



R260 RAYLARIN YERİNE R350 HT RAYLARIN İKAME EDİLMESİ

ÖMER ERDOĞAN

**2021
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

R260 RAYLARIN YERİNE R350 HT RAYLARIN İKAME EDİLMESİ

Ömer ERDOĞAN

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

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ**

**KARABÜK
Haziran 2021**

Ömer ERDOĞAN tarafından hazırlanan “R260 RAYLARIN YERİNE R350 HT RAYLARIN İKAME EDİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 17/06/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Harun ÇUĞ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet AKKAÇ (KÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ)

.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



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

Ömer ERDOĞAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

R260 RAYLARIN YERİNE R350 HT RAYLARIN İKAME EDİLMESİ

Ömer ERDOĞAN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:
Dr. Öğr. Üyesi. Harun ÇUĞ
Haziran 2021, 45 sayfa**

Gelişen ülke şartlarıyla demir yollarındaki gelişmelerde göz önüne alındığında kaliteli demir yolu malzeme itiyacıyla maliyetler düşünülerek yerli kaynaklarla üretim fikrini ortaya çıkarmıştır. Mantarı sertleştirilmiş ray üretimi çok kez projelerde çalışılmıştır. Rayların önemli etkenleri olan temas yorulması hasar açısından büyük rol oynamaktadır. Malzeme mukaveti arasındaki ters orantı yorulma çatlağı gelişimine bağlıdır. Yüzey aşınmaları, rayın iç yapı özelliği kırılma nedenleri arasındaki en önemli etmendir. Sertleştirme prosesleri ve projeleri bu tarz hasar önlemek için yapılmaktadır. Mantar üzerinde hasar olduğundan mantarlarının sertleştirilmesi önemlidir.

R350 HT kalite mantarı sertleştirilmiş rayların yüzeyinde R260 kalite raylara göre daha az yorulma çatlağı olduğu saptanmıştır. Mukayese edilerek çalışmada mikroyapılarına yorulma davranışlarını sertlik değerlerini, mekanik özelliklerine etkisini ve ısıl işlemsiz raylarla mukayesesini içermektedir.

Anahtar Sözcükler : Sertleştirme, Ray, Mikro Yapı, Sertlik, Çekme, Makine, Metal.

Bilim Kodu : 91438



ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PRODUCTION OF HEAD – HARDENED R350HT QUALITY RAILS FROM R260 QUALITY RAILS BY HEAT TREATMENT METHOD

Ömer ERDOĞAN

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

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Harun ÇUĞ

June 2021, 45 pages

With the developing country conditions, the developments in the railways have come up with the idea of production with domestic resources, considering the costs of high quality railroad materials. The production of mushroom hardened rails has been worked on many times in projects. Contact fatigue, which is an important factor in the rails, plays a major role. The inverse ratio between material strength depends on the variation of fatigue crack. Surface abrasion is the most important factor between fracture and fracture of the internal structure of the rail. Hardening processes and projects are made for this type of damage. It is important to harden the cork as damage has occurred on the cork.

It has been determined that R350 HT quality mushroom hardened rails have less fatigue cracks on the surface than R260 quality rails. To practice the comparison

involves continuing their microstructure, mechanical vocalization, and comparison with rails without heat treatment.

Key Word : Corkhardening, Rail, Microstructure, Hardness, Tensile, Metal, Machine.

Science Code : 91438



TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamı engen bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle bilim ıőıđı yolunda izleten sayın hocam Dr. Öğr.Üyesi. Harun ÇUĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi manevi hiç bir desteğini esirgeyemeyen Sayın SAİT ÖZÇELİK'e ve değerli mühendis ağabeyim Abdulrezzak ERDEM'e teşekkürlerimide bildirmek isterim.

Tez alıőması kapsamında yardımlarını, çalıőmalarını esirgemeyen büyük fayda gördüğüm Sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI hocama, Müh. Sait ÖZÇELİK ve Müh. Ömer ONAT hocalarımda teşekkür ve Őükranlarımı sunarım.

Anne ve babama desteklerinden ötürü çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.2. DEMİR YOLU RAY ÜRETİMİ.....	2
1.2.1 Yüksek Fırın Prosesi	2
1.2.2 Çelikhane Prosesleri	3
1.2.2.1 Bazık Oksijen Konverteri	3
1.2.2.2 Pota Fırını ve Vakum Altında Gaz Giderme.....	4
BÖLÜM 2	6
DEMİR YOLU RAYLARI.....	6
2.1. ÇELİKLERDE GÖRÜLEN FAZLAR.....	12
2.1.1. Ferrit	12
2.1.2. Östenit.....	13
2.1.3. Sementit	14
2.1.4. Ferrit	14
2.1.5. Perlit.....	14
2.1.6. Beynit.....	15
2.1.7. Martenzit.....	16
2.2. RAYDAN BEKLENEN ÖZELLİKLER	17

	<u>Sayfa</u>
2.3. RAYIN ÖZELLİKLERİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....	18
2.3.1. Kimyasal Analiz	18
2.3.1.1. Karbon.....	18
2.3.1.2. Mangan	19
2.3.1.3. Silisyum	19
2.3.1.4. Fosfor	20
2.3.1.5. Kükürt	20
2.3.1.6. Oksijen	20
2.3.1.7. Azot.....	21
2.3.1.8. Hidrojen	21
2.3.1.9. Krom	21
2.3.1.10. Molibden.....	22
2.3.1.11. Vanadyum	22
2.3.1.12. Niyobyum	22
2.3.2. Soğutma Kontrolü.....	22
2.4. RAY ÜRETİMİ.....	23
2.4.1. BOF Konverterleri	24
2.4.2. Pota Fırınları	24
2.4.3. Vakum Altında Gaz Giderme (Vacuum Degassing)	24
2.4.4. Sürekli Dökümler.....	25
2.5. RAY ÇELİĞİNİN KALİTESİNİN GELİŞTİRİLMESİ	25
BÖLÜM 3	26
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
3.1. R350 HT RAYLARIN ÜRETİLMESİ MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİNİN GEREKLİLİKLERİ	26
3.2. R350 HT KALİTE RAYLARIN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ	28
3.3. ÇEKME DENEYİ	29
3.4 SERTLİK DENEYİ.....	30
3.5 AŞINMA DENEYİ	31
BÖLÜM 4	33

	<u>Sayfa</u>
DENEYSEL SONUÇLAR	33
4.1. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI	33
4.2. MİKRO YAPI SONUÇLARI	34
4.3. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI	38
4.4. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI	39
BÖLÜM 5	40
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	40
5.1. SONUÇLAR	40
5.2. ÖNERİLER	41
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Yüksek fırın tepkimeleri	3
Şekil 1.2. Bazik oksijen fırını ve ekipmanları	4
Şekil 2.1. Lameller arası uzaklığın sertlikle ilişkisi.	10
Şekil 2.2. Östenit tane boyutunun akma dayanımı ve sertlikle ilişkisi.	10
Şekil 2.3. İzotermal tavlama sonrası.	11
Şekil 2.4. Ferrit yapısı.	13
Şekil 2.5. Östenit yapısı.	13
Şekil 2.6. Sementit kafes yapısı.	14
Şekil 2.7. Perlit yapısı.	15
Şekil 2.8. Beynit yapısı.	16
Şekil 2.9. Martenzit mikro yapıları.	17
Şekil 3.1. Sertlik değeri ve aşınma davranışı ilişkisi.	27
Şekil 3.2. Farklı kalitedeki rayların aşınma davranışları.	28
Şekil 3.3. Otomatik parlatma cihazı.	29
Şekil 3.4. Optik mikroskop.	29
Şekil.3.5.Tsen13674Standardına göre çekme numuneleri çıkarılacak bölgeler	30
Şekil 3.6.Çekme testi hazırlanan numunelerin teknik resmi.	30
Şekil 3.7. Sertlik taraması yapılan bölgeler	31
Şekil.3.8.Aşınma cihazı ve precisa marka xs 220a model hassas terazi	32
Şekil 4.1. R350 Ht Rs (500x)	34
Şekil 4.2. R260 RS bölgesi 500x.	34
Şekil 4.3.R350HT web bölgesi 500x.	35
Şekil 4.4.R260 web bölgesi 500x.	35
Şekil 4.5.R260 ve R350HT sem 500x.	35
Şekil 4.6.R260 üst bölge mikro yapı görüntüsü 500x	36
Şekil 4.7.R350HT üst bölge mikro yapı görüntüsü 500x.	36
Şekil 4.8.R260 mikro yapı (50x).	37
Şekil 4.9.R350HT mikro yapı (50x)	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. TCDD için ray çeliğinin kimyasal kompozisyonları	5
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.	8
Çizelge 2.2. Alaşım elementlerinin çeliğin özelliklerine etkisi	23
Çizelge 3.1. TCDD hatlarındaki kurp dağılımı.....	26
Çizelge 3.2. Perlitik ve beynitik rayların mekanik özellikleri mukayesesi.....	27
Çizelge 3.3. Sertlik tablo dağılımı.....	29
Çizelge 4.1. Çekme dayanımı ve uzama miktarı.	33
Çizelge 4.2 R350HT bölge ortalama sertlik değerleri.	38
Çizelge 4.3 Sertlik tablo dağılımı.....	38
Çizelge 4.4 Aşınma tablo dağılımı.....	39

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Ag : gümüş

Al : alüminyum

Ar : argon

Au : altın

Cu : bakır

H₂ : hidrojen

KISALTMALAR

AISI : American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Uluslararası arenada demiryolunun ilerlemesiyle oluşan ham madde sıkıntısıyla beraber daha nitelikli ve maliyeti az malzemelere ihtiyaç duyulduğundan dolayı yerli üretimlerle karşılanması gibi bir ortam oluşmaktadır. Bu bağlamda mantarı sertleştirilmiş rayların da yerli kaynaklarla üretilmesi için birçok proje üzerinde çalışılmaktadır. Raylarda temas yorulması, hasara sebep olan önemli etkenlerdendir. Yorulma çatlak gelişimi ve ilerlemesi ile malzeme mukavemeti arasında bir ters orantı olduğu bilinmektedir. Rayların kırılma nedenleri arasında en önemli etken rayın içyapısı, yüzey aşınması ve kalıcı bozulmadır. Bu hasarların önüne geçmek için mantar sertleştirme prosesi uygulanmaktadır. Hasarlar en çok mantar üzerinde olduğundan ray mantarlarının sertleştirilmesine önem verilmiştir.

Yapılan ısıl işlemler sonrasında EN 13674 standardına göre sertlik, mikroyapı ve çekme testleri yapılmış olup R260 kalite rayların özellikler incelenip R350HT raylar ile mukayesesi yapılmıştır. Çekme testi verilerine göre yükler belirlenip ISO 1143 standardına göre dönel eğmeli yorulma testleri yapılmış ve işlem parametrelerinin mekanik özelliklere etkileri anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu incelemeler sonucunda R260 Rayların yerine R350HT rayların neden kullanılacağı açıklanmaya çalışılmıştır.

Mikro yapı ve Mekanik Özelliklerin testleri yapılarak güncel hayatta ki kullanım koşulları ile raylar arası mukayesenin yapılıp, kıyaslama sonucunu ortaya çıkararak kullanım yerini belirlemektir. Ayrıca kullanım yerlerindeki farklılıklarda incelenecektir. Aşınma, Yorulma vb deney sonuçları incelenecek sonuç kıyaslama olarak artı yönleriyle anlatılacaktır.

1.2. DEMİR YOLU RAY ÜRETİMİ

Bazık Bessemer, asidik Bessemer, elektrik fırını ve Siemens-Martin ray çeliği üretiminde kullanılmaktadır. 1950-1960 seneleri arasında gelişen teknolojilerle, oksijen üfleli üretim kullanılmaya başlandı.

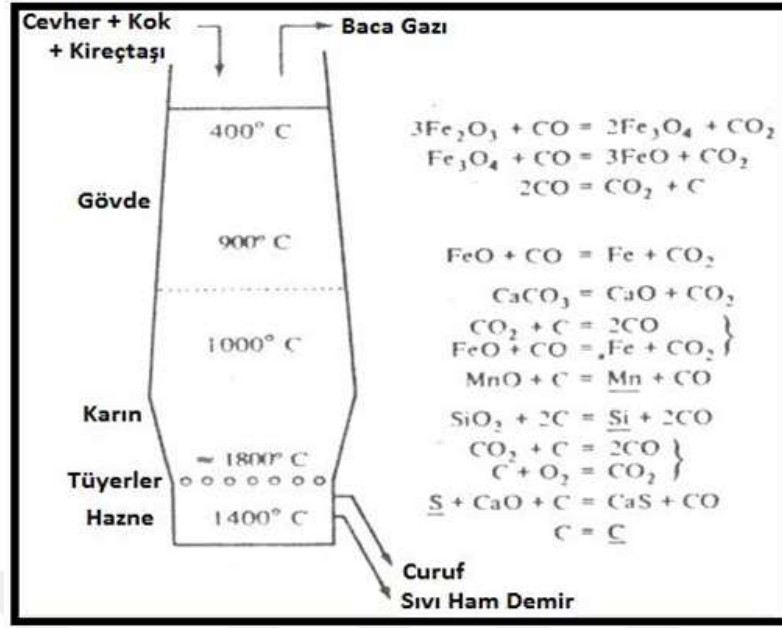
BOF yöntemi ile, ray çeliği üretimi ülkemizde yapılmaktadır. Bunlar ise aşağıda belirtilen yöntemlerle yapılmaktadır.

- Yüksek Fırın
- Çelikhane
- Haddehane

1.2.1 Yüksek Fırın Prosesi

Bu proste fırına şarj edilen hammaddeler içinde sinter, demir cevheri, pellet ve kok kömürü ile sıvı ham demir üretimi yapılmaktadır. Ayrıcı istenmeyen maddeler fırın içerisinde oluşan ikincil tabaka cüruf malzemesine geçmektedir. Bazite durumlarına göre curuf yapıcı olarak kireç taşı kullanılır. Demirce zengin hammaddeler demir cevheri, sinter ve pelet olarak fırına şarj edilir. Üretilen SHD, aşamalardan geçerek torpedo arabalarıyla, çelikhane prosesine gönderilmektedir.

Sekil 1.1’de görüldüğü gibi, demir cevheri saf halde bulunmadığı için fırında bu olay redüklenerek gerçekleşir. Yanma sonucu tüyer bölgesinden fırına ortalama 980 ila 1150 derece hararetle sıcak hava üflenir. Fırın çalışma prosesine göre bu hava miktarı değişmektedir.



Şekil 1.1. Yüksek fırın tepkimeleri [11].

Kabul bunker ve döner oluk yardımıyla fırın içerisine alınan şarj sürekli çalışan bir sistemledemir içerisine carbonun alınması ve cüruf fazının oluşması ortalama fırın hacmine göre 6 ila 8 saat sürmektedir. Sonuç olarak matkap moturu yardımıyla döküm deliği delinerek oluşan SHD fırın içerisinden alınır.

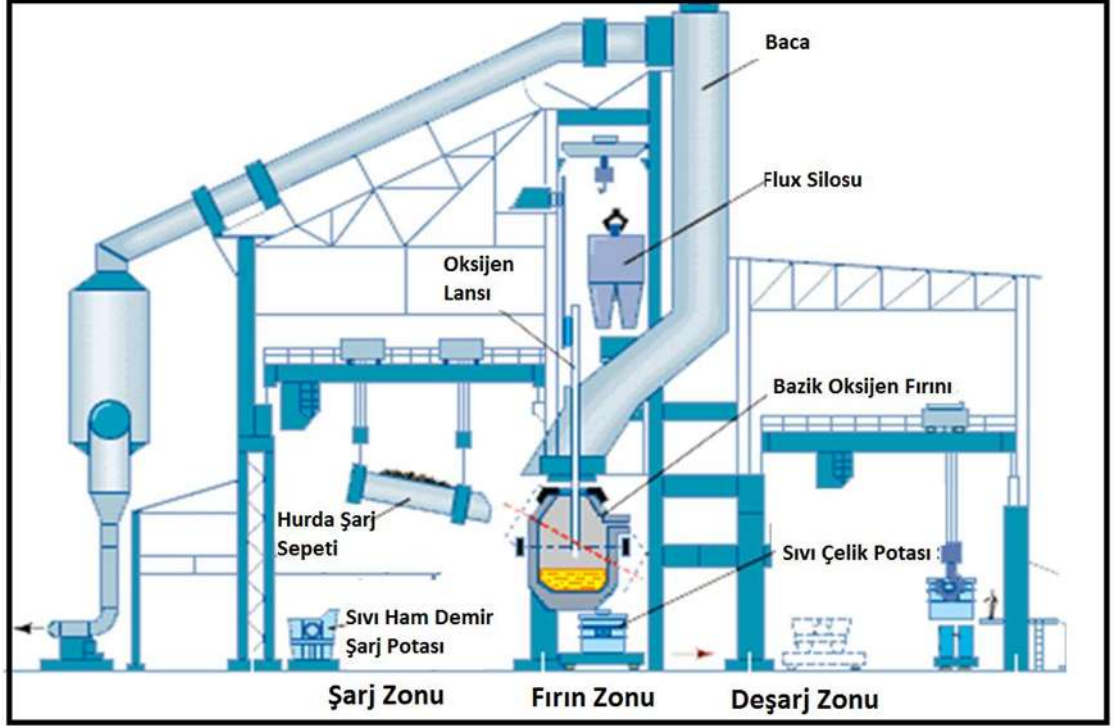
1.2.2 Çelikhane Prosesleri

Yüksek fırınlara şarj edilen hammaddelerle elde edilen sıvı ham demir kükürt giderme işleminden geçtikten sonra çelikhaneye gönderilmektedir. Çelikhane 3 saat boyunca kapalı döküm şeklinde dökülmektedir. 120 ton bir pota fırını için mangan silis ve kireç taşı ilave olarak ekleniyor. Yüksek karbonlu alaşım olduğu için karbon dengesi için ortalama 900kg kömür ilave edilmektedir. Bu sayede istenilen ray çeliği bileşim ortaya gelmektedir.

1.2.2.1 Bazik Oksijen Konverteri

Çelik üretiminde büyük bir öneme sahiptir. Üç adet entegre tesis türkiyede üretim yapmaktadır. Son sürüm bir fırın bir seferliğine yaklaşık 150-350 ton civarında malzeme konulabilir ve bunu 40 dakikada çelik bileşimine getirebilir. Bof un en

önemli malzemesi SHD dir ve şarjın yaklaşık olarak %80'ini oluşturur. Kükürt gidermeye sokularak kirletici etmenlerin oluşturduğu etkiyi yok ettikten sonra bafa alınır.



Şekil 1.2. Bazik oksijen fırını ve ekipmanları [10].

Oksijen fırınına yüklenen sıvı ham demir ve hurda üzerine kuru ve saf oksijen üflenir. Bu yapılan işlemlerden sonra kimyasal durumu değerlendirilen sıvı çelik, uygun bulunursa, döküm ağzından çelik potasına koyulur ve fırına gönderilir. Oksijen az üflenirse sıvı çelik yeterli miktarda temizlenemez ve oluşması beklenen kimyasal hal yakalanamaz, çok üfleme yapıldığında ise sıvı çelik bünyesine oksijen fazla girecektir.

1.2.2.2 Pota Fırını ve Vakum Altında Gaz Giderme

Pota ocağı sıvı çeliğin son bileşimine kavuştuğu istasyondur. Burada malzemenin üzerinde bir curuf tabakası oluşturulur ve bu tabaka üzerinden arkla malzeme ısıtılır. Pota altından argon gazı verilerek potanın karıştırılması ve potanın her yerinde eşit kimyasal kompozisyon sağlanır. Bu sayede pota döküm için de uygun sıcaklığa getirilir [10].

Bu istasyondan çıkan sıvı çelik gazdan arındırılması için vakum altına alınır ve işleme tabii tutulur. Bu işlem sıvı çelikteki hidrojeni 2 ppm'im altına çekerken oksijeni tamamen ortadan kaldırmaya uğraşır. Hidrojen oranın 2 ppm'inden düşük olması yığılma durumunu önler böylelikle malzeme içinde gaz boşlukları yok olmasından dolayı dayanıklılığıda artar. TCDD'nin ray satın alma şartnamesine göre rayların kimyasal kompozisyonları [10].

Çizelge 1.1. TCDD için ray çeliğinin kimyasal kompozisyonları.

Ray Tipi	TCDD Şartnameleri/ Ağırlık %				
	c	Si	Mn	P (max.)	S
R260	0,70-0,80	0,20-0,60	0,95-1,25	0,030	0,008-0,030
R350HT	0,70-0,82	0,13-0,60	0,65-1,25	0,025	0,008-0,030

BÖLÜM 2

DEMİR YOLU RAYLARI

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 sebeptendir 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.

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 karşılaştırıldığında 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 ulaşmıştır.

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.

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				

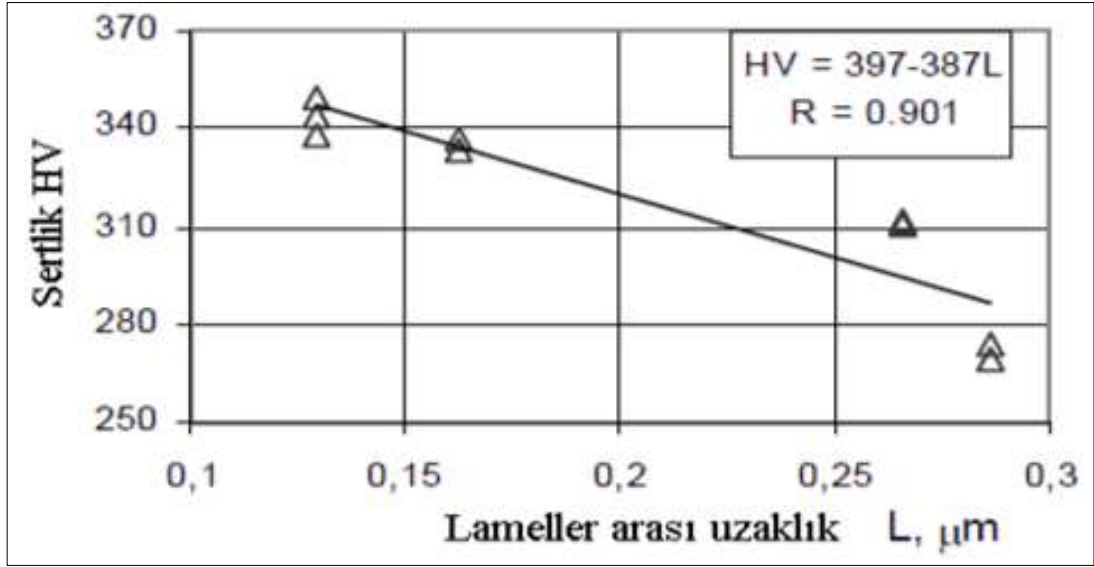
Karbon-mangan çeliklerinden yapılan ray çeliklerinin dayanıklılığı, özellikle izotermal tavlama süresindeki perlit morfolojisiyle olmak üzere kontrollü perlitik mikro yapı sayesinde sağlanabilmektedir. Bu termal işlem, perlit kolonilerinin boyutlarında küçülme ve sementitteki lameller arası uzaklıkta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

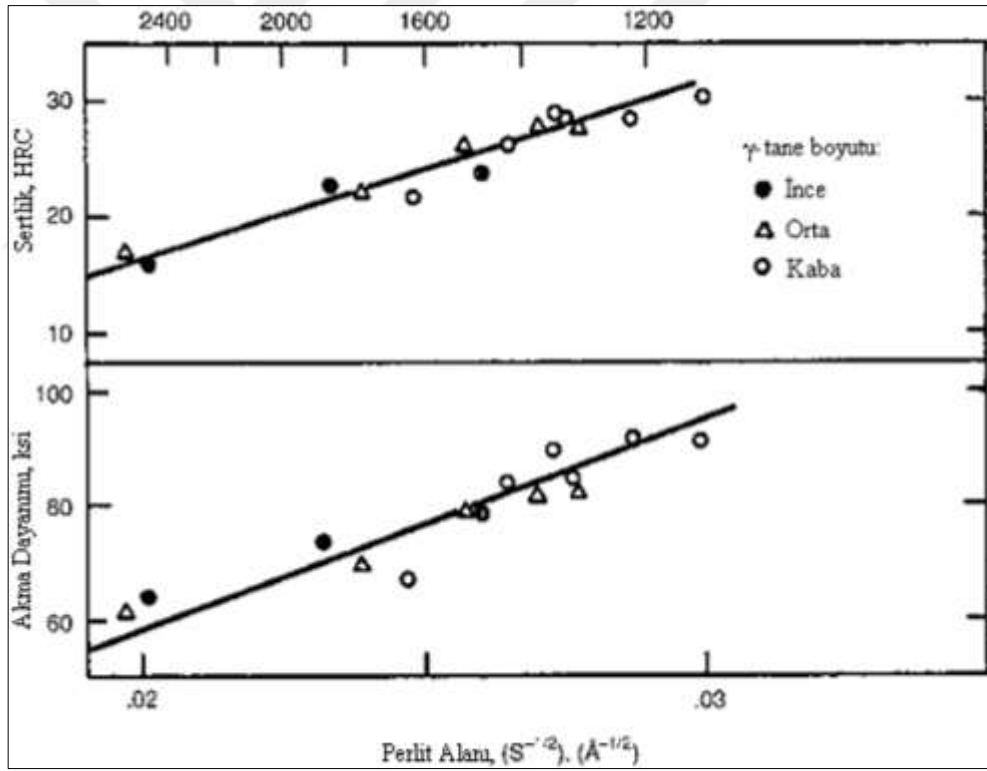
düşmesine sebep olup küçülmüş perlit kolonilerinin oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu çelikler, ana elementler ve düşük oranda alaşım elementleri yönünden kararlı, yüksek metalürjik saflığa sahip, özellikle hidrojen (2,5 ppm'den az) ve oksijen (20 ppm'den az) olmak üzere düşük gaz konsantrasyonuna sahiptir.

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.

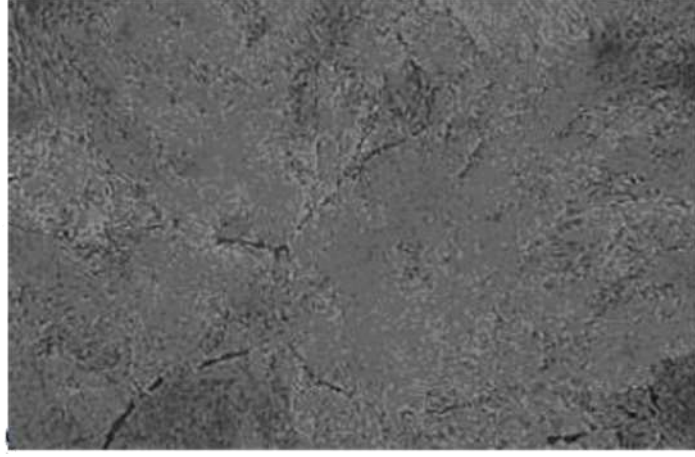
Son özellik, abrasif aşınma direnciyle bağlantılıdır. Lameller arası mesafedeki azalma ray aşınma şiddetinde düşüş anlamına gelmektedir (Şekil 2.1). Aynı zamanda östenit tane boyutu malzemenin mekanik özellikleriyle ters orantılı bir davranış sergilemektedir (Şekil 2.2). Perlitik ray çeliklerinde aşınmaya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



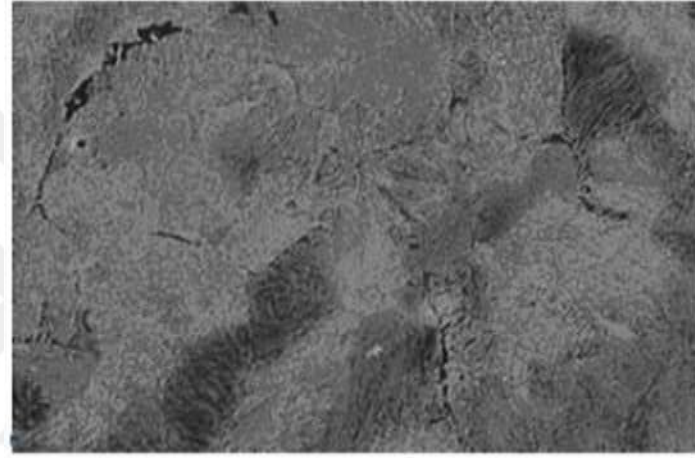
Şekil 2.1. Lameller arası uzaklığın sertlikle ilişkisi [6].



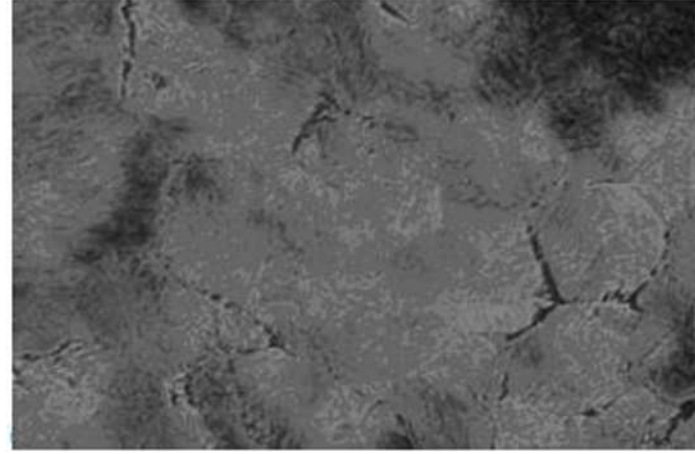
Şekil 2.2. Östenit tane boyutunun akma dayanımı ve sertlikle ilişkisi [6].



(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.

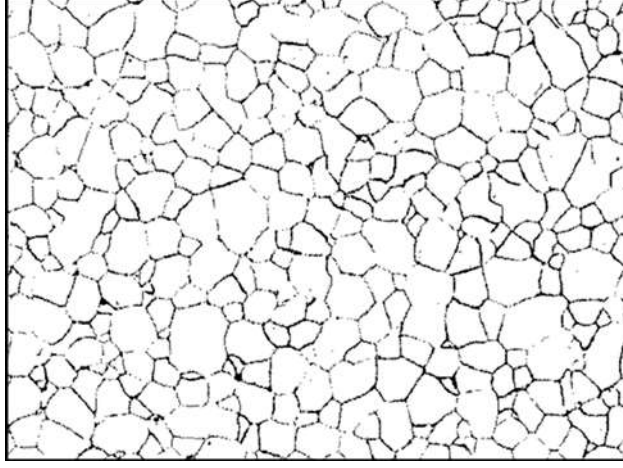
520-620°C sıcaklık aralığında izotermal tavlama sonrasında mikro yapı, haddelenmiş durumdaki ile ilişkili şekilde, perlit koloni boyutlarında azalma, daha düşük lameller arası uzaklık ve daha küçük sementit lamel kalınlığı ile karakterize edilmiştir. İzotermal tavlama sıcaklığının düşürülmesi, lameller 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

Ferrit, östenit, sementit, perlit, δ-ferrit, beynit ya da martenzit gibi fazların çeliklerde C miktarına, sahip oldukları sıcaklıklarave uygulandığı işlemlere bağlı olarak birini ya da bir kaçını içerebilmektedirler.

2.1.1. Ferrit

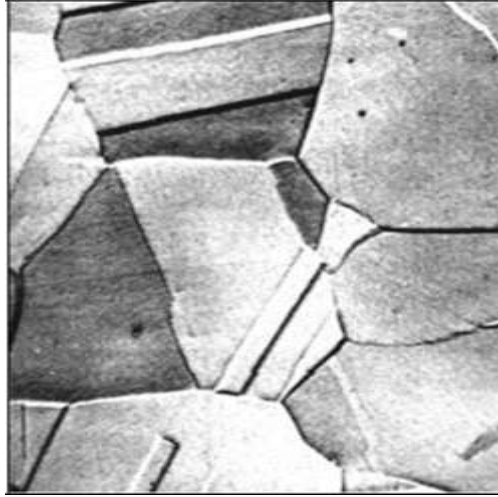
Ferrit fazı, kübik hacim merkezli (KHM) kafes yapısına sahiptir. Ferritin oda sıcaklığındaki karbon çözünürlüğü % 0,006, 723°C'deki karbon çözünürlüğü ise % 0,02'dir.



Şekil 2.4. Ferrit yapısı [7].

2.1.2. Östenit

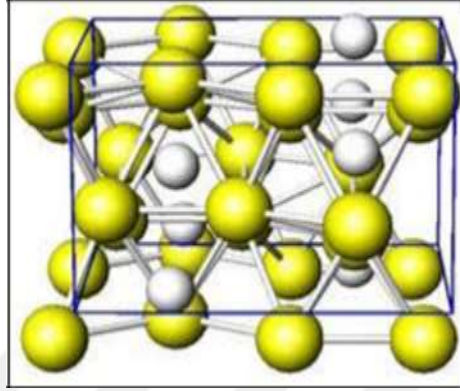
723°C'deki karbon çözünürlüğü % 0,8 olan kübik merkezli kafes yapısına sahiptir. %2,06 maksimum karbon çözünürlüğüdür. Çeliklerin sertleştirilmesi işleminde, östenitleştirme evresinde üretilen östenit fazının birim büyüklüğü, ısıl işlem sonrası elde edilecek olan ürün özellikleri üzerinde belirleyici rol oynar [8].



Şekil 2.5. Östenit yapısı [7].

2.1.3. Sementit

Ortorombik kafes yapısına sahip olan intermetalik bir fazdır. Bu fazda 3 Fe atomu 1 C atomu ile birleşerek sementit yapısını oluşturur. Sert ve kırılğan bir yapıdır. Sementitin karbon çözünürlüğü % 6,67'dir [8].



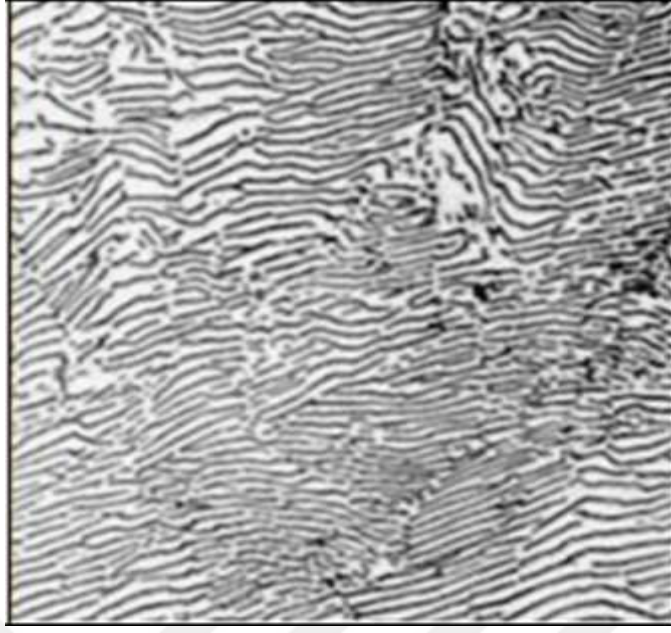
Şekil 2.6. Sementit kafes yapısı [7].

2.1.4. Ferrit

(KHM) kübik hakim merkezli kafes yapısına sahiptir. 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. Tane sınırlarında demir atomları ile birleşen karbon atomları sementit yapısını oluştururken, karbonca düşük olan KYM yapısındaki östenit, KHM yapısında ferrite dönüşür. Lameller biçiminde sıralanmış olan ferrit ve sementit fazları perlit yapısını oluşturmaktadır.

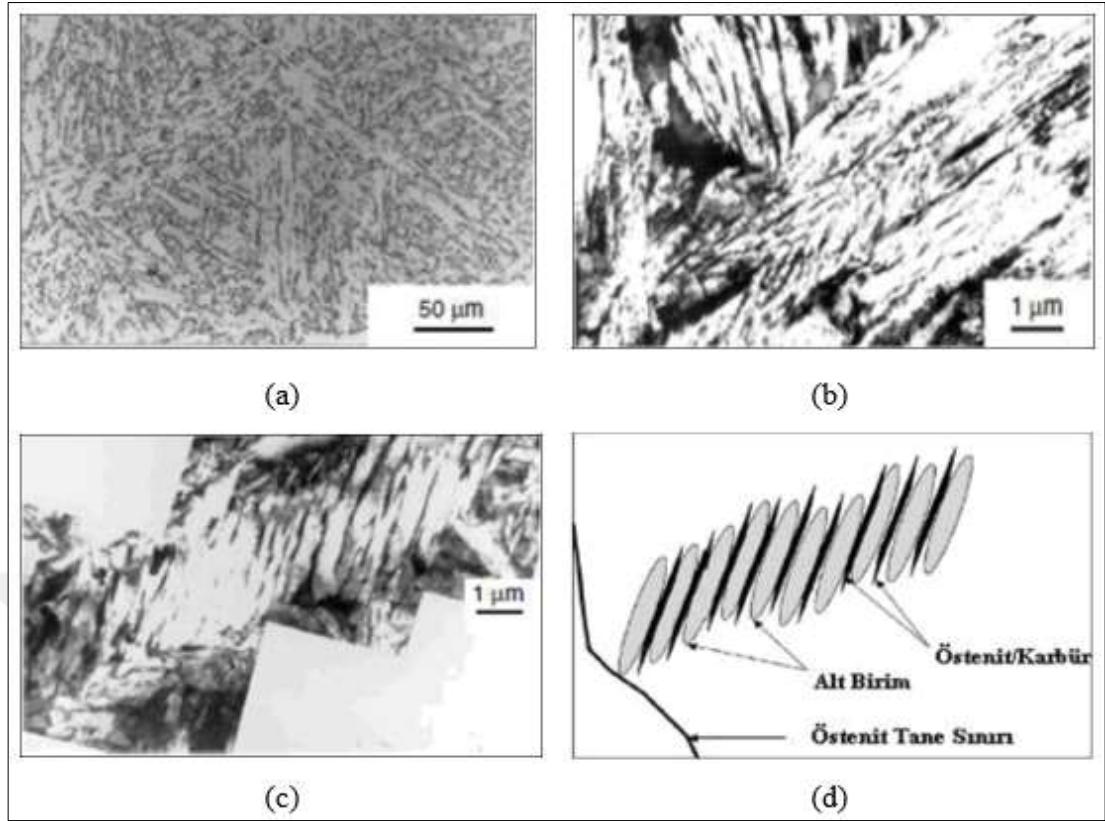


Şekil 2.7. Perlit yapısı [7].

2.1.6. Beynit

Beynit, östenit fazından izotermal dönüşüm sonucunda oluşan yapıdır. İlk oluşum teorisine göre, beynit yapısını, östenit fazından çekirdeklenen ferrit ve sementit oluşturur. Lamel yapılı olmayan evrede, ferrit birimleri arasında yer alan sementitler bulunur. Diğer oluşum teorisine göreyse, kayma ve ikizlenme mekanizmaları ile aşırı doymun ferrit kristallerine sahip beynit yapısı meydana gelir.

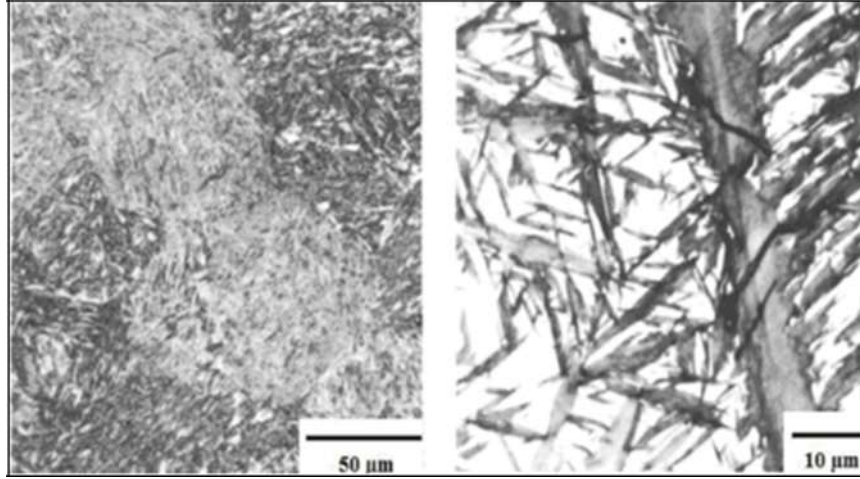
Beynit oluşumunda, her iki teoride birlikte yürümektedir. Bu sebeple, östenit tanelerinden çekirdeklenmiş ferrit ve küresel sementit yapıları, beynit mikro yapısını meydana getirir. Bu yapı üst beynit olarak isimlendirilir [9].



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

Ostenitik yapı oluşana kadar ısıtılan Fe-C alaşımları su verme ile çok hızlı bir şekilde soğutulursa tek fazlı ve denge dışı bir yapı olan iğnemsiz martenzit fazı oluşur. Bu yapının meydana gelmesinde atomların denge konumlarından farklı ufak yer değiştirmeler yaparak YMK kristal kafes yapısından HMT (hacim merkezli tetragonal) yapıya dönüşmeleri etkilidir. Yüksek soğuma hızında karbon atomları yayılmaya fırsat bulamaz ve martenziti oluşturan kristal kafes içinde arayer noktalarında kalır, ve neticede aşırı doymuş kararsız katı çözelti oluşur. Yavaş soğuma veya izotermal ısıtma işlemleri uygulandığında dönüşüm ürünü ferrit ve sementit olur. Martenzit dönüşüm hızı pratikte zamandan bağımsız olarak kabul edilir.



Şekil 2.9. Martenzit mikroo yapıları [11,12].

2.2. RAYDAN BEKLENEN ÖZELLİKLER

- Aşınma ve yorulma direnci yüksek olması
- Sıkıştırma direnci yüksek olması
- Akma dayanımı, çekme mukavemeti ve sertlik yüksek olması
- Gevrek kırılma direnci yüksek olması
- İyi kaynaklanabilirlik
- Saflık derecesi yüksek olması
- İyi yüzey kalitesi
- Profilin düzlüğü ve kurallara uygunluğu
- İmalat sonrası düşük kalıntı gerilim
- Gerekli hızda ve tasarlanan aks yükünü taşıma

Kısaca özetleyecek olursak;

- Raylar; trenin ivmelenmesi ve yavaşlaması mekanik kuvvetlere (dikey, yanıl yük) karşı dirençli olmalıdır.
- Ortam hava sıcaklığının nötrden veya rayın yüksüz sıcaklığından farklı sıcaklıklara değışmesinin sebep olduğu kuvvetlere dirençli olmalıdır. Bu kuvvetler sıcaklığın, yüksüz sıcaklığın altında ya da üzerinde olmasına bağılı 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.

- 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.
- 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

Karbon, demirin yapısında Fe_3C durumundayken, mekanik özellikleri belirleyen elementlerdendir. Karbon, çelikte demir karbür şeklinde bulunur. Normalize edilmiş ve oda sıcaklığında bulunan sade karbon çeliklerinde, ötektoid bileşik diye adlandırılan % 0,8 karbon içeriğine kadar, karbür ve ferrit, perlit adıyla adlandırılan birbirini izleyen lamelli yapıyı oluşturur. (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 çöker. % 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. 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 gevrektilir.

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 ihtivası sebebiyle MnS olarak çelikte bulunmaz ise demir sülfür (FeS) fazında tane sınırlarında çökeler. 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. Yeterli orandan bulunuyorsa her sıcaklıkta ferrit içinde katı halde bulunur. Bir kısmı da karbonla birleşerek demir karbür gibi karbür bileşiği oluşturup birlikte çökerek kompleks karbür yapısını oluşturur. % 0,8oranında bulunması yüksek çekme mukavemeti ve daha iyi sertliktir. İlgili standartlarda perlitik ray çeliklerinde izin verilen mangan konsantrasyonu % 0,80-85 ile % 1,30-35arasındadır.

2.3.1.3. Silisyum

oksijene afinitesi silisyumda çok yüksektir. Bu sebeple mangandan daha iyi bir deoksidasyon 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 tolare 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.

2.3.1.5. Kükürt

Fosfor gibi yapıda istenmeyen, zararlı başka bir elementtir. Malzemenin sünekliğini ve tokluğunu kötü yönde etkilediğinden ve kaynak kabiliyetini düşürdüğünden otomat çelikleri hariç çeliklerde bulunması istenmez. Kükürt, demirle birleşerek FeS evresini meydana getirir. Bu evre, düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılma eğilimine neden 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. 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, süneklik ve darbe direncini de azaltırken sertliği az derecede artırır, O₂ içeren düşük karbonlu çelikler yaşlanma sertleşmesine duyarlıdır.

2.3.1.7. Azot

Azot çelik içerisinde nitrit (Fe₄N) fazında bulunur. Aynı karbon konsantrasyonuna sahip çeliklerde azot oranının fazlalığı aşınma direncinde artışa sebep olur. Ancak yine de kırılabilirliğine sebep olması ve eğme özelliklerini kötüleştirilmesi nedeniyle olması istenilmeyen elementlerdendir. Atom çapının çok küçük olması nedeniyle öteletirmek oldukça zordur.

Çeliğin içindeki % 0,007-0,009 oranındaki azot, rayın soğuşa olan direncini fazlalaştırır. 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 çözelti mukavemeti sağlar. Çeliklerde aşınma direncini yükseltir. Krom tane sınırlarında biriken karbon ile Cr₂₃C₆ bileşimini oluşturur [13].

2.3.1.10. Molibden

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, tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Sertleşebilme kabiliyetini artırır. Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile mikro alaşımlı çeliklerde birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir.

2.3.1.12. Niyobyum

γ karışık kristal sahasını daraltan alaşım elementleri içerisinde yer almaktadır. 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	SÖĞÜME HIZI	KARBÜR OLUŞUMU	AŞINMA DİRENCİ	DÖVÜLEBİLİRLİK	İŞLENİBİLİRLİK	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 Fırınları (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 kademeden 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 kırılgan bir yapıdır. Sementitin miktar, boyut ve şeklinin kontrolü ile çeliğin özellikleri kontrol edilebilir.
4. İnküzyonları 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

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. R350 HT RAYLARIN ÜRETİLMESİ MANTAR SERTLEŞTİRME PROSESİNİN GEREKLİLİKLERİ

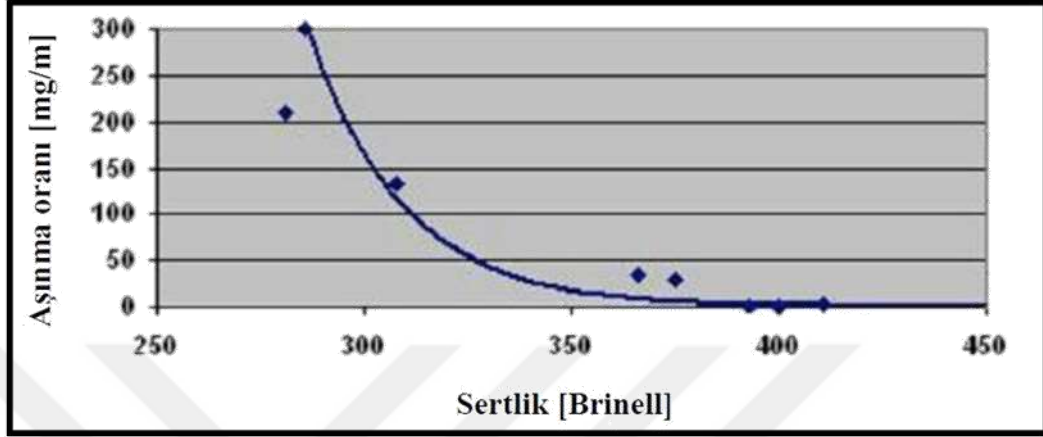
Çokça uygulanan R260 mantarı serleştirilmemiş rayların aşınma ve yorulma davranışları karşı yeterli direnci karşılamadığı için mantar sertliği uygulanan raylarda demir yolu için son 10 yılda çok önemli yer almıştır. 250 HB brinell sertliğe sahip bu raylar kaba perlitik yapıda bir mikroyapıya sahiptir. Bu değerler ray virajlarında büyük hasara neden olmaktadır. Problemler üzerine araştırmalar başlamıştır. İç yapı olarak ray çeliğinde kaba taneli perlitik yapı yerine sıkı dizili perlitik iç yapı önerilmiştir. Uygulamada ve günlük yaşantıda R350 HT olarak adlandırılan, R260 kalite raylara ısıl işlem yapılarak elde edilen raylar kullanılmaktadır.

2000m altında kalan virajlar dar virajlar olarak adlandırılır. Çizelge 3.1' de görüldüğü üzere %34,2 gibi bir oran ülkemizde dar yarıçaplı kurp olarak görülmektedir. Yüksek oranda aşınımın etkisiyle rayın iç tarafıyla daha kısa zamanda ömürleri tükenmektedir.

Çizelge 3.1. TCDD Hatlarındaki Kurp Dağılımı.

Kurp Yarıçapı (m)	Adet	Uzunluk (km)	Tüm Hat Uzunluğuna Oranı (%)
200-500	6090	1574	18,1
501-1000	2963	1025	11,8
1001-1500	456	177	2,0
1501-2000	440	189	2,2
2000'den yüksek	342	117	1,3
Düz yol		5604	64,5
Toplam	10291	8686	100

İnce perlitli yapı kullanarak rayların mukavemetini artırmak uzunca zamandır uygulanan bir yöntemdir [5]. Bununla birlikte alaşımlama tekniğiyle de aynı sonuçlara yaklaşılmaya çalışılmıştır [13].



Şekil 3.1. Sertlik değeri ve aşınma davranışı ilişkisi [30].

Şekil 3.1'de sertlik ölçümlerindeki artış aşınma mukavemetine büyük oranda yansımıştır. Aşınma miktarını yaklaşık 3 kat azalması 270-350 HB sertlik aralığındaki artışıdır.

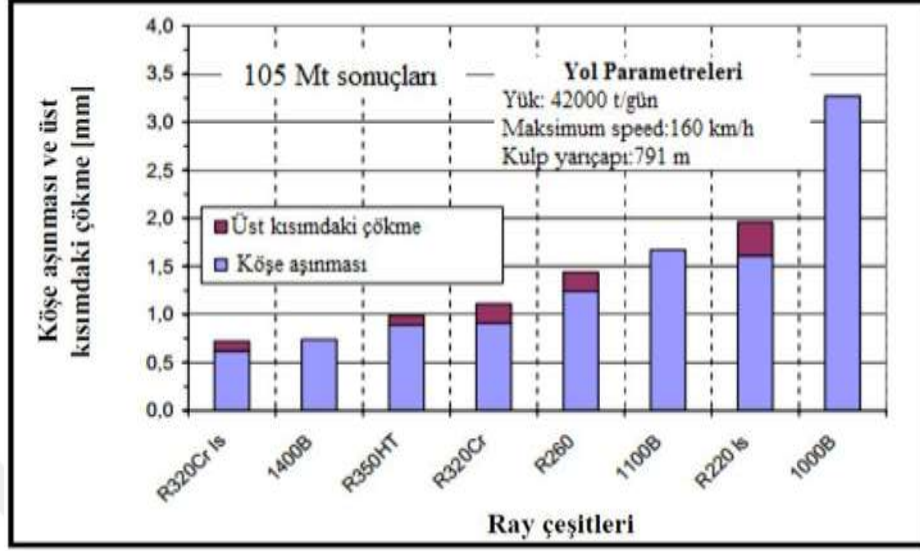
Çizelge 3.2'de perlitik ve beynitik rayların mekanik özellikleri mukayese edilmiştir.

Rayın İçyapısı	R _m (MPa)	A (%)	K _{ic} (Mpa m ^{1/2})	U Çentikli Charpy (J, 20 ⁰ 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

Bu farklı iki yapı arasında, aşınma özellikleri bakımından, fark yok denecek kadar azdır. Tokluk ve yorulma direnci beynitik rayların daha iyi olduğu görülmektedir. Eldesi çok maliyetlidir.

Köşe aşınmaları rayların servis ömrü için en önemli parametredir. Üst bölge aşınmalarında önemsiz sayamayız. Şekil 3.2'de görüleceği gibi farklı kalitedeki rayların 42000 ton/gün (toplam 105 000 000 ton) yük altında 791 metre yarıçaplı kurptaki köşe aşınmaları ve üst bölgelerdeki çökme miktarları gösterilmiştir. R260 kalite rayın köşe aşınma miktarı 1,5 mm'ye ve üst bölgelerdeki çökme miktarı 0,3 mm'ye yaklaşmıştır.

R350 HT kalite rayın ise köşe aşınma miktarları 1 mm'ye ve üst bölgelerdeki aşınma miktarı 0,1 mm'ye yaklaşmıştır [33].



Şekil 3.2. Farklı kalitedeki rayların aşınma davranışları [13].

3.2. R350 HT KALİTE RAYLARIN MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ

Metelografik işlemler uygulandıktan sonra Mikroyapı çalışmalarına geçilerek görüntüler optik mikroskopta yapılmıştır. Numuneler diskatona alınarak, bakalite alma, zımparalama (220 kum zımparadan başlararak), sırasıyla μm , 9 μm ve 1 μm çelerke kullanılarak Şekil 3.3 de otomatik parlatma cihazında parlatılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler % 2 Nital ile dağlandıktan sonra Şekil 3.3'de optik mikroskopta incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir.



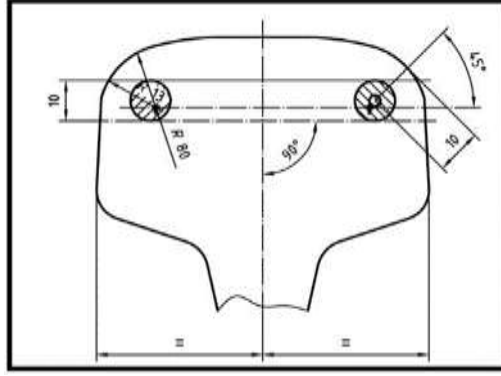
Şekil 3.3. Otomatik parlatma cihazı.



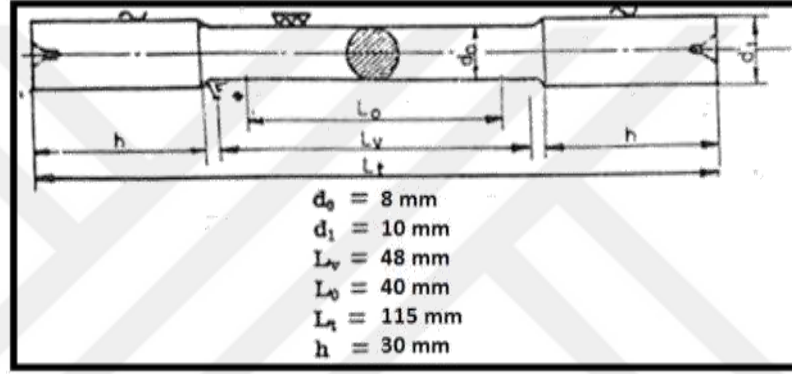
Şekil 3.4. Optik mikroskop.

3.3. ÇEKME DENEYİ

Çekme testi için kullanılacak numuneler Şekil 3.5’de görüldüğü gibi standarda uygun bölgelerden çıkartılmıştır.



Şekil 3.5. TS EN 13674 standardına göre çekme testi için numune alınacak bölgeler [8].

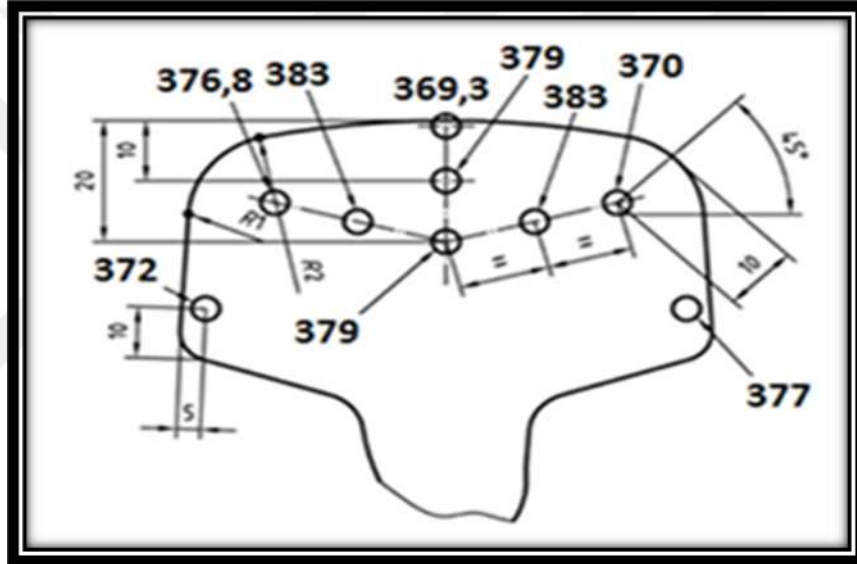
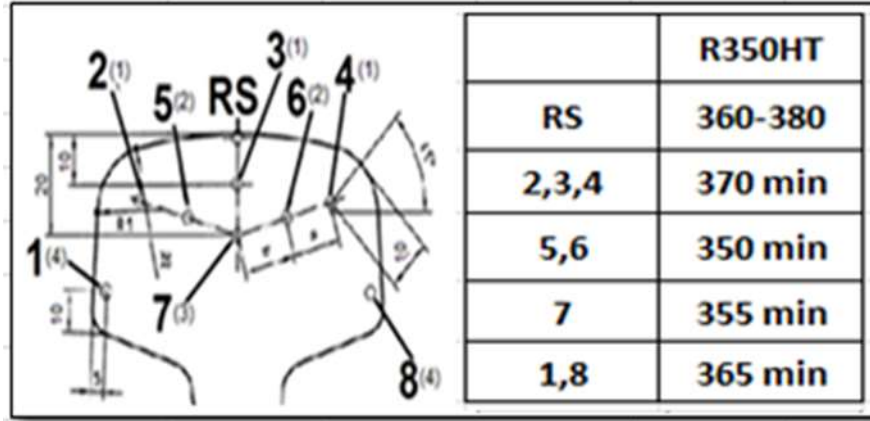


Şekil 3.6 Çekme testi hazırlanan numunelerin teknik resmi [33].

3.4 SERTLİK DENEYİ

Sertlik tarama bölgesi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Rs bölgesi ve diğer sertlik alınan 8 bölgenin grafi gösterilmiştir. R350HT rayına ait yapılan ölçümler ortalama sertlik değeri olarak grafikde gösterilmiştir. Bulgular sonuçlar kısmında mevcuttur.

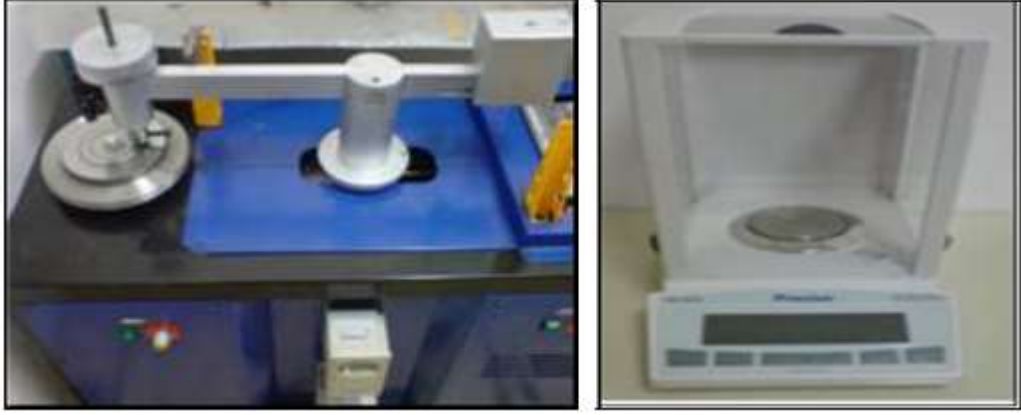
Çizelge 3.3. Sertlik tablo dağılımı.



Şekil 3.7. Sertlik taraması yapılan bölgeler.

3.5 AŞINMA DENEYİ

Rayların kuru ortamda aşınma deneyleri pim üzerinde bulunan disk tipi aşınma cihazında yapılmıştır. Aşınma deneyi sırasında karşı malzeme olarak 7 mm çapında 23 mm yüksekliğinde deney numunesi kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Aşınma cihazı ve Precia marka XS 220A model hassas terazi.

Numuneler; 20-40N yüklerin altında 0,5 m/s kayma hızında 2000m aralıklarla toplamda 5000m kayma aralığı mesafesinde testleri yapılmıştır. Önce ve sonrasında numunelerin, 0,0001 gr hassasiyete sahip elektronik terazide ağırlıkları ölçülmüş ve deney sonuçları ağırlık kaybına göre değerlendirilmiştir. Hazırlanan ray numuneleri aşınma deneyleri yapıldıktan sonra kıyaslamalar yapılmış ve sonuçlar kısmında verilmiştir.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

4.1. ÇEKME DENEYİ SONUÇLARI

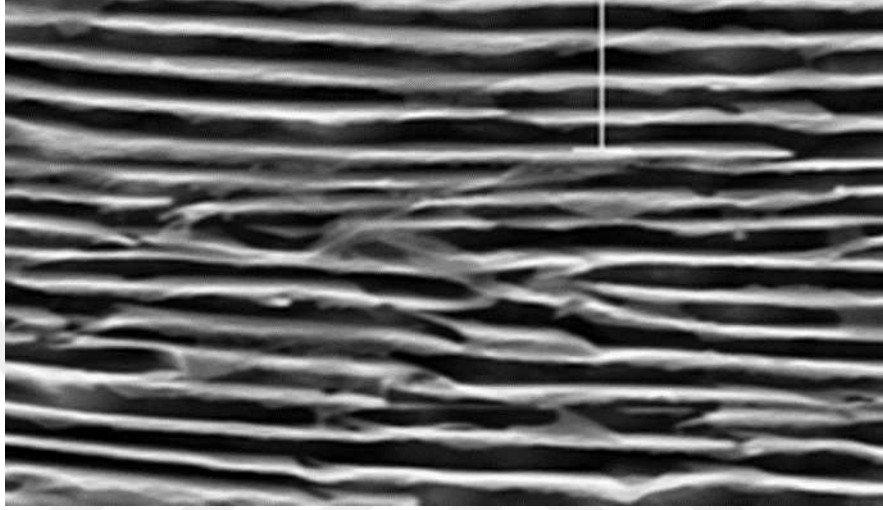
R 260 kalitede ray için min 880 N/mm² ağırlığında, 350HT için ise 1175 N/mm² yük ağırlı altında testler uygulanmıştır. Tabloda görelen değerlerle birlikte yüzde uzama ve çekme dayanımları sonuçlar kısmında verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çekme Dayanımı ve Uzama Miktarı.

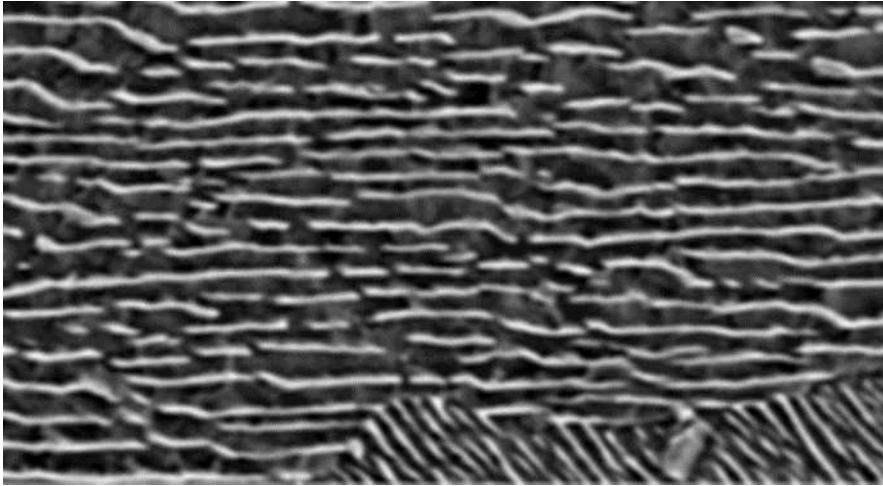
Çelik Kalitesi	Çekme Dayanımı, Rm (N/mm ²)	Uzama, A (%)
	min. 880	min. 10
R260	988	13
R260	1004	11
R260	972	13
R260	976	11
R260	955	12
Çelik Kalitesi	Çekme Dayanımı, Rm (N/mm ²)	Uzama, A (%)
	min. 1175	min. 9
R350HT	1276	11
R350HT	1295	10
R350HT	1290	10
R350HT	1284	10
R350HT	1277	10

4.2. MİKRO YAPI SONUÇLARI

260 kalite rayın ve 350ht kalite rayın metalografik işlemlerden sonra zımpara parlatma dağlama vb. web bölgeleri üst bölgeleri 500 x büyütmede görüntüleri alınmış ve sonuç bulguları deneysel çalışmanın sonuçlar kısmında verilmiştir.

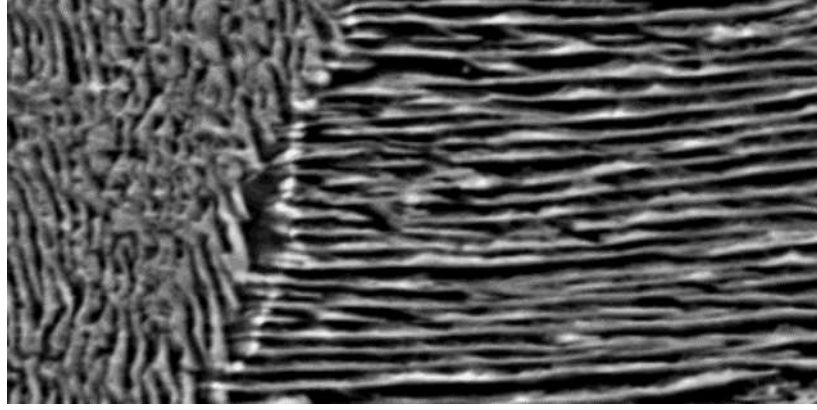


Şekil 4.1. R350HT RS (500x).



Şekil 4.2. R260 RS bölgesi (500x).

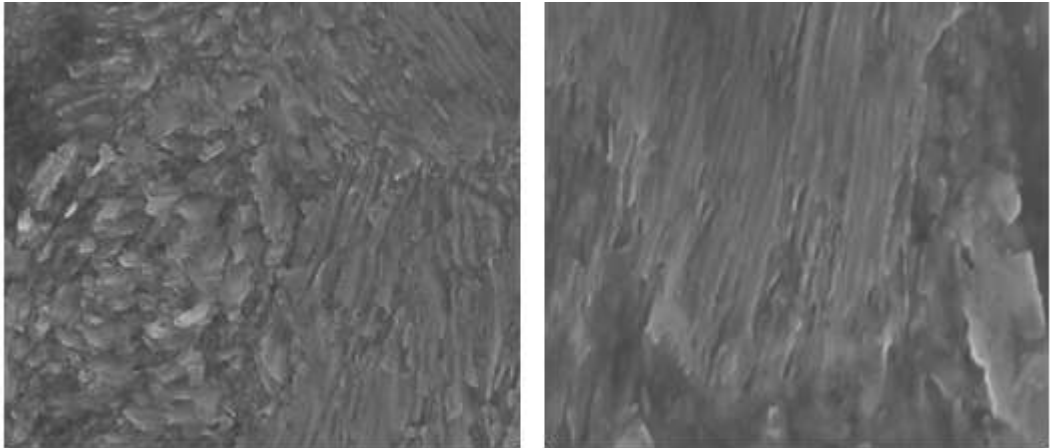
İki ray numunesinin RS bölgeleri incelendiğinde 260'a göre 350 HT nin lamellar arası mesafenin kısa ve sementit kollarının ince olduğunu görmekteyiz.



Şekil 4.3. R350HT WEB (500x).



Şekil 4.4. R260 WEB (500x).

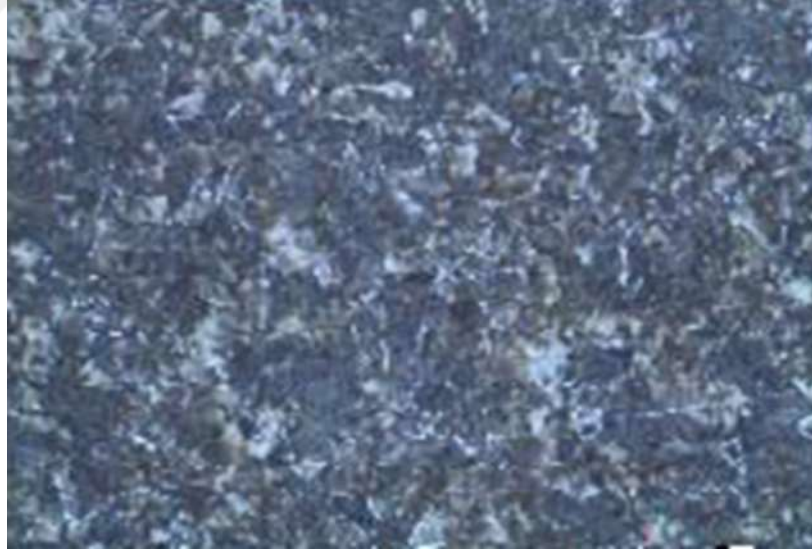


Şekil 4.5. R260 ve R350HT SEM görüntüleri (500x).

WEB bölgesinin ve SEM görüntülerine baktığımızda 260 ray numunesin kaba perlitli 350HT ray numune yapısında ise ince perlitli yapıyı görmekteyiz.



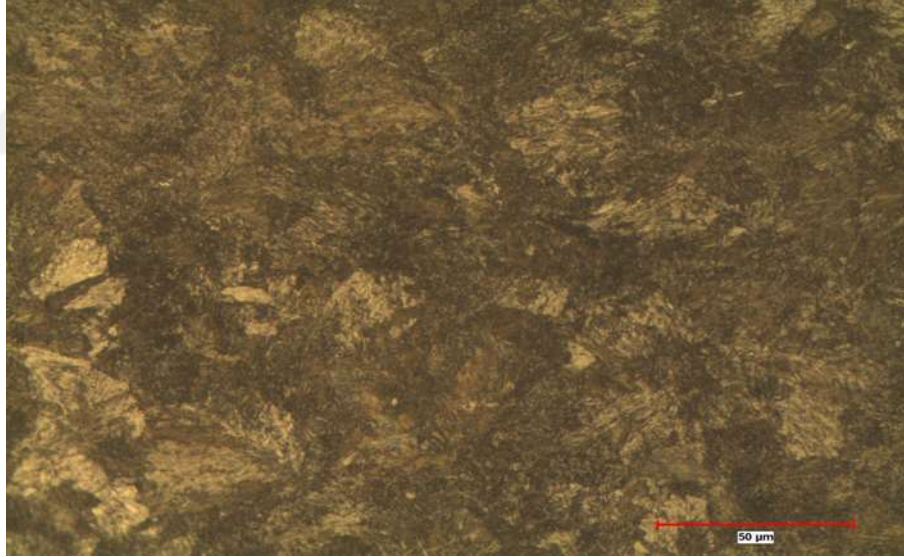
Şekil 4.6. R260 üst bölge mikro yapı görüntüsü (500x).



Şekil 4.7. R350HT üst bölge mikroyapı görüntüsü (500x).



Şekil 4.8. R260 mikroyapı görüntüsü (50x).



Şekil 4.9. R350HT mikroyapı görüntüsü (50x).

260 ve 350HT ray numunelerinin üst yapı ve 50x büyütmedeki bölge mikro yapı görüntülerini incelediğimizde kaba perlitik yapıdan ince perlitik yapıya lamellar arası mesafenin 90 / 100 Nm arası olduğunu görülmüştür. Sementit kollarının kalından kalından inceye doğru yönelimi görülmektedir. 350 HT ray numunesinde tane yapısı daha belirginleşmiştir.

4.3. SERTLİK DENEYİ SONUÇLARI

Sertlik taraması yapılan bölge ve ortalama grafik değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.2 R350HT bölge ortalama sertlik değerleri.



Çizelge 4.3. Sertlik tablo dağılımı.

Çelik Kalitesi	Sertlik, Mantar (HBW)					
	RS1	RS2	RS3	RS1-RS2	RS1-RS3	RS2-RS3
	260-300			max. 30	max. 30	max. 30
R260	290	290	288	0	2	2
R260	290	293	288	3	2	5
R260	280	283	285	3	5	2
R260	274	272	271	2	3	1
R260	283	285	284	2	1	1

Çelik Kalitesi	Sertlik, Mantar (HBW)					
	RS1	RS2	RS3	RS1-RS2	RS1-RS3	RS2-RS3
	350-390			max. 30	max. 30	max. 30
R350HT	382	383	379	1	3	4
R350HT	372	365	370	7	2	5
R350HT	383	386	387	3	4	1
R350HT	376	366	368	10	8	2
R350HT	385	381	386	4	1	5

4.4. AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI

Çizgel 4.4. Aşınma tablosu dağılımı.

Kayma Mesafesi (m)	Ağırlık Kaybı (g)					
	Döküm	Homojenleştirilmiş			R260 Kalite Ray	İşlem sertleşmesi uygulanmış
		950 °C	1050 °C	1150 °C		
3000	0,0584	0,102	0,0845	0,0882	0,0882	0,0576
6000	0,1017	0,2278	0,1301	0,1204	0,1204	0,1125
9000	0,1628	0,362	0,1702	0,151	0,151	0,1777
12000	0,2348	0,4768	0,2177	0,194	0,194	0,2321

Isıl işleme tabi tutulmuş östenitik mangan çelikleri ve R 260 kalite ray çeliğinin Ağırlık kaybı (g) - Kayma mesafesi (m) grafiği çizelge 4.4' de gösterilmiştir. Ağırlık kayıpları kayma mesafeleri ile lineerdir. Döküm hali, 1050o C'de homojenleştirilmiş, çalışma sertleşmesi uygulanmış numuneler ile ray numunesi karşılaştırıldığında benzer aşınma davranışı sergilemişlerdir.

Isıl işlem görmüş numunelerin mikroyapıları incelenmiş; 9500C'de su verme işleminden sonra numunenin tane sınırlarında çok az miktarda karbür görülmüştür. Mevcut karbürler ince yapılıdır. Tane içinde ise küresel tipli karbürler görülmüştür.10500C'de su verilmiş numunede karbürler tane sınırlarında oldukça az miktarda ve süreksiz karbürlerdir. 11500C'de kaba deformasyon ikizlerinin varlığı gözlenmektedir, tane sınırlarında 10500C'de işlem görmüş numunelere nazaran karbürlerin yapı içerisinde çözündüğü sanılmaktadır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. SONUÇLAR

- R260 kalite raylara farklı sıcaklıklarda östenitleme ve farklı sürelerde ısıtım işlem gerçekleştirilmiştir.
- 260 ve 350HT rayların RS ve WEB bölge mikro yapıları alınmıştır.
- İnce lamelli perlitik yapı bu ısıtım işlemler sonucunda oluşmuştur.
- Isıtım işlem uygulanmamış raylarda mikroyapıların tane büyüklüğü çok yakın ve kaba perlitik yapıdan ibarettir.
- Lameller arası mesafe deki uzaması mikro yapı görüntülerinde verilmiştir.
- İncelenen ray numunelerinin ortalama sertlik değerleri incelendiğinde R350HT rayının ortalama değeri 373-375 aralığında olduğu görülmüştür.
- R260 rayında ise bu değerin ortalama 285-300 HB olduğu görülmüştür.
- Ray numunelerinin mantar sertleştirme ısıtım işlemlerinin ardından sertlikleri 285 HB seviyelerinden 375 HB seviyelerine yükselmiştir.
- Ancak bazı bölgelerde alınan sertlik değerlerinde aşırı olmamakla beraber düşük çıktığı fakat genel değerlere bakılınca büyük bir problem olmadığı anlaşılmıştır.
- R260 kalite raylardan mantarı sertleştirilmiş raylar elde edilmiştir. 350HT ray için test alınan bölgelerdeki mikro yapı sertlik değerleri ve sertlik değerleri karşılaştırıldığında birbirine yakın çıkmıştır.
- R260 rayalarında çekme testi sonuçlarına göre en yüksek mukavemet 980-1000 MPa seyrinde görülmüş ve % uzama miktarı (ortalama) olarak yaklaşık % 11'dir.
- R350HT kalite raylarda çekme testi sonuçlarına göre maksimum mukavemet 1250-1290 MPa seyrinde görülmüş ve % uzama miktarı (ortalama) olarak yaklaşık % 10'dur.

- Rayların çekme deneyi uygulamasında soğuması daha kısa olan R350 HT kalite raylarla aynı özelliklerde olduğunu göstermiştir.
- Sonuçlar genel anlamda değerlendirildiğinde mantar sert. prosesinin gerekli olduğunu göstermektedir.
- R260 kalite raylara uygulanan ısıl işlemlerin ekstra ilave olarak farklı alaşım elementlerinin mekanik özelliklere etkiside araştırılıp bakılabilir.
- Ray numunelerine uygulanan aşınma testlerinin ardından ısıl işlem görmemiş orijinal ray numunesinin en yüksek aşınma hızına sahip olduğu görülmüştür. Bununla beraber aşınma deneyleri süresince artan yüklerle orantılı olarak aşınma hızlarının arttığı görülmüştür.

5.2 ÖNERİLER

Bu çalışma detay anlamda farklı deneylerle ve alaşım ilaveleriyle, aşınma – yorulma vb deneylerle numuneler üzerinde yapılan mikro sertlik çalışmaları farklı uygulama ve yöntemlerle; örnek verecek olursak belirli demiryolu hatlarında yapılabilirse daha iyi ve destekleyici sonuçları ortaya çıkarabileceğini düşünüyorum. Belirli bir hat üzerinde kısmı zamanla yapılan testlerin veya ölçülen sertlik değerlerinden yola çıkılarak o hattın maruz kaldığı yük tonaj bilgileriyle hatta meydana gelen deformasyon ile ilgilide fikir sahibi olunabileceğini düşünüyorum.

KAYNAKLAR

1. Xiao-fei, Li., Langenberg, P., Münstermann, S. and Bleck, W., “Recent Developments of Modern Rail Steel” *Technology Center, Anshan Iron and Steel Corporation*, China, 2-5 (1963).
2. Svejkský, U. and Nerzák, T., “Modern rail production using CCS and railcool technology” *Stahl und Eisen*, 127: 55-60 (2007).
3. Singh, U.P., Singh, R. and Jha, S., “Influence of microalloying on fracture toughness and wear resistance of rail steel” *Scandinavian Journal of Metallurgy*, 30: 180-186 (1995).
4. Lee, K.M. and Polycarpou, A.A., “Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels” *Wear*, 259: 391-399 (2005).
5. Danieli R., “Head hardening process” *Danews*, 158: 62-64 (2010).
6. Satoh, Y., Tatsumi, M., Kasiwaya, K., Ueda, M. and Yokoyama, H., “Development of anti-darkspot bainitic steel rail” *Railway Technical Research Institute Report*, 12: 15-20 (1998).
7. Yokoyama, H., Mitao, S., Yamamoto, S., Kataoka, Y. and Sugiyama, T., “High strength bainitic rails for heavy haul railways with superior damage resistance” *NKK Gihou*, 169: 17-23 (2000).
8. Bhadeshia, H.K.D.H., “High performance bainitic steels” *Materials Science Forum*, 500-501: 63-74 (2005).
9. Bhadeshia, H.K.D.H., “Novel steels for rails” *Encyclopedia of Materials Science: Science and Technology*, 170: 1-7 (2002).
10. Franklin, F. J., Garnham, J.E., Fletcher, D.I., Davis, C.L. and Kapoor, A., “Modelling rail steel microstructure and its effect on crack initiation” *Wear*, 265: 1332-1341 (2008).
11. Pointner, P., “High strength rail steels” *Wear*, 265: 1373-1379 (2008).
12. TCDD, “1100 kalite rayların kırılma nedenlerini belirleme araştırma projesi raporu” *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 5: 1-26 (1993).
13. Martens, J. H. and Wirick, D.P., “Premium rail steels for the 21st. Century” *Pennsylvania Steel Technologies*, Pennsylvania, 7: 50-60 (1994).

14. Kalousek, J., Fegredo, D. and Laufer E., “Proc. int. conf. on wear of materials” *Vancouver, B.C*, 2: 212-231 (1985).
15. Lichtberger Dr. B., “Track Compendium” *Hamburg Printed in Germany*, 17: 200-250 (2005).
16. Inchinose, H. and Takahara, J., “An investigation on contact fatigue and wear resistance behaviour in rail steel” *Proc 1st. Int. Heavy Haul Conf.*, Australia, 307: 1-10 (1978).
17. Wu, J. and Shih, P., “Dynamic responses of railway and carriage under high-speed moving loads” *Journal of Sound and Vibration*, 236: 61-78 (2004).
18. Economopolous, M. and Lambert, N., “A new process for in –line head hardening of rails: Part 1- Metallurgical and Thermal and Principles of the Process” *Mechanical Working and Steel Processing Proceedings*, 21: 143-152 (1990).
19. Brantfitt, B. L., “Advanced in line head hardening of rail” *Research Department, Bethlehem Steel Corporation. R. L Cross and D. P. Wirick Pennsylvania Steel Technologies*, Pennsylvania, 15: 20-30 (1994).
20. Pan, A.V. and Shumilin E.N., “Production of wear –resistans rail at the ntmk” *Tagil Iron and Steel Plant*, 40: 21-25 (1994).
21. Brooks, C.R., “Heat Treatment of Steels”, *ASM Handbooks*, 140: 3-19 (1991).
22. Eker, B., Taşeri, L. ve Günaydın, L. “Makine Tasarımı El Kitabı” *Trakya Üniversitesi Yayınları*, Tekirdağ, 7: 214-220 (1994).
23. Baydur, G, “Malzeme Bilgisi” *Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları*, Ankara, 18: 55-66 (1979).
24. Yalçın, H. ve Gürü, M. “Malzeme Bilgisi” *Palme Yayıncılık*, Ankara, 15: 203-205 (2002).
25. Bramfitt, B. L., “Accelerated cooling of rail,” *Iron and Steelmaker*, 18: 33-41 (1991).
26. Başkanuş, M., ve Tekin, E., (2012). “Hızlı Tren Olgusu, Mantarı Sertleştirilmiş ve Beynitli Ray Çelikleri”, *International Iron and Steel Symposium*, Karabük (2012).
27. TCDD, T.C. Devlet Demir Yolları İstatistik Yıllığı 2006-2010, *TCDD*, Yayın No: 24, Ankara (2012).
28. UIC, (2005). Recommendation for the use of rail steel grades, Yayın No:8, Paris.

29. TCDD, “1100 Kalite Rayların Kırılma Nedenleri Belirleme Araştırma Projesi Raporu”, *TCDD*, Yayın No: 5, Ankara (1993).
30. TCDD, Ray Alım Teknik Şartnamesi, *TCDD 1. Bölge Müdürlüğü*, İstanbul (2012).
31. Koymatçık, H., (2012). R260 Kalite Rayların Optimum Mantar Sertleştirme Parametrelerinin Belirlenmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
32. Anil, K. S., “Dynamic strain ageing of various of steels”, *Metallurgical Transactions A*, 13 (A): 1793-1798 (1982).



ÖZGEÇMİŞ

Ömer ERDOĞAN Yahya Gazi Anadolu Lisesi Mat-Fen bölüm'nden mezun oldu.2014 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2019 yılında iyi bir derece ile mezun oldu.2019 yılında Hasan Hüseyin ARIKAN Teknik Anadolu lisesinde öğrentmenlik yapıp 2020 yılında Kayseri Ulaşım A.Ş firmasında Makina Teçhisat -Araç bakım ve planlama mühendisi olarak göreve devam etmekteyim.