

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İŞ MAKİNALARINDA AŞINMA ÖMRÜ  
KRİTERLERİNİN İNCELENMESİ**

**Makine Mühendisi Gökhan ERTAN**

**F.B.E. Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

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

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet Ulvi AVCI**

811998

*Prof. Dr. İng. Ahmet Ulvi AVCI*

*Prof. Nurullah Gültekin* *İmkanlı*

**İSTANBUL, 1999**

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖZET .....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. AŞINMA.....	1
1.1 Abrazif Aşınma.....	2
1.2 Adhezif Aşınma.....	4
1.3 Korozif Aşınma .....	5
1.4 Yorulma Aşınması .....	6
1.5 Aşınma Derecesini Etkileyen Faktörler .....	7
2. AŞINMA UYGULAMALARI ve SÜRTÜNME MALZEMELERİ .....	9
2.1 Malzeme Seçim Esasları .....	9
2.1.1 Karbonlu ve alaşımlı çeliklerinin sürtünme ve aşınmaları.....	10
2.1.1.1 Çelik mikroyapısının aşınmaya etkisi .....	10
2.1.1.2 Zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı.....	17
2.1.1.3 Karbonlu çeliklerin aşınma özellikleri.....	18
2.1.1.4 Göreceli maliyetlere dayandırılan çelik seçimi .....	20
2.1.1.5 Sertleştirilmiş bölgelerin derinliğinin aşınmaya etkisi.....	20
2.1.1.6 Tokluğun aşınmaya etkisi.....	21
2.1.2 Dökme demirin sürtünme ve aşınması.....	22
2.1.2.1 Lamel grafitli dökme demirlerin aşınma özellikleri .....	22
2.1.2.2 Beyaz veya sert demirlerin aşınma özellikleri.....	23
2.1.2.3 Temper dökme demirlerin aşınma özellikleri.....	23
2.1.2.4 Küresel grafitli dökme demirin aşınma özellikleri .....	23
2.1.2.5 Dökme demirlerin kullanım alanları.....	24
2.1.3 Sürtünme ve aşınmaya dayanıklı sert kaplama alaşımları .....	25
3. AŞINMANIN ÖLÇÜM YÖNYEMLERİ .....	28
3.1 Yağ Analizi ile Aşınmanın Tesbiti .....	28
3.1.1 S.O.S. (Scheduled Oil Samling) programlanmış yağ analizi ile aşınmanın tesbiti.....	28
3.1.1.1 Aşınma elementlerinin analizi .....	28
3.1.1.2 Yağ durum analizi.....	31
3.1.1.3 Yağ analizi ile aşınma durumunun izlenmesinin avantaj ve dezavantajları.....	33
3.2 Tartı Yöntemi ile Aşınmanın Tesbiti .....	34
3.3 Mekanik Ölçüm Yöntemi ile Aşınmanın Tesbiti.....	35
3.4 Optik Yöntem ile Aşınmanın Tesbiti.....	38
3.4 Ultrasonik Yöntemle Aşınmanın Tesbiti .....	38

4.	AŞINMA DENEY METODLARI .....	40
4.1	Aşınma Oranlarının Tahmini.....	40
4.2	İş Makinası Kepçe Tırnağının Aşınma Dayanımını Arttırma Çalışmaları .....	41
4.2.1	A Firmasının uzun ağır hizmet kepçe tırnaklarının B firması ile karşılaştırılması.....	42
5.	AŞINMA DAYANIMINI ARTTIRMAYA YÖNELİK ÖNLEMLER.....	44
5.1	Malzeme Seçimi .....	44
5.2	Birleşik (Kompozit) Tungsten Karbürü .....	45
5.3	Konstrüktif Önlemler .....	47
5.3.1	Tasarımın kullanımı .....	48
5.3.2	Ekskavatör kepçe tırnaklarındaki konstrüktif değişikliklerin aşınmaya etkileri .....	51
5.4	Kaynak Takviyesiyle Alınacak Önlemler .....	53
5.4.1	Aşınma plakalarının kullanımı .....	54
5.5	Termokimyasal İşlemler .....	55
6.	SONUÇ .....	56
	KAYNAKLAR .....	57
	ÖZGEÇMİŞ .....	59

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Aşınmanın mekaniği.....	2
Şekil 1.2.a) İki cisimli aşınma.....	3
Şekil 1.2.b) Üç cisimli aşınma.....	3
Şekil 1.2.c) Eroziyon aşınma.....	3
Şekil 1.3 Adheziyon aşınma.....	4
Şekil 1.4 Kayma sürtünmesi ve yuvarlanma sürtünmesi için yorulma aşınması.....	6
Şekil 2.1 Demir karbon denge diyagramı.....	11
Şekil 2.2 Martenzit mikroyapıdaki çeliğin karbon değişim miktarlarına karşılık (%99.9, %90, %50) sertliklerinin değişim miktarları.....	14
Şekil 2.3 SAE 1095 çeliği için zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı.....	18
Şekil 2.4 Maden cevheri kırıcısında seçilen çelik millerin sertliklerinin abrazyon aşınmaya etkileri.....	19
Şekil 2.5 Seçilen malzemeler arasında abrazyon dayanımı ve tokluk ilişkisi.....	21
Şekil 3.1 Bir iş makinasının yürüyüş takımına ait pabuç.....	35
Şekil 3.2 Kullanılamaz hale gelmiş bir pabuç.....	36
Şekil 3.3 Kuyruk aşınmasına uğramış bir pabuç.....	36
Şekil 3.4 Aşınmayı ölçmek için profilmetre yöntemi.....	37
Şekil 3.5 Aşınmayı ölçmenin çukur teşkil etme yöntemi.....	38
Şekil 5.1 Tungsten karbidin sertlik değerinin ve aşınma ömrünün karşılaştırılması.....	46
Şekil 5.2 Birleşik sert dolgu tabakalarında tungsten karbürü tanelerinin dağılımı.....	47
Şekil 5.3 Ekskavatör kepçesi kenarı ve dişleri için sert kaplama örneği.....	49
Şekil 5.4 Mineral malzemenin türüne ve ölçüsüne göre değişik sert kaplama dikişleri.....	49
Şekil 5.5 Abrazyon ve çarpma dayanımı için kepçe kesici kenarını sert kaplama.....	49
Şekil 5.6 Kepçenin yan yüzeyine uygulanan sert kaplama dikişi deseni.....	50
Şekil 5.7 Çeşitli sert kaplanan yüzeylerin kepçe dişi aşınmasına etkisi.....	50
Şekil 5.8 Eskimiş kepçe dişinin yüksek manganez çeliği üzerine sert kaplamayla yenilenmesi.....	50
Şekil 5.9 Ekskavatör kepçe tırnaklarının aşınma ömrü, dalıcılık kabiliyeti ve mukavemetlerine göre karşılaştırılması.....	52
Şekil 5.10 Yüksek manganezli çelik döküm aşınma plakaları.....	54
Şekil 5.11 Abrazyon aşınma dayanımlı plakalar.....	54

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Uygulamalarda kullanılan abrazyon dayanımlı alaşımlı çeliklerin kimyasal bileşimi.....	13
Çizelge 2.2 Bazı malzemeler için abrazif aşınma verileri.....	15
Çizelge 2.3 Abrazyon dayanımlı alaşımlı çeliklerin sertlik, tokluk ve abrazif aşınma değerleri.....	16
Çizelge 2.4 Beyaz demirin bileşim ve sertlik değerleri.....	23
Çizelge 2.5 Aşınma parçaları için dökme demir uygulamaları.....	24
Çizelge 2.6 Kaynak proses ve malzemeleri.....	27
Çizelge 3.1 Aşınma elementleri analizi.....	29
Çizelge 3.2 Pabuç aşınma oranları.....	37
Çizelge 4.1 Test sonuçları.....	42
Çizelge 4.2 X ve Y malzemesi kimyasal bileşimi.....	42
Çizelge 4.3 A ve B firmasının test sonuçlarının karşılaştırılması.....	43
Çizelge 5.1 İş makinası palet pabucu kimyasal bileşimi.....	44



## ÖZET

İş makinalarında aşınma, tasarımda ve işletmede karşılaşılan en büyük sorundur. Aşınan parçaların yenileme maliyeti ve değiştirme zamanının çok oluşu, büyük işgücü kayıplarına yol açmakta ve dolayısıyla verimliliği azaltmaktadır. İş makinalarında oluşan aşınma türlerini ve mekanizmasını bilmek problemin çözümü için bir başlangıçtır.

Aşınma nedeniyle büyük miktarlarda çelik toprağa ve yağa karışmaktadır. Bu konudaki malzeme geliştirme çalışmaları sürekli iyileştirme anlayışıyla devam etmektedir. Aşınma dayanımlı malzemeler, malzemelerin özellikleri bu tezde öncelikle değinilen konulardır. Malzeme dayanımını arttırmaya yönelik önlemlerin başında uygun malzeme seçimi, konstrüksiyonda değişiklikler, kaynak takviyesi, termokimyasal işlemler ve malzeme yüzeyini abrazyona dayanımlı malzeme ile kaplamak gelir. Aşınmayı kontrol edebilmek için ölçüm yöntemlerinden birini kullanmak gerekir. İşletme şartlarında makine çalışırken kullanılan yağ analizi en avantajlı yöntemlerden birisidir. Aşınma parçaları üzerinde yapılan konstrüktif değişikliklerin ise aşınmaya etkileri imalatçıların üzerinde çalıştığı bir başka konu olarak ele alınmıştır.

Türkiye’de büyük üretim kapasitesi ve makine parkı bu dalda büyük bir potansiyel oluşturmaktadır. Teknolojinin geliştirilmesine yardımcı çalışmalar ise yok denilecek kadar azdır. Türkiye’deki iş makinaları üreticisi firmaların bu konudaki çalışmaları ise kullanıcı istekleri doğrultusunda olmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Aşınma, malzeme, iş makinası, kaynak, konstrüksiyon.

## **ABSTRACT**

**Wear in the machines is the biggest problem in managing and designing. The high cost of renewing the worn components and changing time is long. This causes big loss of workforce and as a result of this decreases productivity. It is the first step to know the kinds of wear and wear mechanism in machines.**

**Because of wear a big amount of steel weaves earth and oil. Material development productions about this subject has still been continuing to perfect the models. Wear resistant materials and the properties of these materials are the subjects which are specially mentioned in this thesis. The most precautions taken to reduce material resistance, are choosing the correct materials, changes in the construction, consolidation of welding thermochemical treatments, and covering the surface of the materials with abrasion resistant materials. In order to control the wear one of the measuring methods should be used. The oil analysis in the operational conditions while the machine is working is one of the most advantages measuring methods. The influences of constructive changes on wear parts are examined as another subject that the producers are still working on.**

**Production capacity and machine park in Turkey on this field forms a big potential. There are almost no works to improve the technology. The studies of wills the machine producing firms in Turkey are only according to the wills of the users.**

**Keywords: Wear, material, mining machines, welding, construction.**

## 1. AŞINMA

Cisimlerden mekanik etkenlerle mikro taneciklerin kopmasıyla meydana gelen, istenmeyen yüzey değişikliklerini tanımlar. Aşınma çiftini oluşturan ana cisim ve karşıt cisim, aralarında belirli bir ara cisim varken, az veya çok yük altında hareket ederken aşınma başlar.

Modern araştırmalar, çoğu kez aşınma şekilleri olarak sınıflandırılan birkaç sürecin yanısıra dört ana aşınma şeklini tespit etmişlerdir. Her aşınma süreci kendi öz kanununa uymakla birlikte, birçok sebeple, diğer süreçleri etkiler. Buna göre, bir temiz düzgün bakır yüzeyin, aynı şekilde temiz düzgün çelik yüzey üzerinde kayması halinde, her bir yüzeyden öbürüne tanecik geçişiyle bir yüzeyin öbürü tarafından çizilmesi kaçınılmaz olur. Aşınma türünün yüzeylerin incelenmesiyle araştırılmasındaki sonuç, bunun abrasif tipte bir aşınma olduğu yolunda olacaktır şöyle ki; çiziklerin oluşması, bir abrasif etkinin işareti olmaktadır. Oysa ki gerçekte bu bir adhezif aşınmanın örneği olup tanecik ve çiziklerin gerçek nedeni, yapışkan etki ile bir yüzeyden diğerine tanecik transferinden oluşmaktadır.

*Abrasif aşınma* : Bu, pürüzlü sert bir yüzeyin, ya da sert tanecikler içeren bir yumuşak yüzeyin daha yumuşak bir yüzey üzerinde kayıp bunda bir dizi oluk açması şeklinde olan aşınmadır. Oluklardan çıkan malzeme, aşınma tanecikleri şeklinde olup genellikle gevşek olurlar.

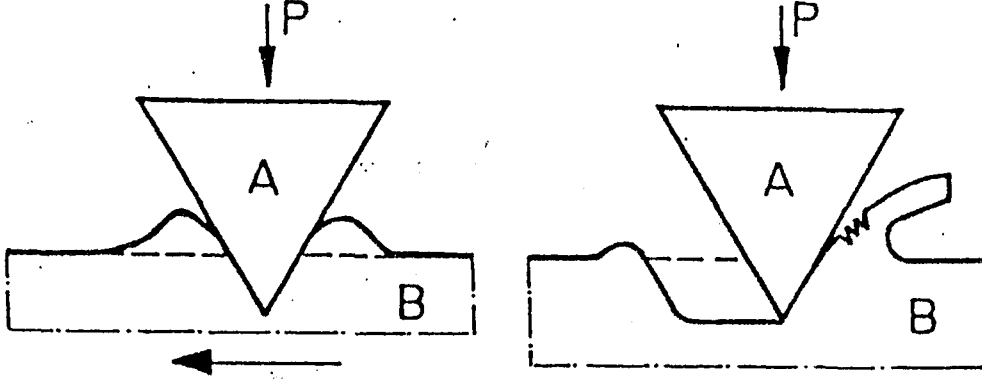
*Adhezif aşınma* : Bu aşınma şekli iki düzgün cismin birbirini üzerinde kayması ve bir yüzeyden parçacıkların kopup öbürüne yapışması şeklinde olur. Daha sonra bu parçacıklar, üzerlerinde oluşturdukları yüzeyden çıkıp ilk yüzeye geri gelebilirler, ya da gevşek aşınma zerrecikleri oluşturabilirler.

*Korozif aşınma* : Bu aşınma şekli, kaymanın bir korozif ortamda olması halinde meydana gelir. Kayma olmadığı zaman, korozyon ürünleri yüzeyler üzerinde bir film oluştururlar; bu film korozyonu yavaşlatır ve hatta onu durdurur; ama kayma bu filmi dışlar ve korozyonun oluşması devam eder.

*Yüzey yorulma aşınması* : Bu aşınma şekli bir iz üzerinde tekrarlanan kayma veya yuvarlanma sırasında gözlenir. Malzemelerin maruz kaldıkları tekrarlanan yüklenme ve boşalma, yüzey yada yüzeyaltı çatlakları oluşturabilir ve bunun sonucunda yüzeyde iri



parçalar oluşumu ile kırılma olabilir ve bu parçalar yüzeyde büyük çukurlar bırakırlar. Benzer bir aşınma şekli de iri parçalar halinde kırılan gevşek malzemelerde görülür.



Şekil 1.1 Aşınmanın mekaniği

### 1.1 Abrazif Aşınma

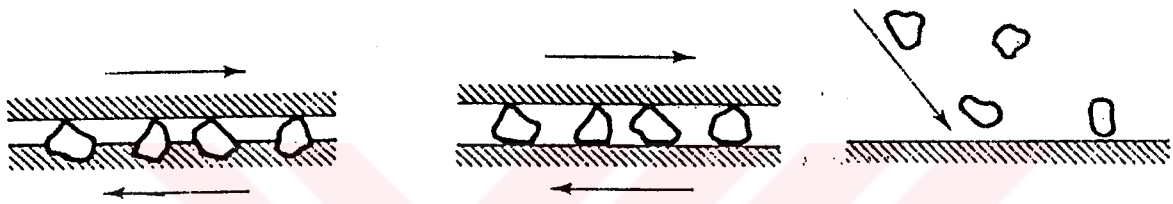
Bu aşınma türü bir sert, pürüzlü yüzeyin daha yumuşak bir yüzey üzerinde kaydığı, onda oluklar açtığı hallerde söz konusu olur. Abrazif aşınma mekanizmasının oluşabilmesi temas halindeki cisimlerin yüzey sertlikleri ve işleme kalitelerinin farklı olmasına bağlıdır. Bu iki şartın sağlanması durumunda uygulanmakta olan yükün dik bileşeni, daha sert ve kaba olan cismin yüzeyine batırmaya çalışmaktadır. Yatay bileşen de yumuşak yüzeyde çizikler, derin izler ve parlatma meydana getirmektedir. Böyle bir abrazif aşınmaya iki cisimli abrazif aşınma denir.

Temas halindeki yüzeyler arasında sert aşındırıcı tanecikler bulunması durumunda derin izler meydana gelmektedir. Buna da "üç cisimli abrazif aşınma" adı verilmektedir.

Malzeme yüzeyi ile ortam arasındaki bağıl hızın yüksek değerlere ulaştığında abrazif aşınmanın bir türü olan erozif aşınma görülür. Bir nesneye çarpan keskin parçacıkların meydana getirdikleri hasar, abrazyonun meydana getirdiği hasarla aynıdır. Erozyonla başlıca fark, bu sonucunda meydana gelen yüzey pürüzlülüğü, göreceli olarak daha büyük olabilir böylece çarpan bir parçacık yüzey üzerinde bir alçak noktadan kolaylıkla malzeme kaldırabilir. Bu tip aşınma, özellikle, iş makineleri tarım alet ve makineleri çimento ve seramik sanayinde görülür. Örnek: toprağın içine daldırılan bir kazmada,

pulluklarda, çimento değirmeninde, iş makinalarının yürüyüş takımında, içinden akışkan geçen bir boruda, bir hidrolik pompa sisteminde vb. gibi

Sert ve pürüzlü bir yüzeyin yumuşak bir yüzey karşısında hareket etmesiyle, uygulanan yüke orantılı olarak sert pürüzler yumuşak malzemeye girer ve çizikler açacak şekilde mikroskobik talaşlar kaldırarak aşındırmaya sebep olur (iki cisimli aşınma). Yumuşak matrikse gömülmüş sert taneciklerden oluşan bir yüzey de yumuşak yüzey karşısında aynı etkiyi gösterebilir (üç cisimli aşınma). İki yüzey arasında toz ve kum taneciklerinin girmesi, iki yüzey arasında taneciklerin öğütülmesi, bir yüzeyin kum veya çakıl gibi malzemeyi ötelemesi, bu tür aşınmanın değişik durumlarıdır.



Şekil 1.2 a)iki cisimli aşınma

b)üç cisimli aşınma

c)eroziv aşınma

Abrazif aşınma ile yapışkan aşınmanın temel eşitlikleri karşılaştırıldığında her ikisinin de yük ve yol ile doğru, akma dayanımı ve sertlikle ters orantılı olduğu görülmektedir.

Abrazif aşınmanın temel eşitliği, aşındırıcı pürüz ve tanelerin geometrisine bağlı olarak verilmektedir. Çeşitli araştırmacılar tarafından farklı yüzey geometrileri için aşınma katsayısı değerlerini doğrudan doğruya karşılaştırmak mümkün olmamakla beraber, açıkça görülmektedir ki, üç cisimli aşınma, iki cisimli aşınmaya oranla çok daha düşüktür. Bu da tanelerin çoğu zaman kesme işlemi yapmadan yuvarlandıklarının bir ispatıdır.

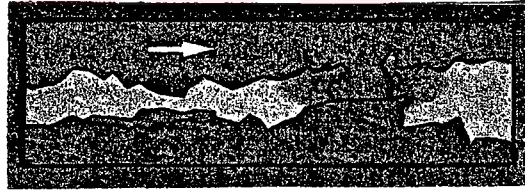
Abrazif aşınmada tanelerin geometrik şekilleri kadar önemli olan diğer bir faktör de, tanelerin irilikleridir. Toprak işleyici organlar söz konusu olduğunda bu, örneğin killi toprak ile kumlu toprak arasındaki fark demektir. Aşındırıcı tanelerin küre, koni piramit gibi değişik modellerde düşünerek ve farklı iriliklerde olabileceklerini göz önünde tutarak yapılan analizlerde, büyük tanelerin küçük tanelere oranla daha fazla aşındırma etkisine sahip oldukları ispatlanmıştır (Hutchings, 1992).

## 1.2 Adhezif Aşınma

Adhezif aşınma, en hızlı ilerleyen aşınma şeklidir. Yüzey sıcaklığı kontrol edilemez, genellikle yağlayıcı bulunmayan yüzeylerden kopan parçacıklar tekrar yapışırlar. Eğer yeterli enerjiye ulaşırsa, kuvvetsiz aşınma yüzeyinden dönen malzeme ikincil abrazif aşınmaya neden olur.

Adhezif aşınma; temas halinde olan cisimlerin, izafi harekete maruz kalmaları durumunda meydana gelen kayma sürtünmesi sonucu, yüzeylerdeki yenme ve kaynama olayıdır.

Birbiri üzerinde kayan cisimlerin gerçek temas yüzeyi geometrik temas yüzeyinden yüzeylerin pürüzlü olması nedeniyle farklıdır. Her bir pürüzün temas yüzeyi, gerçek temas yüzeyine göre çok küçüktür. İşte bu küçük temas yüzeylerindeki gerilmeler düşük mertebeli yüklemelerde bile akma gerilmesi sınırına erişerek bazen bu gerilmeyi geçebilecek büyüklüğe ulaşmaktadır. Böyle bir gerilme etkisinde üst yüzeyde absorbe edilmiş bulunan gaz veya sıvı molekülleri ile oksit tabakaları parçalanarak, malzemelerin molekülleri doğrudan temas haline geçer ve bölgesel kaynak bağları meydana gelir. Buna soğuk kaynama adı verilir (Şekil 1.3). Şekil değiştirme ve kayma sürtünmesi sırasında oluşan ısı sebebiyle üst yüzeylerde sıcaklık artımı olur; hatta bu sıcaklık ergime noktasına kadar çıkabilir. Bu durumda da sıcak kaynama oluşur. Yatak sarması (silindire piston arasında) bunun en bariz misalidir.



Şekil 1.3 Adhezif aşınma (Caterpillar, 1988, Principles of Wear)

Yabancı maddelerden tamamen arınmış teorik düzgünlükteki iki metal yüzeyi, özellikle kristal dizilişleri arasında yakın benzerlik varsa, herhangi bir dış kuvvete gerek kalmaksızın yüzey atomlarının enerjisiyle kaynayabilirler. Ancak, karşılıklı çalışan yüzeyler ne kadar ince işlenmiş olursa olsun, moleküler düzgünlükte değildirler. Böyle teknik düzgünlükteki metal yüzeylerinde, görünüşteki temas alanından çok daha az olan gerçek değme noktalarında taşınmakta olan yükün etkisiyle malzemenin akma sınırı

aşılmakta ve gerçek temas alanı bu yükü taşıyabilecek genişliğe ulaşıncaya kadar artmaktadır. Bu plastik deformasyonla birlikte bölgesel kaynamalar olmaktadır. Bütün bu olayların hareket halindeki yüzeyler arasında olduğu düşünülürse, açığa çıkan sürtünme ısıyla bu bölgelerde çok yüksek sıcaklıkların doğması da olağandır. Yük ve hızın fonksiyonu olan bu sıcaklık, ısı iletme katsayısı düşük malzemelerde malzeme özelliğinin bozulmasına bile yol açabilir.

### 1.3 Korozi Aşınma

Sürtünen yüzeylerde, ortamın ve iki yüzey arasında mevcut sıvı filminin tesiri ile kimyasal reaksiyon meydana gelir ve bu reaksiyon ürünü dökülüp yerine yenisi meydana gelirse, aynı olay devamlı olarak tekrar ederse bu tip aşınma önemli bir yer tutar. Meydana gelen oksit tabakaları yüzeyi korur, fakat yük arttığı zaman kırılıp dökülür; meydana gelen sert partiküller de abrazyona sebep olurlar. Çeliğin sürtünmesinden doğan sert demiroksit partikülleri bu tip aşınmaya örnek olabilir.

Sürtünme sonunda kazınan parçalar hava etkisiyle (atmosferik korozyon) oksitlenir. Olay sürtünmenin etkisiyle yeni tabakada devam eder. Yükün kaldırılması veya azaltılması gerekir. Çoğu makine parçalarında bu imkansız olduğu için korozi aşınma önlenemez. Malzeme aşınma dayanımının arttırılması ve korozyon dayanımının arttırılması ile azaltılabilir.

Adezif ve korozi aşınmanın aynı anda meydana geldiği küçük amplitüdü titreşimlerin mevcut olduğu hallerde oluşan sürtme oksidasyonu (fretting korozyonu) tipik bir korozi aşınmadır. Çelik yüzeyinde kırmızı bir oksit tabakasının oluşmasına kanama denir ve malzemenin yorulma mukavemetini düşürür.

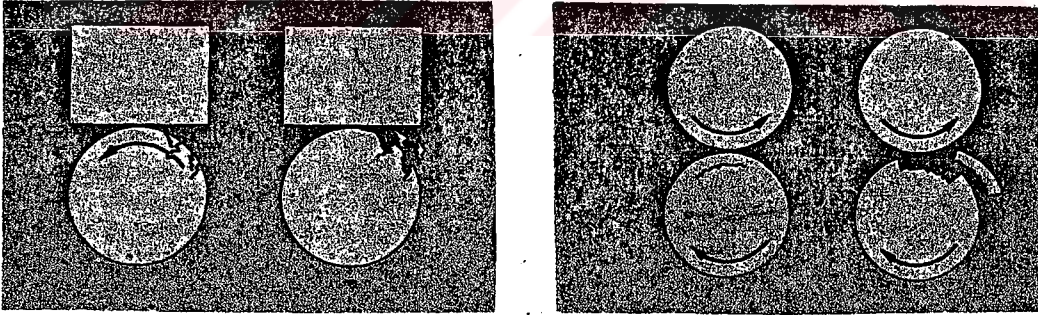
Yağlar genellikle yüzeyleri korozyon tesirinden korur. Bu sebeple makine parçalarının korunması ve korozyon aşınmasına karşı korunmalarında yağlama etkili çarelerin başında gelir.

Bugünkü modern metodlarla rafine edilen madeni yağlar nötr iseler de çalışma sırasında eskidikçe sıcaklık, rutubet ve yabancı maddeler etkisiyle oksitlenirler ve yavaş yavaş asiditeleri artarak korozyona sebep olabilirler. Bilhassa benzin ve diesel motorlarında yağlar gerekli zaman değiştirilmezlerse krank yatakları kısa zamanda aşınabilir. Bugün bütün yağların, ve bilhassa motor yağlarının, oksidasyona mukavemetlerini arttırmak için

antioksidan maddeler ilave edilmektedir. Sınır yağlamanın amacı metal yüzeyiyle yağlayıcı arasında kimyasal reaksiyona girilerek koruyucu bir yüzey filmi oluşturmaktır. Yağlı asitler bu amaçla çok sık kullanılır. Bunlar metallerle reaksiyona girerek yüzeyde üstün yağlama özelliğine sahip sabun üretirler. Ne var ki yerel sıcaklıkların yüksek olduğu yerlerde bu sabunlar ısıl bozunmaya uğrarlar ve başka kimyasal reaksiyonların kullanımını gerektirirler. Yüksek basınç katıkları ısıl stabiliteli filmler ürettiklerinden çok değerlidirler.

#### 1.4 Yorulma Aşınması

Kayma yüzeylerinde, genel olarak yukarıda bahsedilen üç tip aşınma gerçekleşir. Yuvarlanma sürtünmesi halinde bunlara ilave olarak dördüncü mekanik bileşen aşınmaya dahil olur. Yüzey gerilmelerinin derecesi ve tekrar sayıları yeterli derecede yüksek ise, yorulmadan dolayı çatlaklar oluşur, bundan sonra bu çatlaklar ilerleyerek kırılmalar olur ve iri partiküller meydana gelir (Şekil 1.4). Malzemede kayma dolayısıyla yüzeyde taneler distorsiyona uğrayarak lifler meydana gelir. Tekrar eden temaslar sonunda liflere paralel doğrultuda sert fazlar pul şeklinde kalkarak kepeklenme meydana gelir. Her iki halde de yüzeylerde çukur oluşması (pitting) tekrar edebilir. Sürtünen yüzeyler arasında yağ bulunması bu olayı daha da hızlandırır. Bu durumda malzemenin ömrü kısa zamanda sona erebilir.



Şekil 1.4 Kayma sürtünmesi ve yuvarlanma sürtünmesi için yorulma aşınması  
(Caterpillar, 1988, Principles of Wear)

Bu mekanizma, temas halindeki malzemelerin akma gerilmesiyle yükleme sayısı arasındaki ilişkinin karakteristik neticesi olan yorulma olayı ile yakından bağlantılıdır. Bu haliyle diğer aşınma türlerinin süper pozisi olarak tanımlanılmakta olup periyodik zorlanma tesirinde bulunan makine elemanlarında (dişli çarklar, rulmanlı yataklar) görülmektedir. Yorulma aşınması dört safhada meydana gelmektedir. Birinci safhada

uygulanan yük pürüzlerin adhezyonu sebebiyle bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi olmaktadır. Yüzeyden ayrılan parçalar birim hale gelirken şekil değiştirme sertleşmesine uğrayıp yüzeylerden malzeme kaldırmaya başlayınca mekanizma abrazyona dönüşür. Bu safha kısa sürer ve abrazif aşınma oranı azalır; çünkü yüzeylerde şekil değiştirme sertleşmesi olmaktadır ki bu safhada üçüncüsüdür. Son safhada parçacıklar sabit bir oranda üretilir.

Özetle titreşimli, salınımlı zorlamaların tesiriyle malzemenin yüzey tabakalarında, üst yüzeyin altında yorulma başlar. Çatlaklar oluşarak yüzeyde kabarmalar meydana gelir. Ve sonunda malzeme yüzeyden pul pul dökülmeye başlar. Yüzey delik deşik bir hal alır. İşte bu olaya "pitting" veya "yorulma aşınması" denmektedir.

### 1.5 Aşınma Derecesini Etkileyen Faktörler

Yüzeyler arasında hareketin olduğu yerde aşınma asla göz ardı edilemez, ancak bazı durumlarda önemsiz seviyelere düşürülebilir. Eğer ölçülen veya hesaplanan aşınma oranı kabul edilemez ise, tasarımcı bir şekilde onu azaltmak için sistemi değiştirmelidir. Şunu söylemek gerekir ki bir sistemdeki aşınma oranı birçok faktörün etkisi göz önünde bulundurularak hesaplanır. 'Sistem yaklaşımı' denen aşınma analizlerinde bu etkiler iki gruba ayrılır: mekanik sistemin yapısı ve bu yapıda kabul ettirilen işletme değişkenleri. Aşağıda bu değişkenler verilmiştir:

*Özgül yük* : Alıştırılmamış yüzeylerde aşınma, özgül yükün lineer olmayan bir fonksiyonu olup yükün etkisi, küçük temas alanlı, yani dalgalı olmayan yüzeylerde çok daha etkilidir. Alıştırılmış yüzeylerde aşınma derecesi doğruca özgül yükle değişir.

*Malzemenin elastik özellikleri* (elastikiyet modülü): Elastikiyet modülünün malzemenin aşınma derecesi üzerinde belirgin bir etkisi vardır şöyle ki bunun artışı eş kopma mukavemetli malzemelerde elastikiyet modülünün artışına götürür.

*Malzemenin mukavemet nitelikleri* : Bu niteliklerin salt değerlerindeki artışın aşınma ömrü üzerinde daima olumlu etkisi vardır.

*Sürtünme özellikleri* (sürtünme katsayısı) : Aşınma derecesi mukavemet özelliklerine olduğu kadar sürtünme katsayısına da bağlıdır.

*Yüzeylerin pürüzlülük ve dalgalılığı* : Pürüzlülüğün artmasıyla aşınma artmaktadır.

*Moleküler temas etkileşimi* : Çeşitli sürtüşme koşuluna, yani yağlayıcının türü, yüzeylerin temizlik derecesi, gaz çevresinin parametreleri ve temizlik derecesine bağlı olup sürtünme katsayısı nedeniyle hesaba alınır. Sürtünme yüzeylerinin aşınma derecesi, bunların makaslama kuvvetleriyle değişir. Böylece de yağlamanın, sürtüşen parçaların aşınma ömrünü uzatmadaki rolü tartışılmaz olur.

*Hız ve sıcaklık faktörü* : Sürtüşen cisimlerde yüzey tabakalarının ısınması bunların mekanik ve sürtünme özelliklerinde ve de mekanik ve kimyasal yapılarında değişmelere yol açacaktır. Elastikiyet modülü, artan sıcaklıkla az değişir (azalır).



## 2. AŞINMA UYGULAMALARI ve SÜRTÜNME MALZEMELERİNE GİRİŞ

### 2.1 Malzeme Seçim Esasları

Aşınma uygulamaları ve sürtünme malzemeleri üzerine aşağıdaki bölümler aşınma bilimi kullanımında potansiyele sahip olan çeşitli malzemeler hakkında bilgi içerirler. Ancak çok az sayıda mühendislik malzemeleri aşınma bilimciler için geliştirilmiştir. O halde kişi verilen uygulama için gerekli, uygun malzemeyi nasıl seçer? Aşağıdaki bilgiler seçim sürecini, aşamasını kısaltmaya yardımcı olabilecek genel seçim rehberleridir.

Aşınma ve abrazyon dayanımı için malzeme ne kadar sert ise o kadar iyidir. Bu genel kuraldır. Böylece en ekonomik yol için kişi, alaşım çelikleri veya ısıl işlem uygulanmış karbon çeliklerini seçmelidir. Sert yüzeyli alaşımlar, takım çelikleri ve sementede edilmiş karbür gibi diğer sert çelikler pahalıdır ve özel çevre şartlarında şiddetli abrazyon koşullarında kullanılmalıdır.

Özel yağlama şartları için dökme demirler ekonomik bir seçimdir. Gri dökme demir adhesif aşınma dayanımına ihtiyaç duyulan birçok malzemedeki kullanılmaktadır (mesela piston halkaları (segman), tekerlek, kaydırma oluğu, rulman, silindir gömleği gibi). Dökme demirler makine vibrasyonlarını kontrol etmek için aynı zamanda da darbe emici özellik içerirler.

Sürtünme ve yapışmayı önlemede mikroyapı sertlik kadar önemlidir. Sert yüzeyli alaşımlar ve alaşımlı dökme demirler gibi geniş karbürler içeren malzemeler uygulamalar için dikkate alınabilir.

Yatak uygulamaları, yuvarlanan rulmanlarda, yatak çeliği olarak dizayn edilmiş özel kaliteli çelik kullanılır. Yüksek ısı uygulamaları için paslanmaz çelikler, takım çelikleri, sementasyon çelikleri, süperalaşımlar ve seramikler kaydırma ve yuvarlanma temaslarında gereklidir. Eğer korozyon dayanımına ihtiyaç var ise paslanmaz çelikler, sert yüzeyli alaşımlar, süperalaşımlar, titanyum bazlı alaşımlar, seramikler, karbon grafitler ve polimerler göz önüne alınmalıdır.

Mil yatağı malzemeleri yatak madenleri bronz mil yataklarını , çinko alaşımları ve alüminyum alaşımları içerir; kayma materyalleri suyun altında işlemek için, karbon-grafit mükemmel bir seçimdir, ayrıca bazı polimerler de bu uygulamalar için uygundur. Kuru



kayma ortamlarında kullanılacak olan kendinden yağlı materyaller çeşitli polimerler, karbon-grafit materyaller ve metal-matris kompozitler içerir.

### **2.1.1 Karbonlu ve alaşımli çeliklerin sürtünme ve aşınmaları**

Karbonlu çelikler temel sertleştiricisi karbon olan çeliklerdir. Krom, molibden, vanadyum gibi sertliği arttıran alaşım elementleri bu çeliklerde önemli miktarda bulunmazlar. <math>0,4C</math> içeren karbon çelikleri ısıt işlemlerle sertleştirilemezler ve kayma ve yuvarlanma bağlantılı uygulamalar için çok fazla kullanılmazlar.

Karbon çeliklerinin aşınma bilimiyle ilgili uygulamalarda geniş ve değiştirilmiş bir kullanımı vardır. Spesifik bileşimden ziyade, uygulama bu sınıftaki malzemelere olan ihtiyacı sınırlar. Birkaç çelik, yataklarda kullanılmak üzere bileşimlerde ve ısıt işlem metodlarında değiştirilmiştir. Rulman bilyaları ve rulman yataklarında kullanılan AISI çelik (yüksek karbonlu çelik), içerik kontrolü için özel vakum ergitme uygulamalarına maruz kalır ve arta kalan ostenit içeriğini en aza indirmek ve ölçülü istikrarı sağlamak için çeliğe özel ısıt işlem uygulanır.

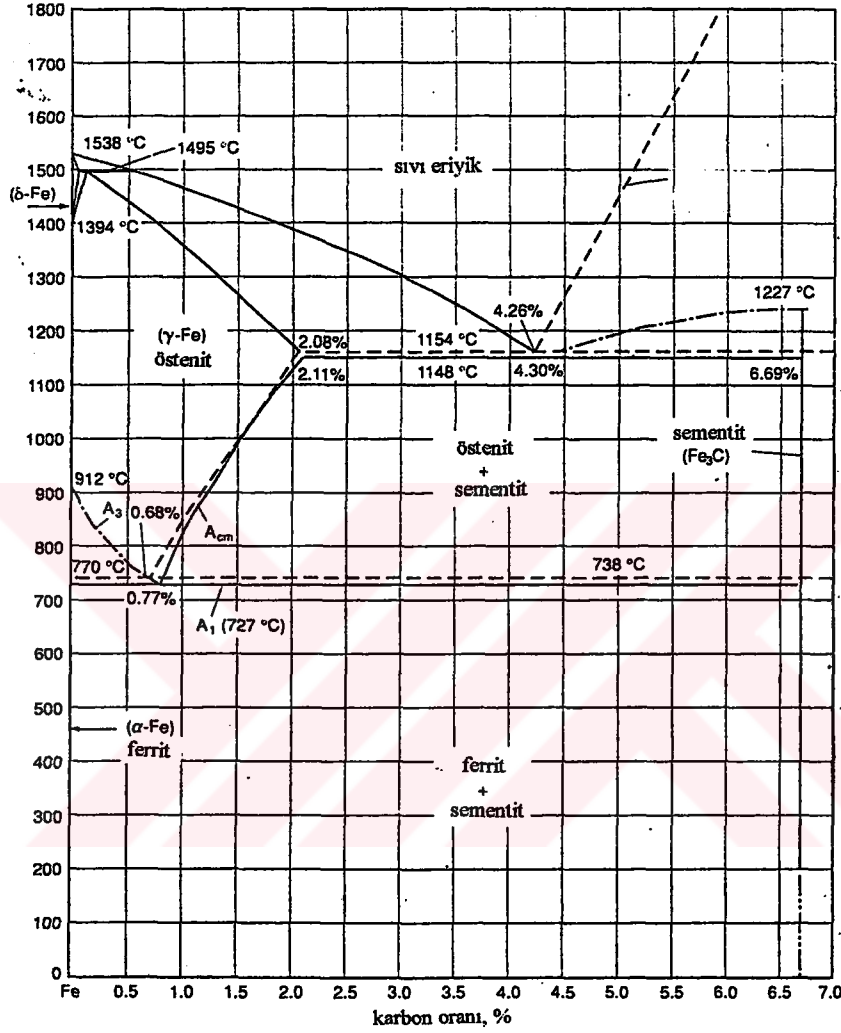
Ostenitik mangan çeliği (Hadfield Manganese Steel) dayanıklılık, çarpma dayanımı abrasif aşınma dayanımına ihtiyaç duyulan madencilik, toprak taşıma, demiryolu endüstrilerinde kullanılır. Bu alaşım %1C ve %11-14Mn içerir. Ostenitik çelik ağır bir şekilde aşındığı zaman martenzite dönüşür. Bu da aşındırıldıkça kendisini yenileyen, sert yüzeyle dayanıklı toklaşan, sertleşen bir yapı ile sonuçlanır. Bu nedenle bu alaşım abrazif çarpışma (vuruş) kondisyonlarında yoğun iş sertleşmesi kapasitesine sahiptir (Glaeser).

Çelik, makine aksamında şaft tertibatı, dişli takımı, çerçeve (levha), gömlek, itme kuvveti yüzeyleri gibi yük yatağı parçaları için kullanılır. Dayanımın artırılması için çelik yüzeyler aşınma önleyici (koruyucu) materyallerle kaplanırlar. Bu yolla çeliğin yapısal gücü geniş parçalar için kullanılabilir ve az bir miktar pahalı aşınma önleyici materyale sadece ihtiyaç duyulan özel yerler için başvurulur.

#### **2.1.1.1 Çelik mikroyapısının aşınmaya etkisi**

İki kullanışlı element demir ve karbon, çelik endüstrisi için temel oluştururlar. Karbon demirin içinde küçük miktarlara çözülebilir ve çelikler şu oranda karbon-demir alaşımları

içerirler: 0,005'ten %2,00C'a. Demir-karbon denge diyagramı sıcaklık ve karbon içeriğine dayanan olası fazlar haritasını içerir.  $\leq 6,67C$  bir demir karbon denge diyagramı şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Demir karbon denge diyagramı (Glaeser)

Demir-karbon denge diyagramı şekil 2.1'de gösterilmiştir:  $\alpha$ -demiri,  $\gamma$ -demiri ve sementit. Bunların hepsi denge safhalarıdır. Östenit fazı diyagramında görüldüğü gibi karbon içeriğine bağlı olarak yüksek sıcaklıkta oluşur ( $>727^{\circ}C$ ). Karbon östenit fazını stabilize eden bir elementtir. Ferrit fazında çözünenen daha çok ve yüksek miktarlarda (%2,11C) karbon östenit fazında çözüdür. Derece  $1148^{\circ}C$  ( $2098^{\circ}F$ )'den azaldıkça karbonun östenitde çözülebilirliği artar ve karbon, demir karbid ( $Fe_3C$ ) veya sementit gibi reddedilir. İki safha

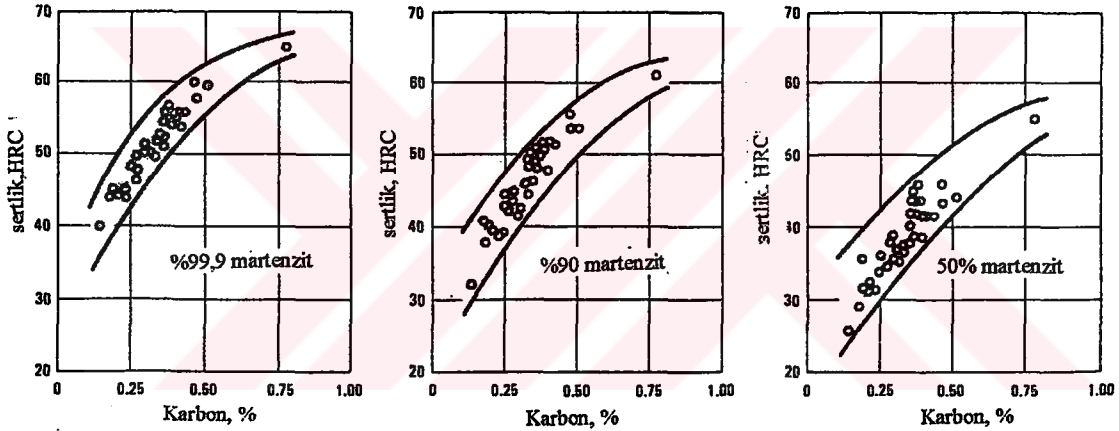
(sementit ve östenit) safha diyagramında da gösterildiği gibi beraber varolurlar. 727°C'de östenit demir filizine dönüşür ve büyük miktarda karbon solüsyondan çıkarılır. Çünkü karbid ve iki safha (demir filizi ve sementit) beraber varolurlar.

Çizelge 2.1 Uygulamalarda kullanılan abrazyon dayanımlı alaşımlı çeliklerin kimyasal bileşimi (Glaeser)

Malzeme	Bileşim, %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Diğer
Mn-Mo-Nb	0,055	1,79	0,15	0,09	0,16	0,31	...	...	0,2Cu, 0,01N, 0,1Nb, 0,024Ce, 0,01Al
Mn-Mo-Nb	0,078	1,33	0,03	0,04	0,09	0,25	...	...	0,18Cu, 0,033Nb, 0,0054V, 0,003Ti
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V	0,11	1,32	0,33	1,44	1,25	0,31	...	...	0,75Cu, 0,086V
Mn-V	0,15	1,17	0,56	...	...	...	...	...	0,12V, 0,10Al
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V	0,16	1,44	0,19	1,41	1,21	0,39	0,013	0,007	0,69Cu, 0,06V
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V	0,20	1,35	0,32	1,47	1,51	0,40	...	...	0,76Cu, 0,12V
Mn-Ni-Mo	0,21	1,71	0,33	...	0,73	0,20	...	...	0,19Cu, 0,01Al
AISI 1020	0,22	0,45	...	...	...	...	...	...	...
Mn-Ni-Mo	0,24	1,11	0,19	0,04	3,24	0,74	0,021	0,018	...
Mn-Cr-Ni-Mo	0,24	1,18	0,18	0,75	3,14	0,51	0,022	0,019	...
Mn-Cr-Ni-Mo	0,24	1,22	0,20	1,43	3,15	0,25	0,022	0,019	...
Mn-Cr-Ni-Mo	0,25	1,17	0,30	1,39	0,87	0,76	0,022	0,019	...
Mn-Cr-Ni-Mo	0,25	1,22	0,28	1,40	1,58	0,47	0,022	0,019	...
Mn-Ni-Mo-Cu-B	0,27	1,90	0,23	...	0,74	0,17	...	...	0,29Cu, 0,014Al, 0,0016B, 0,04Ti
Mn-Ni-Mo-B	0,27	2,10	0,30	...	0,82	0,17	...	...	0,16Cu, 0,06Al, 0,0017B, 0,04Ti
Mn-Mo-Cu-B	0,28	1,60	0,25	0,05	0,06	0,16	0,011	0,025	0,28Cu, 0,023Ti, 0,049Al, 0,002B, 0,004N
Mn-Ni-Mo-B	0,29	2,36	0,24	...	0,86	0,15	...	...	0,008Cu, 0,015Al, 0,0017B, 0,04Ti
Cr-Mo-B	0,30	0,82	0,22	0,35	0,04	0,27	0,010	0,017	0,03Cu, 0,026Ti, 0,039Al, 0,001B,
6Mn-5Cr-1Mo	0,7	6,02	0,53	5,07	...	1,01	0,019	0,015	...
6Mn-5Cr-1Mo	1,05	6,12	0,54	5,04	...	1,00	0,021	0,019	...
6Mn-5Cr-1Mo	1,22	6,02	0,55	4,96	...	0,95	0,020	0,019	...
9Mn-1Mo-Ti	1,10	9,52	0,59	...	...	1,07	...	...	0,36Ti
9Mn-1Mo-Ti	1,21	9,13	0,82	...	...	0,99	...	...	0,134Ti
9Mn-1Mo-Ti	1,27	9,49	0,56	...	...	1,08	...	...	0,32Ti
9Mn-1Mo-Ti	1,30	8,61	0,50	...	...	0,93	...	...	0,27Ti
9Mn-1Mo-Ti	1,36	8,47	0,49	...	...	1,00	...	...	0,064Ti

Malzeme	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Diğer
12Mn	0,93	12,97	0,50	...	...	...	...	...	...
12Mn-1Mo	0,97	12,5	0,50	...	...	0,94	...	...	...
12Mn	1,1	12,5	0,50	...	...	...	...	...	...
12Mn	1,24	12,5	0,50	...	...	0,05	...	...	...
12Mn-1Mo-Ti	1,29	12,5	0,50	...	...	0,94	...	...	0,018Ti
12Mn-1Mo-Ti	1,29	12,5	0,50	...	...	1,02	...	...	0,13Ti
12Mn-1Mo-Ti	1,31	12,5	0,50	...	...	0,92	...	...	...
Cr-Ni-Mo	0,27	...	...	1,0	3,0	2,0	...	...	...
AISI 4340	0,4	0,7	0,30	0,8	1,8	0,25	...	...	...
Mn-Cr-Mo	0,65	1,75	0,13	0,75	...	0,13	...	...	...
C-Mn	0,80	1,00	0,18	...	...	...	...	...	...
Si-Cr-Mo	0,34	0,84	1,92	1,92	0,22	0,57	...	...	...
Mn-Si-Cr-Mo	0,43	1,39	1,46	0,83	...	0,49	...	...	...
Mn-Si-Cr-Ni-Mo	0,55	1,44	1,32	0,68	0,96	0,63	...	...	0,08Cu
Mn-Si-Cr-Mo	0,63	1,44	1,48	0,83	...	0,49	...	...	...
Cr-Mo	0,63	0,71	0,58	2,30	...	0,34	0,028	...	...
Cr-Mo	0,88	0,95	0,72	2,44	...	0,35	0,027	...	...
1015.....	0,13- 0,18	0,30- 0,60	...	...	...	...	...	...	...
1019.....	0,15- 0,20	0,70- 1,00	...	...	...	...	...	...	...
1020.....	0,18- 0,23	0,30- 0,60	...	...	...	...	...	...	...
1118.....	0,14- 0,20	1,30- 1,60	...	...	...	...	...	...	...
4023.....	0,20- 0,25	0,70- 0,90	0,15- 0,30	...	...	0,20- 0,30	...	...	...
4027.....	0,25- 0,30	0,70- 0,90	0,20- 0,35	...	...	0,20- 0,30	...	...	...
4022.....	0,20- 0,25	0,70- 0,90	0,20- 0,35	...	...	0,35- 0,45	...	...	...
5120.....	0,17- 0,22	0,70- 0,90	0,15- 0,30	0,70- 0,90	...	...	...	...	...
4118.....	0,18- 0,23	0,70- 0,90	0,15- 0,30	0,40- 0,60	...	0,08- 0,15	...	...	...
4720.....	0,17- 0,22	0,50- 0,70	0,35- 0,55	0,35- 0,55	0,90 -1,2	0,15- 0,25	...	...	...
4820.....	0,18- 0,23	0,50- 0,70	0,15- 0,30	...	3,25 -3,7	0,20- 0,30	...	...	...
4320.....	0,17- 0,22	0,45- 0,65	0,15- 0,30	0,40- 0,60	1,65 -2,0	0,20- 0,30	...	...	...
8620.....	0,18- 0,23	0,70- 0,90	0,15- 0,30	0,40- 0,60	0,40 -0,7	0,15- 0,25	...	...	...

Neyse ki mühendisler için karbon çıkarılması çok ağır bir prosestir ve ostenit bölgesinden; demir ürünlerindeki karbonun aşırı doymuş solüsyonu soğutulmaya yetecek kadar hızlıdır. Artan karbonun kafes şeklinin bozulması gövde merkezli tetragonalda, çok yüksek sertlikteki çarpılmış kübik yapı, kafes yapısı değişikliğine neden olur. Bu yapı ki denge diyagramında gösterilmemektedir, martenzit olarak bilinir. Martenzit yüksek aşınma rezistanslı çelik görünüşü olarak caziptir. Martenzit, su ile soğutmada olduğu gibi, hızlı soğuma gerektirir. Daha yavaş soğuma oranları mühendislik özellikleriyle eşit derecede kullanılabilirliğe sahip olan diğer mikroyapılar üretecektir. Beynit (martenzit benzeri bir yapı) ve perlit (sementit tabakalarının arasına konmuş ince yapı bir demir filizi) içerir. Bu mikroyapıların sertlikleri, özellikle martenzit ve beynit, anlamlı bir şekilde karbon içeriği tarafından etkilenir. Şekil 2.2 martenzit için karbon içeriğinin fonksiyonu olarak sertliği gösterir.



Şekil 2.2 Martenzit mikroyapıdaki çeliğin karbon değişim miktarlarına karşılık (%99.9, %90, %50) sertliklerinin değişim miktarları (Glaeser)

Yukarıdaki metalurjik faktörler, çok çeşitli çeliklerin çeşitli karbon miktarlarıyla (çizelge 2.1) ve değişik ısıl işlemleri kullanarak (çizelge 2.2) üretilebilmesini mümkün kılar. Bu da çeliği çok değişken bir mühendislik malzemesi haline getirir.

Çizelge 2.2 Bazı malzemeler için abrazif aşınma verileri (W. A. Glaeser)

Malzeme	Isıl işlem	Sertlik (HB)	Aşınma oranı	Sürtünme diskli ağırlık kaybı (g)
AISI 4140 (0,40C)	845°C, yağda soğutma	582	...	0,219
AISI 4140 (0,40C)	845°C, yağda soğutma	550	...	0,235
AISI 4140 (0,40C)	845°C, yağda soğutma	499	...	0,410
AISI 4140 (0,40C)	845°C, yağda soğutma	363	...	0,531
AISI 4340 (0,40C)	Normalize tavlama	320	0,674	...
AISI 4340 (0,40C)	Su verme (650°C'ye kadar)	340	0,716	...
AISI 4340 (0,40C)	Su verme (205°C'ye kadar)	520	0,232	...
AISI 1085 (0,82C)	Tavlannmış	456	...	0,281
AISI 1090 (0,95C)	Tavlannmış	450	...	0,278
AISI 1090	Tavlannmış	455	...	0,220
6Cr-1Mo (0,88)	1065°C'de havada soğutma	601	0,112	...
5Mn-1Mo2Cr (0,99C)	1040°C'den yavaş soğutma	288	0,245	...
6Mn-1Mo (1,27C)	1040°C'de su verme 60°C'ye kadar	200	0,192	...
6Mn-1Mo,Ti (1,23C)	1040°C'de su verme 60°C'ye kadar	200	0,170	...
6,5Mn-1Mo (1,01C)	1040°C'den yavaş soğuma	240	0,292	...
6,5Mn-1Mo-2Cr (0,99C)	1040°C'den yavaş soğuma	241	0,316	...
6,5Mn-1Mo-5Cr (1,0 C)	1040°C'den yavaş soğuma	246	0,324	...
6,5Mn-3Mo-2Cr (1,02C)	1040°C'den yavaş soğuma	241	0,294	...
6,5Mn-2Cr (1,00C)	1040°C'den yavaş soğuma	474	0,329	...
8Mn-1Mo-1Cr (1,00C)	1040°C'den yavaş soğuma	229	0,337	...
9Mn-1Mo (1,27C)	1065°C'de su verme	206	0,219	...
9Mn-1Mo, Ti (1,24C)	1065°C'de su verme	199	0,213	...
12Mn (0,93C)	1040°C'de su verme	185	0,328	...
12Mn (1,00C)	1040°C'de su verme	199	0,279	...
12Mn (1,24C)	1040°C'de su verme	198	0,212	...
12Mn (1,27C)	1065°C'de su verme	211	0,207	...

Sadece seçilecek çok çeşitli çelikler yoktur, aynı zamanda da bu çelik sınıfları dahilinde, daha büyük mikroyapı çeşitleriyle sonuçlanan çeşitli ısıl işlemler de mümkündür. Çeliğin mikro yapısı aşınma dayanımı üzerinde anlamlı bir etkiye sahip olabilir (çizelge 2.3). Mikro yapı aynı zamanda da aşınma, korozyon dayanımı, boyutlu dengeyi, arta kalan iç gerginliği ve yorulma direncini etkileyebilir.

Çizelge 2.3 Abrazyon dayanımlı alaşımlı çeliklerin sertlik, tokluk ve abrazif aşınma değerleri (W. A. Glaeser)

Malzeme	Sertlik (HB)	V-çentik enerjisi (J)	Aşınma oranı	Ağırlık kaybı (g)		Mikroyapı
				Pim	sürtünme disk	
Mn-Mo-Nb (0,06C)	212	146	1,26	0,1429	...	F
Mn-Mo-Nb (0,06C)	228	146	1,12	0,1397	...	F
Mn-Mo-Nb (0,08C)	187	106	1,52	0,1560	...	F
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0,11C)	290	23	0,88	0,1240	...	B,M
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0,11C)	290	...	0,80	0,1248	...	B,M
Mn-V (0,15C)	225	85	1,20	...	...	F,P
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0,16C)	333	...	0,75	0,1179	...	M,B
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0,20C)	380	69	0,48	0,1123	...	B,M
Mn-Cr-Ni-Mo-Cu-V (0,20C)	380	...	0,50	0,1123	...	B,M
Mn-Ni-Mo (0,21C)	444	...	0,39	0,1063	0,496	M,B
AISI 1020 (0,22C)	106	163	1,87	0,156	...	F,P
Mn-Ni-Mo (0,24C)	251	60	0,84	0,1290	...	F,K
Mn-Cr-Ni-Mo (0,24C)	263	47	0,79	0,1265	...	F,K
Mn-Cr-Ni-Mo (0,25C)	273	46	0,77	0,1257	...	F,K
Mn-Cr-Ni-Mo (0,25C)	294	41	0,66	0,1199	...	F,K
Mn-Cr-Ni-Mo (0,25C)	286	47	0,71	0,1226	...	F,K
Mn-Ni-Mo-Cu-B (0,27C)	333	...	0,69	0,1215	0,713	M,B
Mn-Ni-Mo-B (0,27)	394	...	0,67	0,1211	0,662	M,B
Mn-Mo-Cu-B (0,28C)	379	...	0,72	0,1216	0,630	M,B
Mn-Mo-Cu-B (0,28C)	434	...	0,52	0,1162	0,550	M,B
Mn-Ni-Mo-B (0,29C)	462	...	0,47	0,1088	0,512	M,B
Cr-Mo-B (0,30C)	395	...	0,59	0,1156	0,520	M,B
Cr-Mo-B (0,30C)	456	...	0,44	0,1108	0,440	M,B
Cr-Ni-Mo (0,27C)	510	...	0,36	0,0954	0,756	M
Cr-Ni-Mo (0,27C)	520	...	0,46	0,0964	0,738	M
AISI 4340 (0,4C)	320	8,1	0,67	...	...	F,P
AISI 4340 (0,4C)	340	29,8	0,72	...	...	F,K
AISI 4340 (0,4C)	520	10,6	0,23	...	...	M
Mn-Cr-Mo (0,65C)	600	...	...	...	0,076	M
C-Mn (0,80)	292	...	...	...	...	P
6Mn-5Cr-1Mo (0,7C)	339	6,8	0,30	...	...	Ö,K
6Mn-5Cr-1Mo (0,7C)	243	25	0,34	...	...	Ö,K
6Mn-5Cr-1Mo (1,0C)	352	5,4	0,27	...	...	Ö,K
6Mn-5Cr-1Mo (1,0C)	285	12	0,29	...	...	Ö,K
6Mn-5Cr-1Mo (1,2C)	385	4,7	0,27	...	...	Ö,K
6Mn-5Cr-1Mo (1,2C)	275	7,9	0,28	...	...	Ö,K

Malzeme	Sertlik (HB)	V-çentik enerjisi (J)	Aşınma oranı	Ağırlık kaybı (g)		Mikroyapı
				pim	sürtünme diski	
9Mn-1Mo-Ti (1,1C)	207	41	0,34	...	...	Ö
9Mn-1Mo-Ti (1,2C)	224	20	0,21	...	...	Ö
9Mn-1Mo-Ti (1,25C)	207	65	0,27	...	...	Ö
9Mn-1Mo-Ti (1,35C)	208	22	0,18	...	...	Ö
12Mn-1Mo (0,65C)	191	119	0,42	...	...	Ö
12Mn (0,95C)	185	138	0,33	...	...	Ö
12Mn-1Mo (0,95C)	188	72	0,32	0,0871	...	Ö,P
12Mn-1Mo (1,09C)	192	145	0,29	...	...	Ö
12Mn (1,1C)	199	...	0,28	0,0821	...	Ö
12Mn (1,25C)	198	80	0,21	...	...	Ö
12Mn-1Mo-Ti (1,25C)	201	72	0,21	...	...	Ö
12Mn-1Mo-Ti (1,3C)	201	77	0,22	...	...	Ö
12Mn-1Mo-Ti (1,3C)	199	34	0,21	...	...	Ö

M: martenzit, F: ferrit, B: beynit, Ö:östenit, P:perlit, K: karbit

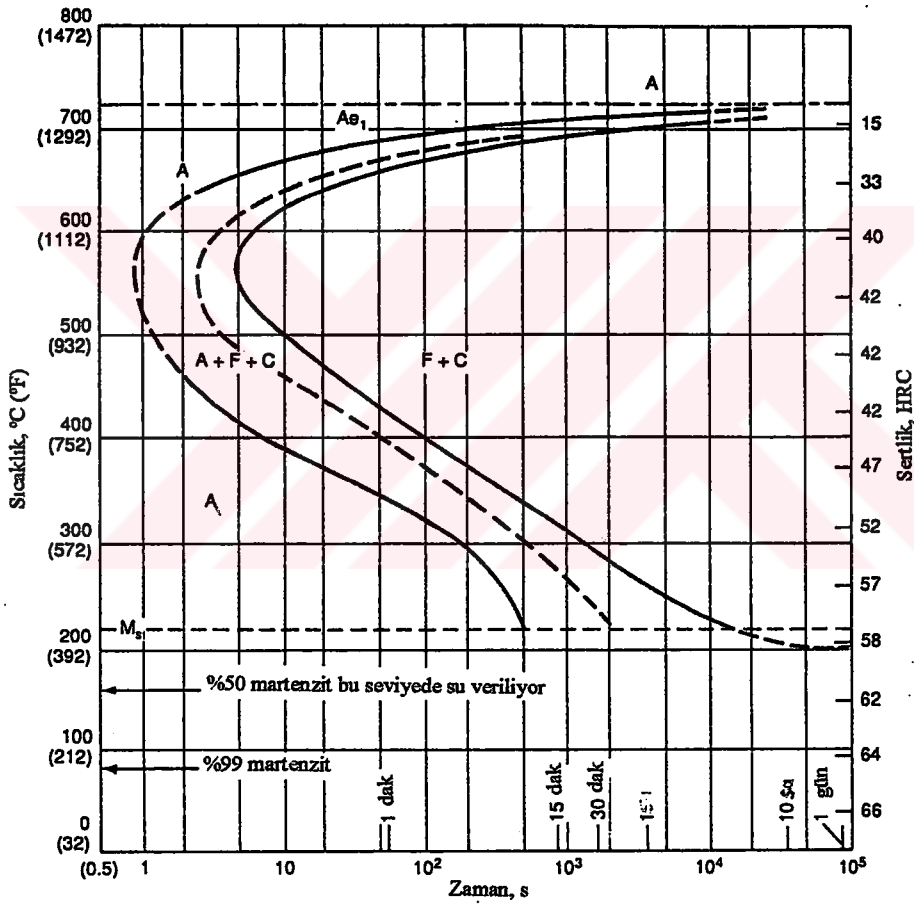
### 2.1.1.2 Zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı

Karbon çeliğine yüksek ısıda ostenit fazından su ile soğutulduğu zaman oluşan yapılar Fe-C denge diyagramında belirtilenler değildir. Bunun yerine, bu değişikliklerin tarifi için zaman sıcaklık dönüşüm diyagramı (temperature-time-transformation, TTT) kullanılmıştır. AISI 1095 çeliği için tipik bir diyagram şekil 2.3'te gösterilmiştir. Diyagramın sağ tarafı çeliğin oda sıcaklığındaki sertliğini gösterir. Bu çeliğin ulaşacağı maksimum sertliğin 66HRC olduğu dikkate alınmalıdır. Tablodaki ilk derin kavisli çizgi transformasyonun başladığı zamanı gösterir. Hipoötektoid çeliklerde, bu birinci transformasyon proötektoid demir filizinin ayrılmasını içerir. Bunu da demir filizinin ve karbürün perlit formunda ayrılması takip eder. Perlit formasyonunun başlangıcı ikinci derin kavisli çizgi ile gösterilmektedir. Kavisin altında ( $\leq 540^{\circ}\text{C}$  veya  $1000^{\circ}\text{F}$ ) transformasyon ürünü beynitdir, yani martenzite benzer bir safha ancak o kadar da fazla sert olmayan bir safhadır. Eğer kesiksiz kıvrımlı çizgi martenzit başlama derecesinin (Martensite start temperature,  $M_s$ ) yatay kesikli çizgisinden önce çaprazlanmamışsa, martenzit ostenit dekompozisyonunun bir ürünüdür. Bu diyagram gösteriyor ki martenziti (yani, birisi  $885^{\circ}\text{C}$ 'den  $1625^{\circ}\text{F}$ 'den gitmelidir, parabol  $<1\text{s}$ 'den geçmelidir. Bir su ile soğutma oranı ortalama  $360^{\circ}\text{C/s}$  veya  $650^{\circ}\text{F/s}$  dir) üretmek için çok hızlı bir su ile soğutmaya ihtiyaç duyulur. Beynit ısıya



hemen parabolün altında çok hızlı bir, su ile soğutma uygulanarak ve transformasyon tamamlanana kadar bu ısı seviyesinde tutularak sonra da oda ısısında bir su ile soğutma uygulanarak elde edilebilir.

Su ile soğutma prosesi kontrol edilerek çeşitli mikro yapılar elde edilebilir. Martenzit en zor safhadır ve herhangi bir kırılma başlatma durumu olmaması halinde en yüksek aşınma ısısını içerir. Eğer daha katı bir malzeme isteniyorsa, beynit en iyi aşınma direnci safhasıdır. Elbette ki , çeliğe su verme işlemi martenzitin tokluğunu ve sünekliğini arttırmak için kullanılabilen bir prosestir. Çeliğin içinde kazanılan maksimum martenzitik sertlik karbon içeriğinin bir fonksiyonudur (şekil 2.2).

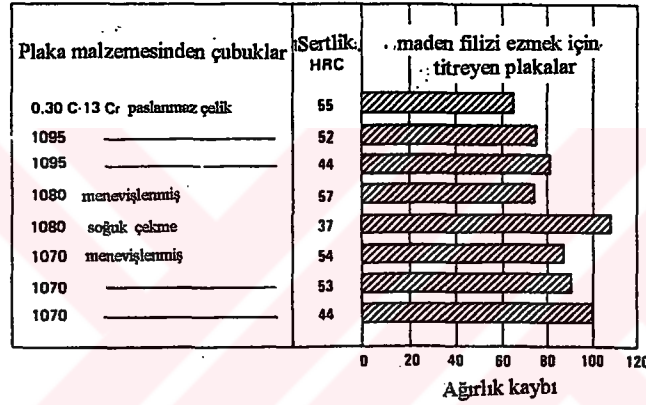


Şekil 2.3 SAE 1095 çeliği için zaman-sıcaklık dönüşüm diyagramı (Hutchings)

### 2.1.1.3 Karbonlu çeliklerin aşınma özellikleri

Karbon içeriğinin fonksiyonu olarak sertlik konstrüksiyon ve madencilik işlerinde bulunan abrazif koşullar altında çeliğin aşınma oranı karbon içeriğiyle ve sertlikle bağlantılıdır. Mesala, aşınma testleri, maden filizi ezici tesisatlarındaki titreyen plaka üzerinde kullanılan

çelik çubuklar üzerine gerçekleştirilmiştir. Bu plakalar 6,5mm veya 4,8mm çapında 585mm uzunluğundadır, aynı şekilde üzerinde birkaç sıralı çubuk üzerinde titreten plakada kullanılan ölçü -25mm silisli madenden içeriye doğru  $\pm 9,5$ mm ölçüsündedir. Bütün test çubuklarının aşınma oranı, yağ ile soğutulmuş ve 44HRC sertliğinde temperlenmiş 1070 yüksek karbonlu çeliği ile karşılaştırılmıştır. Her tür çeliğin aynı abrazyona maruz bırakılmasından emin olmak için çubuklar plaka karşısında 5'erli gruplar halinde değiştirilir. Değişik çelikler ve sertlikler için ağırlık kaybına dayandırılan aşınma oranları şekil 2.4'te gösterilmektedir. 0,30C-13Cr paslanmaz çeliği aşınmaya karşı en iyi direnci göstermesine rağmen, 1080 çeliğinin 57HRC'ye tavllanması daha etkili bulunmuştur.



Şekil 2.4 Maden cevheri kırıcısında seçilen çelik millerin sertliklerinin abrazyon aşınmaya etkileri (ASM Handbook)

Yumuşak çeliklerin aşınma özelliklerini geliştirme: yumuşak çelikler zayıf bir aşınma direnci ve kuru kayma esnasında yüzey hasarı direnci gösterirler. Kayma yüzeyi temasında yumuşak çeliğin kullanımı yüzey sertleştirilmesiyle sağlanır. Sert minerallerin çelikle temas ettiği yerde (eğer çeliğin yüzeyi sertleştirilmiş veya çok sert bir malzemeyle kaplanmışsa) aşınma çok hızlıdır.

Değiştirilmiş mikroyapı sayesinde geliştirilmiş korozyon direnci; çelik aşındırıcı çevre içinde hızlandırılmış aşınmaya maruz kalır. Korunmayan çelik aynı zamanda da aşındırıcı hasara karşı çok hassastır veya alçak genlikte titreşim hareketi mekanizma içinde temas eden iki yüzey arasındaki oksidize edilmiş aşınma enkazının oluşumu gerçekleşir. Dökme demir veya çeliğin ısıtılmasında çok çeşitli mikroyapılar mümkündür. Aşınma özellikleri özel mikro yapılarla ilgilidir.

### 2.1.1.4 Göreceli maliyetlere dayandırılan çelik seçimi

Bir çeliği onun aşınma direnci özelliklerine dayanarak seçerken, çeliğin toplam maliyeti ve onun ısıtılma işlemi dikkate alınmalıdır. Aşağıdaki çelikler ki bunlar belirli uygulamalarda uygun aşınma direncine sahip olabilirler, toplam maliyetlerdeki artışına göre sıralanmıştır.

- Düşük karbon çelikleri, örnek: 1020 (ısıtılma işlemi uygulanmamış).
- Basit yüksek karbon çelikleri, örnek: 1095 (ısıtılma işlemi uygulanmamış).
- Direk alevle yada indüksiyonla yüzey sertleştirme uygulanabilen karbon veya düşük alaşım çelikleri.
- Sementasyon yada tuz banyosunda karbonitasyonla yüzeyi sertleştirilen düşük karbon veya düşük alaşım çelikleri.
- Nitritlemeyle sertleştirilen orta karbonlu krom veya krom-aluminyum çelikleri
- Doğrudan sertleştirilen yüksek alaşım çelikleri, yüksek karbonlu takım çelikleri örnek: (1,50C-12Cr), bunlar karbid partikülleri içerir.
- Çökeltme sertleştirilmesi uygulamalarından yüksek alaşım paslanmaz çelikler (aşırı aşınma gibi, temelde yüksek ısı veya aşındırıcı çevre içeren uygulamalar içindir).
- Toz metalurjisiyle veya mekanik alaşım teknikleriyle üretilen özel çelikler.
- Çelik matrislerle birleştirilen alaşım karbidleri.

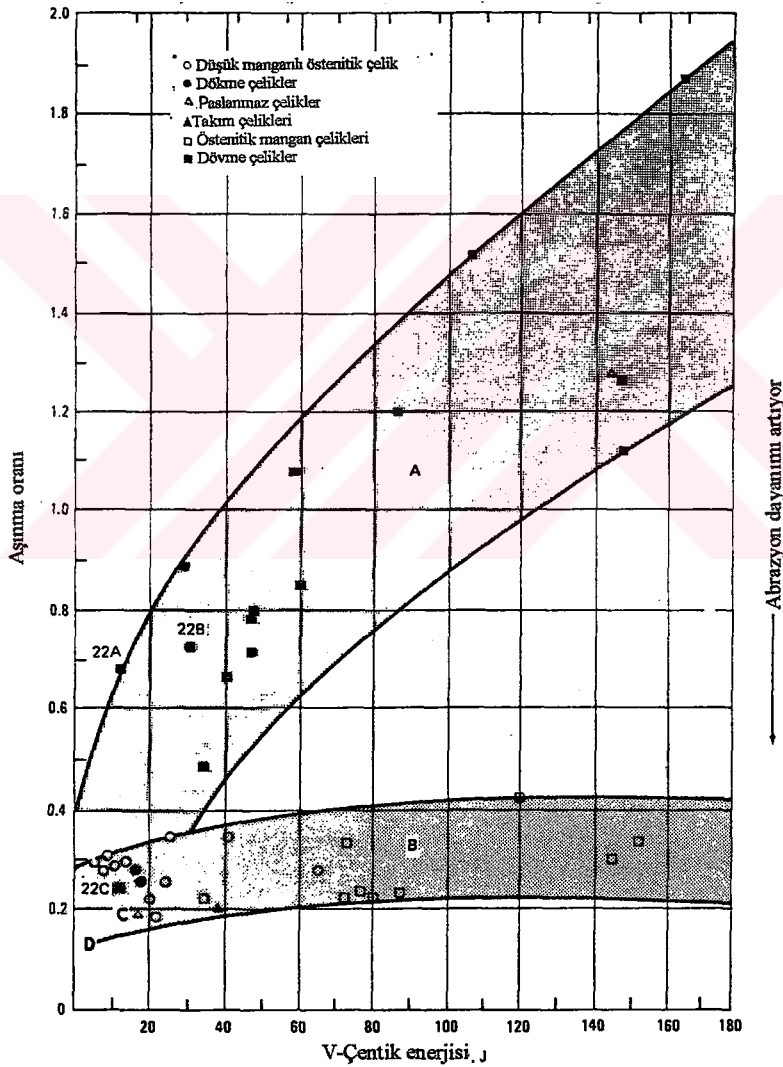
Yüksek manganez ostenitik çelikleri ve dökme demirlerin çeşitli sınıfları gibi diğer demir esaslı malzemeler, aşınma direnci uygulamalarında da sıkça kullanılırlar.

### 2.1.1.5 Sertleştirilmiş bölgelerin derinliğinin aşınmaya etkisi

Takozlar, sürtünen miller, oluk astarları, ve benzeri parçalar yerine yenisi getirilmeden önce sert kesitleri arttırılabilir. Bazı kesitlerde daha pahalı bir derin-sertleştirme çeliği, bir yüzeysel sertleştirme çeliğinden daha ekonomik olabilir. Mesela 50HRC yüzey sertliğine sahip bir 60mm çaplı bir mil ya bir suda sertleştirilmiş 1040 veya yağda sertleştirilmiş 5160 çeliğinden yapılmış olabilir. Ancak, mil orijinal çapından dörtte üç oranına (~48mm) kadar aşındığında, 1040 çeliği ~25HRC yüzey sertliğine sahip olacaktır ve böylece 5160 çeliğinden çok daha hızlı bir oranla aşınacaktır ki 5160 çeliğinin aynı konumda ~37HRC sertliği vardır.

### 2.1.1.6 Tokluğun aşınmaya etkisi

Aşınma direnci sertlikle beraber artma eğilimi gösterir fakat tokluk arttıkça aşınma direnci azalır. Bu hem aşınma direnci hem darbe dayanımı gerektiren uygulamalarda önemli bir ilişkidir. Çeşitli çelik alaşımları için aşınma direnci ve tokluk arasındaki ilişki şekil 2.5'te gösterilmiştir. En azından bir bölümde mikroyapı etkilerinden yayılma doğar. Mesela 22B noktası, demir matrikte arzulan karbidler; oluşturmak için su verilmiş ve ~650°C gibi yüksek bir menevişleme yapılmış AISI 4340 çeliğinin diyagramdaki konumunu göstermektedir. 22A noktası da ince perlit oluşturulmuş aynı çeliği gösterir.



Şekil 2.5 Seçilen malzemeler arasında abrazyon dayanımı ve tokluk ilişkisi. A bölgesi dövme ve düşük alaşımlı dökme çelikler, B bölgesi östenitik mangan çelikleri, C bölgesi çeşitli ısıl işlem çelikleri, D bölgesi yüksek kromlu beyaz dökme demir (Hutchings, 1992).

Şekil 2.5'in daha aşağı bölümünde bulunan çelikler tokluk ve aşınma direnci özelliklerini birleştiren ve temelde ostenitik manganez çelikleridir. Şekil 2.5'teki diyagram demir esaslı alaşımların çoğunun aşınma direnci ile tokluk arasında bir ilişki olduğunu belirtir.

### **2.1.2 Dökme demirin sürtünme ve aşınması**

Dökme demir; gri demir, beyaz veya sert demir, dövülebilen yumuşak demir, küresel grafitli dökme demir mühendislik malzemeleri ailesine verilen genel bir isimdir. Bu demirler çok değişik kompozisyonlara, dökme özelliklerine ve ısı tretmanına sahiptir ki bunlar geniş bir fiziksel, kimyasal ve mekanik özellik çeşitleriyle sonuçlanır.

Dökme demirler özellikle aşınma direncinin önemli olduğu uygulama alanlarında kullanılabilen tek tribolojik malzemedir. Bu materyalin matriksi grafit, ki bu yağlayıcı madde desteklemek için perlitden martenzite kadar değişebilir. Sert safhalar abrazyona dayanmak için değişebilir. Lamel ve küresel grafitli dökme demirlerin temel özellikleri aşağıda genel olarak açıklanmıştır.

#### **2.1.2.1 Lamel grafitli dökme demirlerin aşınma özellikleri**

Lamel grafitli dökme demirlerdeki bütün serbest karbon, ferritden perlite kadar ötektik veya karbidlerle onlarlı veya onlarsız hepsinden ayrılan matriks içinde pulsu grafit formunda bulunur. Lamel grafitli dökme demirler kolay kırılır ve nispeten daha az daha az güce ve sertlik özelliklerine sahiptir. Grafit iyi ıslatma kabiliyeti sağlar ve termal iletkenlik değeri demirinkinden daha yüksektir. Grafit kavitasyonları yontma kırılması özellikleri içerirler ki bunlar kısa çentiklerle kolay işlenebilirler. Kırık bir yüzey grafitin varlığından dolayı gri ve sönük renkli olarak ortaya çıkacaktır.

Grafit mükemmel bir sıvı yağlayıcı olduğu için, nispeten düşük sürtünme katsayılı kaygan yüzey, iyi aşınma direnci verir. Bu tür dökme demirler, motor blokları, silindir gömlekleri, piston sekmanları ve makine alet sekmanlarını da içeren içten yanmalı motor parçaları için yaygın olarak kullanılırlar.

### 2.1.2.2 Beyaz veya sert demirlerin aşınma özellikleri

Karbon, perlitik veya martenzitik ağda, uygun alaşımlama ve ısıtılma işlemiyle veya soğuk kalıba dökmeyle büyük oranda bileşik demir karbür( $Fe_3C$ ) olarak muhafaza edilir. Bu durumda, demir çok serttir (700HV) ve oldukça kolay kırılır. Kırık yüzeyi beyaz ve kristalimsi bir renkte görünür. İmalat yöntemine bağlı olarak(mesela soğuk kalıba dökerek) beyaz veya karbidik olarak parçalar üretmek mümkündür. Bu yapıdaki malzemeler, abrazyon aşınma uygulamaları için madencilikte, öğütmede, mineral kullanma ekipmanı ve motor parçaları imalinde kullanılırlar.

Çizelge 2.4 Beyaz demirin bileşim ve sertlik değerleri (Eyre T.S.)

C	Si	Mn	Cr	Bileşim %				S	Sertlik (HV)
				P	Mo	Ni	Cu		
2,40-3,40	0,50-1,50	0,20-0,80	2,0max	0,15max	...	...	...	...	400
2,70-3,20	0,30-0,80	0,20-0,80	1,50-3,50	0,15max	0,50max	3,0-5,50	...	0,15max	500
2,80-3,20	0,30-0,80	0,20-0,80	8,0-10,0	0,15max	0,50max	4,06,0	...	0,15max	550
3,0-3,60	1,0max	0,50-1,50	14,0-17,0	0,10max	3,0max	2,0max	....	0,10max	710
2,0-2,80	1,0max	0,50-1,50	22,0-28,0	0,10max	1,50max	2,0max	....	0,10max	655

### 2.1.2.3 Temper dökme demirlerin aşınma özellikleri

Beyaz ve siyah temper dökme demir olarak iki farklı türü vardır. Her ikisinde de başlangıçta parçalar beyaz dökme demir olarak dökülüp daha sonra uygun ısıtılma işlemleriyle(temperleme işlemi) beyaz ya da siyah temper dökme demir yapıları oluşturulur. Bunların yapısında serbest karbon(grafit) dalcıkları grupları oluşturduğundan aşınma dayanımları lamel grafitli dökme demirlerden daha iyidir.

### 2.1.2.4 Küresel grafitli dökme demirin aşınma özellikleri

Grafiti lamel formundan küresel forma değiştirilerek lamel grafitli dökme demirlerin gevrekliği derhal azaltılır ve uygun ısıtılma işlemiyle çelik dayanımına yakın bir mikroyapı üretilir. Böylece mekanik özelliklerdeki bu gelişme küresel grafitli dökme demirlerin krank milleri ve dişli çarklar gibi parçaların imalinde ısıtılma işlemiyle çeliklerle rekabet etmesini

sağlar. Son yıllardaki bu malzeme grubundaki önemli gelişmeler özelliklerini daha da arttırmıştır. Böylece küresel grafitli dökme demir, dökme dişliler, uygulamalarda yüzeyi sertleştirilmiş çeliklerle rekabet eder duruma gelmiştir.

### 2.1.2.5 Dökme demirlerin kullanım alanları

Dökme demirler mühendisler tarafından düşük maliyet, mükemmel döküm kabiliyeti, iyi sönüm kapasitesi, kolay işleme ve aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda geniş kullanım alanları bulmaktadırlar. Bu genel özelliklerin, kesin olarak tanımlanmamış özel uygulamalar hariç alaşımlarla elde etmek mümkün değildir.

Dökme demirler geçmişte çok önemli uygulamaları bulunan geleneksel bir imalat malzemeleridir. Aşınma dayanımı gerektiren uygulamalarda en geniş kullanıma sahip malzemelerdir.

Bunun yanında yeni geliştirilen bazı kompozit malzemeler dökme demirlerin yerine kullanılarak başarılı uygulamalara olanak sağlamışlardır (içten yanmalı motorlarda seramik kaplamanın kullanılması gibi). Dökme demirler çok yönlü özelliklerinden dolayı mükemmel kayma ve abrazyon aşınma dayanımı, düşük maliyet, döküm kabiliyeti, geniş sıcaklık aralığında boyut sabitliği, bazı alaşımlarla işlemeyi kolaylaştırmak gibi sayısız üstünlüklere sahiptirler. Aşınma parçaları için dökme demir seçiminde çizelge 2.5 yol göstermektedir.

Çizelge 2.5 Beyaz demirin bileşim ve sertlik değerleri (Eyre T.S.)

Dökme demir tipi	Uygulamalar
Lamel grafitli dökme demir	Sekmanlar, kompresörler için silindir gömlekleri, motorlar, düşük gerilmeli dişliler, makine yatakları, fren blokları
Küresel grafitli dökme demir	Krank milleri, dişliler, yüksek gerilmeli piston halkaları
Kokil döküm	Kamlar, itici subap, mildirsek, mil
Beyaz demir (ısıtılmış)	Öğütme küreleri, kaydırma olukları, konkasör çeneleri, torna kalemi
Beyaz demir (sert yüzeyli)	Çekme kepçesi, ekskavatör kepçe dişleri, kepçe kenar plakaları

### 2.1.3 Sürtünme ve aşınmaya dayanımlı sert kaplama alaşımları

Sert kaplama geniş olarak kullanım ve uygulamasıyla bir aşınmaya dayanıklı malzemedir. Aşınabilir sert yüzey derinliği, bir parçaya, kaynak kaplama veya termal toz yöntemiyle sağlanabilir.

Kaynak kaplama malzemelerini beş kategoride toplayabiliriz:

- Yapı alaşımları
- Metal-metal aşınması alaşımları
- Metal-toprak aşınması alaşımları
- Tungsten karbidler (şiddetli toprak kaymasında ve kesici aşınmada)
- Demirdışı alaşımlar

Bir yılda kullanılan sert kaplama alaşımları  $18 \times 10^6$ kg, ilk dört sıradaki demir esaslı malzemeler ağırlığın %90'ını, ekonomik değerini %75'ini oluşturmaktadır.

*Yapı alaşımları* (yüksek aşım çelikleri) aşınma dayanımı için dizayn edilmeyen, fakat eskimiş parçanın orijinal boyutlarına geri getirme ve sonraki gerçek sert kaplama tabakasına uygun destek sağlarlar. Bununla beraber, bu alaşımlar hafif aşınma şartlarında aşınma–dayanımlı malzemeler olarak kullanılırlar. Yapı alaşımlarının aşınma yüzeyi uygulamalarına örnek olarak:

- Dozer paleti
- Trenyolu sonları
- Büyük hızlı-yavaş dişli
- Çelik ön hadde silindirleri

*Metal-metal aşınması alaşımları* martenzitik, havada soğuyan çeliklerdir ki, makine parçalarında aşınma bölgesine uygulanabilir. Bu aşım ailesinin içerdiği tipik uygulamalar:

- Dozer ve güçlü ekskavatörlerin yürüyüş takımları
- Çelik şekil verme hadde silindirleri
- Kren tekerlekleri

Son üç kategorideki malzemelerin çoğu sert partiküllerin içinde bir metalik matriks içerirler ve bunlar da malzemeye aşınma dayanımı sağlarlar. Kobalt-bazlı alaşımlar bu bakıma bir istisnadırlar; çünkü çok geniş aşınma formlarında değişik dayanım gösterirler.



Bunlar büyük ölçüde deformasyon doğrulukları ve kobalt-zengin matrikslerde kırılma özellikleridir.

*Metal-toprak abrazyon alaşımları* ve tungsten karbürlerin başlıca fonksiyonları abrazyon dayanımıdır. Metal-toprak aşınması alaşımları yüksek kromlu beyaz dökme demirler içindeki krom karbürleri alaşım katılaştırmasında şekil verilirler. Tungsten karbidleri kompozit malzemelerdir ve kullanımları ayrılmış tungsten karbid parçalarının (çelik bir tüp içinde sarfedilebilir kaynak malzemesi formunda) kaynak arkı boyunca kaynak havuzu içine transferini kapsamaktadır.

Metal-toprak aşınması alaşımları orta ölçekli kayma ve kırılma (alçak ve yüksek gerilme) abrazyonu dayanımına sahiptirler. Oysaki tungsten karbidler ağır kayma ve kesme şartları için tasarlanmıştır. Bu malzeme tipi için çeşitli örnekler:

- Ekskavatör kepçe dişleri
- Kaya kırıcısı parçaları
- Pulluk
- Matkap ucu

*Demirdışı sert kaplama alaşımları* demirli sert kaplama alaşımları için çok agresif olan çevrelerde spesifik yüksek aşınma dayanımı isteyen hallerde (abrazyon dışında) gereklidir.

Sınıflandırılırsa :

- Kobalt bazlı / karbit tipi
- Kobalt ve nikel bazlı
- Nikel bazlı
- Bronz tipi

Bu tiplerden birincisi demir bazlı malzeme yerine kullanılabilir. Fakat kobalt bazlı alaşımlı pulluklarda çeşitli aşınma şekilleri ve korozif araçlara dayanıklıdır. Halbuki demirli sert kaplama alaşımları ve tungsten karbid kompozitleri yaygın olarak tarım, madencilik, inşaat, ve çelik endüstrisi, demirdışı alaşımlar ise kimyasal proses, otomotiv, petrol endüstrisi, aşınma dayanımı gerektiren bundan başka bütün saldırgan ortamlarda kullanılır. Kobalt bazlı alaşımlarda özellikle kimyasal saldırıya ve deformasyona karşı yüksek ısılarda ( $500^{\circ}\text{C} < T \leq 900^{\circ}\text{C}$ ) dayanıklıdır. Özellikle çelik endüstrisinde kalıbı ve hadde silindirlerini korumak için kullanılırlar. Demirdışı sert kaplama alaşımları uygulamaları için diğer örnekler :

- Valflerin oturan yüzeyleri (kontrol valfleri ve dizel eksoz valfleri)

- Pompa parçaları
- Ekstürüzyon matrisleri, kalıplar
- Gemi rulmanları, yataklar

“Abrazyon seviyesi” kavramı bilhassa metal-toprak aşınması alaşımları, tungsten karbid kompozitleri kobalt bazlı karbid tipi alaşımları ve nikel bazlı borid tipi alaşımlarının uygulanabilirliğidir. Bahsedilen malzeme grupları içinde abrazyon dayanımı seviyesi genellikle uygun karbon, karbid ve bor içeriğidir.

Kaynak kaplaması çatlaklarının birçok uygulamayla büyük ilgisi vardır (örnek: artık gerilmelerin giderilmesi). Madencilik ve endüstride, gevrek metal-toprak abrazyon alaşımlarının kullanıldığı gerilme gidermeyi kullanan ekipmanın önemi, kaplama yüzeyinde riskin azaltılması tartışmaları çalışma sırasında kaplamanın kırılma ve sonrasında parçalanması, kullanılan ekipmandaki gerilmenin önceden bilinmesiyle önenebilir. Birkaç kaynak prosesi sert yüzeyli malzemeleri uygulamak için kullanılır. Bunlar gelenekselden (mesela, oksiasetilden) yeni ve karmaşığa doğru sınıflandırılır (mesela, plazma kaynağı PTA ve synergic metal inert gas MIG). Bu farklı kaplama proseslerini uydurmak için kaplama malzemelerinin çeşitli formları mevcuttur. En popüler prosesler ve her bir prosesle en yaygın olarak benzeyen formlar çizelge 2.6’da gösterilmiştir.

**Çizelge 2.6 Kaynak prosesleri ve malzemeleri (Crook)**

Kaynak kaplama prosesi	Tüketim malzemeleri
Oksiasetilen	Çıplak dolu veya boru çubuk
Örtülü metal ark kaynağı (SMA)	Kaplamalı dolu veya boru çubuk
Gaz tungsten ark (TIG)	Çıplak dolu veya boru çubuk
Gaz metal ark (MIG)	İçi boş veya dolu tel
Açık ark	İçi boş tel
Daldırma ark	İçi boş veya dolu tel
Plazma-transfer ark kaynağı (PTA)	Toz

Kullanılacak prosesi seçmek için şu faktörler önemlidir : Tortulanma oranı, eriyik seviyesi, ekipmanın portatifliği.

### 3. AŞINMANIN ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Aşınmanın tespiti, kaymadan önce ve sonra, durumu gözleyip malzemeler üzerindeki aşınmadan kaynaklanan değişimleri saptamaktır. Aşınmanın belirlenmesi için genellikle yağ analizi, tartma, mekanik ölçüm veya yüzey görünümlerinin optik muayenesi tekniklerinden biri kullanılır.

#### 3.1 Yağ Analizi ile Aşınmanın Tesbiti

Makinaların motor, şanzuman, hidrolik, diferansiyel, cer sistemi gibi bölümlerinden programlı bir şekilde yağ numunesi alarak, herhangi bir arıza oluşmadan, duruma müdahale etmeye yönelik bir erken uyarı sistemidir. Çeşitli parçaların aşınması sonucu yağa karışan aşınma elementleri miktarı tesbit edilir, yağın kullanılabilirliği araştırılır ve aşınma oranı tesbit edilir. Böylece olmuş veya olabilecek problemlerin nedeni ve yeri kolayca anlaşılabilir.

##### 3.1.1 S.O.S. (Scheduled Oil Sampling) programlanmış yağ analizi ile aşınmanın tesbiti

S.O.S.'in yararları şöyle özetlenebilir: Beklenmeyen arızalar en aza indirilir. Bakım masrafları ve süreleri azaltılır. Problemlerin ana sebep ve yerleri kolayca belirlenir. Makina ömrü uzatılabilir. S.O.S. Laboratuvarında bir yağ numunesinin iki ayrı analizi yapılmaktadır: 1. Aşınma Elementleri Analizi ( ICP cihaz; ile )

2. Yağ Durum Analizi ( FT-IR cihazı ile)

##### 3.1.1.1 Aşınma elementleri analizi

Bilindiği gibi makine sitemlerinde kullanılan parçaların üretilmiş olduğu malzemeler farklıdır. Dolayısıyla her bir parça aşınırken yağa farklı oranlarda, o parçaya ait metaller karışacaktır. Bu da problemin kaynağını bulmada bize yardımcı olur. Örneğin motor yağında tesbit edilen normalin üzerinde alüminyum, demir, krom ve silikon, toz girişine bağlı piston, gömlek, segman aşınması olabileceğini gösterir.

Çizelge 3.1 Aşınma elementleri analizi (Tekinşen, 1998)

AKSAM	ELEMENT	AŞINMA	NEDENİ
MOTOR	Silikon Demir Krom Aluminyum	Gömlek Segman Piston	Hava emiş sistemi Toz girişi Filtreler
	Demir Krom Aluminyum	Gömlek Segman Piston	Anormal çalışma sıcaklığı Yağ bozulması Yapışmış/kırılmış segman
	Krom Molibden Aluminyum	Segman Piston	Blowby Yağ bozulması Yağ sarfiyatı
	Demir	Gömlek Dişliler Krankşaft	Anormal çalışma sıcaklığı Yetersiz yağlama Paslanma
	Silikon Kurşun Aluminyum	Yataklar	Toz girişi Yetersiz yağlama Yakıt/antifiriz karışması
ŞANZUMAN	Aluminyum Demir Bakır	Tork	Yağ bozulması Kirlenme
	Bakır Demir	Kavramalar	Yağ bozulması Kirlenme
HİDROLİK	Silikon Demir Bakır	Silindirler Rodlar	Toz girişi
	Bakır Demir	Hidrolik pompa	Yağ bozulması Kirlenme
CERLER	Silikon Demir Alumiyum	Dişliler	Toz girişi
	Demir Sodyum Krom	Dişliler Yataklar	Su girişi

Aşınma elementleri analizi ICP (Inductively Coupled Plasma) spektrometre ile yapılmaktadır. (\*)

(\*) AAS (Atomic Absorption Spectrometry) de element analizi için kullanılan bir tekniktir, ancak ICP ile karşılaştırıldığında bazı dezavantajlara sahiptir. Maliyeti biraz daha düşük olmasına rağmen her element için ayrı bir lambaya gerek duyulması, dalga boyları ve kalibrasyonun kullanıcı tarafından sürekli kontrol edilmek zorunda olması, daha yavaş çalışması gibi nedenlerle tercih edilmemektedir.

S.O.S. Laboratuvarında analizi yapılmakta olan elementler şunlardır:

Cu	Bakır
Fe	Demir
Cr	Krom
Pb	Kurşun
Al	Aluminyum
Si	Silisyum
Mo	Molibden
Na	Sodyum

ICP'nin çalışma prensibi kısaca şöyledir: Kerosende çözülmüş olan yağ numuneleri yüksek basınçlı argon gazı ile şiddetle püskürtülerek sis haline getirilir. 3000°C'ye kadar ısıtılan atomlar uyarılarak bir üst enerji seviyesine gelir ve belirli dalga boyları ve yoğunluklarda ışınlar açığa çıkarırlar. Karmaşık ayna sistemleri ve detektörler yardımı ile bu ışınlar incelenir. Her elementin yayacağı ışının dalga boyu farklıdır. Element miktarı da ışının yoğunluğuna göre belirlenir.

Cihaz, yağ numunesinde bulunan elementlerin konsantrasyonunu ppm (parts per million) cinsinden, milyonda bir hassiyetle hesaplayabilmektedir.

#### Aşınmayı Etkileyen 4 Faktör

##### 1. İç aşınma

- Alışma aşınması
- Parça uyumu
- Aşınma yüzeyleri (kavrama ve burç malzemeleri)
- Uygun olmayan ısıl işlem
- Uygun olmayan metalurji
- Orijinal olmayan parça kullanımı
- Tasarım kusurları

## 2. Bakım / uygulama

- Yanlış yağ kullanımı
- Yüksek çalışma sıcaklıkları
- Yağı geç değiştirme
- Tıkanmış hava filtresi
- Uygun olmayan hava/yakıt karışımı
- Aşırı yük
- Soğuk çalışma ortamı
- Yüksek rutubet
- İklim, sıcaklık, toz
- Çalışma zemini
- Ağır, uygun olmayan çalışma

## 3. Yağın durumu

- Değişik yağ kullanımı, değişik vizkozite
- Yüksek oksitlenme, nitratlanma
- Yüksek kurum
- Sülfatlanma

## 4. Dış kirlenme

- Üretimden kalan toz, çapak
- Solvent, sıvı contalar ve gresler
- Vernikleme
- Kurum birikimi, karbonlaşma
- Su, antifiriz, yakıt, kir
- Diğer kompartmanlardan yağ geçişi

### 3.1.1.2 Yağ durum analizi

Yağ ve yağın fonksiyonlarını yerine getirmesine yardımcı olan katkı maddeleri zamanla kimyasal reaksiyonlar ve bozulma sonucu özelliklerini kaybederler. Bu gibi durumlarda yağ durum analizi yağın kullanılabilirliğini gösterir.

Yağ numunesindeki kurum, oksitlenme, nitratlanma ve sülfatlanma değerleri ölçülerek, kullanılmış yağın durumunu belirlenir. Örneğin oksidasyon değerinin artmasının nedeni yüksek sıcaklık, havayla temas veya antifriz karışmasıdır ve yağın kalınlaşmasına, viskozitesinin artmasına ve filtrelerin tıkanmasına yol açabilir.

Yağ durum analizi İnfrared cihazı ile yapılmaktadır. İnfrared (IR), yağdaki kurum, oksitlenme, nitratlanma ve sülfatlanma için sayısal değerler verirken, antifriz, yakıt ve su karışması halinde de uyarılar vermektedir.

Eğer IR sonucu antifriz, yakıt veya su için "Possible (muhtemeldir)" uyarısı alınırsa, diğer kimyasal testlere geçilmektedir:

- Yakıt Setaflash Test
- Su Hot Plate Test
- Antifriz Ethylene Glycol Test

Bu testlerin sonunda yağa yakıt, antifriz veya su karışıp karışmadığı kesin bir şekilde anlaşılmış olur.

İnfrared analizinin temel prensibi şöyledir: İnfrared ışınları bir molekülün atomları arasında titreşimlere neden olur. Böylece çeşitli atomik kombinasyonların varlığı tesbit edilebilir. Miktarın belirlenmesi için de geçirgenlik ve yoğunluk arasındaki ters orantıdan faydalanılır. Konsantrasyon arttıkça ışının emilme oranı artar, dolayısıyla geçirgenlik azalır. (Tekinşen Reyhan, 1998)

Numune alma periyotları şöyle olmalıdır:

Motor 125 saatte (her yağ değişiminde)

Şanzuman 500 saatte bir ve yağ değişiminde (1000 saatte)

Hidrolik 500 saatte bir ve yağ değişiminde ( 2000 saatte)

Diferansiyel-Cerler 500 saatte bir ve yağ değişiminde ( Makinaya göre 1000 veya 2000 saatte)

Laboratuvara gelen yağ numunelerinin üzerindeki bilgi kartındaki tüm bilgiler öncelikle S.O.S bilgisayar sistemine girilir.

Bu şekilde bilgileri girilen her numuneye bir "Lab.Kontrol No." verilir. Özel deney tüplerinde kerosen ile seyreltilen numuneler, ICP cihazı 30 dakika kadar ısıtılıp, çalışma sıcaklığına geldikten ve kalibrasyonu yapıldıktan sonra analiz edilir. Bir numunenin ICP analizi yaklaşık 2 dakika sürmektedir. Daha sonra sonuçlar toplu olarak S.O.S. M&I sistemine girilir. Bu aşamada sonuçların yorumlanmasına ve raporların yazılmasına geçilir.

### 3.1.1.3 Yağ analizleri ile aşınma durumunun izlenmesinin avantaj ve dezavantajları

Günümüzün kompleks sanayi ve iş makinelerinin faaliyette iken arızalarından kaçınmak için bakım ve kontrol sebebiyle periyodik aralıklarla servisten alıkonulması çok pahalı olmaktadır. Pahalı makineleri faaliyette iken aşınma durumlarını belirlemek ve bu pahalı sistemler elden çıkacak kadar ciddi arızalara ulaşmadan, uygun zamanda bakımlarının yapılmasını sağlamak için yöntemler geliştirilmektedir.

Makinaların aşınma durumlarının izlenmesinde güvenilir, basit ve ucuz tekniklere sürekli bir talep vardır. Makinaların yağlanan sistemlerinin aşınma durumlarının kullanılan yağlama yağlarının analizleri ile izlenmesi, makinaların emniyetli ve ekonomik olarak çalıştırılmasını ve bakımlarının yapılmasını sağlar. İki seviyede aşınma durumu değerlendirmesi yapılır : Birincisi, aşınmanın olduğunu ve mertebesini belirlemektir. İkincisi, yağlanan sistemdeki aşınan müstakil elemanı belirlemektir.

Hareket eden elemanların ortak yüzeylerindeki aşınma, çalışan makinenin normal bir özelliğidir. Uygun yağlama aşınmanın çok düşük seviyelere indirilmesini sağlar. Fakat çalışma esnasında küçük aşınma parçacıklarının milyonlarcası yağlama yağına karışır. Bu parçacıklar birkaç mikrondan, mikronun küçük bir kesrine (örneğin 20 nenometre) kadar olan boyut aralığında değişirler. Bu aşınma parçacıklarının çoğu yağın içinde asılı kalır. Diğer taraftan, aşınma sonucu olmayan, havadan veya diğer kirleticilerden yağın içine karışmış parçacıkların milyonlarcası da yağın içinde mevcuttur. Bütün kaynaklardan yağa karışan toplam parçacık sayısı çoğu zaman astronomiktir ve tipik bir değer verilecek olursa  $\text{cm}^3$  yağ başına  $10^{12}$  parçacıktır (Tekinşen, 1998).

Yağ analizlerinde temel düşünce hareket eden elemanların aşınması sonucu aşınma parçacıkları üretildiği ve bu parçacıkların yağlama yağına karıştığıdır. Yağlama elemanlarının aşınma durumlarıyla ilgili bilgileri ihtiva etmektedir. Yağ analizleri sonucu aşınma parçacıkları hakkında elde edilen veriler ve aşınma teşhis etkinlikleri aşağıdaki gibi belirtilebilir.

#### Elde Edilen Veri

Aşınmış parçacık miktarı  
Aşınmış parçacıkların  
genel kimyasal yapısı

#### Aşınma Teşhis Etkinliği

Aşınma hızı ve derecesini  
Aşınmış metallerin ve kirleticilerin  
kimyasal yapıları



Elde Edilen Veri

Tek aşınmış parçacığın kimyasal yapısı  
 Aşınmış parçacık boyutları  
 Aşınmış parçacıkların  
 şekil yapıları

Aşınma Teşhis Etkinliği

Aşınmanın olduğu elemanı  
 Aşınmanın mertebesini ve aşınma şiddetini  
 Aşınmanın tipini ve aşınma şiddetini gösterir

Aşınma durumunun izlenmesinde yağlama yağındaki aşınma parçacıklarının analizi önemli avantajlara ve bazı dezavantajlara sahiptir.

Avantajlar

- Yağ analizlerinin makine çalışırken yapılabilir olması
- Yağlanan sistemdeki arızalanan elemanı teşhis edebilmesi
- Aşınmanın tipini ve aşınma şiddetini belirleyebilmesi
- Aşınma hızındaki değişimlere karşı çok hassas olması
- Yağlama sisteminin temizliğini, yani yağlama sistemine dışarıdan kirleticilerin karışıp karışmadığını göstermesi
- Ekonomik olması

Dezavantajları

- Etkili olarak uygulanabilmesi için eğitilmiş personel gerektirmesi
- Analiz cihazları gerektirmesi
- Numune alınması, numunenin analizlerin yapıldığı laboratuvara gönderilmesi
- Sonuçların hatalı yorumlanması ihtimali

İş makinalarının aşınma durumlarının izlenmesinde yağlama yağındaki aşınmış parçacıkların analiz yöntemlerinin avantajları dezavantajlarından daha ağır basmaktadır ve bu yöntemler iş makinalarının aşınma durumunun izlenmesinde her geçen gün daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

**3.2 Tartı Yöntemi ile Aşınmanın Tesbiti**

Bu genellikle aşınmayı saptamanın en basit yoludur şöyle ki tek bir sayı şeklinde toplam aşınma miktarını verir. Ancak çoğu kez kayan yüzeyler üzerinde aşınmanın dağılımı ile ilgilenildiğinden tartı yöntemi uygun düşmemektedir. Tartı işine girişmek için, tetkik edilecek komponent kayma mekanizmasından sökülecek ve özenle temizlenecektir (metallerde genellikle trikloretilen veya aseton kullanılır); tartı bir kimyasal terazide olur.

Tartı yönteminin saptanabilirlik sınırı genellikle  $10^{-4}$ gr civarındadır. Buna üç faktör engel çıkarır : malzemelerin her zaman yeterince temizlenememesi, ürün üzerinde tortu kalabileceğinden, sonuçtan sapmalar meydana getirir; komponentimizde, kayma mekanizması içinde hızlandığı noktalarda, yönü kestirilemeyen malzeme geçişi olur; ve nihayet aşınma ölçümlerinde kullanılan kimyasal terazinin hassasiyet sınırı öğrenilir.

### 3.3 Mekanik Ölçüm Yöntemi ile Aşınmanın Tesbiti

Tipik olarak mikrometrenin hassasiyet sınırı yaklaşık  $10^{-3}$ cm olup  $10^{-2}$  cm<sup>2</sup> lik bir ilavesi  $10^{-4}$ gr'a kadar ölçme olanağı sağlar. Genellikle mekanik ölçüm büyük boyutlu kayar komponentlere (örneğin otomobil motoru silindirleri) uygulanır ve saptanabilen minimum aşınma miktarı çok daha büyük olur. İş makinalarının büyük ve sürekli şiddetli aşınmaya maruz kalan parçalarının kontrolünde işletme şartlarında en uygun yöntemdir. Bir iş makinasının yürüyüş paletindeki pabuç aşınma modellerini incelersek:

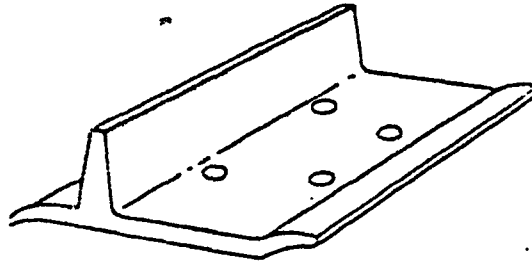
Tırnak aşınması

Sebepler : Zeminin ihtiva eden materyal ile pabuç arasındaki temas neticesi.

Hızlandırıcı sebepler : Aracın ağırlığı, gücü, hızı, zeminin aşındırıcılığı, arazinin yapısı ve bunun yanında çalışma esnasında görülen patinaj, dönme, kayma gibi.

Etkisi : Aşınma limitlerine ulaşıldığında veya geçildiğinde, aracın çekiş gücünde kayıplara yol açabileceği gibi dolgu kaynağıyla tırnak yenileme imkanını da ortadan kaldırır.

Giderilmesi : Özellikle başta patinaj, gereksiz dönüşler olmak üzere kontrol altına alınabilecek aşınmayı hızlandırıcı değişken sebepler azaltılmalı veya kısmen ortadan kaldırılmalıdır.



Şekil 3.1 Bir iş makinasının yürüyüş takımına ait pabuç  
(Parsan, İş Makinaları Yürüyüş Takımı El Kitabı)

### Çatlama kırılma ve eğilme sorunları

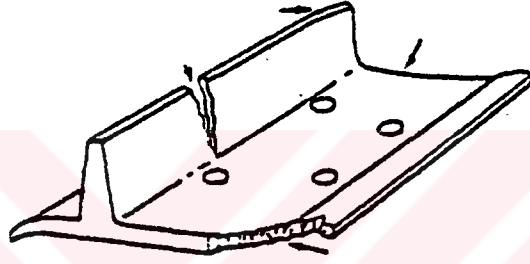
Sebepler : 1)Pabuç tırnaklarında ve çalışma yüzeyinde aşınmadan dolayı

2)Pabucun arazi şartlarına göre geniş olmasından dolayı pabuca gelen eğme yükünün, pabucun mukavemetini aşması.

Hızlandırıcı sebepler : Bilhassa pabuç genişliği başta olmak üzere, pabuç tırnak aşınmasındaki hızlandırıcı sebeplerin aynıdır.

Etkisi : Pabuçlarda tırnak yenilenmesini ortadan kaldırdığı gibi pabucun, aşınmadan kullanılamaz hale gelmesine sebep olur.

Giderilmesi : Daha uygun ve şartlara daha uygun pabucun seçilmesi.



Şekil 3.2 Kullanılamaz hale gelmiş bir pabuç  
(Parsan, İş Makinaları Yürüyüş Takımı El Kitabı)

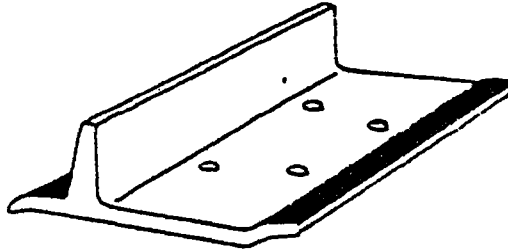
### Çalışma yüzeyi ön ve arka kuyruk aşınması

Sebepler : Tırnak aşınmasının aynı.

Hızlandırıcı sebepler : Tırnak aşınmasında olduğu gibi.

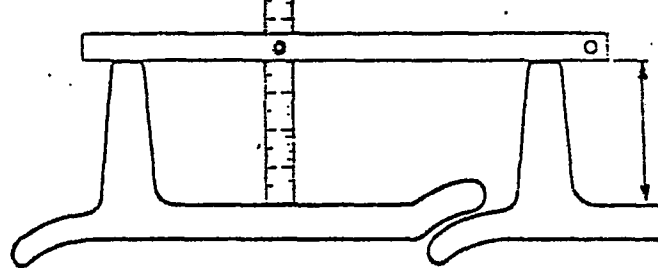
Etkileri : Pabucun eğilme mukavemetini düşürür. Fazla aşınmalarda tırnak yenileme imkanını ortadan kaldırır.

Giderilmesi : Tırnak aşınmasının aynıdır.



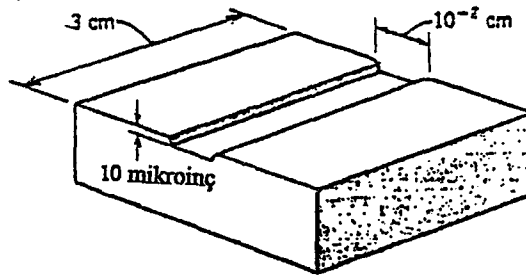
Şekil 3.3 Kuyruk aşınmasına uğramış bir pabuç

Çizelge 3.2 Pabuç aşınma oranları



Makine Modeli	Yeni mm	Aşınma Oranları			
		%25 mm	%50 mm	%75 mm	%100 mm
D4	51	43	34	26	19
D4D	56	47	38	29	20
D6, D5	56	48	40	31	22
D6C	66	56	46	35	23
D7	66	56	46	34	24
D7, E, F, G (Sup.ESS)	72	60	48	36	25
D7, E, F, G	66	56	46	35	25
D8H, D8K	77	64	51	37	24
D8H, D9 (Sup.ESS)	78	64	50	36	24
D9G, D9H	90	76	60	43	26
D9G, D9H (Sup.ESS)	90	75	58	40	25

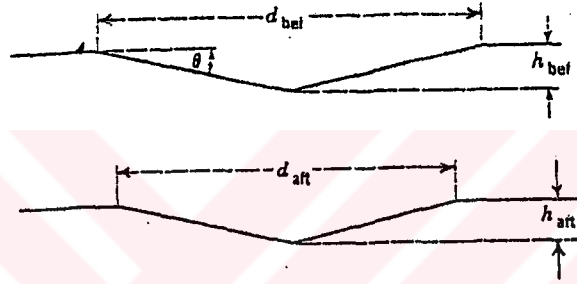
Aşınmanın ölçmenin bir alternatif yöntemi, özellikle aşınmanın dar bir şeritte meydana gelmesi halinde kullanılıp bir profilmetre ile şeritin bir profilini çıkartmak ve kazınmış malzeme miktarını tahmin etmekten ibarettir. 3cm uzunluk,  $10^{-2}$ cm genişlik ve 10 mikroiçlik derinlikte bir şeritte  $10^{-5}$  gr'lık bir ağırlık kaybı saptanabilir. (Oğuz, 1993)



Şekil 3.4 Aşınmayı ölçmek için profilmetre yöntemi

### 3.4 Optik Yöntemle Aşınmanın Tesbiti

Bir optik teknik kullanarak aşınmayı ölçmenin birçok yöntemi vardır. Bunlardan biri bir yüzey üzerine küçük bir mikrosertlik çukuru teşkil edip kayma sırasında bunun boyutunu tespit edip kayma sırasında bunun boyutunun nasıl azaldığını incelemekten ibarettir. Optik yöntemin yatay saptanabilirlik sınırı  $10^{-4}$  cm civarında olup bu 1/5 meylinde bir çukur (iz) için  $10^{-5}$  cm'lik bir derinlik sınırı olur. Böylece de yukarda sözü edilmiş profilmetre yönteminin sınırlamalarıyla aynı sınırlamalarda aşınma ölçümü yapılabilir gibidir.



Şekil 3.5 Aşınmayı ölçmenin çukur teşkil etme yöntemi\* (Oğuz, 1993)

$$* \text{Aşınma derinliği} = h_{bef} - h_{aft} = (d_{bef} - d_{aft}) \text{tg} \theta / 2$$

Radyoaktif izleyicilerle aşınmanın ölçümü, aşınmanın, önce-sonra ölçümü değil, doğruca aşınmanın meydana geldiği anda ölçüm olanağı sağlar. Bunun ayrıntılarına girmeyeceğiz. Sadece bunun  $10^{-9}$  ila  $10^{-12}$  gr mertebesinde saptanabilirlik sınırı verdiğini söylemekle yetineceğiz.

### 3.5 Ultrasonik Yöntemle Aşınmanın Tesbiti

Ultrasonik aşınma göstergesi bölüm kalınlığı ölçülecek malzemeye yüksek frekansta ses dalgaları yollayarak ölçer. Dalgaları yollama ve alma arasında geçen zaman kalınlığı belirler. Bu yöntem aşağıdaki özelliklere ve avantajlara sahiptir:

- Parçaları temizleme büyük zaman kaybı yaratır (özellikle kovanlarda ve pabuçlarda). Bu yöntem parçaların etrafında biriken kire bağlı olarak ölçme hatalarını önler.

- Teknik elemanlar arasındaki ölçme tekniği farklılıklarına bağlı olarak hataları elimine eder.
- Çok sayıda parça için bilgi depolar.
- Otomatik aşınma yüzdesi ve tasarlanmış ömür hesapları için bilgisayar programları mevcuttur.



#### 4.AŞINMA DENEY METODLARI

Aşınma deney metodları genelde ikiye ayrılmaktadır.

1.“İşletme deneyi” metodları

2.“Labaratuvar deney” metodları

Makine elemanının işletme şartlarındaki aşınma durumunda şartlardaki ufak değişmeler bile bu durumda farklılıklar meydana getirmektedir. Bu sebeple seçilen malzemenin uygunluğunu işletmede kontrol etmek oldukça zor ve çok defa uzun zaman ve fazla masraf gerektirmektedir. Şartlardaki değişmeden dolayı da deney sonuçlarını değerlendirmek mümkün olmamaktadır. Bundan dolayı aşınma konularında yapılan araştırmalar da işletme deneyleri yerine labaratuvar deneyleri yapılır. Bu ikinci tür deneylerde işletme şartlarına benzer şartlar, model tesislerde sağlanır. Bunun için de maksada uygun olarak geliştirilmiş aşınma deney makinalarıyla labaratuvar deneyi yapılır. Ancak labaratuvar elde edilen sonuçların, işletme şartlarına göre değerlendirilmesi, işletme deneylerinde işletme şartlarına hakim olmak kadar zor bir iştir. Bu sebepten dolayı elde edilen sonuçlar genel olmaktan çok aşınma değişkenlerinin aşınma durumuna etkilerini nicel olarak sıralamayı mümkün kılmaktadır. Bu tür deney tesisatlarıyla gerçekleştirilen deney metodlarını beş ayrı grupta toplamak mümkündür:

1. Pin-halka aşınma deney metodu
2. Dönel disk aşınma deney metodu
3. Karıştırıcı tip aşınma deney metodu
4. Üç cisimli aşınma deney metodu
5. Salınıma maruz aşınma deney metodu

Görülüyor ki standartlaştırılmış bir aşınma deney metodu vermek mümkün değildir. Bu yüzden, araştırmacı tarafından ön görülen şartlarda çalışan, ampirik sonuçları hedefleyen deney tesisatları geliştirilmektedir. Ne var ki probleme çözüm getirmek için bundan başka da imkan olmadığı düşünülünce bu yolu izleyerek hedefe ulaşmak zorunlu olmaktadır.

##### 4.1 Aşınma Oranlarının Tahmini

Tasarımcının aşınma oranlarını tahmin etmesi için 3 metot mevcuttur. Birincisi, tasarımın başında kullanışlı bir metot olmamasına rağmen çalışan sistemlerin en son ömrünü tahmin

etmede ve böylece de çalışma sırasında sistemde aşınma oranını seçmede değerlidir. Mesela içinden sulu çimento geçen borunun çalışma şartları altında kritik bir kalınlığa gelmeden önce zamanını tahmin ederek aşınmayı ölçmek ve bundan dolayı kullanılış ömrünü tahmin etmek. Böyle bir yaklaşımda dikkat edilmesi gereken kurallar vardır. Aşınma oranları sabit değildir ve zamanla değişir: yağlanmış kayma aşınmasındaki gibi başlangıçta azalır sonra da artabilirler (katı parça erezyonunda olduğu gibi).

Bilgiler doğrultusunda ömürlerini tahmin etmek için konstrüktör ölçülmüş olan aşınma oranının ölçülü bir şekilde sabit kalacağına ve sistemin işleme şekillerinin ömrü boyunca sabit kalacağı konusunda emin olmalıdır. Mesela sulu çimento boru hattı örneğinde dirseğin kavisindeki aşınma yüzünden çeperin delinmesi genellikle olan bir durumdur ve bu da bu noktada sistemin ömrünü gösterecek aşınma oranıdır. Diğer yerlerdeki ortalama aşınma oranı değildir.

Çalışma sırasındaki aşınma oranlarının tahmininde ikinci metot ise sistemin parçalarına yapılan testlerden bilgi elde edinmektir. Bu testler çalışma sırasında beklenen koşullar taklit edilerek yapılır. Bu metot genellikle yataklardaki aşınmayı tahmin etmek için kullanılır. Bu aşınma çalışma koşullarına çok benzeyen laboratuvar donanımıyla yük, hız, derece ve yağlama durumu test edilerek ortaya çıkarılabilir. Eğer aşınmayı makine çalışırken olduğundan daha hızlı gerçekleştirmek isteniyorsa hızlandırılmış test kullanılır. Mesela yatağın kayma hızı artırılıyor ise, bu durumda aşınma mekanizmasının değişmediğinden ve çalışma şartlarının aynı kaldığından emin olunmalıdır.

Yük ve hız gibi işletme değişikliklerine aşınma oranıyla ilgili deneysel denklemler aşınma oranlarının belirlenmesinin üçüncü metodudur. Abrasyon, kayma aşınması ve erozyon için aşınma oranının tam değeri boyutsuz aşınma katsayısı değerine bağlıdır (Hutchings, 1992).

#### **4.2 İş Makinası Tırnağının Aşınma Dayanımını Artırma Çalışmaları**

Kazıcı elemanları geliştirme grubu ARM'li (aşınmaya dayanıklı malzeme) tip prototip üretimini gerçekleştirmiş ve aynı ortamda deneme çalışmalarını yapmıştır. İşletme şartlarında yapılan bu deney için değişkenler sabit tutulmuştur.

- Tüm denemelerde aynı tip tırnak kullanılmıştır.
- Denemeler aynı şantiyede yapılmıştır.
- Çalışma ortamı kırma taş mıcırdır. Boyutlarında önemli farklar yoktur.



- Aşınma dirençli malzeme olarak aynı yerden temin edilen tungsten karbür emdirilmiş kaynak teli kullanılmıştır.

Çizelge 4.1 Test sonuçları

MALZEME	ORTALAMA AŞINMA	ÇALIŞMA SAATİ	36,6mm AŞINMA İÇİN GEREKLİ ZAMAN	SAATEKİ AŞINMA MİKTARI
X	33,25mm	35 saat	38,52 saat	0,95mm
X+ARM	17 mm	42 saat	90,42saat	0,40mm
Y	36,6 mm	110saat	110 saat	0,33mm
Y+ARM	25,4 mm	115saat	165,7saat	0,22mm

Çizelge 4.2 X ve Y malzemesi kimyasal bileşimi

	%C	%Mn	%P	%S	%Cr	%Mo	%Ni	%Si	%Ti	%W	%Zr	%B
X malzemesi	0,25-0,33	0,85-1,25	0,040	0,035	0,45-0,75	0,28-0,42	0,45-0,75	0,40-0,80	...	0,02	...	0,003-0,007
Y malzemesi	0,25-0,32	0,50-0,90	0,035	0,035	1,62	0,30-0,40	0,50	1,40-1,80	0,25	...	0,025	...

Yukarıda A üretici firmasının aşınmaya dayanıklı tırnak malzemesini geliştirme çalışmalarından bir örnek verilmiştir. Bu örnekte X malzemesinin düşük aşınma dayanımının ARM ile arttırıldığı görülmektedir. Yeni malzeme Y'nin ise yüksek aşınma dayanımı özellikleri ARM ile iyileştirilmiştir.

B üretici firması ise yayınlarında ARM uygulanmış parçaların standart parçalara oranla 5 kat daha uzun ömürlü olduğunu belirtmektedir. Bu parçalar standart ürünlerin kritik aşınma yüzeylerine tungsten karbür parçalarını nüfuz ettirilerek elde ediliyor. Standart alaşımli üretilen diğer markalarda aşınma ömrünü arttırmak için kullanılan fazla materyal dalıcılık kabiliyetini yok ederken; B firmasının ARM kaynaklı uçları, uzun ömrü ve yüksek dalma kabiliyeti ile operasyonel verimliliği en üst seviyede tutar.

#### 4.2.1 A Firmasının uzun ağır hizmet kepçe tırnaklarının B Firması ile karşılaştırılması

Bu iki tırnak metalurji laboratuvarlarında standart sanayi testleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

##### 1. Kritik Noktalar

- A firmasının tırnaklarında, B firmasının tırnaklarından daha az aşınma malzemesi vardır.
- A firmasının tırnaklarında hem makro gözenek hem de mikro gözenek (döküm içinde oyuklar) vardır.
- A firmasının tırnaklarının cep üst cidar kalınlığı çok fazladır
- A firmasının tırnaklarının bir taraftaki cep yan cidar kalınlığı çok fazladır.

## 2. Avantajlar

B firmasının tırnaklarında, A firmasının tırnaklarına oranla %17,5 fazla aşınma malzemesi olması B firması tırnaklarının daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır. A firmasının tırnaklarında daha az olan sertlik derinliği, hızlı aşınmaya ve aşınma ömrünün B firmasının tırnaklarına oranla daha kısa olmasına neden olmaktadır. A firmasının tırnaklarının döküm gözenekleri, tırnak sertliğini azaltmakta ve darbeli operasyonlarda tırnak kırılmasına neden olmaktadır. A firması tırnaklarında, cep ve üst yan kalınlığı fazla olması nedeni ile kullanılmayan atık malzeme miktarı fazladır. B firması tırnaklarında ise daha az atık malzeme daha çok aşınma malzemesi bulunmaktadır.

## 3. Test Sonuçları

B firması tırnaklarının sertlik derinliğinin daha fazla olması ve daha çok aşınma malzemesi bulunması, ömrünün önemli oranda daha uzun olmasını sağlamaktadır. A firmasının tırnaklarının mikro gözenekleri (malzeme kusurları) darbeli kullanımda performansını azaltmaktadır. B firması tırnakları, adaptörü ile daha uyumlu olduğundan adaptörün kırılma riski azalmakta ve tırnak performansını artmaktadır.

Çizelge 4.3 A ve B firması tırnaklarının test sonuçlarının karşılaştırılması

	Tırnak Ağırlığı (kg)	Aşınma Malzemesi (kg)	Sertlik (Rc) 20mm
A firması	16,8	7,7	45-46
B firması	16,3	9,1	50-52



Bu durumu teyid etmeyen çalışmalar da vardır: USDA deneyleri %0,80-0,96C ihtiva eden ve sertlikleri (44-48) RC (Rockwel C sertlik derecesi) olan karbonlu çeliklerin aşınma direncinin en büyük olduğunu göstermiştir. Çeşitli sertlik derecelerinde, SAE 1080 ve SAE 6160 çeliklerle yapılan karşılaştırmalı laboratuvar aşınma deneylerinde 1080 çeliğinin (%0,60 C ; %0,70Mn ; %0,8-1,10Cr ihtiva eden alaşım çeliği) ağırlık kaybı aşınmasının daha az olduğu görülmüştür. Öyle ki her ne kadar çeliğe Mn ve Cr katmak çeliği dayanıklılığını arttırsa da aşınma direnci yönünden karbon miktarındaki azalmasının eksikliğini gideremez.

RC 42 veya RC 44 kadar sertleştirilmiş SAE 1085 veya SAE 1090 çeliklerinin aşınma, darbe ve yorulma dayanımlarının iyi olmasından dolayı, iş makinalarında kullanılması tavsiye edilmektedir.

Özetlenirse, aşınma direnci açısından, iyi bir malzeme seçiminde ve elde edilmesinde;

- Malzemenin sertliği
- Uygun karbon %'si
- Karbon %'sine uygun ısıl işlem dikkatle izlenmesi gereken hususlardır.

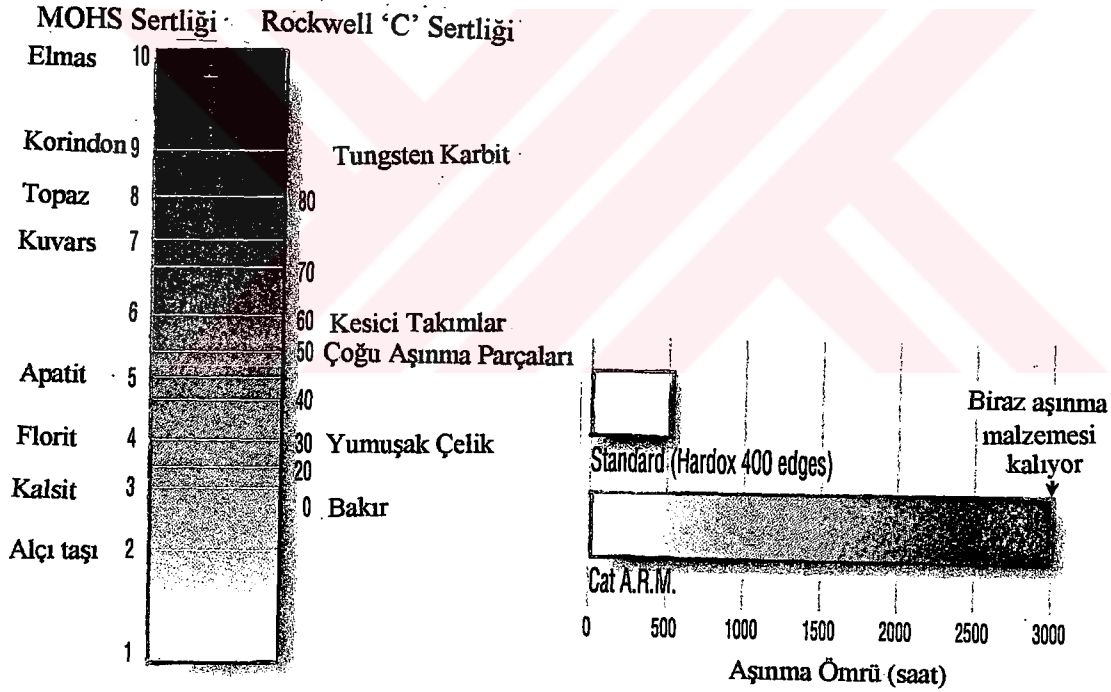
## 5.2 Birleşik (Kompozit) Tungsten Karbürü

Genellikle "elmas uç" veya "vidia" olarak bilinen sinterlenmiş karbür kesici uçları, sert dolgunun bir yöntemine örnektir. Sert uç, bir çelik takım üzerine sertlehimlenmiş bir toz metalürjisi ürünüdür. Bahsedilen sert dolgu, bir demir-esaslı alaşım içine dağıtılmış ve tespit edilmiş, boyutlara ayrılmış bir bileşik WC-W<sub>2</sub>C taneciklerden oluşan bir terkedilmiş kaynak metalinden oluşmaktadır. Bunu sağlamanın yolu bu tanecikleri içeren bir çelik tüpü ergitmektir. Bu işlemde kullanılacak olan matris bir tungstenli dökme demir ya da çeliktir. Tungsten karbürü birleşikleri, tüp şeklinde genellikle ağırlık olarak %60 tungsten karbürü ve %40 çelik içerir. Tungsten karbüründe %3,5 ilâ 4,0 karbon vardır ve 8-10 mesh' den 100 mesh' e (bir inç karede elekte bulunan göz sayısı) kadar elekten geçirilerek boylara ayrılır. Bu, toz metalürjisi yöntemleriyle imal edilen metal bağlı WC nin aksine, WC ile W<sub>2</sub>C nin bir karışımından oluşan dökülmüş ve öğütülmüş üründür. Kobalt içeriğinin çok alçak olmaması halinde sinterlenmiş kobalt bağlı WC ürününden işbu WC-WC<sub>2</sub> dökme alaşımı, daha üstün bir abrazyon mukavemetini sağlar.

% 3,8 civarında karbon içeren WC – W<sub>2</sub>C alaşımının ergime noktası 2610 °C (4700°F) dir.

Bunun sonucu olarak bu alaşım bazı kaynak işlemleri sırasında değişmez. Doğruca karbürlerin en sağlamıdır. Ergiyikte kobalt ilave edilerek ergime noktası düşürülebilir ve sağlamlık artırılabilir. %3,8 karbonlu taneciklerin sertliği 2500VPN' e yakın olup matris, sertleştirilmiş takım çeliği gibidir. Bunun sertliği, uygulama yöntem ve tekniğine göre Rockwell C-65' e kadar yükselir (Şekil 5.1). Abrazyonların çoğuna neden olan kuvarz ve sert silikatların sertliği bunların arasındadır. Böyle olunca da abrasif aşınma tercihen matrisi kesip tanelerin çıkıntılı halinde kalmasına imkân verecektir. Bir düzgün aşınmış yüzey istendiğinde bu, bir sakınca, kesme fiili gerektiğinde bir avantajdır.

Oksi-asetilen ve atomik hidrojen kaynakları, petrol kuyusu delme uçları gibi uygulamalarda tercih edilir. İlki matrise karbon ekleyebilir ve böylece de tanelerin ılımlı eriyiğinin verdiği tungsten ve karbonu tamamlayabilir. Bu türlü terk edilen kaynak metalleri herhangi başka sert dolgu tipinden daha yüksek abrazyon mukavemetini sağlarlar.



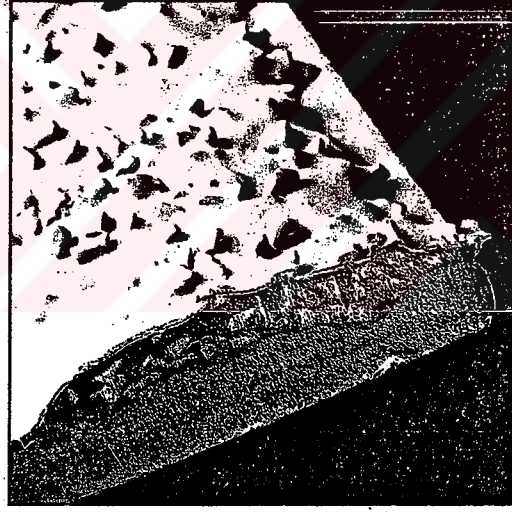
Şekil 5.1 Tungsten karbidin sertlik değerinin ve aşınma ömrünün karşılaştırılması (Caterpillar, 1994)

Kaynak işleminin, terk edilen kaynak metalinin nitelikleri üzerinde derin etkisi olabilir; şöyle ki matrisin bileşimi, kaynak sırasında erimiş karbür tanelerinin miktarına bağlıdır. Ark kaynağı tungsten karbürünü çok daha kolay eritme eğiliminde olup ve bir uç durumda, çok önce tanelerle, bunların hepsini eritebilir (Şekil 5.2).

Böyle bir matris, herne kadar sert ise de bir sert, kuvvetli matris içine tespit edilmiş iyi bir

taneler hacmini içeren birleşikten düşük dayanımlıdır. Ana metalle ergime ve bunun sonucu abrazyon dayanımlı sert yüzey yine ark kaynağında meydana gelir. İyi sonuçlar veren ark kaynakları yapılabilir, ama kaynakçının ergime sırasında neler olduğunu anlaması ve optimum sonuçlar alınmak isteniyorsa, kaynak banyosu süresini asgaride tutması istenir. Daha ucuz olması itibariyle ark kaynağı genellikle iş makinalarının sert dolgusu için kullanılır.

Terk edilen metalin sıcakta sertliği başlıca matrisin bileşimine bağlıdır. Ark kaynağı daha çok tungsten erittiğinden, daha yüksek sıcaklıkta sertlik olur. Bununla birlikte 650°C' in üstünde sıcaklıklar, tanelerin kolaylıkla oksitlenmeleri nedeniyle, tavsiye edilmez. Demir esaslı matris ne oksitlenmeye, ne de korozyona dayanıklıdır. O, gevrek, ama ana metalin yeterince kuvvetli olması halinde hafif ve bazen orta darbeye karşı koyabilir. Ağır darbeden kaçınılacaktır. Tungsten karbürü taneleri, terk edilen metali talaşla işlenemez ve taşlanmasını zor hale getirirler.



Şekil 5.2 Birleşik sert dolgu tabakalarında tungsten karbürü tanelerinin dağılımı  
(Caterpillar, 1994)

### 5.3 Konstrüktif Önlemler

Makinaların performansında bir faktör olarak aşınma genelde tasarımda ihmal edilir. Ancak birçok durumda ekonomik kayba, değiştirme maliyetlerine ve önemli bakım işlerine yol açar. Bunun yanında aşınma makine parçalarının boyutlarında değişikliğe neden olarak makinanın ekonomik ömründen önce verimliliğinin azalmasına neden olur. Bunun için

aşınma tasarım süresinde her zaman önceden düşünülmelidir. Çalışma sırasında bir problem olduğunu göstermesiyle sonradan akla gelmemelidir.

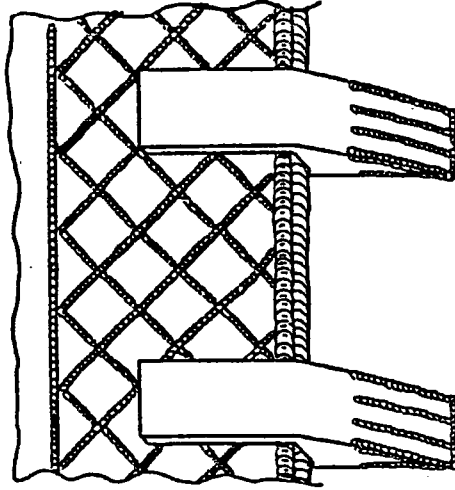
Konstrüktörün aşınma konusunda iki sorunu vardır: serviste ortaya çıkacak belirli aşınmayı kurmak ve böylece tasarım üzerinde ekonomik veya diğer sınırlamalar dahilinde aşınma oranını kabul edilebilir seviyelere adım adım indirmek. "Belirli aşınma" ve "kabul edilebilir seviye" terimleri açıkça tasarlanan sistemin detaylarına bağlıdır ve aynı zamanda da aşınmayı azaltmak için önlemleri de alırlar. Aşınmayı azaltmak için tasarımcı aşınmanın oluşacağı mekanizmayı kurmaya ve bu mekanizma tarafından aşınmayı kontrol edecek faktörleri anlar.

İş makinalarının toprağa ya da kayaya daldırılan kepçe tırnaklarındaki aşınma kepçenin toprağa daldırılma kuvvetine bağlıdır. Kesit alanı (projeksiyon alanı) büyümesi aşınmayı hızlandırmaktadır. Üçgen kesitli tırnakların kesme açısının büyümesi sürtünmeyi ve aşınmayı arttıracaktır, buna karşılık kesme açısının küçülmesi mukavemeti azaltacağından malzemeye göre optimum bir kesme açısı belirlenir.

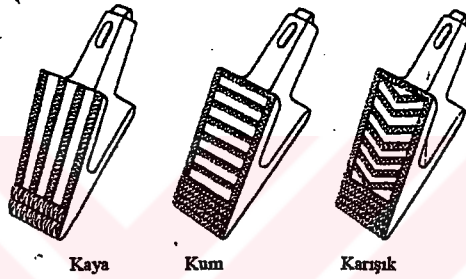
### 5.3.1 Tasarımın kullanımı

Aşınma oranını en aza düşürmede sert yüzeyli bölgenin geometrik deseninin de etkisi vardır. Şekil 5.3'den 5.8'e kadar sert yüzeyli bölgelerin de gösterildiği çeşitli örnekler verilmiştir. Şekil 5.4 tırnaklar üzerinden kayan malzemenin dikeyden yatay kaynak dikişine doğru olacağını gösterir, oysa ki kaya gibi büyük parçalardan oluşan malzemenin akışına yatay kaynak dikişi daha yaygındır. Daha büyük kayalar dikey kaynak dikişini bırakma eğilimi gösterirler. Karışık ölçülerdeki maden cevherleri aralıklı zikzak örneklerine ihtiyaç duyarlar. Genel yapı aşınma yüzeylerinin kaynak dikişi ile doldurulmasıdır ki bu da metal kaybını, abrazif aşınmanın azalmasını sağlar. Dikişler arasındaki boşlukların uzunluğu ve geometrisi doğrudan hafriyat malzemesinin dağılım ölçüleriyle ilgilidir.

Çarpma basıncını tecrübe eden uygulamalar için sert yüzeyli kaynak dikişinin tam kaplamasını kullanmak yaygın bir durumdur. Büyük kepçelerin kazma köşeleri de yatay giriş kaynakları kullanılarak yüzeyleri sertleştirilmiştir (Şekil 5.5 ve 5.6'de gösterildiği gibi).



Şekil 5.3 Ekskavatör kepçesi kenarı ve dişleri için sert kaplama örneği (Caterpillar, 1998)



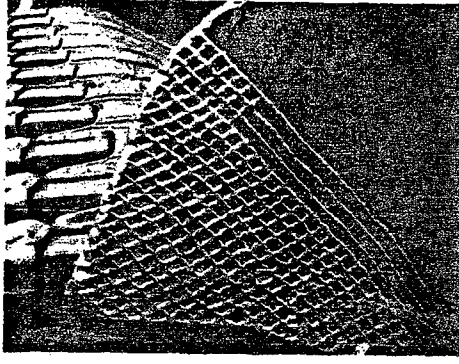
Şekil 5.4 Mineral malzemenin türüne ve ölçüsüne göre değişik sert kaplama dikişleri (Caterpillar, 1998)



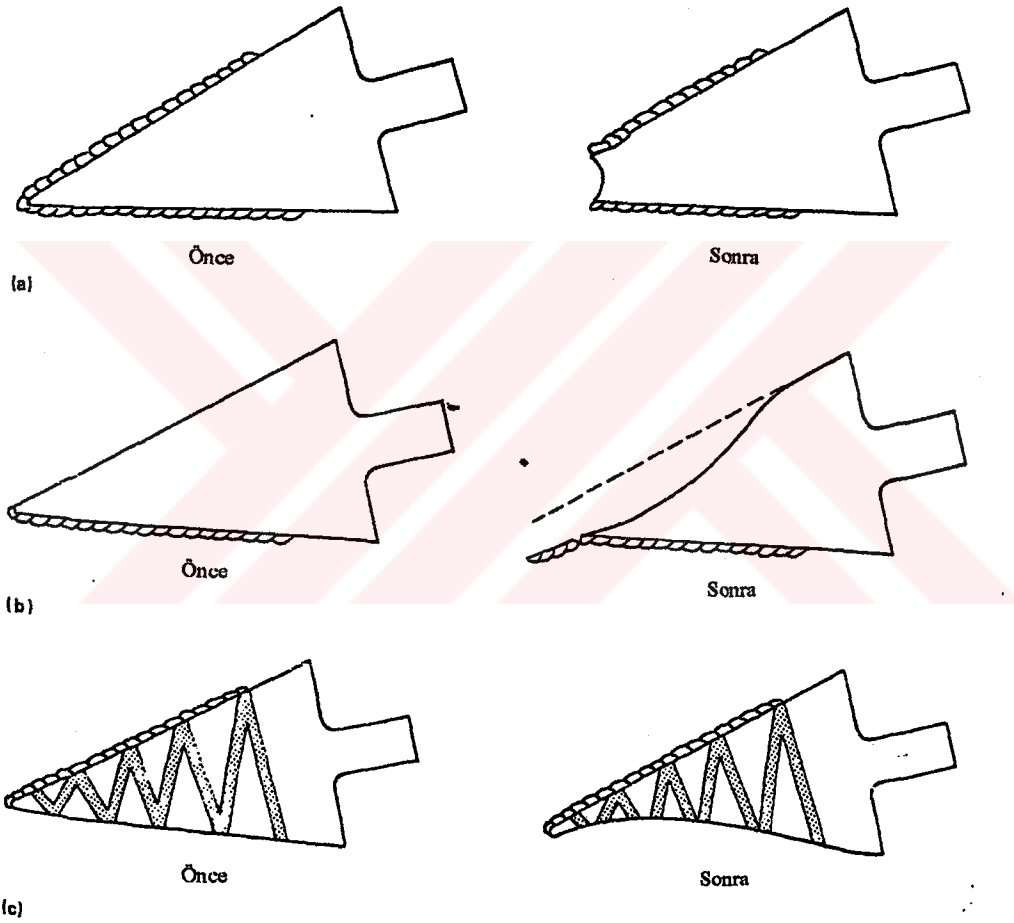
Şekil 5.5 Abrasyon ve çarpma dayanımı için kepçe kesici kenarını sert kaplama

Kepçe tırnağı üzerinde sert yüzey örnekleri için özel kurallar uygulanır. Tırnak ya sert yüzeyli olmadığı için yada hem üstte hem de altta sert yüzey yapıldığı için körelir (Şekil 5.7). Kazıcı dişler yeniyken sert yüzeylendirilmelidir. Sert yüzeylendirme tırnak dibinden 50mm uzaklıktaki bir noktadan tırnak ucuna kadar kaynak dikişiyle kaplamadır. Gerçek metot sadece tırnak üzerini kaynak dikişiyle kaplamaktır. Bu pratik dişin tercih edilen bir aşınmaya maruz kalmasını sağlayacaktır ki bu da dişin kendi kendine keskinleşmesini sağlayacaktır (Şekil 5.7). Eğer tırnak ucu kırılırsa manganez çeliğiyle (%14Mn) tekrar yapılandırılır (Şekil 5.8).

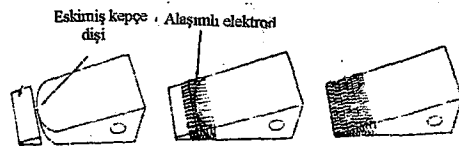




Şekil 5.6 Kepçenin yan yüzeyine uygulanan sert kaplama dikişi deseni (Caterpillar, 1974)



Şekil 5.7 Çeşitli sert kaplanan yüzeylerin kepçe dişi aşınmasına etkisi (a) dişin altında ve üstünde (uygun değil). (b) sadece altında (uygun değil). (c) dişin üzerinde



Şekil 5.8 Eskimiş kepçe dişinin yüksek mangan çeliği üzerine sert kaplamayla yenilenmesi (ASM Handbook)

### 5.3.2 Ekskavatör kepçe tırnaklarındaki konstrüktif değişikliklerin aşınmaya etkileri

Aşağıda verilen tırnak tiplerinde, konstrüktif değişikliklerinin aşınma ömrüne, toprağa dalıcılık kabiliyetine ve mukavemetlerine göre kıyaslama yapılmıştır.

Dalıcı (Şekil 5.9)

- En yüksek dalma kabiliyeti olan tırnaktır.
- Kil benzeri sıkışık yoğun malzemelerde kullanılır.
- Çalıştığı sürece keskinliğini korur.

Kısa (Şekil 5.9)

- Kaya benzeri yüksek darbe ve koparma gücü gereken durumlarda kullanılır.
- En yüksek mukavemetli tırnaktır.

Uzun (Şekil 5.9)

- Kırılmanın problem olmadığı ortamlarda genel amaç için kullanılır.

Aşınma dirençli (Şekil 5.9)

- Kum, çakıl gibi aşındırma özelliği yüksek malzeme ortamlarında kullanılır.
- Uzun aşınma ömrü için ekstra aşınma malzemesi ile imal edilmelidir.

Uzun ağır hizmet (Şekil 5.9)

- Genel yükleme ve kazı işlerinde kullanılır.
- Uzun ömürlü ve mukavemeti fazladır.

Aşınma dirençli ağır hizmet (Şekil 5.9)

- Kum, çakıl ve kırma kaya benzeri aşındırıcı malzeme ortamlarında kullanılır.
- En çok aşınma malzemesine sahip olması gerekir.

Uzun ömürlü ağır hizmet (Şekil 5.9)

- Aşınmaya dirençli malzeme (ARM) ile en yüksek aşınma ömrüne ve yüksek dalma özelliğine sahiptir.
- Aşırı yüksek darbeli koşullarda uygun değildir

Keskin (Şekil 5.9)

- Dalmanın birinci öncelikte olduğu uygulamalarda kullanılır.
- Aşınma malzemesi düşüktür.










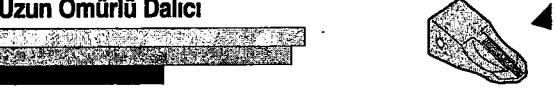

İkiz keskin (Şekil 5.9)

- Kırma, çatlatma özelliği geliştirilmiş bu tırnaklar buz ve sıkışık malzemelerde kullanılır.

- Dalma özelliği keskin tırnaktan düşük ama aşınma materyali fazladır.
- Özellikle kepçe köşelerinde kullanımında, köşe aşınmalarını azaltır.

Uzun ömürlü dalıcı (Şekil 5.9)

- Aşınmaya dirençli malzeme (ARM) ile orta ve yüksek darbeli koşullarda daha yüksek aşınma ömrüne sahiptir.
- Çalıştıkça kendini bileme özelliği ile en yüksek dalma verimini sağlar.

<p><b>Dalıcı</b></p> 	<p><b>Aşınma Dirençli Ağır Hizmet</b></p> 
<p><b>Kısa</b></p> 	<p><b>Uzun Ömürlü Ağır Hizmet</b></p> 
<p><b>Uzun</b></p> 	<p><b>Keskin</b></p> 
<p><b>Aşınma Dirençli</b></p> 	<p><b>İkiz Keskin</b></p> 
<p><b>Uzun Ağır Hizmet</b></p> 	<p><b>Uzun Ömürlü Dalıcı</b></p> 
<p>  </p>	

Şekil 5.9 Ekskavatör kepçe tırnaklarının aşınma ömrü, dalıcılık kabiliyeti ve mukavemetlerine göre karşılaştırılması  
(Caterpillar, 1997, Kazıcı-Koruyucu Ürünler Kullanıcı Rehberi)

#### 5.4 Kaynak Takviyesiyle Alınacak Önlemler

Dolgu istenen özellikler veya boyutlar elde etmek üzere bir metalin yüzeyine dolgu metali koymak şeklinde tanımlanır. İşlem genellikle, başka türlü bir mühendislik uygulaması için tüm gerekli nitelikleri sağlayamayacak bir parçanın ömrünü uzatmak veya korozyona uğramış metalin yerini almak için kullanılır. Dolgu tam en çok gereksinme duyulan yerde korozyona mukavemet, aşınmaya mukavemet, sağlamlık veya antifriksiyon özellikler sağlamaktadır.

Dolgunun abrazyon mukavemetine yardımcı olduğu yerlerde bu, genellikle, sert dolgu olarak anılır. Bu terim, darbe mukavemeti veya alçak sürtünme özellikleri için bir sağlam veya tufal dökmeyen (pullanıp kalkmayan) dolgunun yapıldığı yerlerde kullanılır. Sert adı sözlük anlamı yerine burada dayanıklılık-kalıcılığı ifade eder. Sert dolgunun amacı uzatılmış çalışma ömrü olduğuna göre, sertliğin aşınma mukavemeti için her zaman geçerli bir gösterge olmadığı bilinmelidir.

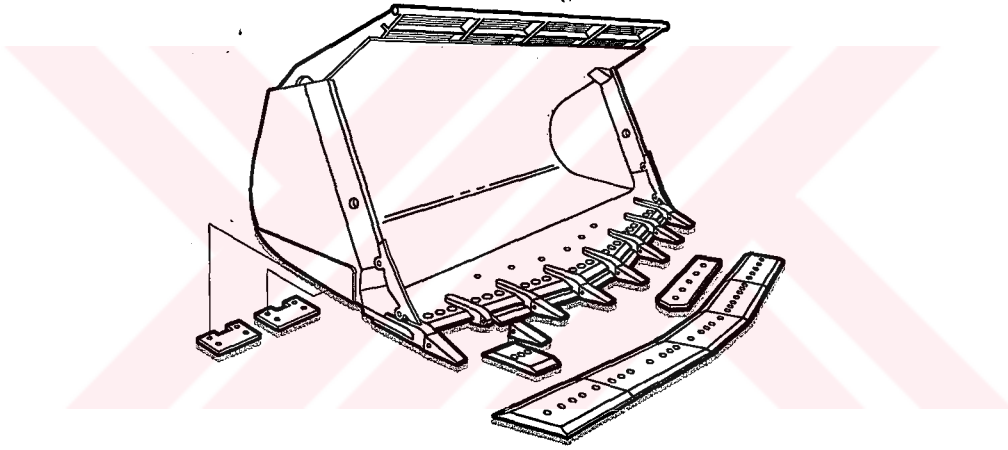
Ayrıntılarıyla teorik esaslarını gördüğümüz abrazyonu bu kez pratik açıdan belirgin olarak farklı olan üç tipe ayıracağız. Bunlar, (1)alçak gerilme kazıma abrazyonu veya erozyon, (2)yüksek gerilme öğütme abrazyonu ve (3)oyulma abrazyonu olup şöyle örneklenebilirler: (1), bir oluktan kayan kum veya kumlu bir toprak üzerinde çalışan saban demiri; (2), abrazif maden parçalarının metal yüzeyler arasında ezildiği bir toplu(sert küreler) öğütücü içindeki oluşum; (3),keskin kayaların dalıcı dişleri ve dönel konkasör yüzeylerini oyma fiili.

Sertlik genel olarak erozyon koşulları altında, özellikle bir alaşımın bireysel bileşenlerinin mikrosertlikleri değerlendirildiğinde bir avantajdır. Tungsten karbürü, sert yüksek kromlu dökme demirler, ve martensitik dökme demirler, bu tür aşınmaya mükemmeldirler. Oyma abrazyonu da sertlik yerine sağlamlığı yeğleyecektir. Çok yüksek zorlamalar ve darbe muhtemelen işe dahil olup ağır darbeyi karşılamak üzere sağlamlık, seçime egemen olacaktır. Kitlesel parçalar kırılmaya dayanmak için yeterince sağlam olacak ve yüzeyleri daha yüksek abrazyon dayanımlı ama gevrek alaşımlarla korunduğunda tasarım öyle olacak ki üst dolgu uygun şekilde desteklenmiş ve çekme veya makaslama yerine basmaya gerilmiş olsun. Bu koşullar altında sert yüzey dolgusu çok önemli ekonomiler sağlayabilir. Bazen koşullar o denli ağır ve olur ki büyük sağlamlık zorunlu olabilir. Bu durumlarda

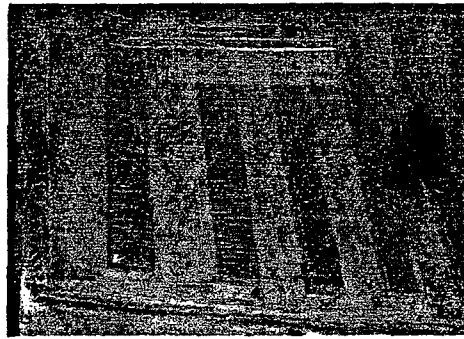
östenitik manganezli çelik tercih edilen malzeme olup yüzey dolgusu, aşınmış çeliğin yerine uygun manganezli çelik dolgu metalini ikame etme sorunu haline gelmektedir.

#### 5.4.1 Aşınma plakalarının kullanımı

Büyük aşınmaya uğrayan bir parça, çalışmaya sürecini engellemek için kolay yerleştirilebilir şekilde tasarlanmalıdır. Şekil 5.10 büyük ekskavatör kepçesine kaynakla birleştirilmiş olan manganez çeliğinin döküm aşınma levhasını gösterir. Bu döküm plakalar uygun aralıklı oyuklarla yapılır ki bu oyuklar metal plakalarının ekskavatöre metal ark kaynağı ile birleştirilmesini sağlar. Benzer aşınma plakaları ezicilerde ve konkasörlerde çalışma yüzeyi olarak kullanılır.



Şekil 5.10 Yüksek manganezli çelik döküm aşınma plakaları (Caterpillar, 1997)



Şekil 5.11 Abrazif aşınma dayanımlı plakalar

Şekil 5.11 aşınma plakalarının orta büyüklükteki kepçelerdeki kullanımını gösterir. Genellikle kolayca kaynakla birleştirilebilen çelik plakası veya şeridi (harcanabilecek malzemedен) kullanılır. Aşınma plakalarını kaynakla birleştirmeden önce ağırlığını ayarlamak için yeni bir kepçede önemli bir aşınmaya maruz bırakmak tipik bir pratik örneğidir. Kepçe ağırlığı toprak kaldırma işleminin ekonomisinde ve randımanda dikkate alınmalıdır.

Sert yüzeyli aşınma plakalarında ve tırnaklarda çoğunlukla kaynak dikişlerinden dolayı iç gerilmeler oluşur (malzemelerin termal genişleme katsayılarının farkından). Bu iç gerilmeler kaynak dikişinin altında çatlamalara neden olur ki bu çatlama istenilen birşeydir, çünkü asıl metal ve kaynak dikişi arasındaki termal yayılma uygunsuzluğundan oluşan gerginliği azaltır. Eğer artık gerilme varsa, bu kaynak dikişi altında saç teli şeklinde çatlaklara neden olabilir ki bu da çalışma sırasında parçalanmayla sonuçlanabilir. Elektrod üreticilerinin birçoğunda tavsiye edilen pratikler mevcuttur.

### 5.5 Termo Kimyasal İşlemlerle Alınacak Önlemler

Metallerin antifriksiyon niteliklerini ve aşınma mukavemetlerini arttırma, termo kimyasal işlemle sağlanmakta olup bunda, kimyasal reaksiyonlar kullanılarak kimyasal olarak aktif bileşimlerle metal yüzeylerinin difizyon doymuşluğu veya değişimi sağlanır.

Termo-kimyasal işlem (TKİ) katı, sıvı yada gazlı ortamlarda uygulanır. Sürecin süresi kullanılan ortamın bileşimi ve sıcaklığa göre değişir. Süreç özellikleri ve sonuçlar itibariyle metallerin TKİ'i başlıca iki grupta toplanır.

(1) Sürtüşen parçaların daha yüksek yüzey sertlikleri yoluyla aşınma mukavemetini arttırmada kullanılan TKİ. Bu tür işlemler, geniş ölçüde kullanılan karbürleme, nitrürleme, siyanürleme, borlama vs. yi içerir. Bunlar esas itibarıyla abrasif aşınma mukavemetini arttırmada kullanılırlar.

(2) Kimyasal olarak aktif maddelerle zenginleştirilmiş ince yüzey tabakaları teşkil ederek başlıca pullanmaya dayanma niteliklerini arttırmaya yönelik TKİ; bu tabakalar, sürtünmede sarma ve tufal dökmeyi önlemektedirler. Bu tür TKİ, sülfürleme, sülfosiyanürleme, yüzeyin selenyum, tellür, kadmium iodür banyosunda doyurulması gibi işlemlerdir. Bu süreçler yüzey sertliğini arttırmazlar (ya da bunu çok az yaparlar); bunların etkisi, sürtünme katsayısını azaltıp çizilmeleri yerelleştirmekten ibarettir.

## 6. SONUÇ

İş makinalarının aşınmaya maruz kalan parçalarında aşınmayı azaltmak amacıyla malzeme, konstrüksiyon, yüzey kaplaması ve termokimyasal işlemlerle çeşitli çözümler getirilebilir. Aşınma dayanımını arttırmaya yönelik bir önlem araştırıldığında ilk önce istenilen özellikler saptanmalıdır. Aşınma oranı uygun bir yöntemle belirlenerek parçanın yüzde kaç aşınma oranına kadar güvenle, sisteme zarar vermeden ve ekonomik olarak çalışacağı belirlenmelidir. Sonraki aşamada ise konstrüktör aşınma ömrüne göre uygun malzemeyi seçer. Malzemeyi seçerken sertliğin aşınma ömrüyle birebir orantılı olduğu göz önünde bulundurulur. Daha sonra kabul edilebilir bir aşınma seviyesine kadar tasarım adım adım geliştirilir.

Aşınmayı kontrol altında tutmak aşınma oranının belirli periyotlarla ölçmeyle sağlanır. İşletme şartları için yağ analizi yöntemiyle, kapalı sistemlerdeki aşınmaları önceden bilerek oluşabilecek arızaları önleyebiliriz. Parçaların aşınma oranını belirlemedeki bir diğer üstün yöntem ise ultrasonik yöntemdir. Bu yöntemle parçaları sökmeden ve temizlemeden aşınmaları ölçeriz.

Malzemelerde ısı ile elde edilebilen yüzey sertliği sınırlıdır. Daha yüksek sertlik dolayısıyla daha yüksek aşınma dayanımı isteniyorsa sert kaplama yöntemlerinden birisi kullanılmalıdır. İş makinalarının aşınma parçalarında kullanılan sert kaplama malzemesi tungsten karbürdür. Aşınmaya dayanımlı tungsten karbür ile kaplanan parçalarla diğer standart parçaların altı katı çalışma saatine ulaşılmaktadır. Birim saat başına yatırım maliyeti hesaplandığında ise, yüksek maliyetine rağmen aşınma dayanımlı malzemeler çok daha ekonomik olmaktadır.

**KAYNAKLAR**

- Bozacı Atilla, 'Triboloji Ders Notları', YTÜ, İstanbul.
- Caterpillar, (1997), Kazıcı-Koruyucu Ürünler Kullanıcı Rehberi, USA.
- Caterpillar, (1994), The Hard Facts About Cat Abrasion Resistant Material, USA.
- Caterpillar, (1980), Your Undercarriage Guide, USA, 6-9.
- Caterpillar, (1974), Your Guide to Longer Undercarriage Life, USA
- Caterpillar, (1988), 'Principles of Wear, Applied Failure Analysis', Reference Book, USA.
- Crook Paul, 'Friction and Wear of Hardfacing Alloys', ASM Handbook, Heynes International, USA, 758-762.
- Gediktaş Mustafa, (1970), Sürtünme ve Aşınma, İTÜ, İstanbul.
- I.M.Hutchings, Friction and Wear of Engineering Materials, Cambridge.
- Kantarıcı Sami, Toprak İşleme Aletlerinde Aşınma, İTÜ, İstanbul.
- Oğuz Burhan, (1993), Aşınma Sorunları ve Dolgu Kaynakları, Oerlikon, İstanbul, 150-160, 261-288.
- Onaran Kaşif, Sürtünme ve Aşınma, İTÜ, İstanbul.
- Özdaş Nimet, Sürtünme ve Aşınma Teorileri, İstanbul, 29-51.
- Parsan, İş Makinaları Yürüyüş Takımı El Kitabı, İstanbul.
- Tekinşen Reyhan, (1998), 'Programlanmış Yağ Analizi', Borusan Makine, İstanbul.
- TSE 11340, (1994), İnşaat ve Kazı Makinaları-Palet Pabucu.
- T.S. Eyre, 'Friction and Wear of Cast Irons', ASM Handbook, Eyre Associates, UK, 695-697.
- Topbaş M. Ali, (1993), Endüstri Malzemeleri II. Cilt, Yıldız, İstanbul 219-249.
- Türkyılmaz Oğuz, (1987), 'İş Makinaları', Sanayi Kongresi Bildirileri, TMMOB, İstanbul.
- Ulusoy Ediz, (1977), Bazı Toprak İşleme Alet ve Makinalarında İş Organlarının Aşınması Üzerine Araştırmalar, Ege Üniversitesi, İzmir.



Ulusoy E., G.Keçecioglu : Ege Bölgesinde Yapılan Bazı Pulluk Uç Demirleri Üzerine Bir Araştırma, Ege Üniversitesi, İzmir.

W.A. Glaeser, 'Friction and Wear of Carbon and Alloy Steels', ASM Handbook, Battelle Memorial Institute, USA, 702-708.



**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi 20.5.1975

Doğum yeri Adana

Ortaokul 1986-1989 Özel Yeni Lise (Adana)

Lise 1989-1992 Özel Çukurova Bilfen Lisesi (Adana)

Lisans 1993-1997 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
Makina Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1997- Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri  
Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, İmal  
Usulleri Programı

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