

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYNAK DOLGU METALİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
FERROKROM TOZUNUN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Vedat Veli ÇAY

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI**

116599

ELAZIĞ, 2002

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAYNAK DOLGU METALİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE
FERROKROM TOZUNUN ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Vedat Veli ÇAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ EĞİTİMİ ANA BİLİM DALI

Bu tez/...../ 2003 Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

(İmza)
Danışman
Doç. Dr. Halis ÇELİK

(İmza)
Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM

(İmza)
Yrd. Doç. Dr. Ahmet Hascalı

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 15/01/2003. tarih ve ...3/3... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu tezin önerilmesinde ve yönlendirilmesinde yardımlarını esirgemeyen ve her konuda çalışmalarına ışık tutan danışman hocam, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi sayın Doç. Dr. Halis ÇELİK'e, Metalurji Bölüm ve Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. M. Mustafa YILDIRIM'a ve çalışmalarım sırasında bana büyük fedakarlıklarla zaman ayırıp yol gösteren Metalurji Mühendisliği öğretim üyesi hocam sayın Doç. Dr. Mehmet EROĞLU'na en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca, derslerinden istifade ettiğim hocalarım Doç. Dr. Nuri ORHAN, Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAPALAN, Yrd. Doç. Dr. Mehmet H. KORKUT'a ve tezin başlangıcından beri her türlü yardımını benden esirgemeyen Metalurji Eğitimi Bölümü doktora öğrencisi teknik öğretmen M. Sabri GÖK'e teşekkür etmekten mutluluk duyarım.

Özellikle tezin meydana gelmesinde maddi imkan sağlayan FÜBAP'a ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ	1
2. YÜZEY SERTLEŞTİRME VE SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	2
2.1. Yüzeyi Kimyasal Bileşimini Değiştirerek Yüzey Sertleştirme	2
2.1.2. Sementasyon (Karbürizasyon)	2
2.1.2.1. Toz ile Karbürizasyon	3
2.1.2.2. Tuz Banyosunda Karbürizasyon	3
2.1.2.3. Gaz Atmosferinde Karbürizasyon	3
2.1.3. Nitrürasyon	4
2.1.4. Karbonitrürasyon	5
2.1.5. Borlama	5
2.2. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirmeden Yüzey Sertleştirme	5
2.2.1. Fırında Isıtarak Yüzey sertleştirme	5
2.2.2. Alevle Yüzey Sertleştirme	6
2.2.3. Endüksiyon Akımı İle Yüzey Sertleştirme	6
2.3. Yüzey Modifikasyonu İle Yüzey Sertliğini Arttırmak	6
2.3.1. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı	6
2.3.1.1. Elektrik Ark Kaynağında Kullanılan Rutil Elektrod	7
2.3.1.2. Akım Üretici ve Membaı	9
3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİKLERİN YAPI VE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ	12
3.1 Alaşımlamanın Amacı	12
3.2. Çelikte Karbon	12
3.3. Çelikte Mangan	13
3.4. Çelikte Krom	13
3.5. Çelikte Molibden	13

III

3.6.Çelikte Alüminyum.....	13
3.7. Çelikte Silisyum.....	13
3.8. Alaşımın Elementlerinin Ferrite Etkisi.....	14
4.9. Alaşım Elementlerinin Karbürlere Etkisi.....	15
4. AŞINMA	18
4.1. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar.....	18
4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	21
4.2.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler.....	22
4.2.1.1. Malzemenin Kristal Yapısı.....	22
4.2.1.2. Malzemenin Sertliği.....	22
4.2.1.3. Elastisite Modülü.....	22
4.2.1.4. Deformasyon Davranışı.....	24
4.2.1.5. Isıl İşlemin Etkisi.....	24
4.2.1.6. Yüzey Pürüzlüğü.....	24
4.2.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Etkisi	24
4.2.3. Ortamın Etkisi.....	25
4.2.3.1. Sıcaklık.....	25
4.2.3.2. Atmosfer ve Nem.....	25
4.2.4. İşletme Koşulları (basınç, hız ve kayma yolu)	25
4.2.5. Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi.....	25
4.2.6. Aşınma Direncine Matrisin Etkisi.....	26
4.3. Aşınma Mekanizmaları.....	26
4.3.1. Adhezif aşınma	26
4.3.2. Abrasiv Aşınma.....	26
4.3.3. Yorulma Aşınması.....	26
4.3.4. Eroziv Aşınma.....	28
4.3.5. Öğütmeli Aşınma.....	28
4.3.6. Oymalı Aşınma	28
4.3.7. Kazımalı Aşınma	28
4.3.8. Koroziv Aşınma.....	28
5. ABRASİV AŞINMA.....	30
5.1. Abrasiv Aşınmasının Engellenmesinde veya Azaltılmasında Kullanılan Yöntemler.....	33
5.1.1. Yüzey Sertliğini Arttırmak.....	33
5.1.2. Abrasiv Parçacıkları Uzaklaştırmak.....	33

5.1.3. Aşınmış Parçaları Değiştirmek	33
6. AŞINMA DENEYLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	34
6.1. Aşınma Deneyleri.....	34
6.1.1. Ağırlık Farkı Yöntemi.....	35
6.1.2. Kalınlık Farkı Yöntemi.....	37
6.1.3. İz Değişimi Yöntemi	37
6.1.4. Radyo İzotop Yöntemi.....	37
6.2. Abrasiv Aşınma İçin Deney Yöntemleri.....	37
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
7.1. Çalışmanın Amacı.....	39
7.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler Ve Yüzey Modifikasyon Şartları.....	39
7.2.1. Deneylerde Kullanılan Numuneler.....	40
7.3. Metalografik Çalışmalar.....	41
7.3.1. Optik Mikroskop İncelemeleri.....	41
7.3.2. SEM İncelemeleri.....	41
7.3.3. X-Ray Difraksiyon Çalışmaları.....	41
7.4. Sertlik Ölçümü Çalışmaları.....	41
7.5. Abrasiv Aşınma Deney Testi.....	42
8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI	44
8.1. Metalografik Muayene Sonuçları.....	44
8.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	53
8.2. Modifiye Olmuş Tabaka Kalınlığı Ölçüm Sonuçları.....	55
8.4. Aşınma Testi Sonuçları.....	56
9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
10. KAYNAKLAR	62

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayı</u>
Şekil 2.1. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak bölgesi.....	7
Şekil 2.2. Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynak donanımı blok şeması.....	8
Şekil 2.3. Örtülü elektrod ile elektrik kaynağında kaynak akım üreticinin düşen tür statik karakteristiği.....	9
Şekil 3.1. Ferrit içersinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri.....	14
Şekil 4.1. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi.....	19
Şekil 4.2. Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları.....	20
Şekil 4.3. a) Görülen temas alanı b) Gerçek temas alanı.....	21
Şekil 4.4. Teknik saf malzemeler için Elastisite modülü ile İzafi aşınma direnci arasındaki ilişki.....	23
Şekil 4.5. Abrasiv aşınma tipleri.....	27
Şekil 5.1. İki elemanlı abrasiv aşınma.....	30
Şekil 5.2. Üç elemanlı abrasiv aşınma.....	30
Şekil 5.3. Abrasiv aşınma mekanizması.....	31
Şekil 5.4. Çeşitli malzemelerde kütsel sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi.....	32
Şekil 6.1. Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri.....	34
Şekil 6.2. Yağlamalı ve yağlamasız adhezif (metal-metal) deney yöntemleri.....	35
Şekil 6.3. Malzemenin aşınma miktarını ölçmek için en yaygın kullanılan dört metodu şematik olarak gösterimi.....	38
Şekil 7.1. Ferrokrom tozunun numune yüzeyine yapıştırılmış hali.....	40
Şekil 7.2. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı kaynak dolgu metalinin yüzey alan gösterimi.....	41
Şekil 7.3. Abrasiv aşınma testi aparatı.....	42
Şekil 7.4. Torna tezgahına monte edilmiş aşınma aparatının görünümü.....	43
Şekil 8.1. Referans numunenin kaynak işlemine tabi tutulduktan sonra optik mikroskop fotoğrafı.....	45
Şekil 8.2. 1 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı....	46
Şekil 8.3. 1 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan SEM mikroskop fotoğrafı....	46
Şekil 8.4. 2 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan X-Ray spektromu.....	47
Şekil 8.5. 1 nolu numunede kalıntı östenit üzerinden alınan EDS analizi.....	48
Şekil 8.6. 1 nolu numunede martenzit üzerinden alınan EDS analizi.....	49
Şekil 8.7. 2 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı ...	49
Şekil 8.8. 2 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı....	50

VI

Şekil 8.9. 3 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı ...	50
Şekil 8.10. 3 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan SEM mikroskop fotoğrafı....	51
Şekil 8.11. 4 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı ...	51
Şekil 8.12. 1 nolu numunenin geçiş bölgesinden alınmış optik mikroskop fotoğrafı	52
Şekil 8.13. 3 nolu numunenin geçiş bölgesinden alınmış optik mikroskop fotoğrafı	52
Şekil 8.14. Referans ve yüzeyi alaşımlanmış numunelerin sertlik değerleri.....	53
Şekil 8.15. Referans ve yüzeyi alaşımlanmış numunelerden alınmış sertlik değerleri.....	54
Şekil 8.16. Modifiye olmuş tabaka kalınlığının şematik gösterimi.....	55
Şekil 8.17. Numunelere ait kütle kaybı-yük ilişkisi.....	56
Şekil 8.18. Numunelerin 10 Nt'luk yük altındaki kütle kaybı-yük ilişkisi.....	57
Şekil 8.19. Referans numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı .	58
Şekil 8.20. 3 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı....	59
Şekil 8.21. 1 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı ...	59
Şekil 8.22. 2 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı ...	60
Şekil 8.23. 4 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı ...	60

TABLOLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Çelikte alaşım elementlerinin özgül etkileri.....	16
Tablo 4.1. Yükleme ve hareket değişkenlerinin sistemi etkilemesi.....	20
Tablo 4.2. Aşındırıcı malzemelerin sertlik değerleri.....	24
Tablo 7.1. AISI1010 çeliğinin ve yüksek karbonlu ferrokrom tozunun kimyasal bileşimleri.....	39
Tablo 7.2. Yüzey modifikasyon şartları.....	40
Tablo 7.3. Deneylerde kullanılan numunelere uygulanan işlemler.....	40
Tablo 8.1. Referans numune yüzeyinden alınan kimyasal analiz sonuçları.....	44
Tablo 8.2. 1 nolu numunenin artan oranlarda ferrokrom tozu ile alaşımlanması durumunda yüzeyden alınan kimyasal analiz sonuçları.....	44
Tablo 8.3 Oluşan bileşiklerin parametreleri ve özellikleri.....	48
Tablo 8.4. Modifiye olmuş tabaka kalınlıkları.....	55

VIII

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KAYNAK DOLGU METALİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE FERROKROM TOZUNUN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Vedat Veli ÇAY

Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı
2002, Sayfa: 64

Bu çalışmada ferrokrom (Cr,Fe)₂₃C₆ tanelerinin elektrik ark kaynak yöntemiyle düşük karbonlu AISI 1010 çeliğinin yüzeyine farklı miktarlarda geçirilmesi sonrası oluşan yüzey tabakasının sertlik, mikro yapı ve aşınma karakteristikleri incelenmiştir. Kaynak öncesi toz tanelerinin yüzeyden uzaklaşmaması ve homojenlik sağlanması amacıyla ferrokrom tozları sodyum silikat çözeltisi ile karıştırılıp farklı katmanlarda çelik yüzeyine yapıştırılmış ve 50 °C de sıcaklıkta 30 dakika bekletilerek karışımın yüzeyde bekletilmesi sağlanmıştır. Daha sonra yüzey kaynak edilerek kaynak banyosuna ferrokrom tozu geçirilmiştir ve böylece alaşımlanmış bir üst tabaka elde edilmiştir.

Yüzeyi alaşımlanan malzemelerden uygun kesit ve boyutta numuneler hazırlanarak yüzey tabakasında oluşan fazların yüzey sertliğine, mikro yapısına ve aşınma dirençlerine olan etkisi incelenmiştir.

Mikro yapı incelemelerinde optik mikroskop, elektron mikroskobu (SEM), enerji dispersive spektrograph (EDS) ve X-Ray analizlerinden faydalanılmıştır. Yüzeydeki modifiye tabakanın sertliği, sertlik cihazları ile ölçülmüş ve yüzey tabakasının aşınma direnci pin-on-disk test metoduyla bulunmuştur.

Ulaşılan sonuçlardan yüzeyi alaşımlanmış AISI 1010 çeliğinin kaplama tabakasında Cr_7C ve Fe_3C bileşiklerinin oluşumu neticesinde, ana malzemeye göre sertlik ve aşınma direncinde önemli miktarlarda bir artış olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey kaplama, yüksek karbonlu ferrokrom $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$, abrasiv aşınma



ABSTRACT

Master Thesis

**THE INVESTIGATION OF EFFECTS OF FERROCHROMIUM POWDER
ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF
WELD BEAD MATERIAL**

Vedat Veli ÇAY

**Fırat University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgy Education
2002, Page: 64**

In the present study, hardness, microstructure, and wear characteristics of the modified surface of a low-carbon AISI 1010 steel by electric arc alloying with ferrochromium powders was investigated. Ferrochromium powder was mixed with a binder, sodium silicate solution, and applied onto the steel plates in various thicknesses. Then the plates were kept at 50 °C for 30 minutes to maintain surface adhesion. Finally the layer was melted by electric arc welding thus obtaining a modified surface.

Appropriate samples were taken from the modified surfaces and tested for in-depth hardness, microstructural variations and wear resistance. Scanning Electron Microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy and X-ray analyses were employed for evaluation of the surface layer. The in-dept hardness was measured by Vickers Hardness Scale. The wear resistance was determined by pin-on-disc method.

Results indicated that formation of Cr_7C_3 and Fe_3C on the surface of alloyed AISI 1010 steel appreciably increased the hardness and resistance to corrosion, as compared to non-alloyed material.

Key words : Surface coating, high-carbon ferrochromium $(\text{Cr,Fe})_{23}\text{C}_6$, abrasive wear.



1. GİRİŞ

Modern kaynak teknolojisinin önemli bir bölümünü oluşturan metal ve alaşımları, farklı ortamlarda ve farklı amaçlar için kullanılırlar. Metal yüzeylerinin dış ortamlardan korunması veya kullanım alanına göre; maruz kaldığı yorulma, sürtünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek amacıyla çeşitli yüzey işlemlerine ve üretim yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Pek çok tekniği içeren yüzey sertleştirme işlemleri özellikle çelik malzemelerde yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı, alt tabakanın ise sünek ve yeterli mukavemette olması istenilen malzemelere uygulanmaktadır. Dişli parçalarda olduğu gibi aşırı sert yüzey aşınmaya karşı koyarken, tok olan iç kısım ise darbeleri absorbe edebilmektedir. Yüzey sertleştirilmede normal şartlarda yeterli düzeyde sertlik elde edilemeyen çeliklerin yüzeyine karbon verilerek (sementasyon ve karbürleme) (Chaus ve diğ., 2001) veya yüzeye sertliği artırıcı element atomları nüfuz (nitrürleme) (Figuerroa ve diğ., 2001) ettirilerek sağlanabilir. Ayrıca sertleştirilme kabiliyeti iyi olan çeliklerin yüzeyinde, istenilen sertleştirme derinliğine kadar olan kısmı östenitleştirme sıcaklığına kadar ısıtılıp ani soğutma ile yalnızca bu bölgenin sertleştirilmesi (fırınla, alevle veya indüksiyonla yüzey sertleştirme) (Kristolfersen, 2001) yapılabilir.

Modern teknolojiye kullanılan, aşınmaya ve korozyona dayanıklı malzemelerin üretimi elektrik ark kaynak yöntemi ile elde edilebilir. Elektrik ark kaynak yönteminin enerji girdisinden yararlanılarak yapılan alaşımlama sonrası ince yapılı sert fazlar oluşturulabilir. Yüksek konsantrasyonlu C ve Cr içeriğine sahip demir esaslı alaşımlar tribolojisel uygulamalarda, yüzeyi sertleştirilmiş malzemeler olarak geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Kulkarni ve diğ., 1984).

Yapılan bu çalışmada görülebileceği gibi, elektrik ark kaynak yönteminin kullanılmasıyla oluşturulan kaplama yüzeyi diğer yöntemlere (GTA ve Tozaltı) göre, seramik-matris karışımı sert tabaka, aşınmaya dirençli ve sertliği yüksek ince taneli mikro yapılar elde etmek mümkündür. Bu nedenle bu çalışmada, yüksek karbonlu ferrokrom tozu düşük karbonlu AISI 1010 çeliğinin yüzeyine elektrik ark kaynak yöntemi ile alaşımlandırılmıştır. Yüzeyi alaşımlanmış malzemenin mikro yapısı SEM, optik mikroskop, EDS, X-ray analizleriyle ve sertliği ise sertlik ölçüm metotları ile bulunmuştur. Ayrıca yüzeylerin abrasiv aşınma dirençlerini bulmak için pin-on-disk aşınma testleri yapılmıştır.

2. YÜZEY SERTLEŞTİRME VE SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Teknikte pek çok konstrüksiyon elemanı sadece yüzeyde aşınma etkisi altında bulunur. Örneğin; yatak muylusu, kavrama tırnağı, dişliler v.b.'nin imal edildiği sünek çelikler düşük karbonlu (% 0.2-0.35 C) olduklarından yeterli derecede sertleştirilemezler. Gerçekte bu malzemelerin iç kısımlarının sünek, dış kısımlarının ise sert olması arzu edilir. Buna da ulaşmanın en emin yolu malzemenin iç kısımlarının sünek kalması sağlanarak yüzeyin uygun bir yöntemle sertleştirilmesidir. Parça ayrıca yüzey sertleştirme ile yüksek bir yorulma mukavemetine de ulaşır (Yıldırım ve diğ., 2001).

Yüzey sertleştirme yöntemlerini başlıca iki ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar;

1. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirerek Yüzey Sertleştirme

- a. Sementasyon (Katı, Sıvı, Gaz)
- b. Nitrürasyon
- c. Karbonitrürasyon
- d. Borlama

2. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirmeden Yüzey Sertleştirme

- a. Fırında
- b. Alevle
- c. Endüksiyonla
- d. Daldırma yolu ile
- e. Lazer ışınıyla

2.1. Yüzeyi Kimyasal Bileşimini Değiştirerek Yüzey Sertleştirme

Parça yüzeyindeki karbon miktarı sertleşme sınırı altında bulunan çeliklerde ve bazı özel amaçlı malzemelerde yüzeyde sert bir tabaka elde etmek için yüzeyin kimyasal bileşimi değiştirilir.

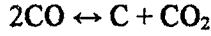
2.1.2. Sementasyon (Karbürizasyon)

Sementasyonla sertleştirmede, % 0.2-0.3 karbonlu çelikler kullanılır. Bunlar, düşük karbon oranından dolayı sertleşmez. Karbürizasyon olarak adlandırılan karbonca zenginleştirme, iş parçalarını karbon verici sementasyon maddesinin içinde 880 °C ila 980 °C'lik sıcaklıklarda birkaç saat (austenitik yapıya ulaşınca kadar) tavlama suretiyle sağlanır. Böylece karbon, bu suretle sertleştirilecek yüzey tabakasının içine emdirilmiş olur (nüfuz eder). Yüzey tabakasındaki karbon oranı, Sementasyon maddesine, karbürizasyon sıcaklığına ve işlem süresine bağlıdır.

Karbürizasyon karbürleyici toz, tuz banyosu ve gaz atmosferinde yapılabilir.

2.1.2.1. Toz ile Karbürizasyon

Yüzeyi sertleştirilecek parçalar karbürleyici toz ile karıştırılarak hava geçirmez sementasyon kutularında 900 °C'de tavlama yapılır. Karbürleyici toz odun kömürü, kok ve kemik kömürü ile alkali bileşiklerden oluşur. Toz halindeki tanelerin ortalama irilikleri 3-6 mm'dir. Yüksek sıcaklıklarda oksijen fakir atmosferde CO ve CO₂ den oluşan bir gaz karışımı elde edilir. Baryum oksit ve baryum karbonat gibi alkali bileşikler karbürizasyonu hızlandırıcı aktivasyon maddeleridir. Yüksek sıcaklıklarda Boudouard reaksiyonu uyarınca



yüzeyde açığa çıkan aktif karbon difüzyonla metal yüzeyine geçerek çeliğin bileşimine girer. Önceleri yüzeyde hızla yükselen karbon miktarı daha sonra gittikçe hızını kaybeder ve belli bir değere ulaşır.

Kolay bir işlem olan tozla karbürizasyonun pratik ve fazla ekonomik olduğu söylenemez. Ayrıca parça yüzeyinde kav oluşumu da görülür. Uygulamada parçalara doğrudan doğruya su verilmemesi de başka bir dikkate değer dezavantajdır.

2.1.2.2. Toz Banyosunda Karbürizasyon

Tuz banyosu karbürizasyonda, iş parçaları belli bir süre ön ısıtmadan sonra 850-930 °C'de sıcaklıklar arasında siyanürlü alkali tuz eriyikleri içerisine daldırılırlar. Tuzların bileşiminde karbon taşıyıcı olarak NaCN, ayrışmayı frenleyici olarak görev yapan klorürler (özellikle KCl), aktifleyici olarak tetrolium ve baryum bileşikleri bulunur.

Karbürizasyon sıcaklığında siyanür parçalanarak karbon ve az miktarda da azot verir. Tuz banyosunda parçaların bekletilme süresi kısadır. Karbürizasyon bittikten sonra parça doğrudan doğruya sertleştirilebilir. Siyanürlerin zehirli olmaları nedeniyle tuz banyosunun yüzeyi grafit ile örtülmelidir.

Tuz banyosunun konmasında en dayanıklı kap, bakır levhalarla kaplı olan kaptır. Bunu dışında seçilecek kaplar siyanür tuzları tarafından kısa sürede kemirilerek kullanılmayacak duruma gelir (Yıldırım, 2001).

2.1.2.3. Gaz Atmosferinde Karbürizasyon

Gaz atmosferinde yapılacak karbürizasyon ilke olarak toz ile karbürlemeye benzer. Ancak burada CO gazı fırın dışında üretilerek fırına verilir.

Karbürizasyon için kullanılacak gaz; SO_2 , CO_2 ve H_2O gibi zararlı bileşiklerden arınmış şehir gazı veya jeneratör gazı olabilir. Ancak bu gaza belirli bir oranda propan (C_3H_8) katılarak karbürleyici etki artırılmalıdır.

Gazlı karbürizasyonda işlem süresi oldukça kısadır. Karbürleme derinliği ve parça büyüklüğü arzu edilen şekilde seçilebilir. Bu avantajlarının yanı sıra gaz üretim ve ayarlama tesislerinin gerekmesi, CO gazının zehirliliği gaz atmosferiyle karbürlemenin dezavantajlarını oluşturur.

2.1.3. Nitrürasyon

Nitrürasyonda, parça yüzeyine karbon yerine azot elementinin geçişi temin edilir. Bir maddenin nitrürasyona yatkın olması için yapısında alüminyum, krom ve molibden gibi nitrür yapıcı elementleri bulundurması gerekir (Yıldırım, 1985).

Nitrürleme sertliğinde iş parçasının ince bir yüzey tabakası azot ile zenginleştirilir. Dolayısıyla çok sert ve aşınmaya dayanıklı bir tabaka meydana gelir. İş parçasının çekirdek bölgesi değişmeden olduğu gibi kalır.

Bu yöntemle sertleştirilecek çeliklerde sertleşmeye yetecek kadar karbon yoktur. Sementasyondan farklı olarak çelik yüzeyine karbon yerine azot atomları emdirilir. Burada sertliğin artırılması, martenzit oluşumuna değil, bilakis iş parçasının yüzey tabakasında nitrit olarak adlandırılan ve gayet sert olan azot bileşiklerine dayanmaktadır. Yüzey tabakasındaki azotun zenginleştirilmesi, azot veren tuz banyolarında veya içinden amonyak akımı geçen nitritleme fırınlarında yaklaşık 550°C 'de tavlama suretiyle sağlanır. Yüzey tabakasına emdirilen azot, demir ve çelik alaşımları ile çok sert nitritleri meydana getirir. Bu işlem, çeliklerde erişilebilen en yüksek sertliği (1200 HV'e kadar) nitrit tabakası kazandırır. Sertleştirme kalınlığı onda bir milimetreden daha azdır. Nitritleme sertliğinin bir dizi avantajları vardır. Bunlar;

1. Nitritleme işleminden sonra tavlama, sertleştirme ve menevişleme yapmaya ihtiyaç yoktur. Çünkü sertlik, doğrudan nitritleme esnasında oluşur.
2. Nitritleme sertliği uygulanmış makine elemanlarında çekme olayı olmaz. Çünkü elemanlar sadece 550°C 'ye kadar ısıtılır.
3. Nitritleme tabakasının kalınlığı, 550°C 'ye kadar ki ısıtma esnasında aynen kalır (Meneviş dayanımı).
4. Nitritleme sertliği, gayet sert aynı zamanda aşınmaya dayanıklı ve kayma kabiliyeti yüksek olan yüzey tabakası meydana gelir.

Nitritleme sertliğinin sakıncası ise, yüksek yüzey zorlamalarında sertlik tabakasının pullanıp dökülmesine yol açar, nitritlenen iş parçası ile az bir kuvvetle birleşmesi (yapışması) gerekir.

2.1.4. Karbonitrürasyon

Karbonitrürasyon; karbürizasyon ve nitrürasyon işlemlerinin karışımı şeklinde olup, karbürleme banyosuna benzeyen tuz eriyikler içersinde yapılır. Seçilecek düşük sıcaklık metal yüzeyine daha az karbonun, buna karşılık daha fazla azotun geçişmesine neden olur. İşlem süresi genellikle 1-1,5 saati aşmaz.

Karbonitrürasyon işlemi görmüş malzemede kendini çekme önemsiz derecede vuku bulur. Parça yüzeyine oldukça sert ($R_c = 65$) ve ince bir tabaka oluşurken parçasını içi dönüşüme uğramaz. Yorulma ve aşma mukavemeti karbonitrürasyonla artar.

Malzeme yüzeylerinde ulaşılan kalınlıklar 700°C 'de 0.1mm , 800°C 'de de 0.2mm dolaylarında bulunur. Sert tabakadan geçiş bölgelere birden bire değil, oldukça ahenkli bir şekilde olur.

2.1.5. Borlama

Bu işlemde bor elementine ait tuzlardan yararlanılır. $950-1000^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 2-3 saat süreyle tutulan parçalarda bor karbür veya borür bileşikleri oluşur. Sertleşen tabaka yaklaşık 2000 HV sertliğine ulaşır ve her türlü çeliğe uygulanabilir. Bu yöntem henüz tam gelişmemiştir. Her türlü çeliğe uygulanabilir. % 0.1 C'lu çeliğin yüzeyi bile bu yöntemle sertleştirilebilir.

2.2. Yüzeyin Kimyasal Bileşimini Değiştirmeden Yüzey Sertleştirme

Bir malzemenin yüzeyinin kimyasal bileşimini değiştirmeden sertleştirilebilmesi için malzeme yüzeyindeki karbon oranının yeterli olması gerekir. Karbon oranları yüzeyde sertleşme sınırı üzerinde bulunan çelikler; ya fırında ısıtılarak, ya endüksiyonla yada endüksiyon akımı ile yüzey sertleştirilir.

Bu yöntemlerden hangisi kullanılırsa kullanılsın parça yüzeyi önce austenit sıcaklığına kadar ısıtılır, sonra da aniden su püskürtülerek soğutulur.

2.2.1. Fırında Isıtarak Yüzey sertleştirme

Parçanın dış kısmı, parça bileşimindeki karbon durumuna göre, A_{c3} ve A_{c1} sıcaklıklarının hemen üzerine; iç kısmı ise ferrit-austenit dönüşümü tamamlanmayacak şekilde ısıtılır. Beklenme süresi de iyi ayarlanmalıdır. Malzeme daha sonra uygun bir ortamda

soğutulur. Parça yüzeyi sertleşir ve aşınma mukavemeti kazanırken iç kısımda fazla bir değişme olmaz.

2.2.2. Alevle Yüzey Sertleştirme

Karbon oranı %0.35 ile 0.70 arasında olan Cr-Ni , Cr-Mo katık elemanlı sade karbonlu çeliklere uygulanan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Esasta yüzeyi sertleştirilecek çeliklerin çok kıs zamanda ve çok kuvvetli ısı kaynağı altında yüzeylerinden ince bir katmanın su verme sıcaklığına kadar çıkarıldıktan sonra hızla soğutulularak sertleştirilmesinden ibarettir.

Isı kaynağı çok kuvvetli olduğu için, çeliklerin yüzeyinden ancak 3-5 mm'lik bir kısmı su verme sıcaklığına çıktığı halde çekirdek kısmı daha soğuktur ve A₁ sıcaklığının altındadır. Isı kaynağının arkasından ısınan yüzeylere su püskürtüldüğü takdirde yüzeylerin sertleşmesi sağlanmış olur.

Isı kaynağı olarak oksijen ve asetilen alevi kullanılır. Bu yöntemle çeliklerde çarpılma ve iç gerginlik görülmez. Küçük parçalara uygun olmaması yanında, yüksek karbonlu çeliklere de uygulanamamaktadır.

2.2.3. Endüksiyon Akımı İle Yüzey Sertleştirme

Esas itibari ile alevle sertleştirmeye benzese de burada parçaların ısıtma düzeni değişiktir. Isı kaynağı olarak elektrik kaynağından faydalanılır. Elektrik dorudan doğruya parçaya verilmez, parçayı mümkün olduğu kadar sıkı bir şekilde saran bir sargıya (bobine) verilir.

Frekansı 10.000 ile 1.000.000 arasında değişen (tavlama işlemlerinde düşük frekanslı akım da kullanılabilir) bir akımın geçtiği sargılar arasına konulan çelik parçalar çok kısa bir zamanda yüzeyden ısınırlar. Isınan kısmın derinliği birkaç mm kadardır. Yüzeyden ısınana kısmın sıcaklığı su verme sıcaklığına kadar ulaşınca akım kesilir ve hemen su püskürtmek suretiyle ısınan kısım soğutulularak sertleştirilmiş olur. Krank milleri, dişliler, miller, kamlar ve benzeri parçalar endüksiyon akımı ile yalnızca yüzeyden sertleştirilir. Bu yöntemde zamanın çok kısa olması ve yalnız yüzeyden ısınma sağlanması ile iç gerginlikler meydana gelmez.

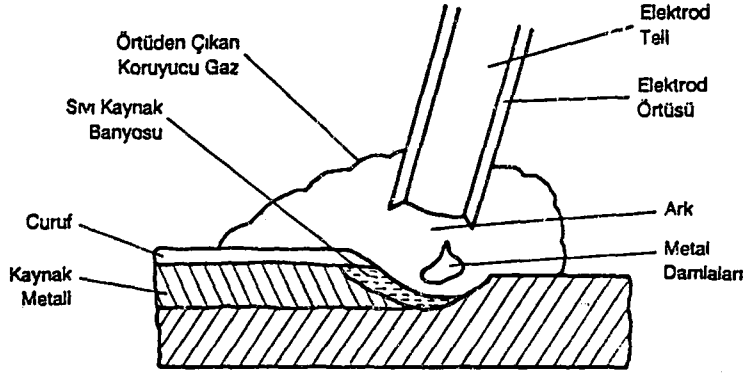
Bu yöntem sürekli üretimler için uygun ve oldukça temiz olmakla beraber, tesis kuruluş masrafları çok yüksektir.

2.3. Yüzey Modifikasyonu İle Yüzey Sertliğini Arttırmak

2.3.1. Örtülü Elektrod İle Elektrik Ark Kaynağı

Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağında ark, iş parçası ve eriyen elektrod arasında yanar ve bu şekilde eriyen elektrod aynı zamanda kaynak metali haline geçer. Elektrod örtüsü

de aynı anda yanarak erir. Bu esnada açığa çıkan gaz ark bölgesini korur ve oluşan curufta kaynak dikişini örterek kaynak bölgesinin korumasının sağlar. Şekil 2.1. örtü ve kaynak bölgesi gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Örtülü elektrod ile ark kaynağında kaynak bölgesi.

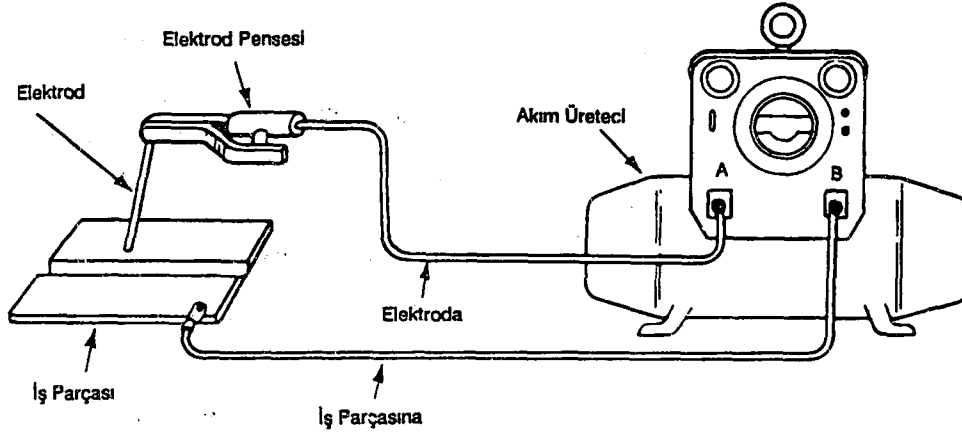
Ayrıca elektrod örtüsüne katılan alaşım elementleri yardımı ile, kaynak dikişini alaşımlandırarak, istenilen özelliklerde kaynak bağlantısı elde edilebilmektedir.

Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynağı, ark kaynak yöntemleri içinde en basit, en popüler ve en universal özelliğe sahip olan yöntemdir. Bu yöntem uygulamada, demir esaslı veya demir dışı metal ve alaşımlarının kaynağında 1,2 mm'den daha kalın parçalara, her kaynak pozisyonunda uygulanabilmektedir. Şekil 2.2.'de elektrik ark kaynağının prensibi görülmektedir.

Kaynak için gerekli koşullardaki elektrik akımı, bu iş için geliştirilmiş bir kaynak akım üretici tarafından sağlanır; akım kablolar yardımı ile iş parçası ve elektrod pensesine iletilir. Kaynakçı elektrodu penseye takar ve iş parçasına değdirerek arkı oluşturur. Arkın başlatılması, yanması, boyunun ayarını, söndürülmesi, kaynak hızı ve eriyen elektrod metalinin kaynak ağzını doldurması için gerekli manipülasyonlar tamamen kaynakçı tarafından yapılır; bu yöntemde kaynağın kalitesine kaynakçının el becerisinin etkisi çok önemlidir.

Kaynak sonrası dikiş üzerinde oluşan curuf yine kaynakçı tarafından temizlenir.

Örtülü elektrod kullanılarak el ile yapılan elektrik ark kaynağında teknik donanım kadar kaynakçının bilgisi ve el becerisi de büyük bir önem taşımaktadır.



Şekil 2.2. Örtülü elektrod ile elektrik ark kaynak donanımı blok şeması.

5.3.1.1. Elektrik Ark Kaynağında Kullanılan Rutil Elektrod

Bu tür elektrodlarda, örtü ağırlığının yaklaşık % 35'ni titandioksit oluşturur. Örtü titandioksitin yanı sıra feldspat, kuvarz, az miktarda selüloz, yine az miktarda ferromangan; bağlayıcı olarak da sodyum ve potasyum silikat içerir. Değişik örtü kalınlıklarında üretilen rutil elektrodlarda eriyen kaynak metali, örtü kalınlığı arttıkça incelen damlalar halinde geçer ve aynı zamanda artan örtü kalınlığı dikişin mekanik özelliklerine de olumlu yönde etkir. Bu tür örtüler, dikişi tamamen örten, oldukça kalın, rengi kahverengiden siyaha kadar değişen, çabuk katılaşan bir curuf oluştururlar. Oluşan curufun katılaşma aralığı yaklaşık 1300 ila 1365 °C arasındadır. Curufun özellikleri, örtüyü meydana getiren maddelerin miktar ve türüne bağlıdır. Örtüye katılan feldspat ve asbest gibi sisli maddeler çok akıcı curuf veren titandioksit ile karışarak curufun uygun bir akıcılıkta kalmasını sağlar.

Bu tür elektrodlar ile hem doğru hem de alternatif akımda kaynak yapılabilir. Bu elektrodlar universal türlerdir, her pozisyonda kaynak yapmaya elverişlidirler; gayet yumuşak bir ark ile sakin bir çalışma sağlarlar, aralık doldurma yetenekleri elektrod örtüsü kalınlaştıkça artar.

Rutil elektrodlar; rutil asit, ince örtülü rutil ve kalın örtülü rutil gibi gruplara ayrılır. Rutil asit türler herhangi bir asit tür örtüsünde bulunan, demir oksit yerine, titandioksit veya ilmenit konması ile elde edilmiştir. Bu şekilde kaynak metalinin oksijen içeriği azaldığında daha iyi mekanik özellikler elde edilir. Kalın örtülü elektrodlarda, oldukça fazla curuf oluştuğunda koruyucu gaz atmosferine fazlaca gereksinme duyulmaz; dolayısı ile bu türler çok az organik madde içerirler.

2.3.1.2. Akım Üretici ve Membaı

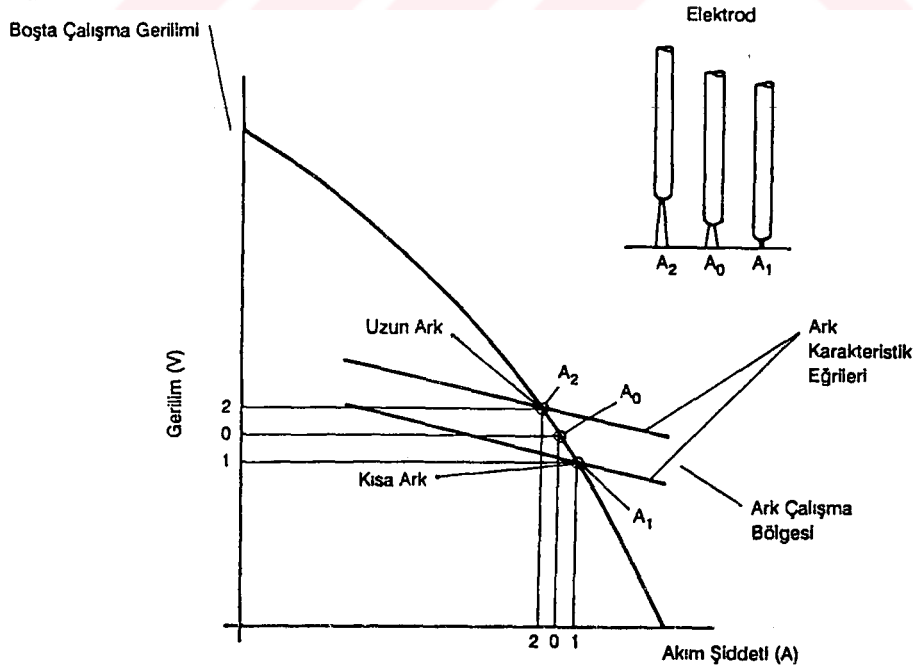
Elektrik ark kaynağında kullanılan akım üreticilerinin işlevleri kaynak arki için gerekli elektrik enerjisini sağlamanın yanı sıra, her akım üreticinin uygulanan kaynak yöntemine göre, aşağıda belirtilmiş olan önemli koşulları da yerine getirmesi gerekir.

- Şebeke gerilimini, sınırlandırılmış boşta çalışma gerilimine çevirmek (Şebeke tarafından beslenen kaynak makinaları).
- Kaynak akım şiddeti ayar donanımına sahip olmak ve çalışma anında ayarlanmış akım şiddetini sabit tutmak.
- Boşta çalışma gerilimi ayarına sahip olmak.
- Çalışma anında kararlı bir ark oluşunca boşta çalışma gerilimini, olabildiğince kısa bir zaman biriminde ark gerilimine düşürmek.

Bu özellikler, kaynak akım üreticinin statik ve dinamik karakteristikleri tamamen elektriksel karakteristiklerdir ve makinanın seçilmiş bir kaynak yöntemi için uygun olup olmadığı belirtilir. Statik karakteristik, makinanın akım şiddeti ile gerilimi arasındaki bağıntıyı gösterir. Elektrik ark kaynağında düşen tip karakteristikli makinalar kullanılır.

Dinamik karakteristik çalışma esnasında ani yük değişmelerine karşı makinaların davranışını belirtir. İyi bir makine, ani yük değişmelerine çok kısa bir sürede (saniyenin yüzde bir kaçı kadar bir zamanda) uyum sağlayabilmektedir.

Bir kaynak makinasının karakteristikleri, laboratuarda yapılacak ölçülerle, kolaylıkla saptanabilirler. Şekil 2.3.'de kaynak akım üreticinin düşen tür statik karakteristiği görülmektedir.



Şekil 2.3. Örtülü elektrod ile elektrik kaynağında kaynak akım üreticinin düşen tür statik karakteristiği.

Elektrik ark kaynağı makinaları genel olarak yüksek gerilim ve düşük akım şiddetinde bulunan şebeke akımını, düşük gerilim ve akım şiddetindeki kaynak akımına çeviren cihazlardır. El ile yapılan normal ark kaynağında, ark gerilimi 25-55 Volt ve akım şiddeti de 10-600 Amperdir; tüm kaynak makinaları kullanılan elektrodun çapına uygun bir akım şiddeti sağlayan bir ayar düzeni ile donatılmıştır.

Örtülü elektrod ile ark kaynağı gerek doğru akım ile gerekse de alternatif akım ile yapılabilir; doğru akım kullanılması halinde elektrod negatif kutba (doğru kutuplama) veya pozitif kutba (ters kutuplama) bağlanabilir. Her iki akım türünün de kendine has bir takım avantajları vardır. Bununla beraber genelde akım türünün seçimini elde var olan kaynak donanımı ile kullanılan elektrodun türü belirler.

Doğru akımın alternatif akıma göre üstünlükleri şunlardır:

- Düşük akım şiddetleri ve ince çaplı elektrodlar halinde doğru akım daha iyi sonuçlar vermektedir.
- Doğru akımda bütün elektrod türleri ile kaynak yapmak mümkündür.
- Doğru akımda arkın tutuşturulması daha kolaydır.
- Doğru akımda sürekli olarak kısa ark boyu ile çalışmak daha kolaydır.
- Doğru akım ile düşük akım şiddetlerinde daha kolay kaynak yapılabileceğinden tavan ve dik kaynak uygulamaları kolaylaşır.
- Doğru akım, ince saçların kaynağında daha iyi sonuç verir.
- Genellikle doğru akımda alternatif akıma göre daha az sıçrama olur.

Örtülü elektrod ile ark kaynağında, doğru akım kullanılması halinde, kutuplama kaynak dikişinin nufuziyetini ve elektrodun erime gücünü etkileyen önemli bir etmendir. Ters kutuplama (elektrod pozitif kutupta) halinde doğru kutuplamaya (elektrod negatif kutupta) göre daha derin bir nufuziyet elde edilir; buna karşın doğru kutuplama halinde de ters kutuplamaya göre elektrodun erime gücü yüksektir. Genelde kutuplamayı elektrodun türü belirler, örneğin bazık karakterli örtülü elektrodlar ters kutuplama ile kullanılırlar.

Alternatif akım kullanılması halinde, bu tür akımın karakteristiğine bağlı olarak her iki kutuplama da düzgün çevrimler halinde oluşur. Ülkemizde ve Avrupa'da 50 Hertz'lik alternatif akım kullanıldığından kutuplama da saniyede 50 kez değişmektedir. Bu bakımdan kaynak dikişinin nufuziyeti doğru akım halindeki doğru ve ters kutuplamanın ortalaması bir değerdedir.

Örtülü elektrod ile ark kaynağında, alternatif akım kullanmanın sağladığı üstünlükleri de şöyle özetlemek mümkündür;

- Alternatif akım halinde ark üfleme si nadiren bir sorun oluşturur.
- Alternatif akım kalın kesitlerin, büyük çaplı elektrod lar ile kaynağı için çok uygundur.



3. ALAŞIM ELEMENTLERİNİN ÇELİKLERİN YAPI VE ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

İçerisine karbon dışında istenilerek başka elementlerin, özellikle metallerin katıldığı çeliklere alaşımlı çelikler adı verilir. İçerisine katılan elementin miktarına göre de düşük, orta ve yüksek alaşımlı çelikler olarak üç gruba ayrılır.

Yüksek mukavemet, yüksek aşınma dayanımı, yüksek korozyon direnci ve yüksek sertlik gerektirmeyen uygulamalar için karbon çelikleri veya alaşımsız çelikler yaygın olarak kullanılır. Fakat alaşımsız çeliklerin serleşme kabiliyeti yeterli olmadığından istenilen mukavemet özelliklerine her zaman cevap vermeyebilirler. Diğer taraftan sertleştirilen çeliklerde iç gerilmelerin giderilmesi ve tokluğun artırılması amacıyla menevişe tabi tutulurlar. Bu da çeliğin sertlik özelliğini yükselen sıcaklıkla etkiler. Bu ve buna benzer sebeplerden dolayı alaşımsız çeliklerin yüksek mukavemet ve sertlik gerektiren yerlerde kullanılması mümkün olmaz. Alaşımsız çeliklerin kullanımını kısıtlayan etkenler alaşım elementi katkılarıyla büyük ölçüde ortadan kaldırabilir.

3.1 Alaşımlamanın Amacı

Çeliklere alaşım elementi katılmasının başlıca amaçları;

1. Sertleşme kabiliyetini iyileştirmek,
 2. sertlik ve mukavemetini artırmak,
 3. Mekanik özelliklerini iyileştirmek,
 4. Tokluğu artırmak,
 5. Aşınma direncini artırmak,
 6. Korozyon direncini artırmak,
 7. Manyetik özellikleri iyileştirmek,
- şeklinde sıralanabilir (Yıldırım ve diğ., 2001).

3.2. Çelikte Karbon

Artan karbon oranı ile çelikte çekme dayanımı, akma sınırı, mukavemet özellikleri ve sertlik artma gösterirken incelme, uzama ve çentik darbe dayanımı (süneklik ve tokluk) azalır. Artan karbon oranı ile çelik bünyesindeki perlit artar. Buna karşılık malzeme sertleştiğinden talaş kaldırma, tornada kesme, plastik şekil verme; yani soğuk ve sıcak şekillendirme güçleşir. Kaynak ve oksî-gaz'la kesme işlemleri de yine sertlik nedeni ile iyice güçleşir.

3.4. Çelikte Krom

Asil çelik sanayi kolunun temel metalik elementidir. Krom, kritik soğuma hızını düşürür. Yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımı veren, ayrıca hidrojen gazına karşı dayanıklılık sağlayan karbürler oluşturur, sertleştirici ve tane küçültücü etkileri vardır. Krom içeriği %17 'yi aşan çelikler, ısıya ve yüksek çalışma sıcaklıklarına dayanıklıdır ve yapıları tamamen ferrittir. Kromlu çelikler ısı işlemlerden geçirildikten sonra kullanılır soğuk ve sıcak çalışan işlerde, kesme işlerinde kullanılan makinelerde krom vazgeçilmez bir elementtir. Krom oranı artıkça kaynak edilebilme yeteneği azalır. Her % 1 krom artışında malzemenin çekme dayanımı 80 -100 (N/mm²) artma gösterir.

3.5. Çelikte Molibden

Karbür oluşumunda yakın bir alaşım elamanıdır. Aşınma dayanıklılığı, derinliğine sertleştirme, kaynak edilebilme, ısı ve tavlama ortamına dayanıklılık, temper gevrekliğini giderme, kesme yeteneğini düzeltme gibi özellikleri arandığı yerlerde önemli bir alaşım elamanıdır.

3.6. Çelikte Alüminyum

Sıvı çelik üzerinde rahatlatıcı etki gösterir. % 0.1'e kadar olan katkılarda tane incelticidir. Azotla birleştiği için zamanla yaşlanma ve sertleşmeyi önler. Korozyonik sıvı ortamda yırtılma özelliğini azaltıcı etki gösterir.

3.7. Çelikte Silisyum

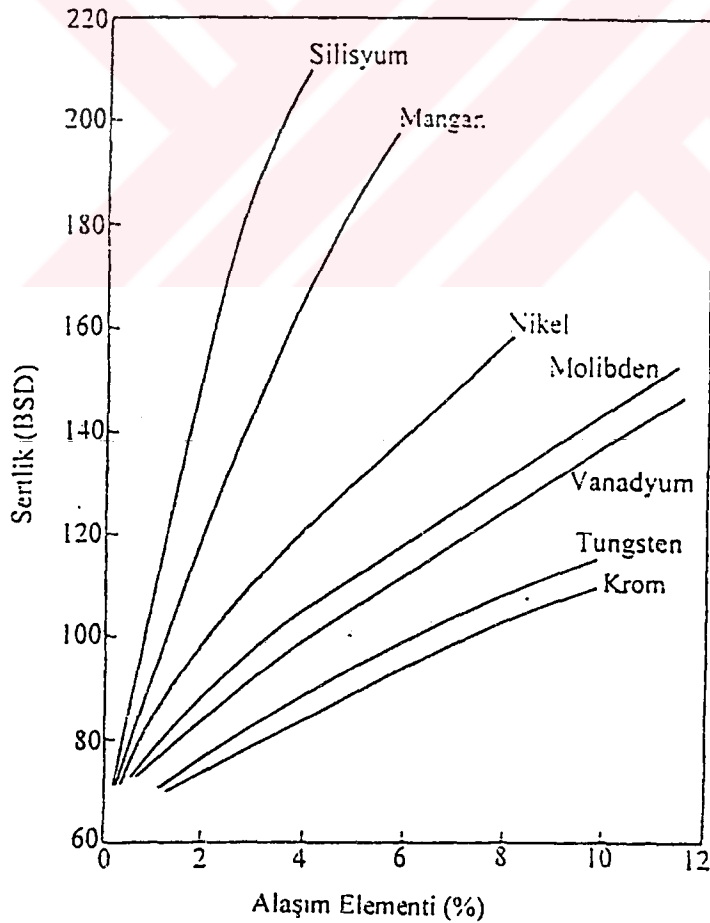
Ticari çeliklerin çoğu % 0.05 ile % 0.3 oranları arasında silisyum içerir. Silisyum, ferrit içerisinde çeliğin sünekliğini fazla azaltmadan mukavemetini artırır. Ayrıca, silisyum

dioksit (SiO_2) oluşturarak sıvı çeliğin oksijenini büyük ölçüde alır ve böylece çeliğin kalitesini iyileştirir. Silisyum dökme demirlerde grafit yapıcı bir element olarak kullanılır.

3.8. Alaşım Elementlerinin Ferrite Etkisi

Teknik olarak bütün alaşım elementleri ferrit içerisinde az da olsa bir miktar çözünürler, ancak bazı elementler karbon oluşturmazlar. Nikel, alüminyum, silisyum, bakır ve kobalt gibi elementler ferrit içerisinde yüksek oranda çözünürler. Karbürün olmaması durumunda, ikinci grup elementler ferrit içerisinde önemli ölçüde çözünebilirler. Karbürün oluşması için çelikte yeterli oranda karbon bulunması gerekir.

Ferrit içerisinde çözülen bir element, katı çözelti sertleşmesi ilkelerine uygun olarak ferritin sertlik ve mukavemetini artırır. Demirin mukavemetini artırma yetkisi bakımından alaşım elementleri krom, vanadyum, molibden, nikel, mangan ve silisyum sırasını izler. Şekil 3.1' de bu alaşım elementlerinin çeliğin sertliğine etkileri görülmektedir. Tablo 3.1'de de çelikte alaşım elementlerinin özgül etkileri verilmiştir.



Şekil 3.1 Ferrit içerisinde çözünen elementlerin çeliğin sertliğine etkileri (Savaşkan, 1999)

4.9. Alaşım Elementlerinin Karbürlere Etkisi

Çelik içerisinde bulunan bütün karbürlerin çeliğin oda sıcaklığındaki mukavemetine etkileri hemen hemen aynı olup, bu etkiler çeliğin kimyasal bileşimine bağlı değildir. Yani karbürler kimyasal bileşime bağlı kalmadan, çeliğin oda sıcaklığındaki mukavemetini benzer biçimde etkiler.

Karbür yapıcı elementler, çeliğin ostenitleştirme sıcaklığı ve tavlama süresini önemli ölçüde etkiler. Karmaşık karbürlerden bazıları, ostenit fazı içerisinde çözünmezler. Bu tür karbürler ostenitin karbon ve alaşım elementi oranlarını, çeliğin kimyasal bileşimindeki oranların altına düşürürler. Çözülmeyen karbürler, tane büyümesinin de engeller. Bu sebepten karbürler çeliklerin sertleşme yeteneğini olumsuz yönde etkiler. Karbürlerin ostenit içerisinde çözülmesi durumunda karbür yapıcı elementler çeliğin sertleşme yeteneğini sağlarlar.



Tablo 3.1 Çelikte alaşım elementlerinin özgül etkileri

Element	Katu Çözünürlük		Ferrite Etkisi	Austenite Etkisi (Sertleşebilirlik)	Karbür Halinde Gösterdiği Etki		Ana Fonksiyonu
	Austenitte	Ferritte			Karbür oluşuma eğilimi	Temperleme esnasındaki etkisi	
Al	% 1.1	% 36	Katu çözelti yaparak sertliği oldukça artırır	Sertleşilmeyi artırır	Negatif Grafitleştiricidir		1. Oksijeni bağlar 2. Oluşturduğu nitrit ve oksitler tane sınırlarına yelerek tane büyümesini sınırlar 3. Nitritleme çeliklerinin alaşım elementidir
Cr	% 12.8 (% 0.5 C ile % 20)	Simrsız	Bir parça sertleştirir. Korozyon direncini artırır	Sertleşilmeyi orta derecede artırır	$> Mn, < W$	Yumuşamaya biraz direnir	1. Korozyon ve oksitlenme direncini artırır 2. Sertleşebilirliği artırır 3. Yüksek sıcaklık dayanımını artırır 4. C yüksek ise abrazyon direncini artırır
Co	Simrsız	% 75	Katu eriyik yaparak sertliği oldukça artırır	Çözündüğünde sertleşebilirliği azaltabilir	Fe'e benzer	Katu eriyik yaparak sertleştirir	1. Ferriti sertleştirerek kızıl sertliğe katkıda bulunur
Mn	Simrsız	% 3	Sertliği oldukça artırır. Plastikliği azaltır	Sertleşebilirliği orta derecede artırır	$> Fe, < Cr$	Çok azdır	1. Küçük gevrekliğini alır 2. Sertliği artırır
Mo	% 3 (% 0.3 C ile % 8)	% 37.5 sıcaklık azaldıkça azalır	Küksek Mo-Fe alaşımlarında yaşlandırma sertleşmesi sağlar	Sertleşilmeyi güçlü bir şekilde artırır. $Mo > Cr$	Çok güçlü $> Cr$	İkincil sertleşme ile yumuşamaya direnir	1. Austenitin tane irileşme sıcaklığını yükseltir 2. Sertleşme derinliğini artırır 3. Temper gevrekleşmesine karşı koyar 4. Sıcak ve sürtünme dayanımını, kızıl sertliği artırır 5. Paslanmaz çeliklerde korozyon direnci sağlar 6. Abrasyona dirençli parçacıklar oluşturur

Element	Kau Çözünürlük		Ferrite Etkisi	Austenite Etkisi (Sertleşebilirlik)	Karbür Halinde Gösterdiği Etki		Ana Fonksiyonu
	Austenite	Ferrite			Karbür oluşurma eğilimi	Temperleme esnasındaki etkisi	
Ni	Sınırsız	C'dan bağımsız % 10	Katı eriyik yaparak tokluğu ve dayanımı artırır	Sertleşebilirliği artırır yalnız kalıntı austenit kalmasına yol açar	Negatif Grafiteleştirici	Çok az	1. Su verilmemiş veya tavlannmamış çeliklerin dayanımını artırır 2. Özellikle düşük sıcaklıklarda perlitik-ferritik çeliklerin tokluğunu artırır 3. Yüksek Cr-Fe alaşımlarını austenitleştirir
P	% 0.5	% 2.8	Katı eriyik yaparak sertliği oldukça artırır	Sertleşebilmeyi artırır	Yoktur		1. Düşük C lu çeliklerin dayanımını artırır 2. Korozyon direncini artırır 3. İşlenebilirliği özelliğini artırır
Si	% 2 (% 0.35C ile % 9)	% 18.5	Plastikliği azaltır, sertliği artırır (Mn<Si<P)	Sertleşebilmeyi orta derecede artırır	Negatif (Grafiteleştirici)	Katı eriyik yaparak sertlik verir	1. Genel amaçlı oksijen bağlayıcıdır 2. Elektrik ve manyetik levhalar için alaşım elementidir 3. Oksitlenme direncini artırır 4. Grafiteleştirmeyen elementler taşıyan çeliklerin sertleşebilirliğini artırır 5. Düşük alaşumlu çeliklerin dayanımını artırır
Ti	% 0.75 (% 0.2 C ile % 1)	% 6 Sıcaklık azaldıkça azalır	Yüksek Ti-Fe alaşımlarında yaşlanma sertleşmesi sağlar	Çözündüğünde, muhtemelen sertleşebilirliği çok fazla artırır. Karbür oluştursa sertleşebilirlik azalır	Bilinen en yüksek (% 2 Ti % 0.50 C lu çelikleri sertleştirmez hale getirir)	İnatçı karbürler muhtemelen etkilenmezler. Bir miktar ikincil sertleşme görülebilir	1. Soy parçacıklarında karbonu bağlar a. Orta Cr' lu çeliklerde martenzitik sertlik ve sertleşebilmeyi azaltır b. Yüksek Cr' lu çeliklerde austenit oluşumunu önler c. Uzun süreli ısıtımlarda paslanmaz çelikteki Cr' un lokal olarak azalmasını önler
W	% 6 (% 0.25 C ile % 11)	% 33 Sıcaklık azaldıkça azalır	Yüksek W-Fe li çeliklerde yaşlanma sertleşmesi sistemi oluşur	Küçük miktarlarda, sertleşebilmeyi oldukça artırır	Güçlü	İkinci sertleşme ile yumuşamaya karşı koyar	1. Takım çeliklerinde sert, abrasyon dirençli peritüküller oluşur 2. Yüksek sıcaklıklarda sertlik ve dayanımı artırır 3. Çözündüğünde sertliği artırır

4. AŞINMA

Aşınma olayı teknik bir problem olduğu kadar ekonomiyi de yakından ilgilendirir duruma gelmiştir. Amerika’da yapılan bir araştırma neticesinde, çeşitli aşınma mekanizmalarıyla meydana gelen malzeme kaybının mali değerinin yılda yüz milyar dolar olduğu tespit edilmiştir. Bu da brüt olarak milli hasılanın % 6-7’sini oluşturmaktadır.

Aşınmanın tanımı değişik şekillerde yapılabilmektedir. En genel haliyle “Mekanik ve kimyasal etkilerden dolayı malzemeden istenmeyen partikül kaybı” olarak ifade edilebilir. Moore’a göre aşınma, kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro taneciklerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır (Moore, 1974). Diğer bir tanıma göre aşınma, katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkmasıdır (Özsaraç, 2000). DIN 50320 ve ASTM G4093 standartlarına göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması sonucu mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılmasıyla meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır (Yılmaz, 1997).

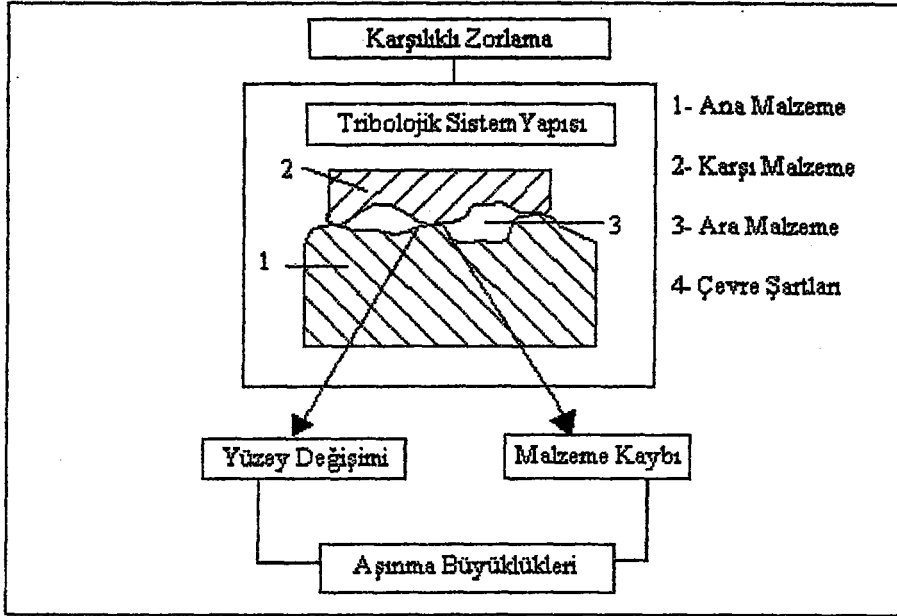
Genel olarak aşınma; yataklarda, pistonlarda, supaplarda, tekerleklerde, kesici uç ve ağızlarında, dişlilerde kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri üretim cihazlarında vb. yerlerde meydana gelmektedir (Korkut, 1997)

4.1. Aşınma Sisteminde Temel Unsurlar

Bir aşınmada temel unsurlar şunlardır:

- a. Ana malzeme (Aşınan),
- b. Karşı malzeme (Aşındıran),
- c. Ara malzeme,
- d. Yük,
- e. İzafi hareket,
- f. Çevre.

Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte “Tribolojik Sistem” diye adlandırılır. Bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 4.1’de görülmektedir (Pekin ve diğ., 1993 ; Duman, 1999).



Şekil 4.1. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi (Pekin ve diğ., 1993).

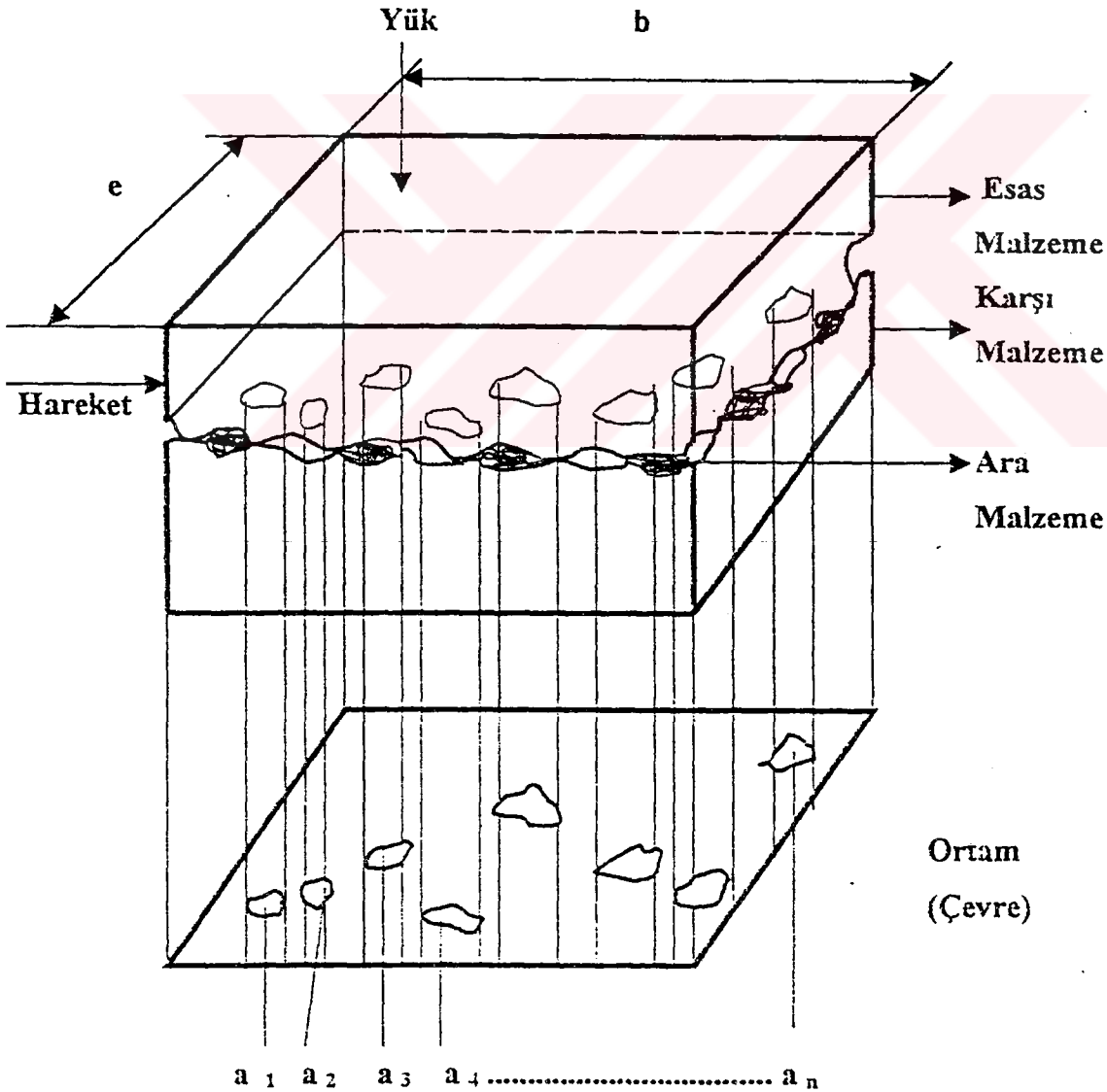
- a). **Esas Malzeme (Aşınan):** Fiziksel ve kimyasal özellikleri yanında, yüzey yapısı, şekil durumu tamamen belirli olan ve aşınma özelliği ile incelenen katı cisim şeklinde tanımlanabilir.
- b). **Karşı Malzeme(Aşındıran):** Aşınmanın meydana gelmesinde başlıca öneme sahip olan karşı sürtünme elemanı, katı bir cisim, sıvı veya gaz olabilir. Bu eleman temel sürtünme elemanı ile birlikte bir aşınma çiftini oluşturmaktadır.
- c). **Ara Malzeme:** Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar yada bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir. Örneğin bu ara maddeyi, yüzeyler arasına herhangi bir nedenle girmiş kum taneleri oluşturabileceği gibi, aşınma esnasında kopan parçacıklar da ara maddesi görevini üstlenebilir.
- d). **Yük:** Etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.
- e). **İzafi Hareket:** Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıkta olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.

İzafi hareket ve yükleme değişkenleri sistemi etkileyen önemli giriş büyüklüklerini meydana getirirler. Bunların etkisiyle yapıda bazı değişimler meydana gelirken sürtünme ve aşınma ile gerçekleşen kayıplar ortaya çıkar. Bu durum arasındaki ilişki Tablo 4.1'de görülmektedir.

f). Çevre: Sistemi içine alan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır. Su, hava ve gazlar teknikte en sık rastlanılan çevre ortamlarıdır.

Tablo 4.1. Yükleme ve hareket değişkenlerinin sistemi etkilemesi (Czichos, 1977).

Başlangıç(giriş) Büyüklikleri	Tribolojik Olay Sırasında Değişen Faktörler		Sonuç Büyüklikleri
Sürtünme Elemanlarının Yapısı	Yüzey Pürüzlülüğü Değişimi	Yapı Değişimi	Sürtünme Kuvveti
Yükleme	Ara Maddesi	Fiziksel Kimyasal Özellikler (Mukavemet, iç gerilmeler)	Aşınma Miktarı
Hareket	Sıcaklık Değişimi		

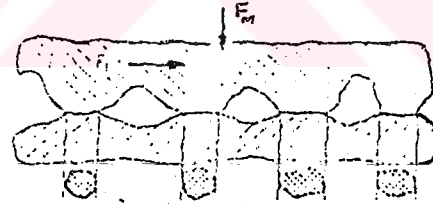
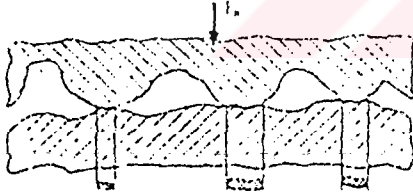
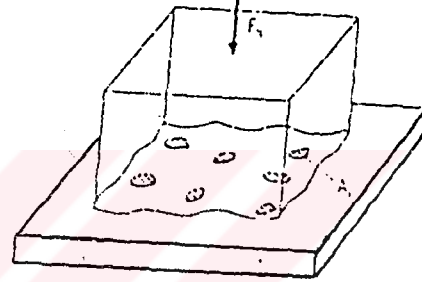
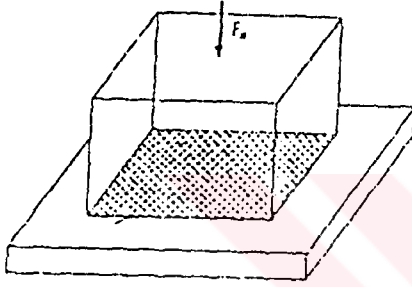


Şekil 4.2. Sürtünen iki cisimde aşınmanın temel unsurları (Kragelsy, 1960).

Diğer bir tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Birbiriyle temas eden iki cismin gerçek temas yüzeyi, görülen temas yüzeyinden küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düzgün işlenirse işlensin yüzeyde mutlaka pürüz dediğimiz çıkıntılarının bulunduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halindeki iki cisim bu pürüzler vasıtasıyla temas kurarlar. Pürüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalır. Şekil 4.2 den de görüldüğü gibi, görünen temas alanı,

$$S = e.b \text{ (birim kare) iken;}$$

Birim temas yüzeyi, pürüzlerin temas yüzeylerinin toplamıdır. Gerçek temas alanı $S_g = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n$ şeklindedir. Buradan da anlaşılacağı üzere görünen (geometrik) temas alanı (S), gerçek temas alanından (S_g) daima büyüktür ($S > S_g$) (Şekil 4.3.) (Kragelsky, 1960).



Şekil 4.3. a) Görülen temas alanı

Şekil 4.3. b) Gerçek temas alanı

4.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen faktörler birçok farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir.

1- Ana malzemeye bağlı faktörler

- a. Malzemenin Kristal Yapısı
- b. Malzemenin Sertliği
- c. Elastite Modülü
- d. Deformasyon Davranışı

- e. Yüzey Pürüzlülüğü
- f. Malzemenin Boyutu
- 2- Karşı malzemeye bağlı faktörler ve aşındırıcının etkisi
- 3- Ortamın etkisi
 - a. Sıcaklık
 - b. Nem
 - c. Atmosfer
- 4- Servis koşulları
 - a. Basınç
 - b. Hız
 - c. Kayma Yolu (Kayalı vd. 1997)

4.2.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

4.2.1.1. Malzemenin Kristal Yapısı

Malzemelerin kristal yapılarının aşınma direncine etkisinin araştırılmasıyla, sıkı paket yapıya sahip malzemenin aşınma direncinin, diğer kristal yapılarına göre daha büyük olduğu gözlenmiştir (Atamert, 1989). Buna örnek olarak kobalt gösterilebilir. Erime sıcaklığı 1495 °C olan saf kobaltın yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) ve düşük sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal (SPH) olmak üzere iki allotropu mevcuttur. Saf kobaltta YMK → SPH ($\alpha \rightarrow \epsilon$) dönüşümü 417 °C'de olmaktadır (Çimenoglu ve diğ., 1991).

4.2.1.2. Malzemenin Sertliği

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlik ile aşınma direnci arasındaki ilişki belli bir düzeye kadar doğrusal değişim gösterir. Yani sertliğin artmasıyla aşınma direnci de artar. Ancak belli bir değerden sonra sertlik, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlayabilir (Muratoğlu, 1997).

Malzemenin sertliği ile ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarı arasında sıkı bir ilişki vardır. Genelde alaşım elementleri malzemenin mukavemetini ve sertliğini artırırlar (Larsen, 1990).

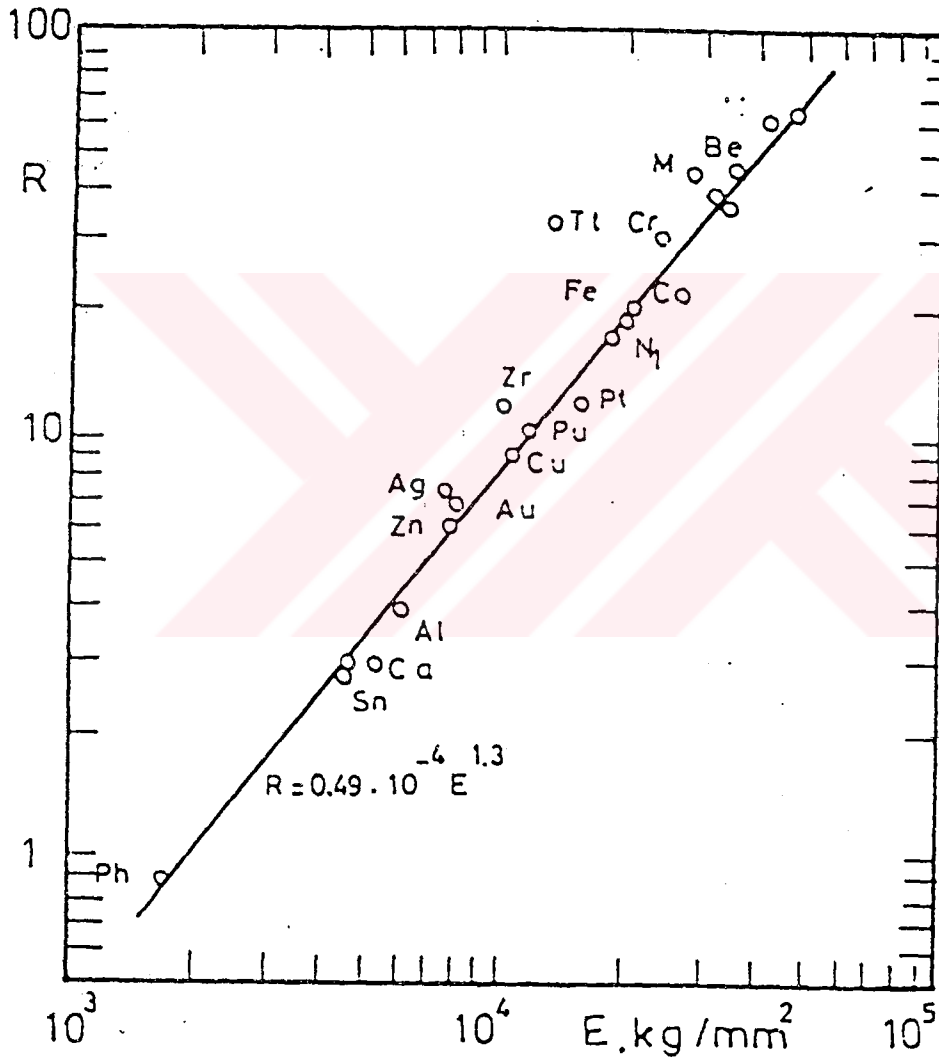
4.2.1.3. Elastisite Modülü

Khrushchov ve Babichev'in yaptıkları araştırmalarda saf metallerin aşınma direnci ile elastisite modülü arasında aşağıdaki bağıntı verilmektedir.

$$\epsilon = C.E^{1.3}$$

Bu bağıntı ile Şekil 4.4.'de saf metallerin aşınma direnci ile elastisite modülü arasındaki ilişkiyi tespit etmişlerdir. Fakat bu ilişki ısıtılmış çelikler için olmadığı ve yine aynı araştırmacılar saf metaller için söylenebilecek adı geçen ilişkinin abrasiv aşınmanın her sistemi için geçerli olmayacağını belirtmişlerdir.

Bu bağıntı ile ilgili olarak da malzemelerin elastiklik modülleri ve aşınma dirençleri arasında bir ilişki vardır. Bu ilişkinin niteliği de malzemenin elastiklik özellikleri ile açıklanabilir.



Şekil 4.4. Teknik saf malzemeler için Elastisite modülü ile İzafi aşınma direnci arasındaki ilişki (Moore, 1974).

4.2.1.4. Deformasyon Davranışı

Soğuk şekil değiştirme işlemi sertliği etkilediği için aşınma direncini değiştirmektedir. Malzemelerin mekanik özellikleri soğuk deformasyonla geliştirilebildiği gibi, aşınma direnci de soğuk şekil değiştirme ile sertleştirilmiş malzemelerde hissedilir derecede gelişmektedir.

Soğuk şekil değiştirme sırasında malzeme yapısında meydana gelen pekleşme malzemenin mekanik özelliklerini etkilemektedir.

Aşınma sırasında verilen enerjinin bir kısmı sürekli olarak soğuk deformasyon meydana getirerek malzeme yüzeyinin pekleşmesine sebep olacaktır. Eğer hakiki yüzey basıncı ve şekil değiştirme mukavemeti arasında böyle bir denge söz konusu olursa aşınma azalacak bir müddet sonra sabit olarak devam edecektir (Keleştimur, 1989).

4.2.1.5. Isıl İşlemin Etkisi

Isıl işlemin etkisiyle mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler aşınma direncini büyük ölçüde değiştirir. Isıl işlemle yapılan sertleştirme işlemi aşınma direncini arttırabilmektedir. Ayrıca, ısıl işlemle malzemelerin mikro yapısı değiştirilebildiğinden dolayı aşınmaya etki eden faktörler değiştirilerek metallerin aşınma davranışlarını farklı boyutlarda geliştirmek mümkündür.

4.2.1.6. Yüzey Pürüzlülüğü

Başlangıç şartlarında yüzey pürüzlülüğü kontrol edilebilir. Fakat çalışma sırasında aşınma mekanizmasına göre değişen yüzey profilinin kontrolü imkansızdır. Bu sebepten ötürü uygun çalışma çiftleriyle çalışmak gereklidir.

4.2.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcı Etkisi

Laboratuvar deney ortamlarında çok çeşitli aşındırıcılar kullanılır. Aşındırıcı tanenin; boyutu, sertliği ve şekli aşınma hızında önemli derecede rol oynar. Tablo 4.2'de bazı aşındırıcılar ve bunların sertlik değerleri verilmektedir.

Tablo 4.2. Aşındırıcı malzemelerin sertlik değerleri (Muratoğlu, 1997).

Aşındırıcı Cinsi	Mikro Sertlik (kg/mm ²)	Dayanabildiği Sıcaklık (°C)
Elmas	10.000	700 - 800
Bor karbür	3700 - 5000	700 - 800
Silisyum karbür	2300 - 2600	1300 - 1400
Alüminyum oksit	2000 - 2300	1700 - 1800

Alüminyum oksit (Al₂O₃) aşındırıcı taneleri sert ve köşelidirler. Silisyum karbür (SiC) aşındırıcı taneleri ise daha sert ve köşeli olmalarına rağmen, alüminyum oksit aşındırıcılarına

göre kırılındırlar. Yüksek sıcaklıklarda bazı Alümina ve Silisyum karbür aşındırıcıların sürtünme katsayıları incelenmiş, neticede silisyum karbürün sürtünme katsayısı sıcaklığın yükselmesiyle azaldığı bulunmuştur.

Yüzeyler arasında sürtünme söz konusu olduğuna göre sürtünme kuvvetinin bir kısmı sistemde sıcaklık olarak ortaya çıkacaktır. Özellikle sistemde kuru bir sürtünme mevcut ise ortaya çıkan ısının boyutları oldukça yüksek olmakta, hatta bazı malzemelerde mikro yapı değişikliklerine bile neden olmaktadır. Co-Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, belli bir sıcaklıktan sonra değişik mikro yapıya sahip olması sıcaklığın aşınma üzerindeki etkisini karakterize etmesi bakımından ilgi çekicidir (Muratoğlu, 1997).

4.2.3. Ortamın Etkisi

4.2.3.1. Sıcaklık

Hafif aşınma bölgesinde artan sıcaklık yüzeyin sertliğini düşürdüğü, plastik deformasyonu kolaylaştırdığı ve oksidasyona yol açtığı için aşınma miktarını arttırmaktadır. Şiddetli aşınmada ise çevre sıcaklığının aşınmaya katkısı, yüzeyin özelliklerini iyileştirdiği için olumlu yönde olmaktadır (Özmen ve diğ., 1991).

4.2.3.2. Atmosfer ve Nem

Atmosferde bulunan oksijen yüzeyde koruyucu oksit tabakası oluşturur. Ortam olarak soy gaz (argon vb.) kullanıldığı takdirde oksit oranı azalacaktır. Bu oksit tabakalarının yüzeyden koparılmasıyla metal- metal teması oluşur ve parça adhezyona uğrar. Aynı zamanda atmosferdeki bağıl nem oranı da aşınmayı etkilemektedir. Bağıl nem oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalmakta, dolayısıyla aşınma miktarı düşmektedir.

4.2.4. İşletme Koşulları (basınç, hız ve kayma yolu)

Aşınma sistemi içersinde aşınma yüzeyinin maruz kalacağı basıncın büyüklüğü, birim yüzeye uygulanan kuvvetin ve dolayısıyla sürtünme kuvvetinin büyümesini sağlayacağından, aşınmanın da artmasına sebep olacaktır. Araştırmacıların bir çoğu kritik bir yükleme miktarına kadar yükün artışı ile hacimsel aşınmanın orantılı bir değişim gösterdiğini açığa çıkarmıştır. Kritik yükleme miktarı, aşınma yüzeyinin soğuk deformasyonla sertliğinin belli oranda arttığı değer olarak belirlenmiştir (Muratoğlu, 1997).

4.2.5. Aşınma Direncine Karbürlerin Etkisi

Alaşımların mikro yapılarında bulunan karbürler alaşımın aşınma direncini arttırmada önemli bir rol oynamaktadırlar. Mikro yapıda bulunan karbür miktarının artması ve karbürlerin

irileşmesi abrasiv aşınma direncini arttırmaktadır. Matris/Karbür ara yüzeyinin mukavemeti, karbürler arası mesafe ve abrasiv aşındırıcı ile farklı sertlikteki karbürlerin mevcudiyeti de alaşımların abrasiv aşınma direncini etkilemektedir. Karbürlerin çok küçük ve sık dağılımı malzemenin sertliğini artırarak aşınma hızını azaltabilir. Aşındırıcı parçacıkların karbürlerden daha sert olması, aşınma esnasında karbürlerin kesilmesine ve çatlamasına sebebiyet verebilir. Bu durumda aşınma direncinde bir azalma görülür (Çimenoglu ve diğ., 1991).

4.2.6. Aşınma Direncine Matrisin Etkisi

Matris tarafından yeterli desteğin sağlanmasıyla abrasiv aşınma sırasında karbürlerin dökülmesi önlenmediği söylenebilir (Noble, 1986). Çoğu durumlarda bilhassa ağır abrasiv aşınma şartları altında çatlaklar önce karbür/matris ara yüzeyindeki yüksek gerilme konsantrasyonlarından dolayı bu bölgelerde başlamaktadır. Daha iyi abrasiv aşınma direncinin matris fazın artan mikro sertliği ile elde edilebileceği düşünülebilir. Her ne kadar sert ve saf metallerdeki sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki doğrusal olsa da, çok bileşenli alaşımlar için hiçbir basit kural bulunmamaktadır. Abrasiv aşınmada ise aşınmış yüzeylerde deformasyon sertleşmesiyle aşınmış yüzeyinde sertliğini arttıracak ve aşınma direnci aşınan yüzeyin sertliği ile daha iyi belirlenecektir. matris mukavemeti katı eriyik sertleşmesi ile de artabilir. bazı araştırmacılar yüksek mukavemetli matrisin, karbürlere daha iyi bir destek sağlayabileceğini ve ince partiküllerin daha erken dökülmesini önleyebileceğini ileri sürmektedir (Rakayby ve diğ., 1986).

4.3. Aşınma Mekanizmaları

Temel aşınma çeşitleri olarak aşağıdaki gibi bir sıralama yapılabilir.

- a. Adhezif aşınma (Yapışma aşınması)
- b. Abrasiv aşınma
- c. Yorulma aşınması
- d. Eroziv aşınma
- e. Öğütmeli aşınma (Grinding wear)
- f. Oymalı aşınma (Gonging wear)
- g. Kazımalı aşınma (Fretting wear)
- h. Koroziv aşınma (Kayalı ve diğ., 1997)

4.3.1. Adhezif aşınma

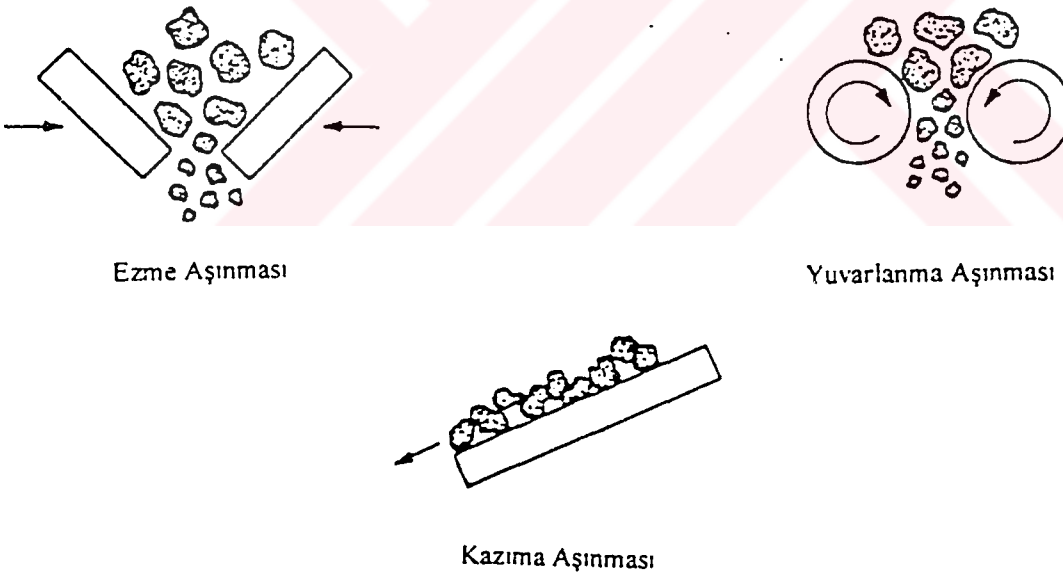
Özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan, metal-metal aşınma çiftinde meydana gelen kaynaklaşma olayının bir sonucudur. Birbiriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki

metalik yüzey arsında adhezyon kuvveti dediğimiz bir çekim söz konusudur. Bu kuvvetin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerini birbirine çok yaklaştırmak gerekir. Zaten temas halindeki iki metal, birbiriyle yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşirler. Malzeme ağırlığından veya bir dış kuvvet tesiriyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek olan basınç veya gerilme çok büyük olacaktır. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksek ise, mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılacaktır. böylece yüzeyde absorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanacaktır.

4.3.2. Abrasiv Aşınma

İki yüzeyin arasında bulunan dışarıdan girmiş veya sürtünen malzemelerden kopmuş minyatür sert parçacıklardan dolayı çalışma esnasında oluşan aşınma tipine abrasiv aşınma denir. Bu sert parçacıklar yumuşak olan yüzeye gömülür ve karşı malzemeyi aşındır (Özmen ve diğ., 1991).

Yırtılma ve çizilme aşınması olarak da isimlendirilen abrasiv aşınma, sistemde hızlı hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Çeşitli tip abrasiv aşınmalar Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Abrasiv aşınma tipleri

4.3.3. Yorulma Aşınması

Titreşim (yorulma) aşınması, titreşim zorlamalarında yorulma kırılması hasarı olarak ortaya çıkar. Değişken, tekrarlı yüklemeler sonucu meydana gelir. Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu

meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma prosesinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur; bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine neden olur (Kayalı ve diğ., 1997).

4.3.4. Eroziyon Aşınma

Eroziyon aşınma, bir sıvı veya taşıyıcı içerisindeki sert partiküllerin malzeme yüzeyinden hızlarla kayması veya yuvarlanması sırasında meydana gelir. Kayma ve yuvarlanma esnasında, yüzeyle temas eden her bir partikül tarafından uzun bir periyot sonunda metal yüzeyinden çok sayıda parça koparılması ile eroziyon aşınma hasarı meydana gelir.

4.3.5. Ögütme Aşınma

Ögütme aşınma, yüksek basınçlar altındaki partiküllerin metal yüzeyleri ile düşük hızlarda karşılaşmaları sonucunda, metal yüzeyinden parçacıkların kesilerek veya çok sayıda ufak çizikler açılarak koparılması ile meydana gelir.

4.3.6. Oymalı Aşınma

Oymalı aşınma, malzeme yüzeyinin çok yüksek gerilmelerdeki çarpma durumlarında, yüzeyden bir parçanın kesilerek veya kopmasıyla meydana gelir.

4.3.7. Kazımalı Aşınma

Kazımalı aşınma, karşılaşan yüzeylerde mikro kaynaşmanın meydana geldiği adhezif aşınmaya bir miktar benzemektedir. Aralarındaki fark ise, şu şekilde açıklanabilir. Adhezif aşınma da birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma da ise birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelir. Ancak kazımalı aşınma, çok düşük genlikteki hareketlerin (vibrasyon) meydana geldiği sistemlerde, mikro kaynaşmanın oluşmasıyla meydana gelir.

4.3.8. Koroziyon Aşınma

Abrasiv aşınma ile kimyasal maddelerin birlikte meydana getirdiği aşınma şeklidir. Triboksidasyon aşınması adı da verilen koroziyon aşınma durumunda, ana malzeme ile karşı malzeme arasında tribolojik zorlamalardan meydana gelen kimyasal reaksiyon etkindir. Malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen, bu yüzey tabakalarının triboksidasyon sonucu özelliklerin değişmesi, aşınmayı hızlandırmaktadır. Yağ gibi kimyasal maddeler, bulunan ortamda çalışan makine parçalarının yüzeylerinde oluşan yüzey tabakalarının bir kısmının tribolojik

zorlamalarla kırılması ve aşındırıcı parçacıklar oluşturmaları, aşınmayı artırır. Tribooksidasyon aşınması, özellikle metalik malzeme yüzeyinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur, bu ise, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur.

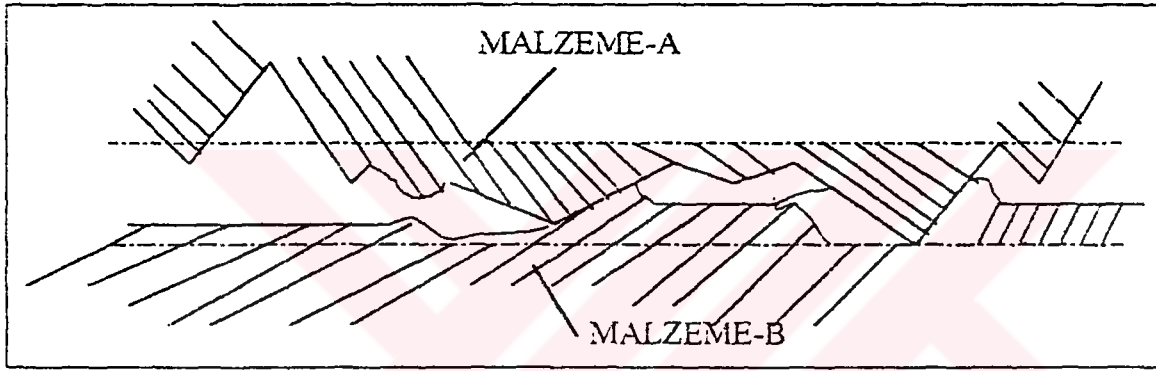


5. ABRASİV AŞINMA

Abrasiv aşınma biri diğerinden daha sert ve pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayması sırasında meydana gelir. Metal şekillendirmede yaygın olarak kullanılan talaşlı imalat yöntemleri esasen bu tür aşınmaya dayanmaktadır. Sert parçacıkların yumuşak metale batması da abrasiv aşınmaya neden olabilmektedir. Buna örnek olarak, bir sisteme dışarıdan giren kum vb. gibi parçacıkların veya bir motordaki yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma verilebilir (Çimenoglu ve diğ., 1991).

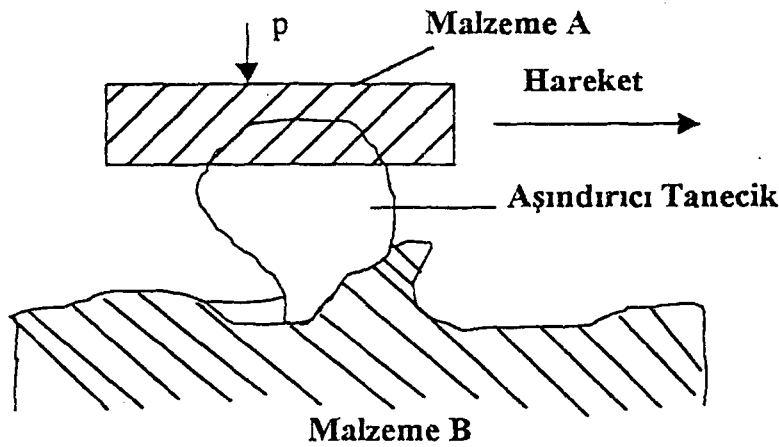
Bu tip aşınmada sert ve keskin partiküller, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterirler. Bu aşınma, iki elemanlı ve üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır.

İki elemanlı abrasiv aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbirleriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir.(Şekil 5.1)



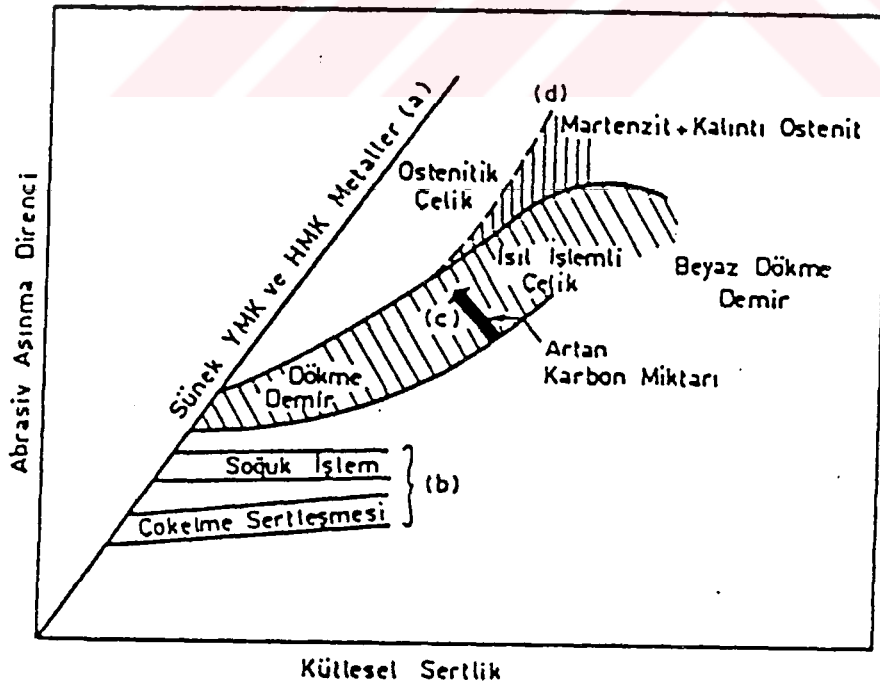
Şekil 5.1. İki elemanlı abrasiv aşınma

Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, ana ve karşı malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeylerden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilirler. (Şekil 5.2)



Şekil 5.2. Üç elemanlı abrasiv aşınma

Malzemelerin abrasiv direnci, Şekil 5.4'de de görüldüğü gibi, kütleli sertlikten önemli derecede etkilenmektedir. Artan sertlikle abrasiv direncinin artmasına rağmen sünek ve gevrek malzemeler farklı aşınma özelliklerine sahiptirler. Tek fazlı sünek malzemelerde (Şekil 5.4'deki a eğrisi) aşınma yüzeyinin yüksek plastik deformasyona uğraması, aşınma direncinin kütleli sertlikten ziyade yüzeysel sertliğe bağlı olmasına sebebiyet vermektedir. Bu nedenle, sünek malzemelerin deformasyon sertleşmesi özellikleri önemli olup, yüksek abrasiv aşınma direnci açısından deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerinin yüksek olması arzu edilir. Malzeme sertliğinin, tane boyutunu küçültürerek, soğuk işlem uygulayarak, çökeltme sertleşmesi veya dispersiyon sertleşmesi yaparak artırılması halinde ise, aşınma direncinde bariz bir artış olmaktadır (Şekil 5.4'deki b eğrisi). Hatta bu işlemlerde malzemenin gevrekleşmesi, aşınma direncinin bir miktar azalmasına da neden olabilir. Su verilmiş ve temperlenmiş çelikler gibi, martenzitik ve küresel mikro yapıya sahip malzemeler, aynı sertlikteki sünek malzemelerden daha düşük aşınma direncine sahiptirler (Şekil 5.4'deki c eğrisi). Bunun nedenleri aşınma ve kırılma mekanizmaları arasındaki farklılığın yanı sıra, martenzitik ve küresel mikro yapıya sahip malzemelerin sünek malzemelere kıyasla daha düşük deformasyon sertleşmesi üssü (n) değerine sahip olmalarıdır. Ayrıca, bu malzemelerde sünekliğin azalmasıyla, aşınma direncinde azalmada görülebilir. Östenitik çeliklerde ise, yüzeyin deformasyonla martenzite dönüşmesi, Şekil 5.4'deki d eğrisinden de anlaşılacağı gibi aşınma direncinin artmasına sebep olmaktadır (Çimenoglu ve diğ.).



Şekil 5.4. Çeşitli malzemelerde kütleli sertliğin abrasiv aşınma direncine etkisi

5.1. Abrasiv Aşınmasının Engellenmesinde veya Azaltılmasında Kullanılan Yöntemler

Abrasiv aşınmanın engellenmesinde veya abrasiv aşınmanın hızının en aza indirilmesinde aşağıdaki yöntemlere başvurulabilir.

5.1.1. Yüzey Sertliğini Arttırmak

Abrasiv aşınmanın engellenmesinde veya aşınma hızının azaltılmasında en etkili yol, malzemeye yüzey sertliğini arttırmaktır. Ancak bu yöntemin bazı malzemelere uygulanmasıyla daha büyük problemlerle karşılaşılabilir. Örneğin çeşitli tipteki bıçaklarda ve bunlara benzer kesici takımlarda malzeme sertliğinin artırılması, körlemeye karşı direnci arttıracaktır. Fakat bu durumda, malzemenin gevrek olarak kırılma riskini yükseltecektir (Çimenoglu ve diğ., 1991).

Malzemenin sertliği ile ana malzemeye katılan alaşım elementlerinin cins ve miktarları arasında sıkı ilişki vardır. Genelde bu alaşım elementleri malzemenin mukavemetini ve sertliğini arttırmırlar (Larsen, 1990).

5.1.2. Abrasiv Parçacıkları Uzaklaştırmak

Abrasiv aşınmaya sebebiyet veren sert partiküllerin sistemden uzaklaştırılması ile abrasiv aşınma engellenebilir. Bu nedenle, abrasiv aşınmanın meydana geleceği ortamlarda kullanılan hava, su ve yağlarda bulunan partiküller filtre edilerek sistemden uzaklaştırırlar (Kayalı ve diğ., 1997).

5.1.3. Aşınmış Parçaları Değiştirmek

Aşınmış parçaları değiştirmek, abrasiv aşınmaya uğrayacak parçanın kolay bir şekilde değiştirilmesine imkan verecek dizaynların yapılması ile, pratikte en çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Ancak dizayn parçanın zor değişmesine imkan verdiği (parçaya erişememe), değişen parçanın maliyetinin yüksek olması veya değişme zamanının uzun olduğu durumlarda bu yöntemin uygulanması mümkün değildir (Kayalı ve diğ., 1997).

6. AŞINMA DENEYLERİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

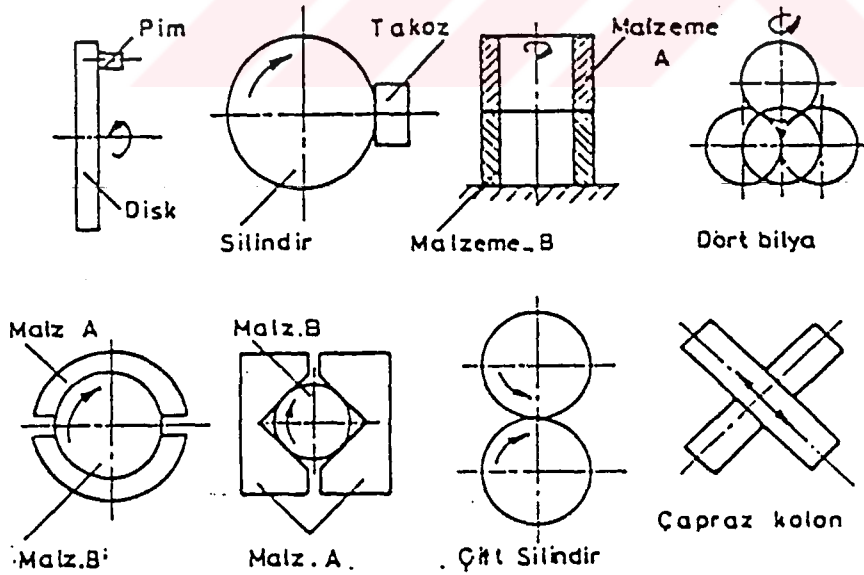
6.1. Aşınma Deneyleri

Aşınma deney yöntemlerini genel olarak iki grupta toplamak mümkündür.

- Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altındaki yalnız karşı malzemenin aşınma deneylerinin ölçüldüğü deneyler Şekil 6.2’de görülmektedir (Yılmaz, 1997).
- Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhezif (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneyler Şekil 6.1’de görülmektedir.

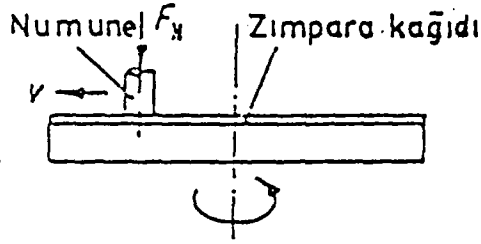
Alet ve makinelerde aranılan özelliklerden bir tanesi de bunların kullanım ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makinenin ömrünü kısaltarak maliyeti arttırdığı gibi, onarım için geçen sürede üretimin önemli ölçüde aksamasına neden olmaktadır. Bu sebepten dolayı makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde aşınma direnci yüksek malzemeler kullanılmalıdır. Bu malzemelerin tespiti için de mutlaka birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gerekir. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde ana malzemenin bir modeli ile çalışılır. Bu model basit bir geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilebilir ve daha sonra bir deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunu üzerinde yapılabilir. Aşınma deneylerinde aşınma ölçüm deney yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları mevcuttur (Korkut, 1997).

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, temas eden parçalardan birinde veya her ikisinde hacim ve ağırlık kaybı esas alınarak yapılır (Kayalı ve diğ., 1991).

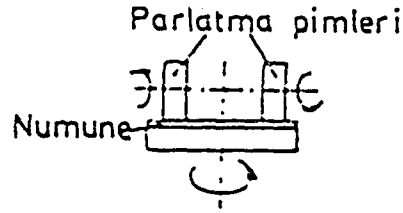


Şekil 6.1. Yağlamalı ve yağlamasız adhezif (metal-metal) deney yöntemleri.

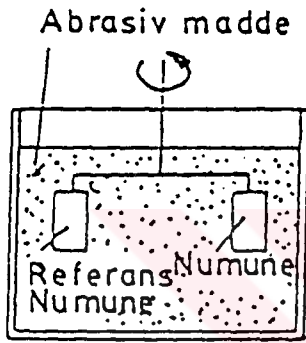
American Society of Lubrication Engineers, 1976 (ASLE) tarafından yüz kadar deney sistemi belirlenmiştir. Bunlardan en çok kullanılanları Şekil 6.1. ve 6.2.'de görülmektedir.



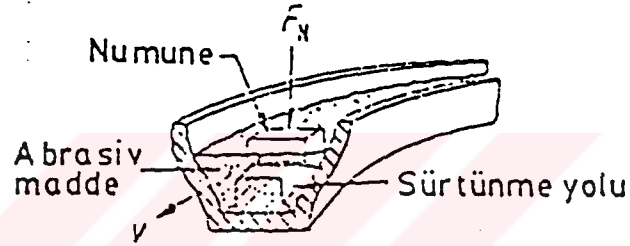
a) Aşınma diski



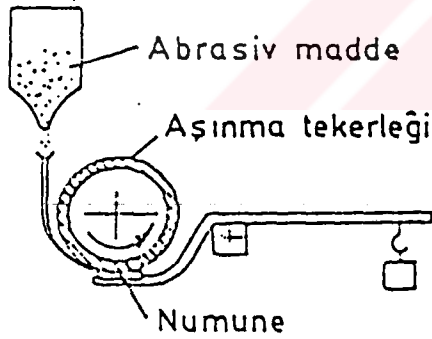
b) Aşınma tablası



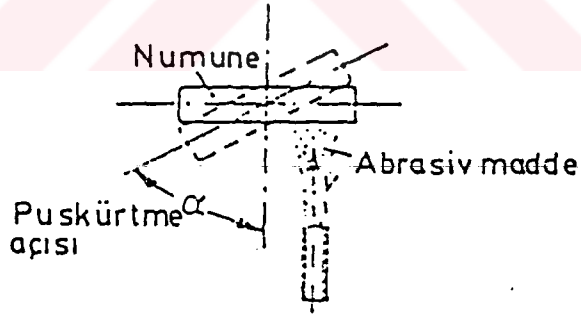
c) Aşınma kabı



d) Avery cihazı



e) Aşınma tekerleği



f) Puskürtme lülesi

Şekil 6.2. Çeşitli abrasiv maddeler ile malzemelerin aşınmasının araştırılmasında kullanılan deney yöntemleri

6.1.1. Ağırlık Farkı Yöntemi

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün, alet duyarlılık kapasitesi dahilinde bulunması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi, 10^{-3} veya 10^{-4} gr hassasiyetinde oldukça duyarlı bir terazi yardımı ile yapılır. Aşınma miktarı gram veya mili gram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (gr/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için

hesaplanacaksa (gr/cm^3) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek bulunabilir.

Bu tanımlara göre, en çok kullanılan ağırlık farkı ölçme metodunda kullanılan bağıntı şudur;

$$W_a = \Delta m / M.s.p \quad \dots\dots\dots(1)$$

Burada;

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

$$\Delta m = \text{Ağırlık kaybı (gr)}$$

$$M = \text{Yükleme ağırlığı (N)}$$

$$s = \text{Aşınma yolu (m)}$$

$$\rho = \text{Yoğunluk } (\text{gr}/\text{cm}^3)$$

olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) tersi ise, aşınma direnci (W_r) olarak gösterilir.

$$W_r = 1 / W_a \text{ (N.m/mm}^3\text{)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Başka bir bağıntı olarak ta, bir km'lik kayma yoluna karşılık gelen yükseklik kaybı bağıntısı vardır ki, genellikle iki elemanlı abrasiv aşınmanın hesaplanmasında kullanılır;

$$V_s = 10^4 \Delta m / F.p.s \text{ (}\mu\text{m/km)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Burada;

$$V_s = 1 \text{ km aşınma yoluna karşılık gelen yükseklik kaybı } (\mu\text{m})$$

$$\Delta m = \text{Ağırlık kaybı (gr)}$$

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

$$\rho = \text{Yoğunluk } (\text{gr}/\text{cm}^3)$$

$$s = \text{Kayma yolu (km)}$$

olarak alınır. Deney malzemesi yükseklik kaybının, karşılaştırma malzemesi (örneğin; Fe37 çeliği) yükseklik kaybına oranı, aşınma orantısı sayısını (W_g) verir.

$$W_s = V_s \text{ (deney numunesi)} / V_s \text{ (Fe37)} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Bu orantı sayısının ters değeri ise, bağlı aşınma direnci (R) olarak tanımlanır.

$$R = 1 / W_s$$

Üç elemanlı abrasiv aşınmada ise, genellikle DIN 50320 de verilen boyutsuz aşınma oranı formülü yaygın olarak kullanılır.

6.1.2. Kalınlık Farkı Yöntemi

Aşınma sırasında oluşacak boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeri ile karşılaştırılması yolu ile elde edilir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerlerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık, hassas ölçme aletleri yardımıyla $\pm 1\mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülmelidir.

6.1.3. İz Değişimi Yöntemi

Sürtünme yüzeyinde, plastik deformasyon yoluyla 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 değişim, mikroskop yardımıyla ölçülerek belirlenir (Korkut, 1977).

6.1.4. Radyo İzotop Yöntemi

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyo aktif hale getirilmesi esasına dayanır (Kosel, 1978).

Aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içersinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlı yönleridir. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle ancak özel amaçlarda kullanılır. Özel problemlerin çözümü dışında, yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir.

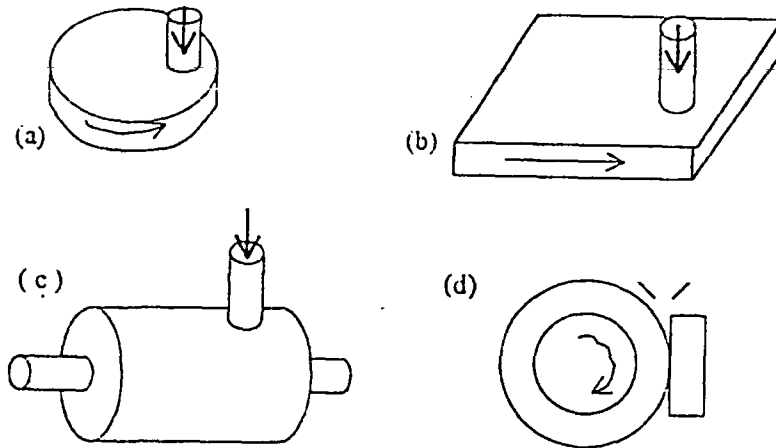
6.2. Abrasiv Aşınma İçin Deney Yöntemleri

Abrasiv aşınma için birçok deney yöntem ve ortamları vardır. Abrasiv aşınma için kullanılan en yaygın laboratuvar test yöntemleri şu iki esasa göre yapılır: Bunlardan birincisi; sabitleştirilmiş bir abrasiv malzeme üzerinde pim şeklinde hazırlanmış numunenin kayması, ikincisi ise; dönen bir tekerlek ve ona temas halinde kayan düz bir numune arasına serbest abrasiv partiküllerinin sürekli olarak dökülmesidir. Şekil 6.3 (a) dan (c)'ye kadar olan yöntemler bu birinci esasa göre yapılmış iki kısımlı abrasiv aşınma metotlarıdır. Bu yöntemlerde genellikle abrasiv malzeme olarak abrasiv kağıtlar veya bezler kullanılır. Bu kağıt ve bezler üzerine abrasiv parçacıklar çok dar aralıklarla serpilmiş durumdadırlar. Yapıştırıcı olarak çok kuvvetli reçineler kullanılır. Bu abrasiv malzemelerde aşınma oranı numunenin aynı iz üzerinden geçmesinin tekrarı ile azalır. Bu olayların miktarı ve önemi, numunenin malzemesi, yük, kayma hızı, atmosfer ve diğer faktörlerle değişir. Şekil 6.3 (a) da ki disk üzeri pim geometrisinde, pimin disk üzerinde radyal olarak hareket etmesi ile test yapılmaktadır. Bu esnada disk üzerinde spiral bir iz oluşur. Diğer bir geometrik şekil Şekil 6.3 (b) deki bir abrasiv levha üzerinde dik

olarak kayan pimden oluşan geometridir. Üçüncü geometride Şekil 6.3 (c) de üzerine abrasiv kağıt sarılmış dönen bir silindirin üzerinde eksensel olarak hareket eden pimden oluşan geometridir. Bu durumların her birinde pim üzerine sabit bir yük uygulanır. Testten önce ve sonra pim tartılarak aşınma miktarı ölçülür. Bu dizaynlarda pimin pozisyonunu sürekli olarak izleyen elektriksel transdüserler kullanılarak pimin uzunluğunu her an ölçülerek aşınma ölçülür. Bu yolla test esnasında aşınmanın sürekli olarak kaydedilmesi mümkün olabilir (Özsaraç ve diğ., 2000).

Şekil 6.3, iki tip abrasiv aşınma testini şematik olarak göstermektedir. Bir levha veya blok şeklindeki numune sabit bir yük altında, dönen bir tekerleğin çevresine bastırılır. Amerikan standartlarında olduğu gibi çoğu kez çelik bir disk üzerine geçirilmiş sertliği ve elastik modülü belli lastik bir çerçeveden ibaret olan bir çerçeve kullanılır. Standart olarak lastik çerçevenin kalınlığı 12.7 mm, genişliği 12.8 mm ve çapı 228.6 mm dir. Dönme hızı dakikada 200 devirdir. Numuneyi bastırma kuvveti belirlidir. Çok küçük boyutlardaki (silika) kuarz partikülleri özel bir cihazla sabit bir hızla temas bölgesine yedirilir. Aşına numunenin tartılması ile ölçülür. Yük, kayma hızı, lastiğin sertliği ve partikül yedirme hızı gibi diğer test değişkenleri de ölçülür.

Şekil 6.3’de gösterilen iki tip test metodunda numune birbirinden oldukça farklı şartlara maruz kalır. Lastik tekerlek testinde serbest abrasiv partiküller bulunduğu için bu test metodundaki şartlar iki kısımdan abrasiv testlerindeki değerlere gerçekten yakındır. Sabit abrasivle üzerinde kayan pim numuneleri içeren test metotları ise kesinlikle iki kısımlı abrasiv şartları meydana getirirler. Tüm bu abrasiv test tiplerinin sonucunu bir çok deney değişkenleri etki eder. Bir çok durumda test şartlarını kontrol etmek için standart bir referans numune kullanılır.



Şekil 6.3. Malzemenin aşınma miktarını ölçmek için en yaygın kullanılan dört metodun şematik olarak gösterimi. (a) Abrasiv disk üstü pim, (b) Abrasiv düzlem üstü pim, (c) abrasiv tambur üstü pim, (d) Lastik tekerlekli abrasiv testi (Özsaraç ve diğ., 2000).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Çalışmanın Amacı

Bazı kullanım alanlarında, malzeme yüzeylerinin sert ve dış etkenlere karşı mukavemetli olması istenir. Yüzey sertliği vasfı, malzemelerde ısıtma yöntemleriyle elde edilir. Bunun yanında diğer bir sert yüzey elde etme yöntemi ise, malzeme yüzeyinin elektrik ark kaynak yöntemiyle kaplanması uygulanmasıdır. Bu yöntem genellikle aşırı düzeyde aşınmaya maruz kalan yüzeylerin tamirinde kullanılır.

Günümüzde kullanılan çok çeşitli sert kaynak dolgu elektrodları mevcuttur ve bunların hepsi de gerekli yerlerde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise, farklı bir yöntemle düşük karbonlu bir çeliğin yüzeyine normal kaynak elektrodu kullanılarak ve kaynak dolgu metaline artan oranlarda yüksek ferrokrom tozu ilave edilerek bir çeşit sert yüzey tabakası elde edilme imkanları araştırılmıştır.

7.2. Deneylerde Kullanılan Malzemeler Ve Yüzey Modifikasyon Şartları

Bu deneysel çalışmada, 100x60 mm boyutlarında ve 10 mm kalınlığındaki AISI 1010 çeliğinin her birinin yüzeyi artan oranlarda ferrokrom tozuyla kaplanarak farklı numuneler elde edilmiştir. Kullanılan bu çeliğin ve alaşım elemanının kimyasal bileşimi Tablo 7.1’de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. AISI 1010 çeliğinin ve yüksek karbonlu ferrokrom tozunun kimyasal bileşimleri

Malzemeler	Alaşım Elementi % Miktarı						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
AISI 1010	0.128	0.197	0.691	0.0152	0.0503	-	98.87
Ferrokrom	7.4	1.50	-	0.03	0.05	64	27.02

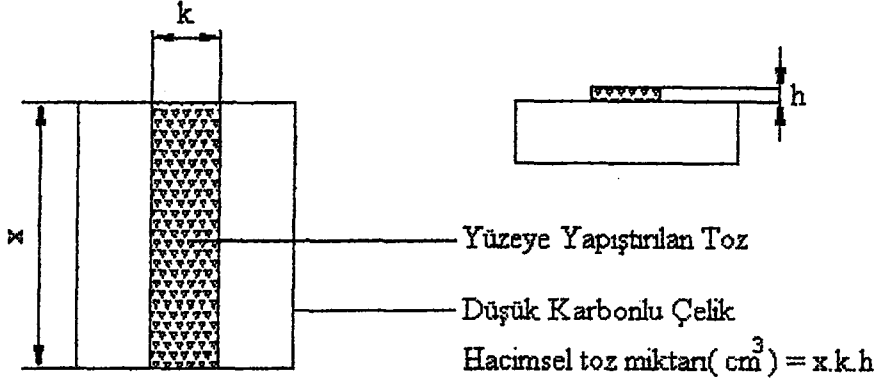
Bütün numunelere uygulanan yüzey modifikasyon işlemlerinden önce, numunelerin yüzeyleri iyice temizlenerek olası artıklardan arındırılmıştır. Daha sonra da yüzeyleri yüksek karbonlu ferrokrom tozuyla alaşımlanan numunelerde, tozun numune yüzeyinde homojen dağılımı ve aynı zamanda kaynak esnasında meydana gelen basınçtan ötürü tozları numune yüzeylerinde tutabilmek için yapıştırıcı olarak sodyum silikat kullanılmıştır. Tozlar sodyum silikat ile karıştırılarak Şekil 7.1’de görüldüğü gibi düşük karbonlu çelik yüzeyine yapıştırılmıştır.

Deneylerde kaynak işlemleri esnasında, 3.25 mm çapında rutil elektrod kullanılmış ve 130 Amper akım şiddetinde kaynak işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 7.2).

Tablo 7.1. Yüzey modifikasyon şartları

Numune No	Akım (A)	Voltaj (V)	Torç Hızı (S) mm/dak	*Enerji Girişi (kJ/mm)
Tüm numuneler	130	30	75	1.4

*Enerji girişi = (Amper x Voltaj x 0.48) / S göre hesaplanmıştır (Easterling, 1992).

**Şekil 7.1. Ferrokrom tozunun numune yüzeyine yapıştırılmış hali****7.2.1. Deneylerde Kullanılan Numuneler**

Bu deneyde beş farklı numune kullanılmıştır. Bu numunelere uygulanan farklı işlemler Tablo 7.3’de gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Deneylerde kullanılan numunelere uygulanan işlemler.

Numune Numarası	Numunelere Uygulanan İşlemler
Referans Nu.	Malzeme yüzeyi alaşım elemanı kullanılmadan kaynak edilmiş
1	Malzeme yüzeyine 3 farklı katmanlarda ferrokrom tozu kaplanarak kaynak edilmiş
2	Malzeme yüzeyine 3 farklı katmanlarda ferrokrom tozu kaplanmış 200 °C’de ön ısıtma işlemi uygulandı kaynak edilmiş
3	Malzeme yüzeyine 3 farklı katmanlarda ferrokrom tozu kaplanarak kaynak edilmiş ve daha sonra 850 °C’de normalizasyon ısı işlemine tabi tutulmuş
4	Malzeme yüzeyine 3 farklı katmanlarda ferrokrom tozu kaplanarak kaynak edilmiş ve daha sonra 850 °C’ye kadar ısıtılıp tazikli hava ile soğutulmuş

Yapılan incelemelerde 1, 2, 3, 4 nolu numunelerin 3 farklı katmanlarda kaplanan numunelerinden 1 cm^3 ’lük hacimle kaplanan numuneleri esas alınmıştır.

7.3. Metalografik Çalışmalar

7.3.1. Optik Mikroskop İncelemeleri

Deney numunelerinin ferrokrom tozu kaplanarak kaynak edilmesi ve ısıt işlemler sonrasındaki mikro yapılarını belirlemek amacıyla metalografik çalışmalar yapılmıştır. Numuneler metalografik incelemeler için, kaynak yönüne dik bir şekilde kaynak dolgu bölgelerinden çeşitli boyutlarda kesilerek çıkartılmıştır. Elde edilen metalografik numuneler sırasıyla 80 mesh'ten 1200 mesh'e kadar zımparalara tutularak yüzeyleri temizlenmiş ve daha sonra 1 ve 6 μ 'luk elmas pastalar ile yüzeyleri parlatılmıştır. Parlatılan bu numuneler % 4'lük nital çözeltisiyle dağlanarak mikro yapı incelenecek duruma getirilmiştir.

7.3.2. SEM İncelemeleri

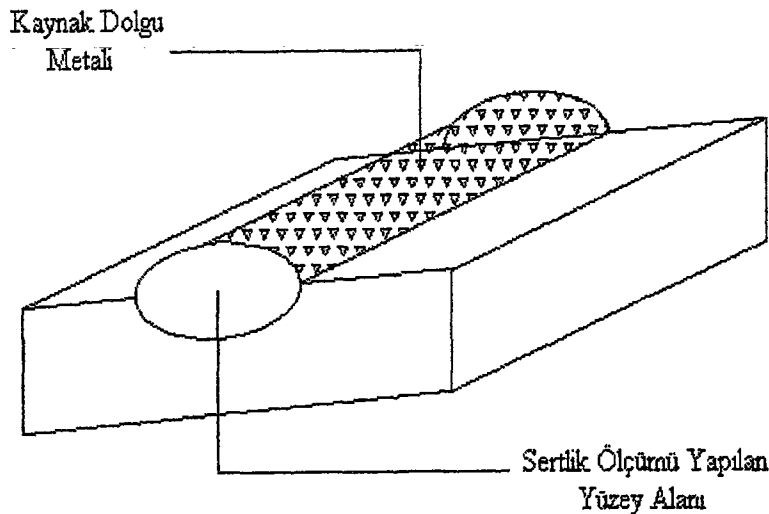
Yüzeyleri dağlanan numunelerde mikro yapı ve analiz için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dispersive spektrograph (EDS) incelemeleri yapılmıştır.

7.3.3. X-Ray Difraksiyon Çalışmaları

Dağlama işlemi yapılmayarak yüzeyi parlatılıp hazırlanan numuneler ile X-Ray difraksiyonu ve spektral analiz çalışmaları yapılmıştır.

7.4. Sertlik Ölçümü Çalışmaları

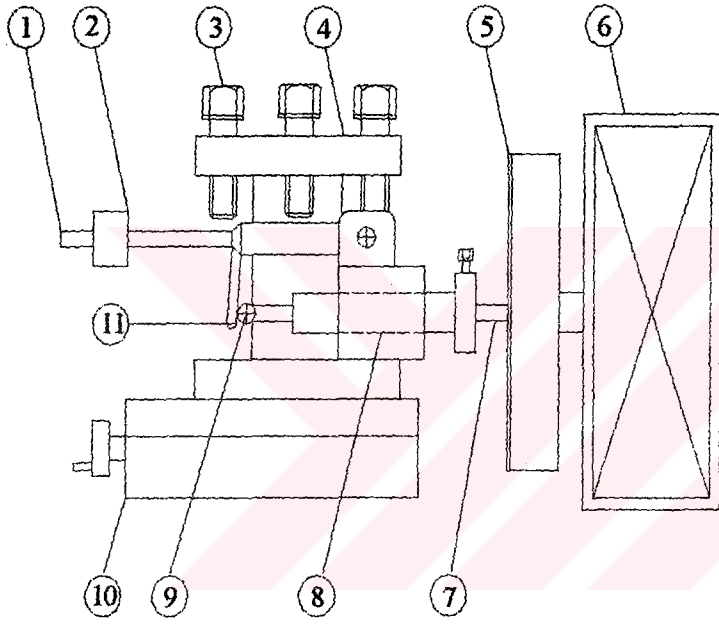
Sertlik ölçümleri, kaynak dolgu metalinin 4 farklı bölgesinden 5 kg'lık yük altında Vickers sertlik ölçme yöntemiyle yapılmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Sertlik ölçümlerinin yapıldığı kaynak dolgu metalini

7.5. Abrasiv Aşınma Deney Testi

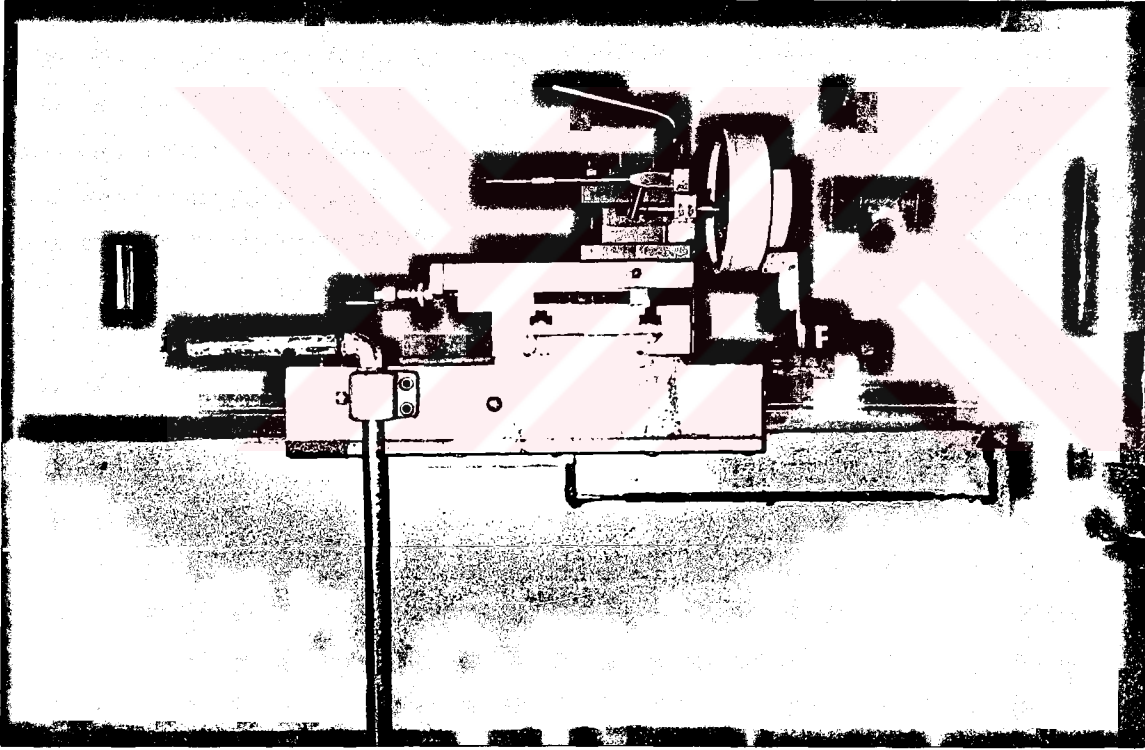
Abrasiv aşınma deneyleri Şekil 7.1 ve 7.2’de gösterilen aparat yardımıyla MKE yapımı tozuna tezgahında yapılmıştır



Şekil 7.3. Abrasiv aşınma testi aparatı.

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| 1. Yük kolu, | 7. Numune, |
| 2. Yük, | 8. Hareketli numune tutucu, |
| 3. Kater civatası, | 9. Rulman, |
| 4. Kater, | 10. Spor, |
| 5. Aşındırıcı, | 11. Numune baskı kolu. |
| 6. Dişli kutusu, | |

Aşındırıcının bağlı olduğu disk torna tezgahının aynasına ve aşındırılacak deney numunesi ise bir numune tespit yuvası içerisinde kater tutucusuna tespit edilmiştir. Aşındırılacak malzemeye 10 N, 20 N ve 30 N'luk kuvvet uygulanmıştır. Disk devri 90 dev./dak, numune 0,325 mm/dev lik bir ilerleme hızı ile 30 m'lik spiral bir yol takip edecek şekilde aşınma işlemine tabi tutulmuştur. Deney numuneleri aşındırma aparatına bağlanmadan önce 10^{-4} gr ağırlığa duyarlı elektronik terazi ile tartılarak aparata bağlanmış ve aşınma işlemi gerçekleştirildikten sonra sökülerek yüzeyindeki kalıntı metal parçaları alkol ve basınçlı hava yardımı ile temizlenerek tartma işlemi tekrarlanmıştır. Bu işlem her numune için 3 defa tekrar edilerek elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınmıştır. Böylelikle, numunenin başlangıç ve son durumu arasındaki ağırlık kaybı bulunmuştur. Aşındırıcı olarak 80 mesh'lik silisyum karbür (SiC) zımpara kağıdı kullanılmıştır. Her bir aşındırma işleminden sonra kullanılan zımpara kağıdı yenisi ile değiştirilmiştir.



Şekil 7.4. Torna tezgahına monte edilmiş aşınma aparatının görünümü.

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞILMASI

8.1. Metalografik Muayene Sonuçları

Malzeme yüzeyine ferrokrom tozu yapıştırmadan ve ferrokrom tozu yapıştırılarak yapılan kaynak işleminden sonra, malzemedeki yüzey modifikasyonu makroskobik olarak incelenmiş ve bu inceleme neticesinde, bölgede herhangi bir çatlak ve kalıntılara rastlanılmamıştır.

Yüzeye alaşım elementi yani ferrokrom tozu kullanılmadan yapılan kaynak işlemi neticesinde kaynak bölgesinden alınan kimyasal analiz sonuçları Tablo 8.1'de verilmiştir.

Tablo 8.1. Referans numune ve AISI 1010 malzeme yüzeyinden alınan kimyasal analiz sonuçları.

Malzeme	Alaşım Elementi % Miktarı						
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
Referans N.	0.119	0.301	0.552	0.0258	0.0212	-	98.81
AISI 1010	0.128	0.197	0.691	0.0152	0.0503	-	98.87

Tablo 8.1'den de görüleceği gibi, kaynak bölgesi kimyasal bileşimi ile ana malzemenin (AISI 1010 çeliği) kimyasal bileşimi hemen hemen aynı oranda çıkmıştır.

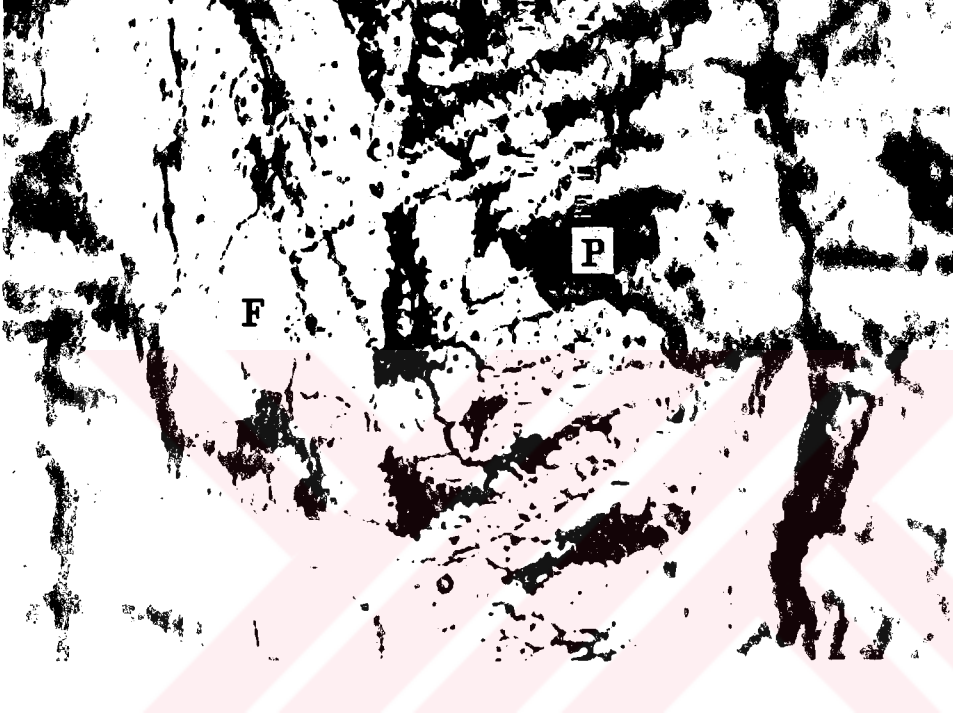
Yüzeyin artan oranlarda yüksek karbonlu ferrokrom tozu ile kaplanması durumunda, bir nolu numunenin yüzeyinden alınan kimyasal analiz sonuçları Tablo 8.2.'de verilmiştir.

Tablo 8.2. 1 nolu numunenin artan oranlarda ferrokrom tozu ile alaşımlanması durumunda yüzeyden alınan kimyasal analiz sonuçları .

% Hacim (cm ³)	Alaşım Elementi % Miktarı						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Fe
0.5	0.497	0.257	0.534	3.37	0.113	0.207	94.99
1	0.711	0.261	0.556	5.33	0.117	0.173	92.92
1.5	0.933	0.321	0.600	7.49	0.145	0.198	90.26

Tablo 8.2'den de görüleceği gibi, malzeme yüzeyine yapıştırılan ferrokrom tozunun artışı ile malzemeye geçen karbon ve krom element yüzdesi orantılı bir şekilde artmıştır.

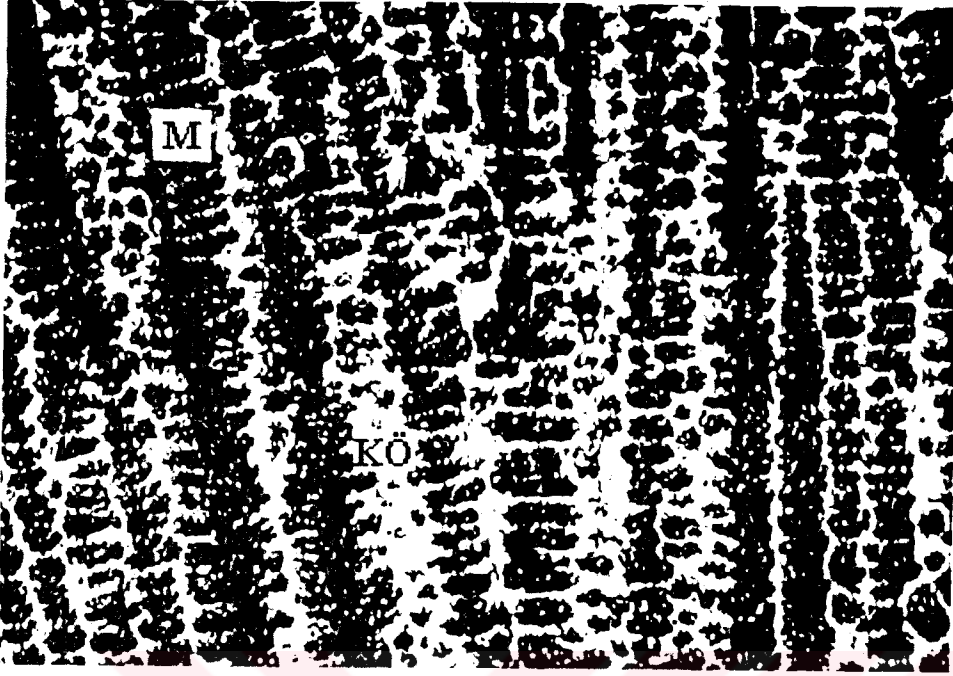
Şekil 8.1’de görüleceği gibi yüzeyde alaşım elementi (ferrokrom tozu) kullanılmadan yapılan kaynak işlemi neticesinde kaynak bölgesinden alınan mikro yapı fotoğrafı görülmektedir. AISI 1010 çeliğinin kimyasal bileşimi göz önünde bulundurulduğunda Şekil 8.1’de oluşan yapı ferrit+perlitten oluştuğu görülmektedir.



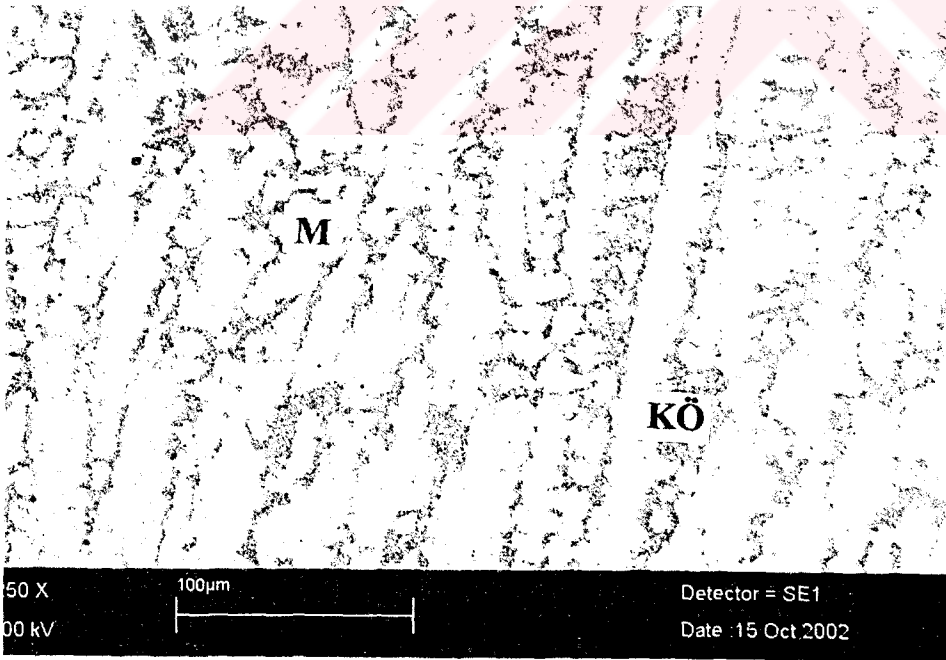
Şekil 8.1. Referans numunenin kaynak işlemine tabi tutulduktan sonra optik mikroskop fotoğrafı (X 750)
(F: Ferrit, P: Perlit)

Yüksek karbonlu ferrokrom tozu ile alaşımlama durumunda; alaşımlanmış bölgenin mikro yapısı, malzemeye uygulanan ısıl işlemler de göz önünde bulundurulduğunda martenzit, kalıntı östenit, ferrit+sementit ten oluşmuştur.

1 nolu numunenin kaynak bölgesinden alınan optik ve SEM mikro yapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 8.2 ve Şekil 8.3.de verilmiştir. Bu fotoğraflardan da görüleceği gibi 1 nolu numunenin mikro yapısı genel olarak martenzit ve kalıntı östenitten teşekkül etmiştir. Alaşımda bulunan yüksek oranda karbon ve krom’un kalıntı östenit oluşumunda oldukça etkili olduğu görülmüştür. Alaşım elementlerinin martenzit dönüşümünü oldukça düşük sıcaklıklara çekerek kalıntı östenit oluşumuna sebep olmuştur. Özellikle krom elementinin martenzit oluşumunda oldukça önemli bir rol oynadığı göz önünde bulundurulduğunda 1 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden elde edilen bu sonucun doğru olduğu görülecektir (Bain ve Paxton, 1966).

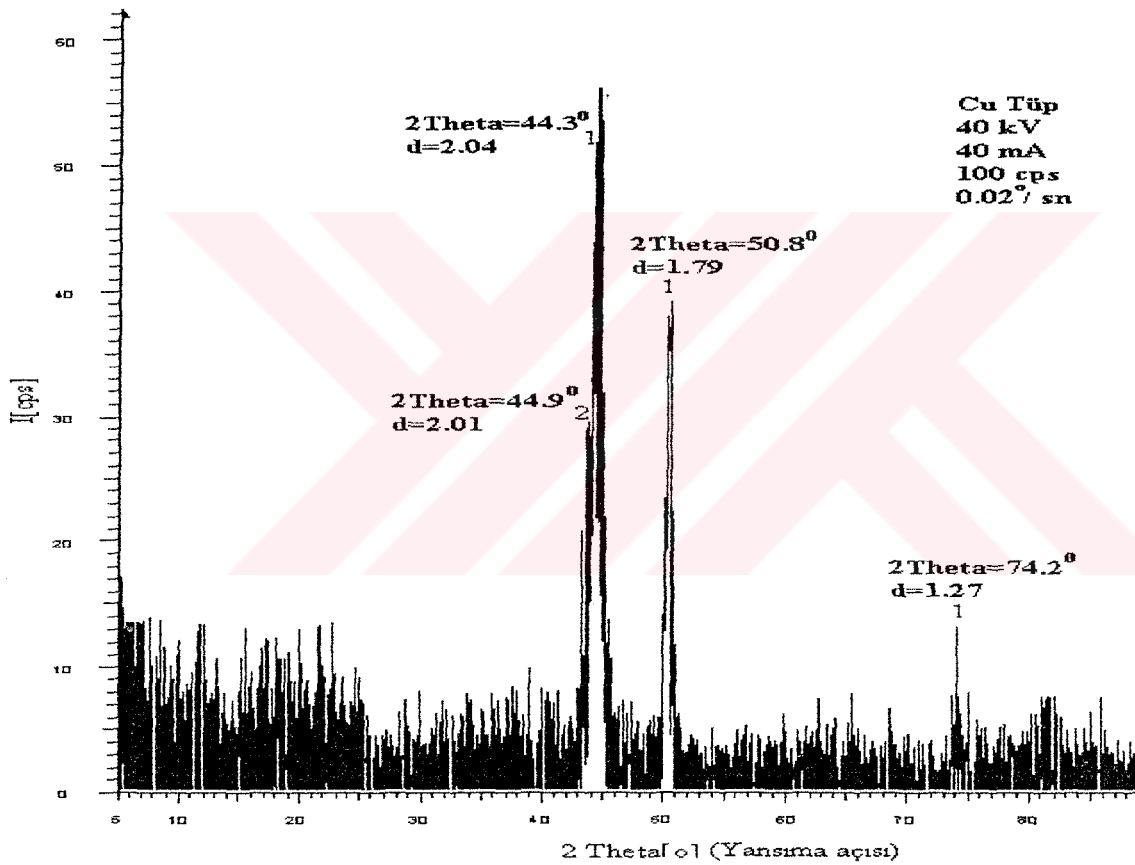


Şekil 8.2. 1 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı (X 250)
(M: Martenzit, KÖ: Kalıntı östenit.)



Şekil 8.3. 1 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan SEM mikroskop fotoğrafı (X 250)
(M: Martenzit, KÖ: Kalıntı östenit.)

Alaşım tabakasında oluşan bileşikleri belirlemek amacıyla X – ray analizi yapıldı. Bu analizde; λ dalga boyu, d kafes düzlemleri uzaklığı ve θ X - ışınları geliş açısı arasında Bragg yansıma denklemi olarak bilinen $2d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda$ (Askeland, vd;1989) bağıntısından yararlanıldı. Burada n , prensip olarak 1 kabul edilmiştir birinci, ikinci, üçüncü mertebeden difraksiyon dalgalarını belirtir. Dalga boyu λ nın değeri kullanılan metal tüpüne göre (Cu için 1.542 Å) ve d mesafelerinin hesaplanmasında kullanılan bağıntılar da kafes sistemlerinden (Hegzagonal $1/d^2 = 4/3 (h^2 + hk + k^2/a^2) + I^2/c^2$, Ortorombik $1/d^2 = h^2/a^2 + k^2/a^2 + I^2/c^2$) faydalanılmıştır.



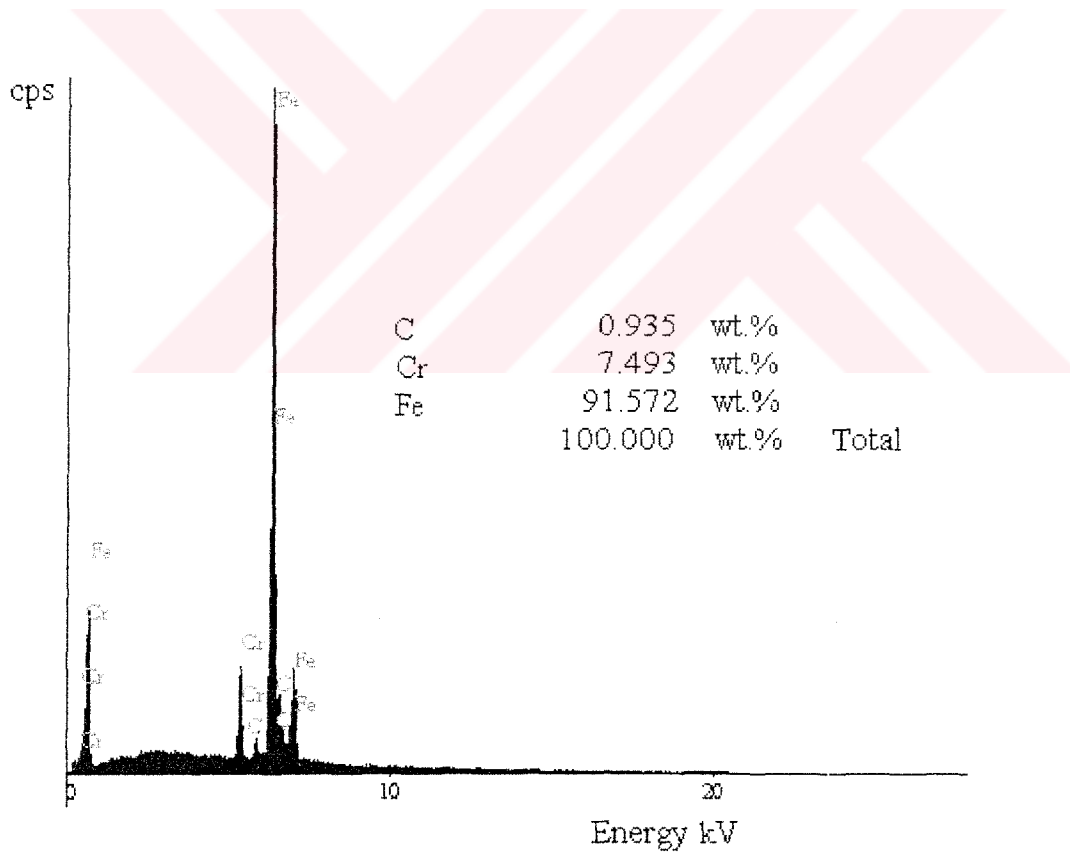
şekil 8.4. 2 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan X-Ray spektromu.

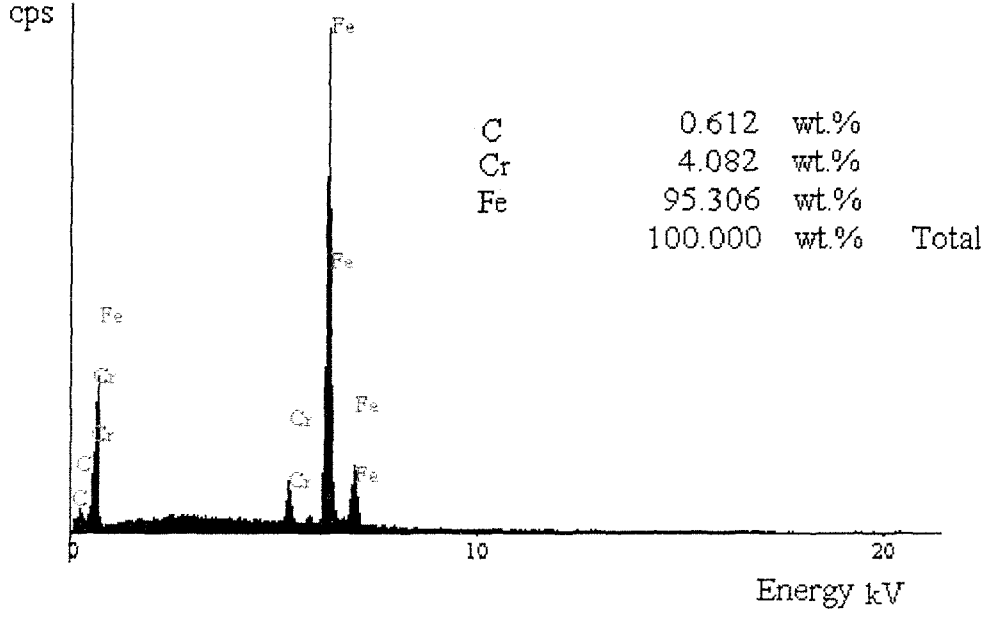
şekil 8.4'den görüleceği gibi oluşan karbürler M_7C_3 (Cr_7C_3) ve M_3C (Fe_3C) şeklinde-dir. Oluşan bu karbürlerin parametreler ve özellikleri Tablo 8.3 de verilmiştir.

Tablo 8.3 Oluşan bileşiklerin parametreleri ve özellikleri.

Oluşan Bileşik	Kafes sistemi	Kafes parametresi	Formül	Özellikleri
M_7C_3 (1)	Hegzagonal	$a_0=1.398$ $c_0=0.4523$	Cr_7C_3	Genellikle taneler arası bir blok şeklinde rastlanır. 1000 °C üzerindeki sıcaklıklarda ortaya çıkar.
M_3C (2)	Ortorombik	$a= 5.099$, $b=6.744$, $c=4.5255$	Fe_3C	1227 °C de ortaya çıkar. %25C, % 75 Fe dir.

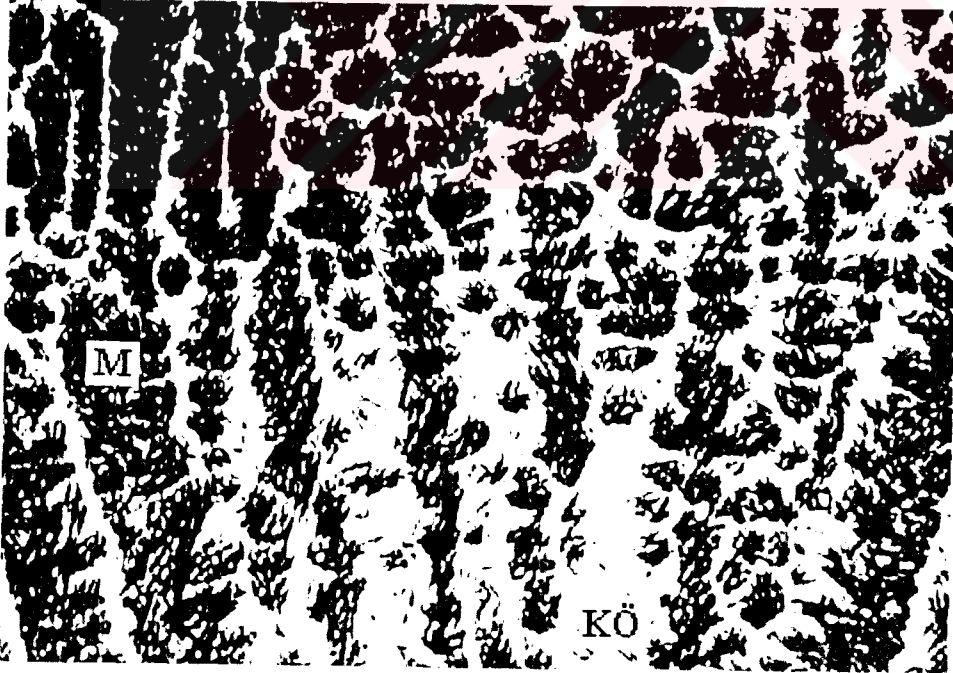
Yüzeyi yüksek karbonlu ferrokrom tozu ile alaşımlanmış 1 nolu numunenin mikro yapı fotoğrafında (Şekil 8.2.) görülen kalıntı östenit ve martenzit üzerinden alınmış EDS analizleri Şekil 8.5 ve 8.6'da verilmiştir.

**Şekil 8.5.** 1 nolu numunede kalıntı östenit üzerinden alınan EDS analizi.



Şekil 8.6. 1 nolu numunede martenzit üzerinden alınan EDS analizi.

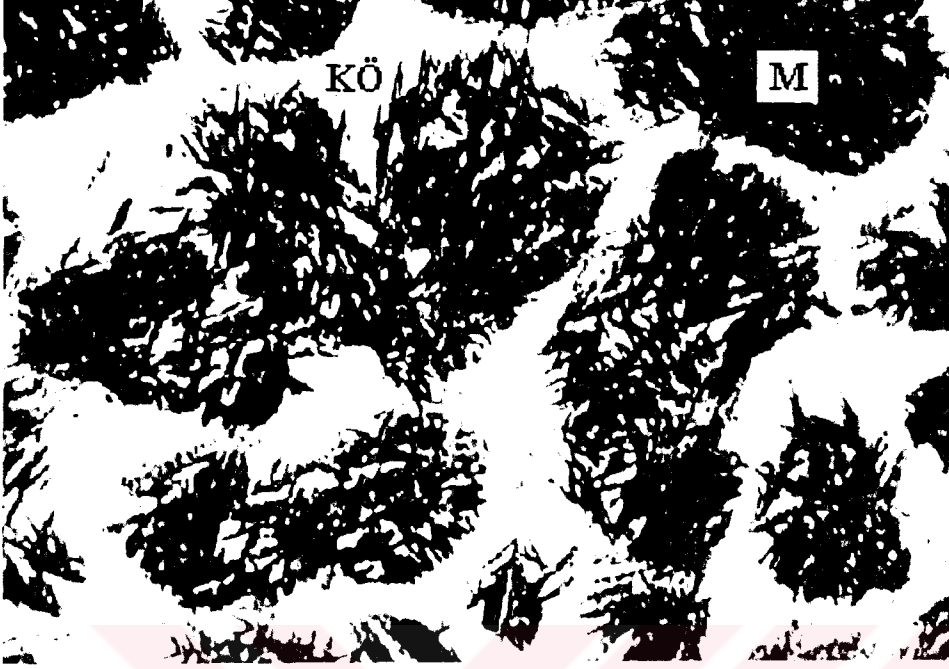
200 °C'de öntav işlemi uygulanarak modifiye edilen 2 nolu numune (Şekil 8.7.) incelendiğinde mikro yapının kalıntı östenit ve martenzitten oluştuğu gözlenmiştir.



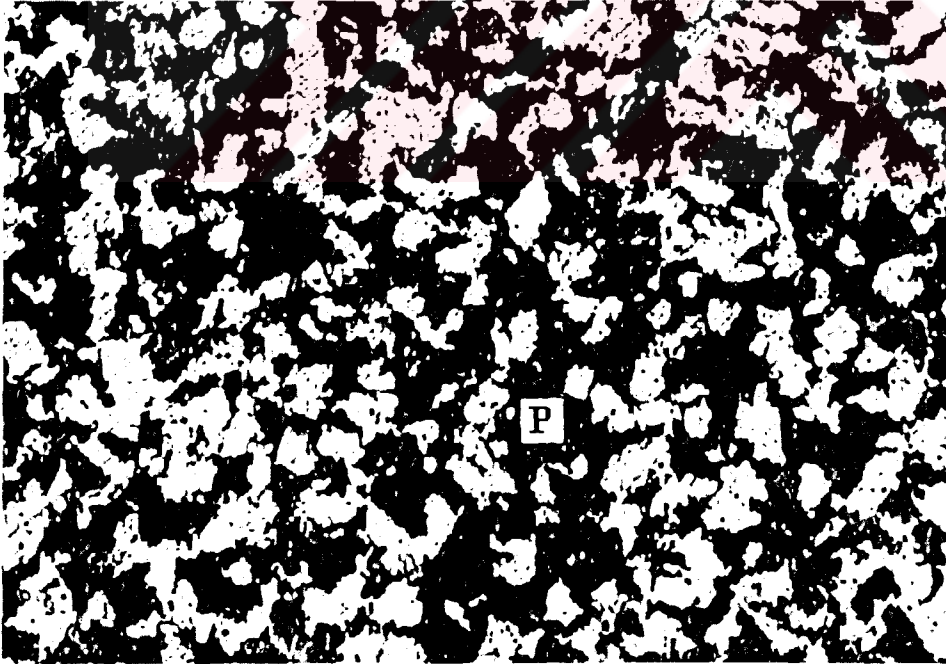
Şekil 8.7. 2 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı (X 250)

(M: Martenzit)

Alaşımında bulunan krom ve karbon elementinin varlığı, kalıntı östenitin oluşmasında etkili olduğu görülmüştür (Bain ve Paxton, 1966).

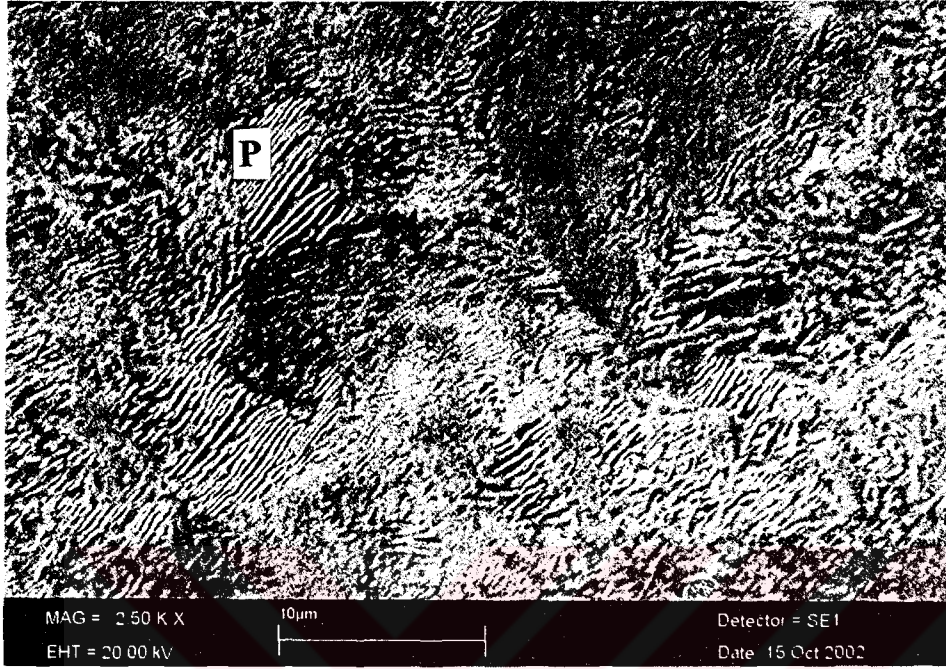


Şekil 8.8. 2 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı (X 750)
(M: Martenzit, KÖ: Kalıntı östenit.)

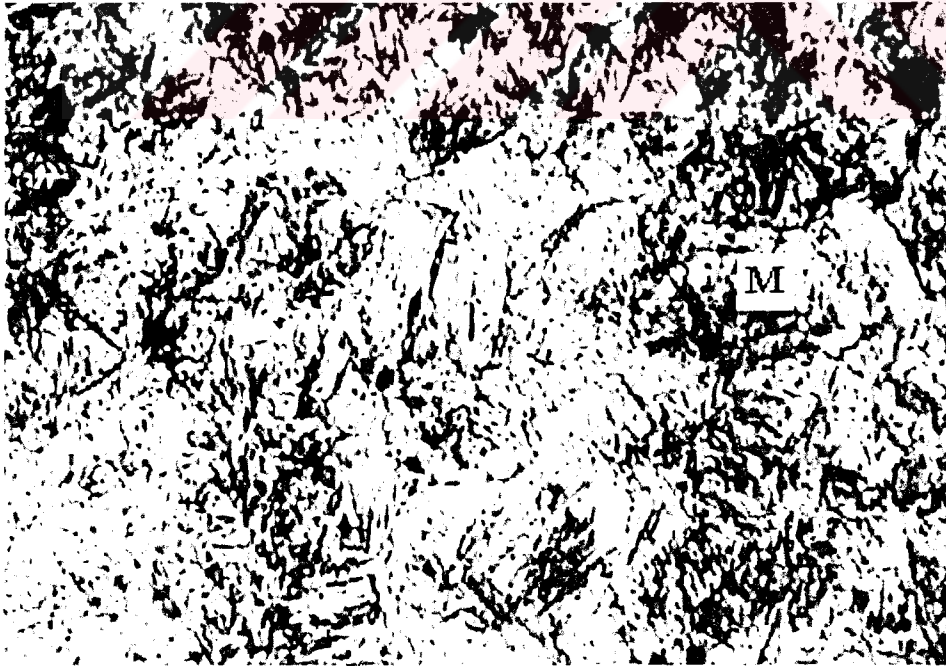


Şekil 8.9. 3 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı (X 250)
(P: Perlit)

Demir-Karbon denge diyagramı da göz önünde bulundurularak, 850 °C'de normalleştirme ısı işlemine tabi tutulan 3 nolu numunenin (Şekil 8.9.) mikro yapısının perlitten oluştuğu gözlenmiştir.



Şekil 8.10. 3 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan SEM mikroskop fotoğrafı (X 2500)
(P: Perlit)



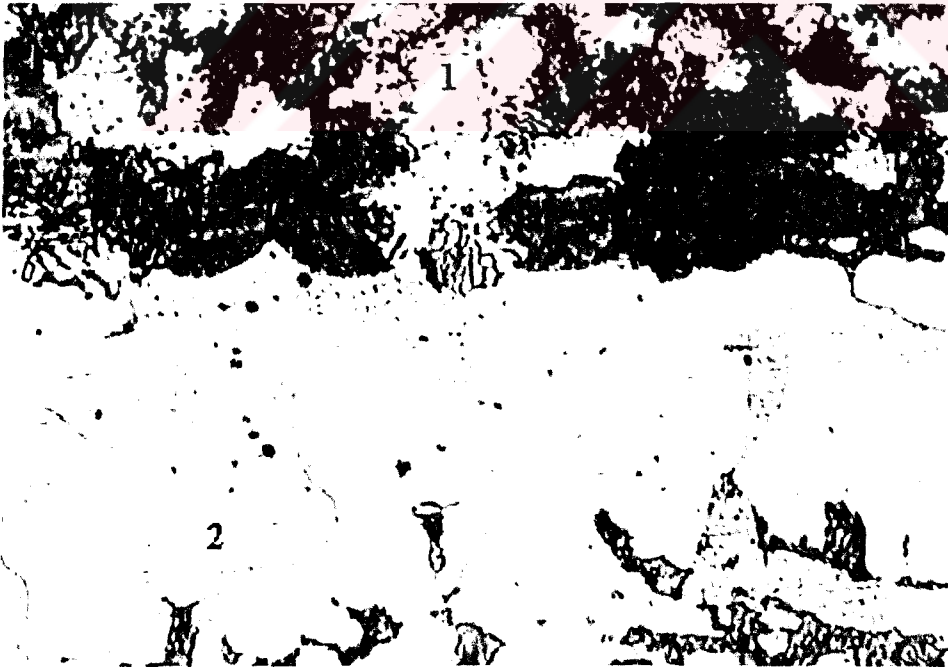
Şekil 8.11. 4 nolu numunenin alaşımlanmış yüzeyinden alınan optik mikroskop fotoğrafı (X 250)
(M: Martenzit)

Şekil 8.12,13 de 1 ve 3 nolu numunenin kaplama tabakası ve ana malzeme arasındaki geçiş bölgesi görülmektedir. Mikro yapı fotoğraflarından net bir geçişin olduğu görülmektedir.



Şekil 8.12. 1 nolu numunenin geçiş bölgesinden alınmış optik mikroskop fotoğrafı (X 250)

(1: Kaynak metali, 2: Ana malzeme)

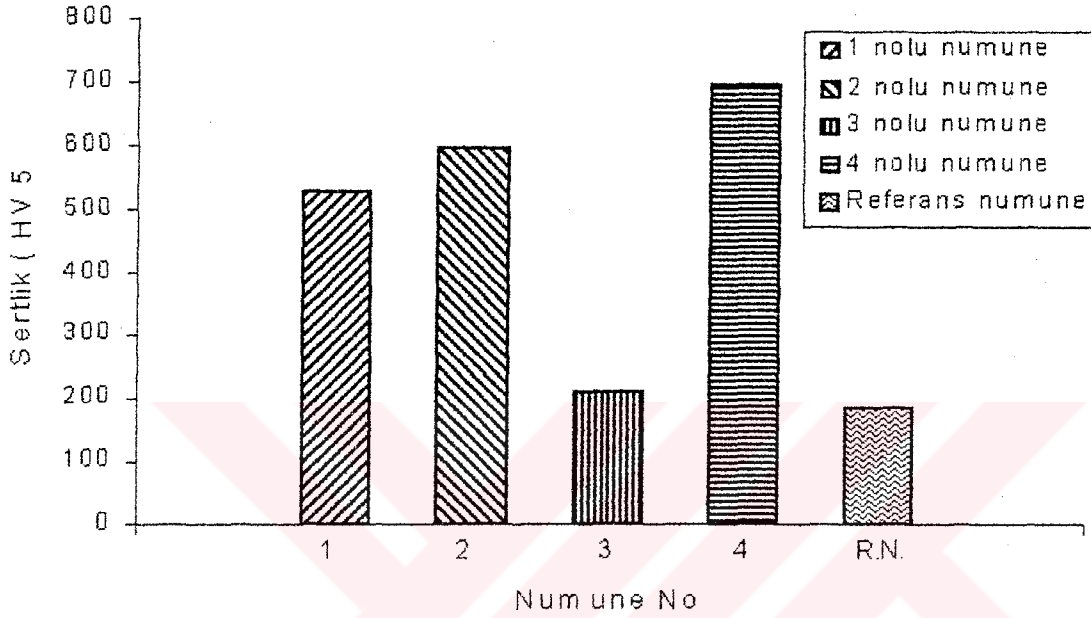


Şekil 8.13. 3 nolu numunenin geçiş bölgesinden alınmış optik mikroskop fotoğrafı (X 750)

(1: Kaynak metali, 2: Ana malzeme)

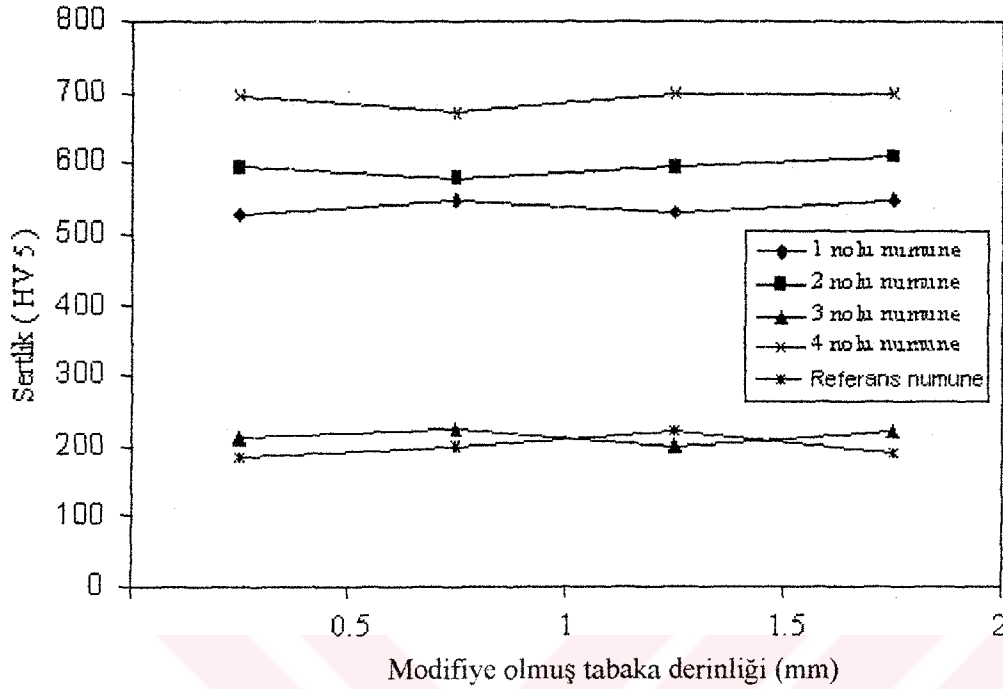
8.3. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Referans numune ile yüzey modifikasyonuna tabi tutulmuş numunelerden alınan sertlik ölçüm sonuçları Şekil 8.14 verilmiştir.



Şekil 8.14. Referans ve yüzeyi alaşımlanmış numunelerin sertlik değerleri

Şekil 8.14 den de görüleceği gibi en yüksek sertliğe sahip numuneler 1, 2 ve 4 nolu numunelerdir. Bunun sebebi ise, kaynak dikişine ilave edilen ferrokrom tozundan ileri gelmektedir. Ferrokrom tozunun kaynak dikişine ilave edilmesi, metal bünyesinde martenzit oluşmasına sebep olmuştur. Bu numunelerden sonra en yüksek sertlik değerinin 3 nolu numuneye ait olduğu görülmektedir. Bu da mikro yapının perlitten teşekkül etmesine bağlanmıştır. En düşük sertlik değeri referans numunede görülmüş ve bu numunenin mikro yapısının ferrit+perlit'ten teşekkül etmesi bulguyu desteklemektedir (Şekil 8.1).



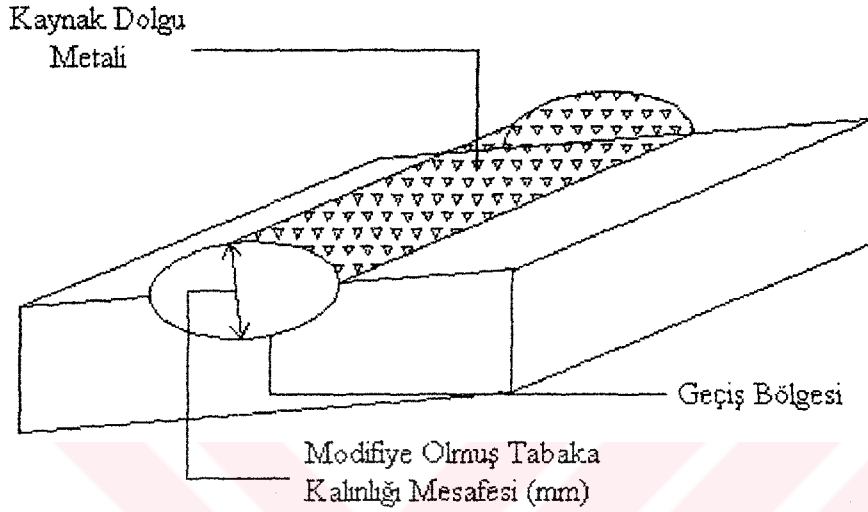
Şekil 8.15. Referans ve yüzeyi alaşımlanmış numunelerden alınmış sertlik değerleri.

Sertlik ölçüm sonuçlarından da anlaşılacağı gibi, ferrokrom tozu ilave edilerek elektrik ark kaynağı yüzey kaplama yöntemi ile AISI 1010 gibi düşük karbonlu bir çeliğin kaplanması, yüzey sertliğini çok iyi bir şekilde artırabilmektedir.

Teknikte yüzey modifikasyonunda başarı ile kullanılan TIG ve Toz altı kaynaklarının yanı sıra, elektrik ark kaynak metodunun da bu çalışma neticesinde başarı ile uygulanabileceği gösterilmiştir. Çünkü deneylerde kullanılan AISI 1010 gibi düşük karbonlu bir çeliğin yüzey sertliği, bu yöntemle çok iyi bir şekilde arttırılmaktadır.

8.2. Modifiye Olmuş Tabaka Kalınlığı Ölçüm Sonuçları

Modifiye olmuş tabakanın tepesi ile geçiş bölgesi arasındaki mesafenin şematik gösterimi Şekil 8.16'da ölçüm değerleri ise Tablo 8.4'de verilmiştir.



Şekil 8.16 Modifiye olmuş tabaka kalınlığı mesafe boyutunun gösterimi.

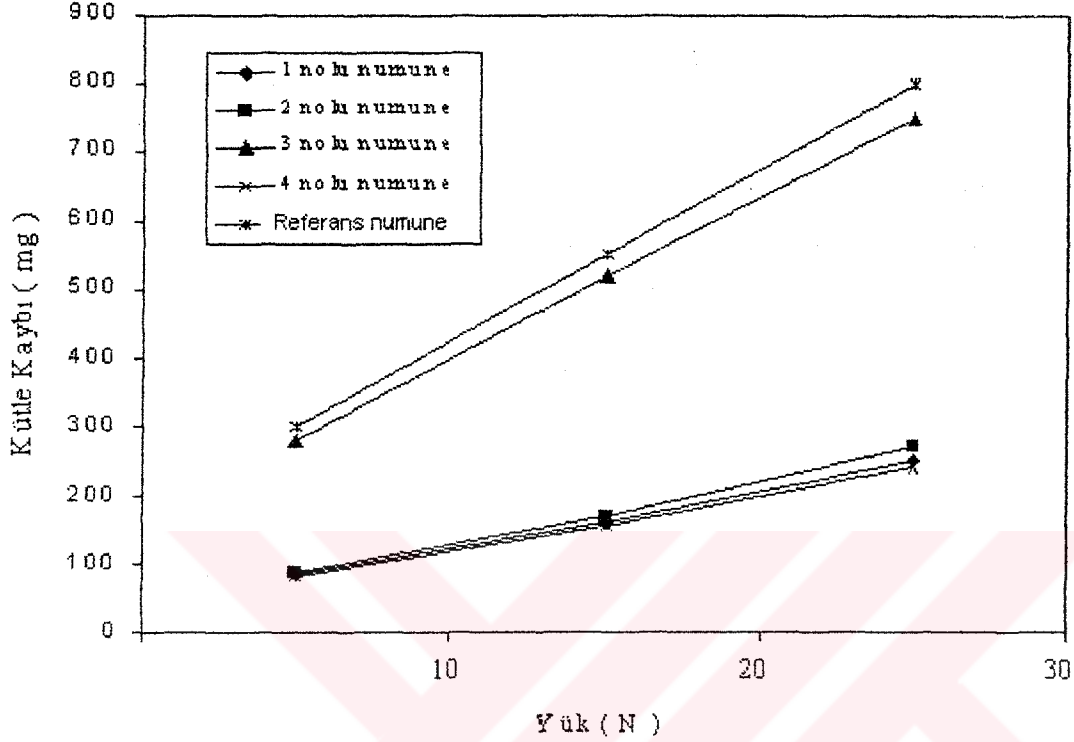
Tablo 8.4. Modifiye olmuş tabaka kalınlıkları

Numune No	1	2	3	4	Referans Num.
Modifiye Olmuş Tabaka Kalınlığı (mm)	3.85	3.89	3.75	3.83	3.94

Bu tablodan da görüleceği gibi, modifiye olmuş tabaka kalınlıkları hemen hemen aynıdır. Bunun sebebi numunelere kaynak işlemi uygulanırken enerji girişinin ve parça kalınlığının sabit tutulmasıdır (Easterling, 1992).

8.4. Aşınma Testi Sonuçları

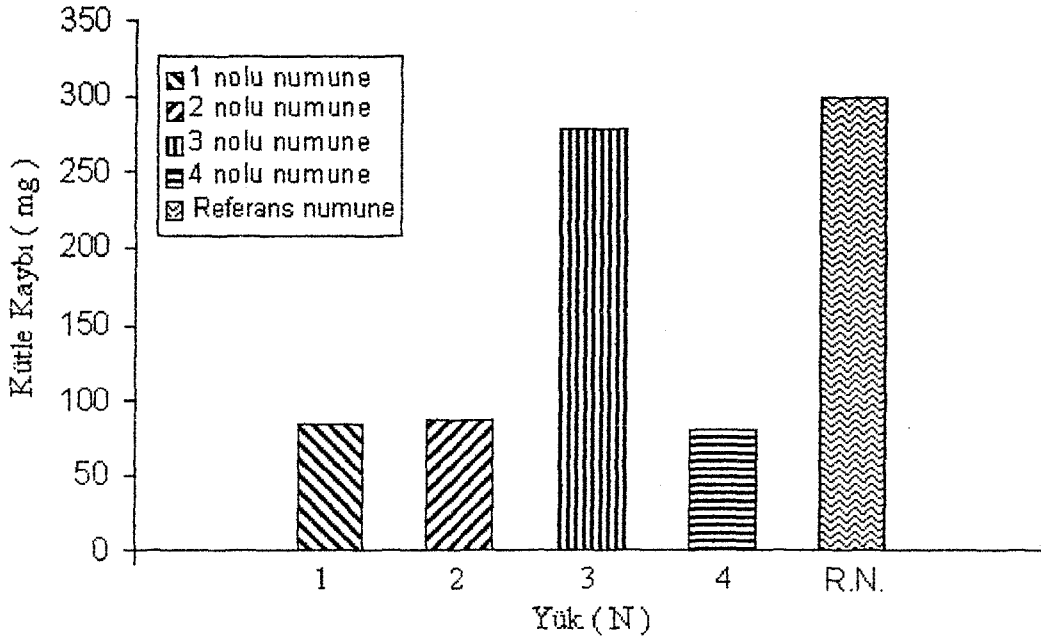
Numunelere ait kütle kaybı-yük ilişkisi Şekil 8.17 de verilmiştir.



Şekil 8.17 Numunelere ait kütle kaybı-yük ilişkisi.

Şekil 8.17 den de görüleceği gibi en az kütle kaybı 1, 2 ve 4 nolu numunelerde görülmüştür. Bunun sebebini bu numunelerde görülen martenzitik yapı ve ölçülen sertlik değerlerine bağlamak mümkündür. Bu numuneler kendi aralarında kıyaslandığında kütle kayıplarında çok büyük farklılıklar yoktur. Bunlardan sonra en iyi aşınma direnci, normalleştirme ısı işlemine tabi tutulan ve yapısı tamamen perlitten oluşan 3 nolu numunede görülmüştür.

En fazla kütle kaybı ise, mikro yapısı ferritten oluşan referans (alaşım elementi kullanılmadan kaynak elektrodu ile yüzeyi kaynatılan) numunede görülmüştür.



Şekil 8.18 Numunelerin 10 N'tluk yük altındaki kütle kaybı-yük ilişkisi

Bütün numunelere ait kütle kaybı aşınma testlerinden şöyle bir yorum yapmak mümkündür. En fazla kütle kaybının gerçekleştiği referans numunenin mikro yapısı, (Şekil 8.1) çoğunlukla ferritten oluştuğu için, mikro yapıda abrasiv aşındırıcılara karşı koruyacak hiçbir engel bulunmamaktadır, bu yüzden diğer numunelere ait mikro yapılar la kıyaslandığında daha fazla kütle kaybının ortaya çıkması doğaldır.

Tamamen perlitik yapıya sahip 3 nolu numune de ise referans numuneye kıyasla daha az bir kütle kaybı gerçekleşmiştir. Bunun sebebini ise ferrit matrisi içine yerleşen ve yapıyı bir ağ şeklinde saran sert sementit lamellerinin, abrasiv aşındırıcılara karşı gösterdiği dirence bağlayabiliriz.

Mikro yapının aşınma testleri sonucunda en az kütle kaybının gerçekleştiği 1,2 ve 4 nolu numuneler Şekil 8.2, 8.7, 8.11'de de görüldüğü gibi martenzitik yapıdan oluştuğu görülmüştür. Gerçi 1, 2 ve 4 nolu numunelerde oluşan martenzitik yapının enerji absorbe etme yeteneği olmadığı için, daha fazla kütle kaybına uğraması gerekirdi. Ancak sert martenzit yapının, yumuşak ve enerji tutma yeteneği fazla olan kalıntı östenitle birlikte teşekkül etmesi, aşınma direnci için mükemmel şartları meydana getirmiştir (Kagawa, ve diğ., 1992).

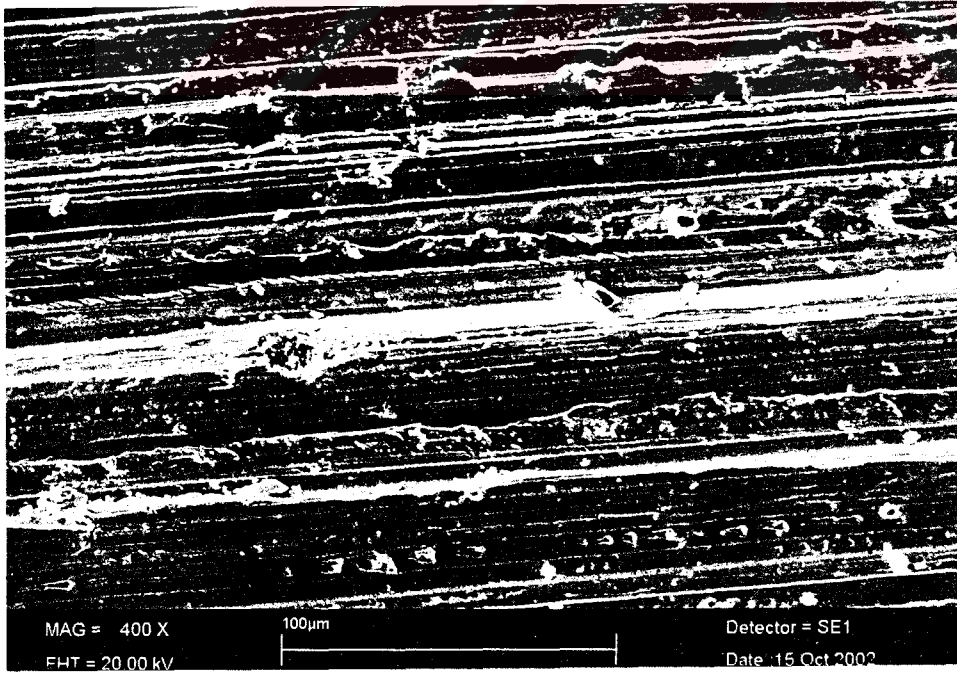
Ayrıca; aşındırılan yüzeylerden alınan SEM fotoğrafları, elde edilen kütle kaybı sonuçlarını desteklemiştir. Şekil 8.19 da referans malzemenin, Şekil 8.20 de 3 nolu numunenin, Şekil 8.21, 8.22, 8.23, de sırasıyla 1, 2 ve 4 nolu numunelerin 10 N'tluk yük altında aşınma testine tabi tutulduktan sonra alınan yüzey fotoğrafları sırasıyla verilmiştir.

Aşınan yüzeylerde alınan SEM fotoğraflarından da görüleceği gibi, plastik deformasyonun en fazla görüldüğü ve aşınma izlerinin en geniş ve en derin bir şekilde meydana geldiği numune referans numunedir (Şekil 8.19).

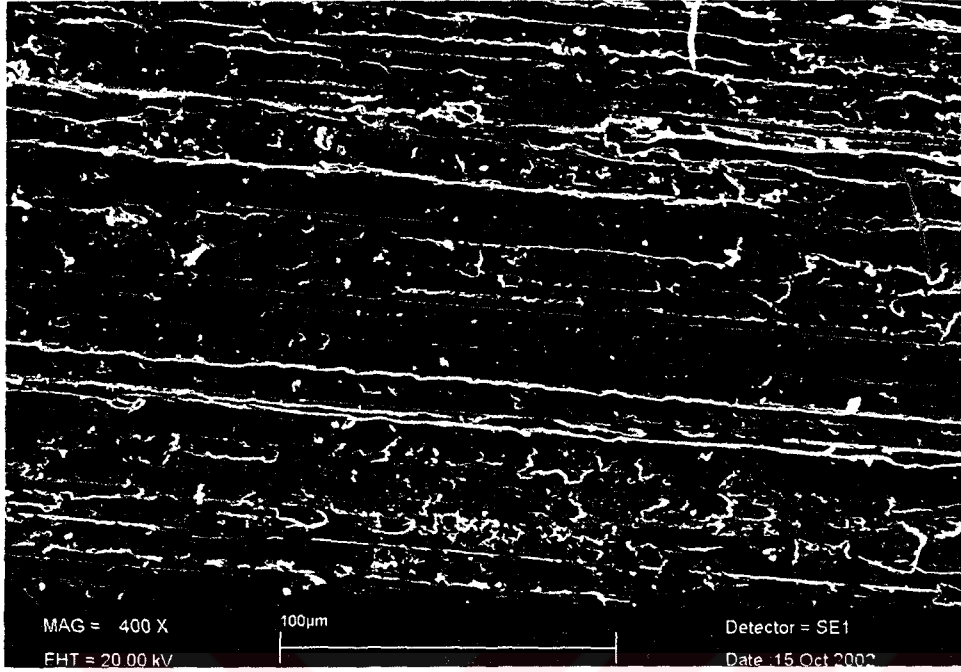
Perlitik yapıdan alınan SEM fotoğrafları incelendiğinde ise, aşınma izlerinin daha geniş aralıklı ve yüzeysel meydana geldiği görülmüştür (Şekil 8.20). Bu sonucu, perlitik yapıya sahip mikro yapıdaki sementit lamellerinin aşındırıcıya karşı gösterdiği dirence bağlanabilir.

Martenzitik yapıya sahip numunelerin aşınma izi fotoğrafları incelendiğinde ise, aşınma izlerinin çok daha yüzeysel ve geniş aralıklarla teşekkül ettiği görülmüştür (Şekil 8.21-23). Sonuç olarak, Martenzitik yapının sert karakteristik özelliği ile birlikte, kaplamadaki krom içeriğinin de abrasiv aşındırıcılara karşı büyük bir direnç sergilediği görülmüştür. Yapıdaki krom içeriğinin bu etkisini sert krom karbür oluşturmaya özelliğine dayandırılabilir (Pero-Sanz ve diğ., 1999).

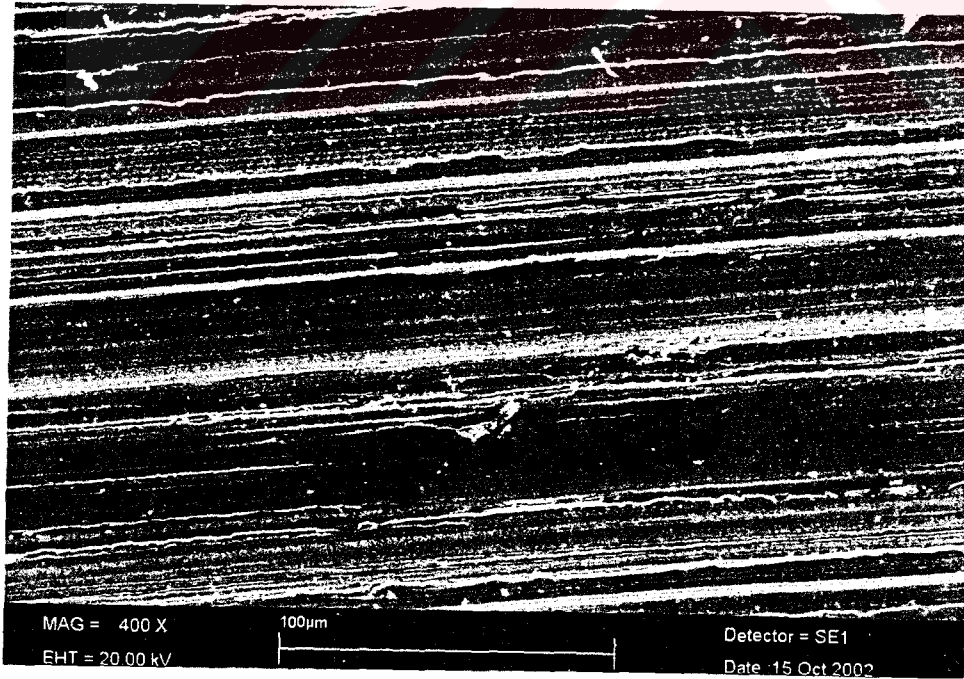
Aşınma deneyleri sonuçlarından da anlaşılabileceği gibi, düşük karbonlu AISI 1010 çeliğinin yüzeyinin ferrokrom tozu ve elektrik ark kaynağı kullanılarak sertleştirilebileceği ispatlanmıştır. Ayrıca elde edilen sert yüzey (kaynak dolgu metali) ile ana malzeme arasındaki geçişin homojen olup, çatlamların meydana gelmediği bu çalışmada önemli bir unsur olarak dikkati çekmiştir.



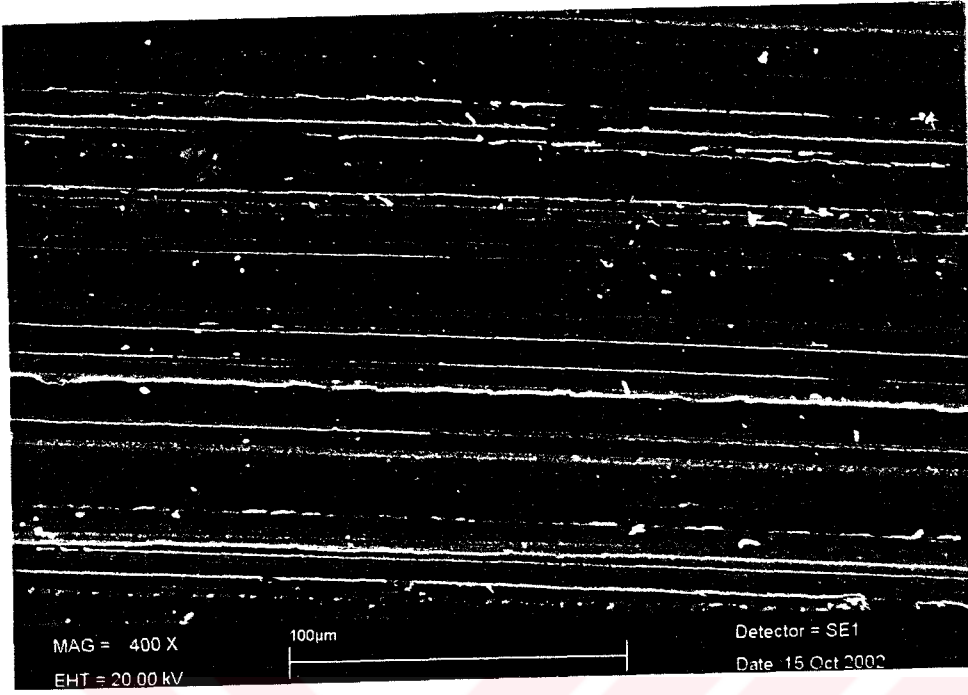
Şekil 8.19. Referans numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (X400)



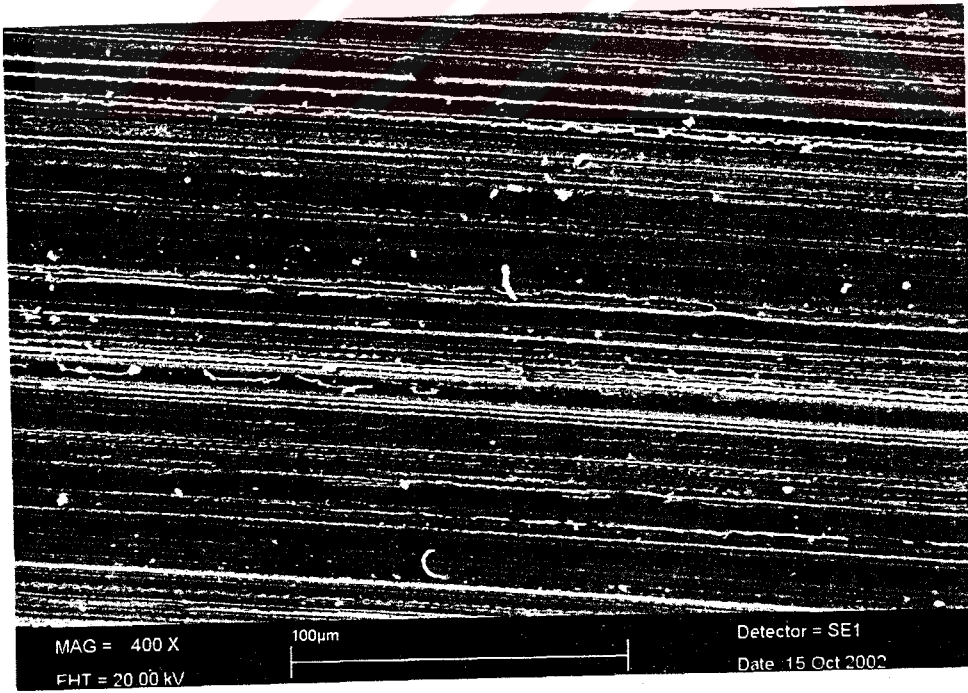
Şekil 8.20. 3 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (X400)



Şekil 8.21. 1 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (X400)



Şekil 8.22. 2 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (X400)



Şekil 8.23. 4 Nolu numunenin 10 N yük altında aşınan yüzeyinden alınan SEM fotoğrafı (X400)

9. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, AISI 1010 çeliğinin yüzeyi önce kaplamasız, daha sonra da yüzeyi yüksek karbonlu ferrokrom tozu ile kaplanarak elektrik ark kaynağı işlemine tutulmuş ve neticede ferrokrom tozu ile modifiye edilmiş yüzeyin mikro yapı, aşınma direnci ve sertliğinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Yapılan bu incelemeler neticesinde aşağıda belirtilen sonuçlara varılmıştır.

1. Yüzeyi ferrokrom tozu ilave edilmeden kaynak işlemine tabi tutulan referans numunenin mikro yapısı ferrit+perlitten teşekkül etmiştir.
2. Yüzeyi alaşımlandırılarak yüksek karbonlu ferrokrom tozu kaplanarak kaynak işlemine tabi tutulan numunelerdeki mikro yapı ise, martenzit ve kalıntı östenitten teşekkül etmiştir.
3. Elektrik ark kaynağı ile yüzey alaşımlama neticesinde AISI 1010 gibi düşük karbonlu bir çeliğin bile yüzey sertliğinin çok iyi bir şekilde arttırılabileceği görülmüştür.
4. Yine elektrik ark kaynağı yöntemi yardımıyla yüzey alaşımlama işlemi, malzemelerin abrasiv aşınma direncini arttırmıştır.
5. Yapılan metalografik incelemeler neticesinde, modifiye olmuş sert bölge (kaynak metali) ile ana metal arasındaki geçişin net bir şekilde olduğu ve bu bölgede çatlamların olmadığı görülmüştür. Bu da malzeme yüzeyi sert ve mukavemetli, iç kısımlarını ise daha sünek ve enerjiyi yutabilen bir halde olmasını sağlamıştır.
6. Mikro yapı, sertlik ve aşınma direnci sonuçlarından giderek, elektrik ark kaynağı ve alaşım elementi kullanılarak AISI 1010 gibi düşük karbonlu bir çeliğin yüzey özelliklerinin geliştirilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

ABSON, D. J., PERGENTER, R. J., (1986). Faktors Influencing The As-Deposited Strenght, Microstructure And Toughness Of Manual Metal Arc Weld Suitable For C-Mn Steel Fabrications, IIW Doc. II-A 633-36

ATAMERT, S., (1989). Ph.D Thesis, Universty of Cambridge, England.

ANIK, S., (1973). Kaynak Tekniği-Oksi-Asetilen ve Elektrik Ark Kaynağı-Cilt 1, İTÜ Yayını, Sayı. 960, İstanbul.

ANIK, S., TÜLBENTÇİ, K., KALUÇ, E., (1987). Ark Kaynakçısının El Kitabı, Böhler A.Ş. Yayını, İstanbul.

BABU, S. S., DAVID, S. A., VİTEK, J. M., MİLLER, M. K., (1996). Metall. Mater. Trans. A. 27A, 763

BAIN, E. C., PAXTON, H. W., (1966). Alloying Element In Steel. Metal Park, OH, American Society For Metals.

ÇELİK, H., (1991). High Temperature Wear Behaviour Of Weldable Cobalt and Iron Based Alloys, Ph. D. Thesis, Istanbul Technical University.

ÇELİK, H., YILDIRIM, M. M., KORKUT, M. H., (1992). Teknikte En Çok Kullanılan Dolgu Elektrodlarının Aşınma Davranışları, A.Ü.I.M. Fakültesi, Mak. Müh. Bölümü, 7. Mühendislik Haftası. Isparta.

ÇELİK, H., İZCİLER, M., NURSOY, M., (1993). Mechanical Properties and Deformation Charecteristic of Hard Metals, 7. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, S. 969-976, Ankara.

ÇELİK, H., (1996). Yüksek Sertlikteki Cr ve Co İçerikli Malzemelerin Plazma Arkı ile Isıtılarak Talaşlı İşlenebilirliklerinin Araştırılması, GAP 1. Mühendislik Kongresi., S. 334-339, Şanlıurfa.

DAVIS, J. R., (1993). ASM Hanbook: Welding, Brazing and Soldering, ASM International. Vol. 6, P.787

DRUENSE, F., PAUMELLE, P., (1998). Simulation Electrochemical Plating For Corrosion Protectin. Corros Prevent Contr. Vol. 45, S.118-123

EVANS, G. M., (1989). The Effect Of Nickel On The Microstructrue And Properties Of C-Mn All-Weld-Metal Deposits, IIW Doc. II-A-791-89

EVİN, E., (1996). Östemperlenmiş Küre Grafitli Dökme Demirlerin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

EASTERLING, K.E., (1992). Introduction to Physical metalurgy of welding. Burtterwoth, London.

EROĞLU, M., AKSOY, M., (1998). Effect of Nikel on Microstructure and Mechanical Properties of Heat Effected Zone of Low Carbon Steel. Material Science and Technology. Basımda.

GORDON, J. R., (1985). The Welding Institue Procedure For The Determination Of The Fracture Resistance Of Fully Ductile Metals. The Welding Institue Research Report, 275, June.

GÖK, M. S., (2001). Taneleri İnceltilmiş Mangan Islah Çeliğinin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

GÜRLEYİK, M.Y., DEĞERLİ., (1991). Metal-Metal Yarı Yağlı Kayma Sürtünmesinde Aşınma. 4. Denizli Malzeme Sempozyumu. S.552-562

GLAESER, W. A., (1992). Firiction, Lubbbication and Wear Technology, ASM Handbook. Vol. 18, P. 705, ASM International.

HEITKEMPER, M., FISCHER, A., BOHNE, C., PYZALLA, A., (2001). Wear Mechanisms Of Laser-Hardened Martensitic High-Nitrogen-Steels Under Sliding Wear. Vol. 250, P. 477-484

KULKARNİ, K.M., ANOND, V., (1984). Metal Handbook, 7, ASM Metals park, 9.th ed., pp. 823-836

KAPLAN, M., (1997). Yüksek Cr-Ni Alaşımı Çelik Dökümlerde Yaşlandırmanın Süneklik Davranışına Etkisi, F.Ü.Tek. Eğt. Fak. Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Elazığ.

KAPLAN, M., YILDIRIM, M.M., (2002). URANUS50 Döküm Alaşımında Mekanik Özelliklerin Geliştirilmesi, Volume 5, Sayı 3, S. 249-255, Ankara.

KAYALI, E.S., (1993). Sürtünme ve Aşınma, Workshop on Anti-Wear Coatings, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli.

KAYALI, E.S., ERUSLU, N., ÜRGEN, M., TAPTIK, Y., ÇİMENÖĞLU, H., (1997). Hasar Analizi Seminer Notları, İstanbul.

KELEŞTİMUR, H., (1989). Makine Yapı Çeliklerinin Abrasiv Aşınma Direncine Yüzey Sertliğinin Etkisi ve Diğer Mekanik Özelliklerle Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

KORKUT, M.H., (1997). Ferritik Paslanmaz Çeliklerin Mikro Yapısı Ve Aşınması Üzerine Karbür Yapıcı Elementlerin Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Elazığ.

LARSEN, J.A., (1990). Scr. Met. Et. Material. Vol. 24, S. 821-824

MATSUNAGA, H., SATO, Y. S., KOKAWA, H., KUWANA, T., (1998). Sci. Technol. Weld. Join. 3, 22

MURATOĞLU, M., (1997). SiC Katkılı 2124 Alüminyum Kompoziti ve Yaşlandırılmış Kompozitin Aşınma Davranışlarının Ararştırılması, Doktora Tezi, Elazığ.

MOORE, M. A., (1974). A Reviev of Two-Body Abrasiv Wear. Wear, 27, S. 1-7

ÖNALP, S., (2002). TİG Kaynak Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilmiş SAE 4140 Çeliğinin Abrasiv Aşınma Direncinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

ÖZSARAÇ, U., DURMAN, M., (2000) Aşınma Deney Yöntemleri, Makine Magazin. Sayı 46, S. 40-46

ÖZMEN, Y., CAN, A.Ç., AKSOY, T., (1991). Aşınmaya Etki Eden Faktörler ve Aşınmanın Azaltılması için Alınacak Tedbirler, 4. Denizli Sempozyumu. S. 651-664

PEKİN, Ş., VUORISTI, P., MANTYLA, T., (1993). System Aproach for Wear Rezistant Coatings, Worksshop on Anti-Wear Coatings, TÜBİTAK-MAM, Kocaeli.

RAITER, V., TIMERMAN, R., (1985). Chemical Analysis of N and O in Weld Metal, Round Robin Test. IIW Doc. II-1049-85

RICHARD, R. B., DOANE, D. V., (1993). In ASTM Hand Book; Heat Terating, ASM International. Vol. 4, P. 705

SHEK, C. H., SHEN, G. J., LAI, J. K. L., DUGGAN, B. J., (1994). Mater. Sci. Technol. 10, 306

SURIAN, B.E, TROTTI, J., (1994). Influence Of Chromium On The Mechanical Properties And Microstructure Of Weld Metal From A High-Strength SMA Electrode, Welding Research, p.45-53

SONG, Y., BAKER, T. N., MCPHERSON, N. A., (1996). Mater. Sci. Eng. S.212-228

YILDIRIM, M. M., DOĞANTAN, Z. S., PAKDİL, M., ÇAKAN, A. (2001). M.K.Ü. Yayınları No:9, Müh. Mim. Fak. Yayınları No:3, İskenderun, 113-123.

YILDIRIM, M. M., DOĞANTAN, Z. S., ÇAKAN, A., PAKDİL, M., (2001). M.K.Ü. Yayınları No:11, Müh. Mim. Fak. Yayınları No:5, İskenderun, 1-28.

YILDIRIM, M. M., (1989). Alaşım Tekniği, Fırat Üniv., Elazığ.

YILDIRIM, M. M., KAPLAN, M., ÇELİK, H., (1996). Paslanmaz Çelik Tozlarının Toz Metalurjisi Üretim Teknikleriyle Değerlendirilmesi, 1. Ulusal Toz Metalurjisi Konfrensi, Gazi Üniversitesi, S. 631-639, Ankara.

YILMAZ, F., (1997). Sürtünme ve Aşınma, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Cilt. 1, S. 229-256

