

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



**YÜK VAGONU İMALATINDA X120MN12 ÇELİĞİ YERİNE
HARDOX 550 ÇELİĞİNİN KULLANILMASININ AŞINMA
DAVRANIŞI VE KAYNAK EDİLEBİLİRLİK ÜZERİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Yüksek Lisans Tezi

Oğuzhan ATLI

Danışman

Prof. Dr. Kemal YILDIZLI

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Oğuzhan ATLI tarafından, Prof. Dr. Kemal YILDIZLI danışmanlığında hazırlanan “Yük Vagonu İmalatında X120Mn12 Çeliği Yerine Hardox 550 Çeliğinin Kullanılmasının Aşınma Davranışı ve Kaynak Edilebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 10.3.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Naci KURGAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye (Danışman)	Prof. Dr. Kemal YILDIZLI Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç. Dr. Eyyüp GERÇEKÇİOĞLU Erciyes Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Onay

.../.../...

Prof. Dr. Ali BOLAT

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynaklarda gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. Bölüm 9. Maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

İmza

10 /04 /2022

Oğuzhan ATLI

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: Yük Vagonu İmalatında X120Mn12 Çeliği Yerine Hardox 550 Çeliğinin Kullanılmasının Aşınma Davranışı ve Kaynak Edilebilirlik Üzerine Etkisinin Araştırılması

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 10.04.2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 13

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza

10 /04/2022

Prof. Dr. Kemal YILDIZLI

ÖZET

YÜK VAGONU İMALATINDA X120Mn12 ÇELİĞİ YERİNE HARDOX 550 ÇELİĞİNİN KULLANILMASININ AŞINMA DAVRANIŞI VE KAYNAK EDİLEBİLİRLİK ÜZERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Oğuzhan ATLI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans, Ocak/2022
Danışman: Prof. Dr. Kemal YILDIZLI

Yük vagonları ağır yüklerle hareket eden taşıtlar olduğundan günümüz endüstrisinin önemli problemlerinden biri olan aşınma yük vagonlarında da etkisini fazlasıyla göstermektedir. Yük vagonlarının kullanım ömrü 30 ile 50 yıl arasında değişmektedir. Buna karşın vagonlarda meydana gelen aşınma vagonların kullanım ömrünü kısalttığı gibi vagonların işletilmesi esnasında da defalarca kez bakım ve onarımdan geçmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmada yük vagonu imalatında uzun yıllardır aşınma plakası olarak kullanılan X120Mn12 kalite östenitik manganlı çeliklerin yerine özellikle abrasif aşınma direncinin yüksekliği ile bilinen Hardox 550 çeliğinin alternatif olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılması ve sağlayacağı ekonomik avantajın tespit edilmesidir. Bu doğrultuda belirtilen iki farklı kalitedeki çeliğin aşınma davranışları ve kaynak edilebilirlikleri deneysel çalışmalarla incelenmiş ve elde edilen sonuçlar kayıt altına alınarak irdelenmiştir.

Çalışmanın sonucunda yük vagonlarında kullanılan X120Mn12 kalite aşınma plakalarının kullanım esnasında istenilen performansı göstermeyerek standartta belirtilen yeterli sertliğe ulaşmadığı bu nedenle de plakalarda derin aşınmaların oluştuğu ve plakaların kaynaklarında çatlakların olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın Hardox 550 plakaların başlangıç sertliğini koruduğu aşınma miktarlarının X120Mn12 plakalardan daha düşük olduğu ve kaynak dikişlerinin daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yapılan piyasa araştırmasında Hardox plakaların maliyetinin manganlı plakaların maliyetine göre daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Aşınma, Boji, Yük vagonu, Hadfield çeliği, Hardox çelikleri

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF USING HARDOX 550 STEEL IN PLACE OF X120Mn12 STEEL ON WEAR BEHAVIOR AND WELDABILITY IN MANUFACTURING OF FREIGHT WAGON

Oğuzhan ATLI

Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering
Master, Ocak/2022
Supervisor: Prof. Dr. Kemal YILDIZLI

Since freight wagons are vehicles that move with heavy loads, wear, which is one of the important problems of today's industry, shows its effect on freight wagons as well. The service life of freight wagons varies between 30 and 50 years. On the other hand, wear on the wagons not only shortens the service life of the wagons, but also causes the wagons to undergo maintenance and repair many times during their operation.

In this study, it is aimed to investigate whether Hardox 550 steel, which is known for its high abrasive wear resistance, can be used as an alternative to X120Mn12 quality austenitic manganese steels, which has been used as wear plate for many years in freight wagon manufacturing, and to determine the economic advantage it will provide. In this direction, the wear behavior and weldability of the two different grades of steel were examined by experimental studies and the results were recorded and examined.

As a result of the study, it was observed that the X120Mn12 quality wear plates used in freight wagons did not show the desired performance during use and did not reach the sufficient hardness specified in the standard, therefore deep abrasions occurred on the plates and cracks were observed in the welds of the plates. On the other hand, it has been observed that Hardox 550 plates maintain their initial hardness, wear rates are lower than X120Mn12 plates and weld seams are better. In addition, in the market research, it has been understood that the cost of Hardox plates is more economical than the cost of manganese plates.

Keywords: Wear, Bogie, Freight wagons, Hadfield steel, Hardox steels

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmam ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen sayın danışman hocam Prof. Dr. Kemal YILDIZLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimlerim boyunca bana kazandırdıkları her şey için Ondokuz Mayıs Üniversitesi'ndeki tüm hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Güçlü duruşuyla benim bugünlere gelmemi sağlayan canım annem Sati ATLI'ya ve her zaman yanımda olduğunu hissettiren, yüksek lisans eğitimim boyunca destekleriyle beni motive eden kardeşim Zübeyde ATLI'ya teşekkür ederim. Son olarak bu yolculukta bana eşlik eden çalışmama destek veren TÜRASAŞ Sivas Bölge Müdürlüğü'ndeki çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Nisan 2022

Oğuzhan ATLI

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	iii
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	iii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	iii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
KISALTMALAR	ivx
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Konusu ve Amacı	1
1.2. Çalışmanın Önemi	3
2. AŞINMA	4
2.1. Aşınmanın Temel Unsurları.....	5
2.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler	6
2.2.1. Aşınan Ana Malzemeye Bağlı Faktörler.....	6
2.2.2. Aşındıran Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler	7
2.2.3. Çevre Şartlarına Bağlı Faktörler	7
2.2.4. İşletme Şartlarına Bağlı Faktörler	7
2.3. Aşınma Mekanizmaları	7
2.4. Aşınma Türleri	9
2.4.1. Adhezyon (Adhezif Aşınma)	9
2.4.2. Abrazyon (Abrazif Aşınma)	13
2.4.3. Yorulma Aşınması	14
2.4.4. Korozif Aşınma.....	16
2.4.5. Erezyon Aşınması	17
2.5. Aşınma Deney Cihazları ve Ölçüm Yöntemleri	19
2.5.1. Aşınma Deney Yöntemleri ve Cihazları	19
2.5.1.1. Pim-Disk Cihazı	19
2.5.1.2. Levha Kayış Cihazı	20
2.5.1.3. Dört Bilya Düzeneği	21
2.5.1.4. Çapraz Silindir Deney Düzeneği	21
2.5.1.5. Mikro Abrazyon Deney Düzeneği.....	22
2.5.2. Aşınma Miktarı Ölçme Yöntemleri	22
2.5.2.1. Ağırlık Farkı Yöntemi	23
2.5.2.2. Kalınlık Farkı Yöntemi.....	24
2.5.2.3. İz Değişim Yöntemi	24
2.5.2.4. Radyoizotop Yöntemi.....	24
3. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER	25
3.1. Östenitik Manganlı Çelikler ve Özellikleri	25
3.1.1. Östenitik Manganlı Çeliklerin Aşınma Dayanımları	27
3.1.2. Östenitik Manganlı Çeliklerin Kullanım Alanları	28
3.1.3. Östenitik Manganlı Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği	29
3.1.4. Östenitik Manganlı Çeliklerin İşlenebilme Özellikleri	31

3.1.5. Yük Vagonlarında Kullanılan Östenitik Manganlı Çelikler	33
3.2. Hardox Çelikleri ve Özellikleri.....	38
3.2.1. Hardox Çeliklerinin Aşınma Dayanımları	39
3.2.2. Hardox Çeliklerinin Kullanım Alanları	40
3.2.3. Hardox Çeliklerinin Kaynak Edilebilirliği.....	42
3.2.4. Hardox Çeliklerinin İşlenebilme Özellikleri	44
3.2.5. Hardox 550 ve Özellikleri.....	45
4. LİTERATÜR TARAMASI	47
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	49
5.1. Kimyasal Deneyler.....	49
5.1.1. Spetrometre Analizi	49
5.2. Saha Testi.....	50
5.3. Aşınma Plakalarının Sertlik Testleri	51
5.4. Dövme Testi.....	53
5.5. Aşınma Testleri.....	55
5.6. Aşınma Plakalarının Kaynak Edilebilirliğinin Karşılaştırılması.....	57
5.6.1. Makro Test	61
5.6.2. Kaynaklı Parça Sertlik Taraması.....	61
5.6.3. Sıvı Penetrant Testi	62
5.7. VPI'ya Göre Kalınlık Ölçümü	62
5.8. Optik Mikroskopta Mikroyapı İncelemesi.....	62
5.9. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM Analizleri)	63
5.10. Maliyet Araştırması	64
6. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	65
6.1. Kimyasal Deney Sonuçları	65
6.2. Aşınma Plakaları Sertlik Testi Sonuçları	66
6.2.1. Kullanılmamış Aşınma Plakalarının Sertlik Ölçüm Sonuçları	66
6.2.2. Test Bojisi Üzerinden Çıkarılan Aşınma Plakalarının Sertlik Ölçüm Sonuçları	68
6.3. Dövme Deneyi Sonuçları.....	74
6.4. Aşınma Deneyi Sonuçları	76
6.5. Kaynak Edilebilirlik Deneyi Sonuçları	82
6.5.1. Kaynaklı Parçaların Sertlik Taraması	82
6.5.2. Sıvı Penetrant Testi Sonucu	84
6.5.3. Makro Test Sonuçları.....	84
6.6. VPI'ya Göre Kalınlık Ölçüm Sonucu	85
6.7. Optik Mikroskop Analizi Sonuçları.....	86
6.8. SEM Analizi Görüntüleri.....	87
6.8.1. Aşınmış ve Aşınmamış Plakaların Sem Analizi Görüntüleri.....	86
6.8.2. Dövme İşlemine Tabi Tutulmuş ve Tutulmamış Plakaların SEM Görüntüsü	90
6.8.3. Kaynaklı Parçaların SEM Analizi Görüntüleri	92
6.9. Maliyet Analizi Sonuçları.....	93
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
7.1. Sonuçlar	95
7.2. Öneriler	97
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ.....	102

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Malzeme Özelliklerinin Adhesif Aşınmaya Etkisi	11
Tablo 3.1. Östenitik Manganlı Çeliklerin Kimyasal Kompozisyonu	26
Tablo 3.2. Östenitik Manganlı Çeliğin Mekanik Özellikleri.....	27
Tablo 3.3. Östenitik Manganlı Çeliklerin Kaynağında Kullanılan Elektrodlar	30
Tablo 3.4. Manganlı Çeliklerin Kaynağında Tavsiye Edilen Elektrik Akımı	30
Tablo 3.5. Östenitik Manganlı Çeliklerin Tornalama İşleminde Kullanılabilecek Takımlar	32
Tablo 3.6. UIC 893' e Göre Aşınma Plakalarının Kimyasal Kompozisyonları	36
Tablo 3.7. UIC 893' e Göre Aşınma Plakalarının Sertlik Değerleri	36
Tablo 3.8. X120Mn12 Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu.....	36
Tablo 3.9. Hardox Çeliklerinin Kimyasal Kompozisyonu.....	39
Tablo 3.10. Hardox Çeliklerinin Mekanik Özellikleri	39
Tablo 3.11. Hardox Çeliklerinin Kullanıma Uygun Özellikleri.....	41
Tablo 3.12. Hardox Çeliklerinin Karbon Eşdeğeri.....	42
Tablo 3.13. Hardox Çeliklerinin Kaynağında Tercih Edilebilecek Dolgu Metalleri.....	43
Tablo 3.14. Hardox Çelikleri İçin Önerilen Minimum Ön Isıtma Sıcaklıkları	43
Tablo 3.15. Hardox Çelikleri İçin Önerilen Maksimum Kesme Devirleri	45
Tablo 3.16. Hardox 550'nin Kimyasal Kompozisyonu	46
Tablo 5.1. 15085-2'de Belirtilen Kaynak Yöntemleri ve Kaynak Pozisyonları.....	57
Tablo 5.2. Hardox 550 Aşınma plakasının kaynağı için hazırlanan WPS	58
Tablo 5.3. X120Mn12 Aşınma plakasının kaynağı için hazırlanan WPS	59
Tablo 5.4. MW-307 Si Kaynak Telinin Kimyasal İçeriği ve Mekanik Özellikleri	61
Tablo 5.5. SG3 Kaynak Telinin Kimyasal İçeriği ve Mekanik Özellikleri	61
Tablo 5.6. M24 Koruyucu Karışım Gazının Kimyasal İçeriği.....	61
Tablo 6.1. X120Mn12 Çeliğinin Sertifika Değerleri.....	65
Tablo 6.2. Hardox Çeliğinin Kimyasal Kompozisyonu	65
Tablo 6.3. X120Mn12 Plakaya Ait Spektrometre Analiz Sonucu	65
Tablo 6.4. Hardox 550 Plakaya Ait Spektrometre Analiz Sonucu.....	65
Tablo 6.5. X120Mn12 Plakanın Sertlik Değerleri	66

Tablo 6.6. Hardox 550 Plakanın Sertlik Değerleri.....	67
Tablo 6.7. 1 Numaralı Aşınmış Manganlı Plakanın Sertlik Değerleri	68
Tablo 6.8. 2 Numaralı Aşınmış Manganlı Plakanın Sertlik Değerleri	69
Tablo 6.9. 3 Numaralı Aşınmış Manganlı Plakanın Sertlik Değerleri	70
Tablo 6.10. 1 Numaralı Aşınmış Hardox Plakanın Sertlik Değerleri.....	71
Tablo 6.11. 2 Numaralı Aşınmış Hardox Plakanın Sertlik Değerleri.....	72
Tablo 6.12. 3 Numaralı Aşınmış Hardox Plakanın Sertlik Değerleri.....	73
Tablo 6.13. X120Mn12 Aşınma Plakasının Darbe Sonrası Sertlik Değerleri	74
Tablo 6.14. Hardox 550 Aşınma Plakasının Darbe Sonrası Sertlik Değerleri	74
Tablo 6.15. Kullanılmamış Plakalara Ait Aşınma Deney Sonuçları	76
Tablo 6.16. Test Bojisi Üzerinden Çıkarılan Plakalara Ait Aşınma Deney Sonuçları	78
Tablo 6.17. Darbe Uygulanan Plakalara Ait Aşınma Deney Sonuçları	80
Tablo 6.18. Kaynaklı Aşınma Plakalarına Ait Sertlik Sonuçları	82
Tablo 6.19. X120Mn12 Aşınma Plakası Maliyet Tablosu	93
Tablo 6.20. Hardox 550 Aşınma Plakası Maliyet Tablosu	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tribolojik Sistemin Bileşenlerinin Gösterimi	5
Şekil 2.2. DIN 50320' ye Göre Tribolojik Sistemin Yapısı	6
Şekil 2.3. Aşınma Miktarının Kayma Süresine Bağlı Safhaları	8
Şekil 2.4. Aşınma Temas Türleri ve Birbirleriyle Olan İlişkileri	8
Şekil 2.5. Aşınma Türleri ve Sınıflandırılması	9
Şekil 2.6. Adhezif Aşınmanın Oluşumu	9
Şekil 2.7. Adhezif Aşınmaya Uğramış Bir Yük Vagonu Tekerleği	10
Şekil 2.8. Adhezif Aşınmaya Uğramış Plakaların Aşınma Yüzeyleri.....	10
Şekil 2.9. Yük Vagonu Bojisindeki Plakalarda Oluşan Adhezif Aşınma Örnekleri	11
Şekil 2.10. Adhezif Aşınmanın Görüldüğü Tribolojik Sistemler	12
Şekil 2.11. Adhezif Aşınmanın Oluşumu.....	14
Şekil 2.12. Abrasyon Sonucu Aşınmış Bir Cevher Vagonu Taban Sac.....	14
Şekil 2.13. Yorulma Aşınmasının Oluşumu.....	15
Şekil 2.14. Yorulma Aşınmasını Etkileyen Faktörler	15
Şekil 2.15. Vagon Tekerleğinin Dingilinde Oluşan Yorulma Aşınması	16
Şekil 2.16. Korozif Aşınmanın Oluşumu	17
Şekil 2.17. Korozif Aşınmaya Uğramış Bir Boji Alt Göbeği.....	17
Şekil 2.18. Erozif Aşınmanın Oluşumu	18
Şekil 2.19. Sofaj Vanası Gövdesinde Oluşan Erozif Aşınma	18
Şekil 2.20. Aşınma Deney Yöntemleri	19
Şekil 2.21. Pim-Disk Deney Düzeneği	20
Şekil 2.22. Levha Kayış Deney Düzeneği.....	20
Şekil 2.23. Dört Bilye Deney Düzeneği.....	21
Şekil 2.24. Çapraz Silindir Deney Düzeneği.....	22
Şekil 2.25. Mikro Abrasyon Aşınma Testi Şeması	22
Şekil 3.1. Östenitik Manganlı Çelik Saclar	25
Şekil 3.2. Östenitik Mangan Çeliğinin Darbe Etkisi İle Sertleşmesi.....	27
Şekil 3.3. Östenitik Manganlı Çeliklerin Kullanıldığı Vagon Bojisi	29

Şekil 3.4. X120 Mn12 Ve S355J2+N Çeliğinin Kaynağına Ait Örnek WPS	31
Şekil 3.5. Örnek Östenitik Manganlı Plaka Teknik Resmi	32
Şekil 3.6. Su Verme Sıcaklığının Manganlı Çeliğin Sertliğine Etkisi.....	33
Şekil 3.7. UIC 893-0 No.lu Standart.....	34
Şekil 3.8. Yük Vagonlarında Kullanılan Manganlı Çelik Aşınma Plakaları.....	34
Şekil 3.9. X120Mn12 Çeliğinin Kullanıldığı Bazı Yük Vagonu Parçaları	35
Şekil 3.10. Manganlı Plakanın Kılavuz Parçasına Kaynağı	36
Şekil 3.11. Susta Taşıyıcı Üzerinde Kaynak Edilen Manganlı Aşınma Plakaları	37
Şekil 3.12. Hardox Plakaların Üretim Hattı	38
Şekil 3.13. Hardox 400 Ve 500 Levhaları.....	39
Şekil 3.14. Hardox 450'nin Diğer Çeliklere Oranla Hizmet Ömrü.....	40
Şekil 3.15. Hardox Çeliğinden İmal Edilmiş Kamyon Damperi Ve Kepçe	41
Şekil 3.16. Hardox 450 Plazma Kesim İşlemi	44
Şekil 3.17. Yüksek Hız Ve Sinterlenmiş Karbür Takımlar	45
Şekil 5.1. Spectrolab Marka Spektrometre Cihazı	50
Şekil 5.2. Spektrometre Cihazında Yapılan Ölçüm	50
Şekil 5.3. Test Vagonu.....	51
Şekil 5.4. Rockwell Sertlik Ölçüm Cihazı	52
Şekil 5.5. Sertlik Ölçümünde Kullanılan Plaka Ölçüleri.....	52
Şekil 5.6. Rockwell Sertlik Cihazında Ölçüm.....	53
Şekil 5.7. 2000 Kg'lık Şahmerdan.....	53
Şekil 5.8. Aks Kutusu Üzerindeki Aşınma Plakalarına Gelen Kuvvet	54
Şekil 5.9. İtici Üzerinden Aşınma Plakasına İletilen Kuvvet.....	54
Şekil 5.10. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Plaka Ölçüleri	55
Şekil 5.11. Sementle Edilerek Sertleştirilmiş İtici.....	55
Şekil 5.12. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Vargel Tezgahı	56
Şekil 5.13. 1/1000 hassasiyetli elektronik terazi	56
Şekil 5.14. Kaynak edilmiş manganlı plaka	58
Şekil 5.15. Kaynak edilmiş Hardox plaka.....	59
Şekil 5.16. Ön Tavlama Yapılan Deney Numuneleri.....	60

Şekil 5.17. Kaynak İşleminde Kullanılan Gazaltı Kaynak Telleri	60
Şekil 5.18. Sertlik Taraması İçin Hazırlanan Kaynaklı Numuneler	62
Şekil 5.19. Susta Taşıyıcı Üzerindeki Aşınma Plakası Kalınlım Ölçümü.....	62
Şekil 5.20. Optik Mikroskop Cihazının Resmi	63
Şekil 5.21. Optik Mikroskop Deney Numuneleri.....	63
Şekil 5.22. SEM Cihazının Resmi.....	64
Şekil 6.1. X120Mn12 Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi	67
Şekil 6.2. Hardox 550 Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi	67
Şekil 6.3. 1 Numaralı Aşınmış Manganlı Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi	68
Şekil 6.4. 2 Numaralı Aşınmış Manganlı Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi	69
Şekil 6.5. 3 Numaralı Aşınmış Manganlı Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi	70
Şekil 6.6. 1 Numaralı Aşınmış Hardox Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi.....	71
Şekil 6.7. 2 Numaralı Aşınmış Hardox Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi.....	72
Şekil 6.8. 3 Numaralı Aşınmış Hardox Plaka Sertlik Ölçüm Numunesi.....	73
Şekil 6.9. Kullanılmamış Plakaların 30N Yükteki Aşınma Miktarları.....	77
Şekil 6.10. Kullanılmamış Plakaların 60N Yükteki Aşınma Miktarları.....	77
Şekil 6.11. Test Bojisinden Çıkarılan Plakaların 30N Yükteki Aşınma Miktarları	79
Şekil 6.12. Test Bojisinden Çıkarılan Plakaların 60N Yükteki Aşınma Miktarları	79
Şekil 6.13. Darbe Uygulanan Plakaların 30N Yükteki Aşınma Miktarları	81
Şekil 6.14. Darbe Uygulanan Plakaların 60N Yükteki Aşınma Miktarları	81
Şekil 6.15. Kaynaklı Plaka Sertlik Ölçüm Noktaları.....	82
Şekil 6.16. Mikrosertlik Kaynaklı Numuneler	82
Şekil 6.17. Hardox 550-St 52 Kaynak Bölgesi Sertlik Dağılımı.....	83
Şekil 6.18. X120Mn12-St 52 Kaynak Bölgesi Sertlik Dağılımı	84
Şekil 6.19. Penetrant Test Numuneleri.....	84
Şekil 6.20. Manganlı Plakaya Ait Makro İnceleme Görüntüsü.....	84
Şekil 6.21. Hardox Plakaya Ait Makro İnceleme Görüntüsü	83
Şekil 6.22 VPI' ya Göre Aşınma Plakası Sınır Ölçüleri	85
Şekil 6.23. Aşınmamış Hardox Plakanın Mikro Yapı Görüntüsü	86
Şekil 6.24. Aşınmış Hardox Plakanın Mikro Yapı Görüntüsü.....	86

Şekil 6.25 Aşınmamış Manganlı Plakanın Mikro Yapı Görüntüsü.....	86
Şekil 6.26. Aşınmış Hardox Plakanın Mikro Yapı Görüntüsü.....	87
Şekil 6.27. Aşınmamış Manganlı Plakanın 500x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	87
Şekil 6.28. Aşınmamış Manganlı Plakanın 1000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	87
Şekil 6.29 Aşınmış Manganlı Plakanın 500x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	86
Şekil 6.30. Aşınmış Manganlı Plakanın 1000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	86
Şekil 6.31. Aşınmamış Hardox Plakanın 500x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	87
Şekil 6.32. Aşınmamış Hardox Plakanın 1000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	87
Şekil 6.33 Aşınmış Hardox Plakanın 500x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	88
Şekil 6.34. Aşınmış Hardox Plakanın 1000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	89
Şekil 6.35. Dövülmemiş Manganlı Plakanın 2000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	90
Şekil 6.36. Dövülmemiş Manganlı Plakanın 3000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	90
Şekil 6.37. Dövülmüş Manganlı Plakanın 2000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	90
Şekil 6.38. Dövülmüş Manganlı Plakanın 3000x Büyütmedeki SEM Görüntüsü.....	90
Şekil 6.39. Test bojisinden çıkarılan manganlı plakanın 5000X büyütmedeki SEM görüntüsü.....	91
Şekil 6.40. Test bojisinden çıkarılan Hardox plakanın 5000X büyütmedeki SEM görüntüsü.....	91
Şekil 6.41. X120Mn12-St52 Kaynak Dikişi SEM görüntüsü.....	92
Şekil 6.42. Hardox 550-St52 Kaynak Dikişi SEM görüntüsü.....	92

KISALTMALAR DİZİNİ

AC:	Alternatif Akım
AISI:	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
Ar:	Argon
ASTM:	Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
CO ₂ :	Karbondioksit
DIN:	Alman Standart Enstitüsü
EDX:	Enerji Dağıtıcı X-Işını Spektroskopisi
FW:	Köşe Kaynağı
HBW:	Wolfram Uç Kullanılarak Ölçülmüş Brinell Sertliği
HRC:	Rockwell Sertliği
HV:	Vickers Sertliği
ISO:	Uluslararası Standart Organizasyonu
ITAB:	Isı Tesiri Altında Kalmış Bölge
PB:	Yatay Kaynak Pozisyonu
PQR:	Kaynak Prosedür Deneyi
SEM:	Taramalı Elektron Mikoskobu
SSAB:	Svenskt Stål AB
TÜRASAŞ:	Türkiye Raylı Sistem Araçları Sanayi A.Ş
UIC:	Uluslararası Demiryolları Birliği
VPI:	Vagon Bakım Klavuzu
WPS:	Kaynak Yöntem Şartnamesi
YVBK:	Yük Vagonu Bakım Kılavuzu

1.GİRİŞ

1.1.Çalışmanın Konusu ve Amaç

Yük vagonları ağır yüklerle hareket eden taşıtlar olduğundan günümüz endüstrisinin en önemli problemlerinden biri olan aşınma yük vagonlarında da etkisini fazlasıyla göstermektedir. Yük vagonlarının kullanım ömrü 30 ile 50 yıl arasında değişmektedir. Buna karşın vagonlarda meydana gelen aşınma vagonların kullanım ömrünü kısalttığı gibi vagonların işletilmesi esnasında da defalarca kez bakım ve onarımdan geçmesine neden olmaktadır. Örneğin yeni imal edilen cevher vagonları periyodik olarak revizyon bakımlarına 5 yıl sonra gelmesi gerekirken aşınmanın etkisi ile ağır hasarlar görmüş şekilde 2-3 yıl gibi kısa sürelerde gelir. Vagonlar tamire geldiklerinde aşınmanın neden olduğu ağır hasarlar nedeniyle tamir ve bakım süreleri uzamakta yüksek malzeme ve işçilik giderleri oluşturmaktadır. Buna aşınmanın diğer parçalarda neden olduğu zarar ve ticari taşımacılığın getirisinden kaynaklanan kayıplarda da eklendiğinde bu durum demiryolu işletmecileri için yüksek maliyetler ve ciddi işletme sorunlarına dönüşmektedir.

Son yıllarda özellikle uluslararası ticaretin gelişmesi ile birlikte yük taşımacılığında demiryollarının payının artmış olması daha uzun ömürlü, daha verimli ve ekonomik yük vagonlarına olan ihtiyacı zorunlu kılmıştır. Bu sebeple yük vagonları ile taşınan yüklerin işletmelere sorunsuz bir şekilde aktarımı ve vagonların işletme ömürlerinin uzun olabilmesi için vagon imalatında özellikle aşınmanın neden olduğu hasarları en aza indirecek malzemelerin kullanılması eskiye nazaran daha önemli hale gelmiştir. Bu açıdan aşınmaya dayanıklı malzemeler seçmek için dikkat edilecek en önemli husus malzemenin çalışma şartlarını ve aşınmaya neden olan faktörleri hassas bir şekilde incelemektir.

Yük vagonlarında aşınmanın en fazla görüldüğü yerler boji gibi hareket takımı, şasi ve özellikle cevher vagonlarının sandık kısımlarıdır. Vagonu oluşturan bu alt parçalar farklı aşınma türlerine maruz kalmaktadırlar. Örneğin maden sektöründe kullanılan cevher vagonlarının sandık kısımları taşıdıkları cevher (kömür, taş, kum, demir vb.) nedeniyle özellikle yükleme boşaltma esnasında abrazyon türü aşınmaya maruz kalır. Vagonun hareket takımını oluşturan bojiler ise ağır yük altında çalışmakla beraber hareket esnasında maruz kaldığı dinamik yükler nedeniyle

aşınmaya en çok maruz kalan parçaların başında gelir ve metal-metal sürtünmesi nedeniyle oluşan adhezyon türü aşınmaya maruz kalırlar.

Yük vagonu imalatında özellikle döküm ve dövme gibi maliyeti yüksek parçaları aşınmadan korumak için aşınma plakaları kullanılır. Bu parçaların adhezyon türü aşınmadan korumak için UIC 893-0 standardında X120Mn12 çeliğinin aşınma plakası olarak kullanımı önerilmiş ve taşınması gereken teknik özellikler belirtilmiştir. Bu çelikler yüksek akma mukavemetinin yanında tokluklarının yüksek olması ve özellikle çalışma esnasında sertleşmesi gibi özelliklerinden ötürü tercih edilmektedir. Bu çelikler, yük vagonu imalatının yanı sıra hızlı trenlerde, lokomotiflerde, tramvaylarda demir yollarında darbeli metal-metal aşınmasına maruz kalınan makas göbeklerinde de kullanılmaktadırlar.

TÜRASAŞ Genel Müdürlüğü ile yük vagonu üretimi ve bakım onarımı yapan diğer firmalardan alınan verilerde yıllık yaklaşık 100.000 adet çeşitli ebatlarda X120Mn12 aşınma plakası kullanılmakta bunların sadece malzeme değeri ise 500.000 €' u bulmaktadır.

Her ne kadar yük vagonlarında aşınma plakası olarak UIC 893-0'da belirtilen X120Mn12 çeliğinin kullanılması önerilmiş ise de ilgili standart 1956 yılında yayınlanmış ve geçen zaman zarfında aşınma üzerine yapılan çalışmalar ile aşınmaya dayanıklı birçok yeni çelik türü geliştirilmiştir. Geliştirilen bu malzemelerden biri de Hardox çelikleridir. Fakat standartta önerilen malzeme olan X120Mn12 çeliği değiştirilmemiş alternatif kullanılabilir herhangi bir malzeme de belirtilmemiştir. Bu nedenle geliştirilen alternatif çelikler yük vagonu imalatında kullanılamamış X120Mn12 çeliğinin kullanımı ise gün geçtikçe birçok açıdan daha dezavantajlı hale gelmiştir.

Bu çalışmadaki amaç ise yük vagonlarında uzun yıllardan beri aşınma plakası olarak kullanılan X120Mn12 kalite östenitik manganlı çeliklerin ithal olması sebebiyle fiyatlarının yüksekliği, istenilen ölçülerde temin edilememesi, termin sürelerinin uzun olması, işlenmesinin zorluğu ve özel yöntemlerle kaynak edilebilmesi gibi dezavantajlar göz önünde bulundurularak bu çeliğin yerine özellikle abrasif aşınma direncinin yüksekliği ile bilinen Hardox 550 çeliğinin alternatif olarak kullanılıp kullanılamayacağını araştırılması ve sağlayacağı ekonomik avantajın tespit edilmesidir.

Bu doğrultuda belirtilen iki farklı kalitedeki çeliğin aşınma davranışları ve kaynak edilebilirlikleri deneysel çalışmalarla araştırılmış elde edilen sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Bu amaçla bir test vagonu hazırlanmış ve ön ve arka bojilerinde yer alan susta taşıyıcılardan birer tanesi seçilerek üzerlerindeki X120Mn12 aşınma plakaları Hardox 550 ile değiştirilmış ve vagon 12 ay süre çalıştıktan sonra geri çağrılarak üzerlerindeki plakalar çıkarılarak aşınma miktarları karşılaştırılmıştır. Ayrıca bir konteyner vagonu bojisinde kullanılan tüm aşınma plakaları için fiyat araştırması yapılmış ve X120Mn12 kalite çeliğin yerine Hardox 550 kullanılması durumunda sağlayacağı ekonomik avantaj tespit edilmiştir.

1.2.Çalışmanın Önemi

Bu alışma abrasif aşınma direncinin yüksekliği ile ön plana çıkan ve son yıllarda kullanımını oldukça yaygınlaşan çeliklerinden biri olan Hardox 550 eliği ile adhezif aşınmaya dayanımının yüksekliği nedeniyle uzun yıllardır yük vagonu imalatında kullanılan X120Mn12 eliğinin yağlamasız adhezif aşınma koşullarında karşılaştırılmasına fırsat sunması ve Hardox 550 eliğinin yük vagonu imalatında X120Mn12 eliğine alternatif olarak kullanıp kullanılamayacağının tespit edilmesi bakımından önemlidir. Bu açıdan literatüre katkı sunacağı düşünölmektedir.

2. AŞINMA

Günümüz endüstrisinde karşılaşılan en büyük problemde bir tanesi aşınmadır. Aşınma sistemlerin çalışma yüzeylerinde oldukça sık karşılaşılan bir bozulma türüdür ve endüstrinin tüm kollarında karşımıza çıkmaktadır. Aşınma, DIN 50320 standardında kullanılan malzemelerin yüzeylerinden mekanik temaslar nedeniyle ufak parçacıkların kopması sonucunda meydana gelen istenmeyen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır.

Bu tanımı genişletecek olursak aşınmayı temas eden yüzeylerde mekanik etkilerle malzeme kaybı oluşturan, malzemenin işleme toleranslarının bozulması sonucu boyutsal değişime uğramasına, servis performansının azalmasına ve ekonomik kayıplara (enerji, işgücü, malzeme vs.) neden olan yüzey hasarı olarak açıklayabiliriz.

Aşınma, yataklarda, pistonlarda, supaplarda, tekerleklerde, kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri makineleri gibi tüm karşılıklı sürtünmeli çalışan elemanların bulunduğu yerlerde meydana gelmektedir. Aşınmanın türü ve miktarı malzemenin türüne, sürtünen yüzeylerin biçimine, sürtünme koşullarına ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlı olarak değişir (Özsaraç, 2005).

Mühendislik malzemelerindeki yıpranmanın aşınma sayılması için aşağıdaki şartların oluşması gerekir:

- ✓ Mekanik bir etki sonucu oluşması,
- ✓ Sürtünmenin olması,
- ✓ Yavaş ama sürekli olması,
- ✓ Malzeme yüzeyinde deformasyon meydana getirmesi,
- ✓ İstmeden meydana gelmesi gerekir.

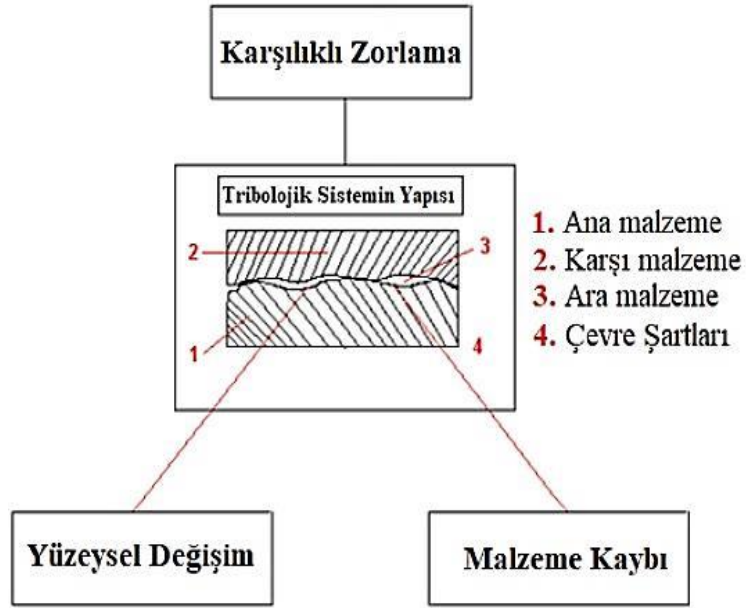
Bu beş şartın birlikte görülmesi sonucunda aşınma meydana gelir. Bu şartlardan birini sağlamayan yıpranma olayı aşınma olayı olarak düşünülmemelidir (Ağar, 2017).

2.1. Aşınmanın Temel Unsurları

Bir aşınma sistemi beş temel unsurdan oluşur. Bunlar:

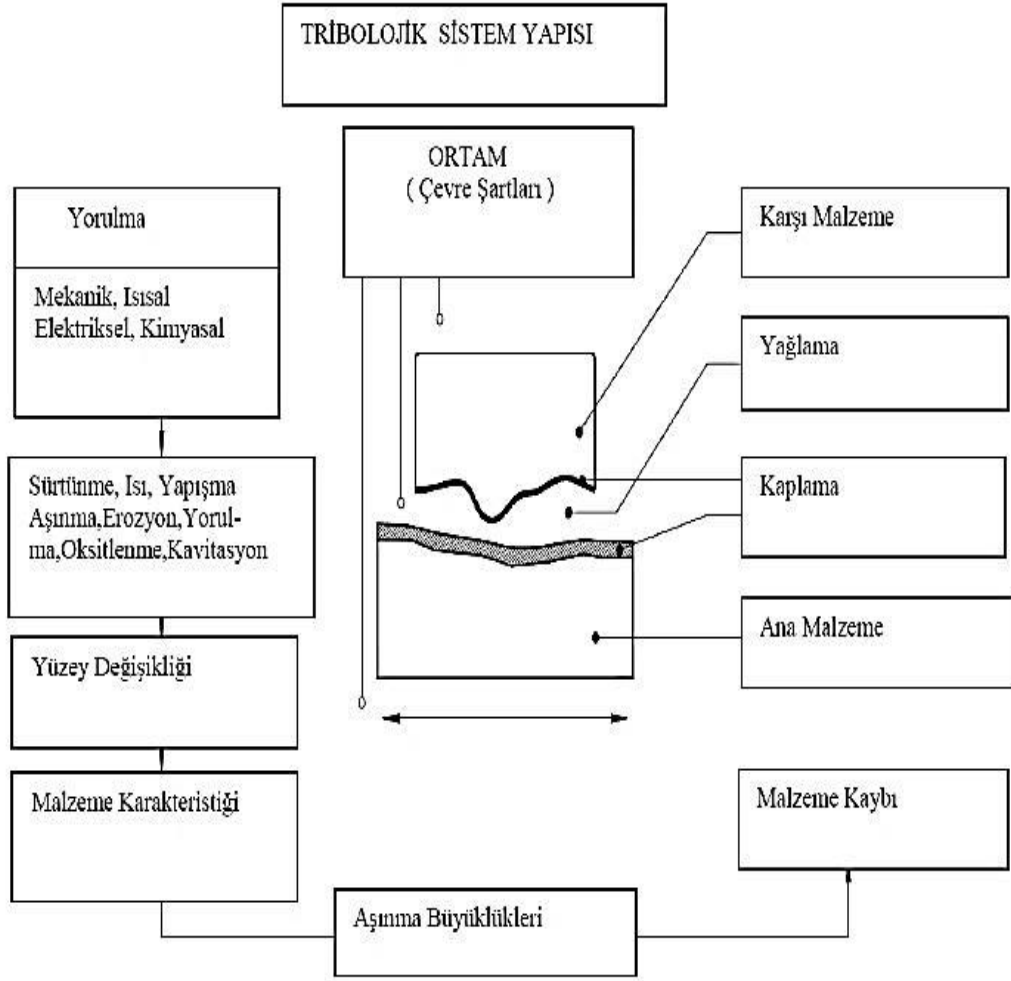
- ✓ Aşınan ana malzeme
- ✓ Aşındıran karşı malzeme
- ✓ Ara malzeme
- ✓ Yük
- ✓ Hareket.

Bu unsurların birleşerek oluşturduğu sisteme tribolojik sistem adı verilir. Triboloji birbiriyle temas halinde olan ve izafi hareket yapan yüzeylerde meydana gelen olayları inceleyen bir bilim dalıdır. Şekil 2.1’de tribolojik sistemdeki bileşenler şematik olarak gösterilmektedir.



Aşınan ana malzeme ve aşındıran karşı malzeme her ne kadar tribolojik sistemin oluşmasında yeterli olsada çevre şartları ve tam kuru sürtünmenin sağlanamaması sonucu oluşan ara malzeme tribolojik sistemlerde çoğu kez görülür.

Bir tribolojik sistemin yapısının şematik gösterimi Şekil 2.2’ de görülmektedir (Yeğin, 2014).



Şekil 2.2. DIN 50320' ye göre tribolojik sistemin yapısı (Yeğin, 2014)

2.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Aşınma, oluşabileceği genellikle önceden tahmin edilebilen fakat istenmeyen bir hasar durumudur. Birçok farklı şekilde ve türde ortaya çıkabilir. Bu hasar türü yağlama, aşınmaya dirençli malzeme kullanımı, çeşitli kaplama ve koruma yöntemleri ve uygun tasarım gibi faktörlerle azaltılabilir ancak tamamen önlenemez. Aşınma olayına etki eden faktörleri 4 ana başlıkta toplayabiliriz (Büyükkelleci, 2008).

2.2.1. Aşınan ana malzemeye bağlı faktörler

- ✓ Malzeme türü
- ✓ Malzemenin içyapısı
- ✓ Malzemenin yüzey sertliği
- ✓ Elastisite modülü

- ✓ Yüzey pürüzlülüğü
- ✓ Malzeme şekli ve boyutları
- ✓ Soğuk şekil vermenin etkisi
- ✓ Isıl işlem

2.2.2. Aşındırıcı karşı malzemeye bağlı faktörler

- ✓ Aşındırıcı tane büyüklüğü
- ✓ Tane yapısı
- ✓ Tane dağılımı

2.2.3. Çevre şartlarına bağlı faktörler

- ✓ Sıcaklık
- ✓ Nem
- ✓ Atmosfer

2.2.4. İşletme şartlarına bağlı faktörler (Servis şartları)

- ✓ Yük
- ✓ Hareket
- ✓ Kayma yolu
- ✓ Zaman
- ✓ Kaymanın cinsi

2.3. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma mekanizmaları tek başına oluşabildiği gibi birden fazla evrenin birlikte görüldüğü durumlarda da meydana gelebilir. Şekil 2.3' te görüldüğü gibi aşınma temelde üç evrede meydana gelir (Karabaşoğlu, 2008).

1.Evre;

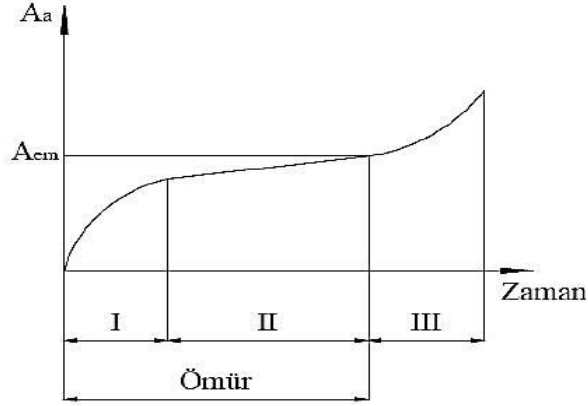
Bu evrede parçaların birbirine alışması gerçekleşir ve ilk çalışma sırasında şiddetli bir aşınma meydana gelir. Meydana gelen bu şiddetli aşınmanın azaltılması için çalışma hızından daha düşük hızlarda ve özel yağlar kullanılarak temas halindeki parçaların birbirine alıştırılması önem arz etmektedir (Karabaşoğlu, 2018).

2.Evre;

Parçaların temas noktalarında aşınmalar meydana gelmesi bu evrede gözlenir.

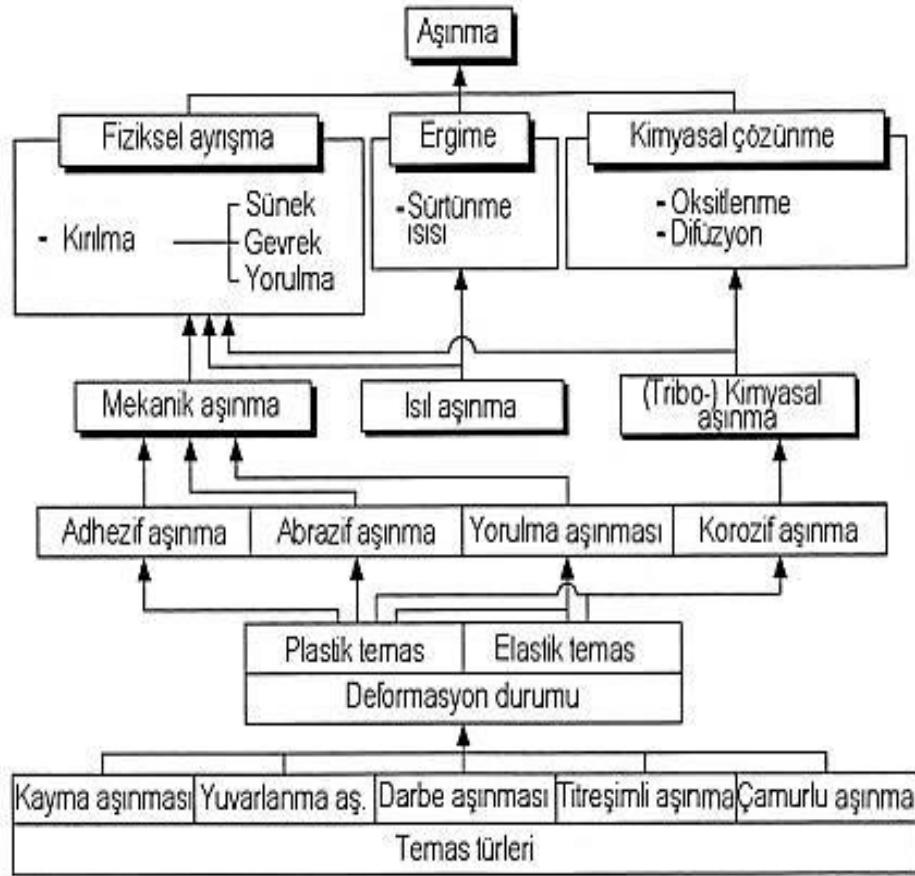
3.Evre;

Bu evrede artan aşınma hızı ile birlikte şiddetli aşınma oluşur (Yeğin, 2014).



Şekil 2.3. Aşınma miktarının kayma süresine bağlı evreleri (Koç, 2009)

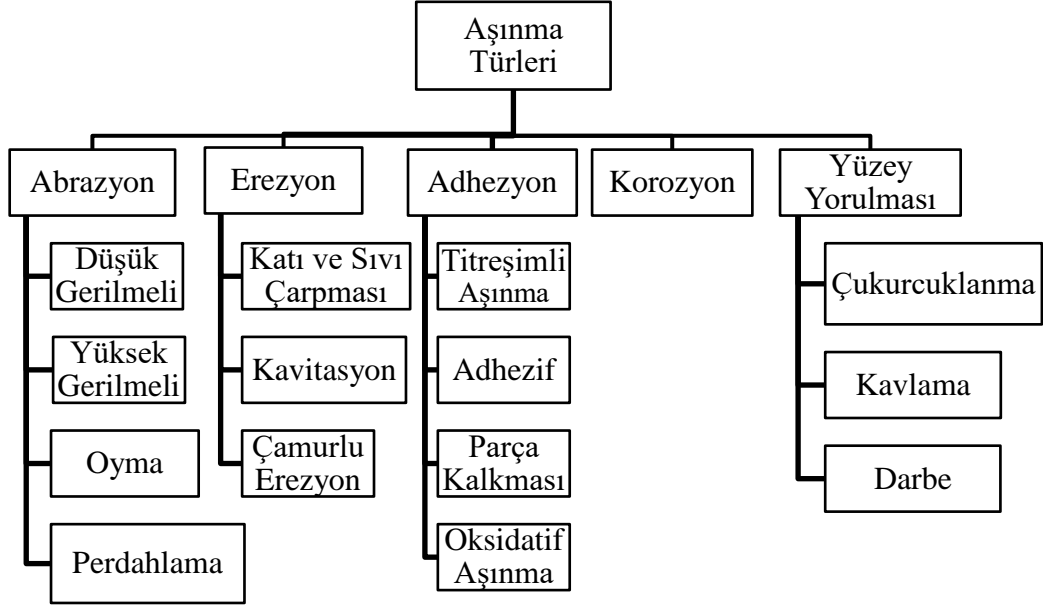
Aşınmada esnasında meydana gelen temas türleri, aşınma çeşitleri ve birbirleri ile olan ilişkileri Şekil 2.4' te gösterilmiştir (Demir, 2012).



Şekil 2.4. Aşınma temas türleri ve birbirleriyle olan ilişkileri (Demir, 2012)

2.4. Aşınma Türleri

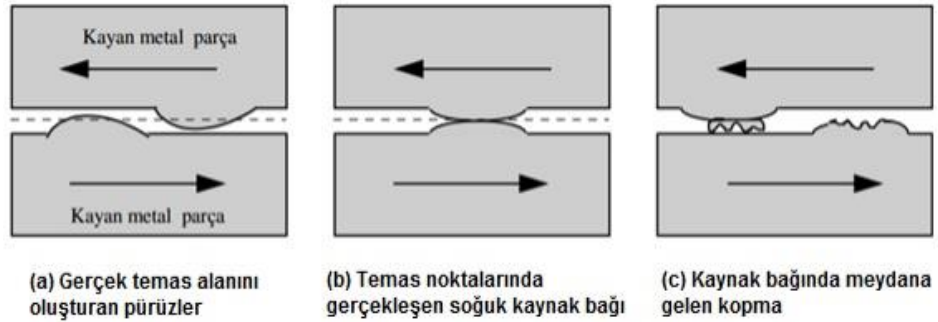
Endüstriyel sistemlerde çok farklı aşınma türleri ile karşılaşmaktadır. En sık karşılaşılan aşınma türleri Şekil 2.5' te sınıflandırılmıştır (Yüksel,2012).



Şekil 2.5. Aşınma türleri ve sınıflandırılması (Yüksel,2012)

2.4.1. Adhezyon (Adhezif Aşınma)

Adhezif aşınma genellikle aşındırıcı parçacıklar olmadan birbirine göre bağlı hareket yaparak kayma sürtünmesi oluşturan yağlamasız metal-metal aşınma yüzeylerinde meydana gelen bozulma olarak tanımlanır.



Şekil 2.6. Adhezif aşınmanın oluşumu (Yüksel, 2012)

Birbiri üzerinde kayarak temas halinde bulunan yüzeylere yük uygulandığında yüzeylerindeki gerilmeler malzemenin akma mukavemetine ulaşır veya geçerse metaller arasında yapışma eğilimi meydana gelir. Bunun sonucunda ise bir parçadan

diğerine temas noktalarında oluşan soğuk kaynaşma ile birlikte Şekil 2.6’ da görüldüğü gibi malzeme transferi olur ve aşınma meydana gelir. Bu yüzden adhezif aşınma yapışma aşınması olarak adlandırılır. Şekil 2.7’ de adhezif aşınmaya uğramış bir vagon tekerleği görülmektedir.



Şekil 2.7. Adhezif aşınmaya uğramış bir yük vagonu tekerleği

Birbirine temas eden parça yüzeylerinden birinin diğerine göre daha sert olması, adhezif aşınmasının yumuşak malzeme yüzeyinde oluşmasına neden olur. Eğer iki parça aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de oluşur (Yeğın, 2014). Şekil 2.8’ de yük vagonlarında kullanılan ve adhezif aşınmaya uğramış plakaların aşınma yüzeyleri görülmektedir.



Şekil 2.8. Yük vagonlarında kullanılan adhezif aşınmaya uğramış aşınma plakalarına ait aşınma yüzeyleri

Bu tez çalışmasında incelediğimiz yük vagonlarında ana malzemeyi aşınmadan korumak için kullanılan aşınma plakaları da çalışma esnasında adhezif aşınmaya maruz kalır. Kullanılan plakaların sertlikleri aynı olduğu için Şekil 2.9’ da görüldüğü

üzere her iki plakada da aşınmalar meydana gelir. Malzeme özelliklerinin adhezif aşınmaya olan etkisi Tablo 2.1’ de belirtilmiştir.



Şekil 2.9. Yük vagonu bojisindeki plakalarda oluşan adhezif aşınma örnekleri

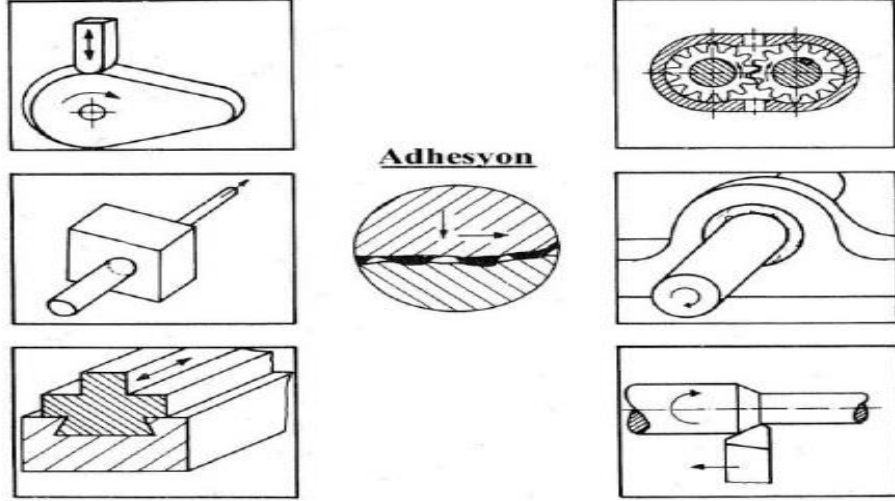
Tablo 2.1. Malzeme özelliklerinin adhezif aşınma üzerindeki etkisi (Karabaşoğlu, 2008)

Malzeme Özellikleri	Adhezif Aşınma
Oksitli yüzey	Düşük
Kübik kristal yapı	Yüksek
Hegzogonal kristal yapı	Düşük
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Yüksek
Yüksek sertlik	Yüksek
Yüksek elastik modülü	Yüksek
Yüksek ergime noktası	Yüksek
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Yüksek
Küçük atom yarıçapı	Yüksek

Adhezif aşınma, uygulanan yükün şiddetiyle orantılı olarak farklı biçimlerde oluşur. Eğer uygulanan kayma yükü düşükse sürtünme ile beraber oluşan ısı sonucunda oksit bir film tabakası meydana gelir ve bu tabaka yüzeyler arasında metalik bağ oluşumunu önleyerek aşınma miktarının düşük olmasını sağlar. Bu tür aşınma oksidatif adhezyon olarak adlandırılır.

Eğer uygulanan yük fazla ise etkileşim halinde olan malzeme çiftlerinin yüzeyleri arasında metalik bağ oluşumu meydana gelir ve aşınma miktarı artar. Bu tür aşınma parça kalkması (sürtünme yapışması) olarak adlandırılan şiddetli metalik adhezyondur. Bu aşınma türünde şiddetli bölgesel plastik deformasyonla birlikte malzemede kırılma ve yüksek miktarda malzemenin bir temas yüzeyinden diğerine geçişi gerçekleşir (Yüksel, 2012).

Adhezif aşınmanın görüldüğü sistemlere örnek olarak torna, freze ve planya gibi takım tezgâhlarının birbiri ile temas halinde çalışan parçaları ve milleri, pompa dişlileri çeşitli yataklar ve otomobil kam milleri gösterilebilir (Topal, 2017). Adhezif aşınmanın görüldüğü bazı tribolojik sistemler Şekil 2.10' da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Adhezif aşınmanın görüldüğü tribolojik sistemler (Kosa,2016)

Adhezyon benzer ya da kolay kaynaşabilen malzemeler arasında daha fazla oluşur ve nispeten yüksek hızlarda ve yüklerde görülen bir aşınma şeklidir. Adhezyon sürtünmeyi oluşturan bütün kaynak noktalarında meydana gelmektedir. Oksit veya nemden meydana gelen doğal katmanın olay üzerindeki etkisi büyüktür. Yüzeylerden birinin sertliği diğerine göre fazla ise kaynak bağlarının kopması yumuşak malzeme olur ve bu malzeme sert malzemenin yüzeyine geçer (Özsaraç, 2005). Adhezif aşınma oranını hesaplamada Archad'ın malzeme sertliğini aşınma oranını etkileyen tek malzeme özelliği olarak kabul ettiği denklem kullanılabilir. (Ergüler, 2005)

$$W_{ad} = \frac{V}{L} = K \frac{W}{H} \quad (2.1)$$

W_{ad}: Aşınma oranı

K: Aşınma katsayısı

V: Aşınma hacmi

L: Kayma mesafesi

W: Normal yük

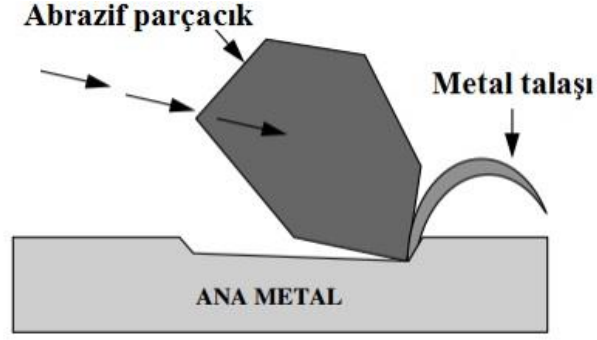
H: Daha yumuşak olan malzemenin sertliği olarak ifade edilir.

Adhezif aşınmayı azaltmak için şu önlemler alınabilir.

- a) Yağlama: Adhezif aşınma sıcaklığın bölgesel olarak arttığı yerlerde ortaya çıktığından iyi bir yağlamayla yüzeyler arasındaki sürtünme azaltılır ve sistemde oluşan ısı bu yağlama sayesinde uzaklaştırılırsa aşınma miktarı ve şiddeti azaltılmış olur.
- b) Birbirleri içerisinde erimeyen metaller kullanmak: Birbirleri içerisinde çözünmeyen metaller kullanılarak adhezif aşınma büyük ölçüde önlenir.
- c) Düz yüzeyler kullanmak: Eğer birbirleriyle temas eden yüzeylerde soğuk kaynaşmayı oluşturacak pürüzlü yüzeyler yok ise adhezif aşınma meydana gelmesi zorlaşacaktır.
- d) Metal metal temasını önlemek: Metal yüzeylerin birbiri ile temasını önleyecek tasarımlar yapmak veya kimyasal filmler oluşturmak aşınmayı engeller.
- e) Malzemenin sertliğinin artırılması: Malzeme sertliğinin artırılması adhezif aşınmayı azaltacaktır.
- f) Yüzeğe etki eden kuvvetin azaltılması: Yüzeğe etki eden kuvvetin azaltılması yapışma eğilimini azaltarak soğuk kaynaşmayı engeller ve aşınmayı azaltır.

2.4.2. Abrasyon (Abrasif Aşınma)

Birbiri ile temasta olan parçalardan sert partiküllerin katı yüzeylerde hareket etmesi sırasında sert ve keskin olan partikülün daha yumuşak olan malzemede kesikler ve çizikler oluşturarak parça kaldırmasına abrasif aşınma denir. Abrasif aşınma, aşındırıcı malzemenin ana malzeme ile aynı veya daha sert olması durumunda meydana gelir. Yırılma veya çizilme aşınması olarak da adlandırılan abrasif aşınma, sistemlerde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür ve endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Abrasif aşınmanın oluşumu şematik olarak Şekil 2.11' de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Abrasif aşınmanın oluşumu (Yüksel, 2012)



Şekil 2.12. Abrazyon sonucu aşınmış bir cevher vagonu taban sacları

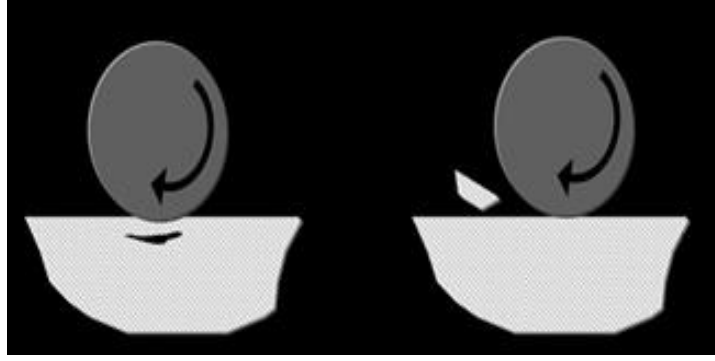
Abrasif aşınmayla cevher taşıyan yük vagonlarında, cevher işleme ve öğütme tesislerinde, kamyon damperlerinde ve maden tesislerinin değirmenlerinde oldukça sık karşılaşılır. Şekil 2.12’ de abrazyon sonucu aşınmış bir cevher vagonunun taban sacı görülmektedir.

Abrasif aşınmayı azaltmak için malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılabilir, daha sert ve aşınmaya dayanıklı malzemeler kullanılabilir, yüzey sertliğini arttırmak amacıyla ısıtılabilir veya malzeme yüzeyi sert bir tabaka ile kaplanabilir.

2.4.3. Yorulma Aşınması

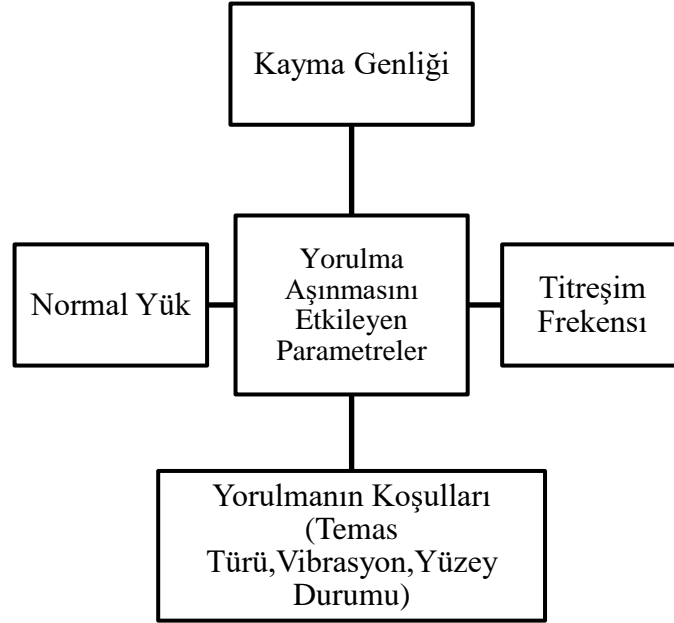
Değişken ve tekrarlı yük altında çalışan makine elemanlarında dinamik zorlanmalar sonucunda temas yüzeyinin altında veya yakınında oluşan Hertz basınçları nedeniyle artan kayma gerilmeleri ile beraber mikro çatlaklar meydana gelir. Bu çatlaklar zaman içerisinde yüzeye doğru büyüyerek ilerler ve yüzeyden pul

şeklinde küçük parçacıkların kopmasına neden olurlar. Meydana gelen bu duruma yorulma aşınması denir (Debinski, 2018). Yorulma aşınmasının oluşumu şematik olarak Şekil 2.13’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Yorulma aşınmasının oluşumu (Debinski, 2018)

Yorulma aşınması kayma genliği, uygulanan yükün şiddeti, titreşim frekansı ve yüzey durumu gibi faktörlerden etkilenir. Yorulma aşınmasına etki eden faktörler Şekil 2.14’ te gösterilmiştir (Bilen 2016).



Şekil 2.14. Yorulma aşınmasını etkileyen faktörler (Bilen 2016)

Yorulma aşınması özellikle değişken yük altında çalışan makine elemanlarında, dişli çarklarda, millerde, rulmanlarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan makine elemanlarında meydana gelir. Yorulma

aşınmasına yumuşak malzemelerde daha az rastlanılmaktadır. Vagon tekerinin gövdesinde meydana gelen yorulma aşınması Şekil 2.15’ te gösterilmiştir

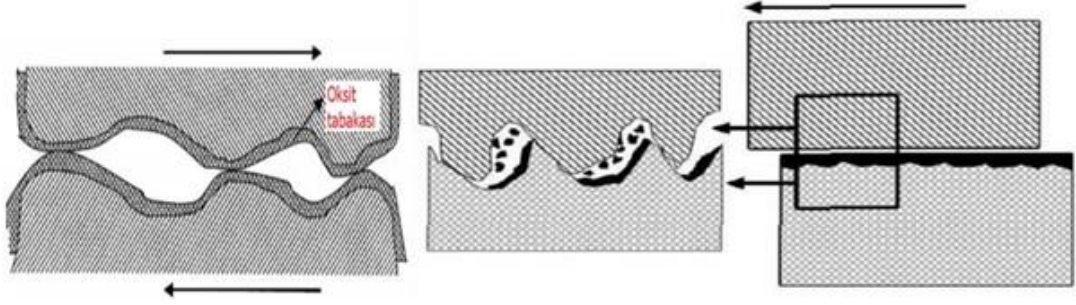


Şekil 2.15. Vagon tekerleğinin dingilinde oluşan yorulma çatlakları

Yorulma aşınmasını önlemenin en etkili yolu malzeme yüzeylerinin kaplanması veya sertleştirilmesidir. Bununla birlikte malzeme yüzeyini parlatma, tasarım değişikliği ile relatif hareketi engelleme ve basma gerilmesi oluşturma gibi önlemler de alınabilir.

2.4.4. Korozyon Aşınma

Korozyon etkilerine maruz kalan malzemelerin yüzeylerinde kimyasal, elektrokimyasal veya metalürjik reaksiyon neticesinde tabakalar meydana gelir. Zamanla hareket eden aşındırıcı partiküller sürtünmenin etkisi ile bu tabakaları parçalayarak ana malzeme ile birlikte yüzeyden parça kopmasına neden olurlar. Bu olaya korozyon aşınması adı verilir. Korozyon aşınma kendi başına oluşabileceği gibi çoğu kez aşınma türleriyle birlikte de meydana gelir. Korozyon aşınmanın oluşumu Şekil 2.16’ te verilmiştir (Yeğin, 2014).



Şekil 2.16. Korozif aşınmanın oluşumu (Yeğin, 2014)

Korozif aşınmayı engellemede en önemli faktör pas oluşumu ile mücadele etmektir. Pas oksit tabakası oluşturur ve malzeminin zamanla korozyona uğramasına neden olur. Malzemeyi oksitten korunmak için yüzeye kaplama yapmak ve birbirleriyle reaksiyona malzemeler seçmek gerekir. Şekil 2.17’ de korozyon aşınması olmuş bir buategres gövdesi görülmektedir.

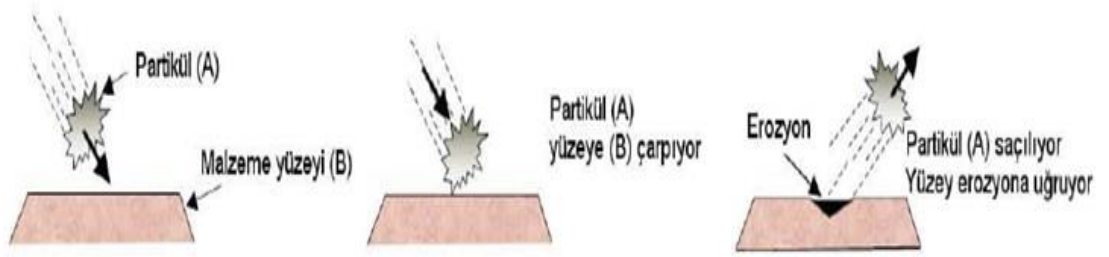


Şekil 2.17. Korozif aşınmaya uğramış bir boji alt göbeği

2.4.5. Erozyon Aşınması

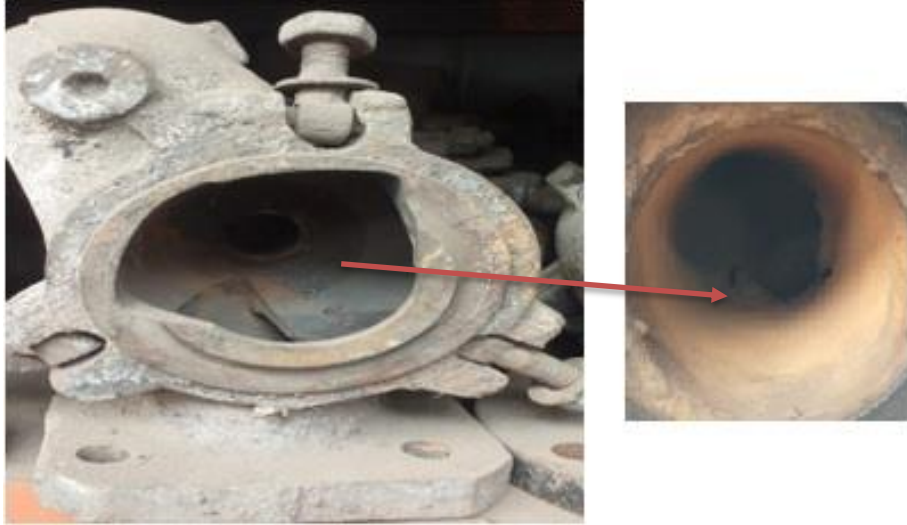
Erozyon (hidro-absasif) aşınması akışkan içerisindeki sert abrasif parçacıkların malzeme yüzeyine yüksek hızlarda çarpması ve yuvarlanması esnasında malzemenin çok sayıda parça kopması şeklinde meydana gelen aşınma türüdür. Akışkan içerisinde hareket eden partiküller akış sırasında malzemenin sınır yüzeylerinde patlama veya çarpma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparılır ve girdap etkisiyle dalgalı yüzeyler meydana getirirler (Sarica,2005). Bu yönüyle erozif aşınma abrazif aşınmaya benzese de fark aşınmanın sert partiküllerin yüzeyi kazıyarak değil çarparak oluşmasıdır (Yüksel,2012). Bu aşınma türü çoğunlukla pompalarda,

pervanelerde, fanlarda, nozullarda, boru ve tüplerin dirseklerinde görülür. Şekil 2.18’ de erozif aşınmanın oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.18. Erozif aşınmanın oluşumu (Yeğin, 2014)

Erozif aşınmayı aşındırıcı boyutu, şekli, yüzey kalitesi, ortam özellikleri, partiküllerin çarpma hızı, çarpma açısı gibi faktörler etkiler. Erozif aşınmayı önlemek veya azaltmak için parça imalatında östenitik çelikler kullanmak, plazma sprej veya difüzyon gibi yöntemlerle ile parçaların kaplaması önerilir. Şekil 2.19’ da erozif aşınma olmuş bir türbin kanadı gösterilmiştir.

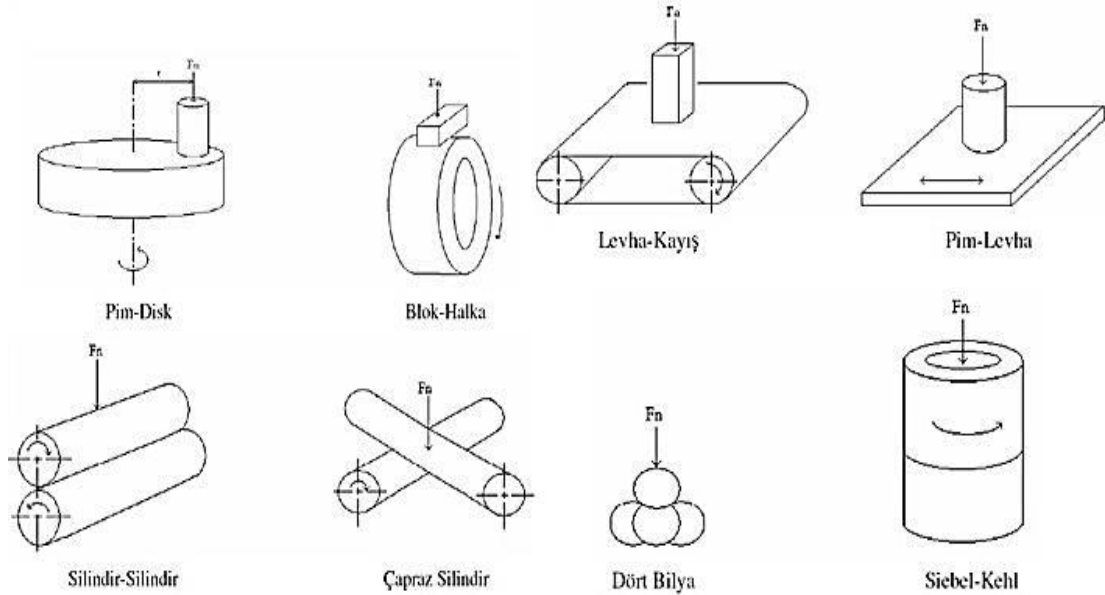


Şekil 2.19. Şarncık vagonlarında kullanılan erozif aşınmaya uğramış bir sofaj vanası gövdesi

2.5. Aşınma Deney Cihazları ve Ölçüm Yöntemleri

2.5.1. Aşınma Deney Yöntemleri ve Cihazları

Sistem elemanlarının aşınma davranışlarının belirlenebilmesi ve malzemelerin aşınma dirençlerini incelemek için çalışma koşullarına ve aşınma özelliklerine uygun farklı ölçüm yöntemleri ve deney cihazları tasarlanıp geliştirilmiştir. Aşınma özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler gerçek çalışma koşullarında yapılabildiği gibi çeşitli modellerde tasarlanmış deney düzenekleri kullanılarak da yapılabilir. Gerçek koşullarda saha veya tezgâh testleri ile yapılan deneylerin zaman alıcı olması ve ekonomik olmaması, karmaşık tribolojik etkiler taşımaları, tekrar edilebilirliklerinin zor olması ve standart ölçüm yöntemlerinin kullanılmaması gibi engelleri vardır (Ergüler, 2005). Bu engelleri ortadan kaldırmak için çalışma koşullarını olabildiğince simüle eden, numune hazırlama ve ölçümü daha kolay olan birçok modelde deney yöntemi geliştirilmiştir. Şekil 2.20’ de en çok kullanılan aşınma deney yöntemleri gösterilmiştir

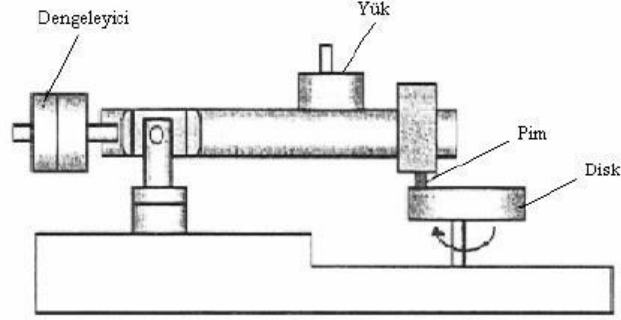


Şekil 2.20 Aşınma deney yöntemleri (Demir,2012)

2.5.1.1. Pim- Disk Cihazı

Pim-disk yöntemi, test yöntemleri içerisinde en yaygın kullanılan, en pratik ve en ekonomik yöntemlerden biridir. Bu test yöntemi ile laboratuvar şartlarında malzemelerdeki aşınma miktarını pim ve disk şeklinde numuneler hazırlayarak tespit etmek mümkündür. Deneyde dönen metal bir disk bulunur ve bu diske pim aracılığıyla

belli bir kuvvete sahip aşınma durumu incelenecek olan koni, küre veya silindir şeklindeki numune temas eder. Deneyde pim üzerinden diske uygulanacak kuvvet, mekanik, pnömatik veya hidrolik bir silindir yardımıyla sağlanabilir. Şekil 2.21’ de pim-disk deney düzeneği gösterilmiştir.

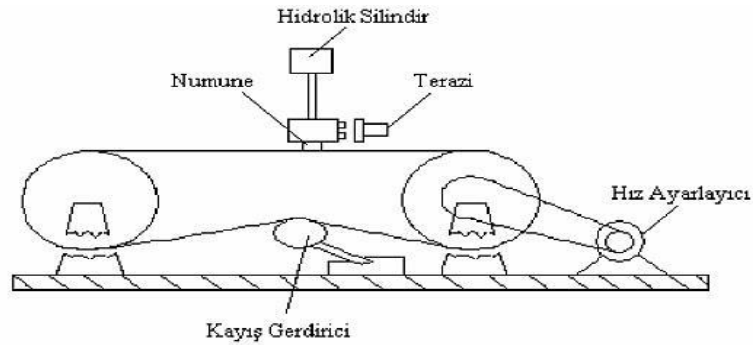


Şekil 2.21. Pim-disk deney düzeneği (Demir, 2012)

Bu test tekniği ile kayma halindeki sürtünme ve aşınma davranışları kuru veya yağlı ortam şartlarında rahatlıkla incelenebilmektedir. Cihaz ile metal ürünler, seramik, yumuşak ve sert kaplamalar, plastik ve polimer malzemeler test edilebilir (Ağar, 2017).

2.5.1.2. Levha Kayış Cihazı

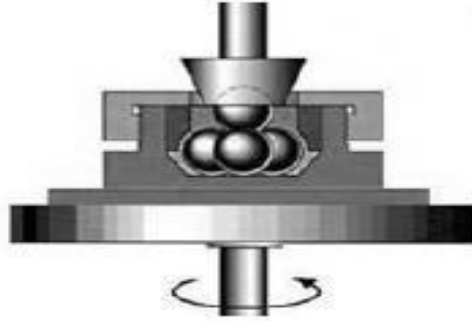
Bu deney cihazı Şekil 2.22’ de gösterildiği gibi iki silindir ve bu silindirleri birbirine bağlayan bir kayıştan meydana gelir (Ağar,2017). Kayış silindirlerin etrafında dönmekte iken, silindirlerden bir tanesi hız ayarlı olduğu için silindirin devri artırılıp azaltılarak kayışın hızı değiştirilebilmektedir. Deney numunesinin aşındırılması kayışın bir yüzüne zımpara kâğıdı sarılarak veya aşındırıcı bir malzeme ile kaplanarak sağlanabilir. Test numunesi bir hidrolik silindir vasıtasıyla kayış üzerine istenilen yüklerde temas ettirilerek numune aşındırılır (Demir, 2012).



Şekil 2.22. Levha kayış deney düzeneği (Ağar,2017)

2.5.1.3. Dört Bilye Düzenegi

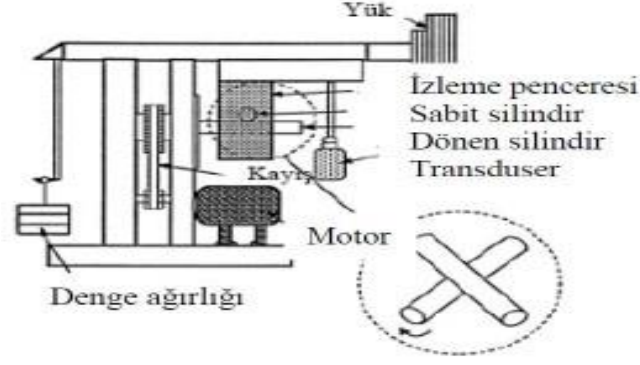
Bu deney düzeneginde çapları birbirine eşit dört adet bilye kullanılır. Üç bilye rahat hareket edebilecekleri bir düzenegin içersine dördüncü bilye ise yuva açılmış bir milin içersinde olup diğer üç bilyenin üzerine gelecek şekilde yerleştirilir. Mil döndürülmeye başlandığında üstteki bilyenin etkisiyle altta bulunan bilyeler zıt yönde dönmeye başlarlar. Dördüncü bilye yukarıdan aşağıya doğru diğer bilyelere kuvvet uygular. Bu şekilde bilyeler birbirlerine göre izafi hareket yaparak aşınmış olurlar. Şekil 2.23' te dört bilye deney düzenegi gösterilmiştir. Bu cihazda basınç altındaki yağların aşınma özellikleri ölçülebilir. (Seçilmiş, 2017).



Şekil 2.23. Dört bilye deney düzenegi (Demir, 2012)

2.5.1.4. Çapraz Silindir Deney Düzenegi

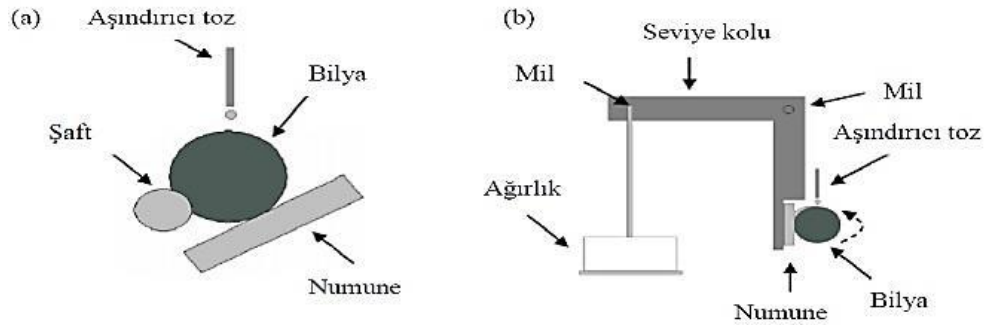
Bu deney cihazı Şekil 2.24' te görüldüğü gibi bir eksen boyunca dönen silindir ve bu silindire doğrusal olarak temas eden çarpı şeklinde konulmuş sabit bir parçadan meydana gelir. Döner parçanın dış çapında oluşan yivin hacmi ölçülür. Sonra sabit parça üzerinde meydana gelen aşınma lekelerinin boyutu ölçülür ve bunla birlikte sistemdeki toplam aşınma miktarı tespit edilir. Bu deney düzenegi ile aşınma miktarının ölçümüne takım çeliklerinde ve kaplanmış yüzeylerde meydana gelen aşınmalar örnek olarak verilebilir. Bu tür aşınmaların ölçümünde ASTM G78 çapraz silindir deney cihazı kullanılır.



Şekil 2.24. Çapraz silindir deney düzeneği (Blau ve Budınskı 1999)

2.5.1.5. Mikro Abrazyon Deney Düzeneği

Mikro abrazyon deney düzeneği malzeme üzerine yapılmış ince ve sert kaplamaların aşınma miktarını tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu test yönteminde aşındırılacak numune yüzeyine dönen bir top ile basınç uygulanır ve basınç sonrasında bir iz oluşur. Bu izin boyutu optik mikroskop ya da profilmetre yardımıyla ölçülür ve aşınma değeri tespit edilmeye çalışılır. Yükün uygulanma şekline göre 2'ye ayrılır. Birincisi topun bir mil üzerinde serbestçe döndüğü ve kendi ağırlığını uyguladığı free ball yöntemi (Şekil 2.25 a), diğeri ise topun bir motor yardımıyla döndüğü ve bir cihaz yardımıyla yükün uygulandığı fixed ball yöntemidir (Şekil 2.25 b) (Ağar, 2017).



Şekil 2.25. Mikro abrazyon aşınma testi şeması (Ağar,2017)

2.5.2. Aşınma Miktarını Ölçme Yöntemleri

Aşınma deneylerinde aşınma miktarını ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu amaçla ASLE (Amerikan Society of Lubrication Engineers) yüz kadar deney yöntemi belirlemiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanları ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyoizotop metodlarıdır. Ölçüm yöntemi belirlenirken

malzeme özellikleri ve sistemin yapısı göz önünde bulundurularak seçim yapılmalıdır. Bir aşınma sisteminde aşınma miktarını ölçme tekniğinden; yüksek hassasiyet, kolay ve seri uygulama, teknik sistemlere paralellik ve ekonomiklik beklenir (Yılmaz, 2012).

2.5.2.1. Ağırlık Farkı Yöntemi

Ağırlık farkı yöntemi ekonomik ve pratik olmasının yanı sıra hassas sonuçlar elde edilebilmesi nedeniyle de en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelir. Ağırlık kaybının ölçülmesinde 10^{-3} veya 10^{-4} hassasiyetinde teraziler kullanılır. Aşınma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybı; birim alan veya sürtünme mesafesine bağlı olarak hassas terazide tartılarak bulunur.

Ağırlık kaybı birim alan için hesaplanacaksa g/cm^2 , sürtünme yoluna göre hesaplama yapılacak ise g/m veya mg/m ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirlenmek istendiğinde ise yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden kuvvet hesaba eklenerek birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı bulunabilir (Topuz, 2012).

Ağırlık farkı ölçüm metodunda aşağıda verilen formül kullanılmaktadır.

$$W_a = \frac{G}{d \times M \times S} \quad (2.2)$$

W_a = Aşınma oranı (mm^3 / Nm)

G = Ağırlık kaybı (mg)

M = Yükleme ağırlığı (N)

S = Aşınma yolu (m)

d = Malzeme yoğunluğu (mg/mm^3) olarak verilmiştir.

Aşınma oranının ters değeri ise aşınma direnci (W_r) olarak kabul edilmiştir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \quad (2.3)$$

Bu yöntemde malzemenin yüzeyinde yabancı madde bulunmamasına ve temiz olmasına dikkat edilmelidir (Ağar, 2017).

2.5.2.2. Kalınlık Farkı Yöntemi

Bu yöntemde aşınma miktarının tespiti malzemenin deney öncesi ve sonrası boyut değişikliğinin ölçülmesi ile yapılır. Ölçüm sonucunda oluşan kalınlık farkından birim hacimde meydana gelen aşınma miktarı ve hacimsel aşınma kaybı hesaplanabilmektedir. Kalınlık farkı $\pm 1\mu\text{m}$ duyarlılıkta hassas ölçü aletleri kullanılarak ölçülebilir (Seçilmiş, 2017).

2.5.2.3. İz Değişim Yöntemi

İz değişim yönteminde malzemenin sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon ile geometrisi belli olan bir iz oluşturulur. İz oluşturmak için Brinell veya Vickers sertlik ölçme uçları kullanılabilir. Deney boyunca elmas pramit veya küresel bilyenin malzeme üzerinde bıraktığı izlerin boyutlarında meydana gelen değişim mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir ve aşınma miktarı bulunmaya çalışılır (Yılmaz, 2012).

2.6.2.4. Radyoizotop Yöntemi

Bu yöntemde nötron, proton veya α parçacıkları kullanılarak aşınma yüzeyi bombardıman edilir ve radyoaktif hale getirilir. Radyoaktif bozunmaya maruz kalan parçada kütle kaybı oluşur. Oluşan kütle kaybından ise aşınma miktarı hesaplanır. Bu yöntemde hassas ve sabit ölçüm yapılabilmesi avantajken ekonomik olmaması bir dezavantajdır (Büyükkelleci, 2008).

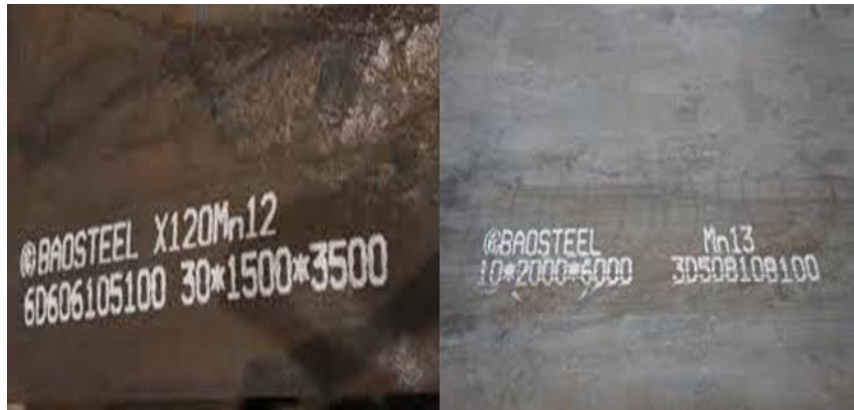
3. AŞINMAYA DAYANIKLI ÇELİKLER

Endüstride kullanım alanlarına göre aşınmaya dayanım için genellikle martenzitik ve östenitik çelikler, küresel grafitli dökme demirler, pik dökümler, kobalt, krom, molibden -tungsten alaşımları ve çeşitli kaplamalar tercih edilir. Bütün bu malzemeler yüksek oranda aşınmanın söz konusu olduğu madencilik endüstrisinde, petrol sondaj tesislerinde, demiryollarında, hafriyat makinelerinde vb. yerlerde kullanılmaktadır (Turhan,1994).

Aşınmaya karşı dayanım için malzeme seçerken aşınma şartlarını ve aşınmaya neden olan faktörleri hassas bir şekilde incelemek ve değerlendirmek gereklidir. Çünkü tüm aşınma türlerine dayanıklı tek bir malzeme yoktur. Örneğin abrasif aşınmanın etkili olduğu koşullarda kullanılan malzeme kalitesi ile korozif aşınmanın söz konusu olduğu koşullarda kullanılan malzemeler aynı değildir. Abrasif aşınma şartlarında malzemenin sertliğindeki artış aşınmayı azaltırken, korozif aşınmada malzemeyi kimyasal etkilere karşı kaplamak iyi bir yöntem olabilir. Bu bilgiler ışığında aşağıda endüstride yaygın olarak kullanılan östenitik manganlı çelikler ile Hardox çeliklerinin özellikleri açıklanmıştır.

3.1. Östenitik Manganlı Çelikler ve Özellikleri

Kimyasal içeriğinde % 11-15 arasında mangan ve % 0,8 ile % 1,25 arasında karbon bulunan ve uygun soğuma koşullarında yapısı tamamen östenitik kalabilen çeliklere östenitik manganlı çelikler denilmektedir. Bu çelikler 1882 yılında İngiltere'de Robert Hadfield tarafından keşfedilmiştir. İngiltere'de 1883, ABD'de 1884 yılında patentinin alınmasından beri çeşitli sektörlerde aşınmaya dayanım için en çok tercih edilen çeliklerin başında gelmektedir. (Okechukwu vd, 2017).



Şekil 3.1. Östenitik manganlı X120Mn12 sacı

Bu çeliklerle ilgili bilgiler ASTM A128 standardında belirtilmiş olup kimyasal kompozisyon ve mekanik özelliklerine göre Tablo 3.1' de görüldüğü gibi 9 türe ayrılmıştır. Östenitik manganlı çelikler ana elementleri olan karbon ve mangana ilave olarak krom, nikel ve moniblenle de alaşımlandırılırlar.

Tablo 3.1. Östenitik manganlı çeliklerin kimyasal kompozisyonu (Subramanyam vd,1990)

ASTM A128	Kimyasal Kompozisyon						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si	P
A	1.05	11.0	...	...	...	1.00	0.07
B-1	0.9-1.05	11.5-14	...	...	...	1.00	0.07
B-2	1.05-1.2	11.5-14	...	...	...	1.00	0.07
B-3	1.12-1.28	11.5-14	...	...	...	1.00	0.07
B-4	1.2-1.35	11.5-14	...	...	...	1.00	0.07
C	1.05-1.35	11.5-14	1.5-2.5	...	...	1.00	0.07
D	0.7-1.3	11.5-14	...	...	3.0-4.0	1.00	0.07
E-1	0.7-1.3	11.5-14	...	0.9-1.2	...	1.00	0.07
E-2	1.05-1.45	11.5-14	...	1.8-2.1	...	1.00	0.07

Östenitik manganlı çeliklerin ayırt edici en önemli özellikleri mekanik etkilerle soğuk deformasyona maruz kaldıklarında yapılarında bulunan yüksek oranda manganın etkisiyle östenitik fazın martenzite dönüşebilmesine imkân sağlaması ve bu sayede çeliğin sertliğinin artmasıdır. Shuman'a göre bu çelikte dönüşüm aşağıdaki sırayı takip eder (Turhan,1994).

Östenit \rightarrow dislokasyonlar \rightarrow istif hataları \rightarrow ϵ - Martenzit \rightarrow α -Martenzit

Bu çeliklerin sertliği diğer çeliklerde olduğu gibi yapısının tamamen martenzitik olması nedeni ile değil yapısının östenit olması ve yüzeyden belirli mesafede oluşan martenzit nedeniyledir. Oluşan bu yüzeysel martenzit nedeniyle malzeme bir yandan sertleşirken bir yandan da sünekliliğini muhafaza eder. Yapının östenit olması nedeni ile de malzemenin yüzeyi sert, içyapısı ise daha yumuşak kalarak darbeler sönmümlenir ve malzemenin kırılması önlenir. Bunun sonucu olarakta östenitik manganlı çelikler hem yüksek aşınma direncine hem de yüksek tokluğa sahip olurlar.

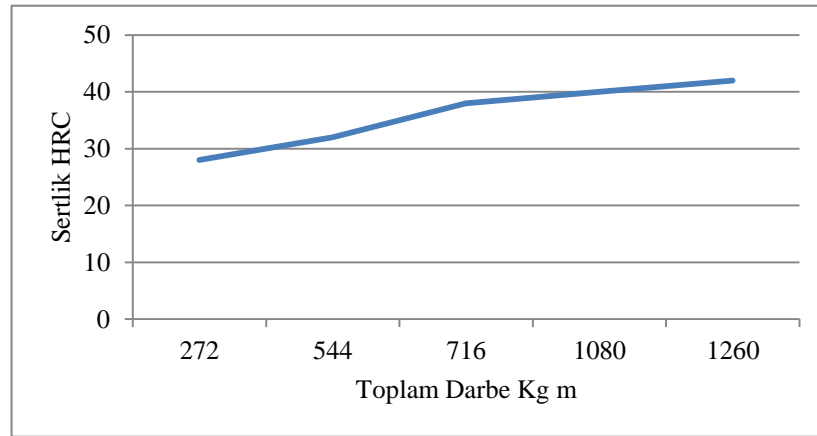
Standart hadfield çeliklerinin sertlikleri 210-220 HB civarındadır. Östenitik halde iken soğuk işlem uygulandığında ise ürünün yüzey sertliği darbenin şiddetiyle orantılı olarak 3 katına kadar yükselebilir. Tablo 3.2' de östenitik manganlı çeliklerin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2. Östenitik manganlı çeliğin mekanik özellikleri

Kimyasal Bileşim				Akma Mukavemeti	Kopma Mukavemeti	Uzama %	Kopma Büzülmesi %	Brinell Sertliği
%C	%Mn	%Si	%Diğer	Kg/mm ²	Kg/mm ²			
1.15	12.5	0.5	-	37	87	45	35	195
0.73	11.5	0.4	-	32	74	33	28	163
0.61	11.9	0.4	-	29.5	68	21	18	167
0.79	13.4	0.7	3.6 Ni	31.5	86	56	35	160
0.92	13.4	0.5	2.0 Cr	39	89.5	56	38	192
0.85	12.6	0.6	1.1 Mo	36.8	84	50	34	202

Östenitik manganlı çeliklere darbe uygulandığında östenitik olan içyapılarının martenzitik yapıya geçişine demiryolu makasları örnek olarak gösterilebilir. Başlangıç sertliği 200 HB olan makaslara laboratuvar şartlarında %80 deformasyon sertleşmesi uygulandığında 550-600 HB sertlik değerleri elde edilmiştir. Şekil 3.2' de manganlı çeliğin darbe etkisi ile oluşan gerinim sertleşmesi gösterilmiştir (Süt, 1996)

Östenitik manganlı çeliklerin her zaman deformasyon sonucu gerinim sertleşmesine uğraması istenmez. Bunun nedeni etki eden kuvvetin maksimum gerinim sertleşmesine uğrayana kadar çeliği aşındırmasıdır (Kayadelen, 2018).



Şekil 3.2. Östenitik manganlı çeliğinin darbe etkisi ile oluşan gerinim sertleşmesi

3.1.1. Östenitik Manganlı Çeliklerin Aşınma Dayanımları

Malzemelerin sertliği arttıkça aşınma dirençleri genellikle artar fakat toklukları azalır. Manganlı çelikler ise su verilmiş durumda üretimden çıktıkları için tamamen östenitik yani sünek fakat sert olmayan bir yapı gösterirler. Çelik böylece deformasyon sonrası sertleşerek aşınmaya karşı oldukça dayanıklı bir yapıya

geçerken darbelere karşı da yüksek dayanım sergilerler ve tokluğunu kaybetmez. Subramanyam, başlangıçta 190 HB ortalama sertliğe sahip manganlı çeliğin %20' yi geçen bir deformasyona uğradığında gerinim sertliğinin 500HB' ye ulaştığını belirtmiştir.

Burada dikkat edilmesi gereken husus manganlı çelikler akma sınırını aşan yüklere maruz kaldığında sertleşir (Oğuz, 1985). Bu çeliklere işlem sırasında uygulanan deformasyonun şiddeti, çeliğin akma mukavemetini geçemez ve çeliğin sertleşmesi için yeteri kadar güçlü değilse, dayanıklılık gözle görülür şekilde azalabilir ve malzemeler aşınmaya uğrayabilirler (Turhan, 1994).

Ayrıca östenitik manganlı çelikler sürtünme şeklindeki aşınmalara karşı da uygun değildir. Sadece basma şeklindeki bölgesel darbelerin çeliği akma sınırına kadar etkilediği durumlar için bu çelikler kullanılır. Gerinim sertleşmesine uğramış sert tabaka zamanla aşınmasına rağmen devamlı olarak kendini yeniler (Lychagin vd, 2022).

3.1.2. Östenitik Manganlı Çeliklerin Kullanım Alanları

Östenitik manganlı çeliklerin kullanımındaki en önemli avantaj darbe esnasında malzemenin dış yüzeyinin sertleşirken yapısı gereği çekirdek kısmının sünekliliğini korumasıdır. Bu sayede malzeme darbe ve ani şoklar esnasında malzemenin yüksek aşınma dayanımının yanında yüksek tokluk gösterir (Tüfenk, 2012). Bu özel nitelikler hadfield çeliğinin birçok sektörde kullanılmasının önünü açmıştır.

Çeşitli çalışma ortamlarında darbeli aşınma veya metal-metal sürtünmesi söz konusu olunca kırılğan beyaz dökme demirlerin yerine östenitik manganlı çelikler tercih edilirler ve bu çelikler demir-çelik üretim tesislerinde, madencilik sektöründe darbe çekiçleri, konkasör çenesi ve konik kırıcı parçalarında, tank paletlerinde, kumlama kabinlerinde ve kurşungeçirmez başlıkların kullanıldığı askeri ekipmanlar gibi birçok alanda kullanılırlar.

Aşınmaya maruz makine parçalarının büyük çoğunluğunda, yüksek tokluğa sahip % 12 manganlı östenitik çelikler geniş ölçüde kullanılır. Demiryollarında özellikle aşınma ve yorulmaya karşı mukavemeti sayesinde yük vagonlarında, makas göbeklerinde, kruvazmanlar ve değiştirilebilir makas dillerinde de sıklıkla

kullanılmaktadırlar (Kocabekir, vd., 2013).Şekil 3.4'te manganlı çeliğin kullanıldığı bir öğütücü ve vagon bojisi görülmektedir.

Her ne kadar % 12 manganlı çelik bazı aşınma türlerine dayanım bakımından oldukça iyiyse de her zaman kullanılması önerilmez. Örneğin orta şiddette darbe ve yüksek zorlamanın bulunduğu ve abrazyona karşı dayanımın istendiği durumlarda çeliğin abrazyon mukavemetinden çok tokluğu önemlidir. Bu gibi durumlarda darbe aldıkça sertleşen bir çeliğin seçimi doğru görünse de tokluğun abrazyon mukavemetine feda edilmesi hususu iyi değerlendirilmelidir (Oğuz, 1985). Şekil 3.3'te östenitik manganlı çeliğin kullanıldığı bir öğütücü ve yük vagonu bojisi görülmektedir.



Şekil 3.3. Östenitik manganlı çeliklerin kullanıldığı vagon bojisi

3.1.3. Östenitik Manganlı Çeliklerin Kaynak Edilebilirliği

Östenitik manganlı çeliklerin kaynağı çoğu kez montajlı parçaların birleştirilmesinde veya onarım işleri için yapılır. Bu çeliklerin kaynağında da diğer birçok alaşımı çeliğin kaynağında karşılaşılan karbür çökmesi sorunu ile karşılaşılır. Bu nedenle kaynak işlemi oldukça dikkatli yapılmalıdır. Oksi-gaz kaynağı gevrekleşmeye neden olacağı için tercih edilmez. Elektrik ark kaynağı manganlı çelikler için tercih edilebilecek en iyi kaynak yöntemidir. Kaynak işleminde 450-500°C civarındaki kaynak bölgesinde östenit kristallerinin sınırlarında meydana gelen karbür çökmesine engel olmak için kaynak bölgesinin bileşimini tamamen östenitik hale getirecek östenitik – ferritik paslanmaz bazik elektrotlar veya bunların muadili gaz altı kaynak tellerinin kullanılması gerekir.

Östenitik yapıyı kolay oluşturmak ve soğuma esnasında çatlak oluşma eğilimini engellemek için kaynak elektrodunun bileşiminde yüksek oranda Ni ve düşük oranda C bulunmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca % 0.25'ten az P ve % 14 ' ten fazla mangan içermesi halinde iyi sonuç alınır (Oğuz,1985). Takriben % 3- 5 Ni, % 10-15 Mn ve % 0.60-0.80 C içerikli elektrod veya teller tercih edilebilir. Bazı uygulamalarda ise manganlı çeliklerin kaynağında 318 paslanmaz çelik elektrotların kullanılması zorunludur. Tablo 3.3' te östenitik manganlı çeliklerin kaynağında kullanılabilecek elektrotların türü ve kimyasal içeriği gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Östenitik manganlı çeliklerin kaynağında kullanılan elektrotlar (Tüfenk, 2012).

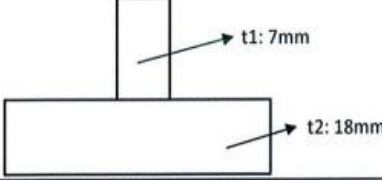
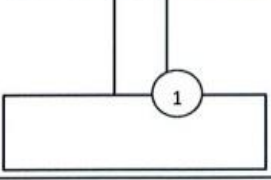
Tür	Kimyasal Kompozisyon								
	C	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Si	P	Fe
Mn-Si	0.5-0.9	11-16	3-6	0.5	...	...	1.3	0.03	Diğer
Mn-Ni-Cr	0.6-0.85	14-17	2-4	2.5-4.0	...	...	0.2-0.7	0.02	Diğer
Mn-Mo	0.5-0.9	11-16	...	0.5	0.6-1.4	...	0.3-1.3	0.03	Diğer
Mn-Cr	0.3-0.6	14-15	1.0	14-15	0.3-1.7	0-0.6	0.2-0.5	...	Diğer
Cr-Ni-Mn	0.5	4.5	10	20	1.4	...	0.6	...	Diğer

Östenitik manganlı çeliklerde oluşan karbür çökmesi nedeniyle içyapı değişikliği meydana geldiğinden her ne kadar karbon eşdeğerleri yüksek olsa da bu çeliklerin kaynağında ön tavlama tavsiye edilmez çatlama riskini azaltmak için yapılacak ise de düşük sıcaklıklarda yapılması önerilir. Bu çeliklerin kaynağında kaynak bölgesinin gevrekleşmesini ve karbür çökmesini önlemek için ana malzemenin sıcaklığının olabildiği kadar düşük tutulması ve 300 °C'yi geçmemesi de istenilir (Okechukwu, 2017). Bunun için küçük çaplı elektrod kullanımı, düşük amperlerde kaynak işlemi, çok pasolu kaynak yapılmaması, kısa kaynak dikişleri ve parçaların her kaynak dikişinden sonra su ile soğutulması gereklidir. Çok pasolu kaynaklarda ise pasolar arası çatlama riskini azaltmak için kaynak dikişlerinin dövülmesi tavsiye edilir. Kaynak esnasında tavsiye olunan elektrik akımı Tablo3.4' te verilmiştir.

Tablo 3.4. Manganlı çeliklerin kaynağında tavsiye edilen elektrik akımı

Elektrod Çapı (mm)	Çıplak Elektrod (Amper)	Örtülü Elektrod (Amper)
3	50-70	50-70
4	70-100	70-100
5	100-140	100-140
6	140-175	140-175

Kaynak yöntemi olarak genellikle ark kaynağı tercih edilmekle birlikte gaz altı kaynağı da kullanılabilir. Ayrıca östenitik manganlı çelikler anti manyetik olduğu için kaynaklı birleştirmelere manyetik test yapılamaz. Şekil 3.4’ te X120Mn12 çeliğine ait örnek bir WPS verilmiştir.

TEST PARÇASI KAYNAĞININ KAYDI									
RECORD OF WELD TEST									
Yer : Location	SIVAS			Kaynak Ağızı Hazırlığı : Weld Preparation Details (Sketch *)	Makine / Machine				
pWPS No :	pWPS-079			Hazırlama ve Temizleme Metodu : Method of Preparation and Cleaning	Taşlama / Grinding				
WPQR No :	TÜDEMSAŞ-PQR-079			Ana Malzeme Spesifikasyonu : Parent Material Designation	X120Mn12 + S355J2N				
İmalatçı : Manufacturer	TÜRKİYE DEMİRYOLU MAKİNALARI SANAYİİ A.Ş.			Malzeme Kalınlığı (mm) : Material Thickness	t1: 7mm - t2: 18mm				
Kaynak Yöntemi : Welding Process	135 (MAG)			Boru Dış Çapı (mm) : Outside Diameter	N/A				
Birleştirme Tipi : Joint Type	Köşe Kaynağı / Fillet Weld (FW)			Kaynak Pozisyonu : Welding Position	PB				
Metal Geçiş Tipi : Mode of Metal Transfer	Sprey Ark / Spray Arc			Kaynakçı Adı : Welder's Name	-				
Birleştirme Tasarımı / Joint Design					Kaynak Sırası / Welding Sequences				
									
Kaynak Detayları / Welding Details									
Paso Run	Yöntem Process	Dolgu Metali Sınıf/Class Dia - Ø		Akım / Current Polarity Amper/Amps		Gerilim Volts	Tel Sürme Hızı Wire Feed Speed	Kaynak Hızı * Travel Speed	Isı Girdisi * Heat Input
1	135	SG 307	1,20	DCEP	190-230	24-27	8 m/dk	3,7 mm/s	0,98-1,34

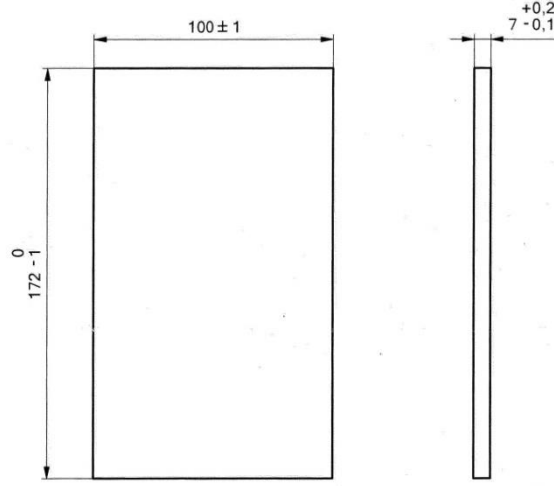
Şekil 3.4. X120Mn12 ve S355J2+N çeliğinin kaynağına ait örnek WPS

3.1.4. Östenitik Manganlı Çeliklerin İşlenebilme Özellikleri

Östenitik manganlı çeliklerin işlenmesi ve şekillendirilmesi içeriğindeki mangan oranının yüksekliği ve yapısındaki östenitik fazın darbe halinde veya soğuk işleme yöntemleri ile işlenmesi durumunda martenzite dönüşmesi nedeniyle oldukça güçtür. Şöyle ki küçük bir talaş kaldırma veya testere ile kesme işleminde dahi sertliği hızla yükselmekte ve daha fazla işlemeyi imkânsız hale getirmektedir. Richardson isimli bir araştırmacı %13 mangan oranına sahip çeliği matkapla delmesi sırasında matkabın belirli bir derinliğe kadar ulaştıktan sonra matkabın ilerlemediğini gözlemlemiştir. Bunun sonucunda delik tabanında yaptığı sertlik ölçümünde malzemenin sertliğinin 775 HB değerine ulaştığı tespit etmiştir.(Kayadelen, 2018).

Bu nedenle üretimde talaşlı imalat yerine daha çok ürünün nihai şekline göre yapılan döküm yöntemi tercih edilebilir. Döküm olarak imal edilmeleri ise yüksek

sıcaklık kontrolünün iyi sağlanamaması nedeniyle malzemenin kullanımı esnasında kırılmasına sebep olmaktadır. Bu çeliklerin talaşlı imalatı zor olduğundan dar toleranslı işlemeye uygun değildir. Bu nedenle yuvarlatılmış köşeler elde etmek oldukça güçtür. Bunun için tasarımda keskin köşeler tercih edilir. Şekil 3.5’ te örnek bir östenitik manganlı çelik teknik resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Örnek östenitik manganlı plaka teknik resmi

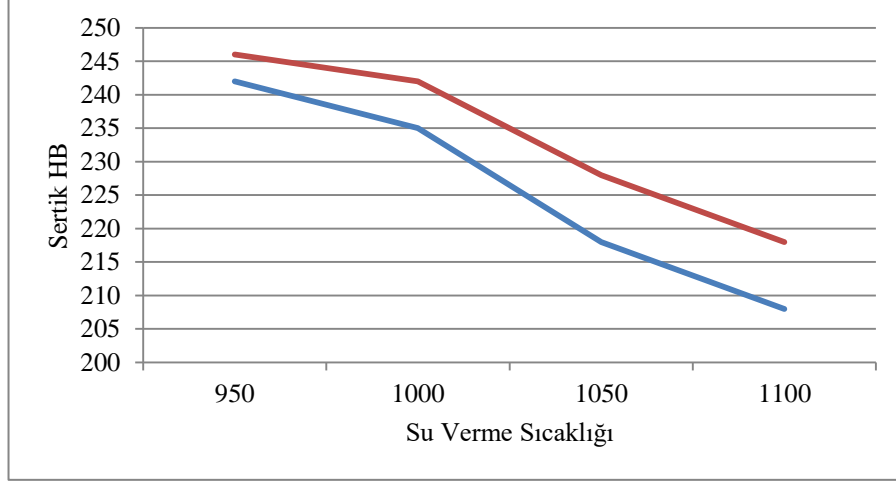
Östenitik manganlı çeliklerin talaşlı imalatı sırasında düşük hızlarda (9-12 m/dk) işlenmesi önerilir. Kobalt içeren yüksek hız takım çelikleri veya çökelmiş karbür ve seramik ilaveler içeren takımlar işlemede kullanılabilir. Matkapla delmek gerekiyorsa yine düşük hızlarda ve sert karbür uçlarla malzeme üzerinde sürtünme olmadan delinmelidir. Yüzey taşlama işlemlerinde kesme sıvısı kullanımı tavsiye edilir (Tüfenk, 2012). Tablo 3.5’ te östenitik manganlı çeliklerin tormalanmasında kullanılacak takımlar gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Östenitik manganlı çeliklerin tormalama işleminde kullanılacak takımlar

Karbit Uçlu (Sert Metal) Takımlarla Tormalama			
Kesme derinliği	1 mm	1-4 mm	4-8 mm
Besleme hızı	0.1 mm/dev	0.1-0.3 mm/dev	0.3-0.5 mm/dev
BÖHLERİT derecesi	HB10S	HB10S	EB10,EB20
ISO kalitesi	K10	K10	M10,M20
Kesme hızı (TUK)	70-50 m/dk	60-40 m/dk	45-25 m/dk
Kesme hızı (LKUT)	60-45 m/dk	50-35 m/dk	40-20 m/dk
Kesme açısı (LKUT)	6-8°	6-8°	6-8°

Bu çelikler plazma ile kesilebilir ancak iyi bir yüzey kalitesi isteniyorsa lazer kesim yapılmalıdır. Alevle kesmekte mümkündür ancak iyi bir yüzey kalitesi

yakalamak zordur. Ayrıca kesilen kenarlar yeniden kesilmemelidir. Bükme işlemlerinde ise darbe göstermeyen yüksek keskinlikte bıçaklara sahip makineler kullanılmalıdır. Östenitik manganlı çelikler ısıtma esnasında içyapı değişimine uğramazlar bu nedenle standart çeliklere verilen su verme işlemi Şekil 3.6’ da görüldüğü gibi bu çeliklerin yumuşamasına ve çekme mukavemetinin artmasına neden olur (Lychagin vd, 2022).



Şekil 3.6. Su verme sıcaklığına bağlı olarak sertlik ilişkisi (Turhan, 1994)

Bu çelikler hızlı soğuma ile sertleşmezler. Manganlı çeliklerin sertliklerinin soğuk işleme kasıtlı olarak artırılması için çelik üzerinde bir patlayıcının patlaması gerekir. Örneğin çelik bilyelerle yapılan kumlama ile yüzey sertliğinde büyük bir artış sağlanabilir. Bu durumda martenzit oluşumunda hacim artışına neden olur (Turhan, 1994).

3.1.5. Yük Vagonu İmalatında Kullanılan Östenitik Manganlı Aşınma Plakaları

Yük vagonlarında kullanılacak aşınma plakaları UIC 893 no.lu standartta belirtilmiş ve sağlaması gereken teknik özellikler açıklanmıştır. Atıfta bulunulan standartta belirtilen özellikler doğrultusunda yük vagonu imalatında aşınma plakası amacıyla kullanılan östenitik manganlı çelik türü X120Mn12 çeliğidir.

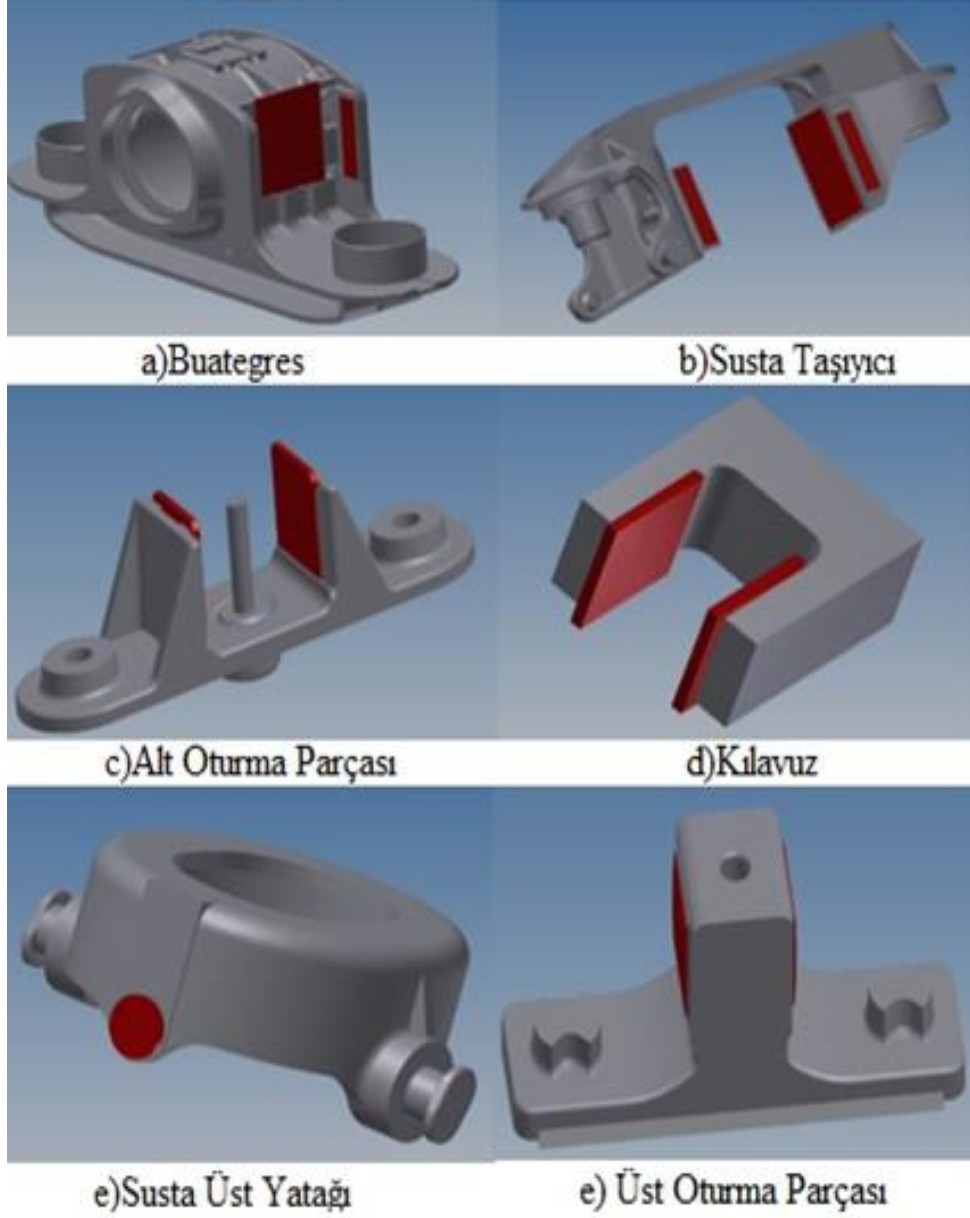


Şekil 3.7. UIC 893-0 no.lu standart

Bu çelikten imal edilen plakalar vagonlarda özellikle temas halinde olup, darbe alan, yağlama zorluğu ile karşılaşılan ve metal-metal sürtünmesine maruz adhezif aşınmanın etkili olduğu parçalarda kullanılır. Şekil 3.8 ve 3.9' da yük vagonlarında kullanılan manganlı aşınma plakaları ve kaynak edildikleri parçalar görülmektedir.



Şekil 3.8. Yük vagonlarında kullanılan manganlı çelik aşınma plakaları



Şekil 3.9. X120Mn12 çeliğinin kullanıldığı bazı yük vagonu parçaları

Bu plakaların kullanılmasındaki amaç metal-metal sürtünmesinin neden olduğu aşınmadan genellikle çelik döküm olan ana parçayı korumaktır. Kullanılan plakalar darbe aldıkça sertleşirler. Sertleşen tabaka zamanla aşınmaya daha dirençli hale gelir ve yağlanma etkisiyle de aşınma direnci artar. Ayrıca östenitik manganlı çelikler süneklikten kaynaklı tokluğu sayesinde gelen darbelerin sönmülmesini de sağlar. Tablo 3.6,3.7 ve 3.8’ de UIC 893’te belirtilen manganlı aşınma plakalarının özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.6. UIC 893' e göre aşınma plakalarının kimyasal kompozisyonları

Kategori	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
C-E	1-1.5	≤ 0.50	11-14	≤0.05	≤0.10

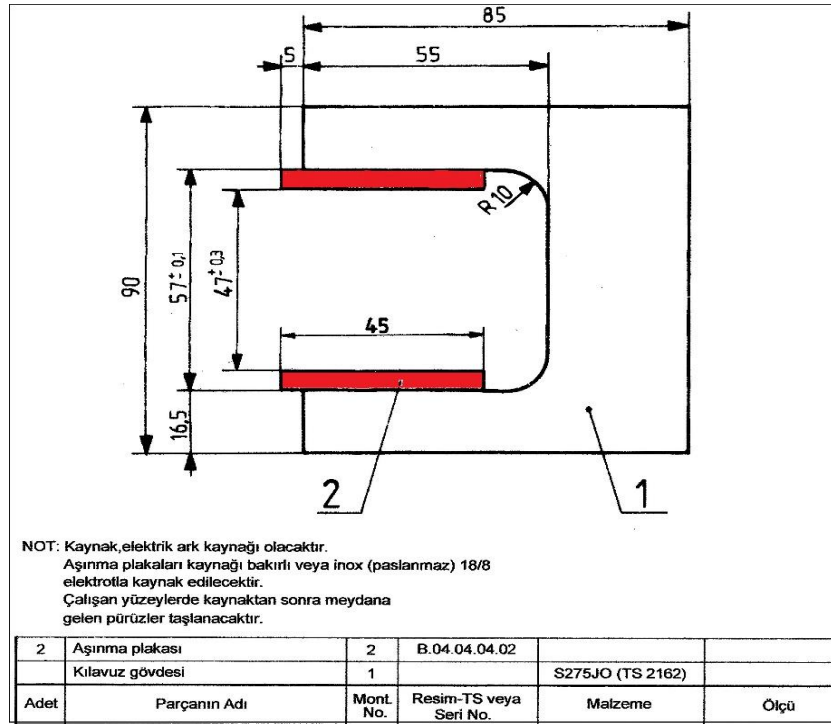
Tablo 3.7. UIC 893' e göre aşınma plakalarının sertlik değerleri

Kategori	Vickers Sertliği	Rockwell C Sertliği
C	≤ 260 HV	≤ 25 HRc
E	315≤HV≤ 390	32≤HRc≤ 40

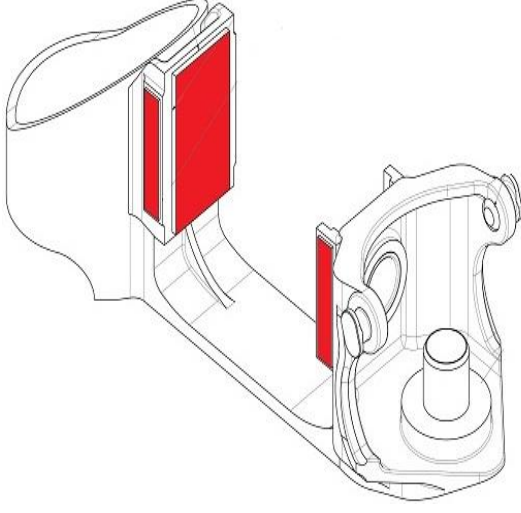
Tablo 3.8. X120Mn12 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Elementler	C	Si	Mn	P(max)	S(max)	Cr(max)	Ni	Mo
% Ağırlık	1.1-1.3	0.3-0.5	12-13	0.100	0.040	1.50	-	-

Aşınma plakaları korunması istenilen ana parçaya TS EN 15085-2 standardına uygun olarak elektrik ark kaynağı ile Inox 18/8 kalite östenitik bazik elektrodlar ile kaynak edilirler. Şekil 3.10' da manganlı plakaların kılavuz parçasına, Şekil 3.11' de ise susta taşıyıcıya kaynağına dair teknik resim gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Manganlı plakanın kılavuz parçasına kaynağı

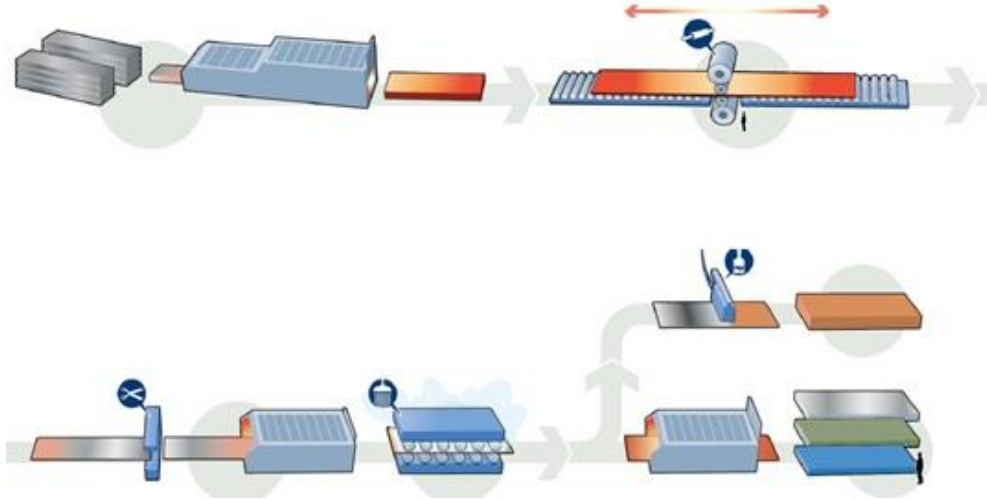


Şekil 3.11. Susta taşıyıcıyı üzerine kaynak edilen manganlı aşınma plakaları

3.2. Hardox Çelikleri ve Özellikleri

Hardox çelikleri İsveçli SSAB firması tarafından geliştirilmiş olan çelik türüdür. 1970 yılında ilk defa piyasaya sürülmüş olup o zamandan beri değişik ihtiyaçları karşılayacak şekilde sürekli geliştirilmişlerdir.

Bu çelikler saf olarak kullanılan demir cevherine çeliği ince taneli hale getiren bor, molibden, niyobyum ve titanyum gibi elementler katılarak üretilirler ve su verme ve menevişleme işlemlerine tabi tutulurlar. Bu süreç sonucunda çelik katılan elementlerin etkisiyle ince taneli hale geçerken mukavemeti ve tokluğu artar su verme ve menevişleme işlemi ile de yüksek sertlik kazanır ve aşınma dayanımı artmış olur. Ayrıca saf olarak kullanılan demir cevheri ve alaşım elementlerinin düşük tutulması kolay işlenebilirlik ve kaynak edilebilme özelliklerini yanında getirir (Emre, 2019). Şekil 3.12’de Hardox çeliklerinin üretim aşamaları görülmektedir.



Şekil 3.12. Hardox çeliklerinin üretim aşamaları

Hardoxlar kullanılmaya başladığı günden bugüne kadar değişik ihtiyaçlara cevap verecek şekilde Hardox 400, Hardox 450, Hardox 500, Hardox 550, Hardox 600 ve Hardox HiTuf olmak üzere 6 farklı çeşitte üretilmişleridir. Hardox çeliklerinin isimlendirilmesinde kullanılan rakamlar malzemenin Brinell sertlik değerini belirtmektedir. Yani Hardox 550, 550 HB sertliğe sahip çeliği ifade etmektedir. Şekil 3.13’te Hardox 400 ve 500 kalite sac plakalar görülmektedir. Tablo 3.9 ve 3.10’da Hardox çeliklerinin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.13. Hardox 400 ve 500 levhaları

Tablo 3.9. Hardox çeliklerinin kimyasal kompozisyonu

Tür	Kimyasal Kompozisyon (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Hardox 400	0.15	0.7	1.6	0.025	0.01	0.5	0.25	0.25	0.004
Hardox 450	0.19	0.7	1.6	0.025	0.01	0.5	0.25	0.60	0.004
Hardox 500	0.30	0.7	1.6	0.025	0.01	1.0	0.50	0.60	0.004

Tablo 3.10. Hardox çeliklerinin mekanik özellikleri

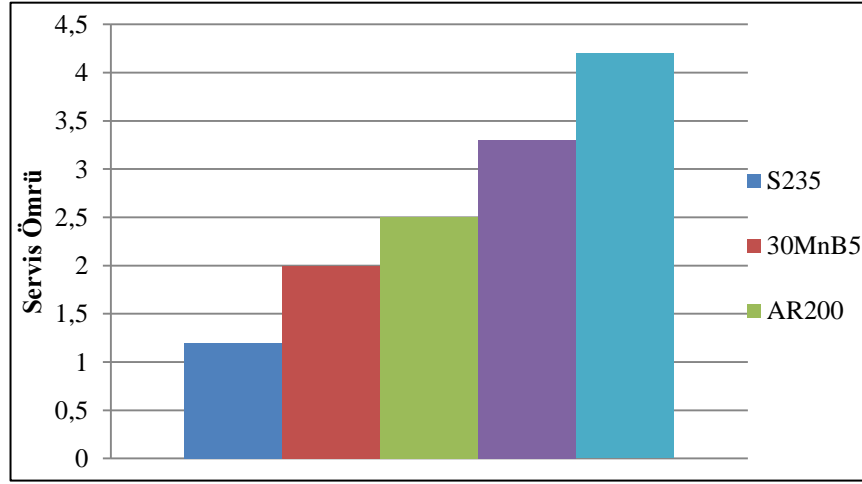
Tür	Sertlik (HBW)	Akma Mukavemeti (N/mm ²)	Çekme Mukavemeti (N/mm ²)	Uzama (%)
Hardox 400	370-430	1000	1250	10
Hardox 450	425-475	1200	1400	10
Hardox 500	470-530	1300	1550	10

3.2.1. Hardox Çeliklerinin Aşınma Dayanımları

Endüstride karşılaşılan aşınma problemlerine karşı çelik üreticileri tarafından birçok yeni malzemeler geliştirilmiştir. Hardox çelikleri de bu tür malzemelerden biridir ve özellikle abrasif aşınma direncine ihtiyaç duyulan tüm uygulamalara en üst düzeyde cevap verebilen su verilmiş ve haddelenmiş bir aşınma levhasıdır (Yılmaz, vd., 2012). Homojen dağılımlı yüksek sertlikleri ile sahip oldukları yüksek mukavemet ve tokluk bu çelikleri aşınmaya dayanım konusunda ön plana çıkarmaktadır. Hardox çeliklerine aşınma direncini kazandıran temel özellik sertlikleridir. Sahip oldukları bu yüksek sertliği martenzitik içyapıya sahip olmaları ile kazanırlar. Hardox' un sertliği kullanım ömrünün sonuna kadar aynı kaldığından

aşınma dayanımı da malzeme tükenene kadar devam eder. Ayrıca Hardoxların sertliklerinin yüksek olması yapının deforme olmaksızın şeklinin aynı kalmasını sağlayan mükemmel akma ve çekme dayanımına sahip olması anlamına da gelir (Emre, 2019).

Bu özelliklerinden ötürü Hardox tipi çelikler piyasada bulunan bazı yüksek dayanımlı çeliklere göre aşınmaya karşı en az 5 kat daha uzun ömürlüdür (Topal, 2017).



Şekil 3.14. Hardox 450'nin diğer çeliklere oranla hizmet ömrü

SSAB'nin tambur aşınma testinden elde edilen sonuçlar, Şekil 3.15'te görüldüğü üzere Hardox 450 aşınma plakasının, S235 yumuşak çelik ile kıyaslandığında 4,2 kat daha uzun bir çalışma ömrü sağladığını gösteriyor (SSAB, 2015)

3.2.2. Hardox Çeliklerinin Kullanım Alanları

Hardox çelikleri Türkiye'de hitap ettiği pazarın büyüklüğü nedeniyle yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Hardox çelikleri diğer yüksek mukavemetli çeliklere nazaran 4-5 kat daha sert olmasına rağmen kaynak edilebilirliğinin ve işlenebilirliği özelliğinin iyi olması bu çeliklerle çalışmayı kolaylaştırmış ve kullanım alanını artırmıştır.

Hardoxlar özellikle abrasif aşınma sorunu ile karşılaşan uygulamalarda ilk tercih olarak kullanılmaktadır. Bu çelikler, iç gerilme, yorulma, sürtünme ve korozyonla oluşan malzeme kayıplarını minimum seviyeye indirerek zorlu koşullarda çalışan parçaların çalışma ömürlerinde artış sağlar (Milos, vd., 2013).

Bu çelikler ağır aşınma koşullarına dayanacak şekilde geliştirilmiştir ve yüksek aşınma direnci gereksinimi olan uygulamalarda (kamyon damperleri, ekskavatör kepçeleri, kırıcılar ve benzeri ekipmanlarda) darbe dayanımlarının yüksek olması sebebiyle sıklıkla tercih edilir. Örneğin Hardox 450 tipi çelik, kepçe ve damperli kamyon kasası imalinde yaygın olarak kullanılır. Ayrıca tokluklarının yüksekliği, rahat bükülebilme ve rahat kaynak edilebilmeleri sayesinde bu çelikler yük taşıyıcı görevlerde de rahatlıkla kullanılabilir ve normal çeliklere kıyasla ürün ağırlığını azaltır ve çelik yapının hizmet ömrünü de uzatır. Şekil 3.14'te Hardox çeliğinden imal edilmiş kamyon damperi ve kepçe görülmektedir.



Şekil 3.15. Hardox çeliğinden imal edilmiş kamyon damperi ve kepçe

Tablo 3.11. Hardox çeliklerinin kullanıma uygun özellikleri (Emre, 2019)

Ürün Özellikleri	Ürün Adı	Sertlik (HBW)	Darbe Tokluğu	Kalınlık (mm)
Yüksek tokluk ve gerektiren uygulamalar için kalın aşınma plakası	Hardox 400	350	85-50	40-160
Yüksek tokluğa iyi bükülebilirliğe ve mükemmel kaynaklanabilme özelliğine sahip çok yönlü aşınma plakaları	Hardox 450	400-450	45-50	4-160
Yüksek aşınma direnci gerektiren uygulamalarda kullanılabilen sert ve bükülüp kaynaklanabilen plakalar	Hardox 550	500-550	37-30	4-80
Sertlik ve aşınma direnci en üst düzeyde olduğunda	Hardox 600	600-700	20-15	8-50

3.2.3. Hardox Çeliklerinin Kaynak Edilebilirliği

Hardox çeliklerinin tüm kalitelerinde alaşım elementlerinin oranı düşük tutulmuştur. Bu yönüyle Hardox çelikleri yapı çeliği sınıfında değerlendirilirler.

Hardoxların kimyasal kompozisyonunda alaşım elementlerinin düşük olması nedeniyle karbon eş değerleri (CEV) düşüktür. Şekil 3.16’da Hardox 550 çeliğinin plaka kalınlığına göre belirtilen karbon eşdeğerleri verilmiştir. Ürün kalınlığına göre yaklaşık 0.38 ile 0.75 arasında değişir ve karbon eş değeri düşük bir çelik yüksek olana oranla daha iyi kaynak edilir. Bu özellik sayesinde Hardox çelikleri standart düşük alaşımlı yapı çelikleri gibi kolaylıkla ve geleneksel ergitme kaynağı yöntemleri ile gerek kendi aralarında gerekse diğer kalite çeliklerle rahatlıkla kaynak edilebilirler (Topal, 2017). Tablo 3.12’de parça kalınlıklarına göre Hardox çeliklerinin karbon eşdeğeri verilmiştir.

Tablo 3.12. Hardox 550 çeliğinin karbon eşdeğeri (Emre, 2019)

Kalınlık (mm)	2.0-6.5	4.0-13.0	13.1-19.9	20.0-39.9	40.0-103.0
Max.CET(CEV)	0.38 (0.49)	0.38 (0.53)	0.43 (0.64)	0.45 (0.66)	0.47 (0.75)
Tip.CET(CEV)	0.33 (0.45)	0.37 (0.51)	0.41 (0.63)	0.41 (0.63)	0.43 (0.72)

Hardox çeliklerinin yüksek sertliği kaynak esnasında çatlama eğilimini akıllara getirirse de bu çelikler alaşım elementleri ile değil su verilerek yüksek sertliğe ulaştığı için çatlama eğilimi de en aza indirilmiştir.

Hardoxların kaynağında yüksek mukavemetli dolgu metali sağlayan elektrod ve teller yerine akma mukavemeti 500 N/mm² ‘yi geçmeyen düşük mukavemetli sarf malzeme kullanılması önerilir. Özellikle köşe kaynaklarında bu uygulamanın yapılması kaynak metalinin tokluğunun ve sünekliliğinin artması ve kırılmaya karşı hassasiyetin azalması için önemlidir.

Hardox çelikleri östenitik çelik elektrodlar, masif ve özlü teller, düşük mukavemetli çeliklerin kaynağında kullanılan piyasada SG2 (G3Si1) ve SG3 (G4Si1) türü gazaltı kaynak telleri Hardoxların kaynağında da rahatlıkla kullanılabilir ve geleneksel tüm kaynak yöntemleri ile kaynak edilebilirler. Düşük mukavemetli tel ve elektrotların seçimi ile uygun bir ön ısıtma sıcaklığı hidrojen çatlağı riskini azalttığı için özellikle tavsiye edilmektedir.

Eğer kaynak işleminde elektrod kullanılmak istenirse yumuşak bazik elektrotlar kullanılabilir. Bu tip elektrotlar bağlantıdaki kalıcı gerilme seviyesini, dolayısıyla da soğuk çatlama hassasiyetini azaltırlar. Örtülü elektrot kullanımı söz konusu ise bu durumda elektrodun hidrojen içeriğine dikkat edilmeli ve hidrojen içeriği 5ml/100 gr'dan daha düşük olanlar tercih edilmelidir. Korozyon dayanımı istenilen veya aşınmanın söz konusu olduğu durumlarda ise paslanmaz veya sert dolgu elektrodları ile de kaynak yapılabilir. Elektrod üreticisi tarafından belirtilen bir fırınlama ve saklama talimatı varsa bu talimatların da yerine getirilmesi gerekmektedir. Tablo 3.13'te Hardox çeliklerinin kaynağında tercih edilebilecek kaynak yöntemi ve kaynak dolgu metalleri gösterilmiştir.

Tablo 3.13. Hardox çeliklerinin kaynağında tercih edilebilecek kaynak yöntemi ve dolgu metalleri

Kaynak Yöntemi	MMA	SAW	MAG	TIG
Dolgu Metalleri	EN ISO 2560 (-A)E 46X EN ISO 2560 (-A)E 46X	EN 756 S46X EN 756 S42X	EN ISO 14341(-A) G46X EN ISO 16834(-A) T46X EN ISO 14341(-A) G42X	EN ISO 636(-A) W46X EN ISO 636(-A) W42X

Diğer düşük mukavemetli çeliklerin de kaynağında olduğu gibi kalın malzemelerde ve Hardox' un yüksek sertlikte olan kalitelerinde ön ısıtma uygulanması tavsiye edilmektedir.

Tablo 3.14. Hardox çelikleri için önerilen minimum ön ısıtma sıcaklıkları

Plaka Kalınlığı (mm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	120	130
Hardox Hi Tuf					100°C			125°C			
Hardox 400		75 °C				175°C			200°C		
Hardox 450			125°C			150°C					
Hardox 500		175°C				200°C					
Hardox 550		175°C				200°C					
Hardox 600			100°C								

Tablo 3.14'ten kaynak yapılacak parçanın kalınlığı ve Hardox türü seçilerek uygun ön ısıtma sıcaklığı bulunarak uygulanmalıdır. Fakat farklı kalınlıkta ve farklı türde Hardox plakalar birbirlerine kaynak yapılacaksa tabloda belirtilen en yüksek ön

ısıtma sıcaklığı uygulanmalıdır. Ön ısıtma kaynak bölgesinden en az 75 mm mesafeye kadar uygulanmalıdır. Ön ısıtma yapılması ön görülen fakat çeşitli nedenlerden dolayı ön ısıtma yapılması mümkün olmayan Hardox kalitelerinin kaynağında AWS 307 veya AWS 309 kalite östenitik paslanmaz çelik elektrotlar veya kaynak telleri kullanılabilir.

Gazaltı kaynağı uygulamalarında koruyucu gaz olarak düşük mukavemetli çeliklerin kaynağında da kullanılan koruyucu gazlar tercih edilebilir. Örneğin kararlı bir ark ve nüfuziyetli bir kaynak için %18-20 arasında CO₂ ve yaklaşık %80 Ar içeren koruyucu gaz kullanılabilir.

3.2.4. Hardox Çeliklerinin İşlenebilme Özellikleri

Hardox çelikleri oksijen, plazma ve lazer gibi tüm termal kesme yöntemleri ile kesilebildiği gibi su jeti, testere ya da aşındırıcı taşlama gibi soğuk kesme yöntemleri ile de kesilmeye uygun çeliklerdir. Fakat kalın Hardox levhaları kesilirken kesme kenarlarında çatlak oluşturma riski olduğu için dikkat edilmesi gerekir (Metlioğlu, 2012). Şekil 3.19'da plazma yöntemiyle kesilen bir Hardox 450 kalite sac görülmektedir.



Şekil 3.16. Hardox 450 plazma kesim işlemi

Hardox çeliklerinin sertliği fazla olduğu için özellikle levha kalınlığı artığında kesme kenarı çatlama oluşabilir. Bu çatlaklar hidrojen çatlağı ile yakından ilişkilidir ve kesme işleminden 48 saat ile 1 hafta içerisinde görülebilir. Bu riski ortadan kaldırmanın en iyi yolu ön ısıtmadır. Diğer bir yolu da ön ısıtmadan daha az güvenilir olan düşük bir kesme hızı kullanmaktır. Eğer ön ısıtma yapılmıyorsa parça

kalınlığına bağılı olarak Tablo 3.14’ te izin verilen maksimum kesme devirleri kullanılır.

Tablo 3.15. Hardox çelikleri için önerilen maksimum kesme devirleri (mm/dk)

Plaka Kalınlığı	<15	<20	<25	<30	<35	<40	<45	<50	<60	<70	<80
Hardox 400							230	210	200	190	180
Hardox 450						230	200	180	170	160	150
Hardox 500			300	250	230	200	170	150	140	130	
Hardox 550			270	230	190	160	140	130			
Hardox 600	300	200	180	150	140	130	120	110			

Hardox çelikleri Şekil 3.21’ de görülen sinterlenmiş karbür veya yüksek hız çeliklerinden imal edilmiş takımlarla delinebilen yine farklı kalitelerde özel takımlarla işlenebilen çelik kaliteleridir. Hangi tip takım kullanılması gerektiğini mevcut tezgâh ve onun stabilitesi belirler. Fakat hangi tip tezgâh olursa olsun, önemli olan titreşimleri en aza indirmektir (Metlioğlu, 2012).



Şekil 3.17. Yüksek hız ve sinterlenmiş karbür takımlar

3.2.5 Hardox 550 ve Özellikleri

Çelikler tarihte kullanılmaya başlandığında beri daha sert ve daha tok nasıl olacağı araştırılmıştır. Hardox 550 ise bu araştırmaya verilebilecek en iyi örneklerden biridir. Bu çelik türü aşınmaya karşı yüksek direnç gerektiren uygulamalar için geliştirilmiş su verilmiş ve temperlenmiş martenzitik bir çeliktir ve 550 HB düzeyindeki sertliğiyle iyi bir aşınma plakasıdır (SSAB, 2015).Tablo 3.12’ de Hardox 550 çeliğinin kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

Tablo 3.16. Hardox 550'nin kimyasal kompozisyonu

Elementler	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
% Ağırlık	0.37	0.50	1.30	0.020	0.010	1.40	1.40	0.60	0.004

Darbeli aşınma durumlarında manganlı çeliklerin aşınma ömürleri ile rekabet edebilecek çelik türü çok azdır. Örneğin %12 mangan içeren hadfield çeliği ile aynı aşınma direncine ulaşılabilmesi için 500 HB den daha sert, daha kolay kaynaklanabilir ve işlenebilir bir çeliğe ihtiyaç vardır. Hardox 550 bu açıdan manganlı çeliklere tam bir alternatiftir.

Manganlı çelikler ekstrem darbe aşınmasına maruz kaldığı durumlarda nadiren 550 HB sertliğe ulaşır. Kayma aşınmasında ise genellikle orta düzey 400–450 HB sertlikte kalırlar. Hardox 550 ise aşınmanın türü ne olursa olsun her zaman 550 HB sertliği verir. Hardox 550'nin bu tutarlı sertliği sayesinde parçaların aşınma ömrü daha rahat tespit edilebilir. Hardox 550 sadece +/- 25 HB sertlik değişimine sahiptir bu yönüyle aşınma plakası olarak kullanılacak diğer çeliklere nazaran daha homojen bir sertlik dağılımı sergiler (SSAB, 2015).

Ayrıca yüksek şekil kararlılığı sayesinde Hardox 550 herhangi bir çentiklenme, genişleme veya çarpılma olmadan zorlu aşınma şartlarına dayanır. Bu da aşınma parçalarının kullanım sırasında bozulmadan daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Hardox 550'nin aşınma ömrü sertlik artışından ötürü oluşabilecek çatlak riski yükseltilmeden tasarlanmıştır. Özellikle yüksek aşınmaya maruz kalan kesiciler, öğütücüler, doğrayıcılar, elekler ve hafriyat araçlarında gerek kaplama malzemesi gerekse direkt olarak kullanılabilir.

Hardox 550'nin aşınma dayanımı sertliğinin yüksek olmasından ötürü kendinden daha düşük sertlikteki Hardox çeliklerinden daha iyidir. İşleme ve kaynak edilebilirlik özellikleri ise diğer Hardox türleri ile hemen hemen aynıdır.

Hardox 550 tüm termal ve soğuk kesme yöntemleri ile kesilebilir. Eğer kesilen tabaka kalınlığı 20 mm'den fazla olursa 100- 150 °C lik bir ön ısıtma yapılması tavsiye edilir. Ayrıca kaynak etme ve kesim işlemleri ağır bir duman yayımı olmadan yapıldığından Hardox 550 manganlı çeliklere nazaran daha sağlıklı bir iş ortamı sağlar.

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırıldığında X120Mn12 ve Hardox çeliklerinin aşınma davranışlarının incelenmesi ile ilgili çeşitli akademik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar östenitik manganlı çelikler için bu çeliklerin aşınma dayanımlarının ısıt işlemler sonrası değişimi veya kaplama gibi yöntemlerle iyileştirilmesi ağırlıklı iken Hardox çelikleri içinse farklı kullanım alanlarında aşınma davranışlarının ve diğer mekanik özelliklerinin incelenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu doğrultuda;

Turhan, (1994) yüksek manganlı östenitik çeliklerin darbeye sertleşebilme niteliğini ele alarak % 1,2 C, % 14,5 Mn, % 0,53 Si bileşimine sahip çelik ile % 1,3 C, % 16,5 Mn, % 0,60 Si bileşimine sahip çeliklerin darbe ile sertleşebilme kapasitelerini mukayese etmiştir. Hazırlanmış olduğu deney düzeneği ile belirtilen 2 çelik türüne deformasyon uygulamış ve ortaya çıkan verilerden belirli bir darbe sayısına kadar sertliğin gerçekleştiğini fakat bir noktadan sonra sertleşmenin durduğunu tespit etmiştir. Deney sonucunda deformasyon sertleşmesinin % 16,5 Mn içeren çelikte daha iyi olduğunu gözlemlemiştir.

Süt, (1996) araştırmasında maden sektöründe kullanılan manganlı çelikten imal edilen çeneli kırıcıların aşınma parametrelerini belirlemeye çalışmıştır. Yaptığı çalışma sonucunda % 1,15 C, % 12 Mn, % 0,56 Si içeren çeliğin aşınma dayanımının % 2,2 C, % 15,65 Cr, % 0,67 Si içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirden daha iyi olduğunu tespit etmiştir.

Yıldırım, (1999) çalışmasında kullandığı östenitik manganlı çeliğin kimyasal kompozisyonunu değiştirerek karbür yapıcı elementlerden biri olan titanyumun etkisini incelemiştir. Bu amaçla % 1,1 C, % 10,73 Mn, % 0,678 Si içeren çeliğe ağırlıkça % 1 Ti ekleyerek çeliğin deformasyon sertleşmesi ve ısıt işlem parametrelerinin aşınma dayanımına olan etkisini araştırmıştır. Çeliğe Titanyum eklemenin aşınma dayanımı üzerinde olumlu etkileri olduğunu gözlemlemiştir.

Tüfenk, (2012) farklı kimyasal içeriğe sahip östenitik manganlı çeliklere uygulanan ısıt işlemlerin çeliğin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Yüksek manganlı östenitik çeliklere vanadyum ve molibden ilave ederek elde ettiği yeni yapıların sertlik ve aşınma dayanımındaki değişimleri incelemiştir. Yapmış olduğu deneyler sonucunda yüksek manganlı östenitik çeliğe ilave edilen elementlerin çeliğin sertliğini ve aşınma direncini artırdığını gözlemlemiştir. Ayrıca

darbe direnci deneylerinde vanadyum eklenmiş numunenin, sertlik ve aşınma direncinin molibden katkılı numuneninkinden daha iyi olduğu sonucuna varmıştır.

Yılmaz vd., (2012) çalışmalarında, Hardox 500 çeliğinin abrasif aşınma davranışını incelemiş olup malzemenin aşınma direncinin düşük kayma hızlarında daha iyi olduğu sonucuna varmıştır.

Kocabekir vd., (2013) çalışmalarında demiryolu sistemlerinde kullanılan hadfield çeliğinin aşınma davranışını araştırmış, X120Mn12 kalite östenitik manganlı dökme çeliklerin mikro yapı ve aşınma davranışına ısıl işlemin etkisini incelemiştir. Malzemeye 950°C-1050°C ve 1150°C de ısıl işlem uygulanmış ve 1050°C homojenleştirilmiş numunelerin aşınma dirençlerinin daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.

Y.H.Wen vd., (2014) hadfield çeliğinden daha düşük darbe deformasyonu ve daha yüksek pekleşme kapasitesine sahip yeni bir yüksek manganlı çeliğin darbe altındaki deformasyon davranışını ve mikro yapısını araştırmışlardır. Sonuçlar göstermiştir ki bu yeni Fe18Mn5Si0.35C çeliğinin yüksek ve düşük gerilimlerdeki pekleşme kapasitesi Hadfield çeliğinden daha yüksektir. Ayrıca bu yeni çeliğin darbe deformasyonu Hadfield çeliğinkinden daha düşüktür.

Okechukwu vd.,(2017) hadfield çeliğinin madencilik ve maden endüstrisindeki önemini ve kullanımdaki artı ve eksi yönlerini araştırmışlardır. Hadfield çeliğinin bu alandaki öneminin yüksek sertlik ve yüksek tokluktan kaynaklanan darbe ve aşınma direncinin iyi bir kombinasyonu neticesinde elde edildiği ortaya konulmuştur.

Emre, (2019) “Kırma ve öğütme sistemlerinde Hardox 450 ve 20MnCr5 çeliklerinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve karakterizasyonu” isimli çalışmasında, Hardox grubu çeliklerde sertliğin yanı sıra, aşınma direnci mikro yapı incelemesi yaparak 20MnCr5 çeliği ile karşılaştırmış XRD, SEM ve EDS paterni analizleri yaparak çeliklerin yapısındaki değişimleri incelemiştir.

Belirtilen çalışmalarda genel olarak Hardox çelikleri ile ilgili çalışmalar abrasif aşınma dayanımı üzerinde yoğunlaşırken, manganlı çeliklerle ilgili çalışmaların ise adhezif aşınma üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu iki malzemenin karşılaştırılması ile ilgili çalışmaya ise literatürde rastlanılmamıştır.

5. MATERYAL ve YÖNTEM

Yük vagonu bojileri gerek taşıdıkları yük gerekse de hareket takımını üstünde bulundurmaları nedeniyle dinamik yüklere maruz kalır. Bundan ötürü aşınma ile en fazla karşılaşılacak yük vagonu bileşeni de bojilerdir. Bu nedenle deneysel çalışmamızda boji üzerinde yer alan susta taşıyıcılardaki aşınma plakaları tercih edilmiştir.

Kimyasal analiz, sertlik, aşınma ve kaynak işlemleri için gereken deney numunelerinin standartlara uygun olarak hazırlanması ve bu deneysel çalışmalar TÜRSAS Sivas Bölge Müdürlüğünde gerçekleştirilmiştir. Aşınmış ve aşınmamış deney plakalarının mikro yapı incelemesi, SEM analizleri Cumhuriyet Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde yapılmıştır. Dövme testinde gerinim sertleşmesine uğramış manganlı numunelerin ve kaynak edilmiş deney numunelerinin ise mikro yapı ve SEM analizleri Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirilmiştir.

5.1. Kimyasal Deneyler

Deneylerde kullanılacak olan X120Mn12 ve Hardox 550 kalite aşınma plakalarının TS EN 10204-3.1' e uygun sertifikalı ürünler olmasına dikkat edilmiştir. Ürünlerin sertifikasında kimyasal değerleri belirtilmesine rağmen 30x30x5 ölçülerinde numuneler hazırlanarak kontrol amaçlı malzemelerin kimyasal birleşimlerine bakılmış ve üretici firmaların sunmuş olduğu sertifika değerleri ile uyumlu olup olmadıkları kontrol edilmiştir.

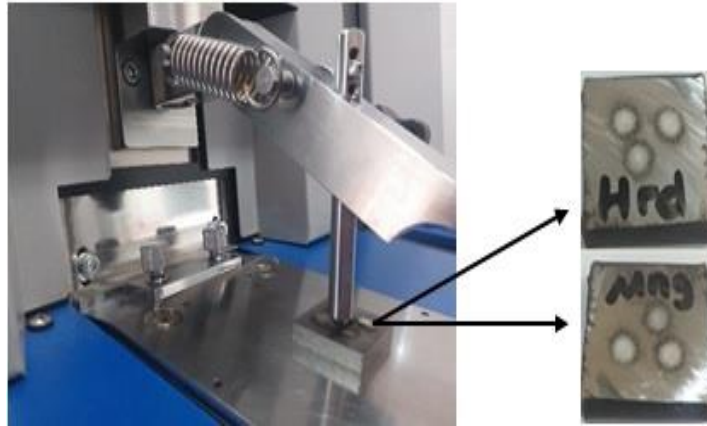
5.1.1. Spektrometre Analizi

Metalik malzemelerin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi için optik emisyon spektrometre cihazı kullanılmıştır. Çalışmamızda deney numunelerinin kimyasal bileşenlerini tespit etmek üzere spektrometre analizi TÜRSAS Sivas Bölge Müdürlüğü mekanik laboratuvarında bulunan Şekil 5.1' de gösterilen 19 elementli SPECTROLAB marka cihazla yapılmıştır.



Şekil 5.1. SPECTROLAB marka spektrometre cihazı

Manganlı ve Hardox deney numunelerine 3 defa yakma işlemi uygulanmış ve ölçülen değerlerin ortalamaları alınmıştır.



Şekil 5.2. Spektrometre cihazında yapılan ölçüm

5.2. Saha Testi

Karşılaştırılan aşınma plakalarının aşınma miktarlarının uygulamalı olarak da incelenmesi için Şekil 5.3' te görülen Fals tipi bir cevher vagonunun ön ve arka bojisindeki işaretlenmiş 2 adet susta taşıyıcı ve karşılığı olan buatagres üzerindeki aşınma plakaları değiştirilmiştir.

1 nolu bojide manganlı, 2 nolu bojide ise hardox plakalar kullanılmıştır. Vagon 12 ay boyunca takip edilmiştir. 12 ayın sonunda geri çağırılarak üzerindeki aşınma plakaları sökülerek aşınma ve sertlik deneyleri ile içyapı analizleri yapılmıştır.



Şekil 5.3. Test vagonu

5.3. Aşınma Plakalarının Sertlik Testi

Sertlik testleri için TÜRASAŞ Sivas Bölge Müdürlüğü mekanik laboratuvarında bulunan Şekil 5.4' te gösterilen Rockwell sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır.

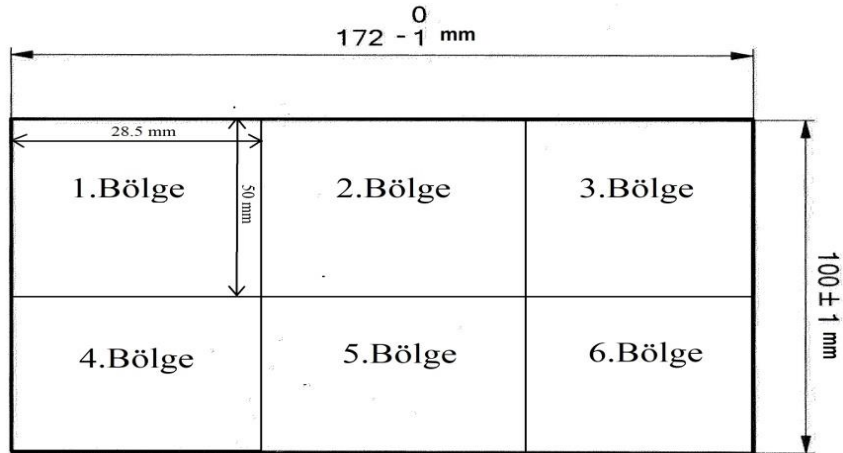
Manganlı plakaların sertlik ölçümünde UIC 893-0 standardında Vickers ve Rockwell ölçüm metotlarının kullanılması önerilmiştir. Vickers yönteminde 30 kg, Rockwell yönteminde ise 150 kg'lık yük altında testlerin yapılması gerektiği belirtilmiştir.

Bu çalışmada manganlı plakaların yüzey hazırlama işleminin zorluğu, talaş kaldırma ve parlatma esnasında ürünün yüzey sertliğinin artabilecek olmasından ötürü Rockwell yöntemi tercih edilerek sertlik ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 5.4. Rockwell sertlik ölçüm cihazı

Önce kullanılmamış X120Mn12 ve Hardox 550 aşınma plakaları ortalama sertlik değerlerinin bulunması için sertlik ölçümüne tabi tutulmuştur. Aşınma plakalarının sertlik dağılımının homojen olmamasından ötürü Şekil 5.5’ te görüldüğü gibi plakalar ölçülendirilerek eşit 6 bölgeye ayrılmış ve her bölgeden 3 ölçüm yapılarak ortalama sertlikleri bulunmuştur.



Şekil 5.5. Sertlik ölçümünde kullanılan plaka ölçüleri



Şekil 5.6. Rockwell sertlik cihazında sertlik ölçümü

5.4. Dövme Testi

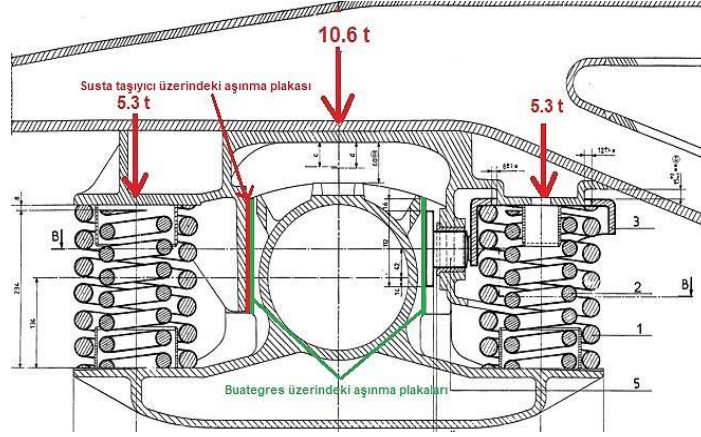
Yük vagonu bojilerinde kullanılan aşınma plakaları sürtünme ile beraber darbe etkisi altında aşınmaya maruz kaldığı için kullanım yerine uygun olması ve X120Mn12 çeliğinin yumuşak olan östenitik yapısını darbe uygulayarak sertleştirebilmek için deney numuneleri şahmerdanla dövülmüştür.



Şekil 5.7. 2000 kg lık şahmerdan

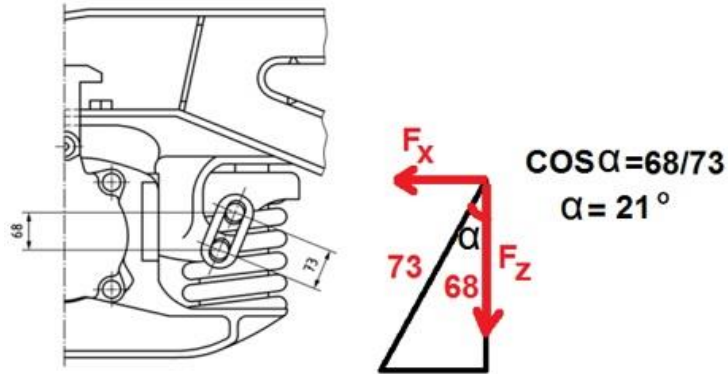
Literatürde mangalı aşınma plakalarının akma mukavemetinin üzerinde darbe alması durumunda sertleşebileceği belirtildiğinden şahmerdanda uygulanacak minimum kuvvetin ne kadar olması gerektiği aşağıdaki formül ile hesaplandı.

Bir bojide helezon yayların üstündeki statik yük max 42.5 tondur. Bir aks kutusuna $42.5/4 = 10,6$ ton max yük gelir. Bir aks kutusunda 2 adet helezon yay olduğundan her helezon yaya 5.3 ton yük etmektedir (Şekil 5.8 ve Şekil 5.9).



Şekil 5.8. Aks kutusu üzerindeki aşınma plakalarına gelen kuvvet

İtici üzerinden aşınma plakasına iletilen max yük ise aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi hesaplanmıştır.



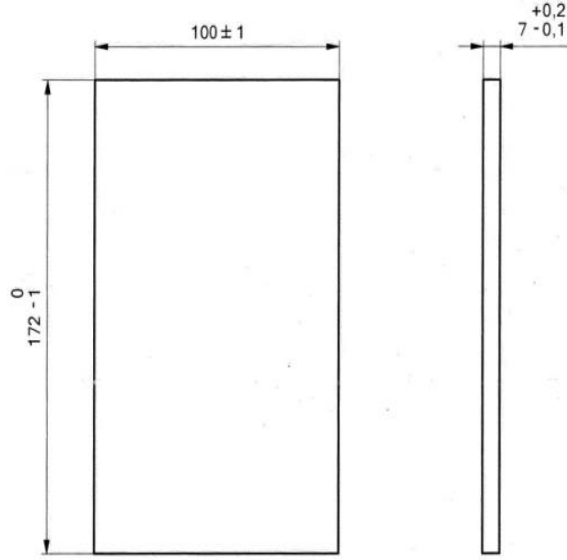
Şekil 5.9. İtici üzerinden aşınma plakasına iletilen kuvvet

$$F_x = 5300 \times \tan 21 = 2,034 \text{ kg}$$

Hesaplanan yük sonucunda Şekil 5.7'de gösterilen 2.000 kg lık şahmerdan seçilmiş ve başlangıçta sertliği ölçülen kullanılmamış manganlı ve hardox plakalara 500'er kez vurulmuştur. Vurma işlemi sonucunda test plakalarının mikro yapılarında ve sertliklerinde değişiklik olup olmadığı kontrol edilmiştir.

5.5. Aşınma Testleri

X120Mn12 ve Hardox 550 kalite çeliklerden aynı ölçülerde imal edilen kullanılmamış aşınma plakalarına zamana, yük ve hıza bağlı olarak aşınma deneylerine tabi tutulmuştur Şekil 5.10'da deneylerde kullanılan aşınma plakası ölçüleri gösterilmektedir.

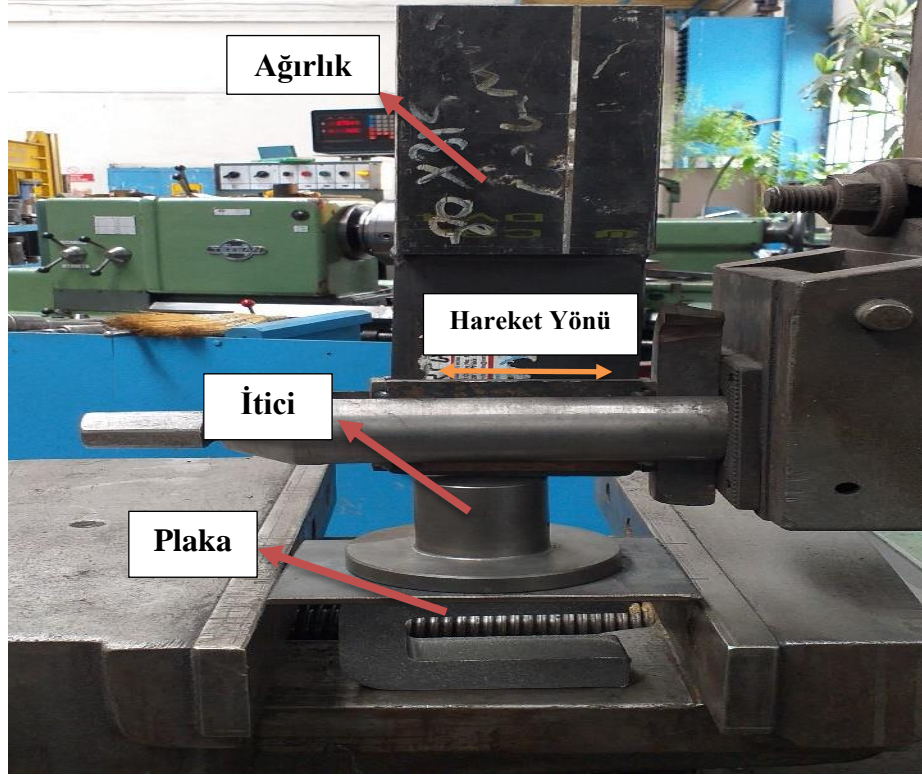


Şekil 5.10. Aşınma deneylerinde kullanılan plaka ölçüleri

Deney için standart pim-disk aşınma test cihazının kullanımı ön görülmüş fakat cihaz için gerekli olan ölçülerde test numunesi çıkarılamaması nedeniyle planya tezgâhının kullanılması tercih edilmiştir. Aşındırıcı olarak iki plakadanda daha sert olan ve aşınma plakalarına kuvvet uygulayan susta taşıyıcı üzerindeki sementasyon yöntemi ile 62 HRC sertliğe getirilen 25CrMo4 kalite itici malzemesi kullanılmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Semente edilerek sertleştirilmiş itici



Şekil 5.12. Aşınma deneylerinde kullanılan planya tezgâhı

Test parçaları üzerlerine 30 ve 60 N yük uygulanacak şekilde tezgâha yatay olarak bağlanmış ve 6m/dk ve 12 m/dk ilerleme hızlarında çalıştırılarak plakaların 60 dk süre ile aşınması sağlanmıştır. Aşınma testinde kullanılan vargel tezgâhı Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Aşınma deneylerinde aşınma miktarını ölçme metodu olarak ASLE (American Society of Lubrication Engineers)’de yaklaşık 100 tane deney sistemi belirlenmiş olmasına rağmen çalışmamızda kullanım kolaylığı, ekonomiklik ve istenilen hassasiyeti sağlaması gibi nedenlerden ötürü literatürde en çok tercih edilen ağırlık farkları metodu kullanılmıştır. Test numunelerinin kütle kayıpları şekil 5.13’te gösterilen hassas terazi ile ölçülmüştür.



Şekil 5.13. 1/1000 hassasiyetli elektronik terazi

5.6. Kaynak Edilebilirlik Karşılaştırılması

Yük vagonu imalatında kullanılan manganlı plakaların kaynak edilmesi ile ilgili UIC 1204 003 no.lu Teknik Şartnameye uyulmaktadır. İlgili Şartnamede plakaların sadece yatay pozisyonda kaynak edilebileceği belirtilmiştir. Kısa ark boyu ile çalışılması, kaynak dikişlerine 25-40 mm aralık verilmesi krater ve çatlak riskinin azaltılması için elektrodun geri çekilerek sönmeye eşlik edecek şekilde kaynakların yapılmasının gerektiği belirtilmiştir. Kaynak işlemi için 15085-2 de ark kaynağı ve gaz altı kaynağı olarak 2 yöntem belirtilmiş olup uygulama kolaylığı bakımından gaz altı yöntemi tercih edilmiştir. Tablo 5.1’de 15085 standartında belirtilen kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonları gösterilmiştir.

Tablo 5.1. 15085-2’ de belirtilen kaynak yöntemleri ve kaynak pozisyonları

Kaynak Yöntemi	Malzeme Grubu	Ölçü	Pozisyon
111	1.2/X120Mn12	t=2-25 mm	FW
	1.2	t=3-30 mm	BW
	1.2	t=3-50 mm	FW
	1.1/5	t=4-18 mm	BW
	1.2	t=1-24 mm	72:t=3-40 mm
135	72/X120Mn12	D≥30 mm	X120Mn12: t=2mm
	1.2/X120Mn12	t=2-24 mm	FW

Bu doğrultuda yukarıda belirtilen özelliklere uygun olarak önce malzemelerin kaynak edilebilirliğinin göstergesi olan Ceş değerleri hesaplanmış ve buna uygun parametreler belirlenerek Tablo 5.19 ve 5.20’de görülen WPS’ ler hazırlanmıştır.

$$Ceş = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (5.1)$$

Yukarıdaki formüle göre aşınma plakalarının karbon eşdeğerleri aşağıdaki gibidir.

$$Ceş = 0.28 + \frac{1.30}{6} + \frac{1.40 + 0.60 + 0.10}{5} + \frac{1.40 + 0.10}{15}$$

$$Ceş (\text{Hardox 550})=1.01$$

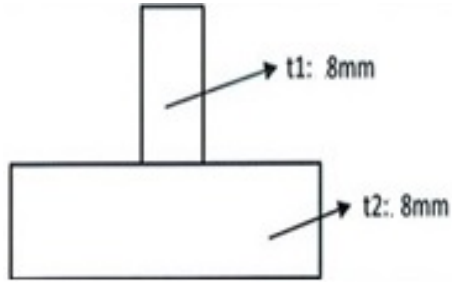
$$Ceş = 1.00 + \frac{11.78}{6} + \frac{0.15 + 0.05 + 0.01}{5} + \frac{0.12 + 0.10}{15}$$

$$Ceş (\text{X120Mn12})=3.01$$

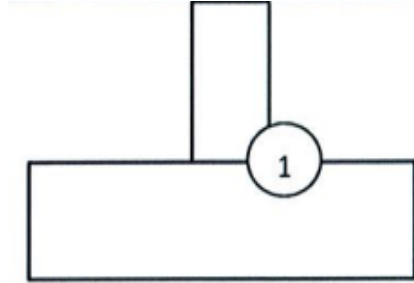
Tablo 5.2. X120 Mn12 aşınma plakasının kaynağı için hazırlanan WPS

WPS No:	055	Hazırlanma Tarihi:	15.01.2022
WPQR No.	056	Malzeme Türleri :	X120Mn12+S355J2N
İlgili Standart:	ISO 15614-1	Kalınlık Aralığı:	$t_1 : 7 \text{ mm} - t_2 : 18 \text{ mm}$
Kaynak Yöntemi :	135 (MAG)	Dolgu Malzemesi :	Starweld MW 307 Si
Kaynak Tipi:	FW	Kaynaklı Parça Tipi:	Plaka
Pasolar Arası Sıcaklık	350°C	Gaz Türü ve Debisi	M24 -12 lt/dk

Kaynak Dizaynı



Kaynak Sırası



Paso	Yöntem	Pozisyon	Tel Çapı (mm)	Tel Tipi	Akım (A)	Voltaj (V)	Akım Tipi	Tel Sürme Hızı (m/dk)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	135	PA	1,20	SG307	230	27	DC	8	3.7	1.34

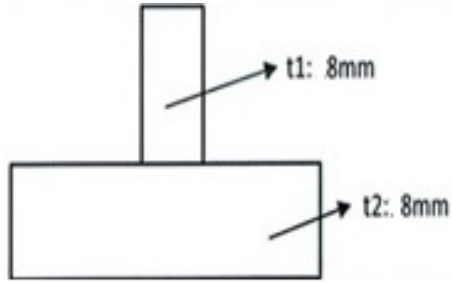


Şekil 5.14. Kaynak edilmiş manganlı plaka

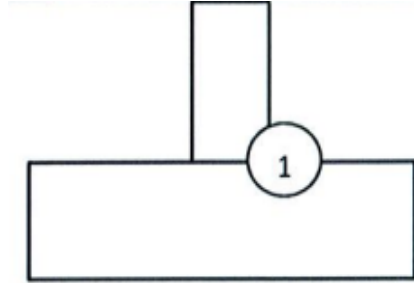
Tablo 5.3. Hardox 550 aşınma plakasının kaynağı için hazırlanan WPS

WPS No:	056	Hazırlanma Tarihi:	15.01.2022
WPQR No.	057	Malzeme Türleri :	Hardox 550+S355J2N
İlgili Standart:	ISO 15614-1	Kalınlık Aralığı:	$t_1 : 7 \text{ mm} - t_2 : 18 \text{ mm}$
Kaynak Yöntemi :	135 (MAG)	Dolgu Malzemesi :	G 4 Si1 -AS SG 3
Kaynak Tipi:	FW	Kaynaklı Parça Tipi:	Plaka
Pasolar Arası Sıcaklık	300°C	Gaz Türü ve Debisi	M24 -12 lt/dk

Kaynak Dizaynı



Kaynak Sırası



Paso	Yöntem	Pozisyon	Tel Çapı (mm)	Tel Tipi	Akım (A)	Voltaj (V)	Akım Tipi	Tel Sürme Hızı (m/dk)	Kaynak Hızı (mm/s)	Isı Girdisi (kJ/mm)
1	135	PA	1,20	SG3	270	23	DC	11	4.2	1.75



Şekil 5.15. Kaynak edilmiş Hardox plaka

Aşınma plakalarının kaynak edildiği susta taşıyıcı ve buatagresler GS 52 çelik döküm olduğu için aynı değerleri sağlaması bakımından S355J2+N kalite çelik ile aşınma plakaları WPS' lerde belirtildiği gibi köşe kaynağı (FW) ve yatay pozisyonda (PB) MAG (Metal Aktif Gaz) yöntemi ile kaynak edilmiştir. Numuneler kaynak işlemi öncesi şaloma ile tavlannmıştır. Manganlı plakaya yaklaşık 350°C, Hardox plakaya ise 300°C ön tav verilmiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Ön tavlama yapılan deney numuneleri

Manganlı plakanın kaynağında Starweld MW-307 Si, Hardox plakanın kaynağında ise SG 3 (G4Si1) 1.2 mm kalınlığında kaynak teli dolgu metali olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.17. Kaynak işleminde kullanılan gazaltı kaynak telleri

MW-307Si kaynak teli zırh çeliği ve yüksek manganlı çelikler gibi zor kaynak edilen veya kaynak kabiliyeti düşük çeliklerin birleştirilmesinde ve aşınmaya ve dinamik zorlamaya maruz kalan parçaların sert dolgu uygulamalarında gerilim giderici tampon tabaka oluşturmak için kullanılır. İçerdiği yüksek Si sayesinde erimiş kaynak metalinin yüzey gerilimi iyileşir ve ana metale yayılması kolaylaşır. Tablo 5.4' te MW-307Si kaynak telinin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.4. MW-307Si kaynak teli kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)					Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (L=5d) (%)	Darbe Dayanımı (Joule) (+20°C)
C	Mn	Si	Cr	Ni				
0.08	7	0.80	19	9	420	620	40	80

SG 3 (G4Si1) kaynak teli özellikle düşük alaşımlı çeliklerin kaynağında tercih edilen bakır kaplı gazaltı kaynak telidir. Çelik konstrüksiyon, tank, kazan vb imalatlarda oldukça sık kullanılır. Tablo 5.5’ te SG 3 (G4Si1) kaynak telinin kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.5. SG 3 (G4Si1) kaynak teli kimyasal içeriği ve mekanik özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)					Akma Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Uzama (L=5d) (%)	Darbe Dayanımı (Joule) (-30°C)
C	Mn	Si	Cr	Ni				
0.10	1.70	1.00	-	-	460	570	25	60

Kaynak işleminde kaynak kabiliyetleri karşılaştırılan her iki plaka içinde kimyasal içeriği Tablo 5.6’ da gösterilen M24 koruyucu gaz karışımı kullanılmıştır.

Tablo 5.6. M24 karım gazın kimyasal içeriği

Gaz Kodu	Birleşim (%)				
	CO ₂		O ₂		Ar
	Min	Max	Min	Max	Kalan
M24	5	15	0.5	3	

5.6.1. Makro Test

Makro inceleme ISO 5817’ ye göre yapılmıştır. Test plakalarına %1 nital kullanılarak dağlama yapılmış ve büyütme faktörü 5X seçilmiştir.

5.6.2. Kaynaklı Parça Mikro Sertlik Taraması

Sertlik deneyi TS EN ISO 6507-1 standardına göre yapılmıştır. Ölçümlerde Vickers yöntemi kullanılmış olup HV 0.5 yüklemde testler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.18. Sertlik taramasında kullanılan kaynaklı numuneler

5.6.3. Sıvı Penetrant Testi

Kaynak yapılan bölgedeki çatlak ve gözenek gibi yüzey süreksizliklerini kontrol edebilmek için sıvı penetrant testi yapılmıştır.

5.7. VPI' ya Göre Kalınlık Ölçümü

En az 5 yıl çalışarak revizyona gelen bir vagonun susta taşıyıcısı üzerindeki aşınma plakasının ne kadar aşındığını görebilmek için susta taşıyıcı üzerindeki plakalar çıkarılarak ölçülmüş ve VPI'ya göre sınır değerleri karşılayıp karşılamadığı kontrol edilmiştir.



Şekil 5.19. Susta taşıyıcı üzerindeki aşınma plakası kalınlık ölçümü

5.8. Optik Mikroskopta Mikro Yapı İncelemesi

Vagon üzerinden çıkarılan aşınmış manganlı plakalar ile dövme işlemi yapılan plakaların içyapı değişimlerini görmek için Şekil 5.20'da görülen Nikon Eclipse L 150 marka optik metal mikroskobu kullanılmıştır.



Şekil 5.20. Optik mikroskop cihazının resmi

Numuneler standart metalografi numune hazırlama teknikleri kullanılarak sırasıyla 600-800-1000-1200-1500 kumluk SiC zımparalar kullanılarak zımparalandı daha sonra 0.05 μm Al₂O₃ ve 1 μm 'luk elmas süspansiyonlar kullanılarak parlatma işlemi yapıldı. Her bir numunede ki mikroyapısal analizler için numuneler Nital ajanı (HNO₃ - 45 ml + H₂O - 45 ml) kullanılarak dağlandı (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Optik mikroskop deney numuneleri

5.9.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Manganlı ve Hardox numunelerin aşınma ve diğer deneyleri tamamlandıktan sonra mikro yapıları hakkında bilgi sahibi olmak için aşınmış ve aşınmamış deney numunelerine SEM analizleri yapılmıştır. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) görüntüleri için Şekil 5.22'de görülen TESCAN marka MIRA3 modelinde SEM cihazı kullanılmıştır.



Şekil 5.22. SEM cihazının resmi

5.10. Maliyet Araştırması

SGMMRS tipi bir konteyner vagonunda kullanılan tüm aşınma plakaları için karşılaştırmasını yapmış olduğumuz manganlı ve Hardox plakalar için tedarikçi 3 firmadan fiyat teklifi alınarak maliyet analizi yapılmıştır.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Kimyasal Deney Sonuçları

Tablo 6.1. X120Mn12 çeliğinin sertifika değerleri

Çelik Normu	Kimyasal Analiz (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
X120Mn12	Min	1.10	0.3	-	-	-
	Max	1.30	0.5	12	0.03	0.01	1.5

Tablo 6.2. Hardox 550 çeliğinin sertifika değerleri

Çelik Normu	Kimyasal Analiz (%)						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	
Hardox 550	Min	0.25	0.60	1.55	-	-	1.4
	Max	0.30	0.70	1.60	0.02	0.02	1.5

Tablo 6.3. X120Mn12 plakaya ait spektrometre analiz sonucu

Çelik Normu	Kimyasal Analiz (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
X120Mn12	1.00	0.420	11.42	0.03	0.01	0.58
	0.98	0.410	11.35	0.03	0.01	0.52
	1.10	0.523	11.78	0.02	0.01	0.54

Tablo 6.4. Hardox 550 plakaya ait spektrometre analiz sonucu

Çelik Normu	Kimyasal Analiz (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
Hardox 550	0.29	0.67	1.60	0.02	0.01	1.45
	0.30	0.69	1.56	0.02	0.01	1.49
	0.28	0.65	1.58	0.02	0.01	1.43

6.2.Aşınma Plakaları Sertlik Testi Sonuçları

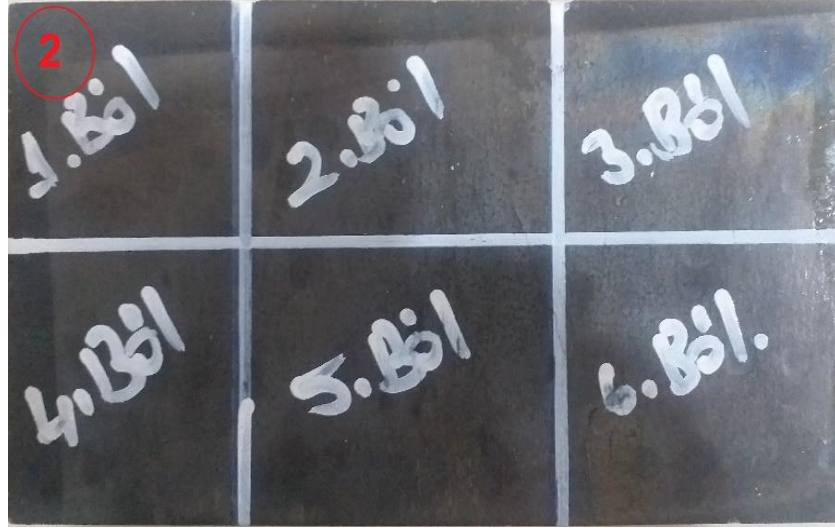
6.2.1. Kullanılmamış Aşınma Plakalarının Sertlik Ölçümleri



Şekil 6.1. X120Mn12 plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.5. X120Mn12 plaka sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
1.Bölge	17.2	18.93	2.Bölge	20.3	21.13
	18.5			21.6	
	21.1			20.6	
3.Bölge	20.6	19.03	4.Bölge	14.7	18.03
	15.2			20.6	
	21.3			19.6	
5.Bölge	19.9	22.46	6.Bölge	21.4	18.86
	21.2			19.1	
	26.3			16.1	
Plakanın Sertlik Ortalaması					19.74 HRC



Şekil 6.2.Hardox 550 plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.6. Hardox 550 aşınma plakası sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
	49.5			50.3	
1.Bölge	50.1	49.96	2.Bölge	50.9	50.50
	50.3			50.3	
	50.4			51	
3.Bölge	50.6	50.56	4.Bölge	50.7	50.86
	50.7			50.9	
	50.6			51.7	
5.Bölge	51.1	51.23	6.Bölge	51.9	51.20
	52			50	
Plakanın Sertlik Ortalaması					50.55 HRC

6.2.2. Test Bojisi Üzerinden Çıkarılan Aşınma Plakalarının Sertlik Ölçümleri



Şekil 6.3. 1 Numaralı aşınmış manganlı plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.7. 1 numaralı aşınmış manganlı plakanın sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
	24.1			29.7	
1.Bölge	23.4	23.10	2.Bölge	28.3	29.80
	21.8			31.4	
	26.1			23.2	
3.Bölge	21.3	23.20	4.Bölge	24.8	24
	22.4			24.0	
	33.6			34.4	
5.Bölge	26.5	30.60	6.Bölge	31.2	30.50
	31.7			26	
Plakanın Sertlik Ortalaması					26.86 HRC



Şekil 6.4. 2 Numaralı aşınmış manganlı plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.8. 2 numaralı aşınmış manganlı plaka sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
	26.2			34.5	
1.Bölge	23.3	26.73	2.Bölge	36.2	35.83
	30.7			36.8	
	24.6			23.8	
3.Bölge	28.6	26.20	4.Bölge	27.5	25.20
	25.4			24.3	
	33.7			22.3	
5.Bölge	32.2	32.13	6.Bölge	27.6	25.16
	30.5			25.6	
Plakanın Sertlik Ortalaması					28.54 HRC



Şekil 6.5. 3 Numaralı aşınmış manganlı plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.9. 3 numaralı aşınmış manganlı plaka sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
	23.2			30.6	
1.Bölge	25.6	25.36	2.Bölge	33.9	32.06
	27.3			31.7	
	22.9			23.3	
3.Bölge	24.2	23.86	4.Bölge	25.6	24.70
	24.5			25.2	
	29.1			29.1	
5.Bölge	27.4	29.13	6.Bölge	30.5	29.80
	30.9			29.8	
Plakanın Sertlik Ortalaması					27.48 HRC



Şekil 6.6. 1 Numaralı aşınmış Hardox plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.10. 1 numaralı aşınmış Hardox plaka sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
1.Bölge	50.5	50.30	2.Bölge	51.3	50.96
	50.1			50.9	
	50.3			50.7	
3.Bölge	50.4	50.90	4.Bölge	50.1	51.23
	51.6			51.7	
	50.7			51.9	
5.Bölge	50.8	51.30	6.Bölge	50.9	51.03
	51.3			51.2	
	51.8			51	
Plakanın Sertlik Ortalaması					50.95 HRC



Şekil 6.7. 2 Numaralı aşınmış Hardox plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.11. 2 numaralı aşınmış Hardox plaka sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
1.Bölge	51.2	50.80	2.Bölge	50.3	50.50
	50.9			50.8	
	50.7			50.4	
3.Bölge	50.4	50.73	4.Bölge	51.1	51.06
	51.3			51.4	
	50.5			50.7	
5.Bölge	50.8	51.10	6.Bölge	50.9	51.13
	51.3			51.2	
	51.2			51.3	
Plakanın Sertlik Ortalaması					50.88 HRC



Şekil 6.8. 3 numaralı aşınmış Hardox plaka sertlik ölçüm numunesi

Tablo 6.12. 3 numaralı aşınmış Hardox plaka sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
1.Bölge	50.8	51.16	2.Bölge	51.7	51.26
	51.2			50.9	
	51.5			51.2	
3.Bölge	51	51.16	4.Bölge	50.3	50.7
	51.2			50.7	
	51.3			51.1	
5.Bölge	50.9	51.13	6.Bölge	50.7	50.66
	51.4			50.8	
	51.1			50.5	
Plakanın Sertlik Ortalaması					51.01 HRC

6.3. Dövme Deneyi Sonuçları

6.3.1.Dövülmüş Plakaların Sertlik Değerleri

Tablo 6.13. X120Mn12 aşınma plakasının darbe sonrası sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
	43.4			44	
1.Bölge	42.3	43.06	2.Bölge	43.9	42.96
	43.5			41	
	44.7			44.2	
3.Bölge	45.2	44.30	4.Bölge	43.3	43.73
	43.1			43.7	
	43.5			42.6	
5.Bölge	44.6	43.83	6.Bölge	43.4	43.30
	43.4			43.9	
Plakanın Sertlik Ortalaması					43.53 HRC

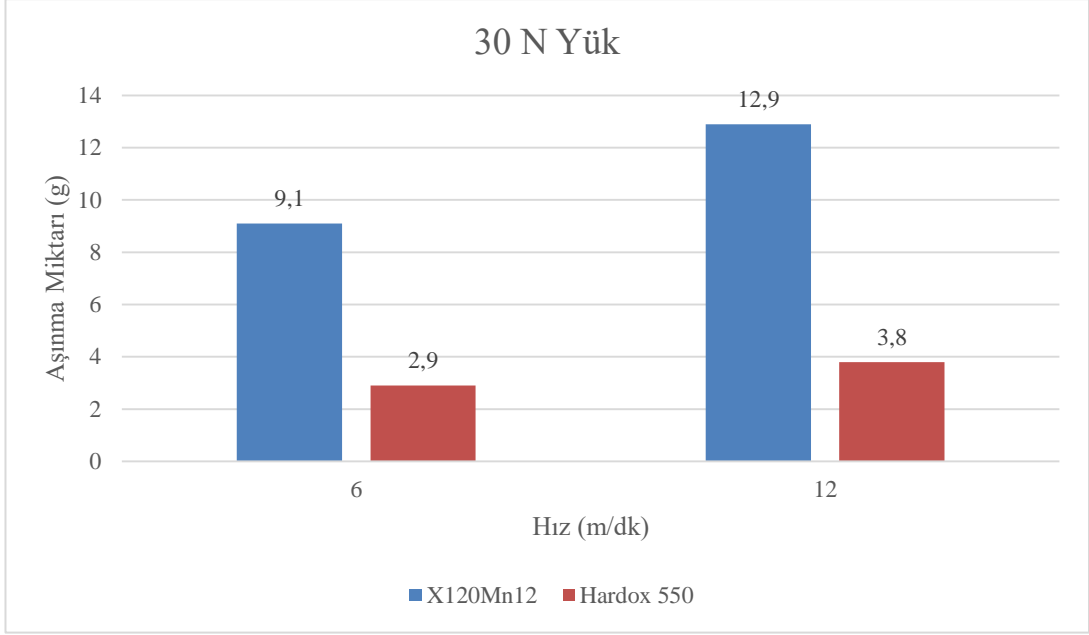
Tablo 6.14. Hardox 550 aşınma plakasının darbe sonrası sertlik değerleri

Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)	Ölçüm Alınan Bölge	Ölçüm Değerleri (HRC)	Ortalama Sertlik (HRC)
	50.5			50.1	
1.Bölge	50.3	50.43	2.Bölge	51	50.80
	50.5			51.3	
	50.9			51.3	
3.Bölge	51.1	51.06	4.Bölge	51.2	51.16
	51.2			51	
	51.2			51.6	
5.Bölge	51.6	51.50	6.Bölge	52.1	51.36
	51.5			50.4	
Plakanın Sertlik Ortalaması					51.05 HRC

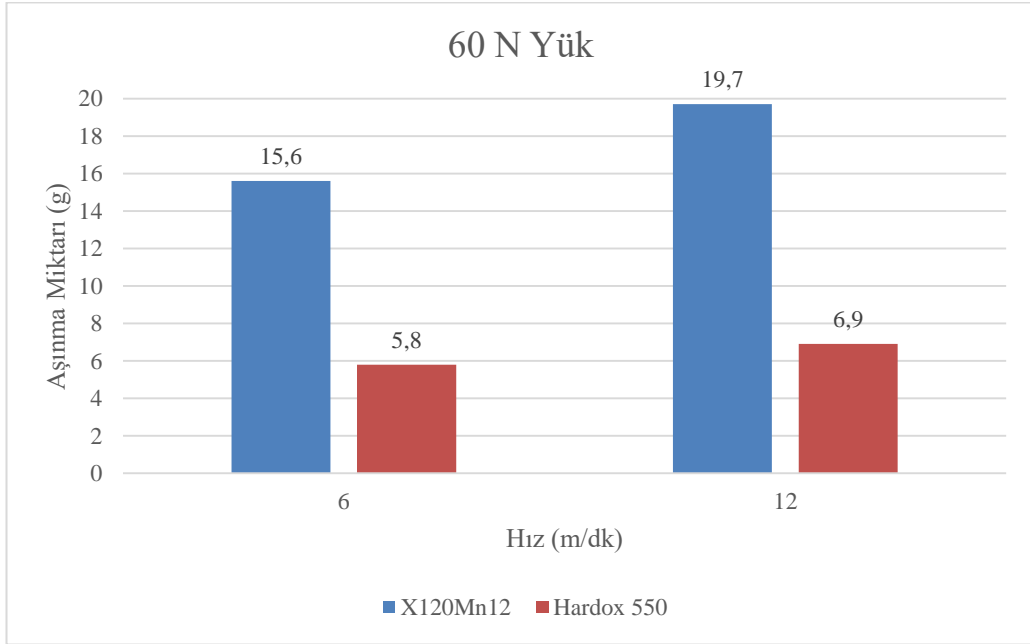
6.4.Aşınma DeneY Sonuçları

Tablo 6.15. Kullanılmamış plakalara ait aşınma deneY sonuçları

AŞINMA DENEY SONUÇLARI							
DeneY Numunesi	Süre (dk)	Kuvvet (N)	Hız (m/dk)	Aşınma Öncesi Ağırlık (g)	Aşınma Sonrası Ağırlık (g)	Aşınma Miktarı (g)	
X120Mn12	30	60	6	685,7	676,6	9,1	
			12	692,5	679,6	12,9	
	60	60	6	689,2	673,6	15,6	
			12	684,7	665	19,7	
	Hardox 550	30	60	6	725,3	722,4	2,9
				12	723,5	719,7	3,8
60		60	6	727,2	721,4	5,8	
			12	724,4	717,5	6,9	



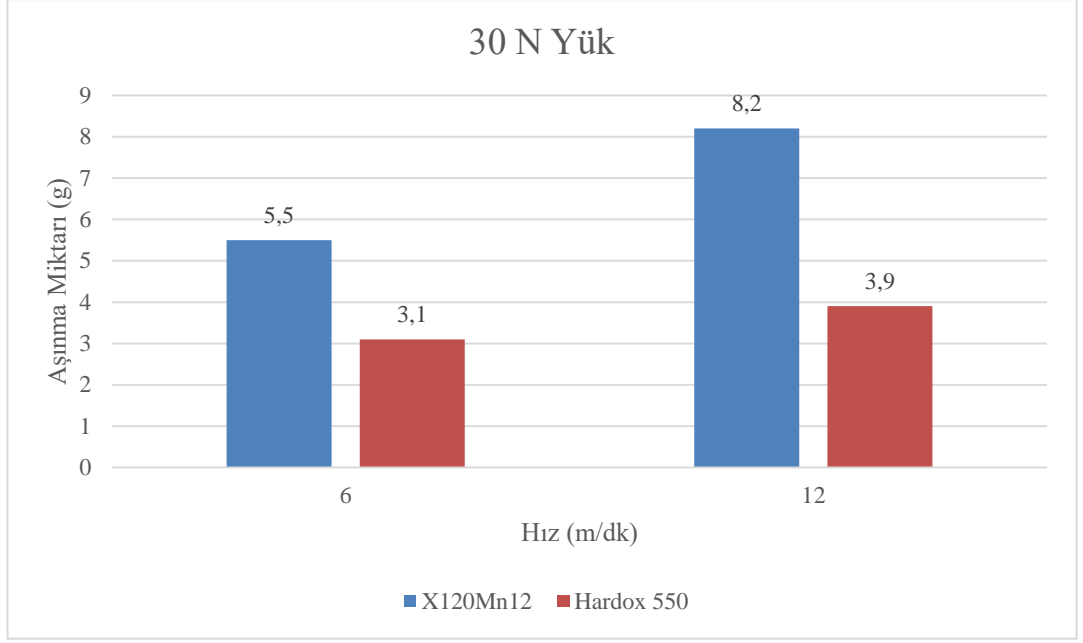
Şekil 6.9. Kullanılmamış plakaların 30 N yükteki aşınma miktarları



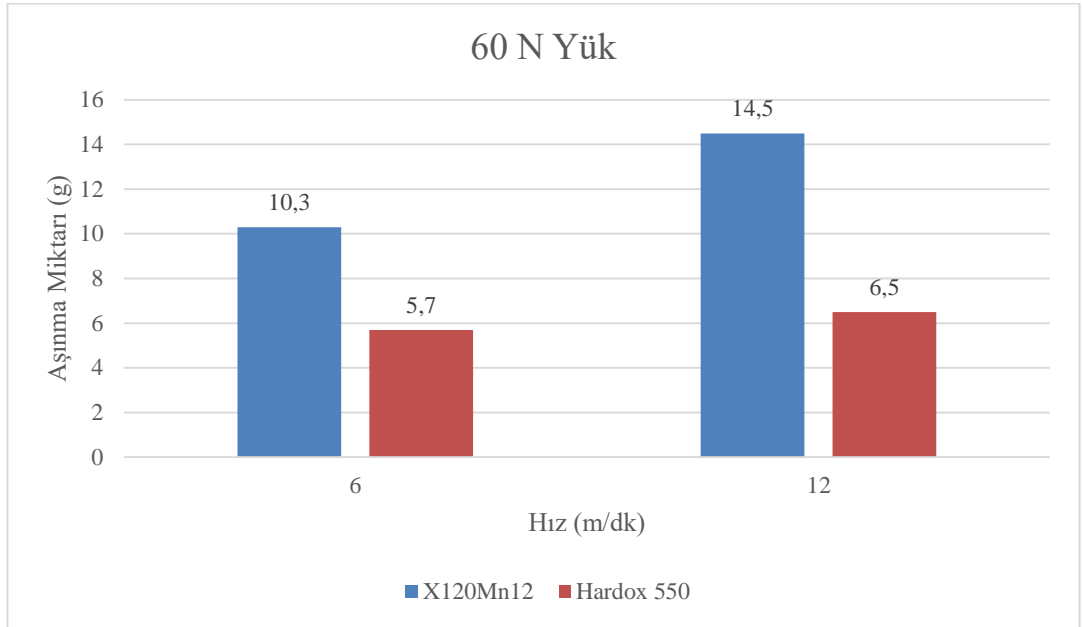
Şekil 6.10. Kullanılmamış plakaların 60 N yükteki aşınma miktarları

Tablo 6.16. Test bojisi üzerinden çıkarılan plakalara ait aşınma deney sonuçları

AŞINMA DENEY SONUÇLARI								
Deney Numunesi	Süre (dk)	Kuvvet (N)	Hız (m/dk)	Aşınma Öncesi Ağırlık (g)	Aşınma Sonrası Ağırlık (g)	Aşınma Miktarı (g)		
X120Mn12	60	30	6	688,4	682,9	5,5		
			12	689,1	680,9	8,2		
		60	6	684,7	674,4	10,3		
			12	690,3	675,8	14,5		
		Hardox 550	60	30	6	726,2	723,1	3,1
					12	730,4	726,5	3,9
60	6			725,5	719,8	5,7		
	12			728,3	721,8	6,5		



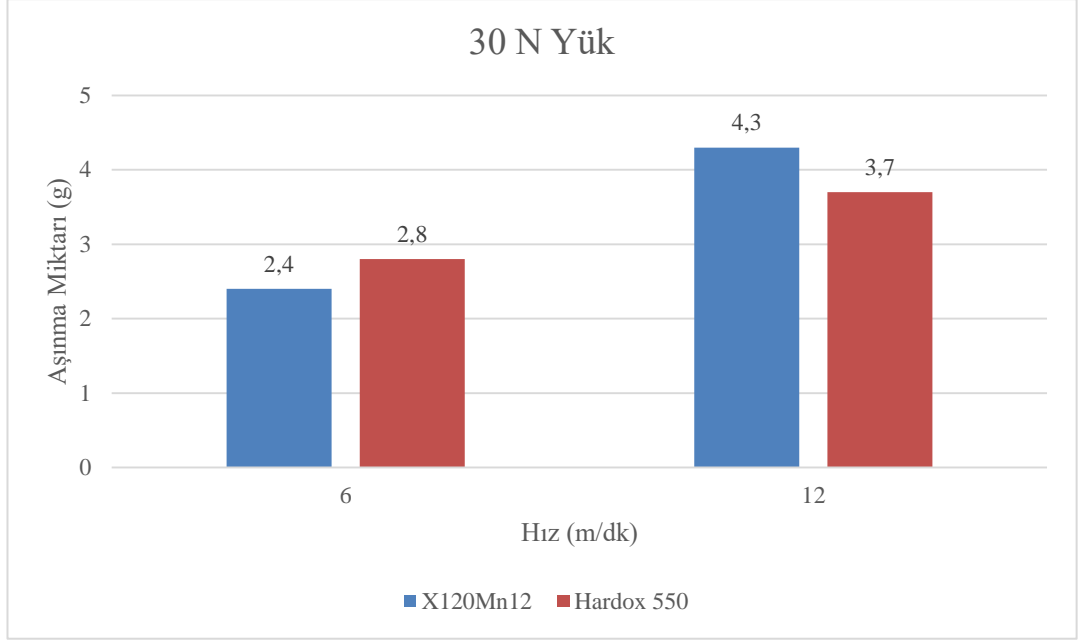
Şekil 6.11. Test Bojisi Üzerinden Çıkarılan plakaların 30 N yükteki aşınma miktarları



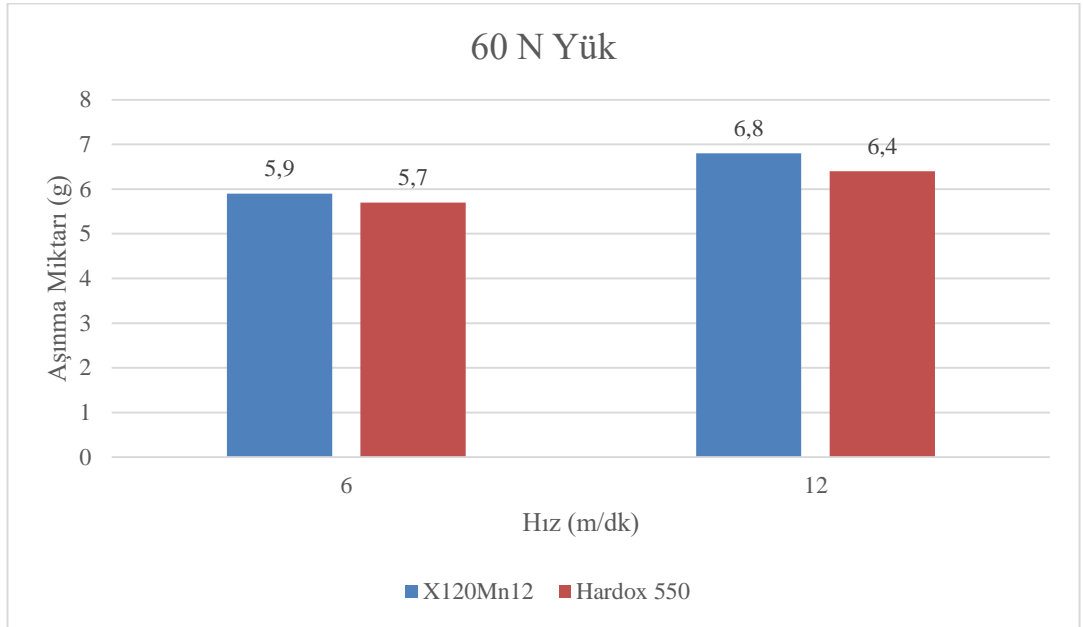
Şekil 6.12. Test Bojisi Üzerinden Çıkarılan plakaların 60 N yükteki aşınma miktarları

Tablo 6.17. Darbe uygulanan plakalara ait aşınma deneyi sonuçları

AŞINMA DENEY SONUÇLARI								
Deney Numunesi	Süre (dk)	Kuvvet (N)	Hız (m/dk)	Aşınma Öncesi Ağırlık (g)	Aşınma Sonrası Ağırlık (g)	Aşınma Miktarı (g)		
X120Mn12	60	30	6	684,2	681,8	2,4		
			12	686,7	682,4	4,3		
		60	6	690,3	684,4	5,9		
			12	691,5	684,7	6,8		
		Hardox 550	60	30	6	721,4	718,6	2,8
					12	724,5	720,8	3,7
60	6			726,2	720,6	5,6		
	12			723,9	717,5	6,4		



Şekil 6.13. Darbe uygulanan plakaların 30 N yükteki aşınma miktarları

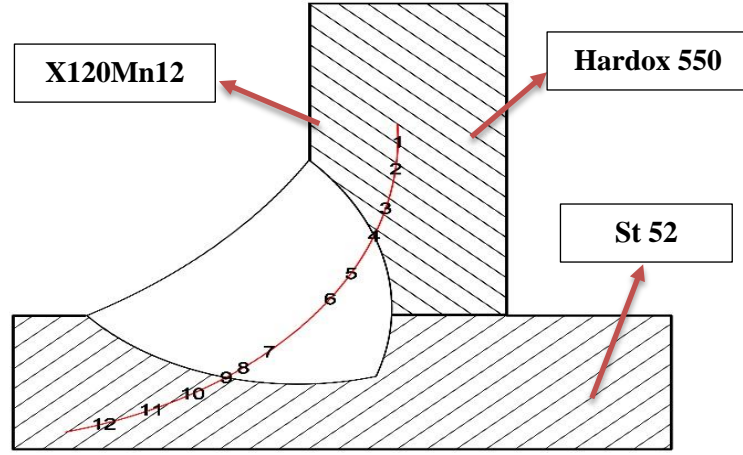


Şekil 6.14. Darbe uygulanan plakaların 60 N yükteki aşınma miktarları

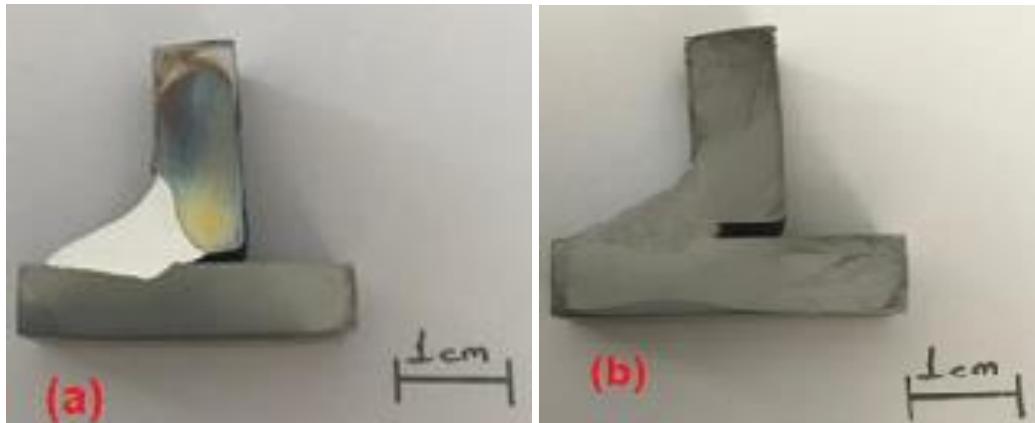
6.5. Kaynak Edilebilirlik Deneyi Sonuçları

6.5.1. Kaynaklı Parçaların Mikro Sertlik Taraması

Kaynaklı birleştirme sonrası, kaynak dikişi ve sınırları ve ana metal sertlik değişimleri, 500gf yük altında mikrovickers uç kullanarak yaklaşık 100 mikrometre (0.1 mm) aralıklarla mikrosertlik taraması yapılarak analiz edilmiştir. Şekil 6.15' te görüldüğü gibi St 52 plakalar yatay pozisyonda, X120Mn12 ve Hardox 550 plakalar ise düşey pozisyonda kaynak edilmiştir ve kaynak dikişlerinin (4 noktadan), ısının tesiri altında kalan bölgelerin (4 noktadan) ve ana metal bölgelerinin (4 noktadan) sertlikleri ölçülmüştür. Şekil 6.16' da mikrosertlik taraması için kesiti parlatılmış kaynaklı parçalar görülmektedir.



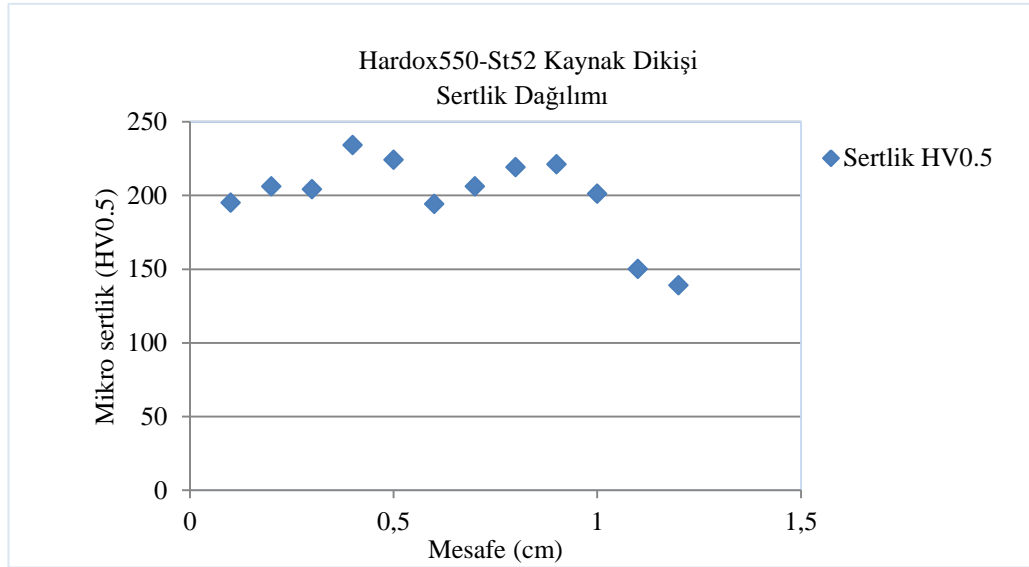
Şekil 6.15. Kaynaklı parçaların sertlik ölçüm noktaları



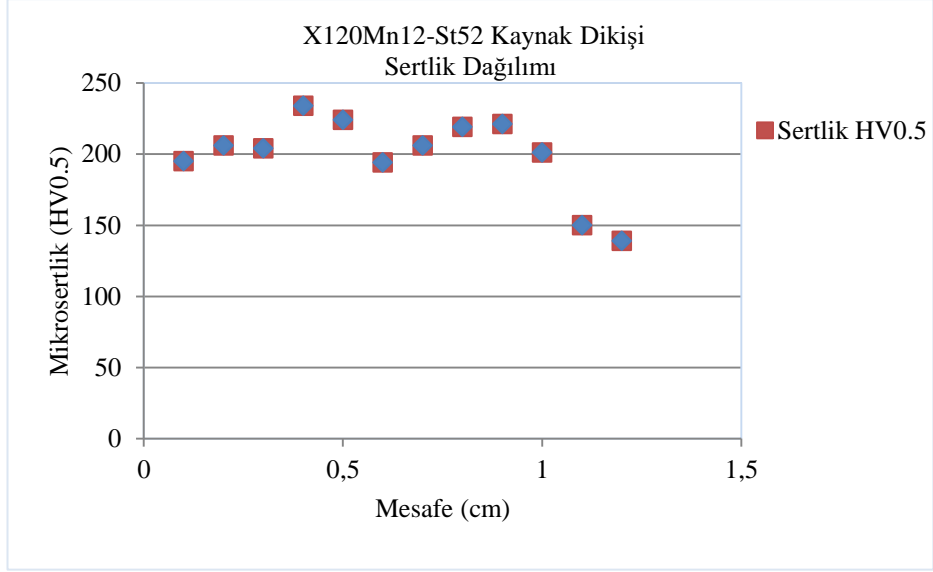
Şekil 6.16. Kaynaklı parçalar a) X120Mn12-St52, b) Hardox550-St52 kaynağı

Tablo 6.18. Kaynaklı aşınma plakalarına ait sertlik taraması sonuçları

X120Mn12			Hardox 550		
Nokta	Ölçüm Yapılan Alan	Sertlik Değeri (HV 0.5)	Nokta	Ölçüm Yapılan Alan	Sertlik Değeri (HV 0.5)
1	Ana Malzeme	211	1	Ana Malzeme	195
2		233	2		206
3	ITAB	238	3	ITAB	204
4		235	4		234
5	Kaynak Metali	273	5	Kaynak Metali	224
6		240	6		194
7		250	7		206
8		291	8		219
9	ITAB	170	9	ITAB	221
10		176	10		201
11	Ana Malzeme	180	11	Ana Malzeme	150
12		180	12		139

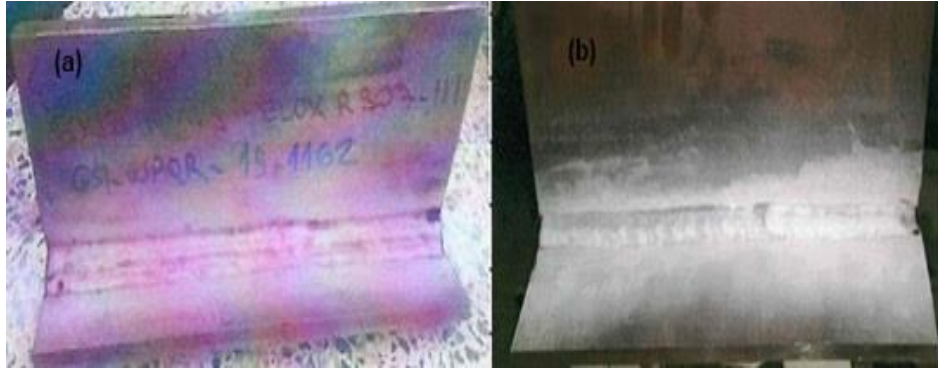


Şekil 6.17. Hardox 550-St 52 kaynak bölgesi sertlik dağılımı



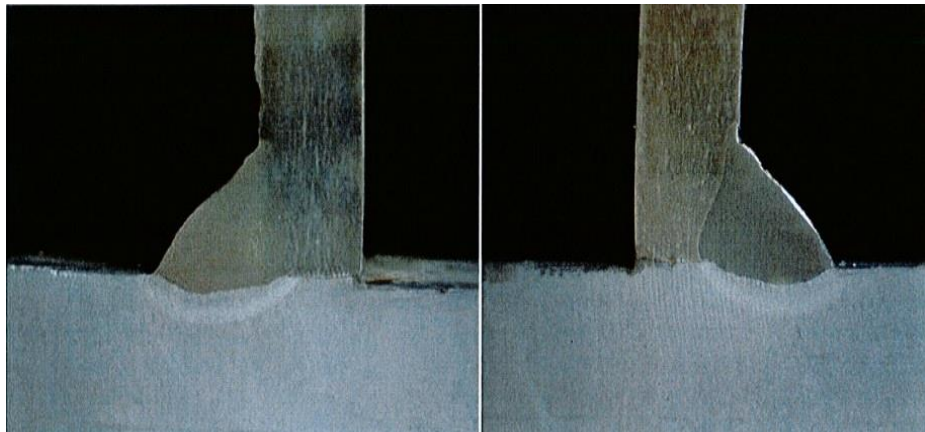
Şekil 6.18. X120Mn12-St 52 kaynak bölgesi sertlik dağılımı

6.5.2. Sıvı Penetrant Testi Sonucu



Şekil 6.19. Penetrant test numuneleri; a) X120Mn12 plaka, b) Hardox 550 plaka

6.5.3. Makro Test Sonucu



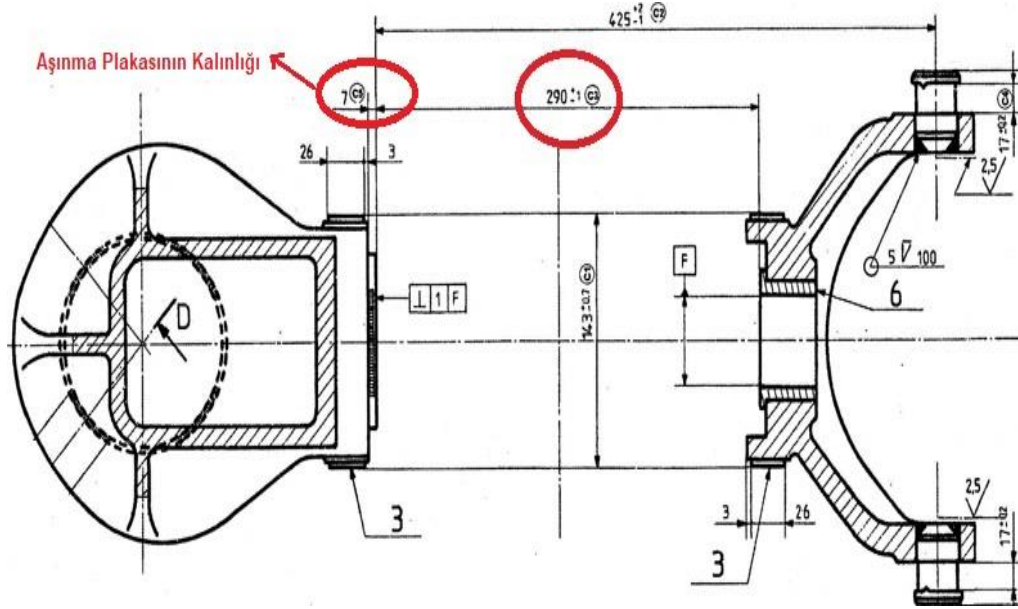
Şekil 6.20. Manganeli plakaya ait makro inceleme görüntüsü



Şekil 6.21. Hardox plakaya ait makro inceleme görüntüsü

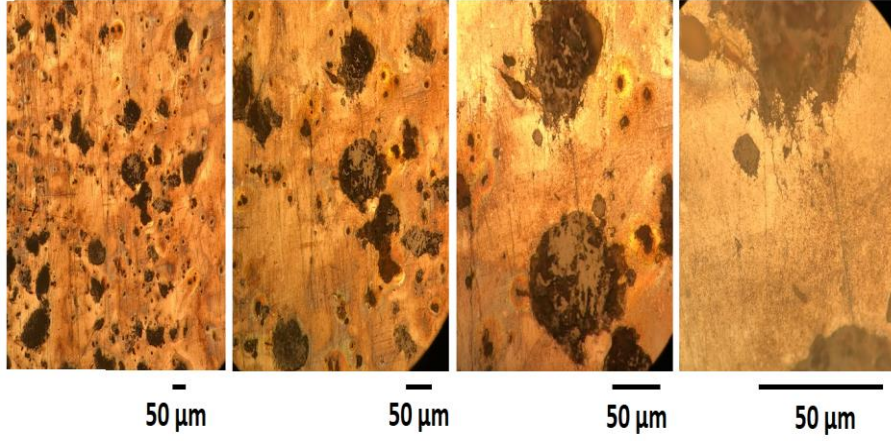
6.6. VPI' ya Göre Kalınlık Ölçümü Sonucu

Ölçümü yapılan aşınma plakalarının kalınlığı $7^{+0.2}_{-0.1}$ mm olup VPI'ya göre sınır değerler $7^{+0.2}_{-1.5}$ mm dir. Yani max 1.7 mm kalınlık azalmasına müsaade edilmektedir. Toplam 5 adet plaka ölçülmüş ve plaka ölçülerinin 5 mm ile 5.8 mm arasında değiştiği görülmüştür.

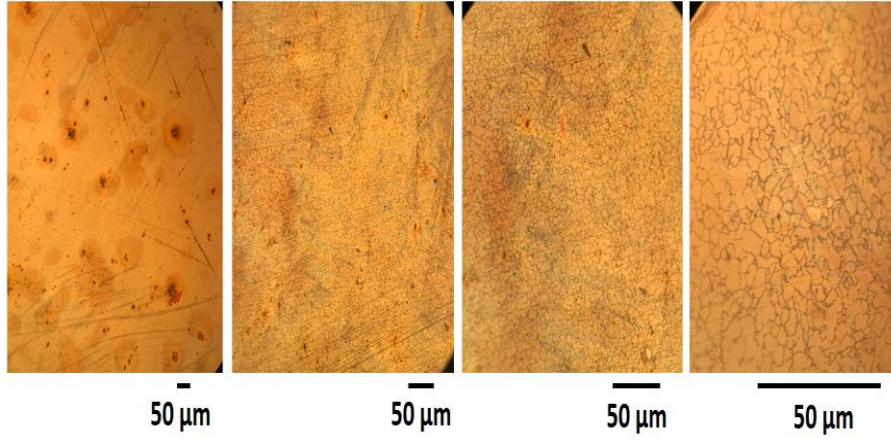


Şekil 6.22. VPI'ya göre susta taşıyıcı üzerindeki aşınma plakasının sınır ölçüsü

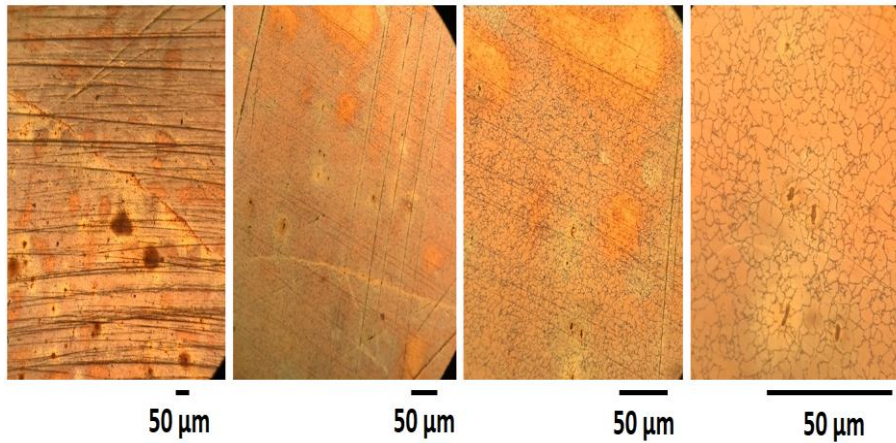
6.7. Optik Mikroskop Analizi Sonuçları



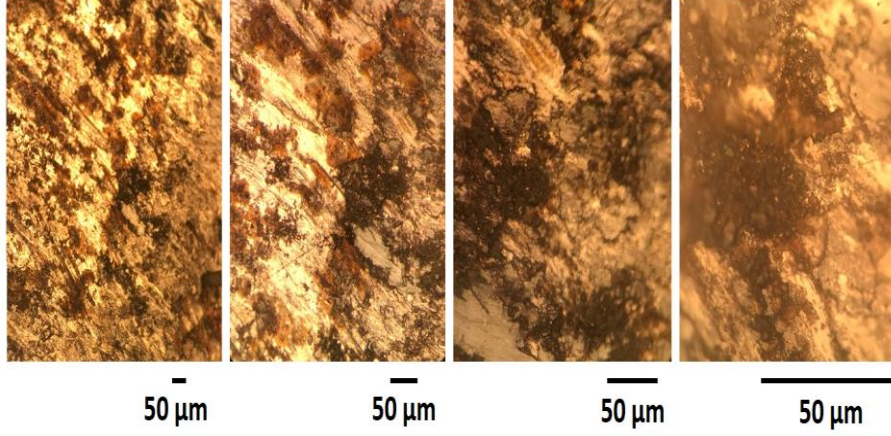
Şekil 6.23. Aşınmamış Hardox plakanın mikro yapı görüntüsü



Şekil 6.24. Aşınmış hardox plakanın mikro yapı görüntüsü



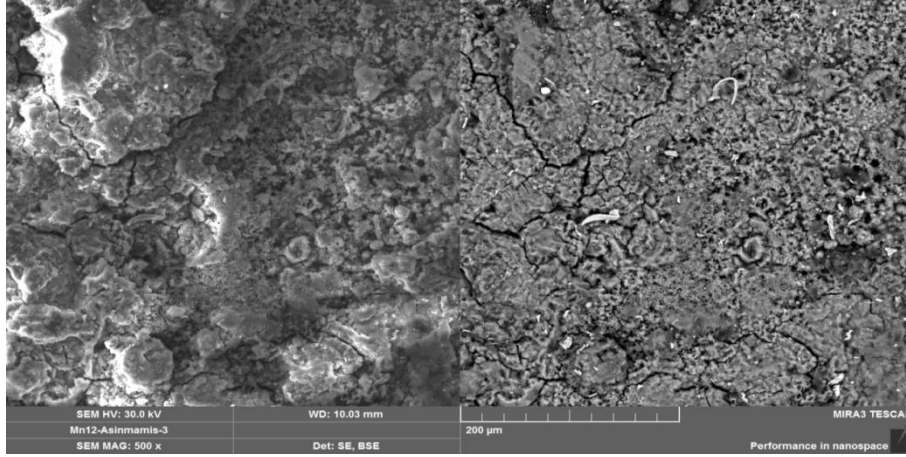
Şekil 6.25. Aşınmamış manganlı plakanın mikro yapı görüntüsü



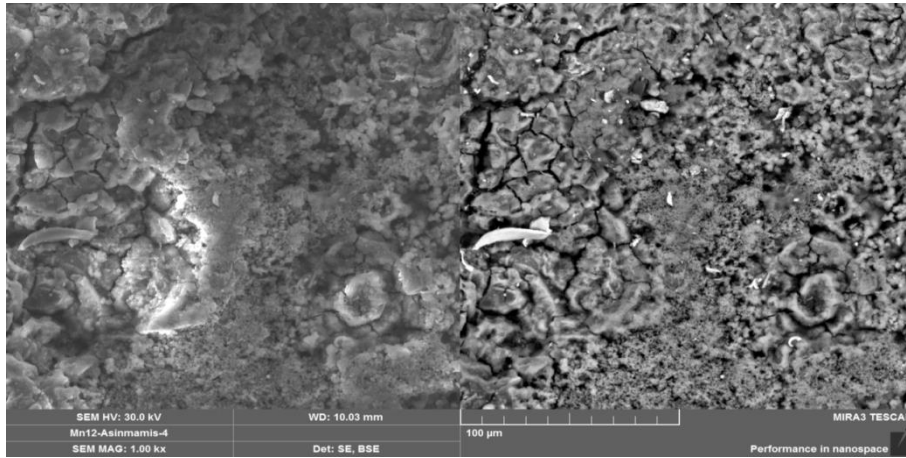
Şekil 6.26. Aşınmış manganlı plakaların mikro yapı görüntüsü

6.8. SEM Analizi Görüntüleri

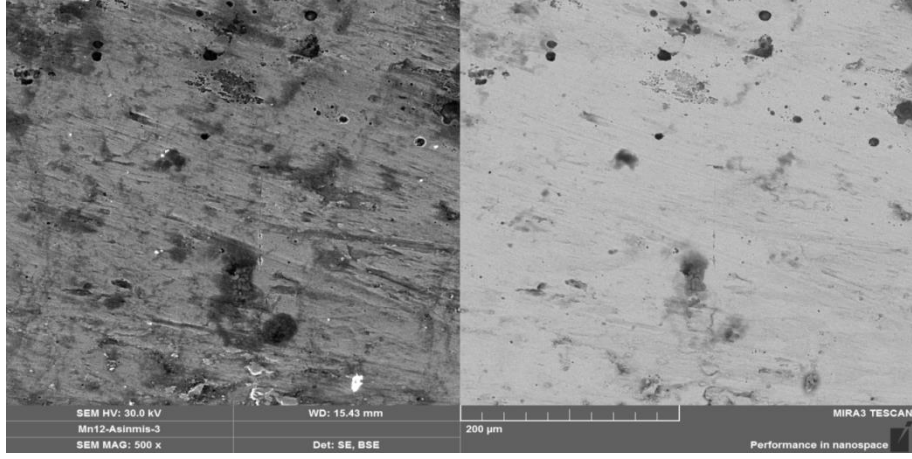
6.8.1. Aşındırılmış ve Aşındırılmamış Plakaların SEM Analizi Görüntüleri



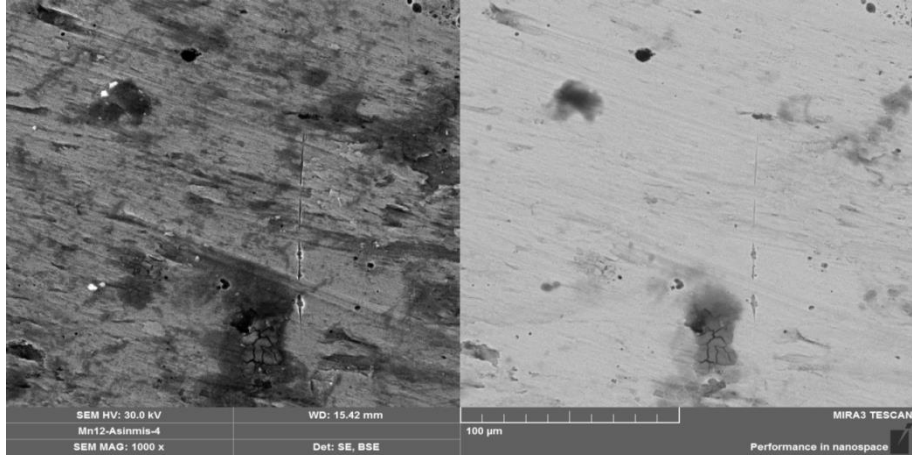
Şekil 6.27. Aşınmamış manganlı plakanın 500X büyütmedeki SEM görüntüsü



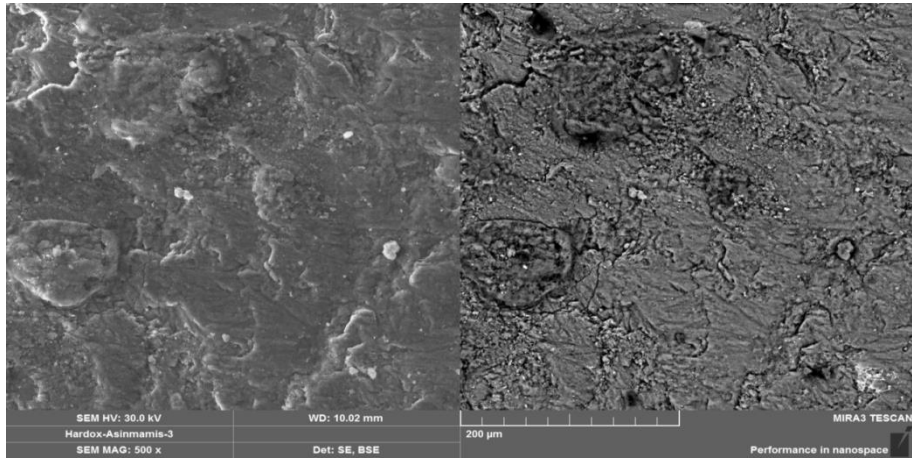
Şekil 6.28. Aşınmamış manganlı plakanın 1000X büyütmedeki SEM görüntüsü



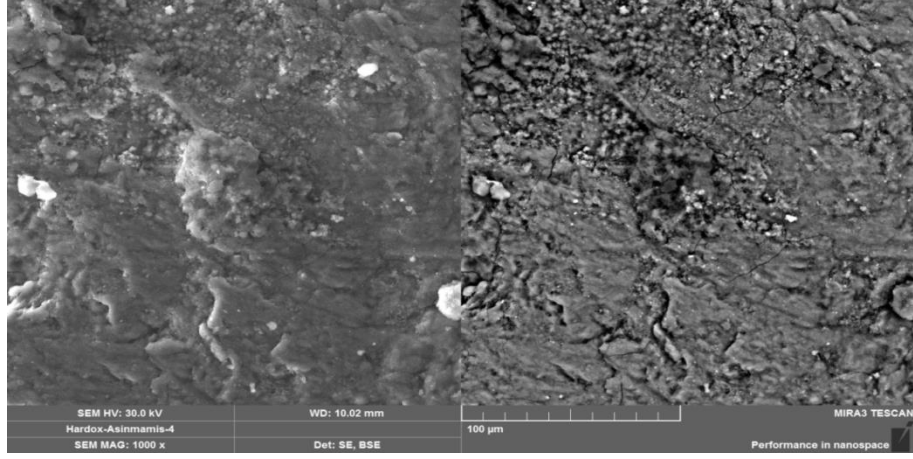
Şekil 6.29. Aşınmış manganlı plakanın 500X büyütmedeki SEM görüntüsü



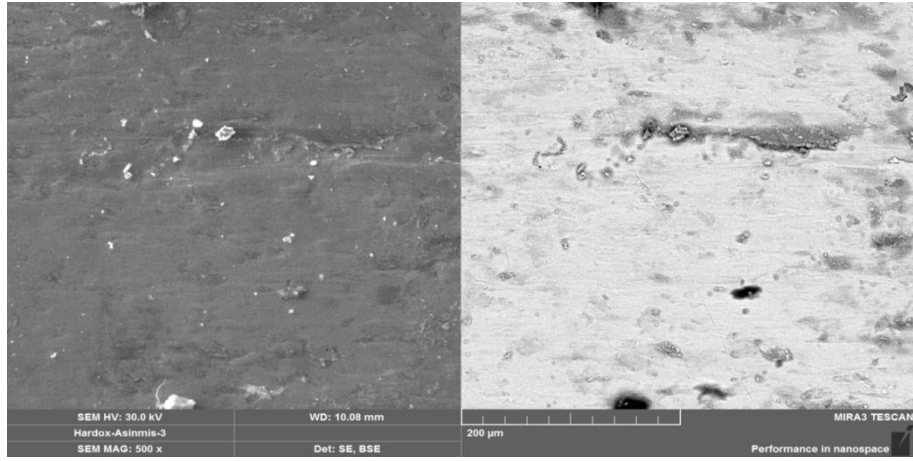
Şekil 6.30. Aşınmış manganlı plakanın 1000X büyütmedeki SEM görüntüsü



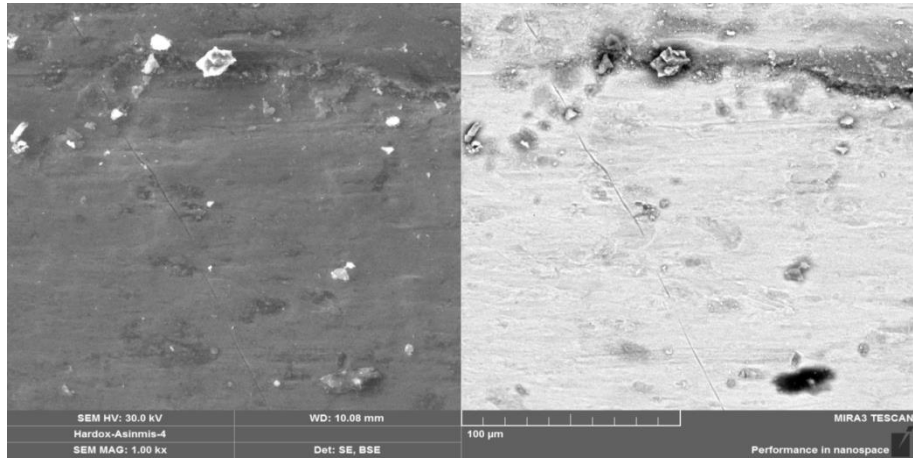
Şekil 6.31. Aşınmamış Hardox plakanın 500X büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 6.32. Aşınmamış Hardox plakanın 1000X büyütmedeki SEM görüntüsü

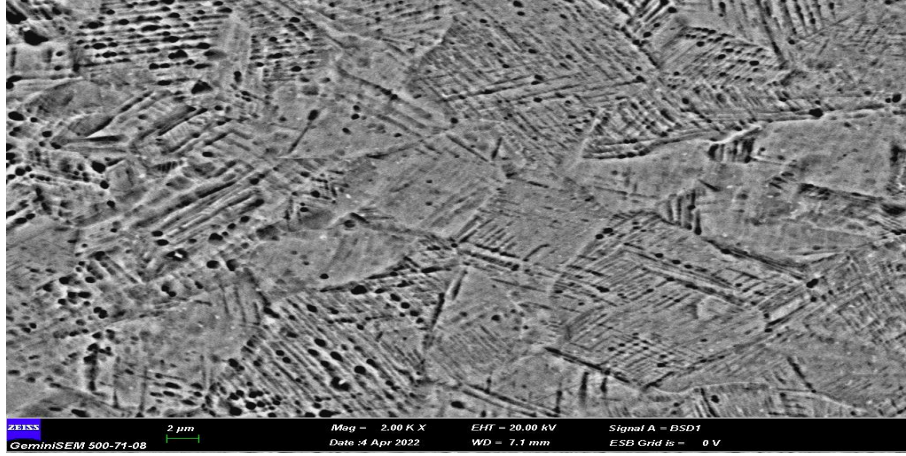


Şekil 6.33. Aşınmış Hardox plakanın 500X büyütmedeki SEM görüntüsü

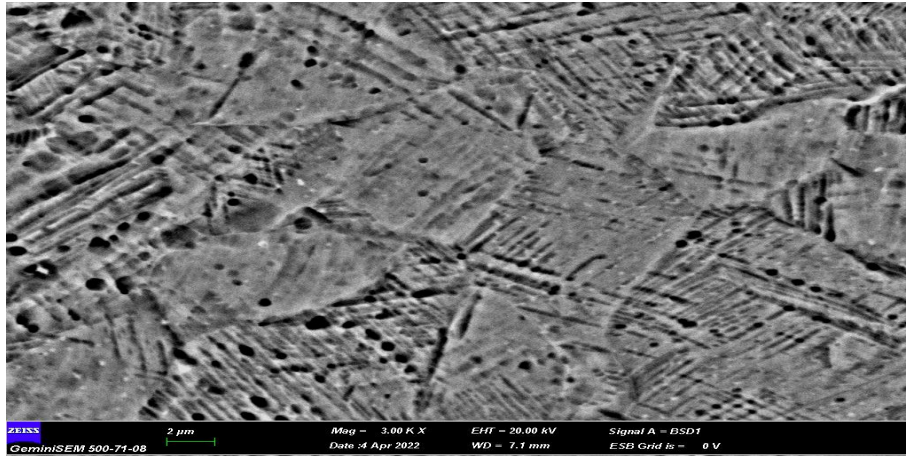


Şekil 6.34. Aşınmış Hardox plakanın 1000X büyütmedeki SEM görüntüsü

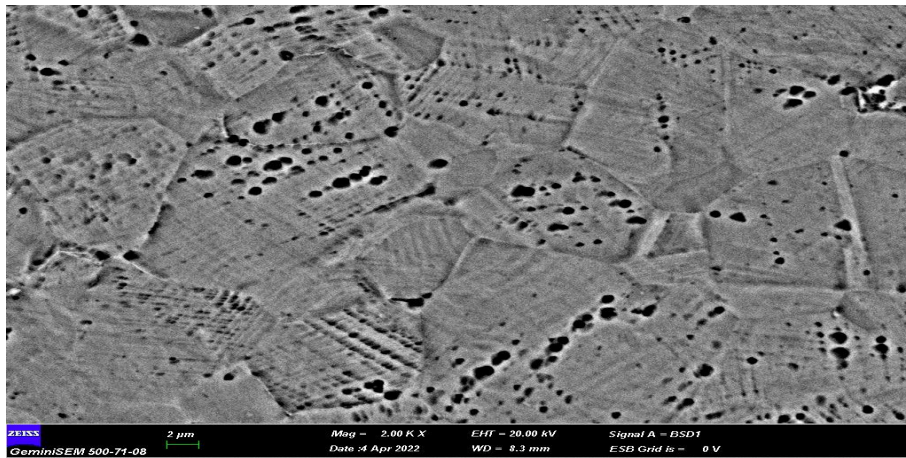
6.8.2.Dövülmüş ve Dövülmemiş Manganlı Plakaların SEM Analizi Görüntüleri



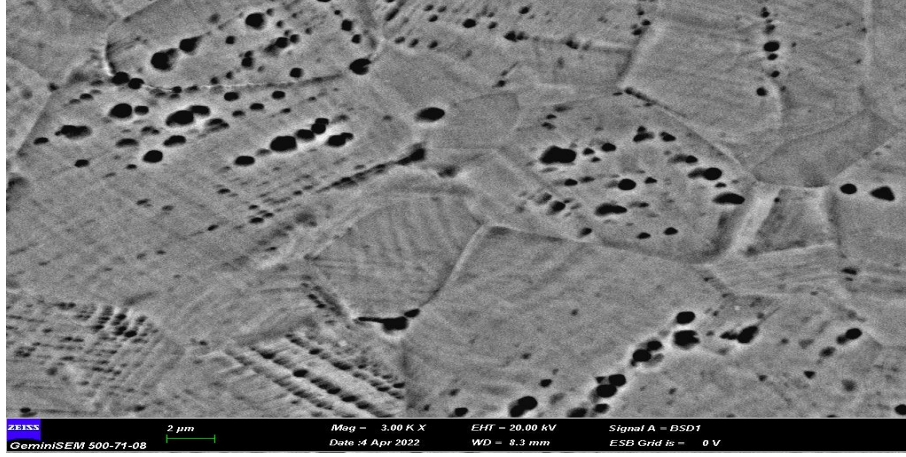
Şekil 6.35. Dövülmemiş manganlı plakanın 2000X büyütmedeki SEM görüntüsü



Şekil 6.36. Dövülmemiş manganlı plakanın 3000X büyütmedeki SEM görüntüsü

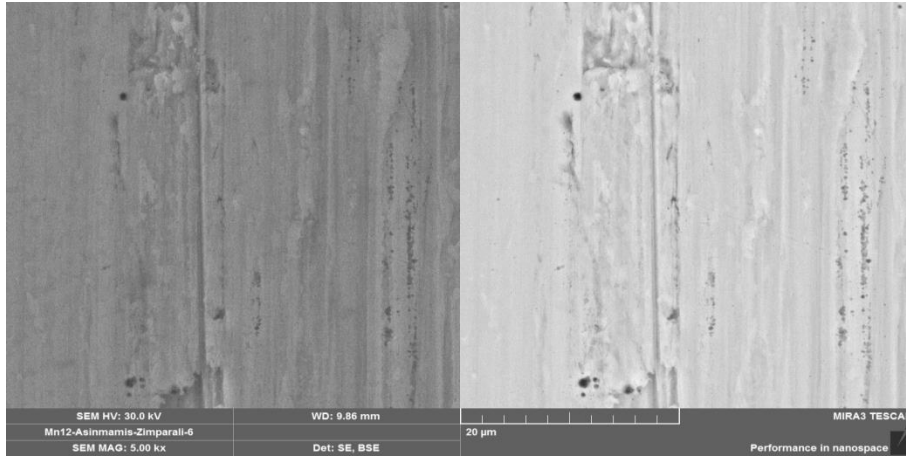


Şekil 6.37. Dövülmüş manganlı plakanın 2000X büyütmedeki SEM görüntüsü

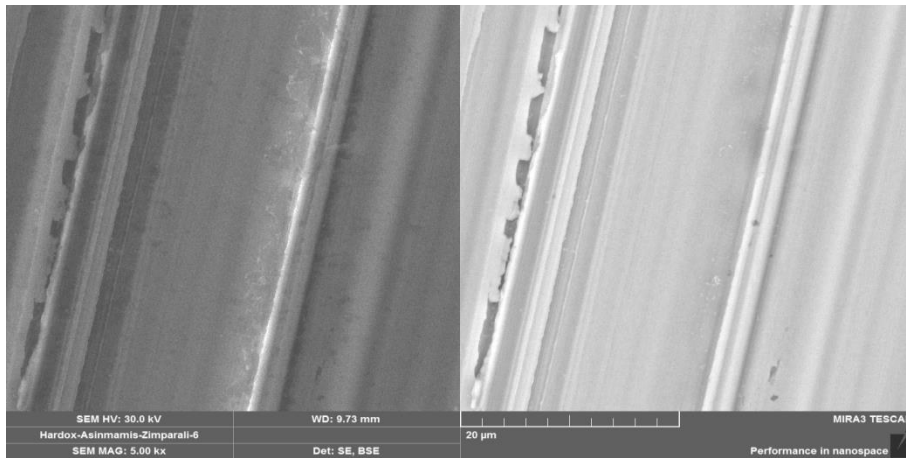


Şekil 6.38. Dövülmüş manganlı plakanın 3000X büyütmedeki SEM görüntüsü

6.8.3. Test Vagonunu Bojisi Üzerinden Çıkarılan Plakaların SEM Analizi Görüntüleri

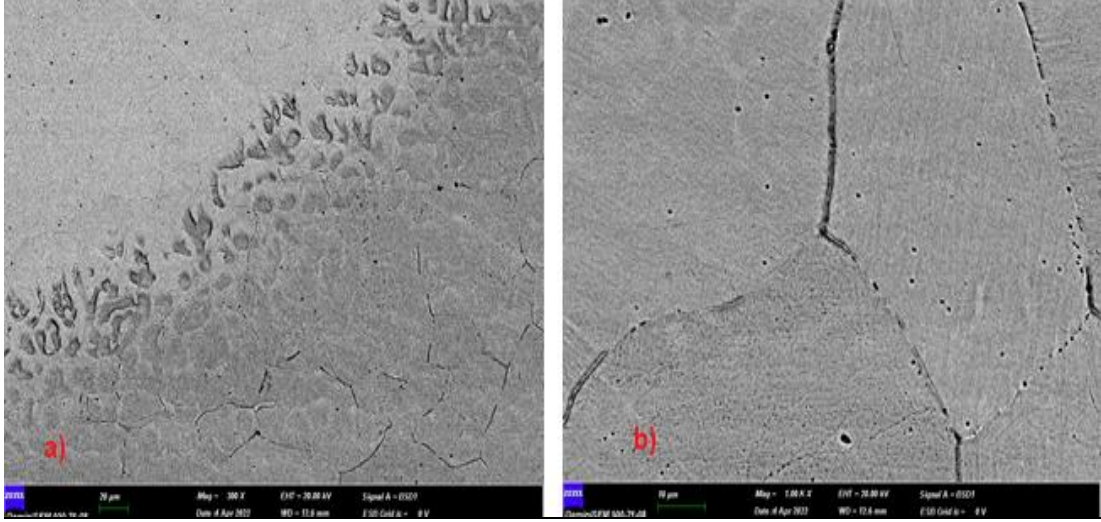


Şekil 6.39. Test bojisinden çıkarılan manganlı plakanın 5000X büyütmedeki SEM görüntüsü

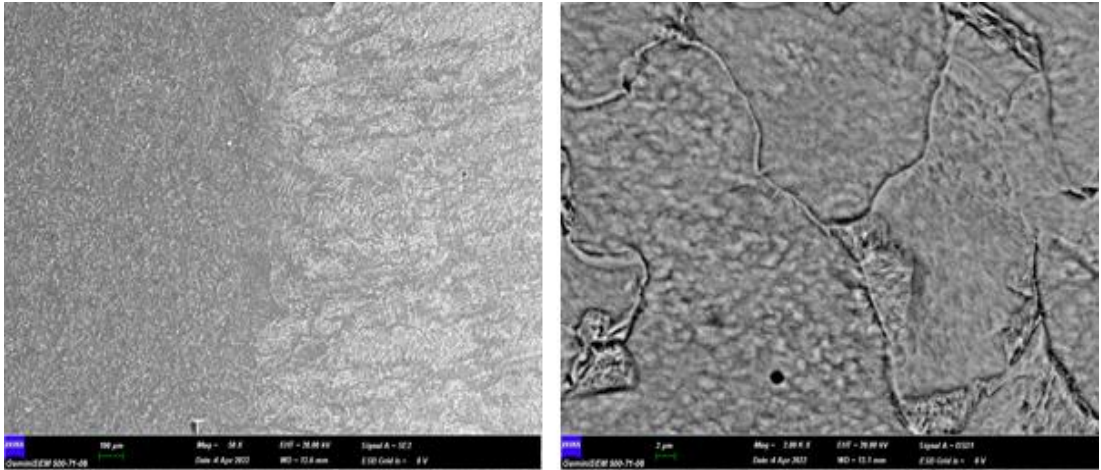


Şekil 6.40. Test bojisinden çıkarılan Hardox plakanın 5000X büyütmedeki SEM görüntüsü

6.8.4.Kaynaklı Parçaların SEM Analizi Görüntüleri



Şekil 6.41. a) X120Mn12-St52 kaynak dikişi ITAB bölgesi, b) St 52 malzemenin tane sınırındaki çökelmeler



Şekil 6.42. a) Hardox 550-St52 kaynak dikişi ITAB bölgesi, b) St 52 malzemenin tane sınırı

6.9. Maliyet Araştırması Sonucu

Tablo 6.19. X120Mn12 aşınma plakası maliyet tablosu

Türü	Parça Adı	Ölçüsü	Adet	Ortalama Birim Fiyat (€)	Toplam Fiyat (€)
X120Mn12	Susta Üst Yatağı Aşınma Plakası	3xØ36	12	0,7	8,4
	Susta Taşıyıcı Aşınma Plakası 1	3x26x130	36	1,6	57,6
	Susta Taşıyıcı Aşınma Plakası 2	7x100x172	12	7,3	87,6
	Alt Oturma Parçası Aşınma Plakası	5x53x70	12	2,8	33,6
	Üst Oturma Parçası Aşınma Plakası	5x37x70	12	2,5	30
	Klavuz Gövdesi Aşınma Plakası	5x45x70	12	2,7	32,4
	Bağlantı Kirişi Aşınma Plakası	5x45x80	12	2,8	33,6
	Yatak Kutusu Aşınma Plakası 1	3x26x130	48	1,6	76,8
	Yatak Kutusu Aşınma Plakası 2	5x108x160	24	6,9	165,6
	Orta Bağlantı Aşınma Plakası	3x160x200	2	6,5	13
	Aşınma Plakası Üst Sacı	3x120x350	2	6,8	13,6
	Kayma Plakası Sportu Alt Sacı	3x90x200	2	6,2	12,4
				Toplam	564,6 €

Tablo 6.20. Hardox 550 aşınma plakası maliyet tablosu

Türü	Parça Adı	Ölçüsü	Adet	Ortalama Birim Fiyat (€)	Toplam Fiyat (€)
Hardox 550	Susta Üst Yatağı Aşınma Plakası	3xØ36	12	0,2	2,4
	Susta Taşıyıcı Aşınma Plakası 1	3x26x130	36	0,45	16,2
	Susta Taşıyıcı Aşınma Plakası 2	7x100x172	12	2	24
	Alt Oturma Parçası Aşınma Plakası	5x53x70	12	0,5	6
	Üst Oturma Parçası Aşınma Plakası	5x37x70	12	0,9	10,8
	Klavuz Gövdesi Aşınma Plakası	5x45x70	12	1,2	14,4
	Bağlantı Kirişi Aşınma Plakası	5x45x80	12	1,3	15,6
	Yatak Kutusu Aşınma Plakası 1	3x26x130	48	0,45	21,6
	Yatak Kutusu Aşınma Plakası 2	5x108x160	24	2,1	50,4
	Orta Bağlantı Aşınma Plakası	3x160x200	2	2,5	5
	Aşınma Plakası Üst Sacı	3x120x350	2	2,6	5,2
	Kayma Plakası Sportu Alt Sacı	3x90x200	2	2,2	4,4
					Toplam	176 €

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1.Sonuçlar

Bu çalışmada uzun yıllardır yük vagonu imalatında aşınma plakası olarak kullanılan X120Mn12 kalite manganlı çeliğine Hardox 550 çeliğinin alternatif olup olmayacağını araştırılmıştır. Çalışmamız neticesinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- ✓ Kimyasal deneyler sonucunda yapılan spektrometre analizinde manganlı plakaların C ve Mn miktarlarının ürünün sertifikasında belirtilen değerlerin altında olduğu ve elementlerin homojen dağılmadığı görülmüştür. Buna karşın Hardox 550 plakaların kimyasal değerleri sertifikalarında belirtilen değerlerle uyumludur ve homojen dağılım göstermektedir. Manganlı plakaların kullanım esnasında gereğinden fazla aşınması bu elementlerin istenilen seviyede olmaması ile açıklanabilir.
- ✓ Kullanılmamış aşınma plakalarının sertliği ölçüldüğünde sertliklerin sertifikalarındaki değerlerle uyumlu oldukları fakat manganlı plakaların sertlik dağılımının plakanın her yerinde homojen olmadığı çeşitli bölgelerde farkın 12 HRC' ye kadar çıktığı görülmüştür. Hardox 550 plakaların ise sertlik dağılımı plaka yüzeyinde daha homojendir ve fark yaklaşık 2 HRC dir. Bu sonuçlar bize manganlı aşınma plakalarının bazı bölgelerinin neden fazla bazı bölgelerinin ise neden az aşındığını açıklamamıza yardımcı olmuştur.
- ✓ Test bojisi üzerinden çıkarılan aşınma plakaları incelendiğinde deformasyon sonucu manganlı plakaların ortalama sertliğinin yaklaşık 10 HRC artarak darbe deformasyonu sonucunda gerinim sertleşmesine uğradığı ve sertliğinin 40 HRC'nin üstüne çıkması gerekirken yaklaşık 27 HRC dolaylarında olduğu, Hardox 550 plakaların ise sertliğinde herhangi bir değişim olmadığı gözlemlenmiştir. Bu veriler manganlı plakaların darbe aldığı yeterli olmamakla birlikte yine de sertleştiğini, Hardox plakaların ise sertleşmediğini göstermiştir.
- ✓ Manganlı plakaların bazı bölgelerinin fazla aşındığı aşınan bu bölgelerde sertliğin 35 HRC' ye kadar yükseldiği bazı bölgelerin ise hemen hemen hiç aşınmadığı Hardox 550 plakaların ise çok az aşındığı gözlemlenmiştir.

- ✓ Revizyon bakımına gelen vagondan çıkarılan manganlı plakaların VPI ya göre kalınlıkları ölçüldüğünde olması gereken sınır değerlerinin altında olduğu görülmüştür. Bu nedenle revizyon bakımlarında plakaların yenileriyle değişmesi gerektiği anlaşılmıştır.
- ✓ Vargel tezgâhında hem 30 N hem de 60 N yük uygulanarak yapılan aşınma testi sonucunda numuların ağırlık kaybı manganlı plakaların Hardox plakalara oranla 2 kat daha fazla aşındığı göstermiştir.
- ✓ Kaynak edilebilirlik karşılaştırmasında Hardox çeliğinin karbon eşdeğerinin düşük olması nedeniyle manganlı çeliğe göre daha kolay kaynak edilebildiği anlaşıldı.
- ✓ Kaynak yapılan plakaların makro yapısı incelendiğinde St 52-Hardox 550 kaynağında nüfuziyetin St 52-X120Mn12 kaynağına göre daha fazla olduğu görüldü. Ayrıca St 52-X120Mn12 kaynağının ITAB bölgesinin sertliğinin St 52-Hardox 550 kaynağına göre daha yüksek olduğu ve St 52-X120Mn12 kaynağında yapılan sıvı penetrant testinde kaynak dolgu metalinin üstünde ve ITAB bölgesinde kılcal çatlakları bulunduğu görüldü. Bu sonuç ise bize manganlı plakaların kullanımı esnasında kaynak bölgelerinden neden koptuğunu açıklamıştır.
- ✓ Şekil 6.17’de görüldüğü gibi Hardox 550 plakada sertlik 250 HV0.5 iken, kaynak dikişinde 230-221 HV0.5 aralığında, St 52 plaka sınırına geçişte ise 179 HV0.5 ölçülmüştür. Bunun nedeni Hardox 550 plakada östenit-martenzit yapısının kaynak bölgesinde yüksek ısı girişi, erime ve tekrar katılaşma nedeni ile uniform mikroyapının bozulmasıdır. Ayrıca şekil değiştirme kaynaklı (strain-induced martensite) yapının imalatındaki gibi kalıcı deforme edilemediği için tekrar oluşma durumu (sertleşme) bulunmamasıdır.
- ✓ Şekil 6.18’de, St 52 plakada ölçülen 140 HV0.5 civarı mikrosertlik değeri, St 52 plakada perlit faz sınırı ve devamında perlit yapının uniform sürmesi ni açıklamaktadır. X120Mn12 çeliği ile St 52 birleştirilmesinde, ölçülen sertlik, Hardox550-St52 kaynak bölgesine göre kısmen daha düşüktür. Bunun nedeni X120Mn12 çeliğindeki daha yumuşak dokuya sahip yüksek manganlı östenitik fazın hâkim olmasıdır.

- ✓ St 52 plakada C ve Mn oranı ağırlıkça yüzde 1 civarındadır. Bu çalışmada hadfield çelik türü olan ağırlıkça yüzde 12 oranında yüksek mangan içeren X120Mn12 ile birleştirilmesi sonucu Mn ve C miktarı daha da yükselmiştir. Bu durum kaynak bölgesinde östenit fazını stabil hale getirmiş, St 52 tane sınırlarına yakın bölgelerde faz farklılaşması izlense de belirgin MnS gibi tehlikeli çökelti fazları olduğu mikroyapı incelemelerinde tespit edilmiştir. Şekil 6.38'de görülen demir dokuda çözünmemiş bu tip demirdışı bileşikler, bu çalışmadaki kaynaklı birleştirmelerde kaynak dikişlerindeki çatlamların sebebi olabilir.
- ✓ Şahmerdan ile dövülen manganlı plakanın sertliğinin yaklaşık 2 katına çıktığı ve 40 HRC'nin üstünde sertleştiği, Hardox 550 plakanın ise sertliğinin değişmediği gözlemlendi. Bu sonuç bize manganlı plakaların yeterli kuvvette darbe aldığına uygun sertliğe ulaşabildiğini gösterdi. Bu netice ile test vagonu üzerindeki aşınma plakalarının gerekli sertliğe ulaşamamasının ve aşınmasının nedeninin yeterli darbe kuvvetine maruz kalamaması olduğu anlaşılmıştır.
- ✓ Vagon üzerinden çıkarılan plakaların optik mikroskop ile mikro yapısı incelendiğinde plakaların martenzitik yapıya ulaşmadığı bu nedenle de plakaların sertleşmeden aşındığı, aşınarak plakadan kopan partiküllerin ise yeniden yüzeye yapıştığı görülmüştür.
- ✓ Bir yük vagonunda kullanılan manganlı aşınma plakalarının tamamının Hardox 550 kalite ile değiştirilmesinin önemli bir fiyat avantajı sağladığı görülmüştür.

7.2.Öneriler

Manganlı çelikler uzun yıllardır yük vagonu imalatında aşınma plakası olarak kullanılmaktadır. Bilindiği üzere bu çelikler darbe alarak sertleşir fakat istenilen gerinim sertliğine ulaşarak aşınma dirençlerinin artması için ne kadarlık bir kuvvete maruz kalmaları gerektiği bilinmemektedir. Ayrıca manganlı çeliklerin sürtünme şeklindeki ve akma mukavemetinin altındaki kuvvetlerde darbe almaları neticesinde sertliklerinin artmadan aşınmaya uğradıkları bilinmektedir. Kaynak edilebilirlikleri ise karbon eş değerinin yüksekliği nedeniyle Hardox çeliklerine nazaran daha kötüdür ve özel şartlarda kaynak edilmeleri gerekmektedir. Bu dezavantajlar göz

önünde bulundurulduğunda manganlı çeliklerin kullanım esnasında darbe olarak sertleşmesini beklemek yerine başlangıç sertliğini bildiğimiz ve yapmış olduğumuz çalışma neticesinde aşınma dayanımının ve kaynak edilebilirliğinin daha iyi olduğunu tespit ettiğimiz Hardox çeliklerinin yük vagonu imalatında aşınma plakası olarak kullanılması gerek teknik açıdan gerekse ekonomik açıdan daha avantajlıdır.

Her ne kadar X120Mn12 çeliğine alternatif olarak Hardox 550 çeliği düşünülerek çalışma yapılmış olsa da Hardox 450 kalitesinin de istenilen değerleri karşılayabileceği ve daha iyi bir tercih olabileceği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada yük vagonunun adhezif aşınmaya uğrayan boji kısmındaki aşınma plakaları incelenmiştir. Yük vagonlarının abrazyon aşınmasına maruz kalan sandık kısımlarında da Hardox çeliğinin kullanımı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Ağar, A. (2017). *Buraj kazmalarının dolgu kaynağında kullanılan farklı sert dolgu kaynak elektrotlarının mekanik özelliklere ve mukavemete etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 72, Sivas.
- Anonim, (2015). Hardox 550'nin aşınma parçalarında %12 mangan çelik ve 500 HB çelikten daha iyi olmasının nedenleri. Erişim: 20.12.2020 <https://www.ssab.com.tr/haberler/2015/06why-hardox-550-beats-12-manganese-steel-and-500-brinell-steel-in-wear-parts>
- Blau, P. J. (2010). *Elevated-temperature tribology of metallic materials*. Tribology international, 43(7), 1203-1208.
- Büyükkelleci, Ü. (2008). *Yeni bir aşınma test cihazı tasarımı ve bazı metallerin aşınma davranışlarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, 62, Elâzığ.
- Cho, C. W. and Lee, Y. Z. (2003). *Effects of oxide layer on the friction characteristics between TiN coated ball and steel disk in dry sliding*. Wear, 254(3-4), 383-390.
- Demir, A. (2012). *Farklı çeliklerin yorulma aşınmasında malzeme sertliğinin aşınma üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 110, Edirne.
- Dobrzański, L.A., Lukaszkoicz, K., and Labisz K. (2006). Structure of monolayer coatings deposited by pvd techniques. *Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 18, 1-2.
- Doğan, B. (2011). *AISI 1350 çeliğinden imal edilmiş buraj makinesi kazmalarının yerine, AISI 1040 ve AISI 4140 çeliklerinin kullanılabilirliğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 61, Sivas.
- Emre, E.İ. (2019). *Kırma ve öğütme sistemlerinde Hardox 450 ve 20MnCr5 çeliklerinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesi ve karakterizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 83, Sakarya.
- Ergüler, M. (2005). *Buzdolabı kompresörlerinin aşınma davranışının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislikte İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, 76, İstanbul.
- Harzallah, R., Mouftiez, A., Felder, E., Hariri, S., & Maujean, J. P. (2010). Rolling contact fatigue of Hadfield steel X120Mn12. *Wear*. 269(9-10). 647-654.
- Karabaşoğlu, M. (2008). *Aşınma deney cihazı tasarımı ve imalatı* Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 103, Sakarya.
- Kaştan, A. (2005). *Grafit katkılı nylon 6 nın aşınma davranışlarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislikte İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, 76, İstanbul.
- Kaydelen, A. (2018). *Yüksek manganlı ostenitik çeliklerin aşınma davranışlarına vanadyum ve molibden element ilavesinin etkisinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 49, Eskişehir

- Kisecik, İ. (2010). *Sertleştirilmiş ve sert dolgu kaynağı yapılmış AISI 1050 çeliğinin aşınma direncinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 81, Sivas.
- Kocabekir, İ., Tunca, N., Özer, O., Tümer C.(2013, Ekim) “Demiryolu ray sistemlerinde kullanılan hadfield çeliğinin aşınma davranışı”, 2. *Uluslararası Raylı Sistemler Mühendisliği Sempozyumu (ISERSE’13)*, Karabük.
- Koç, A. (2007). *AISI 4142 çeliğinin ısıtma işlem ve ergitme yöntemleriyle yüzey modifikasyonu sonucu mekanik davranışlarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, 57, Elâzığ.
- Kosa, E. (2016). *Çeliklerin erozif-abrazif aşınmasında aşındırıcı tane büyüklüğünün aşınma direncine etkisi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 94, İstanbul.
- Kurgan, N. MMB 638 Hasar Mekanizmaları [PDF belgesi]. Erişim:15 Kasım 2020, <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/naci.kurgan126929/05%20A%C5%9F%C4%B1nma%20Hasarlar%C4%B1%20.pdf>
- Metlioğlu, R.M. (2012). *Yüksek aşınma direncine sahip (Hardox 400) çelik malzemenin plazma ark yöntemi ile kesilmesinde kesme parametrelerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 59, Karabük.
- Milos S., Stanislav F., (2013) “Experimental research and analysis of selected technological parameters on the roughness of steel area surface Hardox 500 with thickness 40 mm cut by awj technology”, *Applied Mechanics and Materials*. 308. 13-17.
- Oğuz, B. (1985). *Karbonlu ve alaşımlı çeliklerin kaynağı*. Oerlikon yayını. 11, 1-5.
- Özsaraç, M. (2005). *Raylı taşıtlarda teker bandajı-ray sisteminde dolgu kaynağı ve sabo parçaların aşınma ve yorulma davranışlarının incelenmesi*. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 102, İstanbul.
- Öztürk, İ. (2012). *Otomotiv sac şekillendirme kalıplarında kullanılan malzemelerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 85, Balıkesir.
- Sarıca, B. (2003). Effects of heat treatment and chemical composition on microstructure and mechanical properties of hadfield steels. Yüksek Lisans Tezi. Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Anabilim Dalı, 72, Ankara.
- Sarıca, B. (2005). *Farklı çeliklere uygulanan yüzey kaplama işlemlerinin aşınma davranışlarına etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislikte İleri Teknolojiler Anabilim Dalı, 76, İstanbul.
- Seçilmiş, K. (2017). *Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş farklı oranlarda B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Batman.
- Topal, A. (2017). *Plazma transfer ark yöntemi kullanılarak AISI 1020 çelik yüzeylerinin Hardox 450+FEW ile kaplanması ve aşınma dirençlerinin tespit edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 132, Adıyaman.
- Turhan, H. (1994). *Östenitik manganlı çeliğin aşınma davranışlarının araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Anabilim Dalı, 45, Elâzığ.

- Tüfenk, E. (2012). *Farklı kimyasal kompozisyona sahip östenitik manganlı çeliklerin ısı işlemler sonrası mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. OnDokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 89, Samsun.
- Uluocak, M. (2008). *Hardox 450 çeliklerinin mag kaynak bölgesi mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 113, İstanbul.
- Yeğin, M. (2014). *Yük vagonlarında kullanılan fren sabolarının aşınma miktarlarının ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 74, Sivas.
- Yılmaz, R., Türkmen, M., Fıçıcı, F. (02-04 Nisan). "Hardox 500 çeliğinin abrasif aşınma davranışının incelenmesi". *International Iron&Steel Symposium*, Karabük
- Yüksel, N. (2012). *Farklı kompozisyonlarda üretilen aşınma plakalarının karakterizasyonu ve aşınma özelliklerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 126, Manisa.

ÖZ GEÇMİŞ

Oğuzhan ATLI, Samsun Tülay Başaran Anadolu Lisesi'ni 2004 yılında bitirdi 2009 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2009 yılında mezun oldu. 2012 yılında TÜDEMSAŞ Genel Müdürlüğünde çalışmaya başladı. Aynı yıl Gedik Üniversitesinde Kaynak Mühendisliği eğitimini tamamladı.2018 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İş Sağlığı Anabilim Dalında yüksek lisans yaptı. Halen TÜRASAŞ Sivas Bölge Müdürlüğü Üretim Planlama Şube Müdürlüğünde görev yapmaktadır ve orta derecede İngilizce bilmektedir.

ORCID NO: 0000-0002-5520-0996

