

**SUPAP YÜZEYLERİNİN TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE
KAPLANMASI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Uğur ARABACI

DOKTORA TEZİ

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2009

ANKARA

**SUPAP YÜZEYLERİNİN TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE
KAPLANMASI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Uğur ARABACI

DOKTORA TEZİ

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2009

ANKARA

Uğur ARABACI tarafından hazırlanan “Supap Yüzeylerinin TIG Kaynak Yöntemi İle Kaplanması ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA
Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet TÜRKER
Metal Eğitimi A. D., Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA
Metal Eğitimi A. D., Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Ramazan ÇITAK
Metal Eğitimi A. D., Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Ramazan KAÇAR
Metal Eğitimi A. D., Karabük Üniversitesi

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN
Metal Eğitimi A. D., Karabük Üniversitesi

Tarih: 11/11/2009

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nail ÜNSAL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Uğur ARABACI

SUPAP YÜZEYLERİNİN TIG KAYNAK YÖNTEMİ İLE KAPLANMASI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Uğur ARABACI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KASIM 2009

ÖZET

Bu çalışmada özellikle otomotiv supaplarının imalatında kullanılan 1.4718 kodlu çelik yüzeyi TIG kaynak yöntemiyle, kobalt esaslı Stellite 1, Stellite F, Stellite 6 ve Nikel esaslı Ni 60 alaşımları ile kaplanmıştır. Belirlenen kaynak parametreleri ile kaplanan numuneler 10, 25 ve 40 N yük altında, oda sıcaklığında ve 300 °C sıcaklıkta metal aşındırıcı disk üzerinde 4400 metre boyunca aşındırılmıştır. Numunelerin ağırlık kayıpları her 1100 metrede bir ölçülerek aşınma dirençleri incelenmiştir.

Bir başka deney grubu ise oda sıcaklığında yine 10, 25 ve 40 N yük altında 400 meshlik Al₂O₃ zımpara üzerinde toplam 10,5 metre boyunca aşındırılmıştır. Deneyler boyunca yeni aşınma yüzeyi kullanılmıştır. 10,5 metre sonunda alaşımlarla kaplı numunelerin toplam aşınma kayıpları incelenmiştir.

Yapılan tüm deneyler sonucunda, en yüksek aşınma direncine Stellite 1 ile kaplanmış numune sahip olurken, en düşük aşınma direncine ise Stellite F ile kaplanmış numune sahip olmuştur. Yapılan çalışmalarda alaşımların içerdiği özellikle Co ile C ve Cr elementlerinin aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca bütün numunelerde artan sıcaklık, uygulanan yük miktarı ve toplam aşındırma mesafesi ile birlikte aşınma kayıplarının da arttığı tespit edilmiştir.

Yine aşınma mekanizmalarının da etkili olduğu, abrasif aşınmada adhesif aşınmaya göre tüm numunelerde daha fazla aşınma kayıpları elde edildiği belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 710.3.019

Anahtar Kelimeler : Supap, kaplama, abrasif aşınma, adhesif aşınma, TIG kaynağı, mikro yapı.

Sayfa Adedi : 127

Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

**COATING OF VALF SURFACES WITH TIG WELDING METHOD
AND INVESTIGATION OF WEAR CHARECTERISTICS**

(Ph.D Thesis)

Uğur ARABACI

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

NOVEMBER 2009

ABSTRACT

In this study, surface of 1.4718 type steel, which is especially used in automotive valves, is coated with Cobalt based Stellite 1, Stellite F and Stellite 6 and Ni 60 alloys by using TIG welding. Samples, coated with given parameters, were worn on the pin on disc at room temperature and 300 °C. By the total wearing distance is 4400 m and the applied loads are 10, 25 and 40 N Samples were weighted after each 1100 m distance in each test.

Another group of samples were worn at room temperature with 400 mesh Al₂O₃ abrasive. 10,5 m wearing distance and 10, 25 and 40 N load were used as wearing parameters.

Tests showed that temperature, abrasive and applied load effect on abrasive characteristics. The amount of wear lost increase with increasing temperature, applied loads and wearing distance. Sample which is coated with Stellite 1, showed the highest wearing resistance and sample which is coated with Stellite F showed the lowest wearing resistance under all test parameters. It is also found that, especially Co, Cr and C in coating material increases the wearing resistance of valves. Furthermore, it is also found that wear lose all samples

increases with increasing temperatures applied load and total wearing distance. It is also found that abrasive wears more than adhesive wears.

Science Code : 710.3.019

Key Words : Valf, coating, abrasif wearing, adhesiv wearing, TIG welding, micro structure.

Page Number : 127

Adviser : Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım sayın Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA'ya, yine kıymetli deneyimlerinden yararlandığım Hocam Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen başta sevgili hocam ve büyüğüm Yrd. Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU, Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜRAL ve değerli oda arkadaşım Dr. Tayfun FINDIK'a, ayrıca; tüm mesai arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımda teknik ve teorik destek sağlayan Tetik ve Supar Supap Fabrikaları ile çok değerli çalışanlarına teşekkür ederim.

Sadece akademik çalışmam süresince değil, hayatım boyunca maddi-manevi tüm destek ve yardımlarını esirgemeyen, bugünlere gelmemde büyük emeği olan başta annem, babam, kardeşim, eşim ve kızım olmak üzere çok değerli ARABACI ailesine sonsuz şükran ve minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER**Sayfa**

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. SUPAP VE VANALAR	3
2.1. Supap.....	3
2.1.1. Otomotiv supaplarının genel yapısı.....	4
2.1.2. Otomotiv supap malzemeleri	5
2.2. Supap Yuvalı Vanalar	9
3. AŞINMA	11
3.1. Aşınmanın Tanımı	11
3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler.....	13
3.3. Aşınmanın Ekonomik Konumu	13
3.3.1. Aşınmanın ekonomik rolü.....	14
3.3.2. Aşınmanın kullanımı	15
3.3.3. Keskin kenar ağızların korunması.....	15
3.3.4. Aşınmanın teşhiste kullanımı.....	17
3.4. Aşınma Mekanizmaları	17

Sayfa

3.4.1. Adhesif aşınma (yapışma aşınması)	17
3.4.2. Abrasif aşınma.....	19
3.4.3. Yorulma aşınması	20
3.4.4. Eroziv aşınma	21
3.4.5. Öğütmeli aşınma.....	23
3.4.6. Oymalı aşınma.....	23
3.4.7. Kazımalı aşınma	24
3.4.8. Korozif aşınma	25
4. AŞINMAYA DİRENÇLİ MALZEMELER	26
4.1. Kobalt Esaslı Alaşımlar.....	27
4.2. Kobalt Esaslı Alaşımlarda Abrasif Aşınma Direncine Etki Eden Faktörler ...	32
4.2.1. Abrasif aşınma direncine karbürlerin etkisi	33
4.2.2. Matrisin etkisi.....	36
5. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ	38
5.1. Yüzey Kaplama İşlemi (Hardfacing)	39
5.2. Yüzey Kaplama Malzemeleri	39
5.3. Yüzey Kaplama Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	40
5.3.1. Kobalt esaslı sert yüzey kaplama alaşımları	42
5.3.2. Nikel esaslı alaşımlar	44
6. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ VE YÖNTEMLERİ	48
6.1. Yüzey Kaplama Alaşım Seçimi	48
6.2. Yüzey Kaplamada İşlem Seçimi.....	50

	Sayfa
6.3. Özellik ve Kalite Gereksinimleri	50
6.4. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri	51
6.5 Ana Metalin Metalürjik Özellikleri	52
6.6. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri.....	53
6.7. Yüzey Kaplama Yöntemleri	54
6.7.1. Elektrik ark kaynağı	54
6.7.2. Tozaltı kaynağı	56
6.7.3. TIG kaynağı	57
6.7.4. Toz ilaveli oksı-gaz kaynağı	58
6.7.5. Plazma ark kaynağı.....	60
6.7.6. Lazer kaynağı	61
7. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR	64
7.1. Malzeme	64
7. 1.1. Supaplar	64
7.1.2. Kaplama malzemeleri	64
7.2. Metot	65
7.2.1. Deney numunelerinin kaynak ile kaplanması	65
7.2.2. Sertlik deneyleri	68
7.2.3. Metalografik çalışmalar ve EDS analizleri	68
7.2.4. Tarama elektron mikroskop çalışmaları	68
7.2.5. Aşınma deneyleri.....	69
8. DENEY SONUÇLARI ve TARTIŞMA	71

	Sayfa
8.1. Sertlik Sonuçları	71
8.2. Mikroyapı	73
8.2.1. Kaplama alaşımlarına ait mikroyapı fotoğrafları ve EDS analizleri.	74
8.3. Aşınma Davranışları.....	84
8.3.1. Adhesif aşınma davranışları.....	84
8.3.2. Abrasif aşınma davranışları	94
8.4. Tarama Elektron Mikroskobu Aşınma İzi Sonuçları	96
8.4.1. Oda sıcaklığında yapılan adhesif aşınma.....	96
8.4.2. 300 °C sıcaklık altında yapılan adhesif aşınma.....	103
8.4.3. Abrasif aşınma.....	109
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	116
KAYNAKLAR.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	126

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Tetik fabrikası supap üretimi standartları	7
Çizelge 3.1. Adhesif aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi.....	19
Çizelge 4.1. Bazı stellite alaşımlarının bileşimleri.....	29
Çizelge 5.1. Çeşitli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi....	42
Çizelge 5.2. Yüksek Ni içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi.....	44
Çizelge 5.3. Çeşitli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının özellikleri.....	45
Çizelge 7.1. 1.4718 (X45CrSi9-3) çeliğinin uluslararası standartlarda gösterilişi....	64
Çizelge 7.2. Deneyleerde kullanılan 1.4718 (X45CrSi9-3) çeliğinin kimyasal bileşimi.....	64
Çizelge 7.3. Deneyleerde kullanılan kaplama alaşımlarına ait kimyasal bileşim tablosu.....	65
Çizelge 8.1. Numunelere ait yüke ve sürtünme mesafesine bağılı adhesif aşınma toplam ağırlık kaybı değerleri.....	85
Çizelge 8.2. Numunelere ait abrasif aşınma sonuçları.....	94

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Emme supabı.....	3
Şekil 2.2. Supap sisteminin genel yapısı	5
Şekil 3.1. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi.....	12
Şekil 3.2. Faydalı aşınma.....	16
Şekil 3.3. Kemirici hayvanların dişleri.....	17
Şekil 3.4 Adhesif aşınmanın meydana gelişinin şematik olarak gösterimi.....	18
Şekil 3.5 Yorulma aşınmasının şematik gösterilişi.....	21
Şekil 3.6. Eroziyon aşınmanın şematik gösterilişi	22
Şekil 3.7 Öğütmeli aşınmanın şematik gösterilişi.....	23
Şekil 3.8. Kazımalı aşınmanın şematik gösterilişi.....	24
Şekil 4.1.Stellite alaşımlarının abrasif aşınma karakteristikleri.....	32
Şekil 6.1.Plazma ark yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi.....	60
Şekil 7.1.Supapların deney numunesi olarak hazırlanması.....	66
Şekil 8.1.Numunelerin kaplama yüzeyinden merkezine doğru enine sertlik değerleri.....	71
Şekil 8.2. Stellite 1 numunesine ait EDS analiz grafikleri.....	76
Şekil 8.3. Stellite F numunesine ait EDS analiz grafikleri.....	78
Şekil 8.4. Stellite 6 numunesine ait EDS analiz grafikleri.....	80
Şekil 8.5. Nikel 60 numunesine ait EDS analiz grafikleri.....	82
Şekil 8.6. Stellite 1 numunesine ait adhesif aşınma grafikleri.....	86
Şekil 8.7. Stellite F numunesine ait adhesif aşınma grafikleri.....	87
Şekil 8.8 Stellite 6 numunesine ait adhesif aşınma grafikleri.....	88

Sayfa

Şekil 8.9. Nikel 60 numunesine ait adhesif aşınma grafikleri.....	89
Şekil 8.10. Numunelere ait abrasif aşınma grafiği.....	95

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Karbür içerikli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çift tabaka plazma ark kaplama mikroyapı görüntüleri.....	43
Resim 5.2. ERNİCr-C plazma ark kaynağı ile çift tabaka kaplanmış bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımının mikroyapısı.....	46
Resim 7.1. Supapların kaynak öncesi görüntüleri.....	66
Resim 7.2. Supapların TIG kaynak yöntemi ile yüzeylerinin kaplanması.....	67
Resim 7.3. Supapların TIG kaynak yöntemi ile yüzeyleri kaplandıktan sonraki görünümü.....	67
Resim 7.4. 300 °C sıcaklıkta numunelere uygulanan adhesif aşınma deneyi.....	70
Resim 8.1. Kaplama-ana malzeme ara yüzey fotoğrafları.....	74
Resim 8.2. Stellite 1 kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.....	75
Resim 8.3. Stellite F kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.....	77
Resim 8.4. Stellite 6 kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.....	79
Resim 8.5. Nikel 60 kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları.....	81
Resim 8.6. Stellite 1 numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüsü.....	97
Resim 8.7. Stellite F numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	98
Resim 8.8. Stellite 6 numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	99
Resim 8.9. Nikel 60 numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	100
Resim 8.10. Stellite 1 numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	104
Resim 8.11. Stellite F numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	105

Sayfa

Resim 8.12. Stellite 6 numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	106
Resim 8.13. Nikel 60 numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	107
Resim 8.14. Stellite 1 numunesine ait 10,5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	110
Resim 8.15. Stellite F numunesine ait 10,5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	111
Resim 8.16. Stellite 6 numunesine ait 10,5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	112
Resim 8.17. Nikel 60 numunesine ait 10,5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.....	113

1. GİRİŞ

Aşınma; genel anlamda katı cisimlerin yüzeylerinden sürekli malzeme kaybı şeklinde yüzeyin bozulmasına sebep olarak makine parçalarının ömürlerini ve performanslarını azaltan bir olaydır. Aşınmış parçalar kırılmadan, fakat aşınmadan dolayı görevini yapamaz duruma gelince değiştirilirler.

Mekanik hareket yapan makine parçalarının yüzeylerinin aşınmaya karşı dirençli olması istendiği için aşınma problemlerinin çözümünde uzun yıllar süren araştırmalar sonucunda aşınma etkilerine karşı daha dayanıklı olan kobalt esaslı alaşımlar geliştirilmiştir. Makine parçalarında aşınmaya dirençli bir yüzey elde edilmesinde kullanılan bu alaşımlar, adhesif, abrasif, darbe, erozyon ve korozyon aşınması ile birlikte sıcaklığın yüksek olduğu ortamlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Bu alaşımlar genellikle yüksek oranda krom ve diğer alaşım elementleri ihtiva eden "Stellite" türündendir. İlk Stellite alaşımı Co-28Cr-4U-1,1C (ağırlıkça %) bileşimiyle geliştirilmiştir ve bu alaşım günümüzde "Stellite 6" olarak bilinmektedir [2].

Yüksek sıcaklıklarda bile sertliklerini muhafaza edebilen Co esaslı alaşımlar, aşınmaya maruz malzeme yüzeylerine aşınmadan önce veya aşınmadan sonra, elektrik ark kaynağı, lazer, gazaltı, tozaltı kaynağı ve pulverizasyon metotlarıyla kaplanır [3].

Yüzey kaplama ise, yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla çeşitli kaynak yöntemleri, ısı püskürtme veya lazer kaynak yöntemi kullanılarak ana metalden farklı özellikte ve kimyasal bileşimi bilinen bir metal veya alaşımın ana malzeme yüzeyine kaplanması işlemidir [4]. Yüzey kaplama aşınmayı, yıpranmayı, darbeyi, erozyonu ve oyulmayı azaltmak için orijinal parçalara uygulandığı gibi bozulan parçaların tamiri amacıyla da uygulanır.

Belli başlı kaplama yöntemleri, sert yüzey kaplama, takviye kaplama veya dolgu kaplama, giydirme kaplama veya koruyucu kaplama ve kademeli kaplama yöntemleridir [5].

Sert yüzey kaplama işlemi uygulamalarında çeşitli metal ve alaşımlar kullanılır. Bu kaplama malzemelerinden birisi de "Stellite" olarak bilinen kobalt esaslı süper alaşımlardır [6]. Kobalt esaslı sert yüzey kaplama alaşımları yüksek sıcaklıklarda, iyi derecede aşınma, oksidasyon ve korozyon direnç özellikleri gerektiren uygulamaların tümünde kullanılmaktadır [7]. Bu alaşımlar aynı zamanda jet motorlarında, rotor, türbin kanatları, valfler, dişçilik ve cerrahi takımlar, egzoz çıkış boruları ve benzeri yerlerde kullanılırlar [8].

Supap ve valf malzemelerinin aşınma özellikleri üzerine yapılmış olan çalışmalarda deney parametrelerinin azlığı dikkat çekmiştir. Aşınma türü, kullanılan kaplama alaşımı türleri, uygulanan yük miktarı, sürtünme mesafesi ve aşınma ortamı sıcaklığı gibi parametrelerin bir arada kullanılmadığı, kullanılan parametrelerin daha kısıtlı ve daha çok teorik hesaplamalar üzerine olduğu, yapılan çalışmalarda ise bu parametrelerden sadece bir veya ikisinin temel alındığı görülmüştür. Günümüzde de özellikle supaplarda önemli bir sorun teşkil eden aşınmanın daha geniş ele alınabilmesi ve aşınmada etken olan parametrelerin bir arada incelenebilmesi amacıyla böyle bir çalışma yapılmıştır.

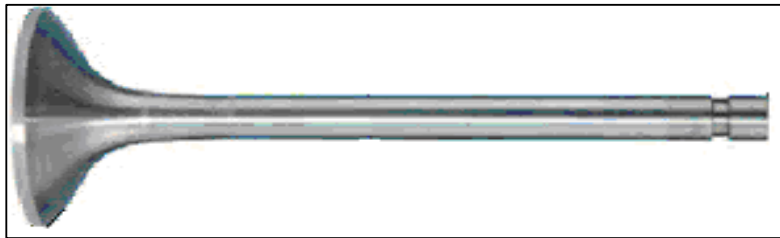
Bu çalışmada, özellikle otomobil supap yapımında kullanılan 1.4718 kodlu çeliklerin yüzeyleri yüksek aşınma dirençleri özelliğinden dolayı yaygın olarak kullanılan kobalt esaslı Stellite F, Stellite 1, Stellite 6 ve Nikel 60 alaşımlarıyla TIG kaynak yöntemiyle kaplanarak aşınma özellikleri incelenmiştir. Farklı yükler, ortam sıcaklıkları ve aşındırıcılar altında yapılan deneyler sonucunda aşınma dayanımı en yüksek ve en düşük aşınım belirlenmeye çalışılmış, elde edilen sonuçlar mikroyapı fotoğrafları, EDS analizleri, sertlik ve tarama elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla birlikte değerlendirilerek kaplamaların aşınma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. SUPAP VE SUPAP YUVALI VANALAR

2.1. Supap

Otomotiv endüstrisinde, daha konforlu ve ekonomik taşıtlar tasarlama yönündeki eğilim araştırmacıları motorun verimini yükselterek performansını artırmak için supaplar üzerine çeşitli çalışmalar yürütmeye itmiştir [9].

Bu alışmalar supapların çalışması sırasında oluşan kayıpları ortadan kaldırmak amacıyla supaplar ve supap mekanizmaları üzerinedir [10]. Supaplardaki gelişmeler temel olarak supap sayısını artırmaya yöneliktir. Bu sayede her bir silindir için iki ya da daha fazla emme ve egzoz supabı kullanılarak karışımdan maksimum verim sağlanması hedeflenmektedir. Supap mekanizmaları üzerine yapılan çalışmalar ise supapların açılma ve kapanma zamanlamalarının değişken olmasını sağlamaya yöneliktir. Motor devri değiştikçe piston hızı, piston hızına bağlı olarak da içeri alınan dolgunun hızı ve kinetik enerjisi sürekli değişeceğinden supap zamanlamasının da sürekli değişmesi gerekmektedir [11]. Bu durum ancak değişken zamanlamalı supap mekanizması ile sağlanabilmektedir. şekil 2.1'de bir emme supabı görülmektedir.



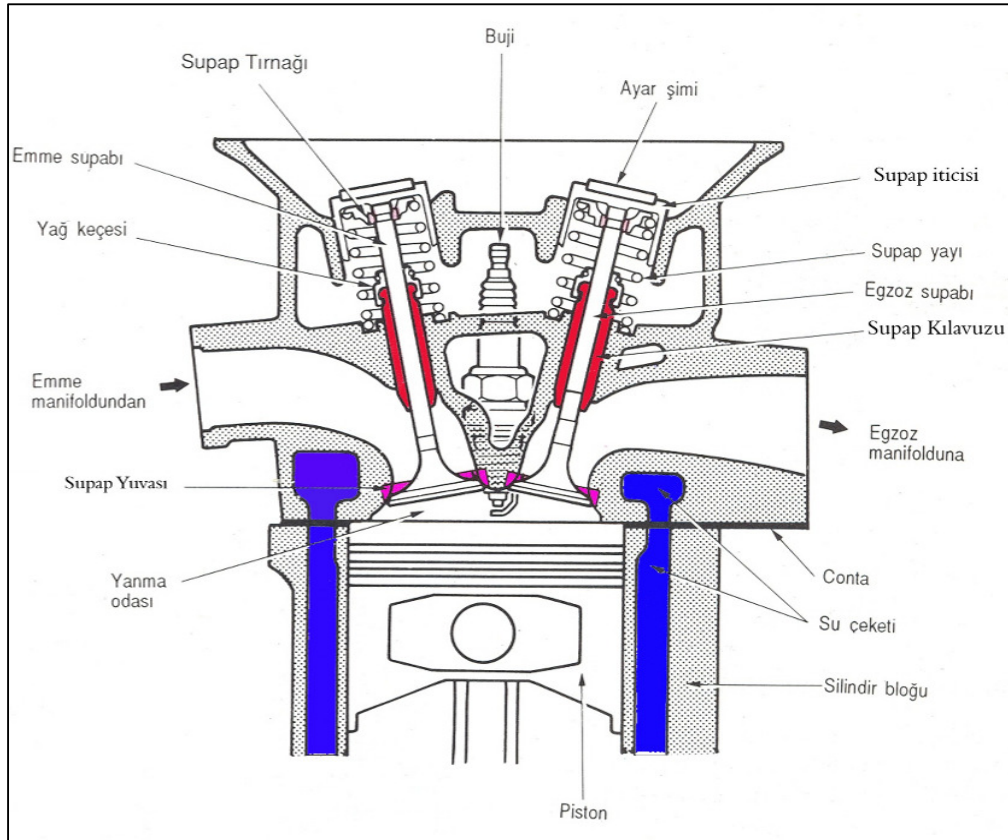
şekil 2.1. Emme supabı [12]

Supaplar motorlarda gerek mekanik ve gerekse ısıl zorlamalara en çok maruz kalan parçalardan biridir. Supap yenmeleri, oyulması, kırılması, aşınması ve değişik biçimlerde şekil bozukluklarına uğraması sık rastlanan olaylardır [13].

Supaplar oksitlenme, aşınma, gerilme, çatlama, yarıma, kök kısmında oluşan hasarlar ve supabın yerine iyice oturup oturmamasına karşı kontrol edilmelidir. Genellikle egzoz supabı daha çok aşınır. Çünkü yüksek sıcaklıklara tabidir. Egzoz supabı çok aşınmış ama emme supabı aşınmamış ise emme supabı değiştirilmeden egzoz supabı değiştirilebilir. Supaplar sürekli gerilme kuvvetlerine maruz kalırlar. Bu kuvvetler devamlıdır, çünkü kam milinden hareketi alırlar ve supap yayları tarafından açılıp kapanırlar [14].

2.1.1. Otomotiv supaplarının genel yapısı

Supap mekanizması parçalarının birçoğu silindir kapağı üzerinde yer almaktadır. Supaplar, supap tablası ve supap sapı olmak üzere iki kısımdan meydana gelir. Supap tablasında supap oturma yüzeyi, supap yuvasına göre 1° farklı taşlanır. Böylece supap oturma yüzeyi ile yuvası arasında çizgisel bir temas sağlanarak daha iyi bir sızdırmazlık sağlanır. Supap sapı kısmında, supap tablasını tutan tırnakların oturduğu bir yuva vardır. Supaplar, yüksek sıcaklıklara maruz kalmakta, mekanik ve kimyasal zorlamalarla karşılaşmaktadır. Emme supapları 550 °C'lere kadar çıkabilen sıcaklıklarda çalışırken, egzoz supapları ise 900 °C'deki sıcaklıklarda çalışmaktadır. Ayrıca supap ucunda, supap sapında ve supap oturma yüzeyinde titreşimler nedeniyle mekanik aşınmalar oluşur. Şekil 2.2'de supap sisteminin genel yapısı şematik olarak gösterilmektedir [15].



Şekil 2.2. Supap sisteminin genel yapısı [15]

2.1.2. Otomotiv supap malzemeleri

Supaplar, yüksek sıcaklık altında çalıştığı ve motorun en hareketli parçaları oldukları için motordan daha çabuk yıpranır. Bu nedenle supaplar, hem bu şartlara uygun en dayanıklı maddelerden, hem de çok hassas ölçülerle üretilmelidir [15]

Supaplar, motorda çok güç şartlar altında çalışan parçalardan birisidir. Özellikle egzoz supapları basınç altında devamlı yüksek sıcaklıklarda çalışır. Bütün güç şartlara rağmen supapların, deforme olmadan ve yanmadan görevlerine devam etmeleri gerekir. Bu nedenle egzoz supapları, kırılmaya, korozyona, eğilmeye ve aşınmaya dayanıklı, içinde yüksek oranda krom, nikel, silisyum ve diğer bazı alaşım elementi bulunduğu çelik alaşımlarından veya Stellite denilen, yüksek sıcaklığa dayanıklı, özel çelik alaşımlarından yapılır [16]. Emme supapları, egzoz supaplarına

oranla ısı yönünden daha uygun şartlarda çalıştığı için, bunların yanma, korozyon ve aşınma olasılığı daha az olduğundan, stelliteye göre daha ucuz olan krom nikel içeren, çelik alaşımlarından yapılır. Emme ve egzoz supapları bazı motorlarda farklı malzemelerden yapıldığı halde, bazı motorlarda da her iki supap aynı malzemelerden yapılmaktadır [17].

Sıcaklık, emme supaplarında 550 °C' ye ve egzoz supaplarında ise 900 °C'ye kadar yükselir. Egzoz supaplarının yüzeyleri kırılmaya, korozyona ve hızlı aşınmaya dayanıklı, içinde yüksek oranda krom, nikel bulunan CrNi alaşımlı çelikle kaplanır. Eğer supaba, soğutma amaçlı kristalize sodyum (Na) doldurulmuşsa supap tablası sıcaklığı yaklaşık 80°C kadar düşebilir. Supap içindeki kanalın 2/3'ü sodyum ile doldurulmuştur. Motorun çalıştırılması sırasında supap içinde bulunan sodyum sıvı halde olup, buhar haline geçerken, supap tablası üzerindeki aşırı sıcaklık yükünü supap sapına, oradan da soğutma suyuna ileterek supabın soğumasını sağlar. Bazı supapların çalışması sırasında eksenini etrafında dönmesini sağlayan yay tablaları bulunmaktadır [18]. Supap malzemesinde, özellikle egzoz supapları için aşağıdaki şartlar aranır;

- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Yanmaya karşı direnç
- Korozyona karşı direnç
- Aşınma direnci

Yukarıdaki maddeler ışığında Tetik Fabrikalarının supap üretiminde kullandığı standartlar Çizelge 2.1'de verilmiştir [12]

Çizelge 2.1. Tetik fabrikası supap üretimi standartları [12]

Üretimde kullanılan çeliklerin analizi					
TETİK	N	S	X	R	A
DIN	39 Ni Cr Mo 4	X45 Cr Si 9 3	X85 Cr Mo V18 2	X55 Cr Mn Ni N20 8	X53 Cr Mn Ni N 21 9
Analiz %					
C	0,32-0,40	0,40-0,50	0,80-0,90	0,50-0,60	0,48-0,58
Si	≤ 0,40	2,70-3,30	≤ 1,00	≤ 0,25	≤ 0,25
Mn	0,50-0,80	≤ 0,80	≤ 1,50	7,00-10,00	7,00-10,00
Cr	0,90-1,200	8,00-10,00	16,5-18,5	19,5-21,5	20,0-22,0
Ni	0,90-1,20	-	-	2,00-2,75	3,25-4,50
S	≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,030	≤ 0,030
P	≤ 0,035	≤ 0,040	≤ 0,040	≤ 0,050	≤ 0,050
Mo	0,15-0,30	-	2,00-2,50	-	-
20 °C' de Çekme Dayanımı(kg/mm ²)	110-130	90-110	100-120	90-115	95-120
700 °C' de Çekme Dayanımı (kg/mm ²)	-	11	18	44	45
Fabrikanın üretimde kullandığı sertleştirme alaşımlarının kimyasal analizleri					
	St (Stellite 1)	St (Stellite 6)	St (Stellite 12)	St (Stellite F)	
Analiz %					
C	2,50	1,20	1,40	1,75	
Si	1,30	1,20	0,70	1,00	
Mn	0,50	0,50	2,50	0,30	
Cr	30	28	30	25	
Ni	1,50	3,00	1,50	22	
Mo	0,50	0,50	-	-	
Co	Kalan	Kalan	Kalan	Kalan	
W	13	4,50	8,30	12	
Fe	≥3	3	≥3	2	

Malzeme içerisinde bulunan karbon malzemeye dayanım ve sertlik katar. Krom ise dayanımın ve sertliğin yanı sıra yüksek sıcaklık dayanımını ve korozyon direncini artırır. Silisyum malzemenin dayanımını, elastikiyetini, kayma özelliğini ve korozyon direncini artırır [19].

Supap malzemeleri yüksek sıcaklıklara ve korozyona karşı dayanıma sahiptir. Emme supapları genellikle krom, silisyum katkılı çelikten tek parça halinde (tek metal supap) yapılmaktadır. Emme supaplarının, özellikle sap yüzeyleri sertleştirilmekte ve supap tablası stellite (krom, kobalt ve tungsten alaşımı) ile kaplanmaktadır. Bu şekilde supabın ömrü artırılmış olur [20].

Egzoz supapları ısıya duyarlı supaplar olarak da yapılırlar. Tabla kısmı, krom mangan katkılı çeliklerden yapılırken, sap kısmı krom, silisyum katkılı çeliklerden imal edilmektedir. Egzoz supap yuvaları stellite çelik ile kaplanmıştır [21].

Ayrıca motorlarda içi boşaltılmış supaplarda kullanılmaktadır. Bu tür supapların iç kısmı boşaltılmış ve boşaltılan kısım 100 °C'de eriyebilen metalik sodyumla doldurulmuştur. Supabın hareketi sırasında supap içerisinde metalik sodyum hareket ederek sıcaklığın supap tablasından dağılmasını sağlar. Egzoz supabı çalışma sırasında içeri alınan hava ile bir miktar soğuma sağlar hemen arkasından yanan karışımın sıcak alevlerine maruz kalır. Tam gazın çıkış anında ise 1200 °F ya da 650–700 °C sıcaklığa ulaşır. İşte bu sıcaklıklarda dakikada 1000 kez hareket eden supap sitemlerinin uzun ömürlü olması ancak supap ayarlarının verilen toleranslara uygun olması ile sağlanır. İmalatçılar, supapları akkor dereceye kadar ısındığı halde bozulmayan çok dayanıklı malzemelerden yaparlar. Fakat en yüksek kalitede olan supaplar bile uygun şekilde soğutulmazlarsa uzun süre çalışamazlar [22].

Emme supapların tablası genellikle egzoz supaplarına göre daha büyüktür. Bu şekilde emme zamanında silindirler içerisine daha fazla karışım alınması sağlanmaktadır. Ayrıca her iki supabın tablaları da düz, dış bükey veya iç bükey olabilmektedir. Yüksek devirli motorlarda düz tablalı supaplar kullanılmaktadır [23].

2.2. Supap Yuvalı Vanalar

Bu tip vanalarda akım geçerken akış yönü fazla değişir ve büyük yerel yük kayıpları meydana gelir. Bu nedenle laminere yakın akış sağlayan eğik "supap yuvalı vanalar" (ventiller) yapılmıştır [24].

Supap yuvalı vanaların supap yuvaları genel olarak düzdür. Ancak eğik vanada olduğu gibi konik "supap yuvalı vanalar" da vardır. Bunlar eski tip Alman NORM ventilli (düz supaplı) vanalardır. Fakat bu vanalar parçalarının çokluğu, fazla yerel yük kaybı gibi nedenlerle artık kullanılmamaktadır.

Supap yuvalı vanalar genel olarak 15-300 mm anma çapları arasında imal edildiklerinden bunlara "ufak kapama armatürleri" gözü ile bakılır. Supap yuvalı vanalar akımı çok sıkı olarak kestiklerinden yüksek basınçlara kadar buhar, asit, benzin, yağ ve su borularında kullanılırlar. Sıkıca kapatıldıktan sonra açılmasını önlemek veya belirli bir açıklıkta supabı sabit tutmak için kontra somun görevini gören ikinci bir el çarkı uygulanır [24].

Eski tip norm vanası yerine bugün daha az parçası olan modern düz supap yuvalı vanalar yapılır. Bunların geçiş boğazları daha tatlı kavisli olduğundan yerel yük kayıpları da daha düşüktür. İletecekleri akışkanların basınç ve sıcaklıklarına göre bunlar dökme demir veya dökme çelikten yapılırlar. Yüksek sıcaklıklar için preste dövülerek biçimlendirilen, sonra üç tarafından matkapla delik açılarak vana şekline sokulan düz supap yuvalı bir çelik vana elde edilebilir [24].

Sıcak akışkanlar ileten supap yuvalı vanalar açıldıkları zaman el çarkı tekrar yarım dönüş kadar geriye çevrilmelidir. Aksi halde ısının etkisi ile vana mili uzayabilir ve sıkışarak kapatılması mümkün olmaz [25].

Ufak çaplı borularda (anma çapı $d = 6,8 - 12 - 16 - 20$ ve 25 mm) uygulanan kızıl dökümden konik supap yuvalı vana üretimi yanında inç olarak boyutlandırılmış

benzer supap yuvalı vanalar kalorifer ve su tesisatında kullanılmak üzere yurdumuzda imal edilmekte olup malzemeleri genellikle pirinçtir.

Doğru geçiş vanasının 90 °C'lik köşe dönüşlüsü olabilir. Düz supap yuvalı vana ise üç yolludur. Bu vanalarla genellikle akışkan iki ayrı emniyet vanasına iletilir. Özel hallerde sıcak - soğuk su karışımı vanası olarak da kullanılırlar [25].

3. AŞINMA

3.1. Aşınmanın Tanımı

Aşınma genellikle temas eden yüzeylerden mekanik etkilerle malzeme kaybı olarak tanımlanır [26]. Temas halinde bulunan katı yüzeylerde, malzeme kaybı üç şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlar bölgesel ergimeler, kimyasal çözünme ve yüzeyde meydana gelen fiziksel ayrılmalardır. Uygulamada aşınma kapsamına daha çok yüzeyden fiziksel anlamda ayrılan malzemenin sebep olduğu hasarlar dâhil edilmektedir [27].

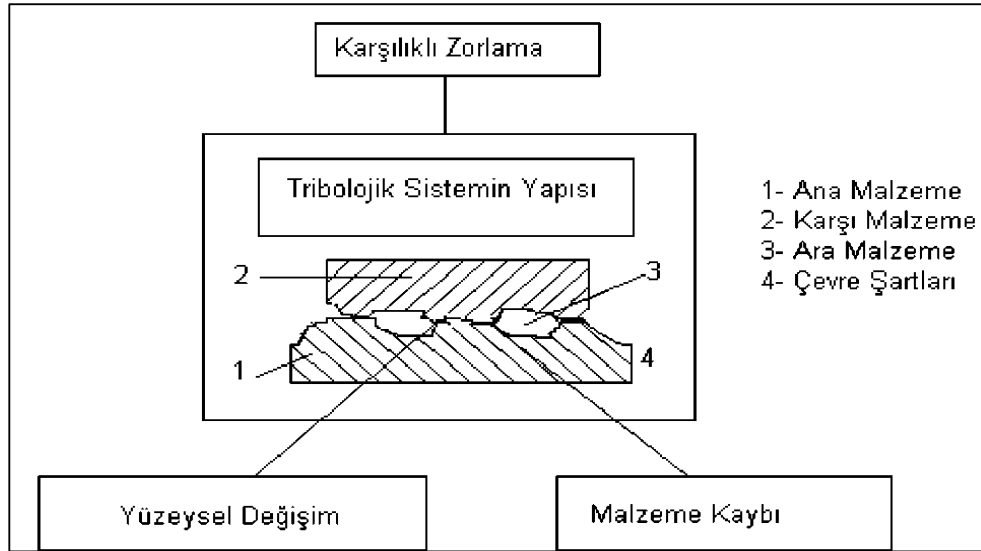
Teknikte aşınma denilince, katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenlerle sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkması anlaşılmaktadır. Standartlara, örneğin Alman DIN normuna göre aşınma, "Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulmasıdır" [2]. Bu tanıma göre, makine parçalarının yüzeylerinin taşlanması, parlatılması veya elemanların birbirlerine alıştırılması işlemlerini aşınma olayı olarak incelememek gerekir. Zira bu olaylardaki yüzey değişiklikleri uygulayıcı tarafından bilinerek ve istenerek yapılan bir işlem olduğundan bunlar birer aşınma olayı olarak değil, bir işleme veya talaşlı şekillendirme olayı olarak kabul edilmelidirler [1].

Bir aşınma sisteminde;

- Ana malzeme (aşınan),
- Karşı malzeme (aşındıran),
- Ara malzeme,
- Yük,
- Hareket

aşınmanın temel unsurlarıdır. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte tribolojik sistem olarak adlandırılır [1]. Bu tribolojik sistemin standartlara uygun şematik olarak gösterimi Şekil 3.1' de görülmektedir [29].

Aşınma sistemindeki önemli etkilerden biri de çevre şartlarıdır. Sistem elemanlarının nem veya korozif etkilerle karşı karşıya kalması, aşınmayı hızlandırır. Birbirleri ile temas eden malzemelerde, temas sonucunda oluşan sürtünme, uygun yağlama, filtreleme, uygun malzeme seçimi ve uygun tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle tümüyle önlenemez. Aşınma çeşitli yönleri ile korozyona benzer. Aşınma da korozyon gibi bir yüzey olayı olduğundan, yüzeyi etkileyen her şey aşınma davranışını da etkiler. Aşınma hasarları kapsamına giren yüzeyden malzeme kaybı, kayma, kırılma, talaş oluşumu, yorulma, kimyasal çözünme ve difüzyon yoluyla gerçekleşebilir. Aşınma parçacıkları 0,01-0,02 μm arasında ise hafif aşınma, 1 μm den büyük ise şiddetli aşınma olarak kabul edilir [28].



Şekil 3.1. Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi [29]

3.2. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen çeşitli faktörler farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu faktörler, aşağıda dört grup halinde verilmiştir [29]:

1. Ana malzemeye bağlı faktörler;
 - a) Malzemenin kristal yapısı
 - b) Malzemenin sertliği
 - c) Elastisite 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
4. Servis şartları
 - a) Basınç
 - b) Hız
 - c) Kayma yolu

3.3. Aşınmanın Ekonomik Konumu

Aşınma, tüm endüstri kollarında sinsi bir tehlike olup, zamanında önlem alınmadığı takdirde çok pahalıya mal olabilecek sonuçlara götürebilir. Konunun önemini anlatabilmek için sadece Almanya' da aşınmanın 2 milyarı metalürji, 1,5 milyarı madencilik, 500 milyonu plastik imalat sanayileri ve 1 milyarı da diğer sanayi kolları

olmak üzere toplam 5 milyar Euro'luk bir maliyet yüklediğini söyleyebiliriz [30]. Bütün bu önemine rağmen, özellikle ülkemizde, konuya hâlâ yeterli dikkat sarf edilmemektedir.

3.3.1. Aşınmanın ekonomik rolü

Bir nesne ancak kırılarak, aşınarak ya da modasının geçmesiyle kullanılmaz hale gelir. Farklı nesne sınıflarında bu nedenlerin etkileri de farklı olur. Örneğin, bir hastane derecesinin kırılması ve nihayet bir gramofon iğnesinin ucunun aşınması, bunların atılmalarına neden olur. Aslında bu terk edilmeye götüren olguların çoğu kez birlikte etki yaptıklarını görürüz. Böylece bir otomobil, eskimiş model veya bir kazada hasar görmüş olmasıyla ya da artık iyi çalışmaması sebebiyle satışa çıkarılır. İşte bu üçüncü sebep, aşınma sonucu faydalılığını kaybetmeyi teşkil eder [30].

Otomobili ele aldığımızda modelinin eskimesi ve oluşan hasarların kolaylıkla görülebilmesine rağmen aşınma sürecinin sonucunda, eksilen malzeme miktarı çok küçük olduğu için, olumsuz etkisi görünmez halde olabilir. Gerçekten bir iki tonluk arabada tamamen hurdaya çıktığında, kayma temasında olan yüzeylerden sadece birkaç gram eksilmiştir. Her ne kadar kayan sistemlerde aşınma genellikle çok yavaş bir süreç ise de bu çok kararlı ve süreklidir [29,30].

Aşınma birlikte çalışan parçalarda en önemli mekanizmadır. Konunun günümüze kadar ihmal edilmiş olmasına üç neden söylenebilir. Bunlardan ilki; önceki zamanlarda meydana gelen aşınmanın bugüne göre, makine ve mekanizmaların faydalı ömürlerinin saptanmasında çok daha önemli bir etken olmuş olmasıydı. 1760' ların bir buhar silindirini günümüz otomobilinin silindiriyle kıyasladığımızda, her ne kadar her iki makinenin beygir kuvveti aynı değerde olsa da, tasarımının tamamen farklı olduğu görülür. 1760'ın silindiri hayli ılımlı buhar basıncı ile çalışıyordu ve her zaman en azından 6-7 mm işleme hatasıyla çalışıyordu. Böyle olunca da 5-6 mm lik bir aşınma, performansta kendini fazlaca göstermiyordu. Oysaki bildiğimiz gibi günümüz otomobilinde bu şartlar tamamen değişiktir. Bunda, müsaade edilebilecek olan aşınma, çok dar sınırlar içinde belirlenmektedir. İkinci

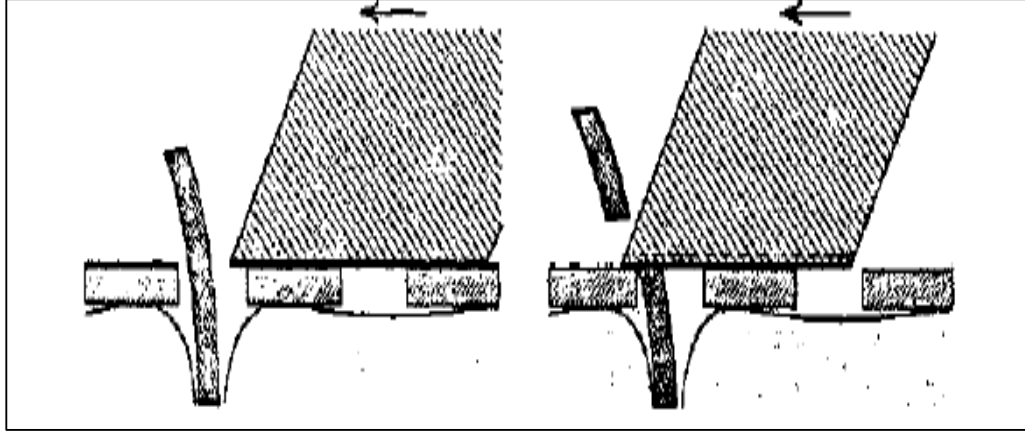
olarak, aşınma oranlarının çoğunlukla çok aşağı olması ve yakın zamanlara kadar bunları uygun şekilde ölçecek olanağın bulunmaması söylenebilir. Bütün yapılabilen, deneylerden önce ve sonra, parçaların tartılmalarından ibaretti. Ancak sıradan mühendislik metallerinin radyo-izotoplarının ortaya çıkmalarıyla araştırmacıların eline yeni bir olanak verilmiştir. Üçüncü olarak, birçok mühendis ve bilim adamının bu konudaki tutumu belirtilebilir. Aşınma o denli bir karmaşık ve hataya götürebilecek bir olgudur ki bunun üzerine eğilmek zaman kaybından başka bir şey olmayıp yeni bir tasarımda yapılacak en iyi şey, bundan önceki denemelerden faydalanıp yeni çalışmalara katkıda bulunmaktır [29,30].

3.3.2. Aşınmanın kullanımı

Aşınma sadece olumsuz etki yapmaz, faydalı yönleri de vardır. Bir mamul eşyada bir yüzey meydana getirmede, aşınma önemli bir olgudur. Önce, abrasif süreçler vardır ki bunlardan eğe, abrasif kâğıtlar (zımpara) ve parlatma çarklarındaki gevşek abrasif tanecikler ilk başta sayılabilir. Bir lastik (veya plastik) silgi, yazı kalıntılarını yapışkan aşınma mekanizmasıyla kaldırır. Önce kalemin karbon zerrecikleri bir yapışkan aşınma mekanizmasıyla silginin yüzeyine geçer ve sonra silginin yüzeyi bir yapışkan aşınma mekanizmasıyla kâğıda geçer ve arkasında temiz bir yüzey bırakır [30].

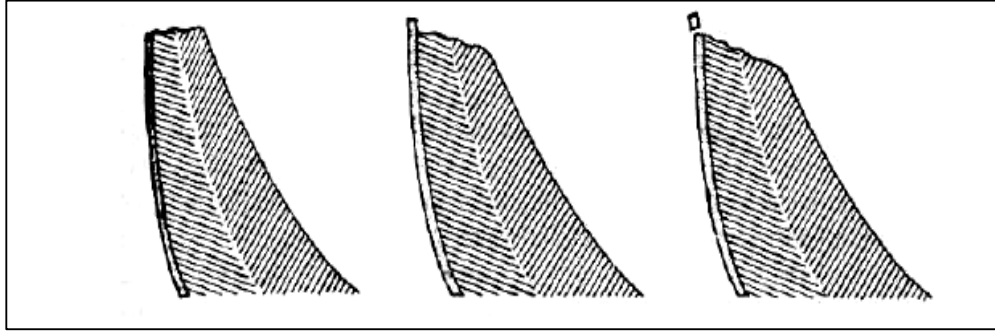
3.3.3. Keskin kenar ağızların korunması

Kesme işlemlerinde kesici aletin keskin bir ağza sahip olması gerekir. Kesme sırasında ağız körlenecek olursa kesme artık oluşmaz. Ancak kesme yapan ağız yeniden bilenerек görevini yapar hale getirilmelidir. Bazı durumlarda ise aşınma, sürekli olarak ağzı bileyecek şekilde davranır. Elektrikli traş makinesi ve et kıyma makinesinde, alt yüzey boyunca yapışkan aşınma, kesme ağzını keskin tutacak şekilde iş görür (Şekil 3.2).



Tıraş makinesinde kesme bıçağı ileri geri hareket ettiğinde, yüzeyindeki aşınma (kesik çizgi), temas ettiği yüzeyle yaylı baskı suretiyle yakın temas halinde bulunan kesme ağızını korur ve böylelikle faydalı aşınma meydana gelir [28].

Bir başka faydalı aşınma ise kemirici hayvanlarda, örneğin tavşanda görülür. Bu hayvanların kesici ön dişleri, dış kavisli yüzey boyunca bir sert mine ile kaplıken iç tarafta sadece bir yumuşak dentin vardır (Şekil 3.3). Böylece, daha yumuşak tarafta daha az olan abrasif ve yapışkan aşınma, dişlerin keskinliğini devam ettirecek şekilde iş görür. Birkaç insan yapısı kesici alet, işbu kendini bileyen zarif prensibi kullanmış olup bunların arasında tungsten karbür ile kaplı bıçaklar ve bir yanı sertleştirilmiş saban demirleri söylenebilir [30].



Şekil 3.3. Kemirici hayvanların dişleri [30]

3.3.4. Aşınmanın teşhiste kullanımı

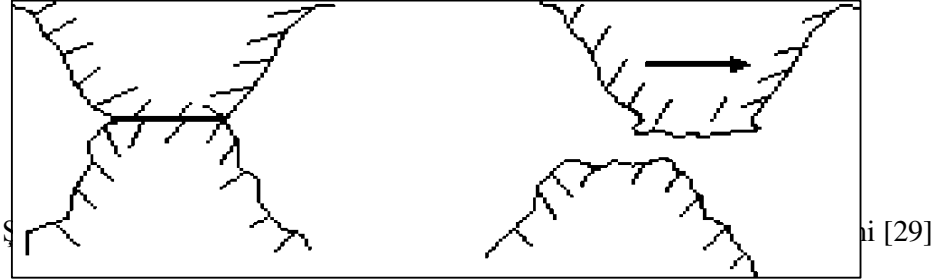
Birçok sistemde aşınma olgusunu, sistemin çalışması sırasında oluşan bazı olayların gelişmesini tespit etmekte kullanmak mümkündür. Günlük yaşantımızdaki örnekler arasında ayakkabı taban ve topuklarının tetkikinin doğru yürünüp yürünmediğinin ve aynı şekilde, otomobil lastiklerindeki aşınma şeklinin incelenmesinin tekerlerin düz olup olmadıklarının saptanması söylenebilir [28]. Aşınma sürecinin bu amaçla kullanılmasının yararı, gözlemlerin sistem çalışmazken ve hatta kırılmış sistemlerde artık çalışamaz durumlarda yürütülebilmesindedir. Böylece, sistemin parçalarının aşınma izlerinin ve özellikle, yanlış yerde aşınmanın saptanması, kırılma analizinin önemli bir bölümü olmaktadır [29].

3.4 Aşınma Mekanizmaları

3.4.1 Adhesif aşınma (yapışma aşınması)

Adhesif aşınma en sık rastlanan aşınma türü olmasına rağmen, genellikle hasarları hızlandırıcı etkide bulunmaz [26]. Yapışma aşınması olarak da adlandırılan adhesif aşınma genel olarak karşılıklı etkileşim içerisinde birbirlerine göre göreceli olarak hareket eden iki yüzeyin birisinden bir parçacığın koparak diğer yüzeye yapışması sonucunda, bir yüzeyden diğer yüzeye olan malzeme taşınımı olarak tanımlanabilir [31]. İki ayrı metal yüzeyi basınç altında Şekil 3.4'de olduğu gibi karşı karşıya getirildiği zaman, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı çıkıntılar sürtünme, gerek ısı, gerekse de soğuk kaynaklaşma etkisiyle birbirleriyle bağ yaparlar. Yüzeylerin

birbirlerine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki çıkıntı, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopacaktır [29].



Adhesif aşınma, şu önlemlerden bir tanesinin kullanılmasıyla azaltılabilir:

- Yağlama: Adhesif aşınma, sıcaklığın bölgesel olarak arttığı bölgelerde meydana geldiğinden, iyi bir yağlamanın yapılmasıyla hem yüzeyler arasında sürtünme azaltılabilir hem de yağlayıcılar sistemden ısıyı uzaklaştırabilir.
- Birbirleri içerisinde çözünmeyen metaller kullanmak: Birbirleri içerisinde çözünmeyen iki metalin bir arada kullanılmasıyla, adhesif aşınmanın meydana gelişi tamamen ortadan kaldırılabilir.
- Düz yüzeyler kullanmak: Eğer birbirleriyle etkileşen yüzeylerde soğuk kaynaşmayı meydana getirecek şekilde karşılaşacak çıkıntılar yok ise, adhesif aşınma meydana gelmeyecektir.
- Metal-metal temasını önlemek: Metal yüzeylerde kimyasal filmler oluşturmak, aşınmayı engeller. Örneğin fosfat kaplamalar.

Adhesif aşınma yüzeye etkileyen normal yük, kayma yolu ve aşınan malzemenin yüzey sertliği ile orantılıdır [26]. Çizelge 3.1' de adhesif aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi özetle verilmiştir.

Çizelge 3.1. Adhesif aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi [26]

Özellikler	Adhesif Aşınma
Oksitli yüzey	Az
Kübik kristal yapı	Çok
Hegzagonal kristal yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Az
Yüksek elastisite modülü	Az
Yüksek ergime sıcaklığı	Az
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Az
Küçük atom yarıçapı	Az

3.4.2 Abrasif aşınma

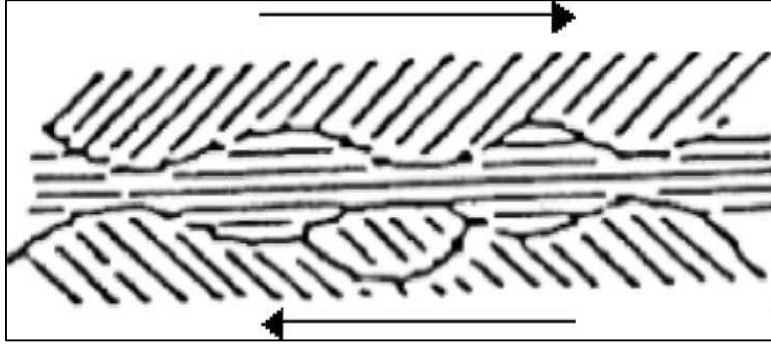
Abrasif aşınma en genel olarak, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesiyle, sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçalar koparması şeklinde tanımlanır [2]. Yırtılma ve çizilme aşınması olarak da isimlendirilen bu aşınma mekanizmasına örnek olarak, sisteme dışarıdan giren toz parçacıklarının veya bir motorda oluşan yanma ürünlerinin sebep olduğu aşınma şekli verilebilir. Bu tip aşınmada sert ve keskin parçacıklar, malzeme yüzeyinden mikron boyutlu talaş kaldırma etkileri gösterir. Bu aşınma iki elemanlı veya üç elemanlı olmak üzere ikiye ayrılır. İki elemanlı abrasif aşınma, sürtünen elemanların doğrudan birbirleriyle etkileşimleri sonucu meydana gelir. Üç elemanlı abrasif aşınmada ise, ana malzeme ve karşı malzeme arasında serbest ara malzeme olması söz konusu olabileceği gibi, aşınma sonucu yüzeyden ayrılan parçacıkların birer ara malzeme gibi davranmaları da üçüncü eleman olarak görev yapabilir [26]. Abrasif aşınmayı etkileyen iki temel faktör, aşındırıcı partikül ile metal yüzeyi arasındaki sertlik farklılığı ve teması meydana getiren basıncın büyüklüğüdür. Abrasif aşınma hızı, malzeme yüzeyine etki eden normal yük azaltılarak düşürülebilir [29].

Abrasif aşınmanın engellenmesinde veya abrasif aşınma hızının en aza indirilmesinde aşağıdaki yöntemlere başvurulabilir:

- Yüzey sertliğini artırmak: Abrasif aşınmanın engellenmesinde veya aşınma hızının azaltılmasında en etkili yol, malzeme yüzey sertliğinin artırılmasıdır. Ancak bu yöntemin bazı malzemelere uygulanmasıyla daha büyük problemlerle karşılaşılır. Örneğin gevrek kırılma.
- Abrasif parçacıkları uzaklaştırmak: Abrasif aşınmaya sebebiyet veren sert partiküllerin sistemden uzaklaştırılması ile abrasif aşınma engellenebilir.
- Aşınmış parçaları değiştirmek: Abrasif aşınmaya uğrayacak parçanın kolay bir şekilde değiştirilmesine imkân verecek tasarımlar geliştirmek pratikte en çok kullanılan yöntemlerden birisidir [29].

3.4.3. Yorulma aşınması

Tribolojik zorlanmalar genel olarak yüzeyde görülen, büyüklüğü zamana ve konuma göre değişen mekanik gerilmeler sonucu meydana geldiklerinden, yorulma aşınması birçok aşınma işleminde görülür [26]. Değişken, tekrarlı yüklemeler sonucu meydana gelir. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur, bu ise yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur [32]. Şekil 3.5' de yorulma aşınmasının şematik gösterilişi verilmiştir.



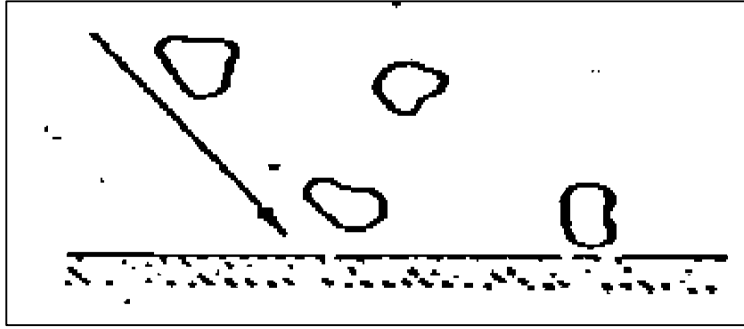
Şekil 3.5 Yorulma aşınmasının şematik gösterilişi [29]

En fazla kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde, plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların zamanla yüzeye doğru ilerleyerek büyümesi, yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu tür aşınma daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve yuvarlanma hareketi yapan mekanizmaların yüzeylerinde görülür [33].

3.4.4. Eroziyon aşınma

Bir sıvı ya da gaz akımı tarafından taşınan farklı geometrik boyut ve yapıdaki taneciklerin, temas da buldukları katı yüzeylerinde sürekli darbe etkisi yaparak oluşturdukları hasar erozyon aşınması olarak tanımlanmaktadır [34]. Eroziyon aşınma; püskürtme, yıkama, kavitasyon-erozyon, erozyon-korozyon, yağdırma ve termal aşınma mekanizmaları adları altında da sınıflandırılmaktadır. Bunun sebebi aşındırıcı taneciklerin ve bunları taşıyan akımın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin farklılık göstermesi ayrıca, sadece sıvı ya da gaz akımının kendisinin de aşındırıcı madde özelliği teşkil etmesi buna bağlı olarak ta bu mekanizmaların tek başına ve yüksek sıcaklık uygulamalarında malzemede bıraktıkları hasar türlerinin farklılık göstermesidir [35]. Eroziyon aşınma en çok, pnomatik iletim hatları ve ekipmanlarında, türbin çarklarında, hidrolik pompalarda, kumlama makineleri ekipmanlarında ve püskürtme lülelerinde karşımıza çıkar. Eroziyon aşınmaya maruz kalan parçaları korumak suretiyle işletme ömürlerinde kayda değer bir artış sağlamak mümkündür [29].

Sıcaklık ve akış hızı arttıkça, aşınma hızlanır. Akış halindeki sıvılarda ani basınç düşmesi ile oluşan gaz kabarcıkları da aşınmaya sebep olur. Bu aşınma türü daha çok gemi pervanelerinde görülür [31]. Şekil 3.6' da erozif aşınma şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Erozif aşınmanın şematik gösterilişi [29]

Erozif aşınma, aşağıda belirtilen şekilde hasarların meydana gelmesi ile tanınabilir [31];

- Sert olmayan malzeme yüzeylerinde oluşan kopma

Örneğin fan pervanelerinin kullanımı sırasında, ortamda bulunan tozların ve sert partiküllerin pervanenin konkav tarafında hızlı bir şekilde yuvarlanmaları ve kaymaları sırasında bu aşınma türü oluşur.

- Malzeme yüzeyinde kanalların veya yivlerin oluşması

Bu tür aşınma hasarları, gazların veya sıvıların hızlı bir şekilde arttığı sistemlerde akış hızının veya yönünün değiştiği bölgelerde görülür.

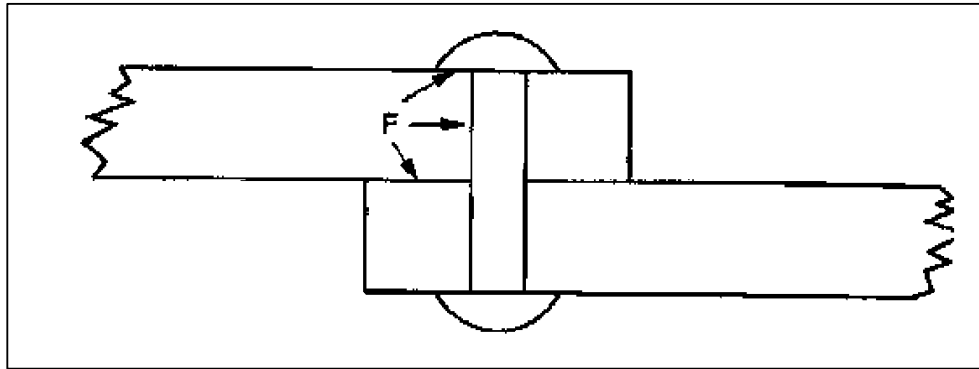
- Köşelerin yuvarlanması

Erozif aşınma meydana geldiği pervane ve türbin kanatları gibi malzemelerin şekillerinde köşelerin yuvarlanması şeklinde değişiklikler meydana gelebilir.

yüzeğine çarpmaları ile yüzeylerde hızlı bir şekilde hasar oluşumu meydana gelir. Oymalı aşınma diğer aşınma türlerine göre çok daha hızlı olarak geliştiğinden, bu aşınmaya uğrayan parçaların yenileriyle değiştirilerek kullanılması daha ekonomik olmaktadır [38].

3.4.7. Kazımalı aşınma

Kazımalı aşınma, çok düşük genlikteki titreşim hareketlerinin meydana geldiği sistemlerde, mikro kaynaşmanın oluşması ile meydana gelir (Şekil 3.8). Kazımalı aşınma ile adhesif aşınma benzemektedir fakat adhesif aşınma, birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde meydana gelirken, kazımalı aşınma birbirlerine göre hareket etmeyen yüzeylerde meydana gelir [26].



Şekil 3.8. Kazımalı aşınmanın şematik gösterilişi [29]

Titreşimli ortamlarda çalışan somun, perçin gibi bağlantı elemanları ile birleştirilmiş sistemlerde, otomobil şaftlarının birleşme noktalarında ve yataklarda en yaygın olarak rastlanan hasar oluşum mekanizması kazımalı aşınmadır. Kazımalı aşınmayı engellemek kolay değildir. Ancak bu aşınma mekanizmasının meydana getirdiği hasarlar, aşağıda verilen uygulamalarla en aza indirilebilir [37]:

- Vibrasyonun azaltılması veya giderilmesi,
- Ara yüzeydeki kaymaları azaltmak veya gidermek
- Bağlantı noktalarında elastomer kullanmak,
- Bağlantı noktalarının yağlanması,
- Kırılmayı engellemek.

3.4.8. Korozif aşınma

Korozif aşınma olayında çalışma ortamıyla parça yüzeyleri arasındaki etkileşim etkin rol oynamaktadır. Korozif aşınmada, aşınma olayı iki kademedeyi gerçekleştirmektedir [29]:

Temas halindeki yüzeyler ortamla reaksiyona girerler ve yüzeyde reaksiyon ürünlerinden oluşan bir tabaka meydana gelir.

Daha sonra, temas noktasında çatlak oluşumu veya abrasif etkilerden dolayı reaksiyon tabakası hasara uğrar.

Ana malzeme ile karşı malzeme arasındaki tribolojik zorlanmalardan dolayı meydana gelen kimyasal reaksiyon tribooksidasyon aşınması adı da verilen korozif aşınmada etkindir. Malzeme yüzeylerinin hava ile reaksiyona girerek oluşturduğu yüzey tabakaları (oksit tabakası) aşınmayı azaltmasına rağmen, bu yüzey tabakalarının tribooksidasyon sonucu özelliklerinin değişmesi, aşınmayı hızlandırmaktadır. Yağ gibi kimyasal maddeler bulunan ortamda çalışan makine parçalarının yüzeylerinde oluşan yüzey tabakalarının bir kısmının tribolojik zorlamalar ile kırılması ve aşındırıcı parçacıklar oluşturması, aşınmayı artırır [29].

Tribooksidasyon aşınması, özellikle metalik malzeme yüzeylerinde görülür. Neticede malzeme yüzeyinde çatlaklar oluşur, yüzeyden parçacıkların ayrılması, çukur ve oyukların meydana gelmesine sebep olur. Büyük oranda aşınmaya sebep olan bu aşınma mekanizmaları dışında, "Tribosüblimasyon" ve "Yayınma" mekanizmalarından da bahsetmek mümkündür. Tribosüblimasyon, yüzeydeki sıcaklığın sürtünme ısıyla yükselmesi sonucu etkin hale geçer. Yayınma ise, tribolojik zorlanmada ana malzemenin üst yüzeylerindeki atomların yayılma ile karşı malzemeye geçmesi sonucunda malzeme kaybının meydana gelmesidir [38,39].

4. AŞINMAYA DİRENÇLİ MALZEMELER

Aşınmaya dayanıklı malzemeleri üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar demir - çelik malzemeler, demir dışı malzemeler ve sert yüzey kaplama malzemesi olarak kullanılan kobalt esaslı (Co-Cr-Mo-U) alaşımlardır [1]. Çalışma konusu kobalt esaslı alaşımlar olduğu için diğer iki malzemeden kısaca bahsedildikten sonra kobalt esaslı malzemeler ayrı bir başlık altında incelenmiştir.

Demir ve çelik malzemelere örnek olarak martensitik çelikler, perlitik çelikler ve östenitik (Hadfield çeliği) çelikler gösterilebilir [40].

Yapılarında buldukları sert karbürler martensitik çeliklerin aşınma direncini artırırken, sahip oldukları yüksek sertlik değerleri de iyi derecede aşınma direnci kazandırır. Martensitik çelikler yüksek oranda C, Cr, Mo, Mn gibi alaşım elementleri içerirler. Temperleme işlemleriyle sertliklerinde bir miktar düşme olmasına rağmen aşınma dirençlerinde önemli bir değişiklik olmaz. Yüksek karbonlu martensitik çeliklerde 427 °C'nin üzerinde temperleme işlemi uygulandığı zaman tokluklarında önemli artış olmasına karşılık, aşınma dirençlerinde azalmalar meydana gelir [41].

Perlitik çelikler, alaşım elementlerinin de etkisiyle ve basit ısı işlemler neticesinde yüksek tokluk değerleri elde edilebilen, perlitik mikroyapıya sahip olan aşınmaya dayanıklı ideal malzemelerdendir. Ağırlıkça % 0,5–1,4 C, % 3,0 Cr, % 0,3–0,5 Mn içeren ince taneli perlitik yapının sertliği 35–42 Rc'ye kadar çıkabilmektedir. Perlitik çeliklerde karbon içeriği % 1,0'e kadar olduğu zaman aşınma direnci yükselmektedir. Eğer karbon içeriği % 1,0 dan 1,4'e kadar arttırılırsa, fazla karbonun karbürler halinde tane sınırlarında çökmesinden dolayı aşınma direncinde bir artış sağlanamayacağı gibi, bu durum çeliğin tokluğunun düşmesine de sebep olur [42].

Östenitik çeliklerin kimyasal bileşimleri % 1,0–1,4 karbon, % 10–14 manganez, % 0,1 fosfor, % 0–0,5 kükürt, % 0,3–1,0 silisyumdan ibarettir. Aşınma dirençleri yüksek olup östenitik bir yapı elde edebilmek amacıyla bileşimlerinde yeterli miktarda manganez, nikel, krom, molibden ve karbonun eriyikte bulundurulması gerekir. Bu çeliklerin en önemli özelliklerinden bir tanesi, mekanik etkenlerle yapısının martensite dönüşerek sertleşmesi ve böylece yüksek bir aşınma direncine

sahip olmasıdır. İyi derecede aşınma direnci, orta derecede süneklik ve mukavemetin arandığı yerlerde hadfield çelikleri başarıyla kullanılmaktadırlar. Yüksek oranda manganez içeren, dökümden sonraki uygun soğuma şartlarında yapısı tamamıyla östenitik kalabilen çeliklere östenitik manganez (hadfield) çeliği denilmektedir. Östenitik çeliklerin aşınma dirençlerinin yükseltilebilmesi matriste sert karbürlerin homojen bir şekilde dağılmalarıyla mümkündür. Bu çelik türleri, yeraltı çalışmalarında kullanılan teçhizatlar, greyderler, öğütücü değirmen astarları gibi ileri derecede aşınmaya maruz kalabilen yerlerde kullanılırlar [43].

Demir dışı malzemelere en belirgin örnek, metal-metal aşınmasına karşı, yataklarda kullanılan beyaz metaller (Cu-Sb-Sn alaşımları) ve bronzlardır. Bu malzemeler özellikle abrasif ve adhesif aşınmanın mevcut olduğu şartlarda tercih edilirler. Darbeli aşınmaya karşı dirençleri iyi değildir. Daha ziyade ana malzeme aşınmasının önlenmesi için gerekli olan yerlerde ya da sonsuz vida dişlisi, kaymalı yatak burcu gibi yerlerde kullanılırlar. Bronzlar genelde bakır-kalay alaşımlarıdır. Birçok çeşitleri olmakla birlikte standart dökme kalay bronzları % 13'e kadar kalay içerirler. Bileşimlerinde alaşım elementi olarak çinko ve gerektiğinde kurşun da ihtiva eden çok bileşenli kalay bronzları "kızıl döküm" diye anılırlar. Alüminyum bronzları ise oksidasyona dayanıklı olduklarından daha ziyade tribooksidasyon aşınmasına maruz deniz suyu, sülfürik asit ve tuz çökeltilerine karşı kullanılırlar [1].

4.1. Kobalt Esaslı Alaşımlar

Kobalt esaslı alaşımlar, adhesif aşınma olarak adlandırılan metal-metal aşınması, abrasif aşınma, yorulma aşınması, erozyon ve tribooksidasyon aşınması gibi yüksek sıcaklık uygulamaları için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kobalt esaslı alaşımlar aşınmaya dirençli oldukları için aşınmaya maruz parçaların yüzeylerinin kaplanılmasında da kullanılırlar. Bu alaşımlar elle yapılan metal ark (MMA), tungsten inert gaz (TIG) ve oksii-asetilen gibi değişik kaynak tekniklerine uygundur. Son yıllarda lazer kaynağı ile de yüzey kaplaması yapılmaktadır [44].

Kobalt esaslı alaşımların çeşitli uygulamalar için tercih edilmesini sağlayan en önemli özellikler;

1. Yüksek sıcaklıklarda sertliklerini muhafaza edebilmeleri,
2. Katı eriyik sertleşmesine uygun olmaları,
3. Düzenli dağılan bir karbür yapısına sahip olmaları şeklinde sıralanabilir [45].

Bu alaşımlar genellikle yüksek oranda krom ve diğer alaşım elementleri ihtiva eden "Stellite" türündendir. İlk stellite alaşımı 1900 yılında "Co-28 Cr-4W-1.1C (ağırlık %)" nominal bileşimiyle geliştirilmiştir ve bu alaşım şimdi "Stellite 6" olarak bilinmektedir. O zamandan beri alaşımlar geliştirilmiştir ve şimdi kullanım halinde olan çok sayıda stellite alaşımı vardır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Bazı stellite alaşımlarının bileşimleri [5]

Alaşım	Cr	Ti	C	Ni	Mo	Fe	Si	S Diğer
Co-Cr-U-C Tipi								
No.4	33	14	1,0					
No.6	28	4	1,1					
No,12	29	S	1,3					
No.156	28	4	1,6					
No.506	35	7,5	1,6					2,5Mn
No.1	30	12	2,5					
No. 20	32	17	2,5					
No.190	26	14	3,2					
Co-Cr-U/Mo-Ni/Fe.								
No.238	26	0,1		3	20			
No.21	27	0,2	2,8	5				
No. 31	26	7	0,5	10				
No.306	25	1,5	0,5	6		5	1	5Nb,1Mn
No.694	28	19	0,9	5				1V
No.2006	31		1,3	8	8	18	1	
No.2012	33		1,7	8	1	15	1.5	
No.F	25	12	2,0	22				
B/Si Modifikasyonu								
No.157	22	4,5	0,1				1,6	2,6
No.SF-6	19	7,5	0,7	14,5			2,5	1,4
No.158	26	5,5	0,8				1,2	0,7
No.SF-12	19	9	0,9				3	2,5
No.SF-1	19	13	1,3	13			3	2,5
No.SF-2D	19	15	1,5	13			3	2

Kobalt esaslı alaşımlar iki temel grupta sınıflandırılabilir [5].

- 1- Yüksek sıcaklık aşınma uygulamaları için yaygın şekilde kullanılan orijinal Co-Cr-C-U alaşımları.
- 2- Yüksek darbe aşınması şartları dâhil yüksek sıcaklık uygulamaları için içerisinde Co, Cr ve U'ca zengin matrisin ya Mo ve Ni veya Fe, C, Si ve B ilavesiyle düzenlendiği alaşımlar.

Stellite alaşımlarında karbon % 0,1 'den 3,2'ye kadar değişir ve bu alaşımların çoğu % 1,0'den fazla karbon içerirler. % 0,1'in altında karbon içeren alaşımlarda "karbon+bor" miktarı % 1,0'ı bulur. Bir kural olarak stellite alaşımlarında "karbon+bor" miktarı tungsten oranına da bağlı olarak yaklaşık % 1,3'den daha azdır. Stellite alaşımları döküm veya plastik şekillendirme metotlarıyla üretilebildikleri gibi "karbon+bor" miktarı % 1,3'den fazla ise döküm olarak üretilirler [45].

Tüm stellite alaşımları mikroyapılarında, nispeten yumuşak kobaltça zengin matris katı eriyiği içinde sert karbür veya borür partikülleri içerirler. Kobalt alaşımlarının mikroyapısında bulunan karbür türleri alaşımın bileşimine bağlıdır. Ancak stellite alaşımlarında genellikle MC_3 ve MgC tipi karbürlere rastlanmaktadır. Örneğin stellite 1'de ağırlıkça % 12,6 M_7C_3 , Stellite 6'da ise % 27 M_7C_3 ve % 1,5 MgC oranlarında karbürler mevcuttur. Burada MgC karbürleri olarak WgC , M_7C_3 karbürleri olarak da Cr olmasına rağmen diğer alaşım elementleri de karbür içinde yer almaktadır [46].

Yüksek sıcaklıklarda yüzey merkezli kübik (YMK) ve düşük sıcaklıklarda sıkı paket hegzagonal (SPH) olmak üzere iki allotropu olan saf kobaltın ergime sıcaklığı $1495^{\circ}C$ 'dir. Kobalta alaşım elementi ilavesi ile saf kobaltta $417^{\circ}C$ 'de gerçekleşen $YMK > SPH$ martensitik dönüşüm sıcaklığını değiştirmektedir. Kobalt esaslı süper alaşımların geliştirilmesinde de faydalanılan Ni, Mn ve Fe, YMK yapının, Mo ve Cr ise SPH yapının kararlılığını artırmaktadır [47].

Kobalta ilave edilen alaşım elementleri hem sahip oldukları saf kobalt içindeki çözünlükleri hem de atom yarıçapları arasındaki farka bağlı olarak, belirli oranlarda matris içinde eriyerek katı eriyik sertleşmesine katkıda bulunurlar. Ancak alaşım elementlerinin çözünlüklerinin saf kobaltta ve stellite alaşımında bir miktar farklı olduğu bilinmektedir [47].

Kobalt alaşımlarında çözünen alaşım elementlerinin SPH veya YMK yapılarının kararlılıklarını artırmaları alaşımın istif hatası enerjilerini (İHE) etkilemelerinden kaynaklanmaktadır. Genel bir kural olarak yüksek İHE, alaşımın deformasyona karşı direncinin artmasına, düşük İHE ise alaşımın deformasyon etkisiyle YMK => SPH dönüşümü göstermesine neden olmaktadır. Diğer bir deyişle, düşük İHE'li katı eriyiklerde deformasyon sertleşmesi hızı ve kırılıncaya kadarki toplam deformasyon miktarı genelde yüksek olmaktadır [48].

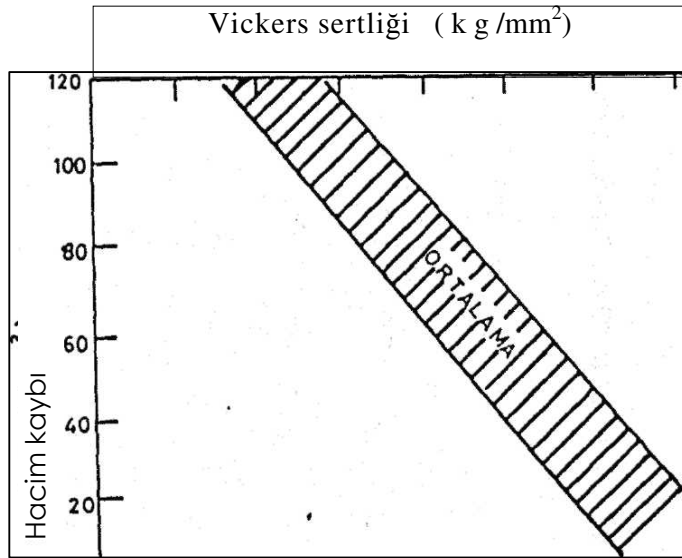
Kobalt esaslı alaşımların mikroyapılarında matris içine çökelmiş karbürlerin yanı sıra, intermetalik bileşikler de bulunabilir. Bu intermetalik bileşiklerin kararlılığı alaşımın bileşimine bağlıdır, Örneğin % 20 Cr'lu Co-Cr-Ni sisteminde 1200°C'nin üstünde intermetalik sigma fazı kararlı olmasına rağmen, % 30 Cr'lu Co-Cr-Mo sisteminde bu faz ancak yüksek Mo içerikleri için düşük sıcaklıklarda kararlı olmaktadır. Bu da Mo'nin Ni'e kıyasla sigma fazını daha düşük sıcaklıklarda kararlı hale getirdiğini göstermektedir [49].

Kobalt esaslı alaşımlarda intermetalik bileşiklerin kararlılığını artıran en önemli iki element ise Si ve Mn'dır [49].

4.2. Kobalt Esaslı Alaşımlarda Abrasif Aşınma Direncine Etki Eden Faktörler

Sertlik malzemelerin aşınma direncine etki eden önemli bir parametredir. Genelde artan sertlikle malzemelerin aşınma direnci de artmaktadır. Sertlik ile aşınma direnci arasındaki bu ilişki Stellite alaşımları için de geçerli olup, artan sertlik ile Şekil 4.1’de görüldüğü gibi hacim kaybı azalmakta aşınma direnci artmaktadır [5].

Stellite alaşımları yüksek sıcaklıklarda da aşınmaya karşı dirençlidirler. Stellite alaşımlarının önemli bir özelliği de sertliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmeleridir. Bu açıdan stellite alaşımlarının düşük sıcaklıklardaki sertliği, bileşimde bulunan karbür veya bor miktarına, yüksek sıcaklıklarda ise tungsten veya molibden miktarına bağlıdır [1].



Şekil 4.1. Stellite alaşımlarının abrasif aşınma karakteristikleri [1]

Alaşım elementleri, kobalt esaslı alaşımların mikroyapılarında bulunan fazların miktarlarını ve özelliklerini değiştirdikleri için abrasif aşınmada etkindirler. Mikroyapısal açıdan, kobalt esaslı alaşımlarda abrasif aşınma direnci, yapıdaki karbürlere ve bu karbürlerin etrafını çepeçevre sararak onların kırılıp dökülmelerini engelleyen matris fazına bağlıdır [50].

4.2.1. Abrasif aşınma direncine karbürlerin etkisi

Çok fazlı alaşımlarda abrasif aşınma direnci ile sertlik arasında basit bir doğrusal orantı yoktur. Kobalt esaslı alaşımlardaki karbürler yüksek sertliklerinden dolayı aşınmaya dayanım gösterirler. Ayrıca karbürlerin hacim oranı, şekli ve karbür/matris ara yüzeyinin mukavemeti de aşınmada önemli bir rol oynamaktadır [1].

Karbon ötektik altından ötektik üstü bir değişime sebep olmaktadır. Stellite alaşımlarının mikroyapıları ya ötektik karbürlerle çevrili kobaltça zengin katı eriyik primer dendritlerinden oluşan ötektik altı, ya da yüksek oranda kromca zengin primer karbürler ve bir ötektik içeren ötektik üstü yapıda olabilirler [51].

Cr, Mo, U gibi alaşım elementleri hem karbür hem de matris fazlarında bulunabilirler. Bu alaşım elementleri katı eriyik sertleşmesini önemli ölçüde arttırarak malzemenin abrasif aşınma direncini arttırır. Volfram gibi karbür oluşturuvcu elementler ise ötektik bileşime ulaşmak için gerekli karbon miktarını azaltabilir [52].

Sinterleme tekniğinin avantajı sadece sinterleme sıcaklığının değiştirmesiyle değişik boyutlarda karbürlerin elde edilmesinin mümkün olmasıdır [53]. Shetty ve arkadaşları yaptıkları çalışmada oldukça yüksek oranlarda karbür içeren alaşımlardaki tek pasolu elmas uçla çizme deneyleri sonucunda, M_7C_3 karbürlerindeki çizik genişliğinin, karbürün yüksek sertliğinden (1500 HV) dolayı, matristekinden daha az olduğunu, ayrıca büyük M_7C_3 karbürlerinde, çizik yönüne paralel olan çatlaklara rastlandığını görmüşlerdir [54].

Karbürlerin birbirlerine yakın olması, matrisin desteklenmesi ve matrisin plastik deformasyon kabiliyetinin azaltılması bakımından abrasif aşınma direnci üzerine faydalı bir etkiye sahiptir. Örneğin karbürlerin abrasiflere direnç gösterecek kadar sert olduğu ve abrasiflerin, komşu iki karbür arasındaki matris fazına batacak kadar küçük, sert ve keskince olduğu kabul edilirse malzemenin aşınma mekanizması, büyük oranda matris fazıyla kontrol edilecektir. Eğer matris fazı kolayca abrasif

aşınmaya maruz kalıyorsa ve karbür/matris ara yüzeyindeki bağ zayıf ise karbürlere destek azalacaktır. Diğer bir deyişle karbür/matris bağları zayıfsa ve ara yüzeyde yerel gerilmeler çatlak başlangıcına sebep olursa, partikül kopması kaçınılmaz olur. Öte yandan eğer abrasif partiküller komşu iki karbürün arasındaki matris fazına batacak kadar küçük değilse, aşınma hızı karbürlerin kopma hızına bağlı olacaktır. Böyle bir durumda karbür ve abrasifin sertliği, karbür boyutu, karbür hacim oranı, abrasif tipi, abrasifin köşeli olması daha az önemlidir [5]. Shetty ve arkadaşlarının çalışmasında karbür çatlama hem elmas hem kuartz takımlarla yapılan deneylerde görülmesine rağmen çatlama elmas takımlarda daha fazla olmuştur. Bu sonuç abrasifler karbürlere göre daha sert olduğu takdirde, daha yumuşak abrasiflere göre daha büyük miktarda hasar bekleneceğini göstermektedir. Abrasif partiküllerin daha çok köşeli olması durumunda düşük bir abrasif aşınma direnci ortaya çıkar [54].

Yapılan çalışmalarda karbür boyutunun etkili olduğu bulunmuştur. Kaba karbür içeren alaşımlarda mikro düzeyde talaşlı işlem sonucu oluşan talaşların ince karbür içeren alaşımlardakinden daha kısa ve dar olduğu, karbürlerin büyük olduğu durumda bazı karbür çatlamları görülmesine rağmen aşınma direncinin daha büyük olduğu bulunmuştur [29]. Al_2O_3 abrasif partikülleri ve vickers elmas piramit uç ile çizme deneyi yapılarak karbür büyüklüğünün abrasif aşınma direncine etkisinin incelendiği çalışmada, ince karbürler içeren bir yapı içerisindeki küçük karbürlerin tamamen koptuğu gözlenmiştir. Kaba karbürü mikro yapıda ise çizme izi boyutları karbür boyutlarından daha küçük olduğundan abrasif parçacıkların karbürleri yerinden koparabilmesi için karbür fazını kesmeleri gerekmektedir. Bu talaş oluşumunun ince karbür içeren malzemelerde daha kolay olduğu gerçeğinin başka bir deneysel ispatıdır [54].

Benzer sonuçlar Desei ve diğerleri tarafından Al_2O_3 abrasifleri ve düşük gerilmeli abrasif aşınma deneyleri ile de elde edilmiştir [55]. Kosel ve diğerleri ise YMK yapıdaki matris içinde M_7C_3 ve MgC karbürleri içeren kobalt esaslı alaşımların abrasif aşınma direncini hem Al_2O_3 hem de SiO_2 abrasifleri kullanarak incelemişler ve yine benzer sonuçlar elde etmişlerdir [56]. İncelenen kobalt esaslı alaşımlar içinde en yüksek sertlik ve karbür hacim oranına sahip alaşımda diğer alaşımlara göre

oldukça düşük Abrasif aşınma direnci elde edilmiştir. Bu aşım da aşınmış yüzeyin incelenmesi neticesinde matris içindeki çok küçük MgC karbürlerinin aşınma sırasında koptuğu ve bunların ilave abrasif partiküller oluşturarak aşınma hızını artırdığı anlaşılmıştır [56].

Kaynak teknikleri bakımından inceleme yapıldığında, oksii-asetilen ile kaynak edilen aşımınların diğer tekniklerle kaynak edilenlere göre daha yüksek abrasif aşınma direnci gösterdikleri, oksii-asetilen ile yapılan kaynak dikişlerinde abrasif aşınmanın TIG kaynağındakilerden birkaç defa daha az olduğu tespit edilmiştir [1]. Antony ise, "Stellite 6" ya benzer bileşimdeki bir dövme aşımında karbürlerin sıcak işlem sırasında birleşerek büyüdüğünü ve oksii-asetilenle kaynak edilen aşımına göre daha yüksek aşınma direnci verdiğini belirtmiştir [57]. Benzer sonuçlar oksii-asetilen ve TIG teknikleriyle kaynak edilen iki tane "Stellite 6'nın abrasif aşınma dirençlerini karşılaştıran başka birçok araştırmada da oksii-asetilen kaynak dikişlerindeki abrasif aşınmanın, TIG kaynağı dikişindekinden en az iki defa daha az olduğu bulunmuştur [6].

Matrisinde daha yüksek hacim oranlarında sert karbürler içeren malzemelerde daha yüksek aşınma direnci elde edilmesi beklenebilir. Fakat karbürlerin kırılıp dökülmesi durumunda aşırı ağırlık kaybından dolayı aşınma direncinde bir azalma olur.

Bazı araştırmacılar ağırlık kaybının karbür hacim oranıyla doğrusal olarak azaldığını ve % 50'lik karbür hacim oranına sahip bir malzemede SiO₂ abrasifi ile yapılan aşınma deneylerinde ağırlık kaybındaki azalmanın sertlik ve karbür boyutu arasındaki ilişkilerden kaynaklandığını öne sürmüşlerdir [6]. Fakat yüksek karbür hacim oranına ve yüksek sertliğe sahip aşımında en düşük aşınma direnci elde edilmesinden dolayı yorum yapmak zorlaşmaktadır. Aşınmış yüzeylerin analizleri neticesinde çok küçük MgC karbürlerinin matristen düştüğü ve bunun abrasif partiküllere katılarak aşınma direncini azalttığı anlaşılmıştır. Artan karbür hacim oranıyla birlikte ağırlık kaybındaki azalmanın, Al₂O₃ abrasiflerinin köşeli olmasına, matris mukavemetine ve karbürlerin Abrasif aşınma direncine bağlı olduğu öne sürülmüştür [6]. Kosel ve diğerleri Al₂O₃ Abrasiflerinin SiC abrasiflerinden daha

keskin köşeli olmasından dolayı matris fazına daha etkili bir şekilde tesir edeceğini ileri sürmüştür [56]. Öte yandan karbürlerin Al_2O_3 partikülleriyle etkili bir şekilde kesilmesi neticesinde karbürler matrisi daha az korurlar. Bu aynı zamanda matris mukavemetinin önemini de belirtmektedir. Karbürlerin kesilmiş olmasına rağmen, karbür hacim oranıyla abrasif aşınma direncindeki artış matrise göre karbürlerin daha yüksek sertliğinden kaynaklanmaktadır [1].

Sonuç olarak abrasif aşınmada karbürlerle ilgili olarak, karbür/matris ara yüzeyi mukavemeti, karbürler arasındaki uzaklık, karbür şekli ve karbürün sertliği gibi faktörler etkindir. Bu tartışmalardan en iyi abrasif aşınma direncinin yüksek mukavemetli bir matris içinde kaba karbürlerin yüksek hacim oranlarıyla elde edilebileceği sonucu çıkmaktadır [1].

4.2.2. Matrisin etkisi

Karbürler matris içerisinde süreksiz olduğundan matris tarafından yeterli desteğin sağlanmasıyla abrasif aşınma sırasında karbürlerin dökülmesini önleyebileceği gösterilmiştir [42]. Demir esaslı sert alaşımlarda abrasif aşınma direncinin, çatlama ve sonraki malzeme aşınmasını önlemek için ötektik ve primer karbürler matrisle iyi desteklendiği zaman önemli oranda arttığı belirlenmiştir [6]. Çoğu durumlarda bilhassa ağır abrasif aşınma şartları altında çatlaklar önce karbür/matris ara yüzeylerindeki yüksek gerilme konsantrasyonlarından dolayı bu bölgelerde başlamaktadır. Daha iyi abrasif aşınma direncinin matris fazının artan mikro sertliği ile elde edilebileceği düşünülebilir. Gerçi saf metallerdeki sertlik ve aşınma direnci arasındaki ilişki doğrusal olmasına rağmen çok bileşenli alaşımlar için hiç bir basit kural bulunmamaktadır. Abrasif aşınmada ise aşınmış yüzeylerde deformasyon sertleşmesi daima vardır [6]. Abrasif aşınma matrisin deformasyon sertleşmesi ile aşınmış yüzeyin de sertliğini arttıracak ve aşınma direnci aşınan yüzeyin sertliğiyle daha iyi belirlenecektir. Gerçekten aşınma direncinin deformasyon ile sertleşmiş yüzeylerin maksimum sertliğiyle bağlantılı olduğu görülmüştür [42]. Shetty ve diğerleri deformasyon sertleşmesinin aşınma direncine etkisini belirten iyi bir örnek vermiştir [54]. Kobalt esaslı alaşımlarda elmas uç ile iki çeşit aşındırma deneyi

yapılmıştır. Bunlardan birincisinde doğrudan çizme aşınma deneyi yapılmış, ikincisinde ise aynı çizme deneyi Al_2O_3 abrasif ile aşındırılmış yüzeyde tekrarlanmıştır. Her iki deney sonrası çiziklerin genişlikleri ölçüldüğünde çizik genişliğinin aşındırılmış yüzeyde deformasyon sertleşmesinden dolayı iki kat daha az olduğu görülmüştür [54]. Matris mukavemeti katı eriyik sertleşmesiyle de artabilir. Bazı araştırmacılar aynı zamanda yüksek mukavemetli bir matrisin, karbürlere daha iyi bir destek sağlayabileceğini ve ince partiküllerin daha erken dökülmesini önleyebileceğini ileri sürmüşlerdir [59].

Aşınmada daha köşeli aşındırıcılar kullanıldığı zaman matris mukavemetinin dayanımı daha önemli rol oynamaktadır. Daha çok kesici köşeli abrasifler, karbürler arasındaki matrise yuvarlak partiküllerden daha etkili bir şekilde batabilirler. Bu durum mikroyapıya bağlı olarak matrisin daha az korunmasına ve kırılmaya daha meyilli olan bir karbür/matris ara yüzeyinin oluşmasına imkân verebilir. Döküm veya kaynakla elde edilen matrislerde primer dendrit kolları arası mesafenin azalmasının mekanik özelliklere bilinen faydalı etkisi yanında abrasif aşınma direncine de etkisinin daha iyi olduğu bulunmuştur [42]. Aynı zamanda lazerle eritilerek kaplanmış kobalt esaslı stellite alaşımlarında sertliğin ve aşınma direncinin geleneksel yüzey sertleştirme kaplamalarına göre daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu sonucun lazerle kaplamada hızlı katılaşmadan dolayı oluşan ince ötektik karbür mikroyapısından kaynaklandığı tespit edilmiştir [60].

Matris fazında katı eriyik sertleşmesi yaparak abrasif aşınma direncini artıran alaşım elementlerinin etkisi, bu elementlerin malzemenin İHE'ne etkilerine göre açıklanmaktadır [60]. Co esaslı alaşımlarda matris, kimyasal bileşim, sıcaklık ve uygulanan gerilmeye bağlı olarak ya YMK veya SPH kristal yapısında olabilir. YMK ve SPH yapılarının aşınma karakteristiklerinin oldukça farklı olduğu, SPH yapının aşınmaya daha dirençli olduğu belirlenmiştir. Herhangi bir kristal yapısındaki bir malzemedeki kristalografik anizotropi de aşınma davranışını etkilemektedir. Malzemenin aşınma yüzeyinde düzlemsel atom yoğunluğunun yüksek olduğu bir kristalografik tekstür yapısının bulunması aşınma direncini arttıracaktır [61].

5. YÜZEY KAPLAMA İŞLEMLERİ

Yüzey kaplama, yeni bir yüzey tabakası elde etmek amacıyla, kaynak veya diğer kaplama yöntemlerini kullanarak ana metalden farklı herhangi bir dolgu malzemesiyle ana malzeme yüzeyinin kaplanması işlemidir. Yüzey kaplamanın çeşitli türleri vardır. Bunlar; sert yüzey kaplama (hardfacing), dolgu kaplama (built-up), koruyucu kaplama (weld clad) ve kademeli kaplama (buttering) işlemleridir [58].

Yüzey kaplama alaşımları, oksijen-gaz kaynağı, çeşitli ark kaynak metotları, lazer kaynağı ve püskürtme işlemleri ile yüzeye kaplanabilirler. Sert yüzey kaplama, aşınma, çizilme, çarpma, erozyon ve oyulmayı azaltmak amacıyla uygulanan bir yüzey kaplama işlemidir [5].

Dolgu kaplama, yöntemi parçanın istenilen boyuta geri getirilmesi için ilave kaynak metalinin ana metal üzerine kaynak yöntemi ile kaplanmasıdır. Bu alaşımlar genellikle aşınmaya karşı direnç için değil, aşınmış parçaları yeniden kullanılabilir hale getirmek veya orijinal boyutlarına geri getirmek veya en son sert yüzey tabakalarına uygun destek sağlamak için kullanılırlar [58].

Koruyucu kaplama normal olarak ark kaynağı ile yapılabildiği gibi aynı zamanda katı hal kaynak işlemleri ile de düşük alaşımlı veya düşük karbonlu çelik malzemeye korozyona karşı dirençli yüzey tabakası sağlamak amacıyla uygulanabilir. Bu yöntemde genellikle 3 mm'den daha kalın korozyon dirençli yüzey tabakası oluşturmak amacıyla malzeme yüzeyine işlem uygulanır. Yüzey kaplama, dolgu kaplama işlemine göre daha ince bir yüzey tabakası oluşturur ve normalde onarımın ve aşınma direncinin gerekli olduğu durumlar için uygundur.

Kademeli kaplama, asıl yüzeye veya bağlantı yüzeyine bir veya daha fazla kaynak metal tabakasının kaplanmasından ibarettir. Bu yöntemin koruyucu kaplama yönteminden farkı bazı metalürjik gereksinimlere ulaşılabilmektedir. Bu yöntem aslında farklı metal-ana metal birleştirmesi için kullanılır [5].

5.1. Sert Yüzey Kaplama İşlemi (Hardfacing)

Sert yüzey kaplama karşılıklı çalışan dövme çekiçleri, kazıcı aletler, helisel sıkıştırıcılar, kesici takımlar, toprak kazma makineleri, değirmen çarkları ve ezici araçlarda meydana gelen abrasif aşınmanın tamirinde kullanılır [5].

Kaynak ve termal püskürtme ile kaplanmış yüzeye alevle sertleştirme, nitrürasyon, sementasyon, ısı işlem gibi yüzey sertleştirme işlemleri uygulanamaz. Yüzey kaplama yukarıda da ifade edildiği gibi sert, aşınmaya dirençli malzemenin başka bir cismin yüzeyine abrasyon, erozyon kavitasyon ve çarpma ile oluşan malzeme kaybını azaltmak için kaynak ve termal püskürtme işlemleri ile kaplanmasıdır. Korozyon ve yüksek sıcaklık, aşınma direnci üzerinde büyük etkiye sahip olabilir. Bu yüzden böylesi durumlarda uygun yüzey kaplama malzeme seçimi önem kazanır. Aşınmanın önlenmesi için yapılan yüzey kaplama işlemleri, çok büyük oranda aşınmanın meydana geldiği kayaların kırılmasından, metal-metal aşınmasının ortaya çıktığı en küçük düzeydeki aşınma durumlarında bile uygulanır.

Birçok durumda yüzey kaplama işlemi uygulanan ana malzeme ya sade karbonlu çelik ya da paslanmaz çelikten yapılmıştır. Malzemeler tek başına etkili aşınma direnci sağlayamazlar. Yüzey kaplama alaşımları aşınan parçaların kritik aşınma bölgelerine de uygulanabilir [58].

5.2. Yüzey Kaplama Malzemeleri

Yüzey kaplama malzemeleri çok çeşitli alaşımlar, karbürler ve bu malzemelerin birleşimlerinden oluşmuştur. Bu malzemeler, çelikler veya düşük alaşımlı demir esaslı malzemeler, yüksek kromlu beyaz dökme demir veya yüksek alaşımlı demir esaslı malzemeler, karbürler, nikel esaslı alaşımlar veya kobalt esaslı alaşımlar olarak sınıflandırılabilirler. Bazen az miktarda bakır esaslı alaşımlar yüzey kaplama işlemlerinde kullanılır, fakat birçok parçada yüzey kaplama alaşımları demir, nikel veya kobalt esaslıdır [59].

Mikroyapısal olarak yüzey kaplama alaşımları genellikle borürler, karbürler gibi sert çökelti fazlarının daha yumuşak demir, nikel veya kobalt esaslı alaşımlardan oluşan bir matris içinde yer aldığı bir kombinasyondur. Karbürler, demir ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarında sert faz olarak bulunurlar. Demir ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarında karbon içeriği ağırlıkça % 4 civarındadır. Borürler de karbürler gibi nikel esaslı yüzey kaplama alaşımı içinde en çok rastlanan sert fazdır. Alaşımlarda karbon ve bor elementleri birlikte bulunuyorsa bunların toplamı ağırlıkça % 5 civarındadır. Birçok kobalt, nikel ve yüksek oranda demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarındaki matris kompozisyonu genellikle % 35 üzerinde Cr, % 30 üzerinde Mo ve % 13 üzerinde W ve az miktarda silisyum ve mangan içerir [60].

5.3. Yüzey Kaplama Alaşımlarının Sınıflandırılması

Yüzey kaplama malzemeleri beş kategoride sınıflandırılırlar [5].

1. Dolgu kaplama alaşımları,
2. Metal-metal aşınmasında kullanılan alaşımlar,
3. Metal-toprak abrasif aşınmasında kullanılan alaşımlar,
4. Tungsten karbür (aşırı derecede aşınmanın olduğu yerlerde kullanılan) alaşımları,
5. Demir dışı alaşımlar.

Dolgu kaplama alaşımları, aşınmaya karşı direnç için değil, aşınmış bir parçayı geri kazanmak veya orijinal boyutlarına yakın hale getirmek ve gerçek yüzey kaplama malzemelerinin sonraki katlarına uygun destek sağlamak amacıyla üretilmiş düşük alaşımlı perlitik çelikler ve yüksek alaşımlı östenitik manganlı çeliklerdir. Bununla beraber östenitik manganlı çelikler az zorlanmalı aşınma ortamlarında aşınma dirençli malzemeler olarak kullanılırlar. Dolgu kaplama alaşımlarının kullanıldığı tipik örnekler demiryolları, demiryolları ray başları, çelik paletler, düşük hızlı ve büyük kesitli dişli çarklardır [61].

Adhesif aşınma alaşımları, makine parçalarının aşınmış bölgelerine çatlaksız şekilde uygulanabilen martensitik hava çelikleridirler. Bu yüzden bu malzemeler genellikle

makine elemanları için sert yüzey kaplama alaşımları olarak bilinirler. Bu alaşım ailesinin tipik uygulama alanları, traktörlerin taşıma mekanizmaları, çelik merdaneler ve vinç tekerlekleridir [5].

Metal-toprak abrasif aşınma alaşımları, alaşımın katılaşması esnasında krom karbürlerin oluştuğu yüksek krom içerikli beyaz dökme demirlerdir. Metal-toprak işlemlerinde kullanılan alaşımlar yüksek oranda sürtünme ve kazıma direncine (yani düşük ve yüksek gerilmeli abrasyon) sahiptirler. Bu malzemelerin tipik uygulama alanları keçe dişleri, kaya kırma aletleri ve sondaj matkaplarıdır [30].

Tungsten karbürler gerçekte kompozit malzemelerdir, farklı tungsten karbür partikülleri kaynak arkı ile ergitilmiş haldeki kaynak banyosuna transfer edilir ve matris içinde yer alırlar. Tungsten karbürler aşırı derecede sertlik ve kesme durumlarındaki kullanımlar için tasarlanırlar. Tungsten karbürlerin tipik uygulama alanları kesici takımlar, kaya delgi matkap uçları, kazı ve sondaj aletleridir [33].

Demir dışı yüzey kaplama alaşımları, demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kullanımının uygun olmadığı korozif ortamlarda veya çok özel bir aşınmaya karşı yüksek direncin gerekli olduğu yerlerde kullanılırlar. Bu alaşımlar aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar [62].

- Karbür ve laves fazı içeren kobalt esaslı alaşımlar,
- Karbür, laves fazı ve bor içerikli nikel esaslı alaşımlar,
- Bakır esaslı alaşımlar.

Demir esaslı yüzey kaplama alaşımları ve tungsten karbür kompozitler tarımsal uygulamalarda, kazı işlerinde, inşaat alanında ve çelik endüstrisinde geniş kullanım alanına sahiptirler. Demir dışı alaşımlar kimyasal reaksiyonların olduğu alanlarda, güç, otomotiv ve yağ endüstrisinde kullanılırlar ve bunların hepsinin aşınma direncine ilaveten şiddetli çevre şartlarına karşı dirençli olmaları gerekir. Kobalt

esaslı alaşımlar deformasyona ve yksek sıcaklıklardaki ($500\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 900\text{ }^{\circ}\text{C}$) kimyasal olaylara karşı dirençlidir ve elik endüstrisindeki kılavuz merdanelerinin kaplanmasında da kullanılırlar. Demir dışı yzey kaplama alaşımlarının diğer uygulama alanları valf oturma yzeyleri (hem kontrol valfleri hem de dizel egzoz valfleri) pompa parçaları, ekstrüzyon vidaları, kaya delgi matkapları, gemi yatakları ve cam ergitme mekanizmalarıdır [63].

5.3.1. Kobalt esaslı sert yzey kaplama alaşımları

Kobalt esaslı yzey kaplama alaşımlarının ticari olarak iki türü vardır; karbür içerikli alaşımlar ve laves fazı içerikli alaşımlar. Kobalt esaslı alaşımların bileşimleri ve özellikleri izelge 5.1’de verilmiştir.

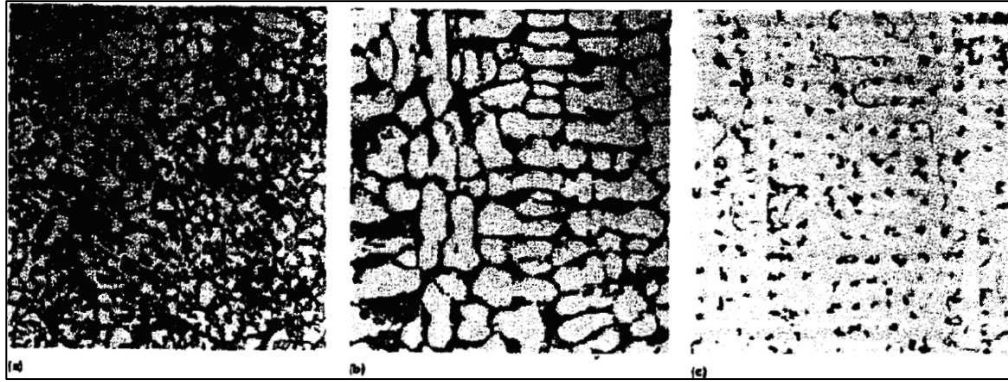
Çizelge 5.1. Çeşitli kobalt esaslı yzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi [5]

Alaşım	Bileşim (% Ağırlık)					
	Co	Cr	Mo	W	Si	C
Karbür içerikli alaşımlar						
ERCoCr-A	Kalan	28	...	5	...	1,2
ERCoCr-B	...	29	...	8	...	1,5
ERCoCr-C	...	31	...	13	...	2,5
ERCoCr-E	...	27	6	...	...	0,2
Laves fazlı alaşımlar						
T-400	...	9	29	...	2,5	...
T-800	...	18	29	...	3,5	...

Kobalt esaslı alaşımların içerdiği karbürler

Karbür içerikli kobalt esaslı alaşımlardan ilk olarak geliştirilen ve Co-28Cr-4W-L.C bileşimi ile bilinen alaşım, 1900’lerden beri kullanılmaktadır [64]. Çeşitli karbür içerikli kobalt esaslı alaşımlar arasındaki temel fark karbon içeriğidir (yani karbür hacim oranı, oda sıcaklığındaki sertlik ve abrasif aşınma direnci). Yksek tungsten içerikli bu alaşımlarda tungstence zengin MC'nin bulunmasına rağmen kromca zengin M_7C_3 karbürü vardır ve dışük karbonlu alaşımlarda kromca zengin $M_{23}C_6$ daha çok bulunur. Resim 5.1 karbür içerikli kobalt esaslı alaşımların (ERCoCr-A,-

B,-C,-E) karbon içeriği ile düşük gerilmeli abrasif aşınma direnci arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Buradaki düşük gerilmeli abrasif veriler ASTM G65 kuru kum/kauçuk tekerlekli abrasif test yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.



Resim 5.1. Karbür içerikli kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çift tabaka plazma ark kaplama mikroyapı görünüşleri (a) ERCoCr-C , (b) ERCoCr-A, (c) ERCoCr-E.425X [5]

Kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının karbür içerikli alaşımlar ve Laves fazı içerikli alaşımlar olmak üzere farklı karbürler içeren ticari iki türü vardır. Bu alaşımlardan ilk geliştirilene kobalt esaslı Co-28Cr-4W-1.1C alaşımı olup, bu alaşımın içinde farklı karbürler bulunur. Karbür içeren kobalt esaslı alaşımlar arasındaki temel fark bunların karbon oranlarının farklı olmasıdır. Laves fazı, metaller arası bir faz olmasından dolayı bu alaşımlarda çok fazlıdır ve laves fazı bütün malzeme özelliklerini etkiler. Bundan dolayı bu alaşımlardaki matris bileşiminin etkisi, karbür içerikli kobalt esaslı alaşımların durumlarından daha az belirgindir. Laves fazı özellikle önemli ölçüde abrasif aşınma direnci sağlar, fakat malzeme sünekliğini ve kırılma mukavemetini sınırlı hale getirir. Bu alaşımlar ile ön tav uygulanmış küçük parçalar hariç tamamen çatlaksız bir kaplama yapmak çok zordur. Bundan dolayı termal püskürtme malzemeleri olarak daha başarılı bir şekilde kullanılmışlardır [65].

5.3.2 Nikel Esaslı Alaşımlar

Mevcut ticari nikel esaslı yüzey kaplama alaşımları üç guruba ayrılır; bor içerikli alaşımlar, karbür içerikli alaşımlar ve laves fazı içerikli alaşımlar. Bazı tipik nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının bileşimi Çizelge 5.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2. Yüksek Ni içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının kimyasal bileşimi [5]

Alaşım	Bileşim (% Ağırlık)									
	Fe	Cr	Mo	W	Si	C	B	Co	Ni	
Borür içerikli alaşımlar										
Alaşım 40	1,5	7,5	...	...	3,5	0,3	1,5	...	Kalan
ERNiCr-B	3	11	...	...	4	0,5	2,5	...	Kalan
ERNiCr-C	4	16	...	...	4	0,7	3,5	...	Kalan
Karbür içerikli alaşımlar										
Alaşım N-6	3	29	5,5	2	1,5	1,1	0,6	3	Kalan	
Alaşım 716	Kalan	26	3	3,5	1,5	1,1	0,5	11	23	
Laves fazlı alaşımlar										
T-700	...	16	33	...	3,5	...	...	...	Kalan

Bor içerikli nikel esaslı alaşımlar

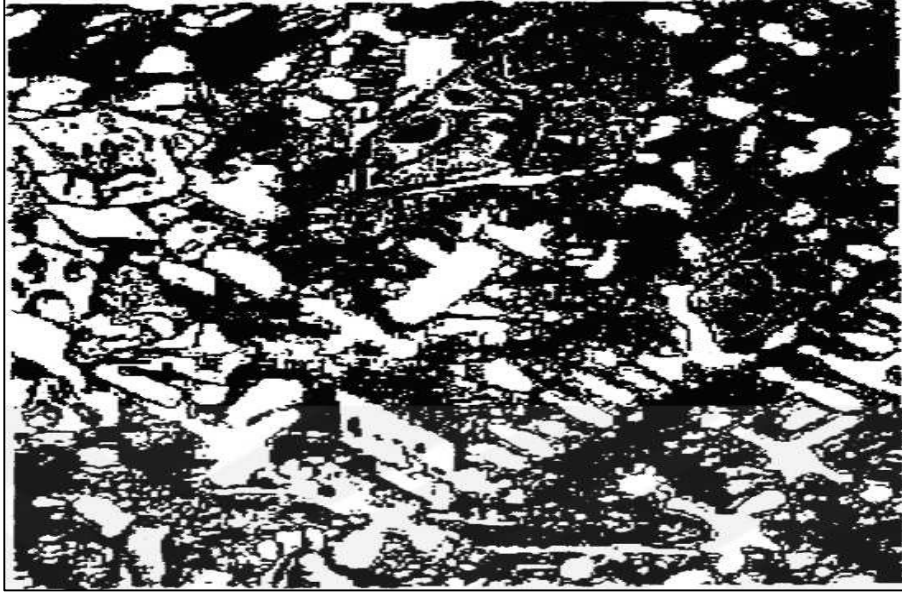
Bor içerikli nikel esaslı alaşımlar önceleri püskürtme ve sinterleme tozları gibi ticari amaçla üretilmiştir. Halen bu alaşımlar birçok yüzey kaplama üreticisi tarafından piyasada farklı ticari isimler altında örtüsüz çubuklar, toz çekirdekli teller, plazma kaynağı ve elle yapılan torç kaynağı tozları gibi değişik formlarda bulundurulurlar. Bu alaşım grubu öncelikle nikel, krom, bor, silisyum ve karbon içerir. Genellikle bor içeriği, % 16 gibi yüksek oranda krom içeriğine bağlı olarak, % 1,5–3,5 oranındadır. Yüksek kromlu alaşımlar büyük oranda bor içerirler ve bunlar yaklaşık olarak 1800 HV sertliğe sahip krom-bor alaşımlarını oluştururlar. Bütün yüzey kaplama alaşımları gibi, bor içerikli nikel esaslı alaşımların mikroyapısı da çok karmaşıktır. Bu tip alaşımların yapısının karmaşıklığı ERNiCr-C çift plazma ark kaynak tabakası mikroyapı fotoğrafı Resim 5.2'de net bir şekilde görülmektedir. Alaşım, demir, krom, bor ve karbon içeriklerine göre belirli özellik gösterir. Demir içeriği büyük oranda

üretim sırasında ferro bileşiklerin kullanımına bağlıdır. Nikel ile beraber diğer üç element yapı içerisinde katılaşma esnasında sert fazın durumunu ve cinsini belirler; bor birincil sert fazı (nikel ve krom da burada aktif rol oynar) ve karbon ikincil sert fazı oluşturur. Bor içerikli nikel esaslı alaşımlarda krom içeriğine bağlı olarak oluşan gerçek fazlar Çizelge 5.3' te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Çeşitli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımlarının özellikleri [5]

Özellik	RNiCrC	RNiCrB	Hastelloy C Ni-17Cr- 17Mo-0,12C	Tribaloy T-700
Yoğunluk (g/cm ³)	7,8	8	8,6	8,6
Termal yayılma kats. (°C ⁻¹)	14,3	14,3	13,7	11,9
<u>Sıcak sertlik (DPH)</u>				
425 °C	555	...	190	500
540 °C	440	...	185	485
650 °C	250	...	170	400
760 °C	115	...	145	280
Aşınma				
<u>Yağsız kayma aşınması (mm³)</u>				
670 N	0,15	0,3	0,4	0,1
1330 N	0,3	0,4	...	0,3
<u>Abrasif aşınma (mm³)</u>				
Oksi-gaz	12	18	...	...
TIG	11	12	105	...
Çentiksiz Charpy muk. (J)	3	3	39	1,4
<u>65 °C'de korozyon direnci</u>				
% 65 Nitrik asit	U	U	E	E
% 5 Sülfürik asit	U	U	E	E
% 50 Fosforik asit	U	U	E	E
U: 50 mil/yıl 'dan daha fazla	E: 2 mil/yıl 'dan daha fazla			

Malzemede bulunan silisyumun asıl amacı bor ile beraber süneklik özelliği kazandırmaktır. Aynı zamanda bu, matris fazının önemli bir elementidir, metaller arası çökeltilerin potansiyel oluşturucusudur ve alaşımların aşınma özelliklerinde güçlü bir etkisi vardır. Bor içeriği silisyumlu bileşiklerin (Ni₃Si) oluşumu için gerekli olan silisyum düzeyini etkiler. Silisyumlu bileşikler en yüksek bor oranı ve en düşük silisyum oranında oluşurlar [66].



Resim 5.2. ERNiCr-C plazma ark kaynağı ile çift tabaka kaplanmış bor içerikli nikel esaslı yüzey kaplama alaşımının mikroyapısı [5]

Bor ve karbürün mikroyapı içinde dağılımlarından dolayı bor içerikli nikel esaslı alaşımlar üstün abrasif aşınma direnci gösterirler. Düşük gerilmeli aşınma direnci genellikle bor ve karbon içeriği ile artar, bu yüzden sert fazın hacimce miktarı önemlidir. Sürtünme koşullarında performansı kobalt esaslı malzemeler kadar iyi olmasa da, bor içerikli nikel esaslı alaşımlar orta düzeyde aşınma direncine sahiptirler. Demir dışı malzemelerden olan bor içerikli nikel esaslı alaşımlar en düşük korozyon direncine sahiptirler [67].

Karbür içerikli nikel esaslı alaşımlar

Karbür içerikli nikel esaslı alaşımların kullanımı bir müddet sınırlı kalmıştır. Bununla beraber bu alaşımlar kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarına alternatif olmuşlardır. Özellikle nükleer güç endüstrisinde buna ihtiyaç duyulur, çünkü burada kobalt esaslı alaşımlar radyoaktif dönüşüme uğrarlar. En popüler olan ve yaygın bir şekilde kullanılan kobalt içermeyen alaşımlar Ni-Cr-Mo-C ve Ni-Cr-Fe-C sistemleridir [62].

Genellikle karbür içerikli nikel esaslı alaşımların oksii-asetilen ile kaynak edilebilirliği zayıftır ve ayrıca oksii-asetilen yöntemi yüzey kaplama işlemleri için uygun değildir. Ni-Cr-Mo-Co-Fe-W-C sistemi içerisinde karbür içeren nikel esaslı alaşımlar oksii-asetilen yöntemi ile daha kolay kaynak edilebilir ve kobalt esaslı alaşımlara alternatif olarak düşük maliyeti bir avantajdır. Bu alaşımlar içeriklerine bağlı olarak kobalt esaslı alaşımlara benzer bir şekilde M7C3 veya M6C karbürlerini içerirler [62].

Laves fazı içerikli nikel esaslı alaşımlar

Ticari olarak sadece bir tane Laves fazı içerikli nikel esaslı alaşım vardır. Bunun da kimyasal bileşimi Ni-33Mo-16Cr-3.5Si şeklindedir. Bu alaşım diğer birçok nikel esaslı alaşım gibi oksii-asetilen kaynak yöntemi ile zor kaynak edilir. Fakat TIG veya PA (Plazma Ark) yöntemleri ile kolaylıkla kaynak edilebilir. Aynı zamanda söz konusu alaşıma plazma püskürtme veya yüksek hızlı oksii-yakıt püskürtme (HOVF) teknikleri de uygulanabilir. Üstün metal-metal aşınma direncine ve orta düzeyde abrasif aşınma direncine sahip olmasına rağmen, darbe direnci zayıftır [64].

6. YÜZEY KAPLAMA KRİTERLERİ VE YÖNTEMLERİ

6.1 Yüzey Kaplama Alaşımı Seçimi

Yüzey kaplamada alaşım seçimi, önce aşınma ve maliyet göz önünde bulundurularak belirlenir. Bununla beraber ana metal, kaplama işlemi, çarpma, korozyon, oksidasyon ve termal şartlar gibi diğer çevresel ve üretim faktörleri de göz önüne alınmalıdır. Genellikle kaplama işlemine göre, yüzey kaplama veya dolgu metal ürün formu belirlenir [59].

Yüzey kaplama alaşımları genellikle örtüsüz çubuk, örtülü çubuk, uzun teller, toz özlü tel (örtülü, örtüsüz) veya tozlar şeklinde mevcuttur. Kaynak türlerine göre kullanım şöyledir:

<u>Yüzey kaplama işlemleri</u>	<u>Kullanılan formlar</u>
Oksi-gaz / oksi-asetilen	Örtüsüz veya toz özlü tel
Elektrik ark kaynağı	Örtülü veya toz özlü çubuk (elektrot)
TIG kaynağı	Örtüsüz veya toz özlü çubuk
MIG/MAG kaynağı	Toz özlü veya sürekli tel
Toz özlü açık ark	Toz özlü tel
Tozaltı ark kaynağı	Toz özlü veya sürekli çubuk
Plazma ark kaynağı	Toz
Lazer ışın kaynağı	Toz

Genel olarak yüzey kaplama alaşımlarının karbür içeriği artarken sünekliği azalır. Sonuç olarak çarpma ve abrasif aşınma direncinin birlikte istendiği durumlarda ikisi arasında denge sağlanmalıdır. Kırılğanlığın çok önemli olduğu durumlarda östenitik manganlı çelikler aşınan parçaları tamir için kullanılabilir. Kimyasal işlemler, petrol endüstrisi ve egzoz gazı bacalarında karşılaşılan asitli ve alkali ortamlarda demir esaslı yüzey kaplama alaşımlarının çok azı yeterli korozyon direncine sahiptir. Nikel veya kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımları, korozyon ve aşınma direncinin birlikte istendiği durumlarda tavsiye edilir. Örneğin; bıçağın ağzı kobalt esaslı alaşımdan

yapılıydı domates kesmede kullanılan bıçak çelikten yapılmış olan bıçaktan daha uzun süre dayanırdı [59].

Demir esaslı alaşımlara oksidasyon ve sıcak korozyon direnci de genellikle zayıftır. Genellikle bor içerikli nikel esaslı alaşımlar matriste oksidasyona karşı direnç için yeterli miktarda krom içermezler. Bu yüzden aşınma direnci ile beraber oksidasyon veya sıcak korozyon direncinin gerekli olduğu durumlarda Laves fazı veya karbür içerikli nikel veya kobalt esaslı alaşımlar tavsiye edilir. Bir alaşımın yüksek sıcaklıklarda mukavemetini kaybetmemesi, sıcak dövme kalıpları veya valflerin 870 °C'de kullanımı ve kömürden gaz elde edilmesi veya sıvı hale konması işlemlerinde olduğu gibi aşınmanın meydana geldiği yerlerde önemlidir. Martensitik yapılı demir esaslı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda sertliklerini kaybederler. Genellikle yüzey kaplama alaşımlarının yüksek sıcaklıklarda mukavemetini koruması molibden ve tungsten içeriği ile artar. Yüksek sıcaklık mukavemeti ve aşınma direnci gerektiren uygulamalarda, kobalt esaslı veya Laves fazı içerikli alaşımlar tavsiye edilir [66].

Aşınma dirençli malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması genellikle alaşım içeriği ve çeşidine göre yapılır. Bu alaşımlar, istenilen alaşım özelliklerine bağlı olarak belirli bir düzeye kadar sertleştirilmiş matris içinde sert faz (karbürler, borürler, Laves fazları) bulunduran yapılara sahiptir. Ayrıca bunun gibi yüzey kaplama üreticileri tarafından yapılan tavsiyeler de vardır. Yüzey kaplama alaşımının seçiminde aşağıdaki basamaklar izlenmelidir;

- Çevresel aşınma şartları ve aşınma tipini belirlemek için çalışma şartlarının analizi.
- Çeşitli ve olabilecek birkaç yüzey kaplama alaşımının seçimi.
- Termal gerilme ve muhtemel çatlakları göz önünde bulundurularak yüzey kaplama alaşımı ile ana metal uyumunu analizi.
- Yüzey kaplama işlemi görmüş parçaların uygulama alan testi.

- Maliyet ve aşınma ömrüne göre uygun değer bir yüzey kaplama alaşımının seçimi.

Aşınmış parçanın üretimi için yüzey kaplama işleminin seçimi, kaplama oranı, dilatasyon, kaplama, verimlilik ve bütün maliyetin göz önünde bulundurulması gerekir [66].

6.2. Yüzey Kaplamada İşlem Seçimi

Yüzey kaplama işlem seçimi, mühendislik uygulamasına bağlı olarak yüzey kaplama alaşım seçimi kadar önemli olabilir. Yüzey kaplama işlem seçimi ile ilgili olan diğer teknik faktörler, yüzey kaplama özelliği ve kalite gereksinimleri, iş parçasının fiziksel özellikleri, ana metalin metalürjik özellikleri, yüzey kaplama alaşımının şekli ve bileşimi ve kaynakçı becerisidir. Ekonomik faktörler de önemlidir. Yüzey kaplama terimi bazen hem dolgu malzemeleri hem de az miktarda ana malzemenin eritildiği ve metalürjik esaslar çerçevesinde birleştirildiği hallerde gerçek kaynak işlemlerini tanımlamada kullanılır [67].

6.3. Özellik ve Kalite Gereksinimleri

Kaynak yöntemi ile yapılmış yüzey kaplama tabakası aslında değişebilir kompozisyonu ve mikroyapıdaki katılaşma kinetiği ile tanımlanan mini bir dökümdür. Bu tarif abartılı değildir ve bu yüzden kaynakla yapılmış kaplama tabakası özellikleri ve kalitesi alaşım seçimine bağlı olduğu gibi kaynak işlem ve tekniğine de bağlıdır.

Oksi-gaz kaynak işlemlerinde karbonun açığa çıkması ve ark kaynak işlemleri sırasında eriyen maddenin buharlaşması ilave faktörler olmasına rağmen kaynak sırasında bileşimin değişmesi de ana metal sıvılaşmasından bağımsız değildir. Sıvı çözelti (dilatasyon), yüzey kaplama alaşımı ve ana metalin ara alaşımıdır ve genellikle ana metalin yüzey kaplama kaplaması içindeki yüzdesi olarak ifade edilir. % 10'luk dilatasyon, kaplamanın % 10 ana metal ve % 90 yüzey kaplama alaşımı

içerdiğini ifade eder. Yüzey kaplama alaşımının aşınma direnci ve diğer üstün özelliklerinin genellikle dilatasyon artarken azaldığı düşünülür. Kabul edilebilir maksimum çözeltili miktarı ise özel kullanım gereksinimlerine bağlıdır. Aynı zamanda kaynak işlem ve tekniği, en sert tabaka için dilatasyon miktarı % 20'den daha az olacak şekilde seçilmelidir. Uygulamada dolgu kaplama tabakası için daha fazla dilatasyon oranı kabul edilir [58].

Dilatasyon termal püskürtme işlemlerinde bulunmaz ve geleneksel oksî-gaz kaynak işlemlerinde az miktarda var olduğu kabul edilir. Dilatasyon tabakası genellikle ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde büyük bir problemdir. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde yaklaşık % 5 ve toz altı ark kaynağında yaklaşık % 50 gibi büyük bir değere ulaşır. Lazerle yüzey kaplama işlemlerinde dilatasyon azdır, genellikle % 1-10 arasındadır. Çok katlı tabakalar şeklinde uygulanabilen ve ince yüzey kaplama tabakası gerektiren uygulamalarda, yüksek dilatasyonlu kaynak işlemlerinin yapılmasına müsaade edilir [60].

Dökümde olduğu gibi yüzey kaplama tabakalarının mikroyapı ve mekanik özellikleri, dilatasyon tabakasının katılma kinetiğine bağlı olarak değişir. Bazı termal püskürtme işlemlerinde hemen hemen amorf yapılara meydana gelmesine rağmen termal püskürtmede katılma genellikle hızlıdır. Katılma kinetiği geleneksel kaynak yöntemleriyle yüzey kaplama işlemlerinde biraz yavaşlama eğilimi gösterir. Kural olarak oksî-gaz kaynak işlemleri ile oluşturulan yüzey kaplama tabakalarının katılma eğilimi ark kaynak işlemleri ile oluşturulanlara göre çok daha yavaştır. Katılma oranındaki bu farklılık, dilatasyon oranı ne olursa olsun, mikroyapıda ve özelliklerde büyük farklılık meydana getirir [61].

6.4. Ana Malzemenin Fiziksel Özellikleri

Ana malzemenin büyüklüğü, şekli ve ağırlığı yüzey kaplama işlem seçimini büyük oranda etkiler. Taşınması zor, geniş ve ağır iş parçaları, yüzey kaplama donanımı iş parçasının bulunduğu yere götürülerek elle veya yarı otomatik işlemler ile rahat bir şekilde kaplanır. Portatif araç-gereçleri hazır olarak bulunan MIG ve elektrik ark

kaynak işlemleri, erişilmesi zor yüzeylerin ve taşınması zor iş parçalarının açık alan uygulamaları için çok uygundur. Termal püskürtme işlemleri ve araç-gereçleri de özellikle iş yerindeki yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Yüzey kaplama işlem seçimi daha çok ana malzemenin yeterince küçük olduğu varsayılarak yapılır ve bu yüzden ana malzeme, kaynak araç-gereçlerinin olduğu yere kolaylıkla taşınabilir. Termal püskürtme işlemleri ve oksî-gaz kaynağı, tozaltı kaynağı, TIG kaynağı, plazma ark kaynağı atölyedeki küçük iş parçalarının yüzey kaplama işlemleri için uygundur. Çok miktarda küçük malzemeler genellikle özel olarak üretilmiş tam otomatik yüzey kaplama araç-gereç ve ekipmanlar ile ekonomik olarak kaplanabilir [65].

6.5. Ana Metalin Metalürjik Özellikleri

Termal püskürtmeli yüzey kaplama işlemlerinde ana metal yüzeyinin hazırlanması önemlidir. Kaynak işlem seçiminde ana metal bileşimi, ergime sıcaklık aralığı, termal genleşme ve küçülme özelliklerinin önemli etkisi vardır. Çelikler yüzey kaplama için genellikle uygun ana metallerdir. Düşük alaşımli ve % 0,4'ün üzerinde karbon içeren orta karbonlu çeliklere bütün kaynak işlemleri ile mükemmel bir şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Yüksek karbonlu çelikler, benzer şekilde, sorunsuz olarak yüzey kaplama işlemine tabi tutulabilirler, fakat ısının tesiri altındaki bölgede (ITAB) zararlı martensitik reaksiyonu en aza indirmek için ön tav gerekir. Östenitik paslanmaz çeliklere ve birçok nikel esaslı alaşımlara, işlem hatası olmadığı takdirde, bütün kaynak işlemleri ile kolaylıkla mükemmel sonuç verecek şekilde yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Martensitik paslanmaz çelikler, takım çelikleri, kalıp çelikleri ve dökme demirlere de kolaylıkla yüzey kaplama uygulanabilir. Fakat ön tav, geçiş sıcaklığı ve kaynak sonrası gerekli ısıtma işlemi çok dikkat edilmelidir. Yaşlandırma sertleşmesi işlemine tabi tutulmuş ana metallere bazı yüzey kaplama problemleri çıkarılabilir ve ön tav, geçiş sıcaklığı ve son tav işlemlerine dikkat edilmesi gerekir [66].

Yüzey kaplama kaynak işlemleri, ana metalin erime sıcaklık aralığının yüzey kaplama alaşımınıninkinden daha yüksek veya en az eşit olmasını gerektirir. Diğer

taftan termal püskürtme işlemleri ana metal ergime sıcaklığının yüksek olmasını gerektirmez. Ana metalin termal genişleme ve büzülme özellikleri katılma sonrası boyutlarını etkiler. Yüzey kaplama alaşım kaplama tabakasının çatlamasını önlemek için, iş parçası kaynak sırasında genellikle yüksek sıcaklıklara kadar düzenli bir şekilde ısıtılır. Kaynak işlem seçimi burada önemlidir. Çünkü bu seçim ısı girdisini ve ön tav koşullarını direkt olarak etkiler [66].

Yüzey kaplama alaşımı ve ana metal arasındaki genişleme ve büzülme farklılıkları termal çevrim koşullarını içeren uygulamalarda önemlidir. Büyük farklılıklar kaynak yapılan bölgede, termal püskürtme tabakasında kesme hatası veya kaynakla kaplanmış tabakada termal yorulma hatasına sebep olabilir. Ara kaplama tabakaları termal genişleme ve büzülme özelliklerindeki büyük farklılıkları önlemek için genellikle ana metal ve yüzey kaplama alaşımı arasına uygulanır. Genellikle zararlı olarak kabul edilen dilatasyon oranı kendi alanındaki ara tabakaları şekillendirmek ve termal yorulma hatasını en aza indirmek için iyi bir avantaj olarak kullanılabilir. Bu husus yüzey kaplama işlem seçiminde önemli bir yere sahiptir [67].

6.6. Yüzey Kaplama Ürün Şekilleri

Yüzey kaplama işlem seçimi genellikle ürünün şekli ile sınırlıdır. Yüzey kaplama alaşımları normal olarak örtüsüz çubuk, örtülü elektrot, tel ve toz şeklinde bulunurlar. Fakat bütün alaşımlar bütün ürün şekillerinde mevcut değildir. Hemen hemen bütün yüzey kaplama alaşımları toz şeklinde ve birçoğu da çubuk şeklinde üretilebilir. Çubuklar genellikle örtüsüz çubuk veya tüp (toz dolgulu metal boru) şeklinde bulunurlar. Örtüsüz çubuk çapları, alaşım özellikleri ve döküm şartlarına göre 3,2–8 mm arasında sınırlandırılır. Örtüsüz çubuk uzunlukları genellikle 250–700 mm arasındadır, fakat bazı yüzey kaplama alaşımları 3,2 mm çapında daha uzun veya sonsuz uzunlukta olabilir. Tüp şekilli çubuklar düşük alaşım kılıflar içine doldurulmuş, yüksek seviyede alaşımlandırılmış toz tanelerinden oluşur. Bu çubuklar farklı uzunlukta veya sürekli sargılı bobinler şeklinde üretilirler. Farklı uzunlukta boru şeklindeki çubuklar örtüsüz çubuk şeklinde olduğu gibi genellikle aynı çapta olurlar. Uzun boru şeklindeki çubuklar veya boru şeklindeki tel normal olarak 1,6 - 4

mm çaplarında bulunurlar. Daha sünek yüzey kaplama alaşımları tel çekme yöntemi ile üretilebilirler. Bir kısım gevrek yüzey kaplama alaşımları özel ekstrüzyon teknikleri kullanılarak üretildiğinden oldukça pahalıdırlar [68].

6.7. Yüzey Kaplama Yöntemleri

Ark kaynağı ile yüzey kaplama işleminde, elektrik arkından elde edilen ısı yüzey kaplama malzemesini iş parçası yüzeyinde eritmek için kullanılır. Elektrik arkı, elektrot ile iş parçası arasındaki gerilim farkından meydana gelir. Gerilim, elektrot ve iş parçası arasındaki mesafeye ve ark kaynak işlemlerine bağlı olarak ark değişimini muhafaza eder. Dolgu malzemesi, arkı oluşturmak için kullanılan elektrotlardan sağlanır veya dışarıdan arkın içine konulabilir. Eriyen elektrot kullanıldığında, ark kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak direkt elektrottan yararlanır. Erimeyen elektrot kullanıldığında ise ark kaynak işleminde dolgu malzemesi olarak dışarıdan malzeme ilave edilir. Bir kural olarak; erimeyen elektrot kullanımı daha az tabaka kalınlığı ve daha az sıvılaşma oluşturduğu için eriyen elektrot işlemlerinden daha az güç kullanımı gereklidir. Hem eriyen hem de erimeyen elektrot ile yüzey kaplama işlemlerinde dolgu malzemeleri eriyip iş parçası yüzeyine kaplanırken oksidasyondan korunması gerekir [67].

Eriyen elektrotlarla yüzey kaplama işlemlerinde kaynak banyosu bazen toz ile (elektrik ark kaynağı ve tozaltı kaynağında olduğu gibi), bazen de inert gazlarla (TIG ve MIG kaynağında olduğu gibi) korunur [69].

6.7.1. Elektrik ark kaynağı

Elektrik ark kaynak yöntemi ve eriyen elektrotlarla yapılan yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan elektrotlar özel bileşimdeki bir örtü tabakası ile kaplanmış farklı boyutlardaki örtülü çubuklardan oluşurlar. Dolgu malzemesi çubuk çapları genellikle 3.2-8mm'dir ve çubuk tel veya tüp şeklinde (toz dolgulu metal boru) bir yapıdadır.

Elektrot örtü tabakası, dolgu malzemesini kaynak sırasında elektrot eridiğinde dış ortam ile olabilecek kimyasal reaksiyonlardan korur. Ancak örtü tabakası erimiş metalin korumasını sağladığı gibi koruyucu tabaka içerisindeki bazı elementler ergime esnasında kaynak banyosuna karışarak alaşımın içeriğinin değiştirilmesinde de kullanılabilir. Örtü tabakası bileşimindeki maddeler, kaynak formunu, nüfuziyet miktarını, kaynağın soğuma hızını, arkın kararlılığını, yüzey kaplama tabakası saflığını da etkiler [69].

Eriyen elektrotlarla yapılan elektrik ark kaynağında jeneratörler, doğru akım kaynakları ve alternatif akım transformatörleri kullanılabilir. Doğru akım pozitif kutup, normalde yüzey kaplama işlemleri için tavsiye edilir. Doğru akım negatif kutup, tabaka kalınlığını az miktarda arttırmak için kullanılabilir, fakat kaynak pasosunun dar ve yüksek olma ihtimali vardır. Doğru akımın tavsiye edilmesine rağmen alternatif akımla yapılan işlerde oldukça iyi sonuçlar elde edilmiştir. Ark kararlılığı ve tam erime özelliği bu metotta iyi değildir [70].

Kaynak hızı, kaynak banyosuna göre elektrotun pozisyonu, ark gerilimi ve akım şiddeti, nüfuziyet ve kaplama tabakası dilatasyon oranını en aza indirmek için biraz değiştirilebilir. Eriyen elektrotlarla yapılan metal ark kaynağının pek çok avantajları vardır. Arkın şiddetli ısı büyük parçalarda yüzey kaplama işlemini ön tav uygulanmadan mümkün kılar. Makinede ya da fabrikada küçük toleranslarla üretilmiş parçaların küçük bölgelerine, bütün parça değiştirilmeden yüzey kaplama işlemi uygulanabilir. Kaplama işleminde, kaplanacak malzeme miktarı sarfiyatı kaynak yöntemine göre değişir. Normal olarak ark zaman saat başına 1,4'ten 1,8 kg'a kadar dolgu malzemesi kaynak bölgesine uygulanabilir. Kullanılan kaplama alaşımı çubuk kaybı hariç tutulduğunda genellikle elektrot ağırlığının % 65-75'i kadardır. Ortalama çubuk kaybı yaklaşık olarak 75 mm'dir ve bu 350 mm'lik bir elektrotun yaklaşık % 20'sidir. Ulaşılması zor bölgeler örtülü elektrotlarla en iyi şekilde kaplanabilir. Bütün işlemler nispeten hızlıdır, çünkü ön tav ve yüksek geçiş sıcaklığının korunması gerekli değildir. Bu işlemin bir diğer cazip özelliği de araç-gereçlerinin taşınabilirliğidir. Benzin motor jeneratörleri herhangi bir yere taşınabilir [71].

Eriyen elektrotlarla metal ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinin bazı sakıncalarının da olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Nüfuziyet yüksektir ve dilatasyon oranı % 20 veya daha fazla olabilir. Bu durum sertliğin, aşınma direncinin azalmasına sebep olur. Kaynak metalinin iki veya üç tabakasının normal olarak maksimum aşınma özelliklerine sahip olması gerekir. Örtülü elektrotlar kaynak kaplama tabakası yüzeyini örten bir cüruf bırakırlar ve bu cüruf her kaynak pasosundan sonra mutlaka temizlenmelidir. Örtülü elektrotlar genellikle ön tav işlemine gerek duyulmaksızın kullanılırlar. Bu durumda da özellikle sert kaplama tabakası oluşturan yüksek alaşımlı elektrotlarla yapılan kaplama işlemlerinde çatlaklar veya çapraz çatlaklar meydana gelebilir. Yüzey kaplama malzemeleri kaplama yapıldığı zaman maksimum sıcaklık ve maksimum termal yayılma gösterirler. Bunun tersine iş parçası kaynak sırasında çevre sıcaklığında olabilir ve bu durumda yüzey kaplama malzemesinden daha az yayılma gösterebilir. Yüzey kaplama tabakasında kaynak sonrası hızlı soğuma olduğundan dolayı şiddetli gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler sünek yüzey kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumlarda deformasyonla, gevrek yüzey kaplama malzemelerinin kullanıldığı durumlarda çatlak veya çapraz çatlak ile yok edilir. Çatlaklar birçok uygulamada üst tabakanın aşınma direncini etkilemezler [72].

6.7.2. Tozaltı kaynağı

Bu yöntemle yapılan yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan mineral bileşimli tozlar, fazla miktarda gaz üretmeyen, erimiş dolgu metalini korumak için özellikle oluşturulmuşlardır. Yüzey kaplama işlemi, dolgu malzemeleri birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilen kaynak akımı, gerilimi ve kaynak hızının geniş bir aralığında yapılabilir. Bununla birlikte genellikle akım, gerilim ve iş parçası hareket hızı yüzey kaplama işlemlerinde yaklaşık olarak 15 mm genişlikte az miktarda dış bükey yüzeyli ve kenarları ana metale doğru gittikçe incelen bir ark hattı oluşturmak için ayarlanabilir. Birçok tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde akım genellikle 300-500 A'dır. Eğer istenirse kaplama oranını yükseltmek için akımı 900 A gibi bir değere çıkartmak mümkündür. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde eriyen elektrotlar kullanılır ve bu yöntemde kaynak banyosu

taneciklerden oluşan ve eritilebilir tozlar ile korunur. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde elektrotlar sürekli tel, bobin veya toz özlü tel şeklindeki dolgu malzemelerinden oluşur. Burada kullanılan tozlar genellikle küçük parçalar halindedir ve katı halde serbest akabilir, elektrotun içinden kaplanan yüzey boyunca kaynak bölgesi üzerine kaplanır [5]. Bazı özellikler tozaltı yüzey kaplama işlemi avantajlı hale getirir. Çünkü bu yöntem otomasyona uygundur ve az beceri gerektirir. Yüksek kaplama oranlarının oluşması mümkündür, bu oran işe bağlı olarak 4,5-9,0 kg/sa kadar yükselebilir. Bu yöntem ile yüzeyde pürüzsüz, düzenli ve boşluksuz kaplama yapılabilir ve hatta hem çok düzgün yüzey elde edilir hem de taşlama ve temizleme işlemleri en az düzeyde olabilir. Dolgu metali atmosfere karşı başka bir koruyucu gerektirmeden, arki tamamıyla çevreleyen toz ile korunur. Tozaltı kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işleminin en büyük dezavantajlarından birisi; bu yöntemde yüzey kaplama işlemi basit silindirik veya düzgün yüzeyli iş parçaları için sınırlıdır. Diğer dezavantaj da yönteminin küçük parçaların yüzey kaplaması için uygun olmayışdır. Bazı silindirik parçalar yüzey kaplama işlemleri esnasında özel toz koruyucu yöntemler gerektirir. İş parçasına 315 °C'den daha yüksek bir sıcaklıkta ön tav uygulandığında cüruf sıcak iken kaldırılmalıdır. Aksi takdirde cürufun kaldırılması aşırı derecede zorlaşır. Bazen küçük portatif üniteler kullanılır. Fakat normalde tozaltı kaynak üniteleri oldukça büyüktür ve sabit raylar üzerine monte edilmiştir ve bu nedenle saha uygulamaları için kullanımı sınırlıdır. Tozun kurutulması zorunludur, bu yüzden depolama problem olabilir. Kaynak esnasında dilatasyon oranı yüksektir. % 30'a varan veya daha yüksek düzeyde ana metal ile alaşım yapması mümkündür [5,73].

6.7.3. TIG kaynağı

TIG kaynağı erimeyen elektrotlarla yapılır. Toryumlu tungsten, erimeyen elektrot malzemesi olarak kullanılır. Güç ayarları, damlama durumuna göre gerilim - akım değerleri yüzey kaplama işlemlerinde belirlenebilir. Bu yöntemde iş parçasının ısınmış bölgesi, erimiş yüzey kaplama alaşımı ve erimeyen elektrot torç içinden beslenen koruyucu gaz akışı ile atmosferin zararlı etkilerinden korunur [5].

Koruyucu gaz olarak genellikle argon kullanılır, fakat helyum da kullanılabilir. Özellikle geniş parçalar veya ana metaller söz konusu olduğu zaman oksî-gaz ile yapılan yüzey kaplama işleminden daha iyi neticeler verir. Motorlu jeneratörler, sürekli yüksek frekans akımı üretmek için alternatif akım transformatörleri gibi kullanılabilirler. Doğru akımda elektrotun negatif kutba bağlanması tungstenin yüzey kaplama tabakasına geçişini en aza indirmek için kullanılır. TIG kaynağı titanyum katkılı paslanmaz çelikler veya alüminyum içerikli nikel esaslı alaşımlar gibi reaktif ana metale yüzey kaplama uygulamasında tercih edilir. TIG kaynağı karbon varlığının kabul edilemez olduğu yüzey kaplama işlemlerinde veya dolgu malzemesi kullanılarak yapılan ve bu dolgu malzemesinin oksî-asetilen alevi etkisi altında kaynama eğiliminde olduğu işlemlerde de oksî-gaz ile yapılan yüzey kaplama işlemlerine tercih edilir. Ana metal dilatasyonu torç hareketi ile gereğinden fazla akım kullanılmayarak ve arkı iş parçasından ziyade yüzey kaplama tabakası üzerine yoğunlaştırarak en aza indirilebilir. Yüzey kaplama tabaka oranları, ana metal dilatasyon oranındaki farklılığa rağmen, elle yapılan TIG ve oksî-gaz kaynağı ile karşılaştırılabilir [5,73].

TIG kaynak yöntemiyle yüksek kaliteli ve tekrarlı yüzey kaplama tabakaları oluşturmak için dolgu metali erime oranı ve torç hareket hızı kontrol edilmelidir. Akım gecikme kumanda cihazları yüzey kaplama tabakası içindeki son katılaşmayı kontrol etmek, fireyi ve krater çatlağını en aza indirmek için kullanılır. TIG de arkın durumu, diğer eriyen elektrotlarla ark kaynak işlemlerinden daha düzgün ve daha sakindir, kaynak sıçraması daha azdır. TIG kaynağı küçük ve karmaşık şekilli parçaların yüzey kaplama işlemleri için daha uygundur ve genellikle diğer yüzey kaplama işlemlerinden daha kaliteli sonuçlar verir [74].

6.7.4. Toz ilaveli oksî-gaz kaynağı

0.75 mm'den 3 mm'ye kadar olan tabaka kalınlığı paso başına 1,3 mm olarak uygulanabilir. Yüzey kaplama esnasında ana metalin ergimesi, yüzey kaplama alaşımı ile erimeyle birleşme şeklinde bir bağ oluşturur. Kaynak alevi içinde toz akışının sıkı kontrolü nedeniyle uygulamada malzemenin kaplanabilirliği daha

düzenli hale gelir. Yüzey kaplama işlemi için gerekli olan aşırı asetilen miktarı alaşım bileşimine bağlı olarak değişir ve oksii-asetilen yelpaze uzunluğu ile iç koni uzunluğu arasındaki oran ile alev şekline bakılarak kolaylıkla anlaşılabilir [75].

Toz kaynağı olarak da adlandırılan elle yapılan toz ilaveli oksii-gaz kaynağı, özel bir oksii-asetilen torcu kullanılarak toz transferinin ve erimenin tek işlemde meydana geldiği oksii-gaz kaynak işleminin biraz değiştirilmiş şeklidir. Toz, gaz kaynak torcu üzerine monte edilmiş küçük bir haznedan beslenir ve alev içinden iş parçası üzerine gönderilir. Bu işlemde sonra uygulanan genel oksii-asetilen yüzey kaplama işlemi ile düz, ince, yoğun tabakalar elde edilir. Tabaka kalınlığı, toz akış oranı ve torç hareketi ile kontrol edilir. Bu işlemde dolayı tabaka içinde % 1-5 oranında dilatasyon meydana gelir [76].

Tungsten karbür içerikli kompozit tozlar 1,5X alevi kullanılarak kaplanır. Nikel esaslı tozlar ise nötr veya az oksitleyici alev ile kaynatılır. Çünkü toz püskürtüldüğü zaman alevin özellikleri biraz değişir. Toz besleme kulpu bastırılmalıdır ve toz püskürtülürken son alev formu oluşur. Çoğu alaşımlar bor ve silisyum içeren bu yöntem ile kaplanır ve burada kolayca kaldırılan cüruf oluşturmak ve temiz kaynak banyosu elde etmek için geçici bir oksit tabakası oluşur [77].

Oksii-asetilen yelpaze uzunluğu, torcun tepe noktasından ara bölgenin en uç noktasına kadar ölçülür ve genellikle iç koni uzunluk katsayısı şeklinde tarif edilir. Böylece bu nötral alev IX olarak sınıflandırılır. Kobalt esaslı tozlar genellikle 2X, 3X alev formu kullanılarak uygulanır. Oksii-asetilen yelpazesi, iç konininkinden iki veya üç defa daha uzundur [78].

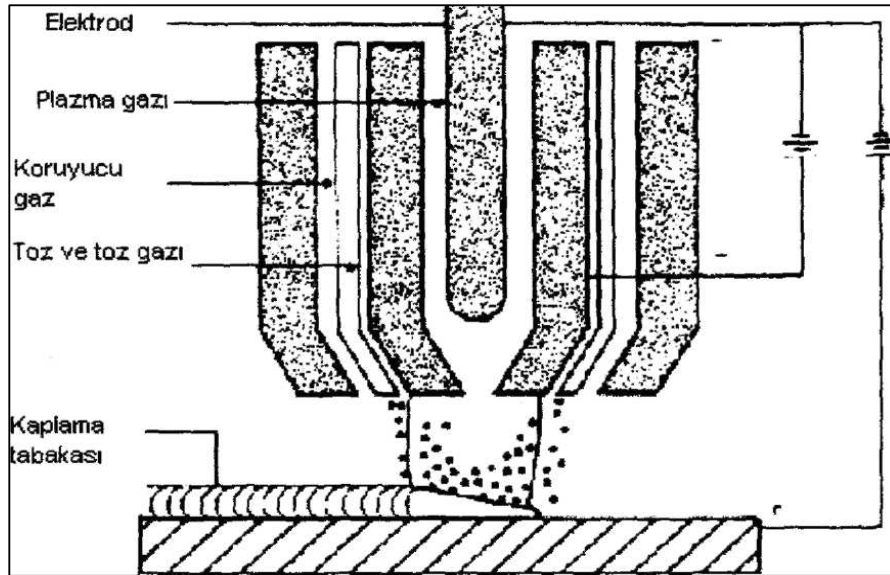
Toz ilave torç kaynağı küçük tamirler ve sertliğin geniş bir aralığının (yaklaşık 20-60 HRC) gerektiği küçük bölgelerin yüzey kaplama işlemi için çok uygundur. Toz ilaveli torç kaynağı genellikle cam kalıplar, tuğla biçimlendirme gereçleri, tuğla endüstrisi elemanları, dökme demir parçalar, besleme vidaları, çekiç tamirleri ve pompa parçalarına uygulanır [79].

6.7.5. Plazma ark kaynağı

Plazma ark kaynağı plazmanın ikincil ısı kaynağı gibi kullanımının etkili olmasıyla TIG yönteminden ayrılır. Plazma, elektrotu çevreleyen nozuldaki gazın iyonlaşması ile oluşur. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işlemi TIG ile yapılan yüzey kaplama işlemine benzer ve her ikisinde de erimeyen tungsten elektrot ve iş parçası arasındaki ark, yüzey kaplama için asıl ısı kaynağı olarak kullanılır.

Plazma ark kaynağında, yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan eriyen elektrotlar gibi örtüsüz çubuk veya tel ile beraber toz da kullanılabilir [80].

Şekil 6.1'de şematik olarak gösterilen plazma ark yüzey kaplama işlemi, tozun iş parçası üzerinde ergimiş bir kaynak banyosu oluşturmak için, birleştirilmiş ark/plazma akımının içine gönderildiği bir kaynak işlemidir [5].



Şekil 6.1.Plazma ark yüzey kaplama işleminin şematik gösterimi [5]

Alaşım toz besleyiciden plazma torcuna bir argon gaz akımı içinde gelir ve bu plazmayı oluşturur ve torçtan ark çıkışına yönelir, burada alaşım erir ve ana metal ile birleşir. Oluşan kaplama tabakası homojendir ve ana metal ile mükemmel bir

metalürjik bağ oluşturur. Tungsten elektrot ile iş parçasına bağlı olan doğru akım güç kaynağı transfer edilen ark için enerji sağlar. Daraltılmış ark ağzı ve tungsten elektroda bağlı ikinci bir doğru akım güç kaynağı transfer edilmeyen arkı destekler. Transfer edilmeyen ark transfer edilen arkin ısısına destek sağlar ve transfer edilen arkı başlatmak için pilot ark görevi üstlenir. Argon, ark bölgesinin içinde ve çevresinde koruyucu gaz görevi sağlamak için bir gaz yayıcı içinden geçirilir [78].

Plazma arkı ile yapılan yüzey kaplama işleminde tek pasoda 0,64–3,2 mm kalınlığında kaplama tabakası oluşturulabilir. Kaplama tabakasında % 5-20 dilatasyon oranı normaldir. Plazma ark kaynağı ile yapılan yüzey kaplama işleminin dezavantajları ise araç-gereçleri pahalıdır ve özel takımların sağlandığı durumlar hariç kullanımı düz veya silindirik parçalar ile sınırlı olmasıdır. torç, sürekli tertibatın gerektiği bir taşıyıcı ray üzerine monte edilmiştir. Bu işlemde kullanılan iki devre vardır; bu yüzden ya özel güç sağlanır ya da iki tane ayrı geleneksel güç ünitesi gerekir. Argon tüketimi bazen TIG kaynağından daha fazladır. Argon, elektrotu korumak için torcun merkezinden temin edilir. Koruyucu gaz kaynak metalini korumak için gereklidir ve argon gazı toz için taşıyıcı olarak da kullanılır. Sert alaşımlarla kaplanan geniş parçalar normalde ön tav ister. Eğer aşırı ön tav ve uzatılmış yüzey kaplama süresi torcun aşırı ısınmasına sebep olursa, bu durum plazma ark kaynağında büyük bir problem oluşturur [79].

6.7.6. Lazer kaynağı

Lazerli kaplama ark veya gaz alevinin aksine yüksek enerjili lazer ışın ısı kaynağının kullanılması ile geleneksel yüzey kaplama işlemlerinden farklıdır. Lazer ışınları ile ince kaplama tabakaları oluşturulabilir veya yüzey kaplama işlemi görmüş yüzeye lazer ile kaplama işlemi torç veya elektrot kullanılarak yapılan işlemlerden daha iyi sonuç verir [80].

Yüzey kaplama malzeme seçimi, malzemenin ana malzeme ile metalürjik uyumuna bağlıdır. Ana malzeme ile gevrek intermetalik faz oluşturan alaşımların kullanımı sakıncalıdır. Geleneksel yüzey kaplama yöntemlerinde, malzemeler metal-metal

teması, çarpma, erozyon ve abrasif aşınma direnci içeren uygulamalarda kullanılır. Kobalt, nikel ve tungsten karbür esaslı yüzey kaplama alaşımında, lazer yüzey kaplama işlemlerinde kullanılan genel kaplama malzemeleridir. Diğer lazer yüzey kaplama malzemeleri titanyum karbür, Fe-Cr-Ni-B alaşımından, alüminyum bronzları ve seramiklerdir. Kaplanacak malzeme karbonlu ve düşük alaşımlı çelikler, paslanmaz çelikler, nikel esaslı alaşımlar, alüminyum, dökme demir ve takım çelikleridir. Kobalt, titanyum ile zararlı intermetalik faz oluşturur ve kobalt esaslı yüzey kaplama alaşımlarının titanyum ana malzeme olduğu durumlarda kullanımı uygun değildir [81]. Lazer ile yüzey kaplama uygulamalarında yüzey kaplama alaşımı bir lazer ışını ile eritilir ve ana malzeme üzerinde serbestçe yayılır ve donar. Işın aynı zamanda çok ince bir tabaka şeklinde ana malzemeyi de ertirir ve bu sıvı kaynak metali ile en az düzeyde birleşir ve güçlü bir metalürjik bağ oluşturmak için katılır [82]. İyi bir ergime bağı 10-20 um kalınlığında bir dilatasyon tabakası ile oluşur. Yüzey kaplama alaşımı birkaç şekilde bulunur. Örneğin; numune yüzeyine bağlayıcı kullanarak veya kullanmaksızın uygulanan ön alaşımlama tozu, alevle püskürtmede kullanılan toz karışımı, plazma püskürtmede kullanılan yüzey kaplama alaşımı gibi. Tabakaların lazerle takviye edilmesi yoğunluğa, düzleşmeye, olukların ana malzemedan uzaklaştırılmasına, kaplama ve ana malzeme arasındaki bağı düzeltilmesine, boşlukların azalmasına sebep olur ve bunların hepsi yüzey kaplama tabakasının mukavemet ve bütünlüğüne katkıda bulunur. Lazer kaplama işlem parametreleri $10-1000 \text{ MW/m}^2$ güç yoğunluğu ve 0,1'den 1sn'ye kadar zaman değerlerine sahiptir. Koruyucu gaz olarak herhangi bir ağır gaz veya He/Ar ve H₂/Ar gibi gaz karışımlar kullanılabilir [83].

Lazerle yüzey kaplama işleminde, özel olarak üretilmiş toz besleme düzeneğinde toz ve yardımcı gaz bir seramik hortum ağzından kaynak bölgesine gönderilir, helyum ve argon koruyucu gazı hortum ağzından ayrılırken toz-gaz karışımını çevreler. Toz dağıtım ağzı kaynak banyosuna tozun akacağı bir şekilde konumlanmıştır. Yatay besleme açısı genellikle 35-45⁰ ve genellikle 3 mm çapındaki besleme tüpü ana malzemedan 10-12 mm mesafelik konumda yerleşmiştir. Toz akış miktarı 0,005-0,1 cm³/sn, partikül hızı 1-2 m/sn ve gaz akış hızı 3-7m/sn'dir. Uygun dilatasyon miktarı % 3-8'dir. Kaplama tabaka kalınlığı 0,15-4 mm arasındadır. Tozun düzenli verilmesi

kaplama tabakasının uniform olmasını sağlar. Plazma püskürtmeli kaplamanın aksine porozite ve erimemiş toz partikülleri bir lazer yüzey kaplama tabakası içinde hemen hemen hiç bulunmaz [84].

Lazer ile iyi özelliklere sahip bir kaplama tabakası oluşturmak isteniyorsa genellikle geniş yelpaze şeklindeki ışın ile veya salınan odaklanmış ışınlar ile yapılmalıdır. Yüzey kaplama malzemeleri çubuk, tel veya levha şeklinde olabilir fakat kullanım probleminden dolayı bazı özel yöntemler gerekir. Uygun ön tav işlemi ile kaynak metalinde oluşabilecek olan termal gerilmeler zararlı çatlak oluşumlara engel olunabilir. Düşük güç yoğunlukları, geniş ışın çapları ve yavaş geçiş oranları çatlaksız kaplama tabakası oluşumunu sağlar [85].

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Malzeme

7.1.1. Supaplar

Tüm deneylerde toplam 180 adet numune kullanılmıştır. Bu numunelerden 108 adeti aşındırma deneylerinde, 72 adeti ise sertlik ve mikroyapı deneylerinde kullanılmıştır.

Deneylerde kaplama yapılan malzeme, valf çeliği olarak adlandırılan yüksek sıcaklığa ve aşınmaya dayanıklı 1.4718 (X45CrSi9-3) kodu ile standartlarda bulunan çeliktir. Bu çeliğin standartlarda gösterimi Çizelge 7.1’de, deneylerde kullandığımız çeliğe ait kimyasal analiz çizelgesi ise Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. 1.4718 (X45CrSi9-3) çeliğinin uluslararası standartlarda gösterilişi [12]

Almanya W-Nr. DIN	Fransa AFNOR	Büyük Britanya B.S.	İtalya UNI	Japonya JIS	Rusya GOST	İspanya UNE	A.B.D. AISI/SAE/ ASTM
1.4718 X45CrSi9- 3	Z 45 CS 9	401 S 45	X 45 CrSi 8	SUH 1	40Ch9S2	F..3220 X 4 SCrSi 09-03	HNV 3

Çizelge 7.2. Deneylerde kullanılan 1.4718 (X45CrSi9-3) çeliğinin kimyasal bileşimi

Analiz	C	Si	Mn	Cr	S
% Ağırlık	0,43	2,73	0,47	8,71	0,001

7.1.2. Kaplama malzemeleri

Deneylerde 4 adet kaplama alaşımı kullanılmış olup bunlardan Stellite kodlu olan 3 alaşım Co esaslı, diğer Ni kodlu olan tek alaşım ise Nikel esaslıdır. Kaplama alaşımları (Ø) 3,2 mm’lik çubuk elektrotlar şeklindedir. Çizelge 7.3’te, deneylerde kullandığımız kaplama alaşımlarına ait kimyasal bileşim tablosu verilmiştir.

Çizelge 7.3. Deneylerde kullanılan kaplama alaşımlarına ait kimyasal bileşim tablosu.

Kaplama Alaşımları	Elementler (% Ağırlık)						
	C	Cr	Co	Ni	W	Fe	Si
Stellite 1	3,85	34,29	39,05	1,50	14,08	1,20	--
Stellite F	1,62	26,40	29	19,46	11,11	0,73	---
Stellite 6	1,44	30,46	34,15	2,92	15,71	2,50	--
Nikel 60	0,42	15,43	---	68,48	---	10,76	4,38

7.2. Metot

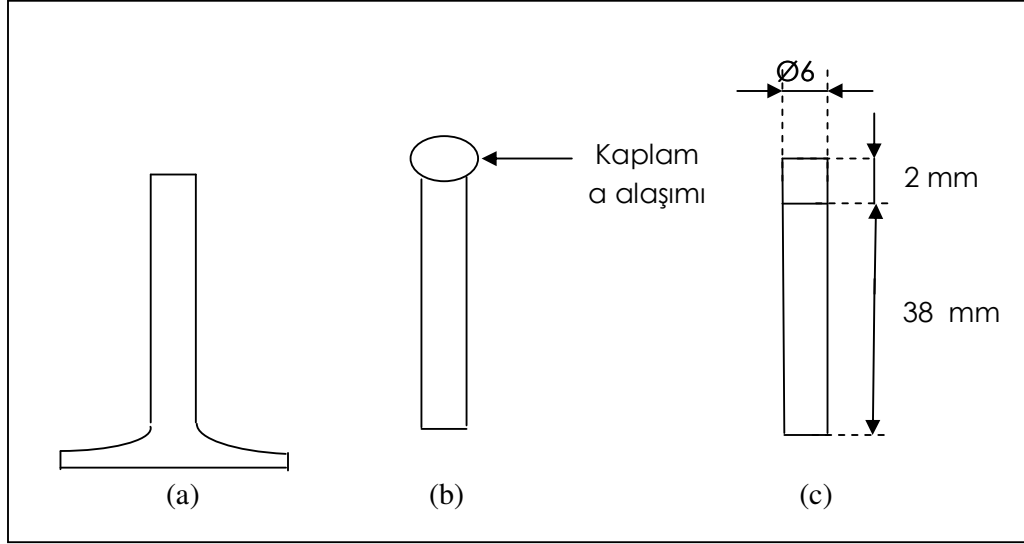
7.2.1. Deney numunelerinin kaynak ile kaplanması

Supapların uç kısımlarına, Stellite 1, Stellite F, Stellite 6 ve Ni 60 alaşımlarıyla TIG kaynak yöntemi kullanılarak, doğru akımda argon koruyucu gaz ortamında, 60 amper akımda ve tek pasoda kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gaz akış hızı 10 litre/dk'dır. Kaplama sonrası malzemeler havada soğumaya bırakılmıştır.

Deney numunelerinin 60 adeti Konya'da Tetik Supap Fabrikalarında kaplanırken, 120 adeti Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Kaynak Eğitimi Anabilim Dalı Laboratuvarlarında kaplanmıştır. Her iki yerde de yaptığımız kaplama işlemlerinde tüm kaynak parametreleri ile kullandığımız kaynak makinesi aynıdır. Numuneler aynı şartlar altında kaplanmıştır.

TIG kaynak yöntemi ile kaplanan supaplar, daha sonra aşınma deneyine uygun hale getirilmek için tornalama işlemine tabi tutulmuşlardır. İlk önce oturma yüzeyleri kesilen supaplar çapı 6 mm, kaplama kalınlığı 2 mm, numune toplam boyu ise 40 mm olacak şekilde tornalanarak aşınma deneylerine hazır hale getirilmiştir Şekil 7.1'de numunelerin kaplama işlemi ve tornalama sonrası şematik görüntüsü verilmiştir.

Aşağıda resimlerde supapların TIG kaynak yöntemiyle kaplanmaları gösterilmektedir (Resim 7.1, 7.2, 7.3).



Şekil 7.1. Supapların deney numunesi olarak hazırlanması. (a) Supap, (b) TIG kaynak yöntemi ile kaplanıp, oturma yüzeyi kesildikten sonra. (c) Deney numunesi son hali.



Resim 7.1. Supapların kaynak öncesi görüntüleri.



Resim 7.2. Supapların TIG kaynak yöntemi ile yüzeylerinin kaplanması.



Resim 7.3. Supapların TIG kaynak yöntemi ile yüzeyleri kaplandıktan sonraki görünümü.

7.2.2. Sertlik deneyleri

Yüzey kaplama yönteminin amacı, herhangi bir ana malzeme yüzeyinde sert bir yüzey tabakası oluşturma işlemi olması nedeniyle kaplanan yüzey tabakasının sertliği büyük önem arz eder. Bu sebepten dolayı hem kaynak yüzeylerinden hem de kaynak yüzeyine dik kesit yönünde ana malzemeden kaplama tabakasının dışına doğru bir dizi sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Sertlik testleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Eğitimi Laboratuvarında bulunan Instron Marka sertlik ölçüm cihazında 0,5 kgf (HV_{0.5}) yük altında her bir noktadan 4'er ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir.

7.2.3. Metalografik çalışmalar

Yüzeyi kaplanan malzemelerin aşınma yüzeylerinin ve kaplama kalınlığının optik mikroskop ve elektron mikroskobunda incelenebilmesi amacıyla yüzeyler standart metalografik yöntemler kullanılarak incelemeye hazır hale getirilmiştir. Daha sonrasında bu numunelerin yüzeylerinin dağlanmasında kobalt esaslı kaplama numuneleri için "5 ml HNO₃ + 5 ml C₂H₄O₂ + 20 ml HCl + 5 ml H₂O" çözeltisi kullanılırken, Nikel esaslı kaplama numunesi için ise "5 gr FeCl + 2 ml HCl + 99 ml etanol" çözeltisi kullanılmıştır.

7.2.4. Tarama elektron mikroskop çalışmaları ve EDS analizleri

Deneyler sonrası numunelerin kaplama yüzeylerinde oluşan aşınmaları daha net bir biçimde görebilmek ve aşınma yüzeylerinde oluşan aşınma çizgileri ve oyuklarının, bölgesel kopmaların karakteristik özellikleri hakkında bilgiler edinmek ve kaplama alaşımlarının aşınma özellikleri hakkında yorum yapabilmek amacıyla tarama elektron mikroskop çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmalar yine Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü Malzeme Eğitimi Anabilim Dalı laboratuvarlarında bulunan X 15– X 300 000

büyütme yapabilen Jeol marka JSM 6060 LV model Tarama Elektron Mikroskobu yardımıyla çeşitli büyütmelelerde çekilmiştir. Ayrıca yine kaplama alaşımlarına ait EDS analizleri 15X–300 000X büyütme yapabilen Jeol marka JSM 6060 LV model Tarama Elektron Mikroskobuna bağlı IXRF systems yardımıyla yapılmıştır.

7.2.5. Aşınma deneyleri

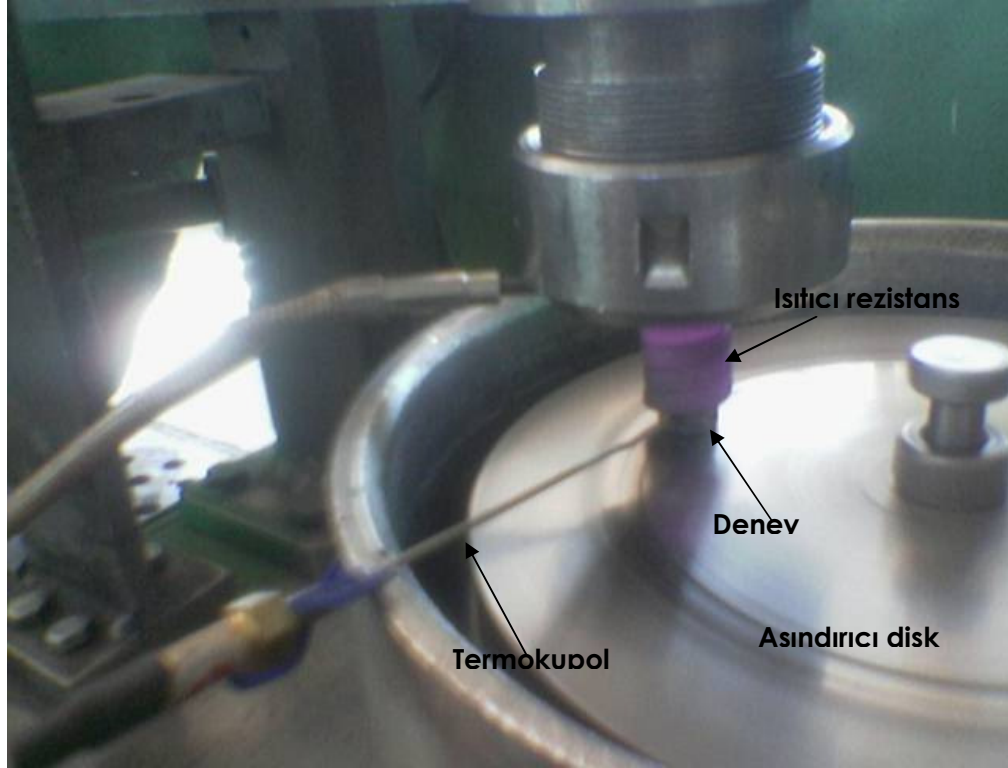
Bu çalışmada, kaplama alaşımları ile kaplanıp, belirlenen ölçülerde (Şekil 7.1) tornada işlenerek aşınma deneyine uygun hale getirilen supaplara, çeşitli parametrelerde abrasif ve adhesif aşınma deneyleri uygulanmıştır.

Adhesif aşınma deneylerinde aşındırıcı olarak 200 mm çap, 15 mm kalınlık, 55 Rc sertlik ve 0,2 µm yüzey pürüzlülüğünde metal disk kullanılmıştır. Numuneler pin-on disk yöntemiyle 10, 25 ve 40 N yük altında, oda sıcaklığında 4400 metre boyunca aşındırılmışlardır. Numunelerin ağırlık kayıpları her 1100 metrede bir ölçülerek aşınma davranışları incelenmiştir.

İkinci deney grubu ise, yine aynı yükler ve aşındırma mesafesinde, aynı aşındırıcı üzerinde fakat 300 ° C sıcaklıkta adhesif aşınma testine tabi tutulmuştur. Yine her 1100 metrede ağırlık kayıpları ölçülerek adhesif aşınma davranışları hakkında bilgiler toplanmıştır. Sıcaklığı sağlayabilmek için Resim 7.4'te verilen düzenek kullanılmıştır. Bu düzenekte, numune çevresini tamamen saran bir ısıtıcı vardır. Numunenin aşındırıcıya temas eden yüzeye yakın yan bölgesinde termokupolun gireceği büyüklükte yuva açılarak termokupol buraya sabitlenmiştir. Termokupol sadece numune uç bölgesi sıcaklığını ölçmekte aşındırıcıya temas etmemektedir.

Üçüncü deney grubu ise, 10, 25 ve 40 N yük altında 400 meshlik bez zımpara üzerinde, oda sıcaklığında ve toplam 10,5 m aşındırma mesafesinde abrasif aşınma testine tabi tutulmuş, 10,5 metre sonunda alaşımlarla kaplı numunelerin toplam aşınma kayıpları incelenmiştir. Kullanılan aşındırıcı Al₂O₃ tipi bez aşındırıcı olduğu için bu aşınmada sıcaklık uygulanamamıştır.

Aşınma özellikleri için ağırlık kaybı metodu uygulanmış ve elde edilen tüm veriler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Resim 7.4'te 300 °c sıcaklıkta yapılan adhesif aşınma deneyleri yapılırken çekilmiş bir görüntü verilmiştir. Termostat ortam sıcaklığını 300 °c sıcaklıkta tutmuştur. Çalışma sıcaklığı 300 °c (± 5 °c)'dir.

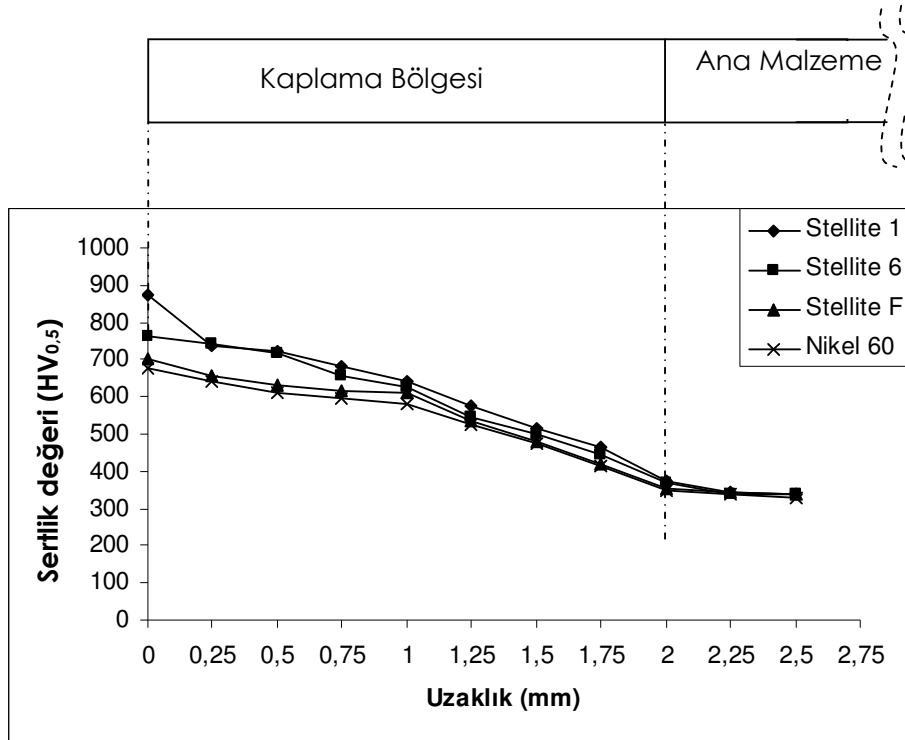


Resim 7.4. 300 °C sıcaklıkta numunelere uygulanan adhesif aşınma deneyi.

8. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

8.1. Sertlik Sonuçları

Sertlik ölçümleri numunelerin boyuna kesitleri alınarak kaplama ile ana malzeme arasında 0,25mm'lik mesafe aralığında yapılmıştır. Sertlik ölçümlerinde kaplamanın yüzeyi 0 noktası olarak kabul edilmiş ve ana malzemeye doğru her 0,25 mm aralıklarla yapılan 5'er ölçümün ortalamaları alınarak değerler elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler Şekil 8.1'de numunelerin kaplama sonrası kaplama bölgesinden ana malzemenin merkezine doğru enine sertlik değişim grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 8.1. Numunelerin kaplama yüzeyinden merkezine doğru enine sertlik değerleri.

Şekil 8.1'deki sertlik grafiği incelendiğinde tüm numunelerde 0 kabul edilen kaplama üst yüzeyinden ana malzemeye doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Sertlik değerlerindeki bu düşüşün kimyasal bileşimdeki farklılığa bağlı olduğu, üst yüzeyde tamamen kaplama alaşımından bir yapı varken, ana

malzemeye doğru gidildikçe kimyasal yapıda 1.4718 çeliğine ait alaşımların da varlığı ile sertliğin düştüğü düşünülmektedir. Sertlik değerlerindeki azalma üst yüzeyden 2 mm sonra ana malzeme ile kaplama alaşımı birleşme çizgisine kadar devam etmiş, ana malzemede benzer sertlik değerleri elde edilmiştir. Literatürde benzer çalışmalarda da aynı sonuçlar elde edilmiştir. Çömez [5], çalışmasında sertlik değerlerinin ana malzemeden kaplama alaşımına doğru gidildikçe arttığını, en yüksek sertliğe en üst kısımda ulaşıldığını söylemiştir. Yine Çöğür [86] çalışmasında kaplanan numunelerde, kaplama üst yüzeyi ile ana malzeme arasında sertlik farkının olduğunu ve ana malzemeye gidildikçe sertlik değerlerinde azalma olduğunu belirtmiştir.

Stellite 1 numunesinde kaplama uç kısmında 875 HV_{0,5} sertlik değeri elde edilirken, 1 mm sonra bu değer 643 HV_{0,5}'ye, 2 mm sonra ise 376 HV_{0,5}'ye düşmüştür. Daha sonra ana malzeme bölgesinde yapılan sertlik ölçümlerinde ortalama olarak 340 HV_{0,5} sertlik değeri elde edilmiştir.

Stellite F numunesinde en yüksek sertlik değeri en uç kısımda 703 HV_{0,5} olarak tespit edilmiştir. 1 mm sonra bu değer 609 HV_{0,5}'ye, kaplama-ana malzeme sınırında ise 354 HV_{0,5}'ye düşmüştür.

Stellite 6 numunesinde ise kaplama uç kısmında 762 HV_{0,5}, 1 mm sonra 627 HV_{0,5} ve 2 mm sonra ise 369 HV_{0,5} sertlik değerleri elde edilmiştir.

En düşük sertlik değerleri elde edilen nikel 60 numunesinde kaplamanın en uç kısmında 675 HV_{0,5}, uç kısımdan ana malzemeye doğru 1 mm uzaklıkta 581 HV_{0,5}, ve sınırda ise 350 HV_{0,5} sertlik değerleri elde edilmiştir.

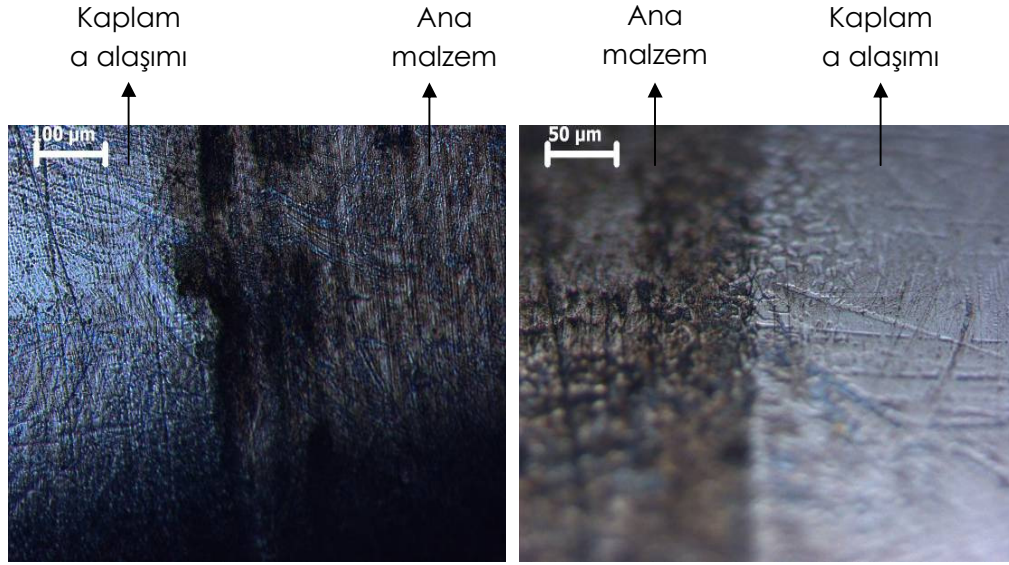
Numuneler sertlik değerleri bakımından birbiri ile kıyaslandığında en yüksek sertliğe stellite 1 numunesinde ulaşıldığı tespit edilmiştir (Şekil 8.1). Daha sonra sırasıyla stellite 6 ve stellite F'de en yüksek sertlik değerleri elde edilirken, en düşük değerler ise nikel 60 numunesinde elde edilmiştir.

Sertlik deęerlerinde alařımın içerdięi C, Cr, Co, W ve Ni'in etkili olduęu, kaplama alařımının içerdięi C, Cr ve Co oranının artmasına baęlı olarak sertlięinin arttıęı, yine Ni oranının artması, Cr ve Co oranının azalmasıyla birlikte alařımın sertlięinin dūřtūęu gōrūlmūřtur. Numunelere ait kimyasal bileřim tabloları incelendięinde en yūkses sertlięe sahip olan stellite 1 numunesinin en yūkses Cr ve Co oranına sahip olduęu gōrūlmektedir. Ayrıca numunelerde C, Cr ve Co oranının azalmasıyla birlikte sırasıyla stellite 6 ve stellite F numunesinde sertlięin dūřtūęu, en yūkses Ni ve en dūřuk Cr, Co oranına sahip Nikel 60 numunesinde ise en dūřuk sertlik deęerlerinin elde edildięi gōrūlmūřtur.

Benzer konuda daha ōnce yapılmıř çalıřmalar incelendięinde Kiper [87], yaptıęı deneyler ve incelemeler sonucunda yūkses karbonlu elik kaplamaların, dūřuk karbonlu elik kaplamalarına nazaran daha yūkses sertlięe sahip olduęunu sōylemiřtir.

8.2. Mikroyapı Sonuçları

Resim 8.1'de numunelere ait ana malzeme-kaplama ara yūzeyi mikroyapı fotoęrafları verilmiřtir. Fotoęraflarda koyu renkli bōlge ana malzemeyi, açık renkli bōlge ise kaplama malzemesini gōstermektedir. Būttūn yūzeylerde benzer ara yūzeyler elde edildięi için ōrnek olması için sadece 2 farklı būyūtmedeki gōrūntū verilmiřtir.



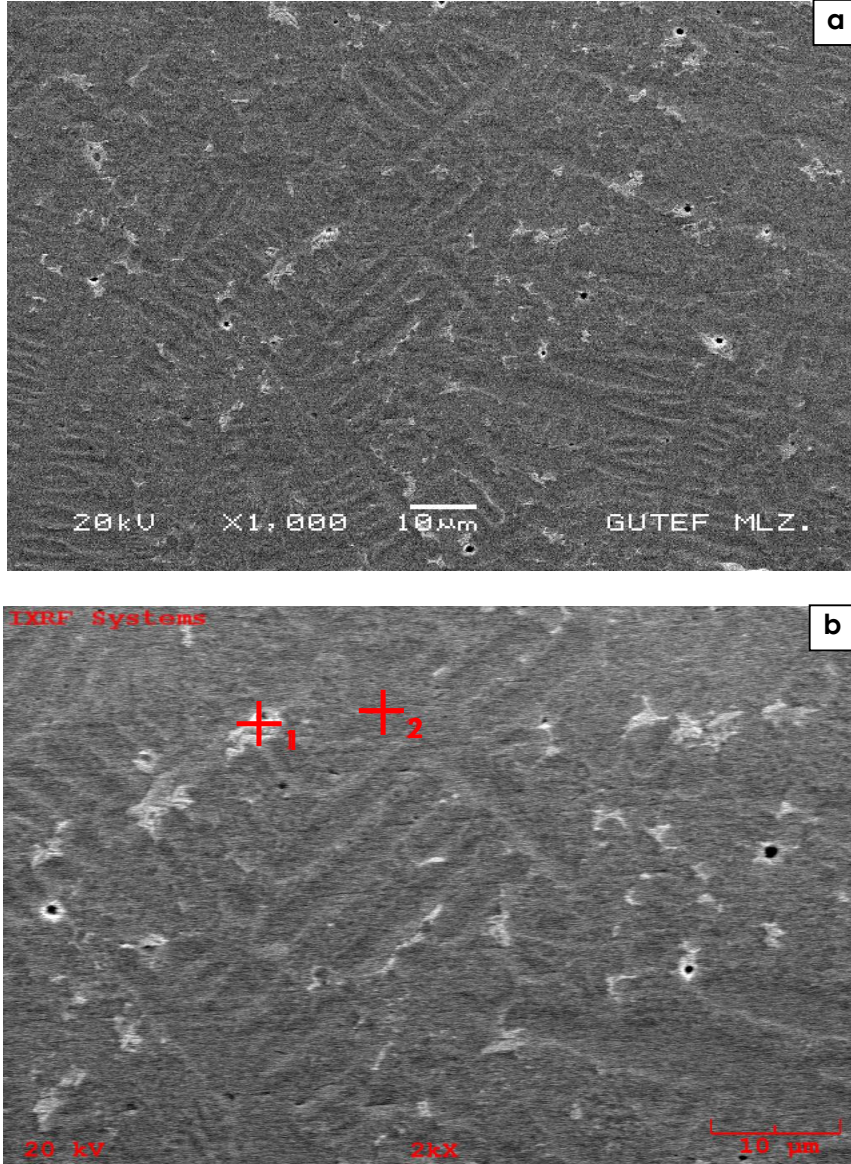
Resim 8.1. Kaplama-ana malzeme ara yüzey mikroyapı fotoğrafları.

Resim 8.1 incelendiğinde ana malzeme ile kaplama malzemesi arasındaki birleşme çizgisi net olarak gözükmeyle birlikte çizgi üzerinde yer yer ana malzeme ile alaşımın birbirleri içerisine girdiği bölgelerin de var olduğundan söz edebiliriz Ana malzemenin koyu renkli olmasının en büyük nedeni kaplama malzemeleri genelde Co esaslı sert alaşımlar oldukları için daha kuvvetli dağlayıcılar seçilmesi ve seçilen dağlayıcıların ana malzemeyi yakmasıdır.

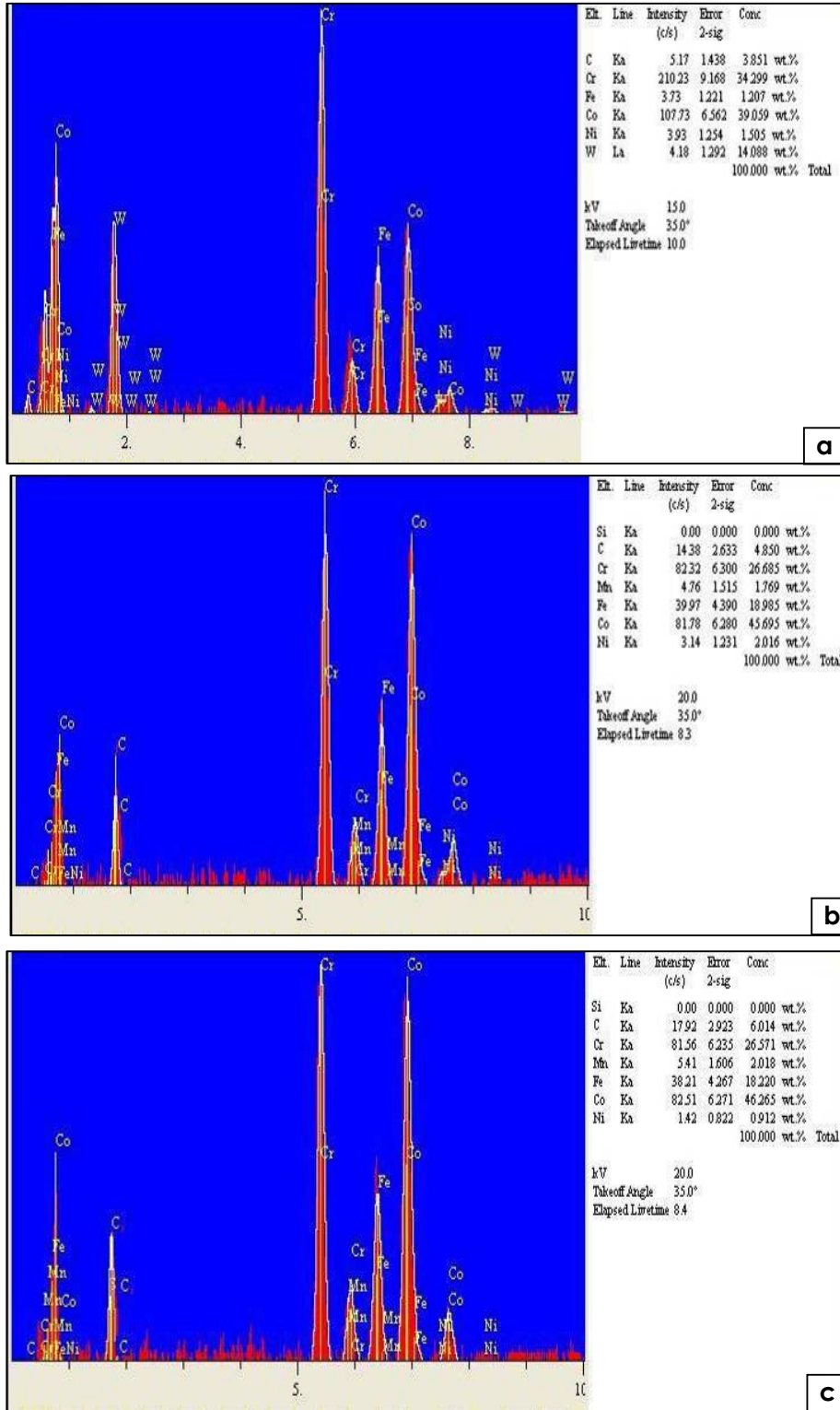
8.2.1. Kaplama alaşımlarına ait mikroyapı fotoğrafları ve EDS analizleri.

Resim 8.2–8.5'te SEM ile çekilmiş mikroyapı fotoğrafları verilmiştir. Mikroyapı fotoğrafları yorumlanırken Şekil 8.2–8.5'te verilmiş olan yine tüm kaplama alaşımlarına ait EDS analiz sonuçları ile birlikte elimizde var olan daha önceki çalışmalara ve stellite alaşımlarına ait katalog bilgileri ile deneylerde kullandığımız kaplama alaşımlarına ait kimyasal analiz sonuçları dikkate alınmıştır. Yapılan değerlendirmelerde bilgilerin birbirleri ile örtüştüğü ve birbirlerini desteklediği belirlenmiştir.

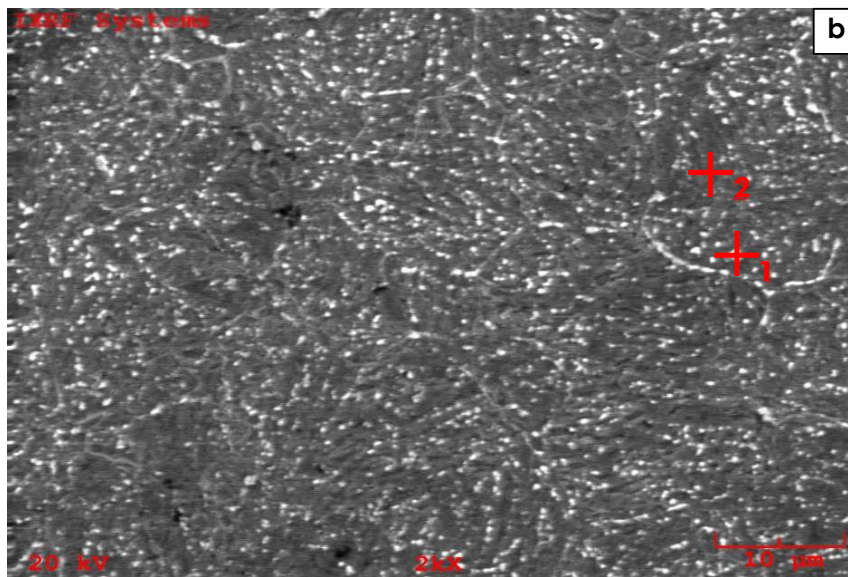
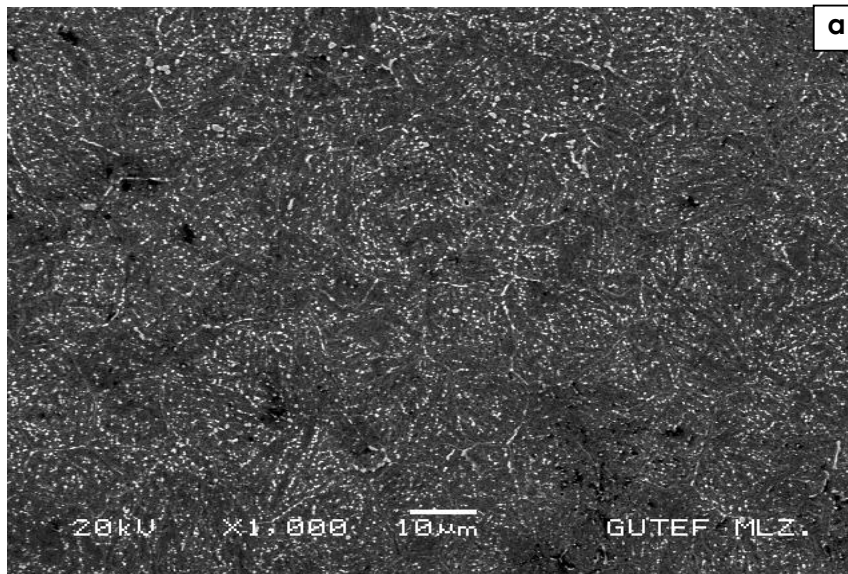
Kaplanan deney numunelerinin yüzeyleri zımparalanıp, parlatıldıktan sonra dağlanmış ve SEM yardımı ile mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Yine çekilen bu fotoğraflardan IXRF Sistem yardımı ile EDS analizleri yapılmıştır. Tüm numunelerde ilk önce tüm yüzeyden daha sonra gerekli görülen nokta ve bölgelerden EDS analizleri yapılmıştır.



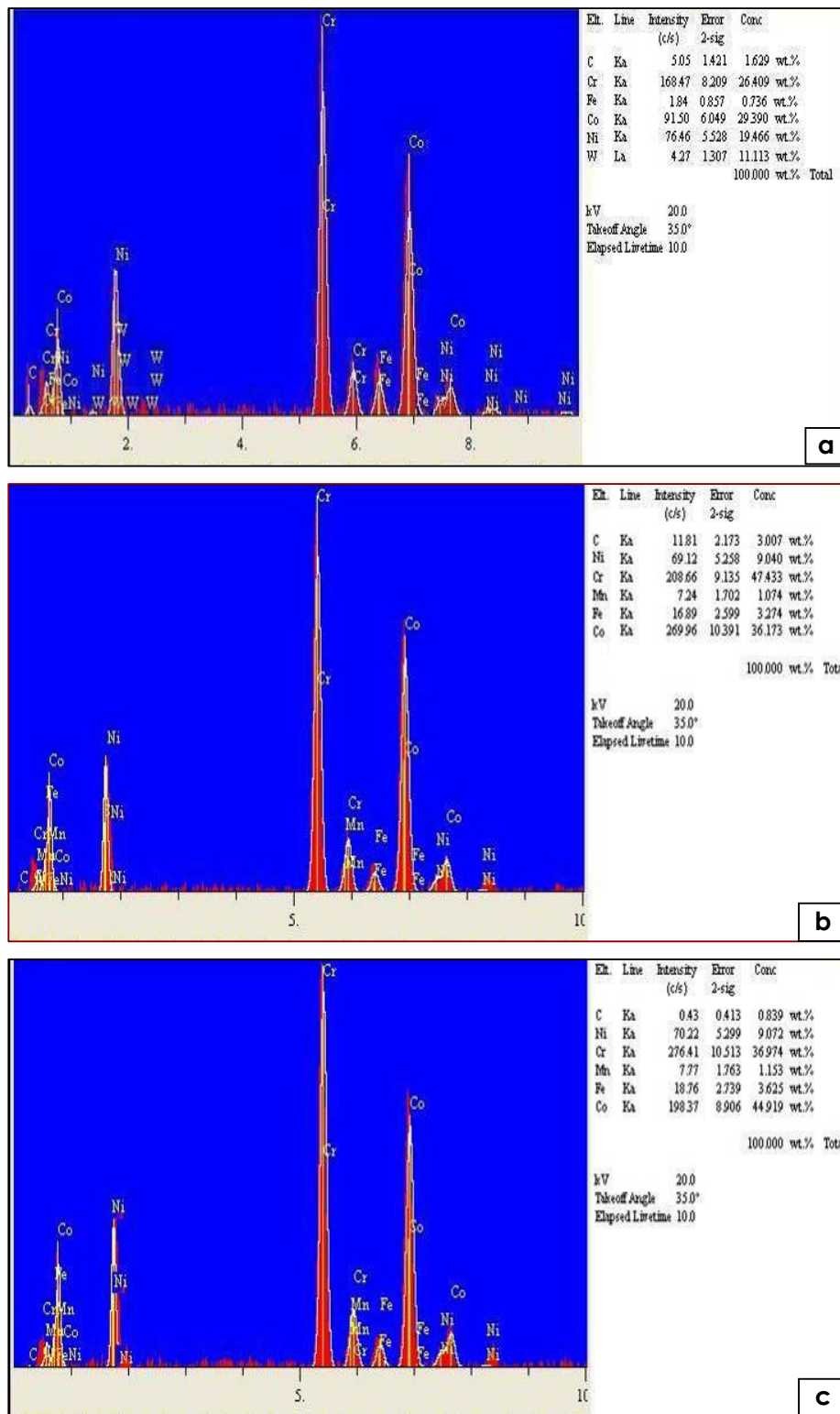
Resim 8.2. Stellite 1 kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları. (a) Genel yapı, (b) EDS analizi için.



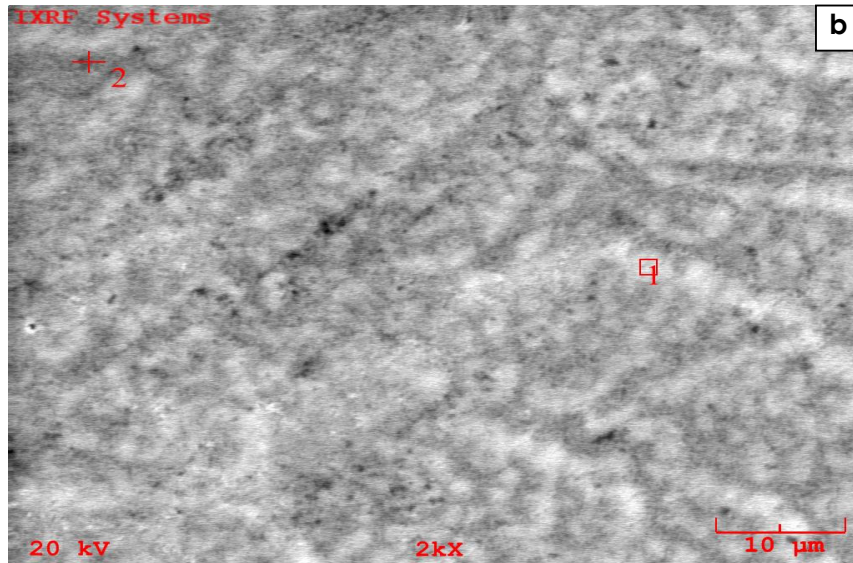
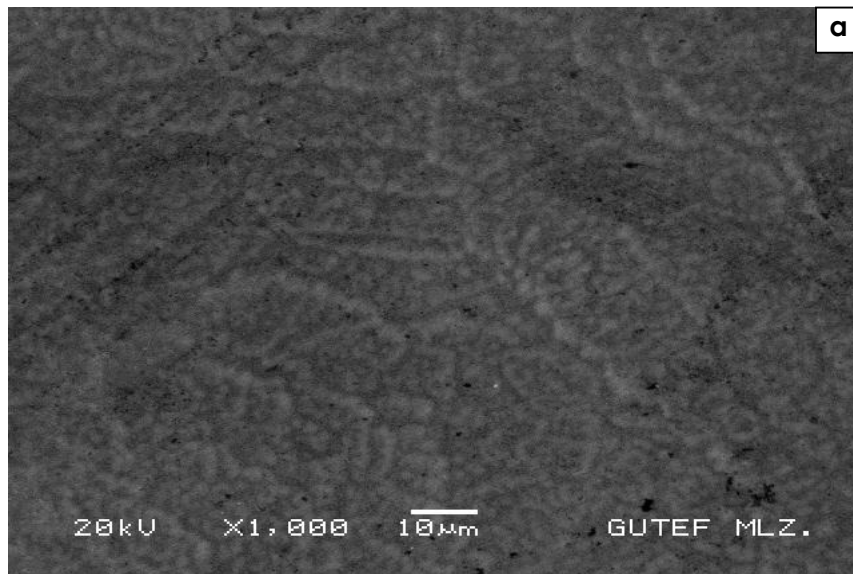
Şekil 8.2. Stellite 1 numunesine ait EDS analiz grafikleri. (a) Tüm alan, (b) 1 no'lu nokta, (c) 2 no'lu nokta analizi.



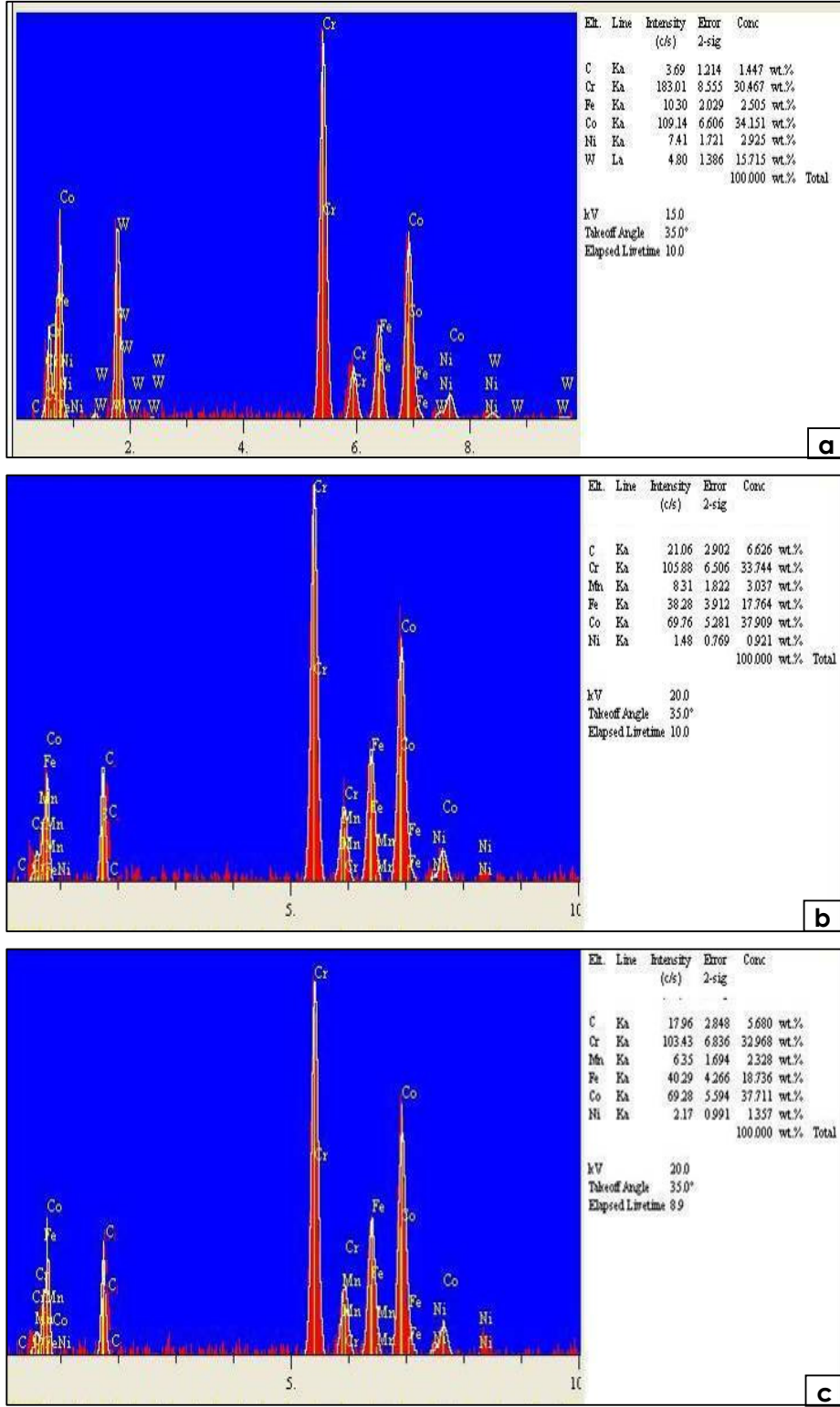
Resim 8.3. Stellite F kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları. (a) Genel yapı, (b) EDS analizi için.



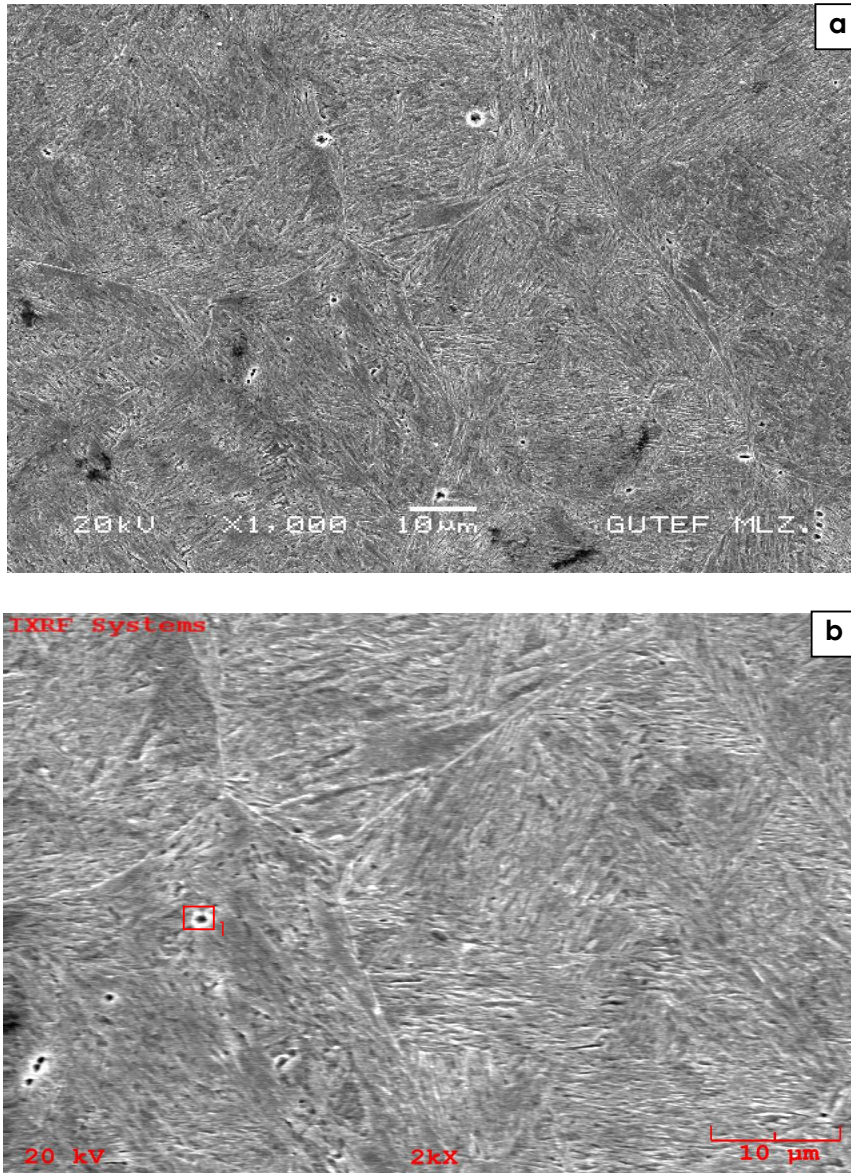
Şekil 8.3. Stellite F numunesine ait EDS analiz grafikleri. (a) Tüm alan, (b) 1 no'lu alan, (c) 2 no'lu nokta analizi



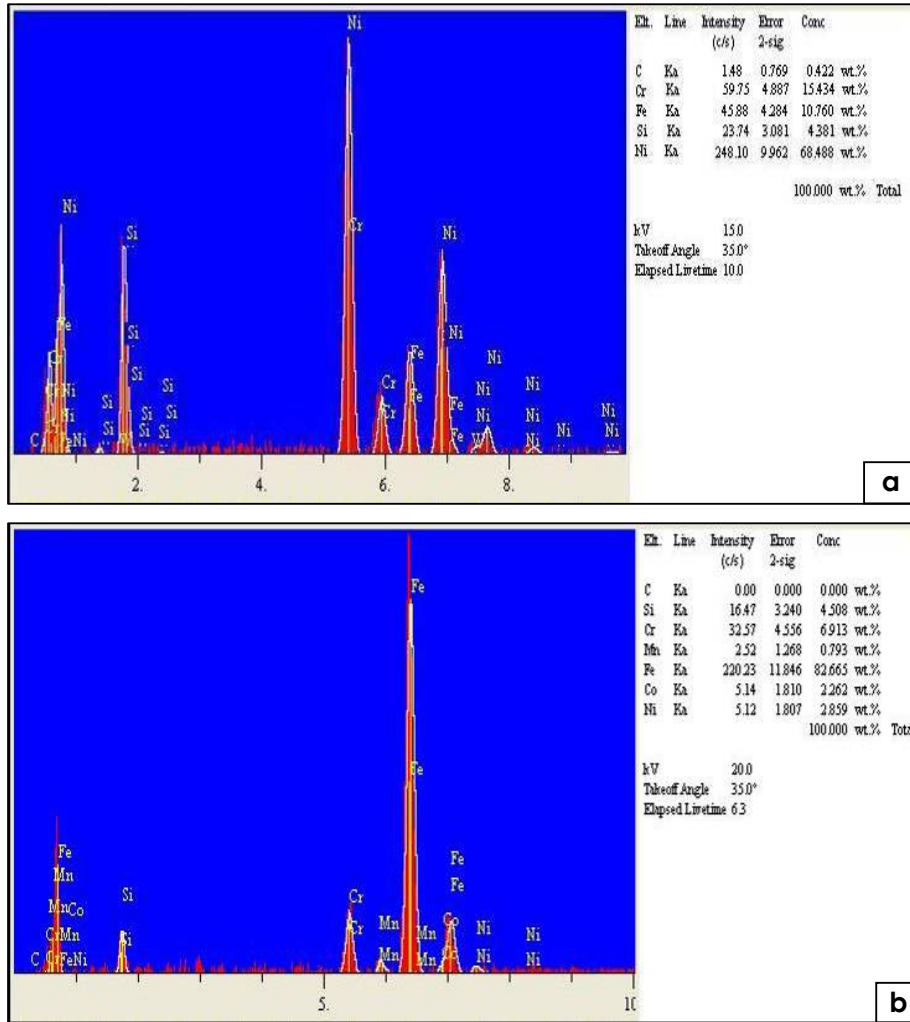
Resim 8.4. Stellite 6 kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları. (a) Genel yapı, (b) EDS analizi için.



Şekil 8.4. Stellite 6 numunesine ait EDS analiz grafikleri. (a) Tüm alan, (b) 1 no'lu alan, (c) 2 no'lu nokta analizi



Resim 8.5. Nikel 60 kaplama alaşımına ait mikroyapı fotoğrafları. (a) Genel yapı, (b) EDS analizi için.



Şekil 8.5. Nikel 60 numunesine ait EDS analiz grafikleri. (a) Tüm alan, (b)1 no'lu alan.

Resim 8.2'-a'daki Stellite 1 numunesine ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde dendritik yapının varlığından söz edebiliriz. Daha önce yapılan çalışmalarda da Stellite 1 alaşımının Co matris yapı içerisinde W ve Cr karbürlerinden oluşmuş, ötektik üstü bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir [2,12]. Şekil 8.2-a'da Resim 8.2-b'ye bağlı tüm alana ait EDS analizi incelendiğinde % 39,59 Co, % 34,29 Cr, % 14,08 W, % 1,50 Ni, ve % 3,85 C oranına sahip olduğu görülmektedir. Yapılan EDS analiz çalışmalarında da yapıda Co ve Cr'un oldukça yoğun bir şekilde var olduğunu, C ve W'nin de yapıda bulunduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yine Şekil 8.2-b üzerinden alınan 1 numaralı noktaya ait EDS analizi Resim 8.2-b incelendiğinde % 4,85 C, %

26,68 Cr, % 18,98 Fe, % 45,69 Co, % 2,01 Ni'in var olduğu, Resim 8.2-c'de 2 numaralı alana ait EDS analizi incelendiğinde ise % 4,01 C, % 26,57 Cr, % 18,22 Fe, % 46,26 Co ve % 0,91 Ni içerdiği tespit edilmiştir. Yine Co matris yapı içerisinde Cr ve C'nun varlığını sürdürdüğü görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalar ve elde edilen EDS analizleri göz önüne alındığında bu noktaların karbür olduğu düşünülmektedir.

Resim 8.3-a stellite f numunesine ait mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde daha önce yapılan çalışmalara ve yapılan EDS analiz sonuçlarına bağlı olarak yine kobalt matris yapı içerisinde karbürlerin dağıldığını söyleyebiliriz. Bu konuda daha önce yapılan çalışmalarda stellite F alaşımının Cr ve W karbürlerine sahip, östenitten oluşmuş ötektikaltı bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir [2, 12]. Şekil 8.3-a'daki stellite F numunesine ait tüm alan EDS analiz grafiği incelendiğinde yapıda % 29,39 oranında Co, % 26,40 oranında Cr, % 0,73 oranında Fe, % 19,46 oranında Ni, % 1,62 C ve % 11,11 oranında W bulunduğu görülmektedir. EDS analizi incelendiğinde Stellite 1 ve Stellite 6 numunesine göre C, Co ve W oranının düştüğünü, östenitliği arttıran Ni oranının arttığı tespit edilmiştir. Yine Resim 8.3-b üzerinde gösterilmiş olan 1 numaralı beyaz noktaya ait EDS analizi incelendiğinde (Şekil 8.3-a) yapıda % 3 C, % 9,04 Ni, % 47,43 Cr, % 3,27 Fe ve % 36,17 oranında Co'nun var olduğu, Şekil 8.3-b'de verilen 2 numaralı noktaya ait EDS analizinde ise % 0,83 C, % 9,07 Ni, % 36,97 Cr, % 3,62 Fe ve % 44,91 oranında Co'nun var olduğu tespit edilmiştir.

Resim 8.4-a'daki stellite 6 alaşımına ait SEM mikroyapı fotoğrafında yine dendiritik bir yapının varlığından söz edebiliriz. Bu alaşıma ait yapılan çalışmalarda, yine Co esaslı yapı içerisinde Cr ve W karbürlerinden oluşumu bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir [2,12]. Resim 8.4-b'ye bağlı tüm yüzey alanından elde edilen EDS analiz grafiği Şekil 8.3-a incelendiğinde yapıda % 30,46 oranında Cr, % 2,50 oranında Fe, % 34,15 oranında Co, % 2,92 oranında Ni ve % 15,71 oranında W bulunduğu görülmektedir. Bu alaşıma ait EDS analiz sonuçları incelendiğinde yüksek oranda Co, Cr ve W oranına sahip olduğunu, fakat Stellite 1 numunesine göre Co, Cr ve C oranının azaldığı tespit edilmiştir. Resim 8.4-b üzerinde gösterilen 1 numaralı alana ait EDS analizi incelendiğinde (Şekil 8.4-b), % 6,62 C, % 33,74 Cr,

% 17,76 Fe, % 37,90 Co ve % 0,92 oranında da nikelin var olduğu, yine Resim 8.4-b' üzerindeki 2 numaralı noktaya ait EDS analizi incelendiğinde ise % 5,68 C, % 32,96 Cr, % 18,73 Fe, % 37,71 Co ve % 1,35 oranında nikel içerdiği görülmektedir. Yapılan EDS analizleri ve daha önceki çalışmalar ışığında Co matrisli yapıda bu noktaların karbür olduğu düşünülmektedir.

Resim 8.5-a'daki Nikel 60 numunesine ait SEM mikroyapı fotoğrafı incelendiğinde tane sınırlarının net olarak gözüktüğü görülmektedir. Yapılan çalışmalarda Nikel 60 alaşımının östenitik ötektikaltı bir yapıya sahip olduğu belirtilmiştir [2,12]. Şekil 8.5-a'daki tüm yüzeyden elde edilmiş olan EDS analizini incelediğimizde yapıda % 68,48 oranında Ni, % 15,43 oranında Cr, % 10,76 oranında Fe, % 4,38 oranında Si ve % 0,42 oranında C bulunduğunu görüyoruz. Resim 8.5-b üzerinde belirtilen 1 numaralı alana ait EDS analizi Şekil 8.5-b incelendiğinde % 4,50 Si, % 6,91 Cr, % 82,66 Fe, % 2,26 Co ve % 2,85 oranında nikelin var olduğu görülmektedir. Nikel 60 numunesinde diğer alaşım elementlerine göre Ni oranının çok büyük oranda arttığı, ayrıca Si ve Fe oranının da bir miktar arttığı, Cr ve C oranının düştüğü tespit edilmiştir. Nikel oranındaki artışın östenitliliği artırdığı, C oranındaki düşüşün de yapıyı ötektikaltı yaptığı görülmüştür.

8.3. Aşınma Davranışları

8.3.1. Adhesif aşınma davranışları

Daha önce aşınma üzerine yapılmış çalışmalara bağlı olarak belirlediğimiz 10, 25 ve 40 N yük altında pin-on disk yöntemiyle hem oda sıcaklığında hem de 300 °C'de adhesif aşınma deneyleri yapılmıştır. 4400 metre sonunda elde edilen toplam ağırlık kaybı değerlerine bağlı olarak elde edilen aşınma grafikleri birlikte verilerek numunelere ait adhesif aşınma davranışları incelenmiştir.

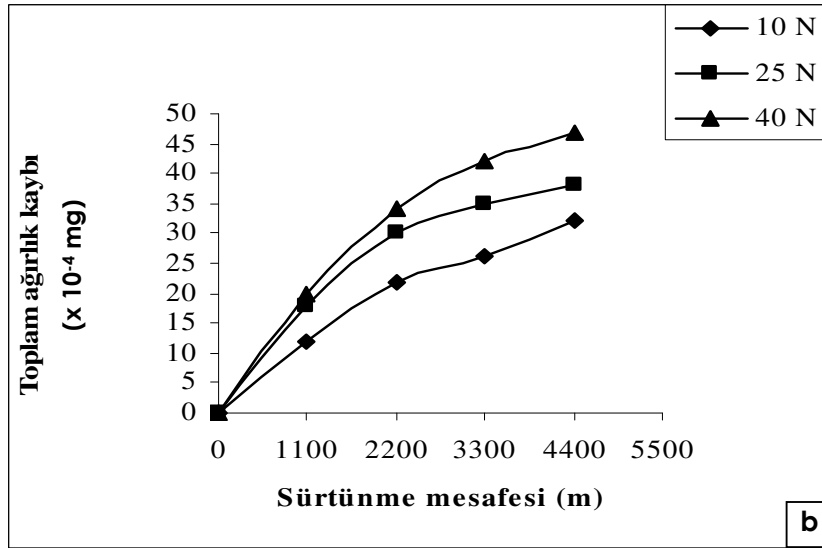
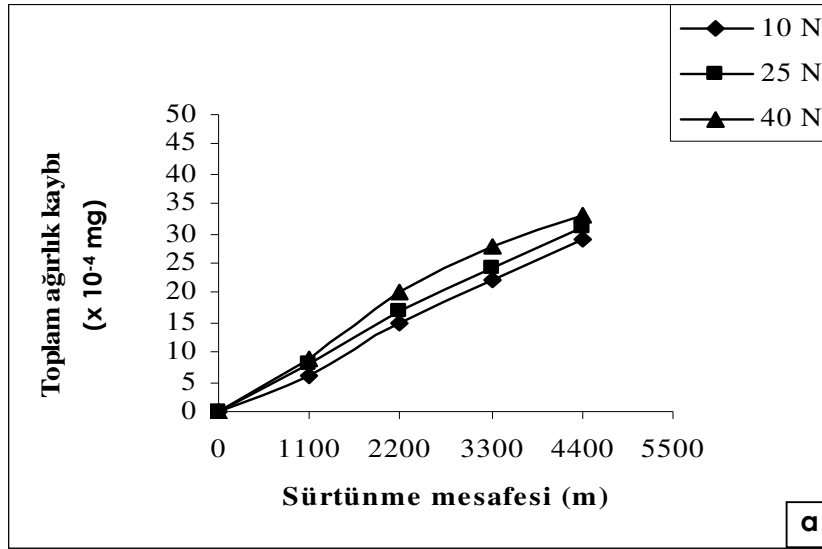
Deneylerde her bir numunenin aşınma öncesinde ağırlıkları ölçülmüş ve yapılan deneyler sonrasında da her bir yük altında ve her bir mesafe sonunda bu ölçümler tekrar yapılarak ağırlık kaybı metoduyla numunelerinin aşınma davranışları

incelenmiştir. Elde edilen tüm aşınma kaybı değerleri grafiklerde ($\times 10^{-4}$ mg) oranında verilmiştir.

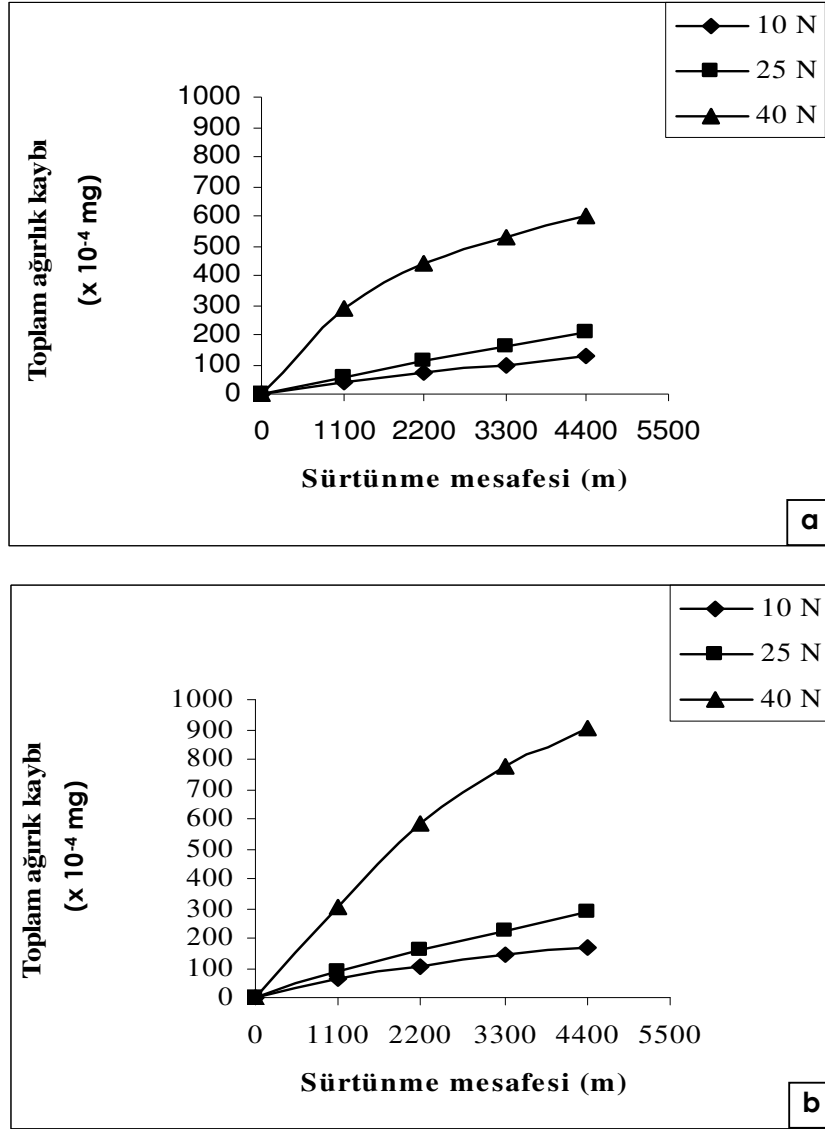
Çizelge 8.1'de numunelere ait sürtünme mesafelerine ve uygulanan yüke bağlı toplam aşınma kaybı değerleri ($\times 10^{-4}$ mg) verilmiş ve bu tablolara bağlı aşınma grafikleri çizilmiştir.

Çizelge 8.1. Numunelere ait yüke ve sürtünme mesafesine bağlı adhesif aşınma toplam ağırlık kaybı değerleri.

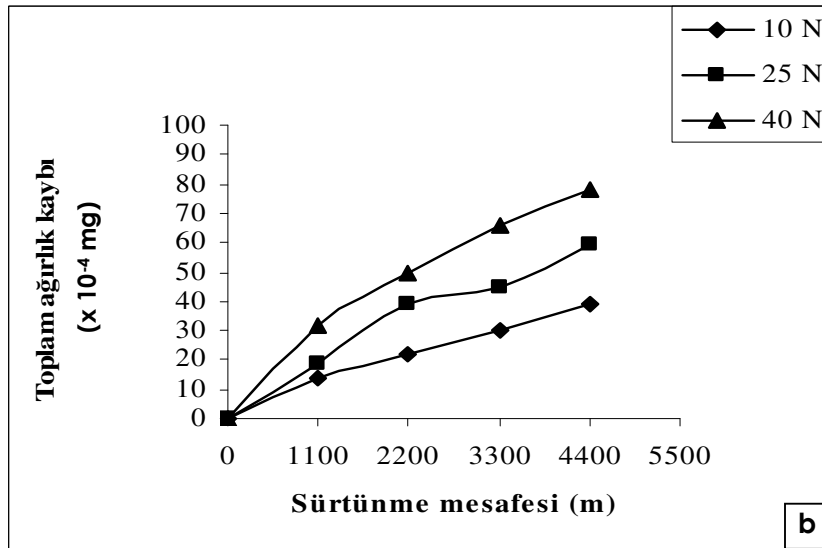
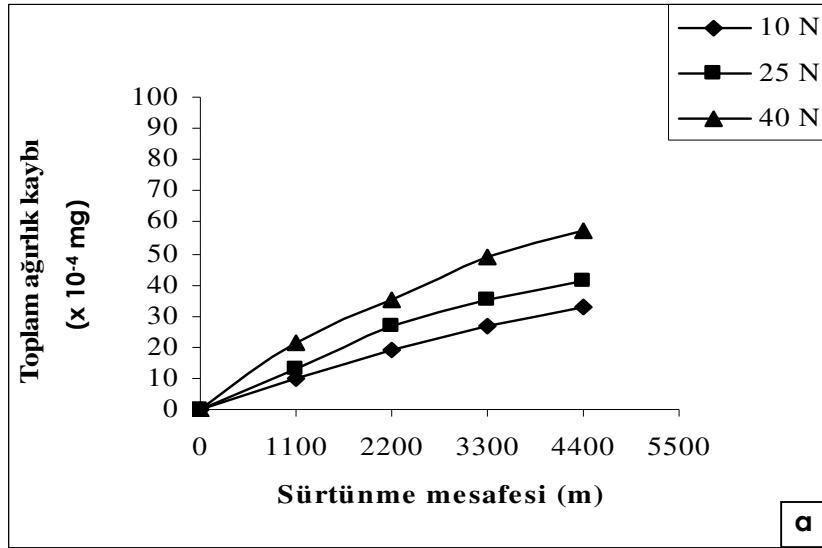
	Sürtünme Mesafesi (m)	Oda sıcaklığında			300 °C sıcaklıkta			Toplam ağırlık kaybı ($\times 10^{-4}$ mg)
		Uygulanan yük (N)			Uygulanan yük (N)			
		10	25	40	10	25	40	
Stellite 1	1100	6	8	9	12	18	20	
	2200	15	17	20	22	30	34	
	3300	22	24	28	26	35	42	
	4400	29	31	33	32	38	47	
Stellite F	1100	44	57	286	62	87	305	Toplam ağırlık kaybı ($\times 10^{-4}$ mg)
	2200	74	112	438	102	157	581	
	3300	100	162	530	143	225	773	
	4400	130	210	602	171	290	906	
Stellite 6	1100	10	13	21	14	19	32	Toplam ağırlık kaybı ($\times 10^{-4}$ mg)
	2200	19	27	35	22	39	50	
	3300	27	35	49	30	45	66	
	4400	33	41	57	39	59	78	
Nikel 60	1100	30	49	124	42	63	142	Toplam ağırlık kaybı ($\times 10^{-4}$ mg)
	2200	66	100	274	87	118	302	
	3300	94	137	372	124	161	412	
	4400	118	172	461	157	202	508	



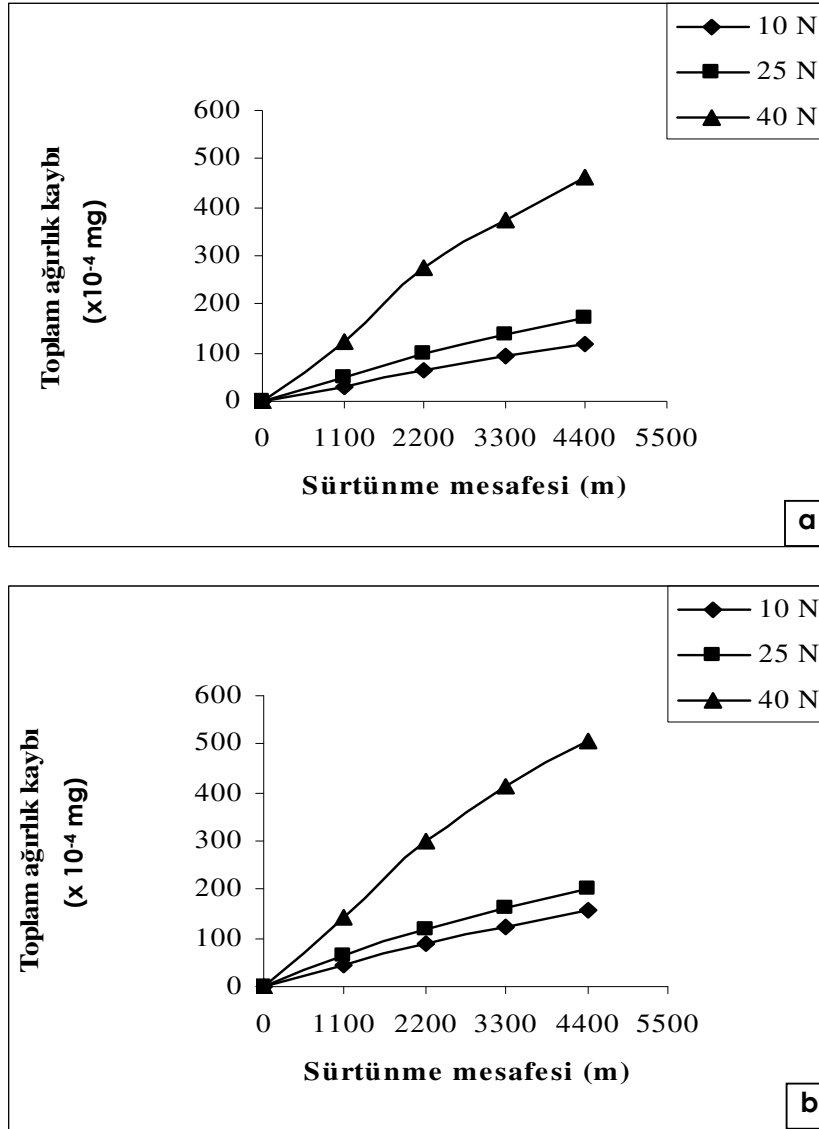
Şekil 8.6. Stellite 1 numunesine ait adhesif aşınma grafikleri.(a) Oda sıcaklığında (b) 300 °C sıcaklıkta.



Şekil 8.7. Stellite F numunesine ait adhesif aşınma grafikleri. (a) Oda sıcaklığında, (b) 300°C sıcaklıkta.



Şekil 8.8 Stellite 6 numunesine ait adhesif aşınma grafikleri. (a) Oda sıcaklığında, (b) 300 °C sıcaklıkta.



Şekil 8.9. Nikel 60 numunesine ait adhesif aşınma grafikleri. (a) Oda sıcaklığında, (b) 300 °C sıcaklıkta.

Çizelge 8.1’de elde edilen değerlere bağlı olarak çizilen Şekil 8.6-a’daki stellite 1 numunesine ait aşınma grafiği incelendiğinde 10 N yük altında ilk 1100 metrede sadece 6×10^{-4} mg’lık ağırlık kaybı oluşurken daha sonraki 1100 metrede 9×10^{-4} mg, üçüncü 1100 metrede 7×10^{-4} mg daha aşınmış ve 4400 metre sonunda 29×10^{-4} mg toplam ağırlık kaybına uğramıştır. Ağırlık kaybı miktarı sürtünme mesafesi arttıkça artmıştır.

Aynı durum 25 N ve 40 N yük altında yapılan aşınma deneylerinde de görülmüştür. 25 N yük altında ilk 1100 metrelik aşınma mesafesinde 8×10^{-4} mg'lık bir ağırlık kaybı tespit edilmişken, her 1100 metrede yapılan ölçümlerde ağırlık kaybında artışın devam etmiş ve 4400 metre sonunda 31×10^{-4} mg toplam ağırlık kaybı meydana gelmiştir.

Yine 40 N'luk yük altında yapılan deneylerde de ilk 1100 metrelik mesafede 9×10^{-4} mg'lık bir ağırlık kaybı elde edilirken, 4400 metre sonunda toplam ağırlık kaybı miktarı 33×10^{-4} mg'a ulaşmıştır.

Stellite 1 numunesinde oda sıcaklığında yapılan adhesif aşınmada toplam ağırlık kaybının artan sürtünme mesafesi ve uygulanan yük miktarındaki artışa bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir.

Şekil 8.6-b'deki stellite 1 numunesine ait 300 °C sıcaklıkta yapılan adhesif aşınma grafiği incelendiğinde benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür. Sürtünme mesafeleri arttıkça toplam ağırlık kayıpları artmış, 4400 metre sonunda 10 N yük altında 32×10^{-4} mg, 25 N yük altında 38×10^{-4} mg ve 40 N yük altında 47×10^{-4} mg toplam ağırlık kaybı değerleri elde edilmiştir. Yine burada da toplam ağırlık kaybında artan sürtünme mesafesine ve uygulanan yük miktarına bağlı olarak artış meydana geldiği görülmüştür.

Şekil 8.6-a ve b'de verilen aşınma grafikleri incelendiğinde ortam sıcaklığındaki değişimin toplam ağırlık kaybı miktarlarını etkilediği, tüm yükler altında aşınma ortamındaki sıcaklığın, oda sıcaklığından 300 °C'ye çıkartılmasıyla toplam aşınma kaybı değerlerinin de arttığı görülmüştür.

Oda sıcaklığında yapılan adhesif aşınma deneylerinde belirlenen parametrelerin numunelerin aşınma davranışları üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Numunelere ait Çizelge 8.1'de verilen değerlere bağlı olarak çizilen aşınma grafikleri incelendiğinde (Şekil 8.6-a, 7-a, 8-a ve 9-a) her 1100 metre sonunda yapılan ölçümler sonucunda sürtünme mesafesi arttıkça toplam ağırlık kaybı miktarlarının arttığı tespit edilmiştir.

Fakat bu artış oranı her numuneye göre değişiklik göstermektedir. Yine tüm numunelerde uygulanan yük miktarlarının arttıkça (10, 25 ve 40 N) yine toplam aşınma kaybı miktarlarının arttığı fakat her numunede bu artış oranının farklı olduğu belirlenmiştir.

Yine Çizelge 8.1'deki değerlere bağlı olarak elde edilen 300 °C sıcaklık altında yapılan adhesif aşınma grafikleri (Şekil 8.6-b, 7-b, 8-b ve 9-b) incelendiğinde toplam aşınma miktarlarının artan sürtünme mesafesine ve yük miktarına bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Fakat yüke ve sürtünme mesafesine bağlı artışın her numunede farklı oranlarda olduğu görülmüştür.

Ayrıca aşınma ortamındaki sıcaklığın da toplam aşınma kaybı oranlarında etkili olduğu, sıcaklığın oda sıcaklığından 300 °C'ye çıkartılmasıyla birlikte aşınma kaybı miktarlarının numunelerin sünekleşmesine bağlı olarak arttığı görülmüştür. Yine sıcaklığa bağlı meydana gelen bu artışın her numunede farklı oranlarda meydana geldiği belirlenmiştir.

Yük miktarının artmasıyla birlikte numune aşındırıcıya daha fazla batmak isteyecektir. Buna bağlı olarak ta aşındırıcıya temas eden yüzey miktarı artmakta, daha fazla yüzey adhesif aşınmaya uğramakta ve toplam ağırlık kaybı miktarında artış meydana gelmektedir.

Sürtünme mesafelerindeki artış ile birlikte iki numune arasında oluşan adhesif aşınma süresi artmaktadır. Numune ve aşındırıcı yüzeyinde meydana gelen adhesif aşınma miktarı da artan yol ve süreye bağlı olarak artmaktadır.

Çöğür, toz alev yöntemiyle kaplama yaptığı çeşitli malzemelerin aşınması üzerine yaptığı çalışmada tüm numunelerde artan sürtünme mesafesi ve uygulanan yük miktarıyla birlikte aşınma kaybı miktarlarının arttığını söylemiştir [86]. Yine Çeltik [88], AISI 310 paslanmaz çelikten seçilen aşındırma numunelerinin farklı çelik malzemeler karşısında artan aşınma yolu ile aşınmada, başlangıçta az, artan yol miktarı ile birlikte artan bir aşınma oranı olduğunu belirtmiştir. Selçuk ise [89], borlanmış

AISI 1020 ve 5115 çeliklerinin sürtünme ve aşınma davranışları üzerine yaptığı çalışmada yükün ve kayma süresinin artışı ile birlikte numunelerin aşınmasının hızla arttığını, fakat bu artışın başlangıçta daha hızlı, sonra yavaş olarak meydana geldiğini belirtmiştir. Yine aynı çalışmasında sabit kayma hızı ve kayma süresinde yükün artması ile aşınma miktarlarının arttığını, aşınma kaybı oranlarının numunelere göre farklılık gösterdiğini, düşük yükte aşınma miktarının az, büyük yüklerde ise hızla arttığını söylemiştir.

Erdem [90], çeliklerin karbon, mangan, krom içeriğine bağlı aşınma özelliklerinin incelenmesi üzerine yaptığı çalışmada uygulanan yük miktarına bağlı aşınma kaybı miktarının arttığını söylemiştir.

Gürkan [26], östenitik ve martensitik çeliklerin yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışları üzerine yaptığı çalışmada, numuneleri oda sıcaklığı, 300 °C ve 600 °C'de aşınma testlerine tabi tutmuş, sıcaklığın artmasıyla birlikte aşınma kayıplarının da arttığını belirtmiştir. Ayrıca Çelik [48], kobalt ve demir esaslı alaşımların yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışları üzerine yaptığı çalışmada da benzer sonuçlar bulmuş, numunelerin hem Al₂O₃, hem de SiC aşındırıcı üzerinde yaptığı aşındırma deneylerinde sıcaklığın artmasıyla birlikte aşınma kayıplarının arttığını belirtmiştir. Solmaz ve arkadaşının yaptığı çalışmada da [91], numunelerin ağırlık kayıplarında 100 °Cye kadar 15 kata varan oranda artış tespit edilirken, 300 °C ve 450 °C sıcaklıkta ise ağırlık kaybında bir düşüş olduğunu tespit edilmiştir.

Stellite 1, Stellite 6, Stellite F ve Nikel 60 numunelerine ait aşınma kaybı oranlarını birbirleri ile karşılaştırdığımızda ise, hem oda sıcaklığında hem de 300 °C sıcaklıkta yapılan adhesif aşınma deneylerinde tüm yükler altında en az aşınma kaybı değerine sahip numune stellite 1 numunesi olmuştur. Daha sonra sırasıyla stellite 6 ve Nikel 60 numunesi gelirken, en fazla aşınma kaybına uğrayan numune ise stellite F numunesi olmuştur.

Toplam aşınma kaybı oranlarını incelerken, tüm numunelere ait Şekil 8.1’de verilen sertlik değerleri grafiği ile Çizelge 7.3’te verilen kimyasal bileşim tablosu ile birlikte değerlendirmek gerekmektedir.

Şekil 8.1’deki sertlik grafiği incelendiğinde en yüksek sertliğe stellite 1 numunesinin sahip olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca Çizelge 7.3’teki kimyasal bileşim tablosu incelendiğinde de yine stellite 1 numunesinin en yüksek C, Cr ve Co oranına sahip olduğunu görmekteyiz. İçerdiği yüksek oranda C malzemenin sertliğini arttırmış, sahip olduğu Co esaslı yapı mukavemet kazandırmış, ayrıca Cr ve W yapı içerisinde karbür oluşturarak numunenin sertliği ve mukavemetini, buna bağlı olarak ta aşınma direncini arttırdığını düşünülmektedir.

Numunelerin C oranlarının azalmasına bağlı olarak sertlik değerlerinin düşmesiyle birlikte aşınma kaybı oranlarının da arttığı görülmüştür. Karbon oranı dışında Cr ve Co oranının azalmasıyla numunelerinin mukavemetinin azalmasına bağlı olarak aşınma dirençlerinin de zayıfladığı düşünülmektedir. Ayrıca yine alaşımın içerdiği nikel oranının da aşınma davranışı üzerinde etkili olduğu, Ni oranının artmasıyla malzemenin sünekliğinin arttığı, sertliğinin düştüğü buna bağlı olarak ta aşınma direncinin zayıfladığı tespit edilmiştir.

Karaoğlu ve arkadaşları [92], AISI 5140 çeliğinin aşınma özellikleri üzerine yaptığı çalışmada en yüksek aşınma direncinin sertliği en yüksek numunelerde olduğunu görmüştür. Kıratlı ve arkadaşları [93], tozaltı kaynağında bor karışimli tozlar kullanarak dolguları yapılan Ç1040 çeliğinin aşınma davranışları üzerine yaptığı çalışmada da en yüksek aşınma direncine en yüksek sertliğe sahip numunenin sahip olduğunu söylemiştir. Kıratlı farklı tip dolgu elektrotları ile yaptığı başka bir çalışmada ise [94], elektrot bileşimindeki karbon, mangan ve krom miktarının aşınmaya karşı direnci arttırdığını söylemiştir. Kiper ise [87], çalışmada yüksek karbonlu çelik kaplamaların düşük karbonlu çelik kaplamalarına göre daha yüksek aşınma direncine sahip olduğunu, artan kayma hızıyla birlikte aşınma miktarının etkilenmediğini, düşük karbonlu çelik kaplamalarda ise artan kayma hızıyla aşınma miktarının arttığını söylemiştir. Erdem [90], çeşitli içeriğe sahip çeliklerin aşınma

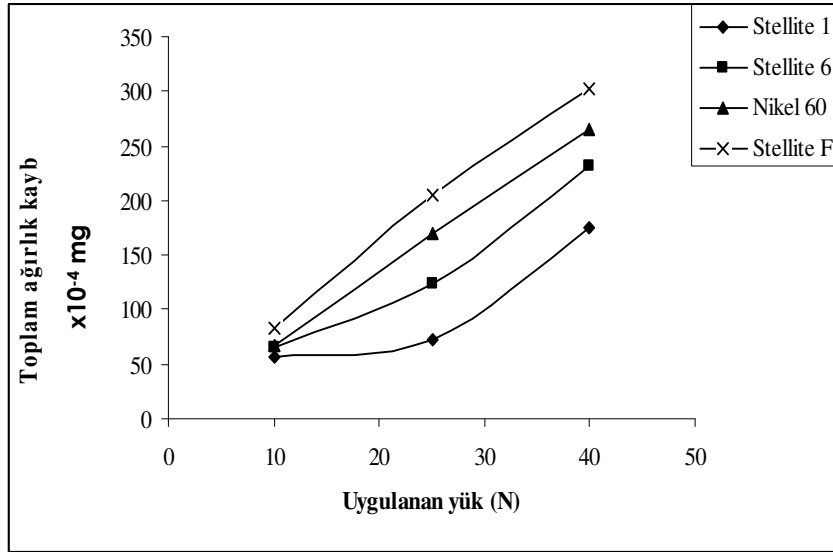
davranışları üzerine yaptığı çalışmada düşük karbonlu çeliklerde aşınma direncinin daha düşük olduğunu, ancak malzemeye Cr ve Mn gibi alaşım elementlerinin ilavesiyle aşınma davranışlarında iyileştirme yapılabildiğini, uygulanan sertleştirme işlemleriyle malzemelerin aşınmaya karşı dayanıklı hale geldiğini söylemiştir.

8.3.2. Abrasif aşınma davranışları

Bu çalışmada Stellite 1, Stellite 6, Stellite F ve Nikel 60 alaşımları ile kaplanan numunelerden 60 adeti 400 meshlik Al_2O_3 bez zımpara üzerinde abrasif aşınma testine tabi tutulmuştur. Numuneler yine 10, 25 ve 40 N yük altında 10,5 metre sürtünme mesafesi boyunca daima yeni yüzey üzerinde aşındırılmıştır. Numunelerin aşındırma öncesi ve aşındırma sonrası ağırlıkları ölçülerek, ağırlık kayıpları belirlenmiş ve abrasif aşınma davranışları hakkında bilgiler toplanmaya çalışılmıştır. Elde edilen ağırlık kaybı değerleri $\times 10^{-4}$ mg oranında Çizelge 8.2’de verilmiş, bu değerlere bağlı olarak ta elde edilen aşınma grafiği Şekil 8.10’da verilmiştir.

Çizelge 8.2. Numunelere ait abrasif aşınma sonuçları.

Uygulanan yük (N)	Toplam Ağırlık Kaybı Değerleri ($\times 10^{-4}$ mg)			
	Stellite 1	Stellite 6	Nikel 60	Stellite F
10	56	65	68	83
25	73	123	170	205
40	175	232	266	303



Şekil 8.10. Numunelere ait abrasif aşınma grafiği.

Şekil 8.10'daki tüm numunelere ait abrasif aşınma grafiği incelendiğinde en az aşınma kayıplarının en düşük yük olan 10 N altında meydana geldiğini, yük miktarı arttıkça aşınma kayıplarının da arttığını en fazla aşınmanın da 40 N yük altında meydana geldiği görülmektedir. Yine alaşım elemanları bakımından numuneler birbirleri ile değerlendirildiğinde tüm yükler altında en az aşınmanın stellite 1 numunesinde olduğu, daha sonra sırasıyla stellite 6 ve nikel 60'ın geldiğini en fazla aşınmanın yine stellite F numunesinde meydana geldiği görülmektedir. Adhesif aşınmada olduğu gibi abrasif aşınmada da uygulanan yük miktarının artması ile birlikte temas eden yüzeyin ve yüzeye gelen baskının artmasına bağlı olarak aşınma miktarı artmıştır. Ayrıca numuneler arasında oluşan aşınma kaybı değerleri farkının da yine alaşım elemanlarının içerdiği C, Cr, Co ve Ni gibi elementlerin ayrıca numunelerin sahip olduğu sertlik değerlerinin etkili olduğu düşünülmektedir.

Abrasif aşınma deneyleri kullanılan aşındırıcının sıcaklığa uygun olmaması nedeniyle sadece oda sıcaklığında yapılmıştır. Abrasif aşınmada elde edilen değerleri oda sıcaklığında yapılan adhesif aşınma deney sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde aşındırıcının etkili olduğunu, abrasif aşınmada tüm numunelerde daha büyük oranda aşınma kayıpları olduğu söylenebilir. Bunun nedeni olarak ta

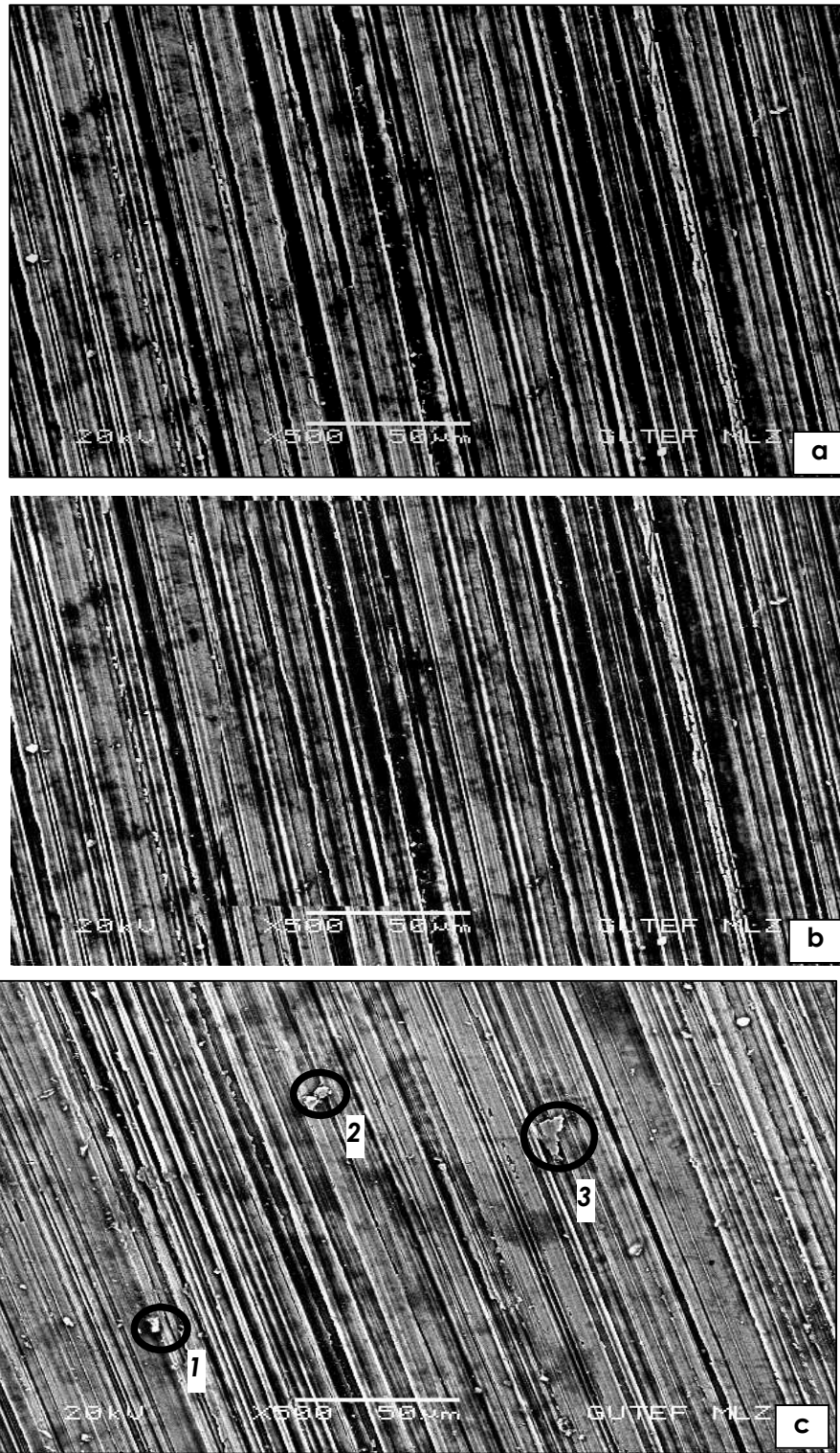
aşındırıcının sahip olduğu karbürlerin aşındırma yüzeyini daha pürüzlü hale getirerek diğer yüzey üzerinde daha fazla tahribata yol açtığı düşünülmektedir. Bu karbürler sürtünme esnasında aşınan yüzeye daha çok batarak, yüzeyden daha çok parçacık koparabilmektedir.

8.4. Tarama Elektron Mikroskobu İnceleme Sonuçları

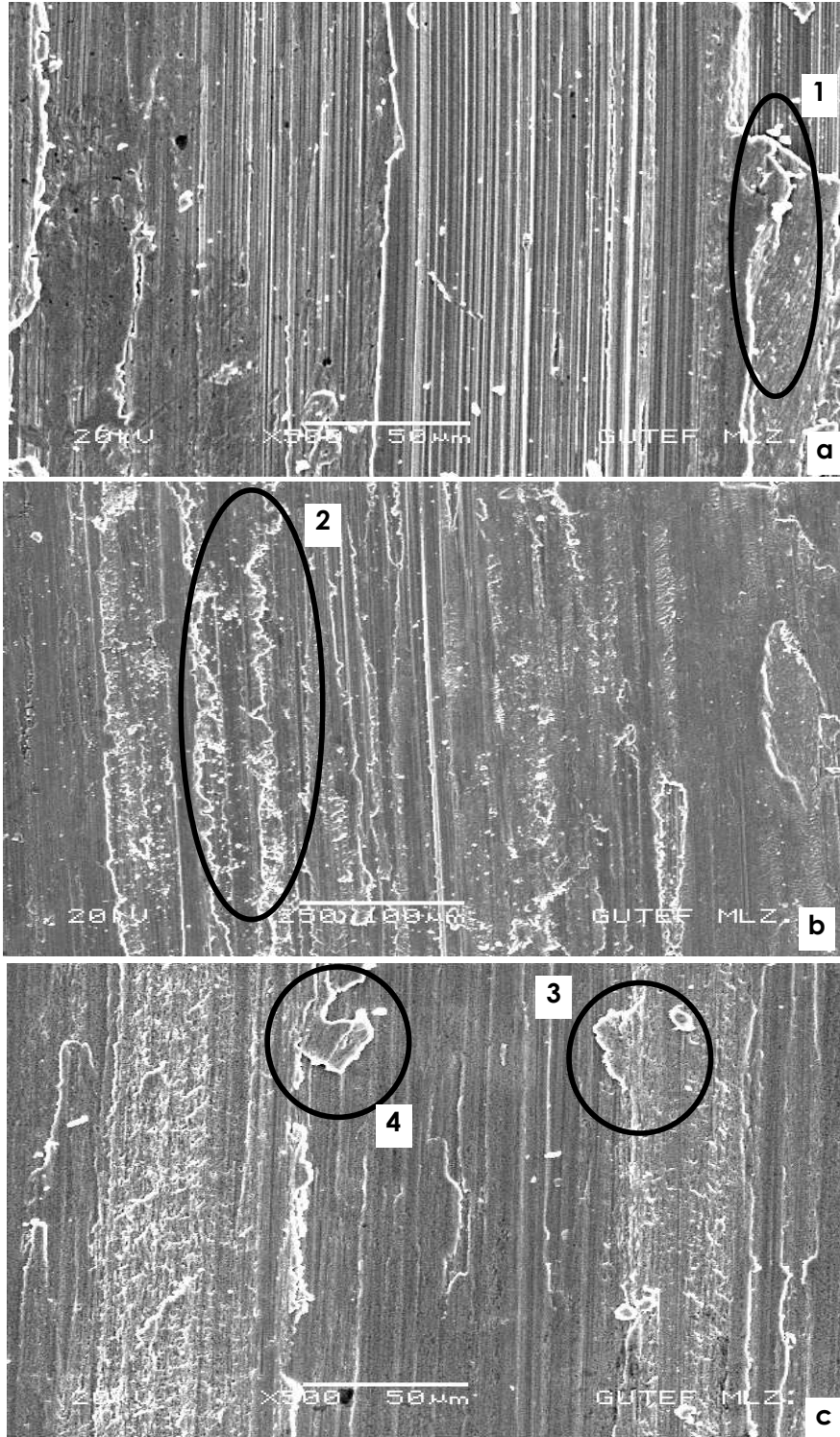
Hem oda sıcaklığında hem de 300 °C sıcaklıkta 10, 25 ve 40 N yük altında yapılan adhesif ve oda sıcaklığında yapılan abrasif aşınma deneyleri sonucunda numunelerin yüzeylerinde meydana gelen değişimleri incelenip, numunelerin aşınma davranışları hakkında daha net bilgiler toplamak amacıyla tarama elektron mikroskobu (SEM) çalışması yapılmıştır.

8.4.1. Oda sıcaklığında yapılan adhesif aşınma SEM incelemeleri

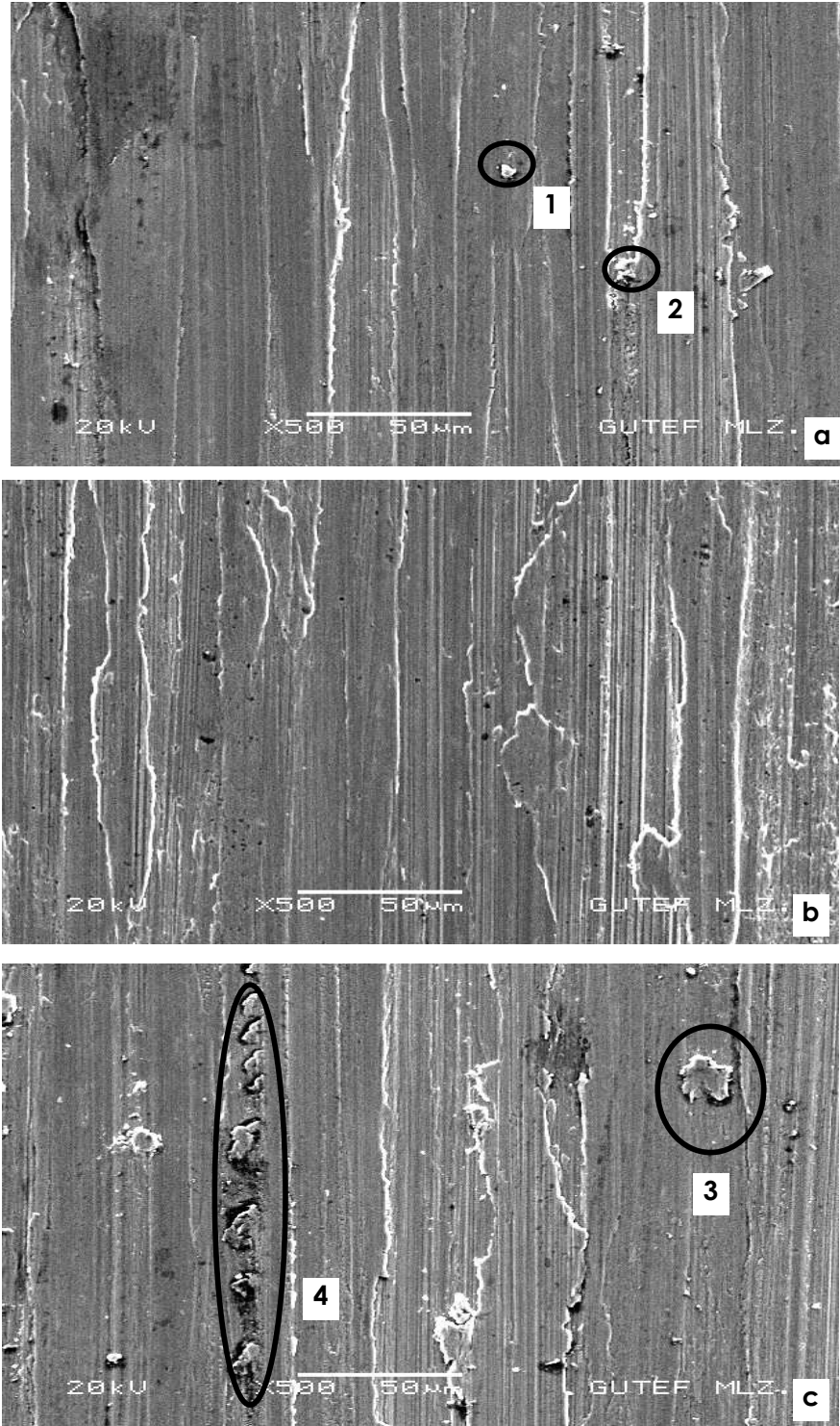
Bu bölümde oda sıcaklığında yapılmış olan adhesif aşınma testi sonuçları ile birlikte, uygulanmış olan yük miktarının ve numunelerin içerdikleri alaşım elementlerinin aşınma davranışları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla aşınma izi fotoğrafları birlikte verilmiş, değerlendirmeler toplu bir şekilde birlikte yapılmıştır.



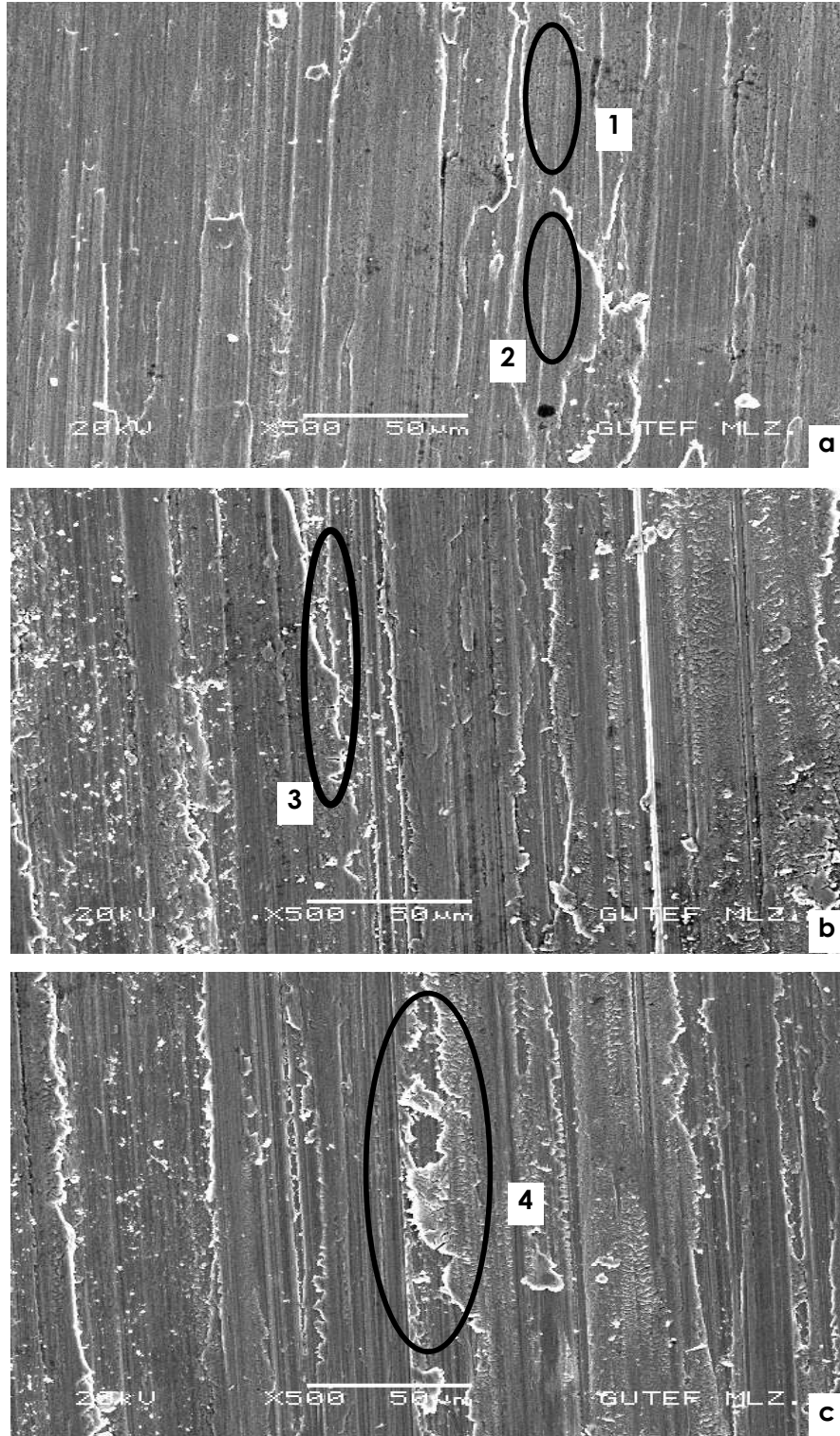
Resim 8.6. Stellite 1 numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri (a)10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.



Resim 8.7. Stellite F numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.(a)10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.



Resim 8.8. Stellite 6 numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.(a)10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.



Resim 8.9. Nikel 60 numunesine ait 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.(a)10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.

Stellite 1 numunesi sahip olduğu yüksek C, Cr, Co oranına ve sertlik değerine bağlı olarak en az aşınma kaybına uğrayan numune olmuştur. Resim 8.6-a'da 10 N yük altında elde edilmiş SEM görüntüsü incelendiğinde malzemenin sahip olduğu yüksek sertlik değerine ve uygulanan düşük yük miktarına bağlı olarak yüzeyde derin çiziklerin oluşmadığı, ama yine sertliğe bağlı olarak net ve düzgün aşınma çizgilerinin oluştuğu görülmektedir.

Resim 8.6-b'de 25 N yük altında elde edilen SEM görüntülerinde ise uygulanan yük miktarındaki artışla birlikte daha çok yüzeyin temas ettiği, aşınma çizgilerinin daha da sıklaştığı, aşındırıcının daha çok yüzeye batmaya çalıştığı görülmektedir.

Resim 8.6-c'de ise yükün 40 N'a çıkartılmasıyla birlikte aşınma çizgilerinin daha da sıklaşıp, derinleştiği, resim üzerinde 1, 2 ve 3 numara ile gösterilmiş bölgelerde yüzeye aşındırıcıdan yapışmış ve daha sonra sürtünme mesafesinin artmasıyla birlikte kopacağı düşünülen parçacıkların mevcut olduğu görülmektedir.

Stellite 1 numunesinde numunenin sahip olduğu sertliğin aşınma davranışına etki ettiği, aşınma çizgilerinin daha çok yüzeysel olduğu, yük miktarı arttıkça çizgilerin daha da sıklaştığı ve netleştiği, ayrıca aşındırıcıdan yüzeye parçacık yapışmalarının olduğu görülmüştür.

Resim 8.7'de oda sıcaklığında yapılan adhesif aşınmada en fazla aşınma kaybına sahip olmuş stellite F numunesine ait SEM fotoğrafları verilmiştir. Kimyasal bileşim tablosu (Çizelge 7.3) ve sertlik değeri incelendiğinde (Şekil 8.1) kobalt esaslı alaşımlar arasında en düşük C, Cr, Co ve en yüksek Ni oranına ve sertlik değerine sahip olduğu görülmektedir. Sahip olduğu yüksek orandaki Ni oranına bağlı olarak sünek bir yapıda olduğu, ayrıca meydana gelen aşınmaların sünek aşınma olduğu düşünülmektedir.

Resim 8.7-a incelendiğinde 10 N yük altında oluşan aşınma çizgilerinin stellite 1 numunesindeki gibi net ve düzgün olmadığı ve resim üzerinde 1 numara ile gösterilmiş bölgede sünek aşınmaların başladığı söylenebilir.

Resim 8.7-b'de yük miktarının 25 N'a çıkartılmasıyla temas eden yüzeyin arttığı, malzemenin sahip olduğu düşük sertlik değeri ve yüksek süneklikten dolayı meydana gelen sünek aşınma oranının arttığı aşınma çizgilerinin doğrusal olmadığı ve resim üzerinde 2 numarayla gösterilen bölgede yırtılma şeklinde yüzeyde oluştuğu söylenebilir.

Yük miktarının 40 N'a çıkmasıyla temas eden yüzey ve yüzeye batan aşındırıcı alanı artmış, sünek yırtılma oranı artmıştır. Ayrıca yine resim üzerinde 3 ve 4 numara ile gösterilen bölgelerde sünek aşınma sonucu kopan parçaların sıvanma şeklinde yüzeyde varlığını sürdürdüğü düşünülmektedir.

Aşınma davranışlarında malzemenin sahip olduğu yüksek Ni oranına bağlı artan sünekliğin ayrıca düşük C, Cr, Co ve sertlik oranının etkili olduğu, aşınmanın sünek adhesif aşınma şeklinde meydana geldiği düşünülmektedir.

Stellite 6 numunesi tüm numuneler arasında stellite 1 numunesinden sonra en yüksek 2. aşınma direncine sahip numune olmuştur. Yine numuneye ait kimyasal bileşim tablosu (Çizelge 7.3) ve sertlik grafiği (Şekil 8.1) incelendiğinde stellite 1 numunesine göre C, Cr ve Co oranının azaldığı, Ni oranının arttığı, sertlik değerinin azaldığı görülmektedir.

Resim 8.8'de stellite 6 numunesine ait oda sıcaklığında yapılmış olan adhesif aşınması sonucu oluşan SEM fotoğrafları verilmiştir. 10 N yük altında meydana gelen aşınma izi görüntüleri incelendiğinde (Resim 8.8-a) aşınma izlerinin numunenin sahip olduğu sertliğe bağlı olarak yüzeysel olduğu, resim üzerinde gösterilen 1 ve 2 numaralı bölgelerde yüzeye batmaların meydana geldiğini söylenebilir.

Yük miktarının 25 ve 40 N'a çıkartılmasıyla bölgesel sünek yırtılmaların meydana geldiği, Resim 8.8-c'de görülen 3 ve 4 numaralı bölgelerde ise yüzeyde katmanlaşmanın oluştuğu düşünülmektedir.

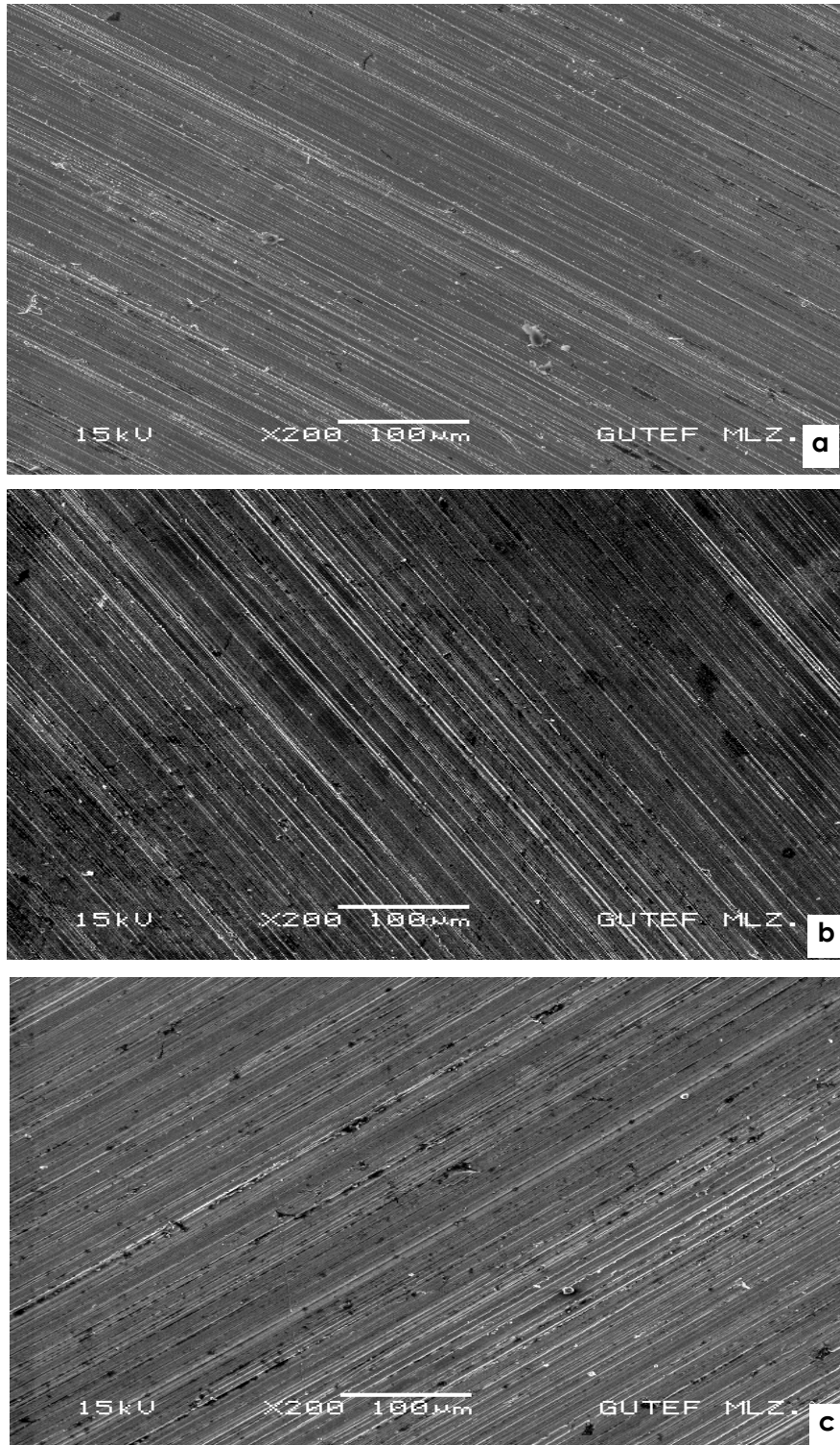
Nikel 60 numunesi en yüksek aşınma kayıplarının yaşandığı ikinci numune olmuştur. Kimyasal bileşim ve sertlik grafiği (Çizelge 7.3 ve Şekil 8.1) incelendiğinde en yüksek Ni oranına, en düşük C oranı ve en sertlik değerine sahip numune olduğu görülmektedir. Fakat içerdiği yüksek Si oranına bağlı olarak en fazla aşınan stellite F numunesine göre daha mukavemetli olduğu düşünülmektedir.

Resim 8.9-a incelendiğinde 10 N yük altında elde edilen aşınma çizgilerinin yüzeysel olduğu, artan yük miktarı ile birlikte Resim 8.9-b'de 3 numaralı bölgede görüldüğü gibi sünek yırtılmaların meydana geldiği, yük miktarının 40 N'a çıkartılmasıyla birlikte daha fazla aşındırıcının yüzeye battığı ve yüzeyde 4 numaralı bölgede gözükten sıvanmaların meydana geldiği düşünülmektedir.

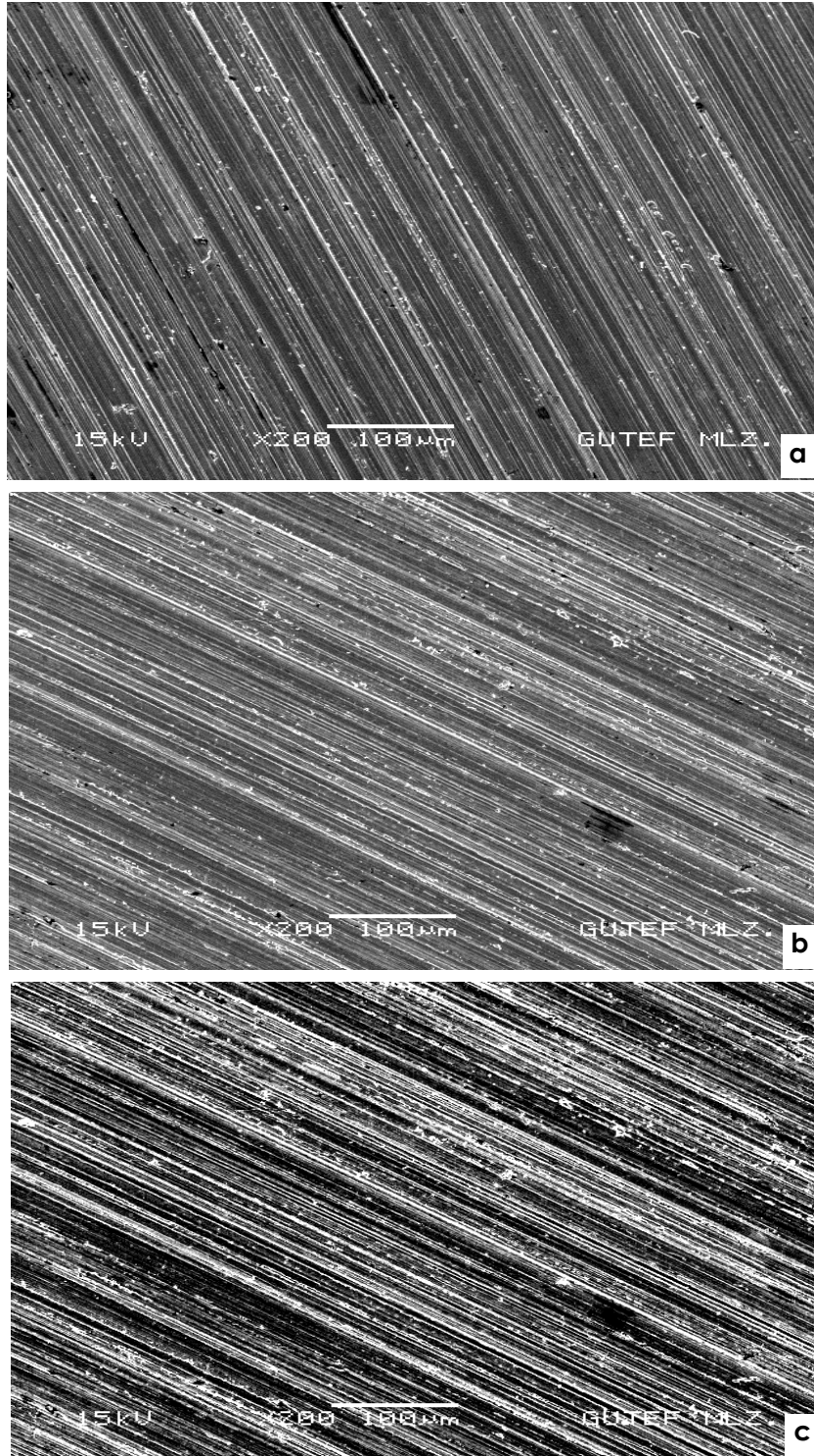
Nikel 60 numunesinde de artan yük miktarı ile birlikte alaşımın sahip olduğu yüksek sünekliğin aşınma davranışlarını etkilediği belirlenmiştir.

8.4.2. 300 °C sıcaklık altında yapılan adhesif aşınma

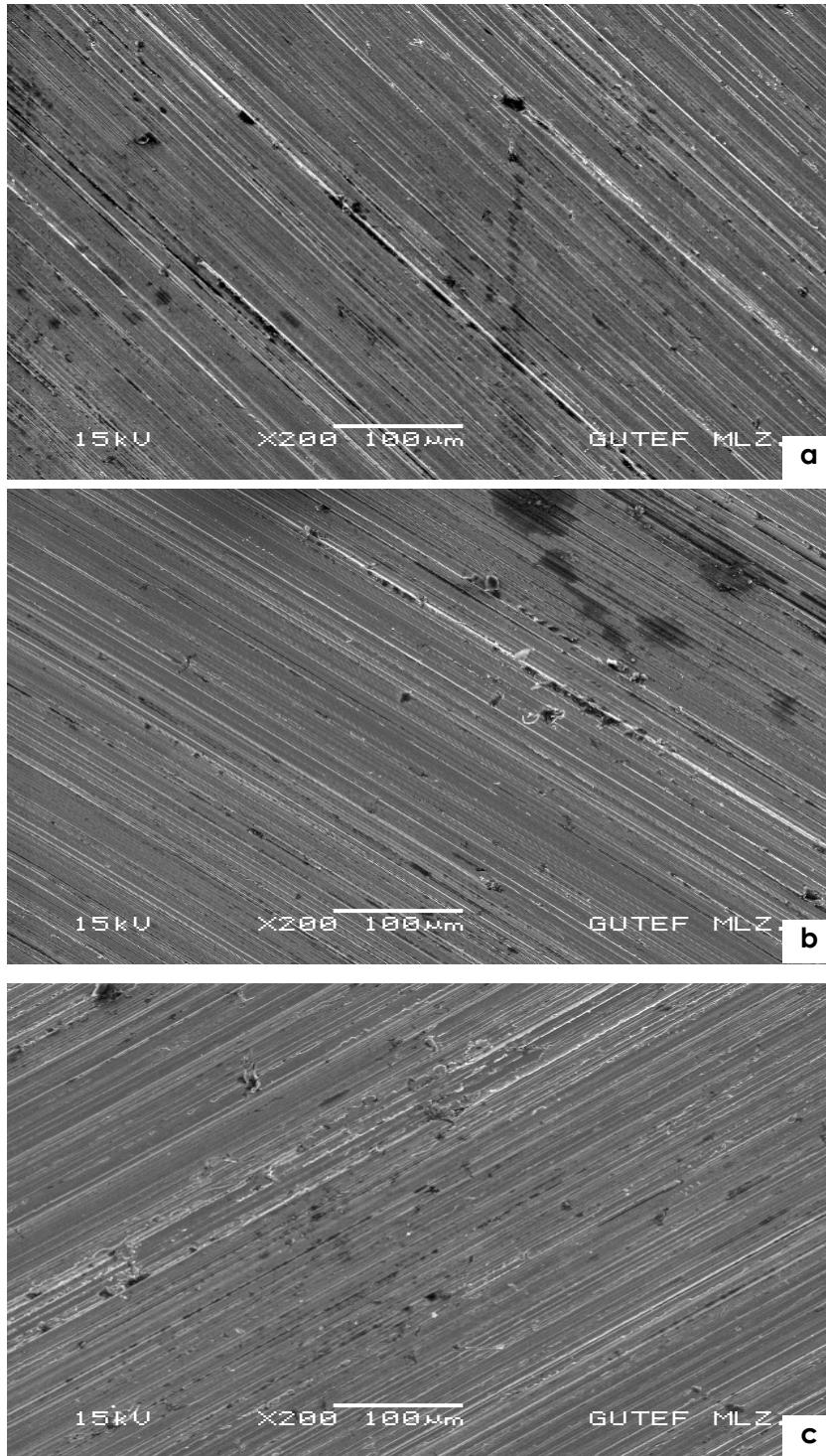
Bu bölümde ise 300 °C sıcaklıkta yapılmış olan adhesif aşınma testi sonuçları uygulanmış olan yük miktarlarının ve numuneleri içerdikleri farklı alaşım elementlerinin aşınma davranışları üzerindeki etkileri bakımında incelenmiştir. Bu amaçla aşınma izi fotoğrafları birlikte verilmiş, değerlendirmeler yine aynı şekilde birlikte yapılmıştır.



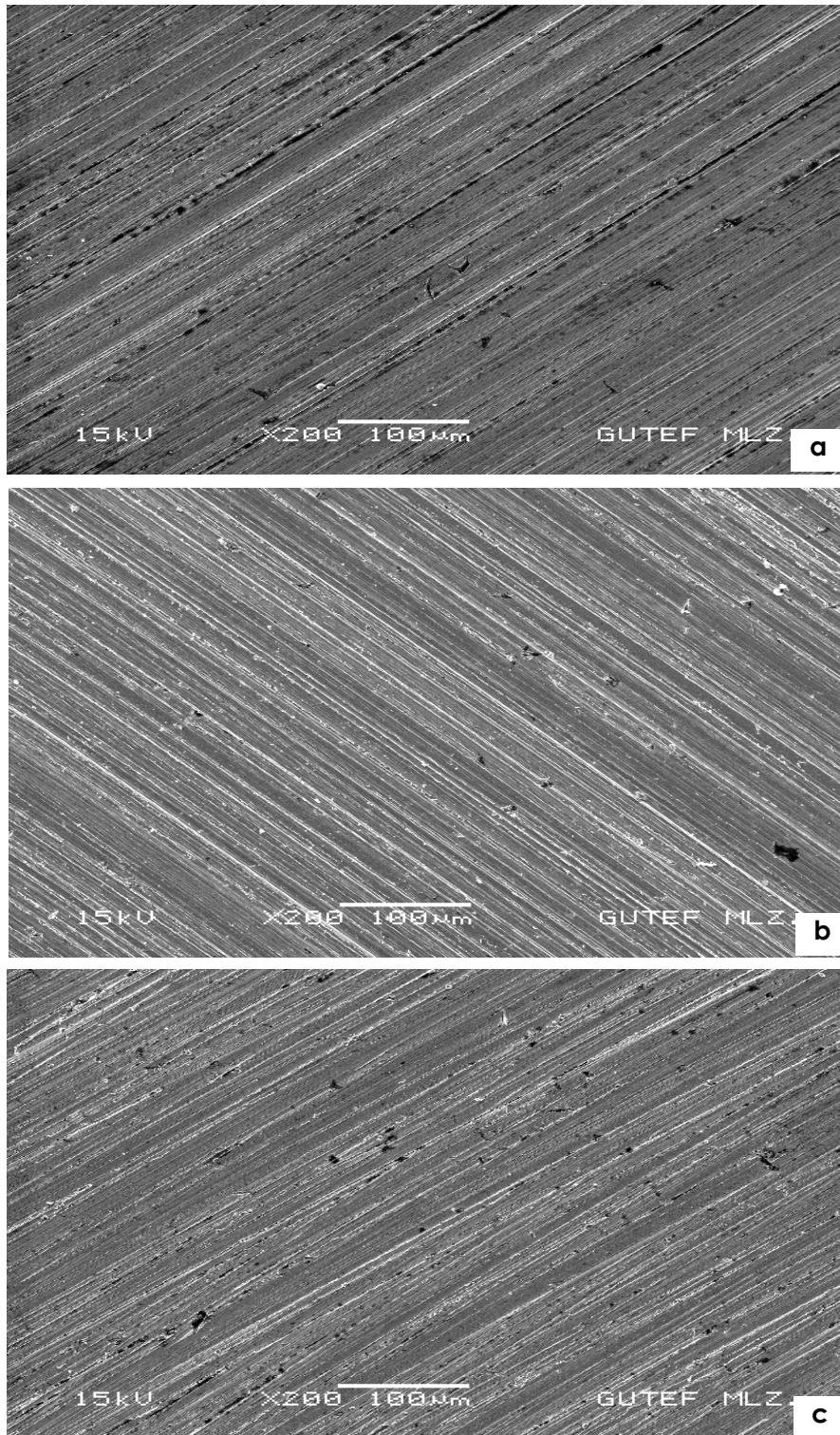
Resim 8.10. Stellite 1 numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.(a) 10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.



Resim 8.11. Stellite F numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.(a) 10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.



Resim 8.12. Stellite 6 numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.(a), 10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.



Resim 8.13. Nikel 60 numunesine ait 300 °C sıcaklık altında, 4400 metre sonunda adhesif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri.(a) 10N, (b) 25N, (c) 40N yük altında.

300 °C altında yapılan adhesif aşınma deneylerin de stellite 1 numunesi en az aşınma kaybına uğramıştır. Hem uygulanan sıcaklık hem de aşınan iki yüzey arasında oluşan sıcaklıkla artan süneklığe bağlı olarak tüm numunelerde aşınma kayıplarının arttığı düşünülmektedir.

Resim 8.10-a'da 10 N yük altındaki stellite 1 numunesine ait SEM görüntüsü incelendiğinde yüzeysel bir aşınma meydana geldiği, aşınma izlerinin çok net oluşmadığı görülmektedir.

Yük miktarının artmasıyla birlikte yine yüzeysel aşınma meydana gelirken, Resim 8.10-b'de aşınma çizgilerinin biraz daha netleştiği, Resim 8.10-c'de 40 N yük altındaki SEM görüntüsünde ise yer yer yırtılmaların oluştuğu görülmektedir.

Stellite F numunesi 300 °C sıcaklık altında yapılan adhesif aşınma deneylerinde de en fazla aşınma kaybına uğrayan numune olmuştur. Uygulanan sıcaklık ile birlikte sahip olduğu sünek yapı, aşınma davranışını etkilemiş ve daha fazla aşınma kaybına sebep olmuştur.

Stellite F numunesine ait Resim 8.11-a, b ve c'deki SEM görüntüleri incelendiğinde sünek aşınmanın etkin olduğu, artan yük miktarından dolayı temas eden ve yüzeye batan alanın artmasına bağlı olarak yüzeyde meydana gelen sünek aşınma oranının arttığı düşünülmektedir. Yine oda sıcaklığında meydana gelen aşınma izi görüntülerine göre burada daha düzgün ve derin aşınma çizgilerinin meydana geldiği görülmektedir.

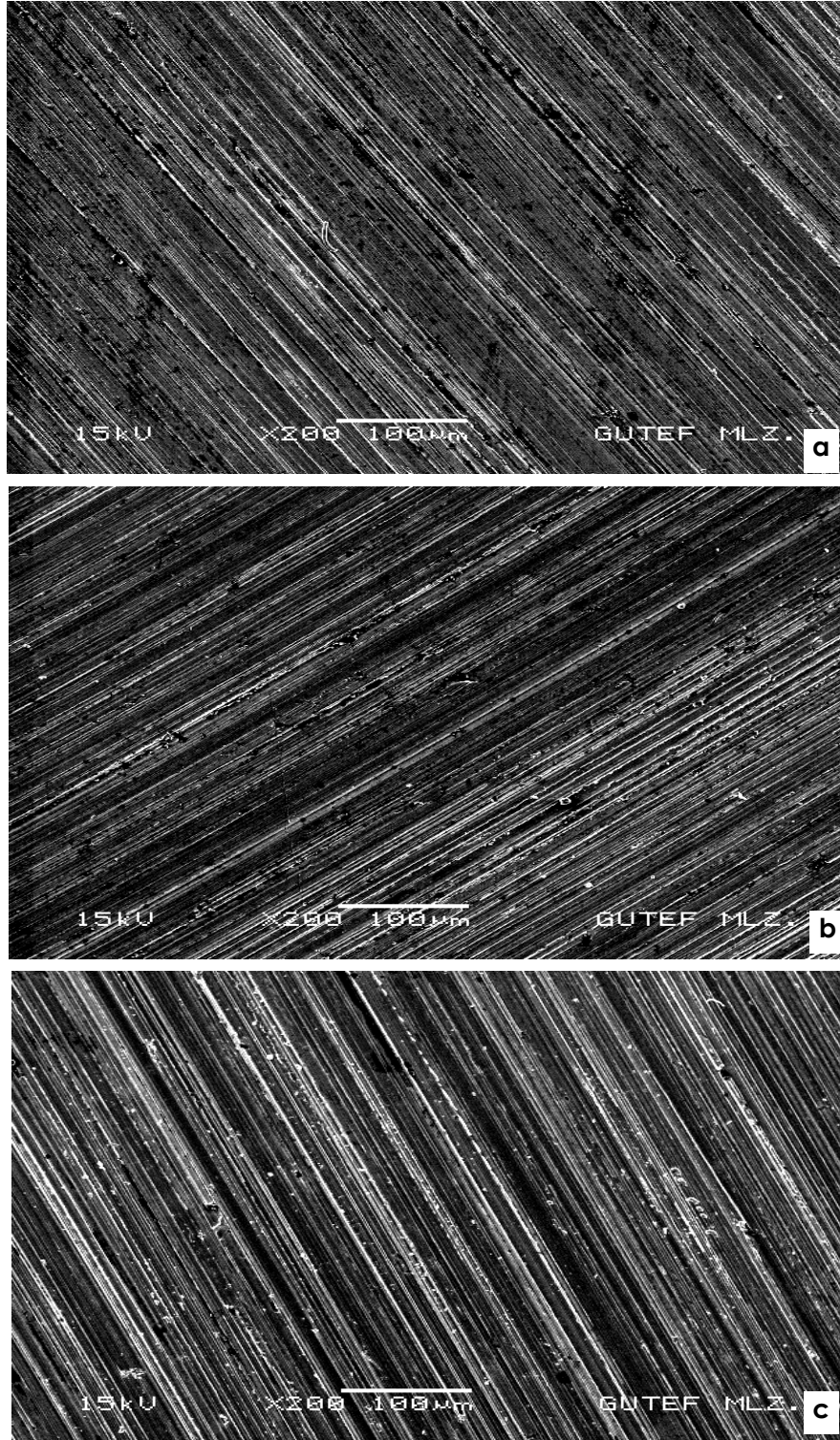
Stellite 6 numunesi yine stellite 1 numunesinden sonra en az aşınma kaybına uğramış numune olmuştur. Fakat uygulanan sıcaklık aşınma miktarını arttırmıştır. Resim 8.12-a, b ve c incelendiğinde numunenin sahip olduğu yüksek sertlik değerine bağlı olarak yüzeyde derin olmayan bir aşınmanın meydana geldiğini, yük miktarının artması ile birlikte aşınma çizgilerinin netleştiği, yer yer yırtılmaların meydana geldiği görülmektedir.

Nikel 60 numunesi 300 °C 'de yapılan adhesif aşınma deneylerinde sahip olduğu en düşük sertlik değeri ve yüksek Ni oranına bağlı olarak yüksek aşınma kaybına sahip olduğu, uygulanan sıcaklık ile birlikte daha sünek bir yapıya dolayısıyla daha yüksek oranda sünek aşınma oranına sahip olduğu düşünülmektedir. Aşınma izlerinin uygulanan yük miktarına bağlı olarak arttığı ve daha da sıklaştığı görülmektedir.

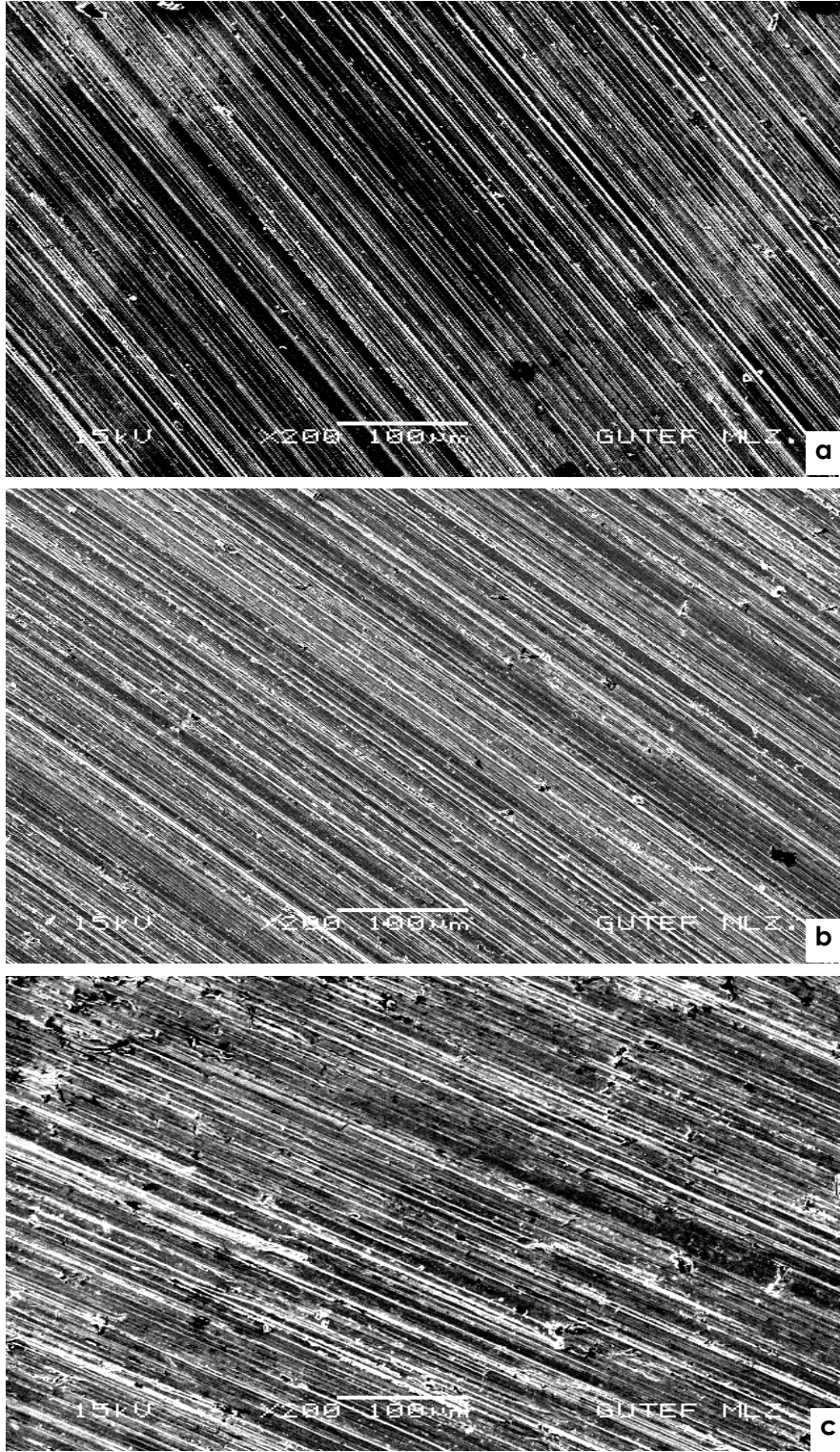
Aşınma ortamı sıcaklığını oda sıcaklığından 300 °C'ye çıkartmakla birlikte numunelerin aşınma kaybı oranlarının arttığı, uygulanan sıcaklıkla birlikte aşınan iki yüzey arasında meydana gelen sıcaklığın numuneleri biraz daha sünekleştirerek aşınma dirençlerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Burada da deneylerde kullanılan yük miktarlarının artmasıyla birlikte aşınma oranlarının arttığı, numunelerin sahip olduğu sertlik değerlerinin, C, Cr, Co ve Ni oranlarının aşınma davranışları üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

8.4.3. Abrasif aşınma

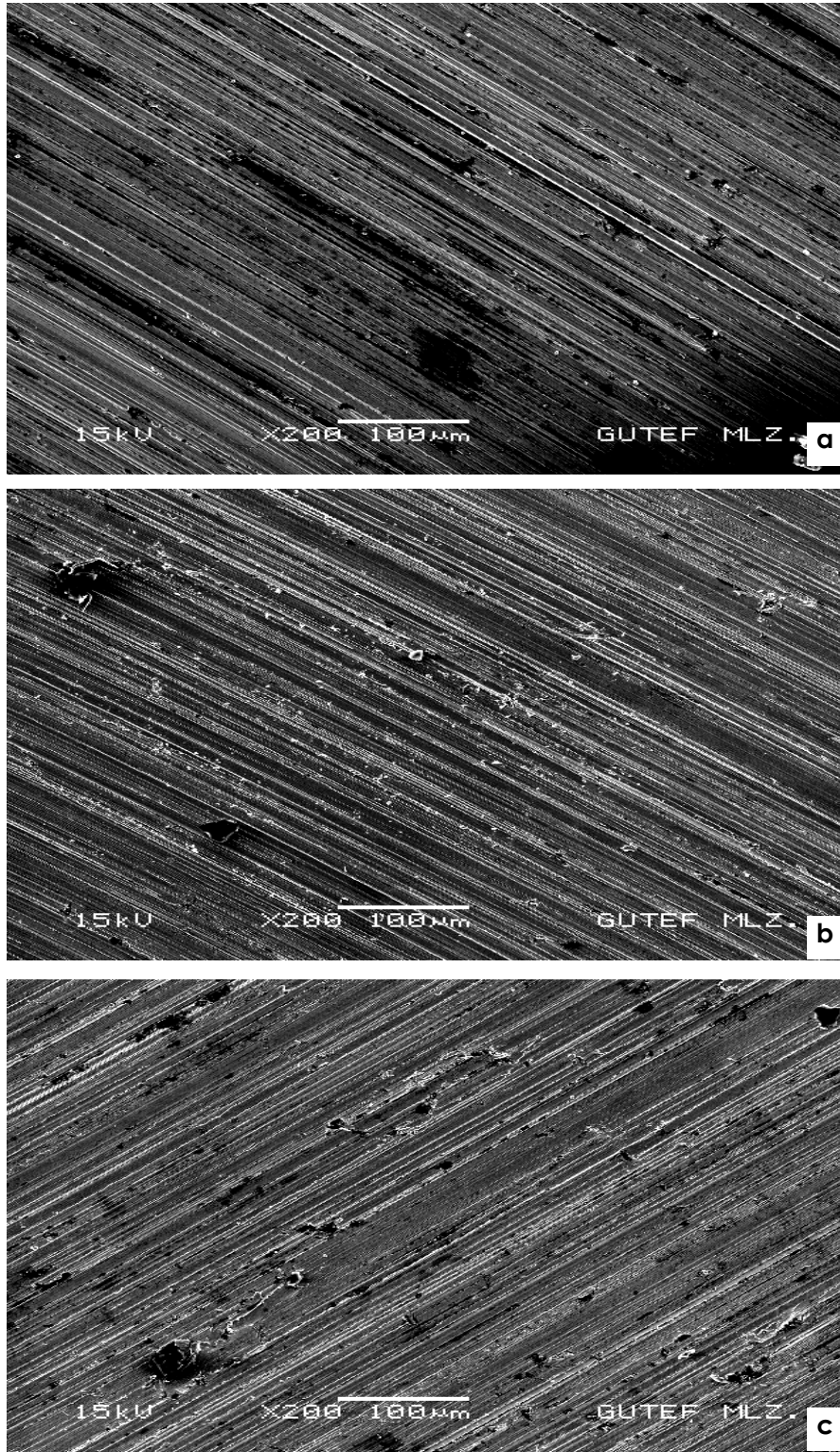
Bu bölümde yine 10, 25 ve 40 N yükler altında, Al₂O₃ 400 meshlik aşındırıcı üzerinde, toplam 10,5 metre sürtünme mesafesinde abrasif aşınma deneyleri yapılmış, aşınma deneyleri sonunda elde edilen aşınma yüzeyi SEM görüntüleri birlikte değerlendirilmiştir.



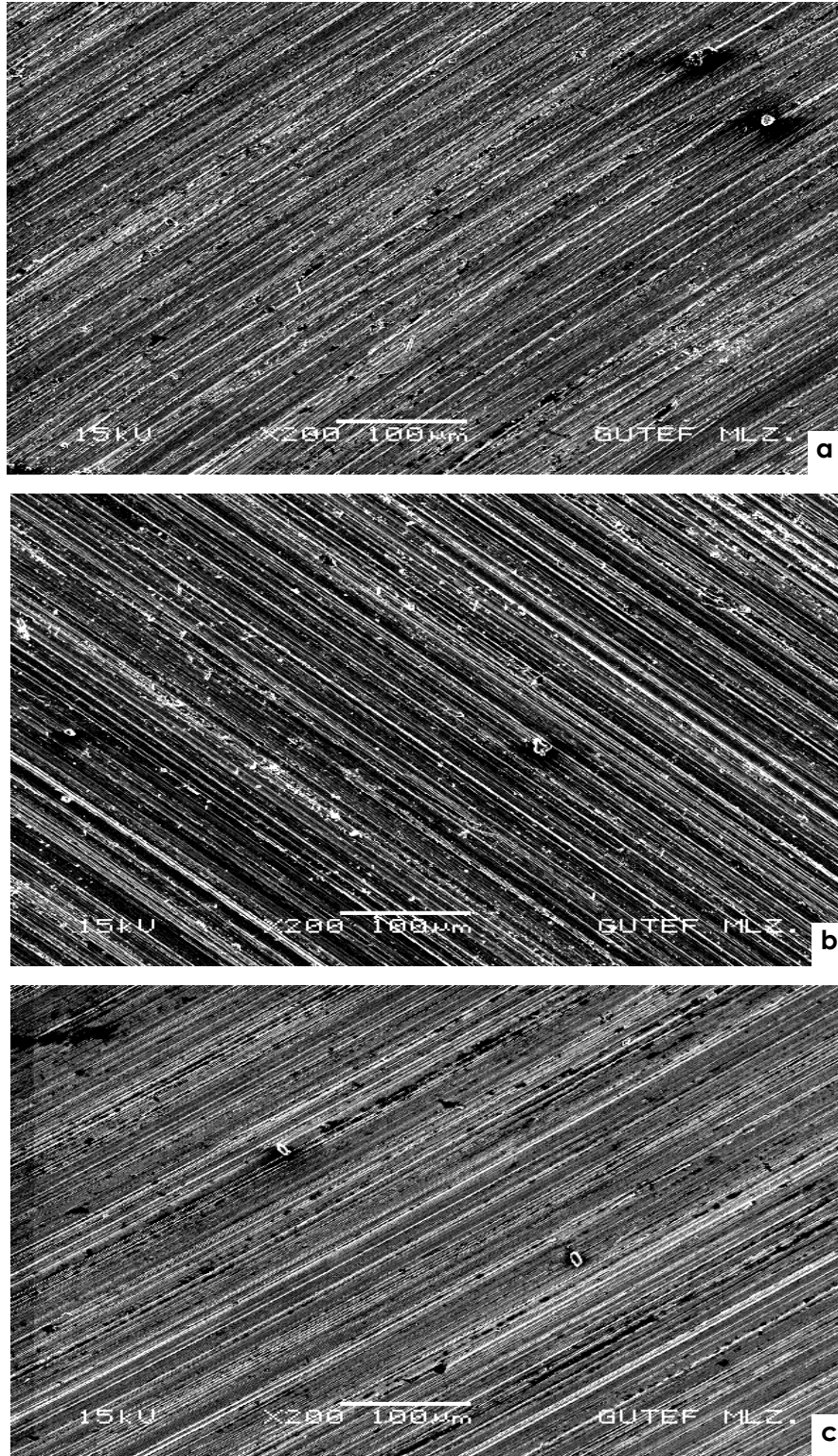
Resim 8.14. Stellite 1 numunesine ait 10.5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri. (a) 10 N, (b) 25 N, (c) 40 N yük altında.



Resim 8.15. Stellite F numunesine ait 10.5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri. (a) 10 N, (b) 25 N, (c) 40 N yük altında.



Resim 8.16. Stellite 6 numunesine ait 10.5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri. (a) 10 N, (b) 25 N, (c) 40 N yük altında.



Resim 8.17. Nikel 60 numunesine ait 10.5 metre sonunda abrasif aşınması sonucu elde edilmiş yüzeyin SEM görüntüleri. (a) 10 N, (b) 25 N, (c) 40 N yük altında.

Abrasif aşınma deneyleri sonucunda da tüm yükler altında en az aşınma kaybına uğrayan numune stellite 1 numunesi olmuştur. Abrasif aşınma deneyinde yükler değişmezken sürtünme mesafesi 10,5 metre sabit tutulmuştur. Sürtünme mesafesinin adhesif aşınmaya göre kısılmasına rağmen abrasif aşınmanın daha fazla etkili olduğu, hem oda sıcaklığında hem de 300 °c'de yapılan adhesif aşınma deneylerinde elde edilen aşınma kayıplarına göre daha fazla oranda ağırlık kaybı meydana geldiği belirlenmiştir.

Resim 8.14-a'da stellite 1 numunesine ait 10 n yük altında elde edilmiş abrasif aşınma yüzeyi sem görüntüsü incelendiğinde, aşınma çizgilerinin numunenin yüksek sertliğine ve düşük yük miktarına bağlı olarak çok derin olmadığı, fakat adhesif aşınmada elde edilmiş görüntüye göre daha derin ve sık olduğu görülmüştür.

Uygulanan yük miktarının 25 n'a çıkmasıyla, temas eden yüzeyin artmasına bağlı olarak daha çok aşındırıcı yüzeyde daha geniş alanda etkili olmuş, aşınma çizgileri sıklaşmıştır (resim 8.14-b).

Resim 8.14-c'de 40 n yük altında elde edilen sem görüntüsünde yük miktarındaki artışın, aşınma çizgilerini daha da netleştirdiğini, aşınma çizgilerinin artan yük miktarı ve temas eden yüzey alanının artmasıyla tüm yüzeye yayıldığını ve aşınma çizgilerinin daha da sıklaştığını söyleyebiliriz.

Stellite f numunesi tüm adhesif deneylerde olduğu gibi abrasif aşınma deneyleri sonucunda da en fazla aşınma kaybına uğrayan numune olmuştur. Uygulanmış olan tüm yükler altında ağırlık kaybı miktarları adhesif aşınmaya göre artmıştır. Resim 8.15-a, b ve c incelendiğinde numunenin sahip olduğu sünekliğe bağlı oluşan sünek aşınmanın burada da varlığını sürdürdüğü görülmüştür. Uygulanan yük miktarlarındaki artışa bağlı olarak yüzeylerde oluşan sünek aşınma oranının arttığı, aşınma çizgilerinin sıklaştığı, 40 n yük altında elde edilen sem görüntüsünde (resim 8.15-c) yer yer yırtılmaların olduğu belirlenmiştir.

Stellite 6 numunesi en az aşınan ikinci numune olmuştur. Abrasif aşınma sonucu oluşan aşınma kayıpları adhesif aşınmaya göre daha büyük oranda olmuştur. Stellite 6 numunesinde 10 N yük altında elde edilen aşınma izi SEM görüntüsünü incelediğimizde numunenin sertliğine ve düşük yük miktarına bağlı olarak aşınma izlerinin tüm yüzeyde oluşmadığı görülmektedir (Şekil 8.16).

Yük miktarını 25 N'a çıkartarak elde edilen aşınma izi görüntüsünde ise çizgilerin daha da sıklaştığı ve bazı bölgelerde parçacık kopmalarının olduğu düşünülmektedir.

40 N yük altında elde edilmiş SEM görüntüsünde ise yük miktarına bağlı baskı kuvvetindeki artıştan dolayı yüzeyde aşınma çizgilerinin daha sık ve net şekilde görüldüğü ayrıca yer yer yırtılmaların olduğu söylenebilir.

Nikel 60 numunesi sahip olduğu yüksek Ni ve düşük C, Cr ve Co oranına ve sertlik değerine bağlı olarak en fazla aşınan ikinci numune olmuştur. Adhesif aşınmada, abrasif aşınmaya göre daha fazla oranda aşınma kayıpları elde edilmiştir. Bu numuneye ait Resim 8.17-a, b ve c'de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde artan yük miktarına bağlı olarak temas yüzeyinin ve baskının artmasıyla yüzeylerde daha fazla ve sık aşınma çizgileri oluşmuştur. Oluşan aşınmanın numunenin sahip olduğu yüksek Ni oranına ve düşük sertlik değerine bağlı olarak sünek aşınmanın olduğu düşünülmektedir.

Abrasif aşınma deneylerinde tüm numunelerde ve tüm yükler altında elde edilen ağırlık kayıplarının adhesif aşınmada elde edilen aşınma kayıplarına oranla daha fazla olduğu, artan yük miktarıyla birlikte aşınma oranlarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin sahip oldu sertlik değerlerine ve içerdikleri C, Cr, Co ve Ni oranlarına bağlı olarak abrasif aşınma davranışlarının değiştiği, artan sertlik, C, Cr ve Co oranına bağlı olarak aşınma dirençlerinin arttığı, artan Ni oranına bağlı artan süneklik ile aşınma direncinin azaldığı görülmüştür.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada valf veya supap çeliği olarak da adlandırılan 1.4718 kodlu çeliğe, sert yüzey kaplama metotlarından biri olan TIG yöntemiyle Stellite 1, Stellite F, Nikel 60 ve Stellite 6 kodlu ilave telleri ile kaplama yapılmıştır.

Daha sonra kaplanan numunelerin mikroyapı, sertlik, aşınma ve SEM görüntü sonuçları toplu halde irdelenerek, elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

1. 1.4718 çeliğinin stellite ve nikel alaşımları ile normal atmosfer şartları altında herhangi bir önlem ve ön tavlama ısıl işlemine gerek duymadan tek pasoda TIG kaynak yöntemi ile stellite 1, stellite 6, stellite F ve nikel 60 ile kaplanabildiği,
2. Oda sıcaklığında ve 300 °C'de 10 N, 25 N ve 40 N yükler altında yapılan tüm adhesif aşınma deney sonuçlarına göre en yüksek aşınma direncine sahip numunenin stellite 1, en düşük aşınma direncine sahip numunenin de stellite F numunesi olduğu,
3. Oda sıcaklığında 400 meshlik Al₂O₃ aşındırıcı üzerinde yapılan abrasif aşınmalarda da en yüksek aşınma direncine yine stellite 1, en düşük aşınma direncine stellite F numunesinin sahip olduğu,
4. Hem adhesif hem de abrasif aşınma deneylerinde uygulanan yük miktarlarındaki artışa bağlı olarak aşınma kayıplarının arttığı,
5. Adhesif aşınmada ortam sıcaklığını oda sıcaklığından 300 °C'ye çıkarttığımızda yine tüm yükler altında aşınma kaybı oranlarının arttığı,
6. Alaşım içerisinde var olan Cr ve Co'nun sertliği ve aşınma direncini arttırdığı, Ni oranının artmasıyla ise malzemenin sünekliğinin artmasına bağlı olarak aşınma direncinin düştüğü,

7. SEM görüntüleri incelendiğinde en yüksek sertlik değerlerine sahip olan ve en az aşınan stellite 1 ve stellite 6 numunelerinde aşınma çizgilerinin daha yüzeysel olduğu, düşük sertlik değerlerine, yüksek Ni ve aşınma kaybı oranına sahip stellite F ve nikel 60 numunelerinde ise sünek aşınmaların oluştuğu görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada kullanılan kaynak parametreleri, kaplama alaşımları aşınma ortamları ve türleri çalışma konusu çerçevesinde belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada yapılamayan ancak denemesinde yarar olacak görüşlerimiz ise şunlardır;

1. TIG kaynak yöntemi yerine Plazma veya oksî-gaz kaynak yöntemi kullanılabilir.
2. Stellite 12, Stellite 4, Nistelle C gibi daha farklı kaplama alaşımları ile kaplamalar yapılabilir.

Adhesif ve abrasif aşınma ortamları değiştirilerek farklı aşınma kaybı metotları ile aşınma davranışları incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Çelik H., “Kaynak edilebilen kobalt ve demir esaslı alaşımların yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışları”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 7-37 (1991).
2. DIN 50320, “Verschleiss, system analyse von verschleissvorgangen gliederung des verschleissgebietes”, **Materialprüfnormen Für Metallische Werkstoffe 2, DınTaschenbuch**, 38-51 (1983).
3. Gahr, Z., K.H., “Microstructure and wear of materials tribology series”, **Elsevier Science Publisher**, 10: 128-165 (1987).
4. Antony, K.C., “Wear-resistant cobalt-base alloys”, **Journal of Metals**, 52-60 (1983),
5. Çömez E., “Kobalt esaslı elektrotlarla kaplanan malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 13-45 (2003).
6. Atamert, S., and Bhadeshia, K.D.H., “Comparison of the microstructures and abrasive wear properties of stellite hardfacing alloys deposited by arc welding and laser cladding”, **Metallurgical Transactions**, 1037-1054 (1989).
7. Ogind K., and Kinoshita H., “Wear charecteristics of a cobalt base hardfacing alloy”, **Wear**, 81-89 (1981).
8. Avcı, A., “Benzinli motorlarda LPG kullanımının supaplar üzerindeki ısı etkisinin incelenmesi”, **Uludağ Üniversitesi Müh.-Mim. Fakültesi Dergisi**, 8 (1): 38-46 (2003).
9. Kamış, Z., Yüksel, İ., “Elektromekanik supap mekanizması tasarımı ve tasarıma etki eden parametrelerin araştırılması”, **Mühendis ve Makine Dergisi**, 17-23 (2003).
10. Peterson, K., Stefanopoulou, A., Megli T., Haghgoie, M., “Nonlinear self-tuning control for soft landing of electromechanical valve actuator”. **Proceedings Of American Control Conference**, USA, 1423-1418 (2002).
11. Kutlar, O. A., Arslan, H., Çalık, H.T., “Benzin (Otto) motorunda kısmi yükte yakıt tüketimini azaltmaya yönelik yöntemler: değişken supap zamanlaması ve açılma miktarı, değişken sıkıştırma oranı”, **Mühendislik ve Makine Dergisi**, 40(477): 44-52 (1999).
12. Tetik Fabrikaları, **Üretim Katalogları**, Konya, (2002).

13. Boz, M., Kurt, A., "Malzemelerin sürtünme ve aşınma özellikleri", **Teknoloji**, 9(2); 79-90 (2006).
14. Supsan Supap Fabrikası, **Üretim Katalogları**, Konya.(2000).
15. MEGEP, "Otomotiv motor mekaniği modülü", **Otomotiv Teknolojisi Alanı**,3-60 (2003).
16. İnternet: Mesleki ve Teknik Eğitim Programları, "MEGEP Programları"
http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/ (2004).
17. İnternet: Otomotiv ve motor sistemleri, "Otomotiv Teknolojisi"
http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/supap_sistemi/vvt1.htm (2001).
18. İnternet: Otomotiv ve motor sistemleri, "Supap Teknolojisi"
http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/yenilestirme/supap_supapmekanizma.htm
(2001)
19. İnternet: Otomotiv ve motor sistemleri, "Motor Mekaniği"
http://www.obitet.gazi.edu.tr/otomotivmotormekanigi_202.pdf (2001).
20. Bilal, H., "Alternatif yakıt kullanımının supap tasarımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi", Y.Lisans Tezi, **Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 11-37 (2000).
21. Çetinkaya C., " Pulluk uç demirlerinin aşınmaya dayanımlarının belirlenmesi ve iyileştirme imkanları üzerinde araştırmalar", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 25-63 (1994)
22. Gültaş A., "Aşınma deney aparatının tasarımı, üretimi ve metal matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi", Y. Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 11-77 (1998).
23. Hutchings, I.M., "Friction and wear of engineering materials", **Tribology: Adward Arnold**, London, 17-23, (1992).
24. Boz M., Kurt A., "Antimon trisülfit'in bronz esaslı fren balata malzemelerinin Sürtünme-aşınma özelliklerine etkisi", **Teknoloji**, 9(2): 79-90 (2006).
25. Kahraman, N., Gülenç B., Durgutlu A., "Alev spreyleme yöntemiyle kaplanan malzemelerdeki aşınma davranışlarının incelenmesi, **1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi**, İstanbul, 1392-1399, 5-7 (2005).
26. Gürkan M., "Ostenitik ve martensitik paslanmaz çeliklerin yüksek sıcaklık aşınma davranışları", Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 10-39 (2007).

27. Keleştimur, M.H., “Makine yapı çeliklerinde abrasif aşınma direncine yüzey sertliğine etkisi”. Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 7-44 (1989).
28. Altınkök N., “Otomotiv endüstrisinde kullanılan Al_2O_3 / Sic partikül destekli metal matris kompozit üretimi ve mekanik davranışlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 14-54 (2002).
29. Kayalı, E.S., Eruslu, N., Ürgen, M., Taptık, Y., Çimenoğlu, H., “Hasar analizi seminer notları”, **TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası**, İstanbul, 5-13 (1997).
30. Oğuz B., “Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları”, **Oerlikon Yayını**, İstanbul, 4-34 (1993).
31. Yıldızlı, K., Odabas D., Nair F., “Borlanmış AISI 1020 çeliğinin erozif aşınma davranışının incelenmesi” **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Kayseri, 15-21 (2003) .
32. Yıldırım, M.M., “Yüzey mühendisliği”, **Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi**, Hatay, 13-62 (1999).
33. Koz, M., “Sertliğin incelenmesi ve tanımı”, **Yüksek Seviyede Sert Dolgu Kaynakları Semineri**, İstanbul, 15-20 (1988).
34. Layıktez, C., “Çeşitli sanayi kollarında aşınma türlerinin incelenmesi”, **Oerlikon Yayınları**. İstanbul, 4-22, (1988),
35. Domke, W., “Werkstoffkunde Und Werkstoffprüfung”, **Verlag W. Girardet**, Essen. Germany, 23-44 (1987).
36. Murray, M.J., Muttan, P.J., And Watson, T.D., “Abrasive wear mechanisms in steels”, **Journal Of Lubrication, Technology**, 104: 9-16 (1982).
37. Sarı, Y.N., Yılmaz, M., “AISI 1050 malzemesinin Ni esaslı kaplamaların abrasif ve erozif aşınma direncine ısı püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi”, **Makine Mühendisleri Odası Dergisi**, 14-20 (2005).
38. Ay, M., “Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen Fe-C-Mo-Cr7c3 kompozitinin abrasif aşınma dayanımının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 5-68 (2003).
39. Moore, D.F., " Principles and applications of tribology", **Pergamon Press.**, Oxford, 32-47 (1975).

40. Cooper, K.P., "Laser surface processing, friction, lubricant and wear technology" **ASM Handbook, ASM International**, Vol.L8, 861-872 (1992).
41. Dikeç F., "Aşınmaya dayanıklı demir çelik döküm malzemeleri", **İTÜ Dergisi**, İstanbul, 7-15 (1976).
42. Bauschke H.M., Hornbogen E., and Zum Gahr, K. H., "Abrasive verschleiss austenitischer stahle", **Z. Metalkunde**, 1-12 (1981).
43. Güleç Ş., Aran A., "Demir dışı metaller malzeme bilgisi", **TÜBİTAK Yayını**, 2: 123-235 (1987).
44. Vinokur B.B., Durdyev B.D., "Mutual influence of the mechanical properties of manganese steel on the wear resistance of alu-pru pair." **Plenum Publishing Corporation**, 127-143 (1991).
45. Charlie, R.B., "Heat treatment, structure and properties of nonferrous alloys", **ASM, Metals Park**, Ohio, 229-251 (1982).
46. Kulkarni, K.M. And Anand, V., "Metal powder used for hardfacing, powder metallurgy", **ASM Handbook, American Society For Metals**, 9(7); 823-836 (1984).
47. Sun, Y., Çimenoglu, H., "Krom-Nikelli çeliklerin aşınma davranışları", **İTÜ Mühendislik Dergisi**, 5(1); 145-149 (2006).
48. Çelik H., Osma A., Çimenoglu H., Kayalı E.S., "Stellite 6 alaşımının yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışına silisyumun etkisi", **TMMOB Metalürji Müh. Odası, 8. Uluslararası Metalürji ve Malzeme Kongresi**, İstanbul, 286-291 (1995).
49. Vaterhouse, R.B. "Friction lubrication wear technology", **ASM Handbook**, 18: 242-256 (1992).
50. Buckley, D. H., "Tribological properties of surfaces", **Thin Solid Films**, 53: 279-283 (1978).
51. Gibson, P.R., Clegg, A.J., Das, A.A., "Production and evaluation of squeeze cast graphitic Al-Si alloys" **Metal Science And Technology**, 7: 559-567 (1995).
52. Schwarz, W. And Warlimont, H., "A new series of cobalt-based amorphous", **Alloys And Engineering**, 10-19 (1997).
53. Sims C.T., "Cobalt base alloys", **New York**, 132-145 (1972).

54. Wagner, H.J., And Hail, A.M., “The physical metallurgy of cobalt-base süper alloys”, **Defense Metals Information Center, Battelle Memorial Institute**, Colombus, Ohio, 138-210 (1972).
55. Sheety, H. R., Kosel T.H. And Fiore N.F., “A study of abrasive wear mechanisims in cobalt base alloys” **Wear Of Materials**, 406-414 (1981).
56. Desai, V., Rad, C.M., Kosel, T.H. And Fiore N.F., “Effect of carbide size on the abrasion of cobalt base powder metalurgy alloys”, **Wear**, 347-376 (1984).
57. Kosel, T.H., Fiore, N.F At All., “Study of abrasive wear resistance in Co-base powder metalurgy alloys”, **Journol of Metals.**, 20-39 (1979).
58. Antony, K. C., “Wear-resistant cobalt base alloys”, **Journol of Metals**, 35: 52-60, 45-52 (1983).
59. Noble D.N., “The Effect of flux-coard arc welding conditions on microstructure and abrasive wear resisance of two iron-bsted hardfacing alloys”, **Welding Institute Res. Report**, 67-93 (1986).
60. Subramanyam, D.K., Swansiger A.E, and Avery, H.S., “Austenitic manganese steels, properties and selection: irons, steels and high performance alloys”, **ASM Handbook, ASM International**, 1: 822-840 (1990).
61. Wagner H. J., And Hall, A.M., “The physical metalurgy of cobalt-base super alloys”, **Defense Metals Information Center, Batelle Memorial Institute, Colombus**, Ohio, 328-332 (1962).
62. Jayaram, V. And Bıswas, S.H, " Wear Of Al₂O₃-Sic-(Al,Si) melt oxidised ceramic composites, **Wear**, (225-229); 1322-1326 (1999).
63. Yaz, M., “Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin Co esaslı süper alaşım elektrotları ile kaplanabilirliğinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 13-67 (2005).
64. Şen, U., "Küresel grafitli dökme demirlerin bor kaplanması ve kaplama özellikleri", Doktora Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 8-66 (1997).
65. Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H, Aksoy, İ., “Microstructure and phase analyses of stellite 6 plus 6 % wt. mo alloy”, **Journal Of Materials Processing Technology**, 257-263 (1997).
66. Kuzucu, V., Ceylan, M., Çelik, H., Aksoy, İ., “An investigation of a stellite-6 alloy containing 5.0 wt % silicon”, **Journal Of Materials Processing Technology**, 47-51 (1998).

67. Yaz M., Çelik H., “Cr-Ni’li paslanmaz çeliğin co esaslı süper alaşımlar ile sert yüzey kaplanabilirliğinin araştırılması”, **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi**, 19(2), 225-233 (2007).
68. Mingxi, L., Yizhu, H, Xiaomin, Y. "Effect of nano-y2o3 on microstructure of laser cladding cobalt-based alloy coatings", **Applied Surface Science**, Maanshan, 120-125 (2005).
69. Çelik H., Yaz M., “Klinker öğütme silpepslerinin alaşım katkı oranlarına bağlı abrasif aşınma davranışlarının araştırılması”, **10. International Metallurgy and Materials Congress**, Istanbul, 893-900 (2000).
70. Kuzucu, V., Ceylan,M., Çelik, H., Aksoy, İ. "Phase investigation of a cobalt base alloy containing Cr, Ni, W And C", , **Journal Of Materials Processing Technology** , 137-141 (1998),
71. Zordan, R. D., “Cobalt Corporation”, **Kokomo, Iv Report 10890**, 27-39 (1982).
72. İzciler M., Çelik H., “Two- and three-body abrasive wear behaviour of different heat-treated boron alloyed high chromium cast iron grinding balls”, **Journal of Materials Processing Technology**, 105: 237-245 (2000).
73. Crook P., and Furmer H.N., “Friction and wear of hardfacing alloys”, **Friction, Lubricant, and Wear Tech. ASM International**, 18: 758-765 (1992).
74. Y. Sahin, “Tribological behaviour and wear surface analysis of metal-matrix composites”, **Journal of Materials Science**, 34: 875-880 (1999).
75. Korkut H. M., “Ferritik paslanmaz çeliklerin mikroyapısı ve aşınma üzerine karbür yapıcı elementlerin etkilerinin araştırılması”. Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 11-71 (1997).
76. Savaş S., “PVD metodu ile TiN kaplanmış S-6-5-2 yüksek hız çeliğinin aşınma davranışlarının incelenmesi”., Y. Lisans Tezi, **Erciyes Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 6-75 (2004).
77. Çelik H., Çimenoğlu H., Kayalı E.S., “Abrasive wear properties of some stellite alloys”, **ESDA, European Joint Conference on Engineering Systems. Design and Analysis.**, 361-365 (1992).
78. Alwart, S. And Ulrich, C. P., "Abrasive resistant hard steel surface produced by boriding", **Industrial Heating**, 47-50 (1998).
79. Bozkurt, N., "Bor yayınımla çeliklerde yüzey sertleştirme" Doktora Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 23-73, (1984).

80. Er, Ü., Par, B., "Bor yayınımla yüzeyi sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 çeliklerinin abrazif aşınma dayanımlarının incelenmesi" **Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 17: 1-17 (2004).
81. Şahin, Y., Murphy, S., "The effect of sliding speed and microstructure on the dry wear properties of metal matrix composites", **Wear**, 214: 98-106 (1998).
82. Kulkarni K.M., and Anand V., "Metal powder used for hardfacing, Powder Metallurgy", **ASM Handbook, American Society for Metals**, 9(7): 823-836 (1984).
83. Blake A.G., Et al. "Lase Coating Techn., A Commercial Reality", **Bulletin of Quantum Laser Corporation.**, 37-41 (1988).
84. Olson D. L., "Prediction of Austenitic Weld Metal Microstructure and Properties", **Weld Journal.**, 64: 2185-2995 (1985).
85. Turhan H., "Östenitik manganlı çeliğin aşınma davranışlarının araştırılması". Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 12-78 (1994).
86. Çoğür T., "Toz alev spreyleme yöntemi kullanılarak kaplanan farklı malzemelerin aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 23-73 (2007).
87. Kiper, G., "Alüminyum üzerinde ısı püskürtme yöntemiyle oluşturulan çelik kaplamaların aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 5-73 (2003).
88. Çeltik, İ., "AISI 310 Paslanmaz çeliğinin mikroyapı ve aşınma davranışlarının incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Antakya, 4-78, (2000),
89. Selçuk B., "Borlanmış AISI 1020 ve 5115 çeliklerinin sürtünme ve aşınma davranışlarının incelenmesi". Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 34-57, (1994).
90. Erdem S., "Yüksek karbon içeriğine sahip, yüksek kromlu, manganlı ve alaşımsız düşük karbonlu çeliklerin aşınma davranışlarının araştırılması". Y. Lisans Tezi., **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 4-76 (2006),
91. Solmaz M.Y., Keleştimur M.H., "Değişen sıcaklık şartlarında Ni₃Al+B metaller arası bileşiğin aşınma davranışlarının incelenmesi". **10 Denizli Sempozyumu ve Sergisi**, Denizli, 1-8 (2004).

92. Karaoğlu, S., Karadeniz, S., Karaoglu, ., “Plazma nitrürlenmiş az alaşımlı bir çeliğin aşınma davranışının incelenmesi”, **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi**, 85-92 (2001).
93. Kıratlı, N., “Farklı tip dolgu elektrotları ile dolguları yapılan bor kırıcı çenelerin aşınma davranışlarının incelenmesi”, **Dmlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 117-125 (2006).
94. Kıratlı, N., Fındık, F., Gülenç, B., Durgutlu, A., “Toz altı ark kaynağında bor karışımlı kaynak tozları kullanılarak dolguları yapılan AISI 1040 eliğinin aşınma davranışının incelenmesi”, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 105-115 (2004).

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, Adı : ARABACI, Uğur
Uyruğu : T. C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 09.02.1977 Aydın
Medeni Hali : Evli
Telefon : 0 312 202 87 84
Faks : 0 312 212 00 59
e-posta : uarabaci@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Eğitimi Bölümü	2003
Lisans	Gazi Üniversitesi / Metal Eğitimi Bölümü	2000
Lise	Aydın Mimar Sinan Tek. ve End. Mes. Lisesi	1995

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2001-2009	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dili : İngilizce

Yayınlar

1. Çetinkaya C., Arabacı U, “Flash Butt Welding Application On 16mncr5 Chain Steel And Investigation Of Mechanical Properties”. Journal Of Materials Design, Volume:27, Issue:10, Pages:1187-1195, 2006.
2. Arabacı, U., Çetinkaya, C., Akay A., “An Investigation Of Effects Of Upsetting Current Time And Normalization Heat Treatment On Mechanical Properties Of X40crmov51 And C1030 Steels Joined By Flash Butt Welding,” Journal Of Materials Design. Volume 28, Issue 8, 2007, Pages 2351-2360.
3. Çetinkaya, C., Arabacı, U., “Yakma Alın Kaynağı İle Kaynatılan 16mn5cr Zincir Çeliğinde Yığma Akım Zamanı Ve Tam Tavlama Isıl İşleminin Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, G.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi, Cilt:19, Sayı:4, Sayfa 455-465, 2004.
4. Çetinkaya, C., Arabacı, U., Akay, Ali., “Yakma Alın Kaynağı İle Kaynatılmış İki Farklı Çeliğin Kaynak Kalitesine Yığma Akım Zamanının Etkisi”. G.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi. Cilt:21, No:3, Sayfa: 519-525, 2006.
5. Çetinkaya, C., Arabacı, U., “Yakma Alın Kaynağında Yığma Akım Zamanının Bağlantının Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi” Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi, Cilt:7 , Sayı:4, Sayfa:327-333, 2004.
6. Arabacı, U., Çetinkaya C., “Yakma Alın Kaynağında Yığma Basıncının 16mn Cr5 Zincir Çeliğinin Mekanik Özelliklerine Etkisi”. Teknik Eğitim Fakültesi, Politeknik Dergisi. Cilt:9, Sayı:4, Sayfa:295-301, 2006.
7. Durgutlu A., Fındık T., Arabacı U., Gülenç B., “Östenitik Paslanmaz Çeliğin Tıg Kaynağında Akım Türünün Kaynak Metal Mikroyapısı Ve Sertlik Değerine Etkisi”, 1. International Conference On Welding Technologies 11-13 June 2009 Ankara/Türkiye.
8. Arabacı U., Fındık T., Durgutlu, A., “Yakma Alın Kaynağı İle Birleştirilen 304 Paslanmaz Çelik Çiftinde Yığma Basıncının Bağlantının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi”, 1. International Conference On Welding Technologies 11-13 June 2009 Ankara/Türkiye
9. Fındık T., Arabacı U, Çetinkaya C., “Mıg Kaynak Uygulamasında Kızıl Ötesi Yöntemi Kullanarak Kaynak Metalinin Sıcaklığının Ölçülmesi”, 1. International Conference On Welding Technologies 11-13 June 2009 Ankara/Türkiye

Hobiler

Futbol, Sinema, Yüzme, Bilgisayar ve Elektronik Teknolojileri.