

**FARKLI ISIL İŞLEMLERDEKİ 8620 SEMENYASYON  
ÇELİĞİNİN ABRASİV AŞINMA DAVRANIŞLARI**

133304

**Mehmet TABUR**

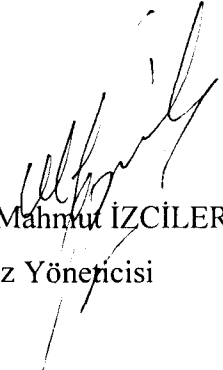
**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
(ENDÜSTRİYEL TEKNOLOJİ EĞİTİMİ)**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Eylül 2003  
ANKARA**

133304

Mehmet TABUR tarafından hazırlanan FARKLI ISIL İŞLEMLERDEKİ 8620 SEMENTASYON ÇELİĞİNİN ABRASİV AŞINMA DAVRANIŞLARI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

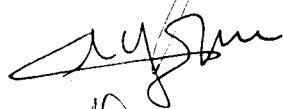
  
Doç. Dr. Mahmut İZCİLER  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma jürimiz tarafından Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

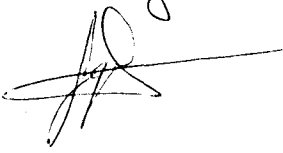
Başkan

: Doç. Dr. Mahmut İZCİLER (Danışman) 

Üye

: Doç. Dr. H. Güçlü YAĞUZCAN 

Üye

: Yrd. Doç. Dr. Ferhat GÜL 

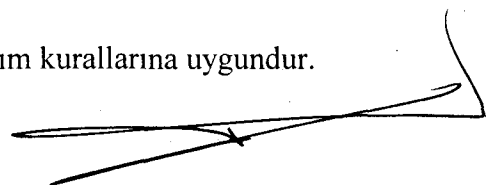
Üye

: \_\_\_\_\_

Üye

: \_\_\_\_\_

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	iv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
1. GİRİŞ.....	1
2. AŞINMA ve ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Aşınmanın tanımı.....	3
2.1.1. Aşınmanın temel unsurları.....	4
2.1.2. Tribolojik sistemler.....	5
2.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm yöntemleri.....	5
2.2.1. Ağırlık farkı metodu.....	8
2.2.2. Kalınlık farkı metodu.....	10
2.2.3. İz değişimi metodu.....	10
2.2.4. Radyo izotop metodu.....	11
3. AŞINMA MEKANİZMALARİ ve AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....	12
3.1. Aşınma Mekanizmaları.....	12
3.1.1. Adhesiv aşınma.....	13
3.1.2. Abrasiv aşınma.....	15
3.1.3. Tribooksidasyon aşınması.....	19

3.1.4. Yorulma aşınması.....	20
3.2. Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	20
3.2.1. Ana malzemeye bağlı faktörler.....	21
3.2.2. Karşı malzemeye bağlı faktörler (tane büyüklüğü, şekli ve dağılımı).....	30
3.2.3. Ortama bağlı faktörler (sıcaklık, nem, atmosfer).....	32
3.2.4. İşletmeye bağlı faktörler.....	33
4. SEMENTASYON ÇELİKLERİ.....	37
4.1. Sementasyon Çeliğinin Tanımı.....	37
4.2. Sementasyon Çeliklerinin Özellikleri.....	37
4.3. Sementasyon Çeliklerinin Tamamen Su Verilmiş Çeliklere Göre Avantajları, Dezavantajları.....	38
4.4. Sementasyon İşlemi.....	38
4.5. Sementasyon Metotları.....	42
4.5.1. Kutu sementasyonu.....	43
4.5.2. Tuz banyosunda sementasyon.....	43
4.5.3. Gaz sementasyonu.....	45
4.6. Sertleştirme Yöntemleri.....	49
4.6.1. Direkt sertleştirme.....	49
4.6.2. Basit sertleştirme.....	50
4.6.3. Basit sertleştirme (ara tavından sonra).....	50
4.6.4. Basit sertleştirme (izotermik dönüşümden sonra).....	51
4.6.5. Çift sertleştirme.....	51
4.7. Menevişleme.....	52
4.8. Sementasyon Derinliği.....	52

4.9.	Yüzey Sertliği.....	54
4.10.	Çekirdek Sertliği.....	55
4.11.	8620 Sementasyon Çeliğinin Sertleşebilirliği (Jominy Bantları).....	56
4.12.	8620 Sementasyon Çeliğinin Çeşitli Standartlardaki Karşılıkları.....	56
4.13.	8620 Sementasyon Çeliğinin SAE'ye Göre Kimyasal Özellikleri.....	57
4.14.	Sementasyon Çeliklerinin Mekanik Özellikleri.....	58
4.15.	Sementasyon Çeliklerinin Isıl İşlemleri.....	59
5.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	60
5.1	Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	60
5.2.	Metalografik Çalışmalar.....	62
5.3.	Sertlik Ölçümleri.....	62
5.4.	Aşınma Deneyleri.....	62
5.5.	Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri.....	64
6.	DENEY SONUÇLARI ve İRDELENMESİ.....	65
6.1.	Metalografi Sonuçları.....	65
6.2.	Sertlik Ölçümleri.....	72
6.3.	Aşınma Deney Sonuçları.....	75
6.4.	Aşındırıcıların ve Aşınmış Yüzeylerin Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) İncelemeleri.....	84
7.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	105
	KAYNAKLAR.....	107
	ÖZGEÇMİŞ.....	112

**FARKLI ISIL İŞLEMLERDEKİ 8620 SEMENTASYON  
ÇELİĞİNİN ABRASİV AŞINMA DAVRANIŞLARI**  
(Yüksek Lisans Tezi)

**Mehmet TABUR**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
Eylül 2003

**ÖZET**

Bu çalışmada numune olarak dişlilerin üretiminde yaygın olarak kullanılan 8620 sementasyon çelikleri incelenmiştir. Değişik ısı işlemler uygulanarak hazırlanan numuneler farklı sementasyon derinliği ve farklı yüzey sertliklerine sahip olmuşlardır. Farklı sementasyon derinliğine ve yüzey sertliğine sahip numuneler pim disk (pin-on disk) abrasiv aşınma test cihazı kullanılarak aşınma deneyi yapılmıştır. Farklı ısı işlemler uygulanarak hazırlanan 8620 sementasyon çelikleri farklı yüklerde ve farklı aşınma yollarında teste tabi tutularak abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma testlerinde alüminyum oksit ve silisyum karbür taneli abrasiv aşındırma kağıtları kullanılmıştır. Test sonuçlarında yüksek sertlik kazandırılan numunelerin aşınma direncinin de yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aşındırıcı malzemenin sertliğinin de aşınma direncini önemli ölçüde etkilediği deneysel olarak bulunmuştur.

**Bilim kodu** : 10.10.20  
**Anahtar kelimeler** : Aşınma, Sementasyon Çeliği  
**Sayfa adedi** : 112  
**Tez yöneticisi** : Doç.Dr. Mahmut İZCİLER

**ABRASIVE WEAR BEHAVIOUR OF 8620 CEMENTATION  
STEELS WITH DIFFERENT HEAT TREATMENTS**

**(M. Sc. Thesis)**

**Mehmet TABUR**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**September 2003**

**ABSTRACT**

8620 cementation steels used widely in gear production have been selected as specimens in this study. These specimens which have been prepared using different heat treatment procedures, have different surface hardness values and different cementation depths. On these specimens with different cementation depths and surface hardness values, wear tests using pin – on disk abrasive wear test device has been carried out. Abrasive wear behaviors of these 8620 cementation steels prepared using different heat treatment procedures has been studied testing under different loads and different wear paths. During these tests, aluminum oxide and silicon carbide grain abrasive wear papers have been used. Test results have shown that the specimens with higher surface hardness values also have high wear resistance. Also, it has been experimentally shown that the hardness of the abrasive material considerably affects the wear resistance.

**Science Code : 510.10.20**  
**Key Words : Wear, Cementation Steels**  
**Page number : 112**  
**Adviser : Associate Professor Mahmut İZCİLER**

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda kıymetli fikirleriyle çalışmalarımı yönlendiren ve her konuda bana yardımlarını esirgemeyerek yol gösteren sayın hocam Doç.Dr. Mahmut İZCİLER'e en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Bu tezle ilgili aşınma deney cihazı ve aşınma deneylerinde desteğini gördüğüm Ortadoğu Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden Doç.Dr. Ali KALKANLI'ya, fikirleriyle çalışmalarına destek veren hocam Doç.Dr. H.Güçlü YAVUZCAN'a, kıymetli tecrübelerinden ve fikirlerinden faydalandığım hocam Yrd.Doç.Dr. İbrahim ERTÜRK'e tezin hazırlanmasında yakın desteğini gördüğüm Teknik Eğitim Fakültesi öğretim üyelerinden hocam Yrd.Doç.Dr. Behçet GÜLENÇ'e deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen ve deneyimlerinden yararlandığım Arş.Gör. Nizamettin KAHRAMAN'a ve numunelerin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen HEMA Dişli Fabrikasının çalışanlarına, tezin yazılmasında yardımını gördüğüm elektrik mühendisi Bülent SARIKAYA'ya ve tez çalışmalarında beni yalnız bırakmayan, her zaman moral kaynağım olan eşime ve biricik oğluma teşekkür etmeyi bir borç bilirim.



**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 3.1. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkisi .....	15
Çizelge 3.2. Isıl işlemlerle sertliğin ve aşınma miktarının değişimi .....	30
Çizelge 3.3. Değişik sıcaklıklarda bazı malzemeler için aşınma davranışları .....	32
Çizelge 4.1. Sementasyon derinliğinin, sementasyon sıcaklığı ve sementasyon zamanına bağlı olarak değişim değerleri .....	53
Çizelge 4.2. 8620 Sementasyon çeliğinin çeşitli standartlardaki karşılıkları .....	56
Çizelge 4.3. 8620 Sementasyon çeliğinin SAE'ye göre kimyasal özellikleri .....	57
Çizelge 4.4. Sementasyon çeliklerinin mekanik özellikleri .....	58
Çizelge 4.5. Sementasyon çeliklerinin ısıl işlemleri .....	59
Çizelge 5.1. Ana malzeme olarak kullanılan 8620 sementasyon çeliğinin kimyasal analizi (% ağırlık) .....	60

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Aşınma unsurları .....	4
Şekil 2.2. Tribolojik sistem ve elemanları .....	5
Şekil 2.3. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri .....	6
Şekil 2.4. Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri .....	7
Şekil 3.1. Adhesiv aşınma .....	13
Şekil 3.2. Adhesiv aşınma mekanizması .....	14
Şekil 3.3. Abrasiv aşınma mekanizması .....	16
Şekil 3.4. İki elemanlı abrasiv aşınma .....	18
Şekil 3.5. Üç elemanlı abrasiv aşınma .....	19
Şekil 3.6. Çeşitli malzemelerde kütleli sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi .....	22
Şekil 3.7. Sertleştirilmiş ve tavlanmış malzemedeki abrasiv tanenin izinin şematik gösterilmesi .....	22
Şekil 3.8. Alaşımız çeliklerde karbon içeriğine bağlı olarak sertlik ve aşınma direnci değişimi .....	23
Şekil 3.9. Üç çelikte temperleme sıcaklığının abrasiv aşınma oranına etkisi .....	24
Şekil 3.10. Saf metallerde elastisite modülü (E), ile bağlı aşınma direnci (R) arasındaki ilişki .....	25
Şekil 3.11. Farklı deformasyon sertleşmesi üssü “n” değerlerine sahip iki malzemenin şematik $\log \sigma - \log \epsilon$ grafikleri .....	26
Şekil 3.12. Gerçek ve geometrik temas yüzeyleri .....	28
Şekil 3.13. Yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve sürtünme katsayısına etkisi .....	28
Şekil 3.14. Numune çapının aşınma hızına etkisi .....	29

Şekil 3.15. Kuru zımpara üzerinde, ortalama tane çapı ile aşınmanın değişimi .....	31
Şekil 3.16. Co/Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, vakumda sürtünme katsayısının değişimi .....	33
Şekil 3.17. Aşınma miktarının yükü değişimi .....	34
Şekil 3.18. Hızın aşınma miktarına etkisi .....	35
Şekil 3.19. Kayma hızı-sürtünme katsayısı ilişkisi .....	36
Şekil 3.20. Kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi .....	36
Şekil 4.1. Demir-Karbon denge diyagramı .....	40
Şekil 4.2. Başta % 0.20 miktarında karbon ihtiva eden bir çelik parçasının, sementasyon işlemi sonrasında, yüzeyinden içeriye doğru oluşan yapı değişiklikleri .....	42
Şekil 4.3. Nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki .....	46
Şekil 4.4. 925°C de yapılan sementasyon işleminde, gaz karışımındaki CO miktarı % 20 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının ve H <sub>2</sub> miktarının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri .....	47
Şekil 4.5. Gaz karışımındaki CO miktarı %20 ve H <sub>2</sub> miktarı %40 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri .....	47
Şekil 4.6. Sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme .....	49
Şekil 4.7. Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra sertleştirme .....	50
Şekil 4.8. Ara tavlamadan sonra sertleştirme .....	50
Şekil 4.9. İzotermal dönüşümden sonra sertleştirme .....	51
Şekil 4.10. Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra çift sertleştirme .....	51
Şekil 4.11. Semente edilmiş bir çelik parçasındaki sertlik değişim eğrisi .....	52
Şekil 4.12. 8620 (21 NiCrMo 2) Sementasyon çeliğinin sertleşme eğrisi .....	56
Şekil 5.1. Pim-disk (Pin-on disk) abrasiv aşınma test cihazı .....	63

Şekil 6.1. Isıl işlemsiz malzemenin x280 büyütme ortadan çekilmiş mikroyapı fotoğrafı .....	65
Şekil 6.2. Isıl işlemsiz malzemenin x280 büyütme kenara yakın yerden çekilmiş mikroyapı fotoğrafı .....	66
Şekil 6.3. Isıl işlem görmüş A numunesinin x280 büyütme kenardan çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM) .....	67
Şekil 6.4. Isıl işlem görmüş A numunesinin x50 büyütme kenara yakın yerden çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM) .....	68
Şekil 6.5. Isıl işlem görmüş x257 büyütme A numunesinin ortasından çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM) .....	69
Şekil 6.6. Isıl işlem görmüş B numunesinin x100 büyütme kenardan çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM) .....	70
Şekil 6.7. Isıl işlem görmüş B numunesinin x50 büyütme kenara yakın yerden çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM) .....	71
Şekil 6.8. Isıl işlem görmüş B numunesinin x250 büyütme ortasından çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM) .....	72
Şekil 6.9. Deneysel malzemelerin sertlik değerleri .....	73
Şekil 6.10. A numunesi sert doku derinliği şekli .....	74
Şekil 6.11. B numunesi sert doku derinliği şekli .....	74
Şekil 6.12. A numunesinin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara ile aşınma yol şekli .....	75
Şekil 6.13. B numunesinin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara ile aşınma yol şekli .....	76
Şekil 6.14. Isıl işlemsiz malzemenin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara ile aşınma yol şekli.....	76
Şekil 6.15. A numunesinin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara ile aşınma yük şekli .....	77
Şekil 6.16. B numunesinin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara ile aşınma yük şekli .....	77
Şekil 6.17. Isıl işlemsiz malzemenin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara ile aşınma yük şekli .....	78
Şekil 6.18. A numunesinin SiC zımpara ile aşınma yol şekli .....	79
Şekil 6.19. B numunesinin SiC zımpara ile aşınma yol şekli .....	79
Şekil 6.20. Isıl işlemsiz malzemenin SiC zımpara ile aşınma yol şekli .....	80

Şekil 6.21. A numunesinin SiC zımpara ile aşınma yük şekli .....	80
Şekil 6.22. B numunesinin SiC zımpara ile aşınma yük şekli .....	81
Şekil 6.23. Isıl işlemsiz malzemenin SiC zımpara ile aşınma yük şekli .....	81
Şekil 6.24. A numunesinin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve SiC zımparalarla aşınma şekli .....	82
Şekil 6.25. B numunesinin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve SiC zımparalarla aşınma şekli .....	82
Şekil 6.26. Isıl işlemsiz malzemenin Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve SiC zımparalarla aşınma şekli .....	83
Şekil 6.27. 10 N yük altında aşındırılmış Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	84
Şekil 6.28. 25 N yük altında aşındırılmış Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	85
Şekil 6.29. 40 N yük altında aşındırılmış Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	85
Şekil 6.30. 10 N yük altında aşındırılmış SiC zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	86
Şekil 6.31. 25 N yük altında aşındırılmış SiC zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	86
Şekil 6.32. 40 N yük altında aşındırılmış SiC zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	87
Şekil 6.33. Kullanılmamış Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> aşındırıcı zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	87
Şekil 6.34. Kullanılmamış SiC aşındırıcı zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü .....	88
Şekil 6.35. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımparadan kopan partiküller ve aşındırdığı malzemenin kopan kısımların x35 büyütmeli görüntüsü .....	89
Şekil 6.36. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> zımparadan kopan partiküller ve aşındırdığı malzemenin kopan kısımların x35 büyütmeli görüntüsü .....	90
Şekil 6.37. SiC zımparadan kopan partiküller ve aşındırdığı malzemenin kopan kısımların x35 büyütmeli görüntüsü .....	90
Şekil 6.38. SiC zımparadan kopan partiküller ve aşındırdığı malzemenin kopan kısımların x35 büyütmeli görüntüsü .....	91

Şekil 6.39. Isıl işlemsiz malzemenin 10 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	92
Şekil 6.40 Isıl işlemsiz malzemenin 25 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	93
Şekil 6.41. Isıl işlemsiz malzemenin 40 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	93
Şekil 6.42. A numunesinin 10 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	94
Şekil 6.43. A numunesinin 25 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	94
Şekil 6.44. A numunesinin 40 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	95
Şekil 6.45. B numunesinin 10 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	96
Şekil 6.46. B numunesinin 25 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	96
Şekil 6.47. B numunesinin 40 N yük altında $Al_2O_3$ zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	97
Şekil 6.48 Isıl işlemsiz malzemenin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	98
Şekil 6.49 Isıl işlemsiz malzemenin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	98
Şekil 6.50. Isıl işlemsiz malzemenin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	99
Şekil 6.51. A numunesinin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	100
Şekil 6.52. A numunesinin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	100
Şekil 6.53. A numunesinin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	101
Şekil 6.54. B numunesinin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü .....	102

- Şekil 6.55. B numunesinin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü ..... 102
- Şekil 6.56. B numunesinin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü ..... 103



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

### Simgeler

### Açıklama

<b>Wa</b>	Aşınma Oranı
<b>Wr</b>	Aşınma Direnci
<b>F</b>	Aşınma Yüzeyi
<b>S</b>	Kayma Yolu
<b><math>\Delta G</math></b>	Ağırlık Kaybı
<b>d</b>	Yoğunluk

### Kısaltmalar

<b>ASTM</b>	American Society for Testing Materials (Amerikan Malzeme Test Birliği)
<b>ASME</b>	American Society of Mechanical Engineering (Amerikan Makine Mühendisleri Birliği)
<b>BS</b>	British Standards (İngiliz Normu)
<b>JIS</b>	Japanese Industry Standards (Japon Endüstri Normu)
<b>DIN</b>	Deutsch Industrie Normen (Alman Endüstri Normu)
<b>ISO</b>	International Standard Organization (Uluslararası Standart Organizasyonu)
<b>SAE</b>	Society of Automotive Engineering (Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği)
<b>AISI</b>	American Iron and Steel Institute (Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü)



## 1. GİRİŞ

Bilim ve teknolojinin hızla ilerlediği günümüzde endüstriyel alanlardaki makine, teçhizat ve donanımlarının yüksek mekanik özelliklere sahip uzun ömürlü, kaliteli mamüllerden olması gerekmektedir. Özellikle her endüstri alanında çok ciddi ekonomik kayıplara neden olan aşınma mekanizması dikkatle incelenmesi gereken teknolojik öneme sahip bir konudur. Dünya sanayi her yıl, son derece lokalize olmuş birkaç milimetre aşınmaya sebep olan çeşitli aşınma olaylarından dolayı milyarlarca dolar değerindeki makine parçasını hurdaya atmaktadır. Eğer duruş kayıpları, montaj ve demontaj süreleri ve randıman kayıpları da göz önüne alınırsa bu milyarlarca dolar katlanarak daha da artar. Çünkü aşınma, endüstrinin pek çok alanındaki tesislerin ve makinelerin etkin çalışmasını azaltan, güç kayıplarını ve yedek parça kullanım oranını arttıran bir olaydır.

Aşınma yüzeylerinde oluşan malzeme taşınımı veya kaybı bu malzemelerin çalışma esnasındaki ömrünü ve çalışma performansını etkileyeceğinden ekonomik ve emniyet açısından çok önemlidir. Özellikle abrasiv aşınma endüstriyel cihazlarda malzeme kayıplarının başlıca sebebidir. Bu nedenle aşınmaya karşı daha dirençli çeliklerin işlenmesi de gittikçe önem kazanmaktadır. Çünkü çelikler bileşimleri nedeni ile özellikle abrasiv aşınmaya maruz kalan makine bileşenlerinde, mühendisliğin çeşitli alanlarında, raylar, elekler, bilyalar vb yerlerde çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Aşınmaya dayanıklı çeliklerin üretiminde kullanılan yöntemlerden biri de çeliğe ısıtma işlemi uygulamaktır. Özellikle malzeme açısından aşınmayı azaltmak için, ısıtma işlemi uygulanmaktadır.

Bu tez çalışmasında özellikle farklı ısıtma işlemleri yapılmış olan 8620 sementasyon çeliği kullanılmıştır. Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan, düşük karbonlu alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir. Yüzeyi sertleştirilmiş olan çeliğin çekirdeğinin sathına göre yumuşak ve tok olması parçanın tüm olarak yüksek darbe mukavemeti göstermesini

sağlamaktadır. Yüzey sertleştirme sırasında yüzey tabakalarında basma gerilmelerinin gelişmesi yüzünden çeliğin yorulma mukavemeti de artmaktadır.

Bu tezde kullanılan deney numuneleri dişli çarklarda kullanılan numunelerden olup HEMA<sup>1</sup> Dişli Fabrikası'nda hazırlanmıştır. Deneysel olarak farklı ısıl işlemler uygulanan 8620 sementasyon çeliklerinin mikroyapıları, sertlikleri ve bu sertliklerinin ısıl işlemle nasıl değiştiği araştırılmış ve abrasiv aşınma davranışları incelenmiştir.



---

<sup>1</sup> HEMA: Dişli San. ve Tic. A. Ş.

## 2. AŞINMA VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

### 2.1. Aşınmanın Tanımı

Bir çok endüstri alanında aşınmaya yol açan işlemler kullanılır. Tarım, madencilik, minerallerin işlenmesi, toprak işleme ve taşıma gibi endüstrinin pek çok alanında kullanılan makine ve bileşenleri hareketleri esnasında aşınırlar. Maden cevherlerinin çıkarılması, başka yerlere taşınması ve boşaltılması bunlara örnek olarak gösterilir (1). Makine bileşenleri, kamlar ve dişliler belli birer dinamik bileşen ile eşleşirler. Bilgisayar kartlarından petrol sondajına kadar bir çok farklı ortamda çalışan, makinelerin aşınması ekonomi tabanlı bir sorundur. Nükleer reaktörlerden çıkan atıkları taşıyan tüplerin birbirine çarpması durumundaki aşınma da ise en önemli konu güvenlidir (2). Bu kadar önemli olan aşınma ile ilgili pek çok tanımlar yapılmıştır.

Genel tanım olarak aşınma; birbiri ile temas halinde bulunan ve relatif olarak hareket eden malzemelerin yüzeylerindeki oksit filmlerinin veya yağlayıcıların, çalışma esnasında oluşan mekanik yüklemeler sonucu koruyucu işlevlerinin bozulması nedeniyle birbirleriyle direkt temas haline geçen yüzeylerden malzeme taşınması veya kaybıdır (3).

Aşınma; katı bir yüzeyin peküsyon, yani başka bir katı gövde tarafından dinamik temasa maruz bırakılması sonucu aşınması olarak tanımlanabilir. Bu bir miktar kısıtlı tanım, üzerinde çalışılan nesnelere parçacık püskürtme yada benzer etkiler ile gerçekleşen "eritme" etkisinin dışında kalır (2).

1979'da DIN 50320'ye göre aşınma, "Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı,sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulmasıdır" (4,5,6). Bu tanıma göre aşınmadan söz etmek için; mekanik bir etkinin olması, sürtünmenin olması, istenilmediği halde meydana gelmesi, yavaş fakat devamlı olması, malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi gerekmektedir (7).

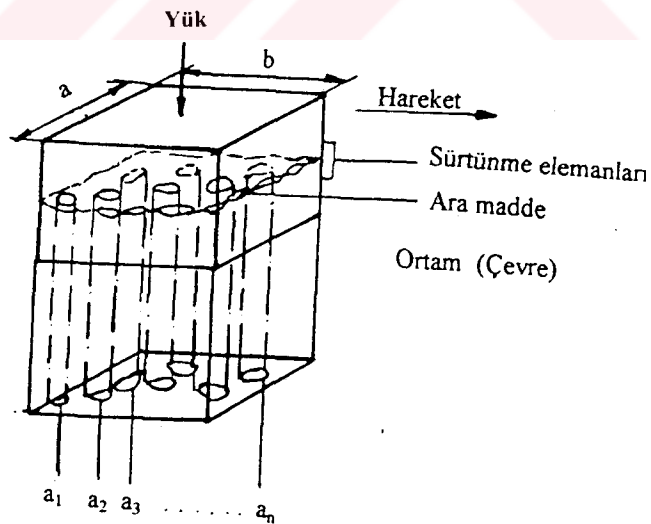
### 2.1.1. Aşınmanın temel unsurları

Bir aşınma sisteminin meydana gelebilmesi için;

- i- Yük
- ii- Hareket
- iii- Sürtünme elemanları (Aşınan ve aşındıran malzeme)
- iv- Ara madde
- v- Ortam (çevre şartları)

Bu unsurların bir arada bulunması gerekir.

Aşınan malzeme ve aşındıran malzemeler aşınma çifti olarak gösterilirler. Aşınma çifti ile ara malzemeye de beraberce “aşınma kombinasyonu” denilmektedir. Aşınma çifti arasındaki ara malzeme, sert taneli, sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma sırasında oluşan aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar (4). Şekil 2.1’de aşınmanın unsurları görülmektedir.

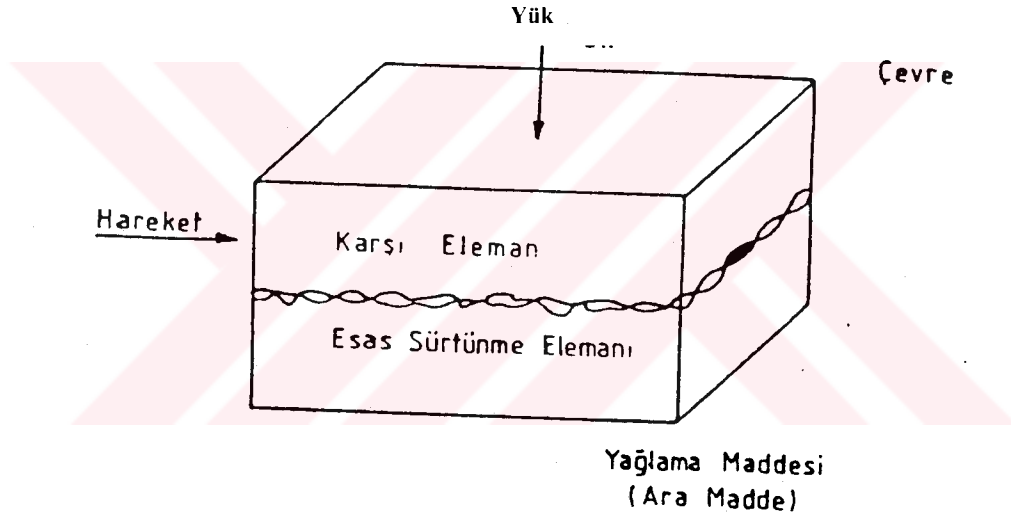


Şekil 2.1. Aşınma unsurları (8,9)

### 2.1.2. Tribolojik sistemler

Tribolojik sistemler, karşılıklı etkileşim içinde bulunan sürtünme elemanlarını ve bunlar arasında bulunan ara maddeyi, hız, çevre ve yükün etkisi ile meydana gelen aşınmayı inceleyen bir sistemdir. Şekil 2.2'de tribolojik bir sistemin elemanları görülmektedir (8,9).

Bir aşınma sistemindeki önemli etkenlerden biri de Şekil 2.2'de de görüldüğü gibi çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem veya korozif etkilere maruz kalması aşınmayı hızlandırır.



Şekil 2.2. Tribolojik sistem ve elemanları (8,9)

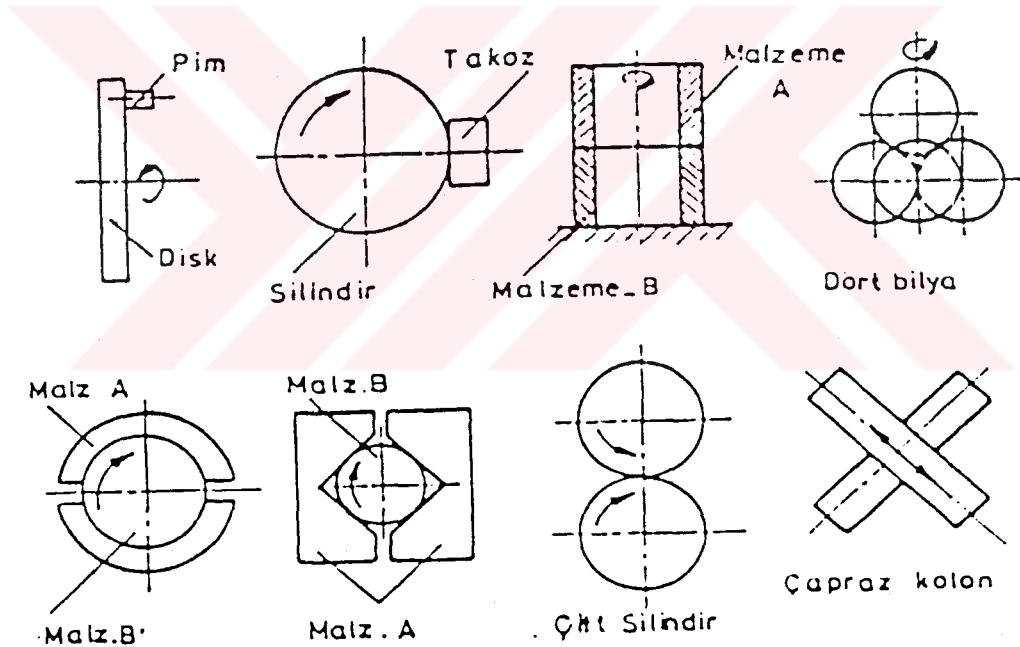
### 2.2. Aşınma Deneyleri ve Ölçüm Yöntemleri

Ne zaman iki yüzey temas etse aşınma oluşur. Özellikle endüstride sık sık karşılaşılan yüzeylerdeki aşınmaya bağlı malzeme kaybı ekonomik olarak önemli bir güç ve maddi kayba neden olmaktadır (10,11). Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyetini artırdığı gibi, onarım için geçen süre de üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır.

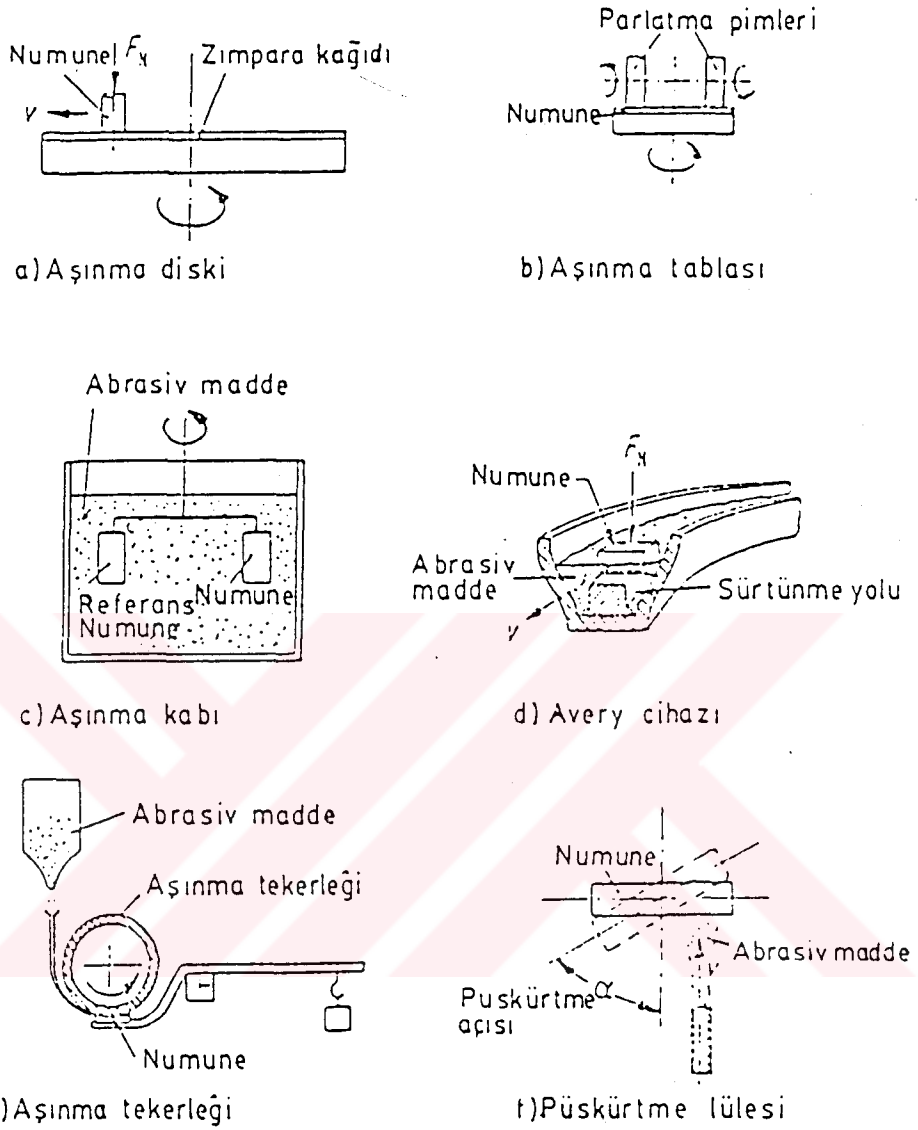
Bu sebepten dolayı makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin tespiti için de mutlaka bir çok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekir (5,6).

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

- Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhesiv (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü yöntemler (Şekil 2.3).
- Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü yöntemler (Şekil 2.4).



Şekil 2.3. Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri (5,6)



Şekil 2.4. Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri (5,6)

Sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi için iki tür deney metodu uygulanır.

- 1- İşletme deney metodu
- 2- Model deney metodu

İşletme deney metodunda, pratik işletme koşullarında, gerçek makineyle yapılarak çalışan elemanın belli bir süre gözlenerek performansı ölçülür. Ancak işletme

şartlarının değişken olması ve kontrol edilmesinin zorluğu, bu deneylerin tekrar yapılabilirliğini engeller.

Model deney metodu, gerçek sistemin özellikleri göz önünde bulundurularak yapılır. Model deney metodu ne kadar işletme koşullarına yakın olursa, bulunan sonuçların gerekli sistemlere aktarılması sorunu, mümkün olduğu kadar azaltılmış olur (8,12).

Aşınma deneylerinde aşınmanın ölçüm yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyoizotop metotları aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

### 2.2.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebi ile en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi  $10^{-4}$  veya  $10^{-5}$  g hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi yardımı ile yapılır.

Bu metoda göre, aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse ( $\text{g/cm}^2$ ) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybindan hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybindan gidilerek de bulunabilir (4).

Ağırlık farkı ölçme yönteminde en çok kullanılan bağıntılar şunlardır.

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \left[ \frac{\text{mm}^3}{\text{N.m}} \right] \quad [2.1]$$



Burada;

$W_a$  : Aşınma oranı (  $\text{mm}^3/\text{N.m}$  )

$\Delta G$  : Ağırlık kaybı (mg)

$M$  : Yükleme ağırlığı (N)

$S$  : Aşınma yolu (m)

$d$  : Yoğunluk (  $\text{g}/\text{cm}^3$  )

olarak verilmiştir. Aşınma oranının ( $W_a$ ) ters değeri de aşınma direnci ( $W_r$ ) olarak gösterilir.

$$W_r = \frac{1}{W_a} \left[ \frac{\text{N.m}}{\text{mm}^3} \right] \quad [2.2]$$

Başka bir bağıntı olarak da bir kilometre kayma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı bağıntısı (5), vardır ki genellikle iki elemanlı abrasiv aşınmanın hesaplanmasında kullanılır.

$$V_s = \frac{10^4 \cdot \Delta G}{F \cdot d \cdot S} \left[ \frac{\mu\text{m}}{\text{km}} \right] \quad [2.3]$$

Burada;

$V_s$  : Bir km. aşınma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı ( $\mu\text{m}$ )

$\Delta G$  : Ağırlık kaybı (g)

$F$  : Aşınma yüzeyi ( $\text{cm}^2$ )

$d$  : Yoğunluk ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$S$  : Kayma yolu (km)

olarak alınır. Deney malzemesi yükseklik kaybının mukayese malzemesi (Örneğin F-37 çeliği) yükseklik kaybına oranı, aşınma orantı sayısını ( $W_s$ ) verir.

$$W_s = \frac{V_s(\text{deney numunesi})}{V_s(\text{Fe37})} \quad [2.4]$$

Bu orantı sayısının ters değeri de bağıl aşınma direnci (R) olarak kullanılır.

$$R = \frac{1}{W_s} \quad [2.5]$$

Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, genellikle DIN 50320'de verilen boyutsuz aşınma oranı formülü yaygın olarak kullanılır (4,5,6).

### 2.2.2. Kalınlık farkı metodu

Aşınma esnasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması sureti ile elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımıyla  $\pm 1 \mu\text{m}$  duyarlılıkta ölçülmelidir (4,5,6).

### 2.2.3. İz değişimi metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile, geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür.

Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme ucudur. Elmas piramit veya bilyanın bıraktığı iz boyutlarındaki değişime mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenir (4).

#### 2.2.4. Radyoizotop metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü  $\alpha$  – parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır.

Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlı yönleridir. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle ancak özel amaçlarla kullanılır. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metot değildir (4).



### 3. AŞINMA MEKANİZMALARI VE AŞINMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

#### 3.1. Aşınma Mekanizmaları

Aşınma mekanizması, kullanılan ve eşleşen malzemelerin türüne sıkı bir biçimde bağlıdır. Örneğin ısı aşınması polimerlerde görülür. Temas gerilim aralığı da aşınma mekanizmasını etkileyebilir (2).

Aşınmanın mekanizmaları birçok şekilde sınıflandırılmasına karşılık en genel olarak iki sınıf içerisinde değerlendirilir (3).

a-Fiziksel mekanizmalara göre

b-Çalışma koşullarına bağlı mekanizmalara göre

Fiziksel mekanizmalara göre sınıflandırma;

- 1- Adhesiv aşınma
- 2- Abrasiv aşınma
- 3- Triboksidasyon Aşınması
- 4- Yorulma aşınması'dır.

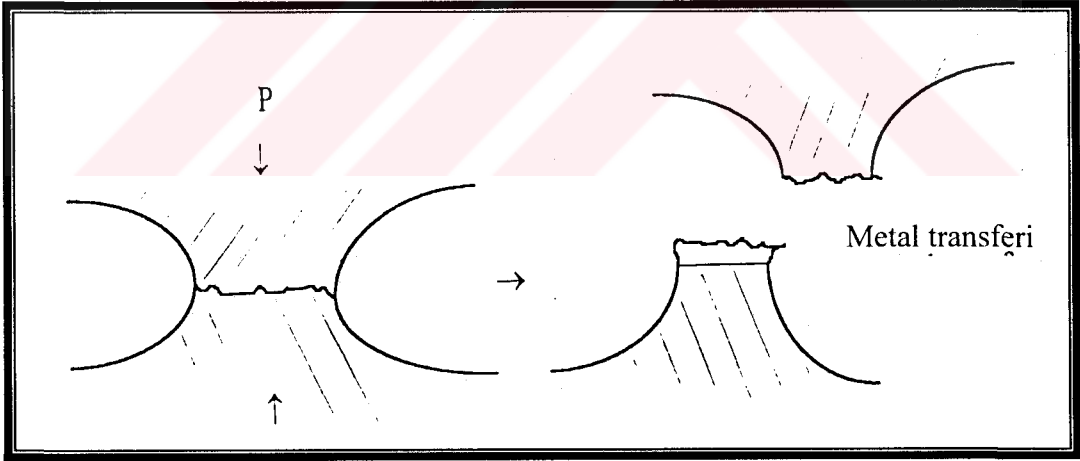
Çalışma koşullarına bağlı mekanizmalara göre sınıflandırma ise şu şekildedir;

- 1- Kuru veya yağlanmış yüzeyde kayma aşınması
- 2- Yuvarlanma aşınması
- 3- Çarpma aşınması
- 4- Süzme aşınması
- 5- Metal-metal aşınması
- 6- Polimer- metal aşınması
- 7- Yumuşak koşullu aşınma
- 8- Sert koşullu aşınma
- 9- Yüksek sıcaklık aşınması

Bir takım ilintili aşınma mekanizmaları arasında sürtünme, yapışma, yüzey yorgunluğu, korozyon ve ısı aşınması sayılabilir. Bu saf türler kayma ve yuvarlanma temaslarında oluşan aşınmaya karşılık gelirler (2). Bu kategorideki aşınma çeşitleri temel aşınma mekanizmalarının bir kombinasyonudur. Yukarıda belirtilen ve dört temel grupta toplanan bu aşınma mekanizmaları aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

### 3.1.1. Adhesiv aşınma

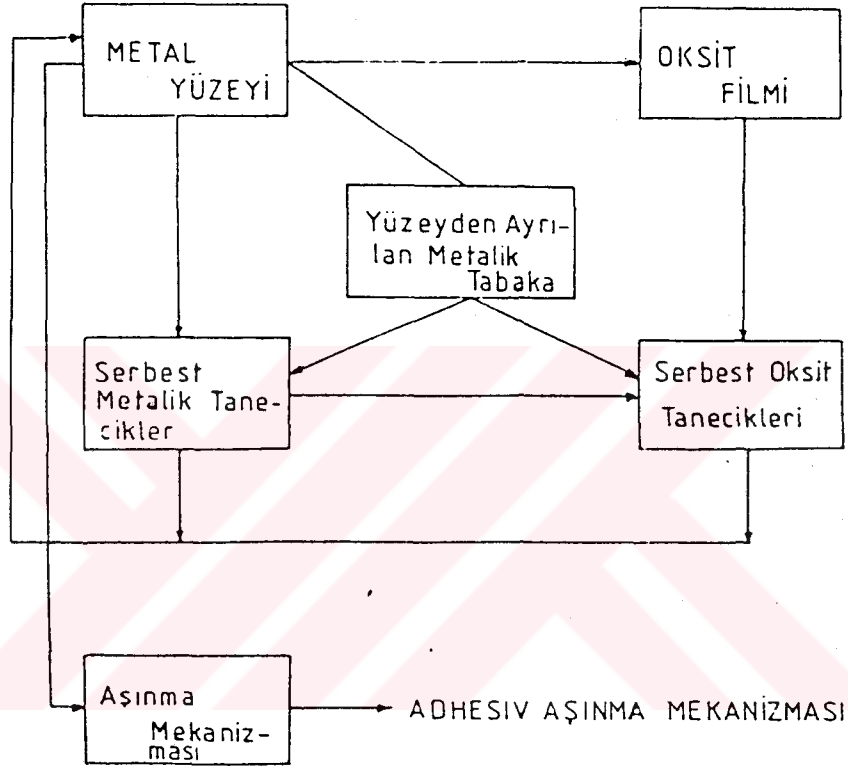
Yapışma aşınması olarak da adlandırılan adhesiv aşınma en sık rastlanan aşınma türüdür. Adhesiv aşınma, bir metal yüzeyinin bir başka metal yüzeyindeki bağlı hareketi sırasında birbirlerine kaynamış veya yapışmış yüzeydeki pürüzlerin kırılması sonucu ortaya çıkar. Şekil 3.1.'de adhesiv aşınma şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Adhesiv aşınma (3)

Adhesiv aşınma özellikle metaller arasındaki kayma sürtünmesi nedeni ile meydana gelir ve aşınma parçacıkları yumuşak olan metalden kopar. Eğer iki metal aynı sertlikte ise aşınma her iki yüzeyde de oluşur (5). Metallerin birinin diğerine göre yumuşak olması durumunda, meydana gelen kaynak bağı vasıtasıyla kırılma yumuşak malzemede olur ve malzeme transferi sert olan malzemeye doğru oluşur

(13). Fakat yüzeyde bulunan nitrürler ve oksitler koparak yumuşak malzemeye gömülerek sert olan malzemeyi aşındırabilir (8). Şekil 3.2.'de adhesiv aşınma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Adhesiv aşınma mekanizması (13)

Metaller arasındaki yağlamanın adhesiv aşınmaya çok büyük etkisi vardır. Metal-metal aşınmasında metal yüzeylerin sürtünmesi ve birbiri üzerinde kayması sırasında yüzeylerden parçacıklar kopar. Yağlama olmadığında sık sık kopan parçalar diğer metale yapışarak aşınmayı artırır. Bu tür aşınmada sürtünmeden dolayı yüzeylerde ısınma da oluşur (14). Eğer birbirine yapışmış yüzeylerde yağlama yoksa yüzeye uygulanan normal yük ile malzeme kaybı lineer olarak artış gösterir. Yüzeyler arasında yağlama bulunması adhesiv aşınmayı azalttığı gibi, sürtünme katsayısını da

azaltır. Adhesiv aşınma esnasındaki malzeme kaybını azaltma, yapışmaların büyüklüğünü ve sayısını azaltma ile doğru orantılıdır. Çünkü adhezyon katsayısı bir çok metal için doğrudan sürtünme katsayısıyla ilişkilidir. Ortamın ısı, yüzeyin pürüzlüğü, hareket hızı ve ortamın basıncı aşınmanın şiddetini arttıran temel faktörlerdir. Adhesiv aşınma miktarı uygulanan yük ve kayılan yol ile doğru orantılı olup aşındırılmış yüzeyin sertliği ile ters orantılıdır (8).

Adhesiv aşınma en çok, benzer kristal kafes yapılı malzemelerde görülür. Benzer kristal yapısına sahip metallerin, hareket ve sürtünme nedeniyle sıcaklığın artmasıyla birlikte yüzeylerinde kaynama daha kolaydır (15). Çizelge 3.1.'de adhesiv aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi özetle verilmiştir.

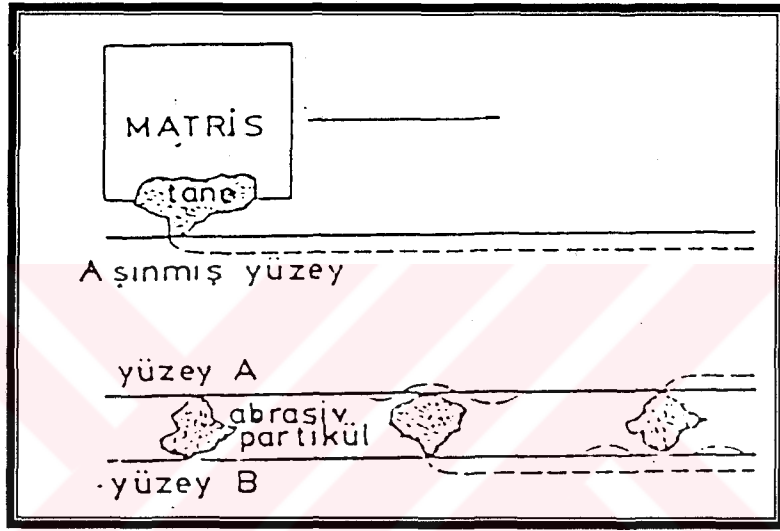
Çizelge 3.1. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkisi (3,5)

Özellikler	Adhesiv Aşınma
Oksitli Yüzey	Az
Kristal Yapı	Kübik
	Hekzagonal
Yüksek Deformasyon Sertleşmesi Üssü	Çok
Yüksek Sertlik	Az
Yüksek Elastsite Modülü	Az
Yüksek Ergime Noktası	Az
Yüksek Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	Az
Küçük Atom Yarıçapı	Az

### 3.1.2. Abrasiv aşınma

Endüstriyel makinelerdeki en önemli aşınma türü olan abrasiv aşınmaya yırtılma veya çizilme aşınması da denilir. Sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma

türüdür. Abrasiv aşınma biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayması sırasında meydana gelir. Şekil 3.3.'de sert bir malzemenin yumuşak bir malzemedan çapak şeklinde abrasiv aşınma parçaları alışı görülmektedir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasiv aşınmaya neden olmakla birlikte yüzeyden koparılan parçacıklar da aşınmaya neden olabilmektedir (5).



Şekil 3.3. Abrasiv aşınma mekanizması (5)

Abrasiv aşınmada, aşındırıcı durumda bulunan malzeme veya partiküller sünek malzeme yüzeyinden sürekli parçacık uzaklaştırılmasına rağmen, gevrek malzeme yüzeyinden çarpışma esnasında birden fazla parçacık uzaklaştırma eğilimindedir. Metal kesmede önemli olan parametreler abrasiv aşınmada aynı öneme sahiptir. Abrasiv aşınma, bir aşındırıcı ile temas halinde, hareket eden herhangi bir parçada oldukça önemlidir (3).

Abrasiv aşınmayı üç gruba ayırmak mümkündür. Bunlar :

- a- Oymalı sürtünme aşınması
- b- Koparmalı sürtünme aşınması
- c- Erozyon aşınması



Oymalı sürtünme aşınması yüzeyin aşırı deformasyonu sonucu meydana gelir. Aşırı yüklemeler etkisi ile meydana gelen oymalı sürtünme aşınmasına örnek olarak ağır koşullar altında çalışan kazıcı, kırıcı gibi maden araçlarında görülen aşınmalar verilebilir (5,6).

Koparmalı sürtünme aşınması, ağır yükler altında aşınma parçalarının kırılarak küçük keskin köşeli parçacıklar oluşturup yüzeyi delerek ve çizerek malzeme kaybına sebep olması sonucu meydana gelir. Koparmalı sürtünme aşınmasına örnek olarak bilyeli değirmenler gösterilebilir.

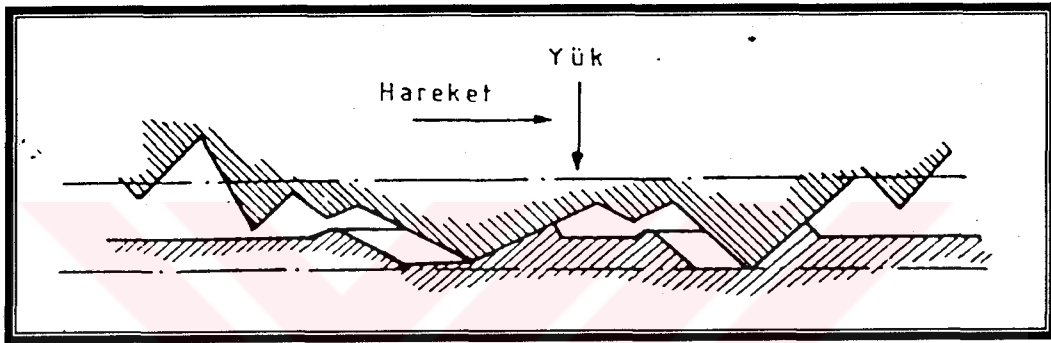
Erozyon aşınması ise, gaz ve sıvı gibi akışkan bir ortamda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye çarpması sonucu metal yüzeyinden parçaların kopmasıyla ortaya çıkar. Sıcaklık ve akış hızı arttıkça aşınma hızlanır. Erozyon ve korozyonun birlikte etkisi de aşınmayı hızlandırmaktadır. Erozyon aşınmasına örnek olarak gemi pervanelerinde çok sık rastlanan aşınma verilebilir. Akış halindeki sıvılarda ani basınç düşmesi sonucu oluşan gaz kabarcıkları da aşınmaya neden olmaktadır. Bu gaz kabarcıklarının metal yüzeyine çarparak oluşturduğu aşınmaya “Kavitasyon aşınması” da denilmektedir (5).

Abrasiv aşınma bir ölçüde farklı bir durumda, sert, abrasiv parçacıkların kayan iki yüzey arasına girip bunlardan malzeme aşındırmaları halinde de ortaya çıkar. Abrasiv aşınma şeklinin mekanizmasını (Bkz. Şekil 3.3) bir abrasiv taneciğin kayan yüzeylerden birine yapışıp ya da onda yataklanıp öbüründe bir oluk açması şeklinde düşünülmektedir (8). Abrasiv aşınma sadece kopan parçacıkların oluşturduğu bir aşınma türü değildir. Sisteme herhangi bir şekilde girmiş yabancı parçacıklar (örneğin, kum) veya bir motordaki yanma ürünleri de abrasiv aşınmaya neden olabilir (16). Kum gibi bir parçacığın ara yüzeye girmesi sonucunda abrasiv aşınma artar ve her iki yüzeyde de değişiklikler meydana getirir (10). Bu durumda ;

- a- İki elamanlı abrasiv aşınma
- b- Üç elamanlı abrasiv aşınma

YdG.  
LÜLEBURNU İLİ MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI  
LÜLEBURNU İLİ MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

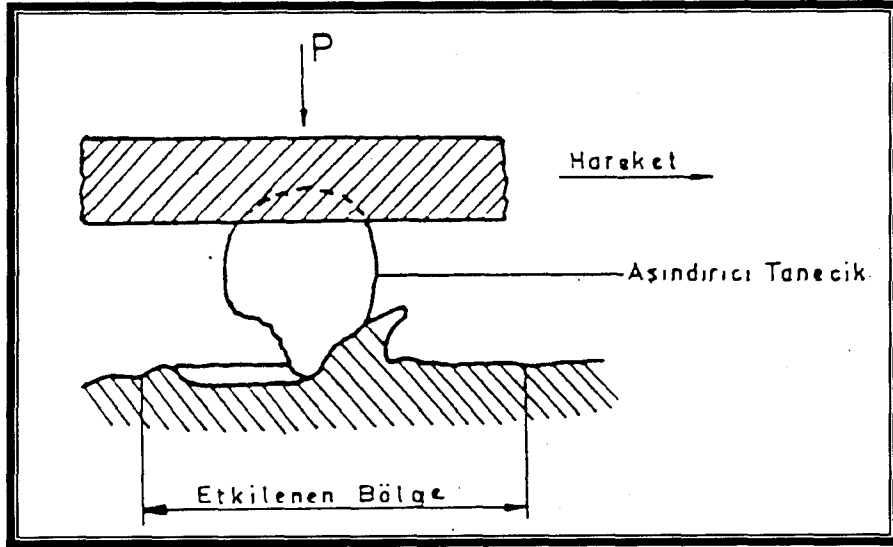
şeklinde gruplandırmak mümkündür. İki elemanlı abrasiv aşınma sert ve pürüzlü yüzeyin kendinden daha yumuşak malzeme ile temas ettiği durumda, kuvvet ve basıncın etkisiyle yumuşak malzeme yüzeyinde oluşan çizikler ve küçük parçacıklar kaldırılarak meydana gelen aşınma olarak tarif edilebilir. İki elemanlı abrasiv aşınmaya kazı makinelerini, toprak işleme aletlerini, eğeleme ve zımparalama işlemini örnek olarak verebiliriz. Şekil 3.4.'te iki elemanlı abrasiv aşınmanın şematik şekli görülmektedir (8).



Şekil 3.4. İki elemanlı abrasiv aşınma (5,8,13)

Üç elemanlı abrasiv aşınma, metal-metal sürtünmesi durumunda adhesiv veya iki elemanlı abrasiv aşınma olarak başlayıp üç elemanlı abrasiv aşınma olarak devam eder. Bu aşınmada iki metal arasına sert tanecikler girerek, malzeme yüzeyinde çizikler oluşturarak aşınmayı meydana getirir. Araya giren tanecikler toz, kum, mikro talaşlar ve parçalanmış oksit tabakaları vb. taneler olabilir. Üç elemanlı abrasiv aşınmanın aşınmayı hızlandırdığı tespit edilmiştir. Bu nedenle sert taneciklerin araya girmesine engel olunmalıdır (8,13,17). Şekil 3.5.'te üç elemanlı abrasiv aşınma mekanizması şematik olarak görülmektedir.

Abrasiv aşınma hızı malzeme yüzeyine etki eden yük azaltılarak düşürülebilir. Böylece parçacıkların yüzeye daha az batması ve çapak kaldırması sırasında daha az iz bırakması sağlanır. Bu durumda sert parçacıklar metal içine daha az batarak daha az metal kaybına neden olurlar (5,8,16).



Şekil 3.5. Üç elemanlı abrasiv aşınma (5,8)

Malzeme yüzeylerindeki aşınmanın azaltılması ile ilgili malzeme seçimi yaklaşımlarından birincisi, işlemi karakterize eden deformasyon ve kırılma işlemlerinde direnç göstermesi ile aşınmaya direnen sert yüzeyler üretmektir (18). Bu nedenle malzeme açısından abrasiv aşınmayı azaltmak için;

- a- Daha sert alaşım kullanmak,
- b- Sertlik artırmak amacıyla ısıl işlem uygulamak,
- c- Malzeme yüzeyini sert bir tabaka ile kaplamakla (nitrasyon, elektrokaplama, metal püskürtme vb. gibi yöntemler uygulayarak) gerçekleştirilebilir (19).

Bu önlemlerle abrasiv aşınma hızını azaltmak mümkündür.

### 3.1.3. Triboksidasyon aşınması

Triboksidasyon denilince ana malzeme ile karşı malzeme arasındaki tribolojik zorlanmalardan dolayı meydana gelen kimyasal reaksiyon anlaşılır. Malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen bu yüzey tabakalarının triboksidasyon

sonucu özelliklerinin değişmesi aşınmayı hızlandırmaktadır. Yağ gibi kimyasal maddeler bulunan ortamda çalışan makine parçalarının yüzeylerinde oluşan yüzey tabakalarının bir kısmının tribolojik zorlanmalarla kırılması ve aşındırıcı parçacıklar oluşturması aşınmayı hızlandırmaktadır (5).

#### **3.1.4. Yorulma aşınması**

Yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlaklarının oluşmasına neden olur. Bu mikro çatlaklar zamanla ilerleyerek, malzemenin yüzeyinden pulcuk şeklinde parçacıkların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya yorulma aşınması denir (8,13,20,21,22).

Yorulma aşınması yuvarlanma hareketi yapan rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve kam mekanizmaları gibi yüzeylerde oluşur. Malzemeye etki eden yükler elastiklik sınırını geçmemesine rağmen, malzemedeki boşluk ve kesit daralmalarının bulunduğu süreksiz bölgelerin çevresini aşarak, malzemenin yüzeyinde küçük boşluklar meydana gelir.Yapılan araştırmalarda pullanmayı başlatan çatlağın bazen yüzeyde bazen de yüzeyin altında kendini gösterdiği tespit edilmiştir (8,15).

#### **3.2. Abrasiv Aşınmayı Etkileyen Faktörler**

Aşınmayı etkileyen pek çok faktörden bahsetmek mümkündür. Ancak bu bölümde özellikle, abrasiv aşınmayı etkileyen faktörler ve bunların aşınma direncine olan etkileri verilmiştir. Bu faktörler aşağıdaki gibi sınıflandırılarak incelenmiştir (5).

- a- Ana malzemeye bağlı faktörler (malzemenin kristal yapısı, malzemenin sertliği, elastisite modülü, deformasyon davranışı, yüzey pürüzlülüğü, malzeme boyutu)
- b- Karşı malzemeye bağlı faktörler (aşındırıcının etkisi)
- c- Ortamın etkisi (sıcaklık, nem, atmosfer)
- d- İşletme koşulları (basınç, hız, kayma yolu)

### 3.2.1. Ana malzemeye bağlı faktörler

Yapılan çalışmalar daha çok çeliklerin mikroyapısı ve mikroyapıyı etkileyen faktörler üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Yani çelik bileşimi ısı işleme ve bu özelliklerin çeliklerin mikroyapısına ve mekanik özelliklerine etkisi, dolayısıyla abrasiv aşınma direncine etkileri yönündedir (3). Bu nedenle bu bölümde ana malzemenin yapısı ve bunların aşınmaya etkileri belirtilmiştir.

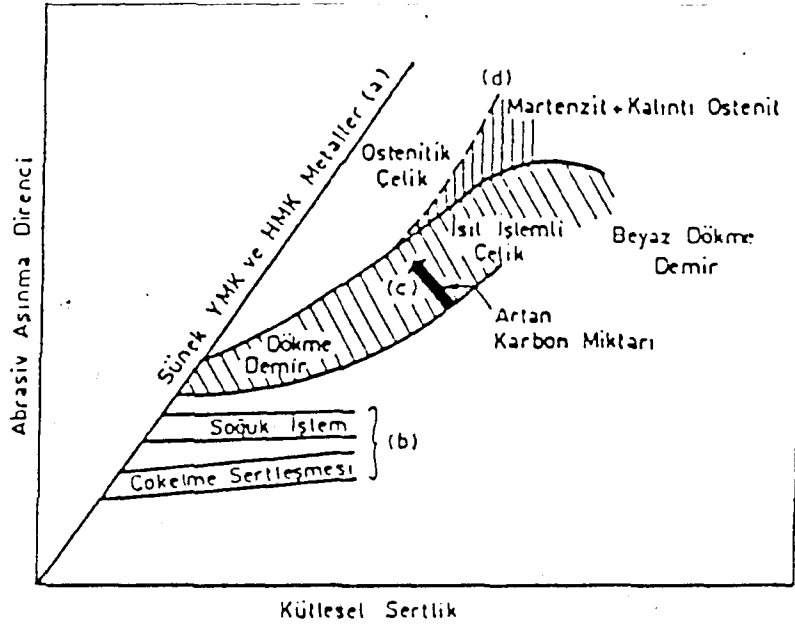
#### 3.2.1.1. Malzemenin kristal yapısı

Malzemenin kristal yapısının aşınma direncine etkisi araştırılmıştır. Sıkı paket yapıya sahip malzemelerde aşınma direncinin, diğer kristal yapılarına göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Buna örnek olarak kobalt gösterilebilir. Kobalt oda sıcaklığında sıkı paket hekzagonal kristal yapısına sahiptir ve aşınma direnci oldukça yüksek olan bir metaldir. Fakat bu metalin 417°C'deki kübik yüzey merkezli kristal yapıya dönüşümü ile metalin aşınma direnci düşmektedir (5).

#### 3.2.1.2. Malzemenin sertliği

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlik ile, aşınma direnci arasındaki ilişki belli bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artması ile aşınma direnci de artar. (Şekil 3.6.) Ancak belli bir değerden sonra sertlik, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlayamaz. Ticari saf metallerde aşınma direnci kütleli sertlik ile doğrusal bir şekilde artmaktadır (5).

Sonuç olarak abrasiv aşınma direncinin genelde sertliğe bağlı olduğu veya sertliğin artması ile iyileştiği kabul edilir.



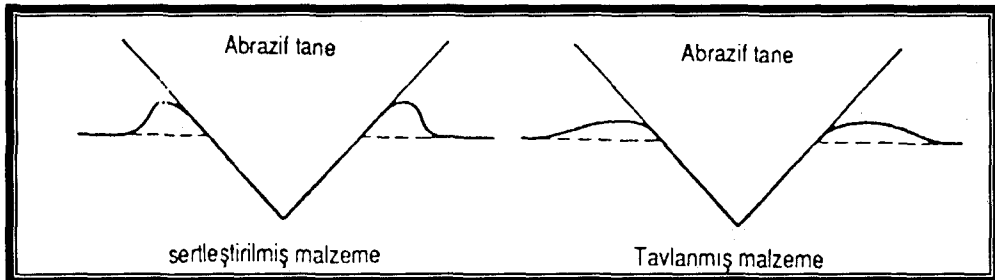
Şekil 3.6. Çeşitli malzemelerde kütleli sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi (5,19)

Tavlanmış saf metallerde ve çeliklerde bağıl aşınma direnci ( R ) ile sertlik ( H ) arasında doğru orantılı bir değişim tespit edilmiş olup yukarıdaki gibi doğrusal bir ilişkinin varlığı belirlenmiştir.

$$R = b.H$$

[3.1]

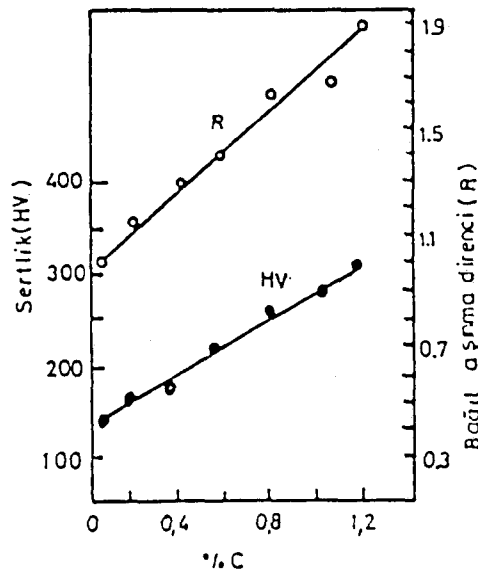
Burada "b" malzeme sabitidir.



Şekil 3.7. Sertleştirilmiş ve tavlanmış malzemede abrasiv tanenin izinin şematik gösterilmesi (20)

Tavlanmış metallerde sertlik izinin yüzey üzerinde, izin uzağında bir çıkıntı teşkil ettiği, oysa sertleştirilmiş metallerde, çıkıntı izin çok yakınında oluşur (Şekil 3.7). Abrasiv aşınmada bu etki sertleştirilmiş malzemelerde kaldırılan hacmi artırır; tavlanmış malzemelerde ise bu hacim aynı kalır (20).

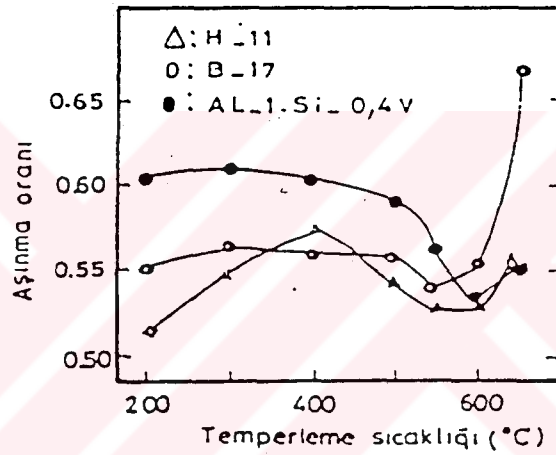
Malzemenin sertliği ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak alaşım elementleri, malzemelerin sertlik ve mukavemetlerini artırmak amacıyla katılır. Örneğin bakır metali içerisine katılan çinko ile sertlik artarken aynı zamanda aşınma direnci bakırdan daha yüksek olan bir malzeme de elde edilmektedir. Demir esaslı malzemelerde alaşım elementlerinin aşınma dirençlerine etkisi Şekil 3.8.'de örnek olarak gösterilmektedir. Isıl işlemin etkisi ile mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler aşınma direncini büyük ölçüde etkiler. Bu konuda yapılan çalışmalar kullanım ortamındaki malzemenin yapısal faktörlerine bağlı kalınarak, yüzeyinin sertleştirilmesi veya kütlesinin tamamının sertleştirilmesi üzerinde yoğunlaştırılmıştır. Ancak bazı araştırmacılar, diğer ısıtım yöntemlerinin aşınmayı nasıl etkiledikleri konusunda da bazı çalışmalar yapmışlardır (5).



Şekil 3.8. Alaşımız çeliklerde karbon içeriğine bağı olarak sertlik ve aşınma direnci değişimi (5)

Yapılan deneysel çalışmalarda aynı sertliğe sahip saf metallere göre ısıtım işlem görmüş çeliklerin aşınmaya daha az direnç gösterdikleri (Şekil 3.8) ve yine aynı çelik ısıtım işlemle farklı sertlik seviyelerine getirildiğinde sertlik ile aşınma direnci arasında doğrusal bir ilişki olmadığı sonucuna varılmıştır (5).

Warren, Garrison (5) yapmış oldukları abrasiv aşınma deneylerinde, değişik üç çelik için temperleme sıcaklığı ile aşınma oranı arasındaki değişimin Şekil 3.9'daki gibi olduğunu göstermişlerdir.



Şekil 3.9. Üç çelikte temperleme sıcaklığının abrasiv aşınma oranına etkisi (5)

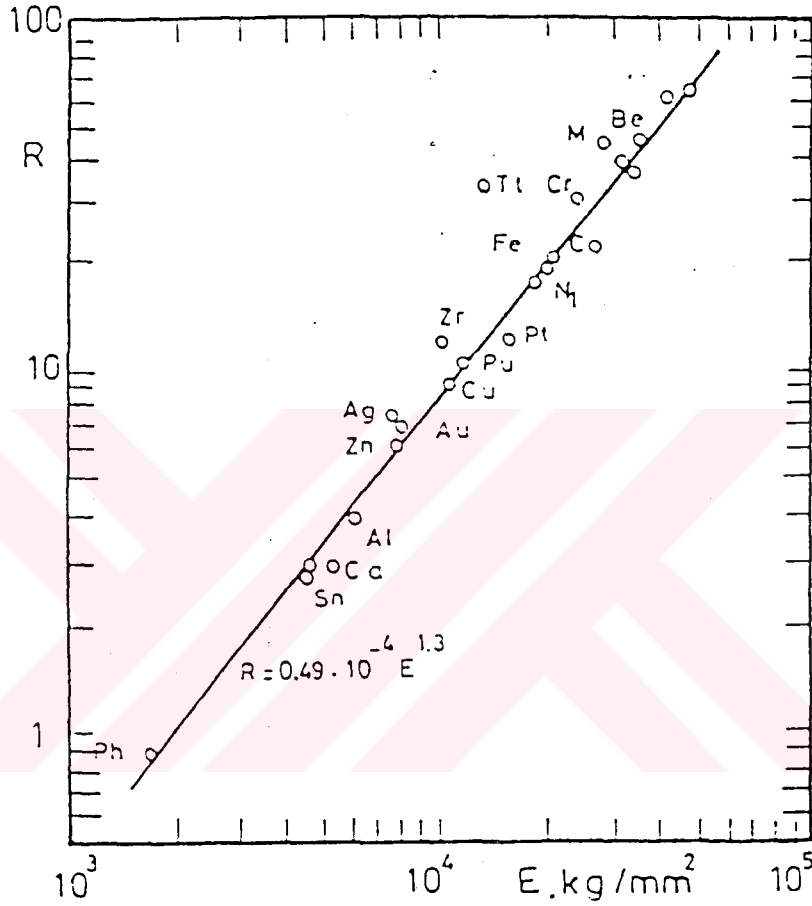
Malzemenin mukavemetinin soğuk işlemle veya çökeltme sertleşmesi ile artırılması (Şekil 3.6'daki "b" eğrileri) aşınma direncinin de artmasını sağlamaktır. Ancak soğuk işlemle veya çökeltme ile sertleştirilen metalik malzemeler aynı sertlikteki sünek malzemelere nazaran daha düşük aşınma direncine sahiptirler (5).

### 3.2.1.3. Elastisite modülü

Bazı araştırmacılar aşınma direncinin, aşınma yüzeyinin elastik deformasyon özellikleriyle de ilişkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Khruschov ve Babichev yaptıkları araştırmalarda, saf metallerde aşınma direnci ile elastisite modülü arasında



Şekil 3.10'daki doğrusal ilişkinin bulunduğunu tespit etmişlerdir (5). Çelik malzemelerde elastiklik modülü sabit kalmasına rağmen sertliklerinin artması sonucu aşınma direnci de daha olumlu sonuçlar verir (8).



Şekil 3.10. Saf metallerde elastisite modülü (E), ile bağıl aşınma direnci (R) arasındaki ilişki (5)

$$R = CE^{1.3}$$

[3.2]

Bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada,

R = Bağıl aşınma direnci,

E = Elastisite modülü

C = Sabit sayı'dır.

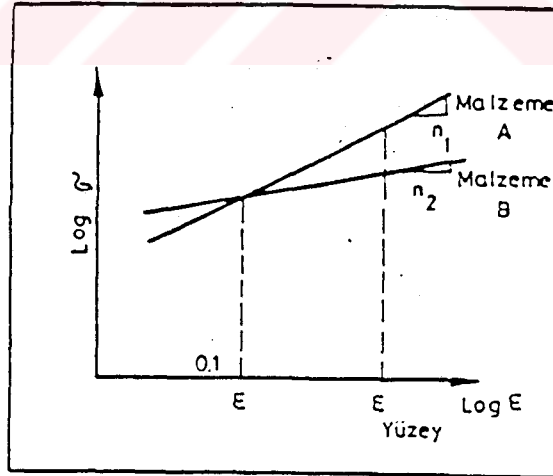
Şekil 3.10'dan  $E$  ( $\text{kg}/\text{mm}^2$ ) biriminde alındığında  $C = 0.49 \times 10^{-4}$  ( $\text{mm}^2/\text{kg}$ ) olduğu görülmektedir.

### 3.2.1.4. Deformasyon davranışı

Malzemelerin deformasyon davranışları abrasiv aşınma direncini etkileyen önemli bir faktördür. Genelde yüksek deformasyon sertleşmesi gösteren malzemelerin abrasiv aşınma dirençleri daha yüksektir. Bu durumu, homojen plastik deformasyon bölgesinde gerilme ( $\sigma$ ) ile birim şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) arasındaki ilişkiyi belirten,

$$\sigma = K \cdot \epsilon^n \quad [3.3]$$

şeklindeki Holloman denklemi ile açıklamak mümkündür. Burada  $K$  malzeme sabiti, “ $n$ ” ise deformasyon sertleşmesi üssü veya pekleşme üssüdür. Gerilme ile birim şekil değiştirme değerlerinden çizilen ( $\log \sigma - \log \epsilon$ ) grafiğinin eğimi deformasyon sertleşmesi üssünü ( $n$ ) verir.



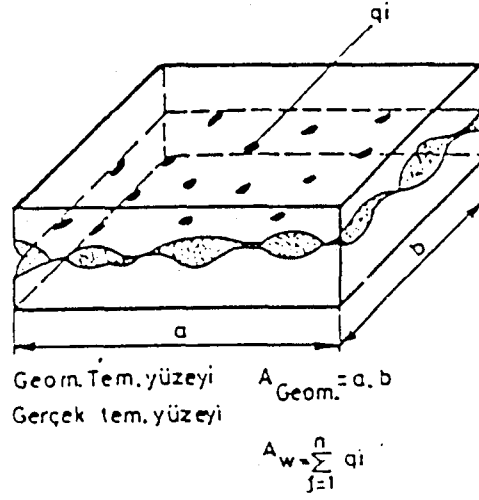
Şekil 3.11. Farklı deformasyon sertleşmesi üssü “ $n$ ” değerlerine sahip iki malzemenin şematik  $\log \sigma - \log \epsilon$  grafikleri. Burada yüzey = Aşınma etkisi ile yüzeyde meydana gelen birim şekil değiştirme miktarını göstermektedir (5).

Şekil 3.11’de görüldüğü gibi malzemenin “n” değerine bağlı olarak deformasyon etkisi ile malzemenin mukavemeti veya sertliği artacaktır. Bu nedenle yüksek “n” değerine sahip malzemelerde (Şekil 3.11’deki malzeme A) aşınma sırasında yüzeydeki deformasyon sonucu yüzeysel sertliğinin daha düşük “n” değerine sahip malzemelere Şekil 3.11’deki malzeme B’ ye kıyasla daha fazla artması, yüksek “n” değerine sahip malzemelerinin aşınmaya karşı daha dirençli olmalarını sağlayacaktır (5).

Plastik deformasyon ve kırılma işlemi aşınma sırasında olur ve başlangıç akma gerilmesi, yüzeyin sertliği, kırılmadan deformasyon ile sağlanan sertlik önemli karakteristiklerdir. Kırılmayan veya deforme olmayan malzemeler; güçlü, dayanıklı, kopmaz malzemeler, ince tane boyutlu ince partiküllü ve iyi aşınma mukavemeti ile birlikte, iyi mikroyapısal özellikler taşıyan aşınmaya karşı mukavemetlidirler (18).

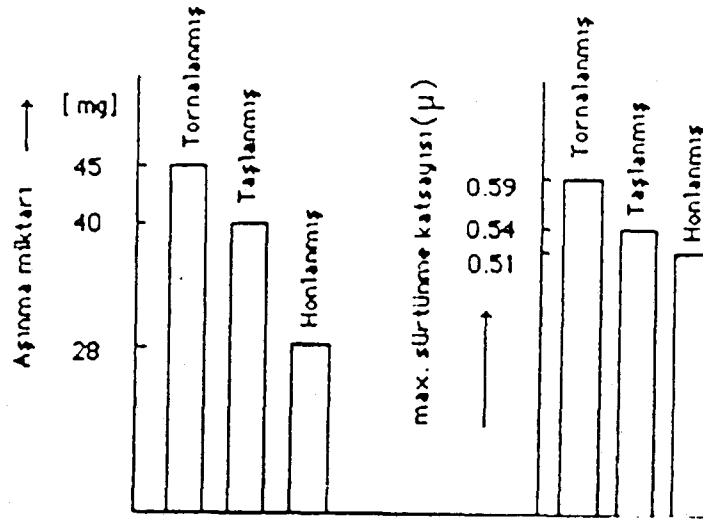
### **3.2.1.5. Yüzey pürüzlülüğü**

Malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü, gerçek temas alanını dolayısıyla sürtünme ve aşınma olaylarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Malzemelerin yüzeylerinin kaba işlenmesi sonucunda gerçek temas alanı azalır. Yüzeyde temas alanının azalmasıyla tek bir pürüze gelen yükün artmasıyla bu noktalarda gerilme yığılmaları meydana gelerek temas noktaları şekil değiştirerek aşınmanın artmasına sebep olur (13,15,17). Pürüzlülüğün az olduğu yüzeylerde temas alanı büyük, birim yüzeye tesir eden kuvvet daha küçük olacaktır. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü yüksek olan malzemelerde aşınma miktarı daha fazla olmaktadır. Şekil 3.12’de bu durum açıkça görülmektedir.



Şekil 3.12. Gerçek ve geometrik temas yüzeyleri (5)

Bos (8,9) yaptığı teorik çalışmalarla, sert yüzeylerin pürüzlülüğü ile aşınmanın doğru orantılı olduğunu ve aşınma hızının yüzey pürüzlülüğünden az etkilendiğini bulmuştur. Sürtünerek çalışan makine parçalarının yüzey işleme kalitelerinin aşınma yönünden büyük bir önemi vardır. Şekil 3.13'te yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve sürtünme katsayısına etkisi görülmektedir.



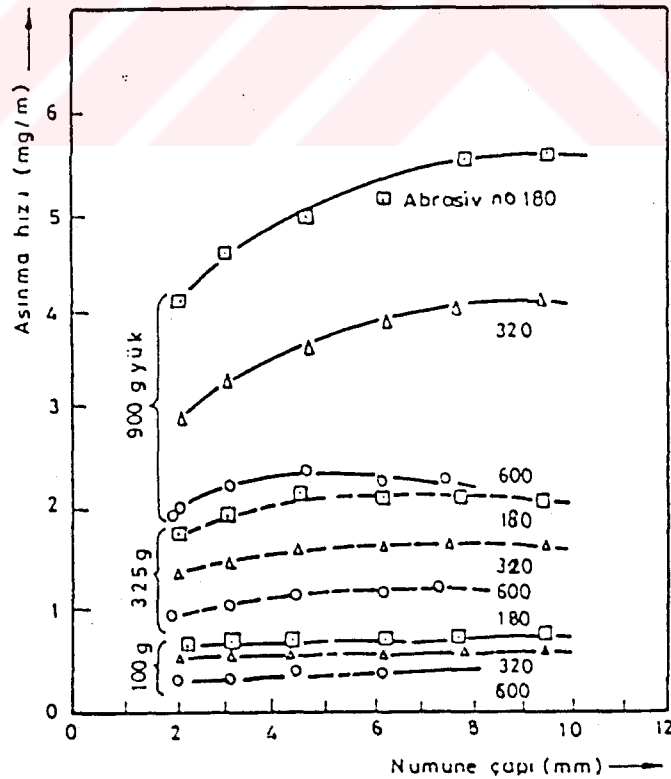
Şekil 3.13. Yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve sürtünme katsayısına etkisi (5,8,9)

Sürtünme esnasında yüzeyden kopan küçük partiküllerin, büyük bir kısmını yüzeyde bulunan pürüzler meydana getirir. Sürtünme durumunda yüzey pürüzlerine gelen teğetsel gerilmenin, akma sınırını aşması durumunda, burada plastik deformasyon meydana gelerek yüzey pürüzleri tepelerinden koparak aşınmayı hızlandırır (13,17).

### 3.2.1.6. Malzeme şekli ve boyutları

Malzemenin şekli ve boyutları gerçek temas alanını etkilediğinden dolayı aşınmayı da etkiler Richardson (5,8,23) yaptığı çalışmalarda, toprak işleme aletlerindeki kesici ağızların zamanla parabolik bir şekil aldığını ve bu parabolik şeklin aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu bulmuştur.

Kantarıcı (5,8,24) geometrik kesiti ideal daireye yakın olan numunelerin aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu ve aşınma sonunda ideal daireye yaklaşma olduğunu tespit etmiştir. Şekil 3.14'te numune çapının aşınma hızına etkisi görülmektedir.



Şekil 3.14. Numune çapının aşınma hızına etkisi (17)

### 3.2.1.7. Isıl işlem

Mekanik özellikleri etkileyen ısıl işlem, aşınmayı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Özellikle çeliklerde ısıl işlem sonucu sertlik artarak aşınmaya karşı direnci yükseltir. Fakat sertleştirme işleminden sonra malzemenin iç yapısında gerilme yığılmaları meydana gelir. Bu gerilme yığılmalarını gidermek için temperleme işlemi yapılmalıdır.

Çeliklerde aşınmaya karşı en etkili yöntem yüzeyin sertleştirilmesidir. Böylece malzemenin iç yapısındaki süneklik korunarak hem darbeli çalışmalara karşı iyi mukavemet gösterecek hem de yüzeyin sertleşmesinden dolayı aşınmaya karşı direnci artacaktır (8,13). Yüzey sertleştirme ile ilgili detaylı bilgilere Bölüm 4'teki Sementasyon konusu içerisinde geniş bir şekilde yer verilmiştir. Çizelge 3.2'de bazı malzemelerin ısıl işlemlerle sertliğinin ve aşınma miktarının değişimi görülmektedir.

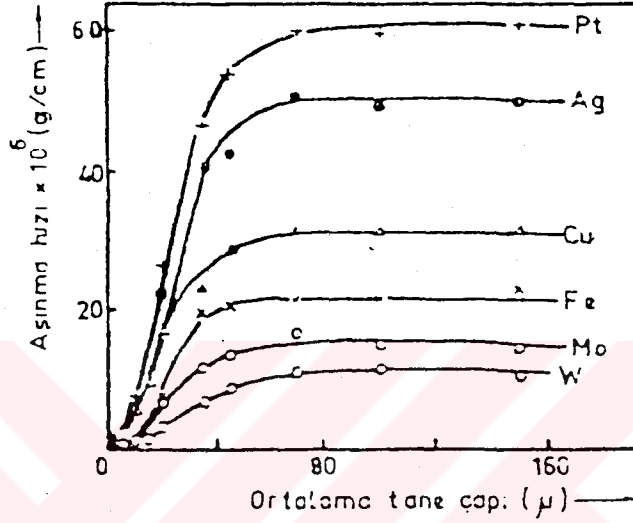
Çizelge 3.2. Isıl işlemlerle sertliğin ve aşınma miktarının değişimi (8,13)

Malzeme	Isıl İşlem	Sertlik (kg/mm <sup>2</sup> )	Aşınma Miktarı (mg)
Ck15 N	Normal Tavlı	180	165
Ck14 EH	Sementasyon	820	63
Ck15 EH	Sert Krom Kaplama	1050	23
Ck15 G	Kimyasal Kaplama	560	106
Ck15	Banyoda Nitrüleme	640	73
Ck15	Termal Difüzyon İle Sertleştirme	1600	30

### 3.2.2. Karşı malzemeye bağlı faktörler (tane büyüklüğü, şekli ve dağılımı)

Yapılan araştırmalar sonucunda aşındırıcı tane büyüklüğü arttıkça, malzemenin aşınmaya karşı direncinin azaldığı ve aşındırıcı tanenin parabolik şekilli olması, keskin köşeli tanelere göre aşınmanın azaldığı görülmüştür (8,9,13,25).

Tane büyüklüğü arttıkça, tanenin malzemeyi çizme genişliği büyür ve dolayısıyla aşınma hacmi de artar. Goddard ve Wilman yaptıkları araştırmada zımpara üzerinde değişik metallerde yaptıkları deney sonunda, aşındırıcının ortalama tane çapı ile aşınmanın değişimi Şekil 3.15'te gösterilmiştir (3,5,9,25).



Şekil 3.15. Kuru zımpara üzerinde, aşındırıcı ortalama tane çapı ile aşınmanın değişimi (Yük = 1 kg) (3,5,9,25)

Genel olarak yüksek sertliğe sahip aşındırıcı malzemelerin kendinden daha düşük sertliğe sahip malzemelerden daha iyi aşındırıcı bir özellik gösterdiği bilinmektedir. Aşındırıcı ve aşınan malzemenin sertlikleri birbirine yakın olduğu durumda yüzeye batma az olacağından oluşan aşınma miktarı da az olacaktır. Aşındırıcının sertliği aşındırılmak istenen malzemenin sertliğine göre daha düşük olduğu durumda abrasiv aşınma direnci oldukça yüksektir ve bu durumda aşındırıcı partiküller aşınmaya maruz kalırlar (3,25).

Genel olarak kuvars gibi sert mineraller, feldspar ve kalsit gibi daha yumuşak minerallerden aşındırıcı olarak daha etkilidirler ve aşınma hızını daha çok artırırlar.

### 3.2.3. Ortama bağı faktörler (sıcaklık, nem, atmosfer)

Aşınmayı etkileyen önemli faktörlerin biride aşınma ortamının atmosferi, nemi ve sıcaklığıdır. Temas halinde bulunan yüzeylerin sürtünmeden dolayı yüzeylerde bölgesel olarak sıcaklık artışına sebep olur. Yüzeylerde meydana gelen sıcaklık artışı, malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerini değiştirerek malzemenin aşınmaya karşı direncini etkiler (17).

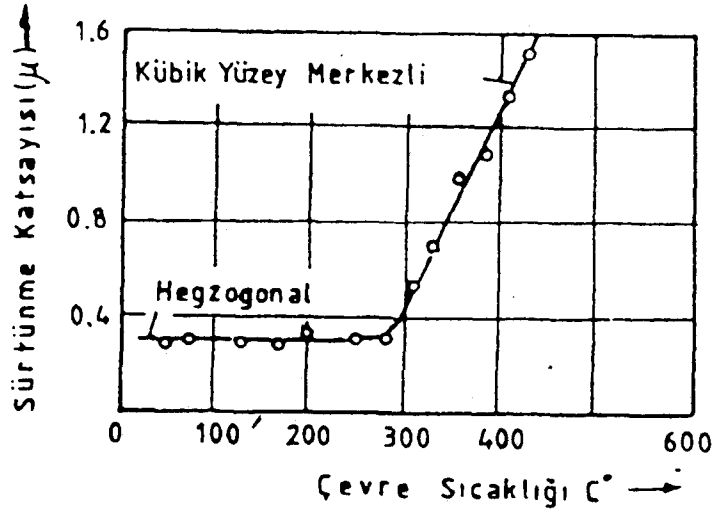
Yapılan araştırmalar sonucunda artan sıcaklıkla aşınmanın arttığı tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ile metal-metal sürtünmesinde kaynak bağı oluşma ihtimali artar ve dolayısıyla aşınma fazlaşır. Bunun için ergime dereceleri yüksek metallerin aşınmaya karşı direnci de fazladır. Demir ve nikel esaslı iki alaşımın, yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışları incelenmiş ve 100°C'nin altında Fe esaslı alaşım, 100°C'nin üstünde ise Ni esaslı alaşımın aşınmaya karşı direncinin daha fazla olduğu görülmüştür (8). Çizelge 3.3'de değişik sıcaklıklarda bazı metallerin aşınma davranışları görülmektedir

Çizelge 3.3. Değişik sıcaklıklarda bazı malzemeler için aşınma davranışları (8,17)

Malzeme		Çevre Sıcaklığı (°C)				
		20	170	270	470	715
Adı	Sertlik	Aşınma Miktarı (mg/km)				
Ck15 N	107	11,5	-	12,7	25,5	62,1
C90 W3 N	226	10,2	10	11,6	37	74
C130W2 N	294	11,1	11,1	10,7	40,1	79

Şekil 3.16'da Co/Co çiftinin sıcaklığa bağı olarak ve vakumda kayma sürtünmesi durumunda, sürtünme katsayısının değişimi görülmektedir (5,8,13). Ortamda bulunan yüksek nem oranının aşınma hızını %15 artırdığını ve su buharının diğer yağlayıcılara benzeyerek aşınmayı azalttığını Robinowicz belirlemiştir (8,15).





Şekil 3.16. Co/Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, vakumda sürtünme katsayısının değişimi (5,8,13)

Atmosfer basıncı ve çevre sıcaklığının çeşitli çeliklerin aşınma direncine etkileri incelenmiş ve 300°C 'ye kadar aşınma miktarının fazla etkilenmediği 350°C civarında ise, farklı değerlerin çıktığı gözlenmiştir.

Yüksek nem oranının abrasiv aşınma miktarının artmasına sebep olduğu ve su buharının diğer yağlayıcılara benzer olarak aşınma etkisini fazlalaştırdığı belirlenmiştir. Fakat düşük nem yoğunluklarının aşınma direncine etkili olduğu tespit edilmiştir. Sertleştirilmiş çeliklerin aşınması havada ve vakumda incelenmiş, neticede havadaki aşınmanın vakumdakinden daha fazla olduğu bulunmuştur (5).

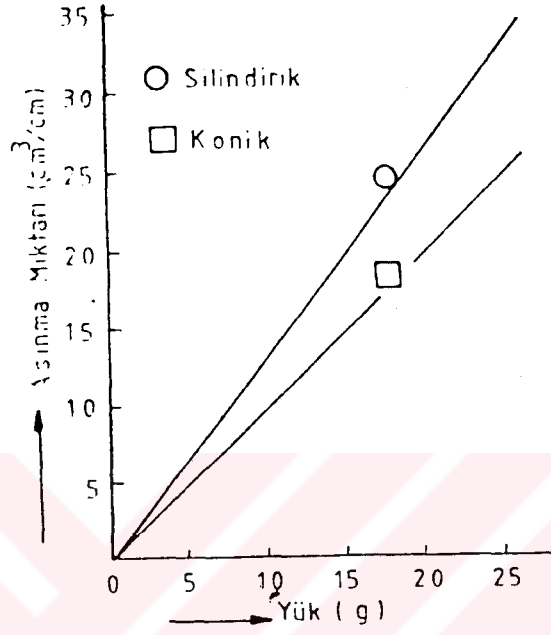
### 3.2.4. İşletmeye bağlı faktörler

#### 3.2.4.1. Yük

Yük ile birlikte hacimsel aşınmanın doğrusal olarak arttığını ve yükün artması ile birim yük başına düşen aşınmanın azaldığını Richardson belirlemiştir (8,13,15).

Kayma aşınmasında yükteki çok az bir değişme bile aşınmayı çok fazla etkilediği görülmüştür. Burvell ve Strang çelik-çelik sürtünmesini incelemişler ve yükün artışı

ile birlikte aşınmanın doğrusal olarak arttığını bulmuşlardır (17). Şekil 3.17'de aşınma miktarının yükü değişimi görülmektedir.

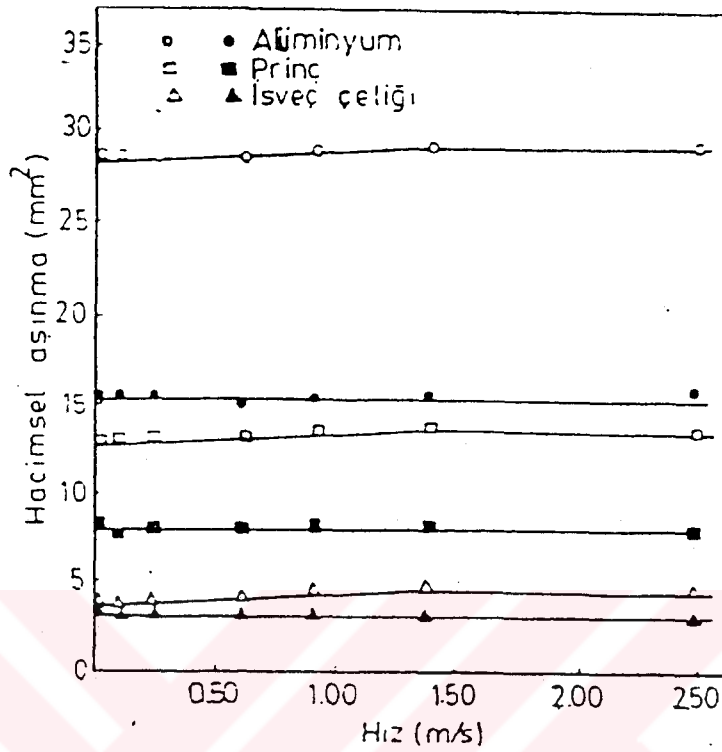


Şekil 3.17. Aşınma miktarının yükü değişimi (13,17)

Aşınma çiftlerine uygulanan yükün uygulama şekli aşınmayı etkilediği belirlenmiştir. Statik yükleme aşınmayı sabit bir şekilde etkilerken, dinamik yüklemenin aşınmaya değişik etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Malzemenin yüzeyine gelen normal basınç, akma mukavemetini aştığı zaman adhesiv aşınma katsayısı yükselir. Adhesiv aşınma katsayısının yükselmesi malzemedeki aşınma miktarının artmasına sebep olur (13,15,17).

#### 3.2.4.2. Hız

Kayma hızı sürtünmeyi dolayısıyla aşınmayı etkileyen önemli bir faktördür. Çünkü sürtünen malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen ısı kayma hızına bağlıdır (8,20).



Şekil 3.18. Hızın aşınma miktarına etkisi (3,5,8,17,25)

Khruschov ve arkadaşları, 0-25 m/s aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdir (15,17). Şekil 3.18'de hızın aşınma miktarına etkisi görülmektedir.

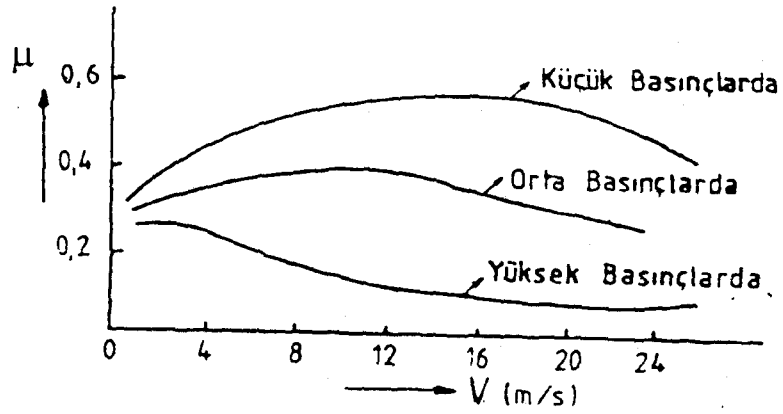
Abrasiv aşınma sırasında sürtünme katsayısının, uzun bir kayma yolundan sonra dengeye geldiği de tespit edilmiştir. Aşınma miktarı, abrasiv tanelerinin büyümesi ile hemen hemen doğru orantılı olarak artma gösterir.

Herhangi bir aşınma olayında hacim kaybı ( $\Delta V$ ), basma kuvveti ( $P$ ) ve aşınma yolu ( $S$ ) ile doğru orantılıdır. Bu ilişki;

$$\Delta V = C_1.P.S$$

[3.4]

Şeklindeki bir bağıntı ile ifade edilebilir. Burada  $C_1$  malzeme sabitidir.

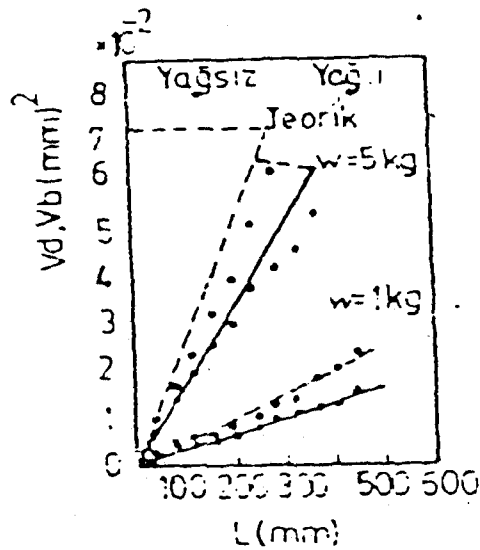


Şekil 3.19. Kayma hızı-sürtünme katsayısı ilişkisi (8,13)

Şekil 3.19'da kayma hızı ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Düşük hızlarda ısınma söz konusu değilse aşınma miktarı sürtünme hızına bağlı değildir (5).

### 3.2.4.3. Kayma ve kayma mesafesi

Temas halinde bulunan malzemelerin, aşınması kuru ve yağlama şartlarına göre kayma mesafesi arttıkça, aşınma miktarı da artar. Kayma mesafesinin artmasıyla aşınmanın orantılı olarak arttığı Hiskada tarafından belirlenmiştir. Şekil 3.20'de kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi görülmektedir (8,9).



Şekil 3.20. Kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi (8,9)

## 4. SEMENTASYON ÇELİKLERİ

### 4.1. Sementasyon Çeliğinin Tanımı

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan, düşük karbonlu, alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir (26,27).

### 4.2. Sementasyon Çeliklerinin Özellikleri

Alaşımsız veya düşük alaşımlı olan bu çelikler; hem kütle halinde üretilen kaliteli çelik hem de asil çelik sınıfından olabilirler. Oksijen konverterlerinde, Siemens Martin ocaklarında ve elektrik ocaklarında üretilerek sönük olarak dökülürler ve haddeleme, dövme ve presleme yoluyla sıcakta şekillendirilirler.

Sementasyon çelikleri piyasaya sıcakta haddelenmiş veya dövülmüş olarak blum, slab, kütük, yuvarlak, dört köşe, altı köşe, lama şeklinde çubuk; filmaşın, sıcak çekilmiş saç, band ve geniş lama; dikişsiz boru, elde veya kalıpta dövülmüş parçalar halinde verilirler. Sıcakta şekillendiği gibi; yumuşatma tavı görmüş; belirli bir dayanım verecek biçimde su verilmiş veya belirli ferritik-perlitik yapı elde edecek biçimde tavllanmış olarak teslim edilirler (28).

Yapıları esas olarak ferritik-perlitiktir.

Sementasyon çelikleri dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklavaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlamalı veya zorlamalı parçalar, soğuk şişirilerek veya fişkırtılarak (ekstürüzyon) şekillendirilen parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılırlar (26).

### 4.3. Sementasyon Çeliklerinin Tamamen Su Verilmiş Çeliklere Göre Avantajları-Dezavantajları

#### Avantajları

- a) Sementasyon işlemi, parça kısmen veya tamamen son şeklini aldıktan sonra uygulandığı için, parçanın işlenmesi oldukça kolaydır.
- b) Parçanın yüzeyinde sonradan işlenecek, sertleşmesi istenmeyen kısımlar var ise, bu bölgeler özel pasta veya elektrolitik bakır ile kaplanarak örtülür. Sementasyon işlemi bu kısımlara tesir edemeyeceğinden sonradan kolayca işlenir.
- c) Sementasyon işlemi sonrasında, çekirdek bölgesi yumuşaklığını koruyacağından, sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek çarpılmalar oldukça azdır.
- d) Semente edilmiş çeliklerin iç kısımları kolayca işlenebilir.
- e) Sementasyon çelikleri, yüzeyde aynı sertliği verebilecek, çoğu zaman takım çeliği durumundaki yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuzdur (26).

#### Dezavantajları

- a) Çelik homojen olmayan karbon miktarının dışarıdan içeriye doğru azalmasıyla mikroyapısal değişiklik gösterir.
- b) Doğru ısıl işlem hem çok tecrübe gerektirir hem de daha pahalıdır.
- c) Taşlama sırasında sert tabakada pek az derinliğe gidilebileceğinden semente edilecek sertleştirilmiş çelikler, taşlanmadan önce gayet dikkatli olarak düzeltilmelidirler (28).

### 4.4. Semantasyon İşlemi

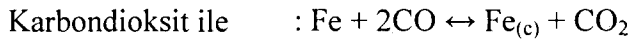
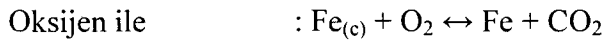
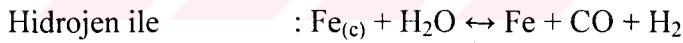
En eski ve en yaygın olarak kullanılan yüzey sertleştirme metotlarından birisidir. Semantasyon işleminde, düşük karbonlu çelikten yapılmış, hemen hemen veya tamamen bitmiş bir halde olan parça karbon verici gereçler içinde tavlınır (28). Yani düşük karbonlu çelik parçasının yüzeyine karbon emdirilmesi işlemidir (26). Bu işleme sementit teşekkülü dolayısıyla “karbürizasyon” veya “sementasyon” denilir.

Böylece parçanın yüzeyi karbon bakımından zenginleşerek akabinde yapılan su verme işlemi sonunda martenzitik dönüşüme uğrayarak sertleşir.

Genellikle sementasyon işleminde 850-950°C arasında bir sıcaklık kullanılır. Karbürize edici ortamdan karbonun iletimi daima bir gaz fazı yardımıyla gerçekleşir. Karbürizasyon derinliği, ya çeliğin yüzeyinin altında belli bir karbon konsantrasyonuna kadar olan mesafe veya karbonun yayılmış olduğu toplam derinlik olarak tanımlanır. Zaman ve sıcaklığın yanı sıra karbürizasyon derinliğine etki eden faktörler karbürizasyon ortamının karbon potansiyeli ve çeliğin kimyasal bileşimidir. Ortamın karbon potansiyeli ne kadar yüksek ise yayınma sonrası denge haline ulaşıldığında karbürizasyon derinliği de o derece fazla olur (29).

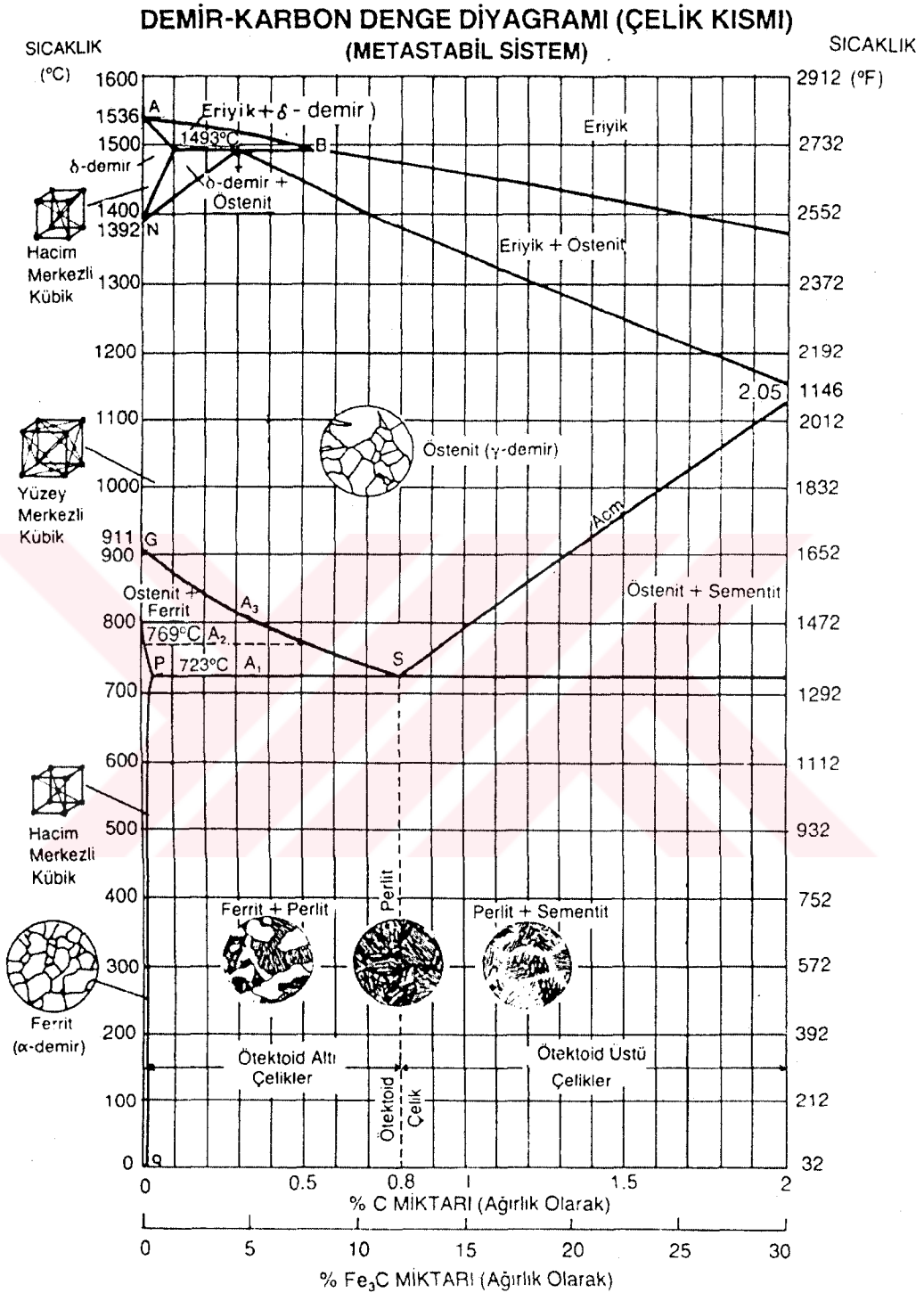
Çelik parçasının yüzeyinden karbon kaybetmesi olayına da dekarbürizasyon (karbonsuzlaşma) olayı denilir. Dekarbürizasyon, sıcaklığın ve çelikteki karbon miktarının artması ile artar (30).

Dekarbürizasyon olayı şu reaksiyonlar ile oluşur;



Burada  $Fe_{(c)}$  ostenit fazda çözünen karbonu ifade etmektedir.

Dekarbürizasyon çelik yapısı için oksidasyondan daha tehlikeli bir olaydır. Tecrübeler sonunda anlaşılmıştır ki önce dekarbürizasyon sonra da oksidasyon olayı başlamaktadır (30).



Şekil 4.1. Demir-Karbon denge diyagramı (27)

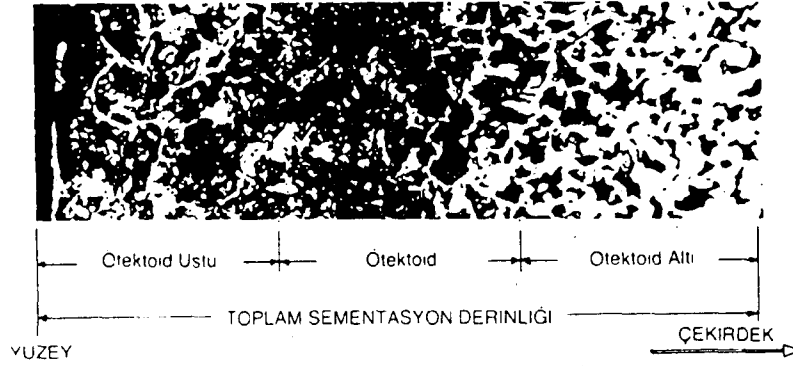


Çelik yüzeyindeki dekarbürizasyon tabakası, sementasyon sonrası yapılacak sertleştirme işleminde martensit yapıya dönüşmeyeceği için yüzeyde yumuşak bir bölge oluşturur. Bu ise çoğu zaman arzu edilmeyen bir durumdur. Dekarbürizasyon tabakasının oluşumunu önlemek için, fırın atmosferinde endotermik gaz karışımı sağlayarak, çelik parçasının yüzeyi karbondioksit, oksijen ve su buharından korunarak sağlanabilir.

Kullanılan sementasyon sıcaklığında, ostenit fazda çözünebilir maksimum karbon miktarı demir-karbon denge diyagramında  $A_{cm}$  çizgisinden bulunabilir. Örnek olarak, 925°C sementasyon sıcaklığı olarak seçildiğinde, ostenit fazda çözünebilir maksimum karbon miktarı %1.3 civarındadır. Bu sıcaklıkta, çelik parçanın yüzeyi yaklaşık %1.3 miktarına kadar karbon emmesi yaparken, parçanın çekirdek kısmı düşük karbon miktarını korumaya devam eder. Bu sebeple, karbon atomları parçanın yüzeyinden çekirdeğe doğru difüz ederek denge durumuna gelmek isteyeceklerdir. Ostenit fazda karbon atomlarının difüzyon hızı, verilen sıcaklıkta, çelik parçasının yüzeyinde oluşan karbon konsantrasyonuna ve difüzyon katsayısına bağlıdır (26).

Çelik parça, sementasyon sıcaklığında karbon difüzyonunun arzu edilen derinliğe kadar ilerlemesi için yeterli süre tutulur. Bu süreye sementasyon zamanı adı verilir. Sementasyon zamanı süresince, çelik parçanın yüzeyinden içeriye difüz eden karbonun ilerleme derinliğine sementasyon derinliği denilir (26). Semente derinliği malzemenin sementasyon sıcaklığında tutulma süresine bağlıdır. Karbon verici ortam ve sıcaklıkta bu derinliği etkiler (31).

Eğer çelik parça, sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulursa, sementasyon derinliği boyunca değişen karbon miktarına bağlı olarak çeşitli yapılar oluşur. Bu yapılar, çelik parçasının sementasyon sonrası, fırında yavaş soğutulularak alındıktan sonra mikroskopta incelenmesiyle açıkça görülebilir. Önce, yüzeyde teşekkül eden ötektoid üstü bölgede, sementit ve perlit yapılar görülür. Bunun altında oluşan ötektoid bölge sadece perlit yapıdadır. İçeriye doğru perlit ve ferrit yapılardan oluşan ötektoid altı bölge gelir ve çekirdeğe doğru ferrit yapı miktarı artarak devam eder.



Şekil 4.2 Başlangıçta % 0.20 karbon içeren bir çelik parçanın, sementasyon işlemi sonrasında, yüzeyinden içeriye doğru oluşan yapı değişiklikleri görülmektedir.

Yukarıda Şekil 4.2’de başlangıçta %0.20 oranında karbon içeren bir çelik parçanın, sementasyon işlemi sonrasında, yüzeyinden içeriye doğru oluşan yapı değişiklikleri görülmektedir. Çelik parça, kutuda 925°C de 6 saat semente edildikten sonra sementasyon kutusunda soğutulmuş ve %2’lik nital çözeltisinde dağlanarak mikroskopta 30 defa büyütülerek incelenmiştir (26).

#### 4.5. Sementasyon Metotları

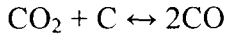
Sementasyon yöntemleri değişik karbon verici ortamlarda şu şekilde yapılabilir.

- 1- Kutu sementasyonu (Katı ortamda sementasyon)
- 2- Tuz banyosunda sementasyon
- 3- Gaz sementasyonu

Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, karbürizasyon daima bir gaz vasıtasıyla oluşur. Ancak, her bir karbürizasyon yönteminin farklı yüzey sertleştirme sonuçları oluşturan öz karakteristikleri vardır (29).

#### 4.5.1. Kutu sementasyonu

Kutuda yapılan sementasyon işlemi için karbon verici olarak genellikle odun kömürü kullanılır. Semente edilecek parçalar çelik veya dökme demirden yapılmış kutu içerisindeki odun kömürüne gömülür ve kutunun ağzı sıkıca kapatılarak fırına yerleştirilir. Sıcaklığın yükselmesi ile odun kömürü, kutu içindeki havanın oksijeni ile reaksiyona girerek CO<sub>2</sub> oluşturur. CO<sub>2</sub>'de tekrar odun kömürü ile reaksiyona girerek CO meydana getirir.



Bu reaksiyona göre sıcaklığın artması ile CO oluşumu artar. Ortaya çıkan CO çelik yüzeyinde ayrışarak CO<sub>2</sub> ve atomik karbon meydana getirir. Atomik karbon, ostenit faza gelmiş olan çelik tarafından emilerek bünyede çözülür. Böylece çelik parçanın yüzeyi karbonca zenginleştirilmiş olur. Açığa çıkan CO<sub>2</sub> tekrar odun kömürü ile reaksiyona girer. CO meydana getirir ve reaksiyonlar aynen tekrar eder. Kutudaki oksijen miktarı giderek azalacağından ve sementasyon için gerekli CO oluşumu yetersiz kalabileceğinden, odun kömürüne yaklaşık % 20 oranında bazı reaksiyon hızlandırıcı maddeler karıştırılır. Bu amaçla alkali metal karbonatları kullanılır. Bu ise çoğunlukla baryum karbonattır ( BaCO<sub>2</sub> ) ve karışıma ilave edilen toplam karbonat miktarının % 50-70' ini oluşturur. Geri kalan kısım kalsiyum karbonat ve bazen sodyum karbonattır (26,28).

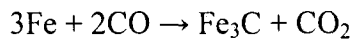
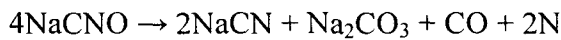
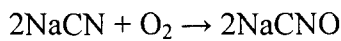
Kutu sementasyon metodunun en önemli avantajı, önceden hazırlanması gereken gaz atmosferine gerek olmasıdır. Bu usul bölgesel olarak karbürlenecek büyük parçalar için daha ekonomiktir (32). Ancak, çelik parçasında hassas toleranslı (0,25 mm), ince sementasyon derinliği (0,75 mm'den aşağı) istendiği durumlar için pek uygun bir metot değildir. Bu metodun kullanımındaki diğer bir dezavantaj ise, ısıtma ve soğutma için her defasında fazladan zamana ihtiyaç olmasıdır (26,28,32).

#### 4.5.2. Tuz banyosunda sementasyon

1860 yılından beri uygulanmakta olan bu yöntemde, çelik yüzeyine karbon verici, olarak; sodyum siyanür (NaCN), potasyum siyanür (KCN) veya kalsiyum siyanür  $\text{Ca}(\text{CN})_2$  gibi tuzlar kullanılır (28,33). Ancak tuz seçimi istenilen sementasyon derinliğine ve buna bağlı olarak çalışacak sementasyon sıcaklığına göre yapılmalıdır. İki türlü tuz vardır.

- İnce sementasyon derinliği veren (düşük sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuzlar. Bu durumda, tuz banyosundaki siyanür miktarı %20 civarındadır ve çalışma sıcaklığı  $843-899^\circ\text{C}$  ( $1550-1650^\circ\text{F}$ ) olmalıdır. Böyle bir tuz banyosunda 0,9 mm' ye kadar sementasyon derinliği elde edilebilir.
- Sementasyon derinliğini artıran (yüksek sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuzlar. Bu durumda ise, tuz banyosundaki siyanür miktarı %10'dur ve kullanılan sementasyon sıcaklığı  $899-954^\circ\text{C}$  ( $1650-1750^\circ\text{F}$ )'leri arasındadır. Bu tip tuz banyosunda 3 mm'ye kadar sementasyon derinliğine ulaşılır. Hatta bazen 6 mm derinliğe kadar ilerlemek de mümkündür (26).

Bu yöntemle sementasyon işlemi aşağıdaki reaksiyonlara göre gaz fazında olur.



İlk reaksiyon siyanür tuzu ile havanın oksijeni arasında olur (29). Açığa çıkan NaCNO ayrışarak CO ve atomik azot verir.  $850-950^\circ\text{C}$ 'de ostenit fazdaki çelik, CO ile reaksiyona girerek karbonu bünyesine alır. Bu arada bir miktar azot da çelik tarafından emilir. Çeliğin karbon ve azot emme miktarı önemli ölçüde banyodaki siyanür miktarına ve sementasyon sıcaklığına bağlıdır (26).

Tuz banyosu kullanımında arzu edilen kabuk derinliği küçüldükçe, elde edilen ekonomi büyür. Buna sebep ise, tuz banyosunda çelik parçaların ısınma hızının tuz banyosundakinden daha yüksek olmasıdır.

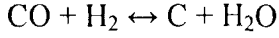
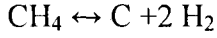
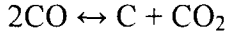
Parçalar tuz banyosuna daldırılmadan önce 100-400°C arasında ön ısıtma yapılmalıdır. Böylece parçalar üzerindeki nem alınmış ve aynı zamanda tuz banyosu daha verimli olarak kullanılmış olacaktır.

Tuz banyosu genellikle küçük ve orta büyüklükteki parçaların sementasyonu için kullanılır. Büyük parçaların tuz banyosunda sementasyonu pota büyüklüğü dolayısıyla bazı zorluklar getirir. Bu metotla yapılan sementasyon işlemi parça yüzeyinde homojen sementasyon derinliği vermesi ve tuz banyosunun yüksek ısı iletimi dolayısıyla, çelik parçaların kısa zamanda sementasyon sıcaklığına ulaşması gibi avantajlar sağlar. Bunun yanında, homojen sementasyon derinliğinin sağlanması için, banyo kompozisyonunun sık sık kontrol edilerek ayarlanması gerekir (26,28,29). Ayrıca, siyanür tuzları zehirli olduklarından bu metodun kullanımında dikkatli olunmalıdır. Banyonun yüzeyine grafit tozu örtülerek radyasyon yoluyla ısı taşınımı ve banyodan gaz çıkışı önlenir (32).

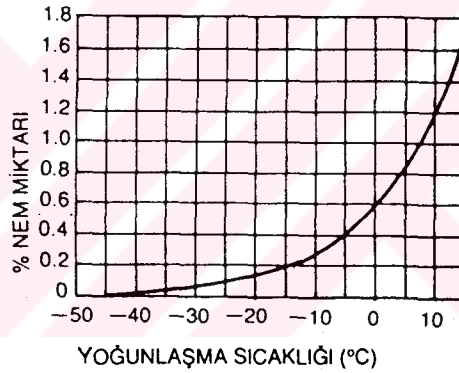
#### 4.5.3. Gaz sementasyonu

Son yılların en fazla kullanılan yüzey sertleştirme metodudur. Bu metotla iyi ve güvenilir sonuçlar elde edilmektedir. Gaz sementasyonu için karbon verici olarak metan (CH<sub>4</sub>), etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) gibi hidrokarbonlar kullanılır. Sementasyon sıcaklığında çeşitli reaksiyonlar oluşur.

Aşağıdaki reaksiyonların soldan sağa doğru ilerlemesi sonucu ortaya çıkan atomik karbon, ostenit fazdaki çelik bünyesine girerek yüzeyde karbonca zengin kabuk bölgesini meydana getirir.



Fırın atmosferinde oluşan gaz kompozisyonunun, özellikle nem miktarının çelik yüzeyinde elde edilecek karbon miktarına önemli tesirleri vardır. Nem miktarı ise gazın yoğunlaşma sıcaklığının tespiti ile ölçülebilir. Burada yoğunlaşma sıcaklığı olarak tarif edilen, su damlacıklarının gaz karışımından çökelediği sıcaklıktır (26). Şekil 4.3'de, nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

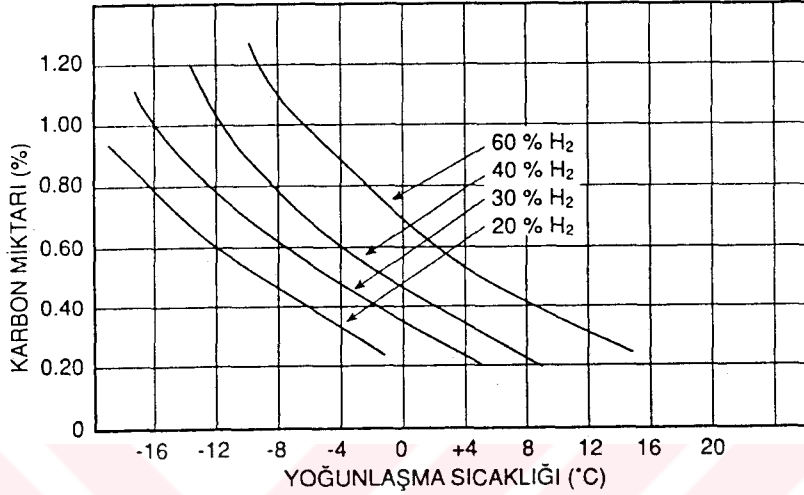


Şekil 4.3. Nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki (29)

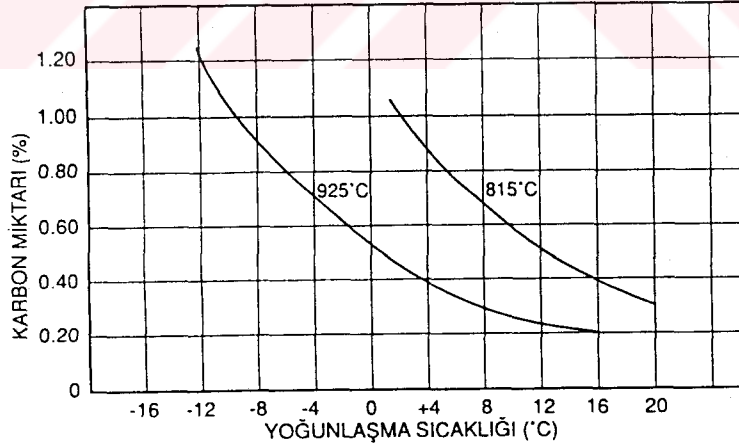
Aşağıdaki şekillerde ise, yoğunlaşma sıcaklığı kontrol edilerek, sementasyon sıcaklığı ve gaz kompozisyonunun değişimi ile yüzeyde elde edilecek karbon miktarına ait örnekler verilmiştir.

Şekil 4.4'de sementasyon sıcaklığı 925°C ve fırın gaz kompozisyonundaki CO miktarı %20 olarak sabittir. Çelik parçasının yüzeyinde meydana gelecek karbon miktarı, yoğunlaşma sıcaklığına ve fırın atmosferindeki hidrojen (H<sub>2</sub>) %'sine bağlı olarak değişmektedir. Çelik yüzeyinde % 0,80 karbon miktarı elde edebilmek için,

gaz karışımındaki H<sub>2</sub> miktarı % 60 iken yoğunlaşma sıcaklığı -3°C veya H<sub>2</sub> miktarı %20 olduğunda yoğunlaşma sıcaklığı -17°C olmalıdır (26,29).



Şekil 4.4. 925°C de yapılan sementasyon işleminde, gaz karışımındaki CO miktarı % 20 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının ve H<sub>2</sub> miktarının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri (26,29)



Şekil 4.5. Gaz karışımındaki CO miktarı %20 ve H<sub>2</sub> miktarı %40 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri (26,29)

Şekil 4.5'de ise, çelik yüzeyindeki karbon miktarının sementasyon sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Burada, gaz kompozisyonundaki CO miktarı %20 ve H<sub>2</sub> miktarı %40 olarak sabittirler. 925°C sıcaklık kullanıldığında, yüzeyde %0,80 karbon eldesi için, yoğunlaşma sıcaklığı yaklaşık -6°C ve aynı karbon miktarının eldesi için, 815°C sıcaklık kullanıldığında sıcaklığı +5°C olması gerekir (26,29).

Prensip olarak 4 farklı gaz üretme yolu vardır:

a) Sementasyon sıvısının fırının içinde damıtılması: Bu sıvı genellikle etil alkol, beyaz ispirto ihtiva eder. Sıvı, fırın içinde dağılacağı ve buharlaşacağı bir plaka üzerine damlatılır. Bu yöntemle düşük karbon potansiyeli olan taşıyıcı bir gaz üretilir. Bu potansiyel, fırın içerisinde daha fazla aktif sıvı damlatarak ayarlanabilir. Pratikte sadece bir sıvı kullanılır ve karbon potansiyeli, ilave edilen sıvının hacminin ayarlanmasıyla kontrol edilir.

b) Gaz üreten bir cihazdan fırına gaz gönderilmesi: Gaz, ekzotermik yanma ile üretilir. Bu gaz genellikle, havaya dengeli bir şekilde karıştırılır ve gaz oluşturma ünitesinde % 0,35-0,50 karbon potansiyelli bir taşıyıcı gaz oluşturma için yakılır. Fırına girmeden önce taşıyıcı gaza % 0,8 civarında istenilen karbon potansiyelini ayarlamak amacıyla, ekstra bir propan ilavesi yapılır.

c) Gaz ve havanın doğrudan girişi: Sementasyon işlemini gerçekleştirecek gaz dengeli miktarda fırına verilen hava ile gaz arasındaki reaksiyon sonucu oluşur.

d) Bir vakum fırınında sementasyon: Sadece hidrokarbonların havası alınmış fırına girmesine izin verilen bu yöntemde, oksijen herhangi bir reaksiyonda rol almadığı için, herhangi bir iç oksidasyonun oluşması söz konusu değildir. Bu proseste sıcaklık normalden daha yüksek kullanılır ve bu da sementasyon hızını artırır (28).

Gaz sementasyonu civata, vida, pim ve benzeri parçalara kolaylıkla uygulanır (33). Bu yöntem hassas toleranslı sementasyon derinliği istenildiği haller için çok elverişlidir. Sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme için, hızlı hareket



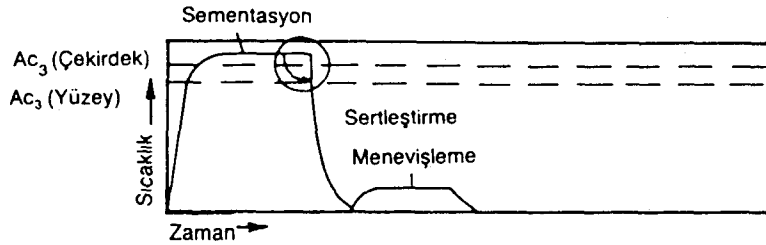
kolaylığı ve temiz çalışma ortamı sağlaması gaz sementasyonunun diğer avantajları olarak sayılabilir (26,28,29,32).

#### 4.6. Sertleştirme Yöntemleri

Sementasyon sonrasında çelik parçalar sertleştirme işlemine tabi tutulurlar. Sertleştirme işlemi parçanın yüzeyinde veya çekirdeğinde veya beraberce her iki bölgesinde elde edilmesi istenilen sertlik değerine bağlı olarak çeşitli şekillerde yapılır.

##### 4.6.1. Direkt sertleştirme

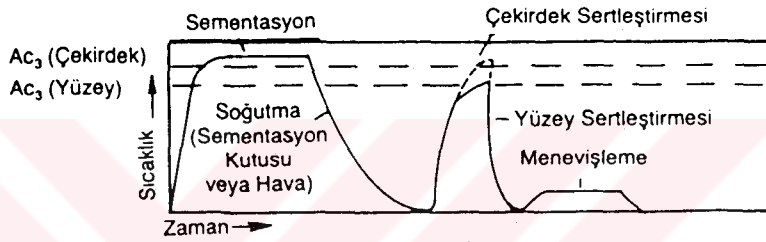
Sementasyon sonrası, çelik parça sementasyon sıcaklığından direkt olarak uygun ortamda (yağ, su, sıcak banyo) soğutularak sertleştirilir ve menevişlenir. Şekil'de yuvarlak içine alınmış bölgede kesik çizgi ile belirtilen yol, sementasyon sıcaklığının uygun sertleştirme sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda parçanın çarpılmasını önlemek için yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar yavaş soğutulmasını ifade etmektedir. Bu yöntem ince taneli yapıdaki çelikler için uygulanır. Oldukça pratik ve ekonomik bir yöntemdir (26).



Şekil 4.6. Sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme (34)

#### 4.6.2. Basit sertleştirme

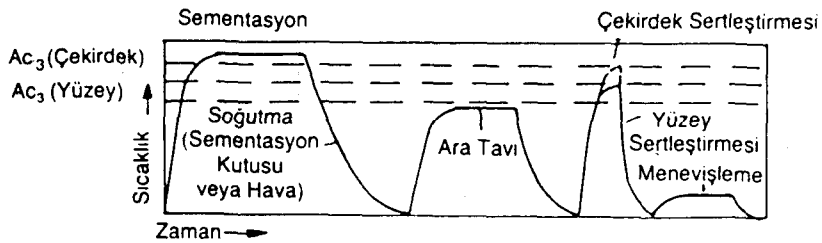
Sementasyon sonrası parça sementasyon fırınında veya havada soğumaya bırakılır. Daha sonra, isteğe göre parçanın yüzeyinin sertleştirilmesi için, yüzey dönüşüm sıcaklığına veya yüzey ve çekirdeğin beraberce sertleştirilmesi için, çekirdek dönüşüm sıcaklığına ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulur ve menevişlenir. Bu yöntem, değişik kesitli parçalarda, çarpılmaların istenmediği hallerde uygulanır (26).



Şekil 4.7. Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra sertleştirme (34)

#### 4.6.3. Basit sertleştirme (ara tavından sonra)

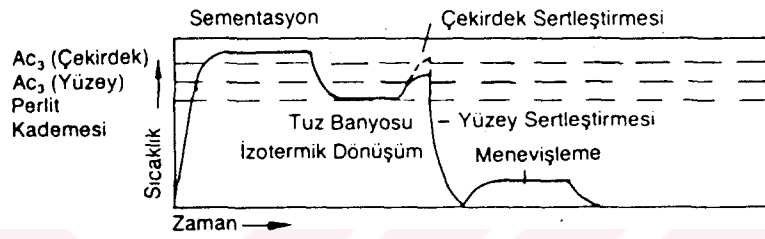
Çelik parçalar semente edildikten sonra, sementasyon kutusu veya havada soğumaya bırakılır. Sonra,  $A_1$  ötektoid sıcaklığı altında, genellikle  $630-650^{\circ}C$ 'de ara tavi yapılır. Bunu takiben yüzey veya beraberce yüzey-çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulur ve menevişlenir (26).



Şekil 4.8. Ara tavlama sonrası sertleştirme (34)

#### 4.6.4. Basit sertleştirme (izotermik dönüşümden sonra)

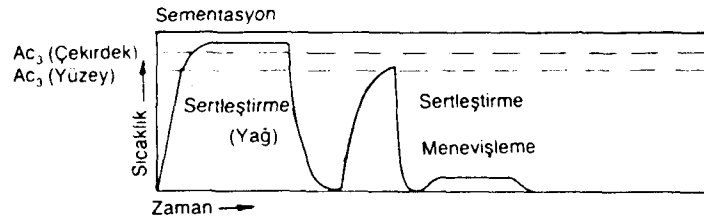
Sementasyon sonrası, parçalar yüzey dönüşüm sıcaklığı altında ( $500-600^{\circ}\text{C}$ ) perlit yapının izotermik dönüşümü tamamlanıncaya kadar bekletilir. Tekrar yüzey veya yüzey-çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa kadar ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo)soğutulur ve menevişlenir (26).



Şekil 4.9. İzotermal dönüşümden sonra sertleştirme (34)

#### 4.6.5. Çift sertleştirme

Sementasyon fırınından çıkan malzeme direkt sertleştirilir. Daha sonra, yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar ısıtılarak tekrar sertleştirilir ve menevişlenir. Bu yöntemle çok iyi neticeler elde edilebilir. Ancak art arda yapılan sertleştirmelerle parçada çarpılmalar olabilir (26).



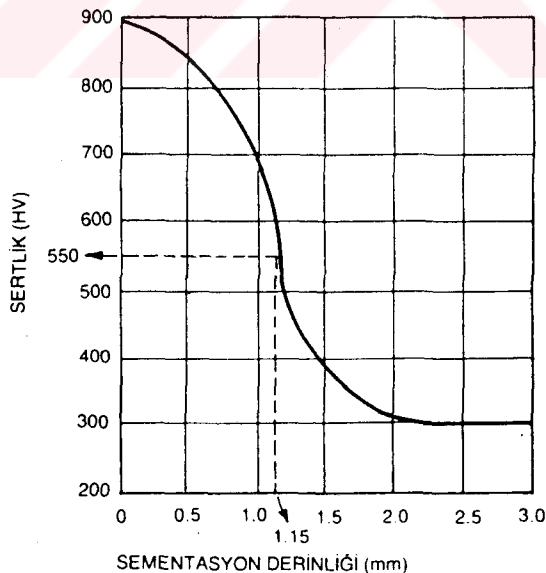
Şekil 4.10. Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra çift sertleştirme (34)

#### 4.7. Menevişleme

Menevişleme işleminin amacı, çelik parçanın sertliğinde büyük bir azalma meydana getirmeden tokluğu artırarak iç gerilmeleri gidermektir (35). Sertleştirme sonrasında çelik parçalar genellikle 160-220°C arasındaki sıcaklıklarda menevişlenirler. Menevişleme zamanı 1-2 saattir. Eğer 60 HRC değerinde bir sertlik istenirse menevişleme sıcaklığı 180°C'den fazla olmamalıdır (26).

#### 4.8. Sementasyon Derinliği

Sementasyon işlemi sonunda çelik parçası, yüzeyden belli bir derinliğe kadar karbon emmesi yapar. Bu derinliğe sementasyon derinliği denir. Etkili sementasyon derinliği, yüzeyden 550 HV sertliğe kadar olan bölge olarak tarif edilebilir. Şekil 4.11'de semente edilmiş bir çelik parçasındaki sertlik değişim eğrisi şematik olarak gösterilmiştir. Burada etkili sementasyon derinliği 1.15 mm olarak görülmektedir.



Şekil 4.11. Semente edilmiş bir çelik parçasındaki sertlik değişim eğrisi (26)

Difüzyon eşitliği ile ( $x = k \sqrt{t}$ ) sementasyon derinliğinin hesaplanması mümkündür.

x : Sementasyon derinliği

t : Sementasyon zamanı

k : Sementasyon sıcaklığına bağlı sabit

k sabitinin bazı sementasyon sıcaklıkları için değerleri aşağıda verilmiştir.

Sementasyon sıcaklığı (°C)	871	899	927
	(1550°F)	(1600°F)	(1650°F)
k sabiti	0.46	0.53	0.64

Sementasyon derinliğinin, sementasyon sıcaklığı ve sementasyon zamanına bağlı olarak değişim değerleri Çizelge 4.1'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Sementasyon derinliğinin, sementasyon sıcaklığı ve sementasyon zamanına bağlı olarak değişim değerleri (26)

Sıcaklık Zaman (saat)	SEMENTASYON DERİNLİKLERİ (mm)				
	843°C	871°C	899°C	927°C	954°C
1	0.38	0.46	0.53	0.63	0.74
2	0.53	0.63	0.76	0.89	1.04
3	0.64	0.79	0.94	1.09	1.30
4	0.74	0.89	1.07	1.27	1.50
5	0.84	1.02	1.19	1.42	1.68
6	0.91	1.09	1.32	1.55	1.83
7	0.99	1.19	1.42	1.68	1.98
8	1.04	1.27	1.52	1.80	2.11
9	1.12	1.35	1.60	1.90	2.24
10	1.17	1.42	1.70	2.01	2.36
11	1.22	1.50	1.78	2.11	2.59
12	1.30	1.55	1.85	2.21	2.46
13	1.35	1.63	1.93	2.29	2.69
14	1.40	1.68	2.01	2.39	2.79
15	1.45	1.73	2.08	2.46	2.90
16	1.50	1.80	2.13	2.54	2.97
17	1.52	1.85	2.21	2.63	3.07
18	1.57	1.90	2.29	2.69	3.18
19	1.63	1.96	2.34	2.77	3.25
20	1.68	2.01	2.39	2.84	3.33
21	1.70	2.06	2.46	2.90	3.40
22	1.75	2.11	2.51	2.97	3.51
23	1.78	2.16	2.57	3.05	3.58
24	1.83	2.18	2.62	3.10	3.66

Ayrıca sementasyon derinliği, parçanın ebadına ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığı ile soğutma ortamına da yakından bağlıdır.

Sementasyon derinliği bir dereceye kadar çelik kalitesine de bağlıdır. İnce kesitli parçalarda faktör fazla önem taşımamasına karşılık, büyük kesitli parçalar için derin sertlik istendiği durumlarda, sementasyon zamanı önem kazanır. Aşağıda buna örnek olarak, bir fikir vermesi amacıyla 100 mm çaplı, değişik kaliteli çelik parçalarda, 1.5 mm'lik sementasyon derinliğinin sağlanabilmesi için gerekli sementasyon zamanları verilmiştir (26).

Çelik Kalitesi	21 NiCrMo 2	13 NiCr 6	17 CrNiMo 6
Sementasyon Zamanı (saat)	25	13	10

#### 4.9. Yüzey Sertliği

Ostenit fazda çözünen karbon miktarı, yüzey sertliğini belirleyen kesin faktördür.

Yüzeydeki karbon miktarı %0.80 ile % 1 arasında olabilecek şekilde kontrol edilmelidir. Yüzeyde karbon miktarının fazla olmasının (ötektoid üstü bölgede) iki önemli sebepten dolayı sakıncaları vardır. Birincisi, eğer çelik parça sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulursa, perlit tane sınırlarında sementit ağı teşekkül edecektir. Sonra yapılacak sertleştirme işleminde, özellikle parça  $A_{cm}$  çizgisinin altında bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra sertleştirilirse, sonuçta yapıda sementit ağı olduğu gibi kalacak ve bu bazı olumsuz neticeler verecektir. İkinci olarak yüzeydeki karbon miktarı %0.70'i geçerse, sertleştirme sonrasında martenzit yapıda artık ostenit kalmasına ve sertliğin azalmasına sebep olacaktır. Özellikle yüksek alaşımli çeliklerde yüzeydeki karbon miktarının %0.80'den fazla olmamasına dikkat edilmelidir.

Fazla semente edilmiş çeliklerin sertleştirme sıcaklıklarının uygun seçilmesi ile ostenit fazda çözünen karbon miktarı kontrol edilerek, sertleştirme sonucu artık

ostenit miktarı azaltılarak, yüksek sertlik elde edilebilir. Eğer, çelik yüzeyinde sementasyon sonucu uygun karbon konsantrasyonu sağlanırsa, maksimum sertlik için sertleştirme sıcaklığının fazla önemi kalmaz.

Sementasyon zamanının uygun seçilmesi de önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Sementasyon zamanının arttırılması, ostenit fazda çözünen karbon miktarını arttıracak ve sertleştirme sonrası martenzit yapıda fazla artık ostenit kalacağından, sertlik oldukça düşecektir. Eğer parça düşük bir sıcaklıktan tekrar sertleştirilirse (çift sertleştirme), artık ostenitin azalması sebebiyle sertlik artacaktır. Hatta ince kesitli parçalara 770°C'den çift sertleştirme uygulanmasıyla 67 HRC'ye varan sertlikler elde edilebilir (26,29).

#### **4.10. Çekirdek Sertliği**

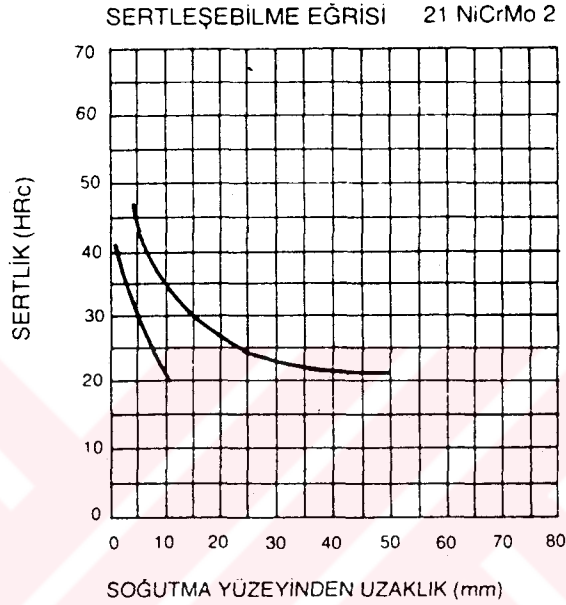
Çekirdek sertliğine, parça ebadının ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığının önemli tesirleri vardır.

Boyutları küçük olan çelik parçanın, büyük boyutlu parçalara göre sertliği daha yüksektir. Değişik sertleştirme sıcaklıkları da sertlik ve iç yapıyı etkiler. Yüksek sıcaklıktan sertleştirilen çeliklerin sertlikleri, düşük sıcaklıktan sertleştirilenlere göre daha yüksektir. Değişik sertleştirme sıcaklıklarının sertlik ve iç yapıyı da etkilediği belirlenmiştir. Sementasyon çelikleri metalografik açıdan incelendiğinde değişik sıcaklıklardan sertleştirme sonucunda yapılarda farklılıkların olduğu görülmüştür. Malzemenin çekirdeğine doğru gidildiğinde oluşan bu yapı değişiklikleri deneysel bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Tüm yukarıda anlatılanların ışığında ve deneysel olarak kanıtların sonucunda çekirdek merkezine doğru gidildiğinde sertlikte de azalma olmaktadır (26,29).

#### 4.11. 8620 Sementasyon Çeliğinin Sertleşebilirlik (Jominy) Bantları

Aşağıda 8620 (21 NiCrMo 2) sementasyon çeliğinin sertleşebilirlik (jominy) bandı görülmektedir.



Şekil 4.12. 8620 (21 NiCrMo 2) Sementasyon çeliğinin sertleşme eğrisi (34)

#### 4.12. 8620 Sementasyon Çeliğinin Çeşitli Standartlardaki Karşılıkları

8620 sementasyon çeliğinin çeşitli standartlardaki karşılıkları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2. 8620 Sementasyon çeliğinin çeşitli standartlardaki karşılıkları

Alman Standardı		Amerikan Standardı SAE/AISI	İngiliz Standardı BS/En	Fransız Standardı Afnor
Kısa İşareti	Malzeme No	8620	-	20 NCD 2
21 NiCrNo 2	1.6523			



### 4.13. 8620 Çeliğinin SAE'ye Göre Kimyasal Özellikleri

Amerikan normuna göre 8620 sementasyon çeliğinin karbon ve alaşım oranlarının yaygın olarak kullanılan kimyasal özellikleri aşağıdaki tabloda görülmektedir.

Çizelge 4.3. 8620 Sementasyon çeliğinin SAE'ye göre kimyasal özellikleri (36)

Standart İsimleri	Sınıfı, Sembolü, Adı	Çelik Numarası	UNS numarası	Kimyasal Bileşim % Max. Ağırlık								
				C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Diğerleri
SAEJ 404 APR-94	8620	.	G86200	0,18	0,70	0,15	0,035	0,04	0,40	0,40	0,15	Cu 0,35
				0,23	0,90	0,35			0,60	0,70	0,25	
ASTM A 322-91(1996)	8620	.	G86200	0,18	0,70	0,15	0,035	0,04	0,40	0,40	0,15	Cu 0,35
				0,23	0,90	0,35			0,60	0,70	0,25	
ASTM 29/A 29M-99	8620	.	G86200	0,18	0,70	0,15	0,030	0,04	0,40	0,40	0,15	Cu 0,35
				0,23	0,90	0,35			0,60	0,70	0,25	

## 4.14. Sementasyon Çeliklerinin Mekanik Özellikleri

Çizelge 4.4. Sementasyon çeliklerinin mekanik özellikleri (26,34)

KISA İŞARETİ	MALZEME NO	SERTLİK				SEMENTASYON SONRASI ÇEKİRDEK SERTLEŞTİRMESİ YAPILMIŞ DEĞİŞİK ÇAPLAR İÇİN														
		İzol İşlem uygulanmadığında		İzol İşlem uygulanmış durumda		Ø 11 mm				Ø 30 mm				Ø 63 mm						
		Yataylakta Tavla Sırtı	Belli Bir Çekme Dayanımı	İşlenen İst. Sırtı	HB 30	Ferrit-Perlit Yapı Sırtı	İşlenen İst. Sırtı	HB 30	HB 30	Çekme Dayanımı (kgf/mm <sup>2</sup> )	Uzama (L <sub>s</sub> -5d <sub>0</sub> ) % min	Kesit Daralması (0,2 sırtı) % min	Akma Sınırı (kgf/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (kgf/mm <sup>2</sup> )	Uzama (L <sub>s</sub> -5d <sub>0</sub> ) % min	Kesit Daralması (0,2 sırtı) % min	Akma Sınırı (kgf/mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanımı (kgf/mm <sup>2</sup> )	Uzama (L <sub>s</sub> -5d <sub>0</sub> ) % min	Kesit Daralması % min
C 10	1,0301	131	max.	HB 30	HB 30	90-126	40	65-80	13	35	30	50-65	16	45	-	-	-	-	-	-
C 15	1,0401	146	-	HB 30	HB 30	103-140	45	75-90	12	30	36	60-80	14	40	-	-	-	-	-	-
CK 10	1,1121	131	-	HB 30	HB 30	90-126	40	65-80	13	40	30	50-65	16	50	-	-	-	-	-	-
CK 15	1,1141	146	-	HB 30	HB 30	103-140	45	75-90	12	35	36	60-80	14	45	-	-	-	-	-	-
15 Cr 3	1,7015	174	126-174	HB 30	HB 30	118-160	52	80-105	10	35	45	70-90	11	40	-	-	-	-	-	-
16 MnCr 5	1,7131	207	156-207	HB 30	HB 30	140-187	65	90-120	9	35	60	80-110	10	40	45	65-95	11	40	40	40
20 MnCr 5	1,7147	217	170-217	HB 30	HB 30	152-201	75	110-140	7	30	70	100-130	8	35	55	80-110	10	35	35	35
20 MoCr 4	1,7321	207	156-207	HB 30	HB 30	140-187	65	90-120	9	35	60	80-110	10	40	-	-	-	-	-	-
25 MoCr 4	1,7325	217	170-217	HB 30	HB 30	152-201	75	110-140	7	30	70	100-130	8	35	-	-	-	-	-	-
13 NiCr 6	1,5713	190	145-170	HB 30	HB 30	175-220	85	110-140	9	35	70	80-110	10	40	-	-	-	-	-	-
14 CrNi 14	1,5752	230	190-230	HB 30	HB 30	170-210	85	100-130	8	35	70	90-120	9	40	65	70-110	10	40	40	40
15 CrNi 6	1,5919	217	170-217	HB 30	HB 30	152-201	70	98-130	8	35	65	90-120	9	40	55	80-110	10	40	40	40
18 CrNi 8	1,592	235	187-235	HB 30	HB 30	170-217	85	125-150	7	30	80	120-145	7	35	70	110-135	8	35	35	35
17 CrNi Mo 6	1,6587	229	179-229	HB 30	HB 30	159-207	85	120-145	7	30	80	110-135	8	35	70	100-130	8	35	35	35
20 NiCr Mo 2	1,6523	212	165-210	HB 30	HB 30	150-195	80	105-135	7	35	60	85-115	9	40	50	70-95	11	45	45	45
Cm 15	1,1114	146	-	HB 30	HB 30	103-140	45	75-90	12	35	36	60-80	14	45	-	-	-	-	-	-
16 MnCr 6 S	1,7139	207	156-207	HB 30	HB 30	140-187	65	90-120	9	35	60	80-110	10	40	45	65-95	11	40	40	40
20 MnCr 6 S	1,7149	217	170-217	HB 30	HB 30	152-201	75	110-140	7	30	70	100-130	8	35	55	80-110	10	35	35	35
20 MoCr 6 S	1,7323	207	156-207	HB 30	HB 30	140-187	65	90-120	9	35	60	80-110	10	40	-	-	-	-	-	-
25 MoCr 6 S	1,7326	217	170-217	HB 30	HB 30	152-201	75	110-140	7	30	70	100-130	8	35	-	-	-	-	-	-

## 4.15. Sementasyon Çeliklerinin Isıl İşlemleri

Çizelge 4.5. Sementasyon çeliklerinin ısıl işlemleri (26)

KISA İŞARETİ	MALZEME NO	SICAK SERTLENDİRME SICAKLIĞI	NORMALLEŞTİRME TAV SICAKLIĞI	YUMUŞATMA TAV SICAKLIĞI	BELLİ BİR GECİME DAVANIMI SAĞLAYAN ISIL İŞLEM SICAKLIĞI	FERRİT-PERLİT YAPISI SAĞLAYAN ISIL İŞLEM SICAKLIĞI	SEMENTASYON İŞLEMİ		ÇEKİRDEK SERTLEŞTİRMESİ		YÜZEY SERTLEŞTİRMESİ		MENEVİŞLEME SICAKLIĞI
							SICAKLIK	SEMENTASYON SONRASI SERTLEŞTİRME YONTEMLERİ	SICAKLIK	SÖĞÜTMA ORTAMI	SICAKLIK	SÖĞÜTMA ORTAMI	
C 10	1,0301												150-180
C 15	1,0401												150-180
Ck 10	1,1121												150-180
Ck 15	1,1141												150-180
15 Cr 3	1,7015												150-180
16 MnCr 5	1,7131												170-210
20 MnCr 5	1,7147												170-210
20 MnCr 4	1,7321												170-210
25 MnCr 4	1,7325												170-210
13 NiCr 6	1,5713												170-210
14 CrNi 14	1,5752												170-210
15 CrNi 6	1,5919												170-210
18 CrNi 8	1,592												170-210
17 CrNiMo 6	1,6587												170-210
21 NiCrMo 2	1,6523												170-210
Cm 15	1,1114												150-180
16 MnCr 5	1,7139												170-210
20 MnCr 5	1,7149												170-210
20 MnCr 4	1,7323												170-210
25 MnCr 4	1,7326												170-210

900-1000, gayeye uygun olarak söğütür.  
850-950 gayeye uygun olarak söğütür, gerekliğinde 500-600°C'de mnevşiletir.  
650-700, hında söğütür.  
890-920, havada söğütür.  
1150-850  
900-950  
SÖĞÜTMA ORTAMLARI: H. HAVA S. SU Y. YAĞ SB. SICAK BANYO 160-250°C. TB. TUZ BANYOSU (380-650°C) SK. SEMENTASYON KÜTUSÜ

## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu araştırmada kullanılan 8620 Sementasyon çelikleri HEMA Dişli Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Çalışmada 6 ısıtılmış 12 ısıtılmış olmak üzere toplam 18 numune kullanılmıştır. Isıl işlem görmüş numuneler farklı çevrimde ve farklı sürelerde gaz sementasyon yöntemiyle hazırlanmıştır.

Ana malzeme olarak kullanılan 8620 sementasyon çeliğinin kimyasal analizi Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana malzeme olarak kullanılan 8620 sementasyon çeliğinin kimyasal analizi (% ağırlık)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,19	0,26	0,81	0,012	0,019	0,54	0,19	0,45

8620 Sementasyon çelikleri gaz sementasyon fırınlarında 925°C'de, semente edilmişlerdir. B numunesi 16 dakika çevrimle (her 16 dakikada bir fırında döndürülerek) 320 dakika ve A numunesi 33 dakika çevrimle (her 33 dakikada bir fırında döndürülerek) 660 dakika sürekli sementasyon fırınında gaz ortamında semente edilmişlerdir. Karbon verici gaz olarak propan kullanılmıştır. Fırında koruyucu atmosfer için endogaz kullanılmıştır. Endogaz jeneratörlerinde 1050°C'de 7/1 (hava/propan) oranında karışımli endogazlar oluşturulmuştur. Bu endogazlar sürekli sementasyon fırınına koruyucu atmosfer olarak parça yüzeyindeki oksitlenmeyi önlemek için verilmektedir. Fırında kalma süresi ise parça da istenen sert doku derinliği aralığına göre değişmektedir. Sementasyon işlemi sonunda yüzeydeki karbon miktarı %0,70'in üzerinde olması gerekmektedir. Bunun nedeni yüzey sertliğinin düşük olmamasıdır.

Sürekli sementasyon fırınlarında sıcaklık 925°C ve CO<sub>2</sub> oranı %0,16 olarak sabittir. Fırından 850°C'de çıkarılan parçalar hemen yağa daldırılmakta ve yağda 4 dakika kadar bekletilerek ısı işleme tabi tutulmaktadır. Yağ olarak martemp 722 E (PETROFER Endüstriyel Yağlar San. ve Tic. A.Ş.) yağı kullanılmıştır. Yağ sıcaklığı 130°C'dir. Sertleştirme öncesi ferrit+perlit olan yapı, sertleştirme sonrası martenzit +%10 kalıntı ostenite dönüşmektedir. Yapıda kalıntı ostenit olması istenmeyen bir durumdur.

HEMA Dişli Fabrikası İngiliz Firması EATON lisansına göre çalışmaktadır. HEMA'da yapılan deneylerde EATON Standartlarındaki mikroyapı filmlerinde kalıntı ostenit oluşumları ile karşılaştırma sonucunda beyaz noktaların (kalıntı ostenit) azlık ve çokluğuna göre filmler incelenerek oranlar belirlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan numunelerdeki kalıntı ostenit miktarı %10'un altında bulunmuştur.

Su verme işleminden sonra parçalar ilaçlı su ile yıkama banyosunda yağlardan temizlenmesi için yıkanmıştır. İlaçlı su, PARCO 8430 F tozu ile suyun karışımından oluşmaktadır. Yıkama işleminin ardından parçalar temperleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Temperleme öncesi malzemenin sertliği ölçülerek buna uygun temperleme sıcaklığı belirlenir. Parçalar ortalama 150 ile 200°C'de temperleme işlemine tabi tutulur. Bu işlemdeki amaç yapıdaki martenzitin homojen olarak dağılmasını sağlamaktır. Ayrıca bu işlemle parçanın stresi alınıp gerilimi de giderilir. Temperleme işlemi öncesi 65 ile 70 HRC'ye yakın olan yüzey sertlikleri istenilen yüzey sertliğine göre temperleme süresi belirlenerek temperleme işlemi yapılmıştır. Temperleme sonrası yüzey sertliğinde ortalama 2-3 Rc azalma olmuştur. Temperleme sıcaklığı ve süresi artırılarak yüzey sertliği istenilen değerlere düşürülebilmektedir.

Temperleme işleminden sonra parça yüzeyinde kalan yağları temizlemek için kumlama işlemi yapılmıştır. Kullanılan kum S 330 çelik granüldür. Sertliği 40 ile 50 HRC arasındadır. Yaklaşık 20 dakika kumlama işlemi yapılarak deney numunelerimiz test için hazır hale getirilmiştir.

## 5.2. Metalografik Çalışmalar

Deneyde kullanılan numuneler sırasıyla 200, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 numaralı silisyum karbür su zımparası ile gerekli metalografik kurallara uyarak her biri çizgiler tek yönde olana kadar zımparalama işlemine tabi tutuldu. Zımparalanmış numuneler mikroyapılarını görmek amacıyla 3µm' lik elmas pasta ile her biri 3 dakika bekletilmek üzere parlatma işlemine tabi tutuldular. Parlatılmış numuneler %2 nital çözeltisi içerisinde de 5 saniye bekletilerek dağlanmışlardır.

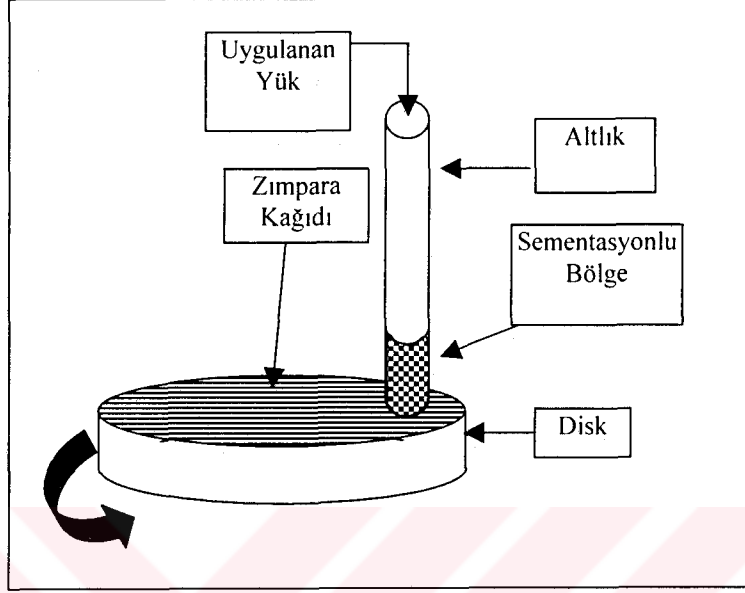
Dağlama işleminden sonra numuneler PRIOR marka x1000 büyütme kapasiteli optik mikroskop ve LEO 435VP marka taramalı elektron mikroskobu ile gerekli büyütmelerde görüntülenmişlerdir.

## 5.3. Sertlik Ölçümleri

Deney numunelerinin sertlik ölçümleri INSTRON WOLPERT marka elektronik sertlik ölçme cihazı ile yapılmıştır. Ölçme işlemi merkezden dışarıya doğru 1 mm aralıklarla 5 kg yük uygulanarak Vickers biriminde farklı bölgelerden yapılmıştır. Sertlik sonuçları 5 adet sertlik ölçümünün ortalaması alınarak elde edilmiştir.

## 5.4. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyleri Şekil 5.1'de şematik olarak gösterilen Pim-disk abrasiv aşınma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aşındırma işlemleri 80 dv/dk hızda dönen bir disk üzerinde ve diskin 110 mm çaplı alanı kullanılarak yapılmıştır. Çevresel hız 0,45 m/sn olarak uygulanmıştır.



Şekil 5.1. Pim-disk (Pin-on disk) abrasiv aşınma test cihazı (11,37)

Numuneler pim-disk abrasiv aşınma test cihazı için 12 mm çapında ve yaklaşık 40 mm uzunluğunda hazırlandılar. Numunelerin hepsi aynı ortamda aynı koşullar altında ve oda sıcaklığında aşınma testine tabi tutuldular. Aşındırıcıların etkisini belirlemek üzere 80 numaralı SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abrasiv aşındırıcı zımpara kağıtları kullanıldı. Ayrıca yükün aşınma davranışına olan etkisini belirlemek amacıyla 10 N, 25 N ve 40 N olmak üzere 3 ayrı yük uygulanarak deneyler yapıldı. Alınan mesafenin aşınma davranışlarına olan etkisini belirlemek amacıyla da 100 m, 200 m ve 300 m yollarda aşınma deneyleri yapıldı.

Numunelerin aşındırma işlemleri her 100 m alınan yolda ve her uygulanan değişik yükte, aşındırıcı zımpara kağıtları değiştirildi. Aşınma deneyinden sonra numuneler her defasında yerinden çıkarılarak temizlenmiş ve 10<sup>-4</sup> g hassasiyetinde bir terazi ile tartılarak aşınma kayıpları, ağırlık kaybı (mg) cinsinden bulunmuştur.

Ağırlık kayıpları bilinen numunelerin aşınma oranları daha önce verilmiş olan,

$$W_a = \Delta G/dMS \quad (\text{mm}^3/\text{Nm}) \quad \text{ile,}$$

aşınma dirençleri ise

$$W_r = 1/W_a \quad (\text{Nm/mm}^3)$$

formülleri ile hesaplanmıştır.

### **5.5. Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskobu İncelemeleri**

Numuneler 3µm' lik elmas pasta ile parlatılıp %2 nital çözeltilisinde dağlandıktan sonra PRIOR marka x1000 büyütmeli optik mikroskopta ve LEO 435VP marka taramalı elektron mikroskobunda gerekli büyütmelerde görüntülenmiştir. Ayrıca aşındırılan numunelerin uygulanan farklı yüklerdeki aşınma görüntüleri ile aşındırıcı zımpara kağıtlarının aşındırma sonucu durumları ve kopan parçacıklar optik mikroskopta ve taramalı elektron mikroskobunda incelendikten sonra görüntülenmiştir.

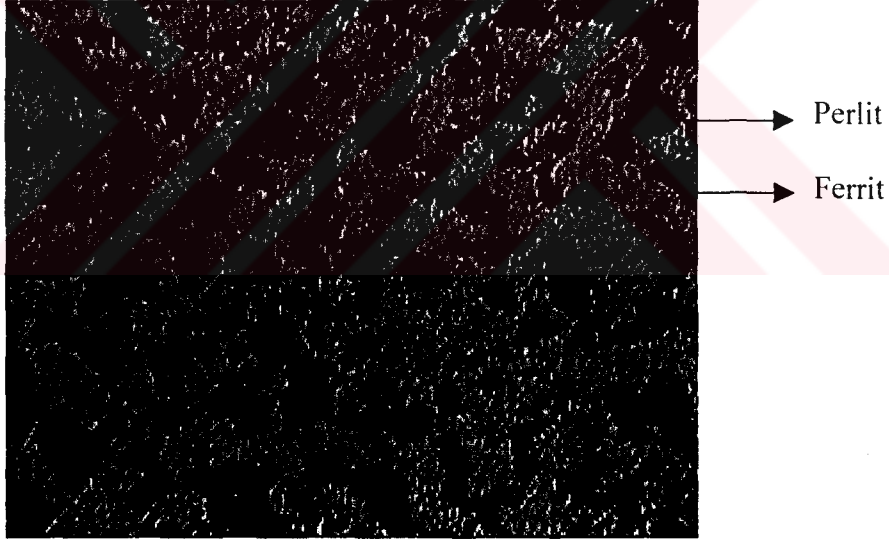


## 6. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

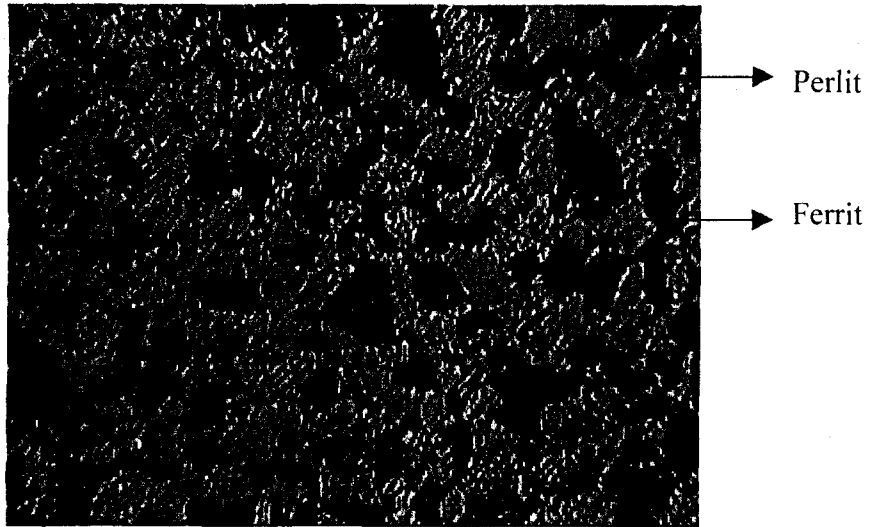
### 6.1. Metalografi Sonuçları

Bu çalışmada farklı ısıt işlemler görmüş numunelerle, ısıt işlem görmemiş malzemeler metalografik incelemeler için hazırlanarak %2 nital dağlayıcı ile dağlanmışlardır. Dağlanmış numuneler taramalı elektron mikroskopunda ve optik mikroskopta incelenmiştir. Sementasyon sonrası yapıdaki değışmelerin incelenmesi için iç yapı görüntüleri alınmış ve bu numunelerin iç yapı incelemeleri aşağıda sırası ile açıklanmıştır.

#### *Isıt işlemsiz malzeme*



Şekil 6.1. Isıt işlemsiz malzemenin x280 büyötmeli ortadan çekilmiş mikroyapı fotoğrafı



Şekil 6.2. Isıl işlemsiz malzemenin x280 büyütme kenara yakın çekilmiş mikroyapı fotoğrafı

Yukarıdaki Şekil 6.1 ve 6.2’de ısıl işlemsiz malzemenin optik mikroskopla 280 büyütmede çekilmiş iki adet mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde beyaz yerlerin ferrit, siyah yerlerin ise perlit olduğu görülmektedir. Parçada ferrit+perlit yapısı homojen olarak dağılmışlardır. Yani parçadaki ferrit+perlit yapısı uygundur. Bantlaşma yoktur. Bantlaşma da perlit tanecikleri belli bir sıra dahilinde dizilirler (29,38).

Korkut (1991)’de yapmış olduğu deney sonucuna göre şöyle demektedir:

“Bir çok araştırmacının da ortaya koyduğu gibi aşınma davranışının sertlikle ilgisinin olduğu kadar malzemenin metalografik yapıları ile de yakından ilgilidir” (Korkut, 1991, s.63) (39).

Malzemelerin yüzeylerinin durumları değiştirilerek korozyona, çarpmaya ya da abrasiv aşınmaya karşı direnci artabilir (14).

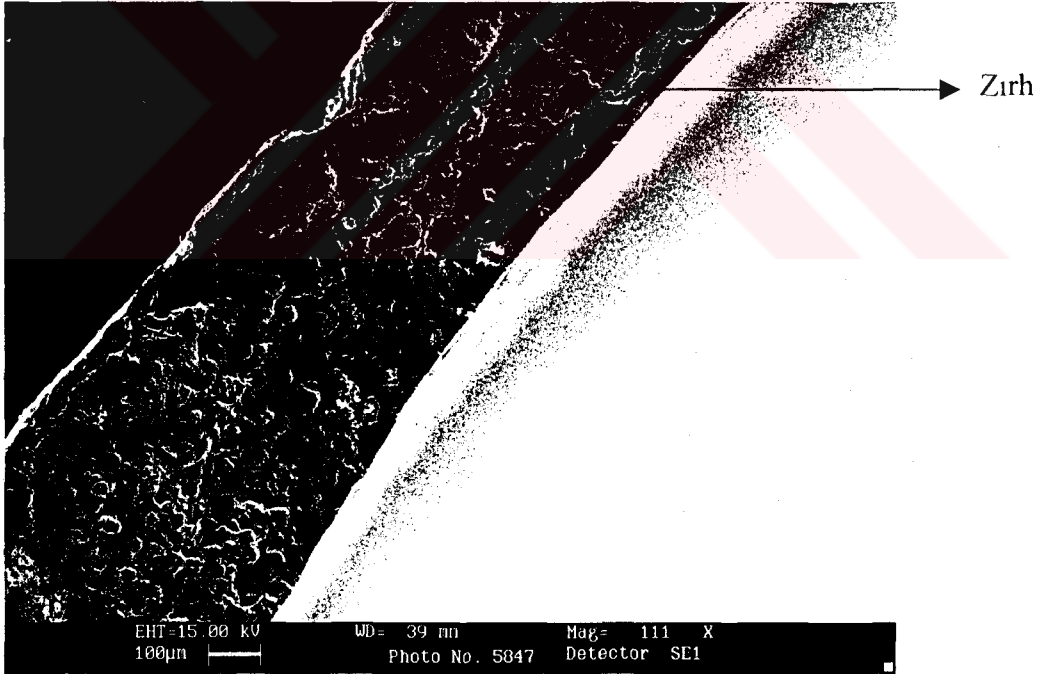
Pek çok araştırmacı (Erhazar, Şanlı, Oygur) yapmış oldukları çalışmalarda sementasyon çeliklerine uygulanan ısıl işlem sonucunda “ostenit tane büyüklüğünün küçük kaldığını tespit etmişlerdir”. Tane büyüklükleri çeliklerin dayanıklılığını tayin

etmekte ve küçük taneli çelikler daha dayanıklı olması nedeni ile de endüstride daha çok tercih edilmektedir.

### *Isıl işlem görmüş A numuneleri*

Bu numuneler 925°C'de gaz sementasyon metoduna tabi tutularak 33 dakika çevrimle toplam 660 dakika sürekli sementasyon fırınında kalmıştır. Fırından çıkarılan numunelere uygulanan işlemler Bölüm 5.1'de detaylı olarak anlatılmıştır. Numunenin sementasyon sonrası sementasyon derinliği 1,67 mm (513 VHN) olarak HEMA Dişli Fabrikası'nda belirlenmiştir.

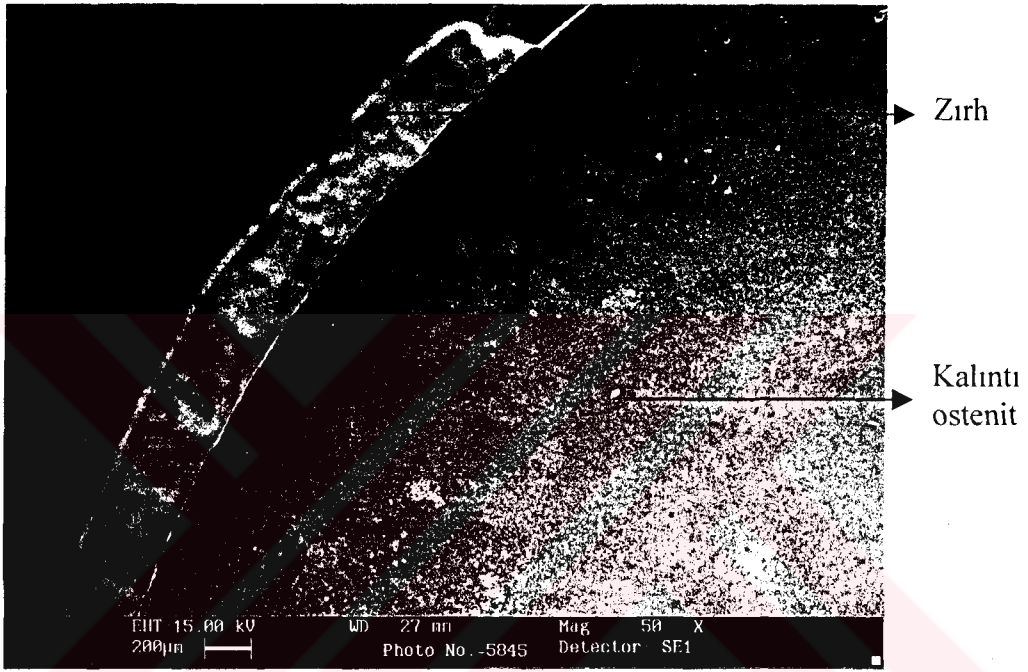
Numunenin dış kenarından (zırlı bölge), kenara yakın bölgeden ve ortadan olmak üzere 3 ayrı bölgeden görüntüsü alınarak mikroyapıdaki değişimler incelenmiştir.



Şekil 6.3. Isıl işlem görmüş A numunesinin x111 büyütme kenardan çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM)

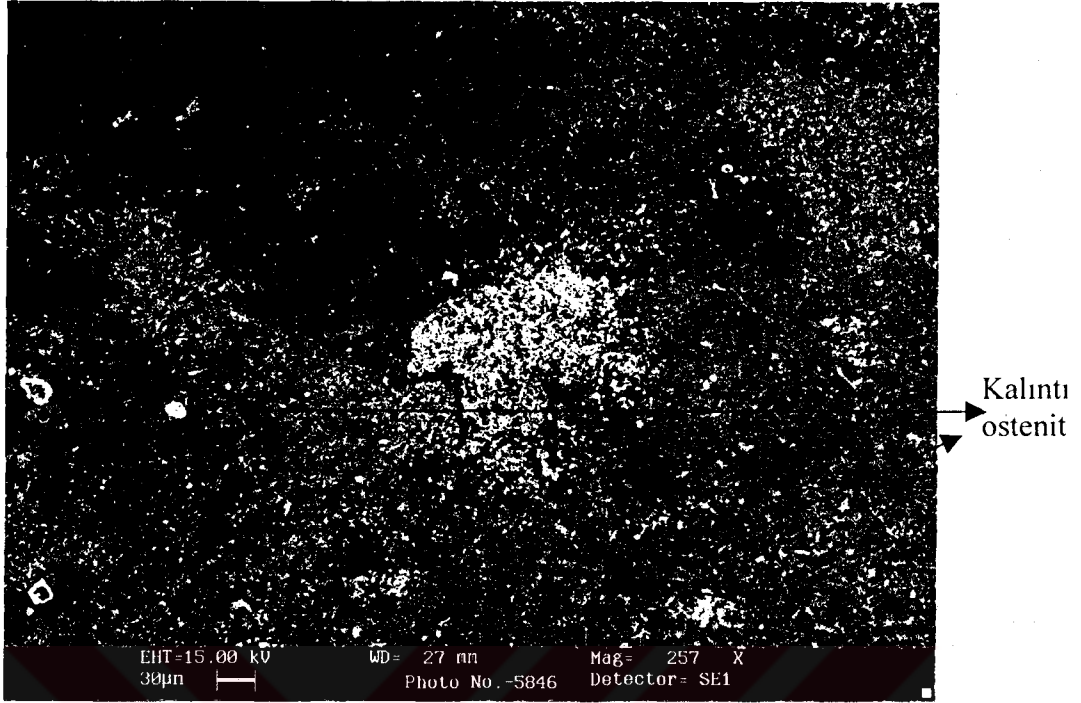
Şekil 6.3'deki ısıl işlem görmüş A numunesinin kenarından x111 büyütme ile çekilmiş mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde kenardaki siyah olan yer (zırlı bölge)

sementasyon derinliğinin olduğu yerdir. Bu bölge dağlanmış yerdir ve martenzittir. Yani mikroyapıda görüldüğü gibi kenarda temperlenmiş martenzit+çok az oranda ~%5 kalıntı ostenit vardır. Siyah renkli olan yerler martenzit, açık renkli olan yerdeki küçük beyaz noktalar (noktasal olan yerler) kalıntı ostenittir. Yüzeşte karbon oranının minimum %0,75 maksimum %1 olması istenir.



Şekil 6.4. Isıl işlem görmüş A numunesinin x50 büyütme kenara yakın yerden çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM)

Şekil 6.4'deki ısı işlem görmüş A numunesinin kenara yakın yerden çekilmiş mikroyapısı incelendiğinde karbon oranının azalması ile birlikte kenardan içeriye doğru gidildikçe ince taneli ıslah edilmiş bir yapının oluşumu görülmektedir. Kenardan içeriye doğru gittikçe beynit yapı+İğnemsî ferrit olur. İğnemsî ferrit çok az orandadır. Serbest ferrit bulunmaz ve bulunması da istenmez.



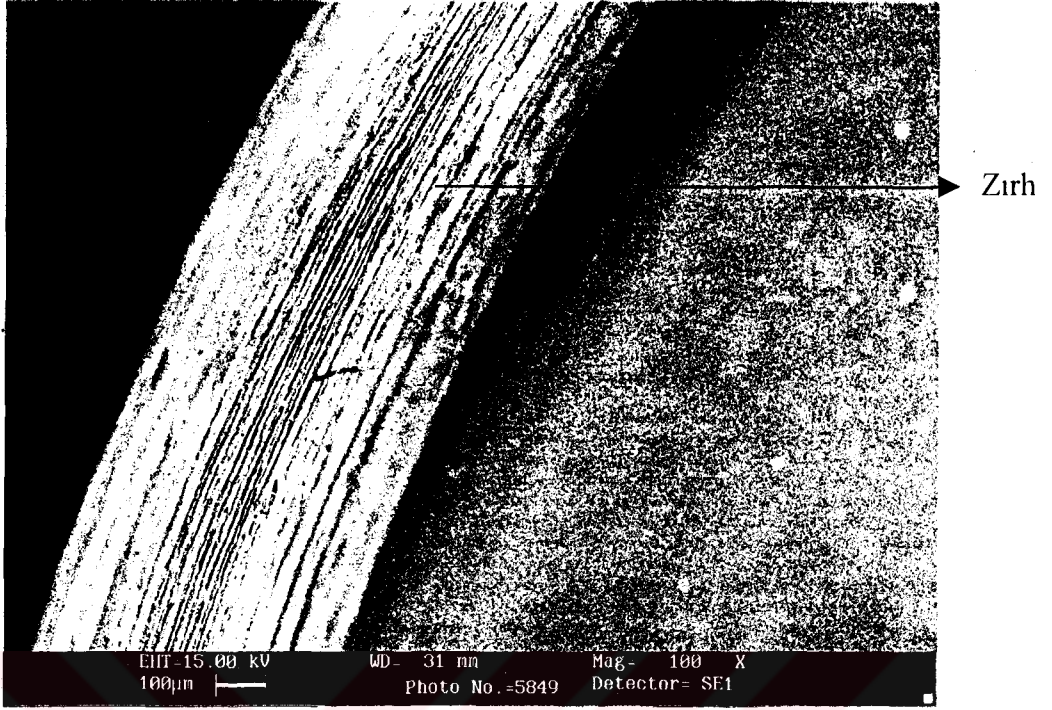
Şekil 6.5. Isıl işlem görmüş x257 büyütme A numunesinin ortasından çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM)

Şekil 6.5'deki ısıl işlem görmüş A numunesinin ortasından çekilmiş mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde iç yapının ferrite doğru arttığı ve yüksek karbonlu martenzitten azaldığı görülmektedir. Çekirdekte ince taneli beyazlık iç yapı görülmektedir (29,38).

#### ***Isıl işlem görmüş B numuneleri***

Bu numuneler 925°C'de gaz sementasyon metoduna tabi tutularak 16 dakika çevrimle toplam 320 dakika sürekli sementasyon fırınında kalmıştır. Fırından çıkarılan numunelere uygulanan işlemler Bölüm 5.1'de detaylı olarak anlatılmıştır. Numunenin sementasyon sonrası sementasyon derinliği 0,86 mm (513 VHN) olarak HEMA Dişli Fabrikası'nda belirlenmiştir.

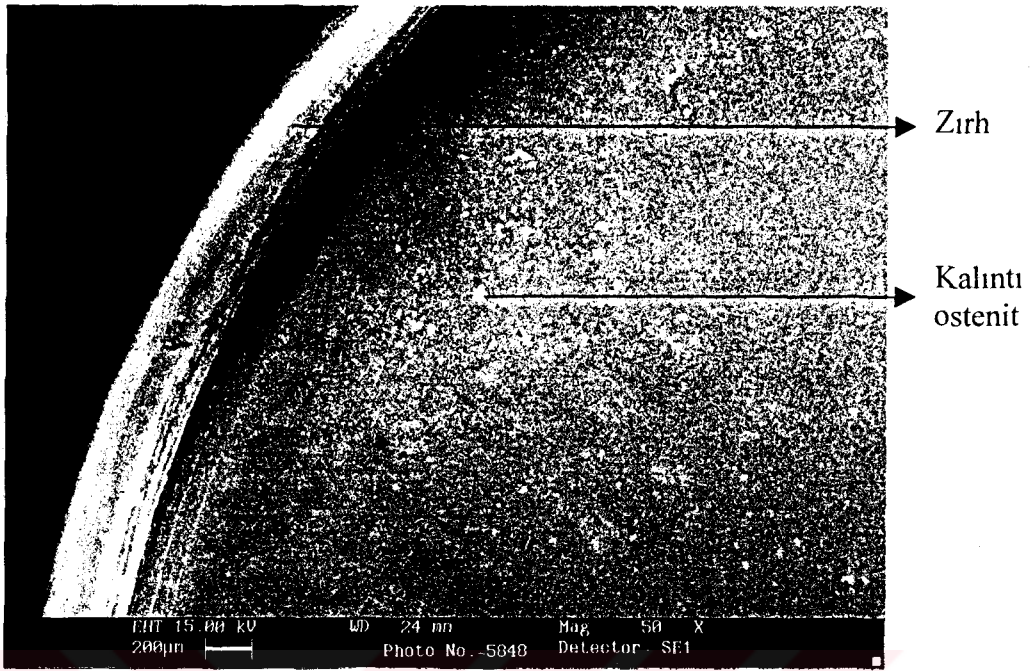
Numunenin dış kenarından (zırlı bölge), kenara yakın bölgeden ve ortadan olmak üzere 3 ayrı bölgeden görüntüsü alınarak mikroyapıdaki değişimler incelenmiştir.



Şekil 6.6. Isıl işlem görmüş B numunesinin x100 büyütme kenardan çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM)

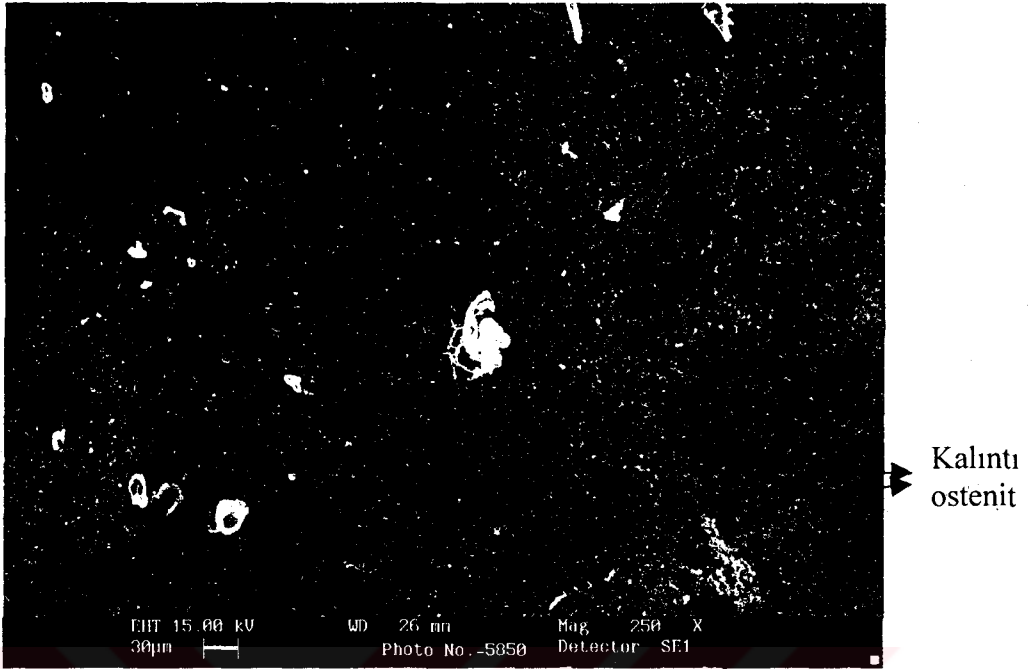
Şekil 6.6'daki ısıl işlem görmüş B numunesinin kenarından x100 büyütme ile çekilmiş mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde kenardaki zırh olarak gösterilen yer (zırhlı bölge) sementasyon derinliğinin olduğu yerdir. Bu bölge dağlanmış yerdur ve martenzittir. Yani mikroyapıda görüldüğü gibi kenarda temperlenmiş martenzit+çok az oranda ~%5 kalıntı ostenit vardır. Zırh olarak gösterilen yerler martenzit, noktasal olarak görülenler (küçük beyaz noktalar) kalıntı ostenittir. Yüzeyde karbon oranının minimum %0,75 maksimum %1 olması istenir.





Şekil 6.7. Isıl işlem görmüş B numunesinin x50 büyütme kenara yakın yerden çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM)

Şekil 6.7'deki ısıl işlem görmüş B numunesinin kenara yakın yerden çekilmiş mikroyapısı incelendiğinde karbon oranının azalması ile birlikte kenardan içeriye doğru gidildikçe ince taneli ıslah edilmiş bir yapının oluşumu görülmektedir. Kenardan içeriye doğru gittikçe beynit yapı+İğnemsî ferrit olur. İğnemsî ferrit çok az orandadır. Serbest ferrit bulunmaz ve bulunması da istenmez.



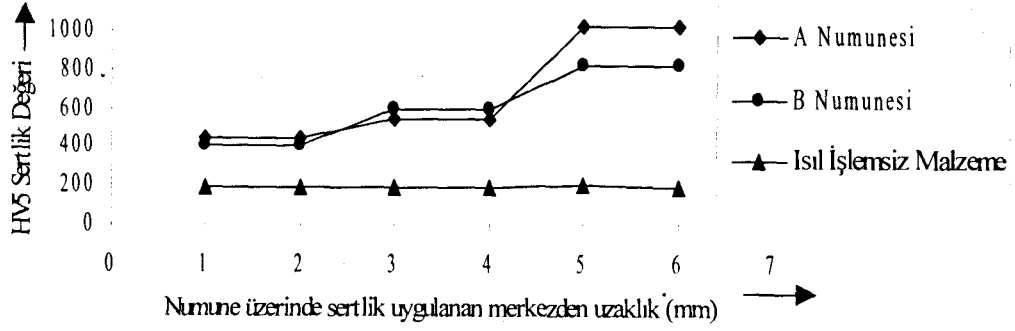
Şekil 6.8. Isıl işlem görmüş x250 büyütme B numunesinin ortasından çekilmiş mikroyapı fotoğrafı (SEM)

Şekil 6.8'deki ısıl işlem görmüş B numunesinin ortasından çekilmiş mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde iç yapıda ferrit oranının arttığı ve martenzit oranının azaldığı görülmektedir. Çekirdekte ince taneli beynitik iç yapı görülmektedir (29,38).

## 6.2. Sertlik Ölçümleri

Deney malzemelerinin sertlik ölçüm değerleri merkezden başlayarak 1 mm aralıklarla 5 kg yük uygulanmak suretiyle INSTRON WOLPERT marka sertlik ölçme cihazında ölçülmüştür. Deney malzemelerinin ısıl işlem görmeden önce ve ısıl işlem gördükten sonraki sertlik ölçüm değerleri aşağıdaki şekilde verilmiştir. Değerler, numunelerin merkezinden dışına doğru alınarak verilmiştir.



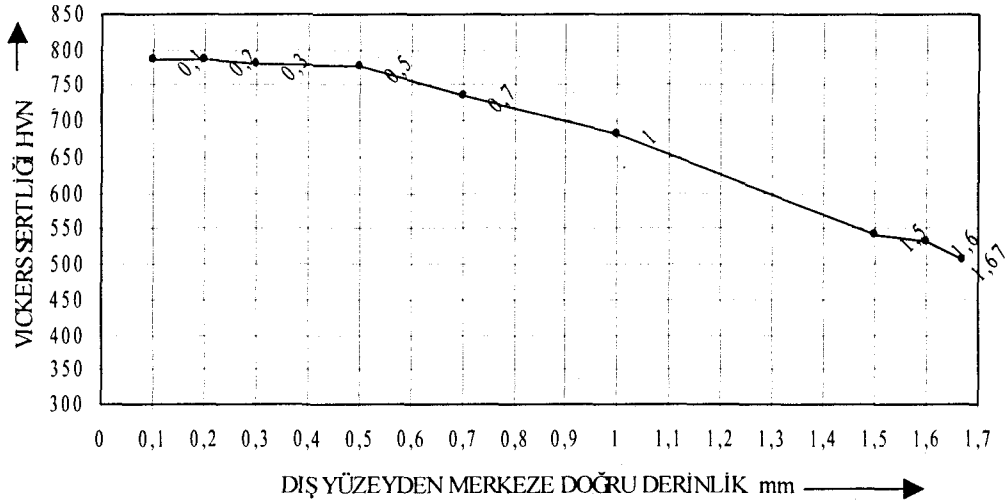


Şekil 6.9. Deney malzemelerinin sertlik değerleri

Şekil 6.9’da da görüldüğü gibi ısıl işlemsiz malzemenin sertliğinin 195 HV, A numunesinin yüzeyde 1020 HV, çekirdeğinde ise 445 HV, B numunesinin yüzeyde 820 HV, çekirdeğinde 410 HV olduğu görülmektedir.

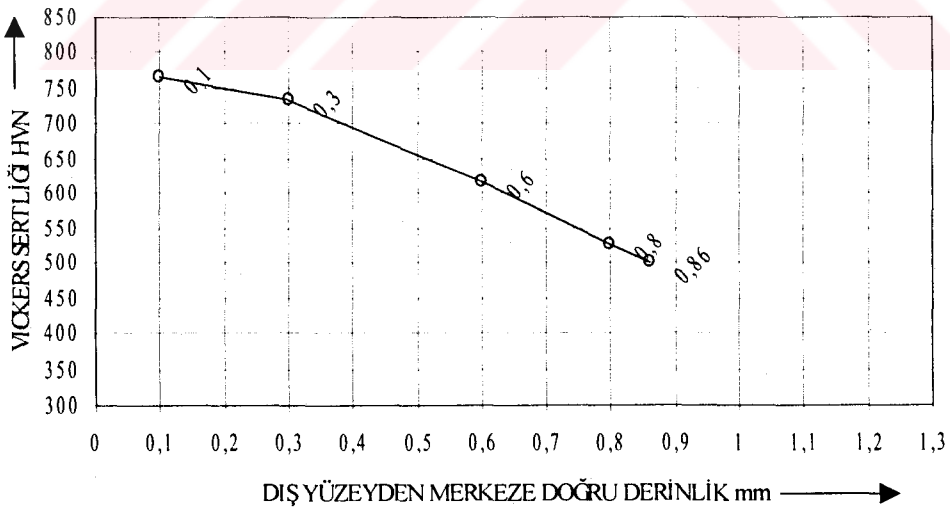
Sertlik değerlerinden de anlaşıldığı gibi semente edilmiş malzemelerin merkezine doğru gittikçe sertliğin azaldığı görülmüştür. Metalografik incelemelerden de anlaşılacağı gibi yapılan ısıl işlemlerle ana matrisin martenzitik bir yapıya kavuşturulmuş olması sertlik değerlerinin artışında önemli faktör olmuştur. Ayrıca farklı sementasyon zamanlarının sementasyon derinliğini etkilediği de görülmektedir.

**A numunesi sert doku derinliği**



Şekil 6.10. A numunesi sert doku derinliği (dış yüzeyden merkeze doğru)

**B numunesi sert doku derinliği**



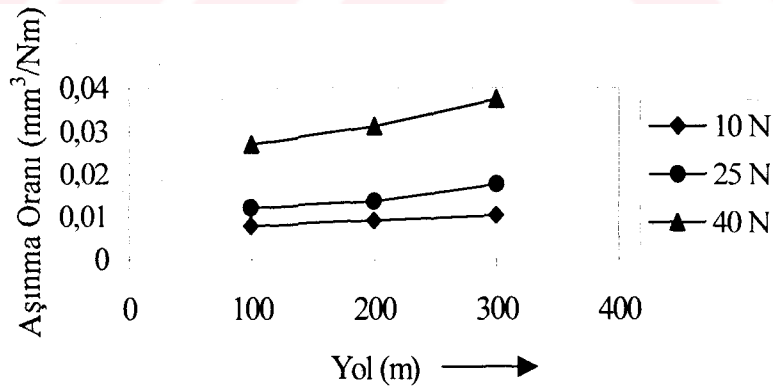
Şekil 6.11. B numunesi sert doku derinliği (dış yüzeyden merkeze doğru)

Yukarıdaki sementasyon derinlik değerleri HEMA Dişli Fabrika'sında test edilerek (513 VHN' de) elde edilmiş değerlerdir.

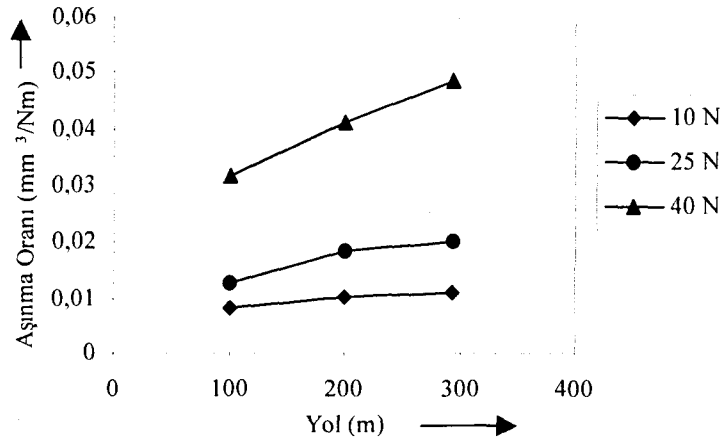
Şekil 6.10'da A numunesi sementasyon derinliğinin 1,67 mm, Şekil 6.11'de B numunesinin ise sementasyon derinliğinin 0,86 mm olduğu görülmektedir.

### 6.3. Aşınma Denev Sonuçları

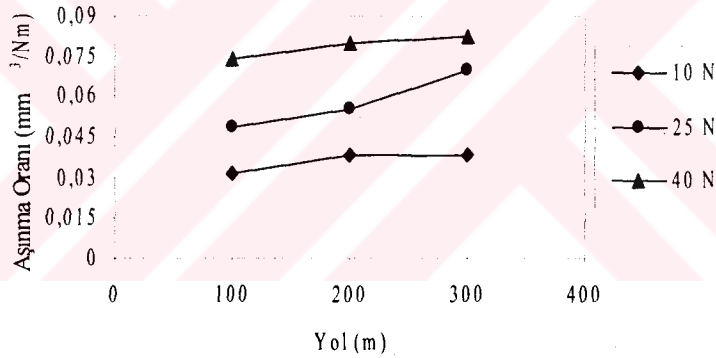
Pim-disk aşınma deneylerinde üç farklı ağırlık (10, 25, 40 N) ve 80 numara  $Al_2O_3$  ile SiC aşındırıcılar kullanılmıştır. Deneyler aynı şartlarda aynı koşullarda ve aynı oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelerin aşınma oranı ve aşınma direnci daha önce Bölüm 2.2.1'de verilen bağıntılar kullanılarak bulunmuştur. Pim-disk ile yapılan aynı şartlarda ve oda sıcaklığındaki aşınma deneylerinde, aşınma kayıpları aşağıda Şekil 6.12'den 6.23'e kadar verilmiştir. Aşınma deneylerinde SiC aşındırıcı kağıtla yapılan deneylerdeki aşınma kayıpları,  $Al_2O_3$  aşındırıcı kağıtlara göre daha fazladır. Bunun nedeni SiC aşındırıcı kağıtların  $Al_2O_3$  aşındırıcı kağıtlardan daha sert olmasıdır. Bölüm 3.2.2'de de bahsedildiği gibi aşındırıcı sertliğinin aşınma faktörüne önemli bir etkisi vardır. Genel olarak yüksek sertliğe sahip aşındırıcı malzemeler daha düşük aşındırıcı sertliğe sahip malzemelerden daha iyi bir aşındırıcı özellik gösterirler.



Şekil 6.12. A numunesinin  $Al_2O_3$  zımpara ile farklı mesafelerde aşınma durumu



Şekil 6.13. B numunesinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara ile farklı mesafelerde aşınma durumu

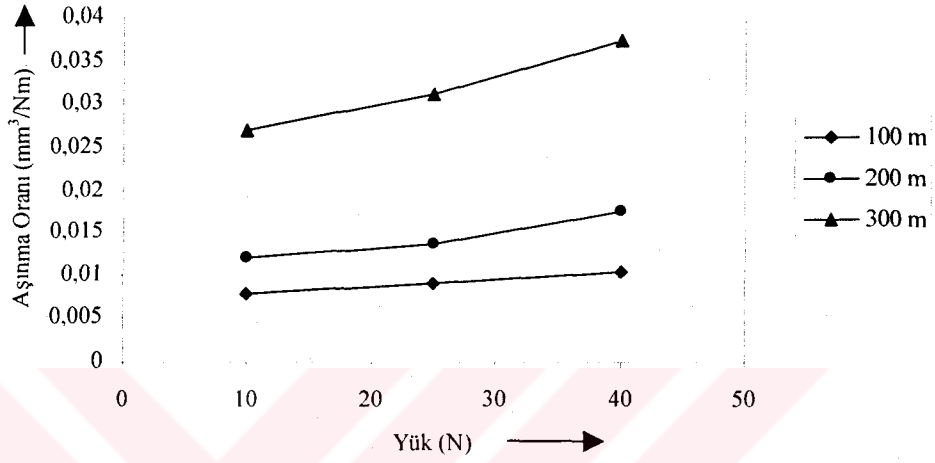


Şekil 6.14. Isıl işlemsiz malzemenin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara ile farklı mesafelerde aşınma durumu

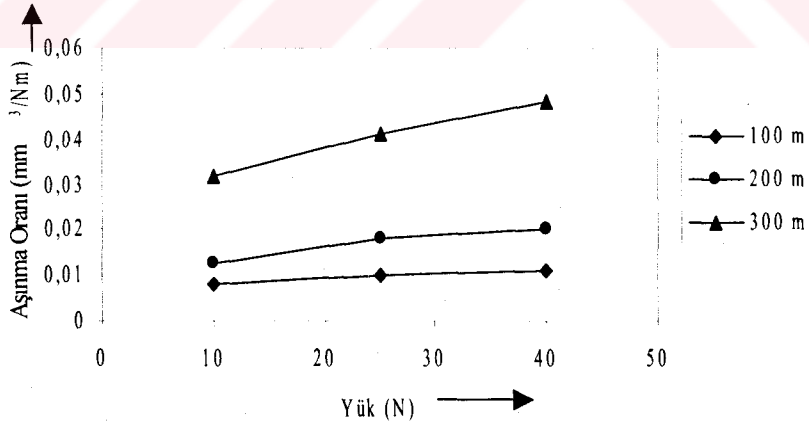
Modi, Mondal, Prasad, Singh ve Khaira (2003)'de ortak yapmış oldukları çalışmanın sonucunda "alınan yola bağlı olarak aşınma oranında değişimin olduğunu, önce yüksek olan aşınma oranının gidilen mesafenin azalmasıyla birlikte azaldığını" belirtmişlerdir (40).

Yukarıdaki Şekil 6.12-6.13-6.14'den de anlaşıldığı gibi mesafe arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Ayrıca ısıl işlemsiz malzemenin en fazla aşındığı görülmektedir. Daha sonra B numunesinin aşındığı ve en az da A numunesinin aşındığı görülmektedir. Bunun nedeni A numunesinin yüzey sertliğinin ve

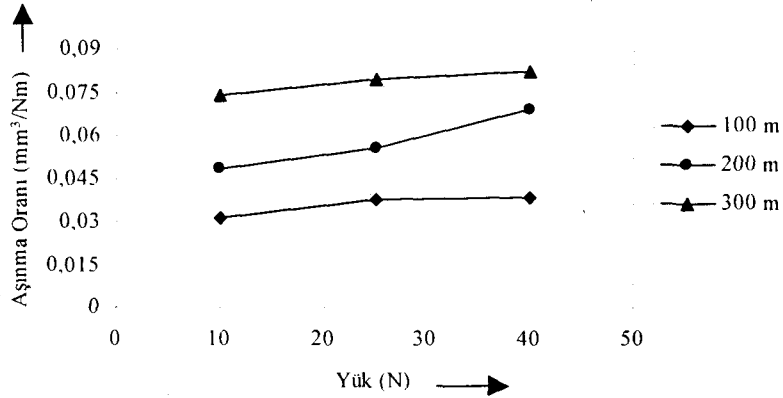
sementasyon derinliğinin fazla olmasıdır. Isıl işlem görmemiş malzeme ise en yumuşak olduğundan aşınma daha fazla gerçekleşmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi aşınma mesafesi artıkça aşınma oranı da artmaktadır.



Şekil 6.15. A numunesinin  $Al_2O_3$  zımpara ile farklı yüklerde aşınma durumu



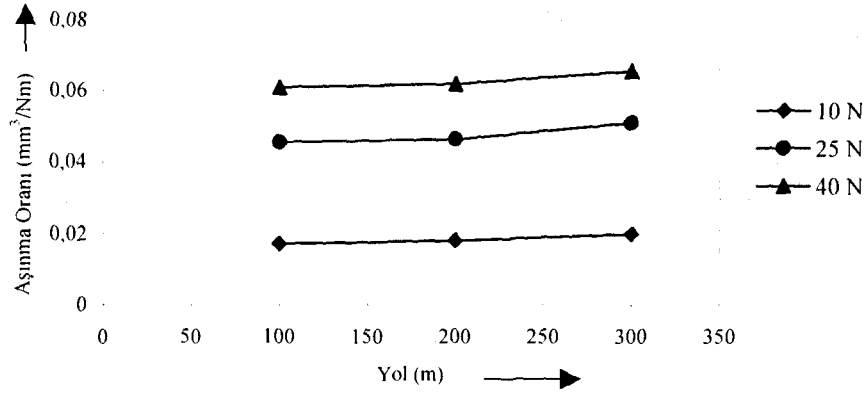
Şekil 6.16. B numunesinin  $Al_2O_3$  zımpara ile farklı yüklerde aşınma durumu



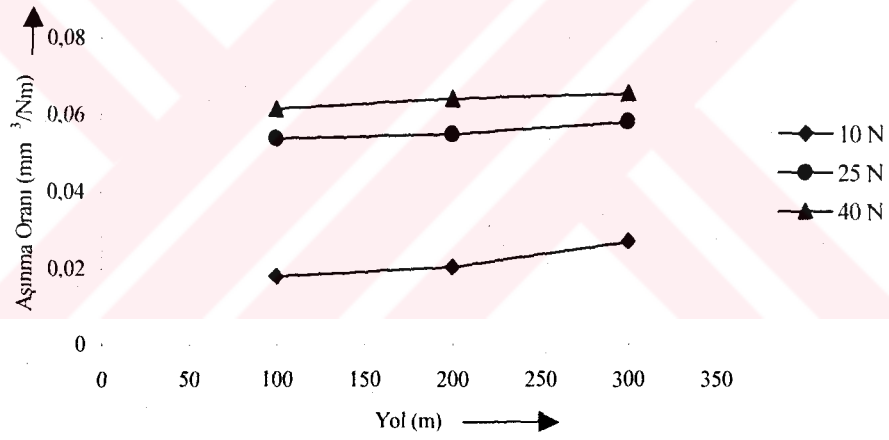
Şekil 6.17. Isıl işlemsiz malzemenin  $Al_2O_3$  zımpara ile farklı yüklerde aşınma durumu

Modi, Mondal, Prasad, Singh ve Khaira (2003)'de ortak yapmış oldukları çalışmanın sonucunda “Yüke bağlı olarak aşınma oranında değişmelerin olduğunu, aşınma oranının yükün artması ile arttığını azalması ile de azaldığını” belirtmişlerdir (40).

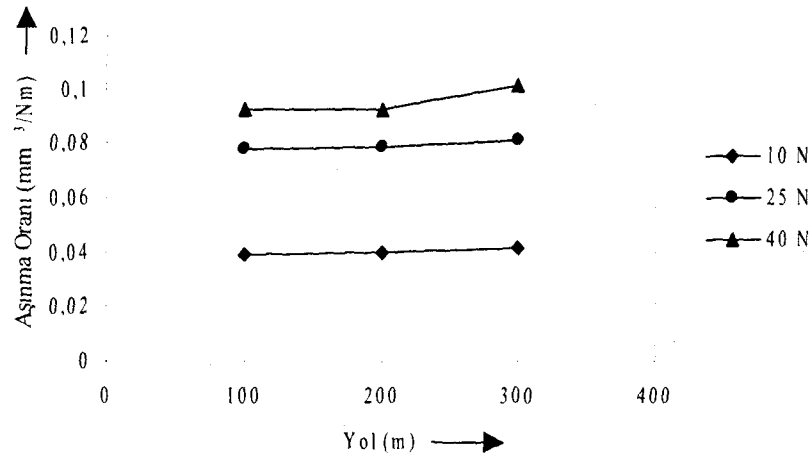
Yukarıdaki Şekil 6.15-6.16 ve 6.17'den de anlaşılacağı gibi birim yüzeye uygulanan kuvvetin artması ile aşınma da artmaktadır. Hacimsel aşınma yük ile doğrusal olarak artmaktadır. Aşınma esnasında uygulanan kuvvetin büyüklüğünün aşınma mekanizmasına ve aşınmanın miktarına oldukça önemli etkisi mevcuttur. Uygulanan kuvvetlerin miktarı arttıkça aşındırıcı partikül başına aşınma hızının arttığı da görülmektedir. En fazla aşınma ısıl işlemsiz malzeme de olmakla birlikte en az aşınma A numunesinde olmaktadır. Bu da aşınan malzemenin sertliğinden kaynaklanmaktadır. A numunesi en sert olduğundan dolayı en az aşınma A numunesinde olmaktadır.



Şekil 6.18. A numunesinin SiC zımpara ile farklı mesafelerde aşınma durumu

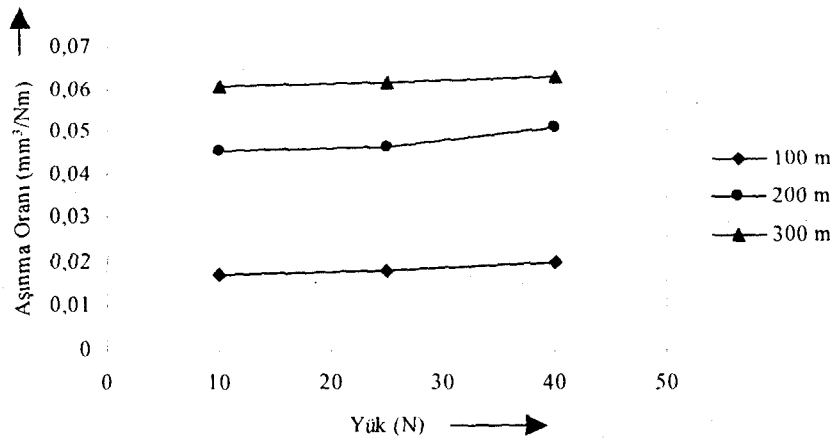


Şekil 6.19. B numunesinin SiC zımpara ile farklı mesafelerde aşınma durumu



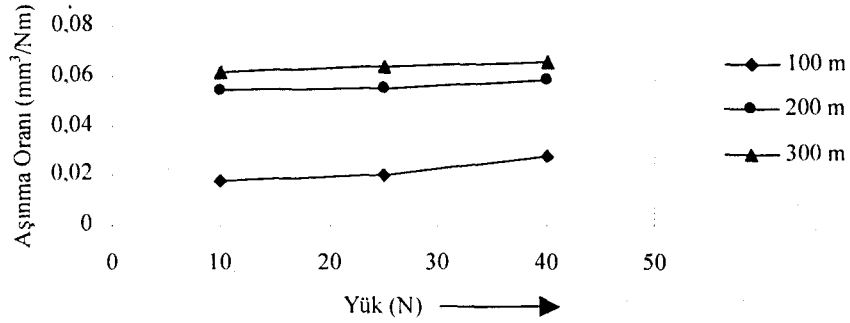
Şekil 6.20 Isıl işlemsiz malzemenin SiC zımpara ile farklı mesafelerde aşınma durumu

Yukarıdaki Şekil 6.18-6.19-6.20'den de anlaşılacağı gibi aşındırıcı malzemenin sertliğinin aşınma oranına büyük bir etkisi vardır. Aşındırıcı malzemenin sertliği arttıkça aşınan malzeme kaybı da orantılı olarak artmaktadır. Aşındırıcının sertliği aşınma hızını da arttıracığından aşınma miktarı da artacaktır. Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi yola bağlı olarak aşındırıcı malzemenin sertliğinden dolayı aşınma miktarı da fazladır. SiC aşındırıcı zımpara kağıtları  $Al_2O_3$  aşındırıcı zımpara kağıtlarından daha sert olduğundan aşınma miktarlarının da fazla olduğu görülmektedir.

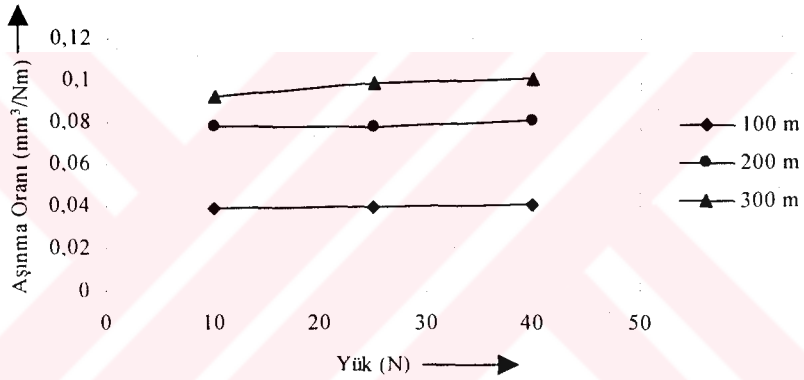


Şekil 6.21. A numunesinin SiC zımpara ile farklı yüklerde aşınma durumu



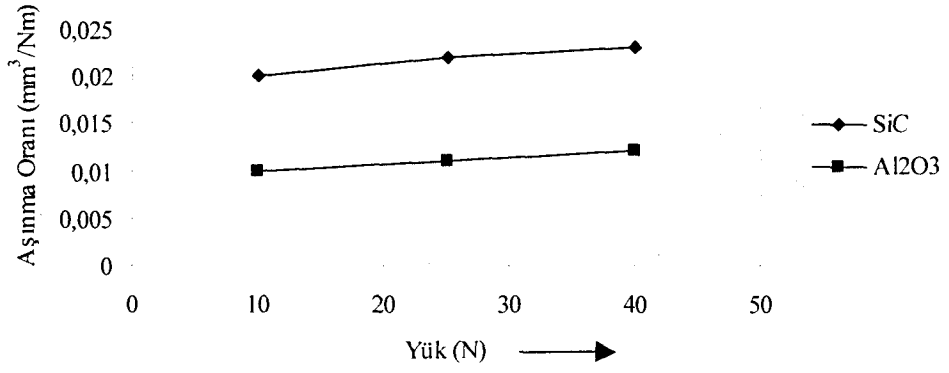


Şekil 6.22. B numunesinin SiC zımpara ile farklı yüklerde aşınma durumu

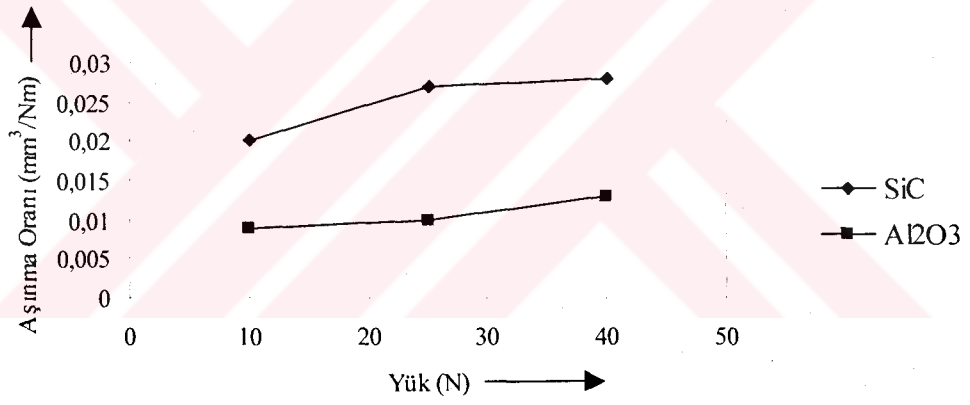


Şekil 6.23. Isıl işlemsiz malzemenin SiC zımpara ile farklı yüklerde aşınma durumu

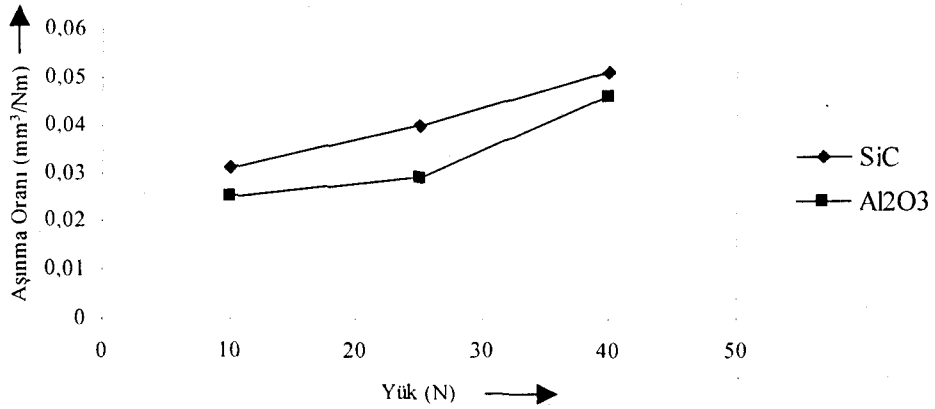
Yukarıdaki Şekil 6.21-6.22-6.23'ten de anlaşılacağı gibi aşındırıcı malzemenin sertliğinin aşınma oranına büyük bir etkisi vardır. Aşındırıcı malzemenin sertliği arttıkça aşınan malzeme kaybı da orantılı olarak artmaktadır. Aşındırıcının sertliği aşınma hızını da arttıracığından aşınma miktarı da artacaktır. Yukarıdaki şekillerde görüldüğü gibi yüke bağlı olarak aşındırıcı malzemenin sertliğinden dolayı aşınma miktarı da fazladır. SiC aşındırıcı zımpara kağıtları  $Al_2O_3$  aşındırıcı zımpara kağıtlarından daha sert olduğundan aşınma miktarlarının da fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 6.24. A numunesinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC zımparalarla aşınma durumu



Şekil 6.25. B numunesinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC zımparalarla aşınma durumu



Şekil 6.26. Isıl işlemsiz malzemenin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SiC zımparalarla aşınma durumu

Pek çok araştırmacı (İzciler, Demirci, Karataşoğlu, Kılınc, Richardson) yapmış oldukları aşınma deneylerinde yükün artışı ile birlikte aşınmanın da doğrusal olarak arttığını bulmuşlardır.

Yukarıdaki Şekil 6.24-6.25-6.26'dan da anlaşılacağı gibi aşındırıcı malzemenin sertliğinin aşınma oranına büyük bir etkisi vardır. Genellikle aşındırıcı malzemenin sertliği arttıkça aşınan malzeme kaybı da orantılı olarak artmaktadır. Aşındırıcının sertliği aşınma hızını arttırdığından aşınma miktarı da artmaktadır. Yaptığımız deneylerde aşındırıcı malzemenin sertliğinden dolayı aşınma oranının arttığı gözlenmiştir. SiC aşındırıcı zımpara kağıtları Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı zımpara kağıtlarından daha sert olduğundan aşınma miktarlarının da fazla olduğu görülmektedir.

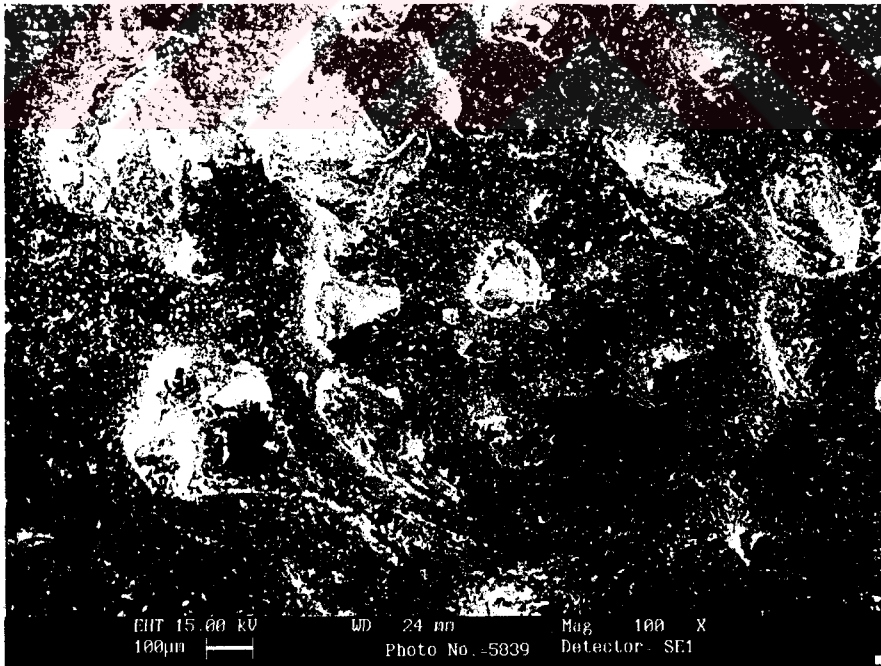
Isıl işlem görmüş A numunesindeki aşınma oranının B numunesine göre daha az olduğu Şekil 6.24 ve 6.25'te görülmektedir. Yapılan deneylerde en fazla aşınma oranının ısı işlemsiz malzeme de olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 6.26). Bunun nedeni ise A numunesinin B numunesine göre yüzey sertliğinin ve sementasyon derinliğinin fazla olmasıdır. Yukarıdaki deney sonuçlarından da anlaşılacağı gibi malzeme yüzeyinin sertliğinin aşınma direncine olan etkisi bir kez daha ispatlanmış olmaktadır. Isıl işlem görmüş sementasyon çeliklerinin yüzeylerinin sertleştirilmesi ile aşınmaya karşı dirençlerinin artırıldığı da ispatlanmıştır.

#### 6.4. Aşındırıcıların ve Aşınmış Yüzeylerin Optik Mikroskop ve Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) İncelemeleri

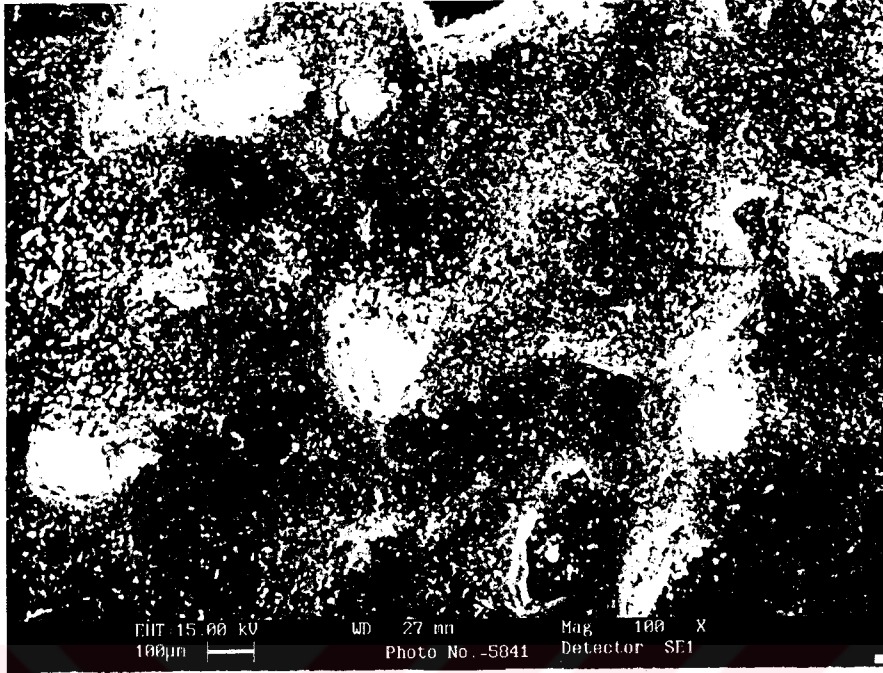
Deneylerde kullanılan numunelerin aşındırılmış yüzeyleri, abrasiv aşındırıcı zımpara ve abrasiv taneciklerin aşındırma işleminden sonraki durumları optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobunda incelenerek fotoğrafları çekilmiştir.

Pim-disk cihazındaki abrasiv aşınma deneylerinde uygulanan yükler 10, 25, 40 N olmak üzere üç ayrı yük altında ve “80” numara  $Al_2O_3$  ile SiC abrasiv aşındırma zımpara kağıtları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

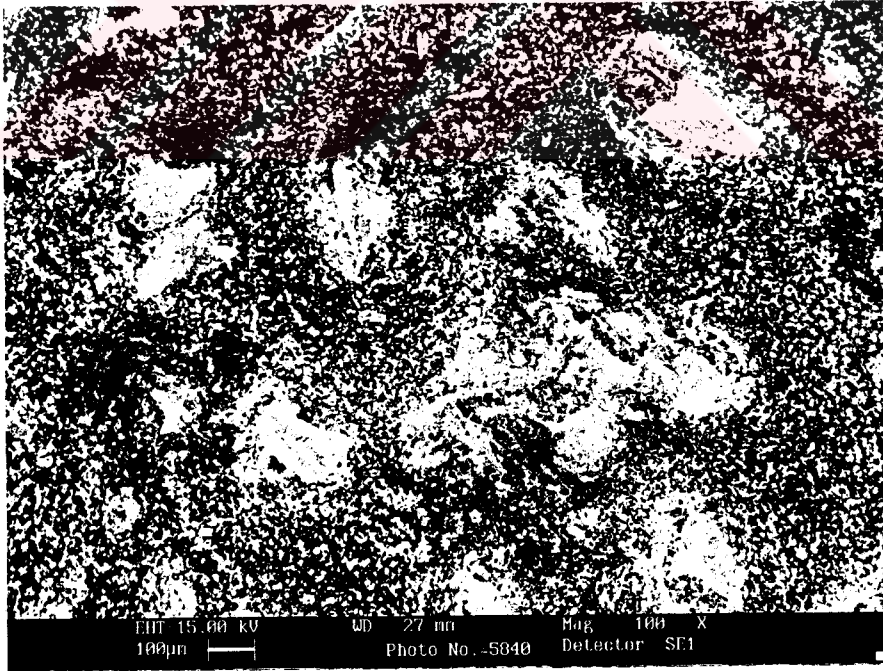
Pim-disk cihazında  $Al_2O_3$  ve SiC aşındırıcı zımpara kağıtları kullanılarak değişik yükler altında yapılmış aşınma deneyleri sonucunda abrasiv aşındırıcı zımparalarda meydana gelen değişikliklerin taramalı elektron mikroskobunda fotoğrafları çekilmiştir.



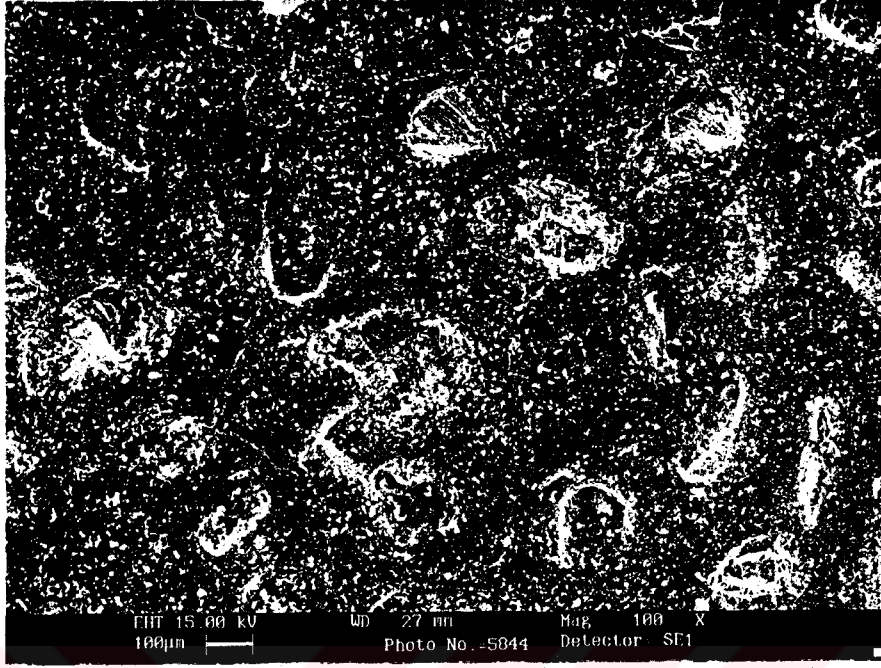
Şekil 6.27. 10 N yük altında aşındırılmış  $Al_2O_3$  zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü



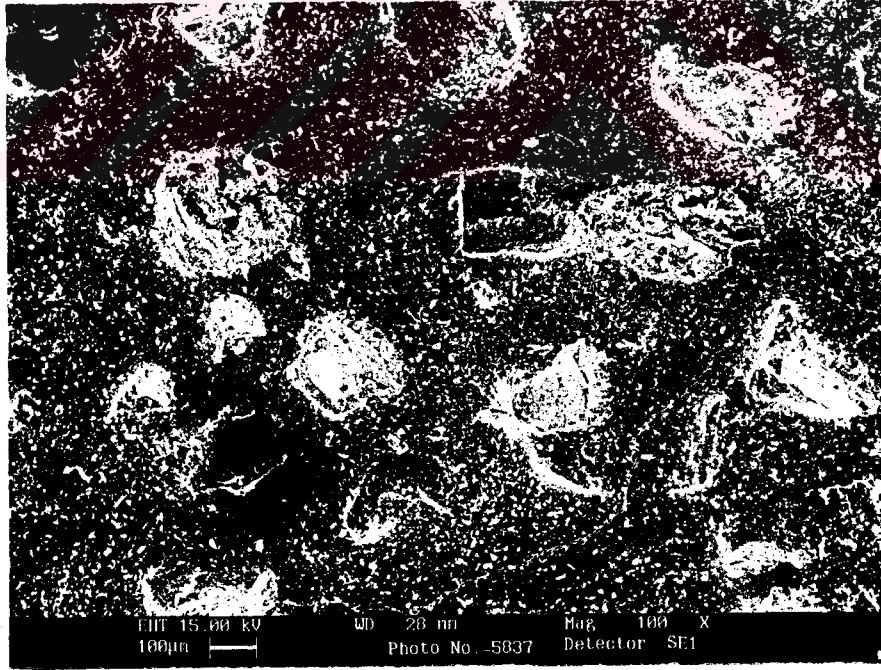
Şekil 6.28. 25 N yük altında aşındırılmış Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü



Şekil 6.29. 40 N yük altında aşındırılmış Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü

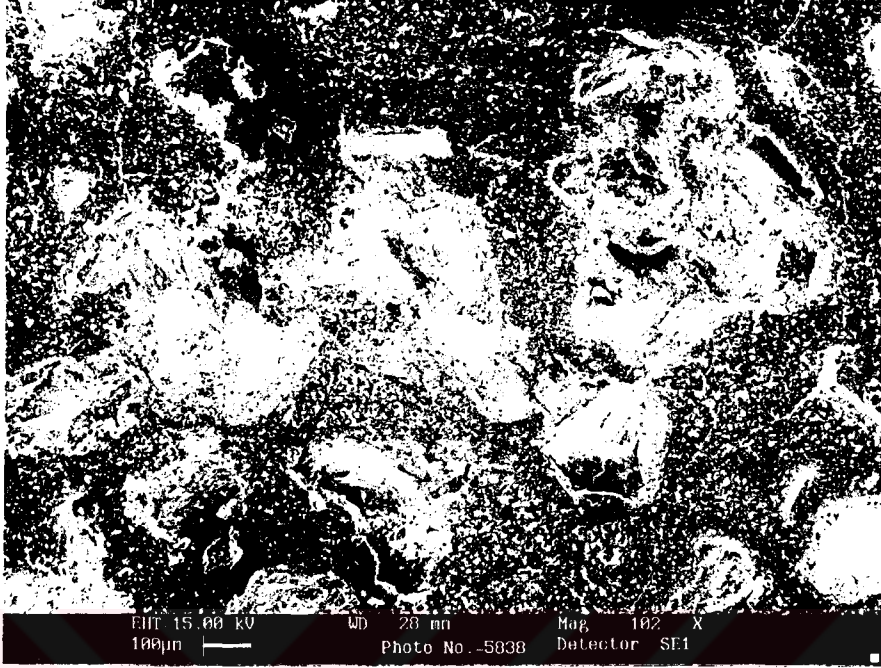


Şekil 6.31. 10 N yük altında aşındırılmış SiC zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü

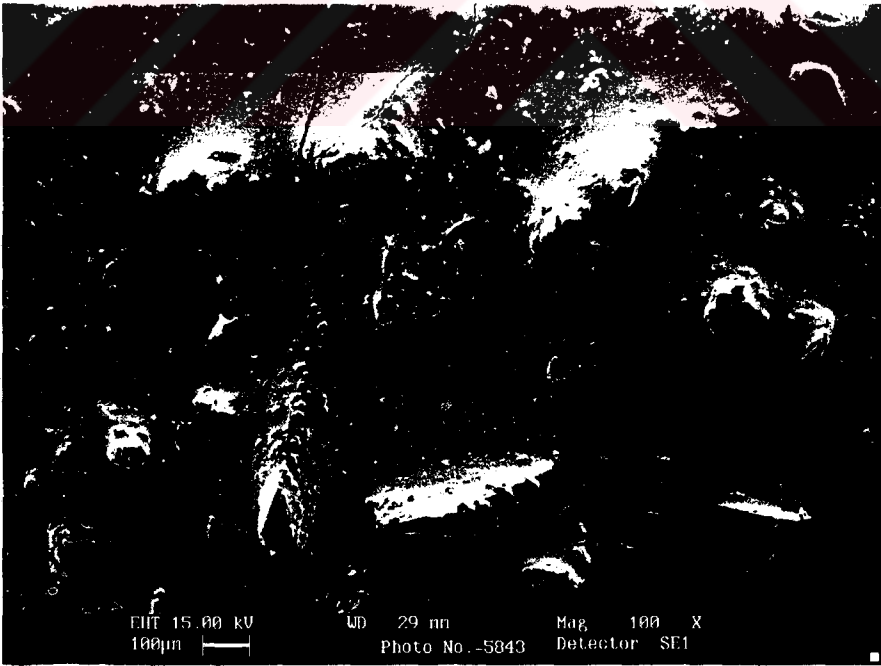


Şekil 6.30. 25 N yük altında aşındırılmış SiC zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü

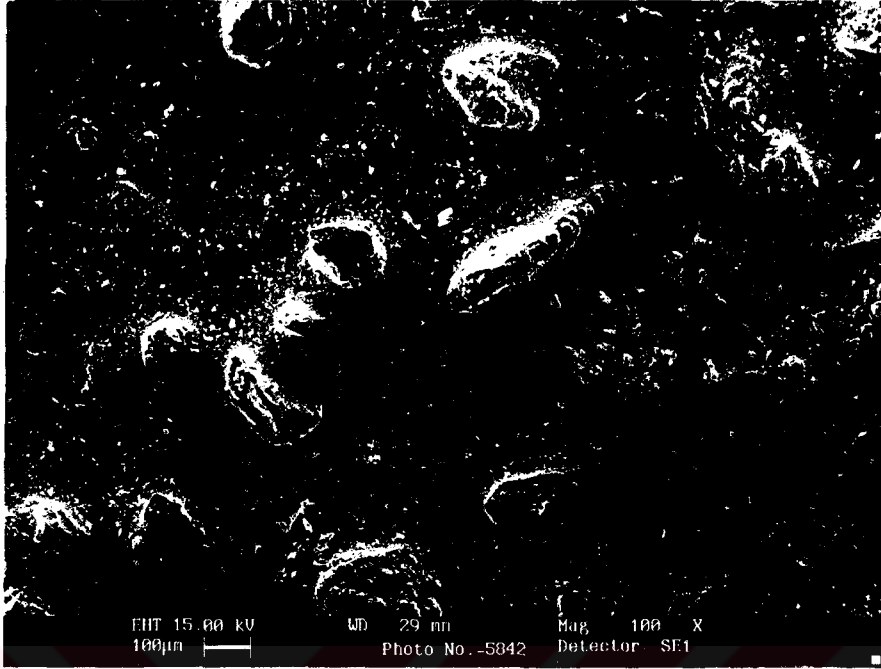




Şekil 6.32. 40 N yük altında aşındırılmış SiC zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü



Şekil 6.33. Kullanılmamış Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı zımpara kağıdının x100 büyütmeli SEM görüntüsü



Şekil 6.34. Kullanılmamış SiC aşındırıcı zımpara kağıdının x100 büyütme SEM görüntüsü

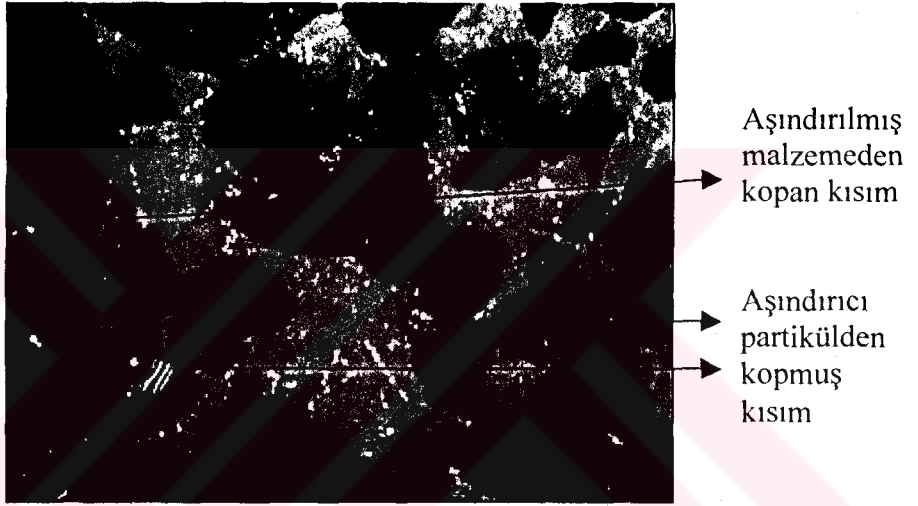
Şekil 6.27' den 6.32'ye kadar taramalı elektron mikroskopunda çekilen fotoğraflarda görüldüğü gibi abrasiv aşındırıcı zımpara üzerine gelen baskı kuvveti arttıkça, zımpara üzerindeki abrasiv partiküllerin parçalanıp deformasyona uğramaları artmaktadır. Şekil 6.27 ile 6.30'da 10 N yük altındaki abrasiv aşındırıcı zımpara kağıtlarının görüntüleri incelendiğinde zımpara üzerindeki abrasiv partiküllerin fazla kırılıp parçalanmadığı ve az deformasyona uğradığı görülmektedir. Şekil 6.28 ile 6.31'de 25 N yük altındaki abrasiv aşındırıcı zımpara kağıtlarının görüntüleri incelendiğinde zımpara üzerindeki abrasiv partiküllerin biraz daha fazla kırılıp parçalandığı gözlenmektedir. Şekil 6.29 ile 6.32'de 40 N yük altındaki abrasiv aşındırıcı zımpara kağıtlarının görüntüleri incelendiğinde ise zımpara üzerindeki abrasiv partiküllerin çok daha fazla kırılıp parçalandığı ve deformasyona uğradığı görülmektedir.

$Al_2O_3$  ve SiC aşındırıcı zımparanın yük altındaki değişim durumları birbirleri ile kıyaslandığında SiC aşındırıcı zımpara üzerindeki abrasiv partiküller parçalandıklarında bu partiküllerin yeni keskin köşelilik özelliği kazandığı

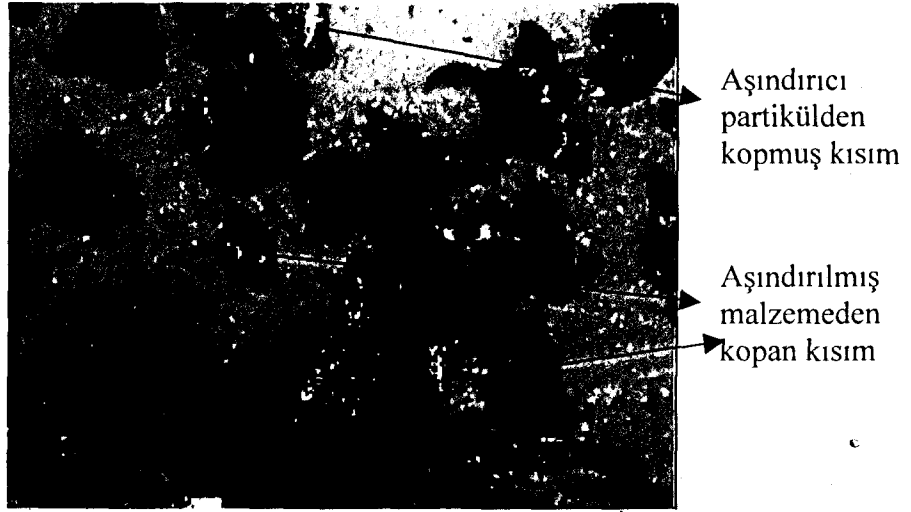


gözlenmektedir.  $Al_2O_3$  aşındırıcı zımparada ise parçalanmış partikül kesicilik özelliğini hemen hemen kaybetmektedir. Bu durum SiC aşındırıcı zımparaların daha sert olmasından kaynaklanmaktadır.

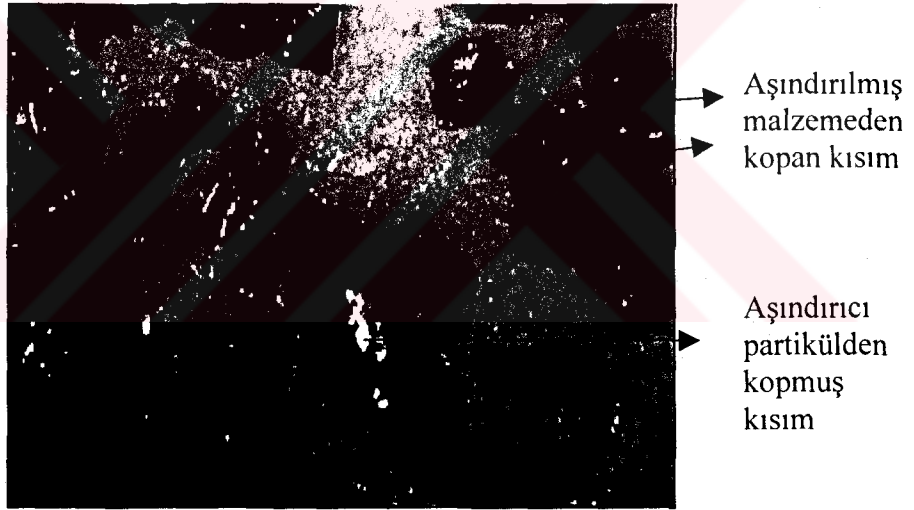
Şekil 6.33 ile 6.34'deki alüminyum oksit ve silisyum karbür abrasiv partiküllerin kullanılmamış ve deneylerde kullanıldıktan sonra çekilen fotoğraflarından (Bkz. Şekil 6.27-6.34) abrasiv taneciklerin kırılmalarının yüklerle birlikte arttığı, 40 N yük altında ise partiküllerin ezilerek büyük oranda deforme olduğu görülmektedir.



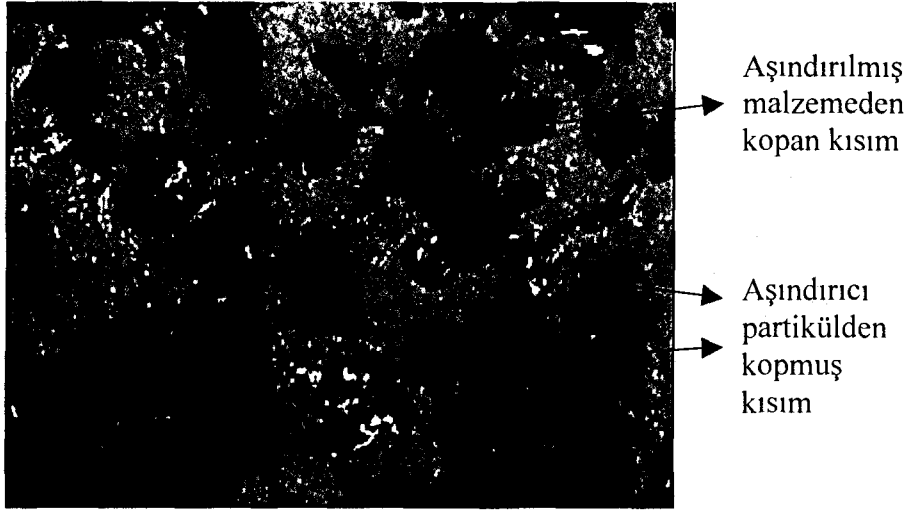
Şekil 6.35.  $Al_2O_3$  zımparadan 10 N yük altında kopan partiküller ve aşındırdığı malzemeden kopan kısımların x35 büyütme görüntüsü



Şekil 6.36.  $Al_2O_3$  zımparadan 40 N yük altında kopan partiküller ve aşındırdığı malzemeden kopan kısımların x35 büyütme görüntüsü



Şekil 6.37. SiC zımparadan 10 N yük altında kopan partiküller ve aşındırdığı malzemeden kopan kısımların x35 büyütme görüntüsü



Şekil 6.38. SiC zımparadan 40 N yük altında kopan partiküller ve aşındırdığı malzemeden kopan kısımların x35 büyütme görüntüsü

Şekil 6.35-6.38'de  $Al_2O_3$  ve SiC zımpara kağıtlarından kopan partiküller ve aşındırdığı malzemeden kopan kısımların beyaz bir kağıt üzerine silkelenerek optik mikroskopta çekilmiş fotoğrafları görülmektedir.  $Al_2O_3$  zımpara kağıdından kopan partiküllerin daha büyük olduğu, SiC zımpara kağıdından kopan partiküllerin ise daha küçük fakat keskin köşelilik kazanmış olduğu gözlenmektedir.

Deneylerdeki aşınma işleminde abrasiv tanecikler aşınma yüzeyinde hareket ettikçe aşınma sadece malzeme de değil abrasiv taneciklerde de görülür. Aşınma sırasında abrasivin körelendiği ve etkisini yitirdiği durumların yanı sıra abrasivin kırılması sonucu parçalanıp yeni kesme yüzeylerinin de oluştuğu bir gerçektir (4).

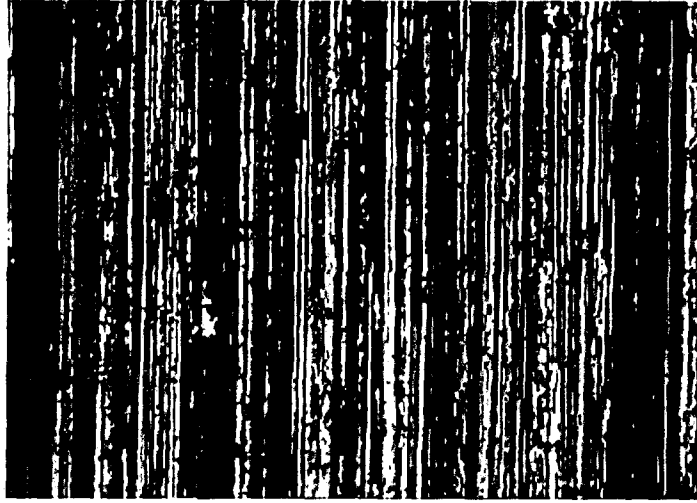
Aşınma deneyleri sırasında abrasiv taneciklerin aşındırılan malzeme yüzeyine batarak aşınmayı etkilediği bazen de malzemeye batan abrasiv partikülün karbür vazifesi görerek, abrasiv ile malzeme yüzeyi arasındaki teması kestiği ve aşınmayı azaltıcı rol oynadığı bilinmektedir. Test şartlarında aşınma oranı ve yük arasındaki ilişki abrasiv partikülün ve malzeme içerisindeki karbürlerin dağılımı da aşınmayı etkileyen unsurlardan biridir. Kullanılan abrasiv aşındırıcının sertliği aşınma için önemli bir unsurdur. Yükün ve bunun yanı sıra abrasiv partikül sertliğinin artması aşınma kanallarının derinliğinin de artmasına sebep olmaktadır (4).

Pim-disk aşınma deney cihazında 10, 25, 40 N yük altında, oda sıcaklığında, normal ve aynı şartlar altında SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aşındırıcı zımpara kullanılarak yapılan aşınma deneylerindeki numunelerin aşınmış yüzeyleri optik mikroskopta incelenerek yüzey durumları Şekil 6.39–6.56’da verilmiştir.



Şekil 6.39. Isıl işlemsiz malzemenin 10 N yük altında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.39’da ısıl işlemsiz malzemenin 10 N yük altında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımparada aşınmış yüzeyde aşınma kanallarının genişliklerinin fazla olmadığı gözlenmektedir.



Şekil 6.40 Isıl işlemsiz malzemenin 25 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.40'da ise 25 N yük altındaki aşınma kanalları genişliği 10 N yük altındaki aşınmaya göre biraz daha genişlemiş ve aşınma artırılan yüklerle artmıştır.



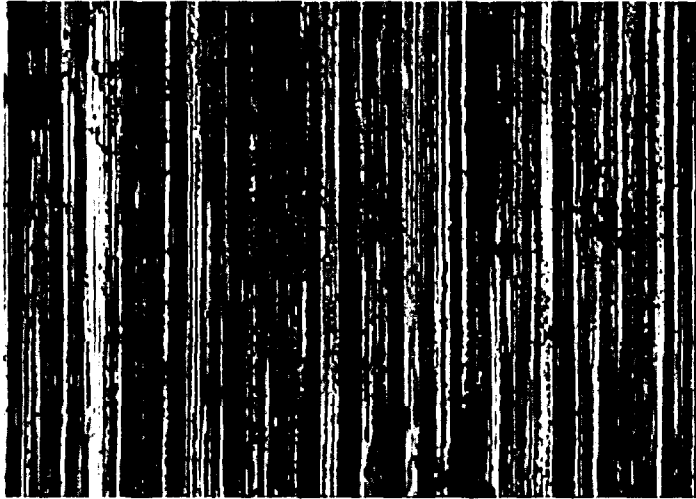
Şekil 6.41. Isıl işlemsiz malzemenin 40 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.41'de ısı işlemsiz malzemenin 40 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyi incelendiğinde, 25 N yük altında aşındırılmış olan numuneye göre aşınma kanallarının genişliklerinin daha fazla olduğu yani aşınmanın arttığı gözlenmektedir.



Şekil 6.42. A numunesinin 10 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.42'de ısıtılmış işlem görmüş A numunesinin 10 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanallarının genişliğinin oldukça küçük olduğu gözlenmektedir. 10 N yük altında aşınmış ısıtılmamış numune ile karşılaştırıldığında aşınma kanallarının genişliklerinin çok küçük olduğu gözlenmektedir.



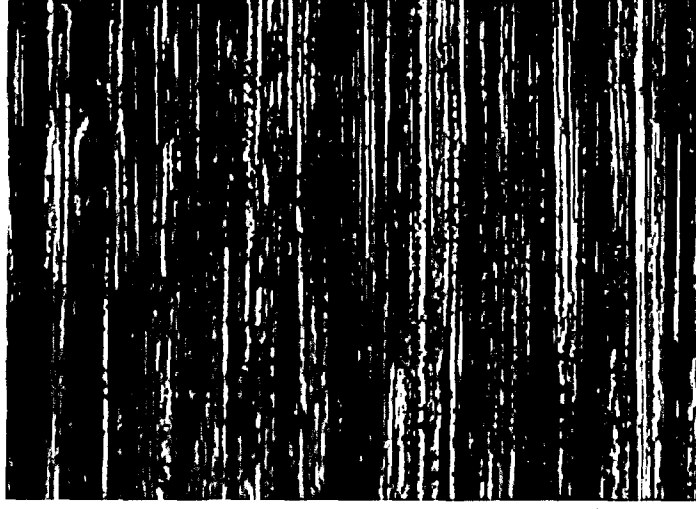
Şekil 6.43. A numunesinin 25 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.43'de A numunesinin 25 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanalları genişliği 10 N yük altındaki aşınmaya göre biraz daha genişlemiş ve aşınma artırılan yüklerle artmıştır. Şekil 6.40'daki 25 N yük altında aşınmış ısılsız numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının genişliklerinin çok küçük olduğu gözlenmektedir.



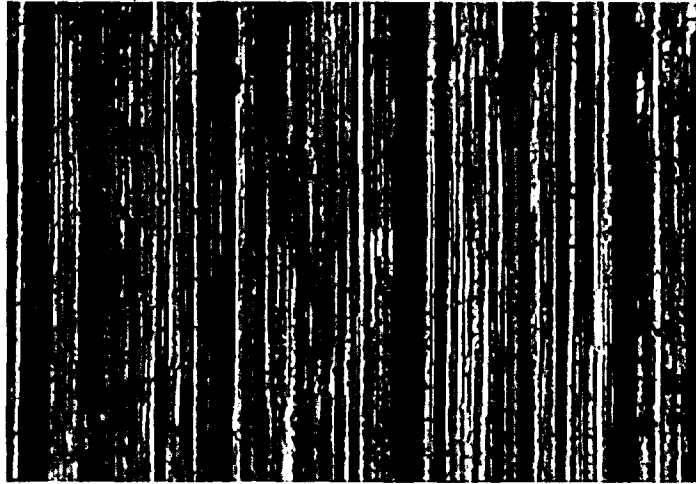
Şekil 6.44. A numunesinin 40 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.44'de A numunesinin 40 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanalları genişliği Şekil 6.43'deki 25 N yük altında aşındırılan numuneye göre daha da genişlemiştir. Aşınma yük arttıkça artmıştır. Şekil 6.41'deki 40 N yük altında aşındırılmış ısılsız numuneye göre ise aşınma kanallarının çok küçük olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6.45. B numunesinin 10 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.45’de B numunesinin 10 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanallarının genişliğinin küçük olduğu gözlenmektedir. Şekil 6.39’daki 10 N yük altında aşınmış ısıtılmış numune ile karşılaştırıldığında aşınma kanallarının küçük, Şekil 6.42’deki ısıtılmış A numunesi ile karşılaştırıldığında aşınma kanallarının genişliklerinin büyük olduğu gözlenmektedir.



Şekil 6.46. B numunesinin 25 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

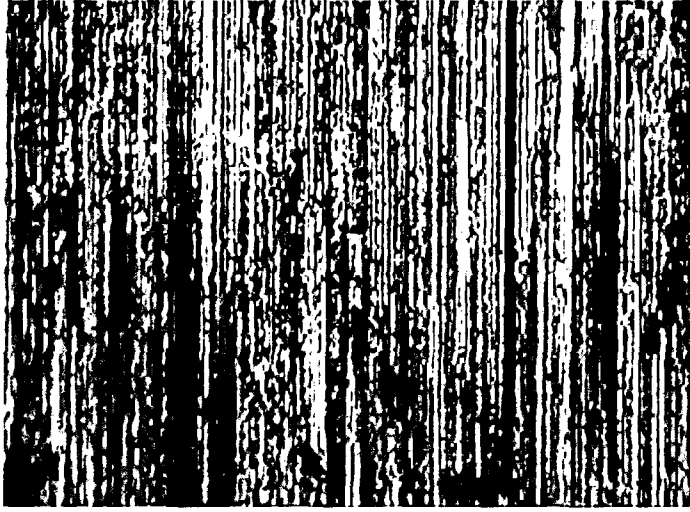


Şekil 6.46'da B numunesinin 25 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin Şekil 6.45'deki 10 N yük altında aşındırılmış olan numuneye göre aşınma kanallarının genişliklerinin fazla olduğu yani aşınmanın arttığı gözlenmektedir. Şekil 6.40'daki 25 N yük altında aşınmış ısıtılmış numune ile karşılaştırıldığında aşınma kanallarının küçük, Şekil 6.43'deki 25 N yük altında aşındırılmış ısıtılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının genişliklerinin büyük ve derin olduğu gözlenmektedir.



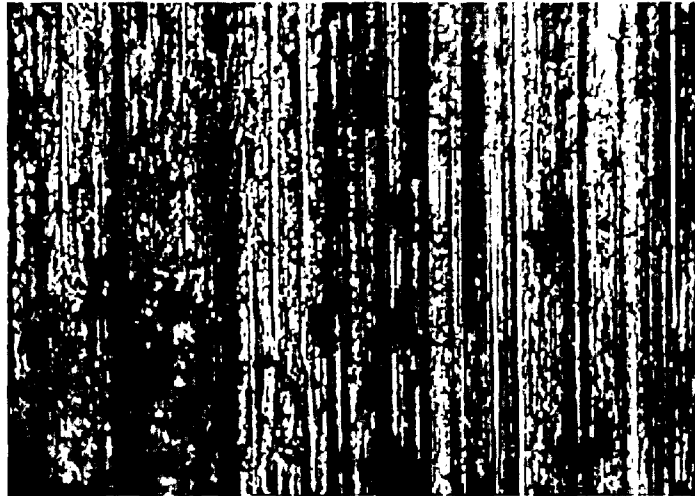
Şekil 6.47. B numunesinin 40 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.47'de B numunesinin 40 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanalları genişliği 25 N yüke göre daha da genişlemiştir. Şekil 6.43'deki 40 N yük altında aşındırılmış A numunesine göre aşınma kanallarının büyük olduğu gözlenmektedir. Şekil 6.41'deki 40 N yük altında aşındırılmış ısıtılmış numuneye göre ise aşınma kanallarının küçük olduğu görülmektedir. Aşınma artırılan yüklerle artmıştır.



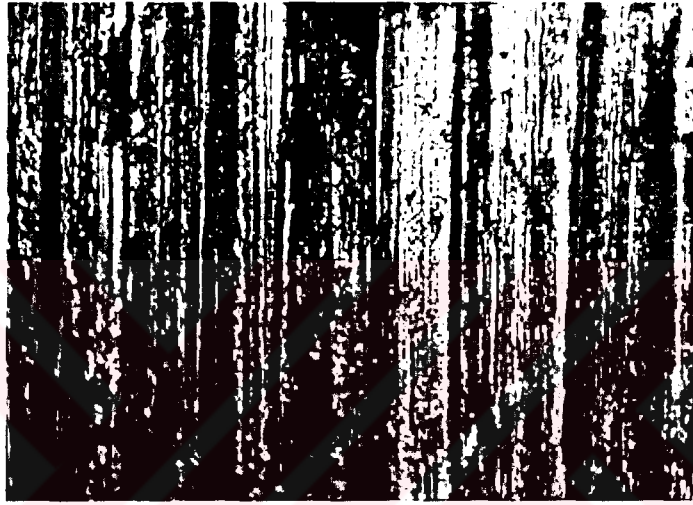
Şekil 6.48. Isıl işlemsiz malzemenin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.48'de Isıl işlemsiz malzemenin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyindeki şınma kanallarının genişliklerinin fazla olmadığı gözlenmektedir. Şekil 6.39'daki ısı işlemsiz numunenin 10 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında aşınma kanallarının geniş olduğu görülmektedir.



Şekil 6.49. Isıl işlemsiz malzemenin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.49'da Isıl işlemsiz malzemenin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanalları genişliği Şekil 6.48'deki 10 N yük altındaki aşınmaya göre biraz daha genişleşmiş ve aşınma artırılan yüklerle artmıştır. Şekil 6.40'daki ısılsız işlemsiz malzemenin 25 N yük altında  $Al_2O_3$  zımparada aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının geniş ve derin olduğu görülmektedir.



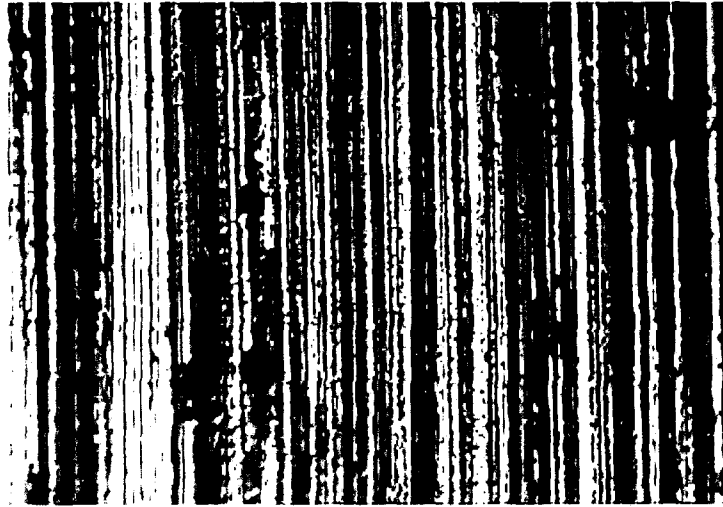
Şekil 6.50. Isıl işlemsiz malzemenin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.50'de Isıl işlemsiz malzemenin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin Şekil 6.49'daki 25 N yük altında aşındırılmış olan numuneye göre aşınma kanallarının genişliklerinin daha fazla olduğu yani aşınmanın arttığı gözlenmektedir. Şekil 6.41'deki Isıl işlemsiz 40 N yük altında  $Al_2O_3$  zımpara ile aşındırılan numune ile karşılaştırıldığında aşınma kanallarının biraz daha geniş olduğu ve aşınma miktarının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni ise (Bkz. Şekil 6.26), SiC zımpara kağıdının  $Al_2O_3$  zımpara kağıdına göre daha sert olmasıdır.



Şekil 6.51. A numunesinin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.51’de A numunesinin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanallarının genişliğinin oldukça küçük olduğu gözlenmektedir. Şekil 6.48’deki 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış ısıtılmış numune ile karşılaştırıldığında aşınma kanallarının genişliklerinin çok küçük olduğu gözlenmektedir. Şekil 6.42’deki A numunesinin 10 N yük altında  $Al_2O_3$  zımpara kağıdında aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının geniş olduğu görülmektedir.



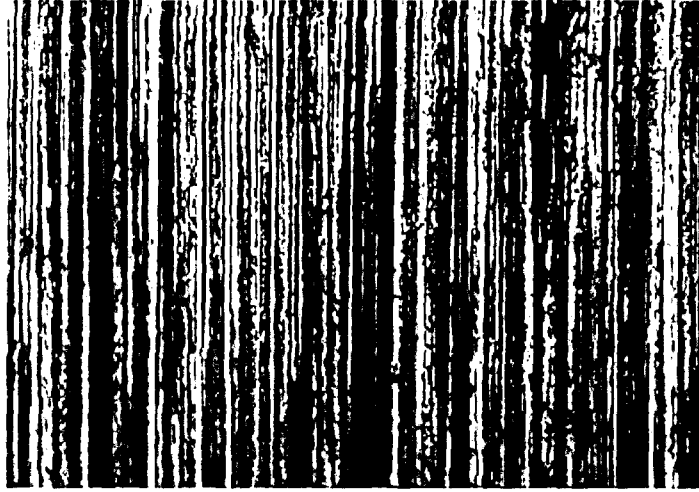
Şekil 6.52. A numunesinin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.52’de A numunesinin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanalları genişliği Şekil 6.51’de 10 N yük altındaki aşınmaya göre biraz daha genişlemiş ve aşınma artırılan yüklerle artmıştır. Şekil 6.43’deki A numunesinin  $Al_2O_3$  zımpara kağıdında 25 N yük altında aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının genişliklerinin daha fazla olduğu yani aşınmanın arttığı görülmektedir.



Şekil 6.53. A numunesinin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.53’de A numunesinin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanalları genişliği 25 N yüke göre daha da genişlemiştir. Aşınma yük arttıkça artmıştır. Şekil 6.44’deki A numunesinin  $Al_2O_3$  zımpara kağıdında 40 N yük altında aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının genişliklerinin daha fazla olduğu yani aşınmanın arttığı görülmektedir. SiC zımpara kağıdının  $Al_2O_3$  zımpara kağıdına göre daha sert olduğu hem aşınma kanallarının daha geniş olmasından hem de (Bkz. Şekil 6.24), aşınma miktarının fazla olmasından görülmektedir.



Şekil 6.54. B numunesinin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.54'de B numunesinin 10 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanallarının 10 N yük altında SiC zımparada aşındırılmış A numunesine göre geniş olduğu, Şekil 6.48'deki 10 N yük altında aşındırılmış ısıtılmış numuneye göre geniş olmadığı gözlenmektedir. Şekil 6.45'deki B numunesinin 10 N yük altında  $Al_2O_3$  zımpara kağıdında aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının geniş olduğu görülmektedir.



Şekil 6.55. B numunesinin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü



Şekil 6.55’de B numunesinin 25 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin 10 N yük altındaki aşınmaya göre aşınma kanalları biraz daha genişlemiş ve aşınma artırılan yük ile artmıştır. Şekil 6.46’daki B numunesinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdında 25 N yük altında aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının genişliklerinin daha fazla olduğu yani aşınmanın arttığı görülmektedir.



Şekil 6.56. B numunesinin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin x70 büyütme görüntüsü

Şekil 6.56’da B numunesinin 40 N yük altında SiC zımparada aşınmış yüzeyinin aşınma kanalları genişliği 25 N yüke göre daha da genişlemiştir. Aşınma yük arttıkça artmıştır. Şekil 6.47’deki B numunesinin Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdında 40 N yük altında aşındırılmış numune ile karşılaştırıldığında ise aşınma kanallarının genişliklerinin daha fazla ve derin olduğu yani aşınmanın arttığı görülmektedir. SiC zımpara kağıdının Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zımpara kağıdına göre daha sert olduğu hem aşınma kanallarının daha geniş olmasından hem de (Bkz. Şekil 6.24), aşınma miktarının fazla olmasından görülmektedir.

Aşınmış yüzeyleri gösteren Şekil 6.39’ dan 6.56 dahil fotoğraflar incelendiğinde ısı işlem görmemiş olan numunelerin fotoğraflarda da görüldüğü gibi ısı işlem görmüş numunelere göre aşınma kanallarının daha derin ve geniş aralıklı olduğu gözlemlenmektedir. En sert malzeme aşınmaya en iyi mukavemet gösteren

malzemedir (4). Bizim deneylerimizde elde ettiğimiz bulgular da bu kurala uygun sonuçlar vermektedir.

Aşınma şekillerinden de anlaşılacağı gibi malzemelerin ısı işlemlerine göre sertlik değerleri de değiştiğinden aşınma izlerine bakılarak yumuşak malzemelerde beklenildiği gibi aşınmanın fazla olduğu anlaşılmaktadır. Bunun nedeni abrasiv partiküllerin malzemede daha derine batması ve daha çok malzeme kaldırmasıdır (4). Ayrıca şekiller incelendiğinde aşındırıcı malzemenin sertliğinin ve uygulanan yükün etkisi de aşınma izlerinden gözlenmektedir. SiC aşındırıcı ile aşındırılmış malzemedeki aşınma kanallarının daha geniş aralıklı ve daha derin olduğu gözlemlenmektedir. Bunun yanı sıra artan yüklerde aşınma kanallarının genişliğinin ve derinliğinin artmakta olduğu fotoğraflarda gözlenmektedir.



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı ısıl işlemler uygulanmış 8620 sementasyon çelikleri pim-disk abrasiv aşınma test cihazında aşınma deneyine tabi tutulmuştur. HEMA Dişli Fabrikası'ndaki laboratuvarlarda hazırlanan sementasyon çelikleri dişli sanayinde önemli bir kullanım alanına sahiptir. Pim-diskle yapılan deneylerde numunelerin aynı koşullarda farklı yükler altında, farklı aşınma yollarında ve farklı aşındırıcılardaki aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla test edilmişlerdir. Bu araştırmada elde edilen bulgulara dayanılarak ulaşılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Taramalı elektron mikroskopunda çekilen mikroyapı fotoğraflarında ve metalurjik incelemelerinde ısıl işlem görmüş numunelerin hepsinin dış yüzeylerinin martenzitik yapıda oldukları tespit edilmiştir.
2. Taramalı elektron mikroskop görüntüleri değerlendirildiğinde sementasyon süresinin artmasıyla ostenit tane büyüklükleri küçük ve ince kalmıştır. Bunun nedeni SAE 8620 sementasyon çeliklerinin tane büyüklüklerinin küçük, ince olması ve ısıl işlem sonucunda ostenit tane büyüklüğünün küçük kalmasıdır.
3. Mikroyapılar değerlendirildiğinde sementasyon zamanı fazla olan numunenin sementasyon derinliğinin de (zırh) fazla olduğu görülmüştür.
4. Sementasyon derinliği ve yüzey sertliği fazla olan numunenin sementasyon derinliği ve yüzey sertliği az olan numuneye göre aşınmaya karşı daha fazla direnç gösterdiği ortaya çıkmıştır.
5. Isıl işlem uygulanmamış malzemedeki aşınma oranının çok fazla olması ısıl işlem görmüş malzemenin aşınmaya karşı göstermiş olduğu dirençle ısıl işlemin önemini bir kez daha ortaya koymuştur.
6. Isıl işlemlili ve ısıl işlem görmemiş numunelerin tümünün mikrosertlik ölçümlerinde, ısıl işlemsiz numunelerin sertlik değerleri, ısıl işlemlili

numunelere göre daha küçük değerlerde olup ısıl işlemin aşınma da önemli bir etken olduğu anlaşılmıştır. Sertliğin artışı ile aşınma direncinin arttığı görülmüştür.

7. Aşındırıcının sertliğinin, uygulanan yükün ve aşınma yolunun aşınma direncini önemli ölçüde etkilediği bir kez daha görülmüştür.
8. Yükün ve aşınma yolunun artışı ile birlikte aşınmanın da doğrusal olarak arttığı görülmüştür.

Yukarıdaki deney bulgularımızla sonuç olarak, deneylerimizde kullandığımız A numunesinin aşınmaya karşı daha dirençli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumda sanayide oldukça büyük bir alanda kullanılan bu malzemeler dişli çarkların yapımında, gaz sementasyon yönteminde, uzun çevrimde ve uzun sementasyon sürelerinde uygulanan bir ısıl işlemlerle kullanılması dişli çarkların ömürlerinin artırılması açısından önemli bir rol oynayacaktır ve ekonomik kayıpları da oldukça azaltacaktır.

## KAYNAKLAR

- 1- Sundström, A., Rendon, J., Olsson, M., “Wearbehaviour of some low alloyed steels under combined impact/abrasion contact conditions”, *Elsevier, Wear*, 250:744-754, (2001).
- 2- Engel, A. P., “Impact wear”, *Department of mechanical and industrial engineering, State University of New York at Binghamton*, 263-270, (1997).
- 3- Elhan, M., “Serhat, Aynı sertliğe getirilmiş çeliklerin aşınma davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 23-65, (1996).
- 4- İzçiler, M., “Yüksek krom alaşımlı dökme demirlerin farklı sıcaklıktaki abrasiv aşınma davranışına alaşım katkı oranının ve ısıtma şartlarının etkileri”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 50-122, (1997).
- 5- Çelik, H., “Kaynak edilebilen kobalt ve demir esaslı alaşımların yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışları”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-35, (1992).
- 6- Yılmaz, F., “Sürtünme ve Aşınma”, *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, Cilt 1, İstanbul, 229-246, (1997).
- 7- Türker, M., Kurt, A., Gülenç, B., Karataşoğlu, F., “Monoblok tekerlerin aşınan kısımlarının MAG kaynağı ile yapılan dolgu metalinin aşınma davranışlarının incelenmesi”, *2. Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu, IWTS 98*, Haziran, İstanbul, 232-239, (1998).

- 8- Karataşoğlu, F., “Demiryollarında alışan monoblok tekerleklerin çalışmaları sırasında aşınan kısımlarının MIG-MAG kaynağı ile değişik elektrot kompozisyonlarında yapılan dolgu kaynağının aşınma özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-89 (1997).
- 9- Keleştimur, M. H., “Makine yapı çeliklerinin abrasiv aşınma direncine yüzey sertliğinin etkisi ve diğer mekanik özelliklerle ilişkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 14-43 (1989).
- 10- Joseph, H., Tylczak., Oregon, A., “Abrasive Wear”, *ASM*, 18: 184-185, (1992).
- 11- Gülenç, B., Kahraman, N., “Wear Behaviour of Bulldozer Roller Welded By Using Submerged Arc Welding Process”, *Materials and Desing*, 24: 537-542 (2003).
- 12- Değerli, B., “Aşınma deneylerinde kullanılan deney düzenekleri”, *Mühendis ve Makine*, 29 (432): 36-38 (1996).
- 13- Kılınç, Y., “Yağlı sürtünme şartlarında elik ince zırh yataklarında üretim tekniklerinin aşınmaya etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 39-61 (1993).
- 14- Carry, H. B., “Metal Surfacing” *Modern Welding Technology*, Second Education, A.W.S., 24: 563-564 (1981).
- 15- Karamış, M. B., “Toprak işleme aletlerinde iş organının aşınmasının etüdü”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, (1985).
- 16- ERYÜREK, İ., Barlas, “Hasar analizi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi*, Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi, Anabilim Dalı, 165-171 (1993).

- 17- Odabaş, D., “Ötektoid altı çeliklerin kayma sürtünme aşınmasında adhesiv aşınma katsayısının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 9-52 (1987).
- 18- FINDIK, F., “Malzeme seçimi”, *Sakarya Üniversitesi*, Yayın no: 31, 100-106 (1998).
- 19- Erhazar, Cem, “Isıl işlem koşullarının düşük alaşımlı Ni Cr Mo çeliğinin mekanik özelliklerine ve aşınma direncine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-68 (1992).
- 20- Oğuz, B., “Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları”, *Oerlikon yayınları*, İstanbul, 226-253 (1993).
- 21- Toparlı, M., Şen, S., “Karbonlu çeliklerde aşınma”, *5. Denizli malzeme sempozyumu*, Denizli, (1993).
- 22- Tülbentçi, K., Kaluç, E., “Kazı makinelerinde aşınan parçaların kaynakla tamirinin teknolojik ve ekonomik önemi”, *Kaynak dünyası*, Sayı: 2, İstanbul, 3-6 (1991).
- 23- Kahraman, N., Gülenç, B., “Abrasive wear behaviour of powder flame sprayed coatings on steel substrates”, *Materials and Desing*, 23 (8): 721-725 (2002).
- 24- Kantarcı, M. S., “Toprak işleme aletlerinde aşınma”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 6-39 (1982).
- 25- Yıldırım, S., “27 Mn Si 5 ve 23 Mn Ni MoCr 5 4 Kalite zincir çeliklerinin mekanik ve aşınma özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-43 (1992).

- 26- Asil Çelik, "Sementasyon çelikleri", *Teknik Yayınlar*, Bölüm 5, Mayıs, İstanbul 132-160 (2000).
- 27- Şanlı, M., "İnce taneli sementasyon çeliklerinde sıcak şekil verme ve ısıtma işleminin östenit tane büyüklüğüne etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 59-70 (1987).
- 28- Alkın, S.,G., "Sementasyon çeliklerinin ısıtma işlemi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 9-78 (1993).
- 29- Thelning, K. E., "Çelik ve Isıtma İşlemi", *Bofors el kitabı*, Çeviren: Adnan TEKİN, İstanbul, 6-29, 344-373 (1984).
- 30- Gülenç, B., "M.K.E. Kurumu çeliklerinin sertleşebilirliklerinin tayini", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 6-28 (1987).
- 31- KOSGEB, "Çelik malzemelerin seçimi ve standartları", *Ankara Eğitim Merkezi*, Yayın no: 8, Ankara, 26-40 (1994).
- 32- Oygur, A., "Alaşımsız çeliklerde ısıtma işlemi", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 14-51 (1988).
- 33- Baydur, G., "Malzeme", *Milli Eğitim Gençlik ve Spor Bakanlığı Yayınları*, İstanbul, 208-217 (1986).
- 34- Türk Standardları 2850, "Sementasyon Çelikleri", *Türk Standardları Enstitüsü*, Ekim, Ankara, 4-19 (1977).
- 35- Ertürk, İ., "Metaller ve mekanik özelliklerini belirleme yöntemleri", ders notları, *Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi*, Ankara 26-32, (2002).

- 36- Handbook of Comparative World Steel., Standarts, Vol. 6, Steel, (*Dünya Çelik Kataloğu*), 224, (1976).
- 37- Çimenoğlu, H., Pamuk, U., "Plazma spreyleneş Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> ve Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-NiCr kaplamaların farklı çeliklerin aşınma davranışlarına etkisi", *Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı*, İstanbul, (1988).
- 38- Bargel, H. J., Schulze, G., "Malzeme Bilgisi", Cilt 1-2, Çevirenler: Prof. Dr. Şefik Güleç, Doç. Dr. Ahmet Aran, *TÜBİTAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü*, Gebze, İzmit, 159-160, (1987).
- 39- Korkut, M. H., "Sürtünmeye maruz metalik disklerin aşınmış bölgelerinde dolgu kaynak işleminden sonra aşınma özelliklerinin değişiminin deneysel araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 63-66, (1991).
- 40- Modi, O. P., Mondal, D.P., Prasad, B.K., Singh, M., Khaira, H. K., "Abrasive wear behaviour of a high carbon steel: effects of microstructure and experimental parameters and correlation with mechanical properties", *Materials Science and Engineering*, A 343, 235-242 (2003).

## ÖZGEÇMİŞ

1965 yılında Kırşehir iline bağlı Kaman ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kaman'da tamamladı. 1987 yılında Gazi Üniversitesi Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fakültesi Teknoloji Eğitimi Öğretmenliği bölümüne girdi. 1991 yılında mezun olup aynı yıl İş ve Teknik Eğitimi Öğretmeni olarak göreve başladı. Evli ve bir çocuğu olup halen Polatlı Atatürk İlköğretim Okulu'nda İş ve Teknik Eğitimi Öğretmeni olarak görevini sürdürmektedir.

