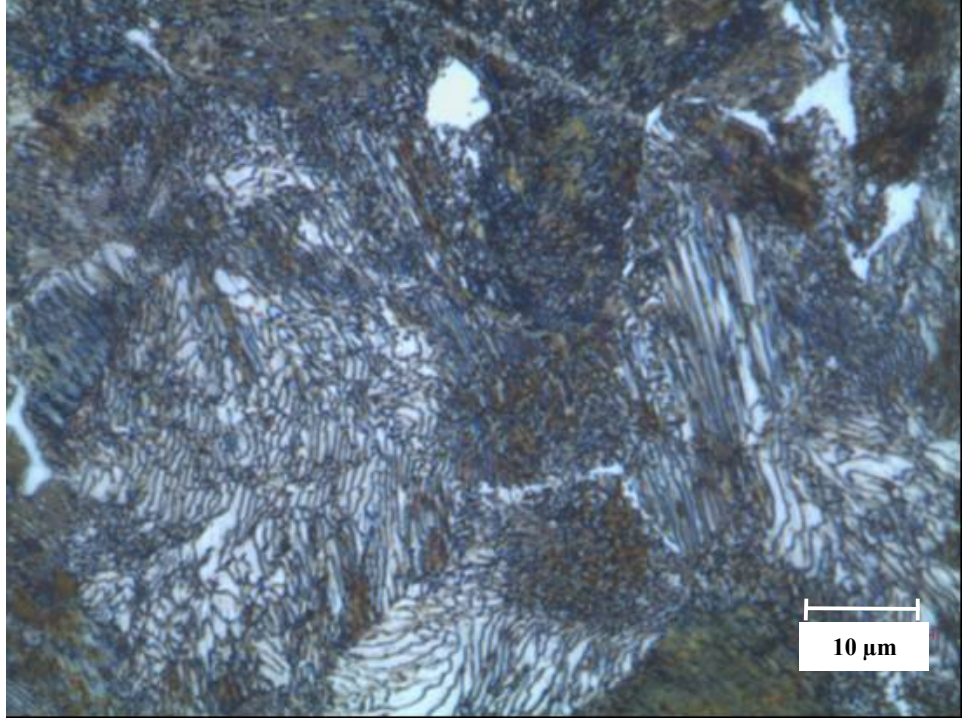
Bu çalışmada kullanılan R260 kalite tren rayının ısıtılma işlemi uygulanmamış (orijinal) halinin optik mikroskop görüntüsü Şekil 7.1.'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi R260 kalite tren rayının bileşimi ötektoid bileşimde olduğu için perlitik bir yapı görülmektedir. Tren rayı haddeden çıktıktan sonra herhangi bir işlem uygulanmaksızın havada kendi halinde soğumaya bırakıldığı için oluşan perlit lamelleri nispeten kaba karakterlidir.

800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklarda bekletildikten sonra 20 saniye süre ile su ve hava+su püskürtme işlemi uygulanarak soğutulan ve mantarı sertleştirilen rayların optik ışık mikroskopunda çekilen mikro yapıları Şekil 7.2 ile Şekil 7.4 arasında gösterilmiştir.

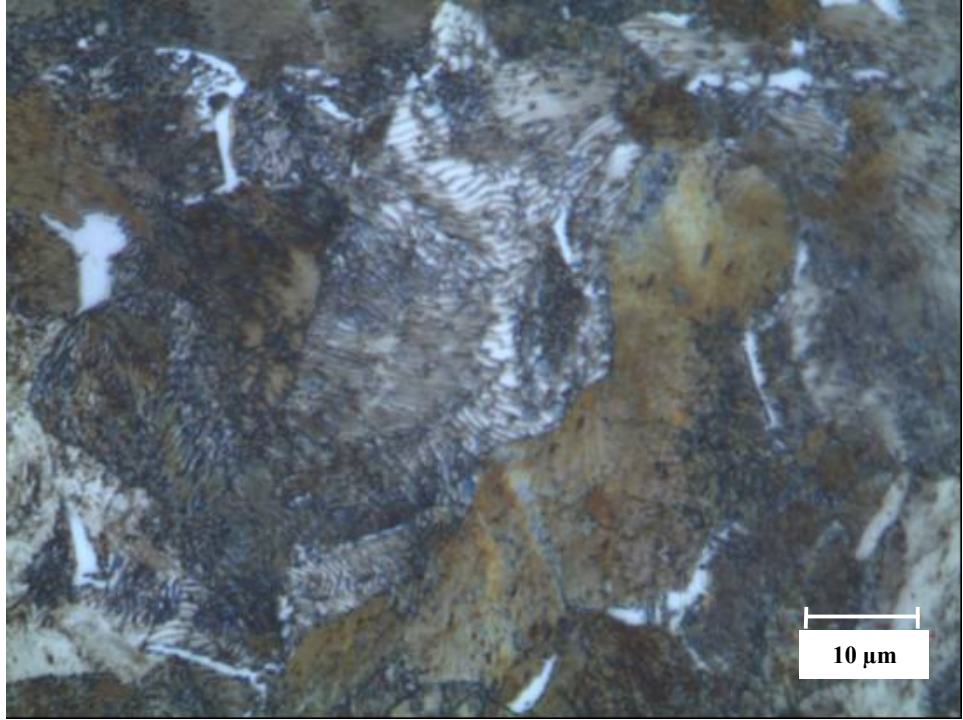


Şekil 7.1. Isıl işlem görmemiş rayın mikro yapı görüntüleri.

Bu çalışmada ticari olarak temin edilen R260 kalite ray çeliği 800°C, 850°C ve 900°C sıcaklıklarda 2 saat süre ile bekletildikten sonra özel olarak hazırlanmış bir düzenek kullanılarak farklı sürelerde su ve hava+su püskürtülerek soğutulmuştur. Kullanılan özel düzenek sayesinde rayın mantar bölgesine üç farklı bölgeden üç meme kullanılarak su verilmiştir. Sadece mantar bölgesi soğutulmuş, rayın alt bölgelerinin su ile temas etmesi önlenmiştir. Böylece rayın mantarına su verilerek soğutulurken rayın alt bölgelerinin hala sıcak kalması sağlanmıştır. Mantarı sertleştirilmiş raylarda amaç ince perlitik yapı elde etmektir. Bazı çalışmalarda beynitik yapıly raylarda kullanılmaya başlanmıştır [19, 22, 25, 47, 48, 49, 51]. Ancak kesinlikle martenzitik bir içyapı istenmemektedir. Bu yüzden soğutma işlemi ince perlitik bir yapı elde edecek kadar süre ile uygulanmıştır. Yapmış olduğumuz ön çalışmalarda 1 dakika süre ile su verdiğimiz numunelerde martenzitik bir içyapı elde edilmiştir.

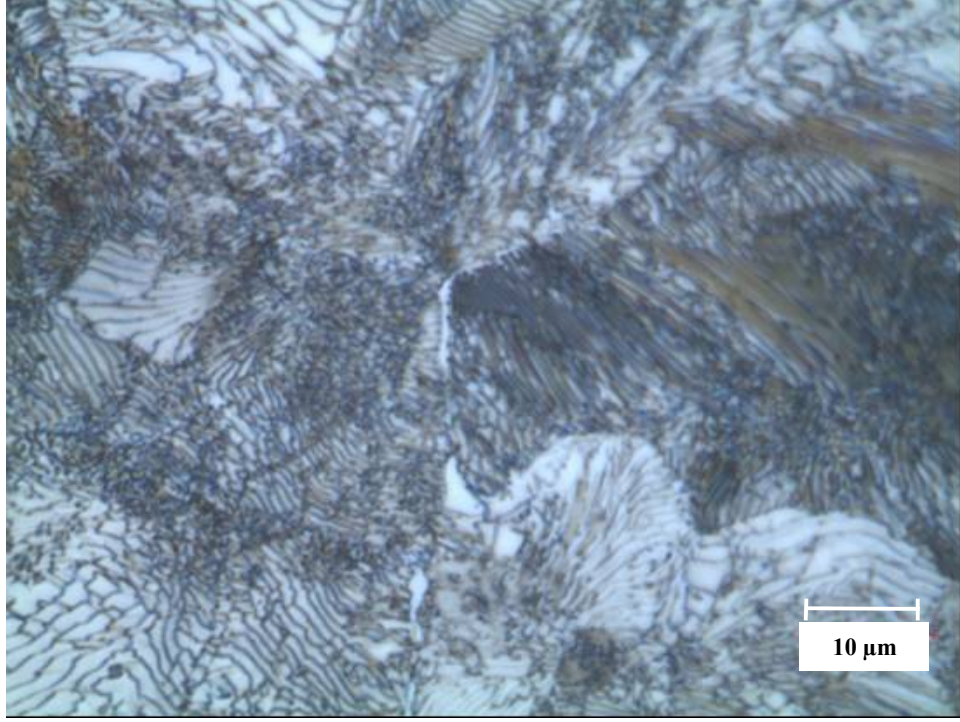


(a)

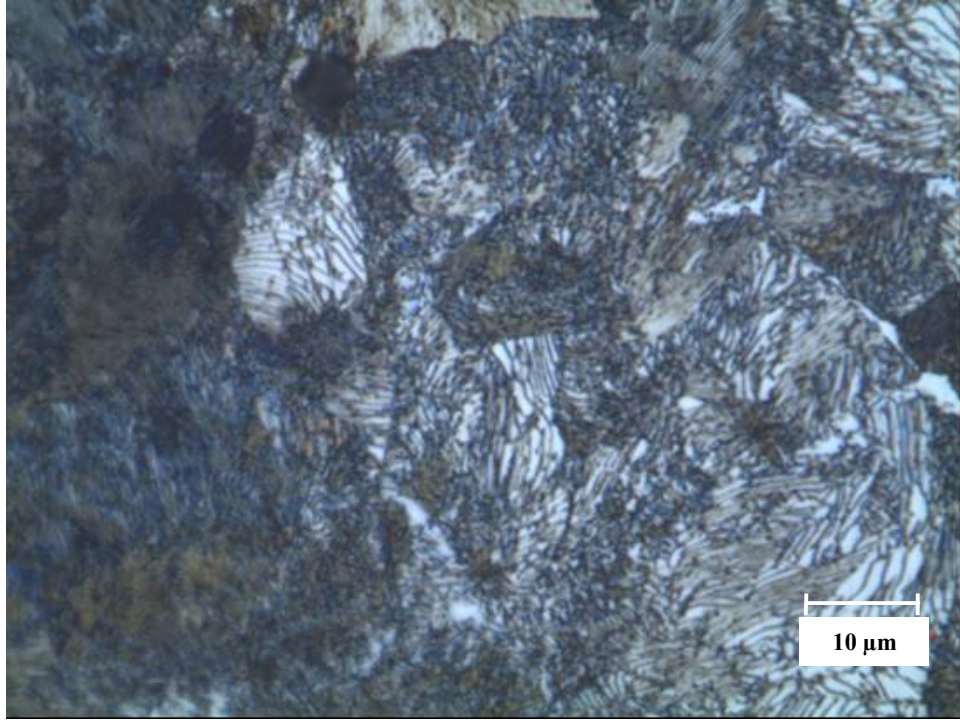


(b)

Şekil 7.2. 800°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle a) yalnızca su, b) su+hava püskürtülerek soğutulan rayın mikro yapı görüntüleri.

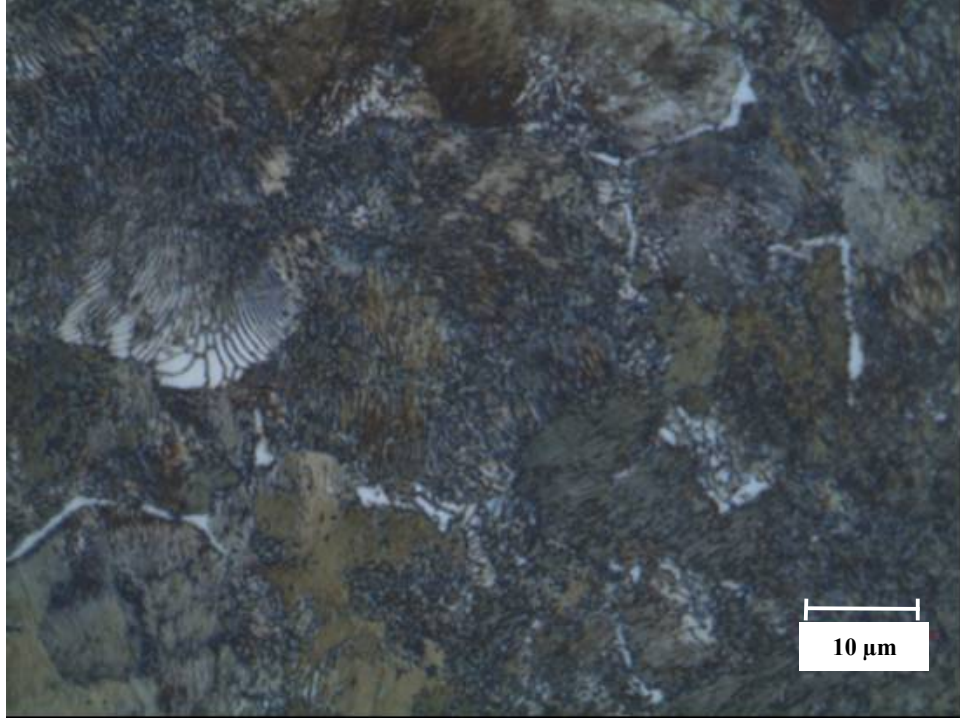


(a)

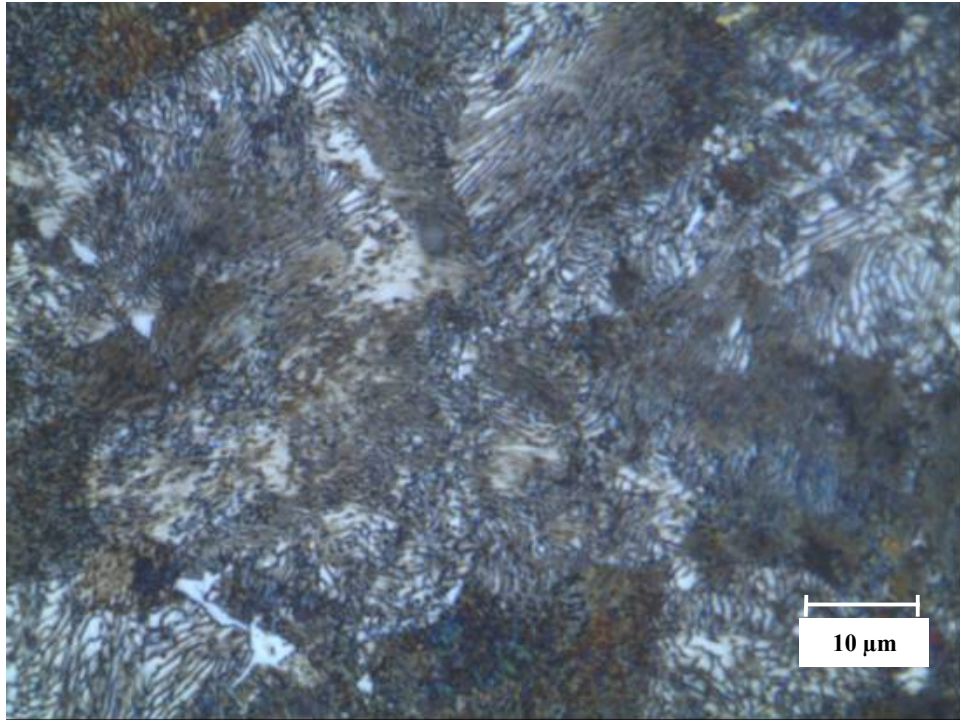


(b)

Şekil 7.3. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle a) yalnızca su, b) su+hava püskürtülerek soğutulan rayın mikro yapı görüntüleri.



(a)



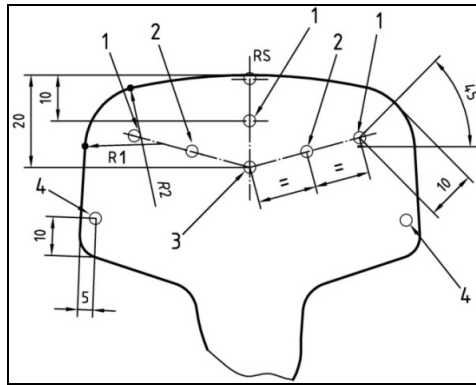
(b)

Şekil 7.4. 900°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle a) yalnızca su, b) su+hava püskürtülerek soğutulan rayın mikro yapı görüntüleri.

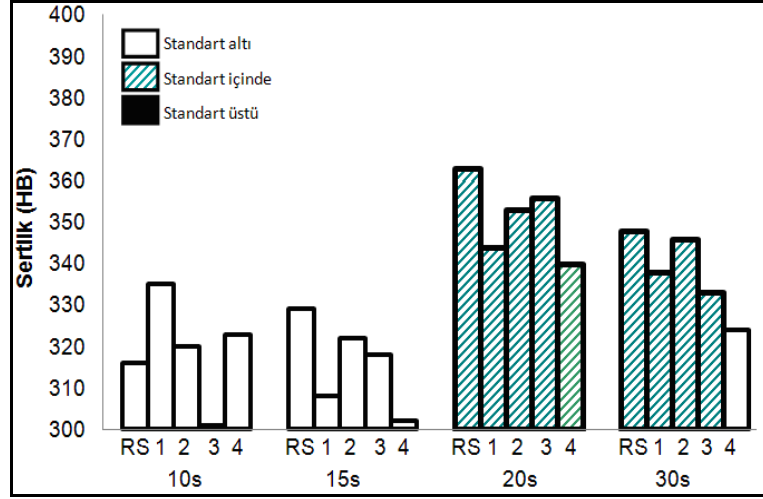
Şekillerden görüldüğü gibi söz konusu ray çeliğinin numunelerine uygulanan mantar sertleştirme ısıl işlemlerinin ardından literatürle uyumlu olarak ince perlitik yapı elde edildiği belirlenmiştir. Yüksek büyütme optik mikroskop görüntüleri incelendiğinde raylara uygulanan ısıl işlem ile beraber perlit lamelleri orijinal haline göre daha ince hale gelmektedir.

7.3. İNCELENEN RAYLARIN SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

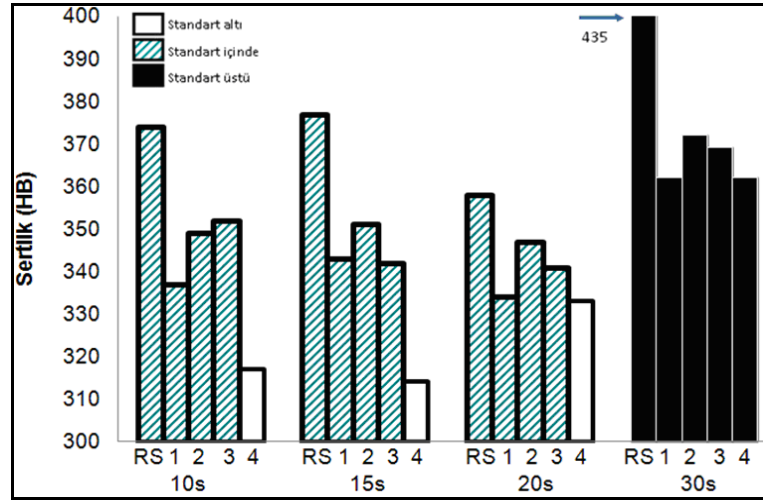
Bu çalışmada kullanılan R260 kalite tren rayının ısıl işlem görmemiş (orijinal) halinin sertlik değeri 290 HB düzeyindedir. Farklı sıcaklıklarda östenitlenen ve farklı sürelerde su ve hava+su püskürtülerek soğutulan rayların sertlik ölçümleri rayın farklı bölgelerinden gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümlerinin rayın hangi bölümlerinden yapıldığı ve nasıl isimlendirildiği Şekil 7.5'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.6 ile Şekil 7.9 arasında verilmiştir. Bu şekillerde beyaz ve siyah bölgeler standart dışı, eğik çizgili renkli bölgeler ise standartlarda belirtilen değerlerin tutturulduğunu göstermektedir. İncelenen rayların sertlik değerleri, mantar sertleştirme yönteminde artan ısıl işlem süresi ile artış eğilimindedir. Ancak bazı sıcaklıklarda 30 saniye süresindeki mantar serleştirme işleminde standart üstü sertlikler elde edilmiştir. Ayrıca sadece su verme yerine hava+su verildiğinde ısıl işlemin daha efektif olduğu görülmektedir. Uygulanan ısıl işlemler sonrası elde edilen sertlik değerlerinin gösterildiği şekiller incelendiğinde 20 saniye soğutma süresinin ısıl işlem için uygun bir süre olduğu kanaatine varılmıştır. Bundan sonra uygulanan aşınma deneyleri, farklı sıcaklıklarda östenitlendikten sonra 20 saniye süre ile su ve hava+su püskürtülerek soğutulmuş raylara uygulanmıştır.



Şekil 7.5. Sertlik testinin ray kesiti üzerindeki konumları.

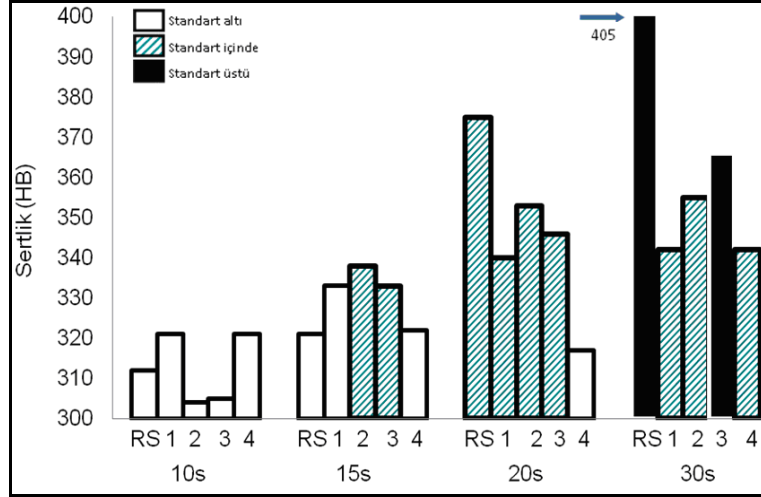


(a)

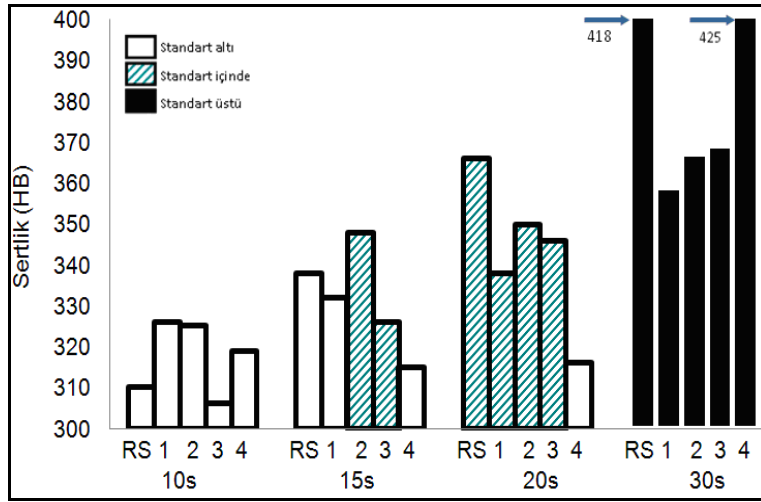


(b)

Şekil 7.6. 800°C’de östenitlendikten sonra sırasıyla 10, 15, 20 ve 30 saniye sürelerle a) yalnızca su, b) hava+su püskürtülerek soğutulan rayın sertlik değerleri.

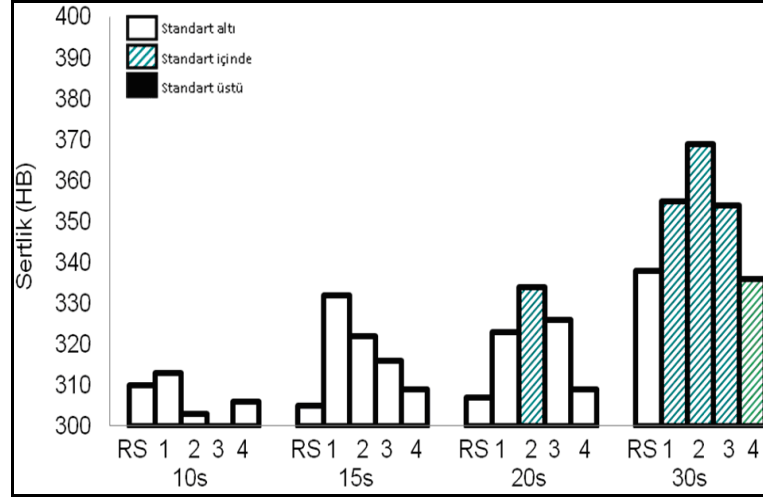


(a)

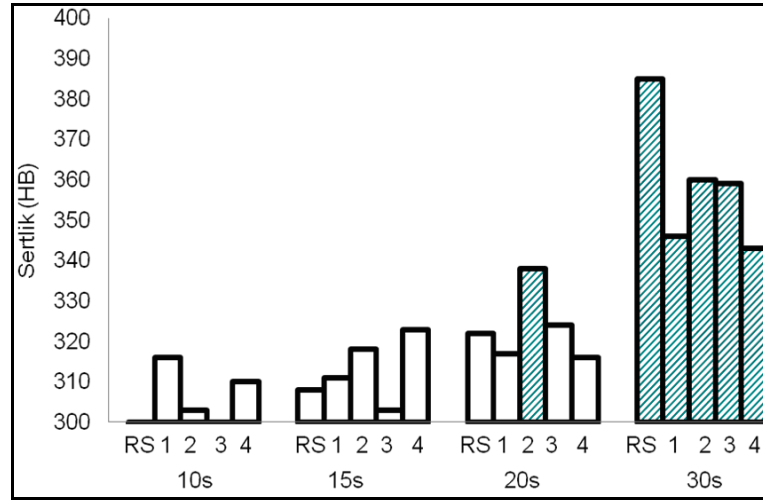


(b)

Şekil 7.7. 850°C’de östenitlendikten sonra sırasıyla 10, 15, 20 ve 30 saniye sürelerle a) yalnızca su, b) hava+su püskürtülerek soğutulan rayın sertlik değerleri.



(a)



(b)

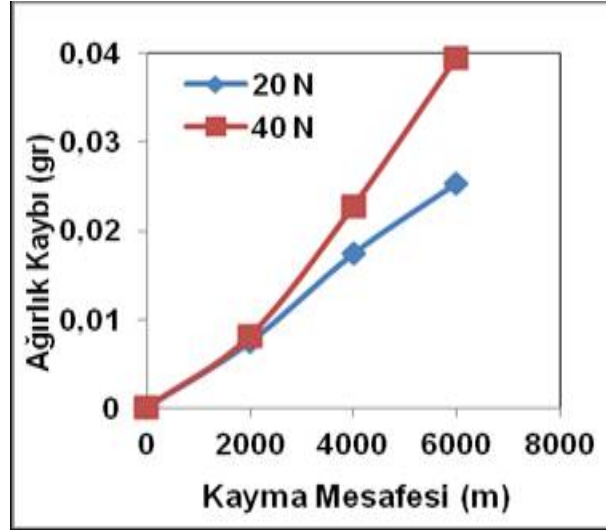
Şekil 7.8. 900°C’de östenitlendikten sonra sırasıyla 10, 15, 20 ve 30 saniye sürelerle a) yalnızca su, b) hava+su püskürtülerek soğutulan rayın sertlik değerleri.

Şekil 7.8 incelendiğinde 900°C sıcaklıkta östenitlenen ray numunesine 20 saniye boyunca spray püskürtme (su ve hava+su) uygulandığında diğer östenitleme sıcaklıklarına göre düşük sertlikler elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak östenitleme sıcaklığının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. 800°C ve 850°C sıcaklıkta östenitlenen ray numunelerine 20 saniye boyunca uygulanan spray püskürtme işleminin ardından elde edilen sertlik değerlerinin standartlarda istenen değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 7.6 ve Şekil 7.7). Özellikle 850°C’de östenitlenen ve hava+su püskürtülerek soğutulan rayın mantar bölgesi merkez (RS) sertlik değerinin 375 HB olduğu ve istemiş olduğumuz optimum sertlik değerine en

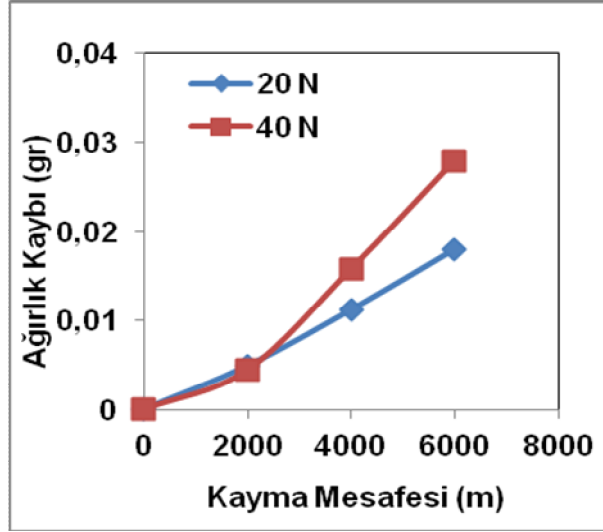
iyi bu şartlarda ulaşıldığı görülmektedir. Aynı zamanda mikro yapı görüntüleri incelendiğinde, görülen ince perlitik yapı, 20 saniye süreyle yapılan sprej püskürtmenin ardından elde edilen sertlik değerlerini açıklamaktadır.

7.4. ISIL İŞLEM UYGULANAN RAY NUMUNELERİNİN AŞINMA DENEY SONUÇLARI

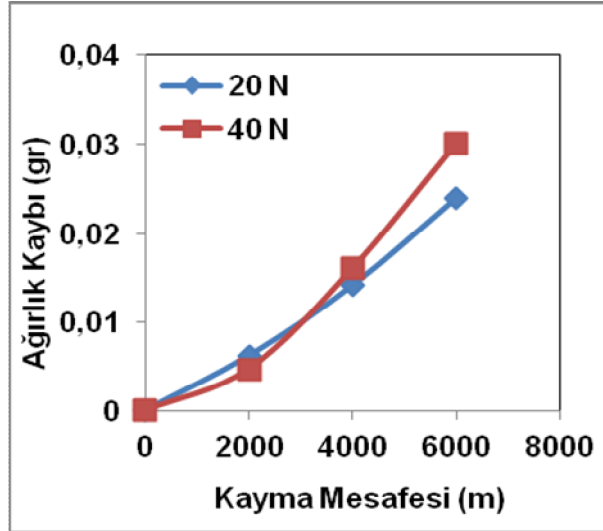
Tez çalışmasında mantarı sertleştirilen ray numunelerine 20 N ve 40 N yükler altında 2000m aralıkla toplamda 6000m kayma mesafesindeki ağırlık kaybına bağlı kalarak yapılan aşınma deneyi sonuçları aşağıdaki grafiklerde verilmiştir. Şekil 7.9 herhangi bir ısıl işleme maruz bırakılmamış orijinal ray numunelerinin aşınma sonuçlarını göstermektedir. Diğer şekillerde ise farklı ısıl işlem prosedürleri uygulanmış ray numunelerinin aşınma deney sonuçları verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi tüm koşullarda artan kayma mesafesi ve yük ile beraber ağırlık kaybı da artmaktadır. Aynı kayma mesafesi ve yük değeri için en yüksek ağırlık kaybı, elde edilen düşük sertlik değerleriyle orantılı olarak 900°C’de östenitleştirilip 20 saniye süreyle püskürtme işlemiyle soğutulan numunelerde görülmüştür.



Şekil 7.9. Isıl işlem görmemiş rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.

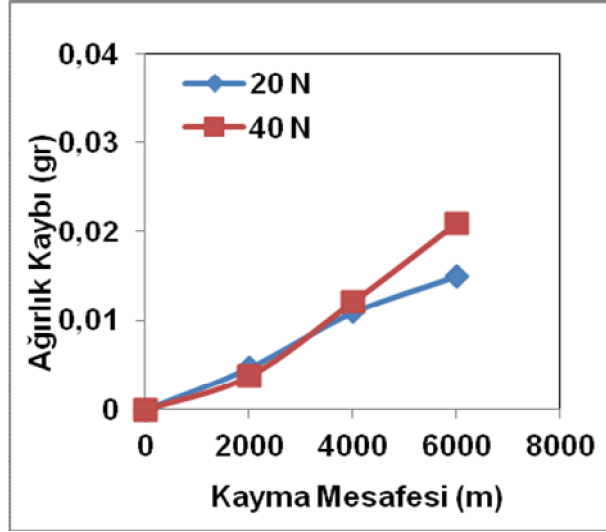


(a)

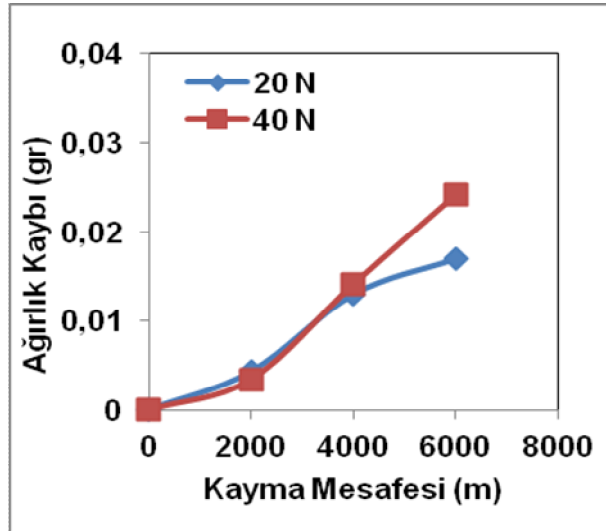


(b)

Şekil 7.10. 800°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle; a) yalnızca su, b) su+hava karışımı püskürtülen rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.

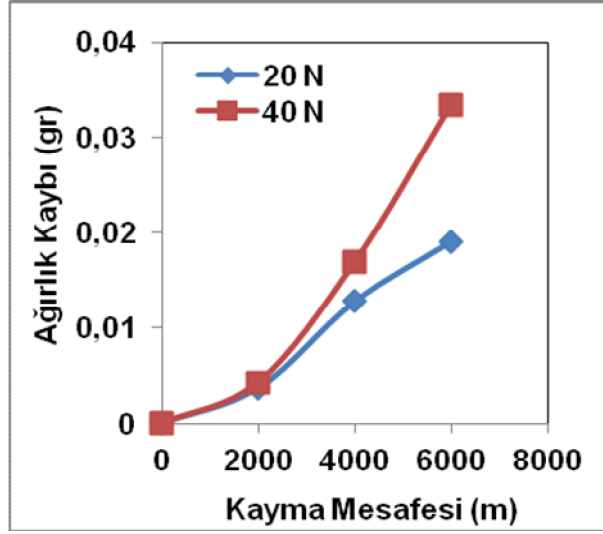


(a)

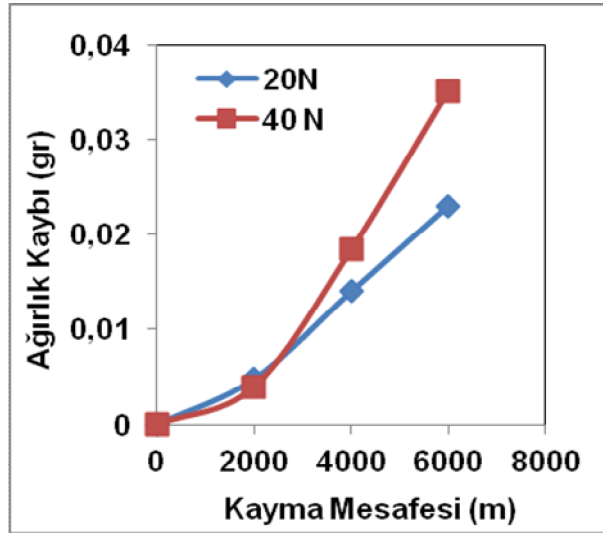


(b)

Şekil 7.11. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle; a) yalnızca su, b) su+hava karışımı püskürtülen rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.



(a)

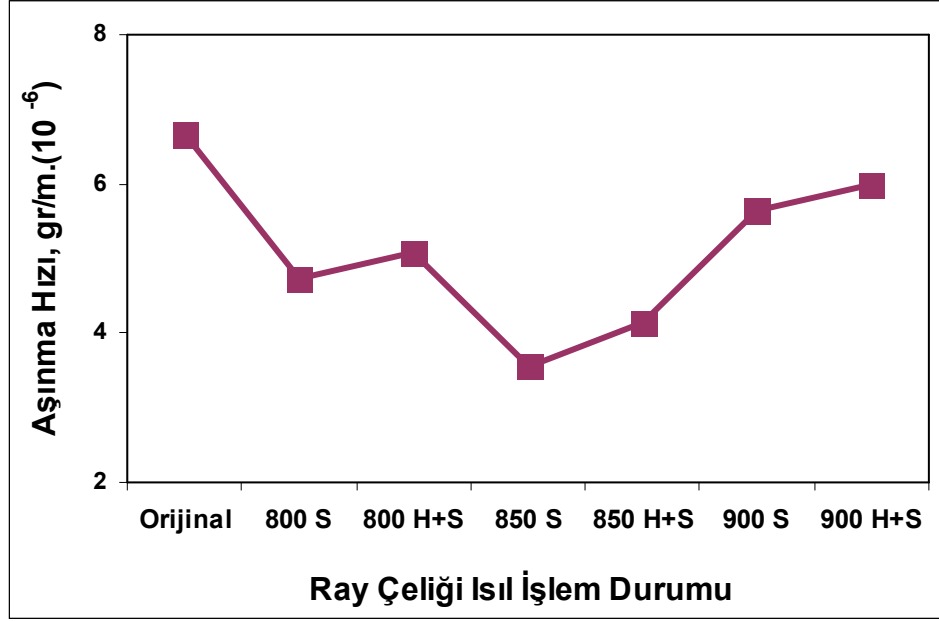


(b)

Şekil 7.12. 900°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle; a) yalnızca su, b) su+hava karışımı püskürtülen rayın 20N ve 40N yük altında toplamda 6000m kayma mesafesi sonucundaki ağırlık kaybı grafiği aşınma test sonuçları.

İncelenen ray numunelerinin aşınma davranışı; uygulanan ısı işlemin etkisine, süresine, uygulanan yüke, kayma mesafesine, malzemenin sertliğine bağlı olduğu görülmektedir. Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen yüke bağlı ağırlık kaybı grafiklerinde de görüldüğü gibi uygulanan ısı işlemlerle ray mantarının sertliği artmakta ve dolayısıyla aşınma direnci de artmaktadır. Isıl işlemin uygulanma farklılıklarına bağlı olarak sertlikleri ortalama 370 HB seviyelerindedir.

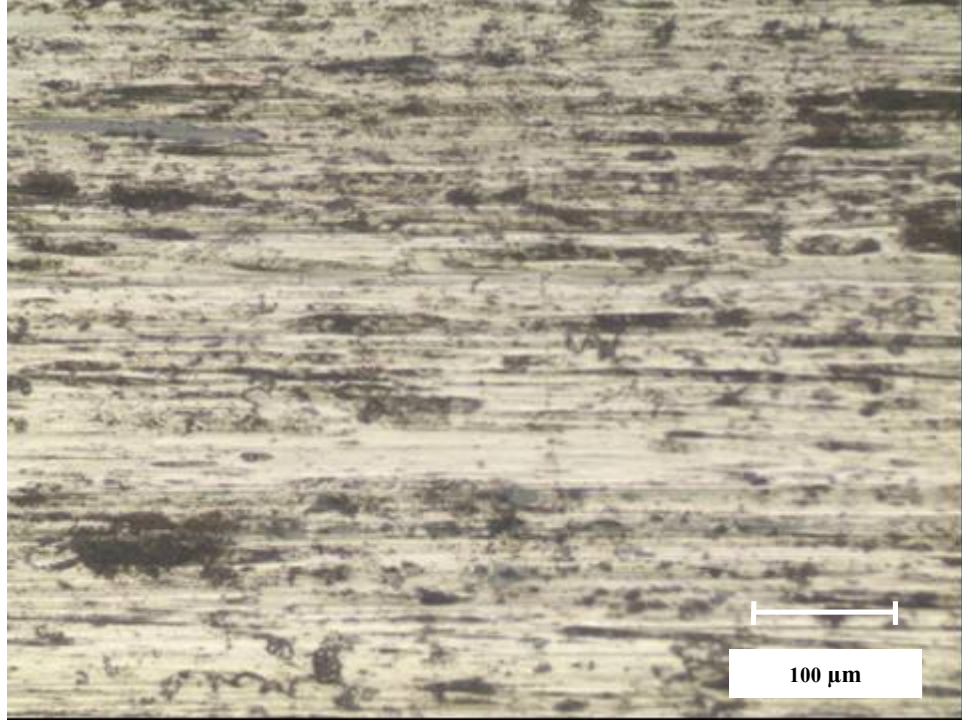
Uygulanan ısıt işlemler sonucu ince perlitik yapı elde edilmiş buna bağlı olarak sertliklerinin ve aşınma dirençlerinin de arttığı görülmüştür. 850°C 'de 20 saniye süreyle su püskürtme ile ısıt işlem gören ray numunesinin en düşük ağırlık kaybı gösterdiği gözlemlenmiştir.



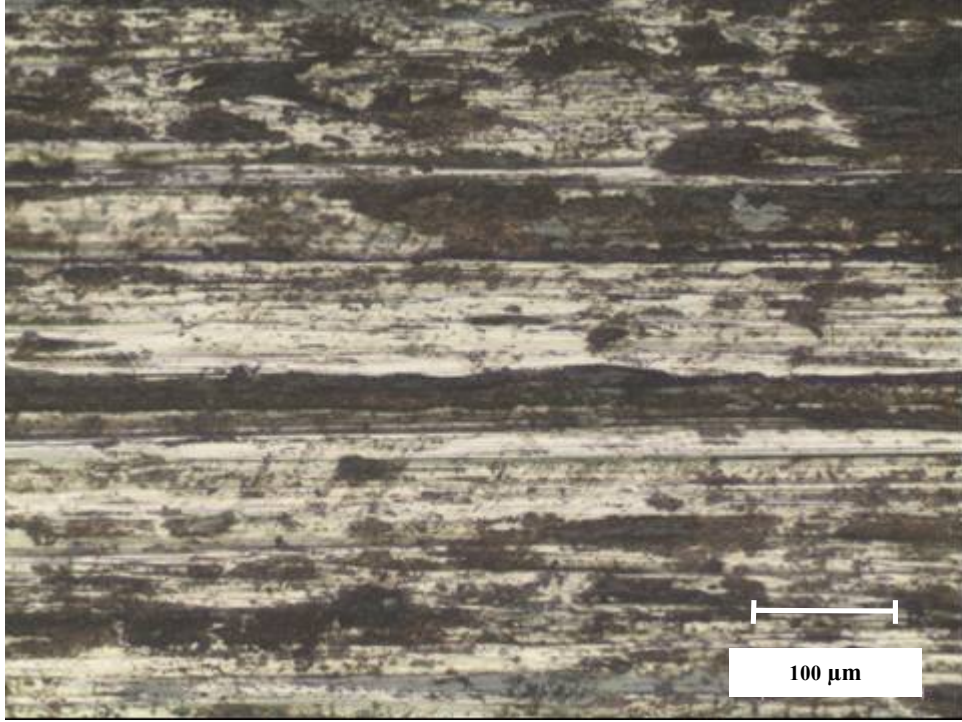
Şekil 7.13. Ray numunelerinin 40N yük altında gördükleri ısıt işleme bağlı olarak aşınma hızlarını gösteren grafik.

Ray numunelerine uygulanan aşınma testlerinin ardından aşınma hızları incelendiğinde (Şekil 7.13); ısıt işlem görmemiş orijinal ray numunesinin en yüksek aşınma hızına sahip olduğu, tüm ısıt işlem uygulamalarının aşınma hızlarını düşürdüğü belirlenmiştir. Bununla beraber aşınma deneyleri süresince artan yüklerle orantılı olarak aşınma hızlarının arttığı tespit edilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi ısıt işlem görmüş numuneler incelendiğinde; en düşük aşınma hızı elde edilen yüksek sertlik değerleriyle orantılı olarak 850°C'de östenitleştirilip 20 saniye süreyle püskürtme işlemiyle soğutulan numunelerde, en yüksek aşınma hızı elde edilen düşük sertlik değerleriyle orantılı olarak 900°C'de östenitleştirilip 20 saniye süreyle püskürtme işlemiyle soğutulan numunelerde görülmüştür.

İncelenen rayların aşınmış yüzeylerinin optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.14 ile Şekil 7.20 arasında gösterilmiştir.

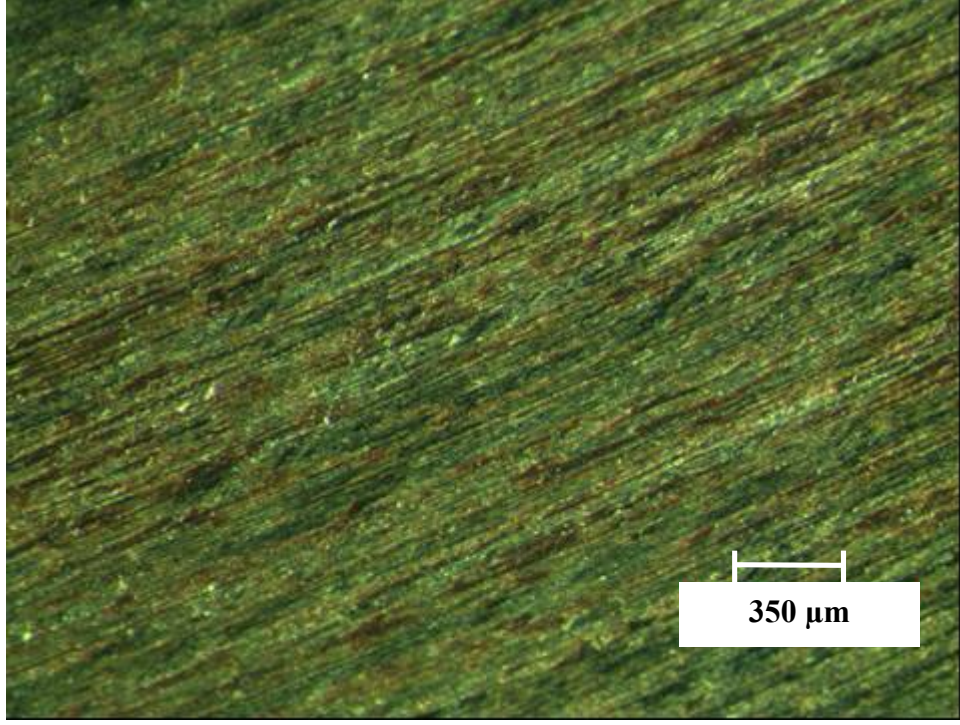


(a)

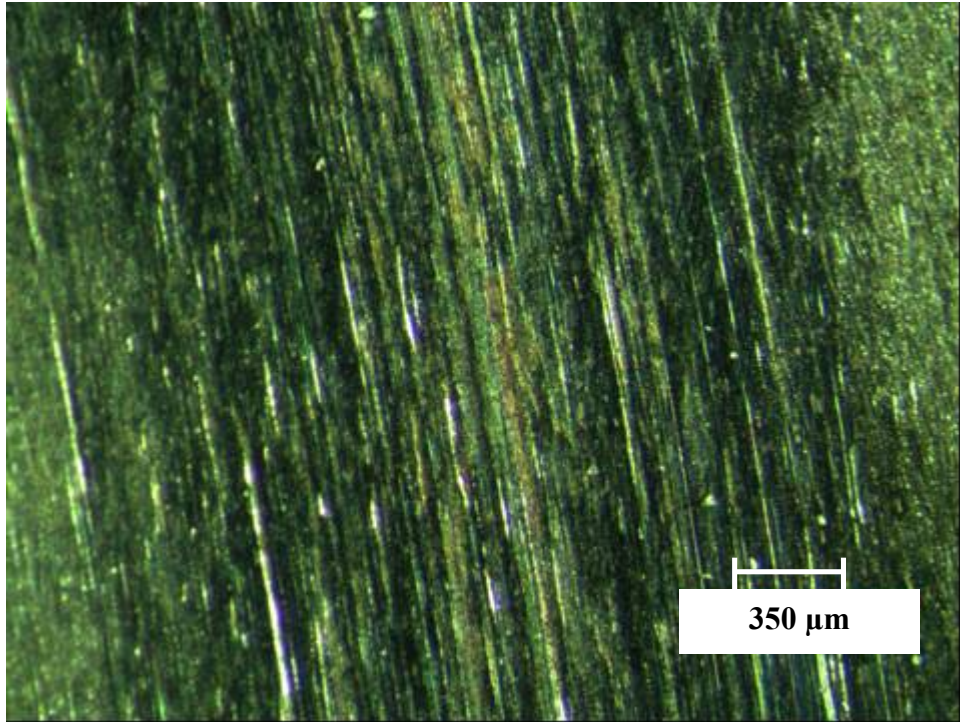


(b)

Şekil 7.14. Isıl işlem görmemiş rayın, a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.

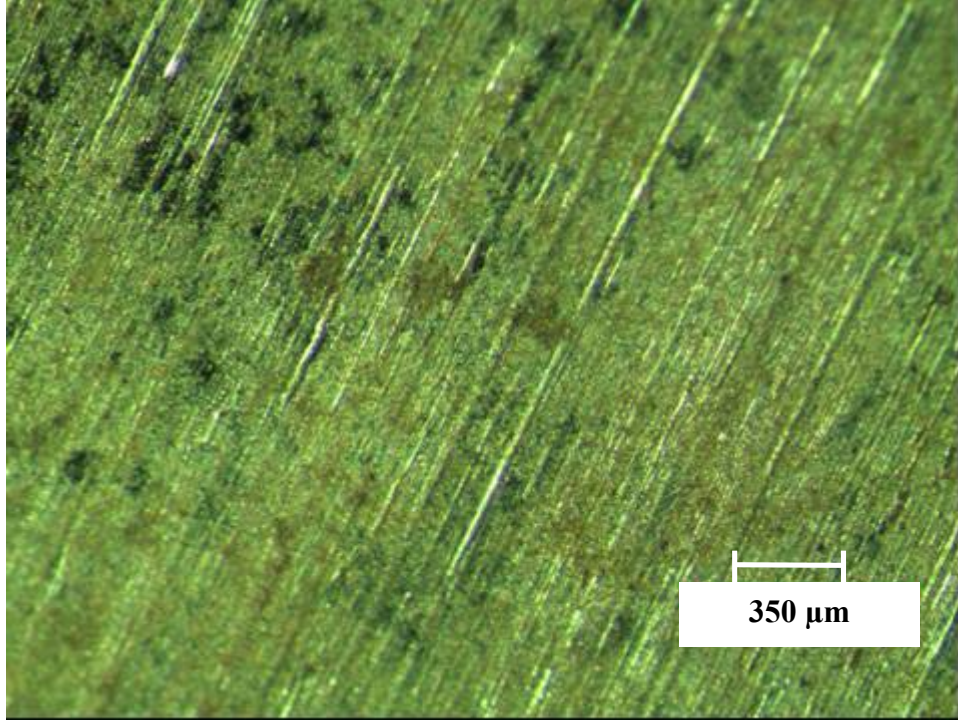


(a)

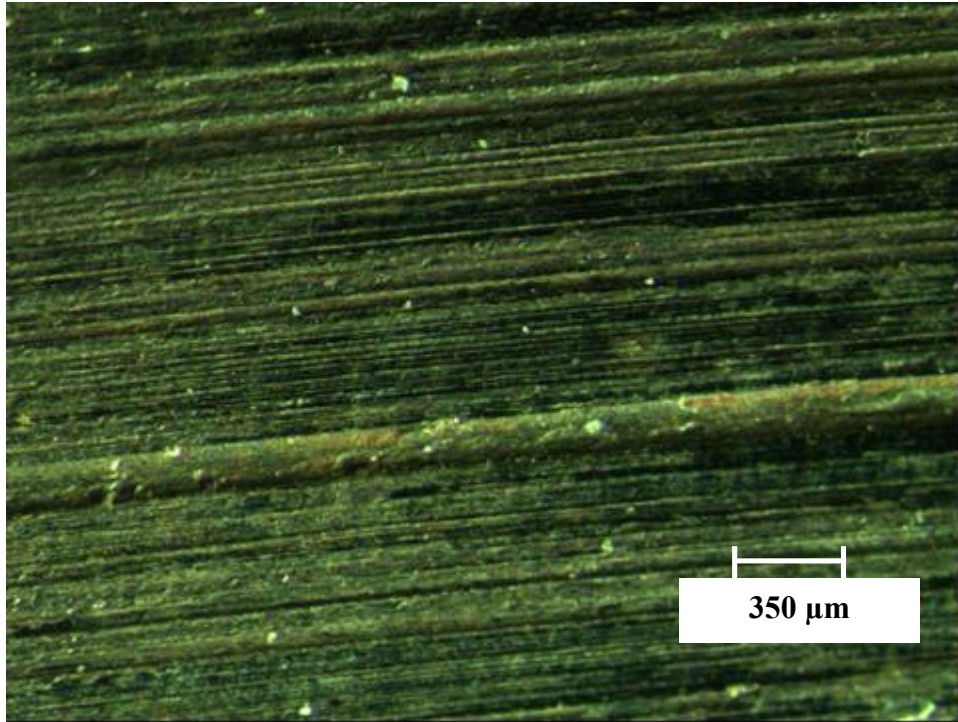


(b)

Şekil 7.15. 800°C'de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle yalnızca su püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.

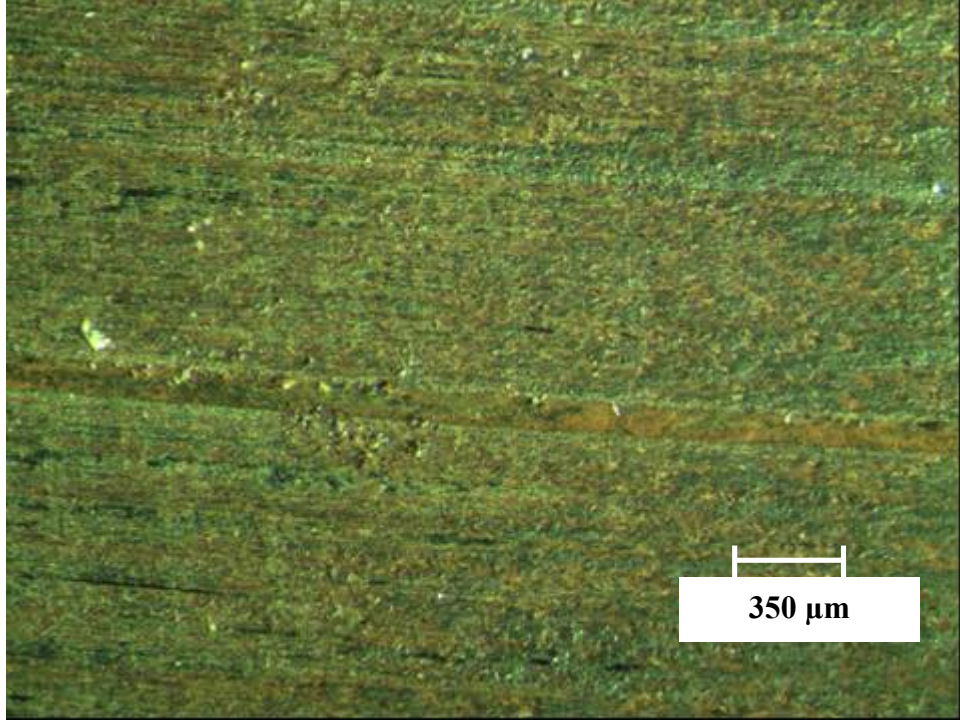


(a)

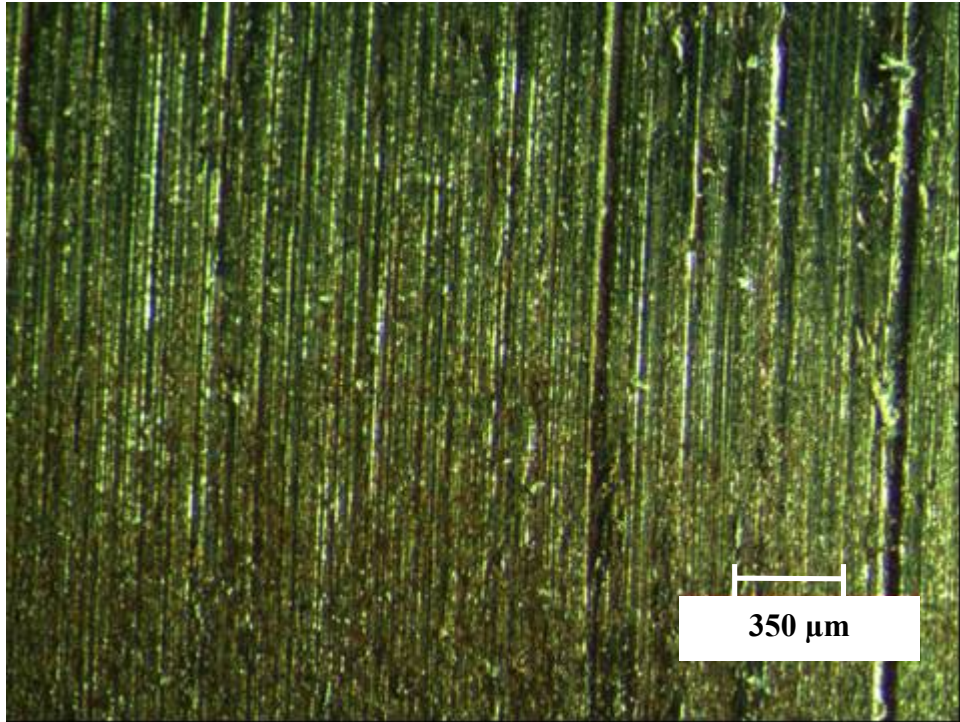


(b)

Şekil 7.16. 800°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle hava+su karışımı püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.

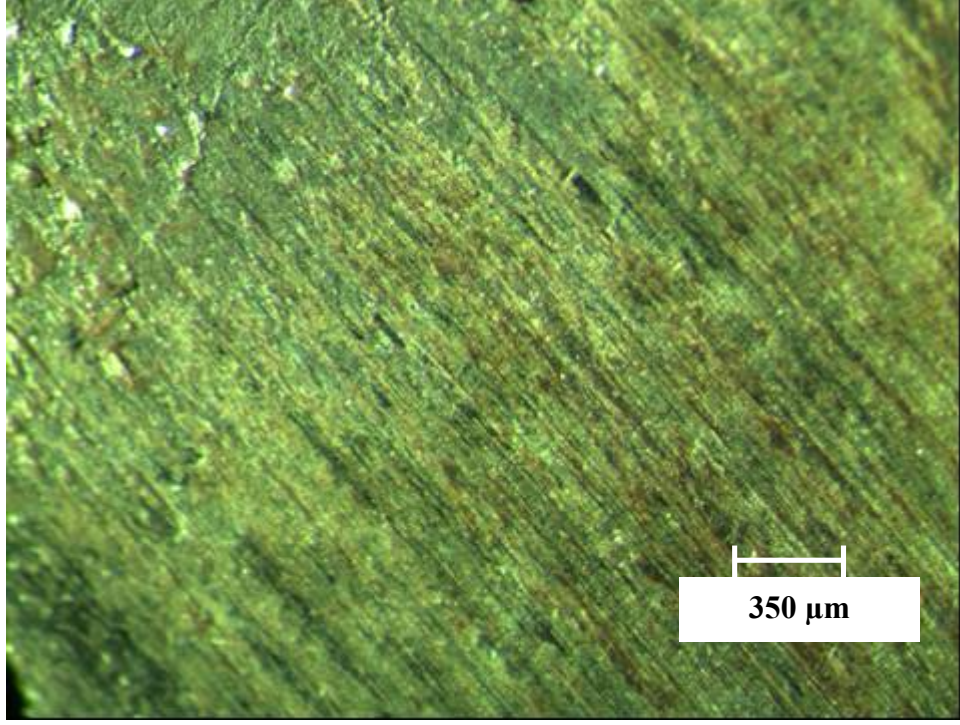


(a)

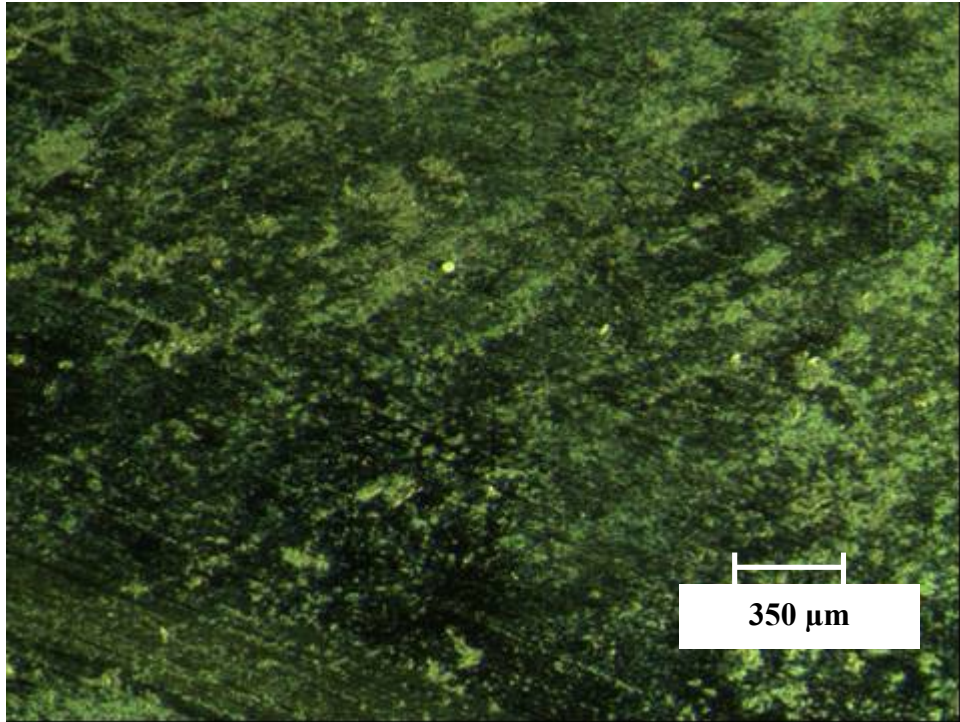


(b)

Şekil 7.17. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle yalnızca su püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasında aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.

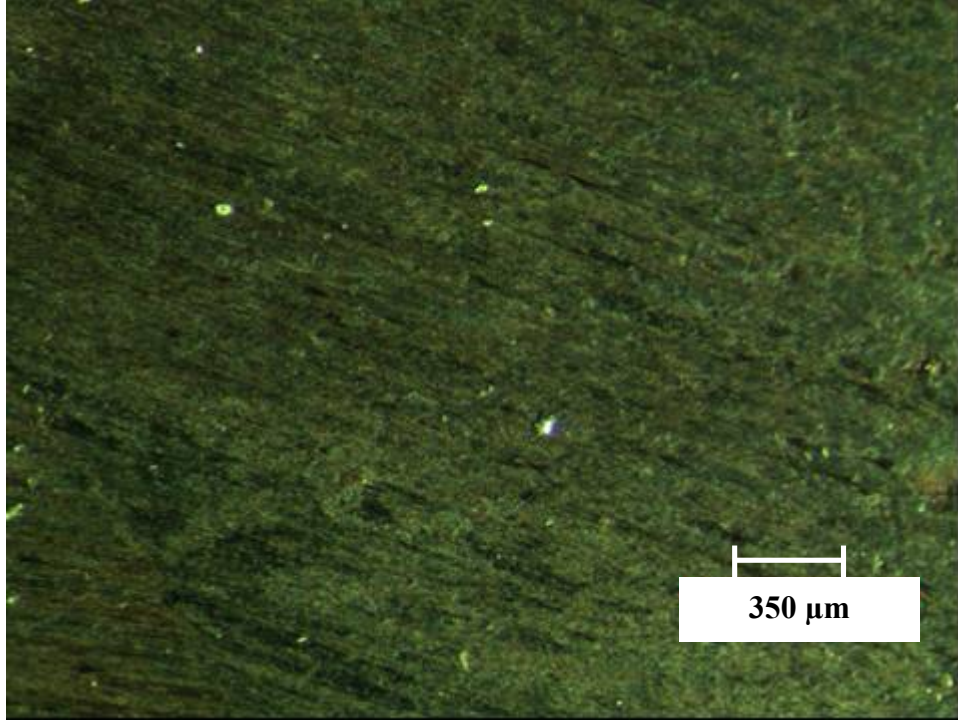


(a)

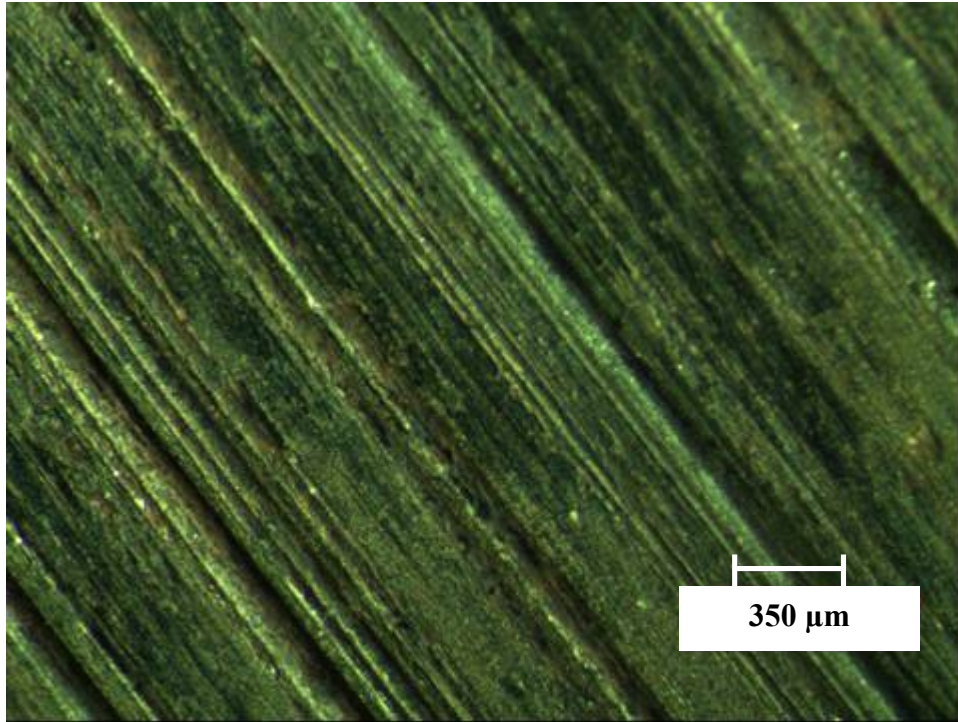


(b)

Şekil 7.18. 850°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle hava+su karışımı püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.

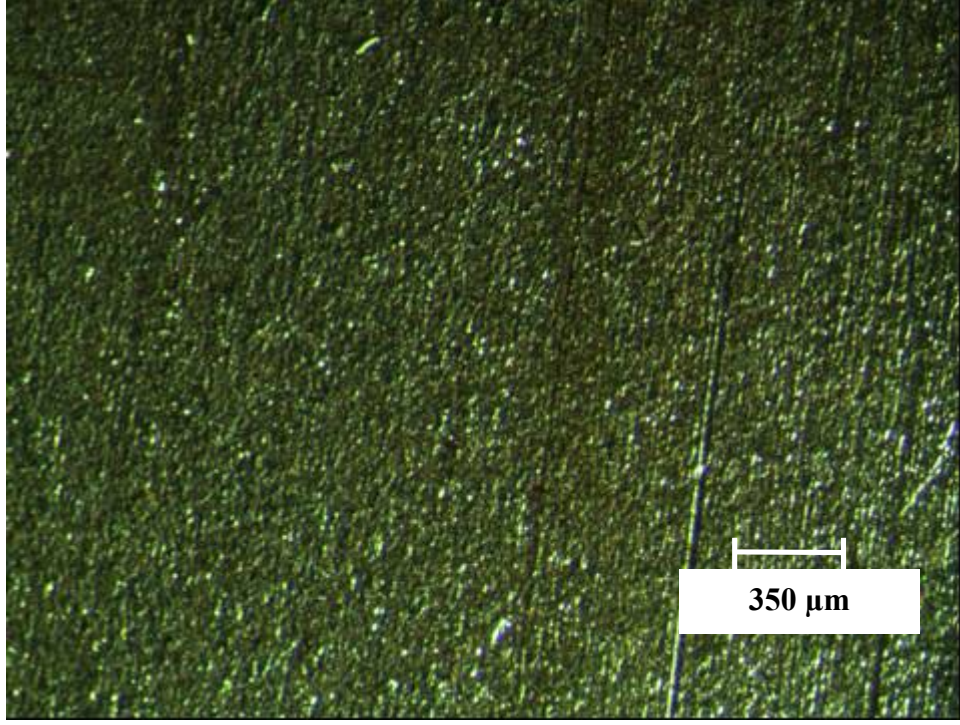


(a)

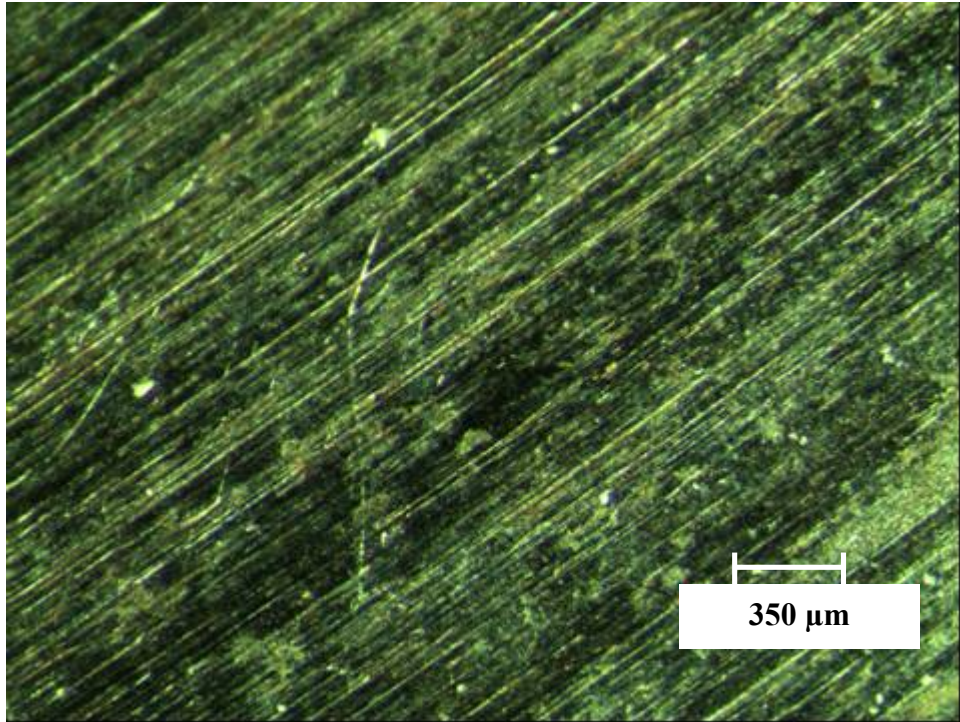


(b)

Şekil 7.19. 900°C'de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle yalnızca su püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.



(a)

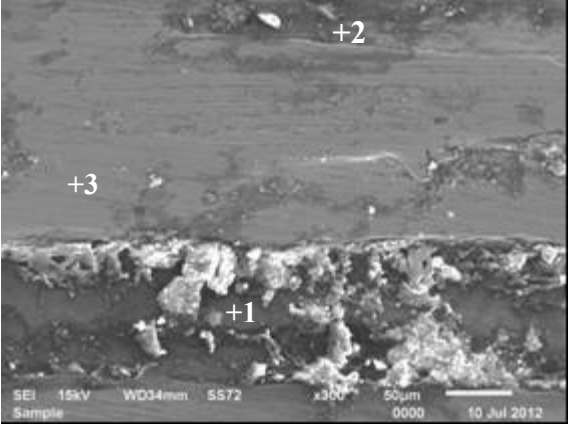
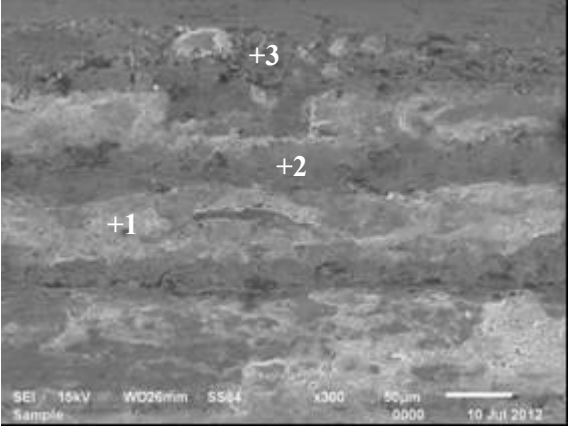


(b)

Şekil 7.20. 900°C’de östenitlendikten sonra 20 saniye süreyle hava+su karışımı püskürtülen rayın a) 20N ve b) 40N yükler uygulanarak toplamda 6000m kayma mesafesi sonrasındaki aşınma yüzeylerini gösteren optik mikroskop görüntüleri.

Şekiller incelendiğinde düşük yüklerde zayıf adhesif aşınmanın etkin olduğu görülmektedir. Hatta aşınmış yüzeylerde kırmızı-kahverengi oksit tabakalarının yüzeyi kapladığı görülebilmektedir. Bu da aşınmanın düşük olduğu anlamına gelmektedir. Zaten ağırlık kaybı grafikleri incelendiğinde 20N yük altında yapılan aşınma deney sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

40N yük altında aşındırılan rayların aşınmış yüzeyleri incelendiğinde şiddetli adhesif aşınmanın etkin olduğu belirlenmiştir. Aşınma yönünde oluşan yivler ve küçük parçacık kopmaları bunun bir göstergesidir. Orijinal numuneler dışında 900°C'de östenitlenip 20 saniye süre ile su verilen numunelerin aşınmış yüzeylerinde oluşan yivler daha derindir. Diğer koşullarda ısıtılma tabi tutulan numunelerin aşınmış yüzeyleri birbirlerine benzer görünümler sergilemiştir. Ancak en iyi sonuç 850°C'de östenitlenip 20 saniye su verilen numunelerden elde edilmiştir.

	SEM	EDS																								
Orijinal		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Analiz Bölgesi</th> <th>Element</th> <th>% Ağırlık</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1</td> <td>C</td> <td>23,042</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>12,052</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>64,906</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2</td> <td>C</td> <td>3,859</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>4,456</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>91,685</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>C</td> <td>3,297</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>8,374</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>88,329</td> </tr> </tbody> </table>	Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık	1	C	23,042	O	12,052	Fe	64,906	2	C	3,859	O	4,456	Fe	91,685	3	C	3,297	O	8,374	Fe	88,329
Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık																								
1	C	23,042																								
	O	12,052																								
	Fe	64,906																								
2	C	3,859																								
	O	4,456																								
	Fe	91,685																								
3	C	3,297																								
	O	8,374																								
	Fe	88,329																								
800°C Hava+Su		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Analiz Bölgesi</th> <th>Element</th> <th>% Ağırlık</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1</td> <td>C</td> <td>6,682</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>29,440</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>63,877</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2</td> <td>C</td> <td>3,766</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>11,693</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>84,541</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>C</td> <td>4,707</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>4,032</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>91,261</td> </tr> </tbody> </table>	Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık	1	C	6,682	O	29,440	Fe	63,877	2	C	3,766	O	11,693	Fe	84,541	3	C	4,707	O	4,032	Fe	91,261
Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık																								
1	C	6,682																								
	O	29,440																								
	Fe	63,877																								
2	C	3,766																								
	O	11,693																								
	Fe	84,541																								
3	C	4,707																								
	O	4,032																								
	Fe	91,261																								

Şekil 7.21. Isıl işlem görmemiş ve 800°C’ sıcaklıkta östenitlendikten sonra hava+su karışımı püskürtülerek soğutulmuş rayların 40N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin SEM ve EDS sonuçları.

	SEM	EDS																								
850°C Hava+Su		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Analiz Bölgesi</th> <th>Element</th> <th>% Ağırlık</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1</td> <td>C</td> <td>5,510</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>22,016</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>72,474</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2</td> <td>C</td> <td>2,890</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>3,953</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>93,157</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>C</td> <td>1,446</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>16,140</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>82,414</td> </tr> </tbody> </table>	Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık	1	C	5,510	O	22,016	Fe	72,474	2	C	2,890	O	3,953	Fe	93,157	3	C	1,446	O	16,140	Fe	82,414
Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık																								
1	C	5,510																								
	O	22,016																								
	Fe	72,474																								
2	C	2,890																								
	O	3,953																								
	Fe	93,157																								
3	C	1,446																								
	O	16,140																								
	Fe	82,414																								
900°C Hava+Su		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Analiz Bölgesi</th> <th>Element</th> <th>% Ağırlık</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">1</td> <td>C</td> <td>5,294</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>18,837</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>75,869</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2</td> <td>C</td> <td>2,934</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>3,974</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>93,093</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">3</td> <td>C</td> <td>6,070</td> </tr> <tr> <td>O</td> <td>12,154</td> </tr> <tr> <td>Fe</td> <td>81,776</td> </tr> </tbody> </table>	Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık	1	C	5,294	O	18,837	Fe	75,869	2	C	2,934	O	3,974	Fe	93,093	3	C	6,070	O	12,154	Fe	81,776
Analiz Bölgesi	Element	% Ağırlık																								
1	C	5,294																								
	O	18,837																								
	Fe	75,869																								
2	C	2,934																								
	O	3,974																								
	Fe	93,093																								
3	C	6,070																								
	O	12,154																								
	Fe	81,776																								

Şekil 7.22. 850°C ve 900°C sıcaklıklarda östenitlendikten sonra hava+su karışımı püskürtülerek soğutulmuş rayların 40N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin SEM ve EDS sonuçları.

Orijinal ve 800°C, 850°C, 900°C sıcaklıklarda östenitlendikten sonra hava+su karışımı püskürtülerek soğutulmuş rayların 40N yük altında aşındırılmış yüzeylerinin SEM ve EDS sonuçları Şekil 7.21 ve Şekil 7.22’de verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi orijinal rayların aşınmış yüzeylerinden elde edilen oksijen içeriğini diğerlerine göre çok daha düşük belirlenmiştir. Bu da yüzeyde oluşan oksit tabakasının daha az olduğu anlamına gelmektedir. Ancak özellikle 800°C ve 850°C sıcaklıklarda mantar sertleştirme ısıl işlemine tabi tutulan rayların yüzeylerinin daha fazla miktarda oksit tabakasıyla korunduğu SEM ve EDS sonuçlarında görülmektedir.

BÖLÜM 8

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

R260 kalite raylara uygulanan mantar sertleştirme ısıl işlemlerinin aşınma davranışlarının incelenmesi amacıyla yapılan bu çalışmada elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. R260 kalite raylara farklı sıcaklıklarda östenitleme ve farklı sürelerde sadece su ve hava+su püskürtülerek soğutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu ısıl işlemler sonucunda ince lamelli perlitik yapı elde edilmiştir.
2. İncelenen ray numunelerinin mantar sertleştirme ısıl işlemlerinin ardından sertlikleri ortalama 290 HB seviyelerinden ortalama 370 HB seviyelerine yükselmiştir.
3. Uygulanan ısıl işlemler neticesinde yakalanan optimum sertlik derecelerine göre yapılan aşınma testlerinde 850°C'de 20 saniye boyunca hava+su püskürtülerek yapılan mantar sertleştirme ısıl işlemi sonrası numuneler en düşük ağırlık kaybı göstermiştir.
4. Aşınmış yüzeyler incelendiğinde düşük yüklerde zayıf adhesif aşınmanın etkin olduğu görülmektedir. Hatta aşınmış yüzeylerde kırmızı-kahverengi oksit tabakalarının yüzeyi kapladığı görülebilmektedir. 40N yük altında aşındırılan rayların aşınmış yüzeyleri incelendiğinde şiddetli adhesif aşınmanın etkin olduğu belirlenmiştir. Aşınma yönünde oluşan yivler ve küçük parçacık kopmaları bunun bir göstergesidir.
5. R260 kalite raylara uygulanan ısıl işlemlerin yanında farklı alaşım elementleri ilave edilip mekanik özelliklere etkisi incelenebilir.

6. Numuneler üzerinde yapılan aşınma deneyi daha farklı ortamlarda, örneğin belirli demiryolu hatlarında yapılabilirse daha hassas sonuçlar ortaya çıkabilir.
7. Ray numunelerinden elde edilen sertlik değerlerine daha düşük karbon konsantrasyonlarında, beynitik yapının elde edilmesiyle ulaşılabilir. Böylece beynitik yapılı ray çeliklerinin mekanik özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, “Konvensiyonel hatların yol bilgileri”, *T.C. Devlet Demiryolları İstatistik Yıllığı 2006-2010*, 24, (2010).
2. UIC Code 721, “Recommendations for the use of rail steel grades”, *International Union of Railways*, 8: 1-23, (2005).
3. Martens, J. H. and Wirick, D.P., “Premium rail steels for the 21st. century” *36th. Mechanical Working and Steel Processing Conference*, Baltimore, 3-6 (1994).
4. Girsh, G. and Frank N., “Harder rails prove their worth”, *International Railway Journal*, 48 (12): 25-27 (2008).
5. Innotrack Guideline, “Definitive guidelines on the use of different rail grades”, *Innotrack Project No. TIP5-CT-2006-031415*, 1-43, (2006).
6. Herian, J. and Aniolek, K., “The structure and properties of steel with different pearlite morphology and its resistance to abrasive wear”, *International Scientific Journal*, 31 (2): 83-86 (2008).
7. Durand, M., “Microstructure Of Steels and Cast Irons”, *Springer-Verlag*, Berlin, 1: 151-238 (2004).
8. ASM International Handbook Committee, “Properties and selection: iron steel and high performance alloys”, *ASM International*, Ohio, 1: 211-231 (1990).
9. Totten, G. E., “Steel heat treatment”, *CNC Press*, New York, 102-119 (2007).
10. Bhadeshia, H. K. D. H. and Honeycombe, R. W. K., “Steels: Microstructure and properties”, *Butterworth Heinemann*, Oxford, 100-127 (2006).
11. Marder, A.R., Benschoter, A.O. and Krauss, G., “Microcracking sensitivity in Fe-C plate martensite”, *Metallurgical Transformation*, 10: 1545–1549 (1970).
12. Materkowski, J.P. and Krauss, G., “Tempered martensite embrittlement in SAE 4340 steel”, *Metallurgical Transformation*, 10: 1643–1651 (1979).
13. Kamlesh, K. J. and Murthy, R., “Improvements in rail steel metallurgy for 32.5 T axle load”, *N.E.Railway Southern Railway Publish*, Project Report No:721, 1-27 (2002).

14. Bain, E.C., “Functions of the Alloying Elements In Steel”, *ASM International*, Cleveland, 158-192 (1939).
15. Kalaycıoğlu, O., “Kardemir’de ray üretiminde iyileştirmeler”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 67-69 (2006).
16. Bramfitt, B. L., Fletcher, F. B. and Davis, J. A., “Method of making a hypereutectoid, head-hardened steel rail”, *United States Patent Application*, No: 20110139320, 1-13 (2011).
17. İnternet: Sertsan Krom Kaplama Ltd. şti. “Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi”, <http://www.sertsan.com/alasim.htm> (2012).
18. Kardemir A.ř., “Ünite içi eğitim notları”, *Kardemir A.ř. Çelikhane Müdürlüğu*, Karabük, 1-32 (2009).
19. Li, X., Langenberg, P., Münstermann S. and Bleck, W., “Recent developments of modern rail steels”, *China Scholarship Council*, 1-7 (2002).
20. İnternet: Voestalpine GmbH “Rail Movement Joints”, <http://www.voestalpine.com/vae> (2012).
21. 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).
22. Zhan, X. and Wang, S., “Research on the improvement of rail head hardening technology on railway”, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5: 263 – 271 (2005).
23. Mädler, K., Zoll, A., Heyder R. and Brehmer, M., “Rail materials, alternatives and limits”, *Proceeding Of The 8th. World Congress on Railway Research*, Korea, 18-22 (2010).
24. Cannon, D.F., Edel, K.O., Grassie, S.L. and Sawley, K., “Rail defects: an overview”, *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structure*, 26 (10): 865-886 (2003).
25. Indian Railways Institute Of Civil Engineering, “Rail steel”, *Indian Railways Institute Of Civil Engineering Pune Publish*, 73-76 (2007).
26. DIN EN 13674-1 standarts, “Railway applications - track - rail - Part 1: Vignole railway rails 46 kg/m and above”, *European Committee For Standardization*, 1-37 (2007).
27. Çiçek, B., “Mg₂Si partikül takviyeli Mg alaşımlarının aşınma ve korozyon özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 19-21 (2011).

28. Jarrel, D.J. and Bejbl, F., “Understanding wear and friction in medical-grade stainless steels”, *Medical Device & Diagnostic Industry Magazine MDDI Article Index*, 50-57 (1999).
29. Erdemir A.Ş., “Çelik Yüzeylerinin Kaplanması”, *Erdemir Yayınları*, Kdz. Ereğli, 9-11 (2006).
30. Soydaş, S., “Üniversal aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 21-22 (2006).
31. Bhushan, B., “Wear”, *Introduction to Tribology*, New York, 332-333 (2002).
32. İlhan, E., “Tanburlu kurutma makinalarının tasarımına etki eden faktörlerin araştırılması”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 45-46 (1996).
33. Ünlü, B.S., Köksal, N. S. ve Atik, E., “Bakır esaslı bronz ve pirinç yatakların tribolojik özelliklerinin karşılaştırılması”, *Denizli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2): 103-108 (2003).
34. Çelikyürek, İ., “Demir alüminantların borlanması ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 107-108 (2006).
35. Akbulut, H., “Malzemelerin sürtünme ve aşınma ders notları”, *Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği*, 1-22 (2006).
36. Yıldızlı, K., Odabaş, D. ve Nair, F., “Borlanmış AISI 1020 çeliğinin erozif aşınma davranışlarının incelenmesi”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 131-139 (2003).
37. Özserağ, U. ve Durman, M., “Aşınma deney yöntemleri” *Makine Magazin*, 46: 40-46 (2000).
38. Klaasen, H. Vainola, V. and Kübarsepp, J., “Abrasive wear and mechanical properties of carbide composites”, *Materials Science*, 12 (1): 520-526 (2006).
39. Taşgın, Y. ve Kaplan, M., “Dubleks tekniğiyle üretilen FeCrC katkılı malzemenin abrasif aşınma davranışlarının araştırılması”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 7: 217-224 (2007).
40. Sarı, Y. N. ve Yılmaz, M., “Ni-esaslı kaplamaların abrasif – erozif aşınma direncinde ısıl püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi”, *Mühendis ve Makina*, 46 (541): 16 (2000).
41. Blau, P. J. and Budinski, K. G., “Development and use of astm standards for wear testing”, *Oak Ridge National Laboratory*, 225 (2): 1159-1170 (1999).

42. Internet: Phoenix Tribology Ltd. “A Brief History of Plint Tribology Products”, <http://www.phoenix-tribology.com/cat/at2/index/history.pdf> (2012).
43. Clayton, P. and Danks, D., “Effect of interlamellar spacing on the wear resistance of eutectoid steels under rolling/sliding conditions”, *Wear*, 135 (2): 369–389 (1990).
44. Paris, H.G. and Kim, D.K., “Metallurgy, processing and applications of metal wires—a review”, *Metallurgy, Processing and Applications of Metal Wires*, 3-15 (1996).
45. Williams, J.G., Simpson, J.D. and MacDonald, J.K., “Niobium in rail steels”, *Proceedings of the International Symposium Niobium*, San Francisco, 81: 1019–1040 (1981).
46. Heler, W. and Schmedders, H., “Steel”, *A Handbook for Materials Research and Engineering*, 2: 593 – 601 (1993).
47. Yokoyama, H., “High strength bainitic rails for heavy haul railways with superior damage resistance”, *NKK Gihou Publish*, 169: 17 – 23 (2000).
48. Garnham, J.E. and Beynon, J.H., “Dry rolling-sliding wear of bainitic and pearlitic steels”, *Wear*, 157: 81-109 (1992).
49. Clayton, P., and Jin, N. “Unlubricated sliding and rolling/sliding wear behaviour of continuously cooled, low/medium carbon bainitic steels”, *Wear*, 200: 74-82 (1996).
50. Jaiswal, J., “Reducing LCC of tramway tracks”, *Urban Track Final Conference*, Prague, 7 (2009).
51. Yokoyama, H., “Characterization of bainite rails and pearlite rails used in high freight railroads in terms of wear resistance and damage resistance”, *39th Mechanical Working and Steel Processing Conference*, Indiana, 15: 1023–1028 (1988).

ÖZGEÇMİŞ

Ömer ONAT 1980 yılında Karabük'te doğdu; ilk, orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1997 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya Metalurji Fakültesi Metalurji Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2002 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2003 yılında Kardemir A.Ş.'de mühendis olarak göreve başladı. Halen aynı şirkette Çelikhane Müdürlüğü Sürekli Dökümler İşletme Mühendisi olarak görev yapmaktadır. 2009-2010 eğitim öğretim yılında, açılmasıyla birlikte Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans eğitimine başladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Kardemir A.Ş.
Çelikhane Müdürlüğü
KARABÜK

Tel: (544) 4330078

E-posta: onat78@yahoo.com