

**FARKLI KAPLAMALARIN
PULLUK UÇ DEMİRLERİNİN
AŞINMASINA ETKİSİ**

A.Tufan PALALI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2007
ANKARA**

A.Tufan Palalı tarafından hazırlanan FARKLI KAPLAMALARIN PULLUK UÇ DEMİRLERİNİN AŞINMASINA ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Muammer Nalbant
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

Üye : Prof. Dr. Muammer NALBANT

Üye : Prof. Dr. Süleyman TEKELİ

Üye : Prof. Dr. Recai GÜRHAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan OKUYUCU

Tarih : 31 / 05 / 2007

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

TEZ BİLDİRİMİ

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

A.Tufan PALALI

**FARKLI KAPLAMALARIN
PULLUK UÇ DEMİRLERİNİN
AŞINMASINA ETKİSİ
(Yüksek Lisan Tezi)**

A.Tufan Palalı

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2007**

ÖZET

Bu çalışmada; pulluklarda yaygın olarak kullanılan ERD-5630 (30 MnB5) çeliğinden imal edilmiş pulluk uç demirleri, aşınma dirençlerinin artırılması amacıyla; elektroliz metodu ile 20 µm kalınlığında sert krom, kimyasal işlemlerle 20 µm kalınlığında akımsız nikel ve fiziksel buhar biriktirme tekniği ile 4 µm kalınlığında titanyum nitrür ile kaplatılmıştır. Kaplama işleminden sonra mekanik özellikleri belirlenen uç demirlerinin toprak içerisinde aşınmaya karşı davranışlarını gözlemlemek için, “kumlu-killi-tınlı” toprak yapısına sahip aşındırma kanalında 5.8 km/h çekme hızında deneye tabi tutulmuştur. Deney süresince; kaplama kalınlıklarındaki aşınma takip edilmiştir. Deney sonunda; numuneler elektron mikroskobunda (SEM) ve atomik kuvvet mikroskobunda (AFM) taranmış, enerji dağılım spektrumlarına (EDS) bakılarak, metalografik analizleri yapılmıştır.

Pulluk uç demirlerinin toprak içerisinde “abrasiv aşınma” ile karşı karşıya kaldığı bu ortamda; yaklaşık olarak, titanyum nitrür kaplama 2846 m.’de, akımsız nikel kaplama 4125 m.’de, sert krom kaplama ise 6482 m.’de aşınmıştır.

1 µm kaplamanın aşınması için yaklaşık ortalama sürüm uzunluğu; titanyum nitrür kaplama için 736 m, akımsız nikel kaplama için 217 m, sert krom kaplama için 319 m bulunmuştur. Aşınmaya etkili faktörlerin kaplama kalınlığı, kaplamanın sürtünme katsayısı, yüzey pürüzlülüğü ve kaplamanın yapışma kuvveti olduğu söylenebilir.

Bilim Kodu : 708.1.092
Anahtar Kelimeler : Metal Kaplama, krom, nikel, titanyum nitrür, Aşınma, abrasiv aşınma, pulluk, uç demiri
Sayfa Adedi : 133
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Muammer Nalbant

**THE EFFECTS OF THE DIFFERENT TYPES OF COATINGS
ON THE WEAR OF PLOUGH SHARES
(M.Sc Thesis)**

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
April 2007**

ABSTRACT

In this study, the plough shares produced from the steel DIN EN 10 083 (30 MnB5) which is widely used for ploughs equipment, were coated with the 20 μm hard chromium by using the method of electrolysis, 20 μm electroless nickel by using the chemical treatments and 4 μm TiN by using the PVD method to be able to increase their wearing resistance. In order to observe the wearing behaviours of the plough shares whose mechanical features were obtained after the coating process, specimens were experimented in the wearing channel containing the sandy-clayey-loamy soil with the 5.8 km/h pulling speed. During the experiment, wearing of the coating thickness was observed. At the end of the experiment, Specimens were analyzed metallographically by scanning on Scanning Electron Microscope (SEM) and Atomic Force Microscope (AFM), examining their Energy Dispersive Spectrum (EDS).

In the situation which the plough shares were subjected to the abrasive wearing in the soil; approximately, 2846 m. for TiN coating, 4125 m for electroless nickel coating and 6482 m. for hard chromium coating wore.

It was found that the average plowing length for wearing of 1 μm coating was 736 m. for TiN, 217 m. for electroless nickel and 319 m. for hard chromium. It could be said that the effective factors of wearing can

be coating thickness, coefficient of friction, surface roughness and adhesion of coating.

Science Code	: 708.1.092
Key Words	: Metal Coating, chromium, nickel, TiN, Wear, Abrasive wear, Coating, Plough, Plough's shares
Page Number	: 133
Adviser	: Prof. Dr. Muammer Nalbant

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince, benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muammer Nalbant'a, çalışmamın teknik analizlerinin yapılmasına önemli katkıları olan; Kalıpcılık Ana Bilim Dalı Başkanı Doç. Dr. Zafer Tekiner'e ve Öğr. Görevlisi Dr. Hakan Gürün'e, Metal Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Süleyman Tekeli'ye, Araştırma Görevlisi Dr. Ahmet Gural'a, Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü Başkanı, Prof. Dr. Süleyman Özçelik'e ve Doç. Dr. Mehmet Çakmak'a ve Dr. Sülayman Çörekçi'ye teşekkür ederim. Ayrıca; gerçekleştirilen deney esnasındaki yardımlarından ötürü Tarım ve Köyşleri Bakanlığı Tarım Alet ve Makineleri Test Merkezi Müdürü Sayın Hamdi Taşbaş ve çalışma arkadaşlarına teşekkür ederim.

Çalışmamı tamamlayabilmem için beni teşvik eden Genel Müdürüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Miktat Çakır ve Genel Müdür Yardımcım Sayın Fahrettin Tan'a, çalışmamın her aşamasında yoğun iş programımıza rağmen bu çalışmayı tamamlamam hususunda gösterdiği sabır ve anlayıştan ayrıca verdiği teknik destekten ötürü müdürüm Sayın Serdar Köksal'a teşekkür ederim.

Manevi destekleri ile beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. TOPRAK İŞLEME	4
2.1. Toprak İşlemenin Bilimsel Temelleri	4
2.1.1. Fiziko-Mekanik bileşenler	4
2.1.2. Biyolojik olaylar	6
2.1.3. Kimyasal bileşenler	6
2.1.4. Toprak tavı	6
2.1.5. Toprak sürtünmesi	8
2.1.6. Toprak direnci	9
2.2. Toprak Grupları	9
3. PULLUK	12
3.1. Pulluğa İlişkin Tanımlar	12

	Sayfa
3.2. Pulluk Parçaları	14
3.2.1. Uç demiri	14
3.3. Pullukla Toprak İşlemenin Teorik Esasları	17
4. AŞINMA	21
4.1. Metalik Malzemelerde Aşınma Mekanizmaları	21
4.1.1. Aşınmanın tanımlanması	23
4.1.2. Tribolojik sistemler	23
4.1.3. Aşınma mekanizmaları	24
4.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler	28
4.2.1. Yükleme.....	28
4.2.2. Hareket	29
4.2.3. Sürtünme elemanı	29
4.2.4. Ara madde	29
4.2.5. Çevre	29
4.3. TOPRAK İŞLEYİCİ ORGANLARDA AŞINMA	30
4.3.1. Toprak işleyici organlarda aşınma mekanizması	30
4.3.2. Aşınma direncini etkileyen faktörler	31
5. AŞINMAYA DAYANIMINI ARTTIRICI İŞLEMLER	38
5.1. Yüzey Sertleştirme İşlemleri	38
5.1.1. Mekanik işlemle yüzey sertleştirme	49
5.1.2. Termal işlemle yüzey sertleştirme	39
5.1.3. Termokimyasal işlemle yüzey sertleştirme	40

	Sayfa
5.2. Yüzey Kaplamalar.....	41
5.2.1. Sert krom kaplama	45
5.2.2. Akımsız nikel kaplama	54
5.2.3. Titanyum nitrür kaplama	63
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	74
7. MATERYAL VE METOD	79
7.1 Materyal.....	79
7.1.1. Araştırmada kullanılan numuneler (uç demirleri)	79
7.1.2. Deney numunelerinin kaplanması	80
7.1.3. Deneyde kullanılan cihaz ve aletler	84
7.1.4. Aşındırma havuzu.....	87
7.2. Metot.....	90
7.2.1. Deney tertibi	91
7.2.2. Deneyin uygulanması	93
8. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	103
8.1. Deneysel Bulgular.....	103
8.1.1. Deney numunelerinin mekanik özelliklerinin ölçülmesi.....	103
8.1.2. Deney numuneleri yüzeylerinin mikro yapılarının incelenmesi	104
8.2. Tartışma	114
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	122
KAYNAKLAR	124

Sayfa

EKLER	129
EK-1 Sert krom kaplama uygunluk sertifikası.....	130
EK-2 Akımsız nikel kaplama uygunluk sertifikası	131
EK-1 TiN kaplama uygunluk sertifikası	132
ÖZGEÇMİŞ.....	133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Tane büyüklüğü dağılımına göre toprak sınıfları	10
Çizelge 1.2. Toprak İşleme Yönünden Toprak Grupları	11
Çizelge 5.1. Sert Krom kaplama tabakalarının çeşitli ortamlarda Korozyona dayanımı	47
Çizelge 5.2. Akımsız Nikel Kaplama tabakasının bileşimi.....	55
Çizelge 7.1. ERD 5630 Çeliği Kimyasal Bileşim Pota Analizi.....	79
Çizelge 7.2. Deney Tertibi Tablosu	91
Çizelge 7.3. Nem Ölçüm Sonuçları Takip Tablosu.....	98
Çizelge 8.1. Deney Numunelerinin Mekanik Özellikleri.....	104
Çizelge 8.2. Aşınma Deneyi Sonuçları.....	118

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Çeşitli uç demirleri	15
Şekil 3.2. Kamanın önünde toprak şekil değişikliği devreleri	17
Şekil 3.3. Toprak şekil değişikliğine, toprak durumunun etkisi	19
Şekil 8.1. Uç demiri ağırlık kaybı	119
Şekil 8.2. Bir mikron aşınma için kat edilen yol	120
Şekil 8.3. Kaplama kalınlığının aşınması	121

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 7.1. Seyyar nem ölçme cihazı	85
Resim 7.2. Seyyar nem ölçme cihazı	86
Resim 7.3. Ultrasonik kaplama kalınlığı ölçüm cihazı	86
Resim 7.4. Aşındırma havuzu	87
Resim 7.5. Aşındırma ve mukavemet deney standı	87
Resim 7.6. Aşındırma ve mukavemet deney standı	88
Resim 7.7. Toplayıcı – merdane düzeneği	89
Resim 7.8. Toplayıcı – merdane düzeneği	89
Resim 7.9. Deney standının planlanan deneye uygun hale getirilmesi	94
Resim 7.10. Deney standının planlanan deneye uygun hale getirilmesi	94
Resim 7.11. Pulluk Uç demirinin platforma bağlanması	95
Resim 7.12. Pulluk Uç demirinin platforma bağlanması	95
Resim 7.13. Pulluk Uç demirinin platforma bağlanması	96
Resim 7.14. Pulluk Uç demirinin platforma bağlanması	96
Resim 7.15. Pulluk Uç demirinin platforma bağlanması	96
Resim 7.16. Nem miktarı ölçülmek üzere hazırlanmış numune	98
Resim 7.17. Nem miktarı ölçülmek üzere hazırlanmış numune	99
Resim 7.18. Mobil nem ölçer cihazı ile nem ölçümü yapılırken	99
Resim 7.19. Nem tayini için toprak numunesi alınırken	99
Resim 7.20. Aşındırma deney standından sökülen uç demiri temizlenirken	100
Resim 7.21. Temizlenmiş uç demiri kurulanırken	101

Resim	Sayfa
Resim 7.22. Temizlenmiş, kurumaya bırakılmış uç demirleri	101
Resim 7.23. Temizlenmiş uç demirlerinin kaplama kalınlıkları ölçülürken.....	101
Resim 7.24. Temizlenmiş uç demirlerinin kaplama kalınlıkları ölçülürken.....	102
Resim 7.25. Temizlenmiş uç demirlerinin kaplama kalınlıklarının ölçüldüğü referans nokta	102
Resim 8.1. Sert krom kaplanmış deney numunesi yüzeyinde yapılan AFM analizi.....	104
Resim 8.2. TiN kaplanmış deney numunesi yüzeyinde yapılan AFM analizi	105
Resim 8.3. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinde yapılan AFM analizi.....	105
Resim 8.4. Sert krom kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	107
Resim 8.5. Sert krom kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	107
Resim 8.6. Titanyum nitrür kaplanmış deney numunesi yüzeyinden Alınan SEM görüntüsü.....	108
Resim 8.7. Titanyum nitrür kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	108
Resim 8.8. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	108
Resim 8.9. Akımsız nikel kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	109
Resim 8.10. Aşındırılmış şahit numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüsü.....	109
Resim 8.11. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	110

Resim	Sayfa
Resim 8.12. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinin 1 no'lu bölgesinde yapılan EDS analizi.....	110
Resim 8.13. Akımsız nikel kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinde yapılan EDS analizi	111
Resim 8.14. Sert krom kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü	111
Resim 8.15. Sert krom kaplanmış deney numunesi yüzeyinin 3 no'lu bölgesinde yapılan EDS analizi	112
Resim 8.16. Sert krom kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinde yapılan EDS analizi	112
Resim 8.17. TiN kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü.....	113
Resim 8.18. Titanyum nitrür kaplanmış deney numunesi yüzeyinin 3 no'lu bölgesinde yapılan EDS analizi.....	113
Resim 8.19. TiN kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinde yapılan EDS analizi	114

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
°	Derece
°C	Santigrat derece
Ag	Gümüş
Amp	Amper
Cl	Klor
CO₂	Karbondiyoksit
Cr	Krom
Ç	Çelik
d	Çap, mm
F	yük, Newton
Fe	Demir
H	Malzeme Sertliği
Ha	Abrasiv Sertliği
m	Metre
mm	Milimetre
mmhos/cm	Tuzluluk birimi
mohs	Sertlik birimi
Mo	Molibden
Mn	Mangan
Na	Sodyum
Ni	Nikel
O	Oksijen
P₂O₅	Fosfat
P	Basınç, N/mm ²

Simgeler**Açıklama****Si**

Silisyum

 μm

Mikron

V

Hız, m/sn

V

Vanadyum

Kısaltmalar**Açıklama****AFM**

Atomik Kuvvet Mikroskobu

CVD

Kimyasal Buhar Biriktirme

ERD

Erdemir Çelik Fabrikası A.Ş.

EDS

Enerji Dağılım Spektrumu

m

Metre

Ni

Nikel elementi

PVD

Fizisel Buhar Biriktirme

SEM

Taramalı Elektron Mikroskobu

TiN

Titanyum Nitrür Kaplama Malzemesi

1.GİRİŞ

Ülkemizde artan nüfusa bağlı olarak sürekli gelişme gösteren madencilik, ziraat, makine, otomotiv, inşaat ve bezeri birçok farklı endüstriyel alanda kullanılan alet ve makine sayılarında da doğal olarak artış olmaktadır. Endüstrinin çeşitli kollarında kullanılan bu alet ve makineler; hatalı operasyonel kullanım, hatalı ya da eksik bakım, yapıya uymayan hatalı tasarım, uygun olmayan çalıştırma (aşırı kullanım, tavsiye edilen şartların dışındaki kullanım v.b.) ve tribolojik etkiler (yıpranma, korozyon, aşınma) sonucu beklenen ömründen önce kullanılamaz hale gelmektedir. Bir alet ve makinenin optimum sürede kullanılmasından söz edebilmek için yukarıda bahsi geçen olumsuz unsurların en aza indirilerek alet ve makinenin ömrünü uzatacak tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Toprak işleme tarımsal faaliyetler içerisinde yer alan en önemli faaliyetlerden biridir. Toprak işleme kalitesi, ürünün verimini doğrudan etkiler. Toprak işleme aletlerinin verimli çalışması ile ilgili karşılaşılan en büyük problem işleyici organlarının kısa sürede aşınarak işlevlerini yapamamalarıdır. İşleyici organların fonksiyonlarını tam olarak yerlerine getirebilmeleri, işleyici organ diğer bir ifade ile uç demirleri keskinlikleri ile doğru orantılıdır.

Aşınarak keskinliğini kaybetmiş uç demiri işlevini tam olarak yapamamasının yanında; hem çeki gücü ihtiyacı artmakta dolayısıyla enerji tüketiminin artmasına sebep olmakta hem de toprak içerisinde ilerlerken toprağı kesmeyip ötelemesi ile toprak içerisinde “pulluk tabanı” olarak ifade edilen, toprak geçirgenliğini yok eden istenmeyen bir tabaka oluşturmaktadır. Aşındırıcı etkisi oldukça fazla olan toprağı uç demirleri vasıtası ile temas eden pulluklar mekanik etkileşimler sonucu aşınma, kimyasal reaksiyonlar sonucu korozyon türü hasarlarla kullanılamaz duruma gelerek, ülke ekonomilerinde büyük kayıplara yol açmaktadırlar.

2003 yılı Devlet İstatistik Enstitüsü, Tarım İstatistikleri verilerine göre ülkemizde; 930 943 adet kulaklı pulluk ve 64 076 adet diskli pulluk olmak üzere kullanılmakta olan pulluk sayısı toplam 995 019 adettir. Aşınmanın büyüklüğü aşağıdaki gibi hesaplanabilir; Ortalama ağırlığı 5 012 gr. gelen bir grup uç demirinin aşınarak kullanılamaz sınırına geldiği andaki ortalama ağırlıkları 4 114 gr. olarak hesaplanmıştır. Aradaki ortalama kaybın 898 gr. olduğu hesaplanırsa, sadece toprak hazırlığı esnasında kullanılan bir pulluk uç demirinde aşınmadan dolayı meydana gelen toplam kaybın yılda 894 ton civarlarında olduğu hesaplanır. Kaldı ki; pulluk uç demirlerinin çiftçilerimizin ekonomik güçlerinin az olması sebebiyle kullanılabilir alt sınırının çok çok altına kadar değiştirmeden kullanmakta oldukları bir gerçektir. Ayrıca; pulluk grubun dışında işleyici organları vasıtası ile toprakla temas ederek kullanılan birçok tarım aletinin de kullanılıyor olduğunu da göz önüne alırsak toplam aşınma boyutundaki büyüklüğün ne kadar fazla olduğu anlaşılabilir.

Aşınmanın önlenmesi ya da en aza indirilmesi ekonomik faydasının yanı sıra sınırlı doğal kaynakların da optimum bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Endüstriyel uygulamalarda kullanılan malzemelerin korozyon, sürtünme ve aşınma gibi tribolojik etkiler neticesinde azalan kullanım ömürlerinin arttırılması söz konusu malzemelerin aşınma bölgelerinin iyileştirilmesi ile mümkündür. Aşınmadan kaynaklanan bu kayıpları bertaraf etmek, maliyeti azaltmak, kullanım ömrünü arttırmak için; ısıl işlemlerle kullanılan malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi, farklı malzemelerle kaplanması ve aşınmaya dayanıklı yeni malzemelerin geliştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Pulluk uç demiri imalatı yapan firmaların hemen hemen hepsi imalatlarında kullanacakları çeliğe ısıl işlem uygulayarak ideal mukavemet kazandırmaya çalışmaktadırlar.

Bu araştırmada; pratiğe intikal edebilecek değişimleri başlatmaya katkıda bulunmak amacıyla endüstride sıkça kullanılan farklı kaplamaların, pulluk uç demirlerine uygulanmasının aşınmaya olan etkileri incelenmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde; aşınmanın meydana geldiği toprak şartlarının aşınmaya olan etkileri, aşınmanın meydana geldiği alet olan pulluğun tanıtılması,

aşınma mekanizmalarının incelenmesi, uç demirinde meydana gelen aşınma mekanizmalarının incelenmesi, aşınmayı önleyici metotlar, yaygın olarak kullanılan yüzey kaplama metotları ana başlıkları altında incelenen literatür bilgileri yer almaktadır. İkinci bölümde ise; literatür bilgileri ışığında gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Bu amaçla; ERD 5630 çeliğinden imal edilmiş uç demirleri, endüstriyel imalatta çelik üzerine yaygın olarak uygulanabilen titanyum nitrür, sert krom ve akımsız nikel kaplama malzemeleri ile kaplanmıştır. Elde edilen deney numuneleri, uç demirleri aşınma deneyi kanalında aşınmaya tabi tutulmuş ve sonuçlar periyodik olarak izlenerek kaydedilmiştir.

2. TOPRAK İŞLEME

Tarımsal üretim için toprağın görevi, insanların özel isteklerine göre seçilmiş ve dikilmiş bitkileri yetiştirmektir. Bu da üretimin artırılması için diğer önlemlerin yanı sıra uygun bir şekilde toprağı işlemekle başlar. Günümüz modern tarımında toprak işlemenin bilerek yapılması, verim artışını etkileyen etkenlerin başında gelir [1].

Tarım tekniğı, toprak ve bitki cinsine göre çok çeşitli aletlerin kullanılması gerektiğini ortaya koymuştur. Pulluk, tırmık ve kùltivatör en çok kullanılan aletlerin başında gelir. En basit şekliyle toprak işlemenin amacı, mekanik etkilerle, kùltür bitkilerinin isteklerine uygun koşulların yaratılması ve bu durumun olabildiğince uzun süre korunması şeklinde tanımlanabilir. Bu amaca, kullanılan alet ve makinenin tipine bağılı olarak, toprağı parçalamak, yırtmak, kabartmak vb. gibi etkilerle ulaşılır [1].

Tarla tarımı tekniğı içerisinde toprak işlemenin önemi, özellikle toprağın verimliliğı kavramı içerisinde hızla artmıştır. Öte yandan "ıslah edilmiş bitkiler" toprağın daha iyi işlenmiş olmasını gerektirmiş ve toprak işlemenin önemini daha da artırmıştır. Tarla tarımının gelişmiş olduğı ÷lkelerde toprak işleme sadece verime etkili etmenlerden biri olarak gör÷lmemekte, diğerk teknik önlemlerin etki derecesini artıran, sonuçlarının olumlu olmasını sağılayan bir işlem olarak ele alınmaktadır [1].

2.1. Toprak İşlemenin Bilimsel Temelleri

2.1.1. Fiziko - mekanik bileşenler

Toprak işleme ile toprağın fiziksel özelliklerine etki edilir ve dolayısıyla toprağın strüktürü değıştirilir. Toprak strüktürü denilince, toprak maddelerinin şekli, yapısı ve durumu anlaşılır; diğerk bir deyişle toprağın dokusu anlaşılır. Bu tanım, sürekli değışikliğe uğrayan bir durumla karşı karşıya olduğumuzu

göstermektedir. Belirli bir toprak hacminde katı toprak maddesi ile boşluklar strüktür için bir bilgi verebilir. Boşlukların miktarı bir toprağın sıkışık ya da gevşek olduğunu gösterir. Toprakta suyun ve havanın iyi bir şekilde dağılıp dağılmadığı boşlukların büyüklük oranına bağlıdır. Toprak işlemenin mekanik etkisiyle oluşturulan bu oranın en uygun olduğu zamanların sınırları oldukça dardır. Su tutma yönünden yalnız küçük olan kapiler boşluklar önemlidir, büyük boşluklar ise özellikle toprağın havalanmasına yardım ederler ve zaman zaman suyun akıtılmasında rol oynarlar [1].

Toprak maddesi ile toprakta hava tutan kapiler olmayan boşluklarla su tutan kapiler boşlukların oranı, topraktaki yaşam olaylarının harmonik bir şekilde oluşmasına etki eder. Belirli bir toprak hacmi içinde % 50 kadar toprak maddesi, % 25 su ve % 25 hava bulunur. Bu oranlar yağışların ve toprak işlemenin etkisiyle sürekli değişir. Toprak kaba ve kesekli olduğu zaman büyük boşluklar olduğu için bitkiler ve toprak canlıları su eksikliği duyar; sıkışık bir toprakta ise büyük boşluklar olmadığından havalanma eksikliği vardır. İşlenen toprak katında toprak maddeleri miktarca değişmediğinden, bu katın kabarması yalnız boşlukların miktarının artmasıyla olur. Hafif bir kabartmada küçük olan su tutan porlar daha çok; enerjik bir kabartmada ise tersine hava tutan porlar daha çok artmaktadır. Kabarmış bir toprak yağmur, sıcaklık değişimi ve öz ağırlığı ile zamanla oturur. Böylece hava boşlukları yavaş yavaş azalır ve kapiler boşluklar çoğalır. Bu olay, toprağın doğal durumuna uygun bir dengeye ulaşıncaya kadar sürer. Oturmuş bir toprakta hava kapasitesi uygun bir durumda olabilir. Su ile doymuş bir toprakta bile hava geçirgenliği bulunur. Hava kapasitesi % 8'in altına düştüğünde toprakta yaşam zorlaşır. Toprak boşluklarına bağlı olarak değişen, toprakların en önemli fiziksel özellikleri, su tutma kapasitesi, su geçirgenliği, kapilerite, suyu buharlaştırma niteliği ve ısınma niteliği sayılabilir [1].

2.1.2. Biyolojik olaylar

Toprakta uygun strüktüre ulaşılmada fiziksel durumdan başka biyolojik olayların da etkisi vardır. Steril bir toprak hiç bir zaman uygun bir strüktüre getirilememektedir. Topraktaki biyolojik yaşamın, önemi yalnız uygun bir strüktürün oluşması bakımından değil, aynı zamanda gıda maddelerinin oluşumu ve gıda maddeleri için de vardır. Örneğin azot, bakteriler tarafından asimile edilip toprakta tutulmuştur. İşte bu ancak yaz aylarında dikkatli ve amaca uygun bir toprak işleme ile yapılabilir. Görülüyor ki toprak işleme, toprak biyolojisi ve furda strüktür arasında yakın bir ilgi vardır. Toprak işlemede bir hataya düşmemek için bu ilgi göz önünden uzak tutulmamalıdır [1].

2.1.3 Kimyasal bileşenler

Topraktaki kimyasal olayların, mekanik toprak işleme dolayısıyla onun fiziksel ve biyolojik durumu ile yakın ilgisi vardır. Kimyasal olaylar toprakların işlenme yeteneğine etki ederler. Asit bir toprağı furda bünye durumuna getirmek çoğu kez olanaksızdır. Burada arzu edilen mikroorganizma işlevi olmadığından, strüktürün oluşmasında etkili olan humus yokluğu nedeniyle kabarık strüktür çabucak kaybolur. Toprak yeteri kadar havalandırılmaz, yüzeydeki kabuk ve kesekler kırılmazsa, toprak havasındaki CO₂ oranı yükselir. Bu durum yararlı mikroflora ve mikrofauna işlevlerinin durmasına neden olur; anaerob olanlar başa geçer ve istenilmeyen redüksiyon olayları oluşur. Toprak içerisinde oluşan CO₂ in özgül ağırlığı havadan daha fazla olduğundan, dışarı atılarak yerine O₂ alınması, ancak toprağın yoğun bir şekilde işlenmesiyle sağlanır. [1].

2.1.4. Toprak tava

Topraklar plastik olan ve olmayan toprak olmak üzere ikiye ayrılabilir; “plastik” deyiimi toprağın belli bir nem miktarına kadar şekillendirilebildiği ve

kuruduktan sonrada bu halini muhafaza ettiğini belirtmektedir. Plastik toprak su ile doyduktan sonra kurumaya bırakılırsa, sırasıyla; yapışkan, plastik, ufalanabilir (tav) ve katı haller oluşur [2].

Toprağı oluşturan, maddelerin yan yana ve aralarında fazla uzaklık olmadan yerleşmesine tekssel strüktür denilmektedir. Teksel parçalar ne denli ince ve düzenli olursa toprak o denli sıkışık olur. Bu nedenle tekssel strüktür ile sıkışık strüktür aynı anlamda kullanılır. Doğal olarak tekssel strüktürlü, aynı zamanda organik maddelerden yoksun topraklar, işlenerek uygun bir strüktüre ulaştırılamaz. Ulaştırılrsa bile çok kısa zamanda eski durumuna dönüşür. Toprakta bulunan organik materyal maddeler, toprak parçacıklarını büyüyen bloklar halinde birbirine yapıştırır. Burada, bakteriler dolayısıyla humus, fosfatlar ve kireç bu yapışmayı kolaylaştırır. Gerçek furda strüktür içerisinde, toprak parçacıklarından başka kolloidal maddeler, mikroorganizmalar ile onların madde değiştirme ürünleri bulunmalıdır. Aksi halde bu strüktür dayanıklı olmayıp bazı dış etkilerle kolaylıkla bozulup tekrar tekssel strüktüre dönüşür. Yalnız biyolojik koşullar altında oluşan furda strüktür, çeşitli büyüklükte ve şekilde boşlukların bir karışımı olabilir. Ancak böyle bir toprak bünyesi, büyümekte olan bitkilere düzenli bir şekilde su sağlar, nefes almakta olan bitki kökleri ile birlikte bakterilere oksijen sağladığı gibi atmosferle toprak havasının değişimini de kolaylaştırır [1].

Çeşitli büyüklüklerde agregatların oluşumuyla ortaya çıkan furda strüktürün sınır durumuna tav denilmektedir. Diğer bir deyişle, tav, tam olarak oluşumunu tamamlamış furda strüktürde olan toprak durumudur. Toprak işlemenin amacı da toprakta tav durumunu yaratmaktır. Dayanıklı bir furda bünyenin oluşturulması, toprağın solunumunun en yüksek düzeyde tutulması yani CO_2 ve çeşitli fermentlerin meydana gelmesi tavi belirtir. Bitki gelişmesinde önemli bir yeri olan furda strüktür, çeşitli doğa olaylarıyla bozulabilir; bu durum toprak verimliliğini olumsuz olarak etkiler. Furda strüktürün bozulmasında en önemli doğa olayı yağışlardır. Üst toprak tabakasında bulunan furda bünye yağmur damlacıklarının çarpmasıyla

mekanik olarak bozulur. Bu durum suyun alt katlara iniş sırasında da devam eder. Suyun hareketiyle ufak toprak parçacıkları hem yatay olarak toprak yüzeyinde, hem de düşey olarak toprak altına doğru toprak içerisinde taşınır. Bu yatay ve düşey erozyon olarak isimlendirilir, yüzyıllar boyu süregelen bu durum, furdada bünyenin kaybolmasına ve teksel strüktür oluşumuna neden olur. Toprak strüktürüne etki eden faktörlerden birisi de toprağa verilen ticaret gübreleri içerisinde bulunan Na ve Cl iyonlarıdır. Bu iyonlar, Ca, P_2O_5 , humus ve kil gibi bağlayıcıların etkilerini azaltır. Toprak strüktürünü bozan başka bir etken de, insanın kendisidir. İnsan ve hayvanların ayak izleri ve tarım makinelerinin tekerlek izleri ile toprağın sürekli çiğnenmesi furdada strüktür oluşumunu engeller. Bazen istenilmeyen bu yan etkiler, toprak tava gelmekteyken her türlü hareket içerisinde bulunan biyolojik gelişmeyi durdurur [1].

2.1.5. Toprak sürtünmesi

Toprak işlemenin doğal sonucu olarak toprak hareketiyle, toprak parçacıklarının kendi aralarında, toprak parçacıkları ile aletin çalışma yüzeyi arasında bir sürtünme ortaya çıkar. Toprak parçacıkları arasındaki sürtünmeye iç sürtünme, toprak parçacıkları ile alet yüzeyi arasındaki sürtünmeye de dış sürtünme denilmektedir. Dış sürtünme toprağın, işleyici organ yüzeyinde kayması ya da yüzeye yapışması şeklinde olduğundan kayma ve yapışma sürtünmesi olarak iki şekilde ortaya çıkar [1].

İç Sürtünme

Parçalanarak, örneğin bir pullukla işleme anında, akışkan duruma getirilmiş olan bir toprak düz bir zemine döküldüğünde bir koni oluşturur. Bu koninin kenarının yatayla yaptığı açıya doğal yığılma açısı denir. Doğal yığılma açısının tanjantı toprakların iç sürtünme değerini vermektedir: Kohezyon diye adlandırılan iç sürtünme katsayısı, toprak nemine, toprağın strüktürüne ve toprağın tekstürüne bağlı olarak değişir [1].

Dış Sürtünme

Adezyon diye isimlendirilen dış sürtünme alet ile toprak arasındaki sürtünmedir. Dış sürtünme değeri sabit olmayıp sürtünen yüzeylerin cinsine, yüzey özelliklerine, yüzeyler arasındaki basınca ve sürtünme hızına bağlı olarak değişir [1].

2.1.6 Toprak direnci

Toprak işleme sırasında ortaya çıkan direnç sabit değildir. Toprağın fiziko-mekanik özelliklerine bağlı olarak değiştiği gibi, kullanılan toprak işleme aletinin yapısına ve kullanılma şekline de bağlı olarak değişir. Toplam çeki direncini oluşturan teksel dirençler ve bunların büyüklüklerine etkili olan faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Toprak cinsi,
2. Toprak Özgül ağırlığı,
3. Toprak nemi,
4. Toprak sürtünmesi,
5. Çizi derinliği ve çizi genişliği,
6. Toprak işleme aletinin çalışma hızı,
7. Keskin kenarların keskinlik derecesi,
8. Toprak işleme aletinin yapısal özelliği,
9. Çeki aracı ile bağlantı durumu,
10. Toprak işleme aletinin ayar durumu.

2.2. Toprak Grupları

Tarla toprağının teknolojik özelliklerini saptamak oldukça zordur. Topraktaki bağlama kuvvetleri toprak strüktürünün makro yapısına etki ederler ve geniş sınırlar arasında kaymalar gösterirler. Toprağın özelliklerini işlenmiş ve işlenmemiş durumda tanımak zorunluluğu vardır. Her işlemeden önce ve

sonra porozite, su ve hava tutma yeteneği, kapilarite durumu, toprak işleme aletlerinin uygun verim için ne gibi etki yaptığı henüz kesin olarak açıklanamamıştır. Toprak teknologları yaklaşık 3000 tarla toprağı çeşidi tanımlamışlardır [1].

Toprak mekaniğinde toprağı oluşturan mineral yapı maddelerinin oranlarının belirlenmesinde kullanılan tekstüre göre, toprakların belli sınıflar altında toplanması olanağı ortaya çıkmaktadır. Tane büyüklüğü Dağılımına göre toprak sınıfları, Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Tane büyüklüğü dağılımına göre toprak sınıfları

Tane Büyüklüğü	Toprak Sınıfı
2-0.2 mm	Kaba Kum
0.2-0.02 mm	İnce Kum
0.02-0.002 mm	Mil
0.002’den küçük	Kil

Değişik fiziksel ve kimyasal özellikte bulunan çeşitli büyüklükteki mineral yapı maddelerinin oluşturduğu topraklar, hakim dane büyüklüğüne göre verim ve toprak işleme yönünden farklı değerdendirler. Örneğin, kil oranı yüksek olan topraklar, nem oranı yüksek olduğu durumlarda işlendiğinde, toprak işleme aletinin işleyici organlarına yapışır, parçalanması güç olur. Nem oranı az okluğu durumlarda ise, işleme sonucu tarla yüzeyi büyük keseklerle örtölü kalır. Toprağın bileşimindeki küçük mineral parça oranı arttıkça, toprak işleme aletine gösterilen direnç de artar. Bu topraklar nemi kolaylıkla alırlar, buna karşılık fazla nemi bünyelerinden uzaklaştırmak uzun zamanı gerektirir. Isınmalarının çok yavaş olması yanı sıra, bitki artıklarının ayrışarak humusa dönüşmesi uzun sürede gerçekleşir [1].

Toprakların fiziko-mekanik özellikleri göz önüne alındığında, özellikle toprak işleme tekniği yönünden önem taşıyan beş grup altında toplanması olanaklıdır. Bu topraklara ilişkin bazı özellikler, Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Toprak işleme yönünden toprak grupları

Toprak Grubu	Özgül Ağırlık (kp/dm^3)	İç Sürtünme Katsayısı	Dış Sürtünme Katsayısı	Doğal Yığılma Açısı (°)	Özgül Toprak Direnci (kg/dm^2)
Hafif Topraklar	1.80	0.70	0.364	35	20-30
Hafif-Orta Ağır Topraklar	1.55	0.78	0.425	38	25-35
Orta Ağır Topraklar	1.68	0.90	0.466	42	30-60
Orta Ağır-Ağır Topraklar	1.80	1.05	0.520	46	40-80
Ağır Topraklar	2.10	1.12	0.577	50	45-115

Mineral yapı maddelerinden kil oranı arttıkça ağır topraklar diye isimlendirilen topraklar, kum oranının yükselmesiyle hafif topraklar diye isimlendirilir. Hafif topraklar toprak işleme aletleriyle kolayca işlenebilirler ve gösterdikleri direnç de yüksek olmaz. İyi bir toprak bileşimi için kesin sınırlar vermek imkânsızdır. Fakat bünyesinde % 10–40 oranında kil bulunduran topraklar, toprak işleme ve verim yönünden en iyi topraklar olarak kabul edilmektedir. Uluslararası sisteme göre killi kumlu toprak olarak adlandırılan bu topraklar, kolaylıkla parçalanabilir, su alma ve su tutma kapasiteleri yüksektir, kısa zamanda ısınırlar ve besin maddelerince genellikle zengin olurlar.

3. PULLUK

Pulluk, bütün tarım aletlerinin en eskilerinden birisidir ve genellikle en önemli toprak işleme aleti olarak kabul edilir [2].

Pulluklar; çeşitli doğa şartları ve uygulanan tarım tekniği nedeniyle oturmuş, sıkışmış olan toprağı; kesip, yükseltip, çevirerek alt üst eden, anızı, yabancı otları ve serpilmiş gübreyi bitkinin faydalanabileceği seviyeye gömen aletlerdir [3].

Toprak işleme tekniği içerisinde kulaklı pulluklar temel toprak işleme aletini oluşturmaktadır. Yüzyıllardır en ilkel sabanlardan günümüze kadar yapılan geliştirme çabalarının çoğu günümüz pulluğuna yönelik olmuştur. Bunun sonucunda da çok çeşitli pulluklar ortaya çıkmıştır. Tüm pullukları kapsayacak bir sınıflandırmanın yapılması zor olduğundan çeşitli sınıflandırma yöntemleri ortaya konulmuştur. Bazı ülkelerde bu sınıflandırma standart duruma bile getirilmeye çalışılmıştır. Aşağıdaki sınıflandırma pullukların belli gruplar halinde toplanmasına yardımcı olacak niteliktedir.

Pulluklar işleyici gövdelerinin şekillerine ve toprağı işleme tarzlarına göre dört gruba ayrılmaktadır [3].

1. Kulaklı Pulluklar
2. Döner Kulaklı Pulluklar
3. Diskli Pulluklar
4. Dipkazanlar

3.1. Pulluğa İlişkin Tanımlar

Kulaklı pullukların incelenmesi sırasında özellikle pulluk gövdesiyle ilgili doğru, düzlem, yüzey vb. terimler sık sık kullanılacaktır. Bu terimler aşağıda belirtilmiştir;

1. Yn Doğrusu: Pulluk uç demiri burun noktası ile taban demirinin ke noktasından geçen doğrudur. Bu doğru aynı zamanda yatay ve düşey yn düzlemlerinin ara kesitidir.
2. Yatay Yn Düzlemi: Uç demiri burun ve kanat noktaları ile taban demiri ke noktasından geçen düzlemdir. Bu düzlem aynı zamanda pulluğun çizi tabanını oluşturur.
3. Düşey Yn Düzlemi; Yn doğrusundan geçen yatay yn düzlemine dik olan düzlemdir. Bu düzlem yaklaşık olarak çizi duvarını oluşturur.
4. Kesme Genişliği: Uç demiri kanat noktası ile düşey yn düzlemi arasında kalan uzaklıktır.
5. Çizi Genişliği: Pulluk gövdesinin toprakta çalışması sırasında kestiği toprak şeridinin genişliğidir. Bu, iş genişliğinin gerçek değeridir.
6. Çizi Derinliği: Pulluk gövdesinin toprakta çalışması sırasında toprak üst yüzeyi ile çizi tabanı arasındaki yüksekliktir.
7. İş Derinliği: Pulluk gövdesinin çalışabileceği en uygun çizi derinliğidir. İş derinliği karakteristik bir ölçüdür ve pulluk gövdesini işaretlemeye kullanılır.
8. Çizi Kesiti: Kenarları çizi genişliği ve çizi derinliğinden oluşan dikdörtgen kesittir.
9. İş Kesiti: Kenarları pulluk gövdesinin iş genişliği ve iş derinliğinden oluşan bir kesittir.

3.2. Pulluk Parçaları

Taşıyıcı gruba, pulluğun parçalarını birbirine bağlayan, pulluk gövdelerinin taşınmasına yardımcı olanlar ile bazı durumlarda ayar düzenleri girer. Bu parçalara örnek payanda, ok ve çatılar, tekerleklerdir. Bağlantı grubunu ise, pulluğun traktörle bağlantısını sağlayan parçalar ile bunların ayar düzenleri oluşturur. Bu gruba çekilir traktör pulluklardaki çeki lamaları, yanaklar ve asma pulluklarda asma noktaları girer [1].

3.2.1. Uç demiri

Kulaklı pullukların en önemli parçalarından biri olan uç demiri kulakla birlikte pulluk etken yüzeyini oluşturur. Toprak şeridini yatay bir kesişle sürülmemiş tarla toprağından ayırıp yatay ve düşey yönde hareket ettirerek, kendisine yanaşık duran kulağın üzerine gönderir. Toprağına yapılacak temel etki kulakta ortaya çıkmakla birlikte bu etkinin başlangıcı uç demiri üzerindedir. Uygulamada çok farklı yapıda kulaklı pullukların kullanılması, uç demirlerinin de çok çeşitli yapılmasına neden olmuştur. Uç demirinin ön ucu arka ucuna göre daha çok aşındığından uç demirleri iki parçalı olarak da imal edilebilirler [2].

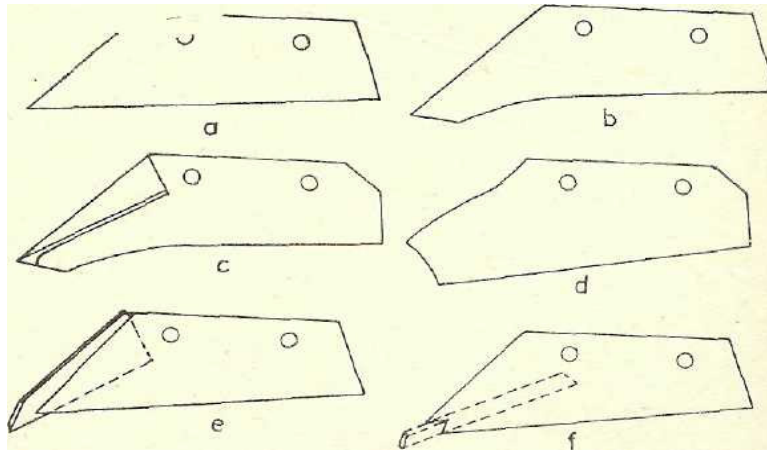
Uç demiri imalatında kullanılan malzemeler

İş organı yapımında kullanılan malzemenin kolay temin edilebilir ve kolay şekillendirilebilir cinsten olması gereklidir. Bu tür malzemelerin sertleşebilirlik özelliği yanında özellikle sertleşmeden sonra tokluk özelliğinin de iyi olması gerekir [5].

Uygulamada; Kil ve killi balçıklı yapışkan topraklara kolaylıkla dalabilen, sert ve pürüzsüz bir yüzey sağladığı için içi yumuşak çelik çok kullanılır [2].

Pulluk uç demirleri ve kulakların yapıldığı çelikler düşük karbonlu çelikler ile yüksek karbonlu çeliklerin özelliklerine sahiptir. Bu çelik; yüzeyde sertlik, kırılganlık; iç kısımda ise yumuşaklığı temin eder [4].

Sert yüzeyler için yaklaşık % 1 karbon oranlı çelikler kullanılmakla beraber, pulluk uç demirlerinde kullanılan çeliklerdeki karbon oranı %1'in altındadır [4].



Şekil 3.1 Çeşitli uç demirleri

Uç Demiri Ayarı

Düşey yön düzlemine göre uç demirinin ayarı, toprak şeridinin belirli derecede yan tarafa itilmesine ve pulluk kulağının parçalama yeteneğine bağlıdır. Bunlardan başka pulluğun dengeli çalışması ve ilerleme hızının artırılması da bu ayara bağlıdır. Sürme sırasında toprak şeridinin kulak kanadına yapmış olduğu basınç Q yan kuvvetiyle dengelenir. Kulak ne kadar uzun olursa kulak kanadı tarafından payandanın dikey eksenine etkiyen moment o oranda büyüyecektir [1].

Ayrıca; pulluklarda keskin kenarın çizi duvarıyla yaptığı açı için aşağıdaki değerler önerilebilir:

Dik kulaklarda	45° - 50°
Orta dik kulaklarda	35° - 45°
Bükük kulaklarda	30° - 38°

Toprakla etken yüzey arasındaki sürtünme açısından dolayı 45°'nin üzerindeki açı değerlerinde toprak şeridinin kayması zorlaşacaktır. Böyle bir açı toprak şeridinin etken yüzey üzerinde kaymasını engeller ve toprakta yığılma ortaya çıkar. Bu durum pulluğun çeki direncini de artıracaktır. Bu nedenle pulluklarda toprakla etken yüzey arasındaki açı 45°'yi geçmemelidir. Uç demiri keskin kenarının çizi duvarı ile yaptığı bu açının en küçük değeri de 35°'dir. Bu değerden küçük açılarda pulluk etken yüzeyi çok yatık ve uzun bir yapı kazanır. Bu durum malzeme tüketimini artırdığı gibi, uç demiri burnunun dayanıklı bir yapı kazanmasını engeller. İnce ve uzun olan uç demiri burnu çabuk aşınır ve kolaylıkla kırılabilir. Uç demiri keskin kenar açısının belirtilen sınırlar içerisinde seçilmesi, pulluğun kullanılma amacıyla doğrudan ilgilidir [1].

Uç demiri keskin kenar uzunluğu, iş genişliğine ve keskin kenarın çizi duvarı ile yapmış olduğu açığa göre saptanır. Uç demiri üzerinde başlayan toprak hareketinde, uç demiri üst yüzeyinin yatay yön düzlemiyle yaptığı açı önemli bir etkindir. Pulluk gövdesinin parçalama yeteneği bu açıyla ilgilidir. Bu açı ne kadar büyük olursa, toprak şeridi o kadar fazla parçalanır; buna karşın toprak direnci de artar. Bu iki etken yani toprak parçalanması ve toprak direnci bu açının seçiminde önemli rol oynarlar [1].

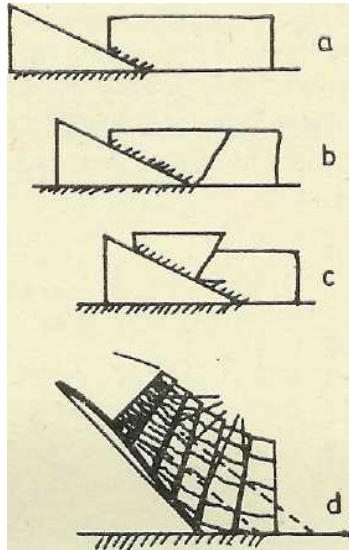
Ülkemizde uç demirleri çoğunlukla Erdemir 5630 çeliğinden yapılır ve payandaya üç adet tırnaklı gömme başlı cıvata ile bağlanır. Cıvata başları ile uç demiri yüzeyi arasında bir yükseklik farkı bulunmamalıdır. Uç demiri yüzeyi düzgün olmalı, yüzeyde çatlak katmer ve pürüzler bulunmamalıdır. Uç demirinin yüzeyi ince zımpara taşı ile parlatılır.

3.3. Pullukla Toprak İşlemenin Teorik Esasları

Kulaklı bir pulluk gövdesi etken yüzeyinin etkisi altında oluşan toprak şekil değişikliği incelendiğinde, toprağın mekanik olarak işlenmesinin çok karmaşık bir olaylar dizisinden oluştuğu görülür. Bu olaylar pulluk gövdesinin ileriye doğru hareketi sırasında birbirinden kesin olarak ayrılmayan devrelerde ardı ardına ortaya çıkar [1].

Birinci kamanın eğim açısı, "kaldırma açısı" olarak adlandırılır ve etken yüzeyi toprağı yukarı kaldıracak şekildedir. İkinci kamanın eğim açısı ise "devirme açısı" olarak adlandırılır ve etken yüzeyi toprağı yana devirecek yapıdadır. Sonuncu kamanın eğim açısı "kesme açısı" diye adlandırılır ve etken yüzeyi toprağı çığ topraktan kesip yana itecek şekildedir.

Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi; pulluk gövdesinin etken yüzeyini oluşturan eğik yüzeyinin ileriye doğru hareketiyle toprak şeridi kesilir, kaldırılır, devrilir yan tarafa bir önceki toprak şeridi üzerine bırakılır; bu arada parçalanır, ufalanır. Bu olaylar birbirini izleyen dört devrede ortaya çıkar.



Şekil 3.2. Kamanın önünde toprak şekil değişikliği devreleri

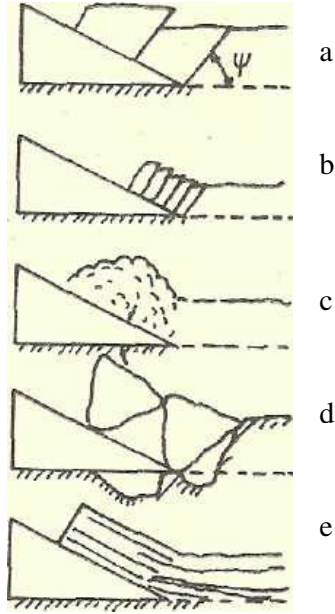
Birinci devrede (a) toprak plastik olarak şekil değiştirir, toprak direncinde bir artma ortaya çıkar. Kapiler borulardaki hava ile toprak agregatları arasındaki hava sıkışmış olur.

İkinci devre (b) toprağın biraz daha sıkışmasıdır. Bu sıkışma sonucu, topraktaki havanın basıncının çoğalması oranında potansiyel enerji birikimi artar. Toprak parçaları, içerisindeki kapalı hava ile birlikte kama yüzeyine dik olarak yer değiştirmek zorundayken, toprakla kama yüzeyi arasındaki sürtünme açısından dolayı saparak yer değiştirirler.

Üçüncü devrede (c) toprağın sıkışmasından doğan basınç, toprak direncini yendiğinde, toprak tabakası çatlayıp ayrı ayrı parçacıklara ayrılır. Çatlamanın olduğu hareket yönüne dik olan yüzeylere birincil kesilme yüzeyleri denir.

Dördüncü devrede (d) agregatlar arasında sıkıştırılmış havanın genişlemesiyle potansiyel enerji tümüyle işe çevrilir ve toprak parçacıkları arasındaki bağ önemli ölçüde çözülür, dolayısıyla toprak şeridi küçük parçacıklara dağılır.

Parçacıklar arasında oluşan ve her yönde dağılım gösteren bu yüzeylere ikincil kesilme yüzeyleri adı verilir. Kamanın ileri hareketiyle bu devreler aynı şekilde ve sürekli olarak devam eder. Fakat toprak şekil değişikliğinin şiddeti, toprağın mekanik bileşimine nem oranına, üzerindeki bitki örtüsüne ve toprak karakterine çok yakından bağlıdır.



Şekil 3.3. Toprak şekil değişikliğine, toprak durumunun etkisi

Şekil 3.3'de görüldüğü gibi; orta derecede nemli bir toprakta (a), kamanın oluşturduğu basınç nedeniyle hareket yönü ile belli bir açı yaparak çatlamlar ve yamuk şeklinde kesekler oluşur. Kama yüzlek olarak hareket ettirilirse (b), toprak aynı şekilde; fakat daha küçük parçalara bölünür.

Kama açısının değerine bağlı olmayan kumlu topraklar (c) tek tek parçacıklar halinde kamanın önünde yığılırlar. Buna karşılık kuru olan ağır topraklar (d) kamanın etkisi altında düzgün şekilli olmayan büyük kesekler şeklinde parçalanırlar. Çizi tabanı bile düzgün olmaz. Birbirine bağlı nemli ve otlu topraklar (e) kamanın üzerinde kesilme yüzeyleri oluşmadan uzun şeritler halinde yükselirler. Eğer toprak tekdüze değil ise örneğin üst tabakası ot yönünden yoğun ise, toprak şeridi ayrıca tabakalara ayrılabilir [1].

Kulaklı pullukların çalışma şekli incelendiğinde, genel olarak toprağın yandan ve alttan bir dikdörtgen prizma şeklinde kesilerek uç demiri ve kulak tarafından kaldırılıp döndürülerek yan tarafa itilmesi ve bir önceki toprak şeridi üzerine devrilmesinden oluştuğu görülür. Toprak şeridinin ölçüleri

doğrudan doğruya pulluğun iş derinliği ve iş genişliğine bağlıdır. Bu işlemin yerine getirilmesi sırasında tarım tekniği yönünden pullukla sürmeden beklenenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Ayrılmış olan toprak şeritleri birbirine düzgün olarak yaslanmalıdır. Böyle olunca tarlanın tümü tekdüze işlenmiş olur.
2. Toprak şeritleri birbirine sıkıca yaslanmalıdır; böylece organik maddelerin humusa dönüşmesi hızlandırılır.
3. Bitki artıkları ve gübreler tümüyle toprağa gömülmelidir.
4. Tarlanın yüzeyi hafif dalgalı ve düzgün olmalıdır; köşeli sırtlar ve büyük kesekler bulunmamalıdır.
5. Çiziler doğru bir çizgi şeklinde açılmalı birbirine olan paralelliği tüm tarla yüzeyinde korunmalıdır.
6. Çizi tabanı yatay ve düz olmalıdır. Çizi tabanında su birikimine neden olacak çukurlaşmalar oluşturulmamalıdır.
7. Çizi duvarı düzgün olmalı, çizi tabanına keseklerin düşmesi önlenmelidir.
8. Aralarda çığ yerler kalmamalıdır.

Bu koşulların sağlanabilmesi, özellikle iş derinliği ile iş genişliği arasındaki ilgiye sıkı bir şekilde bağlıdır. Toprak şeridi devrilme sırasında ölçülerini değiştirmedeği yani parçalanmadan döndürüldüğü varsayımından hareket edilirse çok önemli olan bu ilişki ortaya konulabilir. Bunun için öncelikle pulluğun toprak şeridine yaptırdığı hareketin incelenmesi gerekir [1].

4.AŞINMA

4.1. Metalik Malzemelerde Aşınma Mekanizmaları

4.1.1. Aşınmanın tanımlanması

Aşınma, cisimlerin yüzeylerinde mekanik etkilerle (mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji verilmesi sonucu) mikro taneciklerinin kopup ayrılması sonucu istenmeyen bir etkinin oluşması olayıdır. Aşınma, katı cisim yüzeyini oluşturan malzeme bölgesinin teknolojik amaçlarla verilen şekil dışında, sürtünme sonucu ile şekil ve/veya malzeme değişimidir. DİN 50320'de teknik anlamda aşınma, cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle, mikro taneciklerinin kopup ayrılması nedeniyle istenmeyen bir şekil değişikliğinin meydana gelmesidir şeklinde tanımlanır [6].

Mekanik etkenler; korozyon ve aşınma farklılığını belirtmek için kullanılmıştır. Korozyon da, kimyasal ve elektrokimyasal etki söz konusudur. Mikro taneciklerinin kopması ise; aşınma dışında oluşan fiziki sebeplerle (plastik şekil değiştirmeler, kırılmalar vb.) malzeme yüzeyinden parçacıkların ve tabakaların ayrılmasıdır. İstenmeyen ifadesi ile de, talaşlı şekil değiştirme (taşlama, eğeleme vb.) ve alıştırma işlemlerinde olduğu gibi (mil-yatak) isteyerek yapılan yüzey veya boyut değişiminin aşınma kapsamına girmemesi anlamı taşımaktadır [6].

Aşınmanın oluş biçimi tüm ayrıntılarıyla bilinmemekte ise de genellikle, aşınmanın olabilmesi için; tribolojik olarak bir karşı elemanın, bir izafi hareketin ve bir yükün bulunması gerekir. Bunun sonucu ya parça kopması veya atom düzeyinde parçanın kopması şeklinde aşınma olmaktadır [7].

Aşınmayı etkileyen faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilirler;

A. Tribolojik Sistemin Elemanlarına Bağlı Olanlar

a) Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Olanlar;

1. Malzeme cinsi,
2. Kimyasal yapı,
3. Mikro yapı,
4. Hacimsel ve yüzeysel sertliği,
5. Elastisite modülü,
6. Akma ve kırılma özellikleri,
7. Yüzey pürüzlülüğü,
8. Şekil ve boyutları,
9. Soğuk şekillendirme,
10. Isıl işlem,

b) Karşı Elemana Bağlı Olanlar;

1. Aşındırıcı tane büyüklüğü,
2. Tane şekli,
3. Tane dağılımı,

c) Ortalama Bağlı Olanlar;

1. Nem,
2. Sıcaklık.

B- İşletmeye Bağlı Faktörler

1. Yük (Kuvvet),
2. Hareket,
3. Kayma (Sürtünme) Yolu,
4. Zaman,
5. Kaymanın Cinsi [8].

Aşınmanın teknik olduğu kadar ekonomik yönden de önemle üzerinde durulması gerekmektedir. Endüstride arıza bakımı büyük ekonomik kayıplara neden olur. Bu arızaların başta aşınmadan meydana geldiği bugün çok iyi anlaşılmıştır. Dolayısıyla dünya endüstrisinde aşınma araştırma çabaları yoğunlaşmıştır. Aşınma genellikle yataklarda, frenlerde, pistonlarda, supaplarda, kesici uç ve ağızlarda, dişlilerde, kırma ve öğütme işlemlerinde kullanılan değinilenlerde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevherleri üretim cihazlarında, ray-teker sisteminde vs. gibi birçok yerde karşımıza çıkmaktadır [8].

4.1.2. Tribolojik sistemler

Tribolojik sistemler, içinde sürtünme ve aşınma olayları oluşan bütün teknik sistemlerdir. Bir tribolojik sistem şu temel unsurlardan meydana gelir.

1. Esas Sürtünme Elemanı,
2. Karşı Eleman,
3. Yağlama Elemanı,
4. Çevre.

Aşınmaya yol açan etkenlerin tamamını dikkate alarak incelemek gerekir. Aşınma bir sistem gibi bir malzeme özelliği değildir. Bu sistem bütünlüğüne tribolojik sistem denilmektedir. Bir tribolojik sistemin oluşması için bu dört elemanın hepsi birden bulunması şart değildir. Sistem en az iki ana elemandan oluşabilir. Sistemi meydana getiren elemanlardan esas sürtünme elemanı, aşınmaya maruz elemandır. Esas sürtünme elemanı metal, mineral, plastik, kauçuk, deri, ahşap, tekstil ürünü ve katı halde bulunabilir. Karşı eleman ise aşındıran eleman olup, katı, metal, mineral, sıvı, gaz ve buhar halinde bulunabilirler.

Esas sürtünme elemanı ve karşı madde sistemi meydana getirmede yeterli olabilirse bu durumda vakum ortamının oluşumu ve sürtünmenin "kuru"

olduğu kabul edilir. Gerçekte tam kuru sürtünme sağlanamaz. Çünkü sürtünme sırasında katı, sıvı, gaz durumunda olabilen "ara madde" bulunacaktır. Vakumsuz ortamda "çevre" devreye girecek ve sistem elemanları üçe çıkacaktır. Eğer isteyerek veya istemeyerek yağlama da söz konusu ise sistem dört elemanlı olacaktır.

Uygulamada yükün şiddeti, malzemenin özelliğine ve yüzey geometrisine bağlı olarak temas alanını arttırmakta dolayısı ile aşınmayı etkileyen bir faktör olmaktadır. Yüklemenin şiddeti, düşük, orta ve yüksek olabilir. Ayrıca yükleme sabit ya da değişken kalabilir. Artan veya azalan bir yükleme tarzında olabildiği gibi darbeli türde de olabilir.

4.1.3. Aşınma mekanizmaları

Adhesiv Aşınma Mekanizması

Adhesiv aşınma, özellikle birbiriyle kayma sürtünmesi yapan metal - metal aşınma çiftinde meydana gelen birbiriyle kaynamanın bir sonucudur. Birbiri üzerinde kayan çok küçük yüzeylerdeki gerilmeler küçük yüklemelerle dahi akma gerilmesi sınırına erişir veya bunu geçerler. Bu nedenle bir parçadan diğerine malzeme geçişi ile soğuk kaynak ve küçük parçacıkların kesilmesi olayı meydana gelir. Adhesiv aşınma genellikle eş çalışan parçalarda metalin - metale yapışmasından ileri gelen aşınma şeklidir [9].

Bu tip aşınmaya genellikle;

- Dişlilerde,
- Yataklarda,
- Ray-Teker Sistemlerinde (Demir Yolu Araçlarında),
- Kam Mekanizmasında rastlanır.

Metalin - Metale sürtünme aınmasının söz konusu olduğu yerlerde e çalışan parça çiftinden kolayca sökülüp tamir edilebilecek olanının diğerine göre daha yumuşak olması tercih edilir (karşı eleman feda edilebilir). Örneğin küçük pinyon dili büyük ana diliden daha yumuşak olmalıdır.

İki metalin sürtünmesi esnasında yüzey tabakası yer yer çok kısa sreler için 600–1000 °C'lik sıcaklıklara kadar yükselebilir. Yüzeyde hızla oksitler ve nitrürler meydana gelir. Yüksek yüzey sertliği ve sıcaklık artışına karşılık yüksek mukavemet meydana gelecek etkilere karşı koyabilir. Ancak farklı metallerin karşı karşıya olmaları halinde bu oksit daha yumuşak olana gömülüp daha sert olanı aındırabilir. Beraberce tesir eden basınç, sıcaklık, mikro - kaynaklar ve bunların neticesinde de kopmalar olabilir.

Abrazif Aşınma Mekanizması

Abrazif aşınma (izilme aşınması), malzeme yüzeyine karşı metalik ya da metalik olmayan aşındırıcı bir maddenin temasından ileri gelen, başka bir deyişle sürtünme çiftlerinden daha sert olanının karşı sürtünme elamanı içerisinde yüzey pürüzlülüğü mertebesinde girerek hareket esnasında onu çizmesi ve talaş kaldırması olayıdır. Abrazif aşınma basınç ve darbe etkisinin tek tek veya birlikte ana malzemeye etkimesi sonucu meydana gelir [9].

Yırtılma ve çizilme diye de adlandırılan bu aşınma, çizici, raybalayıcı veya çarpan zorlamalar nedeniyle meydana gelir. Abrazif aınmada sert tanecikler basınç altında yüzeyde kayarken veya yuvarlanırken önce metal yüzeyine girer ve sonrada metalik tanecikleri yerinden yırtarlar (mikro ölçekle savarlar). Sert malzemenin yüzeyindeki pürüzler kesici kenarlar gibi çalışır ve yumuşak yüzeyden sürekli malzeme kaldırır. Abrazif aşınma bu faktörlerin etkilenme şekline göre 3 gruba ayrılır;

Serbest Abrazif Aşınma

Abrazif maddelerin kendi ağırlıkları ile metal yüzeyinde yaptığı aşınmadır. Sıvılar, gazlar akış sırasında parçanın sınır yüzeyinde patlama ve çarpma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparılır ve girdaplar etkisiyle dalgalı yüzey meydana getirirler. Böylece aşınma daha da hızlanır. Özellikle doğru akımın saptığı veya bozulduğu yerlerde fazla aşınma olur.

Akışkanın içindeki katı maddeler (havadaki tozlar, sudaki kumlar veya buhardaki oksitler) özellikle aşınmayı arttırıcı yönde etki eder ve içyapıyı gevşeterek kaymaya neden olurlar. Bu aşınma şekline örnek olarak kum konveyörlerindeki ve fren kanatlarındaki aşınmalar gösterilebilir.

Hafif Darbeli Şiddetli Aşınma (Erozyon)

Abrazif parçacıkların yüksek basınç ve hafif darbe etkisi ile birlikte metal yüzeyinde oluşturduğu aşınma şeklidir. Basınç ve darbe etkisi sonucu oluşan çatlaklar malzeme yüzeyinde tanelerin kopmasına neden olur. Bu aşınma; kil ezicilerde, sinterleme tesislerinde ve kum karıştırma mekanizmalarında görülmektedir.

Ağır Darbeli Şiddetli Abrazif Aşınma

Yüksek basınç ve ağır darbe etkisi altında abrazif parçacıkların büyüklüğüne ana metalin cinsine göre yüzeyinden iri ve ufak parçacıklar kopar veya ana malzeme çatlayıp kırılır. Bu aşınmaya örnek olarak da; kırıcı çene ve çekiçler, iş makineleri uçları ve paletlerinde görülmektedir [9].

Yorulma Aşınması

Malzemelerde yorulma, tekrarlanan zorlanmalar altında ve zamanla oluşur. Yüzeyde başlayıp ilerleyen bu olay, oluşan mikro çatlaklıkların pulcukları

şeklinde malzemelerden ayrılmasına sebebiyet verir. İçyapıda parçalanma ve yırtılma oluşturarak yüzeyden kısmi çözünmelere sebep olur.

Teknik uygulamalarda rulmanlı yataklarda, dişli çarklarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlama hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelir. Pitting teşekkülü ile karşımıza çıkan bu aşınma türünde, yüzey bölgesinin tekrarlı tribolojik yüklemeye maruz kalması sonucudur. Tribolojik zorlanmalar mekanik gerilmeleri de beraberinde getirdiği için zaman veya yüzey bölgesine göre tekrarlı bir sürtünme olayı mikro çatlakların oluşmasına, büyümesine ve sonunda aşınma partikülü olarak malzeme kopmasına yol açar [9].

Triboksidasyon (Reaksiyon Tabakası Aşınması)

Sürtünme çiftlerinin kontakt yüzeylerinde tribolojik zorlanmalar sonucu meydana gelen reaksiyonlar kastedilir. Oksijenle olan reaksiyonlarla sınırlı değildir. Kükürt ve fosfor gibi elementlerin sürtünme aktivasyonu ile hızlandırılan reaksiyonları da triboksidasyon içinde incelenir.

İki cismin temas esnasındaki izafi hareketten dolayı sürtünme titreşimleri oluşur. Bu titreşimler tribolojik zorlanmalara işarettir. Küçük genlikli titreşimlerin sebep olduğu, temas yüzeyleri arasında bir oksit filmi oluşur. Bu sürtünme ile hızlanır. Ortamdaki sıvı veya gaz oksijenin kısmi basıncı oksit tabakasına tesir eder.

Yüzeydeki mevcut veya sürtünme esnasında oluşan tabaka, ana malzemelerin aşınma direncini önemli ölçüde değiştirir. Fakat bu tabaka sürtünme ile parçalanarak abrasif etkisini gösterir ve aşınmayı hızlandırıcı rol oynar. Parçaların kalktığı bölgede tekrar oksitlenme görülür ve olay süreklilik kazanır [9].

4.2. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

Aşınma olayının başlayabilmesi için veya devamı için, bir sürtünmenin olması gereklidir. Sürtünme iki cismin gerçek temas alanı büyüklüğünün aşınmaya büyük etkisi vardır. Birbiriyle temas eden iki cismin gerçek temas alanı, görünen temas alanından çok daha küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düz işlenirse işlensin yüzeyde mutlaka pürüz dediğimiz girinti ve çıkıntıların bulunduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halindeki iki cisim bu pürüzler vasıtasıyla temas kurarlar. Pürüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalır. İki cismin birbirine göre yaptığı izafî hareketin cinsi ve şekli de aşınmayı etkileyen bir faktördür. Bu hareket, kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlama, çarpma vb. olabilir. Hareketin yönü ve kat ettiği yol, aşınma miktarına ve cinsine etki eder. Öte yandan sıcaklıkta aşınma üzerinde büyük etkisi olan bir çevre etkenidir [9].

Aşınmaya etki eden faktörler şöyle sıralanabilir:

1. Yükleme,
2. Hareket,
3. Aşınan ve Aşındıran Sürtünme Elemanları,
4. Ara Madde,
5. Çevre

4.2.1. Yükleme

Etkiyen kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı) doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemının şiddetini belirleyen faktörlerdendir. Yüklemenin şekli ve uygulanan yük miktarı, temas alanını ve aşınmayı etkileyen bir faktördür.

4.2.2. Hareket

İki cismin (temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre) yaptığı izafi hareketin cinsi ve şeklide önemlidir. Bu hareket; kayma, yuvarlama, kaymalı yuvarlama, çarpma vb. olabilir. Ayrıca kuvvetin büyüklüğü ve doğrultusu da önemlidir.

4.2.3. Sürtünme elemanı

Aşınan ve aşındıran elemanlardır. Sürtünme elemanları; malzemenin bileşimi, mekanik özellikleri, sürtünme elemanını şekli (geometrisi, yüzey pürüzlülüğü) ve yüzey bölge yapısı gibi faktörler içerir.

4.2.4. Ara madde

Temel sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasındaki maddedir. Ara madde; katı, sıvı, gaz, buhar ya da bunların karışımı şeklinde bulunan maddelerdir. Ara madde yağlayıcı olabilir.

4.2.5. Çevre

Sistemi içine alan ve genellikle sıvı ya da gaz halinde bulunan ortamdır. Çevre fiziksel ve kimyasal özellikler içerir. Bunlar basınç, sıcaklık, nem özellikleridir [11].

4.3. Toprak İşleyici Organlarda Aşınma

4.3.1. Toprak işleyici organlarda aşınma mekanizması

Toprak işleyici organlar, kullanma süresi içinde belirli bir müddet sonunda yıpranarak faydalı kullanılabilme özelliklerini kaybederler. İşleyici organlarda yıpranma; toprağın yapısına, işletme şartlarına, aletin konstrüksiyonuna ve benzeri birçok etkenlere bağlı olarak meydana gelir. Özellikle, toprakla temas halindeki parçaların aşınması, toprak içerisindeki sert cisimlerin aşındırıcı etkisiyle meydana gelir. İşleyici organlarda meydana gelen aşınma, "abrasiv aşınma" prensibiyle oluşmaktadır. Diğer aşınma türleri olan adhesiv ve kohesiv aşınma nadiren görülmektedir [13].

Abrasiv aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzey ile daha yumuşak bir yüzeyin karşılıklı çalışması (İşleyici organ yüzeyi - toprak yüzeyi); bazen de üç cisimli (İşleyici organ yüzeyi - kırıntılı toprak tanecikleri - toprak kütlesi) olarak meydana gelir. Abrasiv aşınma mekanizmasının toprak içerisindeki oluşumu şu şekilde meydana gelmektedir: Topraktaki aşındırıcı tanecikler aşınma yüzeyi ile temas halinde iken, çeşitli etkiler yapmaktadır. Bunlar:

- Sıkıştırmanın etkisiyle kanalcıklar halinde,
- Mikroskobik formda yüzeyden metal parçaların kopması şeklindedir.

Birinci etki aşınma yüzeyi ile aşındırıcı tanecikler arasında oluşan, basıncın şiddetiyle, ikinci etki ise abrasiv taneciğin aşınma yüzeyine göre, hareket doğrultusu ve hızının şiddeti ile oluşmaktadır.

Abrasiv aşınma mekanizmasında, aşınma unsurlarından hareketle basınç birlikte etkimektedir, Bu yüzden, iki etkinin meydana gelişi ve oluş nedenini kesin çizgilerle ayırt etmek mümkün değildir. Bu durum aşınma mekanizmasında hareket doğrultusuna paralel ve iki bileşene ayrılabilen eğik bir kuvvettir [13].

Dikey bileşen aşındırıcı taneyi yumuşak yüzeye bastırırken, paralel bileşen yüzeyde çizikler derin izler ve parlatma etkisi meydana getirmektedir. Abrasiv tane büyüklüğü ve şekli, tanelerin hızı ve uygulanan yükün şiddetine göre abrasiv aşınma mekanizması aşağıdaki şekilde ortaya çıkar.

- Oyulma ve kazınma: Kaya parçaları gibi kaba, sert ve sivri köşeli taneler metale yeterli basınçta sürtündükleri zaman oyuk ve kazınmış bölgeler oluşur. Bu yüzeyler düzgün olmayıp pürüzlüdür.
- Yüksek zorlama altında abrasyon: Abrasiv maddeler yüzeyden, basınç altında sürtünerek geçerken ufalanır. Yüzeyden metal kopması mikroskobik veya makroskobik ölçüde olur. Aşınmış yüzey genellikle yeknesak ve düzgündür.
- Erozyon: Abrasiv maddenin korunması söz konusu parça üzerinde bir miktar hareket ettiği zaman meydana gelen aşınma türüdür.
- Darbe abrasyonu: Bu tür aşınma genellikle büyük hız veya basınçta abrasiv parçalara temas eden malzemelerde görülür.

4.3.2. Aşınma direncini etkileyen faktörler

Toprak yapısıyla ilgili faktörler

Aşındırıcı tanelerin sertliği

Aşındırıcı taneciklerin sertliği, aşınma olayında önemli etkenlerden birisidir. Topraktaki ana aşındırıcı maddeler değişik türdeki silikatlardır [15].

Yapılan farklı bir araştırma sonucunda karşı maddenin cinsine göre aşınmada değişiklik görülmüştür. Toprak içindeki sert taneciklerin miktar ve

büyükülüğünün, aşınma üzerinde büyük bir etkisi vardır. Sert tanelerin ortalama çapı arttıkça, aşınma da hızlı bir şekilde artmaktadır [13].

Sert tanelerin aralarında bağlayıcı olarak toprak bulunması halinde aşınma; sadece sert tanelerden meydana gelmiş bir aşındırma ortamına göre, daha şiddetli olmaktadır. Buna örnek olarak kumlu toprağın, saf dere kumuna göre daha fazla aşındırması gösterilebilir.

Karşı maddenin aşınmaya etkisi, tane çap dağılımı ve tanecik geometrisiyle ifade edilir. Matematiksel modellerde ifade edilmesine rağmen karşı maddenin sertliği ile malzemeye temas durumu ve periyodu aşınmada etkili olmaktadır [16].

Aşındırıcı tanelerin boyut ve şekli

Doğal olarak, toprağın bünyesinde, muhtelif boyut ve şekillerde, çok sayıda aşındırıcı parçacıklar mevcuttur. Bu aşındırıcı parçacıkların boyutu ve şekli, aşınma yüzeyi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [17].

Toprak işleme aletlerindeki aşınma miktarı, aşındırıcı tanelerin büyüklüğüyle yakından ilgili olup, deney malzemesinin özelliği sabit kaldığı halde, aşındırıcı taneciklerin ortalama çapı arttıkça, aşınmada da bir artış meydana gelmektedir [13].

İşleyici organa bağlı faktörler

İşleyici organın malzemesi

Toprak işleme aletlerinde kullanma süresi içerisinde sürekli toprakla temas halinde bulunan işleyici organların malzeme seçimi oldukça önemlidir. Bu malzemelerin seçiminde, üretim işlemlerine uygunluk; fiziki teknolojik ve mekanik özellikleri ile ekonomiklik değerleri ve korozyon dayanıklılığı gibi çok

yönlü etkenler de dikkate alınmalıdır. İşleyici organların yapımında kullanılan malzemeler; şekil, miktar ve ölçü bakımından, kolaylıkla temin edilebilmelidir. Üretim işlemleri bakımından, malzemenin biçimlendirilebilme özelliği (döküm, dövme, soğuk ve sıcak presleme, talaşlı imalatı), ısıt işlemlere tabi tutulacaksa ısıt işlem metodu ve ortamı, malzeme seçimini etkileyen başlıca unsurlardır. Bu bakımdan, işleyici organlar için en uygun malzeme, sertleştirilebilen çeliklerdir; çünkü çelikler, normalize halde kolaylıkla şekillendirildikten sonra, ısıt işlemler uygulanarak sertleştirilip, aşınma dirençleri artırılabilir [18].

Çelik içerisinde bulunan karbon, aşınma direncini pozitif yönde etkiler. Bağımsız karbon yüzdesinin artmasıyla, sade karbonlu ve az katıkl çeliklerin abrasiv aşınma dirençleri genellikle artar. Karbon miktarının artması, sade karbonlu çeliklerde perlitik yapının artmasıyla; katıkl çeliklerde ise, ince perlitik yapının martenizitin ostenit yapıya dönüştürülmesi suretiyle aşınma direncini artırabilir. Aynı sertlikte fakat daha fazla karbon ihtiva eden çelikler, daha yüksek aşınma direncine sahiptir ve karbon oranı ile aşınma direncinin yükselme oranı da belirli bir sertlik değeri için sabittir. Karbon ile diğer katık elemanları karşılaştırılacak olursa; katık elemanlarının aşınma direncine etkisinin karbona göre daha az olduğu görülür [17]. Yurdumuzda tarım alet ve makineleri imal eden firmalardan pek çoğunun uygun malzeme seçmelerine rağmen malzemenin ısıt işlem kapasitesinden tam manasıyla faydalanamadıkları görülmektedir. Bunun sebebi, yeterli teknik bilgiye sahip olmamanın yanı sıra, üretim masraflarını düşürerek daha fazla kâr etme düşüncesidir [19].

Toprak işleme aletleri işleyici organlarının üretiminde, % 0,32 - % 0,45 karbonlu çeliklerin kullanılması uygun olmaktadır. Bunun yanında 60 Si Mn 5 çeliğinin biçimlendirme bakımından bazı zorluklar çıkardığı için yerine su veya yağda sertleştirilebilen 38 Si 6 yay çeliğinin kullanılması daha faydalı olacaktır. Öte yandan, alaşım elemanlarının çeliğin aşınma direncini arttırdığı bilinmekle beraber, çelik içinde yeterli miktarda karbon bulunmadığı zaman,

alaşım elemanlarının aşınma direncini arttırmada etkileri daha fazla değildir. Ayrıca, alaşım elemanlarının arızalanması üretim maliyetini de arttıracaktır [20].

Pulluk uç demiri malzemesi olarak Ç 1040 çeliğinin kullanılması bu çelikte biçimlendirme güçlüğünün bulunmamasının yanı sıra su verme ile sertleştirildiğinde darbe dayanımının azaldığı görülmüştür. İşleyici organlardan istenen özelliklerin kolay ve kaliteli bir şekilde sağlanabilmesi, malzeme seçiminde en önemli etkidir. Buna göre kolay şekillendirilebilen, ısıtılma sonucu eğilme, aşınma ve darbe dayanımı iyileşen keskinliğini uzun süre koruyabilen, yüzeyde toprak tutuculuğu özelliği fazla olmayan tamir edilebilir ve ekonomik değere sahip malzemeler tercih edilmelidir [13].

İşleyici organın şekli

İşleyici organların farklı şekillerde geliştirilmiş olması birçok amacı aynı anda sağlayan bir organ arayışından kaynaklanmaktadır. İşleyici organların tarihi gelişimi sürecinde çabuk kütleşmeleri, fazla aşınmaları, darbeler karşısında deforme olmaları, kırılmaları ve büyük çeki kuvvetine ihtiyaç göstermeleri gibi birçok nedenler bu organların şekillerinin de işletmecilik açısından önemli olduğunu göstermiştir. Bu konu ile ilgili yapılan birçok araştırmada, farklı biçimdeki organlarının çok değişik çeki direnci gösterdiği tespit edilmiştir. İşleyici organlarda, kesit alanının artmasıyla, aşınma da artmaktadır. Dikdörtgen kesitli kesme ağızlarının en çok, üçgen ve trapez kesitli kesme ağızlarının daha az aşındığı, ince uzun kesici kenarlara sahip iş organlar lineer aşınma; küt ve kalın kenarlı iş organlarında ise, ağırlık aşınması olmaktadır [15].

Bazı araştırmacıların ortaya koyduğu gibi uç demirlerinin kesici kenar profili ile keskinliğini uzun süre koruyabilmesi arasında bazı ilişkiler vardır. Kesici kenar boyunca geriye doğru kalınlaşma ne kadar fazla olursa uç demiri o oranda hızlı körelmektedir. Bir başka ifade ile kesici kenar kesitinde alt ve üst

yüzeylerin birbirine paralele yaklaşması veya kama açısının¹ küçük olması körelmeyi geciktirmektedir [21].

İşleyici organın alet üzerindeki yeri

Toprak işleme aletleri, toprakta belirli amaçları gerçekleştirmek üzere geliştirilerek tasarlanmıştır. Bu aletlerin hepsi, tarlanın ekime hazırlanılmasında kullanılmaktadır. Pulluk türleri toprağı aktif olarak işlerken, kültivatör ve tırmık gibi aletler tohum yatağı hazırlamak maksadıyla kullanılır. Toprak işleme aletleri, toprağı giriş sırasına göre, farklı karşı madde basıncıyla karşılaşacağından, aşınma miktarı da farklı olmaktadır. Bir tarlaya pulluk, kültivatör ve tırmık ardı ardına sokulduğunda, aletler farklı toprak basıncıyla karşı karşıya kalırlar. En büyük basınç pulluğı etki ederken, en düşük basınç tırmıkta olur. Bu durum, bir pullukta önden arkaya doğru sıralanan uç demirleri bazında ele alındığında, aynı basınç dağılımının olacağı; dolayısıyla, önden arkaya doğru azalan bir aşınmanın meydana geleceğı anlaşılmaktadır.

Çeşitli malzemelerden yapılarak farklı ısı işlemler uygulanmış tırmık dişleri ve kültivatörlerde yapılan araştırmalar neticesinde, tırmık dişleri için, iç ve dış bataryalarda elde edilen aşınma kayıplarının önemli farklılık göstermediğı, takat tırmık diş sırasının ise aşınma üzerinde önemli etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Kullanılan bütün çelik türlerinde de uygulanan ısı işlem kademelerinde birinci sıradan son sıraya doğru gidildikçe, aşınma miktarının azaldığı ve bu azalmanın doğrusal bir karakter gösterdiği tespit edilmiştir. Aynı sonuçlar, kültivatör kaz ayakları için de geçerli olup, arka sırada yer alan organlar, ön sıraya göre daha az aşınmışlardır [20].

¹ Kama açısı: Pulluk uç demiri üst yüzeyi ile alt yüzeyi arasında kalan açı

Çeki kuvvetinin aşınmaya etkisi

Toprağın, toprak işleme aletlerine karşı gösterdiği direnç, toprağın zerreleri arasındaki kohezyonu ve normal basıncı, toprakla işleyici organın arasındaki adezyonu ve yer çekimini yenmek; toprak zerrelerini ivmelemek için sarf edilen enerjinin karşılığı olarak meydana gelir [22].

Pulluklarda, çeki direnci, "Toprak işleme aletlerinin hareketi doğrultusunda birim yüzeyine isabet eden kuvvet" olarak tanımlanan özgül çeki direncinin fonksiyonudur. Özgül çeki direnci, toprak şartlarına bağlı olarak, işleme hızı, işleme derinliği, çizi genişliği, uç demiri ve kulak şekli gibi birçok değişkenin fonksiyonudur. Bir traktörün çeşitli toprak şartlarındaki çeki kuvveti karakteristiğinin bilinmesiyle, traktörün rasyonel bir şekilde kullanılması, alet ve makinelerin en ekonomik bir şekilde işletilmesi mümkün olmaktadır. Traktör çeki kuvvetiyle alet ve makinelerin çeki direnci arasındaki farkın, mümkün olduğu kadar dar sınırlar içerisinde tutulmasına dikkat edilmelidir. Bu fark ne kadar küçük tutulabilirse, traktör, o oranda iyi yüklenmiş ve işletmede ekonomi sağlamış olur [23].

Çeki kuvvetini etkileyen en önemli unsur, toprağın yapısıdır. Toprağın yapısı değişken olmak kaydı ile aynı şartlarda yapılan toprak işlemede, ağır toprakla gevşek toprak arasında meydana gelen çeki kuvveti farkı olacaktır. Çeki kuvvetini arttıran toprak direnci, aşınmayı da arttıracaktır; çünkü özgül çeki direncinin artmasıyla, işleyici organın yüzeyine gelecek basınç da fazla olacak, böylece, çeki hızına bağlı olarak, aşınma da artacaktır. Netice olarak, özgül çeki direncinin bir fonksiyonu olan çeki kuvveti arttığında; ağır topraklarda aşınma fazla, hafif topraklarda ise daha az meydana gelecektir [20].

Isıl işlemlerin aşınma direncine etkileri

Malzemelerin aşınma mukavemetini arttıran en önemli özellik sertliktir. Ancak aşınma direncinin arttırılabilmesi, sadece sertlikle sağlanamaz. Çalışma şartları iyi bir aşınma direnci yanında darbe dayanımı, kırılma dayanımı ve uzun süre şekil değiştirmeme gibi bazı özellikleri aynı anda gerekli kılabilir. Özellikle toprak işleyici aletler, aşınma direncinin yanında darbe dayanımı ve şekil değiştirmeme gibi özellikler de göstermelidir. Çeliklerde sertliğin artmasıyla, aşınma "direnci de artmaktadır. Yüksek sertliğe sahip malzemelerin, aşınma dirençleri de yüksek olup, sertlikle, hasara karşı yüzey direnci de artar. Abrasiv aşınma direnci, hemen hemen tamamen sertliğe bağlı olup, sertliğin artmasıyla düzeldiği görülür [24].

5. AŞINMA DAYANIMINI ARTIRICI İŞLEMLER

Makine parçalarının tamiri için sarf edilen işçilik, bu parçaların imalinde sarf edilen işçilikten daha fazladır. Dolayısıyla her gün makine parçalarından aşınmaya daha büyük dayanıklılık aranmaktadır. Aşınma derecesinin özellikle tasarım aşamasında incelenmesi malzeme ömrünün uzatılmasında çok etkili olacaktır.

Bunun için takip edilen araştırma şu esaslarda özetle toplanabilir [12].

- Temel malzeme özelliklerinin ısı işlemlerle iyileştirilmesi,
- Temel malzemenin kaplanarak dayanıklı hale getirilmesi,
- Sürtünme çiftinin (malzeme açısından birbirine göre) doğru seçimi,
- Aşınmaya dayanıklı malzemelerin geliştirilmesi,

Isıl işlemlerle içyapı değişikliği esasına dayanan aşınma davranışlarının iyileştirilmesi çalışmaları, diğer yöntemlerle pahalı ve özel çözümler aramadan öncelikle değerlendirilmesi gereken önemli araştırma doğrultusu olarak görülmelidir. Çünkü aşınma direnci, sadece sertlik artışıyla sağlanacak bir büyüklük değildir [12].

5.1. Yüzey Sertleştirme İşlemleri

Bir iş parçasının sert, aşınmaya dayanıklı bir yüzey tabakasına ve aynı zamanda özlü, elastik bir çekirdeğe ihtiyacı varsa, iş parçasına yüzey sertleştirme işlemi uygulanır. Yüzeylerinde aşınma olaylarının meydana geldiği ve ilave olarak darbeli tarzda ve değişen mekanik yüklemeleri (zorlanmaları) taşıması mecburiyeti bulunan miller, saplamalar¹, dişli çarklar, mekanizma kolları gibi iş parçalarında, yüzey sertleştirme işlerinin yapılması gerekir.

¹ İki ucuna vida açılmış bağlama elemanı.

Yüzey sertleştirme işlemi için birçok metot vardır. Bunlar;

1. Mekanik İşlemle Yüzey Sertleştirme (Plastik Deformasyon Uygulamasıyla)
2. Termal İşlemle Yüzey Sertleştirme (Isıtıp Soğutmak Suretiyle)
3. Termo Kimyasal İşlemle Yüzey Sertleştirme (Isıtma Soğutma + Kimyasal Kompozisyonu Değiştirme Yoluyla) Yüzey sertleştirme işlemleri aşınma dayanımını arttırmak amacıyla yapılır.

5.1.1. Mekanik işlemle yüzey sertleştirme

Parçanın yüzey bölgesinde plastik deformasyon uygulamak suretiyle elde edilen sertlik artışıdır. Neticesi yüzey bölgesinin sertleşmesi şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Yüzeyin sertleşmesi yanında parçanın yüzeyinde basınç (bası) iç gerilmeleri düşmektedir. Bu şekilde parçanın aşınma dayanımı artmaktadır.

5.1.2. Termal işlemle yüzey sertleştirme

Bu metot da yüzey belirli bir derinliğe kadar ostenit bölgesinde ısıtılır ve ani olarak soğutulur. Bu işlem sonucunda parçaların aşınma dayanımı artmış olur. Pratikte termal işlemle yüzey sertleştirme işlemi şu yollarla yapılır.

- Alevle Yüzey Sertleştirme
- İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme
- Lazer veya Elektron Işınlarıyla Yüzey Sertleştirme

5.1.3. Termokimyasal işlemle yüzey sertleştirme

Karbürleme işlemi

Sertleştirilecek parçaların yapıldığı çeliğin karbon miktarı % 0,25'den daha azdır. Bu tür çelikler genellikle % 1 C ihtiva ederler. İşlem sırasında yüzeydeki karbon miktarı artar ve yüzey belirli bir karbon miktarına kadar sertleşir. Burada belirli şartlarda belirli bir karbon konsantrasyonu elde etmek için gerekli süre bir takım bağıntılarla hesaplanabilir. Karbürleme işlemi genellikle 850° C' de yapılmaktadır. Bu işlem katı, sıvı, gaz ortamlarda yapılabilir. Katı ortamda kömür tozu C verici, sıvı ortamda ise metan gazı C vericidir [11].

Nitrürleme işlemi

Nitrürleme sertliğinde iş parçasının bir yüzey tabakası azot ile zenginleştirilir. Dolayısıyla çok sert ve aşınmaya dayanıklı bir tabaka meydana gelir. İş parçasının çekirdek bölgesi değişmeden olduğu gibi kalır. Yüzey tabakasındaki azot'un zenginleştirilmesi, azot veren tuz banyolarında veya içinde amonyak akımı geçen nitrürleme fırınlarında yaklaşık 550 °C de tavlama suretiyle sağlanır.

Karbonlu nitrürleme işlemi

Karbonlu nitrürlemede bir iş parçasının yüzey tabakası uygulamada aynı zamanda karbürlenir ve nitrürlenir ondan sonra sertleştirilir. Sementasyonla sertleştirmenin ve nitrürlemenin avantajlarını kısmen birleştiren sertleştirilmiş tabakalar elde edilir. Karbo-nitrür tabakaları hemen hemen nitrürleme tabakasında olduğu gibi sert, sementasyon sertlik tabakaları olarak menevişe dayanıklı ve çekirdek dokusuyla sık bir birleşme özelliğe sahiptir [12].

5.2. Yüzey Kaplamalar

Aşınmaya karşı malzemeler sert veya yumuşak tabakalarda kaplanabilir. Isıtma, soğutma veya termokimyasal işlemlerle demir esaslı malzemelerde yüzey sertleştirilebilir [25].

Yüzey tekniklerinin önemli bir grubu olan yüzey kaplamaları kullanılan malzeme cinsine göre belli başlı 2 sınıfa ayrılır. Bunlar;

1. Metalik kaplamalar,
2. Metalik olmayan kaplamalardır.

Metalik olmayan kaplamalar yine kendi arasında 2 gruba ayrılır. Bunlar;

1. İnorganik kaplamalar,
2. Organik kaplamalardır [26-27].

Metalik Kaplamalar; metal ve alaşımlarının yüzeylerini başta korozyon olmak üzere diğer dış etkenlerden korumak üzere yapılan kaplamalardır. Metal kaplamaları elektrokimyasal davranışları bakımından;

1. Soy kaplamalar,
2. Aktif kaplamalar olmak üzere 2 ayrı sınıfa ayırmak mümkündür.

Soy kaplamalar galvanik diziye göre, kaplanacak metallerden daha soy olan metalleri kapsar. Mesela çeliğe göre Ag, Cu, Sn, Pb, Ni ve Cr pasif tutumları nedeniyle soy kaplamalardır. Zn ve Cd ise aktif kaplamalardır. Soy kaplamaların koruma yeteneği metal ile ortam arasında etkili bir engel oluşturmasına bağlıdır [26-27].

Kaplama; boşluk veya çatlak türünden hatalar ihtiva ederse korozyonun o noktalarda yerleşmesi ve metallerin kaplama altında korozyona uğraması

engellenemez. O halde soy kaplamaların başarı ile kullanılması boşluksuz uygulanabilmelerine bağlıdır. Aktif kaplamalarda bu tür hatalar olsa da önemli değildir. Çünkü bu kaplamalarda kaplama metali kaplanan metalden daha aktiftir ve dış etkenlerden zaten aşınır. Yüzeydeki aktif kaplama aşınırken esas metal yüzeyi korunmuş olur [26-27].

Metal kaplamalar çeşitli yöntemlerle uygulanabilir. Bu yöntemler başlıca 4 grup altında toplanabilir.

1. Fiziksel yöntemler,
2. Mekanik yöntemler,
3. Kimyasal yöntemler,
4. Elektrokimyasal yöntemler,

1. Fiziksel yöntemlerle metal kaplamaları şöyle sıralayabiliriz;

- Sıcak daldırma,
- Yayınma ile kaplama,
- Vakum kaplama,
- Katodik saçınım,
- Buharlaştırma,
- İyon kaplama,
- İyon aşılama

2. Mekanik yöntemlerle metal kaplamanın başlıkları şunlardır;

- Metal giydirme (cladding),
- Sıcak püskürtme

3. Kimyasal yöntemlerden faydalanarak yapılan metalik kaplamalar şunlardır,

A. Yüksek sıcaklıkta uygulanan yöntemler,

- Değişimle,
- Kimyasal indirgeme ile,
- Isıl ayrışım ile.

B. Düşük sıcaklıkta uygulanan yöntemler,

- Kimyasal indirgeme,
- Sementasyon,
- Akımsız kaplama.

4. Elektrokimyasal yöntemler ise; elektro kaplama adı ile de anılan metal kaplama yöntemlerinden birisidir [26-28].

Metalik olmayan kaplamalar 2 gruba ayrılmaktadır. Bunlar organik ve inorganik kaplamalardır. Kimyasal reaksiyon sonucu metal yüzeyde oluşturulan oksit, tuz, emaye ve beton kaplamalar inorganik kaplamalar sınıfına girmektedir. Çeliğin sıcak bazik çözeltilere daldırılmasıyla yüzeyinde bir oksit tabakanın oluşturulması, alüminyumun seyreltik sülfürik asit içerisinde anodik olarak oksitlenmesiyle yüzeyinin Al_2O_3 kaplanması yine çelik parçalarının asidik Mn veya Zn orta fosfat çözeltilerine daldırılarak yüzeylerinin bir fosfat tabakasıyla örtülmesi, çinko parçalarının asidik sodyumkromat çözeltisine çok kısa süreli olarak daldırılmasıyla kromatla kaplanması inorganik kaplamalara örnek teşkil eden bazı kaplamalardır [29-31].

İnorganik kaplamaların diğer bir türü de emaye kaplamalardır. Bir oksit bileşiminden oluşan oda sıcaklığında gevrekleşen sıcaklığın artmasıyla önce yumuşayan, sonra sıvılaştıran cam yapısındaki kaplamalara emaye adı

verilmektedir. Emaye kaplamalar; yaş elektrostatik püskürtme, elektroforatik daldırma, elektrostatik toz püskürtme gibi yöntemlerle uygulanır. Bunlardan bilhassa, elektrostatik toz püskürtme sistemi son yıllarda kullanılmaya başlanmış olup, bu teknikle daha yüksek otomasyona ulaşmak mümkün olmuştur. Hammaddenin yüzeye uygulanmasından sonra 800 °C civarında pişirme inorganik kaplamaların önemli bir bölümünü de seramik kaplamalar oluşturur. Bu kaplamalar oksitler, silikatlar, karbürler, borürler ve nitrürler gibi seramik esaslı malzemelerin ısı püskürtme teknikleri (alev, plazma, detonasyon), PVD. CVD gibi tekniklerle metal yüzeyine uygulanması ile elde edilir. Bu konuda bilhassa alevle püskürtme, plazma püskürtme tekniklerinin en çok uygulanan tekniği olduğu söylenebilir. Ayrıca en çok kullanılan seramik kaplama malzemeleri de metal oksitlerdir. Bunlar özellikle aşınma direnci, korozyon direnci, ısı bariyer gibi bazı özelliklerinin iyi olmalarından dolayı tercih edilir [29-31].

Metalik olmayan kaplamaların diğer bir kolu olan organik kaplamaların en önemli temsilcisi boyalardır. Boyalar pigment adı verilen çok ince parçacıklarla bunları askıda tutan uygun özellikteki taşıyıcıların karışımından oluşurlar. Genel olarak boyalar; güzelleştirme boyaları, tanıtmaya boyaları, koruyucu ve tecrit edici boyalar olmak üzere çeşitli tiplerde imal edilirler. Genellikle metal oksitlerden ibaret olan ve pigment adı verilen renkli maddeler boyanan metalin yüzeyi ile reaksiyona girerek yüzeye tutunur ve sağlam tabakalar oluştururlar. Boyanın sıvı kısmında genellikle alkid reçinesi, tiner ve kobalt naftanat bulunur. Boya ve benzeri kaplama malzemeleri ile korozyon kontrolü çok yaygın bir yöntemdir. Bu uygulamanın çok yaygın olmasının başlıca nedenleri; uygulama kolaylığı, maliyetinin düşük olması, koruyuculuk özelliği yanında dekoratif özelliğinin de olması sayılabilir [27].

Gerek metalik, gerekse metalik olmayan kaplama yöntemlerinde kaplama artı ana malzemeden oluşan kompozit sistemin özelliklerini bilmek gerekir. Kaplama uygulamalarında optimum performans için bu kompozit sistemi iyi kontrol etmek lazımdır [28].

5.2.1. Sert krom kaplama

Sert kromun endüstride uygulanması her geçen gün artmakta ve kullanımı sonucu yeni fikirler ortaya çıkmaktadır. Sert Krom kaplamalar kromik asit çözeltilerinin elektrolizi ile elde edilir [27].

Sert krom kaplamanın özellikleri

1. Sertlik ve aşınmaya direnç,
2. Korozyon ve ısıya direnç,
3. Düşük sürtünme katsayısı,
4. Görünüş ve dekoratif özellikler. .

Sertlik ve Aşınmaya Direnç

Sertlik

Sert Krom kaplamada alt metalin gösterdiği direnç sebebiyle ölçmek oldukça zor olup, ortalama sertliği 800 – 1000 HV civarındadır. Sertlik ölçümü pratikte mikro sertlik cihazlarıyla yapılır ve 1 kg' dan küçük yükler uygulanır. Kaplamalar en az 0,125 mm tercihen 0,25 mm olmalıdır. Bu durumda ana metalde deformasyon olmadan sertlik ölçülebilir. Bu değerler gerektiğinde ekstrapolasyonla diğer sertlik değerlerine çevrilebilir. Krom kaplama tabakasının çok sert olması daima merak konusu olmuş ve araştırmacıların bu yönde yaptıkları çalışmalardan sertliği etkileyen en önemli faktörün banyo özellikleri olduğu saptanmıştır.

Akım yoğunluğu ve sıcaklık

Bazı araştırmacılar kaplamanın sertliğini bu iki değere bağlı olarak incelerler. Elde edilen sonuçlar, 900 – 1000 vickerslik maksimum sertlik değerlerinin 30 – 40 °C dolayında 10 amp/dm² 'lik akım yoğunluklarında ve 55 – 60 °C arasında

30 – 60 amp/dm²'lik akım yoğunluklarında elde edildiklerini göstermiştir. Pratikte banyo sıcaklığındaki düşme kaplamanın matlaşmasına ve kurşuni bir renk olmasına ve sertlikteki 600 HV 'yi bulan düşmelere neden olur. Sabit bir akımda banyo sıcaklığı arttığında kaplama beyaz bir renk alır. Kenarlarında yanma başlar ve sertlik 70 °C 'de 600 HV 'ye kadar düşer [21].

Kromik asit ve sülfürik asit konsantrasyonu

Kromik asit / sülfürik asit oranı sabit kalmak şartıyla, kromik asitteki artış sertliği düşürmektedir. Genellikle kullanılan 100/1 oranı için, kromik asit 250 gr/lit, SO₄ ise 2,5 gr/lit olarak en çok kullanılan miktarlardır [21].

Üç valanslı krom miktarı

Sertliği kontrol eden üç valanslı krom miktardan 3,25 gr/lit arasında tutulmalıdır, bu sınır aşıldığında sertlik düşer [21].

Aşınmaya direnç

Sert kromun aşınma direnci esas olarak sertliğine ve kaplanan metalin düşük yüzey enerjisine bağlıdır. Birçok durumda sert krom kaplama için son derece önemli olan aşınma direnci hakkında deneysel veriler ortaya koymak son derece zordur. Bilinmesi gereken en önemli husus, krom kaplanan parçanın diğer parçalara göre beş veya on kat daha fazla aşınma direnci gösterdiğidir [21].

Korozyon ve Isıya Dayanımı

Korozyona dayanımı

Birçok uygulamada sert krom kaplama kimyasal ve karşı tesirli temel maddelerin etkilerine dayanıklıdır. Kaplamanın koruyucu özellikleri birçok

faktöre bağılı olarak değişmektedir. Bunlardan bir tanesi kaplanan metalin çok ince yapısına sahip olması gerekliliğidir. Oksitleyici ve redükleyici korozyona dayanım aranan özelliklerdir. Ana metalin hazırlanması, kaplamanın tokluğu ve homojenliği kaplanan parçanın performansını önemli ölçüde etkiler. Oksitleyici ve redükleyici reaktiflere bazı karşı tesirli kimyasal maddelere karşı direnç Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Sert Krom kaplama tabakalarının çeşitli ortamlarda korozyona dayanımı

<u>İnorganik Asitler</u>	<u>Dayanım</u>
Arsenik Asit	Orta
Kromik Asit	Orta
Hidroklorik Asit	Hızlı Etkilenme
Nitrik Asit	Yavaş Etkileme
Fosforik Asit	Etkilenir
Sülfirik Asit	Orta

<u>Organik asit</u>	<u>Dayanım</u>
Asetik Asit	Yavaş Etkilenme
Benzoik Asit	İyi
Sitrik Asit	Yavaş Etkilenme
Oleik Asit	İyi
Oxalit Asit	İyi
Trikolorasetik Asit	Etkilenir
Ürik Asit	İyi

<u>Gazlar</u>	<u>Dayanım</u>
Atmosferik Hava	İyi
Sıcak Oksikleyici	İyi
Sıcak Redükleyici	İyi
Amonyak	İyi
Kobalt	İyi
Klor	Etkilenir

Isıya dayanımı

Sert krom kaplama ısı etkilerine karşı iyi dayanmaktadır. Isının en önemli etkisi antikorozyon özellikleri ortadan kaldırmasıdır. 400°C civarında sertlik hafifçe düşmektedir. Bu sıcaklığın üzerinde ise sertlik saf kromun sertliğine düşer. Isı mekanik özellikleri de etkiler, elastik modül 400°C 'de artar. 1200°C'nin üzerinde yavaşça azalır ve bu sıcaklıktan sonra hızla artar [21].

Düşük sürtünme katsayısı

Sert krom kaplamanın endüstriyel alanda ve mühendislik uygulamalarında bu denli önem kazanmasının nedenlerinden biri de kaplamanın çok düşük yüzey enerjisine dolayısıyla düşük bir sürtünme katsayısına sahip olmasıdır [21].

Görünüş ve dekoratif özellikler

Metalik kromun çekici görünüşü, geniş ölçüde kullanım alanı bulunmasına neden olur. Bununla birlikte dekoratif krom kaplama aşınma direncinin azlığı nedeni ile pek kullanılmamaktadır. Sert krom kaplamanın ince tipleri güzel görünüm amacıyla parlatılabilir. Aşınma ve korozyon direnci gibi özelliklerini bu işlemler sonucunda kaybetmezler [21].

Bu parlatma işlemleri

1. Ayna parlatma
2. Cilalayarak parlatma
3. Satenle parlatma
4. Donuk parlatma

Ayna parlatma esas metalin aşırı derecede parlatılması, cilalanması, kaplanması ve son işlem kademelerinden oluşur. Daha düşük standarttaki parlatma cilalayarak parlatmadır. Parlak ve düzgün bir ana metal üzerine uygulanan kaplama ufak parçalarda düzgün ve parlak bir görünüm sağlar. Saten parlatma bir abrazitle cilalama, saten ile işlemin ya da kaplamadan önce saçmalarla temizlenmesi, gerekirse ikinci bir parlatma işleminin yapılması şeklindedir. “X” ışınları makineleri ve benzer aparatın taşınmasında ihtiyaç duyulan kolonlarda normal kaplama aşınmayı karşı koyamaz. Bu açıdan cilalayarak veya saten parlatma avantajlıdır. Mikrometre ve ince ayar makinelerinin parçaları korozyona karşı saten parlatma yapılmış sert krom kaplamayla korunur. Dikiş makinelerinde sualtı balıkçılığı aletlerinde, dağcılık gereçlerinde, buz hokeyi ayakkabılarında son işlemlerin kaliteli olduğu krom kaplama kullanılır.

Paramanyetik özellikler

Bu kaplamanın en önemli özelliklerinden biride paramanyetik¹ olması ve metal yüzeylerinin antimanyetik olması amacıyla kullanılabilmesidir. Buna klasik bir örnek ege ve törpülerdir. Bunlar ince krom tabakalarıyla kaplandıklarında çelik talaşının arasında kalması engellenir ve ege temiz kalır.

Çatlak Yapısı

Krom katotta ince bir tabaka halinde toplanmaya başladığı zaman birçok mikroskobik gözenekler ihtiva eder. Tabaka kalınlaşmaya başladığı zaman porozite azalmaya başlar. Krom tabakası 0,5 µm kalınlığa ulaştıca bu mikroskobik çatlaklar ortaya çıkmaya ve kalınlık büyüdükçe artmaya başlar. Kalınlık 1 mikrona ulaştığı zaman çatlak sayısı çok artar. Fakat porozite

¹ Manyetik çekme kuvvetine çok az cevap veren cisimlere Paramanyetik cisimler denir. Mesela hava, oksijen, dökme demir, ferro sülfat, ferrik sülfat ve palladyum böyledir.

nispeten azalır. 0,25 μm kalınlığında iken birçok gözenek vardır. Buna karşılık çatlaklar yoktur [32].

Sert Krom Kaplamada İşlem Kademeleri

Sert krom kaplama için genellikle aşağıdaki sırayı takip etmek uygundur.

1. Isıl işlemi,
2. Aşındırma, parlatma, püskürtme yoluyla yüzey temizleme,
3. Düzenek kurma (parçaların askıya alınması, anot, katot, dizaynı),
4. Yüzey temizleme (yağ alma),
5. Pas ve yabancı maddelerin giderilmesi (asitte bekletme),
6. Anodik dağlama,
7. Çalkalama ve ön ısıtma,
8. Kaplama,

Isıl işlem

Genellikle sert çeliklerde gereklidir. Kaplamadan önce gerilim giderilmesi için bu işlem uygulanmamışsa kaplamada çatlama ve bozulmalar olur. Sertliği 40 HRC'den düşük çelikte bu işleme gerek yoktur, eğer sertlik 40–57 HRC arasında ise gerilim giderme gereklidir. İşlem 150°C 'de ısıtılmış yağda yarım saate yapılır.

Aşındırma – Parlatma

Aşındırma işlemleri için kullanılan zımpara taşları karbondan (Sic) veya koridon (Al_2O_3) aşındırıcıları ile yapıştırıcı olarak silikat esaslı çimentoların uygun şekilde kalıplanması ile hazırlanır ve kaba parlatma işlemlerinde de kullanılır. Daha önce parlatmada ise güderi, saten diskler kullanılır.

Düzenek hazırlama

Kaplanacak parçaların katot olarak banyoya yerleştirilecek hale getirilmesi, uygun bir düzen içersinde yapılmalıdır. Banyodan optimum faydayı sağlamak için gerekli olan tasarım aşağıda belirtildiği gibi yapılmalıdır.

Parçalar gereği kadar büyükse, (büyük, şaftlar, merdaneler) bu durumda parçalar bakır askılara alınır. Kaplanmayacak kısımlar bal mumu veya özel boya ile izole edilir ve kaplamaya hazır hale getirilir. Parçalar ufak boyutta iseler bu durumda çok miktarda parça askıya alınır.

Yüzey temizleme

Parçalarda tabaka koruyucu yağ, boya varsa tiner ile yıkanır. Daha sonra buharlı yağ alma banyosunda buhar seviyesi yükseldikten sonra yağının alınır.

Dağlama

Kaplamanın yüzeye iyi yapışması için uygulanır. Dağlamanın dört ana prensip aşağıdaki gibidir;

1. Kaplama çözeltisine daldırma,
2. Ters akımla kaplama çözeltisinde dağlama,
3. Sülfürik asitte anodik dağlama,
4. Anodik kostik dağlama.

Kaplama çözeltisine daldırma

Krom kaplama çözeltileri gerçekte çok kuvvetli asittir ve çelik parçaları hafif dağlarken, bakır ve pirinç parçaları daha derin bir şekilde dağlarlar. Bu metot genellikle dağlama derinliği arttığı zaman akım düşmesinden dolayı oluşan

erozyon tehlikesi durumlarında kullanılır ki bu durum en çok plastik kalıp malzemeleri ve parlatılmış dökme demirlerde görülür. Parlatılmış pirinç ve bakır yüzeyindeki ince kaplamalar için banyo kapalı iken yüklenir ve 30 sn zarfında kaplamaya başlanır. Daha uzun sürelerde dağlama derin olur ve erozyon tehlikesi vardır.

Ters akımla kaplama çözeltisinde dağlama

Bu metot parlatılmış çelik yüzeyinde bazı dökme demir parçalarında çok başarılıdır. Dağlama normal olmakla birlikte iyi yapışma sağlanabilir. Eğer dağlama işlemi 20–30 sn. 'den fazla bir sürede yapılırsa parçalar üzerinde gevrek kaplama tehlikesi ortaya çıkar. Genel uygulamada parça, çözelti içinde 3–10 dk. ısınması için bırakılır. Kaplamadan önce ters akım yoğunluğu 15–30 sn. uygulanarak dağlama işlemi yapılır.

Sülfürik asitte anodik dağlama

Sertleştirilmiş ve alevle sertleştirilmiş çelikleri, nikelli paslanmaz çelikleri, kromlu paslanmaz çelikleri, dökme demir pirinç ve sarı malzemeleri 27 amp/dm² akım yoğunluğu ve % 30 'luk çözelti içinde dağlamak en uygundur. Asit genellikle plastik veya kurşun tanklarda bulunur. Nemlendirici madde miktarı yüzeyde yağlı bir tabakanın oluşumunu engelleyecek biçimde ilave edilir. Normal sertleştirilmiş çelikler, ince kaplamalar için 3 – 5 sn. kalın kaplamalar için 3 – 5 dk. dağlanır. Bazı tip kötü aşındırılmış yumuşak çeliklerde yüzeydeki metal parçalarının dağlama ile giderilmesi için uzun süre yaklaşık 10 dk dağlama yapılır. Dökme demirler sülfürik asit içinde 20 sn. süre ile dağlanır. Yüzeydeki karbon filmi temiz su ile giderildikten sonra kaplama banyosuna alınırlar. Nikel parçalar, plakalar, nikelli paslanmaz çelikler sülfürik asit içersinde 10 dk.. süre ile dağlanırlar. Kaplamadan sonra gri mat bir görünümleri vardır. Nikel ve nikelli çelikler çok düşük akım yoğunluğunda kaplanırlar. Bazı pirinç ve sarı parçalar sülfürik asit içersinde nikel parçalara benzer şekilde dağlanırlar [32].

Anodik kostik dağlama

Anodik kostik dağlama kalın kaplama yapılacak piring ve bronz parçalar için kullanılır. Bunlar normal olarak 10 dk süre ile dağlanırlar daha sonra HCL içersinde temizlenir, ölü banyoya yüklenirler ve 10 - 30 sn banyoda tutulurlar [32].

Kaplama işlemi

Sert Krom kaplama sistemlerinde parçaların kaplama kademesi çok önemli yer tutar. Seçilen banyo çeşidi, çalışma şartları ve kaplama banyosunun kontrolü kaplamanın kalite ve özelliklerini etkiler.

Konvensiyonel sert krom banyosu

İki ana çözeltiden oluşur. H_2SO_4 ve CrO_3 150-500 gr/lt arasında ve CrO_3/ SO_4 oranı olarak da 80-120/1 kullanılır, 100/1 oranı en çok kullanılan orandır. Standart çözeltilerde katot etkinliği daha fazladır. Konsantre çözeltilerde katot etkinliği daha iletken olup, daha az voltaj gerektirir.

Küvetler

Krom kaplamada kullanılan küvetler, çelikten yapılır ve plastik ya da kurşun alaşımlı levhalardan biri ile kaplanırlar. Günümüzde plastik kaplamalar daha çok kullanılmaktadır [33].

Isıtma

Küvetler içerden veya dışarıdan ısıtılabilir. Küçük küvetler için kurşun, kurşun alaşımlı veya buhar helezonları veya kuarz kaplı elektrikli iç ısıtıcılar kullanılabilir. Büyük küvetler ise dışarıdan ısı jeneratörleri ile ısıtılır.

5.2.2. Akımsız nikel kaplama

Bu tür kaplamalar nikel-fosfor ve nikel-bor alaşım kaplamalardır. Bu nedenle endüstriyel uygulamada yaygın olarak kullanılan elektrolitik nikel kaplamadan farklı özelliklere sahiptir [34].

Akımsız nikel kaplamaların özelliklerini aşağıdaki ana başlıklar altında toplayabiliriz. Bunlar;

- Genel Özellikler (görünüşü, mikro yapısı ve bileşimi),
- Fiziksel Özellikler (yoğunluk, ergime noktası, gözeneklilik, yapışma, elektriksel özellikler, termal iletkenlik, manyetik davranış),
- Mekanik Özellikler (sertlik, çekme dayanımı, aşınma direnci, sürtünme katsayısı, tabaka kalınlığı),
- Korozyon Özellikleri.

Kaplamanın Genel Özellikleri

Mikroyapı

Kaplamanın yapısı amorf¹ haldedir, dolayısıyla bu malzemeler bazı literatürde "metalik cam" olarak geçmektedir [35]. Akımsız nikel'in en önemli özelliğinden biri düzenli bir yapıya sahip olmasıdır. Tüm elektrolitik kaplamalarda kaplama kalınlığı parçanın şekline ve anoda olan uzaklığına bağlı olarak büyük oranda değişebilir. Bu farklılık kaplamanın maksimum performansını etkiler ve kaplamadan sonra ikinci bir yüzey işleme operasyonunu gerektirebilir. Kaplama hızı ve kalınlığı banyo sıvısı ile temas eden parçanın bütün yüzeylerinde hemen hemen aynıdır ve $\pm 1-3$ mikron

¹ Amorf, katı atomların kararlı bir kristal yapıya sahip olmadığı katılar için kullanılan terimdir. Cam gibi maddeler, polystyrene gibi polimerler, pamuk helva gibi yiyecekler ve ruj gibi makyaj malzemeleri amorf katılara örnek gösterilebilir.

arasında bir fark oluşturur. Çukur ve kör deliklerde de dış yüzeylerle eşit kalınlıkta kaplama verir ve kaplama hızı oldukça yavaştır [35-36].

Görünüş

Parlatılmış yüzeyler üzerinde ayna parlaklığında tabakalar yığılır. Bu durum kesin değildir ve asit veya alkali çözeltiler çok daha çekici metal kaplamalar verebilir. Ayrışım çözeltilerinin bileşimlerindeki değişikliklerde kaplamaların görünümünü etkiler [37].

Bileşim

Kaplama tabakasının bileşimi çözeltinin fosfor oranına göre değişmektedir. %8-10 fosfor içeren kaplamanın kimyasal bileşimi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 5.2. Akımsız nikel kaplama tabakasının bileşimi

Kaplama Bileşeni	% Miktar
Nikel	90-92
Fosfor	8-10
Karbon	0,04
Oksijen	0,0023
Azot	0,0047
Hidrojen	0,016

Kaplamaların Fiziksel Özellikleri

Akımsız nikel mühendislik malzemeleri, içerisinde çok az olan metalik cam dokusundadır. Kaplamada doku kristal ya da toz dokusunda olmayıp, amorfudur. Mikroyapı incelendiğinde, tüm metallerde mevcut olan tanelerin ve tane sınırlarının olmadığı görülür. Örneğin, sert krom kaplamada mevcut olan

mikro çatlaklar söz konusu değildir. Bu özelliğinden dolayı ana malzemeyi dış ortamdan tam anlamı ile izole eder. Diğer bir özelliği de, çukur ve kapalı deliklerde de dış yüzeylerle eşit kalınlıkta kaplama vermesidir. Kaplama kalınlığı uygulamadaki ihtiyaca göre düzenlenebilir.

Yoğunluk

20 °C' de metalik nikelin yoğunluğu $8,9 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Akımsız nikel kaplamanın yoğunluğu nikelin yanında bulunan elementler ve oranlarına bağlı olarak 7,7–8,5 gr/cm^3 arasında değişir. Kaplamada fosfor miktarı arttıkça yoğunluğunda düşme gözlenir [35-36].

Gözeneklilik

Gözeneklilik alt tabakadan ve ön işleminden çok etkilendiği için burada tahmini çok zor bir özelliktir. Fakat yine de yüzeyde hafif birkaç gözenek bulunur.

Yapışma

Akımsız nikel tabakasının yapışması malzemenin ön işlemine bağlıdır. Kaplamanın birçok metalle oluşturduğu bağ son derece mükemmeldir. Altlık malzemenin yüzeyi iyi hazırlandığı taktirde banyo çözeltisi mikroskop altı empüriteleri temizler ve kaplamanın altlık malzemede metalik olduğu gibi, mekanik bağ da oluşmasını sağlar. Tüm çelik ve metaller ile plastik ve metal olmayan maddeler üzerine örneğin, pik, çelik, alüminyum, pirinç ve bronz gibi tüm alaşım yüzeylerine kaplama yapmak mümkündür [35].

Manyetik Davranış

Akımsız nikel kaplamaların fosfor miktarı % 10 ve üzerinde olan kaplamalar tamamen manyetik değildir. Düşük fosfor yüzdeli akımsız nikel kaplama manyetik hassasiyete sahiptir. Oda sıcaklığında nikel-fosfor tabakaları

manyetik değildir. 400 °C'nin üstündeki ısıtılma işleminden sonra manyetiklik özelliği tekrar artar [37].

Kaplamaların Mekanik Özellikleri

Akımsız nikel kaplamanın mekanik özellikleri diğer camsı malzemelerin özelliklerine benzer. Yüksek mukavemet, sınırlı süneklik ve yüksek modüllü esneklik gibi mekanik özellikleri vardır. Ticari türlerinde en son gerilim mukavemeti 700 MPa 'nın üzerindedir ve bu özelliği ile kötü kullanımdan meydana gelebilecek zarara karşı direnç sağlar. Süneklik özelliği mühendislik malzemelerinkinden düşük olmasına rağmen kaplamanın gerektirdiği düzeydedir. Kaplamanın ince uygulanması durumunda, malzeme yüzeyinde çatlama olmadan eğilebilir. Isıl işlem ile sertleştirmeden sonra mukavemet ve süneklik özelliği azalır [36].

Sertlik

Akımsız nikel kaplamalarının tabaka sertlikleri ısıtılma işlemi öncesinde düşüktür. Kaplama yapıldığında mikro sertlik 500-600 HV olup, birçok sertleştirilmiş çelik alaşım malzemelerin sertliği ile hemen hemen aynıdır. Endüstriyel uygulamada akımsız nikel kaplamalar ısıtılma işlemi yapılmadan kullanılamaz. 400 °C'nin altındaki sıcaklıklarda uygulanan ısıtılma işlemi, yaşlanma yoluyla sertliğin 1000-1100 HV 'ye yükselmesini sağlar. Bu değerlerde ticari birçok sert krom kaplamanın sertliğinden daha iyidir. Malzemenin çalışma ortamına göre istenilen talepte sertlik ayarlaması yapılabilir [36-38].

Çekme Mukavemeti

Sünek metal kaplamalar fazla uzama, gevrek kaplamalar ise nispeten düşük uzama gösterirler. Bu kaplamaların uzamaları ise çok düşüktür. Akımsız nikel kaplamaların çekme mukavemeti genel olarak 600-700 N/mm²'dir [1].

Elastisite Modülü

Akımsız nikel kaplamaların, elastisite modülü modülü artan ısı işlem sıcaklığı ile artar ve daha sonra sabit hale gelir. Akımsız nikel kaplamaların elastisite modülü¹ genel olarak 170-200 N/mm² arasındadır.

Yumuşaklık

Akımsız nikel kaplamalarda kaplama tabakası oldukça yumuşaktır ve bu şekilde teknolojiye kullanılamaz. Yumuşaklığını gidermek için ısı işlem uygulanır, böylece yumuşaklık giderilmiş olur [35].

Aşınma direnci

Akımsız nikel kaplanmış malzemelerin aşınma direnci çok yüksektir. Bu tür kaplamaların endüstride tercih edilmesinin en önemli nedenlerinden birisi: aşınma direncinin yüksek olmasıdır [35, 38].

Uygulanan ısı işlem 400°C'nin altında olduğu için özellikle malzemelerde herhangi bir deformasyona veya mukavemet kaybına yol açmaz. Yüksek sertlik özelliğinden dolayı akımsız nikel kaplamanın aşınmaya karşı direnci, ısı işlem görsün veya görmesin her durumda yüksektir [36].

Aşınmaya karşı mukavemet kuru sürtünmede alaşım cinsine ve dokuya bağlı olarak iyi/çok iyi arasında değişkendir [39].

¹ Elastise modülü; Elastik deformasyondaki birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki doğrusal ilişkinin bir sonucu olup bir birim uzama başına gerilme olarak tanımlanır.

Sürtünme Katsayısı

Nikel yanında bulunan elementlerin doğal bir kaydırıcılık özelliği vardır. Bu nedenle plastik kalıplarında rahatlıkla uygulanabilir. Akımsız nikel'in çeliğe karşı sürtünme katsayısı yağlama yapılan koşulda 0,13 yağlama yapılmayan koşulda ise 0,4 civarındadır. Sürtünme özelliğinin değişmesinde, kaplamadaki fosfor yüzdesinin ve ısıl işlemin etkisi çok azdır [36].

Tabaka kalınlığı

Kaplamaların kalitesi hakkında en önemli özellik kaplama kalınlığıdır. Teorik olarak akımsız nikel kaplamaların kalınlığı ile ilgili herhangi bir sınırlama yoktur. Kaplamalarda, tabaka kalınlığı istenilen kalınlıkta ayarlanabilir. 2,5–7,5 mikrona kadar olan kalınlıklar genellikle zor lehimlenen metallerin lehimlenebilirliğini iyileştirmek amacıyla yapılır. 10–25 mikrona kadar ise korozyon direncini iyileştirmek için kaplama yapılır. Malzemenin kullanılacağı ortama göre kaplama kalınlığını ayarlamak mümkündür [35, 38].

Akımsız nikel kaplamada kaplama kalınlığı üst sınırı 125 mikron olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ise, daha kalın kaplamalar oluşturulabilirse de bu kaplamalar daha pürüzlü bir görünüm arz eder. Bu pürüzlülük muhtemelen çözeltideki empüriteler¹ sebebiyledir [35, 38].

Kaplamaların Korozyon Özellikleri

Nikel tabakalarının korozyona karşı mukavemetleri korozyon ortamına, tabakanın türüne, kaplama şartlarına ve ön işlemlere bağlı olarak değişir [42]. Akımsız nikel kaplama, diğer kaplamalardan farklı olarak korozyona karşı kendini feda eden bir kaplama olmayıp, malzemeyi ortamdaki tam anlamı ile

¹ Empürite (=katışkı) deyimi, çeliğin bileşimine çelik üretiminde kullanılan hammadde ile katkı maddelerinden rastlantısal olarak girip üretim sırasında giderilememiş olan elementler için kullanılır.

izole eden bir bariyer kaplamadır. Amorf dokusundan ve pasifliğinden dolayı saf nikel veya krom alaşımları ile karşılaştırıldığında korozif ortamlarda yüksek dirence sahiptir. Polikristal malzemelere nazaran amorf alaşımlar tane ve faz sınırları ihtiva etmediklerinden ve yüzeylerindeki camsı film dokusundan dolayı korozif saldırılara karşı daha yüksek dirence sahiptir. Bu kaplamalarda belirtilmesi zorunlu görülen bir husus, sertliği arttırmak amacıyla uygulanan ısıtıl işlemin akımsız nikel kaplamanın korozyon direncinde azalmaya yol açtığıdır. Bunun sebebi ise, ısıtıl işlem esnasında amorf dokunun kristal dokuya dönüşmesidir. Korozyon direncindeki bu azalma mutlak olmayıp, ısıtıl işlemin uygulandığı sıcaklığa ve süreye bağlıdır. Dolayısıyla parçanın çalışacağı koşullara bağlı olarak istenen sertlik değerine ve korozyon direncine bağlı olarak ısıtıl işlem prosesi düzenlenebilir.

Akımsız nikel kaplamada işlem kademeleri

Akımsız Nikel Kaplama için genellikle aşağıdaki sırayı takip etmek uygundur.

1. Yağ giderme,
2. Maskeleme,
3. Kumlama
4. Askılama
5. Yüzey hazırlama,
6. Durulama,
7. Kaplama,

Yağ Giderme

Yüzey işlem proseslerinde en iyi sonuçlar malzemenin üzerindeki yağ, kir, pas, oksit, kalıp artıkları, kesme yağları ve kaydırıcılar gibi kirliliklerin temizlenmesi ile alınır [44]. Düz yüzeyli veya karmaşık şekilli parçanın kirlilik derecesine ve şekline göre temizlik işlemi daha etkili olarak yapılabilir. İşlem zamanı parçanın tipine ve kirlilik derecesine göre 5–10 dk. civarında değişir.

Kullanılacak yağ alma ortamının kaplanacak metale uygun olmasına dikkat edilmelidir [43].

Kaplama sanayinde yağ giderici olarak; klorlanmış solventler ve alkali kimyasallar kullanılmaktadır. Yağ giderme işlemlerinde trikloretilen ve oksitlenmiş yağların giderilmesinde metilen klorür tercih edilmektedir. Trikloretilen ısıtılarak buhar fazına geçirilir ve yüzey temizliği yapılacak malzeme buhar içerisinde 5–10 dk. bekletilerek işlem gerçekleşir [44].

Maskeleme

Maskeleme kaplama yapılacak malzeme üzerinde kaplanması istenmeyen kısımlar için bu bölgeleri kapatan uygun bileşimli malzemeler ile koruma işlemidir [47]. Maskeleme malzemesi olarak vinil plastik malzemeler veya lak¹ kullanılır. Banyo çözeltisine dayanıklı, reaksiyona girmeyen ve kaplama proses sıcaklığında zarar görmeyen malzemeler tercih edilir.

Kumlama

Akımsız nikel ile kaplanacak parçaların ve malzemelerin yüzeyi temiz olmalı ve oksit filmi içermemelidir. Çözücü buharla yağ gidermede dahil olmak üzere normal ön işlem yöntemleriyle uzaklaştırılamayan ağır katılar, boyalar, organik tabakalar içeren yüzeyler kaplamaya uygun değildir. Bunlar kumlama işlemi ile giderilir. Kum olarak silis, cam kürecik veya alüminyum oksit tozlar kullanılır. Kumlamanın en önemli diğer avantajı yüzey pürüzlendirilerek kaplamanın yapışması sağlanır ve bağ mukavemeti arttırılır [45].

¹ Bir çeşit yüzey muhafaza malzemesi

Askılama

Akımsız nikel kaplamanın en büyük avantajlarından biri iş parçasına elektriksel kontağın gerekli olmamasıdır. Bu nedenle askılama işleminin amacı, ön işlem kademeleri ve kaplama esnasında parçanın çözelti içerisinde istenilen konumda tutulmasını sağlamaktır. Askılar, düz çubuk, kutu T ve kademeli çubuk şeklinde olabilir. Askı malzemeleri neopren veya yumuşak lastik kaplanmış çelik, sıcaklık ve aside dayanıklı vinil pilastisol kaplı çelik veya paslanmaz çelik olabilir [45].

Yüzey Hazırlama

Kaplama öncesi malzeme yüzeyinin işleme hazır hale getirilmesi gerekir ve buna ön aktifleme işlemi denilir. Malzeme yüzeyinde ince film halinde aktiflenmiş yapı elde edilir. Böylece kaplama malzemeye daha iyi yapışarak istenilen özellikte kaplama tabakası elde edilir. Alt malzeme türüne göre değişik aktivasyon işlemi uygulanır. Çelik, sfero ve dökme demir gibi metaller için tek tip aktivasyon, alüminyum alt malzeme için ise ayrı bir aktivasyon işlemi uygulanır.

Durulama

Kaplama prosesinden önce malzemelerin yıkama işleminden geçirilmesi gerekir. Bunun için malzemeler, kademeli ve suyu taşar vaziyette üç adet durulama banyosundan geçirilir. Burada kullanılan suyun saf su olması gerekirse de, teknikte içme suyu da kullanılmaktadır.

Kaplama prosesi

Kaplama yapılacak parçalar hazırlanan kaplama banyosunda istenilen kalınlığa kadar kaplanır. Parçaların yanına numune test parçaları konularak

her saat bu test parçaları çıkartılarak kalınlık ölçülür. Kaplama banyosunun sıcaklığı 82-90°C ve pH ise 4,4-5,2 arasında olmalıdır [46].

Kaplama işlemi devam ederken sıcaklık ölçümü, pH ölçümü belirli aralıklarla ölçülüp proses formuna kaydedilir. Devir daim ile banyo çözeltisi karıştırılmalı ve filtreden geçirilerek banyodaki tortular temizlenmelidir. Kaplama çözeltisinin analizi 15–20 dakika aralıklarla yapılarak eksilen çözeltinin ilavesi yapılır. Bu analiz yöntemi kullanılan kimyasal türüne göre değişmektedir. Tedarikçi firmadan kimyasal temin edilirken analiz ve ilave yöntemi hakkında detaylı bilgiler alınarak o bilgiler doğrultusunda analizler yapılır. Hatalı veya kaplaması bozuk olan kaplamalar saf nitrik asit içerisinde sökülür. Sökme işlemi devamlı kontrol altında olmalı ve alt malzemenin nitrik asitten zarar görmemesine dikkat edilir. Sökme işlemi başladığında berrak olan nitrik asit yeşil renge dönüşür. Daha sonra kumlama yapılarak kalan kaplamalar sökülüp, malzeme yeniden kaplama prosesine tabii tutulur.

5.2.3. Titanyum nitrür kaplamalar

Titanyum nitrür (TiN), ticari olarak ilk kez CVD yöntemi ile takımlar üzerine kaplanmıştır. Esas olarak, yüksek hız çeliklerinden yapılmış takımlarda metal kesimi için kullanılır. Fakat yataklar, contalar ve erozyondan koruma tabakası olarak da tribolojisel uygulama alanları bulmuştur. Titanyum nitrürün ilgi çeken bir özelliği, dekoratif uygulamalarda da kullanımını arttıran altın sarısı rengidir. Mükemmel tribolojik özellikleri nedeniyle titanyum nitrür, önemli oranda araştırmacıların ilgisini çekmiştir ve tabi ki de, tribolojik açıdan, üzerinde en fazla araştırma yapılmış sert ince kaplamadır. Titanyum nitrürün triboloji bir kaplama olarak uygunluğu, onun sertliğiyle çelik taban malzemelerine iyi yapışmasıyla ve kimyasal kararlılığıyla açıklanmıştır [49, 48].

2000 – 3200 HV sertliğe sahip olan TiN, takım çeliği ve sert metal takımların yüzeyine 4 mikron'a kadar kaplanabilir. Yüksek sertlik ve yüzey yağlama ve

takım aşınmasını önemli ölçüde azaltmaktadır. Matkap, kılavuz, freze, zımba, broş, kesme kalıbı ve azdırma çakılarında mükemmel performans sağlar. TiN kaplanmış takımların ömrü 3-30 kat artmaktadır. Özellikle azdırma çakılarında 30 misline varan ömür artışlarına ulaşılmaktadır. TiN kaplı yüksek hız çeliği matkapların kesme performansı iş parçasına bağlıdır. Sade karbonlu çelik, ısıl işlemle sertleştirilmiş çelik ve takım çeliği delindiğinde TiN kaplı matkapların kaplanmamışlara kıyasla 4 kat; dökme demir ve demir dışı metaller delindiğinde 5 kat; paslanmaz çelik delindiğinde ise 9 kat daha uzun takım ömrüne sahip olabildiği çeşitli çalışmalarda raporlanmıştır. Ayrıca kesme kuvvetinde % 17 'lik bir azalma olduğu gözlenmiştir [44].

Frezeleme işleminde de kaplamalı ve kaplamasız uçların performans farklılığı gözlenebilir. Frezelemede kesme işlemi süreksiz ve darbelidir. İşlem darbeli olduğu için özellikle kaplamanın tokluğu önem taşımaktadır. TiN kaplı takımlar kullanıldığında, kaplanmamış takımlarla kıyasla 3-10 kat takım ömrü artışı elde edilmektedir. Ayrıca TiN kaplı takımların kullanımıyla kesme hızı iki misline kadar artırılabilirdiği için yüksek verimlilik elde edilir [44].

Kaplamanın Özellikleri

Taban malzemesine yapışma

Kaplama ve taban malzemesi arasındaki zayıf etkili yapışma, kimyasal bağlanmanın düşük bir oranda olmasından, zayıf ara yüzey mekaniksel temastan, düşük kırılma tokluğundan veya yüksek iç gerilmelerden kaynaklanabilir. Bu özellikler kaplama prosesine bağlıdır ve bu yüzden de kaplama teknolojisi geliştirilmesi, yukarıda belirtilen özelliklerin en uygun kombinasyonunun elde edilmesi ve sonuçta da yüksek etkiye sahip bir yapışmanın sağlanması için kaplama prosesinin optimize edilmesine odaklanmıştır. İşlemde olan mekanizmalar, her zaman tam olarak anlaşılabilmiş değildir, fakat optimizasyon da hiçbir zaman çok başarılı olmamıştır. Plazma destekli PVD prosesi sırasındaki yüksek seviyeli

iyonizasyon etkinliğinin daha iyi yapısal, bileşimsel ve sertlik özelliklerine sahip filmlerin üretilmesini sağlayacağı gösterilmiştir. TiN kaplama ve çelik taban malzemesi arasındaki bir titanyum ara tabaka yapışmayı geliştirebilir ve daha iyi tribolojik özellikler sağlar [48-50].

Abrazif aşınma direnci

Çelik parçaların abrazyona karşı aşınma direnci TiN kaplama uygulanmasıyla önemli oranda artırılabilir. Aynı zamanda yüksek sertlik de, abrazif aşınma direncini geliştiren diğeri bir parametredir. İlk baştaki yüzey pürüzlülüğü aşınma direncini etkilediği için, daha düzgün yüzeyler daha az aşınma ile sonuçlanır. Titanyum ve titanyum nitrürün çok katlı tabakalarıyla, daha iyi pürüzlülüğe ve abrazyon direncine sahip daha kalın filmler üretilir. Kaplama/tabana malzemesi sisteminin yük taşıma kapasitesi de önemlidir. Hafif abrazif aşınma altında, ince kaplamaların abrazif partiküller tarafından oluşturulan plastik oyukların kesişme noktalarında filmin bölgesel olarak ayrılması sonunda hasara uğradığı bulunmuştur. Öte yandan daha kalın kaplamalar, temas gerilmelerine elastik olarak dayanma kabiliyetine sahiptirler ve altta bulunan taban malzemesinin çok az veya hiç deformasyonu bir mikro yontulma veya parlatılma mekanizmasıyla alçalmaya uğrarlar. Fakat daha kalın titanyum nitrür kaplamalarda, mikro yapısal etkilerle ilişkili olarak aşınma hızında farklılıklar gözlenmiştir. Bu durum, kaplama yoğunluğundaki bir azalmaya ve artan kalınlıkla büyüyen tane boyutuna dayandırılabilir. Şiddetli abrazif aşınma altında ise, kalın kaplamalar çoğunlukla kohezif bir kırılma mekanizmasıyla hasara uğrarlar. Daha önce de belirtildiği üzere, titanyum nitrür kaplamaların aşınma direnci, titanyumun ya bir ara tabaka olarak uygulanmasıyla ya da kaplama tozunun içine disperse edilmesiyle daha fazla artırılabilir ve bu da yine iyi bir yapışma sağlar [48,49].

Erozif aşınma direnci

Titanyum nitrür tabakasıyla kaplanmış çeliğin erozif aşınma direnci, kaplanmamış çeliğe göre oldukça iyidir. Aşınma direncinin, kaplama/tabana malzemesi sertliğine, erozif partiküllerin şekline bağlı olduğu bulunmuştur. Daha yüksek kompozit sertliği, yani kaplama/tabana malzemesi kombinasyonunun sertliği, genelde erozif aşınmayı azaltır. Keskin yüzeyli partiküller tarafından normal çarpışmayla karşı karşıya kalındığı zaman, daha kalın kaplamaların, ince olanlarına göre daha büyük erozyon direnci sağlayacağı beklenebilir. Öte yandan, yüzeye 45 °'lik bir açıyla gelen yuvarlak partiküller tarafından çarpışmayla karşı karşıya kalındığı zaman, daha ince kaplamaların daha iyi erozyon direnci sağlayacağı gösterilmiştir.

Yüksek sıcaklıklarda, 2 µm kalınlığında TiN kaplanmış çelik yüzeyler için, 200-400 °C sıcaklıkları arasında hacimsel aşınma hızının sıcaklıkla arttığı gözlenmiştir; bunun ana nedeni ise, sıcaklık yükselmesiyle kaplamanın sertliğinde meydana gelen düşüştür [48].

Çeliğe karşı kayma

Kayma temaslarında titanyum nitrür ve çelik arasında, geometri, hız, yük, pürüzlülük gibi temas parametrelerine bağlı olarak, temas mekanizmasında ve aşınma prosesinde farklılık vardır.

Fakat aşınma prosesinde geniş bir aralıktaki temas koşulları için tipik olan 4 bölge tanımlanması mümkündür. Aşınma mekanizması her bölge için değişiktir.

1. Sürtünmenin ve aşınmanın artmasıyla, ilk aşınma,
2. Yüksek sürtünme ve aşınmayla, tabaka oluşumu,
3. Düşük sürtünme ve aşınmayla, kararlı hal aşınması,
4. Yüksek sürtünme ve aşınmayla, tabakanın parçalanması.

TiN ve çelik kayma temaslarında kararlı hal sürtünme katsayısı, çoğunlukla oldukça yüksek olarak gözlenmiştir. Çeliğe karşı çelik temaslarında görülen 0,6 seviyesindeki sürtünme katsayısı değeriyle yaklaşık olarak aynıdır, hatta bazen daha yüksektir. Öte yanda, çok benzer temas şartlarında yüksek hızlarda, 0,17 seviyesine kadar düşük sürtünme katsayısı değerlerinin bulunduğu da belirtilmiştir. Anlaşılacağı üzere yüksek hız, düşük sürtünme katsayısı değerleri vermektedir. Fakat yükteki, temas geometrisindeki, malzemedeki ve ortamdaki değişikliklerden kaynaklanan bir dağılma durumu vardır. Örneğin 0,2 m/s 'nin üzerindeki hızlarda bile, 1,15 'e varan aşırı derecede yüksek sürtünme katsayısı değerleri gözlenmiştir.

Büyük yükler altında, film kalınlığının sürtünme katsayısı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur; fakat düşük yük şartlarında, film kalınlığının mutlak değeriyle sürtünmenin arttığı gözlenmiştir. Titanyum nitrür kaplamanın mikro yapısının ve böylece de kaplama yönteminin, kaplamanın tribolojik özellikleri üzerinde bir etkisi olacağı açıktır. Titanyum nitrür kaplamanın aşınma direnci, bir titanyum ara tabakasının uygulanmasıyla geliştirilebilir. Bu şekilde, düşük temas gerilmelerinde kaplama hasara uğramaz ve aşınması da ihmal edilebilecek kadar düşük olur ve sürtünme katsayısında da herhangi bir değişikliğe sebep olmaz. Fakat titanyum ara tabakası çok kalın olmamalıdır [48].

Demir dışı malzemelere karşı kayma

Titanyum nitrür kaplamalar için tribolojik olarak mükemmel bir karşı yüzey, ya titanyum nitrürle ya da titanyum karbürle kaplanmış olmalıdır. Sürtünme katsayısı değeri normal olarak 0,2 'den daha azdır ve bazı koşullarda 0,05 'e kadar bile düşebilir; her iki yüzeydeki aşınma da çok azdır. Çünkü düşük yırtılma dayanımına sahip bir oksit tabakası sert kaplama üzerinde oluşur ve bir taban malzemesi görevini yaparak çok uygun düşük sürtünme şartları sağlar.

Titanyum nitrürün grafitle kayma temasında, oldukça düşük aşınma görülür; fakat kaplamada ince kıymıklanma meydana geldiği zaman, aşınma hızında çok önemli bir yükselme ortaya çıkar. Bunun nedeni ise, temaslar arasında bulunan sert ve abrazif üçüncü cisimlerin varlığıdır.

Yuvarlanma temasları

Chang, Büyük yüklerin bulunduğu karışık yağlamak temaslarda 2,3 GPa'lık maksimum bir- Hertz basıncında ve 3,1 m/s'lik bir yüzey hızında, maksimum kullanım ömrünün 0,25 μm kalınlığa sahip kaplamalarla elde edilebileceğini bulmuştur. 5 μm kalınlığa kadar nispeten kalın kaplamalar, daha büyük miktarda ilk kıymıklanmaya sebep olmuştur. Bunun, kaplama kalınlığının ve basma kuvvetinin bir fonksiyonu olduğu düşünülmüştür [48].

Kesme temasları

Yüksek hız çelikleri üzerine fiziksel buhar biriktirme ile kaplanmış titanyum nitrür kaplamalar, uzun yıllardan beri metal kesme uygulamalarında başarıyla kullanılmaktadır. TiN kaplanmış takımın, taban malzemesine yeterli yapışma, yüksek sıcaklıkta yüksek sertlik, yüksek aşınma direnci ve kesme kenarında temas şartlarını iyileştirme kabiliyeti gibi özelliklerin eşsiz bir birleşimine sahip olmasıdır [48].

Takımın yükseltilmiş aşınma direnci, başlıca TiN kaplamanın 2000-2500 Hv seviyesindeki yüksek sertliği tarafından sağlanır. Bu sertlik, abrazif aşınmaya karşı iyi bir direnç verir. Yüksek kimyasal kararlılık ise, çözelti aşınmasına karşı yüksek bir direnç oluşmasına sebep olur. TiN yüzeyinin oksidasyonu, 600 °C'den düşük sıcaklıklarda yavaştır. Taban malzemesine iyi yapışma olması durumunda, taban malzemesi yüzeysel gerilmelere bağlı olarak plastik deforme olsa da, ara yüzeysel çatlama önlenabilir. Kesme sırasında yüksek bir üretim hızı, TiN kaplanmış takımlarla elde edilebilir; çünkü kesmede yüksek kesme hızları ve derinlikler kullanabilir. Kesme

mekanizması daha gelişmiş bir hale gelmiştir ve bu yüzden de, daha düşük bir kesme kuvveti kullanılmış olur, yüzey düzgünlüğü de daha iyidir. Kesme sıcaklıklarının azalmış olduğu da gözlenmiştir; fakat bu TiN kaplamanın termal bir bariyer olarak davranmasından ziyade, daha iyi temas şartlarının sağlanmasından ve sürtünmenin de düşmüş olmasından kaynaklanmaktadır. Kaplama bölgesel olarak tamamen aşınmış olsa bile, geri kalan kaplamanın taban malzemesini hala korumaya devam ettiği ve çökmeden yontmanın tüm yükünü taşıyabilme kabiliyetine sahip olduğu gözlenmiştir [48].

Kaplamanın optimum kalınlığı, kesme yöntemine bağlıdır. Delme gibi bir devamlı kesme yönteminde, daha kalın bir kaplama daha uzun bir takım ömrü sağlar. Planyalama gibi bir devamlı olmayan kesmede ise, optimum kaplama kalınlığı 2–3 μm olarak bulunmuştur [48].

TiN kaplamaların aşınma davranışları

Farklı TiN kaplama proseslerinin olması, mikro yapının büyük bir aralıkta dağılımını ve aynı zamanda kaplama özelliklerinin de değişmesini sağlar. TiN, kimyasal olarak çok kararlıdır, kuvvetli asitler tarafından oluşturulan korozyona karşı çok dirençlidir ve düşük sürtünme, aşınma davranışı gösterir. Bu yüzden, TiN kaplamalar kesme takımlarında, çeşitli yatak ve kayma uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar. CVD prosesi sırasındaki yüksek sıcaklıklar, difüzyonu artırırlar ve mükemmel yapışmadan kısmen sorumlu olan tabakalı bir ara yüzey sağlarlar. CVD prosesinin yüksek sıcaklığı (700-1000 $^{\circ}\text{C}$), karbür malzemeye hasar vermemiştir fakat CVD yüksek hız çelikleri (HSS) üzerinde çok başarılı olamamıştır. Çünkü bu durumda, ısıl işlemden sonra takımları yeniden sertleştirmek gerekmektedir. Bu, çoğunlukla kabul edilemez; çünkü ısıl işlem belirli miktarda distorsiyona neden olur. Düşük sıcaklık PVD prosesleri ise, yani iyon kaplama ve sıçratma, HSS takımlar üzerine TiN uygulamasında ticari olarak çok başarı kazanmışlardır [48, 50, 51].

PVD kaplama yöntemleri

Son 20-25 yıldır ince sert kaplamalar alanında önemli gelişmeler gözlenmektedir. 1960 ve 70'li yıllarda Kimyasal Buhar Biriktirme (CVD) yöntemiyle yapılan kaplamaların gelişmesiyle daha sonra buharlaştırıcı ve karışık kaplamalı fiziksel yöntemle yapılan kaplamaların geliştirilmesi ince sert kaplamaların önemini daha da çok artırmıştır. Buharlaştırma, sıçratma ve iyon kaplama Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemleri arasında geçmiş yıllardan bugüne önemi ve değeri artarak fiziksel üretim süreçlerinde yerini almıştır. Çalışmalarına başladığından andan şu ana kadar CVD'nin en önemli mahzuru, yüksek sıcaklıktaki (800–1000°C) kaplamalar yapılırken ana malzemede deformasyon gözlemlendiği için çelik takımların birçoğu bu methodla kaplamanın dışında bırakılmıştır. PVD yöntemi 350–550°C arasında aynı özellik ve kalınlıktaki kaplamalarda başarılı olduğundan CVD' nin dezavantajı PVD' nin gelişmesine katkı sağlamıştır [52].

Fiziksel buhar biriktirme (PVD) yöntemi

Kaplama tekniklerinden Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi, kimyasal tepkime yapmadan vakum altında malzeme yüzeylerine ince film tabakalarının biriktirilmesi işlemidir. Bu yöntem kendi içinde;

1. Buharlaştırma (Evaporation),
2. Sıçratma (Sputtering),
3. İyon kaplama (Ion plating) olmak üzere üçe ayrılır.

Dünyada bu teknikle yapılan kaplamalar ve araştırmalar hızla ilerleyerek artmaktadır. Bu kaplamaların endüstriye sağladığı avantajlar çok önemlidir. Örneğin kesici takım kullanan firmalar, kesici takımlarını bu tür kaplamalar ile kaplatarak % 200-800 arasında takım ömründe ekonomiklik sağlamaktadır [54].

PVD, düşük işlem sıcaklığı ile özellikle yüksek hız çeliği takımların kaplanmasında kullanılır. Bu yöntemde vakum haznesine konan kaplanacak parçalar üzerine; haznede üretilen Titanyum plazma, sürekli beslenen azot temel gerilim ile hazneyle takım arasında oluşturulan elektriksel alanda hızlandırılarak TİN kaplanır. Plazma üç farklı yoldan üretilebilir;

- Elektrik ark boşalması,
- Argon ile Titanyum hedefi bombardıman etmek,
- Titanyum paletleri elektron şuası ile buharlaştırma.

PVD bazı organik malzemeler kadar iyi özelliklere sahip metaller, alaşımlar, bileşikler ve onların karışımları ve her tip inorganik malzemelerin kendiliğinden birikmesini sağlayan bir teknolojidir. Yüksek biriktirme hızları aşağı yukarı son 20 yılda elektron ısıtıcısı kaynakların geliştirilmesi ile elde edilmiştir [55].

PVD Kaplamanın Avantajları

PVD süreçleri bazı üstün özellikleri sebebiyle kaplama teknolojisinde önemli bir yere sahiptir. Bu özellikler şu şekilde sıralanabilir [56].

1. Hemen hemen her kaplama malzemesi her ana malzeme üzerine biriktirilebilir.
2. PVD teknolojisiyle kaplamaların yanı sıra sac, folyo, boru gibi parçalarda kaplanabilir.
3. Kaplamalar mükemmel yapışma özelliğine sahiptir.
4. Biriktirme hızı aralığı oldukça geniştir. Bu nedenle yüksek hızda üretim yapılabilir.

5. Kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü, ana malzemenin yüzey ile aynı olduğu için kaplama sonrası zımparalama ve parlatma gibi yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaz.

6. Kontrollü vakum ortamı ve saf kaplama malzemelerinin kullanılması nedeniyle yüksek saflıkta biriktirmeler elde edilir.

PVD Kaplama İşlem Basamakları

PVD yönteminde, buharlaştırma işlemi ısı, elektron bombardımanı, lazer veya katodik ark şeklinde olabilir. Taşınım basamağında, buharlaştırılan malzeme (kaplama malzemesi) kaplanacak malzeme (ana malzeme) yüzeyine taşınır. Taşınan buharın enerjisini kaybetmeden ve oldukça homojen bir şekilde kaplanacak parça yüzeyine ulaşması hedeflenir. PVD sistemlerinde kaplama malzemesi ile kaplanacak yüzeyin birbirlerini doğrudan görmeleri gerekmektedir. Kaplanacak parça geometrisi, vakum odasının geometrisi, kaynak yeri ve boyutları homojenliği etkiler. Homojenliği sağlamak için kaplanacak parçaların bulunduğu taşıyıcı sistem hareket ettirilir.

1.Basamak: Buhar fazının oluşturulması (Kaplama malzemesinin buharlaştırılması lazer yoluyla, elektronik metotla, plazma püskürtmeyle, detenasyon tabancası yoluyla sağlanabilir.)

2.Basamak: Buharın, buhar kaynağından iş parçasına taşınması (Buhar Kaynaktan iş parçasına atomların ve moleküllerin birbiriyle çarpışmasıyla veya çarpışma olmadan taşınır. Taşınma sırasında bunların bir kısmı iyonlaşabilir.)

3.Basamak: İş parçası üzerinde ince bir tabakanın oluşması (Buhar fazının iş parçası üzerine yoğunlaşması ve çekirdeklenme ile büyüme yoluyla ince bir tabakanın oluşmasıdır.)

Bu üç basamağın birbirinden bağımsız olarak kontrol dereceleri, biriktirme işleminin çok yönlülüğünü ve esnekliğini belirler. Mesela PVD yönteminde bu üç basamak birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir ve kaplamanın biriktirme hızı kaplamanın özelliklerine daha büyük oranda etki edebilir [52].

Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yöntemi, kimyasal reaksiyon ile moleküler yayılım yoluyla mümkün olabileceği kadar madde transferinin rasgele olduğunu gözler önüne sermektedir [58].

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Aşınma ile ilgili araştırmalar 1921 yılında Kaliforniya'da kurulan bugün Amerika'da St.Louis Missouri bölgesinde yer alan Thermadyne Endüstri Grubu'na bağlı olarak faaliyet gösteren Stoodly Endüstri tarafından başlatılmış ve günümüze kadar gelişerek devam etmiştir. Firma 1940 yılından itibaren aşınma konusunda çalışmalarına başlamış ve tarım sektörüne de bu çalışmalarda yer verilmiştir.

Amerika'da abrasiv aşınmadan dolayı meydana gelen ekonomik kaybın yılda 100 milyar dolara ulaştığı tahmin edilmektedir [65].

Ülkemizde ise; aşınma ile ilgili ekonomik kayıp hesapları ve düzenli istatistikî çalışmalar olmadığından bu önemli konu gündeme taşınmamaktadır.

Karamış, yaptığı bir çalışmada; bir pulluğun aşınma ve kırılma sebebiyle satın alma bedelinin yaklaşık %13'ü oranında tamir masrafı gerektirdiğini ortaya koymuştur [13]. Bu tespitle; 2003 yılı DİE verilerine göre ülkemizde bulunan 995.019 adet pulluğun ortalama satın alma bedelinin 1.743 YTL./adet (fiyatı verilen pulluk 4 soklu 12 no 'lu pulluk olup, satış fiyatı; 10.09.2006 tarihi itibarı ile, Pancar Kooperatifleri satış fiyatları baz alınarak belirtilmiştir.) olduğu günümüzde tamir ve bakım için harcanan meblağın ne denli yüksek değerlere ulaşacağı ortadadır.

Mutaf ve Ulusoy, pullukta meydana gelen aşınmanın ortalama 150 gr/ha. olduğunu tespit etmişlerdir [20]. Mutaf ve Ulusoy'un bu tespitinden yola çıkarak 2003 DİE verilerine göre; 17,3 milyon hektar olan toplam tarım arazisinin yılda iki kez sürüldüğü varsayılınca, *sadece* toprak işleme esnasında aşınma suretiyle kaybolan çeliğin 5.1 milyon ton gibi büyük bir rakam olduğu görülür.

Keçecioğlu ve Ulusoy, “Ege Bölgesinde yapılan bazı uç demirleri üzerinde bir araştırma” adlı eserlerinde; tarla denemeleri esas alınarak yaptıkları tespitlerde ortalama aşınmanın pulluk uç demirlerinde 150gr/ha, kazayağında 90gr/ha ve tırmık dişlerinde ise 135gr/ha olarak bulmuşlardır [21].

Aşınma sonunda pulluğun keskin kenarlarının 2mm incelmesi, çeki direncinin %15-24 arasında artmasına sebep olur [13, 23].

Karamış’a göre tarımda kullanılan işleyici organlarda meydana gelen aşınma “abrasiv aşınma” prensibi ile oluşmaktadır [13].

Moore ve Kantarcı toprak içerisinde çalışan mekanizmalardaki aşınmanın sıkışmaya eşlik eden sürtünme ve bunun sonucu olarak mikroskobik formda yüzeyde oluşan kopmalar neticesinde ortaya çıktığını belirtmiştir [16-17].

Oğuz ise; aşınma mekanizmasında hareket ve basınç aynı anda devrede olduğundan aşınmayı etkileyen faktörleri kesin çizgilerle ayırt edilemeyeceğini belirtmiştir. Aşınmanın; kaba, sert ve sivri köşeli tanelerin metale güçlü bir basınçla sürtünerek pürüzlü oyuk ve kazınmış bölgelerin oluşması, yüksek zorlama altında sürtünmeye maruz kalan metalin mikroskobik düzeyde olan kopmalar neticesinde oluştuğunu özetlemiştir [14].

Öz, Toprak işleyici aletlerde işleyici organa bağlı faktörler içerisinde yer alan; işleyici organın malzemesi, şekli, yeri gibi özelliklerin yanında toprak yapısının da aşınmada büyük rol oynadığından bahsetmiştir [22].

Mutaf ve Ulusoy; çeki kuvvetini arttıran toprak direncinin aşınmayı da arttıracaklarını ortaya koyarak, özgül çeki direncinin artması işleyici organ yüzüne gelecek basıncı arttıracaklarını ve çeki hızına bağlı olarak aşınmanın artacağını ortaya koymuşlardır [20].

Keçecioğlu ve Ulusoy'un Ege Bölgesinde yapılan bazı pulluk uç demirleri ile ilgili yaptıkları bir araştırmada; uzun kullanma ömrü olan ancak yüksek maliyetle elde edilen bir pulluk uç demirinin yararlı olmadığından, dayanım özelliklerinin ekonomik özelliklerle birlikte optimum seviyede önemli olduğundan bahsetmişlerdir [21].

Karamış ise malzeme aşınmalarından dolayı kayıpların tahmin edildiğinden daha fazla boyutlarda olduğuna dikkat çekmiş ve aşınmanın giderilmesi konusunda çözüm arayan çalışmaların gerekliliğini vurgulamıştır [62].

Jahanmir ve Abrahamson ise birlikte yaptıkları çalışma neticesinde aşınmaya maruz kalan malzemelerin aşınma dirençlerini arttırmak için malzemenin kaplanması suretiyle de yüzeysel sertliklerinin artırılabilirliğinden bahsetmişlerdir. Yüzeye sert bir tabaka kaplanması ile malzemenin aşınmaya karşı olan mukavemetinin artırılabilirliğini ve yüzey sertliğini arttırmanın malzeme çekirdeğinin sünekliliğini etkilemeyeceğinden bunun darbeli zorlamalarda aşınmanın azaltılması yönünde bir avantaj olduğunu ortaya koymuşlardır [60].

Richardson, yüzey ile kaplama yapısı arasındaki ilişkileri araştırmış ve kaplama sertliğinin yüzey kaplamada elde edilecek başarıdaki önemini vurgulamıştır [15].

Foley, Lawton, Barker ve McLees yaptıkları araştırmada sert seramiklerin korozyona karşı mukavemetli olduğunu ancak ani darbelere maruz kalarak çalışan alet ve makinelerde başarılı olmadığını ortaya koymuştur [61].

Ura ve Nakashima, sürtünmeye maruz kalan parçalarda aktif sürtünme yüzeyinin büyümesinin aşınmayı arttırdığını vurgulamış ve pulluk aşınmalarına atıfta bulunmuşlardır [64].

Wang, Tarım alet ve makineleri gibi toprak içinde çalışan parçalardaki aşınmayı incelemiş ve Levy ile birlikte aşınmanın giderilmesi konusunda çeşitli sert kaplama materyallerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada çalışma ortamında yer alan etmenlerin (toprak yapısı, nem miktarı v.b.) aşınmayı etkilediğini ve kaplama yüzeyinin düz olmasının aşınmayı geciktirdiğini vurgulamışlardır [63].

Ülkemiz endüstriyel uygulamalarında çelik malzeme üzerinde korozyon direnci sağlamak amacı ile titanyum nitrür, sert krom ve akımsız nikel kaplama yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mükemmel tribolojik özellikleri nedeniyle titanyum nitrür kaplama 1970'li yıllardan sonra önemli oranda araştırmacıların ilgisini çekmiştir.

Holmberg, Matthews, Bhushan ve Gupta, gibi bilim adamları titanyum nitrür kaplamanın, çelik tabanlı malzemelere iyi yapışması ve kararlı bir kimyasal yapısı ile uygun bir kaplama materyali olduğu konusunda hem fikir olmuşlardır [48,49].

Holmberg ve Matthews, titanyum nitrür kaplamanın abrasif aşınma performansı üzerine çalışmışlar, farklı kaplama sistemleri arasında karşılaştırmalı çalışmalar yapmışlar ve iyon kaplama yönteminin en üstün kaplama metodu olduğunu bulmuşlardır [48].

Krom kaplama teknolojisi daha eski bir teknoloji olup, endüstride krom kaplama çalışmaları 1840'lı yıllara kadar dayanmaktadır.

Kromun yüksek sertlik, yüksek korozyon direnci ve düşük sürtünme katsayısı gibi sahip olduğu üstün özellikler, krom kaplamayı endüstriyel uygulamalarda ön plana çıkarmıştır [67].

Geuther, 1856 yılında ilk krom kaplamayı asit çözeltisi yardımıyla yapmıştır [66].

Fink ve Elridge ise 1924 yılında günümüzde de kullanılan ilk sülfat katalizörlü krom kaplama banyosunu geliştirmiştir [67].

Akımsız nikel kaplamanın en önemli üstünlüğü kaplanan nikel tabakanın kristal yapıya sahip olmamasından dolayı, zaman içinde kristal yapıdaki boşlukların meydana getireceği galvanik hücrelerin oluşmasına imkân vermemesidir.

Brenner ve Riddel, nikel kaplama banyolarındaki istenmeyen oksidasyon ürünlerini temizlemek için kullandıkları bir redükleyici, sodyum hipofosfit, ilave nikel toplanmasına sebep olmuş ve akımsız nikel kaplama tesadüfen bulunmuştur [68].

Erbil, akımsız nikel kaplamayı elektrik akımı kullanmadan nikel atomlarının otokatalitik kimyasal indirgeme yöntemiyle elde edilerek metal yüzeye yapılandırılması şeklinde tanımlamıştır [36].

Pulluk uç demirlerinin kaplanması sonrasında yapılan tarla aşınma deneylerine, literatür araştırmalarında rastlanmamıştır.

7. MATERYAL VE METOD

7.1. Materyal

7.1.1. Araştırmada kullanılan numuneler (uç demirleri)

Deneyde kullanılmak üzere piyasada yaygın olarak kullanılmakta olan Alpler A.Ş. firması ile irtibata geçilerek firmanın imalatı olan 10 adet pulluk bıçakları (uç demiri) temin edilmiştir.

Pulluk uç demiri imalatında bulunabilirliği ve ekonomik olması sebebi ile yaygın olarak kullanılan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş. tarafından pazarlanan, DIN EN 10083 P3 96 uluslar arası standardında, 30MnB5 kalitesinde, ısıtıl işleme uygun bor alaşımlı sıcak haddelenmiş çelikler grubunda yer alan ERD 5630 çeliği kullanılmaktadır. Bu çelik, yüzeyde sertlik, kırılmalıklık; iç kısımda ise yumuşaklığı temin eder. ERD 5630 çeliği kimyasal bileşimi, Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş. resmi internet sitesinden alınarak, Çizelge 7.1’de verilmiştir.

Çizelge 7.1. ERD 5630 Çeliği Kimyasal Bileşim Pota Analizi [73]

Element	Yüzde Oranı
C %	0,310
Mn %	1,359
P %	0,011
S %	0,006
Si %	0,306
Al %	0,040
Ti %	0,040
B %	0,003

Deneylerimizde kullanmak üzere, Alpler A.Ş. firmasından temin edilen bu uç demirleri, firma tarafından Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş'den tedarik edilen genellikle 10x1500x6000 mm ebadında sevk edilen Erdemir 5630 kalite çelik saçlardan yapılır. Son mamül oluncaya kadar geçirdiği işlem kademeleri ise şöyledir. Saç tabakalar giyotin makasla 10x300x6000 ebadında dilinir. Bu dilinen saçlar giyotin makasla değişken ebatlarda baklava dilimi şeklinde kesildikten sonra oksijenli kesici ile ağız kısımları keskinleştirilir ve matkapla 13 mm çapında 3 adet delik delinir ve havşa açılır. Kaynak bölümüne gönderilen uç demirleri SAE 1040 kalite 12.5 mm kalınlığındaki destek parçası kaynatılır ve burun kısımları sert dolgu elektrotu ile aşınmaya karşı doldurulur. Daha sonra fırında 900 dereceye kadar ısıtıldıktan sonra şekillendirme ve sertleştirme presine gider. Sertleşen malzemenin kırılabilirliğini önlemek için 450 derecede 30 dakika boyunca menevişleme fırınında gerilim giderme tavı uygulanır. Bu işlem sonunda malzeme daha esnek bir hal almaktadır. Uç demiri sertliği 45-50 HRC arasındadır.

7.1.2. Deney numunelerinin kaplanması

Numunelerin Sert Krom Kaplanması

2 adet numune; Final Metal Kaplama Boya İmalat San. Tic. Ltd. Şti. firması tarafından aşağıdaki işlem sırası takip edilerek, 25 µm kalınlığında kaplanmış olup, kaplamaya ilişkin uygunluk sertifikası Ek.1'de yer almaktadır.

Final Metal Kaplama Boya İmalat San. Tic. Ltd. Şti. firması tarafından elektro-kimyasal yöntemlerden biri olan elektrolizle kaplama tekniği ile uygulanan "Sert Krom" kaplama işlem sırası:

1. Parçalarda tabaka koruyucu yağ, boya varsa tiner ile yıkanması,

2. Buharlı yağ alma banyosunda buhar seviyesi yükseldikten sonra yağının alınması,
3. Fırınlama ile gerilim giderme işleminin uygulanması,
4. Fırın içinde ya da açık havada soğutulması,
5. Parçaların alkali temizleme banyosunda ve/veya solventle temizlenmesi,
6. Temiz bir yüzey elde edinceye kadar yağ kumlama ile kumlanması, su ile iyice yıkanması ve temiz, basınçlı hava ile kurutulması,
7. Parçaların çelik tel ile deliklerinden ya da çıkıntılarında ya da dişli kısımlarından asılması, (Çelik telin kalınlığı parçayı kaplamak için gerekli akımı geçirebilmelidir. 1 mm² (0,3 mm) çelik tel, 0.4 A/dm² için yeterlidir.)
8. Anodik yağ alma banyosunda parçaların yağının alınması,
9. Sert Krom Kaplama Banyosunda (Nikel Klorür (240 gr/L), Hidroklorik asit (72.5 ml/L) veya Kromik asit (210 gr/L) içeriğinde 2 dakika müddetince oda sıcaklığında 3-3.5 A/dm² ters akım verilmesi,
10. 3-4 dakika müddetince, oda sıcaklığında 1-1.5 A/dm² akım vererek kaplanması,
11. Parçanın yıkanması ve kurutulması,
12. Parçanın göz kontrolünden geçirilmesi, Kaplama kalınlığının ölçülmesi ve kontrol edilmesi,

Numunelerin Akımsız Nikel Kaplanması

2 adet numune; Bayrak Yüzey İşlemleri Ltd. Şti. firması tarafından aşağıdaki işlem sırası takip edilerek, 20 µm kalınlığında kaplanmış olup, kaplamaya ilişkin uygunluk sertifikası Ek.2’de yer almaktadır.

Bayrak Metal Yüzey İşlemler Ltd. Şti./Ankara firması tarafından kimyasal işlemlerden biri olan indirgeme yöntemi ile uygulanan “Akımsız Nikel Kaplama” işlem Sırası:

1. Fırınlama ile gerilim giderme işlemi uygulaması,
2. Parçaların kaplama sırasında gerekli akımı geçirebilmeleri için deliklerinden, çıkıntılarından veya dişli kısımlarından düşmeyecek şekilde askılanması,
3. Parçaların alkali temizleme banyosunda ve/veya solventle temizlenmesi,
4. Parçayı alkali temizleme banyosu ve/veya solvent kimyasallarından tamamen temizlenmesini sağlayacak kadar temiz su ile yıkanması,
5. Anodik yağ alma banyosunda yağının alınmasının sağlanması,
6. Parçayı anodik yağ alma banyosu kimyasallarından tamamen temizlenmesini sağlayacak kadar temiz su ile yıkanması,
7. Parçanın yüzey aktivasyonunun yapılabilmesi için %30-60HCl,%1-3 inhibitör içeren asit banyosuna 5-8 dakika kadar daldırılması,
8. Parçayı asit banyosu kimyasallarından tamamen temizlenmesini sağlayacak kadar temiz su ile yıkanması,

9. Parça yüzeyini temiz bir hal alıncaya kadar müşteri isteğine göre yaş veya kuru kumlama yöntemiyle kumlanması,

10. Parça yüzeyini temiz suyla yıkanması,

11. Parçaları akımsız nikel banyosunda kaplanması. (Banyo sıcaklığı 90-92 °C ,pH değeri ise 5 - 5,5 olmalıdır. Saatte 15-23 mikron kaplama yapılır)

12. Kaplama yapılan parçanın yüzeyinin yıkanması,

13. Kaplama yapılan parça yüzeyini temiz ve basınçlı hava ile kurutulması,

14. Parçaya takılan tellerin çıkartılması, maskeleri sökülmesi,

15. Parçaya göz kontrolünü yapılması ve kaplama kalınlığının ölçülmesi.

Numunelerin TİN Kaplanması

2 adet numune; Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş. firması tarafından, 4 µm kalınlığında kaplanmış olup, kaplamaya ilişkin uygunluk sertifikası (Kalite Kontrol Formu) Ek.3'de yer almaktadır.

Ionbond Tinkap Yüzey Teknolojileri San. Tic. A.Ş./İstanbul firması tarafından fiziksel buhar ile kaplama yöntemlerinden biri olan fiziksel buhar biriktirme tekniği ile uygulanan "Titanyum Nitrür" kaplama işlem sırası:

1. Parçalarda tabaka koruyucu yağ, boya varsa tiner ile yıkanması,

2. Parçaların alkali temizleme banyosunda ve/veya solventle temizlenmesi,

3. Ultrasonik kimyasal temizlik (alkali deterjanlar ile iki kademeli. 1. deterjanın PH değeri 13, ikinci deterjanın 9 'dur.)

4. Parçayı alkali temizleme banyosu ve/veya solvent kimyasallarından tamamen temizlenmesini sağlayacak kadar temiz su ile yıkanması,
5. Kaplama yapılacak parça yüzeyini temiz ve basınçlı hava ile kurutulması,
6. Parçaların çelik tel ile deliklerinden ya da çıkıntılarından ya da dişli kısımlarından taşıyıcılara asılması,
7. Vakum kabinine yerleştirmesi,
8. Vakuma alma (Kabinde kaplama öncesi yüksek vakum değeri 10-5 torr'dur) ve kaplamanın gerçekleştirilmesi,
9. Kaplamadaki azot kısmi basıncı 3×10^{-3} torr (3 mtorr) seviyesindedir. 3 katot kullanılmıştır, katot akımları 55 amperdir. Bias voltajı -200 voltur. Kaplama süresi 60 dakikadır.
10. Kapaması biten parçanın soğutulması,
11. Kabinden çıkarma ve fırçalama,
12. Parçanın yıkanması ve kurutulması,
13. Parçanın göz kontrolünden geçirilmesi, kaplama kalınlığının ölçülmesi ve kontrol edilmesi,

7.1.3. Deneyde kullanılan cihaz ve aletler

Denemeye alınan, kaplanmış ve şahit olan uç demirlerinin, aşınma kayıplarının tespitinde ultrasonik ölçüm cihazı; sertlik değerlerinin belirlenmesinde, sertlik ölçme cihazından; ağırlık ve aşınma kayıplarının belirlenmesinde ise elektronik tartı aletinden faydalanılmıştır.

Pulluk uç demirlerinin, aşınma denemelerine hazırlanmasında kullanılan cihaz ve aletlerin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

1. Elektronik Terazı

Markası ve tipi	: Universal – HGM 20 K R 5232
Ölçüm Cinsi	: gram
Ölçüm Aralığı	: 0 – 20 kg.
Hassasiyeti	: 1 gr.

2. Nem Ölçme Cihazı

Markası ve tipi	: Aquapro - AP 204 Moisture Meter
Ölçüm cinsi	: derece
Ölçüm Aralığı	: 0 – 100
Hassasiyeti	: 1 derece



Resim 7.1. Seyyar nem ölçme cihazı



Resim 7.2. Seyyar nem ölçme cihazı

3. Ultrasonik kaplama kalınlığı ölçüm cihazı:

Markası ve tipi : Mini Test 600B – Elektro Psysk

Ölçüm cinsi : mikron

Ölçüm Aralığı: 0 – 2000 mikron

Hassasiyeti : 1 mikron



Resim 7.3. Ultrasonik kaplama kalınlığı ölçüm cihazı

Ayrıca; deney süresince şeritmetre, kumpas ve kronometre kullanılmıştır.

7.1.4. Aşındırma havuzu

Aşındırma havuzu; Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarım Alet ve Makineleri Test Merkezi Müdürlüğü bünyesinde olup pulluk uç demirleri aşındırma platformu olarak kullanılmaktadır. Şekil 7.4, 7.5 ve 7.6 daki fotoğraflarda görülen aşındırma havuzunu teşkil eden daire şeklindeki kanal 70 cm derinliğinde ve 120 cm genişliğindedir. Kanal orta noktasından kanal merkezine olan uzaklık 7,5 m olarak ölçülmüştür.



Resim 7.4. Aşındırma havuzu



Resim 7.5. Aşındırma ve mukavemet deney standı



Resim 7.6. Aşındırma ve mukavemet deney standı

Kanal içerisinde aşındırılmak üzere bağlanan ekipman 4 tekerlekli ve elektrik ile çalışan bir traktörle çekilmektedir. Traktör üzerinde 3 ileri ve 1 geri olmak üzere 4 farklı vites seçeneği bulunmakta olup, aşındırma deneyinde 3. vites seçilmiş olup bu vites tercihindeki hız da ortalama 5.8 km/h olarak sabitlenmiştir.

Ayrıca aşındırma esnasında ekipmanın toprağa batması ile kabaran toprağın eski haline dönmesi için Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitim Ana Bilim Dalı Öğretim Üyelerinden Sayın Prof. Dr. Cemil Çetinkaya'nın 1994 yılında doktora tezi esnasında kullanmış olduğu ve Resim 7.7 ve Resim 7.8'de görülen toplayıcı+merdane düzeneği kullanılmıştır [59].



Resim 7.7. Toplayıcı+Merdane düzeneği



Resim 7.8. Toplayıcı+Merdane düzeneği

Aşındırma platformu içerisindeki kum havuzunda bulunan toprak T.C. Şeker Fabrikaları A.Ş. bünyesinde yer alan Şeker Enstitüsü laboratuvarlarında analiz ettirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre; %56,50 kum, %13,31 silt, %30,19 kil olarak tespit olup, platform içerisindeki toprağın “kumlu-killi-tınlı” toprak grubu içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir.

Ayrıca; analiz sonunda; kum havuzu kireç oranı %7.65 ve tuz oranı 0.23 mm/cm olarak tespit edilmiştir. Aşındırma havuzu içerisinde; ince kum dışında aşındırmada rol oynayabilecek tek bir mineralden oluşmuş çapı 2

mm – 0.2 mm arasında değişen, minerolojik sertliği 7 mohs olan kuvars parçalarına rastlanmıştır, ancak kuvars miktarı ihmal edilecek kadar az (% 0,1) olup, bunun dışında çeşitli minerallerin birleşmesinden oluşmuş; toplam varlığı %1,8 oranında, çapı 2 mm – 0.2 mm arasında olan kumtaşı sedimenter kayaçları ile toplam varlığı % 0,3 oranında, çapları 2 mm'den daha büyük çakıl sedimenter kayaçları vardır. Ancak bunların sertliği çeşitli minerallerin bileşiminden oluştukları sebebiyle ölçülememektedir. Deneye başlamadan hemen önce yapılan ölçümlerde nem oranı % 5,48 olarak ölçülmüştür. Çalışma süresince tekerrür başlangıçlarında aşındırma havuzundan alınan toprak numuneleri laboratuvar şartları ve seyyar nem ölçüm cihazı yardımıyla takip edilerek çalışma boyunca nem seviyesinin aynı oranda tutulmasına çaba gösterilmiştir. Nem değerleri Çizelge 7.3.'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

7.2. Metot

10 adet pulluk uç demirinin 6 adedi, ikişer ikişer olmak üzere titanyum nitrür, sert krom ve akımsız nikel kaplama malzemeleri ile kaplanmış, 2 adet uç demiri ise şahit numune olarak kabul edilerek kaplanmamıştır. Numunelerin kaplama süreçleri, deneyin uygulanması bölümünde açıklanmıştır. Geriye kalan diğer iki uç demiri ise; kum havuzu içerisinde farklı sürelerle aşınmaya tabi tutularak; tur sayısına karşılık meydana gelen aşınma gözlenmiş ve bu sayede asıl deneyde aşınmanın gözlenebilmesi için en uygun tur ve tekerrür sayısı tespit edilmiştir. Üç ayrı materyal ile kaplanmış uç demiri ve kaplanmamış uç demiri olmak üzere toplam 4 uç demiri tespit edilen süre kadar aşınmaya tabi tutulmuştur ve aşınma deneyi sürecinde belirli aralıklarla aşınma miktarı kontrol edilerek aşınma adım adım izlenmiştir.

Deneyde iki farklı konu takip edilmiştir. Birincisi; kaplanmış numunelerin kendi aralarındaki aşınma dayanımlarının izlenmesi, ikincisi ise kaplanmış numune içindeki en az aşınan numunenin şahit numune ile karşılaştırılmasıdır.

7.2.1. Deney tertibi

Deneyde yer alan numunelerdeki aşınmanın izlenebilmesi için numunenin tabi tutulacağı en uygun tur sayısı tespit edilmiştir. Bir turun yol uzunluğu 47,1 m olarak hesaplamıştır. Bu gayeyle; şahit numunelerden biri 100 tura tekabül gelen 4714,3 m. aşınmaya tabi tutulmuştur. Aşınma 41 gr. olarak tartılmıştır. Bu aşınmanın deneyi izleyebilmek için fazla olduğu kanaatine varılınca; ikinci şahit numune ilk denemenin yarısı olan 50 tura tekabül eden 2357,1 m. aşınmaya tabi tutulmuştur. Bu seferde aşınma 19 gr. olarak tespit edilince aşınmayı ideal bir şekilde izleyebilmek için tekerrür turlarının 25 çevrime karşılık gelen 1178,5 m. olmasına karar verilmiştir. Aşınma miktarı ise, periyot aralarında numunelerin ultrasonik kalınlık ölçer cihazı ile muayene edilmesi şeklinde takip edilmiştir. Bu amaçla; deney Çizelge 7.2. 'deki programa göre uygulanmıştır.

Çizelge 7.2 Deney tertibi tablosu

1. Periyot
Kaplanmış numunelerin ağırlıklarının ve kaplama kalınlıklarının ölçülmesi
Şahit Numunenin 1. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Şahit Numunenin 2. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Şahit Numunenin 3. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
2. Periyot
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 1. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 2. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 3. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
3. Periyot
TIN Kaplanmış Numunenin 1. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
TIN Kaplanmış Numunenin 2. çevrim (25 tur)

Çizelge 7.2 (Devam) Deney tertibi tablosu

Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
TIN Kaplanmış Numunenin 3. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
4. Periyot
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 1. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 2. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 3. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
5. Periyot
Şahit Numunenin 4. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Şahit Numunenin 5. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Şahit Numunenin 6. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
6. Periyot
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 4. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 5. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 6. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
7. Periyot
TIN Kaplanmış Numunenin 4. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
TIN Kaplanmış Numunenin 5. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
TIN Kaplanmış Numunenin 6. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
8. Periyot
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 4. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 5. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 6. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi

Çizelge 7.2 (Devam) Deney tertibi tablosu

9. Periyot
Şahit Numunenin 7. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Şahit Numunenin 8. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Şahit Numunenin 9. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
10. Periyot
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 7. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 8. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Sert Krom Kaplanmış Numunenin 9. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
11. Periyot
TIN Kaplanmış Numunenin 7. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
TIN Kaplanmış Numunenin 8. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
TIN Kaplanmış Numunenin 9. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
12. Periyot
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 7. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 8. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi
Akımsız Nikel Kaplanmış Numunenin 9. çevrim (25 tur)
Numunenin tartılması ve kaplama kalınlığının kontrol edilmesi

7.2.2. Deneyin uygulanması

Deney standının düzenlenmesi

Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Tarım Alet ve Makineleri Test Merkezi'nde yer alan aşındırma havuzu aşağıdaki adımlarla deneye uygun hale getirildi. Deney standının düzenlenmesi esnasında çekilen fotoğraflar aşağıda Resim 7.9 ve Resim 7.10'da verilmiştir.



Resim 7.9. Deney standının planlanan deneye uygun hale getirilmesi



Resim 7.10. Deney standının planlanan deneye uygun hale getirilmesi

Pulluk uç demirinin platforma bağlanması

Aşınmaya tabi tutulacak uç demirlerinin toprağa sürekli uygun açı ve uygun derinlikte batması için pulluk gövdesinin platforma bağlantısında oynama olmaması için bağlantılar güçlendirildi.

Deneme turunda platforma bağlanan ve uç demirini taşıyan düzenek dışa burulma eğilimi altında Resim 7.11’da görüldüğü gibi eğildiği için düzenek ek bağlantılarla sağlamlaştırıldı. Düzeneğin sağlamlaştırılması ile ilgili işlemler esnasında çekilen fotoğraflar Resim 7.12 - Resim 7.15’de verilmiştir.



Resim 7.11. Pulluk uç demirinin platforma bağlanması



Resim 7.12. Pulluk uç demirinin platforma bağlanması



Resim 7.13. Pulluk uç demirinin platforma bağlanması



Resim 7.14. Pulluk uç demirinin platforma bağlanması



Resim 7.15. Pulluk uç demirinin platforma bağlanması

Deney sahası toprak nem seviyesi takibi

Deneydeki tek değişken toprak nem seviyesi olduğu için, deney boyunca nem seviyesinin sabit tutulmasına özen gösterildi.

Deney sırasında mümkün olduğunca sabit olan bir toprak neminde aşındırma gerçekleştirmek için deneyin yapılacağı her yeni gün öncesi toprak nemi ölçüldü deneye toprağın belirli nem aralıklarında olduğu dönemlerde devam edildi. Toprak neminin aşırı sıcaklardan dolayı ölçülen en alt sınırında altına düştüğü (% 4,09) bir seferde kanal içerisindeki toprak sulanarak nemin uygun seviyeye çıkarılması için sulama yapılmak zorunda kalındı. Ayrıca; deney süresince yağan yağmur ardından %18,57 seviyesine çıkan toprak neminin ilk seviyelerine inene kadar uzun süre beklenmek zorunda kalındı. Toprak nem seviyesi % 6,19 seviyesine indiği esnada da deneye devam edildi. Tüm deney süresince nem oranı gerçekleştirilen 14 ölçüm ile izlendi.

Tekerrür başlangıçlarında, toprak nem seviyesi laboratuvar şartlarında ve Resim 7.1, Resim 7.2 ve Resim 7.18'de görülen seyyar nem ölçme cihazı yardımıyla takip edilmiştir. Seyyar nem ölçme cihazında bulunan hassas nem algılayıcıları ile tespit edilen nem seviyesine ek olarak seyyar nem ölçme cihazının tedarik edilemediği zamanlarda ise deneyin yapıldığı toprak içerisinde, pulluk uç demirinin toprak altında çalıştığı seviye olan 10-20 cm derinlikten alınan toprak numuneleri, numune poşetlerine koyularak, Türkiye Şeker Fabrikaları Enstitüsü Laboratuvarlarına götürülmüş ve burada nem oranının belirlenmiştir. Sonuçların alınmasından sonra toprak nem seviyesinin yüksek olduğu durumlarda nem seviyesinin düşmesi beklenmiş veya nem seviyesinin düşük olması durumunda ise çalışma alanı sulanmış ve deney süresince Çizelge 7.3.'de verildiği üzere nem oranı belirli değer aralıklarında tutulmaya çalışılmıştır.

Çizelge 7.3. Nem ölçüm sonuçları takip tablosu

Ölçüm No		Nem Oranı	
1	Deney Başındaki Toprak Nem Oranı	5.48%	Çalışmaya başlandı.
2	2.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.57%	Çalışmaya devam edildi.
3	4.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.42%	Çalışmaya devam edildi.
4	5.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.06%	Çalışmaya devam edildi.
5	6.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.52%	Çalışmaya devam edildi.
	YAĞMUR YAĞDI.		Çalışmaya ara verildi.
6	7.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	18.57%	Çalışmaya ara verildi
7	7.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	11.21%	Çalışmaya ara verildi
8	7.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	6.19%	Çalışmaya devam edildi.
9	8.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.89%	Çalışmaya devam edildi.
10	9.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.24%	Çalışmaya devam edildi.
11	10.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.09%	Çalışmaya devam edildi.
12	11.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	4.89%	Çalışmaya devam edildi.
13	12.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	4.09%	Çalışmaya ara verildi
	SULAMA YAPILDI.		Çalışmaya ara verildi
14	12.Periyot Başlangıcındaki Nem Oranı	5.33%	Çalışma tamamlandı.



Resim 7.16. Nem miktarı ölçülmek üzere hazırlanmış numune



Resim 7.17. Nem miktarı ölçülmek üzere hazırlanmış numune



Resim 7.18 Mobil nem ölçer cihazı ile nem ölçümü yapılırken



Resim 7.19. Nem tayini için toprak numunesi alınırken

Aşınma miktarının tespiti

Deney planına uygun olarak aşınmaya maruz bırakılan uç demirlerinin her biri, belirlenmiş tur sayılarından sonra platformdan sökülerek temizlendi, yıkandı ve kurulandı. Çamur ve tozdan iyice arınan uç demirleri tartıldı.

Numuneler ultrasonik kalınlık ölçer cihazıyla kaplama kalınlıkları ölçüldü. Bu ölçümler sırasında çekilen fotoğraflar Resim 7.20 – Resim 7.24.'de görülmektedir. Kaplama kalınlığının ölçülebilmesi için düzgün bir alan gerektiğinden, ölçüm olabildiğince uç demirinin aşınmaya en hassas yeri olan uç bölgesine yakın bir yerden (Resim 7.25) alınmaya çalışılmıştır.

Aşınma ile ilgili olarak yapılan ölçümler sonucu elde edilen bilgiler Çizelge 8.2.'de toplu olarak verilmiştir.



Resim 7.20. Aşındırma deney standından sökülen uç demiri temizlenirken



Resim 7.21. Temizlenmiş uç demiri kurulanırken



Resim 7.22. Temizlenmiş, kurumaya bırakılmış uç demirleri



Resim 7.23. Temizlenmiş uç demirlerinin kaplama kalınlıkları ölçülürken



Resim 7.24. Temizlenmiş uç demirlerinin kaplama kalınlıkları ölçölürken



Resim 7.25. Temizlenmiş uç demirlerinin kaplama kalınlıklarının ölçüldüğü referans nokta

8. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. Deneysel Bulgular

8.1.1. Deney numunelerin mekanik özelliklerinin ölçülmesi

Kaplama yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi

Yüzey pürüzlülük değerlerinin ölçümü için Surtrasonic 3-P ölçü aleti kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri 3 tekrarlamalı olarak yapılmıştır. İş parçası üzerinde oluşan yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ölçümü için filitreleme uzunluğu (cut-off) 0.8 mm ve örnekleme uzunluğu 2.5mm olarak alınmıştır. Ortam sıcaklığı 20 ± 1 'dir. Ölçülen değerler; TiN kaplama için; 1,11 – 1,01 ve 1,25, Akımsız Nikel kaplama için 1,58 – 1,25 ve 1,36, Sert Krom kaplama için 0,90 – 0,93 ve 1,10 olarak tespit edilmiştir.

Bu değerlerin ortalamaları alınarak Çizelge 8.1'de verilmiştir.

Kaplama sertliklerinin ölçülmesi

Kaplanmış numunelerin sertlik testleri, numunelerden alınan örneklerin, Instron Wolpert marka sertlik cihazında 100 gr. ağırlık kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numune için 3 ayrı sertlik ölçümü gerçekleştirilip, bu değerlerin ortalaması alınmıştır. Ölçülen değerler; Sert Krom kaplama için; 764 – 589 ve 741 vickers, TiN kaplama için 916 – 893 ve 673 vickers, Akımsız Nikel kaplama için 583 – 526 ve 568 vickers olarak tespit edilmiştir.

Bu değerlerin ortalamaları alınarak Çizelge 8.1'de verilmiştir.

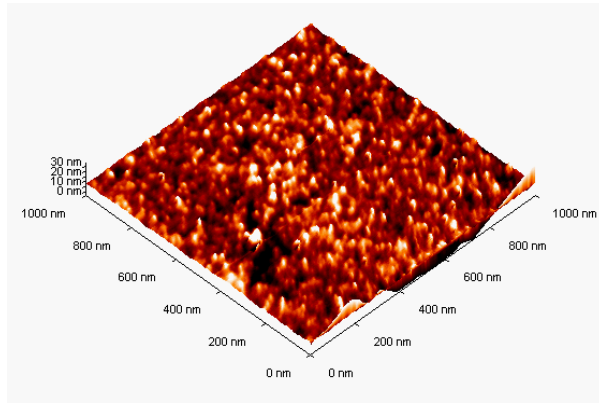
Çizelge 8.1. Deney numunelerinin mekanik özellikleri

Kaplama Materyali	Kaplama Yöntemi Çeşiti/Metodu	Kaplama Kalınlığı (μm)	Kaplama Sürtünme Katsayısı	Kaplama Yüzey Pürüzlülüğü (μm)	Kaplama Sertliği (HV)
TiN	PVD / Buharlaştırma Metodu	4	0.65-0.70	1.12	827
Akımsız Nikel	Kimyasal İşlemler/Kimyasal İndirgeme Metodu	20	0.40-0.45	1.39	559
Sert Krom	Elektro-Kimyasal Yöntemler/ Elektroliz Metodu	25	<0.20	0.97	698

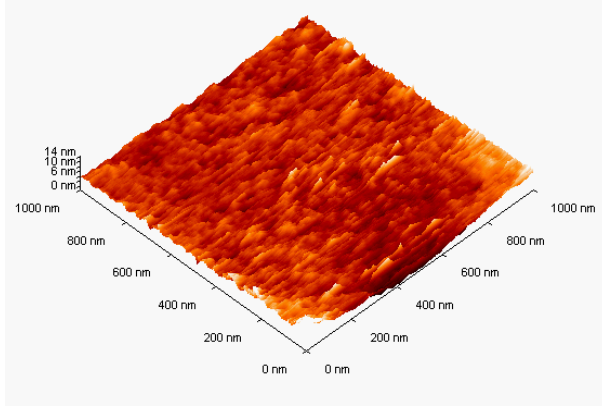
8.1.2. Deney numuneleri yüzeylerinin mikro yapılarının incelenmesi

Deney numuneleri yüzeylerinin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile taranması

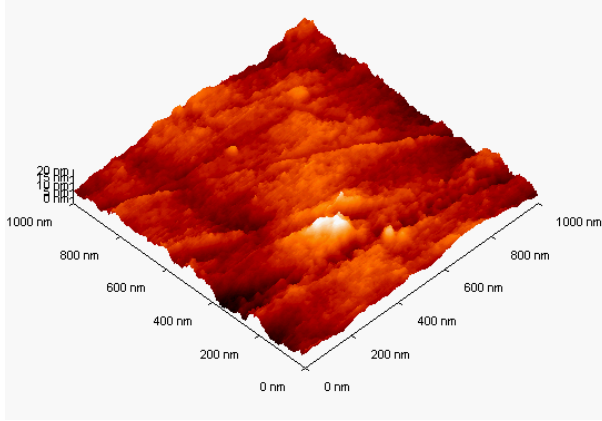
Kaplanan deney numunelerinin yüzey topografyaları atomik kuvvet mikroskobu ile incelenmiş ve elde edilen yüzey görüntüleri Resim 8.1 - Resim 8.3'de verilmiştir.



Resim 8.1. Sert krom kaplanmış deney numunesi yüzeyinde yapılan AFM analizi



Resim 8.2. TiN kaplanmış deney numunesi yüzeyinde yapılan AFM analizi



Resim 8.3. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinde yapılan AFM analizi

Deney numunelerinin yüzey dokularına bakıldığında; TiN kaplanmış numune yüzeyinde mikro pürüzlülük hakimken, sert krom kaplanmış numune ve akımsız nikel kaplanmış numune yüzeylerinde makro pürüzlülük görülmektedir. Resim 8.1’de sert krom kaplı numune yüzeyinin yoğun şekilde çıkıntı ve girintilerden oluştuğu görülmektedir. Resim 8.2’de ise TiN Kaplanmış deney numunesinin yüzey yapısı görülmekte olup, yüzeyin diğer numunelere oranla daha homojen ve düzgün olduğu söylenebilir. Resim 8.3’de ise akımsız krom kaplı numune yüzeyinin dalgalı girinti çıkıntılardan oluştuğu ve pürüzlü bir karakteristiği olduğu görülmektedir.

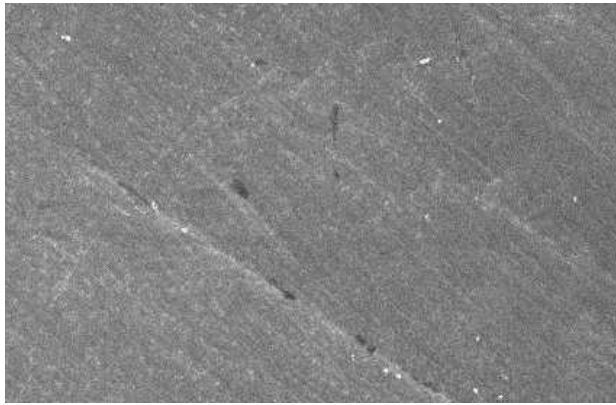
Deney Numunelerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile Analiz Edilmesi

Kaplandıktan sonra aşındırılmamış ve aşındırılmış numunelere ait elektron tarama mikroskobu ile elde edilen yüzey görüntüleri Resim 8.4 - Resim 8.10.'da verilmiştir.

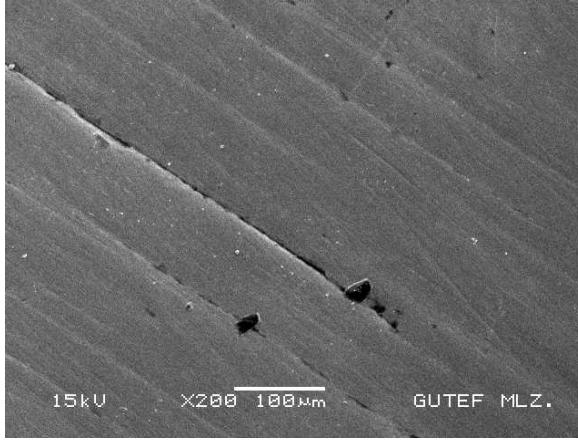
Sert Krom Kaplanmış numune ile Akımsız Nikel Kaplanmış numunelerde aşınma sonrası kaba ve derin aşınma çizgileri ile şiddetli aşınma karakteristikleri görülmüştür.

TiN ile kaplanmış numunede ise daha düşük dereceli bir hasar göze çarpmaktadır. TiN kaplanmış numunenin daha düzgün görünüşü ile şiddetli olmayan, düşük hızlı gelişen bir aşınmanın karakteristikleri mevcuttur.

Ayrıca; Sert Krom ve Akımsız Nikel Kaplama yüzeylerinde kısmen mikro çatlaklara rastlanmaktadır (Resim 8.8.).

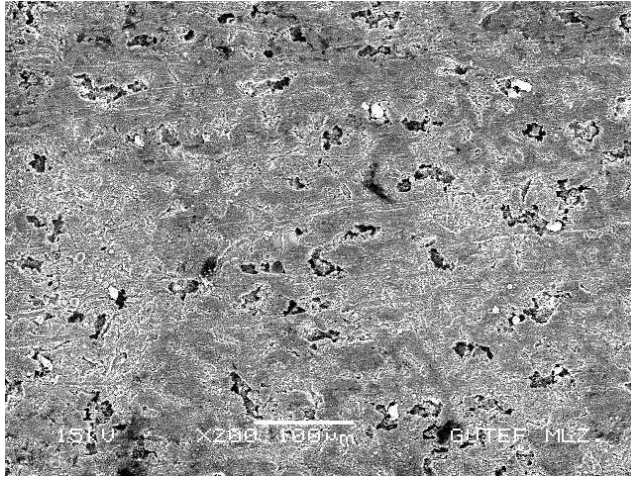


Resim 8.4. Sert krom kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



Resim 8.5. Sert krom kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü

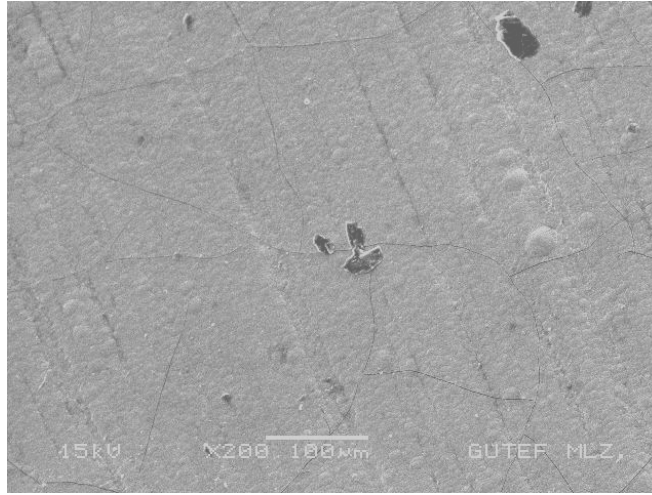
Kaplanmış numunelerde EDS ve SEM analizlerinden elde edilen görüntülerde numunelerin yüzey pürüzlülüklerinin genel olarak fazla olduğu dikkate alınacak olursa, kaplama kalitelerinin daha da geliştirilmeleri gerektiği söylenebilir.



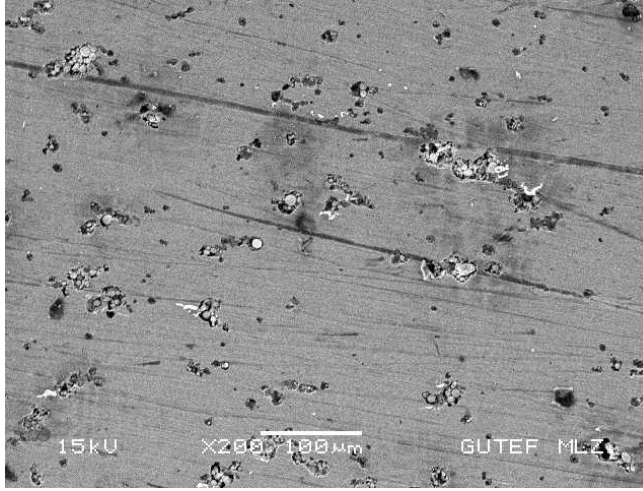
Resim 8.6. Titanyum nitrür kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



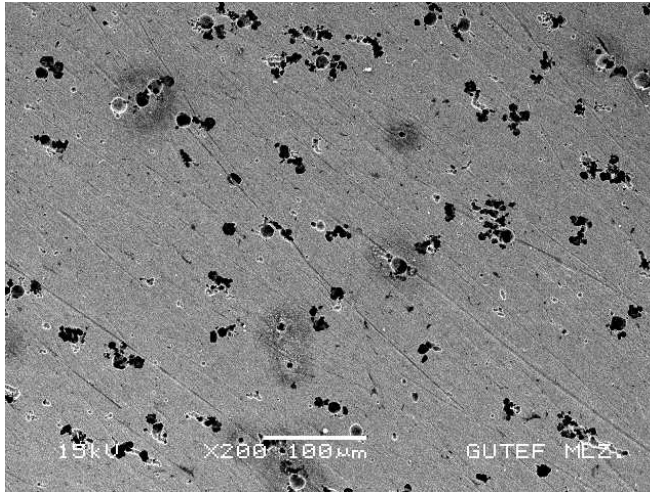
Resim 8.7. Titanyum nitrür kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyi SEM görüntüsü



Resim 8.8. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



Resim 8.9. Akımsız nikel kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyi SEM görüntüsü



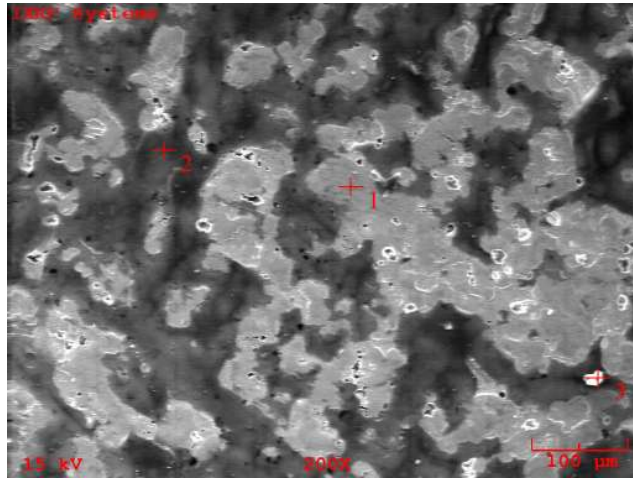
Resim 8.10. Aşındırılmış şahit numunenin yüzeyinden alınan SEM görüntüsü

Kaplanmamış şahit numunenin üzerinde boya olduğundan dolayı, SEM görüntüsünün alınmasına gerek duyulmamıştır.

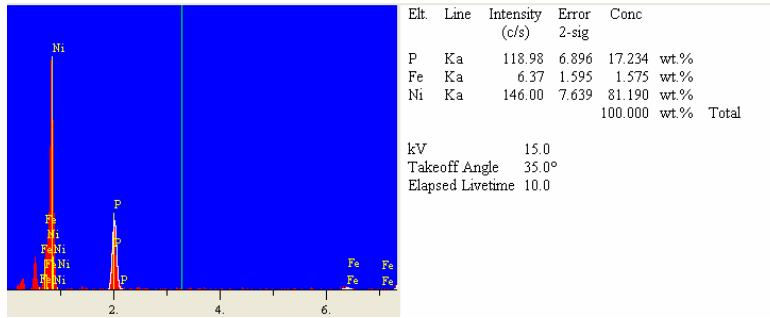
Aşındırma deneyi sonunda elektron mikroskobu ile yapılan incelemelere; büyük ve çoğunlukla metalik olan aşınma artıkları ve aşınma yüzeyi morfolojisi numunelerin şiddetli aşınma altında kaldıklarını göstermektedir.

Deney Numunelerinin Enerji Dağılım Spekturumu (EDS) Analizlerinin Yapılması

Kaplanmış numunelerin enerji dağılım analizleri yapılarak, kaplama bölgesindeki elementlerin atom ağırlıklarına bağlı olarak hangi oranda olduklarını yüzde olarak tespit edilmiştir.

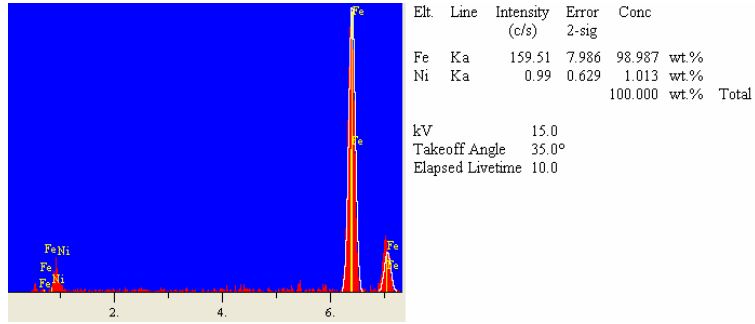


Resim 8.11. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



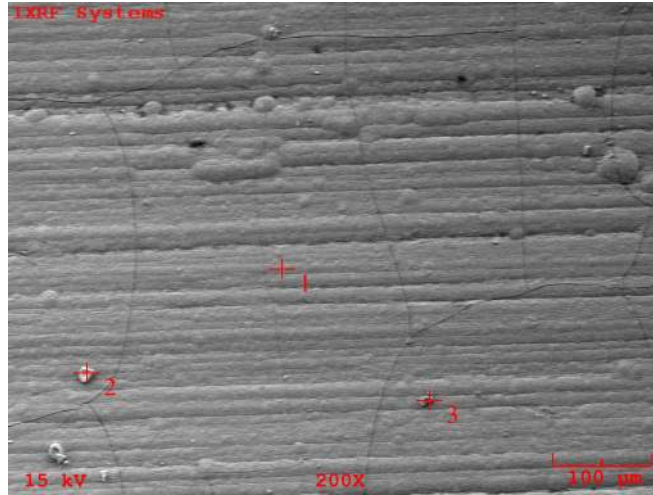
Resim 8.12. Akımsız nikel kaplanmış deney numunesi yüzeyinin 1 no'lu bölgesinde yapılan EDS analizi

Resim 8.12'de Akımsız Nikel kaplanmış numune üzerine yapılan EDS analizinde, malzeme üzerindeki % 81,1 oranındaki nikel miktarı görülmektedir.

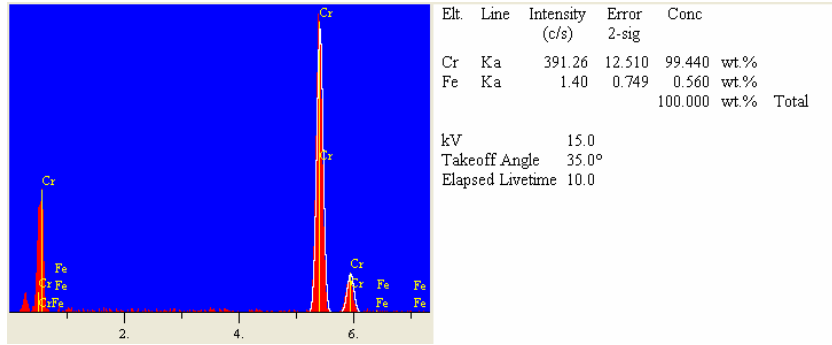


Resim 8.13 Akımsız nikel kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinde yapılan EDS analizi

Resim 8.13'de Akımsız Nikel kaplanarak aşındırılmış deney numunesinden alınan kesitte yapılan EDS analizinde nikel pikinin %1,0 oranına düştüğü görülmektedir.

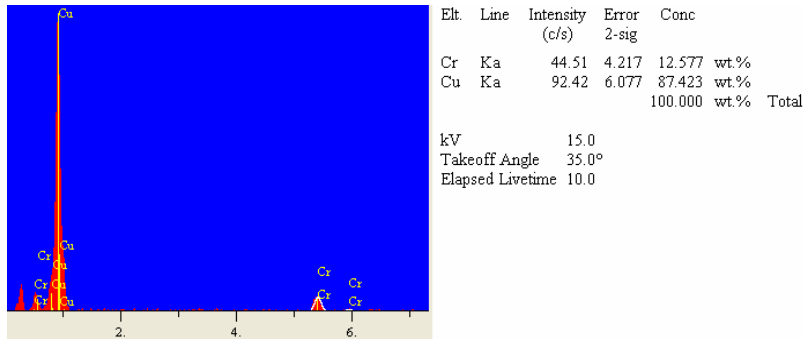


Resim 8.14. Sert krom kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



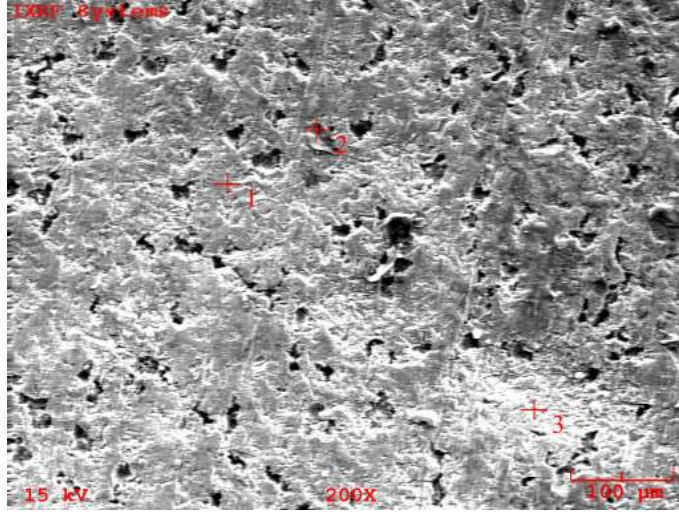
Resim 8.15 Sert krom kaplanmış deney numunesi yüzeyinin 3 no'lu bölgesinde yapılan EDS analizi

Resim 8.15'de Sert Krom kaplanmış numune üzerine yapılan EDS analizinde, malzeme üzerinde % 99,4 oranında yoğun krom miktarı görülmektedir.

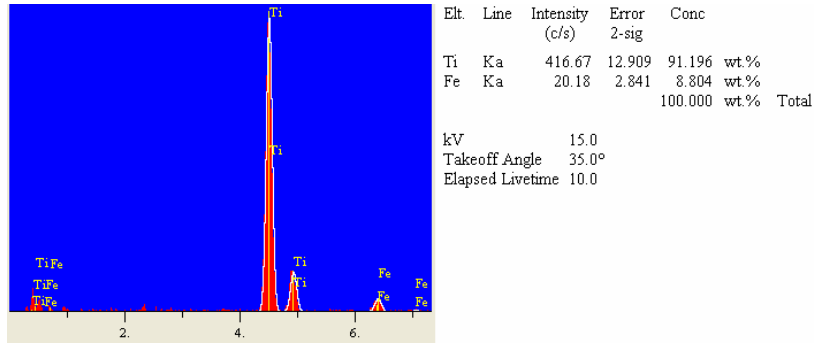


Resim 8.16. Sert krom kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinde yapılan EDS analizi

Resim 8.16'da Sert Krom kaplanarak aşındırılmış deney numunesinden alınan kesitte yapılan EDS analizinde krom pikinin %12 oranına düştüğü görülmektedir.

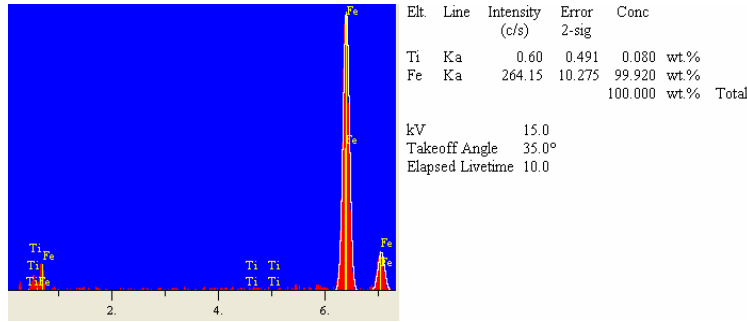


Resim 8.17. TiN kaplanmış deney numunesi yüzeyinden alınan SEM görüntüsü



Resim 8.18. Titanyum nitrür kaplanmış deney numunesi yüzeyinin 3 no'lu bölgesinde yapılan EDS analizi

Resim 8.18'de Titanyum Nitrür kaplanmış numune üzerine yapılan EDS analizinde, malzeme üzerinde %91,1 oranında titanyum miktarı görülmektedir.



Resim 8.19. TiN kaplanarak aşındırılmış deney numunesi yüzeyinde yapılan EDS analizi

Resim 8.19'da TiN Kaplanmış deney numunesinin aşındırılmış yüzeyinde yapılan EDS analizinde titanyum pikinin hemen hemen hiç kalmadığı görülmektedir.

8.2. Tartışma

Çizelge 8.2.'de aşındırma havuzunda yapılan deneyde, sürüm uzunluğuna bağlı olarak numune kaplamalarındaki aşınma miktarları verilmiştir. Şekil 8.1.'deki "uç demiri ağırlık kaybı" grafiğinde sert krom kaplama ile kaplanmış numunenin en az aşındığını göstermektedir. Deney numunelerinin aşınmadan kaynaklanan ortalama ağırlık kayıplarına bakıldığında; titanyum nitrür ile kaplanmış numune % 7,9'luk bir kayba, akımsız nikelle kaplanmış numune ile şahit numune % 7,1'luk bir kayba, sert Krom kaplama ile kaplanmış numune ise ilk ağırlığından toplam % 6,2' lik bir kayba uğramıştır.

Ancak; Şekil 8.2.'de verilen kaplama dayanım sürelerini gösteren "1 mikron aşınma için geçen mesafe" grafiğine bakınca; 1 mikron kaplamanın aşınması için yaklaşık ortalama sürüm uzunluğu; sert krom kaplama için 319 m., akımsız nikel kaplama için 217 m., ve titanyum nitrür kaplama için 736 m. olarak tespit edilmiştir.

Matthews ve Holmberg; kaplanmış bir yüzeyde meydana gelen aşınmanın; bir değil birçok farklı faktörün meydana getirdiği bir sonuç olduğundan

bahsetmiş ve hareket halinde bulunan bir temasın, aynı anda mekanik sürtünme, kimyasal korozyon, aşınma ve deformasyon mekanizmalarını hem mikro hem de makro düzeyde içerdiğini belirtmişlerdir [50]. Bu sebeple; deney sonucunda elde edilen bilgilerden numunelerde meydana gelmiş olan aşınma farklı sebepler üzerinde durularak irdelenecektir.

Toprak içerisinde aşınan pulluk uç demiri; Karamış'ın belirttiği gibi sert ve pürüzlü bir yüzey ile daha yumuşak bir yüzeyin (işleyici organ-toprak kütlesi), bazen de üç cisimli (işleyici organ yüzeyi, kırıntılı toprak tanecikleri ve toprak kütlesi) olarak meydana gelir [13].

Holmberg ve Bhushan, kaplama taban malzemesi sisteminin yük taşıma kapasitesinin önemine değinmiş, ince kaplamaların abrazif partiküller tarafından oluşturulan plastik oyukların kesişme noktalarında kaplamanın bölgesel olarak ayrılması ile sonunda hasara uğradığını ifade etmişlerdir. Ayrıca; yaptıkları çalışmalar sonunda; daha kalın kaplamaların temas gerilmelerine elastik olarak dayanma kabiliyetine sahip olduğuna dikkat çekmişlerdir [50,51].

Dolayısı ile gerçekleştirilen aşınma deneyi sonucunda; 1 mikron aşınma için geçen mesafeye (Şekil 8.2.) bakılınca TiN kaplanmış numune diğer deney numunelerine oranla aşınmaya karşı daha uzun süre mukavemet göstermiş olsa da; TiN kaplamanın sert krom kaplama gibi daha kalın kaplamalara oranla kaplandığı alt malzemeden daha çabuk sıyrıldığı görülmüştür. (Şekil 8.3.)

Holmberg ve Matthews, sert bir kaplamanın hem makro hem de mikro seviyede süpürmeyi önleyerek aşınmayı azaltabileceğini bildirmişlerdir. Özellikle abraziv aşınmanın meydana geldiği ortamlarda kaplama sertliğinin önemli ölçüde aşınmayı engellediğini ortaya koymuşlardır. Yüzey pürüzlülüğü daha fazla olan TiN kaplamanın, yüzey pürüzlülüğü daha düşük olan diğer bir kaplamadan; örneğin sert krom kaplamadan daha dayanıklı olmasının sebebi

ise; Holmber ve Matthews'in görüşlerine paralel olarak kaplama sertliği değişkenin devreye girmesi ile açıklanabilir. Çizelge 8.1.'de verilen değerlere bakıldığında; yapılan ölçümlerde TiN kaplama ortalama sertliği (827 HV); sert krom kaplamanın sertliğinden (698 HV) ve akımsız nikel kaplama sertliğinden (559 HV) daha fazladır.

Çizelge 8.2.'den akımsız nikel kaplamanın aşınma değerlerine bakılınca; akımsız nikel kaplamanın diğer kaplamalardan daha hızlı bir şekilde aşındığı görülmektedir. Holmberg ve Bhushan yaptıkları çalışmalar neticesinde; yüzey pürüzlülüğünün aşınmayı direk etkilediğini ve daha düzgün yüzeylerin daha az aşındığı sonucuna ulaşmışlardır [50,51].

Dolayısı ile akımsız nikel kaplanmış numunenin hızlı bir şekilde aşınmış olması yüzey pürüzlülüğü değerinin yüksekliği ile açıklanabilir. Çizelge 8.1.'de görüldüğü gibi; akımsız nikel kaplamanın yüzey pürüzlülüğü; 1.39 mikron olarak ölçülmüş olup, bu değer diğer iki numunenin yüzey pürüzlülük değerlerinden daha fazladır. En düşük yüzey pürüzlülüğü sert krom kaplamalı numunede (ortalama 0.97 mikron) olarak ölçülmüştür. TiN kaplamalı numunede ise ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri; 1.12 mikron'dur.

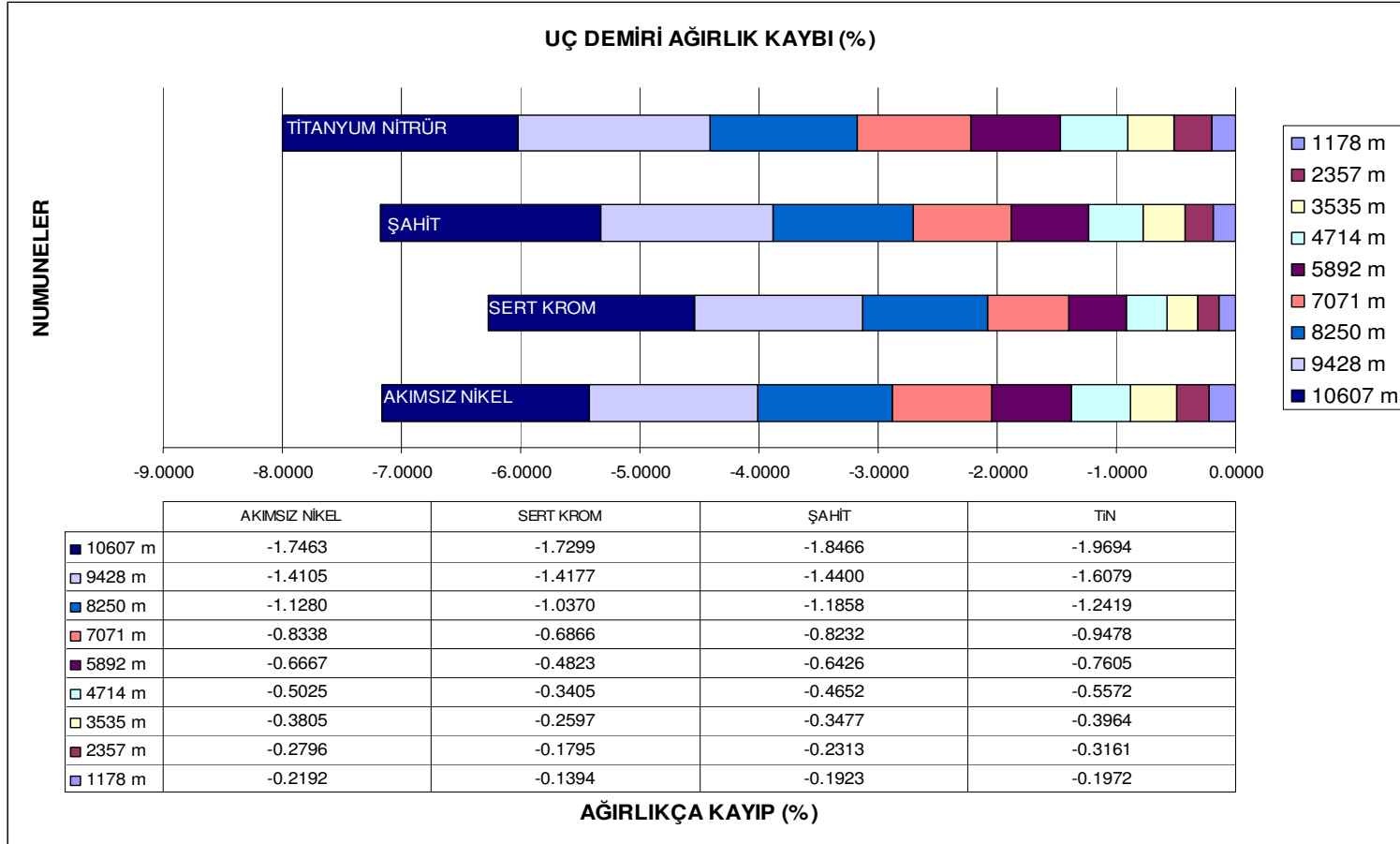
Şekil 8.2.'deki grafik incelendiğinde titanyum nitrür kaplamanın daha dayanıklı bir kaplama olduğu sonucuna ulaşılsa da Şekil 8.3.'de kaplama aşınmasının gösterildiği grafikte titanyum nitrür diğer numunelere oranla daha erken yaklaşık olarak 2846 metrede aşınmıştır. Şekil 8.3.'de görüleceği üzere akımsız nikel yaklaşık olarak 4125 metrede aşınmış, sert krom ise yaklaşık olarak 6482 metreye kadar numune üzerinde kalabilmiştir. Holmberg ve Matthews kalın kaplamaların, aşınma esnasında yükün bir bölümünü taşıyarak taban malzemesine aşınmanın daha geç ulaştığı gerçeğinden yola çıkarak kalın kaplamaların aşınmaya karşı daha mukavim olduğundan bahsetmişlerdir. Gerçekleştirilen deneyde sert krom kaplamanın daha geç aşınması, diğer kaplamalara nazaran kalın bir kaplama olmasıyla

açıklanabilir. Kaplama kalınlığının aşınma mekanizmasına karşı bariyer oluşturarak aşınmayı geciktirdiği söylenebilir.

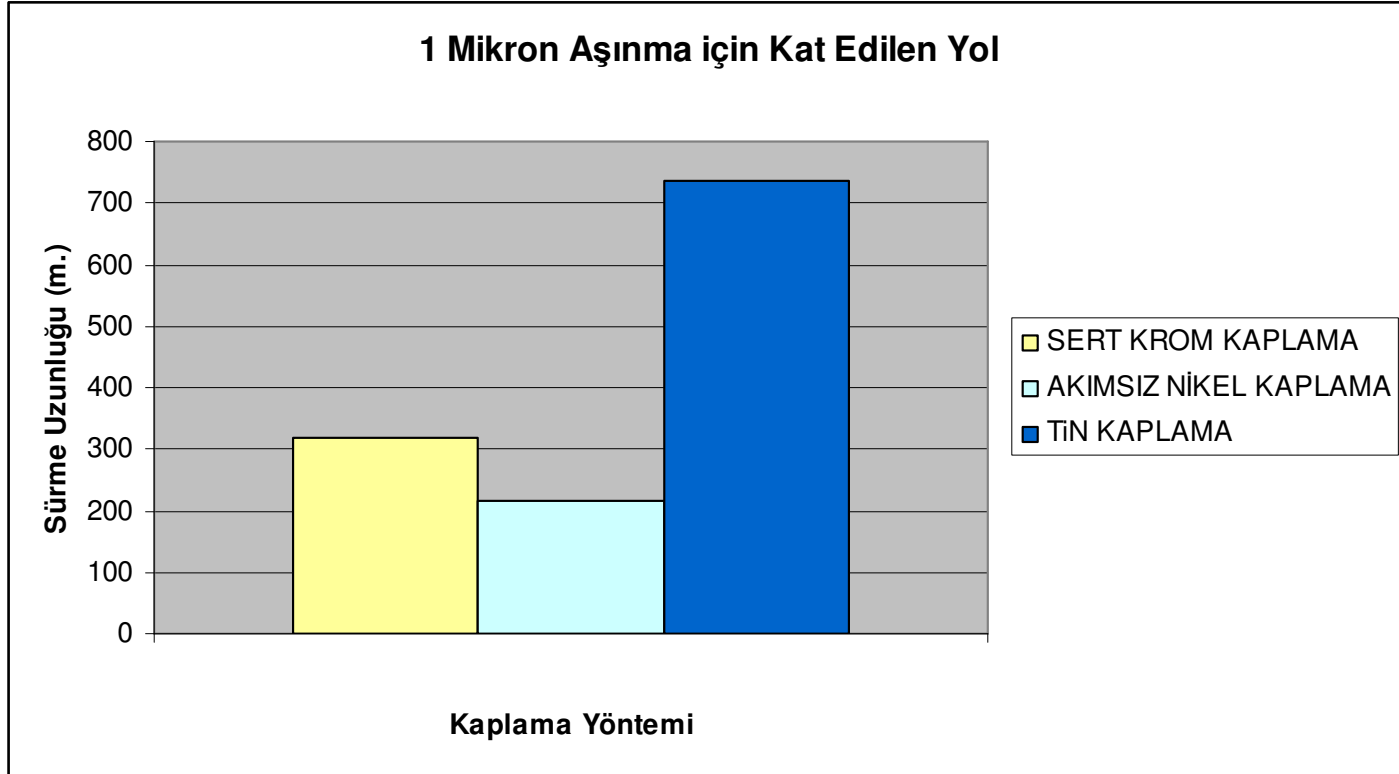
Malzemenin kaplanması ekonomik yönden irdelenmesi de son derece büyük önem taşımaktadır. Aşınmaya dayanımını artırırken, kaplama maliyetinin de hesaplanması gerekir. Sert krom kaplama diğer kaplamalardan çok daha ucuza mal olmuştur. Bir pulluk uç demirinin kaplatılması yaklaşık 15 YTL/ adet tutarındadır. Ancak; bu fiyat; firmaya tek bir kaplama yapılması için ödenen pazarlıksız tutardır. İhale usulü toplu kaplama yaptırıldığında bu tutar çok aşağılara çekilebilir. Günümüzde bir pulluk uç demirinin ortalama 20 YTL. fiyatla satıldığı düşünülürse, uç demirinin sert kromla kaplatılması makul görülmektedir. Titanyum nitrür ve akımsız nikel kaplamalar ise pahalı kaplamalar olup ancak zamanla kaplama maliyetlerinin düşmesi ile pulluk uç demiri kaplama materyali olarak düşünülebilir.

Çizelge 8.2. Aşınma deneyi sonuçları

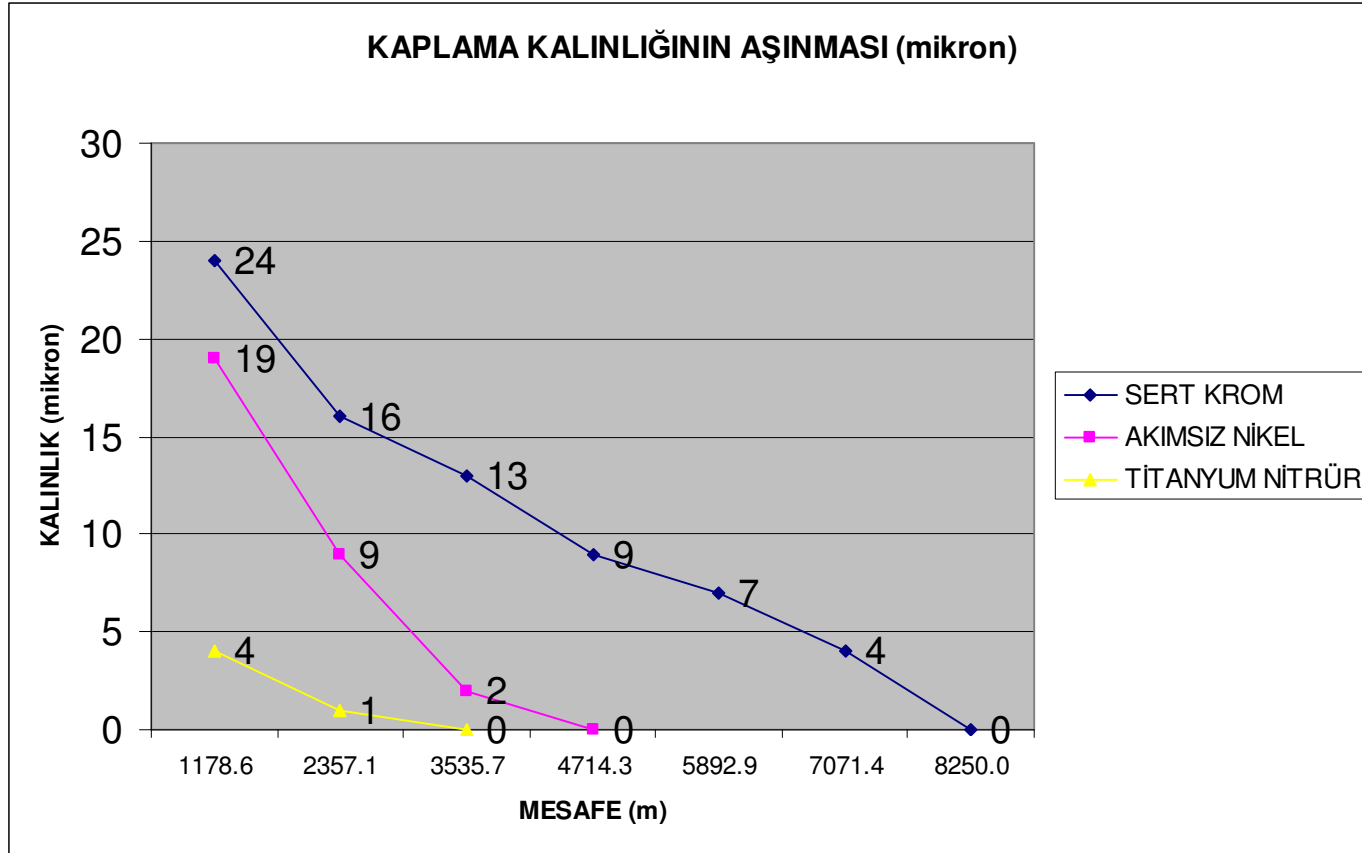
AŞINMA DENEYİ SONUÇLARI																				
ÇEVİRİM	SÜRME UZUNLUĞU (m)	ŞAHİT (Ç5630)				SERT KROM KAPLAMA					AKIMSIZ NİKEL KAPLAMA					TİTANYUM NİTRÜR KAPLAMA				
		TARTILAN AĞIRLIK (gr)	AŞINAN MİKTAR (gr)	AŞINMA ARTIŞI (gr)	KAYIP AĞIRLIK %	TARTILAN AĞIRLIK	AŞINAN MİKTAR GR	AŞINMA ARTIŞI GR	KAPLAMA KALINLIĞI (mikron)	KAYIP AĞIRLIK %	TARTILAN AĞIRLIK	AŞINAN MİKTAR GR	AŞINMA ARTIŞI GR	KAPLAMA KALINLIĞI (mikron)	KAYIP AĞIRLIK %	TARTILAN AĞIRLIK	AŞINAN MİKTAR GR	AŞINMA ARTIŞI GR	KAPLAMA KALINLIĞI (mikron)	KAYIP AĞIRLIK %
		5019				5022					5199					5071				
1	1178.6	5008	11		-0.2192	5015	7		24	-0.1394	5189	10		19	-0.1923	5061	10		4	-0.1972
2	2357.1	4994	14	3	-0.2796	5006	9	2	16	-0.1795	5177	12	2	9	-0.2313	5045	16	6	1	-0.3161
3	3535.7	4975	19	5	-0.3805	4993	13	4	13	-0.2597	5159	18	6	2	-0.3477	5025	20	4	0	-0.3964
4	4714.3	4950	25	6	-0.5025	4976	17	4	9	-0.3405	5135	24	6	0	-0.4652	4997	28	8		-0.5572
5	5892.9	4917	33	8	-0.6667	4952	24	7	7	-0.4823	5102	33	9		-0.6426	4959	38	10		-0.7605
6	7071.4	4876	41	8	-0.8338	4918	34	10	4	-0.6866	5060	42	9		-0.8232	4912	47	9		-0.9478
7	8250.0	4821	55	14	-1.1280	4867	51	17	0	-1.0370	5000	60	18		-1.1858	4851	61	14		-1.2419
8	9428.6	4753	68	13	-1.4105	4798	69	18		-1.4177	4928	72	12		-1.4400	4773	78	17		-1.6079
9	10607.1	4670	83	15	-1.7463	4715	83	14		-1.7299	4837	91	19		-1.8466	4679	94	16		-1.9694
			349		-7.1669		307			-6.2725		362			-7.1747		392			-7.9944
Ortalama Aşınma (gr)		38.8				34.1					40.2					43.6				



Şekil.8.1 Uç Demiri Ağırlık Kaybı



Şekil 8.2. Bir mikron aşınma için kat edilen yol (metre)



Şekil 8.3. Kaplama kalınlığının aşınması

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toprak işleme organı olarak kullanılan pulluk uç demirleri imalatında yaygın olarak 30 Mn B5 kalitesinde çelik kullanılmaktadır. Uç demirleri aşınma dirençlerinin artırılması amacıyla; elektroliz metodu ile 25 µm kalınlığında sert krom, kimyasal işlemlerle 20 µm kalınlığında akımsız nikel ve fiziksel buhar biriktirme tekniği ile 4 µm kalınlığında titanyum nitrür ile kaplatılmıştır. Kaplama işleminden sonra mekanik özellikleri belirlenen uç demirlerinin toprak içerisinde aşınmaya karşı davranışlarını gözlemlemek için, “kumlu-killi-tınlı” toprak yapısına sahip aşındırma kanalında aşınmaya tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Sonuçlar

1. Yapılan deneyde; 4 mikron kalınlığındaki titanyum nitrür kaplama 2846 m.'de, akımsız nikel kaplama 4125 m.'de, sert krom kaplama ise 6482 m.'de aşınmıştır.
2. 10.6 km devam eden sürüm sonunda; Kaplanmamış Erd 5630 çeliğinden mamul edilen şahit numune; ilk ağırlığından toplam %7.1, sert krom kaplanmış numune % 6.2, akımsız nikel kaplanmış numune % 7.1, TiN kaplanmış numune ise % 7.9 kaybetmiştir.
3. 1 µm kaplamanın aşınması için yaklaşık ortalama sürüm uzunluğu; titanyum nitrür kaplama için 736 m, akımsız nikel kaplama için 217 m, sert krom kaplama için 319 m bulunmuştur.
4. 1 µm TiN kaplamanın aşınması için yaklaşık ortalama sürüm uzunluğu diğer kaplamalardan daha uzun olmasına rağmen, TiN kaplamanın ince bir kaplama olması, kaplandığı malzemeden sert krom ve akımsız nikel kaplamaya oranla daha kısa sürede aşınmasına sebep olmaktadır. Kaplama kalınlığının aşınma mekanizmasına karşı bariyer görevi görerek aşınmayı geciktirdiği söylenebilir.
5. Yüzey pürüzlülüğü daha fazla olan TiN kaplamanın, yüzey pürüzlülüğü daha düşük olan diğer bir kaplamadan; örneğin sert krom kaplamadan daha

dayanıklı olmasının sebebi ise; kaplama sertliği değişkenin devreye girmesi ile açıklanabilir. Kapslama sertliğinin aşınma dayanımını arttırdığı söylenebilir.

6. Sert Krom kapslama; günümüzde daha kalın bir kapslama olarak uygulanabildiğinden ve yine günümüzde kapslama maliyetinin diğer kapslama materyallerine nazaran daha ekonomik olmasından dolayı pulluk uç demirinin aşınmasını geciktirmek için bir kapslama materyali olarak kullanılabilir.

7. Kapslama işlemleri malzemeye ek bir maliyet getirmiş olsa da malzemelerin kullanım ömrünün uzun olması bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır.

Bu çalışmada amaç pratiğe intikal edebilecek değişimleri başlatmaya katkıda bulunmaktadır. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlara dayanarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir;

Öneriler

1. Kapslama yöntemleri, kapslama kalınlıkları ve kapslama materyalleri değiştirilerek bu deneyler tekrarlanabilir.
2. Kaplanmış uç demirleri farklı topraklarda denenebilir. Kapslama alt malzemesi olarak Erd- 5630 yerine daha az maliyetli olan diğer çelikler kullanılabilir.
3. Alt malzeme yüzey pürüzlülüğu azaltıldıktan sonra kapslama işlemleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gökçebay, B., "Tarım Makineleri 1", **Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları**, Ankara, 979: 3-16, 39-68, (1986).
2. Bainer, R., Kepner, R.A., Barger, E.L., "Tarım Makinelerinin Esasları" **İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi Yayınları**, 116: 143-169 (1977).
3. Kasap, E., Engürülü, B., Kılınç, K.S., Başaran H., Çiftçi, Ö., Gölbaşı, M., Akkurt, M., "Tarım Alet ve Makineleri", **T.C. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Ders Araç ve Gereçleri Makine Eğitim Merkezi Müdürlüğü**, Ankara, 49-66 (1998).
4. Erdoğan, D., "Makine Malzeme Bilgisi", **Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları**, Ankara, 913 (1984).
5. Lawrence, H., Vlack, Van. "Elements of Material Science", **Addison-Wesley Pub**, U.S.A.,320 (1964).
6. Gürleyik, M. Y., "Metallerin ve Metal olmayan Sert Malzemelerin Taneli Maddeler Tarafından Sürtünerek Aşınması", **Mühendislik ve Malzeme Dergisi**, 19: 17 (1995).
7. Gediktaş, M., "Sürtünme ve Aşınma", **İTÜ Dergisi**, İstanbul 28: 3 (1970).
8. Erdoğan, T., "Mühendislik için Çelik Seçimi", **TMMOB Yayını**, 119 (1992).
9. Korkut, H. M., "Sürtünmeye Maruz Metalik Disklerin Aşınmış Bölgelerinde Dolgu Kaynak İşleminde Sonra Aşınma Özelliklerinin Değişiminin Deneysel Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi**, Elazığ, 28-41 (1991).
10. Bilginer, H., "Aşınma Faktörleri ve Çalışma Ortamları", **AS Kaynak Dergisi**, 1: 22-24 (1987).
11. Timungst, L., "Malzeme Teknoloji Seviye-3", **Yüksek Öğrenim Kurumu Matbaası**, Ankara, 4-39 (1995).
12. Tekin, A., "Çelik ve Isıl İşlemi", **Hakan Ofset Yayınevi**, Adana, 14-56 (1984).
13. Karamış, M.K., "Toprak İşleme Aletlerinde İş Organının Aşınmasının Etüdü", Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 4-89 (1985).
14. Oğuz, B., "Dolgu Kaynağı El Kitabı" **Oerlikon**, İstanbul, 25-67 (1976).

15. Richardson, R.C.D., "The Wear of Metal Shares in Agricultural Soils" Phd. Thesis, **London University**, England, 12-70 (1969).
16. Kantarcı M.S., "Toprak İşleme Aletlerinde Aşınma", **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 6-82 (1982).
17. Moore, M. A., "Abrasive Wear by Soil", **Tribology International**, 3: 105-110 (1975).
18. Hurrics, P.L., "Some Metallurgical Factor Controlling the Adhasive and Abrasive Wear Resistance of Steels", **CRC Pres**, USA, 285-304 (1973).
19. Ulusoy, E., "Bazı Toprak İşleme Alet ve Makinelerinde İş Organlarının Aşınması Üzerine Araştırmalar", **Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi**, Doktora Tezi, İzmir, 8-68 (1977).
20. Mutaş, E. ve Ulusoy, E., "Toprak İşleme Aletlerinin İş Organlarında Kullanılan Bazı Çeliklerin Farklı İşlemlere Göre Laboratuar ve Tarla Şartlarında Aşınma Dirençleri" **T.B.T.A.K., T.O.A.G. Serisi**, Ankara, 61 (1977).
21. Keçecioğlu, G. ve Ulusoy E., "Ege Bölgesinde Yapılan Bazı Pulluk Uç Demirleri Üzerinde Bir Araştırma", **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları**, İzmir, 3-49 (1975).
22. Öz, İ.H., "Ziraat Makineleri", **İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi**, İstanbul, 1:1141 (1977).
23. Sungur N., "Tarım Makineleri İşletme Tekniği", **Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi**, İzmir, 215: 8-11 (1974).
24. Angus, H.T., "The Significance of Hardness: Wear", England, 33-78 (1979).
25. Çakır, A.F., "Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi ile Yüzey Kaplaması", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Bölümü**, 4-71 (1996).
26. Çelik, E., Soykan, Ş., Avcı, E., "Seramik Kaplanmış Malzemelerin İncelenmesi, **2. Uluslararası Seramik Kongresi, Bildiriler Kitabı**, İstanbul, 419-429 (1994).
27. Çakır, A.F., "Korozyondan Korunmada Metalik Kaplamalar", Korozyon Sempozyumu, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi**, Ankara, 223-247 (1988).
28. Rickerby, D., Matthews, A., "Advanced Surface Coatings: A Handbook of Surface Engineering", New York., 4-13 (1991).

29. Doruk, M., "Genel Korozyon" **SEGEM**, Ankara, 53 (1979).
30. Steffons, H.D., Gramlich, M., "**Thermal Spraying, Second ASM Head Treatment and Surface Engineering Conference and Exhibition in Europe**, Dortmund, Germany, 25 (1993).
31. Hocking, M.G., Vesantasree, V., Sidky, P.S., "Metalic and Seramic Coating: Production High Temparature And Applications, London, England, 13-54 (1989).
32. Köroğlu, D., "Sert Krom Kaplama", Bitirme Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji Bölümü**, 14-46 (1990).
33. Sevinç, V., "Metal Kaplama Ders Notları", **Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Metalurji Bölümü**, 5-13 (1993).
34. Çakır, A.F., "Akımsız Nikel Kaplamalar ve Uygulamaları", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 2: 76-83 (1997).
35. Erbil, T., "İki Yeni Mühendislik Yüzey İşlemi: Electroless Nickel ve Hard Anodizing", **Metalurji Dergisi**, 86: 42-46 (1993).
36. Erbil, T., "Akımsız Nikel ve Sert Anodizasyon", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 29: 16-20 (2002).
37. Riedel, W. "Electroless Nickel Plating", **ASM International**, Ohio, U.S.A, 21-35 (1991).
38. Gündüz, O., Sungur, M., Salman, S., "Akımsız Nikel Kaplamaların Laboratuar Şartlarında Özelliklerinin İncelenmesi", **Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi**, 23-45 (2001).
39. Erdener, E., "Kimyasal Nikel Kaplamaların Kullanım Alanları", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 27: 4-6 (2002).
40. Uncuoğlu, N., "Enplate Akımsız Nikelin Malzeme İkamesinde Kullanılması", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 2: 84-87 (1997).
41. Erdener, E., "Akımsız Nikelin Fonksiyonel Kullanım Alanları", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 14: 158-161 (1999).
42. Eras, G., "Demir-Çelik Malzemelerinin Siyahlandırılması", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 29: 4-6 (2002).
43. Akarçay, İ., "Elektrolitik Çinko Kaplama", **Yüzey İşlemler Dergisi**, 27: 26-34 (2002).

44. Türküz, M.C., "Ark PVD Yöntemiyle Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, 50-116 (1997)
45. Gabe, D.R., "Tüzeylerin Kaplanmaya Hazırlanması", Yüzey İşlemler Dergisi, 4: 220-226 (1997).
46. Yeltekin, S., "Elektrolitik Olmayan Nikel Kaplamalar ve Anodik Polarizasyon Özellikleri", Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi**, İstanbul, 6-61 (1992).
47. Öz, Ş., "**Eskişehir 1. Hava İkmal Bakım Merkez Komutanlığı, Kaplama Atölyesi, Proses Notları**", Eskişehir, 11-19 (1991).
48. Holmberg K., Matthews, A., "Coatings Tribology-Properties, Techniques and Applications in Surface Engineering, **Elsevier**, 28: 3-13, 33-121, 125, 257-307 (1994).
49. Bhushan, B., Gupta B.K., "Handbook of Tribology-Materials, Coating and Surface Treatments, **Mc.Graw-Hill Inc.**, 12-47 (1991).
50. Hogmark, S., Hedenquist, P., "Tribological Characterisation of Thin, Hard Coatings, **Wear**, 147-154 (1994).
51. Bunshah, R.F., "Applications of PVD Processes, **Agard Lecture Series** Materials Coating Techniques, Harford House, London, England, 106 (1980).
52. Sert, H., "PVD ile TiN kaplanmış Alüminyum Ekstrüzyon Kalıplarının Yüzey Özellikleri ve Aşınma Performanslarının Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 5-39, 45-79 (1997).
53. Pulker, H.K., "Wear and Corrosion Resistant Coatings by CVD and PVD" **Expert Verlag**, 6-20 (1989).
54. Özcan, A., "PVD Kaplamaların Sert Metallere Uygulanması", Yüksek Lisans Tezi, **Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, 12-18 (1997).
55. Bunshah, R.F., "Deposition Techniques", **Materials Science and Engineering**, California, USA, 18-20 (1982).
56. Reichelt, K. And Jiang, X., "The Preparation of TiN Films By Physical Vapour Deposition Methods", **Thin Solid Films**, 91-92, 110-125 (1990).

57. Sert, H., Meriç, C., "Aşınan Metallerin Hayata Kazandırılmasında Yeni Bir Yöntem; Çelik Toz Püskürtme Mekanik Testleri", **5. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 9-32 (1992).
58. Powell, C.F., Oxley, J.H. and Blocher, J.R., "Vapour Deposition" **John Wiley & Sons Inc.**, New York, U.S.A., 222 (1967).
59. Çetinkaya, C., "Pulluk Uç Demirlerinin Aşınmaya Dayanımlarının Belirlenmesi ve İyileştirme İmkânları Üzerine Araştırmalar", **Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 44 (1994).
60. Jahanmir, S., Abrahamson, E.P., "Sliding Wear Resistance of Metallic Coated Surfaces: Wear", **N.P.Suh**, 285-304 (1976).
61. Folley A.G., Lawton P.J., Barker A.W., McLees V.A., "The use of Alumina Ceramic to reduce wear of soil-engaging components", **Journal Agricultural Engineering Research**, 30: 37-46 (1984).
62. Karamış, M. B., "Türk Tarım Sektöründe Toprak İşleme Elemanlarının Aşınmasıyla Kaybolan Enerji", **3. Uluslararası Mekanizasyon ve Enerji Sempozyumu Bildirisi**, 34-38 (1987)
63. Vang, B., Levy, A. B., "Erosion of Hard Material Coating Systems, Wear", **Spon Pres**, 325-346 (1988).
64. Ura A., Nakashima A., "Effect of Deformation of the Contact Surface on Wear and Friction", **Elsevier Science**, 409-418 (1986).
65. Tülbentçi, K., Karamış M.B., "Teknik ve Ekonomik Açıdan Aşınmanın Önemi ve Sanayide Tanıtılması", **1. Ulusal Üniversite Sanayi İşbirliği Sempozyumu**, Kayseri, 23-34, (1985).
66. Dubpernell, G., "Elektrodeposition of Chromium From Chromic Acid Solutions" **Pergamon Press Inc.**, New York, USA, 34-71 (1977).
67. Dubpernell, G., "Modern Electroplating, Lowenheim F.A., Third Edition, **Wiley-Interscience Publication**, New York, USA, 12-38 (1974).
68. Durney, L. J., "Electroplating Engineering Handbook" **Von Nostrand Reinhold**, 387-397 (1984).

EKLER

EK-1 Sert krom kaplama uygunluk sertifikası

FINAL
 METAL KAPLAMA BOYA İMALAT SAN. TİC. LTD. ŞTİ.
 41 A Sokak No:24 06370 Ostim/ANKARA
 Tel : (0.312) 365 69 68 Fax : (0.312) 365 69 23
 Ostim Vergi Dairesi Başkanlığı 388 048 3915

UYGUNLUK SERTİFİKASI

ISO 9001 : 2000



MÜŞTERİ : PANKO ZİNCİR -
 RAPOR TARİHİ : 21.06.2006
 SİPARİŞ NO :
 PARÇA ADI / NO :
 UYGULANAN KAPLAMA PROSESİ : SERT KROM KAPLAMA
 UYGULANAN KAPLAMA PROSESİ : 00-P-C-14538
 TESLİM EDİLEN MİKTAR : 2 ADET

KONTROL SONUÇLARI

GÖZ KONTROL		AMBALAJ KONTROL	
Uygun ☒	Uygun Değil ☐	Uygun ☒	Uygun Değil ☐
AÇIKLAMA :			

AÇIKLAMALAR :

Bu raporda belirtilen yüzey kaplama işlemlerinin ilgili teknik resim ve talimatlara uygun olarak yapıldığını taahhüt ederiz.

FINAL
 KALİTE SORUMLUSU

F-33/R.02

EK-2 Akımsız nikel kaplama uygunluk sertifikası



UYGUNLUK SERTİFİKASI

ALICI ADI : PANKO BİRLİK / A. Tufan Palalı
ALICI ADRESİ : Çankaya / ANKARA

PARÇA NO	PARÇA ADI
İŞ EMİR NO	SİPARİŞ EMİR NO
SEVKİYAT ADEDİ 2	TARİH 21.06.2006

GÖNDERİLEN PARÇA VEYA MALZEMEYİ TANITICI PROSESS BİLGİLERİ

Uygulanan Kaplama Prosesi : MIL-C-26074
Uygulanan Astar Prosesi :
Uygulanan Boya Prosesi :

YAPILAN MUAYENELER:

GOZ KONTROLÜ :
KALINLIK :
YAPIŞMA TESTİ :

KABUL RED



AÇIKLAMALAR :

Bu dokümanda belirtilen malzeme veya parçaların ilgili resim, talimatlara, onaylanmış değişiklik ve sapmaları uygun olarak muayene edildiğini ve uygun olduğunu taahhüt ederiz.

KALİTE GÜVENÇE MÜDÜRÜ

BAYRAK YÜZEY İŞLEMLERİ
VE YERİŞİMLERİ İMAL.
SAN. VE TİC. A.Ş.
Emine Yarı Köyü 689. Sk. No:26 Ostim
Tel : (0.312) 395 54 03 - 395 67 36 Ostim
Ostim Vergi Dairesi 025 9326 ANKARA

Emine Yarı Köyü 689. Sk. No:26 Ostim / ANKARA
Tel : (0.312) 395 54 03 - 395 67 36 Fax : 395 57 35
www.bayrakltd.com bayrakyuzey@bayrakltd.com

Frm.07 / Rev.00

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : PALALI, A. Tufan
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 04.11.1970 Konya
 Medeni Hali : Evli, bir kız çocuğu babası.
 Telefon : 0 (312) 435 56 20
 Faks : 0 (312) 435 62 83
 Elektronik posta : tufanpalali@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi Ana Bilim Dalı	
Lisans	Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Mühendisliği	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-devam ediyor	Pankobirlik Genel Müdürlüğü	Uzman
1998-2005	Pankobirlik Genel Müdürlüğü	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce KPDS: 70, Kasım 2006

Aktiviteler & Hobiler

Basketbol Müsabakaları Teknik Gözlemcisi (2002 – devam ediyor)