



SEYDİŞEHİR
AHMET CENGİZ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

T.C.

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
SEYDİŞEHİR AHMET CENGİZ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

AKTİF KARBON TAKVİYELİ
AL-7075 ALAŞIMLARININ TOZ
METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ VE
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

AHMET KÜRŞAT ARICI
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİNDE TASARIM I PROJESİ

Aralık-2021

Seydişehir / Konya

Her Hakkı Saklıdır

PROJE BİLDİRİMİ

Bu projedeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve proje yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Ahmet Kürşat ARICI

.../.../...

ÖZET

Günümüzde sanayide ve teknolojiye meydana gelen gelişmeler sonucunda geleneksel malzemeler, endüstrinin ihtiyaçlarını tek başına karşılayamayacak duruma gelmiştir. Buna bağlı olarak, yeni ve gelişmiş malzeme eksikliğini gidermek amacıyla kompozit malzemeler ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada ağırlıkça farklı oranlarda aktif karbon ve silisyum karbür (SiC) ile takviye edilen alüminyum metal matrisli kompozit malzemeler toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiştir. Takviye oranları 16 gram AA-7075 için 2 gram aktif karbon ve 2 gram silisyum karbür (SiC) olarak seçilmiştir. Yüksek enerjili bilyalı değirmende 30 dakika süre ile 300 rpm hızda karıştırıldıktan sonra elde edilen toz karışımları 750 Mpa yük altında tek eksenli hidrolik pres ile preslenerek kompakt hale getirilmiştir. Preslenen numuneler yoğunluk ölçümlerinin ardından 600°C sıcaklıkta Argon (Ar) atmosferi altında 1 saat süre ile sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme sonrası numunelerin yeni yoğunluklarının ölçümleri yapılmış ve sinterleme öncesi yoğunlukları ile karşılaştırması yapılmıştır. Ölçüm sonrasında numunelere mikroyapı ve mekanik özelliklerin belirlenebilmesi için gerekli hazırlık işlemleri uygulandıktan sonra mikro ve makro sertlik ölçümleri yapılmış, optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı analizleri gerçekleştirilerek bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir. Daha sonra numuneler blokondisk ile 0.5 m/s kayma hızında, 30 N yük altında 500 metre mesafede aşınma testine sokulup parametrelere bağlı olarak ağırlık kayıpları hesaplanmıştır. Böylece takviye malzemesinin üretilen kompozit malzemenin mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon, metal matrisli kompozitler, SiC, toz metalürjisi

SUMMARY

Today, as a result of the developments in the industry and technology, traditional materials have become unable to meet the needs of the industry alone. Accordingly, composite materials have emerged in order to eliminate the lack of new and advanced materials.

In this study, aluminum metal matrix composite materials reinforced with activated carbon and silicon carbide (SiC) in different weight ratios were produced by powder metallurgy method. Reinforcement rates were chosen as 2 grams of activated carbon and 2 grams of silicon carbide (SiC) for 16 grams of AA-7075. After mixing at 300 rpm for 30 minutes in a high-energy ball mill, the obtained powder mixtures were compacted by pressing with a uniaxial hydraulic press under a load of 750 MPa. After the density measurements, the pressed samples were subjected to sintering process at 600°C under Argon (Ar) atmosphere for 1 hour. After sintering, measurements of the new densities of the samples were made and compared with the densities before sintering. After the measurement, necessary preparation procedures were applied to determine the microstructure and mechanical properties of the samples, micro and macro hardness measurements were made, microstructure analyzes were performed with optical microscope and scanning electron microscope (SEM), and the results were evaluated. Then, the samples were subjected to the abrasion test with a block disc at a sliding speed of 0.5 m/s, at a distance of 500 meters under a load of 30 N, and weight losses were calculated depending on the parameters. Thus, the effect of reinforcement material on the microstructure and mechanical properties of the composite material was determined.

Keywords: Activated carbon, metal matrix composites, SiC, powder metallurgy

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında bana yol gösteren ve her zaman yardımcı olan danışman hocalarım Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE ve Dr. Öğr. Üyesi Şaban BÜLBÜL'e, hiçbir türlü desteğini esirgemeyen aile fertlerine, deneylerin yapımında tezgah ve teçhizat imkanı sağlayan Necmettin Erbakan Üniversitesi Seydişehir Ahmet Cengiz Mühendislik Fakültesi'ne ve bu çalışmada emeği geçen herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	
SUMMARY.....	
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	
ŞEKİL LİSTESİ.....	
ÇİZELGE LİSTESİ.....	
1. GİRİŞ.....	
2. TOZ METALÜRJİSİ.....	
2.1. Toz metalürjisi imalat safhaları.....	
2.1.1. Karıştırma.....	
2.1.2. Presleme (yoğunlaştırma safhası).....	
2.1.3. Sinterleme.....	
2.1.4. Son işlemler.....	
3. KOMPOZİT MALZEMELER.....	
3.1. Metal matrisli Kompozit malzemeler.....	
3.2. Alüminyum matrisli Kompozit malzemeler.....	
3.2.1. ALMK uygulamaları ve kullanım alanları.....	
3.3. Hibrit Kompozit malzemeler.....	
4. AŞINMA.....	
4.1. Zamanla Gelişen Aşınma.....	
4.2. Aniden Gelişen Aşınma.....	
4.3. Aşınmaya Etki eden Faktörler.....	
4.4. Aşınma Mekanizmaları.....	
5. AKTİF KARBON.....	
6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	
7. MATERYAL VE YÖNTEM.....	
8.ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	
9.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	
10.KAYNAKLAR DİZİNİ.....	

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Mpa	: Megapascal
°C	: Santigrat derece
µm	: Mikrometre
mL	: Milimetre
gr	: Gram
mm	: Milimetre
kg	: Kilogram
m	: Metre
s	: Saniye
dk	: Dakika
mg	: Miligram
ρ	: Yoğunluk
F	: Kuvvet
d	: Devir
E	: Elastisite modülü
V	: Numune hacim
L	: Numune uzunluğu
W	: Numune genişliği
Al	: Alüminyum
AA7075	: Alüminyum 7075 alaşımı
Ar	: Argon
C	: Karbon
Si	: Silisyum
SiC	: Silisyum karbür
MMK	: Metal Matrisli Kompozit
SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
TM	: Toz Metalürjisi

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1	Toz metalürjisi uygulama şeması.....
Şekil 2	Yüksek enerjili bilyalı değirmen.....
Şekil 3	Kompozit malzemelerin malzemesine göre sınıflandırılması.....
Şekil 4	Kompozit malzemelerin takviyesine göre sınıflandırılması.....
Şekil 5	MMK üretiminde endüstriyel firmalar tarafından kullanılan matris malzemelerinin kullanım oranları.....
Şekil 6	Aşınma – Zaman bağıntısı grafiği.....
Şekil 7	Tribolojik sistemin şematik gösterimi.....
Şekil 8	

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1	Farklı malzeme grupları ve genel özellikleri
Çizelge 2	Çeşitli kompozit malzemeler ve uygulama alanları.....
Çizelge 3	Takviye malzemelerinin MMK malzemelerin özelliklerine etkisi ve üretilen kompozitlerin uygulama alanları.....
Çizelge 4	Alüminyum alaşımların çekme değerleri.....
Çizelge 5	Alüminyumun genel özellikleri.....
Çizelge 6	
Çizelge 7	
Çizelge 8	

1. BÖLÜM

1. GİRİŞ

Endüstriyel uygulamalarda kullanılacak malzemelerde olması arzu edilen özellikler genellikle düşük maliyet, dayanım, tokluk ve hafifliktir. Geleneksel malzemelerde dayanım, ısı işlem ile artırılabilir. Ancak darbe dayanımı, aşınma dayanımı, tokluk ve hafiflik gibi özelliklerin hepsinin geleneksel malzemelerde aynı anda bir arada bulunması mümkün olmamaktadır [18]. Bu sebeple, malzeme bilimi alanında yüksek mukavemet ve aşınma direncine sahip, düşük yoğunluklu, korozyon direnci iyi olan hafif malzemelerin üretilmesi ve geliştirilmesi üzerine birçok çalışma gerçekleştirilmektedir [17]. Bu çalışmalarla birlikte teknoloji alanında gerçekleştirilen faaliyetlerin ve kaydedilen ilerlemelerin günden güne hız kazanması, geleneksel malzemelerin yeni uygulama alanlarında yetersiz kalmasına sebep olmakta ve kullanımını sınırlamaktadır. Böylece ileri teknoloji uygulamalarının ihtiyaçlarını karşılayabilecek özelliklere sahip yeni malzemelerin üretilmesi zorunlu hale gelmektedir [16].

Kompozit malzemeler en genel halde, iki veya daha fazla malzemenin makroskobik yapıda bir araya getirilmesiyle yeni bir malzemenin yapılması olarak tanımlanabilir. Burada amaç, kullanılan malzemelerin birbirlerinin zayıf yönlerini iyileştirmek ve istenilen yönde daha üstün özellik sağlayan bir malzeme elde etmektir. Örneğin metal matrisli bir kompozitin yapısında takviye (fiber) malzemesi olarak çelik ve matris olarak alüminyum kullanılabilir. Böylece alüminyumun hafifliğinden ve çeliğin de alüminyuma göre daha mukavemetli yapısından faydalanılmış olunur.

Günümüzde modern teknolojinin üstün özelliklere sahip malzemeye olan ihtiyacı gittikçe artmaktadır. Özellikle yüksek mukavemetin yanında, aynı zamanda hafifliğinde istendiği yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanım yerine bağlı olarak istenilen bu gibi özelliklerin aynı malzemede aynı anda bulunması mümkün değildir. Birbirlerinin zayıf yönlerini düzeltecek şekilde üstün özelliklerin bir araya getirilmesi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. İstenilen özelliklere sahip malzemelerin üretiminin yanında çalışma ömrü ve çalışma esnasında uğrayabilecekleri hasarlara karşı davranışlarının bilinmesi de önem taşımaktadır.

Toz metalürjisi genel olarak, malzeme tozlarının oda sıcaklığı veya daha yüksek sıcaklıklarda, üretilecek parça şekline uygun kalıp boşluğuna sahip kalıplar içerisinde, istenen basınç değerleri altında şekillendirilmesi ve ardından bağlanma amacıyla bir fırında sinterlenmesi ile gerçekleştirilen üretim yöntemidir [22]. Toz metalürjisi yöntemi ergitme ve

döküm işlemlerini içermemesi sebebiyle diğer üretim yöntemlerine göre daha ekonomik bir yöntemdir [21]. Ayrıca bir sıvı hal üretim yöntemi olan döküm yönteminde sıklıkla görülen matris takviye arası kimyasal tepkime ve homojen dağılım problemi, toz metalürjisi yöntemi ile aşılabilmektedir [19; 20]. Tüm bu özellikleri sayesinde toz esaslı seri üretim parçaları, başta otomotiv, havacılık, uzay ve savunma sanayisi olmak üzere pek çok alanda kullanılmakta ve geleneksel malzemelere kıyasla maliyet ve üretilebilirlik açısından çok daha avantajlı olmaktadır [40; 41].

Bu tez çalışmasında AA7075 ile farklı hacim oranlarında SiC ve aktif karbon tozları hidrolik pres ile preslenerek ve gerekli işlemlerden geçirilerek numuneler elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin optimum değerlerinin belirlenebilmesi için çeşitli karakterizasyon işlemleri yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı günümüz endüstrisinde kullanılan AA7075 alaşımına SiC ve aktif karbonun etkilerini incelemek ve yüksek mukavemette düşük yoğunlukta malzeme üretmektir. Bilindiği gibi özellikle havacılık, otomotiv, savunma ve uzay endüstrisinde hafif yoğunluklu yüksek dayanımlı malzemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Daha da iyi sonuçlar elde edilebilmesi için gelişmiş ülkelerde bu konudaki çalışmalar hızla sürdürülmektedir.

2.BÖLÜM

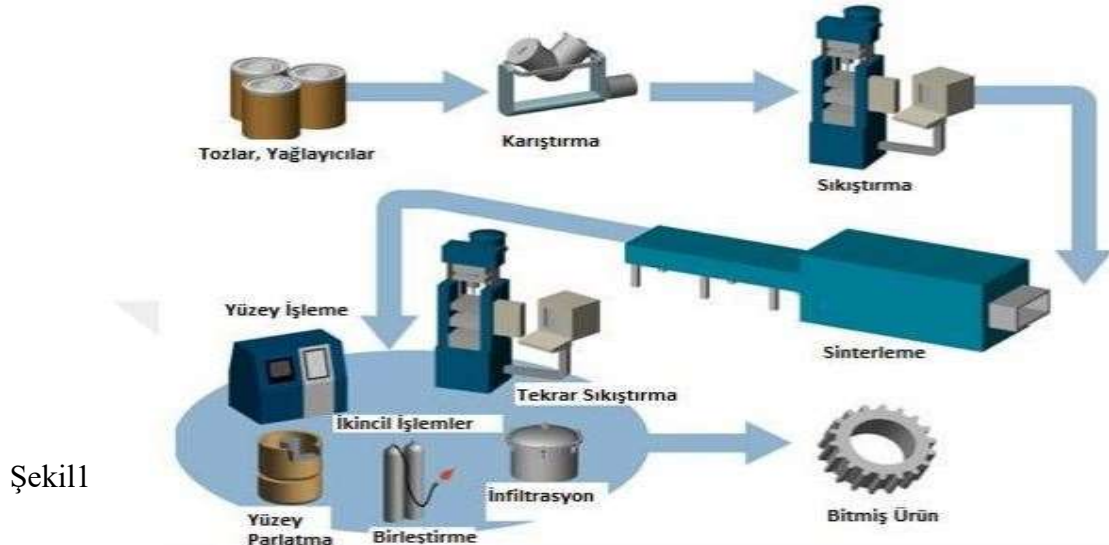
2. Toz Metalürjisi

Toz metalürjisi; farklı boyut, şekil ve paketlenme özelliği ne sahip metal tozlarının sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürüldüğü işlemler bütünüdür. TM yöntemi, tozların preslenmesi ve daha sonra parçacıkların sinterleme yolu ile ısıl bağlanması basamaklarını içermektedir. TM yönteminin kullanım alanının diğer üretim teknolojilerine oranla hızla artmasına sebep olan etkenlerin başında üretim para metrelerinin nispeten daha düşük enerji tüketimine neden olması, reaktif malzemelerin yüksek oranda kullanılabilirliği ve düşük operasyon maliyetleridir. Sahip olunan bu özellikler ile TM verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırmaktadır. Bunların sonucu olarak, TM konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal şekillendirme proseslerinin yerini almaktadır [1].

19. yüzyıldan bu yana toz metalürjisi kullanılmakta ve gelişmektedir. Yine 20. yüzyılda elektrik kontakları, gözenekli rulmanlar, sement karbürler toz metalürji yöntemiyle üretilmiştir [2].

Kullanılan sarf malzemelerin düşük maliyetli olması, seri üretime elverişli olması ve elde edilen nihai ürünle fazla işlem gerektirmeden malzemenin elde edilmesi toz metalürjisinin tercih sebepleridir [3].

Toz metalürjisi yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde mekanik alaşımlama bilyeli değirmene konulmuş toz karışımının bilyelerden yüksek enerjili çarpma etkisiyle yapılan öğütme (tozları harmanlama ve karıştırma) işlemidir. Yapılan işlem tozların homojen olarak dağılımı ve tane boyutunun inceltilmesi açısından önemlidir [2,4].



2.1. Toz metalürjisi imalat safhaları

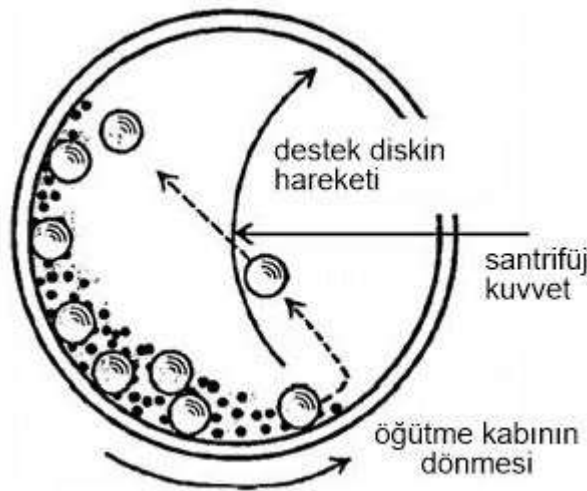
2.1.1. Karıştırma

Homojen tane boyutunu elde etmek ve de preslemeyi kolaylaştıracak yağlayıcıları ilavesinde bulunmak için yapılmaktadır. Buradaki asıl olan amacımız toz içerisinde yığılmaları engellemek. Rutubet sonucunda yapı içerisindeki topaklanma ve yığınlara engel olmaktır. [5].

Bu işlemde homojen toz karışımı sağlanmazsa elde edilen tozların partikülü büyük olan kısmı üstte, küçük olanı altta kalır. Presleme sırasında düzgün sıkıştırma olmadığından dolayı elde edilen ürünler de gözeneklilikler görülmektedir. Karıştırma işleminde ortam şartları da büyük önem arz etmektedir çünkü nemli ortamda toz üzerinde topaklanma yani aglomerasyonlar görülür bu da homojen toz elde edilmesine engel olmaktadır. Aglomerasyon içeren tozlardan istenilen mekanik, kimyasal ve fiziksel geri dönüşler alınamamaktadır.

Farklı boyutta olan tozlar düzensizlik yarattığı gibi oluşacak ürünün yoğunluğuna da etki etmekte, pres sonrası elde edilen numunenin alt ve üst tabakası aynı yoğunlukta olmamaktadır [6].

Karıştırma işlemini uygun bilyeli değirmende istenilen süre ve bilye çapında yapıldığı zaman elde edeceğimiz ürünlerin saflık ve homojenlik açısından problem yaşatmayacaktır. Bu işlemlerin hepsinde ortam sıcaklık ve nem değerlerine dikkat edilmelidir [5].



Şekil 2 Bilyalı Değirmen

2.1.2. Presleme (yoğunlaştırma safhası)

Sıkıştırma işleminde ilk dikkat edilmesi gereken nokta tozları sıkıştıracağımız kalıptır. Tozlara uygun olarak kalıp seçimi yapılmalıdır. Burada tozlar kalıba alınır ve sistemin rahatlaması için eser miktarda yağlayıcı-bağlayıcı eklenir. Presleme; kalıp içindeki tozlara kuvvet uygulanarak partiküllerin sinterlemeye kadar form kazanmasıdır. Toz bu forma girerken yoğunluğu artar. Kalıba uygulanan kuvvet tozların cinsine göre değişiklik göstermektedir.

Presleme işlemi çok önemlidir, çünkü oluşacak ürünün yoğunluğu, özellikleri buna bağlıdır ve numunede homojenlik aranır. Proses şu şekilde işler;

Preslenecek numuneler istenilen kalıpta birleştirilir.

TM prosesinde en kritik basamaklardan birisidir çünkü tozun yoğunluğunu ve yoğunluğun tüm üründe homojen dağılımını düzenler. Nihai özellikler yoğunlukla değişir, homojen özellikler de homojen yoğunluk gerektirir. Presleme prosesi aşağıda listelenen ana görevlere sahiptir:

Tozları istenilen şekilde birleştirmek, sinterlemeden kaynaklanan değişimleri istenen boyutlarda göstermek, gözeneklilik miktarına dikkat etmek ve gereken kuvveti sağlamaktır.

Sıkıştırma işlemlerinde genellikle tek yönlü presler kullanarak yapılmaktadır. Bu presle sıkıştırmaya geleneksel yöntemle sıkıştırma da denmektedir. Preslerden güç istendiği için hidrolik yağlı olanlar tercih edilmektedir [6].

Tek yönlü pres kalıp üzerine kuvvet uygular. Kalıp altında bulunan zımba tozların çıkışını engeller, üst kısımdan uygulanan hidrolik güç ile birlikte aradaki tozlar kuvvet altında kalıbın şeklini alır. Kuvvetlenme süresi tamamlandıktan sonra pres kolu kaldırılır ve alt zımba çıkarılarak yoğunlaşan toz, kalıp formunda elde edilir [5].

2.1.3. Sinterleme

Sinterleme işleminde kalıp içerisinde çıkarılan yoğunluk kazanmış olan numune ergime sıcaklığı altında ısıya maruz bırakılarak tozların birbiri içerisinde bağ oluşturarak parçanın şeklini ve mukavemet kazanması işlemidir. Burada ısı altında bağlar güçlenir, malzeme istenilen mukavemeti, dayanım ve özellikleri kazanır [7].

2.1.4. Son işlemler

Sinterleme sonrası isteğe göre şu işlemler yapılabilir: Yapıda oluşan porların tamamlanması, yağı içerisine çekirme, sıkıştırma veya yeniden sinterleme yapma durumu, yüzeyi kaplama ve sertleştirme, işlemlerin sonunda (montaj, yüzey parlatma, yaşlandırma vb.) [5].

3. BÖLÜM

3. Kompozit malzemeler

Malzemeye birden farklı özelliği tek malzeme içerisinde toplamak veya ilave özellik kazandırmak amacıyla iki ya da daha fazla malzemenin makro seviyede karıştırılması veya birleştirilmesiyle elde edilen malzemeye kompozit malzeme olarak isim verilmektedir. Herhangi bir ürüne kompozit malzeme diyebilmemiz için ana malzeme ve takviye malzemesinden oluşmalıdır [8].

Alaşımlı kompozit malzemelerin üstün özellikleri şunlardır;

- Mukavemet/yoğunluk değeri yüksek
- Rijitlik/yoğunluk değeri yüksek
- Korozyon dayanımı yüksek
- Aşınma direnci yüksek
- Sıcaklık dayanımı yüksek
- Kimyasal direnç yüksek
- Hava koşulları ve UV Işınlara karşı dayanım
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Çok iyi elektrik ve termik yalıtım özelliği
- Hafiflik
- Estetik
- İşlenebilirlik
- Akustik Özellik
- Kalıcı renklendirme
- Titreşim sönümleme [9]

Kompoziti oluşturan iki temel bileşen vardır. Bunlar; matris ve takviye olarak adlandırılmaktadır [25]. Kompozitlerde matrisin görevleri; takviye elemanlarını çevrelemek ve korumak, gelen yükü takviye elemanlarına iletmek, kompozit parçanın son şeklini almasını sağlamaktır. Takviyelerin görevleri ise; kompozite yüksek mekanik özellikler sağlamak, kompozite gelen yükü taşımak ve matrisi istenen yönlerde katkılandırmaktır [23; 24].

Kompozitlerde matris ve takviyenin özellikleri, hacim oranları, aralarında bulunan bağın durumu mekanik özellikler üzerinde etkili olmaktadır. Ayrıca, takviye elemanının morfolojisi, yapı içindeki yönelimi ve farklı üretim parametreleri gibi diğer değişkenlerde bu özellikleri etkilemektedir. Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan matris ve takviye fazları birbiri içinde çözünmemelidir. Fakat az miktarda gerçekleşen çözünürlük, aralarındaki bağ güçlendirecek olması bakımından bazı durumlarda olumlu da olabilmektedir. Kompozit malzemelerin üzerine gelen yük ve gerilmelerin, matris üzerinden takviye malzemesine iletimi, matris-takviye arayüzeyi aracılığı ile gerçekleşmektedir. Bu sebeple kompozitlerde matris-takviye arayüzeyi ve özellikleri, mekanik ve fiziksel özellikleri önemli ölçüde etkilemektedir [26].

Kompozitler, üretimlerinde kullanılan matris malzemesinin türüne göre; polimer matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler ve seramik matrisli kompozitler olmak üzere sınıflandırılmaktadır [23; 24]. Takviye malzemesinin morfolojisine göre ise; elyaf(fiber) takviyeli, parçacık(partikül) takviyeli ve tabakalı(yapısal) kompozitler olmak üzere sınıflandırılmaktadır.



Şekil4



Şekil3

İleri teknoloji uygulamalarında, malzemelerde olması beklenen belli birtakım özellikler mevcuttur. Bu uygulamalar genellikle taşımacılık, havacılık, sualtı ve biyomühendislik alanlarındaki uygulamalar olmaktadır. Örnek olarak, uçak mühendisleri yüksek dayanımlı ve

düşük yoğunluğa sahip olmasının yanında aşınma, darbe ve korozyona da dayanıklı olan yapısal malzemelere her geçen gün daha çok ihtiyaç duymaktadırlar. Bunlar, geleneksel malzemelerde aynı anda bir arada elde edilemeyecek özellik bileşimleridir. Bu durum, monolitik malzemelerde dayanımın artmasıyla yoğunluğun da genellikle artıyor olması ve yine aynı şekilde artan dayanım ve rijitlik ile tokluğun azalmasından ileri gelmektedir. Bu bağlamda, yeni kompozitlerin üretimi üzerine çalışmalar yürüten araştırmacılar, mühendisler ve bilim insanları istenen özellikleri aynı anda bir arada elde edebilmek amacıyla metal, polimer ve seramik malzemeleri bir araya getirerek değişik özellik kombinasyonları sağlamaya çalışmaktadırlar [42].

Çizelgede (1) farklı malzeme grupları ve bu gruplara ait genel özellikler verilmiştir.

METALLER	SERAMİKLER	POLİMERLER
✓ Orta ve yüksek yoğunluk ✓ Orta ve yüksek ergime noktası ✓ Orta ve yüksek elastik modül ✓ Reaktif ✓ Sünnek	✓ Düşük yoğunluk ✓ Yüksek ergime noktası ✓ Çok yüksek elastik modül ✓ Reaktif değil ✓ Gevrek	✓ Çok düşük yoğunluk ✓ Düşük ergime noktası ✓ Çok düşük elastik modül ✓ Çok reaktif ✓ Sünnek ve gevrek

Kompozit malzemelerde farklı malzeme türlerine (metal, seramik, polimer) ait üstün özelliklerin bir araya getirilmesi ile en iyi özelliklerin tek malzemede toplanabilmesi önemli avantajlar oluşturur. Bunlar;

- ✓ Yüksek dayanım
- ✓ Yüksek rijitlik
- ✓ Yüksek yorulma dayanımı
- ✓ Yüksek aşınma direnci
- ✓ Yüksek sıcaklık kapasitesi

✓ İyi korozyon direnci

✓ İyi ısı iletkenlik

✓ Düşük ağırlık

gibi özelliklerin bir arada elde edilebilmesi sonucu ortaya çıkan avantajlar olmaktadır.

Kompozit malzemeler gelişen teknoloji ile birlikte günümüzde gittikçe artan bir şekilde birçok farklı ve yeni alanda tercih edilmektedir. Çok uzun bir süre boyunca, çoğunluk olarak havacılık endüstrisindeki ihtiyaçlara yönelik geliştirilmeye devam eden bu malzemeler son dönemde birçok farklı amaç için yine başta havacılık olmak üzere otomotiv, savunma ve denizcilik endüstrisinde ve sağlık, inşaat, taşımacılık sektörlerinde önemli ölçüde kullanılmaktadır [44].

Çizelgede (2) çeşitli kompozit malzemeler ve uygulama alanları verilmiştir.

Endüstrisi	Uygulama alanları	Kullanılan kompozit malzemeler
Uçak	Uçak kanatları ve gövdesi, helikopter pervaneleri, iniş ve çıkış kapıları, payandalar döşeme kirişleri, çerçeveler, vantilatör ve türbin kanatları	B/Al, SiCw/Al, Gr/Al, Cam/epoksi, C/epoksi, B/epoksi, Kevlar/epoksi, süper alaşımlar
Uzay	Uzay yapıtları, antenleri, robot kolları	B/Al, B/Mg, Gr/Mg
Otomotiv	Gövde parçaları, tampon ve çamurluklar, ön ve arka paneller, aks mili, yaylar, itme çubukları ve piston kolları	Kevlar/epoksi, SiCw/Al, B/Al
Gemi	Gemi teknesi, gemi güvertesi	Kevlar/epoksi, cam/epoksi
Tıp	Röntgen masaları, protezler ve tekerlekli sandalyeler	B/Al, SiC/Al

Kimya	Borular, basınçlı kaplar ve tanklar	Cam/epoksi, karbon/epoksi
Spor	Oltalar, golf kulüpleri, yüzme havuzları	B/epoksi, C/epoksi, B/Al, Gr/Al, SiCw/Al,

3.1. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler

Metal matrisli kompozit (MMK) var olan malzemelerin veya malzeme gruplarının kullanılmasının doğru olmadığı çok yüksek kritik ısı değeri olan yerlerde kullanılmak üzere hizmet veren ileri malzeme grubu içerisindeki malzemedir. Üstün mukavemet özelliği gösteren, yüksek sıcaklık performansı sebebiyle MMK, monolitik metallerden çok yüksek fiyatlarda olduklarında dolayı uzay endüstrisi için önem arz eden değerli bir malzemelerdir. MMK malzemelerin levha şeklinde üretimi, döküm şeklinde üretimi ve TM de dahil olacak şekilde birden fazla üretimi vardır [6].

Metallerle kıyaslandıklarında MMK malzemelerin pek çok avantajı bulunmaktadır. MMK malzemelerin geleneksel metallere göre üstünlükleri şunlardır [28]:

- ✓ Düşük yoğunluk
- ✓ Yüksek mukavemet ve elastiklik modülü
- ✓ Yüksek tokluk ve darbe dayanımı
- ✓ Yüksek elektriksel ve ısı iletkenlik
- ✓ Yüksek yüzey sertliği ve yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet
- ✓ Sıcaklık farklarına ve termal şoklara karşı düşük hassasiyet [28; 43].

Fakat bu malzemelerin üstün özelliklerinin yanı sıra bir takım sınırlayıcı özellikleri de bulunmaktadır. Bunlar:

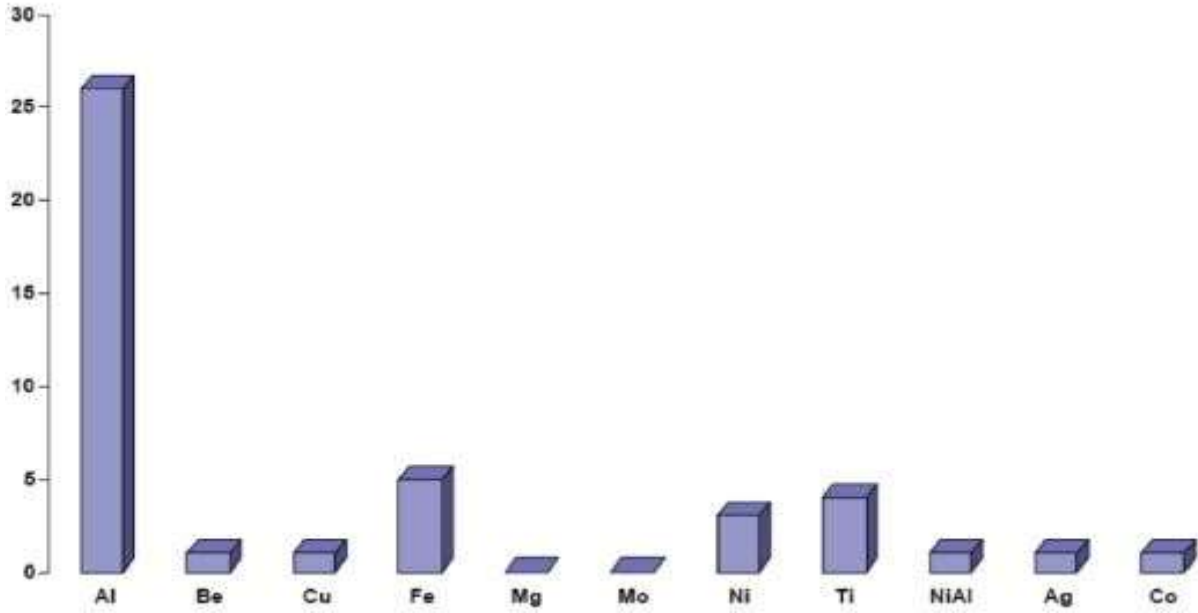
- ✓ Zor ve karmaşık üretim süreçleri ve yüksek üretim maliyetleri,
- ✓ Kompozit malzemelerin sünekliğinin metallere oranla düşük olması,
- ✓ Firmalar ve üreticilerin gelişmekte olan bir malzeme grubu olması nedeniyle kompozitler hakkında metaller kadar bilgi birikimine sahip olmamasıdır [43].

Metal matrisli kompozitler metal matris ve takviye malzemesi olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir [29]. Kompozit yapı içinde daha sert olan ve daha yüksek

dayanım sergileyen faz takviye olarak adlandırılmaktadır [30; 31]. Diğer faz ise baz malzeme olan fakat daha düşük dayanım ve sertlik gösteren matris olarak tanımlanır [29; 31].

Metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı seçimi, üretilecek kompozitin özelliklerini belirleyici olması açısından önem taşımaktadır. Bu sebeple takviye elemanının doğru seçilmesi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Kullanım yerlerine göre değişmekle birlikte, metal matrisli kompozitlerde takviye malzemelerinden beklenen özellikler genel olarak yüksek dayanım, düşük yoğunluk, yüksek elastiklik modülü, yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruma, matrisle uyumlu olma ve ekonomiklik gibi özellikler olmaktadır [32].

Şekilde (5) metal matrisli kompozit üretiminde endüstriyel firmalar tarafından kullanılan matris malzemelerinin kullanım oranları verilmiştir [43].



Şekil (5)

Çizelgede (3) takviye malzemelerinin MMK malzemelerin mekanik özelliklerine etkisi ve üretilen kompozitlerin uygulama alanları verilmiştir [33].

Takviye	Matris	Metot	Özellikler	Uygulamalar
TiO ₂	Saf Al	Toz metalürjisi	Sertlik, yoğunluk ve aşınma direnci artar, süneklik azalır.	Otomotiv ve havacılık.
ZrB ₂	AA7075	In situ	Sertlik ve çekme gerilmesi artar, yoğunluk azalır.	Otomotiv, havacılık, denizcilik ve nükleer endüstrisi.
Sic	Al	Toz metalürjisi	Yoğunluk ve sertlik değerleri etkilenir.	Motor yatakları, pistonlar, piston segmanları ve silindir gömlekleri.
Grafit	Çinko alaşım (ZA 27)	Vorteks döküm	Süneklik, çekme ve basma dayanımı artar, sertlik azalır.	Motor yatakları, pistonlar, piston segmanları ve silindir gömlekleri.
Al-20Cu-10Mg alaşım	AA 2024	Karıştırma döküm (Stir casting)	Sertlik, çekme dayanımı, akma dayanımı ve elastikiyet modülü artar.	Uçak yapıları, perçinler, kamyon tekerlekleri ve vida makinesi ürünleri.
Uçucu kül (flyash)	Al 6061	Sıkıştırma döküm (Squeeze casting)	Sönümleme kapasitesi artar.	Otomobil, denizaltı ve havacılık endüstrisi.

3.2. Alüminyum Matrisli Kompozit Malzemeler

Çok değerli olan alüminyum malzemesi, dünya yüzeyinde yaygın olan elementlerden biri ve dünya yüzey kabuğunun %8'ini tek başına oluşturmaktadır. Alüminyumun elementinin keşfedilmesi ve üretim sürecinin hızla geliştirilmesi, diğer metal malzemelere oranla yeni olmasına rağmen şu an diğer tüm demir dışı metal malzemelerden daha fazla miktar da üretilmektedir [10].

Alüminyumun yapmış olduğu bilinen alaşımların; çökelme sertleşmesi ile dayanım değerlerini artırabilme kabiliyetleri, yoğunluk değerleri düşük, her ortamda yüksek korozyon direnci, üstün elektrik ve ısı iletkenliği, kolay işlene bilmeleri, transfer ve lojistiğin kolay olmaları sebebiyle, rekabet içinde bulunduğu malzemelere göre mukayese edildiğinde büyük olumlu etki sağlayarak gelişmiş uygulama alanlarında kullanılır hale gelmiştir. Alüminyum malzeme özellikleri içerisinde dikkat çeken faktör düşük yoğunluktur (2,7 g/cm³) bu değer, pirinç (8,53 g/cm³), bakır (8,93 g/cm³), çelik (7,83 g/cm³) vb. malzemelerden yaklaşık üçte bir değerine eşittir [11-12].

ALM kompozit malzemeler içerisinde kullanılan başlıca matris alaşımına ait özelliklerin bulunduğu değerler Çizelgede verilmiştir.

Çizelge (4) Alüminyum alaşımlarının çekme özellik değerleri [13]

Malzeme	Temper	%0,2 Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)	% Uzama
1100	O	35	90	35
5083	O	112	260	22
201	T6	410	480	13
2024	T8	450	480	6
6061	T6	275	310	12
6063	T6	215	240	12
7075	T73	430	500	13
201	T6	345	415	5
213	T633	185	220	0,5
355	T6	235	280	1
356	T6	265	310	1
357	T6	221	283	3

Bir metal matris olarak alüminyumun tercih edilmesinin sebebi; yüksek dayanım, düşük yoğunluk, yüksek dayanım, kolay işlenebilirlik, piyasadaki bulunabilirliği ve fiyatı gibi özellikleridir (Çizelge 5). Alüminyumun bu özellikleri alüminyum matrisli kompozit malzemelerde takviye malzemelerin yardımıyla daha da iyileştirilebilir.

Çizelge 5 Alüminyumun genel özellikleri

Özgül Ağırlığı	g/cm ³	2,78
Ergime Isısı	KJ/kg	-390
Ergime Sıcaklığı	°C	660
Elektrik İletim Katsayısı	m/Ωmm ²	40
Isı İletim Katsayısı	W/mK	230
Elastiklik Modülü	GPa	66

3.2.1. ALMK uygulamaları ve kullanım alanları

Malzeme mühendisliği alanındaki son 25 yıldır yapılan en büyük atılımlardan biri metal matrisli kompozitlerin geliştirilmesi olmuştur. Sıra dışı özellikleri sayesinde üreticilerden ve kullanıcılardan büyük oranda talep görmektedir. MMK’larda elde edilmek istenen dayanımı, aşınma dayanımı ve rijitliği en yüksek; en hafif malzemeyi elde etmektir. Yayınlanan birçok makale alüminyum matrisli kompozitlerle ilgilidir. Hafifliği, alaşımlanma kabiliyet, ısıl işlem görebilmesi ve üretim esnekliği ilgi odağı olmasının sebebi olmuştur [14].

ALMK’ler üstün özelliklerinden dolayı, önemini arttıran ve yeni kullanım alanları bulan bir malzeme grubudur. Alaşım metallerle kıyaslandığında gösterdiği mekanik özellikler, havacılık ve otomotiv sektörlerinde alaşım metallerinin yerini almasını sağlamaktadır. Yapısal uygulamalarda da özel bir yere sahip olan, ALMK kullanım nedenleri aşağıda sıralanmaktadır;

- Düşük yoğunluk
- Yüksek dayanım ve tokluk
- Üretim proseslerinin çeşitliliğe uyum
- Korozyon direnci
- Termal şok direnci
- Şekillendirilebilirlik [15].

Al MMK'ler başta otomotiv, havacılık, uzay, savunma ve elektronik endüstrisinde olmak üzere, yüksek sıcaklık dayanımı ve iyi aşınma direncine gereksinim duyulan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Al MMK kullanılarak üretilen araçlarda ağırlığın %10 oranında düşürülmesiyle, yakıt tüketiminde %5 tasarruf sağlanmaktadır. Sürtünme dayanımının fazla olmasının istendiği uygulamalar için ise, takviye boyutları artırılarak uygun maliyetli parçalar üretilebilmektedir [31].

Al MMK'ler yüksek ısı iletkenliğe, düşük ısı genleşme katsayısına, yüksek özgül dayanıma ve sertliğe sahiptir. Bu özellikleri, Al MMK'lerin 1980'lerin sonlarında uzay uygulamaları için dikkat çekmelerini sağlamıştır. Uçak yapımında ise Al MMK'lerin kullanımı gövde malzemeleri ve motor malzemeleri için olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılmıştır [34; 35].

3.3. Hibrit Kompozit malzemeler

Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrit kompozitler denir. Bu alan yeni tip kompozitlerin geliştirilmesine uygun bir alandır. Örneğin, kevlar ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma kuvveti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak iyi basma kuvveti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapısında bir arada bulunması ile elde edilen hibrit kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi aynı zamanda maliyeti daha düşük ve basma mukavemeti de kevlar elyafı kompozitten daha yüksek olmaktadır.

Farklı tiplerdeki hibrit kompozitler aşağıdaki gibi gruplandırılabilir; 1. Matris içinde iki ya da daha fazla tabaka içerirler. Her tabaka belirli bir yöndeki takviyeleri içerir ve her bir tabakada belirli bir tip elyaf kullanılmıştır. Tabakalar amaca göre istenilen şekilde yerleştirilirler 2. İki ya da daha fazla elyaf karışım halinde aynı tabakada yer alır ve tabakalar istenilen şekilde birleştirilerek hibrit kompozit elde edilir. 3. Reçine matrisli tabakalar ve metal matrisli tabakalar gibi farklı kompozit yapıları içeren süper hibritler elde edilebilir. Süper hitridlerde tabakalar bir yapışkan malzeme ile birleştirilirler [3].

4. BÖLÜM

4. AŞINMA

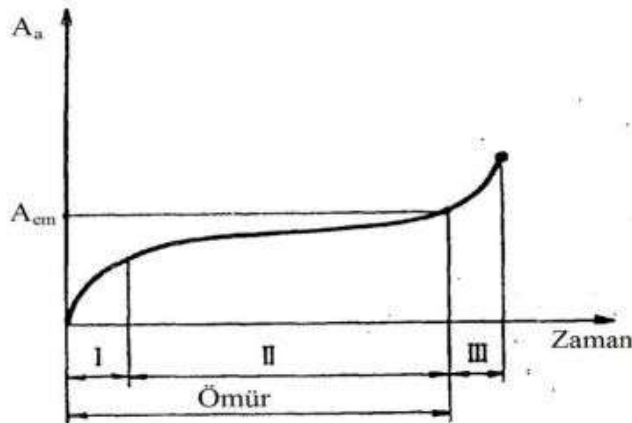
Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde malzemenin mekanik etkenler etkisiyle kopup ayrılmasıdır [36]. DIN 50320’de “aşınma; malzeme yüzeylerinden, mekanik nedenlerle küçük parçacıkların ayrılması sonucu, arzu edilmeyen şekilde meydana gelen değişiklik” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma nedeniyle yüzeyler ilk şekillerini kaybederler, parçalar arasındaki boşluklar artar ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez. Yüzeylerin talaş kaldırarak işlenmesi, taşlanması, parlatılması vb. işlemlerin aşınma olayı olarak kabul edilmeyişinin nedeni ise bu işlemlerin istenilerek ve kontrollü yapılmasıdır. Kimyasal, termal, elektriksel ve fiziksel nedenlerle eskime veya yüzeyden büyük parçaların kırılarak ayrılması da aşınma olayı olarak düşünülmemektedir.

Mühendislik malzemelerinde görülen yıpranmanın aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki şartların mevcut olması gerekir [37]:

1. Mekanik bir etken olması,
2. Sürtünmenin (bağıl hareketin) olması,
3. Hareketin devamlı olması,
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi.

Aşınma pratik uygulamalarda zamanla gelişen aşınma ve aniden meydana gelen aşınma olarak iki grup altında incelenir. Şekil 6’da görüldüğü üzere makina elemanına ait, çalışma şartlarına bağlı olarak müsaade edilen bir aşınma sınırı (A_{em}) belirlenirse, aşınma-zaman diyagramından makina elemanının normal çalışma zamanı (ömrü) tespit edilebilir. Parça ömrünün sonlarına doğru parça değiştirilmeli veya parçanın bakımı yapılmalıdır.

Şekil 6 Aşınma – Zaman Bağıntısı



4.1. Zamanla Gelişen Aşınma

Zamanla gelişen aşınma Şekil 6’da görüldüğü üzere üç kademede gerçekleşir;

I. Aşama (Rodaj Safhası): Bu aşama eş çalışacak parçaların birbirine alışma safhasıdır. Bu bölümde parçaların ilk çalışması sırasında büyük bir aşınma meydana gelir. Oluşan bu aşınma daha sonra oluşacak aşınmayı büyük ölçüde etkiler. Bu sebeple parçaların rodajlarının iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmesi, bu kısmı etkileyen en önemli unsurdur. Genellikle rodaj, yüksüz ve normal hızdan daha düşük hızlarda yapılır. Rodajın iyi ve kısa sürede gerçekleştirilmesi için bu safhada özel yağlar kullanılır.

II. Aşama: Bu aşamada aşınma çalışma sırasında temas noktalarında meydana gelir.

III. Aşama: Bu aşamada artan aşınma hızı ile şiddetli aşınma meydana gelir.

4.2. Aniden Meydana Gelen Aşınma

Parçaların yüzeyleri çok hızlı bir şekilde bozulur veya bazı hallerde birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Genellikle eş çalışan parçaların seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen aşınma şeklidir.

4.3. Aşınmaya Etki Eden Faktörler

- 1 -Ana malzeme (aşınan),
- 2-Karşı malzeme (aşındıran),
- 3-Ara malzeme,
- 4-Yük,
- 5-Hareket.

Ayrıca sıcaklık da 6. parametre olarak bunlara ilave edilebilir. Bu parametreler iki grupta toplanabilir.

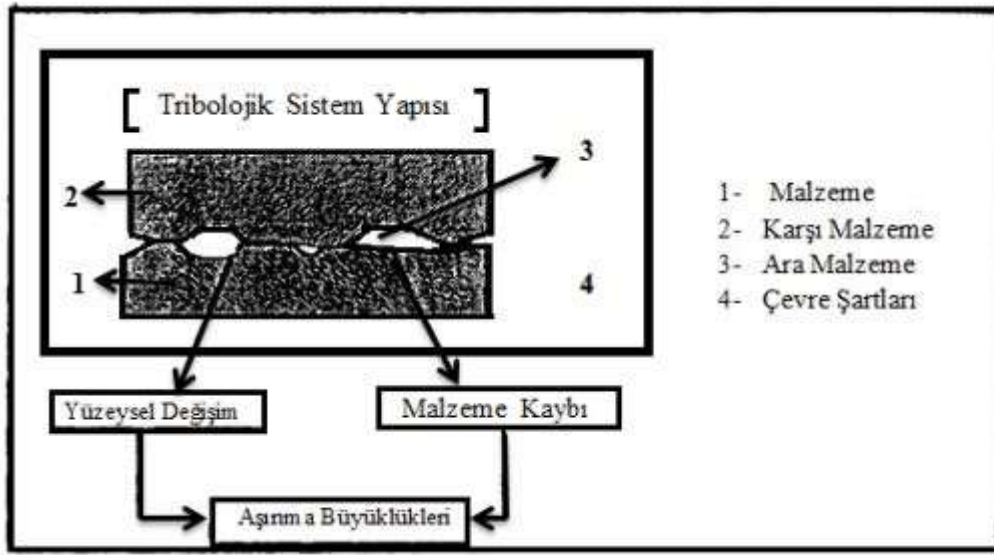
A. Şekil ve malzeme

B. Gerekli enerji

Aşınan parçanın, aşındıran ve ara malzeme tarafından aşındırılması olayı yani yüzey ve şekil değişikliği sürekli izlenmektedir. Aşınan ve aşındıran malzeme beraberce “aşınma çifti”

olarak tanımlanır. Aşınma çifti arasındaki “ara malzeme” sert taneli, sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar. Aşınma çifti ile ara malzemeye birlikte “aşınma kombinasyonu” denilir. Aşınma çifti arasındaki relatif hareket aşınmanın cinsini belirler. Yük, statik, dinamik veya darbe şeklinde olabilir. Tribolojik sistemde küçük bir değişiklik aşınmayı çok şiddetli etkiler. Bu değişiklikler dinamik parametreler, çevre parametreleri veya malzeme parametreleri olabilir [38].

Şekil 7 Bir tribolojik sistemin şematik olarak gösterimi



4.4. Aşınma Mekanizmaları

Metal parçaların kullanıldığı ortamlara göre aşınma durumları şu malzeme grupları ile olmaktadır.

1. Metal – Metal
2. Metal – Ametal
3. Metal – Sıvı

Bu sınıflandırmanın, yağlamanın olduğu veya olmadığı durumlar, kayma veya yuvarlanma sürtünmesi dolayısıyla aşınma şeklinde kısımlara da ayrılması gerekir. Ayrıca şartlar değişebilir ve önceden metal – metal olan durum, metal – ametal haline dönüşebilir veya başlangıçtaki yeterli olan yağlama sonradan yetersiz kalabilir. Bu nedenlerden dolayı yukarıdaki sınıflandırma gerçek mühendislik pratiğinde kullanılabilirliğini kaybedebilir ve bunun yerine yaygın olan terimlerle gruplandırma tercih edilir.

Aşınma olayına etki eden bir ya da birkaç etken değişik aşınma mekanizmalarını ortaya çıkarır. Bu aşınma mekanizmaları, abrasif aşınma %50, adezif aşınma %15, erozif aşınma %8, korozyon aşınması %8, kimyasal aşınma %5, ve diğerleri %14 olmak üzere endüstride değişen oranlarda karşımıza çıkmaktadır. Bu aşınma mekanizmalarından en çok karşılaştığımız ise abrasif aşınmadır [39].

Önemli Not

Yayınlanan kısımlar sadece literatür araştırması ve teorik araştırmaları içerir. Deneysel araştırmalar ve sonuçlar kısmı, kaynaklar dizini ile birlikte çalışma sonuçlarınınca site üzerinde güncellenecektir. Tüm hakları tarafıma ait olup kopyalanması ve paylaşılması yasaktır.