

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

**TERMAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ
KOMPOZİT ESASLI KAPLAMALAR VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim AYTAÇ

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet TÜRK

Aralık 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TERMAL PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLMİŞ
KOMPOZİT ESASLI KAPLAMALAR VE
KARAKTERİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İbrahim AYTAÇ

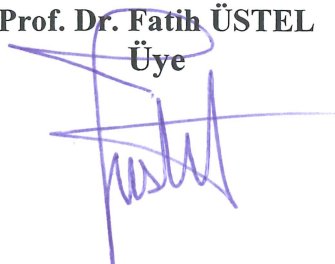
Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME

Bu tez .. / .. /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

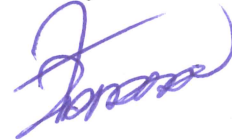
Prof. Dr. Ahmet TÜRK
Jüri Başkanı



Prof. Dr. Fatih ÜSTEL
Üye



Prof. Dr. Ramazan YILMAZ
Üye



ÖNSÖZ

Bu çalışmanın her aşamasında fikir ve tecrübeleri ile büyük katkı sağlayan ve çalışmalarım esnasında beni yönlendiren değerli hocalarım Prof. Dr. Ahmet TÜRK ve Prof. Dr. Fatih ÜSTEL'e çok teşekkür ederim. Kaplamaların üretilmesinde ve tüm çalışmalarımda yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım Yüksek Mühendis Garip ERDOĞAN'a ve Termal Sprey Laboratuvarındaki tüm çalışanlara ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu çalışmada önemli ekonomik kayıplara neden olan aşınmanın azaltılmasına yönelik WC-Co kaplama uygulamaları ve bu kaplamaların aşınma özellikleri araştırılmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda öncelikle aşınma deneylerinde kullanılmak üzere aşınma deney cihazı tasarımı ve imalatı yapılmıştır. İmalat aşamalarında teknik resimlere uygun olarak cihazın yapılmasında emeği geçen Kaptan Demir Çelik Çorlu fabrikasında çalışan İlyas YILMAZ ve Namık HATİPOĞLU ustalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim süresince desteklerini üzerimden esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
AŞINMA TÜRLERİ VE CİHAZLARI	3
2.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler	4
2.1.1. Malzeme seçimi	4
2.1.2. Sürtünme	4
2.1.3. Yüzeğe uygulanan yük	4
2.1.4. Sürtünme mesafesi	5
2.1.5. Yüzeğe sertliği	5
2.1.6. Yüzeğe pürüzlülüğü	5
2.1.7. Yağlama	5
2.2. Aşınma – Zaman İlişkisi	5
2.3. Aşınma Çeşitleri	7
2.3.1. Adhesif aşınma	7
2.3.2. Abrasif aşınma	9

2.3.3. Yorulma aşınması	10
2.3.4. Difüzyon aşınması	11
2.3.5. Tribo-oksidasyon aşınması	12
2.3.6. Erezyon ve kavitasyon aşınması	12
2.3.7. Yenme aşınması	13
2.4. Aşınmanın Azaltılması İçin Alınması Gereken Önlemler	13
2.5. Aşınma Ölçüm Metodları	14
2.5.1. Ağırlık farkı metodu	14
2.5.2. Kalınlık farkı metodu	15
2.5.3. İz değişim metodu	15
2.5.4. Hacim hesabı metodu	15
2.5.5. Radyo izotop ölçme metodu	16
2.5.6. Bilgisayar destekli aşınma ölçüm metodu	16
2.6. Aşınma Deney Yöntemleri ve Cihazları	17
2.6.1. Aşınma deney yöntemleri	17
2.6.2. Aşınma deney cihazları	20
2.6.2.1. Düzlem üzeri çubuk (pin-on-flat) deney cihazı	20
2.6.2.2. Dört top deney aparatı	20
2.6.2.3. Ball on flat aşınma deney cihazı	21
2.6.2.4. Ball on disk aşınma deney cihazı	22
2.6.2.5. Levha – kayış deney cihazı	23
2.6.2.6. Silindir üstü çubuk deney cihazı	24
2.6.2.7. Çapraz deney cihazı	24
2.6.2.8. Plint TE 97 sürtünme ve aşınma deney cihazı	26

BÖLÜM 3.

YÜKSEK HIZLI ALEV PÜSKÜRTME (HVOF) YÖNTEMİ	29
3.1. HVOF Sistemleri	32
3.1.1. Patlamalı püskürtme	32
3.1.2. Jet kote sistemi	33
3.1.3. Diamond jet sistemi	34
3.1.4. Cds püskürtme sistemi	35
3.2. HVOF Yönteminin Genel Karakteristiği	35

BÖLÜM 4.

CİHAZ TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	39
4.1. Cihaz Tasarımı	39
4.1.1. Cihaz ekipmanları	39
4.1.2. Cihazın Çalıştırılması	41
4.1.2.1. Cihazın tur miktarına göre otomatik çalıştırılması	42
4.1.2.2. Cihazın süreye bağlı otomatik çalıştırılması	42
4.1.2.3. Cihazın manuel çalıştırılması	43
4.2. Deneysel Çalışmalar	43
4.2.1. Kaplamaların üretilmesi	43
4.2.2. Kaplamaların incelenmesi	43
4.2.3. Aşınma deneyleri	47
4.2.3.1. Aşınma numunelerinin incelenmesi	48
4.2.3.2. Bilye yüzeyinin incelenmesi	53
4.2.3.2.1. Bilyenin aşınma hacim hesabı	58

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	63
5.1. Sonuçlar	63
5.2. Öneriler	64
KAYNAKLAR	65
EKLER	68
ÖZGEÇMİŞ	80

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A(em)	: Aşınma sınırı
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
d	: Aşınan malzemenin yoğunluğu
Fe	: Demir
G	: Aşınma kaybı
HVOF	: Yüksek hızlı alev püskürtme
M	: Yükleme ağırlığı
μm	: Mikron metre
O	: Oksijen
S	: Kayma mesafesi
SEM	: Taramalı electron mikroskobu
Wa	: Aşınma oranı
WC	: Wolfram karbür
mm	: Milimetre
m	: Metre
Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
kg	: Kilogram
V_p	: Aşınan hacim
π	: Pi sabiti (3,14)
h	: Yükseklik
D	: Aşınan bölge çapı
R	: Bilye yarıçapı
mm^3	: Milimetreküp

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Aşınma olayını meydana getiren unsurlar	3
Şekil 2.2. Aşınma zaman grafiği	6
Şekil 2.3. Adhesif aşınma	7
Şekil 2.4. Adhesif aşınmada oluşan kaynak bağı	8
Şekil 2.5. Görünen ve gerçek temas alanı	8
Şekil 2.6. Bakır esaslı bronz ve pirinç yataklarda kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme - zaman diyagramı	9
Şekil 2.7. Pürüzlü sert bir yüzey veya iki cisimli abrasif aşınma	10
Şekil 2.8. Üç cisimli abrasif aşınma yöntemiyle bulunması	10
Şekil 2.9. Yüzey yorulması mekanizması yöntemiyle bulunması	11
Şekil 2.10. Model deney sistemleri	19
Şekil 2.11. Pin on flat deney cihazı şematik görünümü	20
Şekil 2.12. Dört top aşınma deney aparatı	21
Şekil 2.13. Ball on flat deney cihazı	21
Şekil 2.14. Ball on disk deney cihazı	22
Şekil 2.15. Levha-kayış aşınma deney cihazı	23
Şekil 2.16. Silindir üstü çubuk deney cihazı	24
Şekil 2.17. Saç metal kesimi	25
Şekil 2.18. Çapraz cihazı deney düzeneği	26
Şekil 2.19. TE 97 aşınma cihazı	27
Şekil 2.20. TE 97 deney cihazı ile yapılabilen aşınma deneylerinin şematik görünümü	27
Şekil 2.21. a) TE-97 Pin on Disk deney cihazı b) Silindir üstü Çubuk deney cihazı	28
Şekil 3.1. Yüksek hızlı oksijen yakıtı yöntemi	30
Şekil 3.2. Hiper hızlı oksijen yakıtı gaz tabancası	31

Şekil 3.3. Oksijen yakıtlı gaz patlama tabancasının şekli	33
Şekil 3.4. Şematik olarak Jet kote cihazı.....	34
Şekil 3.5. Dönen bir başlık ile kaplama çeşitleri.....	37
Şekil 4.1. Cihazın genel görünümü	40
Şekil 4.2. WC/Co kaplamanın optik mikroskop görüntüleri.....	44
Şekil 4.3. WC-Co kaplamanın SEM/EDS görüntüleri.....	45
Şekil 4.4. Aşınan yüzey SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük	49
Şekil 4.5. Aşınan yüzey SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük	51
Şekil 4.6. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük	54
Şekil 4.7. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük	56

ÖZET

Anahtar kelimeler: HVOF, WC-Co, Aşınma, Yüzey

Bu çalışmada HVOF ile paslanmaz çelik altlık üzerine kaplanan WC-Co alaşımlı kaplamanın aşınma performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda önce aşınma cihazı tasarımı yapılmış ve imalat gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada bu cihaz kullanılarak üretilen kaplamaların Ball-on-flat aşınma deneyleri Al_2O_3 bilye ile farklı yük ve aşınma mesafelerinde yapılmıştır. Daha sonra optik mikroskop ve SEM-EDS ile hem üretilen kaplamalar hem de aşınma yüzeyleri yapısal olarak karakterize edilmiştir.

THERMAL SPRAY COATING METHOD BASED COMPOSITE MANUFACTURED AND CHARACTERIZATION

SUMMARY

Keywords: HVOF, WC-Co, Wear, Surface

In this study, the wear performance of WC-Co alloy coatings by HVOF coating on stainless steel substrate were determined. In this context before abrasion device has been designing and manufacturing were carried out. Sonraki aşamada bu cihaz kullanılarak üretilen kaplamamaların Ball-on-flat aşınma deneyleri Al₂O₃ bilye ile farklı yük ve aşınma mesafelerinde yapılmıştır. Then by optical microscope and SEM- EDS and the coatings produced with both wear surfaces were characterized structurally.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Birbiri ile sürekli temas ve hareket halinde olan makine parçalarının hayati önem taşımaktadır. Sürekli temas ve hareket nedeniyle meydana gelen sürtünme sonucunda oluşan ısı, aşınma adı verilen istenmeyen yüzey değişikliklerini de beraberinde getirir.

Aşınma, birbiri ile temas ve hareket halinde bulunan cisimlerden, çalışma esnasında oluşan mekanik yüklemeler sonucunda mikroskobik parçacıkların kopmasıyla oluşan istenmeyen yüzey değişikliğidir. Aşınma, yıpranma hususunda kendisini yavaş yavaş hissettirmesine rağmen, uzun zaman diliminde çok önemli kayıplara yol açmaktadır. Aşınmanın malzeme kaybına yol açmasının yanında, makine elemanlarının şeklini bozarak, onların iş yapma kabiliyetlerini azaltması veya yok etmesi ise çok daha önemlidir.

Aşınarak deforme olan parçaların dayanımı azalmakta ve eğilme, kopma, kırılma veya yağsız ortamlarda birbirine yapışma gibi istenmeyen arızalara sebebiyet verebilmektedir. Aşınmanın en aza indirilmesi için, birbiri ile uyumlu malzemelerin seçiminin yanında, çalışma şartları da çok önemlidir. Birbiri ile sürtünerek çalışan malzemelerin aşınması, yağlama sistemlerinin kullanılmasıyla en aza indirilir.

Aşınma çiftini oluşturan ana cisim ve karşıt cisim, aralarında belirli bir ara cisim varken, az ya da çok yük altında hareket ettirildiklerinde aşınırlar. Yanlış bir kanıya göre, düzgün yüzeyde aşınmanın az, pürüzlü yüzeyde ise çok olacağı sanılır. Ancak, sürtünme yüzeylerinin belirli bir pürüzlülük derecesinden daha düzgün işlenmesi, düşünülenin tersine, aşınmayı çoğaltır.

Çalışırken meydana gelen küçük değişiklikler bile aşınma olayını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle aşınma alanında yapılan teorik ve pratik çalışmalar

istenilen sonucu verememiş, uygulamalarda bunlardan yararlanmak mümkün olmamıştır. Pek çok etkili faktör nedeniyle yavaş yavaş ortaya çıkan aşınma olayını doğru biçimde izleyebilmek, ölçme tekniğindeki yeni buluşlarla mümkün olabilmektedir.

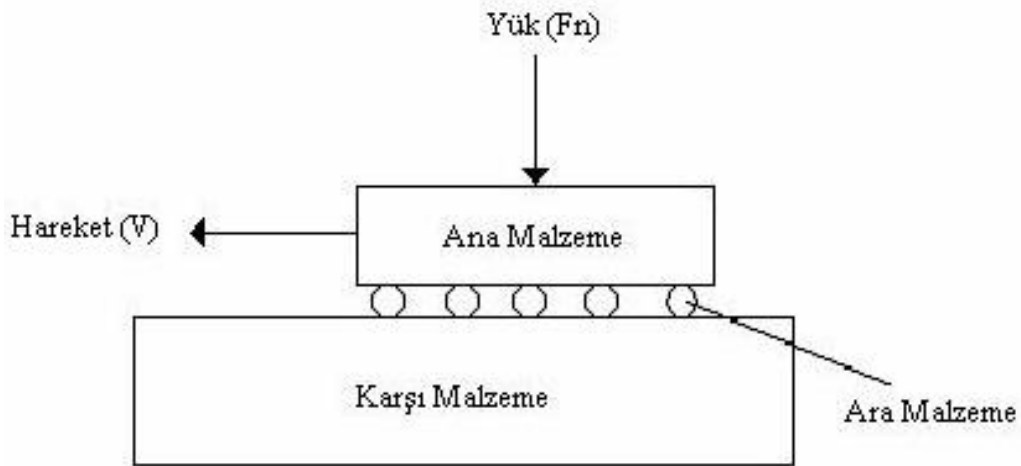
Aşınma maliyetlerini minimize edebilmek için kullanılan parçaların değiştirilmesi yerine parçaların temas yüzeylerinin bulunduğu ortama uyumlu kaplamalar ile güçlendirme çalışmaları yapılabilir. Bu sebeplerden dolayı WC/Co kaplamalar ile kuru, yağlı ve ısıtılmış yağlı ortamlarda kaplamaların aşınması üzerine çalışma yaptık.

Aşınma deneylerini yapabilmemiz için ASTM G133-05 Standardına uygun ball-on-flat yöntemiyle çalışan bir cihaz tasarladık. Bu cihaz ile değişen yükler altında kuru veya yağlı ortamlarda mesafeye bağlı olarak aşınma miktarını belirlemeye çalıştık.

BÖLÜM 2. AŞINMA TÜRLERİ VE AŞINMA CİHAZLARI

Aşınma çok değişik tanımlarla anlatılabilmektedir. Birbiriyle temas halinde olan elemanlar arasında mekanik, fiziksel ve kimyasal etkenler sonucunda mikroskobik parçacıkların kopmasıyla oluşan malzeme kaybı ve istenmeyen yüzey değişikliğine aşınma diyebiliriz. Aşınma malzeme kayıplarına sebep olabildiği gibi aşınan yüzeylerin şeklini bozarak iş yapma kabiliyetlerini azaltır hatta zamanla yok eder. Bunlar malzeme, işçilik, zaman dolayısıyla ciddi maddi kayıplara yol açabilmektedir. En kötüsü de ölümle sonuçlanan kazalara sebep olabilmektedir.

Aşınma mekanizmasının ana unsurları aşınan ve aşındırıcıdır. Bunlara genel anlamda “aşınma çifti” denir. Aşınma olayının meydana gelmesinde bu iki unsur yeterli değildir. Ara malzeme, yük ve hareket unsurlarının da ortamda olması gerekir. Aşınma çifti ile ara malzeme “aşınma kombinasyonu” olarak tanımlanmaktadır. Ara malzeme genellikle sisteme dışarıdan katılan katı, sıvı veya gaz olabildiği gibi sistemin içersinden kopan parçacıklarda olabilmektedir. Şekil 2.1’de aşınma olayını meydana getiren unsurlar gösterilmektedir [1,2].



Şekil 2.1. Aşınma olayını meydana getiren unsurlar [2].

2.1. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen bir çok değişik faktör bulunmaktadır. JARREL, D,J., BEJBL, F., bu faktörler arasında aşınmaya en çok etkisi olanları aşağıdaki gibi sıralamışlardır.

- Malzeme seçimi
- Sürtünme
- Yüzeğe uygulanan yük
- Kayma mesafesi
- Yüzeğe sertliği
- Yüzeğe kalitesi
- Yağlama

vb. faktörler etki etmektedir. Bu faktörleri inceleyecek olursak [3];

2.1.1. Malzeme seçimi

Aşınma olayı malzeme secimi ile yakından ilgilidir. Malzeme secimi doğru yapılmadığında beklenen performans elde edilemediği gibi maddi kayıplara da sebep olabilmektedir [3].

2.1.2. Sürtünme

Birçok araştırmacı sürtünme ile aşınma arasındaki ilişkiyi göz önüne almamıştır. Fakat bazı metallerde sürtünme katsayısı düşük olmasına karşın büyük oranlarda aşınma oluşabilmektedir. Bununla birlikte sürtünme katsayısının yüksek olduğu bazı durumlarda aşınmanın çok az olduğu görülebilmektedir [3].

2.1.3. Yüzeğe uygulanan yük

Yüzeğe uygulanan yük ile aşınma çok zaman doğru orantılı olarak arttığı deneysel çalışmalar ile gözlenmektedir [3].

2.1.4. Sürtünme mesafesi

Aşınma miktarının zamana bağlı olarak sürtünme mesafesiyle doğru orantılı bir şekilde arttığı yapılan araştırmalarla gözlenmektedir.

2.1.5. Yüzey sertliği

Yüzey sertliği aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Yüzey sertliği artırılarak aşınma azaltılabilir veya aşınmadan kaynaklanan yüzey deformasyonu sabit tutulabilir [3].

2.1.6. Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü 10 ila 70 μm arasında olmalıdır. Eğer yüzey çok temiz ise yüzeyler arasında soğuk kaynak oluşumu artar. Yüzey kaba olarak işlenmiş ise buda aşınmayı daha fazla artmasına sebep olur [3].

2.1.7. Yağlama

Aşınmaya karşı önleyici önlemlerden bir tanesi de yağlamadır. Sürtünen yüzeyler arasındaki yağlama ile metal metal teması ve soğuk kaynaklanma önlenir [3].

2.2. Aşınma - Zaman İlişkisi

Aşınma mekanizmaları genel anlamda zamanla kademeli olarak arttığı düşünülmektedir. Bu olgu aslında yanlış bir olgudur. Aşınma pratikte ikiye ayrılır.

- Zaman ile gelişen aşınma
- Aniden meydana gelen aşınma

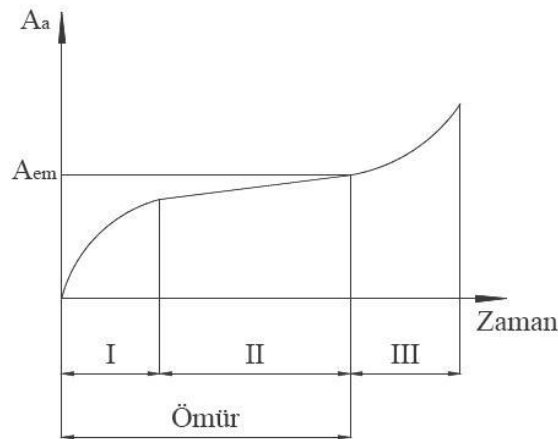
Zamanla meydana gelen aşınmayı üç safhada incelemek mümkündür.

1. Safha (Rodaj safhası): Bu safha birbirine alıştırma safhasıdır. Bu safhada parçanın ilk çalışması sırasında şiddetli bir aşınma meydana gelir. Bu nedenle parçaların

birbirilerine alıştırmaları iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmesi bu safhaya ait önemli şarttır. Genelde alıştırma, yüksüz normal hızlardan daha düşük hızlarda yapılır. Alıştırmanın iyi ve kısa sürede tamamlanması için bu safhaya ait özel ağırlıklar kullanılır [4].

2. Safha: Bu safha şekil 2.2’ de görüleceği gibi aşınma 1. Safha ya göre daha yavaş ilerler. Fakat zamanla aşınma oranı artmakta ve şiddetli aşınmalar bu safhadan sonra meydana gelmektedir [3].

3. Safha: Aşınmanın en çok hasara sebep olduğu safhadır. Artan aşınma hızı ile önemli hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu safhada meydana gelen hasarlarla malzeme kullanılamaz hale gelir. Aşınmanın ekonomik açıdan verdiği zararların en büyüğü bu safhanın ürünüdür.



Şekil 2.2. Aşınma zaman grafiği [5].

Aşınan elamana ait, çalışma şartlarına bağlı olarak müsaade edilen bir aşınma sınırı $A(em)$ tayin edilirse, aşınma zaman diyagramından elemanın normal çalışma zamanı(ömür) tespit edilir. Bu zamandan sonra parça değiştirilmeli veya tamir edilmelidir [5].

Aniden meydana gelen aşınmada, parçaların yüzeyleri bozulur veya bazı hallerde birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Genellikle eş çalışan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen bu aşınma şekli, mukavemet alanında statik zorlamanın etkisi altındaki kopmanın benzeridir [3].

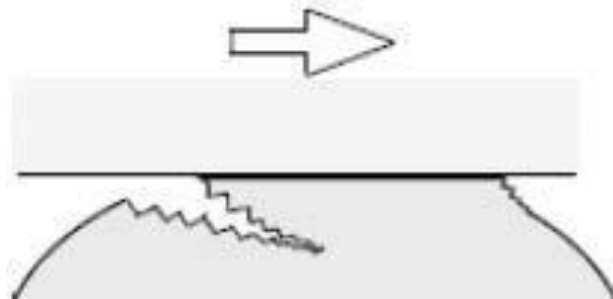
2.3. Aşınma Çeşitleri

Aşınmanın miktarına göre hafif ve şiddetli aşınma olarak yapıldığı gibi, mekanik, kimyasal ve termal olarak da sınıflandırılabilir. Aşınmanın meydana gelmesi ve sürekliliği için gerekli faktörlerin sistem içerisinde yaptığı kimyasal ve fiziksel etkilerin iletilmesine göre çok çeşit aşınma mekanizması vardır [6].

1. Adhesif Aşınma
2. Abrasif Aşınma
3. Yorulma Aşınması
4. Difüzyon Aşınması
5. Tribo-oksidasyon Aşınması
6. Erozyon ve Kavitasyon Aşınması
7. Yenme Aşınması

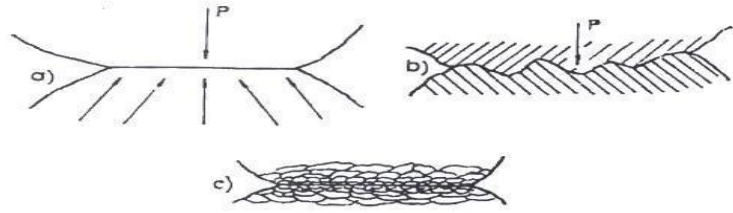
2.3.1. Adhesif aşınma

Adhesif aşınma kayma ve yapışma aşınması olarak ta bilinen bir aşınma türüdür. Temas halinde olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan kuru kayma yüzeylerinde daima mevcut olan bir aşınma türüdür. İki düzgün katı cismin yağlamalı veya yağlamasız ortamda kayma teması ile oluşur. Adhezyon ara yüzeydeki pürüzlerin teması ile meydana gelir ve bu temas noktaları kayma ile kesilir. Bununla birlikte bir yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışabilirler. Kayma devam ettiğinde diğer yüzeye yapışmış olan parçalar tekrar orijinal yüzeye yapışabilir veya her iki yüzeyden bağımsız aşınma partikülü olabilirler [3,7].



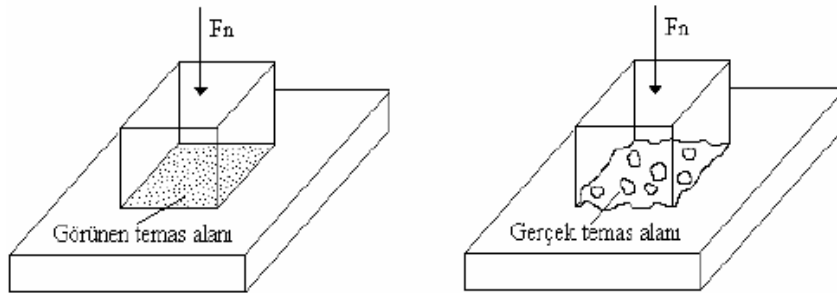
Şekil 2.3. Adhesif aşınma [3]

Özellikle kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adhesiv çekim kuvveti söz konusudur. Temas eden yüzeylerin birbirine yapışma eğilimi her iki malzemenin yüzey atomları arasında mevcut olan çekme kuvvetinden ileri gelir. Birbiri üzerine temas eden malzemelere yük uygulandığında temas noktalarında aşırı gerilmeler meydana gelir. Akma sınırı aşıldığında ise küçük kaynak bağları oluşur. Yüksek basınçlara ilaveten, temas noktalarında ayrıca aşırı sıcaklık artışlarının da olması, kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır. Oluşan bağ, malzeme yüzeyleri ne kadar temiz ise, o oranda kuvvetli olmaktadır. Rutubet, absorbe gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı bağ kuvvetini ve dolayısıyla aşınmayı azaltır. Temas halindeki malzemeler de kaynak veya yapışma olmuşsa hareket ile bu bağ kopacak ve temas noktalarında kırılmalar meydana gelecektir. Genel olarak kırılma yani kopma zayıf olan metalde oluşmaktadır [7]. Şekil 2.4. Adhesif aşınmada oluşan kaynak bağı görülmektedir.



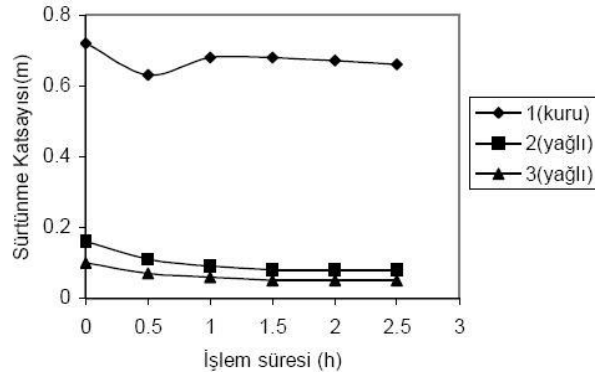
Şekil 2.4. Adhesif aşınmada oluşan kaynak bağı a) Temas etme b) Plastik deformasyon c) Kaynama

Yüzey ne kadar hassas işlense de gerçek temas alanı görünür temas alanından daima küçüktür. Yüzeyde girinti ve çıkıntılarının olduğu bir gerçektir. Şekil 2.5'te görünen ve gerçek temas alanı gösterilmektedir. Temas halinde olan iki yüzey bu çıkıntılar vasıtasıyla temas eder.



Şekil 2.5. Görünen ve gerçek temas alanı [7].

Bilimsel çalışmalar incelendiğinde; yük uygulanan yüzeyler arasında ilave edilen yağlayıcı maddenin, malzeme transferinde ve sürtünme katsayısında azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Bu gözleme en iyi örnek şekil 2.6’da gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Bakır esaslı bronz ve pirinç yataklarda kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme katsayısı- zaman diyagramı [9].

Tablo 2.1. Malzeme özelliklerinin adhesif aşınmaya etkisi [10].

Malzeme Özellikleri	Adhesif Aşınma
Oksitli yüzey	Az
Kübik kristal yapı	Çok
Hegzogonal kristal yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Çok
Yüksek elastik modül	Çok
Yüksek ergime noktası	Çok
Yüksek yeniden kristalleşme sıcaklığı	Çok
Küçük atom yarıçapı	Çok

Tablo 2.1’de malzeme özellikleri ile adhesif aşınma arasındaki ilişki verilmektedir.

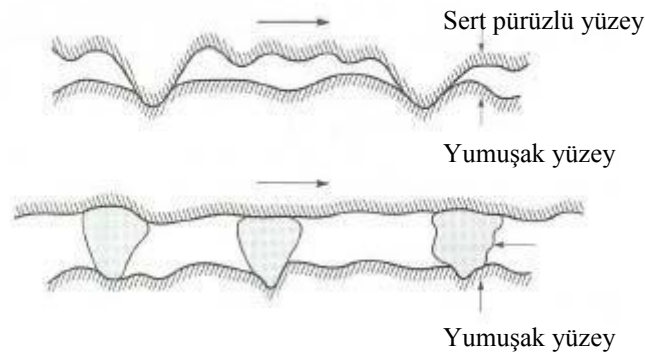
Adhesif aşınma için genelleme yapmak gerekirse;

- Uygulanan yük,
- Kayma mesafesi ve
- Aşınan malzemenin yüzey sertliği ile doğru orantılıdır.

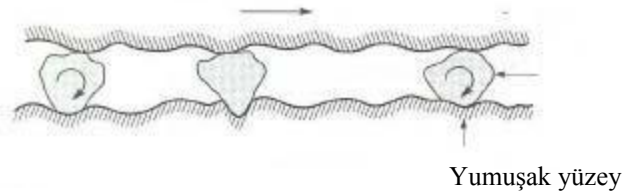
2.3.2. Abrasif aşınma

Abrasif aşınmada kaynaklanma olayı meydana gelmez. Temas halindeki yüzeylerden

sert olanın diğlerinden kaynaklanma meydana getirilmeden çizerek parçacıklar koparması ile meydana gelen aşınma türüdür. Bu duruma iki cisimli abrasif aşınma denilir. Örnek olarak torna tezgahları verilebilir. Temas eden iki yüzey arasında daha sert parçacıklar ilave edilirse, aşınma bu sefer iki yüzeyde de meydana gelebilir. Bu tür abrasif aşınmaya da üç cisimli abrasif aşınma denilir. Bu duruma da en güzel örnek öğütme sistemi verilebilir.



Şekil 2.7. Pürüzlü sert bir yüzey veya iki cisimli abrasif aşınma [11]



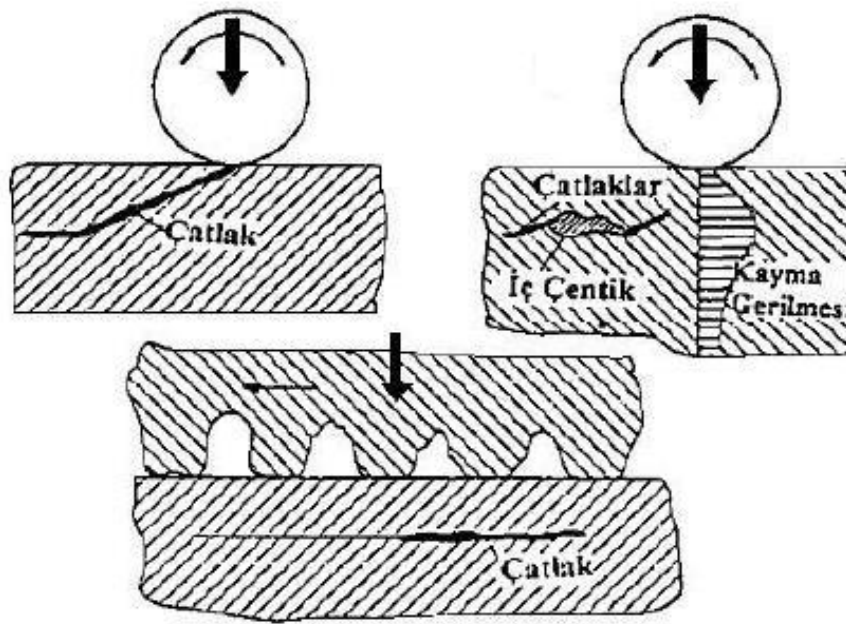
Şekil 2.8 Üç cisimli abrasif aşınma [11]

Abrasif aşınma da genellikle sertlik artışı, yabancı patiküllerin sisteme ilavesi ve deformasyon sertleşme hızının azalması aşınma direncini artırır. Abrasif aşınmanın ekonomik olarak önlenmesi için uygun yüzey sertleştirme işlemlerinin yapılması uygun görülmektedir.

2.3.3. Yorulma aşınması

Bu aşınma türü tekrarlanan yükler altında meydana gelir. Sürtünmenin de etkisiyle plastik şekil değiştirme yani pekleşme oluşumu başlar ve malzeme gevrekleşir. Tekrarlı yükler sebebiyle meydana gelen elastik ve plastik şekil değiştirme sonucu

malzeme yüzeyinin hemen altında mikro çatlaklar ve çukurlar oluşur. Çukurlar ya çok küçük olur ve büyüyemeyip yüzeye yayılamazlar ya da büyürler ve hasarlara sebep olurlar. Yuvarlanma hareketi yapan rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda, kam mekanizmalarında, soğuk ve sıcak haddeleme işlemlerinde yorulma aşınması sıkça görülür. Yağlamanın iyi olması genelde bu aşınmanın meydana gelmesine engel olamaz. Pullanmayı başlatan çatlak bazen yüzeyde bazen de yüzeyin altında bulunabilir. Şekil 2.9'da yüzey yorulmasında çatlak oluşumu ve ilerlemesi görülmektedir.



Şekil 2.9. Yüzey yorulması mekanizması [12].

2.3.4. Difüzyon aşınması

Sürtünmeden dolayı birbirleriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında bir sıcaklık yükselmesiyle birlikte temas yüzeyinde bulunan ortamların kristal kafes içinde atom yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket ederek difüzyon meydana gelir. Yüksek sıcaklıkta gerekli zaman sağlandığı zaman, sürtünme yüzey bölgesinde atom ve moleküllerin çevreye transfer olur ya da karşı sürtünme elemanına difüzyon olur. Genellikle; fren balatalarında, uzay araçlarında ve takım tezgâhlarında görülür.

2.3.5. Tribo-oksidasyon aşınması

Yüzeylerin hava ile reaksiyona girerek aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit ve diğer tabakaları oluşur. Ayrıca, kimyasal maddeler ile temas eden yüzeyler bu maddelerle reaksiyona girerek ince fakat sert tabakalar oluşturur. Yük uygulandığı zaman bu sert tabakalar sert parçacıklar düşerek aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Temas yüzeyleri temiz kalır ve tekrar reaksiyon sonucu olarak sert tabaka oluşur, yük altında tekrar kırılır ve olay bu şekilde devam eder. Tribolojik zorlama esnasında meydana gelen bu olaya, sürtünme oksidasyonu veya tribo-oksidasyonu denir. Bölgesel olarak aşırı zorlanan yerlerde, fiziksel veya kimyasal değişimler sonucunda meydana gelen aşınma türüdür. Uzay araçlarının sıcaklığa dayanıklı kabuğunda ve fren balatalarında sıkça rastlanmaktadır.

2.3.6. Erozyon ve kavitasyon aşınması

Ortam ile yüzey arasındaki hızın çok yüksek olması sebebiyle meydana gelen bozulma olayını erozyon olarak tanımlamak mümkündür. Erozyon aşınmasını ise, bir sıvı ya da gaz akımı tarafından taşınan farklı geometrik boyut ve yapıdaki taneciklerin, temasta buldukları katı yüzeylerinde sürekli darbe etkisi yaparak oluşturdukları hasar olarak tanımlayabiliriz.

Akışkan bir ortam (sıvı veya gaz ortam) ile hareketlendirilen aşındırıcı partiküllerin yüksek hızlarla bir katı yüzey üzerine tekrarlı çarpması sonucu oluşturduğu darbe etkisi ile oluşan aşınmaya katı partikül erozyonu denilmektedir. Yüksek hızlarda hareket halindeki sıvı (su) damlalarının bir katı yüzey üzerine tekrarlı çarpması sonucu meydana gelen şok dalgalarının tahribatı ile oluşan aşınmaya sıvı su damlası erozyonu denilmektedir. Bir katının yüksek hızlarda hareketiyle kendisinden çok daha yavaş su damlalarına tekrarlı çarpması sonrası oluşan şok dalgalarının tahribatı sonucu oluşan aşınmaya katı partikül taşıyan ortam erozyonu denir.

Kavitasyon, akan sıvılarda, ani basınç düşmesi sonucu gaz kabarcıklar veya boşlukların oluşması olarak tanımlanabilir. Sıvı içindeki bu boşluğun darbe şeklinde kapanması sonucunda (gaz kabarcıklarının patlaması) ani bir basınç ve sıcaklık artışı

olur ve buna bağlı olarak doğan kimyasal etkileşimlerle malzemede oluşan hasarlar, çukurlaşmalar ve küçük çatlamlarla plastik deformasyonlar şeklinde görölür. Artan malzeme sertliği ile kavitasyon nedeniyle oluşan aşınma azalmaktadır. Genellikle su türbinleri, su pompaları, buhar türbinlerinde görölür.

2.3.7. Yenme aşınması

Birbirlerine kuvvetle temas eden iki metal yüzeyi arasında düşük genlikli titreşim hareketinden dolayı; yüzeylerde bulunan pürüzler, yüzeyden koparak aşınmayı meydana getirirler. Yüzeyden kopan parçacıklar oksitlenerek aşındırıcı tane haline gelerek abrasif aşınma miktarını artırır. Yenme aşınması abrasif aşınmanın şiddetli bir çeşididir. Genellikle iş makinelerinde, sıkı geçmelerde, kama ve cıvata bağlantılarında meydana gelir [6].

2.4. Aşınmanın Azaltılması İçin Alınması Gereken Önlemler

1. Aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi; parçanın çalıştığı ortamdaki mevcut aşınma türü ve şiddeti belirtilerek yapılmalıdır.
2. Parçanın geometrik tasarımı, aşınmayı en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır.
3. Sadece aşındırıcı ortamlarla temas halindeki yüzeyler veya tüm yüzey alanı, esas malzemenin özelliklerinden daha üstün özelliklere sahip ve mevcut aşınma türüne daha dayanıklı bir malzeme ile kaplanmalıdır.
4. Parçanın tamamının aşınmaya dirençli malzemeden üretilmesi yerine, maliyeti azaltmak açısından sadece aşınan yerlerin aşınmaya dirençli malzemelerden üretilmesi daha uygun olacaktır.
5. Parçanın üretim aşamasında herhangi bir imalat hatasına (gözenek, cüruf, çatlak, kalıcı çekme gerilmeleri, istenmeyen mikro yapı, yüksek yüzey pürüzlülüğü vb.) yer verilmemelidir.
6. Parça, dayanım limitlerini aşan yükleme şartlarında (yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yüksek hız vb.) kullanılmamalıdır.
7. Bir yağın viskozitesi sıcaklığa göre değişir. Viskozite indeksi büyük olan yağlar, sıcaklık ile özellikleri daha az değişim gösteren yağlardır. Yağlayıcı

ile çalışan ortamlarda yüksek viskozite değerli ve yüksek basınca dayanıklı yağlar (fosfor ve kükürt katkı) kullanılarak yağ filminin çabuk bozulması önlenebilir. Bununla beraber, katkı yağların oksidasyon aşınmasını artırıcı bir rol oynadığı da düşünüldüğünde malzeme seçiminde daha dikkatli olunmalıdır.

8. Soğutucu secimi, parçanın çalışma ortamına uygun biçimde olmalıdır.
9. Yağlayıcı ve soğutucunun uygun bir filtreleme işleminden geçirilerek içindeki aşındırıcı partiküllerin sisteme tekrar girmesine engel olunmalıdır.
10. Yağlayıcının kontrolleri düzenli olarak yapılmalı ve en düşük kullanım limiti belirlenerek belli aralıklarla yenilenmelidir.
11. Sürtünme elemanları malzeme açısından bir birine uygun seçilmelidir. Özellikle korozyon aşınmasına maruz kalan parçalarda, parçanın üzerindeki korozyon tabakalarının belli aralıklarla yapılan temizlik işlemleriyle kaldırılması, parçanın ömrünü artırıcı rol oynayacaktır [13].

2.5. Aşınma Ölçüm Metotları

Aşınma ölçüm metotlarını, ağırlık farkı metodu, kalınlık farkı metodu, iz değişim metodu, radyo izotop metodu ve bilgisayar destekli aşınma ölçüm metodu olarak sınıflandırabiliriz.

2.5.1. Ağırlık farkı metodu

Ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesinde bulunması ve ekonomik olması sebebiyle en çok kullanılan ölçüm metodudur. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetinde oldukça duyarlı terazi ile yapılır. Bu yöntemin avantajı, deney numunelerinin ölçülmesinin fazla zaman almaması, bu yöntemin dezavantajı ise, deney numunelerinin yerindeyken ölçüm yapılmamasıdır.

Aşınma miktarı gram veya miligram cinsinden ifade edilirse, metre veya kilometre olarak tespit edilen sürtünmeye göre, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı, (gr/km) veya (mg/m) olarak ifade edilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse (gr/cm²) gibi bir birimle ifade edilir. Bu tanımlara göre; en çok

kullanılan ağırlık kaybı ölçme metodunda kullanılan bağıntı şudur [14].

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \quad (2.1)$$

Burada;

$$W_a = \text{Aşınma oranı } (mm^3.N^{-1}.m^{-1})$$

$$\Delta G = \text{Ağırlık kaybı } (mg)$$

$$d = \text{Aşınan malzemenin yoğunluğu } (g/cm^3)$$

$$M = \text{Yükleme ağırlığı } (N)$$

$$S = \text{Kayma mesafesi } (m)$$

2.5.2. Kalınlık farkı metodu

Başlangıç değeriyle ile aşınma esnasında meydana gelecek boyut değişikliğinin karşılaştırılarak ölçülmesi sonucu elde edilir. Kalınlık olarak tespit edilen değer, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile 1µm duyarlılıkta ölçülebilir. Boyutsal değişimin ölçülmesinde sistemin durdurulması gerekmez. Bunun için mekanik (mikrometre), optik (mikroskop), elektronik (lineer deplasman ölçer) yöntemlerde kullanılabilir.

2.5.3. İz değişim metodu

Sürtünme yüzeyi bölgesi geometrisinde belirli bir iz, plastik deformasyon ile oluşturulur. Bu izin karakteristik bir boyutunun değişimi deney boyunca ölçülerek takip edilir. Uygulamalarda en çok Vickers veya Brinell sertlik ölçme cihazları kullanılır. Elmas piramidin veya bilyenin bıraktığı iz çapındaki değişimin, mikroskop yardımıyla ölçülmesi suretiyle değişim incelenebilir.

2.5.4. Hacim hesabı metodu

Aşınan malzeme sert ise aşındırıcı yüzeyinde de aşınma gözlemlenebilir. Aşındırıcı

olarak kullanılan bilyelerin aşınma yüzeylerindeki bölgenin hacim hesabı yapılır. Hacimsel değişimler kullanılarak değişen süre, mesafe, ağırlık gibi faktörlerin aşınmaya etkileri incelenebilir. Aşınan hacim hesabı;

$$V_p = \left(\frac{\pi h}{6} \right) \left[3D^2/4 + h^2 \right] \quad (2.2)$$

V_p = Aşınan hacim (mm³)

π = Pi sabiti (3,14)

h = Yükseklik (mm)

D = Aşınan bölge çapı (mm)

$$h = R - \left[R^2 - \left(D^2/4 \right) \right]^{1/2} \quad (2.3)$$

R = Bilye yarıçapı (mm)

$$D = x + y/2 \quad (2.4)$$

Aşınan bölge yüzeyi tam olarak yuvarlak değilse, x ve y koordinatlarından değerleri hesaplanarak aşınan bölge çapı (D) hesaplanır [37].

2.5.5. Radyoizotop ölçme metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α atom parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Bu metodun avantajı, aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesidir. Ekonomik olmaması nedeniyle özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılmazlar.

2.5.6. Bilgisayar destekli aşınma ölçüm metodu

Bu yöntemlerde aşınma ve aşınma değişkenlerine ait veriler, esas itibarı ile pim disk

aşınma test mekanizmasına ilave edilen uygun sensörler vasıtası ile belirlenmektedir. Aşınma kayıpları ve sürtünme katsayısı verileri bilgisayara A/D-D/A kartlar üzerinden aktarılarak işlenir. Bu veriler, bir paket programla grafik formlara dönüştürülebilir, istatistiksel analizlere tabi tutulabilir ve diğer hesaplamalarda kullanılabilir. Sistemin duyarlılığı, kullanılan sensörlerin ve kontrol kartının voltaj değerindeki lineer sapmaya bağlıdır [3].

2.6. Aşınma Deney Yöntemleri ve Cihazları

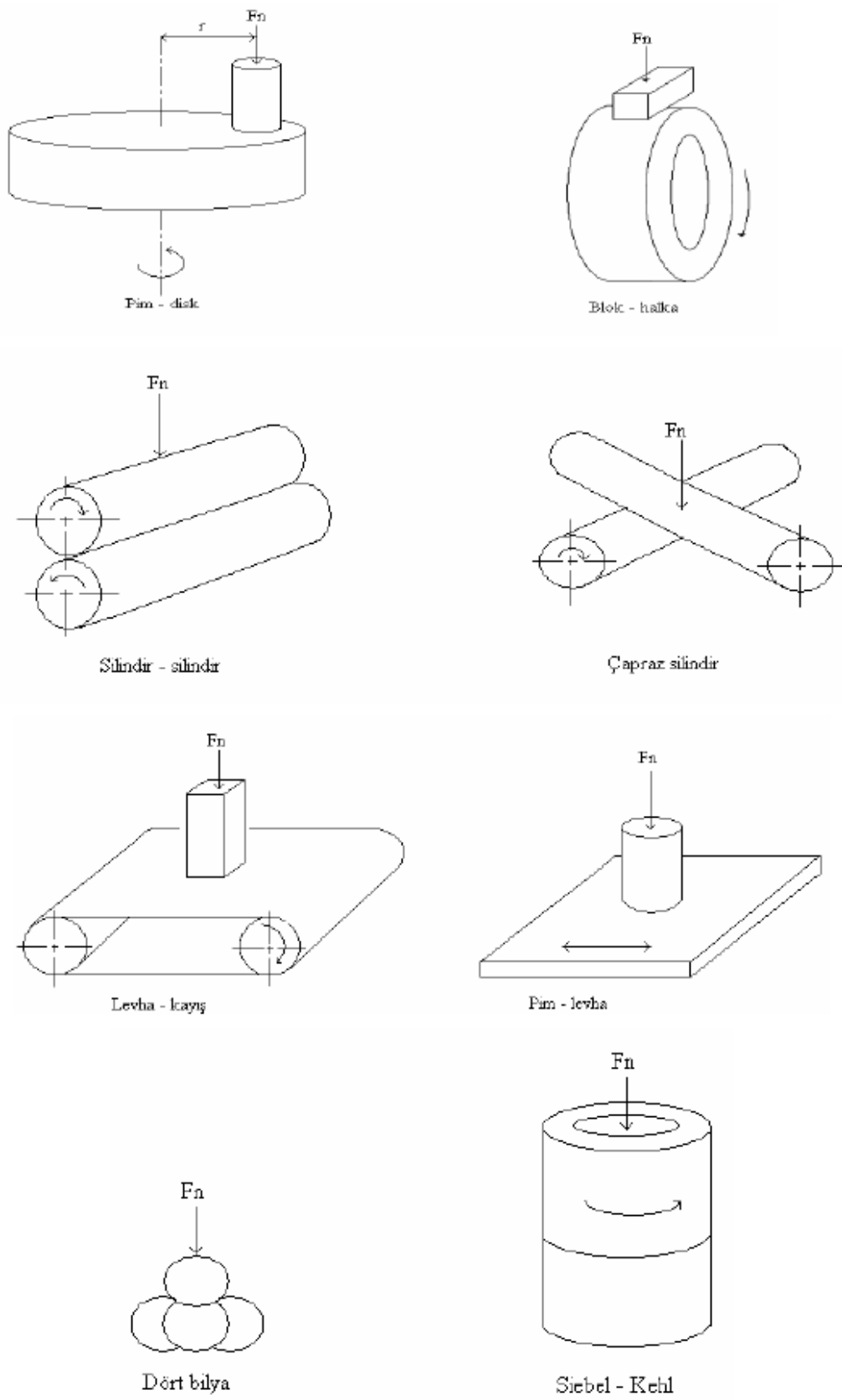
2.6.1. Aşınma deney yöntemleri

Aşınma çalışmalarında birbirinden farklı deneysel düzenekler kullanılmaktadır. Oluşturulan sistem veya sistem elemanlarının, sürtünme ve aşınma davranışlarının belirlenebilmesi için yapılan testler, tasarım açısından oldukça önemlidir. Sürtünme ve aşınma özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler, gerçek makineler veya model deney düzenekleri kullanılarak yapılmaktadır. Gerçek şartlarda doğrudan makine üzerinde yapılan deneyler hem karmaşık etkiler nedeniyle değerlendirilmeleri zordur, hem de oldukça pahalıdır. Model deney yöntemleri tüm bu sorunları ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir.

Sürtünme ve aşınma mekanizmalarının fazla olmasından dolayı sürtünme direnci ve aşınma dayanımının ölçülmesinde kullanılan model deney yöntemlerinin sayısı oldukça fazladır. Günümüzde sürtünme ve aşınma üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı uluslararası standartlarla belirlenmiş test teknikleri ve parametreleri kullanılarak yapılmaktadır.

Genellikle sürtünme ve aşınma testleri aynı sistemler üzerinde yapılmaktadır. Ölçüm yöntemlerindeki farklılıklar ayırt edici en önemli parametrelerdir. Test süresinin önemi de unutulmaması gereken bir faktördür. Sürtünme testleri çoğunlukla kısa sürerken, aşınma testleri bazen çok uzun süreler alabilmektedir. Şekil 2.10'da sürtünme ve aşınma testleri için geliştirilen model deney sistemlerinin temel prensipleri görülmektedir [3].

Normal yük, temas alanı, kayma hızı ve test süresindeki büyük değişikliklerden başka diğer çeşitli faktörlerde aşınma testinde hesaba katılmalı ve izlenmelidir. Test sıcaklığı malzemenin mekanik özellikleri üzerine ve sıcaklığın hareket geçirdiği işlemler üzerinde etkisinden dolayı önemlidir. Yağlı sistemlerde yağ viskozitesi üzerine olan etkisinden dolayı test sıcaklığı önemlidir. Atmosferik bileşenler de önemlidir. Su buharı ve oksijen gibi reaktif bileşenler tüm malzemelerde aşınma oranını ve mekanizmasını kuvvetli bir şekilde etkiler. Yağlı sistemlerde, yağ filmlerindeki basınç dağılımı ve bunun sonucu film kalınlığı ve yağlayıcı maddenin miktarı da önemli faktörlerdir. Bu etkilerin geniş listesi, bir pratik uygulamanın laboratuvar benzeşimi kurmanın mümkün olmadığı ve sadece aşınma testinin bir servis deneyi olduğu akla gelebilir. Fakat çıkan sonuçların benzeşimi yapılan gerçek şartlardan çok uzak olduğu bilinmelidir. Temas gerilmeleri, temas şartları, kayma hızları ve kimyasal ortam herhangi bir aşınma testinde hepsi çok önemli bileşenlerdir. Sürtünmenin ölçülmesi ile ve testten sonra aşınan yüzeylerin ve aşınma hasarının son muayenesi ile bu önem daha iyi fark edilir. Aşınma mekanizması, servis uygulamalarına olduğu gibi testte de aynıdır. Bir laboratuvar testinin sonuçları güvenle pratik bir probleme uygulanabilir [15].

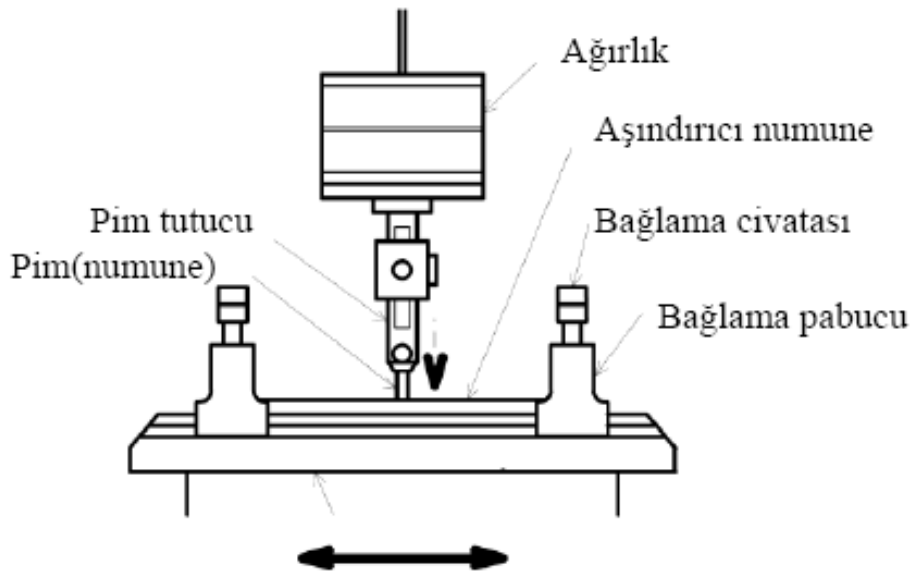


Şekil 2.10. Model deney sistemleri [16,17]

2.6.2. Aşınma deney cihazları

2.6.2.1. Düzlem üzeri çubuk (pin-on-flat) deney cihazı

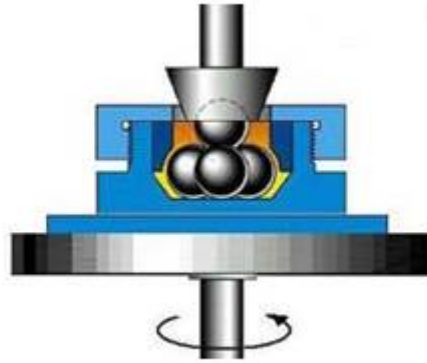
İki türlü çalışma metodu vardır. Ya sabit duran çubuk üzerinde bir düzlem git-gel hareketi yapar ya da sabit duran düzlem de çubuk gel git hareketi yapar. Çubuk, bir bilye, yarım küre uçlu bir ilave veya düz uçlu bir silindir olabilir. Yüksek frekansta küçük bir titreşim genliği kullanarak aşınma testleri yapılabilir.



Şekil 2.11. Pin-on-flat deney cihazı şematik görünümü [18].

2.6.2.2. Dört top deney aparatı

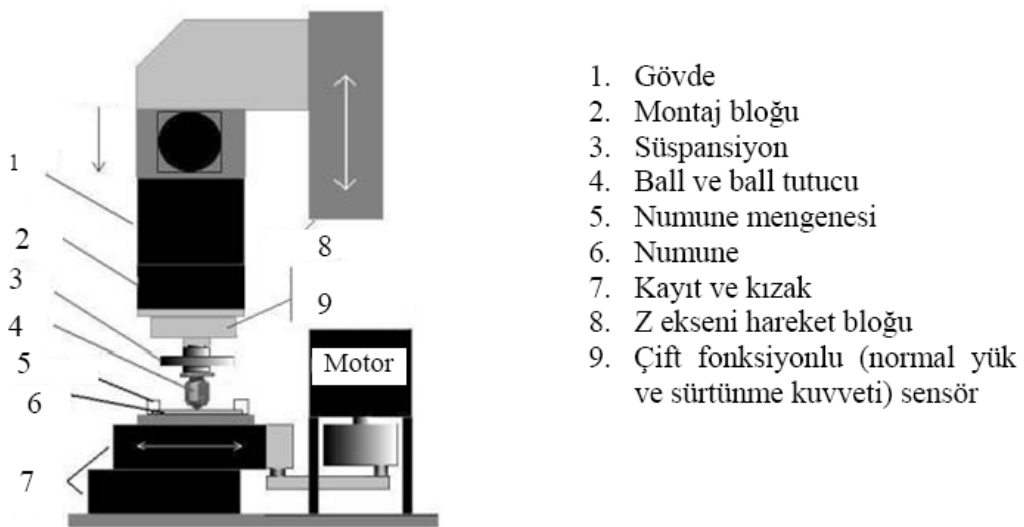
Alt taraftaki üç top bir taşıyıcı içerisinde hep birlikte döner ve üst taraftaki topa doğru izafi olarak hareket eder. Üstteki top, yerinde sabittir ve aşağıya doğru normal bir yük bastırmaktadır. Bilyeler, standart rulmanlı yatak çeliğinden yapılabilir. Bu test, malzeme davranış çalışmalarından çok yağlama performansının değerlendirilmesinde kullanılan bir metottur [3]. Şekil 2.12’de şematik olarak dört top test aparatı gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Dört top aşınma deney aparatı [3].

2.6.2.3. Ball-on-flat aşınma deney cihazı

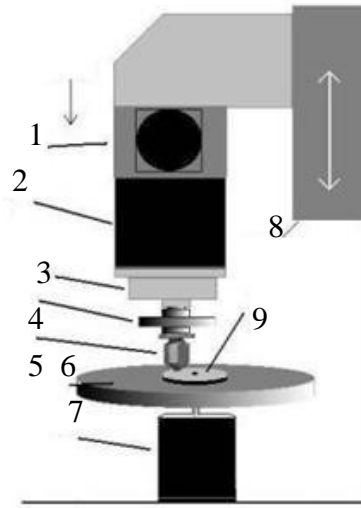
Lineer olarak ileri geri hareket eden düz bir numune yüzeyine belirli bir yük ile temas ettirilen kürenin kayması esasına dayanmaktadır. Aşınma deneyi ile birlikte sürtünme kuvveti deneyleri de yapılabilmektedir. Motordan alınan dairesel hareket ile kızak üzerinde bulunan kayıt lineer olarak ileri geri hareket ettirilmektedir. Kayıt üzerine bağlama aparatları ile bağlanan numune yüzeyine belirli ölçülerdeki bir kürenin belirlenen yük ile temasına dayanmaktadır. Uygulan yük, numunenin hareket uzunluğu, hareket sıklığı ve hızı, test sıcaklığı, test süresi önemli parametrelerdir. Şekil 2.13’de şematik olarak ball-on-flat aşınma test cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Ball-on-flat deney cihazı [20].

2.6.2.4. Ball-on-disk aşınma deney cihazı

Pin-on-disk deney cihazı ile ball-on-disk deney cihazının çalışma prensipleri birbirlerine benzerler. Ball-on-disk deneyinde uygulanan yük sonucu numune (disk) yüzeyine bir kürenin temas ettirilmesi ile aşınma gerçekleştirilir. Motordan alınan dairesel hareket ile diskin kendi eksenini etrafında dönmesi sağlanır. Bağlama aparatları ile küre montaj bloğuna bağlanır. Kesinlikle kürenin x veya y ekseninde hareket etmesi gereklidir. Şekil 2.14’de şematik olarak ball-on-disk aşınma test cihazı gösterilmektedir.



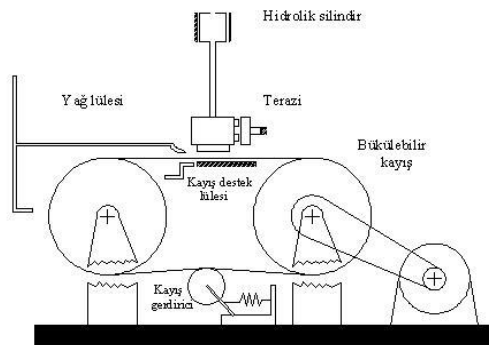
Şekil 2.14. Ball-on-disk deney cihazı [21].

Şekil 2.14’de numaralandırılmış bölgelerin isimleri;

1. X ekseninde hareket
2. Montaj bloğu
3. Çift fonksiyonlu (normal yük ve sürtünme kuvveti) sensör
4. Süspansiyon
5. Top ve top tutucu
6. Numune tablası
7. Motor
8. Z ekseninde hareket bloğu
9. Disk (numune)

2.6.2.5. Levha-kayış deney cihazı

Bu sistem, iki geniş silindir ve bu iki silindirin üzerinden geçen, eğilebilme özelliğine sahip bir kayıştan meydana gelmektedir. Bu iki büyük silindirden bir tanesi hızı ayarlıdır. Kayış silindirlerin etrafında dönmekte olup gevşeklik şeklinde görüldüğü gibi basit bir gerdirme tekeri ile düzeltilir. Kayış, kumaş, lastik çelik şerit veya takviye edilmiş kompozit malzemelerden olabilir. Deneylerde kullanılacak yüzey tekstürü ise imalatı esnasında kayışın bir yüzüne zımpara kağıdı yapıştırılarak veya aşındırıcı örtülerek sağlanır. İki silindirin arasında kalan kayışın düz kısmı bir hava veya su yastığıyla desteklenmiştir. Kayışın hızında yaklaşık olarak eşit bir hızda akış hızına sahip olan, su yastığını temin eden kayış destek lülesi vardır. Bu lüleye gelen suyu kontrol eden, elle ayarlanabilen veya silindirin hızıyla kontrol edilen bir vana vardır. Kayış hareketi ve vananın açılmasıyla birlikte üniform bir su tabakası oluşur. Şekil 2.15’de şematik olarak levha-kayış aşınma test cihazı gösterilmektedir.

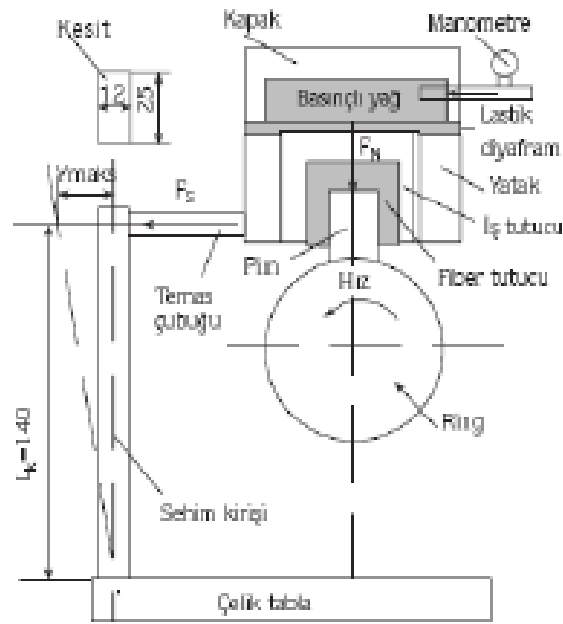


Şekil 2.15. Levha-kayış aşınma deney cihazı [16].

Deneyde kullanılmakta olan test numunesi bir hidrolik silindir vasıtasıyla itilmek suretiyle kayış üzerine bastırılarak bir normal yük meydana getirilir. Kayış ve numunenin arasında oluşan sürtünme kuvveti tesiriyle numune deformasyona uğrar. Numuneyi tutmakta olan kafa sağ ve sol taraftan yataklanmıştır. Kayış hareket yönü tarafında bulunan yatağa sürtünme kuvvetinin ölçülmesi amacıyla bir terazi yerleştirilmiştir. Şekilde görülen B vanası yardımıyla, yağ besleme lülesi kayışın sürtünen yüzeyinde üniform bir su tabakası meydana getirir. Bu düzenek kayış ile numune arasında oluşturulabilecek çok büyük izafi hızları taşıyabilecek kabiliyettedir. Sistemin en büyük avantajı iç ve dış silindirin düzeneğindeki gibi temas yüzeyinde bir eğrinin olmayışıdır [16].

2.6.2.6. Silindir üstü çubuk deney cihazı

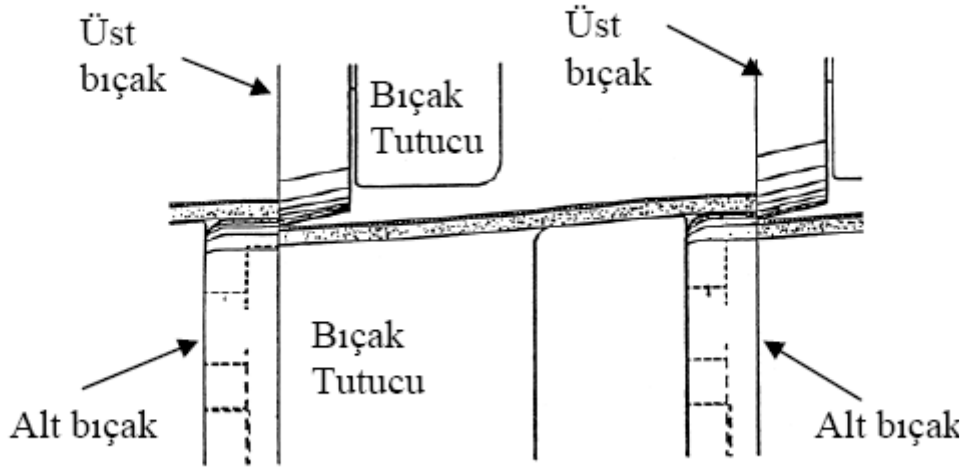
Silindir üzerinde çubuk aparatı pin on disk aparatına benzer. Farkı numunenin yüklemesi dönen silindir üzerine diktir. Numune düzlem veya yarım küresel uç olabilir. Şekil 2.16'da şematik olarak silindir üstü çubuk aşınma test cihazı gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Silindir üstü çubuk deney cihazı [22].

2.6.2.7. Çapraz deney cihazı

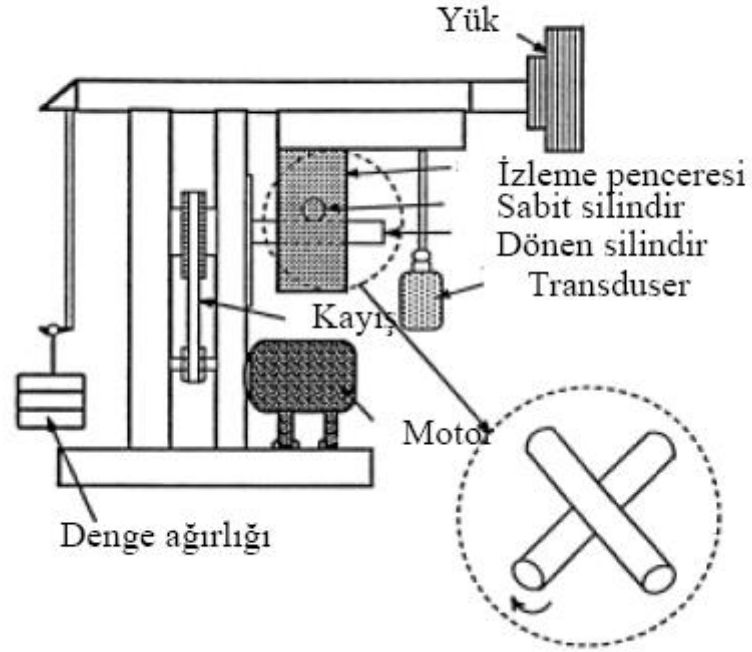
Kağıt kesiminde, kumaş kesiminde, sac metal kesiminde vb. malzemelerin kesiminde aşağıdaki gibi makas sistemi kullanılır. Bu tür kesimlerde bıçakla metal arasında çok küçük temas alanı ve yırtılmalar meydana gelir. Özellikle sac metal kalıplarındaki kesme işlemi buna çok iyi bir örnektir. Bu gibi bıçaklarda aşınma, metal- metal aşınması veya abrasif aşınma şeklinde meydana gelmektedir.



Şekil 2.17.Saç metal kesimi [24].

Bu tür aşınmaların ölçümünde ASTM G78 çapraz silindir deney cihazı kullanılır. Çapraz silindir deneylerinde daha çok takım çeliklerinde meydana gelen aşınmalar ile kaplanmış yüzeylerde meydana gelen aşınmalar incelenmektedir [23].

Bu cihazın çalışma prensibi kendi eksenini etrafında dönen bir silindir ve bu silindire çizgisel temas eden çarpı şeklinde konulmuş sabit bir silindirden meydana gelmektedir. Bu deneyde meydana gelen aşınma önce dönen parçanın dış çapında meydana gelen yivin hacmi ölçülür. Sabit parça üzerinde meydana gelen aşınma lekeleri ölçülür ve bununla birlikte sistemdeki toplam aşınma bulunmuş olur [24].

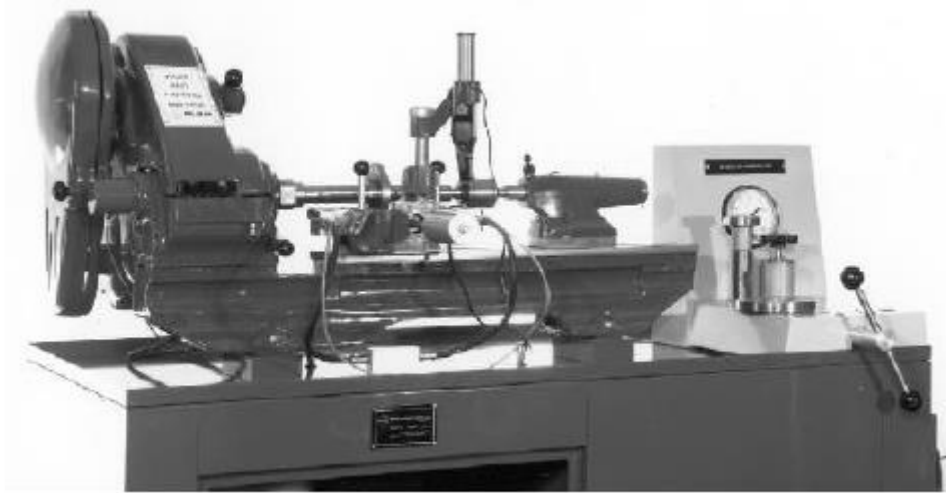


Şekil 2.18. Çapraz cihazı deney düzeneği [24].

2.6.2.8. Plint TE 97 sürtünme ve aşınma deney cihazı

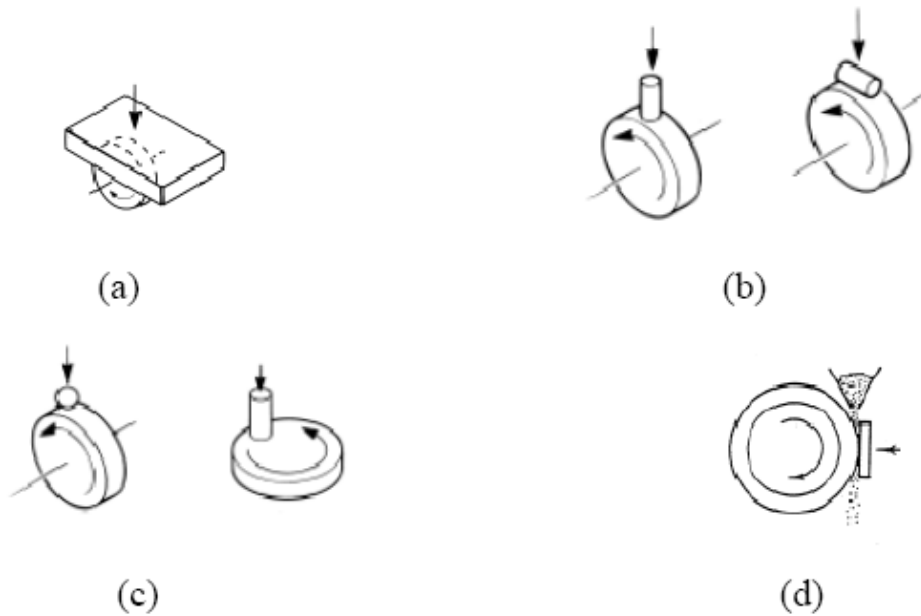
Plint firmasının ürettiği ilk tribolojik test cihazı TE 97 model test cihazıdır. Bu cihazın tasarımı Dr. Michael Plint ve Prof. Duncan Dowson tarafından yapılmıştır [25]. Şekil 2.19’ da Plint firmasının ürettiği ilk TE 97 aşınma cihazı gösterilmektedir.

Sürtünme ve aşınma üzerine eski tarihlerden beri birçok çalışma yapılmış ve insanlar asırlar önce tahılları öğütmek için aşınmayı, sürtünmeyi azaltarak büyük kütleli parçaları daha az kuvvetle itebilmek için yağları kullandıkları bilinmektedir. Özellikle yakın tarihimizde sanayi devrimlerinin başlaması ile birlikte aşınma ve sürtünme daha fazla önem kazanmıştır. Birçok ülkede aşınma ve sürtünme yüzünden milyon dolarlarca zarar ettikleri bilinmektedir. Sürtünme ve aşınma deneyleri için birçok deney cihazı kullanılmaktadır.



Şekil 2.19. TE 97 aşınma cihazı [25].

TE 97 Sürtünme ve aşınma deney cihazı öğrencilere kuru ve sıvı kayma, iki ve üç parçalı aşınma, yapışıp bırakma olaylarını incelenmesi için dizayn edilmiştir. Bu cihazın konfigürasyonunda bazı değişiklikler yapılarak değişik deneyler yapılabilir [3].

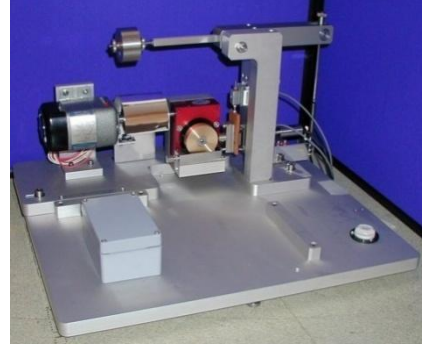


Şekil 2.20 TE 97 deney cihazı ile yapılabilen aşınma deneylerinin şematik görünümü [3].

Şekil 2.21’de görüldüğü gibi şekil (a) da Pin-on-disk deneyi yapılmaktadır. Aynı deney cihazı üzerinde motor grubunun yönü değiştirilerek (b) Block on disk veya silindir üstü pim deneyleri yapılabilmektedir.



a)



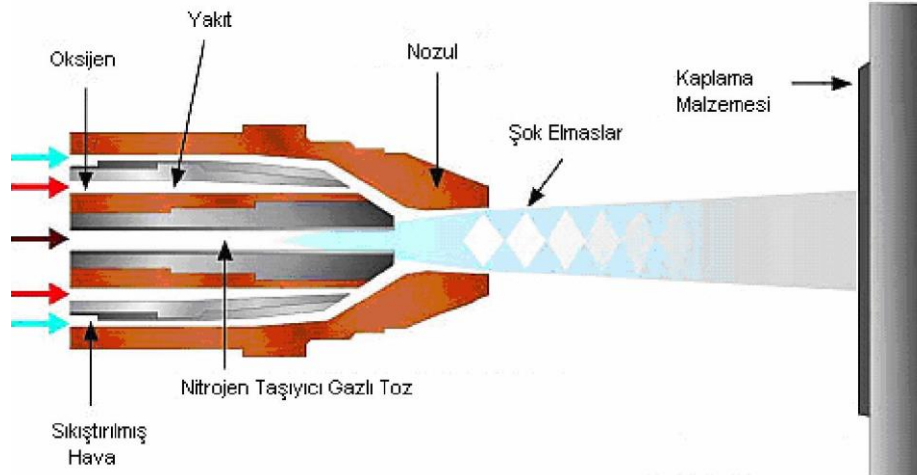
b)

Şekil 2.21. a) TE-97 Pin-on-disk deney cihazı b) Silindir üstü çubuk deney cihazı [26].

BÖLÜM 3. YÜKSEK HIZLI ALEV PÜSKÜRTME (HVOF) YÖNTEMİ

Ekipman, malzeme ve uygulamaların gelişiminden dolayı, ticari olarak uygulanan yöntemleri kullanarak en iyi kalitedeki kaplamayı üretme amaçlı araştırmalara, ısı püskürtme cihazı üreten kuruluşlar yönelmişlerdir. Yüksek hızlı oksijen-yakıt yöntemi (HVOF), metal püskürtme teknolojisinde son on beş yılın en önemli gelişimidir. Yöntem 1980'li yılların başında D-Gun yöntemine alternatif olarak geliştirilmiş ve yöntemin başarısından dolayı 1980'li yılların sonlarına doğru ticari olarak piyasaya sunulmuştur. HVOF ekipmanındaki en yeni gelişme gaz yakıttan sıvı yakıtta olan değişikliktir.

HVOF, propan veya hidrojen gibi yakma gazları yüksek basınçlarda, örneğin, 0.75 mpa'da beslenir ve yüksek bir gaz hızı üretmek için patlar; bu yüksek gaz hızı daha sonra çalışma yapılan yüzeye doğru çok yüksek hızlarda parçacıklar gönderir. Darbe ile açığa çıkarılan kinetik enerji, diğer püskürtme yöntemlerinden daha yüksek değilse de, o yönteme eşit bir yapışma dayanımı yaratır. Böylece bu yöntemle, daha iyi yapışmış ve yoğun kaplamalar elde etmek için, plazmanın termal enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülür. Termal enerjideki bu azalmanın, püskürtme karbürleri açısından özel yararı vardır ve bu bakımdan plazmadan üstündür. HVOF için temel uygulama alanı, aksamın yüzey karakteristiklerinin ıslah edilmesi veya değiştirilmesidir [27]. Şekil 3.1' de HVOF yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yüksek hızlı oksijen yakıtı yöntemi [27].

HVOF, ısı püskürtme yönteminin en son değişikliğe uğramış şeklidir. 80'li yılların başlarında ilk defa endüstriyel ölçekte tanıtılmasına rağmen bu proses alışılmamış alev, plazma ve ark püskürtmenin değişik bir şeklini temsil eder. (Weber and Messerschmidh 1993). HVOF, WC/Co gibi oksit kaplamalara püskürtmek, optimal alev koşulları ve bundan dolayı yüksek alev hızları ve düşük alev sıcaklıkları elde etmek için geliştirilmiştir [28].

HVOF sistemleri, ısı ve ergime özellikleri düzeltilmiş toz parçacıkları ile bileşik süpersonik püskürtme hızlarıdır. Bu sistemler olağanüstü yoğunluk, sertlik ve bağ yeğinlikli (şiddetli) yüksek kalitede kaplamalar üretir[29]. Ayrıca, yüksek hız alev püskürtmenin, püskürtülen taneciklerin yüksek kinetik enerjilerinin gerekli olduğu ve aşırı ısıtmanın tehlikesinin sınırlandırıldığı koruyucu kaplamalar üretmek için uygun olduğunu belirtmişlerdir. Gerçek partikül hızı kullanılan yöntem, cihaz, gazlar, püskürtme parametreleri ve püskürtülen malzemeye bağlıdır[30].

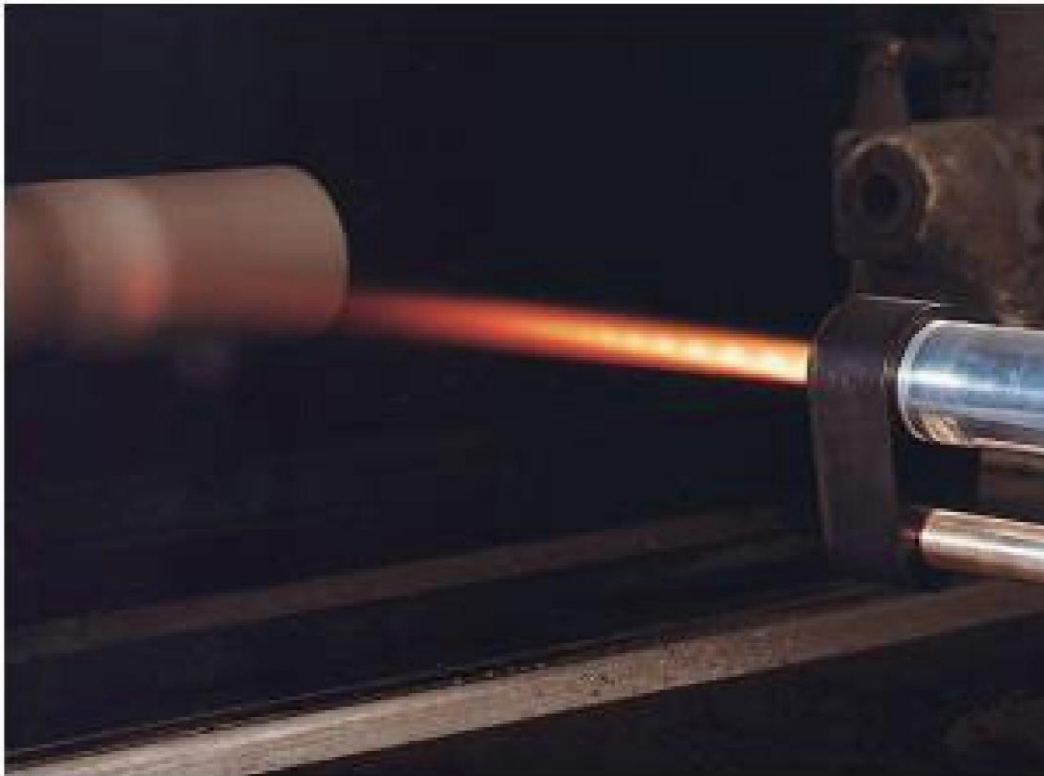
HVOF yöntemi ile aşınmaya ve korozyona karşı koruma ile ısı ve elektriksel izolasyon için kaplamalar üretilmektedir. Püskürtme parametreleri özel uygulamalar için ayarlanabilmektedir. Yüksek dolgu oranları, geniş yüzey parçalarda işlem zamanını kısaltmaktadır [31].

HVOF yönteminin, en büyük özelliği püskürtme anında esas metalin yüzeyi yaklaşık 100°C'ı aşmamasıdır. Bundan dolayı malzemede distorsiyon ve metalurjik olarak bir

değişme meydana gelmez. Püskürtme torcu ve esas yüzey arasındaki mesafenin ayarlanmasıyla esas yüzeyde anormal bir sıcaklık artışı görülmemiştir [32]. Püskürtme sistemleriyle, yapılan kaplamaların karakteristik özelliklerini Tablo 3.1'de görmek mümkündür.

Tablo 3.1. Çeşitli kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri (%88 WC, %12Co) [32].

	HVOF	D-Gun	Standart Plazma	Yüksek Hızlı Plazma
Alev sıcaklığı (°C)	2760	2760	11,100	11,100
Gaz Hızı	March 4	March 3	Ses Altı	March 1
DPH300	1,050	1,050	750	950
Porozite (%)	0	<1	<2	<1
Bağlanma Mukavemeti (MPa)	69	69	55.2	69
Kalınlık (inc)	0.060	0.030	0.025	0.015
Oksit İleriği (%)	<1	<1	<3	<1



Şekil 3.2. Hiper hızlı oksijen yakıt gaz tabancası [30]

3.1. HVOF Sistemleri

3.1.1. Patlamalı püskürtme

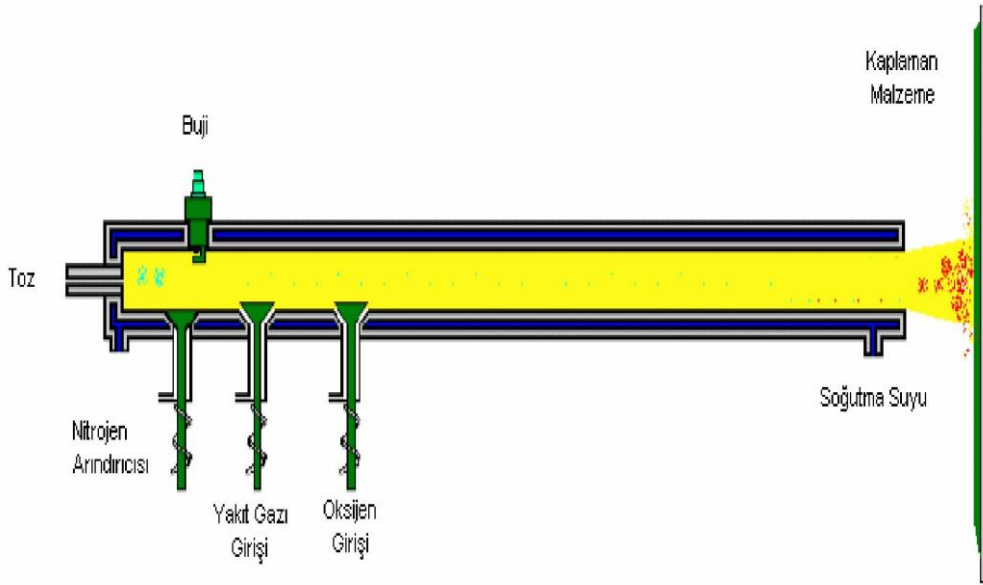
Şekil 3.3'de şematik olarak görüldüğü gibi patlayıcı, oksijen, asetilen ve toz karışımını kullanır. Kaplama tozları, oksijen ve asetilen ile cihazın önündeki uzun borudan püskürtülür [33]. Saniyede dört kez bir kıvılcım karışımı patlatır ve tanecikleri plastik duruma getirecek sıcak ve yüksek hızlı bir gaz akımı oluşturur. Taneciklerin ısınması, tabanca namlusunun içinden 750 m/s hızla geçerken Tablo 3.2 oluşur. Bu ergimiş tanecikler iş parçasının yüzeyine çarpar ve burada mikroskobik kaynama etkisiyle hem metalürjik hem de mekanik türde bir bağlantı oluşur. Birbiri ardında patlamalar, kaplama malzemesini özel uygulama için öngörölmüş kalınlığa getirir.

Tablo 3.2. Isıl püskürtme yönteminde parçacık hızları

Yöntem	Alev Püskürtme	Patlama Tabancası	Plazma Ark	Elektirik Ark
Parçacık Hızı	90-100	760'a kadar	600'e kadar	150-300

Patlama tabancasıyla uygulanmış kaplamaların niteliğinin esası, toz taneciklerinin ana malzemeye çarptıkları yüksek hızda yatar. Kinetik enerji hızın karesinin bir fonksiyonu olduğuna göre tanecikler, bir oksijen asetilen püskürtme tabancasından çıkan enerjinin en az 25 katı enerjiyle ana metale çarpmaktadırlar. Sadece % 0,25 ile 1,0 gözenekli kaplamalar, tungsten karbürü ve krom karbürü malzemelerde sürekli uygulanmaktadır; bağlantı dayanımı 56 ile 175 kg/mm² mertebelerindedir.

Ana malzemenin metalürjik özellikleri, kaplama süreci sırasında değişmez. Presizyon parçalarının çarpılma, distorsiyon ve ya diğer fiziksel değişmesi, soğutucu sıvı CO₂ püskürtmesi ile iş parçasında sıcaklığı aşağıda tuttuğuna göre az olur. Tabancadaki sıcaklıklar 3315⁰C' in üstünde iseler de, kaplanan parçasındakiler 150⁰C' in altında kalır [34].



Şekil 3.3. Oksijen yakıtlı gaz patlama tabancasının şekli [34].

Avantajları:

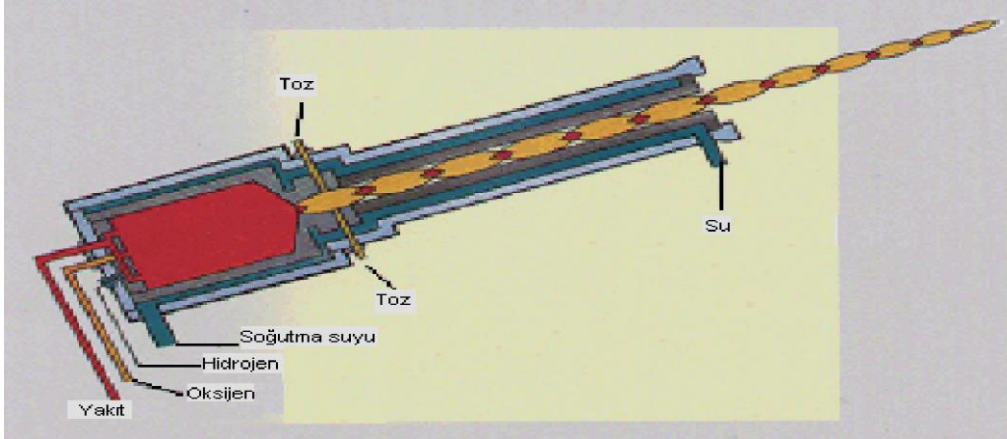
- 1- Çok yüksek yoğunlukta ve yüksek bağlanma dayanımlı kaplama olanağı sağlar.
- 2- İş parçasına düşük ısı girişi söz konusudur.
- 3- Tamamen mekanize ve kontrol edilebilen bir yöntem olmasıdır.

Başlıca uygulama alanları: Yüksek sıcaklıklardaki değişik aşınma türlerine karşı gaz türbinlerinin koruyucu kaplanmasında, tekstil makineleri parçalarında, çelik, plastik ve kağıt endüstrisinde kullanılan hadde silindirlere, kesici uçların kaplanmasında ve nükleer santrallerin birçok kısımlarında kullanılabilir [34].

3.1.2. Jet kote sistemi

Yanma odasında çok yüksek hacimde oksijen ile asetilen veya propanın yakıldığı yüksek basınç yanmalı püskürtme yöntemidir. Azot gibi taşıyıcı bir gaz ile toz partikülleri yanma ürünleri içine beslenerek, aniden ısınır ve çok yüksek hızlarda iş parçasının üzerine çarpar. Cihaz içinde sürekli yanma esasına dayalı jet kote sistemi, patlama cihazına göre farklıdır. Şekil 3.4'te şematik olarak jet kote cihazı şekli verilmiştir.

Yöntem, elle ve mekanize edilerek kullanılabilir. Bütün kaplama malzemelerini bağlayıcı tabaka gerekmeksizin direkt olarak yüzeye püskürterek kaplama olanağı vardır. Bu yöntem özellikle: W-Cr karbürler ve paslanmaz çelik, kobalt ve nikel bazlı alaşımların kaplanması için geliştirilmiş olduğu bildirilmiştir [35].



Şekil 3.4. Şematik olarak Jet kote cihazı [35].

Avantajları:

1. İş parçasına, yüksek yoğunlukta ve yüksek bağlanma dayanımına sahip kaplama olanağı sağlaması.
2. Komponentlere düşük ısı girdisi.
3. Cihaz - iş parçası arası uzaklık duyarlı değildir.
4. Mekanize edilerek veya elle kullanılabilir.

Başlıca uygulama alanları: Tekstil, kimya, santraller ve uçak endüstrisinde değişik uygulamaları vardır.

3.1.3. Diamond jet sistemi

Bu sistemde, akışı kontrol edilen oksijen ve yakıt gaz (propilen veya hidrojen) ile birlikte erimiş malzemeyi cihazdan çıkarıp yüksek hızlarda iş parçasına çarpması için hızlandırılan hava kullanılır. Ayrıca püskürtme silahının hava ile soğutulma sistemi vardır.

Yöntem; elle, mekanize ve bilgisayar kontrollü olarak değişik endüstriyel uygulamalar için kullanılabilir. Yöntemin ilgi çekici bir özelliği; kaplama kalınlığı sınırlamaları diğer benzer standartlarda püskürtülen alternatif yöntemlerden daha yüksek olmasıdır. Bu özellik, olağanüstü yapışma ve kaplama içindeki azaltılmış gerilimler sağlar.

Avantajları:

1. Yoğun yüksek bağlanma dayanımına sahip kaplama olanağı sağlar.
2. Kaplama sertliğinden bağımsız kalın, düşük gerilimli kaplama olanaklıdır.
3. 100 mm çapından düşük silindirik parçaların iç yüzeylerinin özel torcu yardımıyla kaplanması.
4. Basit, kolay çalıştırma ve bakım yapılabilmesi [33].

3.1.4. CDS püskürtme sistemi

Oksijen ile Propilen ve Propan gibi yakıt gazlarının kullanıldığı sürekli patlama yöntemi olarak tanımlanabilir. Sistem, W karbür, / Co, Cr karbür / Ni-Cr, Tialloy, inconel ve seramik malzemelerinin toz formlarının kullanılarak olağanüstü aşınma dayanımı sağlayan yoğun kaplamalar için dizayn edilmiştir. Yöntem, tamamen geliştirilmiş gaz kontrol donanımıyla bir püskürtme sistemi sağlar [35].

Avantajları:

1. Oldukça geniş hız kontrolleri olanağı sağlar.
2. Yüksek bağlanma dayanımlı yoğun kaplama yapılabilir.
3. Tek veya çift toz besleme sistemi.

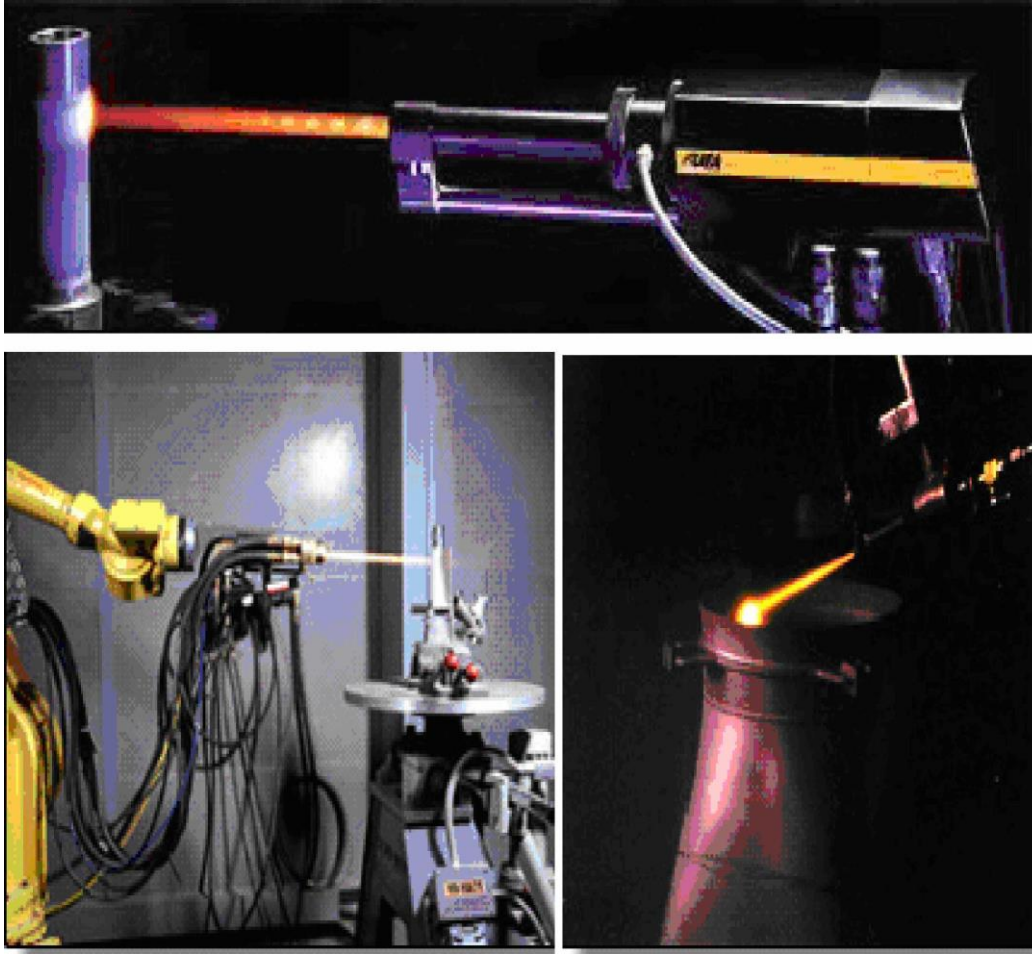
3.2. HVOF Yönteminin Genel Karakteristiği

Propilen, hidrojen, asetilen, propan ve MAPP içeren çeşitli yakıt gazları kullanılabilir. Bu permiler, en ekonomik gazın gerekli kaplama karakteristikleri verime göre seçilir. Seramikler veya molibden gibi ateşe dayanıklı

metallere benzer ergime noktası yüksek malzemeler, kimi HVOF sistemleri ile püskürtülebilmektedir. Endüstrilerde tungsten karbür kobalt kaplamalarının en çok dikkate değer olan uygulamaları ile bulunmuş pek çok yenilikleri bu sistemler için kullanılır. HVOF yöntemi, aşınma direnci, korozyondan koruma, ısı ve elektrik yalıtımı için değişik ve süper kaplamalar sağlanmaktadır. Püskürtme parametreleri, özel kaplama uygulamaları için en iyi sıcaklık ve hızı sağlayan geniş bir alan üzerinde ayarlanabilmektedir. Yüksek tortu bırakma oranları (pek çok malzeme için $15 \text{ lb/h} = 6,804 \text{ kg/h}$), büyük parçalar üzerindeki püskürtme zamanını kısaltır. Yüzey durumu 140 mikrometre inçten aşağı olabilmektedir[1]. Özellikle yöntem, şuan Wc/Co ya da CnCi /NiCr kaplamalar uygulamasında yer almaktadır. Soğutma ile çalışan son yıllarda geliştirilen torçlar yakıt olarak hidrojen kullanarak 2300 m/s 'ye kadar gaz hızlarına izin verir. Bunlar hibrid nozulları diye adlandırılır ve özellikle süper alaşımlar ve WC/12 \%Co için kullanışlıdır ve havacılık şartnamelerine uygunluk göstermesine izin verir [28].

Uçak endüstrisi, HVOF yöntemi ile süratle ilgilenmiş ve bu sistemler, şimdi değerlendirilmiş ve endüstri içinde özel uygulamalar için biraz değiştirilmiştir [29].

Döner püskürtme başlıklı tamamen yeni uygulama alanları, 75 mm ya da daha küçük çaplı bileşenler ile iç kaplamaya izin verir. Özellikle dönmeyen geniş ya da "bulky" bileşenler ile içerlerdeki kaplamaları üretmek olanaklıdır (Örneğin, yataklar). Bu teknik silindir teknikleri için kullanışlıdır. Dönel püskürtme başı ile ses üstü aralığındaki gaz hızına erişildiğinden dolayı bu kaplamalar çok yoğun ve esas metal ile iyi bağlıdır. Kaplama yüzey kalitesi (NiCr FeBSi alaşımı ve WC/Co karışımı) erime ile az bir şey iyileşmektedir.



Şekil 3.5. Dönen bir başlık ile kaplama çeşitleri [36].

Çevresel öğütmeler üzerine kriteriz edilmiş sert krom kaplamalar, yüksek hızlı alev püskürtülmüş kaplamalar ile çok geniş alanlarda onun yerine geçmiştir.

- Yüksek abrazyon direncinin gerekli olduğu WC/Co,
- Yüksek korozyon direnci ve iyi yüzey bitirebilme (good finishability) ile bağlantılı orta seviyede abrazyon direnci için NiCr-esaslı alaşımlar,
- Düşük sürtünme katsayısı ve iyi bitirebilme ile aşınma durumunda Fe-Cr esaslı alaşımlar[28].

Gaz jetindeki tozun davranışının metalürjik durumu, üretilen kaplamaların kalite düzeyine ve özelliklerine önemli etkide bulunur. Sıcaklık, atmosfer ve gaz hızı kritik değerlerdir. Gaz hızı ölçümleri 1500 m/s ve daha yükseği göstermek için yukarı çıkar. Tanecik hızı, malzemenin yoğunluğuna ve tanecik boyutuna bağlıdır. 16-65mm çaplı WC - Co12 tanecikleri için hız 400 m/s civarında olabilir. Hıza ek olarak

erişilmiş olunan tanecik sıcaklığını belirlemek, mikro yapının oluşumunu ve bu yüzden oluşturulan kaplamanın kalitesini doğrudan etkilendiğinden oldukça önemlidir. Tanecik sıcaklığı başlıca püskürtme noktasındaki alev sıcaklığına, jette bulunma zamanına, toz malzemesinin fiziksel özelliklerine ve tanecik morfolojisine bağlıdır. Püskürtme parametreleri ve kaplama kalitesi arasındaki çeşitli ilişkiler yalnızca mikro yapı üzerine sistematik testler ile incelenmiş olunabilir. Yüksek hız alev püskürtme sırasında, çeşitli parametreler arasında çok sayıda etkileşimler ortaya çıkmaktadır. Kaplama özelliklerini belirlemek için aşağıdaki etkenler yardımcı olur:

- Yöntem etkenleri (örneğin torç dizaynı ve püskürtme parametreleri)
- Kullanılan tozun kimyasal, fiziksel ve morfolojik özellikleri
- Altlığın (ana malzemenin) yüzey durumu ve kimyasal karakteristikleri

Yüksek kalite düzeyi yalnızca, üretim sırasında bu etkenlerin sürekli izlenmesi ve dikkatli olmakla sağlanabilir. Bu, kaplamaların tahribatsız testi için var olan olanaklar sınırlı olduğundan, özellikle önemlidir. Otomatik ateşlenme sisteminin kullanımı, gaz hacmi kontrolü için kütle akis metrelerin kullanımı ve soğutma suyunun sürekli izlenmesi, yüksek hız alev püskürtmenin üretkenliğini sağlama açısından önemlidir [30].

HVOF ile elde edilen avantajlar:

- Kalın tabakalar olanaklıdır,
- Sert kromlamadan daha yoğun çatlaksız tabakalar,
- Bileşen boyutlarında sınırlama yok,
- Esas metalin hidrojen gevrekliği yok,
- Düşük ilk yatırım maliyeti [28].

Prensipde toz, torç (üfleç) teknolojisi ve püskürtme parametreleri optimize edilmiştir. Eğer yöntem zamanı (süresi) optimizasyon ile özellikle dolgu veriminin artması ile önemli bir şekilde kısalmış olabilir ise sadece ekonomik avantaj olmayacak aynı zamanda çevre, daha az strese uğrayacaktır. Filtre donanımında daha az tozun dışarı atılması ve enerji ile gazın daha az sarfıyatı [30].

BÖLÜM 4. CİHAZ TASARIMI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Cihaz Tasarımı

Aşınma insanlığın yaşamını genellikle olumsuz etkileyen ve ölümcül sonuçlar doğurabilen istenmeyen bir durumdur. Aşınmanın belirlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla çeşitli yöntemler ve cihazlar geliştirilmiştir. Bunlar uluslararası standartlarda deney yapan ve genellikle kabul edilmiş cihazlardır. Bu tez çalışmasında ASTM G133-05 Standardına uygun Ball-on-flat çalışma prensibi ile çalışan aşınma cihazı tasarlanmış, üretimi yapılmış ve deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

4.1.1. Cihaz ekipmanları

Cihazın tasarımında öncelikle teknik çizimleri yapılmış (Bkz. Ek. A) ve daha sonra bu çizimler uyarınca tüm parçalar atölye ortamında üretilerek cihaz kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Cihazda Gamak marka AGM 6349 model motor kullanılmıştır. Deneylerde zaman önemli bir faktör olduğu için motorun sağlam ve uzun ömürlü olmasına özen gösterilmiştir. Yine motordan alınan hareketin deney parçasına aktarımını sağlamak için Teksan marka 1/49 oranına sahip redüktör kullanılmıştır. Aşınma cihazında kullanılan motorun teknik özellikleri Tablo 4.1’de, aşınma cihazının genel görünümü ise Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Gamak AGM 6349 model motor teknik özellikleri

V	H	A	KW	Cos	1/min
220	50	0.74	0.12	0.71	1365
280		0.43			



Şekil 4.1. Cihazın genel görünümü

Aşınma cihazı sadece oda sıcaklığındaki ortamlardaki aşınmayı incelemek amaçlı tasarlanmamıştır. Yüksek sıcaklıklarda yağ içerisinde deney yapabilmek için numune tutucunun ısıtılabilmesinde ince boru tipi ancak yüksek elektriksel güce sahip rezistanslar kullanılmıştır. Kullanılan rezistanslar 220V ile çalışabilen 400W güce sahiptir.

Yüksek sıcaklıklarda aşınmanın incelenebilmesi amacıyla Enda marka PID elektronik kontrol ünitesi kullanarak, istenen sıcaklık aralığının set edilerek kontrollü çalışma amaçlanmıştır. Kontrol ünitesi elektrik panelinin içerisine yerleştirilerek sıcaklık alt ve üst limitlerinin sisteme tanımlanmasında kullanılmıştır.

Isıtılan yağın sıcaklığının ölçülebilmesi ve elektronik kontrol paneline iletilmesini sağlamak için PT 100 modeli sanayi tipi termostat kullanılmıştır. Sıcaklık değişimini birer derece sapma ile kontrol paneline iletmektedir.

Isınan yağ ile numunenin direkt olarak temasta olabilmesi için numune tutucunun kafes sistemine sahip olması gerekmektedir. Kullanılan aşındırıcının sabit olması sebebiyle numunenin değişik yüzeylerinden aşındırma yapabilmek için tutucu

hareketli olarak üretilmiştir. Yağın sıcaklığını okuyabilmek için termostatın numune tutucusuna montajı yapılmıştır. Rezistanslar, numune tutucusunun alt kısmına dıştan 13 mm, üstten 2 mm mesafe ile 10 mm çapa sahip deliklere yerleştirilmiştir. Aşındırıcı sabit, numune hareketli olacağı için numune tutucusuna hareketlilik otomatik kapı sistemlerinde kullanılan bilyeli mekanizma ile sağlanmıştır. Numune tutucu ile mekanizma arasına ısı yalıtımı amacıyla 26 mm kalınlığında yalıtım malzemesi kullanılmıştır.

Redüktörle hareketli mekanizma arasındaki bağlantıyı sağlamak amacıyla mil ve hareket kolu kullanılmıştır. Mil, 178.45 mm uzunluğunda, Redüktör kısmı 16.80 mm çapında ve hareket kolu bağlantı tarafı 49.50 mm çapındadır. 49.50 mm çapındaki kısım 15.40 mm kalınlığındadır. Bu kısımda 3.25 mm çaplarında merkezden 4.65 mm, 10.05 mm ve 17.48 mm mesafede üç adet delik kullanılarak aşınma boyunda üç farklı uzunluk elde edilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde aşınma boyunun aşınma ilerlemesine etkisi de incelenebilecektir.

Hareketli mekanizma ile mil arasındaki bağlantıyı sağlamak için 110 mm boyunda bağlantı kolu kullanılmıştır. Deney numunemize aşındırıcı yüzeyin temasını sağlamak amacıyla 110 mm uzunluğunda ve yüksekliğinde ters “v” şeklide 2 adet ayak kullanılmıştır (Bkz. Ek A). Bu ayaklara küresel aşındırıcının bağlanacağı 300 mm uzunluğunda ve 10.30 mm et kalınlığına sahip kol ilave edilmiştir. Bu kola aynı zamanda ağırlıklarda takılabilmektedir. Ayrıca aşındırıcının yükseklik ayarı yapılabilmektedir. Bu kola merkezden 285 mm uzaklıkta istenilen ağırlığa sahip yükler takılabilmektedir (Bkz. Ek A). Burada numune üzerinde hissedilen yük takılan yükün 1,9 katı olmaktadır. Yük olarak da 500 gr, 1000 gr, 1500 gr ve 2000 gr olmak üzere 4 farklı seçenek tasarlanmıştır. Yükler 100 mm uzunluğa sahiptir. Ağırlık farklılıkları çaplarla sağlanmıştır (Bkz. Ek A).

4.1.2. Cihazın çalıştırılması

Cihaz ball-on-flat prensibine göre çalışmaktadır. Aşındırıcı yüzey sabit, numune hareketlidir. Cihazın kumanda panosu çalışma prensibi Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Cihaz tur sayacı ve çalışma zamanını gösterebilmektedir.

Tablo 4.2. Kumanda paneli yerleşimi

1 nolu anahtar	Rezistans devrede – devre dışı
2 nolu anahtar	Motor devrede – devre dışı
3 nolu anahtar	Manüel çalıştırma. Tur sayacı ve çalışma zamanı isteğe bağlı devrede – devre dışı
4 nolu anahtar	Otomatik çalıştırma. Tur sayacı ve/veya çalışma süreci devrede – devre dışı
5 nolu anahtar	Besleme 220V göstergesi ve tur sayacı ile çalışma süresini sıfırlama butonu

Elektronik kontrol paneli çalışma sıcaklığı göstergesi açıldığı zaman yağ sıcaklığını gösterir. Maksimum set değerinde rezistans devre dışı kalır, rezistansın devrede olduğunu gösteren turuncu ışık söner ve yağ soğuması başlar. Sisteme sıcaklık kaç derece azaldığında rezistansın devreye gireceği set edildi ise o derecede rezistans devreye girer. Isıtma başlar ve turuncu ışık yanar. Maksimum değerde tekrar rezistans devre dışı kalır, turuncu ışık söner ve soğutma başlar. Bu döngü bu şekilde devam eder.

Cihazla hem oda sıcaklığında hem de yüksek sıcaklıklarda deney yapmak mümkündür. Oda sıcaklığında kuru ve yağ ortamında, yüksek sıcaklıkta ise yağ ortamında deney yapılması mümkündür. Deney esnasında cihaz bize tur miktarını ve çalışma zamanını hem birlikte hem de ayrı ayrı verebilmektedir.

4.1.2.1. Cihazın tur miktarına göre otomatik çalıştırılması

İşlem seçim butonu 1 konumuna getirilir. Tur sayacı göstergesi reset butonu ile sıfırlanır ve çalışılmak istenen tur miktarı sayaca set edilir. İstenen herhangi bir yükte motor çalıştırılarak deney başlatılır. Set edilen tur sayısında cihaz kendini otomatik olarak durdurur ve işlemin sonlandığını gösteren kırmızı ışık yanar.

4.1.2.2. Cihazın süreye bağlı otomatik çalıştırılması

İşlem seçim butonu 2 konumuna getirilir. Çalışma zaman göstergesi reset butonu ile sıfırlanır ve cihazın kaç dakika sonra otomatik olarak durması isteniyorsa o süre cihaza set edilir. İstenen herhangi bir yükte motor çalıştırılarak deney başlatılır. Set

edilen çalışma süresinde cihaz kendini otomatik olarak durdurur ve işlemin sonlandığını gösteren kırmızı ışık yanar.

4.1.2.3. Cihazın manüel çalıştırılması (Tur sayısı ve çalışma zamanı bağımsız)

Manüel çalıştırma anahtarı 1 konumuna getirilerek cihaz çalıştırılır. Tur sayacı ve çalışma zamanı göstergeleri devreye alınmış olunur. Göstergeler reset butonu ile sıfırlanır. Motor çalıştırılır ve deney başlatılır. Çalışma esnasında tur sayısı ve çalışma süresi aynı anda görüntülenebilir. Bu şekilde çalıştırılmada dikkat edilmesi gereken en önemli husus tur sayacı ve çalışma zamanı sayaçlarına maksimum set değerlerinin girilmesidir. Böylece cihazın gereksiz yere otomatik durması engellenir ve deney yarım kalmaz.

4.2. Deneysel Çalışmalar

4.2.1. Kaplamaların üretilmesi

WC-Co ticari tozları ve HVOF yöntemi kullanılarak 3 set 3'er paso halinde toplamda 9 paso olarak paslanmaz çelik altlık üzerinde kaplamalar üretilmiştir. 9 paso tek sette uygulanmamıştır. Çünkü tek pasoda altlık malzemesinin aşırı ısınması ile altlık malzemesi zarar görebilir. Kaplama işleminde kullanılan parametreler Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

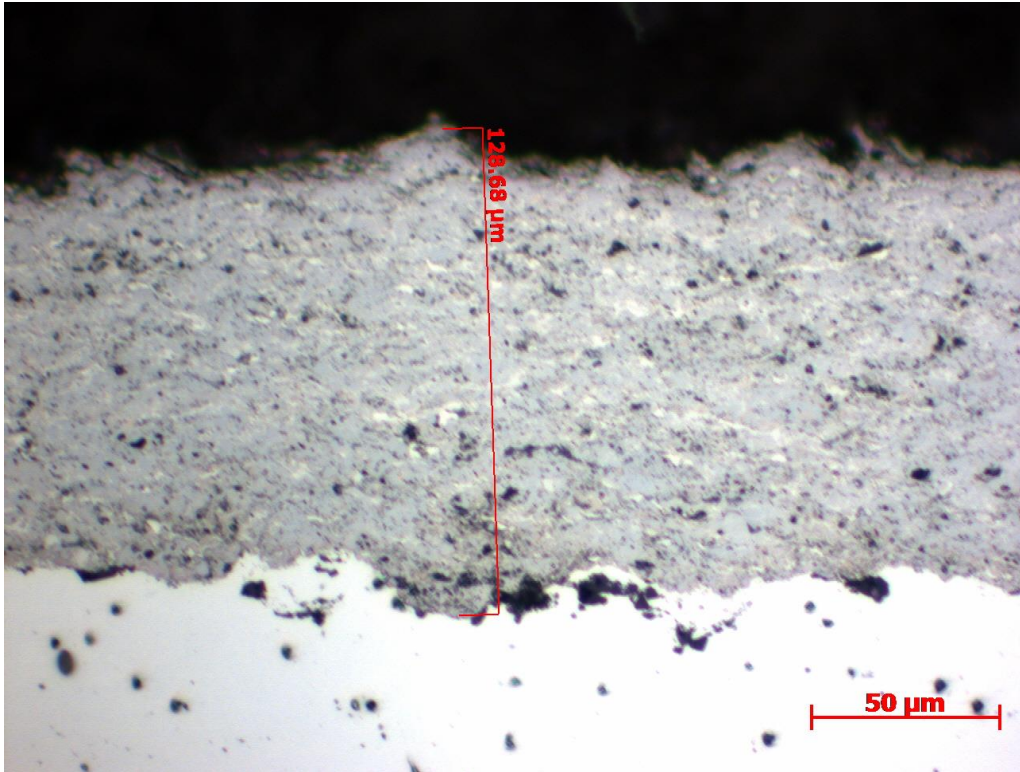
4.2.2. Kaplamaların incelenmesi

Üretilen kaplamadan 20x20 mm ölçülerinde parça kesilmiş ve parçanın kesitinden bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numune yüzeyi zımparalanıp ve parlatılarak optik mikroskop için hazırlanmıştır. Optik mikroskop incelemeleri ile kaplama kalınlığı ortalama 128,68 mikrometre olarak tespit edilmiştir. Şekil 4.2 ve 4.3'de kaplamanın kesitten alınan optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir.

Tablo 4.3. HVOF parametreleri

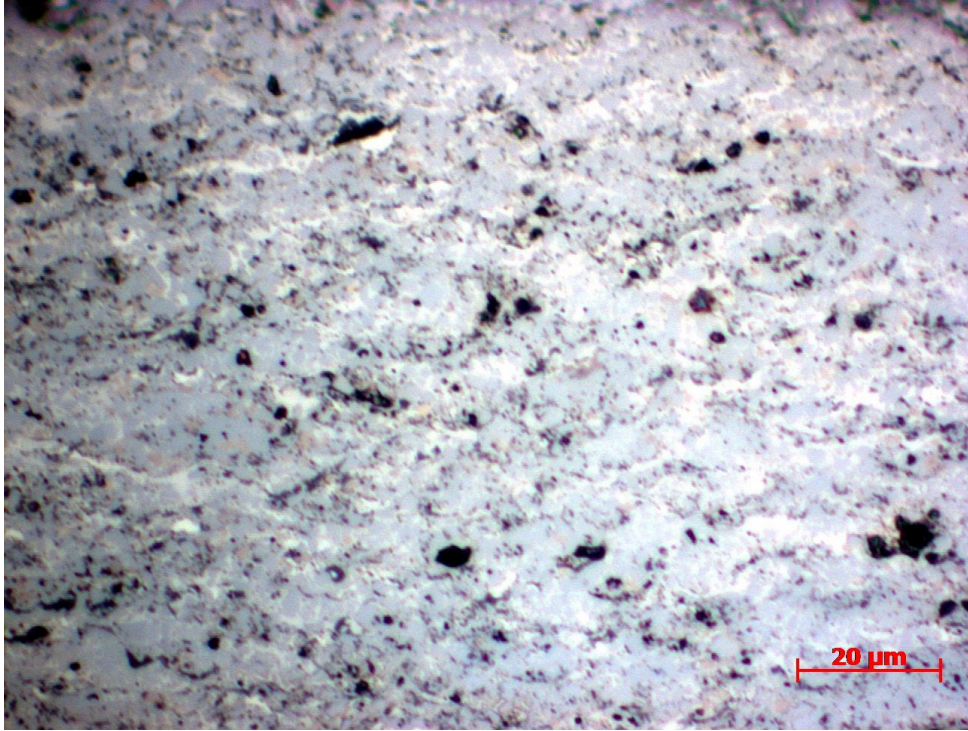
Shroud gas	300 NLPM	Type	DJ-2600
Oxijen	240 NLPM	Fuel gas	H2
Hidrojen	540 NLPM	Shroud gas	Air
Propane	0	Carrier gas	16,5 NLPM
Tolerance set	1	Disk	% 16
Delay Time	60 sn	Stirrer	%30
Robot hızı	350 mm/sn	Pres hopper	5 bar

Yapılan metalografik incelemede kobaltça zengin matriks fazı ile iyi bir bağlanma içerisinde bulunan yoğun karbürlerin yapıda oluştuğu gözlenmiştir. Bunun yanı sıra az miktarda porozite de yapıda bulunmaktadır. Kesitten yapılan yapısal incelemede çatlağa ve ara yüzeyde delaminasyona rastlanmamış, kaplama tabakası ile altlık arasında iyi bir bağ oluştuğu belirlenmiştir.



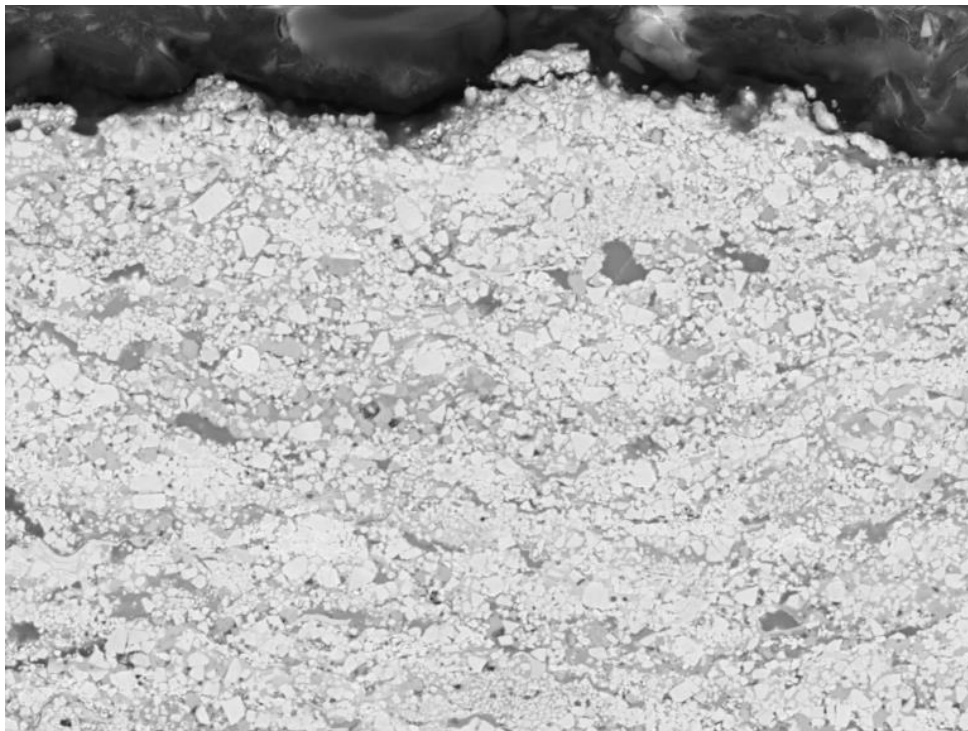
(a)

Şekil 4.2. WC/Co kaplamanın optik mikroskop görüntüleri



(b)

Şekil 4.2. WC/Co kaplamanın optik mikroskop görüntüleri (Devamı)



SEM HV: 30.00 kV
SEM MAG: 2.00 kx

WD: 15.16 mm
Det: BSE
Date(m/d/y): 04/18/12

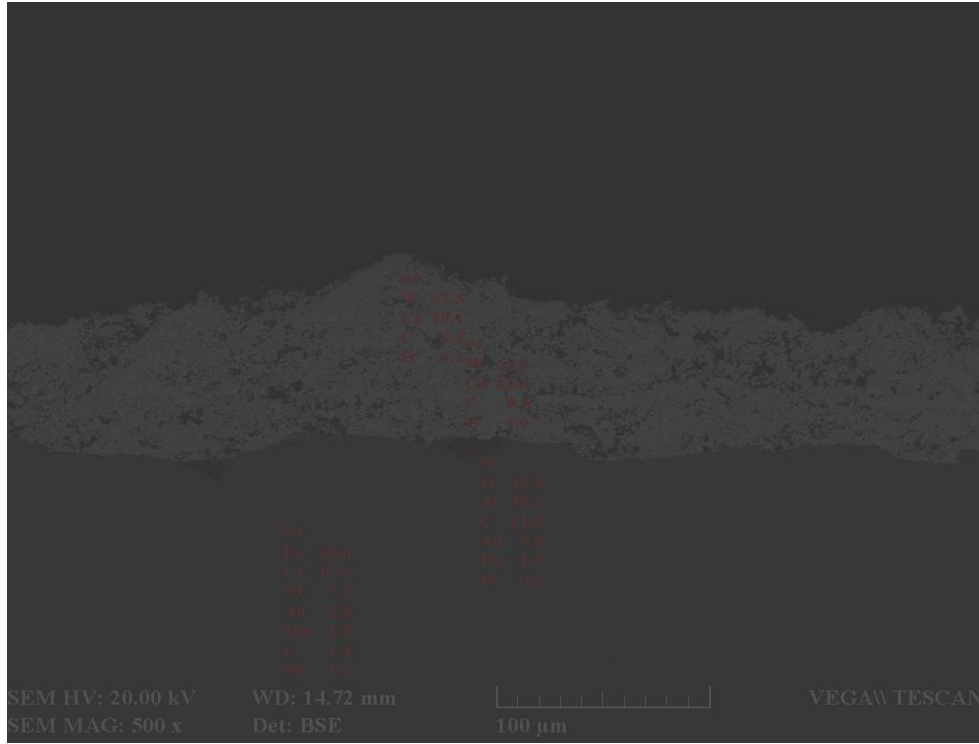
20 µm

VEGA\\ TESCAN

Sakarya University

(a)

Şekil 4.3. WC-Co kaplamanın SEM/EDS görüntüleri



(b)

Şekil 4.3. WC-Co kaplamanın SEM/EDS görüntüleri (Devamı)

Kaplama tabakasının sertlik değerleri Hv0.3 ile 10 sn' de ölçülmüştür. 10 adet sertlik değeri alınmış ve ortalama değeri sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Tablo 4.4'te ölçülen sertlik değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Kaplamanın sertlik değerleri

ÖLÇÜMLER	SERTLİKLER (Hv0.3)
1.	810
2.	842
3.	883
4.	978
5.	830
6.	865
7.	912
8.	996
9.	761
10.	875
ORTALAMA	875.2

4.2.3. Aşınma deneyleri

Aşınma deneylerinde kullanılmak üzere 20x30 mm ölçülerinde 2 adet numune kesilmiştir. Deneyler bu tez kapsamında tasarlanıp imal edilen aşınma test cihazında yapılmıştır. Aşınma deneyleri kuru ortamda 500 metre ve 1000 metre mesafelerde 1 kg ve 2 kg yükler altında uygulanmıştır. Her numunenin üzerinde 2 adet aşınma deneyi yapılmıştır. Sabit sürede değişken yüklerde aşınma miktarları ve aşınma yüzeylerindeki farklılıklar araştırılmıştır.

1. Numunede: 500 m için 1 kg ve 2 kg yük altında aşınma
2. Numunede: 1000 m için 1 kg ve 2 kg yük altında aşınmalar incelenmiştir.

Deneyisel çalışmada aşındırıcı bilye olarak Al_2O_3 bilye kullanılmıştır. Bilyenin numune üzerinde yapmış olduğu iz boyu ölçülmüştür. Gidiş izi 12 mm gidiş – geliş izi 24 mm olarak ölçülmüştür. 1 dakikada 25 tur yapmıştır. (Denklem 4.1)

$$25 \text{ turda alınan yol} = 25 * 24 = 600 \text{ mm} = 0,6 \text{ m} \quad (4.1)$$

Yol sabit tutularak aşınma miktarları inceleneceğinden, cihaz çalışma süreleri hesaplanmıştır.

- 500 m için çalışma zamanı hesabı; (Denklem 4.2, 4.3, 4.4)

$$500/0,6 = 833 \text{ dakika} \quad (4.2)$$

$$833/60 = 13,88 = 13 \text{ saat } 53 \text{ dakika} \quad (4.3)$$

$$x = 88 * 60 / 100 = 53 \text{ dakika} \quad (4.4)$$

- 1000 m için çalışma zamanı hesabı; (Denklem 4.5, 4.6, 4.7)

$$1000/0,6 = 1666 \text{ dakika} \quad (4.5)$$

$$1666/60 = 27,77 = 27 \text{ saat } 46 \text{ dakika} \quad (4.6)$$

$$x = 88 \cdot 60 / 100 = 53 \text{ dakika} \quad (4.7)$$

1. Numune ile 500 m' de (13 saat 53 dakika) 2 deney yapılmıştır. 1. deney 1 kg yük altında, 2. deney 2 kg yük altında yapılmıştır. 2. Numune ile 1000 m' de (27 saat 46 dakika) 2 deney yapılmıştır. 1. deney 1 kg yük altında, 2. deney 2 kg yük altında yapılmıştır.

Tablo 4.5. Deneysel veriler

	1. NUMUNE		2. NUMUNE	
	1. DENEY	2. DENEY	1. DENEY	2. DENEY
BİLYE GİRİŞ (gr)	2,0646	2,0645	2,0643	2,0644
BİLYE ÇIKIŞ (gr)	2,0645	2,0643	2,0644	2,0642
NUMUNE GİRİŞ (gr)	14,8288	14,8287	15,2894	15,2895
NUMUNE ÇIKIŞ (gr)	14,8287	14,8287	15,2895	15,2894

Ağırlık ölçümleri hassas terazide aynı ortamda ve terazinin yeri oynatılmadan yapılmıştır. Ölçümler 10 adet yapılmış ve ortalaması alınmıştır. Deney başlangıç ve sonuç ölçümlerinde ağırlıklarda 10^{-4} değerinde küçük sayısal değişiklikler saptanmıştır. Bu verilerle ağırlık ve hacim yönünden aşınma durumu ve değerlerinin saptanması olanaksız olmuştur. Bu nedenle aşınma yüzeyleri ve aşındırıcı yüzeyleri incelenmiştir.

4.2.3.1. Aşınma numunelerinin incelenmesi

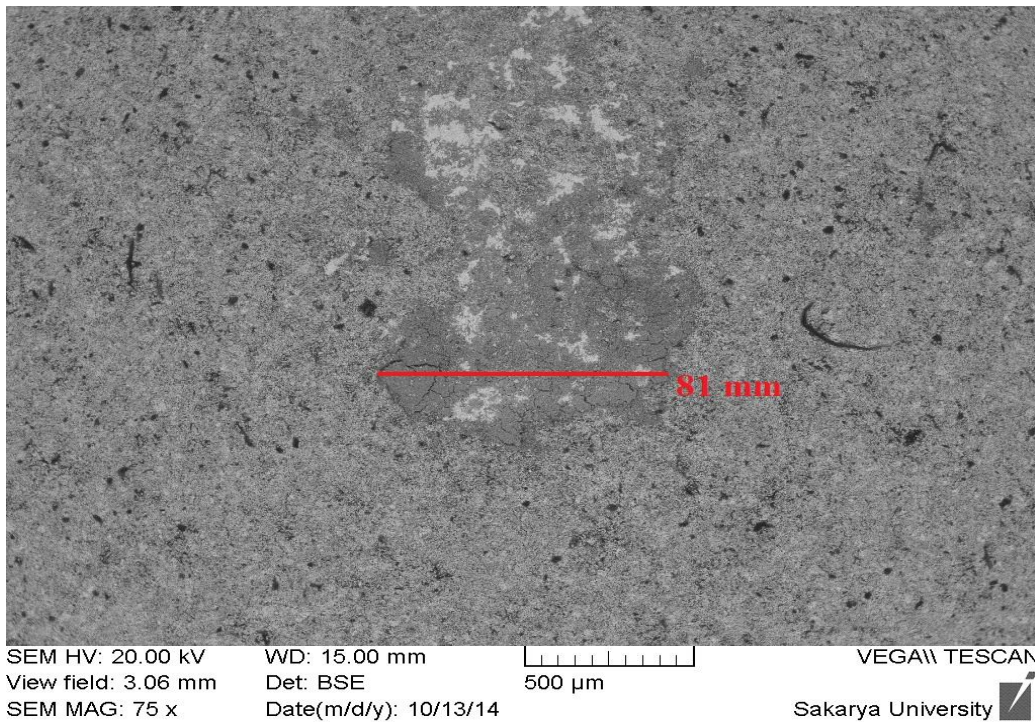
Yapılan deneyler sonucunda numune yüzeylerinde meydana gelen aşınmalar, SEM görüntüleri incelenerek yapılmıştır. Her bir deney için ayrı ayrı farklı büyütme oranlarında yüzeyler incelenmiş ve elde edilen görüntüler Şekil 4.4'de verilmiştir.

Şekil 4.4'te verilen numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde;

- a ve b' de 500 metre mesafede uygulanan yükün arttırılması ile aşınma yüzey genişliğinin arttığı,
- c ve d' de 1000 metre mesafede uygulanan yükün arttırılması ile aşınma yüzey genişliğinin arttığı,
- a ve c'de 1 kg yükte alınan yolun artışı ile aşınma yüzey genişliğinin arttığı,
- b ve d'de 2 kg yükte alınan yolun artışı ile aşınma yüzey genişliğinin arttığı görülmüştür.

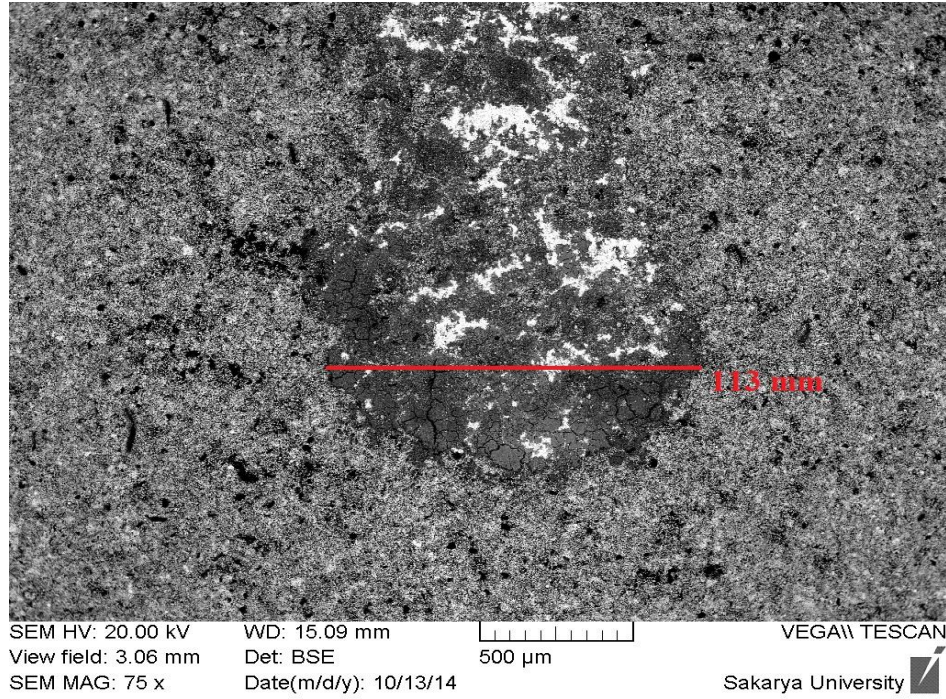
Bu da bize aşınma yüzey genişliklerinin alınan yol ve uygulanan yükün artışı ile arttığını göstermektedir.

Şekil 4.5'de aşınma deneyi uygulanan WC-Co kaplamanın aşınma izlerinde yapılan ayrıntılı SEM incelemesi ve EDS analizleri görülmektedir.

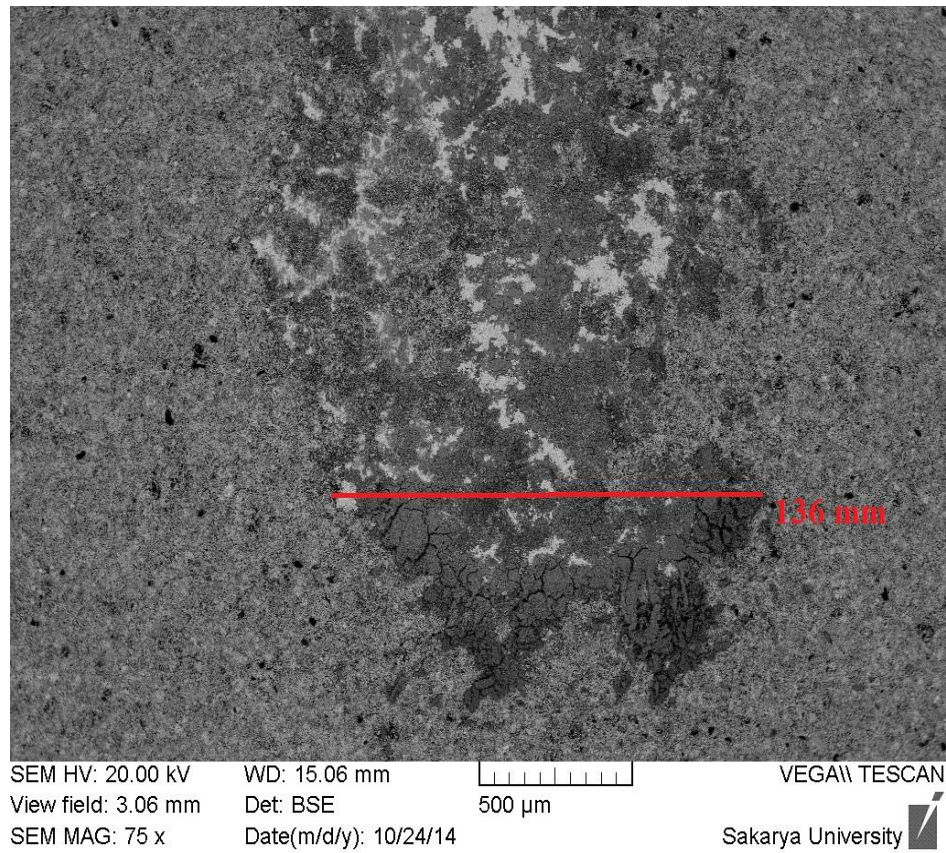


(a)

Şekil 4.4. Aşınan yüzey SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük

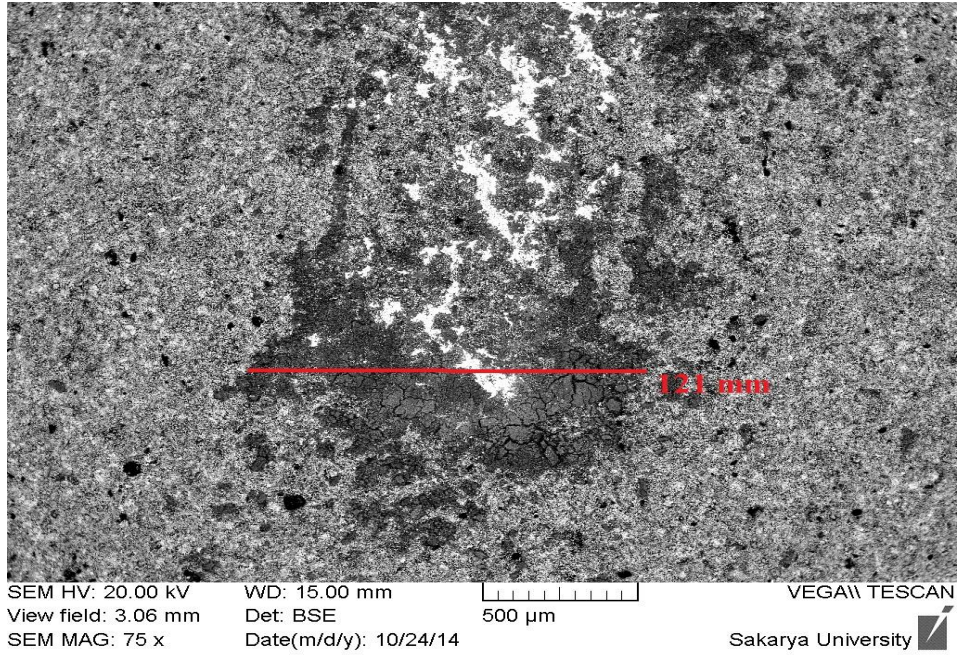


(b)



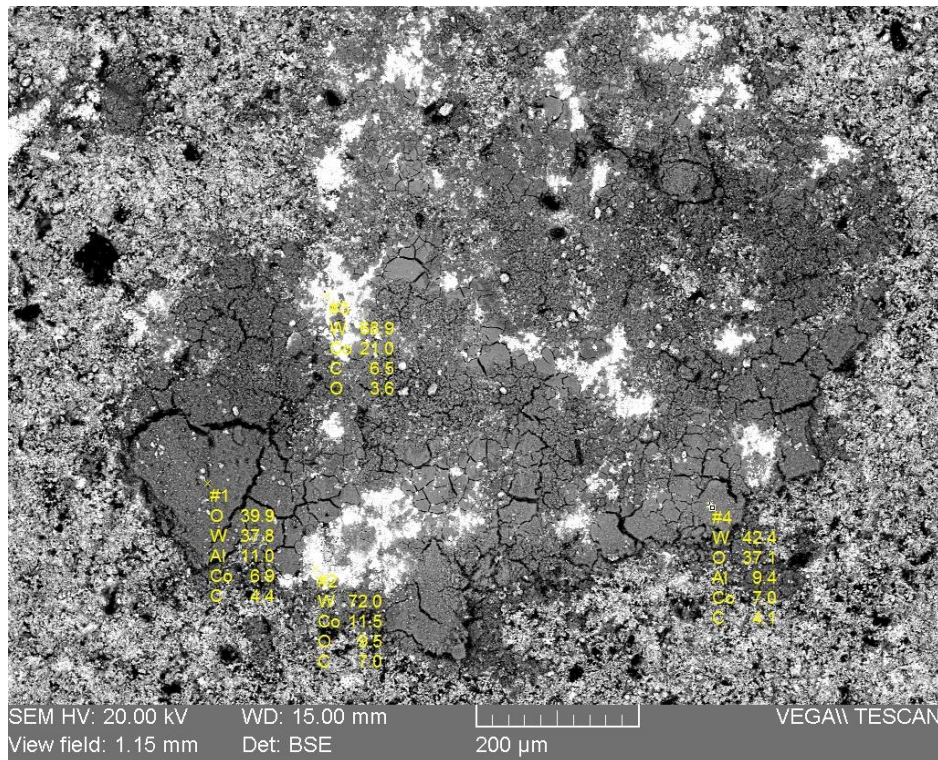
(c)

Şekil 4.4. Aşınan yüzey SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)



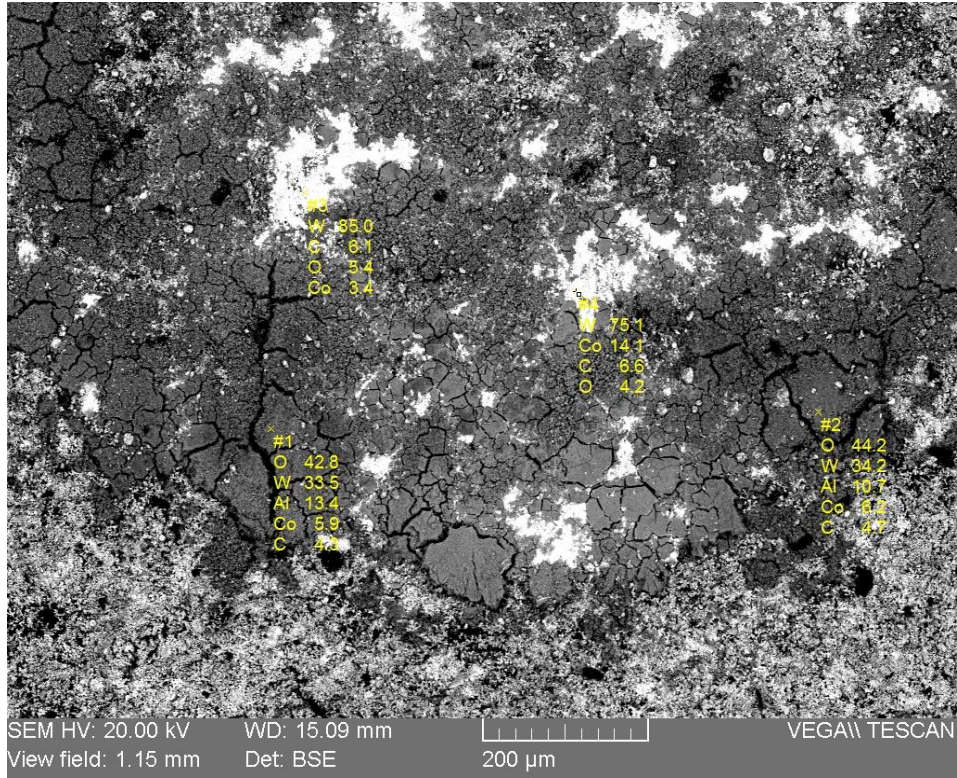
(d)

Şekil 4.4. Aşınan yüzey SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)

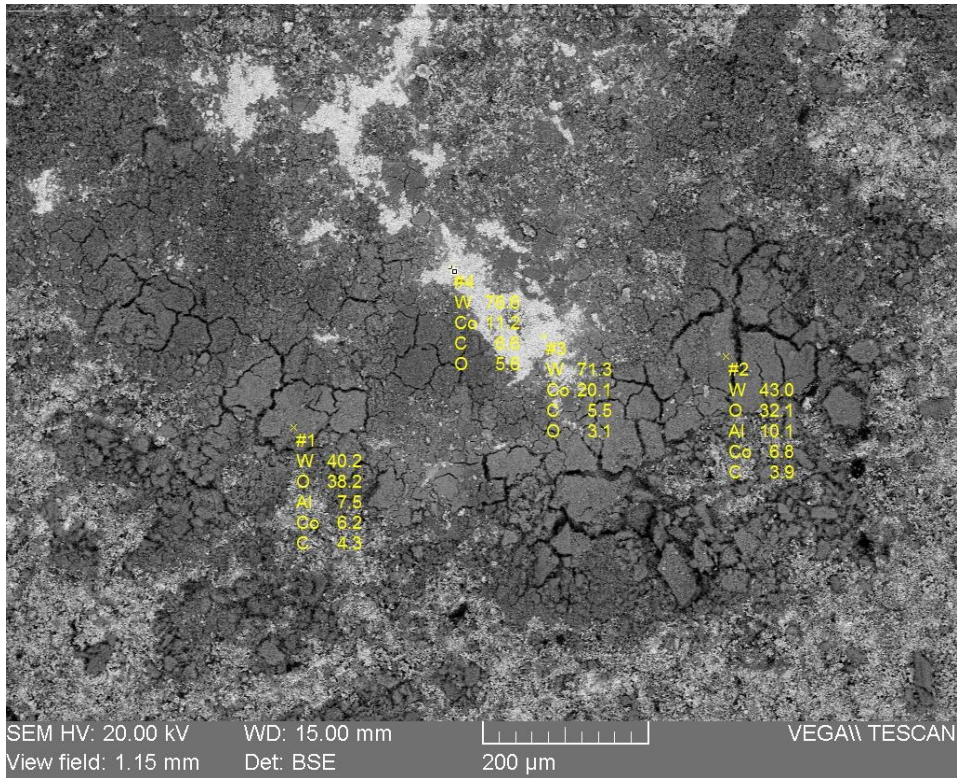


(a)

Şekil 4.5. Aşınan yüzey SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük

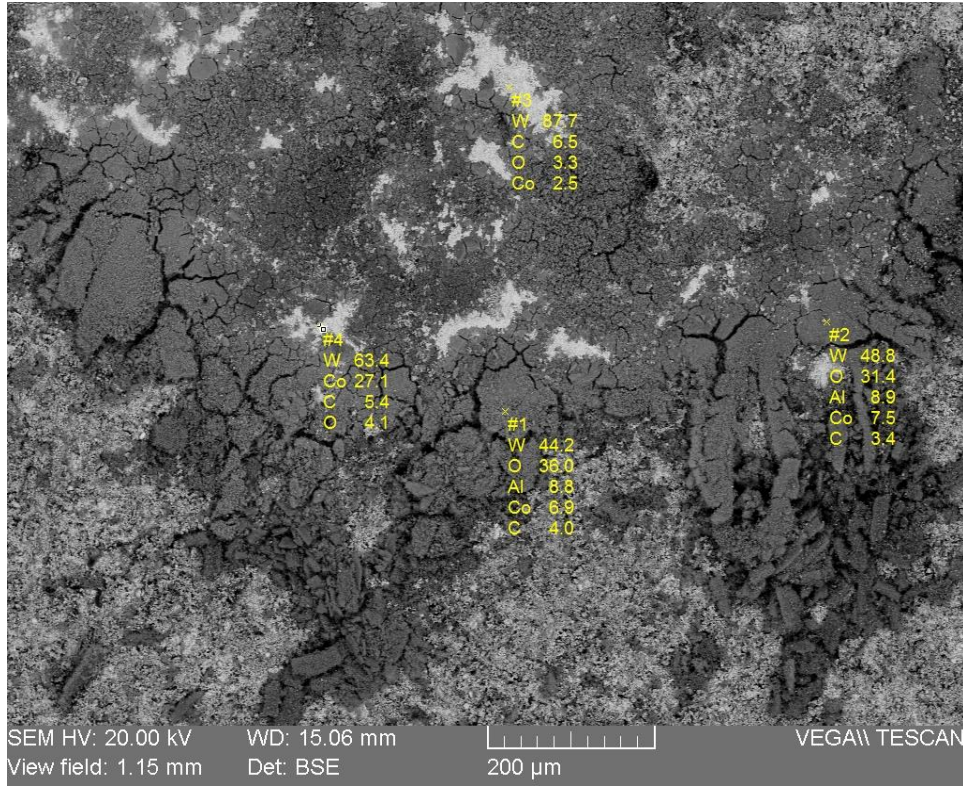


(b)



(c)

Şekil 4.5. Aşınan yüzey SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)



(d)

Şekil 4.5. Aşınan yüzey SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)

Şekil 4.5'teki resimlerde açık renkli bölgelerde WC-Co kaplamanın bileşeni (beyaz yerler W, açık gri tonlu bölgelerde Co elementlerinin bulunduğu bölgelerdir), koyu renkli bölgelerde de kaplamanın yanı sıra Al ve O elementlerinin varlığı görülmüştür. Çatlak gibi görünen bölgeler bilyeden kaplamaya geçen Al_2O_3 bileşiminin yapışma olduğu bölgelerdir.

Aşınan kaplama yüzeyi incelemesinde aşındırıcı Al_2O_3 bilye ile WC-Co kaplama arasında adhesif aşınma olduğu, aşındırıcı bilyeden kayma ile kopan parçaların kaplama yüzeyine yapıştığı gözlenmiştir.

4.2.3.2. Bilye yüzeyinin incelenmesi

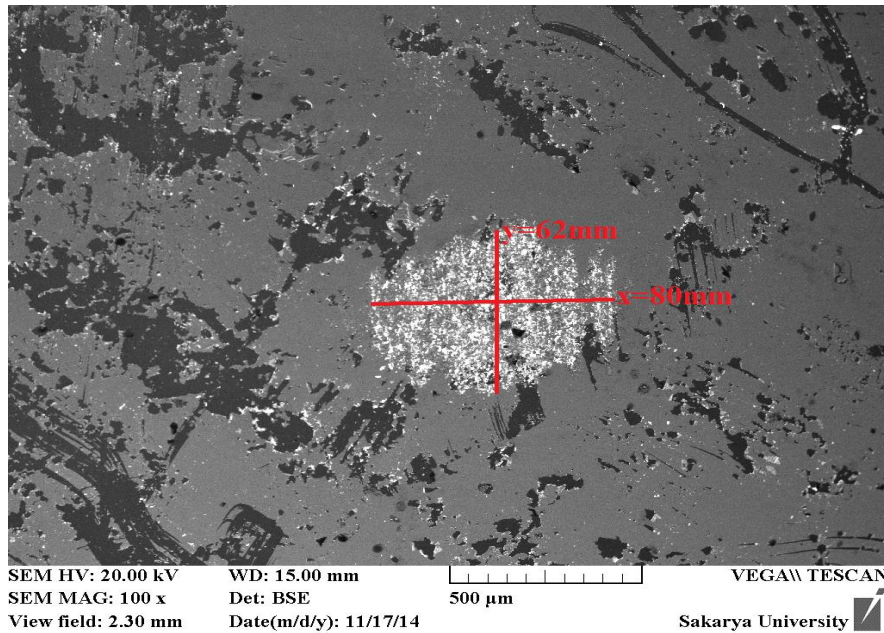
Aşındırıcı olarak Al_2O_3 bilye kullanılmıştır. Aşındırıcı bilyede her deney için kullanılan yüzey deney numaralandırılması yapılarak kayıt altına alınmıştır. Daha sonra tüm deneyler tamamlandıktan sonra bilye yüzeyi altın kaplanmış ve SEM' de

yüzey incelemesi yapılmıştır. Aşındırıcı bilye yüzeyi SEM inceleme görüntüleri Şekil 4.6'da verilmiştir.

Şekil 4.6'daki aşındırıcı bilyenin aşınma yüzeylerinin SEM görüntüleri incelendiğinde;

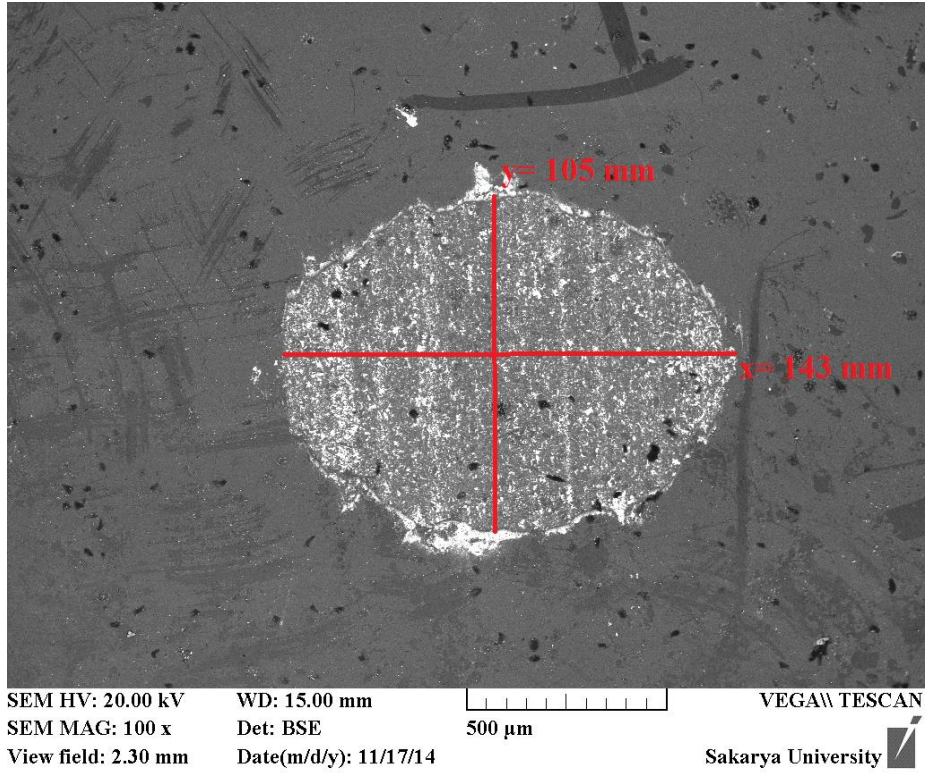
- a ve b'de 500 metre mesafede uygulanan yükün artırılması ile bilye aşınma yüzey genişliğinin arttığı,
- c ve d'de 1000 metre mesafede uygulanan yükün artırılması ile aşınma yüzey genişliğinin arttığı,
- a ve c'de 1 kg yükte alınan yolun artışı ile aşınma yüzey genişliğinin arttığı,
- b ve d'de 2 kg yükte alınan yolun artışı ile aşınma yüzey genişliğinin arttığı görülmüştür.

Bu da bize aşınma yüzey genişliklerinin alınan yol ve uygulanan yükün artışı ile arttığını göstermektedir. Uygulanan yük ve alınan yolun artışı ile aşınma yüzeyinin belirginliği daha da net görülmüştür. Şekil 4.7'de aşınma deneyinde kullanılan bilye yüzeylerinde yapılan ayrıntılı SEM incelemesi ve EDS analizi görülmektedir.

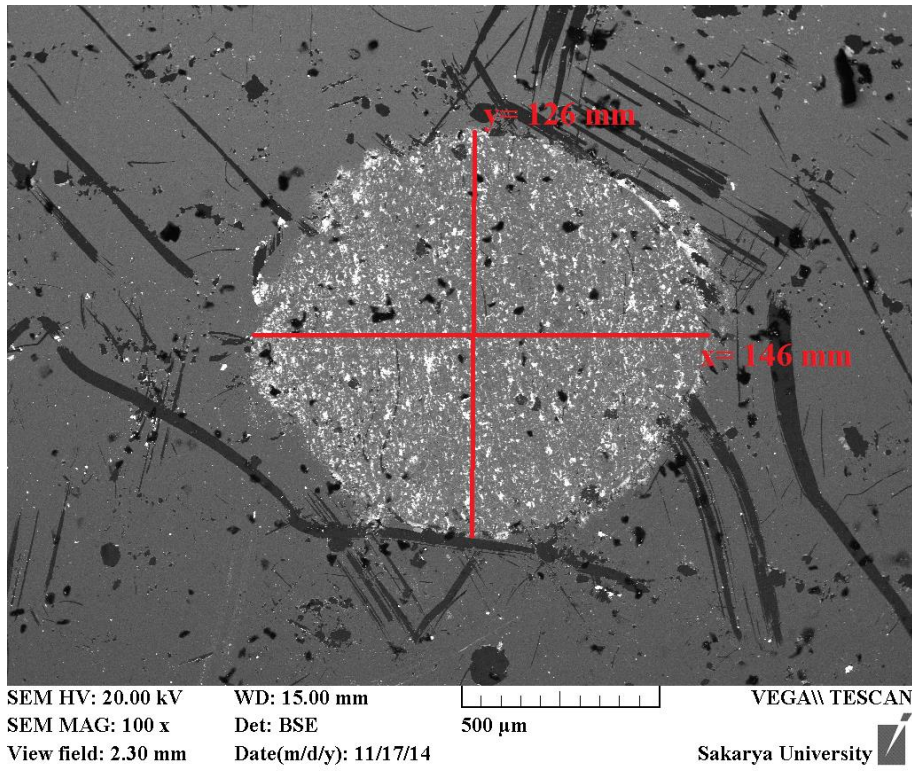


(a)

Şekil 4.6. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük

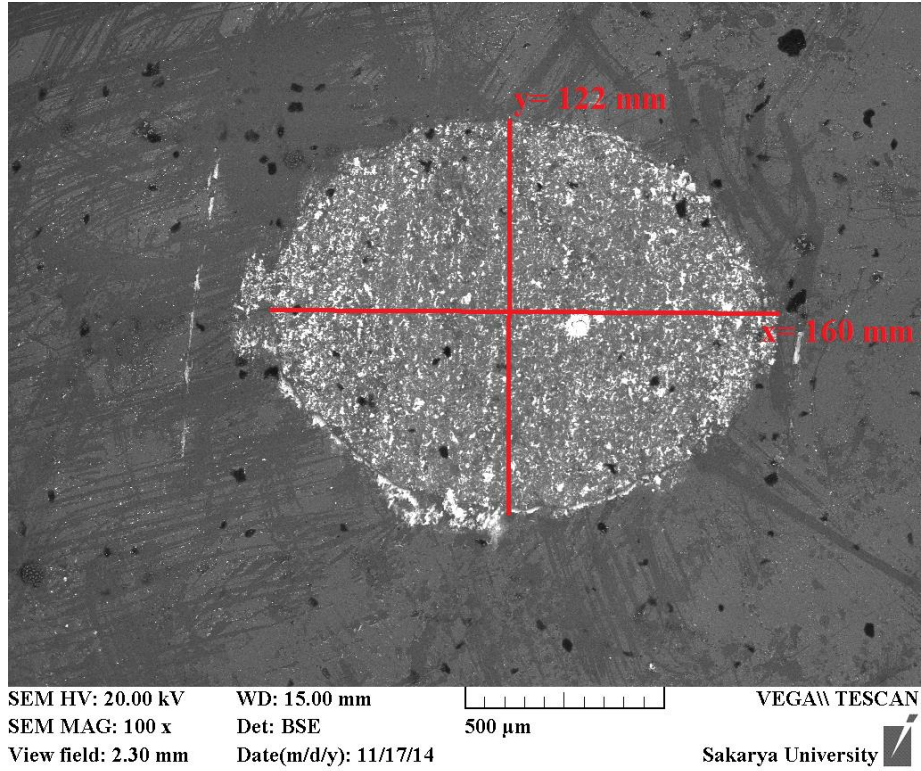


(b)



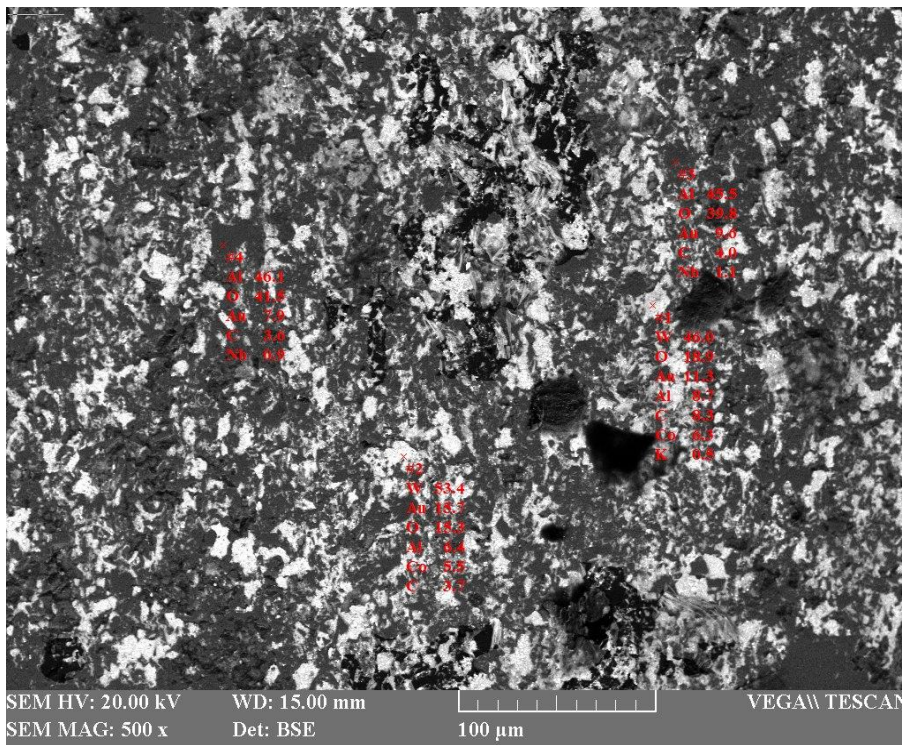
(c)

Şekil 4.6. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)



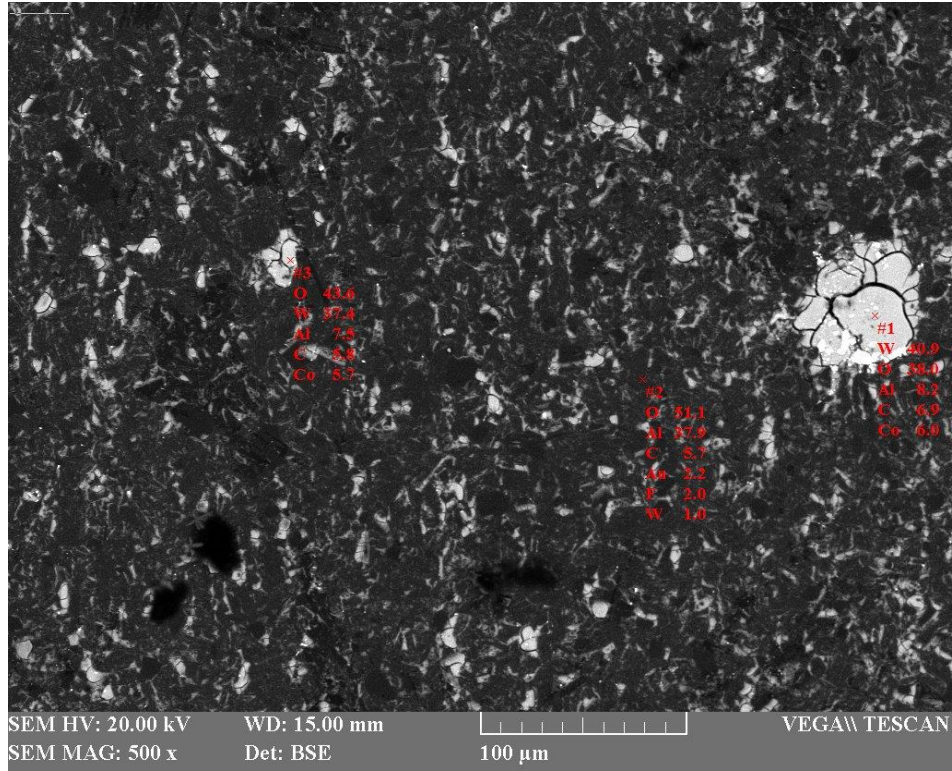
(d)

Şekil 4.6. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)

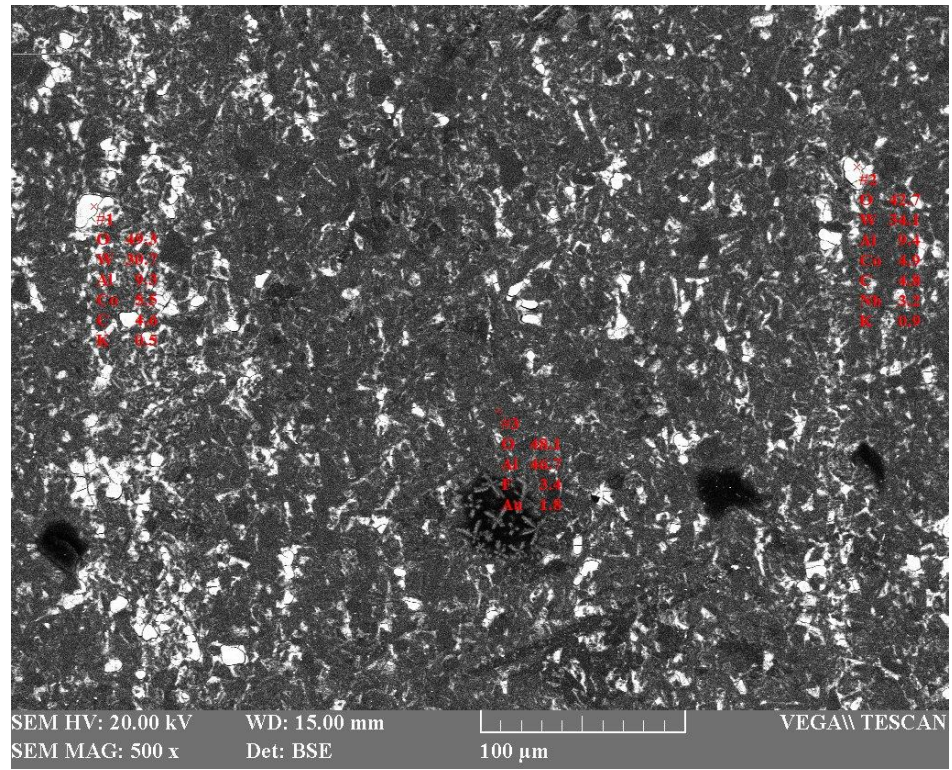


(a)

Şekil 4.7. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük

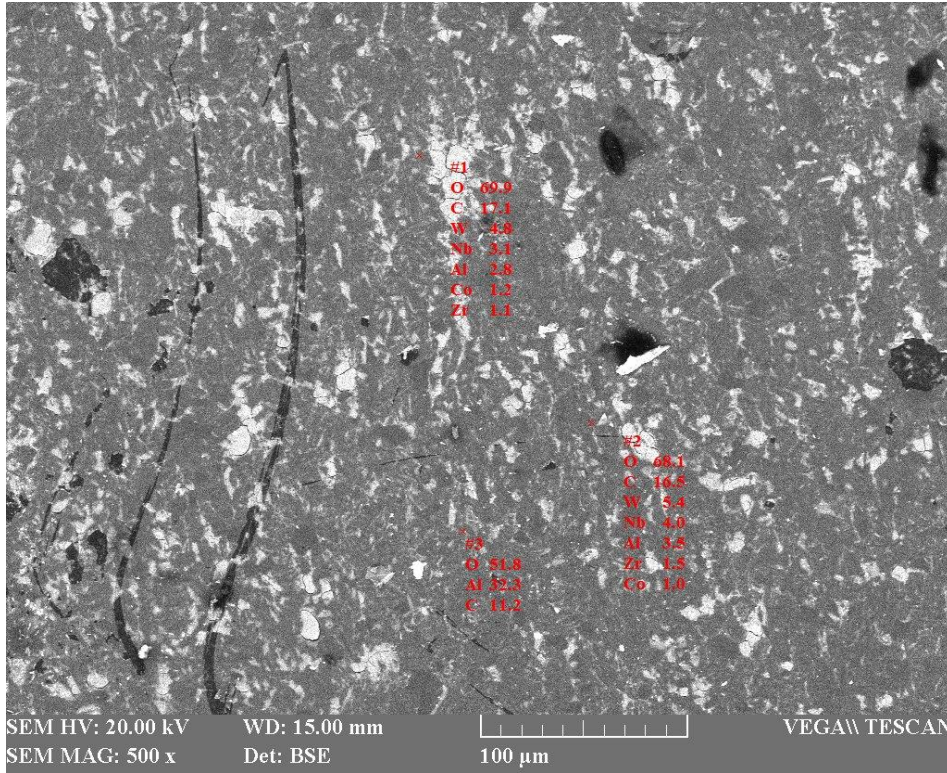


(b)



(c)

Şekil 4.7. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)



(d)

Şekil 4.7. Bilye yüzeyi SEM görüntüleri EDS analizleri a) 500 metrede 1 kg yük b) 500 metrede 2 kg yük c) 1000 metrede 1 kg yük d) 1000 metrede 2 kg yük (Devamı)

Şekil 4.7'deki resimlerde koyu renkli bölgelerde bilyenin bileşimi olan Al ve O elementleri, açık renkli bölgelerde ise WC-Co kaplamanın bileşeni (beyaz yerler W, açık tonlu gri bölgelerde Co elementlerinin bulunduğu bölgelerdir) görülmüştür. Çatlak gibi görünen bölgeler, kaplamadan bilye yüzeyine WC-Co bileşiminin yapışma olduğu bölgeleri göstermektedir.

Aşınan kaplama yüzeyi incelemesinde aşındırıcı Al_2O_3 bilye ile WC-Co kaplama arasında adhesif aşınma olduğu, kaplamadan kayma ile kopan parçaların aşındırıcı bilye yüzeyine yapıştığı gözlenmiştir.

4.2.3.2.1. Bilyenin aşınma hacim hesabı

Bilyenin her bir deney için aşınan yüzeylerinin hacimleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamada bölüm 2'de verilen 2.2, 2.3 ve 2.4 formülleri kullanılmıştır (Bkz. Syf.

16). Bilye yarıçapı (R) 5 mm olarak ölçülmüştür. Cetvelle 63 mm ölçüsü 500 mikron (0,5 mm) olarak ölçülmüştür.

- **500 m' de 1 kg yük altında bilyenin aşınan yüzey hacim hesabı;**

$$D = \frac{x + y}{2} = \frac{80 + 62}{2} = 71 \text{ mm}$$

$$D = \frac{71 * 0,5}{63} = 0,563 \text{ mm} \quad (4.8)$$

$$h = R - \left[R^2 - \left(\frac{D^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 5 - \left[5^2 - \left(\frac{0,563^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 0,008 \text{ mm} \quad (4.9)$$

$$V_{p1} = \left(\frac{\pi h}{6} \right) \left[3 \frac{D^2}{4} + h^2 \right]$$

$$V_{p1} = \left(\frac{3,14 * 0,008}{6} \right) \left[3 * \frac{0,563^2}{4} + 0,008^2 \right]$$

$$V_{p1} = 0,987 * 10^{-3} \text{ mm}^3 \quad (4.10)$$

- **500 m' de 2 kg yük altında bilyenin aşınan yüzey hacim hesabı;**

$$D = \frac{x + y}{2} = \frac{143 + 105}{2} = 124 \text{ mm}$$

$$D = \frac{124 * 0,5}{63} = 0,984 \text{ mm} \quad (4.11)$$

$$h = R - \left[R^2 - \left(\frac{D^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 5 - \left[5^2 - \left(\frac{0,984^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 0,024 \text{ mm} \quad (4.12)$$

$$V_{p_2} = \left(\frac{\pi h}{6} \right) \left[3 \frac{D^2}{4} + h^2 \right]$$

$$V_{p_2} = \left(\frac{3,14 * 0,024}{6} \right) \left[3 * \frac{0,984^2}{4} + 0,024^2 \right]$$

$$V_{p_2} = 9,23 * 10^{-3} \text{ mm}^3 \quad (4.13)$$

- **1000 m' de 1 kg yük altında bilyenin aşınan yüzey hacim hesabı;**

$$D = \frac{x + y}{2} = \frac{146 + 126}{2} = 136 \text{ mm}$$

$$D = \frac{136 * 0,5}{63} = 1,07 \text{ mm} \quad (4.14)$$

$$h = R - \left[R^2 - \left(\frac{D^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 5 - \left[5^2 - \left(\frac{1,07^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 0,029 \text{ mm} \quad (4.15)$$

$$V_{p_3} = \left(\frac{\pi h}{6} \right) \left[3D^2/4 + h^2 \right]$$

$$V_{p_3} = \left(\frac{3,14 * 0,029}{6} \right) \left[3 * 1,07^2/4 + 0,029^2 \right]$$

$$V_{p_3} = 12,912 * 10^{-3} \text{ mm}^3 \quad (4.16)$$

- **1000 m' de 2 kg yük altında bilyenin aşınan yüzey hacim hesabı;**

$$D = \frac{x+y}{2} = \frac{160+122}{2} = 141 \text{ mm}$$

$$D = \frac{141 * 0,5}{63} = 1,119 \text{ mm} \quad (4.17)$$

$$h = R - \left[R^2 - \left(\frac{D^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 5 - \left[5^2 - \left(\frac{1,119^2}{4} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$h = 0,031 \text{ mm} \quad (4.18)$$

$$V_{p_4} = \left(\frac{\pi h}{6} \right) \left[3D^2/4 + h^2 \right]$$

$$V_{p_4} = \left(\frac{3,14 * 0,031}{6} \right) \left[3 * 1,119^2/4 + 0,031^2 \right]$$

$$V_{p_4} = 15,45 * 10^{-3} \text{ mm}^3 \quad (4.19)$$

Tablo 4.6. Aşınan hacim değerleri (mm)

V_{P_1}	$0,987*10^{-3} \text{ mm}^3$
V_{P_2}	$9,23*10^{-3} \text{ mm}^3$
V_{P_3}	$12,912*10^{-3} \text{ mm}^3$
V_{P_4}	$15,45*10^{-3} \text{ mm}^3$

Tablo 4.6 incelendiğinde; $V_{P_2} \rangle V_{P_1}$, $V_{P_4} \rangle V_{P_3}$ olması yük artışı ile aşınmanın arttığını göstermiştir. Sabit yollarda aşınan malzemeye uygulanan yükün artırılması ile aşınma miktarının da arttığı görülmüştür.

$V_{P_3} \rangle V_{P_1}$, $V_{P_4} \rangle V_{P_2}$ olması alınan yol artışı ile aşınmanın arttığını göstermiştir. Sabit yük altında aşınma süresinin artırılması ile aşınma miktarının da arttığı görülmüştür.

$V_{P_4} \rangle V_{P_3} \rangle V_{P_2} \rangle V_{P_1}$ olması çalışma süresi ve uygulanan yüke bağlı olarak aşınmanın arttığını göstermiştir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada termal püskürtme yöntemlerinden HVOF yöntemi ile paslanmaz çelik altlık üzerinde üretilen WC-Co alaşımlı kaplamanın aşınma performansı belirlenmeye çalışılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında Ball-on-flat aşınma cihazı tasarımı yapılmış ve imalat gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada bu cihaz kullanılarak üretilen kaplamaların ball on flat aşınma deneyleri Al₂O₃ bilye ile farklı yük ve aşınma mesafelerinde yapılmıştır. Daha sonra optik mikroskop ve SEM-EDS ile hem üretilen kaplamalar hem de aşınma yüzeyleri yapısal olarak karakterize edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1- Ball-on-flat tekniğini kullanarak tasarlanan cihaz, yapılan aşınma deneylerinde sorunsuz çalışmıştır. Kuru veya (oda sıcaklığı, istenilen sıcaklık) yağlı ortamda gerek süre gerekse de tur sayısı dikkate alınarak yapılacak aşınma çalışmalarında cihazın kullanılabilirliği kanıtlanmıştır.
- 2- Paslanmaz çelik altlığın sertliğinin ve homojenliğinin etkilenmemesi amacıyla WC-Co kaplaması işlemi, 3 aşamada toplam 9 paso olarak uygulanmış ve başarılı olmuştur. Kaplama kalınlığı yaklaşık 128,68 µm olarak ölçülmüştür.
- 3- Aşındırıcı bilye ve aşınan malzeme arasında adhesif aşınma nedeniyle kütle kaybı çok az olmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, ağırlık kayıpları 10⁻⁴ hassasiyette belirlenmiş fakat önemli bir değişikliğin olmadığı gözlenmiştir (Tablo 4.5). Elde edilen bu sonuçlar üretilen kaplama tabakasının her ne kadar uygulanan yük ve aşınma mesafesi çok yüksek olmasa da aşınma dayanımının yüksek olduğunu göstermektedir.

- 4- Kaplamanın SEM incelemesinde, bilyeden kopan aşındırıcı parçacıkların aşınma yüzeyinin uç bölgelerinde yoğun olarak rastlanmıştır. Kaplamanın aşınma yüzeyinde yapılan EDS analizinde, açık renkli bölgelerde W, C ve Co elementleri koyu renkli bölgelerde ise Al ve O elementlerinin yoğun olarak bulunduğu belirlenmiştir. Aşındırıcı ile aşınan malzeme arasında adhezyon ve yüzeydeki pürüzlerin teması ile kayma meydana gelmiştir. Bununla birlikte bağ yapısı zayıf olandan kuvvetli olana kopma sonucu yapışma olmuştur. Bu tür aşınmaya adhesif aşınma denir.
- 5- Aşındırıcı bilye yüzeyinin SEM görüntüleri ve EDS analizleri incelendiğinde; açık renkli alanlar kaplamadan gelen W, C ve Co elementlerini, koyu renkli alanlar ise bilyenin bileşimine ait Al ve O elementlerinin olduğu bölgeleri göstermektedir. Bilye ile kaplama arasında adhesif aşınma meydana geldiğinden aşınan yüzeyler arasında malzeme transferi meydana gelmiştir.
- 6- Uygulanan yükün ve aşınma mesafesinin artması ile aşınma yüzeylerinin genişliklerinin arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.4). Yani uygulanan yük ve sürenin artışı ile aşınma miktarı artmıştır.
- 7- Uygulanan yük ve aşınma mesafesinin artması ile bilyenin aşınma yüzeylerinin hacimlerinin de arttığı gözlenmiştir (Tablo 4.6).

5.2. Öneriler

1. Bu çalışmada paslanmaz çelik altlık üzerine WC-Co kaplama HVOF yöntemi ile üretilmiş ve aşınma performansı oda sıcaklığında kuru ortamda araştırılmıştır. Aşınma deneyleri yağ ortamında veya yüksek sıcaklıkta yapılarak yağ ortamının ve sıcaklığın etkisi araştırılabilir.
2. Aşınma yükü ve aşınma mesafesi arttırılarak daha fazla aşınmanın meydana gelmesi sağlanıp aşınma mekanizması ile ilgili detaylı inceleme yapılabilir.

KAYNAKLAR

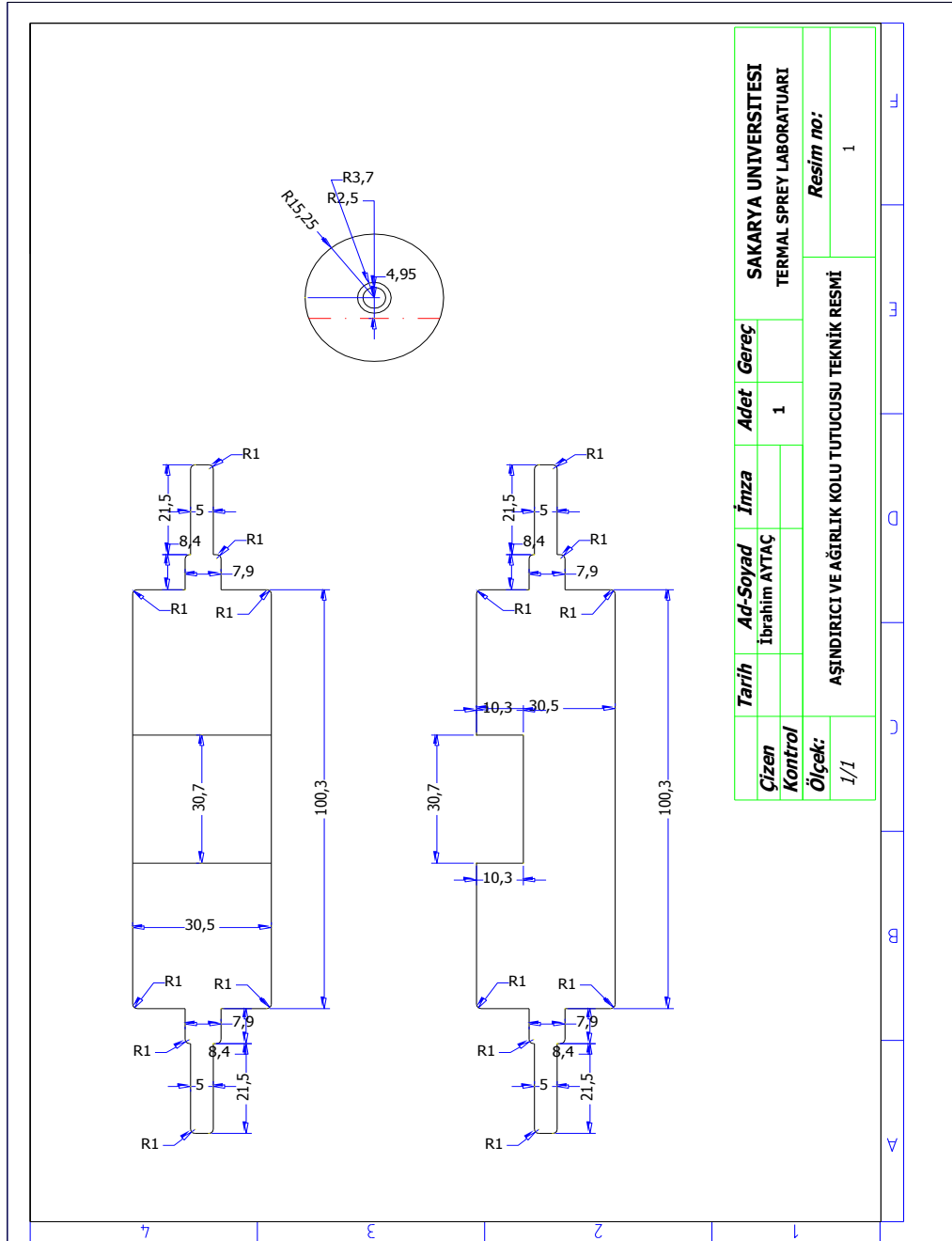
- [1] KARAGÖZ, Y., “Metallerde Aşınma Yorulması”, İzmir, Mart, 2004.
- [2] ŞİŞMAN, L., “Bir Aşınma Deney Cihazının Tasarım ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Temmuz, 1999.
- [3] KARABAŞOĞLU, M., “Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2008.
- [4] DEMİRAL, M., C95200 ve C95300 Alüminyum Bronzların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 3 – 10, 2005.
- [5] SOYDAŞ, S., Üniuersal Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 21-22, 2006.
- [6] ODABAŞ, D., Ötektoidaltı Çeliklerin Kayma Sürtünmesi Aşınmasında Adresiv Aşınma Katsayılarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Ün. Fen Bil. En., Kayseri 1987.
- [7] KARAOĞLU, Y., “Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eylül, 2006.
- [8] ÜNLÜ, B, S., KÖKSAL, N, S., ATİK, E., Bakır Esaslı Bronz ve Pirinç Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:5 Sayı:2, 103-108, Mayıs 2003.
- [9] <http://www.turkcadcamlar.net/rapor/kompozit-malzemeler/index.html>, Erişim Tarihi: 26.12.2010.
- [10] HALLING, J., “Introduction to Tribology”, 1st Ed., Wykeham Publications Ltd., London, 1976.
- [11] http://www.poliya.com.tr/turkce/poliya_urunler_urun_ve_ekipmanlar.html, Erişim Tarihi: 26.10.2010.
- [12] http://www.camelyaf.com.tr/turkce/soru_cevap/diger_1.php, Erişim Tarihi: 10.01.2011.

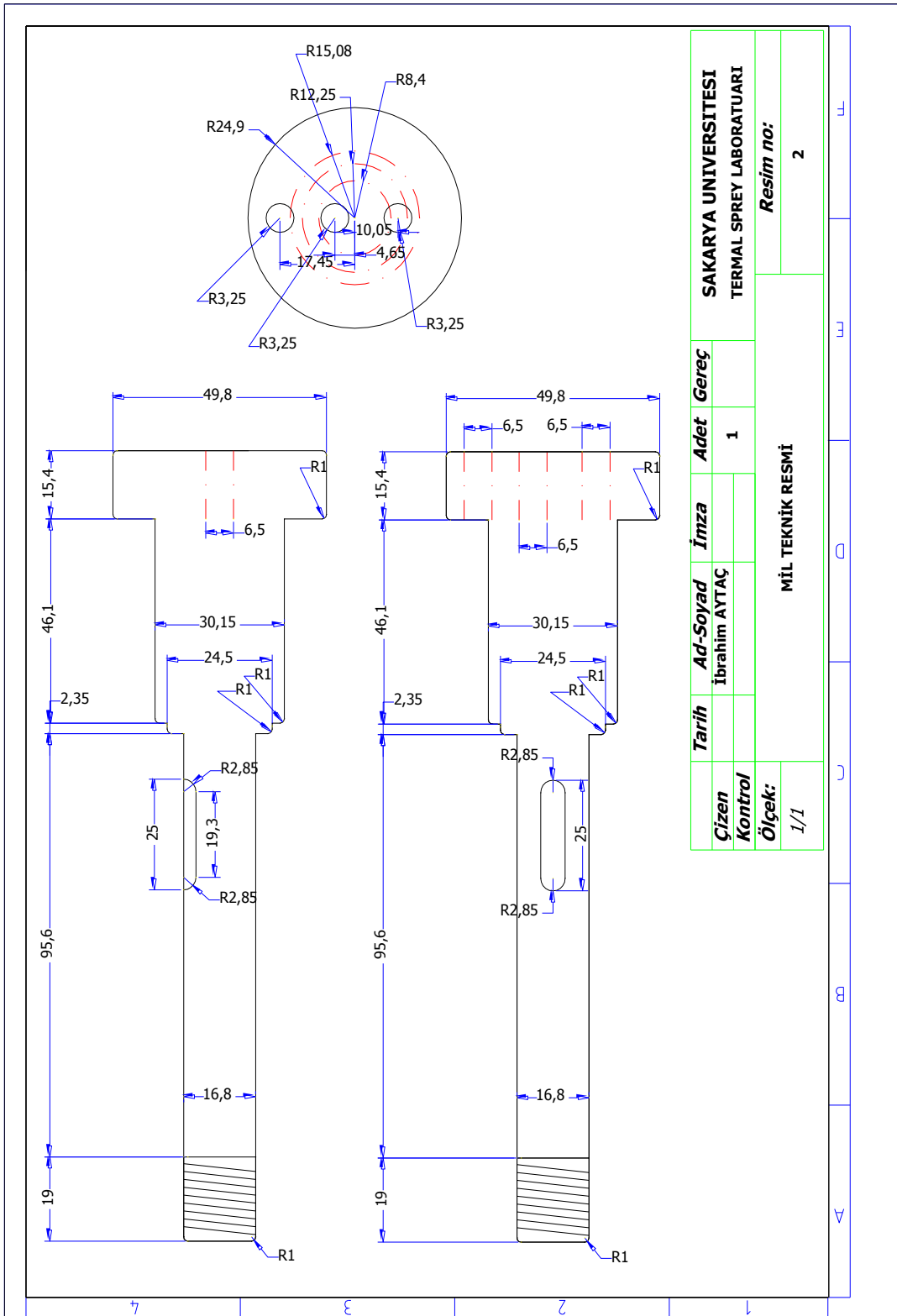
- [13] SARIKAYA, Ö., Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri, 1-60, 2007
- [14] YILMAZ, F., Sürtünme Ve Aşınma, 9. Uluslar Arası Metalurji ve Malzeme Kongresi, 229-247, İstanbul, Turkey, 1997.
- [15] ÖZSARAÇ, U., DURMAN, M., Aşınma Deney Yöntemleri, 1-6, 2000
- [16] SOYDAN, Y., ULUKAN, L., “Triboloji: Sürtünme, Aşınma, Yağlama Bilimi ve Teknolojisi”, Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi No: 1, Sakarya, 2003.
- [17] UZUNER, H., “Polimerlerin Sürtünme ve Aşınma Davranışları”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 2001.
- [18] MARUİ, E., ENDO, H., Effect of Reciprocating and Unidirectional Sliding Motion on the Friction and Wear of Copper on Steel, *Wear*, 582-591, Mart, 2001.
- [19] <http://www.devicelink.com/mddi/archive/99/08/005.html>, Erişim Tarihi: 10.01.2011.
- [20] ASTM_Standard/ASTM G 133-95., Ekim 20, 2007.
- [21] ASTM_Standard/ASTM G 99-95., Ekim 20, 2007.
- [22] ODABAŞ, D., KARAMIŞ, M, B., Kuru Sürtünme Şartlarında Pim-Ring Kayma Sistemi İçin Plastik Deformasyon Isının Teorik ve Deneysel Analizi, Tübitak, 65-76, 1998.
- [23] BAYER, G, R., Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Marcel 280, 2004.
- [24] BLAU, P, J., BUDINSKI, K, G., Development And Use of ASTM Standards For Wear Testing, *Wear*, 1159-1170, 1999.
- [25] By George Plint, A Brief History of Plint Tribology Products, Temmuz, 2002.
- [26] www.gohanmi.com/TE97.htm, Erişim Tarihi: 31.01.2011.
- [27] HOFF, I. H., “Thermal Spraying and its Application”. *Welding & Metal Fabrikation*, 55(11):266-269, 1995.
- [28] HÖHLE, H, M., “The state of thermal spraying”. *Welding and Cutting* 2(17):22-25, 1993.
- [29] HOWES, C, P., “Thermal Spraying: Processes, Preparation, Coatings and Applications” *Welding Journal*, 9(12):47-51, 1994.

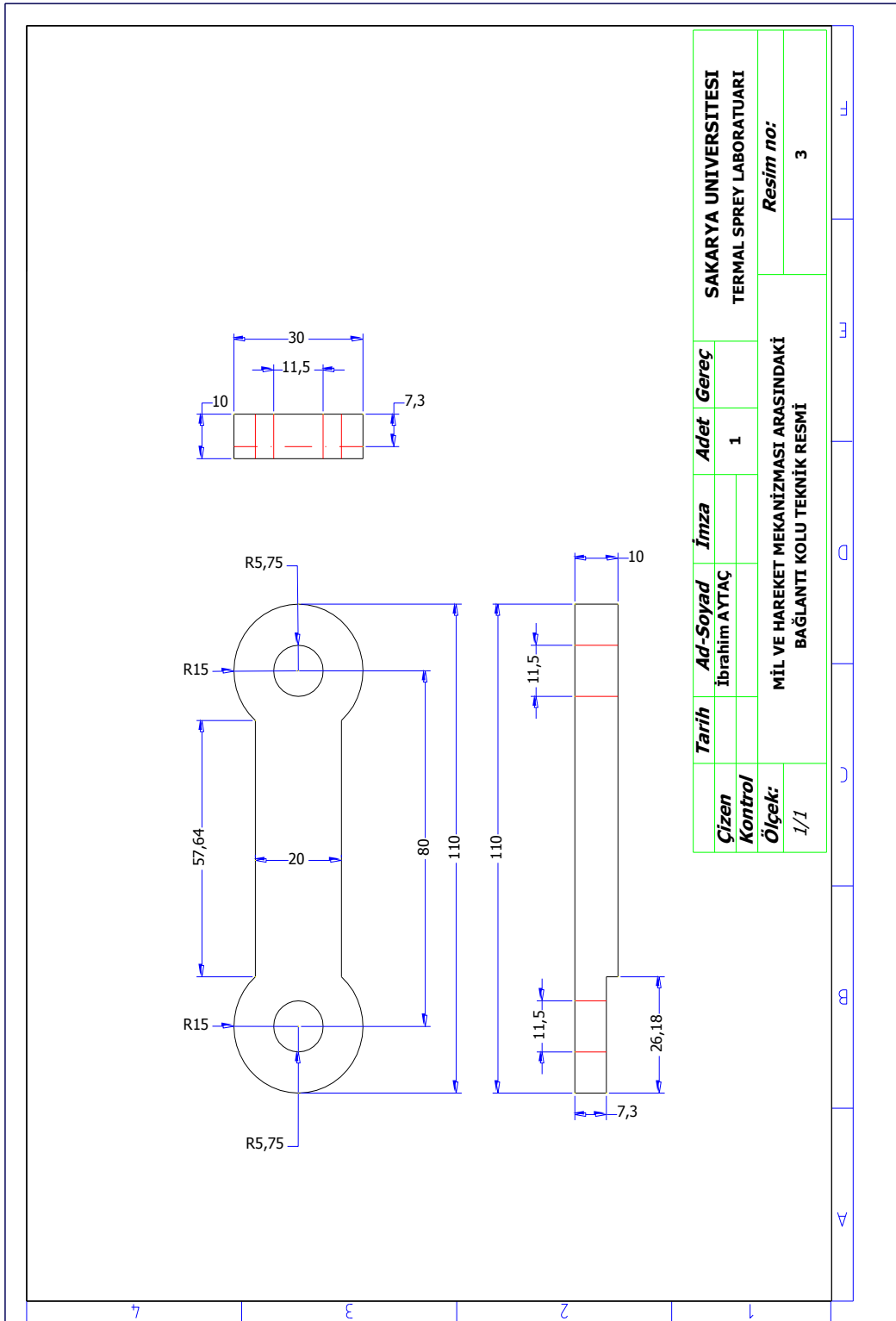
- [30] BARBEZAT, G., and NİCOL, A, R., “Hight Velocity Flame Spraying - the complement to Plasma Spraying”. *Welding and Cutting* 2(1):25-27, 1993.
- [31] CHARLES, P. H. JR., "Thermal Spraying Processes, Preparation, Coating and Application", *Welding Journal*, 73(4):47-51, 1994.
- [32] PARKER, D. W., KURTNER, G. Ş.," HVOF-Spray Technology", *Advanced Materials and Processes*, V.139, n.4, 4-91, pp.68-72.
- [33] AKLIN, I., “Elektrik Ark Kaynağı ve Toz Püskürtme Yöntemleri ile Zırhlanan Parçaların, Abrezif Aşınma davranışlarının İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi İ.T.Ü.Fen bilimleri Ens. Metalurji mühendisliği Bölttmü, İstanbul, 25-35, 1995.
- [34] OGUZ, B. “Aşınma sorunlan ve Dolgu kaynaklan". OERLIKON yayını, İstanbul, (44):367-490, 1993.
- [35] SMART, R, F., & MOORE, J, C., “Materials Selection for wear Resistance”. *Wear*, 55-67, 1979.
- [36] Notice, F, W., “Gartner Thermal Spraying Co. or its Affiliates” Almanya 39-41, 2004.
- [37] ASTM_Standard/ASTM G 133-05., 2010

EKLER

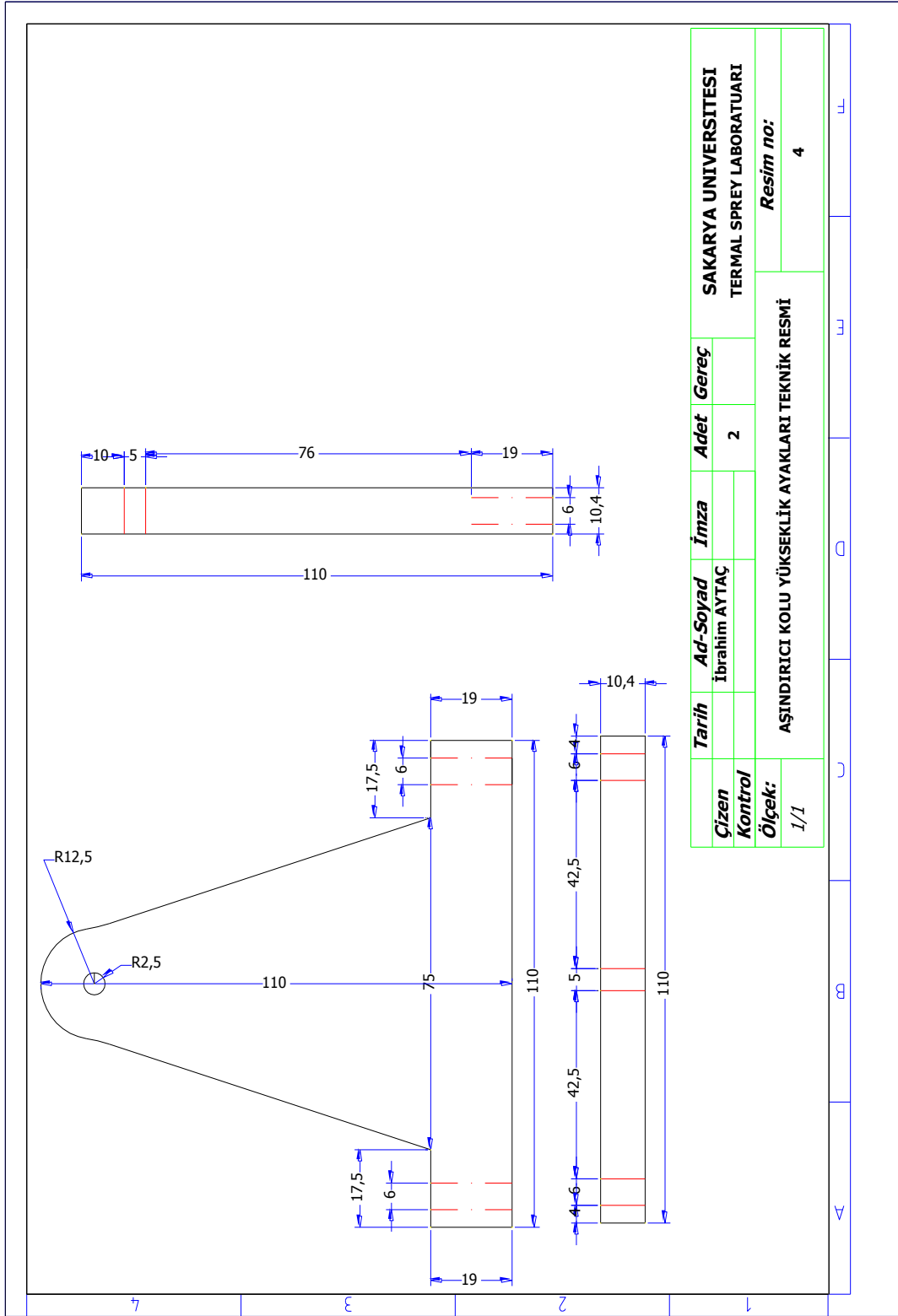
EK A: Parçaların teknik resimleri

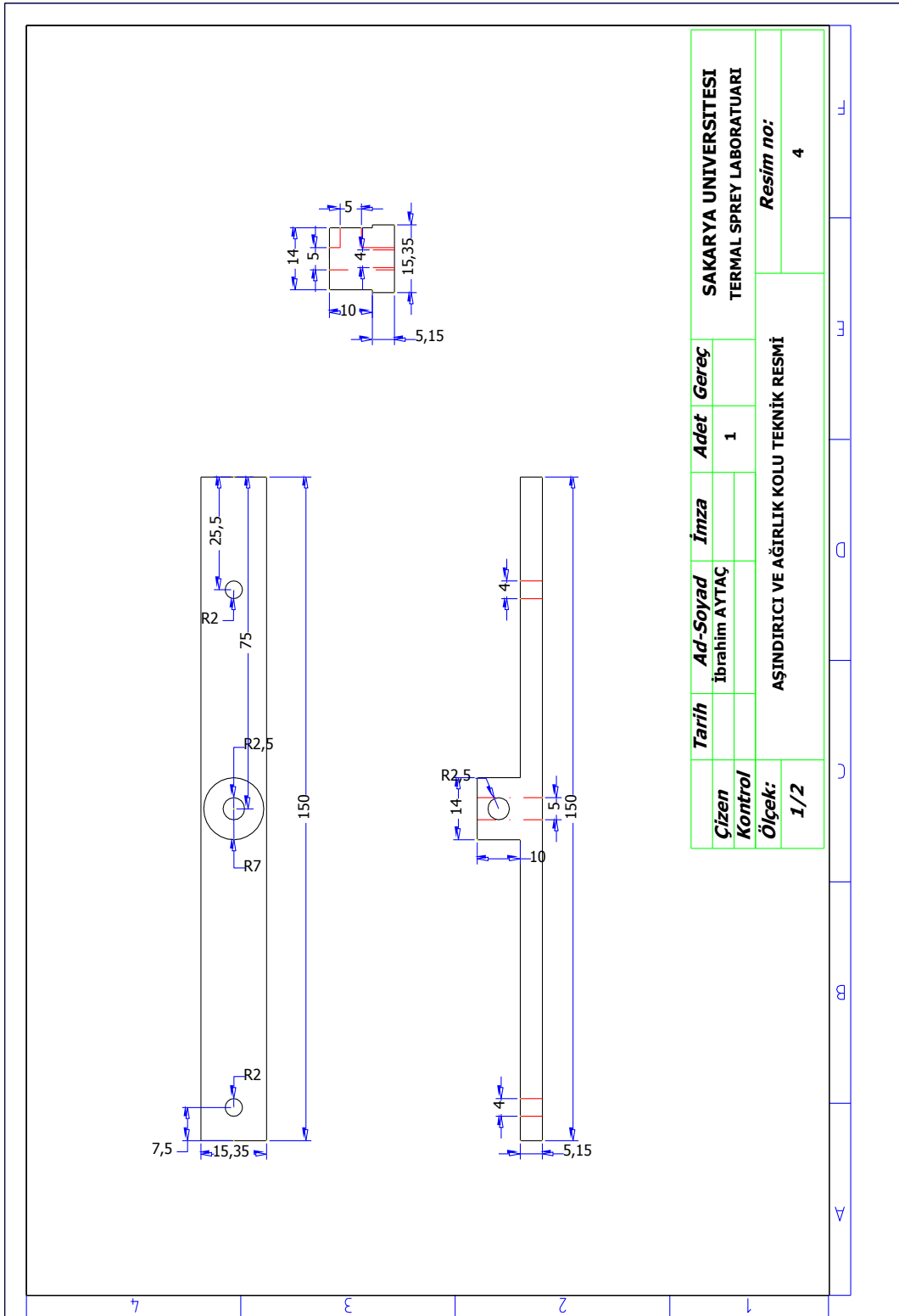




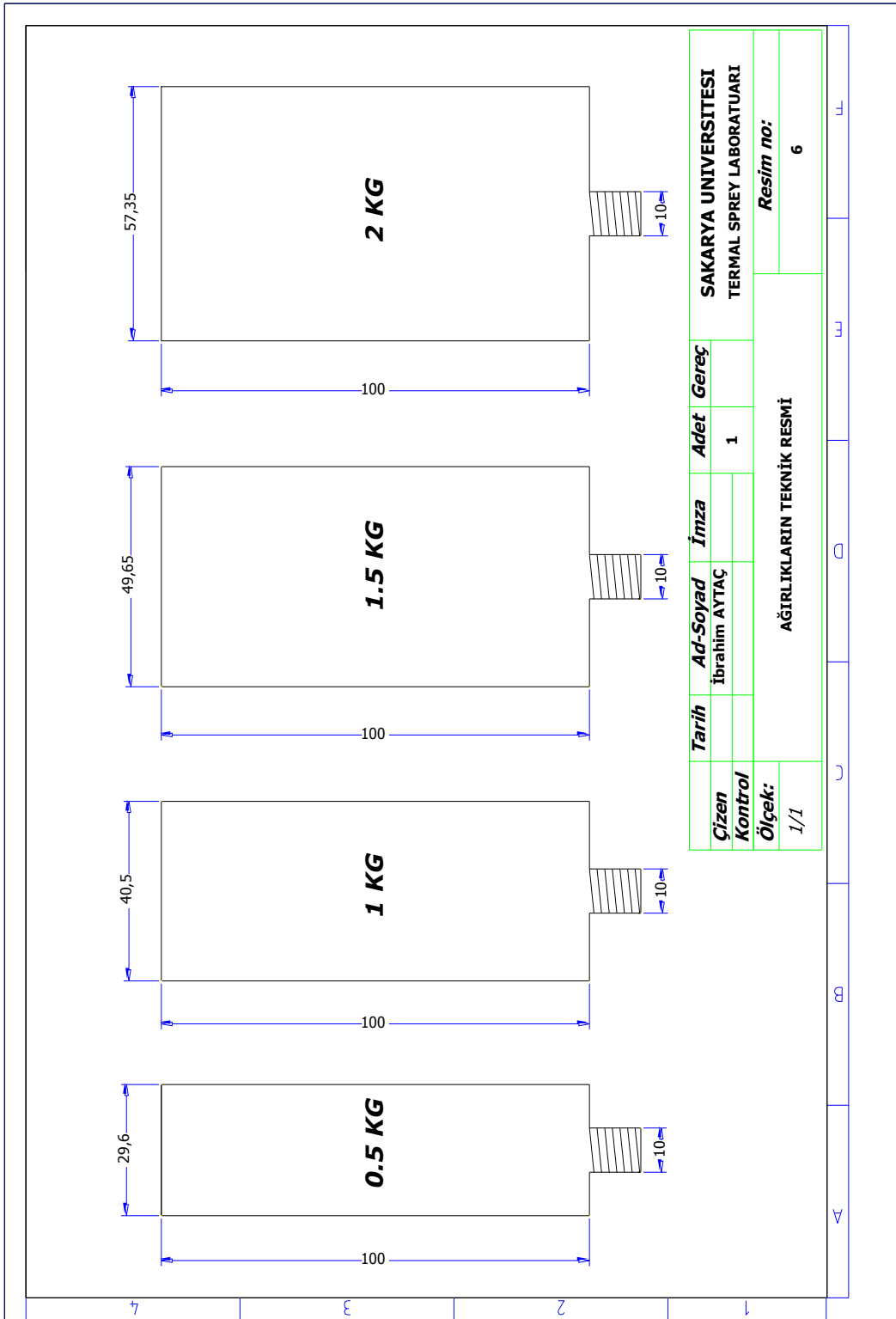


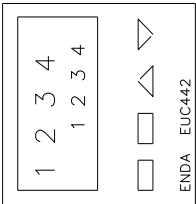
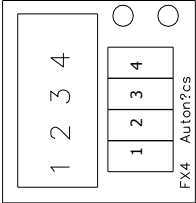
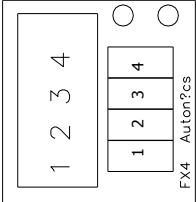
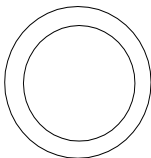
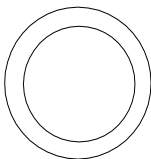
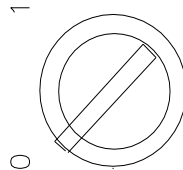
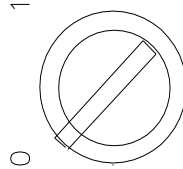
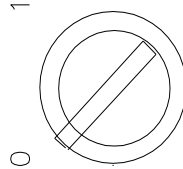
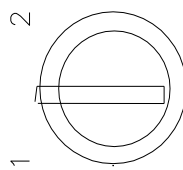
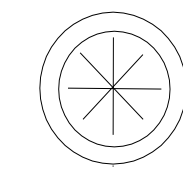
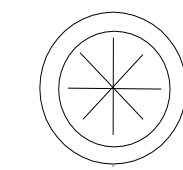
Çizen	Tarih	Ad-Soyad	İmza	Adet	Gereç	SAKARYA UNİVERSİTESİ
Kontrol		İbrahim AYTAÇ		1		TERMAL SPREY LABORATUVARI
Ölçek:		MİL VE HAREKET MEKANİZMASI ARASINDAKİ BAĞLANTI KOLU TEKNİK RESMİ				Resim no:
1/1						3





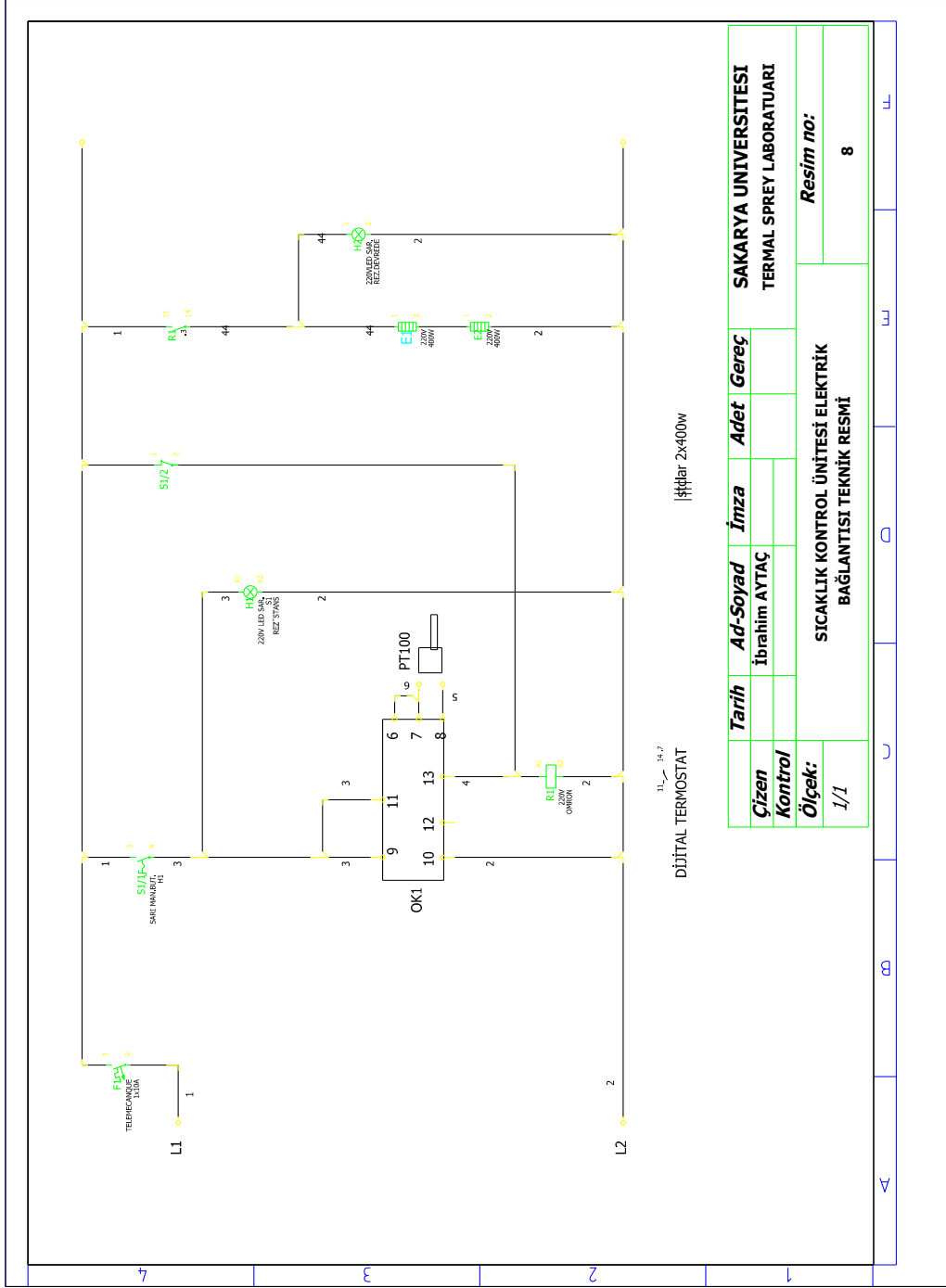
Tarih	Ad-Soyad	İmza	Adet	Gereç
	İbrahim AYTAÇ		1	
AŞINDIRICI VE AĞIRLIK KOLU TEKNİK RESMİ				
Çizen	SAKARYA UNİVERSİTESİ			
Kontrol	TERMAL SPREY LABORATUVARI			
Ölçek:	Resim no:			
1/2	4			

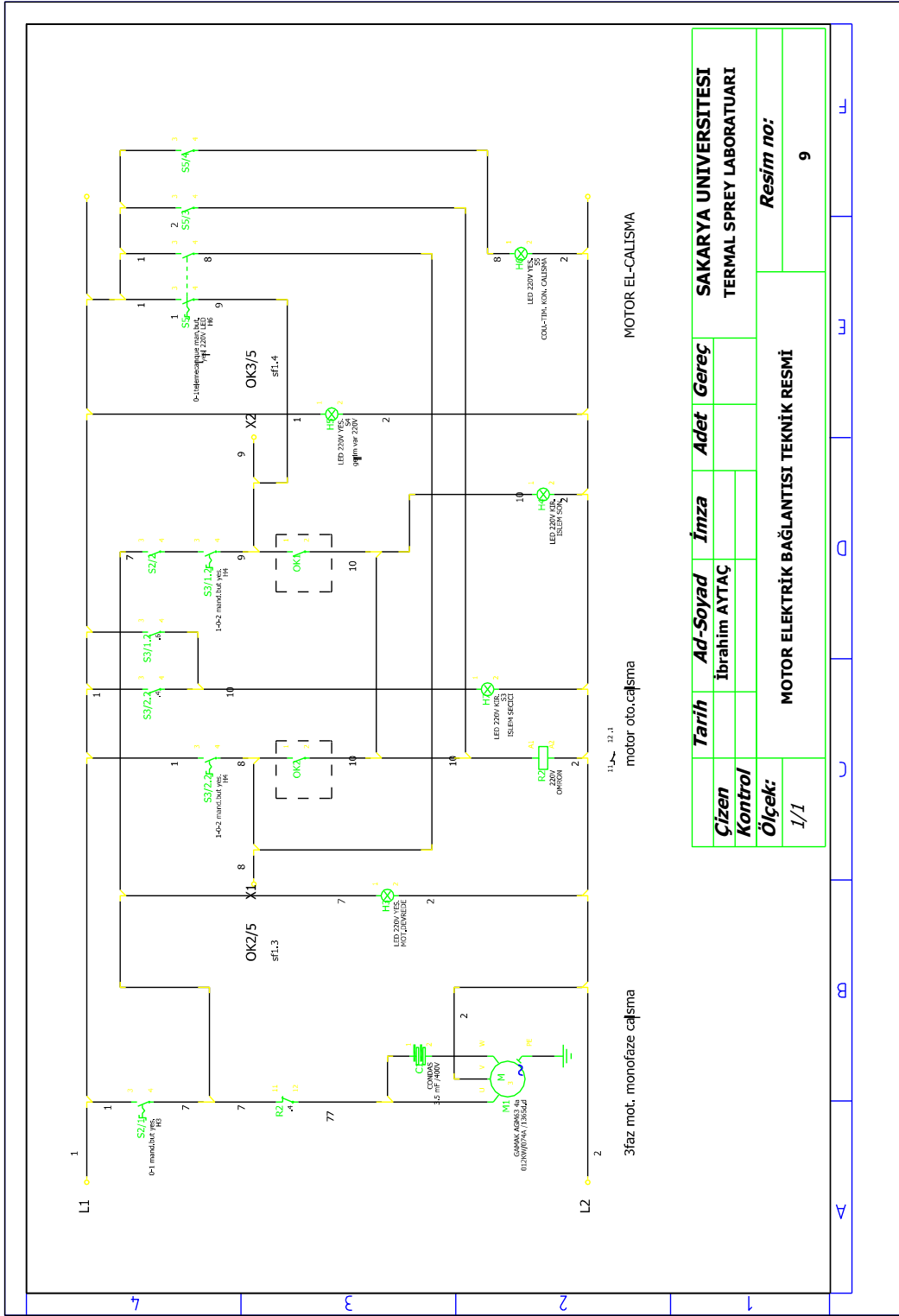


<p>TERMOSTAT</p> 	<p>PALS SAYACI</p> 	<p>CALISMA SAATI</p> 					
<p>REZISTANS DEVREDE</p> 	<p>ISLEM SONU</p> 	<p>REZISTANS</p> 	<p>MOTOR</p> 	<p>MOTOR EL-CALISMA</p> 	<p>ISLEM SECME</p> 	<p>REZISTANS</p> 	<p>RESET BESLEME 220 V</p> 
<p>1</p>	<p>2</p>	<p>3</p>	<p>4</p>	<p>5</p>	<p>6</p>	<p>7</p>	<p>8</p>
<p>9</p>	<p>10</p>	<p>11</p>	<p>12</p>				

Cizen Kontrol	Tarih	Ad-Soyad İbrahim AYTAÇ	İmza	Adet	Gereç	SAKARYA UNIVERSİTESİ TERMAL SPREY LABORATUARI
Ölçek: 1/1						Resim no: 7

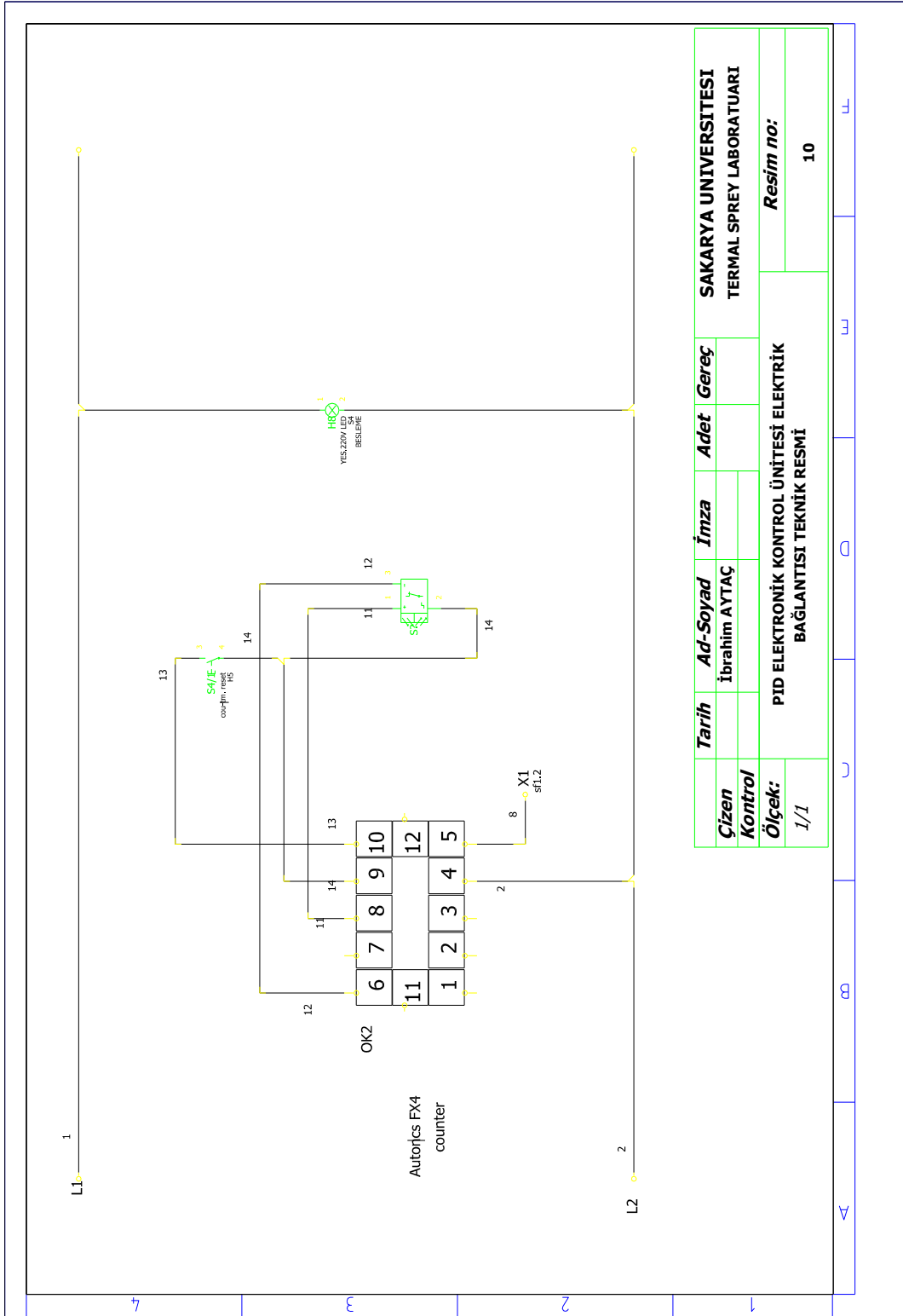
EK B: Elektronik aksam yerleşim teknik resimleri

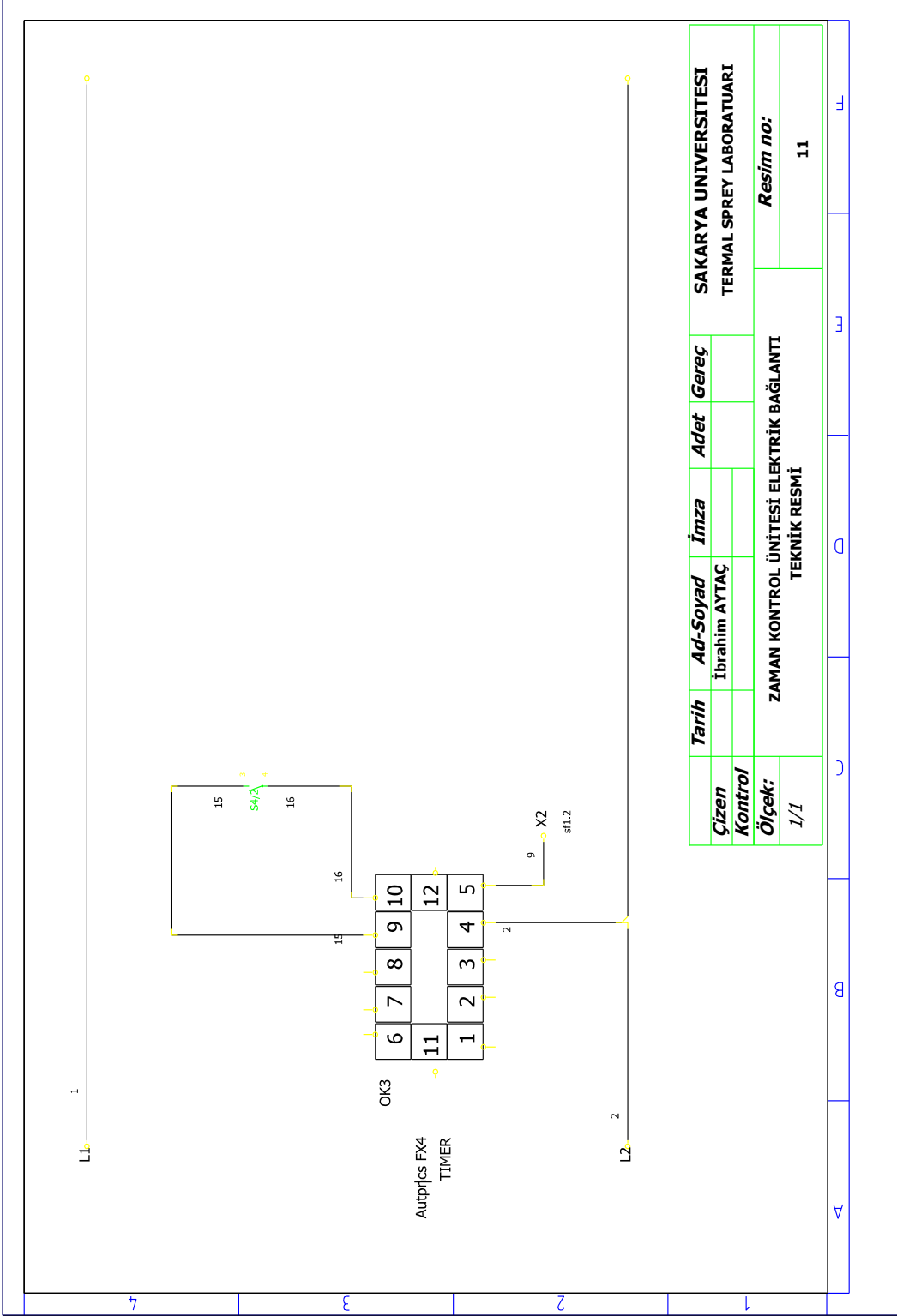




Çizen	Tarih	Ad-Soyad	İmza	Adet	Gereç	SAKARYA UNIVERSITESI
Kontrol		İbrahim AYTAÇ				TERMAL SPREY LABORATUARI
Ölçek:						Resim no:
1/1						9

MOTOR ELEKTRİK BAĞLANTISI TEKNİK RESMİ





Autonics canpar ayarlar

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

ON
OF

ZAMAN SAYACI
CANPAR AYARLARI

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

ON
OF

PALS SAYACI
CANPAR AYARLARI

Çizen	Tarih	Ad-Soyad	İmza	Adet	Gereç	SAKARYA UNIVERSİTESİ
Kontrol		İbrahim AYTAÇ				TERMAL SPREY LABORATUARI
Ölçek:						Resim no:
1/1						12

CANPAR AYARLARI TEKNİK RESMİ

ÖZGEÇMİŞ

İbrahim AYTAÇ, 05.08.1985'de Karabük'te doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Karabük'te tamamladı. 2003 yılında Karabük Cumhuriyet Lisesi'nden mezun oldu. 2003 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğini 2007 yılında bitirdi. 2008 - 2009 yılları arasında Aygünsan D.Ç. fabrikasında mühendis olarak çalıştı. 2009 - 2010 yılları arasında Kaptan D.Ç. fabrikasında mühendis olarak çalıştı. 2010 – 2012 yılları arasında Kayalar Bakır fabrikasında mühendis olarak çalıştı. 2011 yılında evlendi. 2012 - 2014 yılları arasında Eryap A.Ş. Hendek fabrikasında çalıştı. Şu anda Karabük AFAD Müdürlüğünde Enformasyon Memuru olarak görev yapmaktadır.