

Yüksek Manganlı Ostenitik Çeliklerin Aşınma Davranışlarına Vanadyum ve
Molibden Element İlavesinin Etkisinin İncelenmesi

Adem Kayadelen

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2018

The Investigation of the Addition of Vanadium and Molybdenum Elements On
The Wear Behaviours of the High Manganese Austenitic Steels

Adem Kayadelen

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Metallurgical and Material Engineering

July 2018

Yüksek Manganlı Ostenitik Çeliklerin Aşınma Davranışlarına Vanadyum ve
Molibden Element İlavesinin Etkisinin İncelenmesi

Adem Kayadelen

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Malzeme Bilimi Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Doç. Dr. İbrahim Çelikyürek

Temmuz 2018

ONAY

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Adem KAYADELEN'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Yüksek Manganlı Ostenitik Çeliklerin Aşınma Davranışlarına Vanadyum ve Molibden Element İlavesinin Etkisinin İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. İbrahim ÇELİKÜREK

İkinci Danışman : ----

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye :

Üye :

Üye :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. İbrahim ÇELİKYÜREK danışmanlığında hazırlamış olduğu “Yüksek Manganlı Ostenitik Çeliklerin Aşınma Davranışlarına Vanadyum ve Molibden Element İlavesinin Etkisinin İncelenmesi” başlıklı tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 27/07/2018

Adem KAYADELEN

İmza

ÖZET

Bu çalışmada yüksek manganlı ostenitik çeliklere Vanadyum ve Molibden katarak elde edilen yeni yapıların sertlik, darbe direnci ve özellikle aşınma özelliklerindeki değişimler gözlenmiştir. Vanadyum ve Molibden ağırlıkça %1 oranında katılmıştır. Referans numunenin yanında referans numuneye %1 Vanadyum ve referans numuneye %1 Molibden katılarak 3 farklı grupta 6 adet numune oluşturulmuştur.

Numuneler öncelikle döküm için hazırlanmıştır. Dökümleri tamamlanan numuneler 24 saat 1200 °C bekletilmiş ve sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur. Soğuyan numuneler yüzey işlemlerinden geçirilmiştir. Hazırlanan numunelere darbe direnci deneyi yapılmıştır. Her bir numuneden 3'er adet toplamda 9 adet sertlik deneyi yapıldıktan sonra aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testleri kapsamında her bir numune için iki farklı yük ve hız koşulunda aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma testlerinden sonra karakterizasyon için stereomikroskop ve XRD kullanılmıştır.

Yapılan deneyler neticesinde endüstride aktif olarak kullanılan yüksek manganlı ostenitik çelik uygulanan işlemler sonucunda darbe direnci, sertlik ve aşınma direnci kıstaslarında artışlar göstermiştir. Darbe direnci deneylerinde Vanadyum katkılı numunenin, sertlik ve aşınma direncinde ise molibden katkılı numunenin daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: yüksek mangan, ostenitik çelik, sertlik, aşınma, darbe direnci

SUMMARY

In this study, changes are observed in hardness, impact resistance and especially wear parameters of the new structures which is obtained by adding vanadium and molybdenum on high manganese austenitic steels. Vanadium and molybdenum are added as %1 of total weight. As a result of adding vanadium as %1 of total weight and adding molybdenum as %1 of total weight, six specimens are created in three different groups.

Initially, specimens are prepared for casting. After the casting, specimens are waited 24 hours in under 1200 °C for heat treatment for 24 hours and then they are cooled to room temperature. After the heat treatment, surface treatments are applied to the cooled specimens and impact resistance tests are exerted on specimens. Totally 9 hardness tests are applied as 3 tests to each specimen in three different groups, wearing tests are applied. Wearing tests are performed for two different loads and speed conditions. After wearing tests stereo-microscope and XRD analyzes are used for characterizations.

As a result of the tests, austenitic manganese steels, that are used in industry widely, are showed good increases in impact resistance, harness and wear resistance features. In impact resistance tests, the specimen in which vanadium is added as %1 of the total weight showed better performance than others. On the other hand, in harness and wear resistance tests showed that the specimen in which molybdenum is added as %1 of the total weight is better than others.

Keywords: high manganese, austenitic steel, hardness, impact resistance, wear

TEŞEKKÜR

İşinde ve özünde merhamet sahibi olan Allah'a hamd ve senadan sonra O'nun resulü ve kulu olan Muhammed Mustafa'ya dua ve selam olsun.

Hayatımı birleştirdiğim andan itibaren cesaret kaynağım olan eşim Banu KAYADELEN elbette bu tezi nihayetlendirmem noktasında da cesaret kaynağım oldu. Kendisine, iki çocuk ve yol arkadaşlığı için teşekkür ederim.

Bu yüksek lisans çalışması içeriğinin zahmetli oluşu ve çalışma durumum sebebiyle birçok kişiden yardım almamı gerektirdi. Bu sebeple ilkin tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇELİKÜREK'e teşekkür ederim.

Uzun sayılabilecek tez dönemi boyunca her türlü nazımı çeken Metalurji ve Malzeme Yüksek Mühendisi Akın Özcan Bey'e bilahare teşekkür ederim.

Metalurji Enstitüsü Laboratuvarı çalışanı Teknisyen Akif Bey'e yardımları için teşekkür ederim.

Marmara Metal'e, Beysu-Haksun Ltd.'e, Liya Ltd.'ye lojistik noktasında yardımları sebebiyle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1.GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	5
3.1. Materyal.....	5
3.2. Yöntem.....	6
4.TEORİK BİLGİLER	8
4.1. Manganlı Çelikler.....	8
4.2. Triboloji.....	12
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
5.1.Döküm ve Spektral Analiz.....	24
5.2. Isıl İşlem.....	28
5.3. Sertlik.....	28
5.4. Darbe Direnci.....	29
5.5. Aşınma.....	30
5.6. Metalografi ve XRD.....	40
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR DİZİNİ	48

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. Fe-C faz diyagramı.....	8
4.2. Fe-Mn Faz Diyagramı.....	10
4.3. İki katı yüzeyinin şematik gösterimi.....	13
4.4. Kayma ve yuvarlanma hareketi gösterimi.....	14
4.5. Süreye bağlı olarak sürtünme kuvvetleri değişimi.....	15
4.6. Eğimli zemin üzerinde yük eşitliğinin gösterimi.....	16
4.7. Etkileşimlerin gösterimi.....	18
4.8. Abrasif aşınmanın gösterimi.....	20
4.9. Abrasif aşınma türleri.....	21
4.10. Abrasif aşınma sonucu kırılma gösterimi.....	22
4.11. pin-on-disc tip aşınma test cihazı şeması.....	23
5.1. Döküm ve taşlamadan sonra elde edilen referans numune ölçüleri.....	25
5.2. Döküm ve taşlamadan sonra elde edilen referans numuneye %1 Molibden katılarak elde edilmiş RN+1Mo numunesi ölçüleri.....	26
5.3. Döküm ve taşlamadan sonra elde edilen referans numuneye %1 Vanadyum katılarak elde edilmiş RN+1V numunesi ölçüleri.....	27
5.4. Korundum taşı ölçüleri.....	30
5.5. 100 cm/sn hızda 5 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği.....	31
5.6. 100 cm/sn hızda 7 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği...	32
5.7. 50 cm/sn hızda 5 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği....	32
5.8. 50 cm/sn hızda 7 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği....	33
5.9. 100 cm/sn hızda, 5 N yük altında, 4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği.....	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.10. 100 cm/sn hızda, 7 N yük altında, 4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği.....	34
5.11. 50 cm/sn hızda, 5 N yük altında, 4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği.....	35
5.12. 50 cm/sn hızda, 7 N yük altında, 4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği.....	35
5.13. 12/14 Ostenitik mangan çeliğine ait 100X büyütmede mikroyapı.....	40
5.14. Referans numunenin mikroyapıları.....	41
5.15. RN+1Mo numunenin mikroyapıları.....	42
5.16. RN+1V numunenin mikroyapıları.....	43
5.17. Numunelerin 100 cm/sn hızda 7 N yük, 4 km mesafe aşınmaları sonucunda oluşan stereo-mikroskoptaki ince büyütme görüntüleri.....	44
5.18. XRD sonuçları.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. ASTM A 128 gösterimi.....	2
4.1. Bazı metallerin sürtünme katsayıları.....	17
5.1. Referans numune spektral analiz sonuçları.....	24
5.2. Ferro-molibden ferro-alyajının spektral analiz sonuçları.....	25
5.3. %1Mo Katkılı Referans Numune (1Mo+RN) spektral analiz sonuçları.....	26
5.4. Ferro-vanadyum ferro-alyajının spektral analiz sonuçları.....	27
5.5. %1V Katkılı Referans Numune (1V+RN) spektral analiz sonuçları.....	27
5.6. Mukayeseli spektral analiz cetveli.....	28
5.7. RN, 1Mo+RN ve 1V+RN çeliklerine ait sertlik değerleri.....	29
5.8. Ölçülen darbe direnci değerleri.....	30
5.9. Aşınma deneyi değişkenleri.....	31
5.10. Numunelerin kütle kayıpları.....	36
5.11. Aşınma miktarlarının ortalamaları, standart sapmaları.....	37
5.12. 0-1000 m, 1000-4000 m ve 0-4000 m ortalama aşınma miktarları.....	38
5.13. Numunelerin sürtünme katsayıları.....	39
6.1. Gün başına maliyet oranları.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler****Açıklama**

C ₂ H ₆ O	Etil Alkol
HNO ₃	Nitrik Asit
CH ₃ OH	Metil Alkol
HB	Brinell Sertlik
HV	Vickers Sertlik
R	Rockwell Sertlik
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım

Kısaltmalar**Açıklama**

ASTM	Amerikan Malzeme ve Test Derneği
ASM	Amerikan Metal Derneği
PD	Plastik Deformasyon
TL	Türk Lirası
USD	Birleşik Devletler Doları

1. GİRİŞ VE AMAÇ

İnşaat sektöründe sıklıkla gereksinim duyulan agregaların çok büyük kısmı taş ocaklarından mekanik işlemler marifetiyle elde edilmektedir. Büyük kaya bloklarının çeşitli elek aralıklarına küçültülmesi, çeşitli mekanik işlemlerden geçmesini gerektirmektedir. Mekanik işlemler taş ocağında başlayıp beton santrallerinde veya asfalt/bitümlü sıcak karışım/BSK imalat santrallerindeki agrega depolama sahalarına kadar uzanmaktadır. Bunun yanında metalik madenlerin cevherlerinin zenginleştirilmesi esnasında da aynı mekanik işlemler kullanılmaktadır. Bu mekanik işlemlerde kullanılan makinaların en bilineni ise konkasörlerdir. Konkasörler büyük kaya bloklarını bir motordan tahrik alan rotoru marifetiyle daha küçük boyutlara küçültür. Bu işlem birincil kırıcı adı verilen kısımda olur. İkincil/sekonder kırıcılar ise birincil kırıcıdan çıkan görece küçük ebattaki malzemeleri daha da küçültüp yukarıda anılan imalatlara hazır hale getirmek için kullanılır. Birincil/primer kırıcı çene adı verilen kısımda biri sabit diğeri hareketli aşınma plakalarının tekrarlı hareketi ile arasından kaya bloğunun geçerken kırılması esasıyla çalışır. Bu hareketi yaparken aşınma plakaları darbeye ve aşınmaya maruz kalır. Sanayide konkasörler için en bilinen, alınan, satılan aşınma parçaları yüksek manganlı ostenitik çeliklerdir.

Konkasör adı verilen maden öğütücülerinde kullanılan aşınma parçaları çift yüzeyli olarak imal edilmektedir. Aşınan yüzey zahmetli bir şekilde diğeri tarafından değiştirilmekte ve bu sayede tek seferde dökülerek imal edilen parçanın iki yüzü de kullanılarak ekonomik olması sağlanmaktadır. Mohs skalasına göre daha düşük sertlik değerine sahip kalker tip sert taş kırıldığında altı aya yakın kullanılabilen aşınma parçası daha sert olan bazalt tip sert taş kullanıldığında bir ay kadar kullanılabilir. Bu çalışmanın çıkış noktası, bu aşınma oranlarının taş kırımı yapan firmaları maliyet olarak sıkıntıya sokmasıdır.

ASTM A128 sınıflandırması dahilinde ticari üretimi yapılabilen yüksek manganlı ostenitik çeliklere ikinci bir element katılmasının ve bu elementlerin maliyeti çok artırmaksızın yapıda aşınma direnci ve/veya darbe direncinde artış sağlanması düşünülmüştür.

Çizelge 1.1. ASTM A 128 gösterimi (Subramanyam vd. 1990)

ASTM A 128 SINIFI	Kimyasal Bileşim, %						
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	Si (max)	P (max)
A	1.05–1.35	11.0 min	...	...	...	1.00	0.07
B-1	0.9–1.05	11.5–14.0	...	...	...	1.00	0.07
B-2	1.05–1.2	11.5–14.0	...	...	...	1.00	0.07
B-3	1.12–1.28	11.5–14.0	...	...	...	1.00	0.07
B-4	1.2–1.35	11.5–14.0	...	...	...	1.00	0.07
C	1.05–1.35	11.5–14.0	1.5–2.5	...	...	1.00	0.07
D	0.7–1.3	11.5–14.0	...	...	3.0–4.0	1.00	0.07
E-1	0.7–1.3	11.5–14.0	...	0.9–1.2	...	1.00	0.07
E-2	1.05–1.45	11.5–14.0	...	1.8–2.1	...	1.00	0.07
F	1.05–1.35	6.0–8.0	...	0.9–1.2	...	1.00	0.07

Yapılan araştırmalarda daha önceki çalışmalarda titanyum kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu çalışma da ise karbür yapıcı elementlerden molibden ve vanadyum kullanılmıştır. Çalışma koşullarında bu element katkılarının özellikle darbe ve aşınma dirençlerine etkilerini inceleyebilmek için artı parametre olacağı düşünöldüğünden üretilen numuneler homojenleştirme hariç ısıt işlemsiz olarak deneylere tabi tutulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

% 1,2 C ve %12 Mn içeren orijinal Ostenitik Manganlı Çelikler 1882 yılında Sir Robert Hadfield tarafından icat edilmiştir. Hadfield çelikleri yüksek deformasyon sertleşmesi beraberinde yüksek tokluk ve süneklik bileşenleri yönünden eşsizdir. Çoğunlukla iyi aşınma dayanımı da gösterirler. Tüm bu özelliklerinin bir sonucu olarak Ostenitik Manganlı Çelikler kullanışlı mühendislik malzemelerinden birisi olarak hızlı bir şekilde kabul görmüştür. (Swasinger ve Avery, 1990)

Hadfield çelikleri kimyasal kompozisyon ve ısı işlemlerinde küçük bazı değişiklikler yapılarak hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür çeliklerin öncelikli kullanım alanları hafriyat sahaları, madencilik, çelik imalatı, demiryolu, çimento üretiminde kullanılan ürünlerdir. (Swasinger ve Avery, 1990)

Süt (1996) çeneli kırıcıların aşınma yüzeylerinde kullanılan yüksek manganlı ostenitik çeliklerin aşınma parametrelerini belirlemek için araştırmalar yapmıştır. Yaptığı araştırmalar neticesinde %1,15 C, %12 Mn, %0,56 Si ihtiva eden çeliğin evvelden belirlenmiş aşınma parametreleri doğrultusunda %2,2 C, %15,65 Cr, %0,67 Si içeren yüksek kromlu beyaz dökme demirden daha iyi olduğunu bulmuştur.

Turhan (1994) yüksek manganlı ostenitik çeliklerin darbeye sertleşebilme özelliğinden yola çıkarak %1,2 C, %14,5 Mn, %0,53 Si bileşimine sahip çelik ile; %1,3 C, %16,5 Mn, %0,60 Si bileşimine sahip çelik arasında darbeye sertleşebilme yetenekleri üzerinden kıyaslamalarda bulunmuştur. Kurulan darbe düzeneği ile sertleşen yaptıktan sonra ortaya çıkan verilerden belirli bir darbe sayısına kadar sertleşmenin olduğunu ama bir noktadan sonra sertleşmenin durduğunu tespit etmiştir. Darbeye sertleşebilme özelliğinin %16,5 Mn içeren çelikte daha iyi olduğunu göstermiştir.

Yıldırım (1999) ostenitik manganlı çeliklerde kimyasal kompozisyon ile oynama yaparak karbür yapıcı elementlerden titanyumun etkilerini incelemiştir.

Bu sebeple %1,1 C, %10,73 Mn, %0,678 Si içeren çeliğe ağırlıkça %1 Ti ilave ederek darbeye sertleşme, ısıl işlem gibi parametrelerde oynama yapmak marifetiyle aşınma oranlarını kıyaslamıştır. Titanyum ilavesinin aşınma üzerine olumlu katkılarını gözlemlemiştir.

Molibden ve vanadyum elementlerinin çelikler için karbür yapıcı olduğu bilinmektedir. Çökelme sertleşmesi, darbeye sertleştirme gibi işlemler kullanılarak yüksek manganlı ostenitik çelikler üzerinde yapılan araştırmalarda aşınma dirençlerinin bu karbür yapıcı elementlerle yükseldiği görülmüştür. (Korshunov vd. , 2011)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Referans olarak ele alınan çelik için %1,20 C, %16 Mn, %0,051 P, %0,012 S kimyasal bileşime sahip otentik manganlı çelik kullanılmıştır.

Referans malzemeyi alaşımlamak için %65 Mo, %0,019 C, % 0,051 P, %0,12 S kimyasal bileşimine sahip ferro-molibden ferro-alyajı kullanılmıştır.

Referans malzemeyi alaşımlamak için %80 V, %1,30 Al, %1,45 Si, %0,16 C, %0,049 P, %0,036 S kimyasal bileşimine sahip ferro-vanadyum ferro-alyajı kullanılmıştır.

Metalografik inceleme için %98 C₂H₆O, %2 HNO₃ bileşimine sahip dağlayıcı kullanılmıştır. Bu dağlayıcıya %2'lik nital adı verilir.

Metalografik incelemede yüzey temizleyici olarak saf CH₃OH kullanılmıştır.

Metalografik incelemede yüzey parlatma için 3 mikron elmas tanesi içeren parlatıcı yağ kullanılmıştır.

Metalografik incelemeye hazırlık kapsamında kalıba alma işlemi iletken bakalit kullanılarak sıcak kalıpta gerçekleştirilmiştir.

Aşınma testlerini gerçekleştirmek üzere aşındırıcı malzeme olarak Proxxon marka 220 mesh 50 mm çapında 13 mm kalınlıklı korundum taşı kullanılmıştır.

3.2. Yöntem

Yeni alaşımların hazırlanması için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarındaki mikro-alaşımlama için üretilmiş vakumlu

elektrik ark ocağında ergitme yapılmıştır. Malzemeler kum kalıba dökülmüştür. Elektrik ark ocağının kapasitesi maksimum 100 gram malzeme dökümüne uygundur.

Bölüm 3.1. Materyal kısmında belirtilen referans malzemenin küçük ebatlarda kesilmesi işlemleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Metalurji Enstitüsü Laboratuvarlarında bulunan hassas kesme cihazı ile yapılmıştır.

Dökülen numuneler 1200 °C sıcaklıkta 24 saat tavlansmıştır. Tavlama işlemi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Metalurji Enstitüsü Laboratuvarlarında bulunan açık atmosferli elektrikli fırında gerçekleştirilmiştir.

Dökümden sonra numuneler Ankara Ostim Organize Sanayi Bölgesinde Kurulu Güray Taşlama Şirketinde taşlama işlemine tabi tutulmuştur.

Tüm spektral analiz işlemleri Kayseri Organize Sanayisinde Kurulu Payza Sfero Döküm Limited Şirketinde bulunan OBLF-GS-1000-II marka spektrometrede yapılmıştır.

Alaşımlanan malzemelerin sertlik değerlerine Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Metalurji Enstitüsü Laboratuvarlarında bulunan Rockwell sertlik cihazında bakılmıştır.

Alaşımlanan malzemelerin darbe direncine Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Metalurji Enstitüsü Laboratuvarlarında bulunan darbe deneyi cihazında bakılmıştır.

Metalografik inceleme için numune hazırlama işlemleri kapsamında zımparalama ve parlatma işlemleri sırasıyla 160, 800 ve 1200 mesh zımpara kâğıtlarında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarındaki Metkon ve Struers marka cihazlarda yapılmıştır.

Alaşımlanmış malzemelere yapılan aşınma deneyleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarındaki CSM markalı tribometre ile yapılmıştır.

Metalografik inceleme kapsamında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarındaki Olympus-GX-51 marka optik mikroskop ile Ortadoğu Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında bulunan Huvitz marka optik mikroskop kullanılmıştır. Ayrıca stereo-mikroskop görüntüleri için yine Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Malzeme Laboratuvarındaki mikroskop kullanılmıştır.

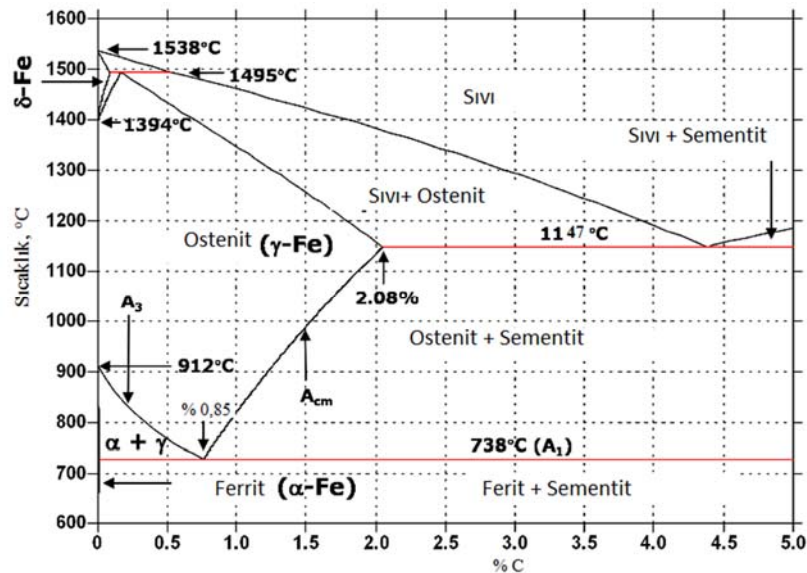
XRD kırınım desenleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarındaki XRD Difraktometresinden alınmıştır.

4. TEORİK BİLGİLER

Manganlı ostenitik çelikler icat edildiği 1882 yılından bu yana sürekli geliştirilmeye çalışılmıştır. Bu çeliğin kullanımındaki başat sebepler, darbeye sertleşebilirlik ve çalışma koşullarında yeterli darbe direnci ile süneklik göstermesidir. Nitekim Amerika Birleşik Devletlerinde Kurulu Amerikan Metal Derneği (ASM International) 1990 yılında bu tür çeliklerle ilgili kapsamlı bilgilerin bulunabileceği ASM Metal Handbook isimli çalışmanın birinci cildini yayınlamıştır. Bu tür çelikler sentezlenirken kullanılan fizik, kimya ve malzeme ve metalurji bilimi kaidelerinin anlatımı kaçınılmazdır.

4.1. Manganlı Çelikler

Metalurji ve Malzeme Bilimi'nde büyük bir yekûn teşkil eden çeliklerle ilgili olarak demir-karbon faz diyagramının %2,06 C muhteva eden kısmı çeliklerle ilgilidir.



Şekil 4.1. Fe-C faz diyagramı (calphad)

Şekil 4.1'de tipik bir demir karbon faz diyagramı gösterilmektedir. Ostenitik manganlı çelikleri teorik anlamda anlayabilmek için bu diyagramda gösterilmiş olan ostenit adı verilen γ -Fe fazı, ferrit adı verilen α -Fe fazı, perlit fazı ve γ -Fe fazının hızlı

soğutulması ve diğer bir yöntem olarak deformasyon sertleşmesi sonucu oluşan martenzit fazını incelememiz gerekmektedir.

α -Fe fazı hacim merkezli kübik kristal yapısına sahip arayer katı çözeltilisidir. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere karbon bu fazda en fazla 723 °C de %0,025 oranı gibi düşük bir oranda çözünmektedir. γ -Fe fazı ise yüzey merkezli kübik kristal yapısına sahip arayer katı çözeltilisidir. Yine Şekil 1'de görüldüğü üzere karbon bu fazda en fazla 1147 °C sıcaklıkta %2,06) oranında çözünmektedir. Perlit ise ötektoid bir tepkime neticesinde oluşabilen bir fazdır. Diyagramda 723 °C ve %0,85 karbon oranından çözünen karbon oranı değişmeksizin oluşan bir tepkime sonucunda yapı perlite dönüşür.



Türev bir yapı olan ve diyagramda yer verilmeyen martenzit ise γ -Fe fazının hızlı soğutulması ile ortaya çıkan bir fazdır. Hacim merkezli tetragonal, sıkı paket heksagonal gibi yapılara sahiptir. Yapısı karbona aşırı doymuş durumdadır. Oda sıcaklığına hızlı soğutulmalarda dönüşüm tamamen gerçekleşmediğinden yapısında kalıntı ostenitler olabilir. Eğer yapının tamamen martenzit olması isteniyorsa sıfır °C altına inilmesi gerekebilir. Bununla birlikte yüksek manganlı ostenitik çeliklerde martenzit oluşturmak için deformasyon sertleşmesi de etkili olur. Deformasyonla birlikte dislokasyonlar artar bu dislokasyonlar yapıda istif hatalarına sebebiyet verir. Bu istif hataları ise martenzit oluşumunu tetikler. (Turhan, 1994)

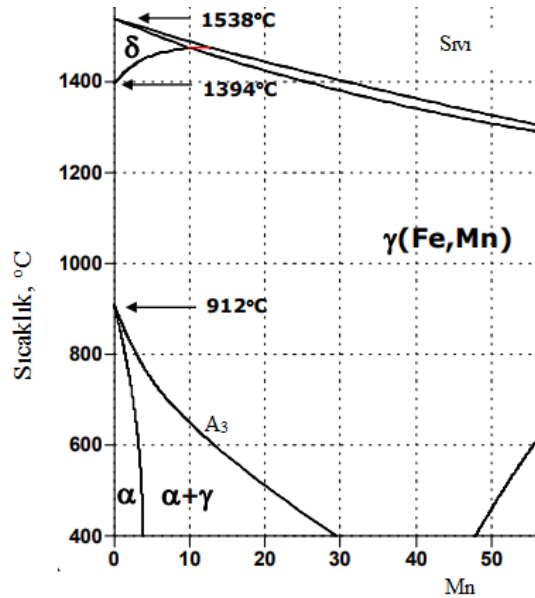
Dislokasyonlar var olan dislokasyon hareketi esnasında birbiriyle sürekli etkileşirler ve çeşitli engellerle karşılaşır. Bu karşılıklı girişimleri karşılamak ve engelleri aşmak için ekstra enerjiye gerek vardır. Hatta bazı engellerin aşılması imkânsızdır. Dislokasyonların hareketini zorlaştıran yabancı atomlar, tane içi çökelti, tane sınırları, kesişen dislokasyonlar ve kristal düzlemlerin distorsiyonu gibi etkenleri sertlik ve mukavemeti artırır.

Mekanik zorlama altında martenzitik yapıya geçişi konusunda demiryolu makas göbekleri örnek olarak gösterilebilir. Başlangıçta 200 HB olan sertlik vagonların makas

göbeğinden belirli süre geçtikten sonra 500 HB sertlik değerlerine ulaşmıştır. Literatürde maksimum deformasyon sertleşmesi %80 deformasyon oranında yakalanmıştır.

Laboratuvar şartlarında makas göbeklerine %80 deformasyon sertleşmesi uygulandığında 550-600 HB sertlik değerleri elde edilmiştir. Ostenitik mangan çeliklerinin kullanılacağı bazı yerlerde deformasyon sertleşmesine uğraması istenmez. Bu durum maksimum deformasyon sertleşmesine uğrayana değin çeliğin aşınmasına vesile olacaktır. Bu sebeple kullanılmadan evvel bilye değirmeni gibi bir mekanizmada deformasyona uğratılabilir. Richardson isimli bir araştırmacı %13 mangan oranına sahip çeliği matkapla belirli bir derinliğe kadar delmiştir. Delme işlemine ara verdikten bir müddet sonra yeniden aynı deliği delmeye çalıştığında matkabın ilerlemediğini tespit etmiştir. Delik tabanında yaptığı ölçümlerde 775 HB sertlik değerine ulaştığı kaydedilmiştir. (Süt, 1996)

Hadfield çeliklerine yüksek oranda mangan katılması da ostenit fazının martenzite dönüşebilmesi özelliğinden dolayıdır. Manganın demir-karbon alaşımı olan çelik içerisinde çözünmesi hem kükürdün tane sınırlarına yerleşip sıcak yırtılmaya sebebiyet vermesinin hem de ostenit fazının üretilen malzemelerin kullanım sıcaklıklarında yüksek kabiliyetlere sahip yapılar oluşturabilmesi ile ilgilidir.



Şekil 4.2. Fe-Mn Faz Diyagramı (calphad)

Şekil 4.1’de gösterilen A_3 eğrisinin Şekil 4.2’de artan mangan oranı ile azaldığı görülmektedir. Bu sebeple mangan oranı arttıkça ostenit oranı da artmaktadır.

Manganlı çeliklerde ferrit-ostenit dönüşümü gerçekte %13 mangan oranına kadar gerçekleşir. %13 oranın üzerinde α -Fe fazına rastlanılmaz. Yapıdaki ostenit ise kararsızdır. Bu faz mikroskop görüntülerinde ostenit fazı içinde iğnemsî yapılar olarak görülmektedir. (Yıldırım, 1985)

Çelikte karbon oranı arttıkça mukavemet artar. Karbonun artırılması çelikte sementit fazının oluşumunu artırır. Mukavemet fazlalaşırken süneklik özelliği düşer. Sementit fazının oluşumunu desteklemek amacıyla ötekteoid üstü çeliklerle çalışılabilir.

Nitekim ASTM A-128 skalasında bulunan yüksek manganlı ostenitik çeliklerin büyük kısmı ötekteoid üstü çeliktir. Bu hususi olarak ostenit alanına doğru çıkıldıkça A_{cm} hattı ile A_{31} hattı arasında kalan alanda çalışılabildiği içindir.

Bunu şöyle anlatabiliriz. Yapıya su verebilmek adına yapı yüksek sıcaklıklara çıkarılır. Yüksek sıcaklıklara çıkarılan çelikte karbonun ostenit fazda çözülmesi beklenir çünkü ostenit faza su verildiğinde üstün özellikli martenzit fazı elde edilebilmektedir. Bu özellikleri elde etmek için 1100-1200 °C gibi sıcaklıklara çıkılmalıdır. Oysaki ötekteoid üstü çeliklerde 1000-1100 °C çıkmak yeterli olacaktır çünkü martenzitten beklenen sertlik hemen hemen sementit fazında da mevcuttur. Bu durumun enerji yönünden ne kadar önemli olduğu aşikârdır. Bunlarla birlikte unutmamak gereklidir ki yüksek manganlı ostenitik çelikler darbeli çalışma ortamlarında kullanılmaktadır. Yüzey martenzit halindeyken çekirdeğin daha sünek bir yapıya (burada bu yapı ostenittir, kalıntı ostenit) sahip olması istenir.

Ostenitik manganlı çeliklerin imalatında elektrik ark fırınları kullanılır. Şarj malzemesi olarak çelik hurdaları, çelik ingotları, ferro-mangan alyajları ve ferro-silis alyajları kullanılır. Alaşımlama yapmak üzere ferro alaşımlar da eklenebilir. Döküm işleminde deoksidasyon için yapıya alüminyum katılır. Döküm tane büyüklüğü, segregasyon ve döküm kusurlarını önlemek maksadıyla 1450-1475 °C sıcaklıkta yapılır. Döküm işlemi mümkün mertebe döküm sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yapılmalıdır.

Döküm işlemi tamamlandığında yapı tamamen ostenitik değildir. Yapıda perlit, martenzit yapılarının yanında karbür çökelmelerine de rastlanır. (Yıldırım, 1999)

4.2. Triboloji

Triboloji kavramı 1966 yılında yayınlanan Birleşik Krallık Eğitim ve Bilim Departmanı raporunda Prof.Dr. H. Peter Jost tarafından öne sürülmüştür. Triboloji, “tribos” ve “logos” kelimelerini birleşiminden türetilmiştir. Latince kökenine göre sürtünme bilimi manasına gelmektedir. İngilizce’de triboloji yerine sürtünme ve aşınma veya yağlama bilimi olarak alternatif isimlemeler kullanılır. Triboloji interdisipliner bir bilimdir. Triboloji fizik, kimya, katı hal mekaniği, akışkanlar mekaniği, ısı transferi, malzeme bilimi, yağlayıcı reolojisi gibi birçok bilimi kapsamaktadır. Kavram yeni bir kavram olsa da sürtünme ve aşınmayı kapsaması sebebiyle tarih kadar eskidir. Ekonomik olarak tribolojinin muazzam bir karşılığı mevcuttur. Birkaç farklı ülkenin araştırmasına göre bu ekonomik büyüklük her bir ülke için gayri safi milli hasılanın %1’i ile %1,4’ü kadardır. Bu ekonomik büyüklük çoğunlukla sanayi ile ilgilidir. Her ne kadar triboloji büyük oranda endüstri ile ilgili olsa da gündelik yaşam yani insanlarla ilgili yönü de muhakkak mevcuttur. Örneğin yazı yazmak tribolojik bir işlemdir. Yazı yazarken kalem ucu ile kağıt arasında iyi bir adhezyon olması elzemdir. Bunun yanında traş olurken jilet ile yüzümüz arasında yağlayıcı olarak traş jeli kullanırız. Sürtünme olmasaydı araçlar yolda gidemezdi ve hatta insanlar yollarda yürüyemezdi. (Bhushan, 2013) Faydalı yanları olsa da sürtünme endüstride bin bir zorlukla imal edilen parçaların/bileşenlerin zararına olan bir durumdur.

Tribolojik araştırmaların amacı genel olarak sürtünmeden kaynaklı zararları incelemek ve bu incelemeler neticesinde ortaya çıkan zarar verici durumları azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmaktır. Bunun neticesi olarak triboloji bilimi verimlilik ve daha iyi performans sağlayarak endüstriyel iyileşmeler sağlamıştır. (Bhushan, 2013)

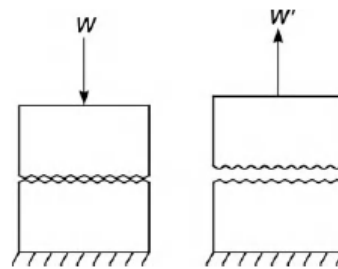
Tribolojiden bahsedilecekse muhakkak yüzeylerden bahsedilmelidir. Bu yüzeyler katı-gaz, katı-sıvı, katı-katı ara yüzeyleri olabilir.

Yüzeylerden bahsedilmelidir çünkü sürtünme, aşınma, yağlama gibi durumlar hep iki yüzeyin birbiriyle ilişkisi ile alakalıdır. Birbiriyle temas halinde olan iki yüzeyden biri diğerinden daha farklı yapıya sahiptir. Örneğin ayakkabı tabanı kauçuk, yol ise betondur; araç tekerleği polimer yol asfalttır; konkasör çeneleri yüksek manganlı ostenitik çelik, çenede parçalanana ise sert taştır; gemi pervaneleri deniz suyunda kullanılır, uçak motor pervanelerinde şiddetli hava akımları gözlenir.

Bir malzeme içerisinde gerek kovalent gerek iyonik bağlarla birbirine bağlanan atomlar ve/veya moleküller kohezif kuvvetlerle birbirine bağlıdır. İki katı yüzey birbirine temas ettiğinde ara yüzeyde adhezif kuvvetler görünür. Ara yüzeyde adhezyon veya bağlanma görülebilir. Birbirine değmekte olan iki katıyı birbirinden ayırdığımızda adhezif kuvvetlerden, yekpare bir katıyı ortadan ayırdığımızda kohezif kuvvetlerden bahsedebiliriz. Adhezyon ya iki yüzeyin birbirine bastırılmasıyla oluşur ya da kesme kuvveti ile normal kuvvetin bir bileşeni olarak oluşur. Yüzeyleri ayırmak için çekme kuvveti gereklidir. Bahsedilen W' çekme kuvvetinin uygulanmış olan W basma kuvvetine oranı μ' adhezyon katsayısıdır. (Bhushan, 2013)

$$\mu' = \frac{W'}{W} \dots \dots \dots (4.2.)$$

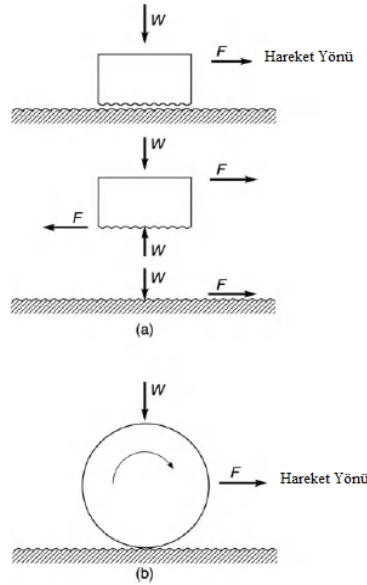
W' çekme kuvveti doğrusal olarak W basma kuvvetinin artışıyla artmaktadır. μ' adhezyon katsayısı ise genel olarak statik temas ve ayrılma hızıyla artar.



Şekil 4.3. İki katı yüzeyinin şematik gösterimi: W normal basma kuvveti, W' yüzeyleri ayırmak için uygulanan çekme kuvveti. (Bhushan, 2013)

Adhezyon bazen istenen çokça istenmeyen bir prensip olmakla birlikte bazı uygulamalarda kontrollü adhezyon talep edilir. Malzeme yüzeylerindeki pürüzlülük

birbirine yakınsa atomlar arası çekimden kaynaklanan bir adhezif bağlanma oluşur. Van der Waals bağları dediğimiz fiziksel bağlanmalar kimyasal bağlardan çok daha zayıftır. Bahsedilen yüzey pürüzlülüğü az olduğunda Van der Waals bağları oluşur. Van der Waals kuvvetlerine yüzey pürüzlülüğünün etkisi Meradudin ve Mazur tarafından 1980’de çalışılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün Van der Waals kuvvetlerini artırdığı görülmüştür. Adhezyon metal çiftlerinin ve ara yüzey şartlarının (kristal yapı, kristolografik yönelme, malzemelerin birbirinde çözünülebilirliği, afinite, yüzey temizliği, yük, sıcaklık, temas süresi vd.) bir fonksiyonudur. İki yüzey bir aradayken yüzey pürüzlülüğünden dolayı temas yüzeyi geometrik ölçümle elde edilmiş yüzeyden daha azdır. Adhezyon yüzey temas alanı ile ilgili olduğundan bu durumdan etkilenir. Yük altında viskoplastik veya viskoelastik davranış yüzey alanın artıracığından adhezyon da artacaktır. Normal yük arttıkça artan adhezyon ayrıca kesme kuvvetleri arttıkça da artabilir. Normal ve kesme kuvvetleri arttıkça plastik akma da artacaktır. Bu artış gerçek temas alanını büyütür. (Bhushan, 2013)



Şekil 4.4. Kayma ve yuvarlanma hareketi gösterimi a: Bir cismin diğer cisim üzerinde kayması b: bir cismin yuvarlanması. W: Normal Yük, F: Sürtünme Kuvveti (Bhushan, 2013)

Şekil 4.4.’de görüldüğü üzere bir katı diğer katının üzerinde kayar veya yuvarlanır. Aralarında adhezyon kuvveti ve sürtünme oluşur. Harekete karşı gösterilen direnç sürtünmedir. Sürtünen sistemlerde harekete karşı gösterilen ve harekete teğet olan dirence sürtünme kuvveti denir. Temel olarak karşımıza çıkan iki tür sürtünme vardır. Birincisi kuru sürtünme diğer ise sıvı sürtünmedir. Kuru sürtünme “Coulomb” sürtünmesi olarak da

bilinir. Sıvı sürtünmesi ise bir sıvı içerisinde birbirine göre farklı hızlarda hareket eden, farklı davranış sergileyen bitişik tabakaların ara yüzeylerinde oluşan ara yüzeylerine teğet kuvvetlerle açıklanır. (Bhushan, 2013)



Şekil 4.5. Süreye bağlı olarak sürtünme kuvvetleri değişimi (Bhushan, 2013)

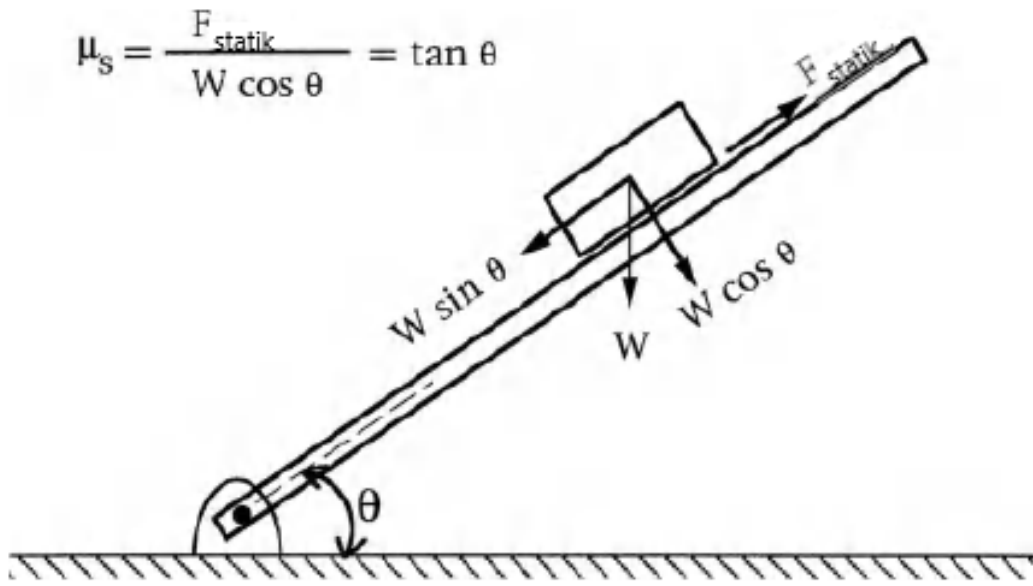
Katı cisimler birbirine yüklenir ve harekete teğet olacak şekilde bir F kuvveti uygulanırsa hareketi başlatmak için gerekli olan kuvvete statik sürtünme kuvveti denir. F_s ile gösterilen statik sürtünme kuvveti Şekil 4.5’de görüldüğü üzere 10 ile 100 milisaniyeden sonra sabitlenir. Bu nokta hareketin başladığı ve sürtünmenin kinetik sürtünme kuvvetiyle kontrol edildiği noktadır. Buna kinetik sürtünme kuvveti F_k denir. Statik sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvvetine eşit veya daha büyüktür.

Sürtünme malzemenin kendi özelliği değildir. Kayan yuvarlanan cisimlerin oluşturduğu bir sistem karşılığıdır. Bu sistemlerde sürtünme kuvveti bazen istenir bazen istenmez. Mesela arabanın gidebilmesi veya yolda yürüyebilmemiz için sürtünme kuvvetine ihtiyaç vardır ama yatak millerinde sürtünme olsun istenmez.

Sürtünmeyle ilgili geleneksel olarak hemen hemen her sürtünme sistemine uyan iki ana kural vardır. Bu kurallar sıklıkla Amontons eşitlikleri adıyla anılır. 1699 yılında Fransız fizikçisi Guillaume Amontons bu sistemleri Leonardo da Vinci’den iki yüz yıl sonra yeniden keşfetmiştir. İlk kural şunu söylemektedir:

Sürtünme kuvveti olan F , normal yük W ile doğru orantılıdır ve μ (çoğunlukla f harfi ile belirtilir) statik veya kinetik sürtünme katsayısı normal yükten bağımsızdır. (Bhushan, 2013)

$$F = \mu W \dots \dots \dots (4.3)$$



Şekil 4.6. Eğimli zemin üzerinde yük eşitliğinin gösterimi

Şekil 4.6’de eğimli yüzeyde bir cismin sürtünme kuvveti ve normal yük altındaki dengesi gösterilmiştir. Yüzeyin normale yaptığı θ açısının tanjantı sürtünme katsayısını verir. (Bhushan, 2013)

$$\mu_s = \tan \theta \dots \dots \dots (4.4)$$

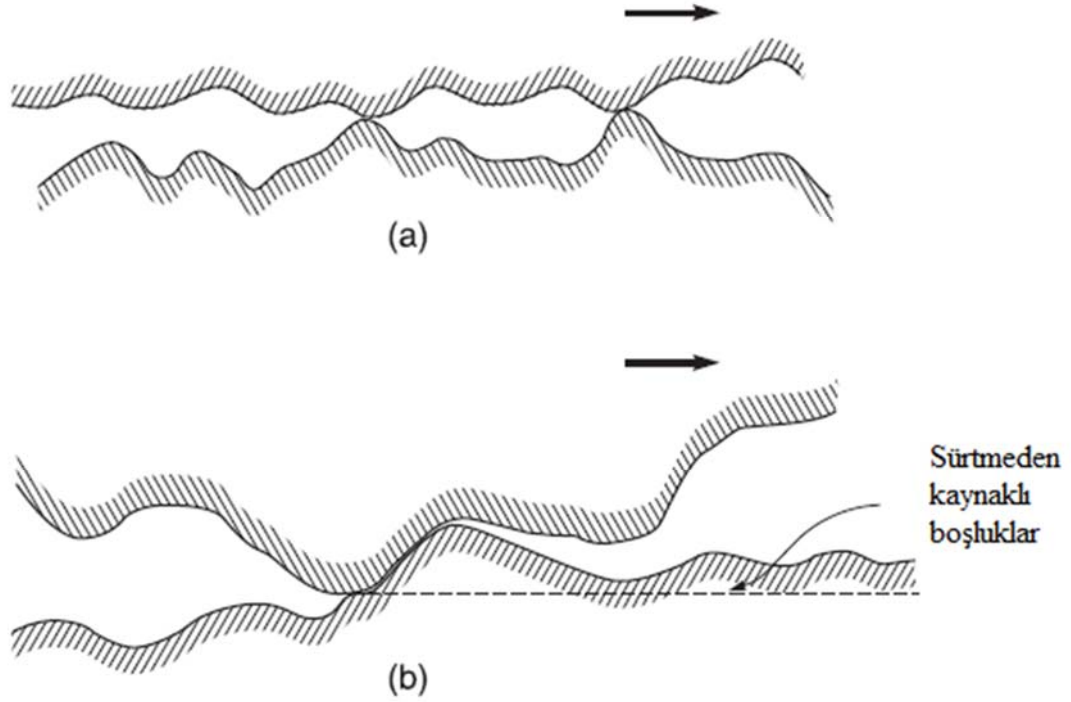
Çizelge 4.1. Bazı metallerin sürtünme katsayıları.

Malzeme	Sürtünme Katsayısı	
	Kendi üstünde	Çelik Üstünde
Saf Metaller		
Kıymetli Metaller		
Au, Pt	1–1.5	0.4–0.5
Ag	0.8–1.2	0.3–0.5
Yumuşak Metaller		
In, Pb, Sn	0.8–2	0.5–0.8
Metaller		
Al	0.8–1.2	0.5–0.6
Co	0.5–0.6	0.4–0.5
Cr	0.5–0.6	0.4–0.5
Cu	0.8–1.2	0.6–0.7
Fe	0.8–1.5	0.8–1.5
Mg	0.5–0.6	0.4–0.6
Mo	0.5–0.6	0.4–0.6
Ni	0.7–0.9	0.6–0.9
Sn	0.8–1	0.6–0.8
Ti	0.5–0.6	0.4–0.6
W	0.7–0.9	—
Zn	0.5–0.6	—
Zr	0.7–0.8	—

Amontons'un ikinci kuralı temas alanıyla ilgilidir. Temas halindeki cisimlerin temas yüzeyleri ne kadar büyük veya ne kadar küçük olursa olsun sürtünme katsayısı sabittir, değişmez. Bu kurallara bazen üçüncü bir kural daha eklenir: Kinetik sürtünme kuvveti hareket bir kez başladığında kayma hızından bağımsızdır. Bazı metallere ait sürtünme katsayıları Çizelge 4.1'de verilmiştir. (Bhushan, 2013)

İki yüzeyin biri diğ erinin üzerinde kayması halinde iki tür etkileşimden bahsedilebilir: Birinci tür etkileşim plastik deformasyon ve birbirine kenetlenen yüzeylerin hareketine bağlı mikroskobik etkileşimdir. İkinci tür etkileşim ise makroskobik olarak gözlenebilen ve daha sert olan malzemenin daha yumuşak olan malzemede oyuklar açması ve parça koparması şeklinde oluşan etkileşimdir. Bu durumlar şematik olarak Şekil 4.7'de gösterilmiştir. İkinci tür etkileşimde her iki malzemede de oluklanma oluşabilir. Bu durum malzemelerin sertlik değerleri ve dolayısıyla kohesif kuvvetlerin durumu ile alakalıdır.

Oluşan olukların makroskobik boyutu her iki yüzeyde (aşınan ve aşındıran) oluşan oluk boyutlarından daha büyük olabilir. (Bhushan, 2013)



Şekil 4.7. Etkileşimlerin gösterimi a)Pürüz etkileşimi b) Kayan iki yüzeyin makroskobik etkileşimi (Bhushan, 2013)

Bahsedilen oluklar daha yumuşak olan malzemedan parça kopması ve bu kopan parçaların ara yüzeyde yüzeyi kazınması şeklinde oluşur. Bunun için aşınan malzemede olukların kesme mukavemetini yenmesi gereklidir. Oluk oluşumu yeni kopmalara, yeni kopmalar yeni oluk oluşumuyla devam edebilir. Böylelikle sürtünme kuvveti ve aşınan partikül miktarı artar. Genel olarak bu sistemlerde yüzeylere zarar veren deformasyonu oluşturan mekanizmalar adhezyondan daha baskındır. (Bhushan, 2013)

Bir malzemenin sürtünme katsayısı malzeme çifti, malzemelerin ara yüzeyi, bu yüzeylerin hazırlanması ve çalışma şartlarına bağlıdır. Deney için malzeme hazırlandığında bu malzemelerin yüzeylerine elle dokunulması deney sonuçlarının yanlış olmasına sebebiyet verir. Sürtünme deneylerinde malzeme yüzeyini yumuşak bir fırçayla temizlemek yerine nefesle üfleme su buharından dolayı yüzeye zarar verebilir.

Temizlenmiş malzemelerin yüzeyleri bir araya getirildiğinde bu yüzeyler yüksek adhezyon dolayısı ile yüksek sürtünme gösterirler. (Bhushan, 2013) Sürtünme boyunca ara yüzeyde oluşan kalıntılar sürtünme katsayısını azaltır. Bu azalma ara yüzeyde oluşan kalıntıların gerçek yüzey temas alanını azaltması ile ilgilidir.

Metal ve alaşımlarının sürtünme katsayısı yüzey temizliğine ilaveten kayma hızı, temas basıncı, sıcaklık ve atmosferden etkilenir. Atmosfer şartlarında yüzeyde oluşan oksit tabakası yüksek normal yüklerde kırılır. Bu durum ara yüzeyde sürtünme katsayısının artmasıyla sonuçlanır. Sürtünme hızının artması ara yüzeyde ısınmaya sebebiyet verebilir. Bu ısınma düşük ergime noktalı metallerde pürüz uçlarının ince bir eriyik tabakası oluşabilir. (Bhushan, 2013)

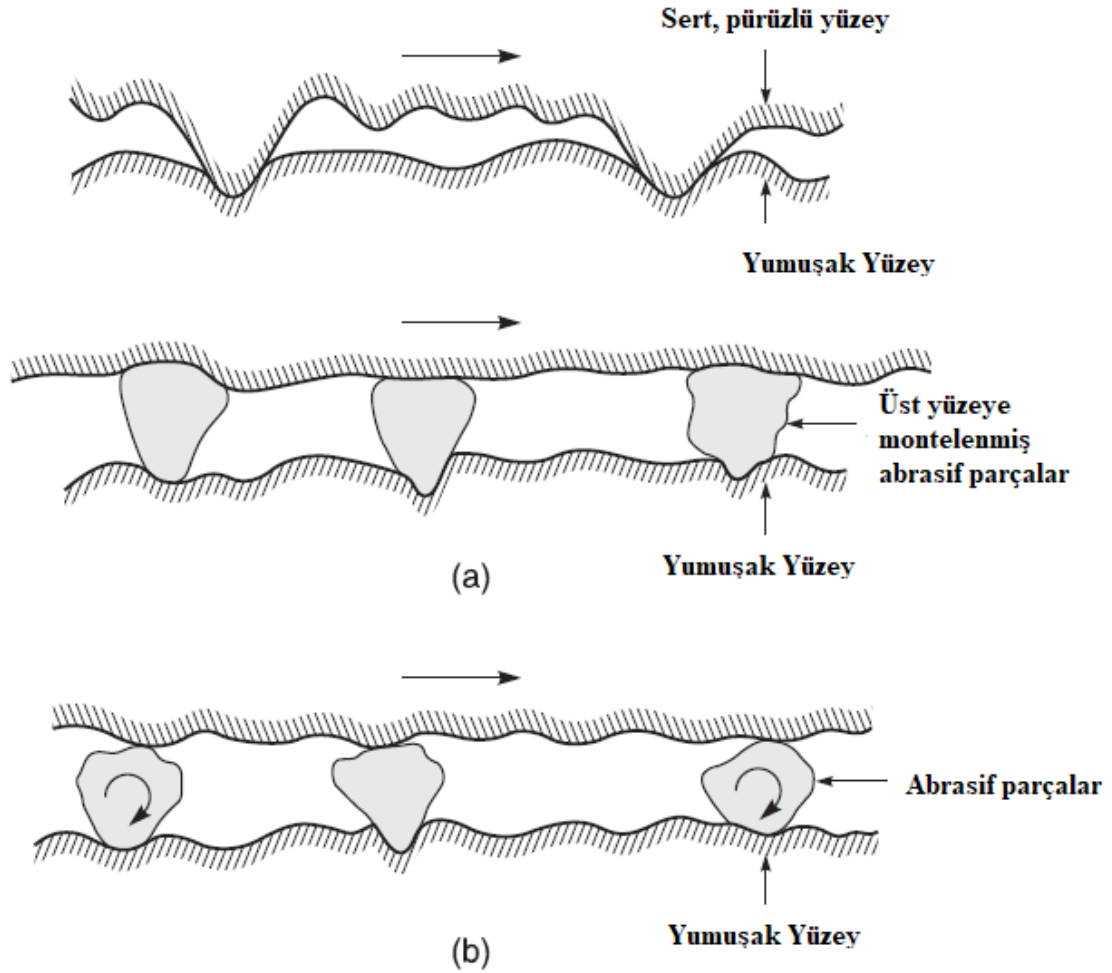
Adhezyon, kohezyon ve sürtünme tribolojinin inceleme alanlarındandır. Bunun yanında endüstriyel zarar noktasında büyük zararları olan aşınma da tribolojinin inceleme alanıdır. Bilinen ve sıkça karşılaşılan altı çeşit aşınma türü vardır. Bunlar;

1. Adhesif
2. Abrasif
3. Yorulmalı
4. Erozyon
5. Kimyasal/korozif
6. Elektrik ark

tipi aşınmalardır.

Abrasif aşınma bu sayılan aşınma türlerinden endüstriyel olarak sıkça karşılaşılan aşınma türüdür. Bu tezin kapsamı da abrasif aşınmayı kapsamaktadır. Abrasif aşınma sert partiküllerin yumuşak bir yüzey üzerinde kaymasıyla meydana gelir. Böylelikle ara yüzeyde deformasyon ve kırılma meydana gelir. Metallerin temas halinde olan yüzeylerindeki pürüzleri düşük yüklerde dahi deformasyona uğrar. Düşük kırılma tokluklu malzemelerde aşınma gevrek kırılma ile olur. Bu durum aşınmanın olduğu bölgede görece derin çukurlar olarak görülür.

Bu durum Şekil 4.8’de şematize edilmiştir. Abrasif aşınma için iki durum vardır. Birinci durum iki cismin abrasiyonudur ve iki cisimden biri diğerinden daha serttir. Talaşlı imalat buna güzel bir örnektir. İkinci durumda ise devreye üçüncü bir aşındırıcı daha girer. Mesela partlatma buna örnektir. (Bhushan, 2013)

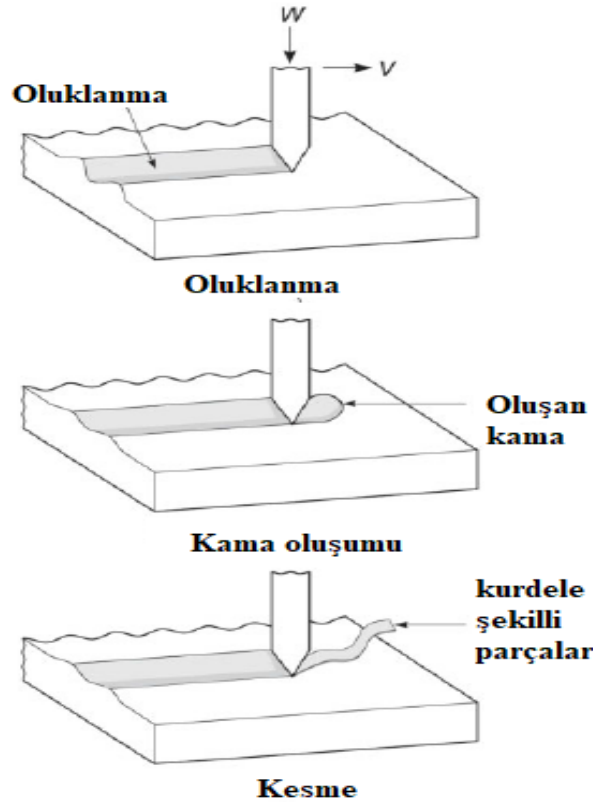


Şekil 4.8. Abrasif aşınmanın gösterimi a) Abrasif aşınmayla oluşan parçaların bir yüzeye sabitlenmesi, b) Abrasif aşınmayla oluşan parçaların ara yüzeyde serbest haldeki durumları (Bhushan, 2013)

Birçok durumda aşınma adhezif olarak başlar. Arada oluşan parçalar üçüncü bir aşındırıcı gibi davranmaya başlar ve aşınma abrasif karaktere bürünür. Aşınma harekete paralel yönlü oluklanmaya/kazımaya sebebiyet verir. Abrasif aşınmış bir numuneye SEM analizi yapılmış ve adhezif aşınmadaki gibi olmasa da plastik deformasyona yüzeyine rastlanmıştır.

Abrasyon sırasında bir yüzeyden malzeme kaldırılması birkaç deformasyon mekanizması şeklinde meydana gelir. Bunlar oluklanma, kama oluşumu ve kesmedir. Oluklanma temas halindeki iki malzemenin daha yumuşak olanının temas yüzeyinde kesme kuvvetiyle oluk oluşumudur. Oluklanmada oluktan oluk yanlarına malzeme taşınır. Bu tür deformasyonda malzeme kaybının olması için yorulma mekanizmasının oluşması gereklidir. (Bhushan, 2013)

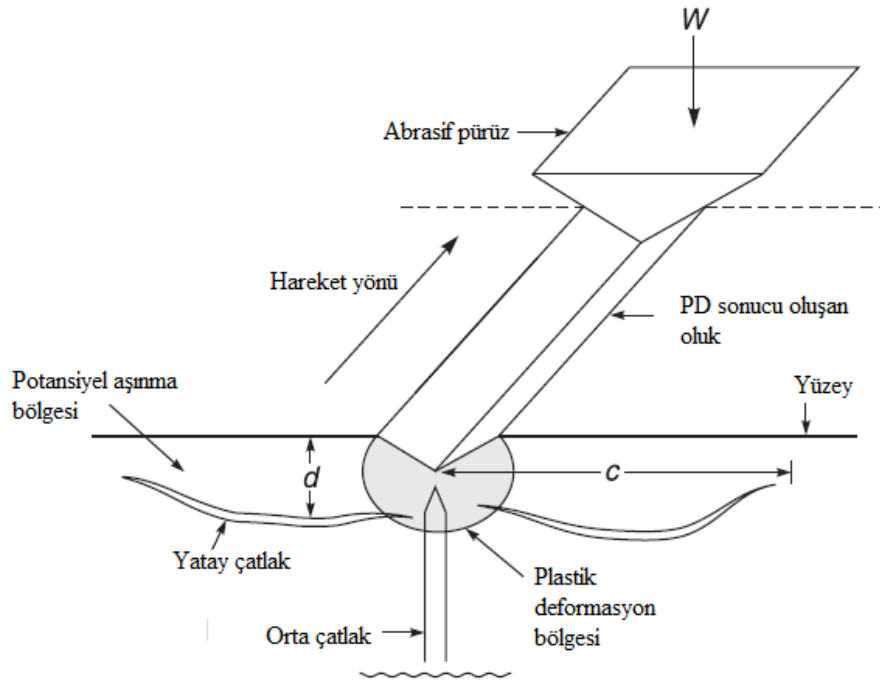
İkinci deformasyon şekli olan kama oluşumu abrasif ucun oluklanma yönüne doğru ön tarafında bir kama oluşturması ile oluşur. Bu tür abrasif aşınma için ara yüzeyin kesme mukavemetinin malzemenin kesme mukavemetine oranının (kama oluşan yüzeye ait malzeme) yüksek olduğu durumlarda görülür. Üçüncü tip deformasyon ise kesmedir. Kesmede yumuşak malzemeye derin dalmış aşındırıcı partikül harekete doğru ön taraftan kurdele şekilli parçalar kopartır. Bu tür abrasif aşınmada parça kaybı fazladır. Bu üç türe ait görsel anlatım Şekil 4.9’da gösterilmiştir. (Bhushan, 2013)



Şekil 4.9. Abrasif aşınma türleri (V: hareket hızı, W: Normal Yük) (Bhushan, 2013)

Abrasif aşınmada kırılmanın oluşması uygulanan yükün miktarıyla alakalıdır. Düşük yüklerde aşınma yukarıda izah edilen plastik deformasyon ile gerçekleşir. Yük artırıldığında gevrek kırılma oluşur. Bu kırılma şöyle özetlenebilir: Abrasif aşınma neticesinde oluşan oluk yatayda çatlaklara sebebiyet verir.

Bu çatlaklar serbest uca oluşur ve kırılmaya sebebiyet verebilir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere W normal yükü ile hareket eden abrasif pürüz potansiyel aşınma bölgelerinden d ve c uzunlukta parça koparabilir. Bu kopma neticesinde yatay çatlakların oluşması orta çatlak ve kırılmaya sonuçlanabilir. (Bhushan, 2013)

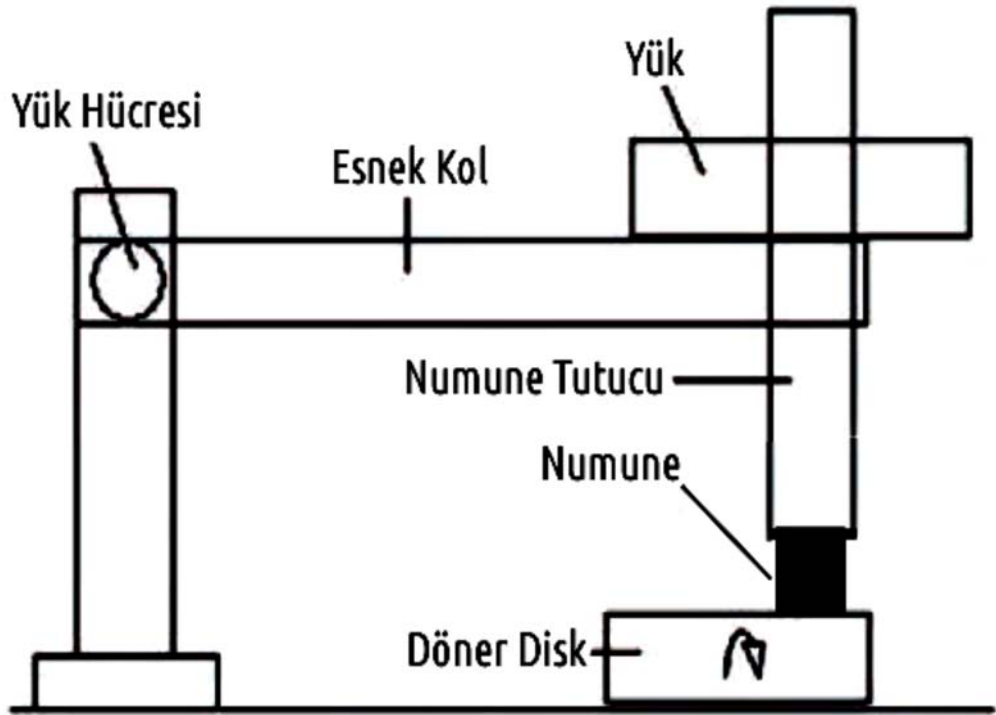


Şekil 4.10. Abrasif aşınma sonucu kırılma gösterimi (Bhushan, 2013)

Tribolojik bir mekanizma olan aşınmanın endüstriyel olarak büyük zararlara sebebiyet verdiği tartışılmazdır. Bu zararların asgariye indirilmesi için çalışmacılar aşınma mekanizmalarını modellemektedirler. Bu modellemeler neticesinde bazı deney düzenekleri oluşturulmuştur.

Bu deney düzenekleri bir aşındırıcı, bir aşınan ve bu iki malzemenin baştan beri anlatıldığı üzere birbiri üstünde hareket ederken ağırlık kaybı, sürtünme katsayısı gibi değişkenlerin ölçülmesi ile ilgilidir.

Deney düzeneklerinde normal yük ve hız değiştirilebilmektedir. En çok kullanılan deney düzeneği pin-on-disc tipindeki deney düzeneğidir. Bu tez kapsamında da bu deney düzeneği kullanılmıştır. Bu düzenekte sabit haldeki aşınan malzeme dairesel hareket yapan aşındırıcı üzerinde durur.



Şekil 4.11. pin-on-disc tip aşınma test cihazı şeması (Bhushan, 2013)

Şekil 4.11.'de pin on disc tipte aşınma test cihazının şeması yer almaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan ve bölüm 3.2.Yöntem kısmında detayları verilen cihaz da bu şemaya göre çalışmakta olup bilgisayar kontrollüdür. Görüldüğü üzere numune yük altında döner disk üstünde aşınmakta ve her aşınma hassas terazide ölçülmektedir. Öylece belirli bir mesafe sonucunda aşınma miktarı ağırlık cinsinden ölçülebilmektedir. (Çelikyürek, 2006)

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Döküm ve Spektral Analiz

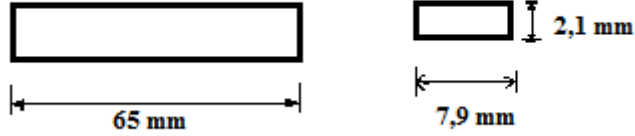
Numunelerin hazırlanması sürecinde öncelikle hâlihazırda kullanılan bir çelik türü, imalatının yapıldığı Ankara İli Sincan İlçesi Temelli Malıköy Başkent Organize Sanayisinde kurulu Hasteknik Döküm Ltd.Şti.'den alınmıştır. Bu çelik türüne ait spektral analiz sonuçları aşağıda bulunan çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Referans numune spektral analiz sonuçları

Element	%	Element	%
C	1,21	Al	0,003
Mn	16,28	Ti	0,002
Si	0,59	V	0,016
P	0,051	Nb	0,013
S	0,012	W	0,33
Mg	0,001 >	Co	0,038
Cr	0,791	B	0,0002 >
Ni	0,107	Ca	0,0024
Mo	0,036	Pb	0,007
Cu	0,101	Ce	0,008
Zr	0,001 >		

Bu yüksek manganlı ostenitik çelik, bu tez kapsamında referans numune olarak tanımlanmıştır. Referans numune döküm için kesilmek suretiyle küçük parçalara ayrılmıştır. Kesme işlemi Bölüm 3.2.Yöntem kısmında belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir. Döküm işlemi yine Bölüm 3.2.Yöntem kısmında belirtilen elektrik ark ocağında gerçekleştirilmiştir. Referans alaşımına ağırlıkça %1 oranında Molibden ve Vanadyum ilave edilmiştir. Bu ilave işlemi için ferro-alyajlar kullanılmıştır.

Alaşımlar 80-90 gr. Kapasiteli vakumlu ark ergitme fırında ergitilmiş ve kum kalıba dökülerek Şekil 5.1.'de ölçüleri verilen numuneler elde edilmiştir.



Şekil 5.1. Döküm ve taşlamadan sonra elde edilen referans numune ölçüleri

Numuneler arasında doğru bir kıyaslama yapabilmek için tümü aynı tür kalıba aynı şartlarda ergitme yapılarak döküm gerçekleştirilmiştir. Şarj potaya yüklendikten sonra ocak 0,1 milibar seviyesine kadar vakumlanmış daha sonra yüksek saflıktaki Azot ile doldurulmuştur. Ergitme işlemi inert atmosferde elektrik arkı ile gerçekleştirilmiştir. Bu sıkıntıları bertaraf etmek amacıyla malzemeler sonra anlatılacak bazı deneylerde standartlar yerine birbiriyle kıyaslama yapılarak mekanik özelliklerde iyileşmenin olup olmadığı gözlemlenmiştir. Şekil 5.1.'de döküm ve taşlama işleminden sonra elde edilen numune gösterilmiştir. Bu numuneden iki adet hazırlanmıştır. Döküm işlemleri 1350-1400 °C sıcaklıkta yapılmıştır.

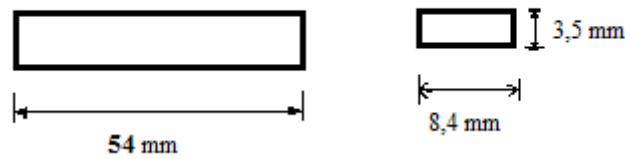
Referans numuneye ağırlıkça % 1 oranında çizelge 5.2'de spektral analizi verilen ferro-mobilden ferro-alyajı katılmıştır. Kullanılan alyajın tane büyüklüğü 10 ve 60 mm arasındadır. Ferro-alyajlar tedarik edilen Marmara Metal Ticaret Anonim Şirketi tarafından kimyasal bileşim garantisi ile satılmaktadır. Alyajların menşei İsviçre'de kurulu MMM Uluslararası Ticaret Şirketi'dir.

Çizelge 5.2. ferro-molibden ferro-alyajının spektral analiz sonuçları

Element	%
Mo	65
Cu	0,50
Si	0,17
P	0,051
C	0,019
S	0,12

Referans numuneye ağırlıkça %1 oranında çizelge 5.2’de spektral analizi verilen ferro-molibden ferro-alyajı katıldıktan sonra elde edilen çeliğe ait spektral analiz sonuçları çizelge 5.3’de verilmiştir. Bu çeliğe ait dökülen ve yüzeyi taşlanan numune Şekil 5.2.de gösterilmiştir.

Referans numuneye ağırlıkça % 1 oranında çizelge 5.4’de spektral analizi verilen ferro-vanadyum ferro-alyajı katılmıştır. Kullanılan alyajın asgari %90’ı 10 ve 50 mm arasındadır.



Şekil 5.2. Döküm ve taşlamadan sonra elde edilen referans numuneye %1 Molibden katılarak elde edilmiş RN+1Mo numunesi ölçüleri

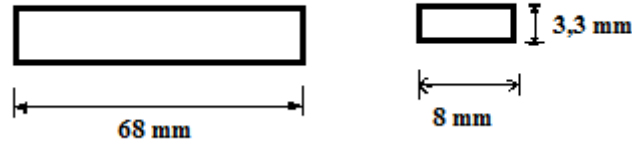
Çizelge 5.3. %1Mo Katkılı Referans Numune (1Mo+RN) spektral analiz sonuçları

Element	%	Element	%
C	1,20	Al	0,003
Mn	15,57	Ti	0,002
Si	0,55	V	0,016
P	0,005	Nb	0,013
S	0,012	W	0,33
Mo	1,078	Co	0,038
Cr	0,788	B	0,0002 >
Ni	0,109	Ca	0,0024

Çizelge 5.4. ferro-vanadyum ferro-alyajının spektral analiz sonuçları

Element	%
V	80
Al	1,30
Si	1,45
P	0,049
C	0,16
S	0,036

Referans numuneye ağırlıkça %1 oranında çizelge 5.4’de spektral analizi verilen ferro-molibden ferro-alyajı katıldıktan sonra elde edilen çeliğe ait spektral analiz sonuçları çizelge 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.3. Döküm ve taşlamadan sonra elde edilen referans numuneye %1 Vanadyum katılarak elde edilmiş RN+1V numunesi ölçüleri

Çizelge 5.5. %1V Katkılı Referans Numune (1V+RN) spektral analiz sonuçları

Element	%	Element	%
C	1,21	Al	0,002
Mn	15,57	Ti	0,003
Si	0,606	Mo	0,042
P	0,050	Nb	0,016
S	0,014	W	0,05
V	1,055	Co	0,042
Cr	0,864	B	0,0002 >
Ni	0,108	Ca	0,0024

Tüm bu spektral analiz verileri çizelge 5.6.'da mukayeseli şekilde verilmiştir.

Çizelge 5.6. Mukayeseli spektral analiz cetveli

		Element %				
		C	Mn	V	Mo	Si
Çelik Türü	RN	1,21	16,28	0,016	0,036	0,590
	1Mo+RN	1,20	15,57	0,016	1,078	0,550
	1V+RN	1,21	15,57	1,055	0,042	0,606

Çizelge 5.6. incelendiğinde numunelere doğru oranlarda vanadyum ve molibden katıldığı anlaşılmaktadır.

5.2. Isıl İşlem

Elde edilen numuneler homojenleştirme amacıyla 1200 °C sıcaklıkta 24 saat süre ile bekletilmiş ve oda sıcaklığında soğutulmuştur.

Ekstra bir ısıl işlem uygulanmamıştır çünkü bu tezdeki amacımız vanadyum ve molibdenin karbür oluşturarak ısıl işlem neticesinde nasıl bir davranış göstereceğini gözlemlemek değil bu iki elementin sertlik, darbe direnci ve abrasif aşınma direncine etkilerinin incelenmesidir.

5.3. Sertlik

Üretilen numunelerin sertlikleri Rockwell sertlik cihazında ölçülmüştür. Sertlik değerleri Turhan'ın 1994 yılında yaptığı çalışmalarda elde ettiği sertlik değerleri ile örtüşmektedir. Bölüm 5.1.'de spektral analiz ölçümleri verilen çeliklerin sertlik değerleri çizelge 5.7'da verilmiştir. Sertlik ölçümleri her bir numune için 3'er kere yapılmıştır.

Çizelge 5.7. RN, 1Mo+RN ve 1V+RN çeliklerine ait sertlik değerleri. (Ayrıca diğer çalışmalarda yapılan sertlik deneyleri de tabloda gösterilmiştir.)

Ölçüm Sayısı	Numuneler				
	RN	1Mo+RN	1V+RN	(Yıldırım, 1999) %1 Ti Katkılı, Isıl İşlemsiz	(Turhan,1994) Katkı yok, Isıl İşlemsiz
1	91 R _B	17 R _C	17 R _C		
2	88 R _B	16 R _C	19 R _C		
3	93 R _B	17 R _C	18,5 R _C		
Ortalama	91 R _B	17 R _C	18 R _C	210 HV	250 HV

Bu deney sonuçlarını Oerlikon (2018)'daki sertlik dönüşüm tablosu kullanılarak vickers sertlik skalasına göre değiştirdiğimizde RN için 195 HV, 1Mo+RN için 225 HV, 1V+RN için ise 235 HV sertlik değerlerini elde ederiz. Bu değerler yüksek manganlı ostenitik çelikler konusunda karbür yapısı elde etmek üzere çalışanların yaptığı sertlik deneyleri ile tutarlılık göstermektedir. (Turhan,1994) (Yıldırım, 1999) (Swasinger ve Avery, 1990)

5.4. Darbe Direnci

Bu tez kapsamında yapılmaya çalışılan iş pratikte standart olarak kullanılan bir çeliğe az miktarda Mo ve V ilave ederek özelliklerinin geliştirmeye çalışmaktır. Üretilmeye çalışılan numunelerin dökümleri sanayide yapılmadığından laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3.2.Yöntem kısmında anılan elektrik ark ocağında maksimum 90 gram malzeme ergitilebildiğinden standart Jominy darbe deneyi numuneleri dökülemedi. Ayrıca Jominy darbe deneyi standardında var olan çentiklerde açılmamıştır. Dökülebilen darbe deneyi çubukları yüzey işlemlerinden sonra kesit alanları ölçülerek darbe deneyi cihazına bağlanmıştır. Standart deneyde olduğu gibi kırılma işlemi gerçekleştirildikten sonra ölçülen enerji kesit alanına bölünerek darbe enerjisi bulunmuştur. Ölçülen değerler çizelge 5.8.'de gösterilmiştir.

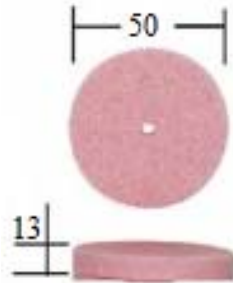
Çizelge 5.8. Ölçülen darbe direnci değerleri (joule/mm²)

Ölçüm Sayısı	Numuneler		
	RN	1Mo+RN	1V+RN
1	0,169	0,646	0,581
2	0,173	0,761	0,648
Ortalama	0,171	0,704	0,615

Çizelgede verilen değerlerden referans numune ortalama değeri olan 0,171 değeri referans kabul edilirse molibden katkı numune % 411, vanadyum katkı numune ise %353 oranında daha yüksek bir darbe direncine sahiptir. Referans numuneye %1 oranında Mo veya V ilavesinin çeliğin darbe direncini büyük ölçüde artırdığı görülmektedir.

5.5. Aşınma

Aşınma testleri 3.2.Yöntem bölümünde belirtilen pin-on-disc tipi aşınma test cihazı ile yapılmıştır. Bu çalışmanın özünün oluşturulan konkasör adı verilen taş kırıcıların modellenmesi açısından aşındırıcı olarak korundum taşı kullanılmıştır. Titreşime engel olmak amacıyla çok ince, 220 mesh, Şekil 5.4.'de gösterilen korundum taşı kullanılmıştır.



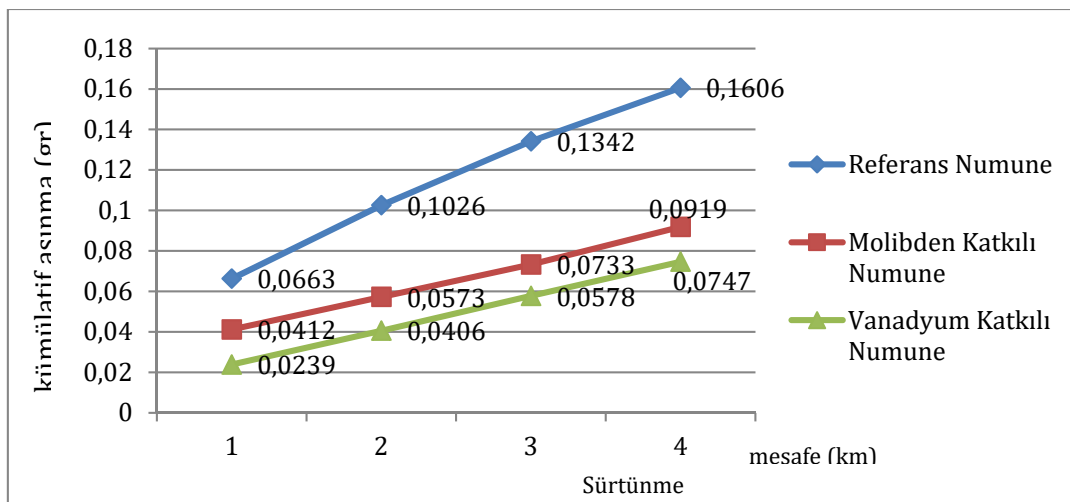
Şekil 5.4. Korundum taşı ölçüleri

Referans numune, referans numuneye %1 molibden katılarak elde edilen numune ve referans numuneye %1 vanadyum katılarak elde edilen numunelerden her birine 4 km yol kat ettirilmiş ve aşınma oranları her 1 km sonunda yeniden ve yeniden tartılarak not edilmiştir. Sadece gidilen mesafe değil Çizelge 5.9.'de belirtilen farklı sürtünme yükleri ve hızlarında aşınma testleri gerçekleştirilmiştir.

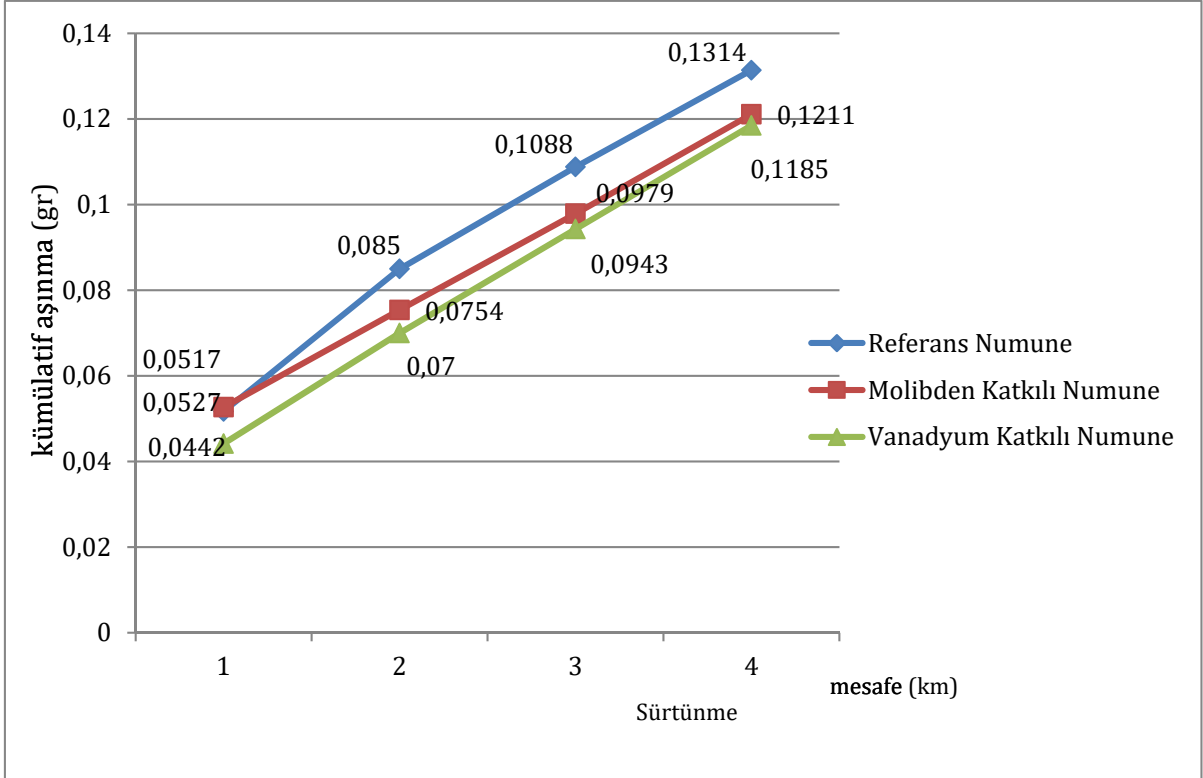
Çizelge 5.9. Aşınma deneyi değişkenleri: Her bir numune için

Değişkenler	Hız (cm/sn)	Yük (Newton)	Mesafe (metre)
Durum 1	100	5	1000x4
Durum 2	100	7	1000x4
Durum 3	50	5	1000x4
Durum 4	50	7	1000x4

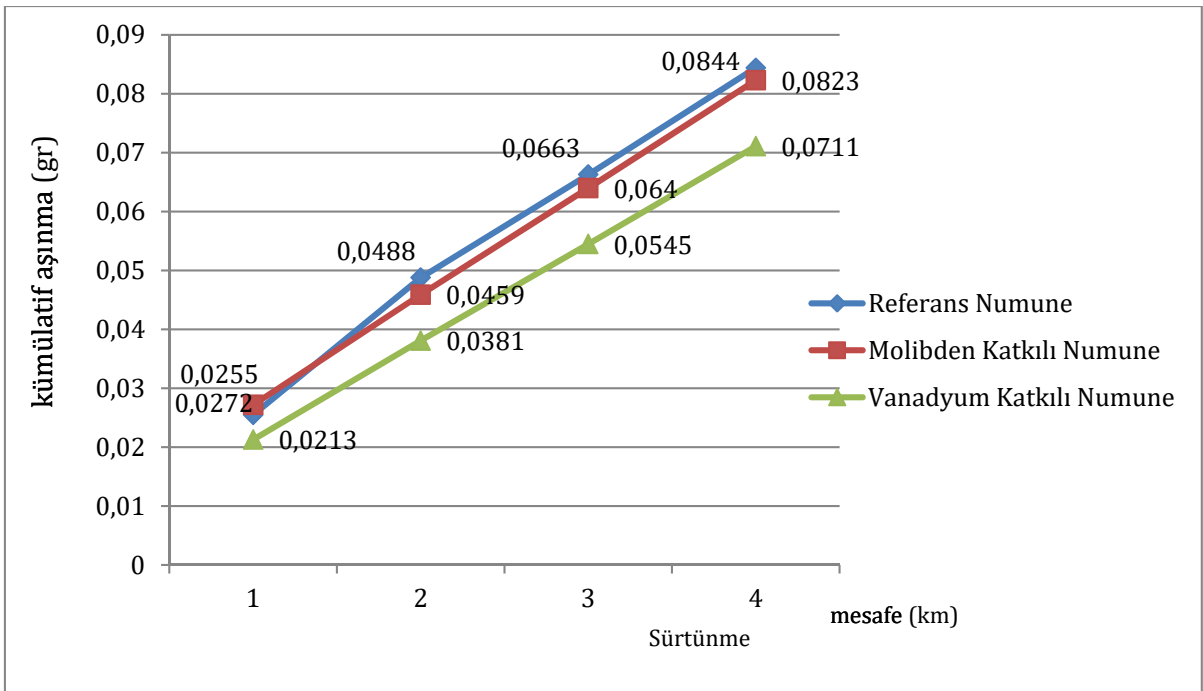
Bu 4 durumda 3 farklı numunenin her 1000 metrede aşınma miktarları ölçülmüştür. Bu durumda 48 adet aşınma testi yapılmıştır. Şekil 5.4-7 farklı sürtünme koşulları için üç numunenin sürtünme mesafesine bağlı olarak kümülatif aşınma miktarları verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere üç numune de sürtünme mesafesi ile yaklaşık-lineer değişen bir aşınma kaybı sergilemektedir. Bu durum bizlere numunelerin zamanla (veya mesafe ile) sabit bir aşınma hızına sahip olduğunu göstermektedir.



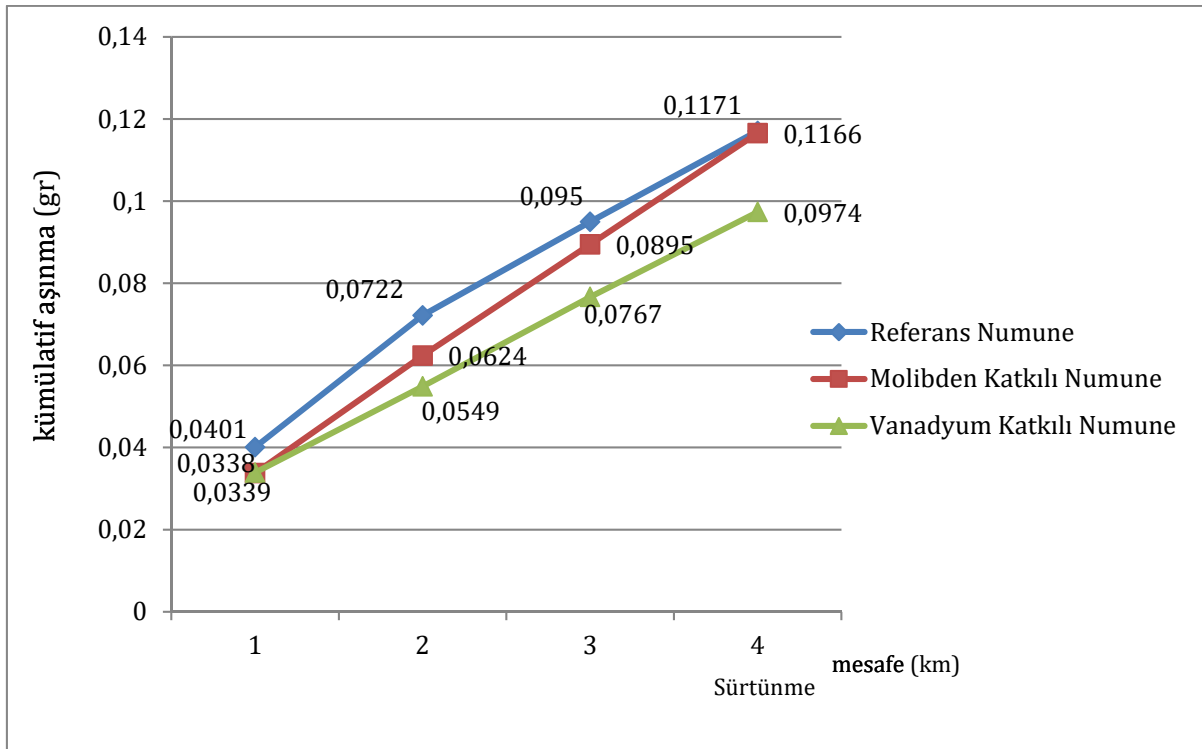
Şekil 5.5. 100 cm/sn hızda 5 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği



Şekil 5.6. 100 cm/sn hızda 7 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği



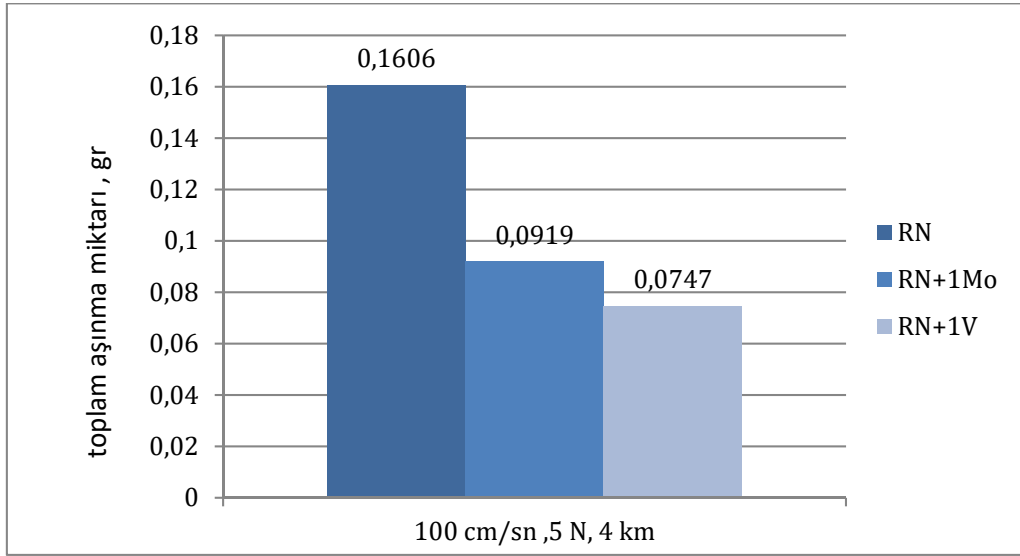
Şekil 5.7. 50 cm/sn hızda 5 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği



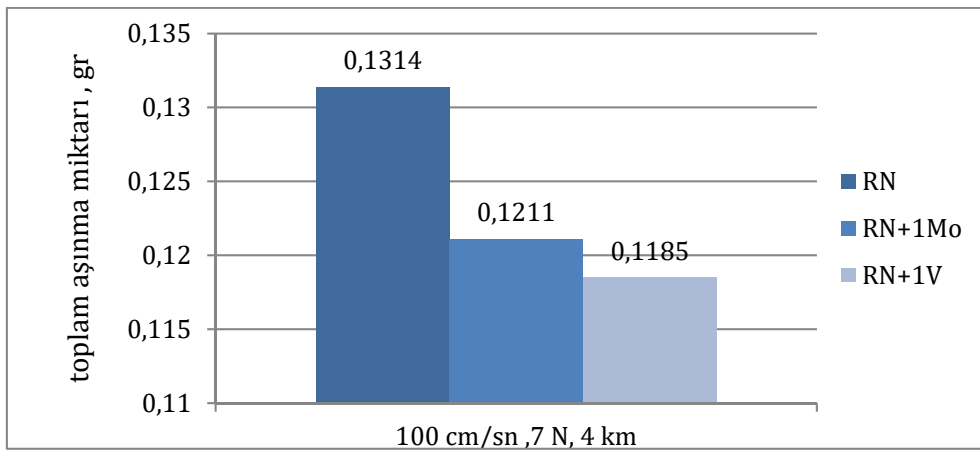
Şekil 5.8. 50 cm/sn hızda 7 N yük altında mesafe-kümülatif aşınma miktarı grafiği

Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'den görüldüğü üzere en çok aşınan referans numune, en az aşınan ise vanadyum katkıli numunedir. Diğer taraftan Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 incelendiğinde 0-1000 metredeki aşınma miktarı ile 1000-2000 metre arasındaki aşınma miktarları arasında orantısız bir fark vardır. Bu fark 2000-3000 ve 3000-4000 metre arasında daha lineer durumdadır. Örneğin 0-1000 metredeki aşınma miktarı vanadyum katkıli malzemede Çizelge 5.9'da verilen "Durum 1" için 0,0239 gram iken 1000-2000 metre arasında 0,0167 grama düşmüştür. Diğer malzemelerde farklı durumlarda da aynısı görülmektedir. Bunun sebebinin öncesinde hiç deformasyona uğramamış yüzeyde, aşınmadan kaynaklı deformasyon oldukça deformasyon sertleşmesinden kaynaklı martenzit oluşumu olduğu düşünülmektedir. Öte yandan molibden katkıli numunenin kümülatif olarak vanadyum katkıli numuneden daha fazla aşınma göstermiş olması şekillerden de görüleceği üzere 0-1000 metre arasındaki aşınmanın yüksekliğinden kaynaklıdır. Diğer mesafe aralıklarında çizelge 5.10'da da görüleceği üzere neredeyse aynı hatta daha az aşınan molibden ilk aşınma miktarı fazla olduğundan kümülatif olarak daha fazla aşınmış görünmektedir.

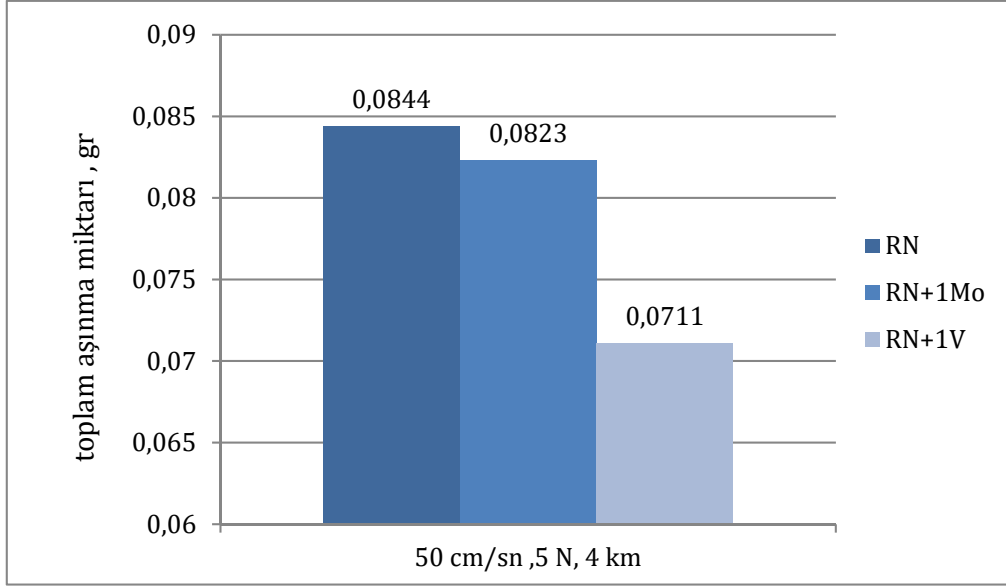
Dört bin metre sonunda dört farklı durumda toplam aşınma miktarlarına Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de yer verilmiştir. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10, incelendiğinde yük artışının aşınma miktarını artırdığı görülmüştür. Bu durum daha az mesafede ölçüm yapılan ve Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de gösterilen durumlar için de geçerlidir. Ayrıca Şekil 5.9 ile Şekil 5.11 ve Şekil 5.10 ile Şekil 5.12 ayrı ayrı karşılaştırıldığında azalan hızın aşınma miktarını azalttığı görülmüştür.



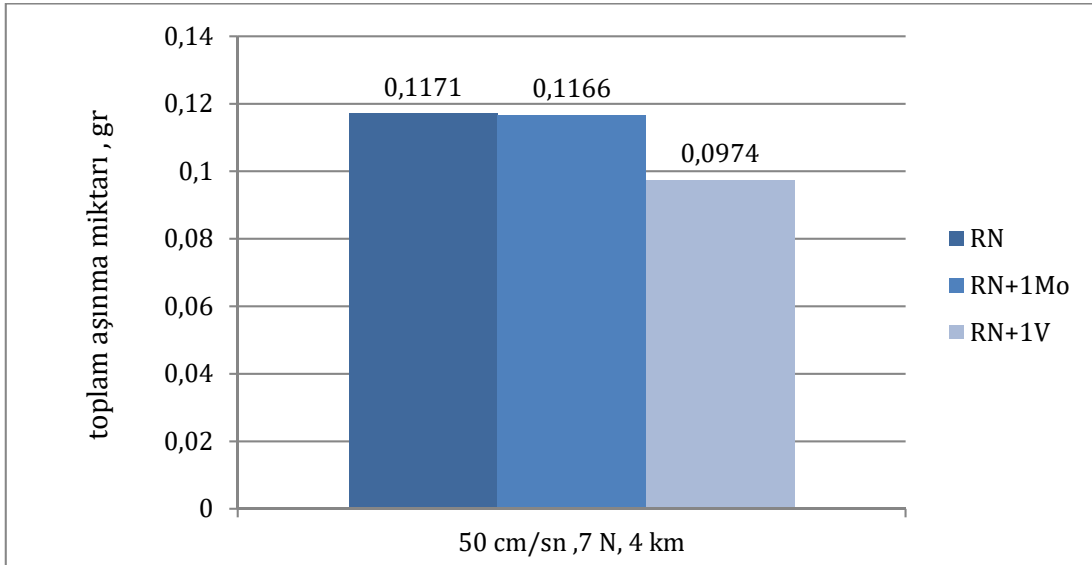
Şekil 5.9. 100 cm/sn hızda, 5 N yük altında,4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği



Şekil 5.10. 100 cm/sn hızda, 7 N yük altında,4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği



Şekil 5.11. 50 cm/sn hızda, 5 N yük altında,4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği



Şekil 5.12. 50 cm/sn hızda, 7 N yük altında,4 km mesafe sonunda toplam aşınma miktarı grafiği

Her üç numunenin birbirine göre bağlı aşınmalarını hesaplayabilmek için aşınma miktarları ve Çizelge 5.9'da gösterilen durumlar üzerinden yapılan hesap Çizelge 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. Numunelerin kütle kayıpları (gr)

Durum ↓	Mesafe (m)→	0-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000
Durum 1 100 cm/sn, 5 N	RN	0,0663	0,0363	0,0316	0,0264
	RN+1Mo	0,0412	0,0161	0,016	0,0186
	RN+1V	0,0239	0,0167	0,0172	0,0169
Durum 2 100 cm/sn, 7 N	RN	0,0517	0,0333	0,0238	0,0226
	RN+1Mo	0,0527	0,0227	0,0225	0,0232
	RN+1V	0,0442	0,0258	0,0243	0,0242
Durum 3 50 cm/sn, 5 N	RN	0,0255	0,0233	0,0175	0,0181
	RN+1Mo	0,0272	0,0187	0,0181	0,0183
	RN+1V	0,0213	0,0168	0,0164	0,0166
Durum 4 50 cm/sn, 7 N	RN	0,0401	0,0321	0,0228	0,0221
	RN+1Mo	0,0338	0,0286	0,0271	0,0271
	RN+1V	0,0339	0,021	0,0218	0,0207

Çizelge 5.10’da kütle kayıpları gram olarak verilmiştir. Bu tablodaki deney sonuçlarından bağıl bir aşınma kaybı elde edebilmemiz için verileri istatistikî olarak işlememiz gerekmektedir. Öncelikle her bir durum için her mesafedeki değerlerin ortalamalarını alalım.

Aynı değerlerin standart sapmaları ve ortalamaları, standart sapma değerinden sonra ortalamadan standart sapma değerinin çıkarılması ve toplanması ile oluşturulan sınır değerlerin bulunduğu değerler Çizelge 5.11’de verilmiştir.

Çizelge 5.11’de oluşturulan asgari ve azami değerler üzerinden Çizelge 5.10’daki veriler için bir değerlendirme yapıldığında, 0-1000 metre ölçümlerinin asgari ve azami limitler içinde olmadığı görülmektedir. Bu durum tam olarak deformasyon sertleşmesinin istatistikî ispatıdır. Deformasyon sertleşmesi gerçekleştiği için 0-1000 metre ve 1000-4000 metre bağıl olarak ayrı ayrı değerlendirilecektir Çizelge 5.11’de belirlenen ortalama değerler üzerinden Çizelge 5.10’daki tablo sadeleştirilerek Çizelge 5.12 elde edilmiştir.

Çizelge 5.11. Aşınma miktarlarının ortalamaları, standart sapmaları

Ortalama (gr)	STDSP	Asgari (gr)	Azami (gr)
0,040	0,018	0,022	0,058
0,023	0,012	0,011	0,035
0,019	0,003	0,015	0,022
0,033	0,013	0,019	0,046
0,030	0,015	0,015	0,045
0,030	0,010	0,020	0,039
0,021	0,004	0,017	0,025
0,021	0,004	0,016	0,025
0,018	0,002	0,015	0,020
0,029	0,009	0,021	0,038
0,029	0,003	0,026	0,032
0,024	0,006	0,018	0,031

Çizelge 5.12’de üç farklı bağıl aşınma oranı verilmiştir. İlki deformasyon sertleşmesinin olduğu 0-1000 metredeki aşınma oranıdır. Her durumda vanadyum katkılı çelik diğerlerinden daha az aşınmıştır.

En çok aşınan ise referans numune olmuştur. Deformasyon sertleşmesinin sadece 0-1000 metre arasında olduğu ve bu aralıkta maksimum noktasına eriştiği kabul edilirse 1000-4000 metre mesafesinde yüksek hızlarda vanadyum katkılı numune molibden katkılı numuneye yakın aşınma göstermiştir. Düşük hızlarda ise vanadyum molibden katkılı numuneden de referans numuneden de daha az aşınmıştır. Bu mesafe aralığında da en çok aşınan referans numune olmuştur.

Çizelge 5.12. 0-1000 m, 1000-4000 m ve 0-4000 m ortalama aşınma miktarları

Durum ↓	Mesafe (m)→	0-1000 (gr)	1000-4000 ortalaması (gr)	0-4000 ortalaması (gr)
Durum 1 100 cm/sn, 5 N	RN	0,0663	0,0314	0,0402
	RN+1Mo	0,0412	0,0169	0,0230
	RN+1V	0,0239	0,0169	0,0187
Durum 2 100 cm/sn, 7 N	RN	0,0517	0,0266	0,0329
	RN+1Mo	0,0527	0,0228	0,0303
	RN+1V	0,0442	0,0248	0,0296
Durum 3 50 cm/sn, 5 N	RN	0,0255	0,0196	0,0211
	RN+1Mo	0,0272	0,0184	0,0206
	RN+1V	0,0213	0,0166	0,0178
Durum 4 50 cm/sn, 7 N	RN	0,0401	0,0257	0,0293
	RN+1Mo	0,0338	0,0276	0,0292
	RN+1V	0,0339	0,0212	0,0244

Çizelge 5.13. Numunelerin sürtünme katsayıları

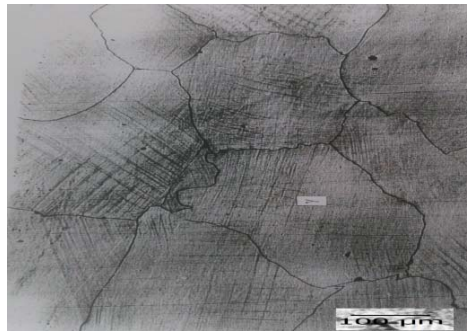
Durum ↓	Mesafe (m)→	0-1000	1000-2000	2000-3000	3000-4000
Durum 1 100 cm/sn, 5 N	RN	0,380	-	0,393	0,383
	RN+1Mo	0,482	0,427	0,401	0,453
	RN+1V	0,434	0,390	0,417	0,385
Durum 2 100 cm/sn, 7 N	RN	0,472	0,454	0,396	0,433
	RN+1Mo	0,473	0,418	0,430	0,445
	RN+1V	0,464	0,401	0,363	0,428
Durum 3 50 cm/sn, 5 N	RN	0,346	0,355	0,347	0,376
	RN+1Mo	0,344	0,340	0,373	0,392
	RN+1V	0,329	0,346	0,319	0,387
Durum 4 50 cm/sn, 7 N	RN	0,334	0,433	0,400	0,368
	RN+1Mo	0,376	0,365	0,360	0,348
	RN+1V	0,316	0,361	0,378	0,376

Toplam aşınma miktarında ise çizelgede 0-4000 metre arası için verilen bilgilerden vanadyum katkılı numunenin her durum ve şartta diğer iki çelikten daha az aşındığı görülmektedir. Yapılan istatistikî analizde vanadyum katkılı numune referans numuneden % 24 daha az aşınmıştır. Molibden katkılı numune ise referans numuneden %14 daha az aşınmıştır.

5.6. Metalografi ve XRD

Metalografik incelemeye hazırlıkta kullanılan dağlayıcı Bölüm 3.1.Materyal kısmında da belirtildiği üzere %2'lik nital çözeltilisidir. Kesme, zımparalama ve parlatma işlemleri için kullanılan cihazlar Bölüm 3.2.Yöntem kısmında ayrıntılı verilmiştir. Numuneler Eskişehir Osmangazi Üniversitesinde hazırlanmıştır. Dağlayıcı ve yüzeyleri parlatma konuları uzmanlık istediği için bu işlemler Ortadoğu Teknik Üniversitesinde uzman teknikler ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Kullanılan İşlemler neticesinde elde edilen mikroyapı fotoğrafları Şekil 5.14 ile şekil 5.16 arasında verilmiştir.

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'de Mo ve V ilaveli numunelerin mikroyapısı mevcuttur. Bu mikroyapılar incelendiğinde numunelerin tek fazlı ve eş eksenli tanelere sahip olduğu görülmektedir. Molibdenli numune, vanadyumlu numuneden daha kaba tane yapısına sahip olarak görülmektedir. Aşınma ve darbe deneyi test sonuçlarını bu yönüyle tane büyüklüğü-küçüklüğü açısından değerlendirilebilir. Şekil 5.13'de Yıldırım'a ait çalışmada verilen mikroyapı da tane büyüklüğünün aşınmayı olumsuz etkilediğini göstermektedir.



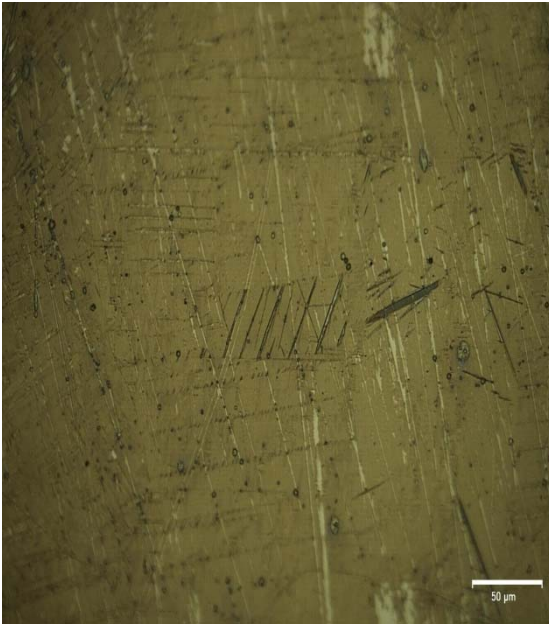
Şekil 5.13. 12/14 ostenitik mangan çeliğine ait 100X büyütmede mikroyapı. (Yıldırım,1999)



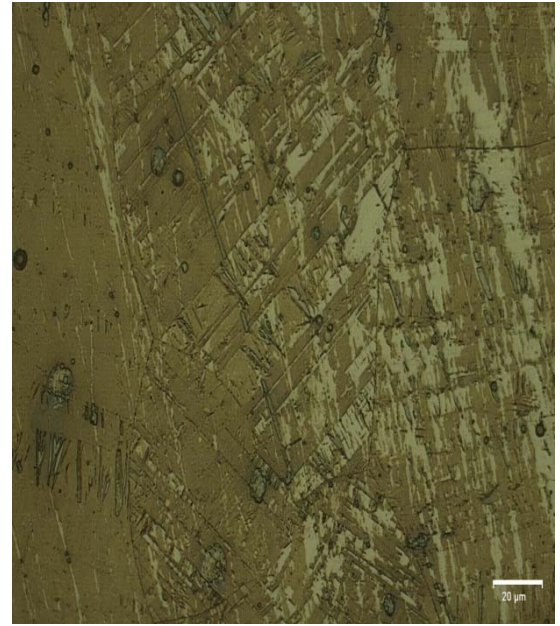
a



b



c

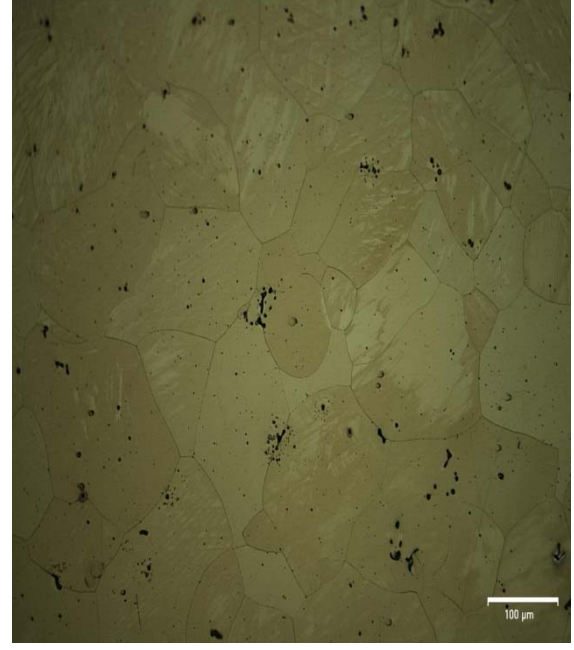


d

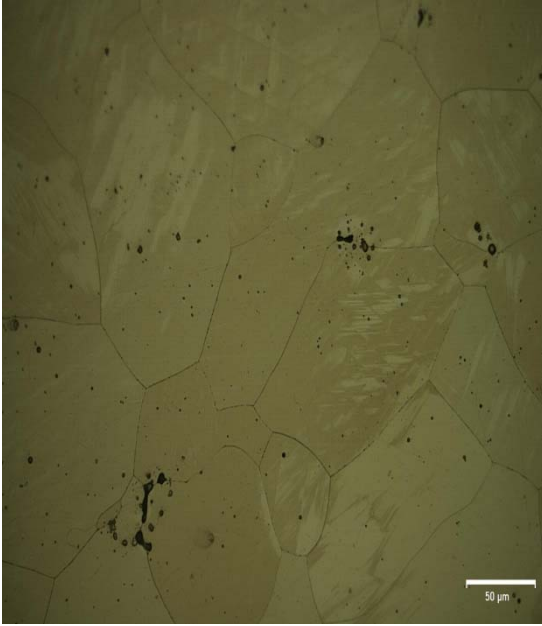
Şekil 5.14. Referans numunenin mikroyapıları. a)200X b)500X c)1000X d)1800X büyütme oranlarında



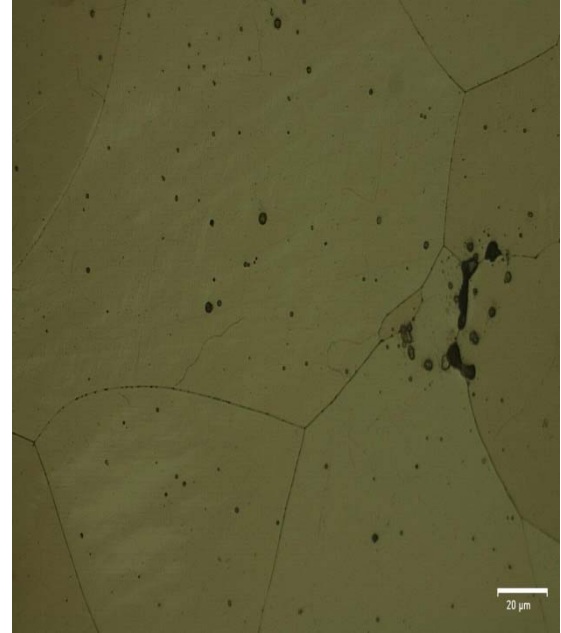
a



b



c



d

Şekil 5.15. RN+1Mo numunenin mikroyapıları. a) 200X b) 500X c)1000X d)1800X büyütme oranlarında



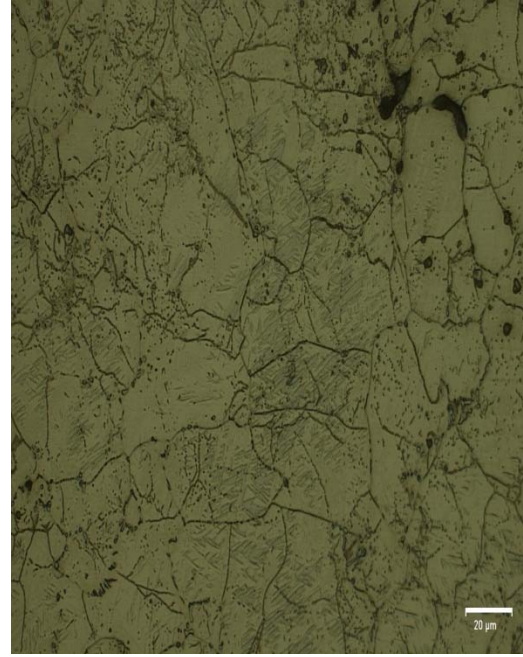
a



b



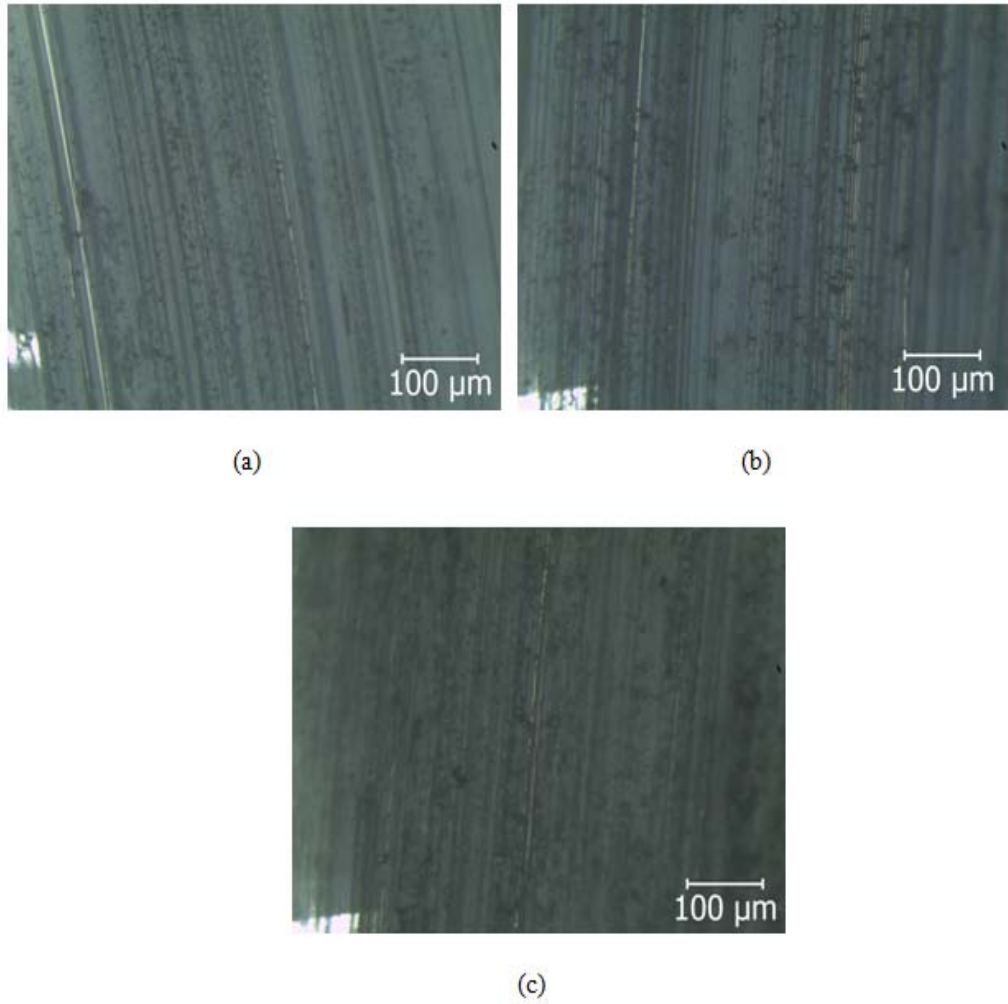
c



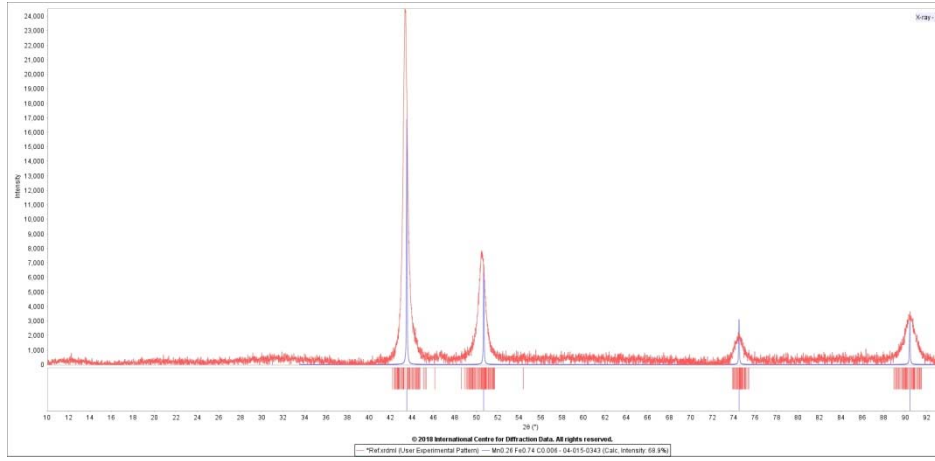
d

Şekil 5.16. RN+1V numunenin mikroyapıları. a) 200X b) 500X c)1000X d)1800X büyütme oranlarında

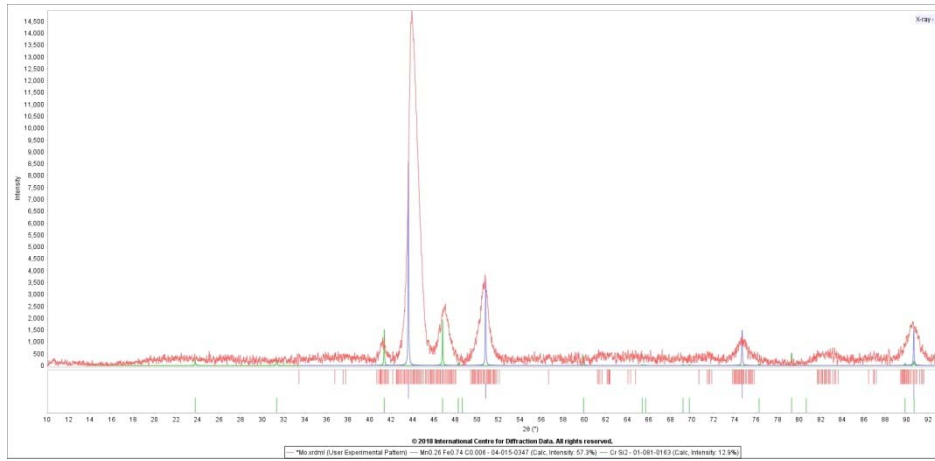
Numuneler 4 km mesafede aşındırıldıktan sonra aşınma yüzeylerinden stereo-mikroskop altında ince büyütmede görüntüler alınmıştır. Şekil 5.17’de verilen büyütme sonuçlarına göre yönlendirilmiş oluklara rastlanmıştır. Aynı büyütme ve aynı şartlarda oluk genişlikleri açısından en düşük oluk genişliği en az vanadyum katkılı numunededir. Aşınma deneyi sonuçlarında en az aşınan numunenin vanadyum katkılı numunedir. Mikroyapılardaki en küçük tane yapısı yine vanadyum katkılı numunededir. Şeki 5.17’de abrasif aşınma neticesinde oluşan olukların bant genişlikleri açısından vanadyum katkılı numunede bant genişliğinin az olması bu iki durumu destekler niteliktedir.



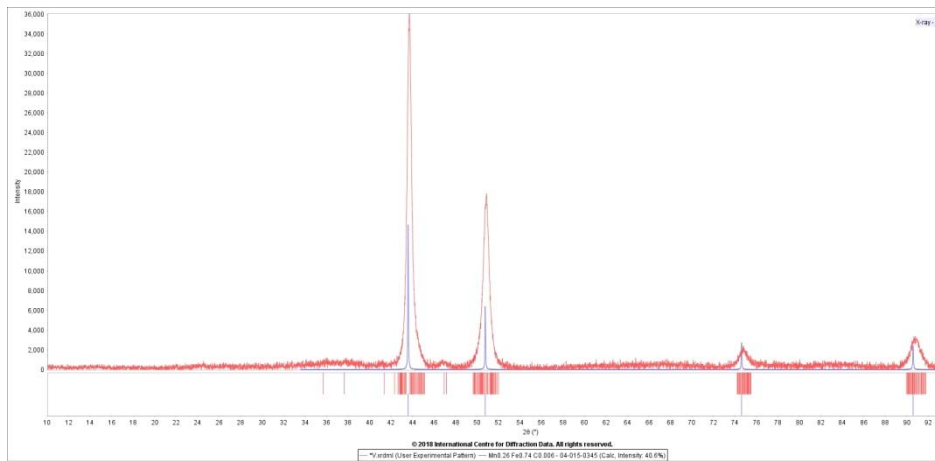
Şekil 5.17. Numunelerin 100 cm/sn hızda 7 N yük, 4 km mesafe aşınmaları sonucunda oluşan stereo-mikroskoptaki ince büyütme görüntüleri (a) RN; b)RN+1Mo; c) RN+1V)



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.18. XRD sonuçları. (Şiddet- 2θ) (1. RN; 2. RN+1Mo; 3. RN+1V)

Şekil 5.18’de Numunelere ait XRD analizi sonuçları görünmektedir. Grafiklerde her üç numunede görünen pik noktaları numunelerin ostenitik yapıda olduğunu göstermektedir.

6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Ankara’da Gölbaşı İlçesine bağlı Fevziye Mahallesi muhitinde kalker tipi taş kırımı yapan Karadere Limited Şirketinden alınan bilgiye göre rotor içindeki aşınma parçalarında 16/18 Mn, 1,5 Cr, 0,5 Mo (yüzdeye göre) piyasa isimli ostenitik mangan çeliği kullanılmakta olup KDV hariç kilogramı 7 TL’den alım yapılmaktadır. Alımın yapıldığı şirketle kurulan temas neticesinde bu tez kapsamında kullanılan referans numunenin kilogram fiyatının ortalama KDV hariç 5 TL olduğu bilgisi alınmıştır. Karadere Limited bu aşınma parçasının çift taraflı olarak kalker tipinde ortalama 15 ay, bazalt tipinde ortalama 25 gün kullanılabildiğini beyan etmiştir. Rotoru takılan aşınma parçası 415 kg kütleyle sahiptir. Diğer yandan Ankara Sincan Organize Sanayi Bölgesinde mukim Marmara Metal A.Ş.’den alınan ferro-mangan fiyatı 25 USD, ferro-vanadyum fiyatı ise 70 USD’dir. 21.07.2018 tarihi itibarıyla USD/TL kuru 4,80 TL sabit alınırsa fiyatlar sırasıyla kilogram başına 336 TL ve 120 TL olacaktır. RN kodlu numunenin 1 gün kullanılabildiği yerde RN+1Mo 1,14 gün ve RN+1V ise 1,24 gün kullanılabildiğini deney sonuçlarından hesaplayabilmekteyiz. Gün başına maliyetlere ait tablo Çizelge 6.1.’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Gün başına maliyet oranları (KDV Hariç)

Çelik Türü	Sarfiyat (TL/Gün) (Kalker)	Sarfiyat (TL/Gün) (Bazalt)
RN	4,61	83
RN+1Mo	5	90
RN+1V	6,22	112

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anonim, 2006, fe-c phase diagram, <http://www.calphad.com/iron-carbon.html>, 01.03.2018
- Bargel H.J., Schulze I.G.,1993, Malzeme Bilgisi, İTÜ Makine Fakültesi Ofset Yayınevi (Çev. Ş. Güleç, A.Arslan)
- Bhushan B., 2013 , Introdution of Tribology, John Wiley and Sons Publication p.157-220
- Çelikyürek İ., 2006, Demir aluminatların borlanması ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 174 s.
- Korshunov L.G., Kositsina I.I., Sagaradze V.V., Chernenko N.L., 2011, Effect of the carbide phase on the tribological properties of high manganese antiferromagnetic austenitics steels alloyed with vanadium and molybdenum, Physics of metal and metallography Volume 112, p. 90-100
- Oerlikon, 2018, Sertlik dönüşüm tablosu, http://www.oerlikon.com.tr/sertlik_cevrim_tablosu.html , 05.03.2018
- Onaran K., 2006, Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi
- Onat E. 2016, Polimer matrisli kompozitlerde matris türünün sürtünem ve aşınma özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 57 s.
- Rabinkin A., 1979, Fe-Mn phase diagram, <http://www.calphad.com/iron-manganese.html> , 01.03.2018
- Subramanyam D.K., Swasiger A.E., Avery H.S., 1990, ASM Handbook Volume 1 Austenitic Manganese Steels, ASM International Publications, p.1274-1302
- Süt M., 1996, Çeneli kırıcılar, konik kırıcılar ve bilyalı değirmenlerde kullanılan yüzey plakalarındaki aşınma parametrelerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 116 s.
- Turhan H., 2007, Ostenitik manganlı çeliğin aşınma davranışının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 47 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

William F.S., 2006, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, Literatür Yayınevi, (Çev. N.Kınıkoğlu)

Yıldırım B., 1999, Ostenitik manganlı çeliğin aşınma direnci üzerine karbür yapıcı alaşım elementlerinin etkisi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 58 s.