

**TERMİYONİK VAKUM ARK YÖNTEMİYLE  
Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NANO KATMANLI  
KOMPOZİT ÜRETİMİ**

**HACER DELİGÖZ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**2006**

**TERMİYONİK VAKUM ARK YÖNTEMİYLE  
Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NANOKATMANLI KOMPOZİT ÜRETİMİ**

**HACER DELİGÖZ**

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Fizik Anabilim Dalı  
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

**Danışman: Prof. Dr. Naci EKEM**

**2006**

**CANIM BABAM'a....**

Hacer DELİGÖZ'ün YÜKSEKLİSANS TEZİ olarak hazırladığı 'TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) YÖNTEMİ İLE NANO YAPIDA KATMANLI KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ' başlıklı bu çalışmada, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../2006

**Danışman : Prof. Dr. Naci EKEM**

**Üye : Prof. Dr. Geavit MUSA**

**Prof. Dr. Turgay ARMAĞAN**

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../2006 gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Plazma maddenin en enerjili halidir. Plazma, bu özelliği nedeni ile geniş uygulama alanına sahiptir, özellikle de yeni milenyum insanının gereksinimlerine uygun gelişmiş teknolojileri geliştirmede kullanılmaktadır.

Bu teknolojilerden bir tanesi olan Termiyonik Vakum Ark (TVA), ince film büyütmede enerjili iyonlar ile bombardıman edilerek yüzey özelliklerini geliştirir.

Bu gelişmiş teknoloji (TVA) özellikle gümüş-alümina kompozitlerinin büyütülmesinde kullanılmıştır. Bu kompozit için Gümüş (Ag) ve alümina ( $Al_2O_3$ ) materyalin tabakalı depolanması gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, TVA teknolojisi kullanılarak elde edilen kompozit materyalin karakteristikleri araştırılmıştır. Bunun için Elektron Mikroskop Görüntüsü (SEM), Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektroskopisi (EDS), Optik Emisyon Spektroskopisi (OES), mikro hardnes ölçümleri gerçekleştirilmiştir. TVA çalışma parametreleri elde edilen film özelliklerine göre ayarlanmıştır.

Kompozit tabakasının sertliği 943 Vickers, saf gümüşün sertliği 25 Vickers, alüminanın ki ise 1200 Vickers'dir.

TVA depolamanın kalitesi nedeni ile elde edilen filmler sıkı yapıda ve oldukça saftır.

## SUMMARY

Plasma is one of the most energetic states of the matter. Due to this fact plasma can be used in large applications especially for the development of advanced technologies suitable for the requirements of the new millennium of the mankind.

One of these technologies is the Thermionic Vacuum Arc (TVA) which has been developed especially for the changes of the surface properties by the bombardment with energetic ions of just the growing thin film.

This advanced technology (TVA) has been considered to grow composite materials particularly silver-alumina. A layer by layer deposition of the mentioned materials namely silver (Ag) and alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) has been used.

Also we performed investigations to characterize the composite materials obtained using TVA technology. We used Scanning Electron Microscope (SEM), Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), Optical Emission Spectroscopy (OES), micro hardness measurements. The TVA working parameters were correlated with the obtained thin film performances.

The hardness of the composite layers were 943 vickers while the hardness of pure silver was 25 vickers and of the alumina 1200 vickers.

Due to the qualities of TVA depositions, the obtained layers were compact and without any impurities.

## TEŞEKKÜR

Osmangazi Üniversitesi, Fizik Bölümü, Plazma Fiziği Laboratuvarında çalışmama olanak sağlayan ve bu çalışmamda beni yönlendiren ve destekleyen sayın hocam Prof. Dr. Naci EKEM' e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma konusuna beni yönlendiren, her konuda kendisine danıştığım, tüm sorularıma bıkmadan cevap veren, kendime örnek aldığım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Geavit MUSA ( National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bucharest / ROMANIA) ' ya sonsuz teşekkürler ederim.

Plazma fiziği ve laboratuvarı hakkında her türlü bilgi ve deneyimini benimle paylaşan, bu çalışmamın alt yapısını oluşturmamda bana her türlü yardımı sağlayan, tecrübelerinden faydalandığım sayın hocam Dr. Tamer AKAN 'a teşekkürler ederim.

Bana her konuda her zaman yardımcı olan ve bana destek veren, Plazma Fiziği laboratuvarı araştırma görevlileri Sn. Suat PAT, Sn. M. Zafer BALBAĞ, Sn. İlker ÇENİK' e ve Dr. İdris AKYÜZ'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Özellikle bu tez çalışmam esnasında bana her konuda yardım eden, deneylerimin yapımında ve tez yazdığım esnada ilgi ve desteğini esirgemeyen arkadaşım Serdar DEMİRKOL' a teşekkür ederim.

Yüksek lisans yaptığım esnada tanıştığım, bana her konuda destek olan, sayın hocam Refik GEZİCİLER' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlerime gelmemde ve eğitim yaşamım boyunca beni hep destekleyen, yönlendiren ve hep yanımda olan SEVGİLİ BABAANNEM' e, SEVGİLİ ANNEM' e, ve KARDEŞLERİ' me hürmetlerimi ve şükranlarımı sunarım. En önemlisi bu günüm de yanımda olmasını çok istediğim ama vefatından dolayı yanımda olamayan CANIM BABAM'a sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>I</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>II</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>III</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>IV</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>V</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>VII</b>
<b>1. PLAZMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 PLAZMANIN TANIMI</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 PLAZMAYI OLUŞTURAN ELEMANLAR</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.a. Nötral Atom ve Nötral Molekül</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.b. İyon</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.c. Elektron</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.d. Foton</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.e. Uyarılmış Atom</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2.f. Uyarma</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 PLAZMA PAREMETRELERİ</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3.a Plazma Yoğunluğu</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3.b İyonizasyon Derecesi</b> .....	<b>6</b>
<b>1.3.c Plazma Sıcaklığı</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3.d Plazma Frekansı</b> .....	<b>8</b>
<b>1.3.e Debye Uzunluğu ve Plazma Kılıfı</b> .....	<b>9</b>
<b>1.4 PLAZMA TEKNOLOJİSİ</b> .....	<b>10</b>
<b>2. KOMPOZİT MALZEMELER</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1 GİRİŞ</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2 KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>14</b>
	<b>15</b>



## 2.3 KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI.....

### İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.1 PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	15
2.3.2 FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLER.....	16
2.3.3 KATMANLI (TABAKALI) KOMPOZİT MALZEMELER.....	17
2.2.3.1 Katmanlı Kompozitlerin Örnekleri Ve Uygulamaları.....	18
2.4 KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMI.....	20
2.4.1 Günlük ve Ticari Hayatta Kullanımı.....	20
2.4.2 Uzay ve Havacılık Sanayisinde.....	20
2.4.3 Silah, Roket ve Diğer Mühimmat Sanayisinde.....	21
2.5 KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM TEKNİKLERİ.....	22
2.5.1 Sıvı Metal Emdirmesi (İnfiltrasyon).....	22
2.5.2 Sıkıştırılmalı veya Sıvı Dövme Döküm Tekniği.....	23
2.5.3 Basınçlı ve Basınsız İnfiltrasyon.....	25
2.5.4 Sıvı Metal Karıştırması.....	27
2.5.6 Hızlı Katılaştırma Yöntemi.....	28
2.5.7 Yarı Katı Karıştırma .....	29
2.5.8 Plazma Püskürtme.....	29
2.5.9 Toz Metalürjisi Tekniği.....	31
2.5.10 Difüzyon Bağlama ve Vakumda Presleme.....	32
2.5.11 Sıcak Presleme ve Sıcak İzostatik Presleme.....	33
3. TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) YÖNTEMİ İLE NANO KATMANLI KOMPOZİT ÜRETİMİ.....	35
3.1 Elektrotların Düzenlenişi.....	35

## İÇİNDEKİLER (Devam)

	<u>Sayfa</u>
<b>3.2 Katottan Üretilen Elektron Demetinin Anot Üzerine Odaklanması ve Anot Materyalinin Isıtılması.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3 Aluminanın (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) Termiyonik Vakum Ark (TVA) Deşarjları.....</b>	<b>42</b>
<b>4. DENEYSEL KISIM.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Giriş.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Deneysel Sistem.....</b>	<b>44</b>
<b>4.2 Plazma Reaktörü.....</b>	<b>45</b>
<b>4.3 Vakum Ölçüm Cihazları.....</b>	<b>46</b>
<b>4.2.1 Vakum Pompaları.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.1.a Mekanik Pompa.....</b>	<b>47</b>
<b>4.2.1.b Difüzyon Pompası.....</b>	<b>47</b>
<b>4.4 Güç Kaynağı.....</b>	<b>49</b>
<b>5. DENEYİN YAPILIŞI.....</b>	<b>51</b>
<b>5.1 Giriş.....</b>	<b>51</b>
<b>5.2 DENEYSEL SONUÇLAR.....</b>	<b>56</b>
<b>5.2.1 Termiyonik Vakum Ark Sistemiyle Oluşturulan Gümüş Ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün Plazmaları.....</b>	<b>56</b>
<b>5.2.2 Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plazmalarının Akım- Voltaj Karakteristikleri.....</b>	<b>57</b>
<b>5.2.3 Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Plazmalarının Optik Emisyon Spektrumları (OES) ..</b>	<b>58</b>
<b>5.2.4 Depolama Oranı.....</b>	<b>60</b>

**İÇİNDEKİLER (Devam)**

	<b><u>Sayfa</u></b>
5.2.5 Optik Mikroskop Görüntüleri.....	61
5.2.6 Elektron Mikroskop Görüntüleri.....	62
5.2.7 EDS (Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektroskopisi) Sonuçları.....	64
5.2.8 Ag ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün Mikroizsertlik Ölçüm Sonuçları.....	69
5.2.8.1 Vickers Cinsinden Sertlik Ölçüm Yöntemleri.....	69
6.    5.2.8.2 Vickers Mikroizsertlik Ölçüm Sonuçları.....	70
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	73

**ŞEKİLLER DİZİNİ**

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Maddelerin dört hali.....	1
1.2 a) Tamamen plazma olan güneşin X-ray görüntüsü, b) Aurora.....	2
1.3 Bazı plazmaların sıcaklık - yoğunluk grafiği.....	6
1.4 Plazma Teknolojisi.....	11
2.1 a) Kontraplak, b) beton ve c) cam fiber kompozit örnekleri.....	14
2.2 Üç grup kompozit malzemenin kıyaslanması.....	15
2.3 Sıkıştırma Döküm Tekniği.....	24
2.4 Düşey makine sıkıştırırmalı veya sıvı dövme döküm işleminin basamakları.....	25
2.5 Basınçlı infiltrasyon metodu.....	26
2.6 Basınçsız infiltrasyon metodu.....	26
2.7 Hızlı katılma prosesi ile kompozit üretim yöntemi.....	29
2.8 a) Plazma püskürtme aygıtının şematik görünümü b) çalışma şekli ve kaplama yaparken çekilmiş fotoğrafı.....	30
2.9 Toz metalurjisi yönteminin temel aşamaları.....	31
2.10 Folyo matriks ile filamentlerin kesit görünümü.....	33
3.1 Doğrudan ısıtılan katot ile TVA' nın elektrotların düzenlenişi.....	35
3.2 Elektron tabancasının fotoğrafı.....	36
3.3 Anot olarak kullanılan ikili pota sistemi.....	37
3.4 Doğrudan ısıtılan katotlu TVA' nın deneylerde kullanılan elektrotlarının fotoğrafı.....	37
3.5 Doğrudan ısıtılan katot ile TVA durumunda anot içindeki materyalin buharlaşması.....	38
3.6 Doğrudan ısıtılan katot ile TVA da metal buharı plazmasının yayılması.....	39
3.7 Elektron demetine Wehnelt silindirinin etkisi.....	40
3.8 a) Anot materyalinin farklı olarak ısıtıldığı bölgeler b) Farklı iki bölgedeki sıcaklık değişimi.....	41

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.9 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TVA deşarjının maksimum deşarj akımının katot filamentini ısıtma akımı ile değişimi.....	40
3.10 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> TVA deşarjının ateşleme voltajının katot filamentini ısıtma akımı ile değişimi.....	40
4.1 Termiyonik Vakum Ark sisteminin şematik gösterimi.....	44
4.2 TVA sisteminin önden görünüşü.....	46
4.3 TVA sisteminin dijital 3 girişli basınçölçer monitörü.....	47
4.4 TVA sisteminin mekanik pompası.....	47
4.5 Difüzyon pompasının şematik gösterimi.....	48
4.6 TVA sisteminin difüzyon pompası a) difüzyon pompası b) düşük basınç manometresi.....	48
4.7 TVA sisteminin güç kaynağı.....	50
5.1 Gümüş materyalinin TVA sistemiyle oluşturulan plazma hali.....	56
5.2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> materyalinin TVA sistemiyle oluşturulan plazma hali.....	56
5.3 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Ag tabakalı kompozitin şematik gösterimi.....	57
5.4 Ag ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> plazmaları için Akım- Voltaj karakteristikleri.....	57
5.5 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün Optik Emisyon Spektroskopisi.....	58
5.6 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün Optik Emisyon Spektroskopisi.....	59
5.7 Ag'nin Optik Emisyon Spektroskopisi.....	60
5.8 1 ½ inç kamera ile 40x objektifle alınan yüzey görüntüleri.....	61
Şekil 3 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütme elektron mikroskop	
5.9 görüntüsü.....	62
5.10 3 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütme geri yansımali elektron mikroskop görüntüsü.....	63
5.11 4 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütme elektron mikroskop görüntüsü.....	63
5.12 4 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütme elektron mikroskop görüntüsü.....	64

**ŞEKİLLER DİZİNİ (Devam)**

<b><u>Şekil</u></b>		<b><u>Sayfa</u></b>
<b>5.13</b>	<b>3 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının EDS analizi.....</b>	<b>65</b>
<b>5.14</b>	<b>3 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının EDS analizi.....</b>	<b>66</b>
<b>5.15</b>	<b>4 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının EDS analizi.....</b>	<b>67</b>
<b>5.16</b>	<b>4 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının EDS analizi.....</b>	<b>68</b>
<b>5.17</b>	<b>Vickers izi geometrisi.....</b>	<b>70</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Malzeme Türleri.....	12
2.2	İkili metallerin parçası olabilecek bazı malzemelerin özellikleri.....	19
5.1	TVA sistemiyle yapılan Ag- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> tabakalı kompozit malzemenin plazma parametreleri.....	51
5.2	TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün tabaka kalınlıkları.....	52
5.3	TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün tabaka kalınlıkları.....	53
5.4	TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün tabaka kalınlıkları.....	54
5.5	TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 'ün tabaka kalınlıkları.....	55
5.6	3 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının elementel analiz sonuçları.....	64
5.7	3 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının elementel analiz sonuçları.....	65
5.8	4 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının elementel analiz sonuçları.....	66
5.9	4 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının elementel analiz sonuçları.....	67
5.10	Sertlik ölçümü yapılan materyalin tabaka kalınlıkları.....	70
5.11	Esas malzemenin sertlik ölçüm sonuçları.....	71
5.12	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - Ag ile kompoziti kaplanmış malzemenin sertlik ölçüm sonuçları.....	71

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simge</u>	<u>Açıklama</u>
$n_i$	İyon yoğunluğu
$n_e$	Elektron yoğunluğu
$n$	Plazma yoğunluğu
$N$	Nötral atom sayısı
$\alpha_{iz}$	İyonlaşma derecesi
$T$	Sıcaklık
$T_g$	Gaz sıcaklığı
$T_u$	Uyarılmış atom sıcaklığı
$T_i$	İyon sıcaklığı
$T_e$	Elektron sıcaklığı
$T_a$	Ayrışmış atom sıcaklığı
$T_f$	Foton sıcaklığı
$T_p$	Plazma sıcaklığı
$m$	Kütle
$m_e$	Elektron kütlesi
$k$	Boltzman sabiti
$v$	Hız
$\nu_L$	Langmuir plazma frekansı
$e$	Elektron yükü
$\epsilon_0$	Boşluğun geçirgenliği
$\lambda_D$	Debye uzunluğu
$N_D$	Debye küresi içindeki parçacık sayısı
$\tau$	Ortalama çarpışma zamanı



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<b><u>Simge</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$\omega$	Çarpışma frekansı
d	Elektrotlar arası uzaklık, Elektronların anot içinde durdurulduğu uzaklık
L	İndüksiyon, Plazma boyutları
$\alpha$	Birim atom başına iyonlaşma enerjisi
P	Güç
S	Kesit alan
w	Buharlaşma hızı
$p_s$	Doymuş buhar basıncı
M	Moleküler ağırlık, Nötral atom kütlesi
$U_{atş}$	Ateşlenme voltajı
$I_e$	Elektronik akım
$I_f$	Falment ısıtma akımı
Q	Atom başına buharlaşma enerjisi
$\sigma$	Stefan-Boltzman sabiti, Plazmanın elektriksel iletkenliği
$q_{iletim}$	Isı iletim enerjisi
Q	Tesir kesiti
$U_{ark}$	Ark voltajı
$I_{ark}$	Ark akımı
$I_{max\ deşarj}$	Maksimum deşarj akımı
$U_e$	Katot potansiyel düşümü
$U_a$	Anot potansiyel düşümü
$U_{plazma}$	Plazma voltajı
$U_i$	İyonizasyon voltajı

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (Devam)

<b><u>Simge</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
h	Kalınlık
$v_b$	Buharın özgül hacmi
$v_s$	Sıvının özgül hacmi
$f$	Tutunma katsayısı
$\Delta m$	Depolanan film kütlesi
$\rho$	Yoğunluk
z	TVA kaynağından dik uzaklık
t	Zaman
A	Richardson sabiti
TTE	Toplam termodinamik denge
LTE	Lokal termodinamik denge
Non-LTE	Lokal termodinamik dengede olmayan
XRD	X ışını difraksiyonu
TVA	Termiyonik vakum ark
OGÜ	Osmangazi Üniversitesi
HV	Yüksek Voltaj
SEM	Scanning Electron Microscope
EDX	Energy Dispersive X-Ray Spektrometry
RF	Radio frekans
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım

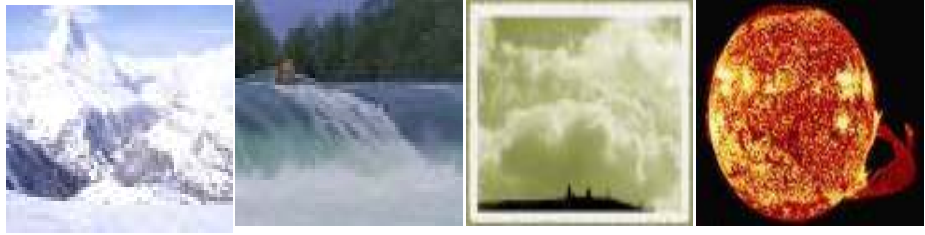


## 1. PLAZMA

### 1.2 PLAZMANIN TANIMI

Evrende madde dört halde bulunur. Şekil 1.1’de gösterildiği gibi bunlar katı, sıvı, gaz ve plazma halidir. Katı halde atomlar belirli uzaklıklara sahiptir. Sıvı halde atomlar arası uzaklık artar. Gaz halinde ise atomlar arasındaki bağ uzunlukları daha da artar. Plazma halinde ise atomlar iyonlaşır ve sürekli olarak birbirleri ile çarpışırlar.

Mikroskobik açıdan plazma, sürekli hareket eden ve etkileşen yüklü parçacıklar topluluğu olarak ifade edilir. Plazma içinde nötral atom ya da moleküllerin olması plazma halini değiştirmez.



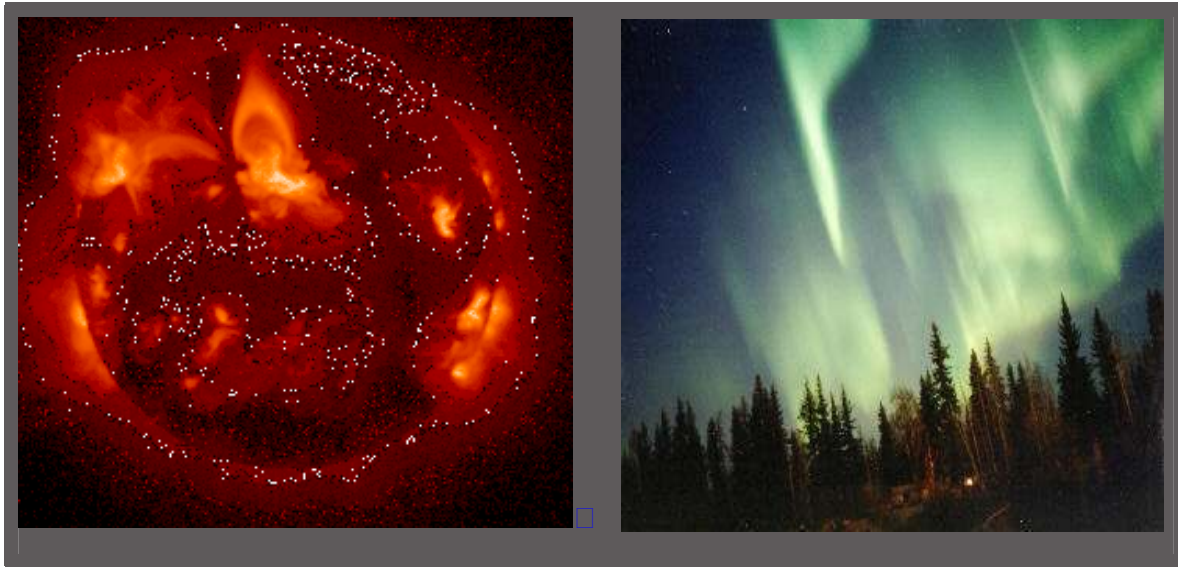
**Şekil 1.1** Maddelerin dört hali ([www.aldebaran.cz/astrofizika/plazma/index\\_en.html](http://www.aldebaran.cz/astrofizika/plazma/index_en.html)).

Yüksek sıcaklıkta ısıtılan gazlar önce atomlarına ayrılır, sonrada atomdan dış yörünge elektronlarının kopması ile pozitif yüklü iyon oluşur. Burada molekül, atom, iyon ve elektron bulunan bir karışım meydana gelir. Elektrikçe nötr olan bu karışım plazmadır. Plazma yüksek sıcaklıkta oluşabildiği gibi, yüksek basınç altında da oluşabilir. Yüksek basınçta atomların elektron kabukları çöker. Serbest elektronlar ve çekirdekten oluşan plazma meydana gelir. Laboratuar şartlarında bu basınca ulaşamaz, ancak Jüpiter gibi büyük gezegenlerde bu mümkün olabilir (Tanenbaum, 1967).

Yüksek sıcaklık ve basınçtaki plazmanın yanında, kibrit alevi, flüoresans lambadaki ışıltama gibi düşük sıcaklık ve basınç şartlarında da plazma ile karşılaşılır. Gazlardaki iyonlaşma oranı sıcaklıkla artar. Bir kaç on bin derece gibi bir sıcaklıktan

sonra yalnız pozitif yüklü iyonlar ve elektronlar karışımı elde edilir. Plazmanın birim hacim içindeki negatif yüklü parçacıkların sayısı (genelde elektronlar) pozitif yüklü parçacık sayısına (genelde iyonlar) yaklaşık olarak eşit olduğundan, plazma elektriksel olarak nötraldir.

Evrende en çok bulunan hal plazma halidir ve evrenin % 99'undan fazlası plazma halindedir. Evrendeki tüm yıldızlar, Güneş ve gezegenler arası boşluklar, üzerinde yaşadığımız dünyamız plazma hallerinden başlayarak bugünkü hallerini almışlardır (Şekil1.2.a). Dünyamızda bulunan maddelerin büyük çoğunluğu katı, sıvı ve gaz hallerindedirler. Maddenin plazma hali örneğin, Yıldırımında, alevde, kutup ışığında ve neon lambaları gibi elektrik boşalmalı lambalarda gözlenir(Kikuchi,1988). (Şekil1.2.b).



(a)

(b)

**Şekil 1.2 a)** Tamamen plazma olan güneşin X-ray görüntüsü, **b)** Aurora  
([www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/](http://www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/)).

a) *Yohkoh* uydusu tarafından çekilen güneşin X-ray görüntüsü. Sıcak ve yoğun olan plazma parlak ve titrek bir ışık yayar.

b) Magnetik alan boyunca hızlanmış yüklü parçacıklar aurorayı oluşturur. Solar rüzgarlardaki hızlanmış parçacıklar atmosfere girdiklerinde buradaki parçacıklarla

çarpışarak bu ışık gösterisini meydana getirirler ([www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/](http://www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/))

İlk bakışta plazma halinin, özellikleri açısından gaz halinden çok farklı olmadığı izlenimi oluşmaktadır. Oysaki plazma çok önemli özelliklere sahiptir. Plazmanın temel karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir,

1) Plazma elektriksel olarak nötraldir ve plazma çok iyi bir iletkenidir. Bazen gümüşün ve bakırın iletkenliğinden  $10^2$  kat daha fazla iletkenlik gösterebilmektedir.

2) Plazmanın içinde bir noktada bir pertürbasyon oluşursa, bu pertürbasyonun etkisi tüm plazmaya elektromagnetik dalga hızı ile taşınır. Gaz halinde bu taşınım, akustik dalgaların hızıyla, akustik sinyalin taşınımına benzer. Gazların taşınımı sırasında parçacıklar arasındaki çarpışma kısa mesafelidir. Plazmanın taşınımı durumunda ise yüklü parçacıklar arasındaki etkileşim elektromagnetik dalgalar yardımıyla uzun mesafede olur.

3) Plazma elektriksel olarak nötral olmasına rağmen elektrik ve magnetik alanlarla etkileşebilirler.

4) Plazma koşullarındaki kimyasal reaksiyonlar (plazma-kimyasal reaksiyonlar), gaz fazındaki kimyasal reaksiyonlardan büyüklük mertebesi açısından çok daha hızlıdır (Demirkol, 2004).

## 1.2 PLAZMAYI OLUŞTURAN ELEMANLAR

**1.2.a. Nötral Atom ve Nötral Molekül:** İçerdikleri pozitif yüklerin sayısının, negatif yüklerin sayısına eşit olduğu atom veya moleküllerdir. Nötral bir moleküle, o elemente özel bir ayrışma enerjisinden daha büyük bir enerji verilirse, bu molekül atomlarına ayrışır.

**1.2.b. İyon:** İçerdiği (+) yük sayısı, (-) yük sayısından büyük olan atomlardır ya da bunun tersi olabilir. Nötral bir atoma, o elementle özel bir iyonizasyon enerjisinden daha büyük bir enerji verildiği zaman, bu atom en az bir elektronunu (negatif yükünü) kaybeder ve iyon haline geçer, yani iyonize olur (Akan, 2003).

**1.2.c. Elektron:** Elektronlar, atomun keşfedilen ilk temel parçacığdır. Bir elektron, atomun kopmuş bağımsız ise kendisini parçacık olarak ortaya koyar; ama hiçbir deney ona uzayda bir boyut göstermeye olanak vermez ve bu parçacık her bakımdan bir nokta gibi davranır. Onun bütün elektronlar için aynı olan iyice belirlenmiş bir elektrik yükü vardır. Elektronun yükü, atomun negatif yükü olup, değeri  $1,6 \times 10^{-19}$  C dur (<http://www.zamandayolculuk.com/cetinbal/antimaddekurami.htm>).

**1.2.d. Foton:** Foton, elektromanyetik alanın en temel birimidir (quant), ışık taneciğidir. Işık hızıyla hareket eder. Sonsuz ömrü vardır. Durgun kütlesi sıfır olarak kabul edilir, ancak enerjisi ve momentumu vardır. Fotonların enerjisi, frekansına bağlıdır (<http://www.fiziksemineri.com/fizik/fizsoz.html>).

$$E = hv \quad (1.1)$$

**1.2.e. Uyarılmış Atom:** Üzerine iyonizasyon enerjisinden daha küçük bir enerji almış, elektron kaybetmiş atomdur. Bu atoma o elementin iyonizasyon enerjisinden daha küçük bir enerji verilirse, bu atomun çevresindeki elektronlar atomu terk etmeyip, bunlardan bir veya bir kaçını yörünge değiştirir. Yani bir üst enerji seviyesine geçer. Böylece uyarılmış atom olur.

**1.2.f. Uyarılma:** Enerji alarak bir üst enerji seviyesine geçiş (Akan, 2003).

### 1.3 PLAZMA PAREMETRELERİ

Bazı özellikler plazmayı karakterize eder ve bu özellikler plazmayı katı, sıvı ve gazlardan ayırt eder. Plazmanın en önemli ve diğer hallerden farklı özelliği, plazmayı oluşturan parçacıkların yüklü olması ve bu yüklü parçacıkların Coulomb kuvvetleri ile birbirlerine etki etmesidir. Plazma içindeki her parçacık komşusu bulunan her parçacığa ve hatta kendisinden daha uzakta bulunan parçacıklara aynı zamanda etki eder. Bu nedenle plazma içindeki parçacıklar sürekli birbirleriyle etkileşerek kollektif bir davranış içindedirler.

Plazma, maddeye ısı enerjisi verilmesi ile elde edildiği gibi başka yöntemlerle de elde edilebilir. Bu farklı üretim yöntemleri laboratuvar plazmalarının farklı isimlerle anılmalarına neden olur. dc elektriksel deşarj, ac elektriksel deşarj, rf deşarj, mw deşarj, puls deşarj, dielektrik bariyer deşarj gibi farklı üretim mekanizmalarına ve farklı özelliklere sahip plazmalar vardır.

Plazmalar üretim yöntemlerine göre sınıflandırılabilir gibi, plazması elde edilen gazın basıncına, parçacık yoğunluğuna, iyonlaşma derecelerine göre de sınıflandırılabilir. En genel sınıflandırma, plazma içindeki parçacıkların sıcaklığına göre yapılır. Buna göre plazmalar Toplam Termodinamik Denge Olan Plazmalar (TTD Plazmaları), Bölgesel Termodinamik Denge Olan Plazmalar (LTD Plazmaları) ve Bölgesel Termodinamik Denge Olmayan Plazmalar (Non-LTD Plazmalar) olarak üç gruba ayrılır (Akan, 2003).

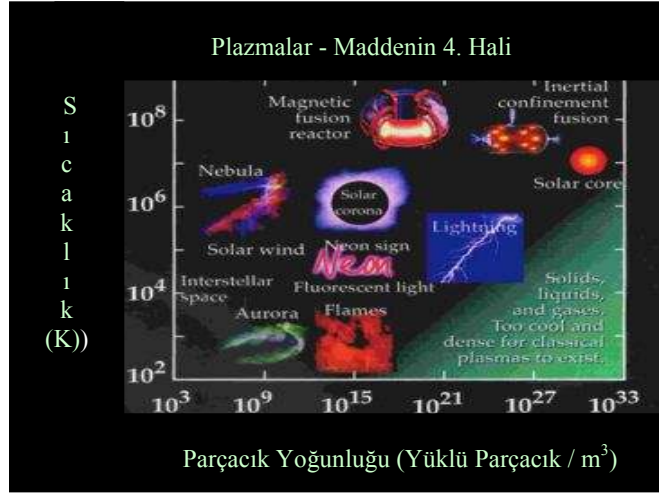
#### 1.3.a Plazma Yoğunluğu

Moleküler gazların karışımında oluşturulan plazma, çok sayıda nötral ve yüklü parçacıklar içerir. Plazma içinde birbirinden ayırt edilebilen her bir parçacık grubu “türler” olarak ifade edilir. Bu türlerden,  $n_e$ ; elektron yoğunluğu ve  $n_i$ ; iyon yoğunluğu olarak ifade edilir. Plazma, “yaklaşık olarak nötral” özelliğe sahip olduğu için,

$$n_i \cong n_e \cong n \quad (1.2)$$



dir. Burada  $n_i$ ; “Plazma Yoğunluğu” olarak tanımlanır (Akan 2003). Şekil 1.3’de bazı plazmaların sıcaklık-yoğunluk grafiği verilmiştir.



Şekil 1.3 Bazı plazmaların sıcaklık - yoğunluk grafiği (www.plasmas.org).

### 1.3.b İyonizasyon Derecesi

Plazma içerisindeki yüklü parçacıkların yoğunluğunu açıklayan parametre iyonizasyon derecesidir. Plazmadaki parçacık sayısının ne kadarının yüklü parçacığa dönüştüğünü gösteren bir parametredir. İyonizasyon derecesi;

$$\alpha = \frac{n_i}{n} \quad (1.3)$$

şeklinde tanımlanır.

$n_i$ ; İyon yoğunluğu

$n$ ; Plazma yoğunluğu

Düşük basınç plazmalarında plazmanın devamlılığı için tipik iyonizasyon derecesi  $10^{-6}$  ile  $10^{-3}$  arasında değişir. Plazmanın iyonlaşma derecesi plazmanın içerdiği atomun bir fonksiyonudur ( Gülseven, 2003).

### 1.3.c Plazma Sıcaklığı

Termodinamik dengedeki bir nötral gaz halini tanımlayan en önemli parametre, sistem içindeki molekülün ortalama taşınım enerjisini ifade eden sıcaklıktır. Plazma içinde, farklı elektrik yüklü ve kütleli parçacıkların bir karışımı vardır. Plazma içindeki her tür, farklı sıcaklık terimleri ile ifade edilir. Örneğin  $T_g$ ; nötral atomların yani plazması oluşturulan gazın sıcaklığını,  $T_u$ ; uyarılmış atomların sıcaklığını,  $T_i$ ; iyonların sıcaklığını,  $T_e$ ; elektronların sıcaklığını,  $T_a$ ; molekül durumundan atoma ayrılmış atomlar için ayrılmış atom sıcaklığını ve  $T_f$ ; fotonların enerjisini karakterize eden foton sıcaklığını ifade etmektedir. Eğer plazma içindeki her türün sıcaklığı eşit ise yani,

$$T_p = T_g \cong T_u \cong T_i \cong T_a \cong T_f \quad (1.4)$$

ise bu plazma, “TTD Plazma” olarak isimlendirilir. Burada  $T_p$  ; “Plazma Sıcaklığı” olarak tanımlanır. Bu tip plazmalar yalnızca güneşte ve yıldızlarda meydana gelir. Eğer plazma içinde foton sıcaklığı haricinde her türün sıcaklıkları eşit ise yani,

$$T_p = T_g \cong T_u \cong T_i \cong T_a \cong T_e \neq T_f \quad (1.5)$$

ise bu plazma, “LTD Plazma” olarak isimlendirilir. Laboratuar koşullarında atmosferik basınçlarda lokal termodinamik dengede olan plazmalar üretilebilir ve bunlar genellikle “Termal Plazmalar” olarak adlandırılır. Termal plazmalar yüksek basınçlarda meydana geldiği için “Yüksek Basınç Plazmaları” olarak da adlandırılırlar.

Plazma içinde basıncın artmasıyla, elektronlar ile nötral atomlar arasındaki çarpışma sayısı artar. Bu nedenle 1 atmosfer civarındaki yüksek basınçlarda meydana gelen,

elektriksel ark ve plazmatron olarak adlandırılan plazma jetleri ve kontrol edilebilen termonükleer füzyon reaktörlerinde oluşturulan plazmalar, laboratuvar koşullarında üretilen lokal termodinamik dengedeki plazmalara örnek olarak verilebilir (Akan, 2003).

Daha düşük basınçlarda elektronlar ile nötral atomlar ve iyonlar arasında termal dengeye ulaşılamaz. Bu nedenle,  $T_e \gg T_i > T_g > T_u$  şeklinde, elektronların sıcaklıklarının diğer türlerden çok büyük olduğu ve hiçbir tür arasındaki sıcaklığın eşit olmadığı plazmalar “Non-LTD plazmalar” olarak adlandırılır. Elektronların kütlesi plazma içindeki diğer türlerden çok daha küçüktür. Bu nedenle elektronlar, plazmanın oluşması için dışarıdan verilen elektrik alanı ya da enerjiyi diğer türlerden çok daha fazla absorbe ederler. Plazması elde edilen gazın basıncı düşük olduğu için elektronlar, diğer türlerle çok sayıda çarpışma yapamaz ve böylece diğer türlere enerjisini aktaramaz. Bu nedenle düşük basınç plazmalarında elektronların sıcaklıkları, diğer türlerden her zaman çok daha büyük olur. “Düşük Basınç Plazmaları” olarak adlandırılan Non-LTD plazmalarında nötral atomların sıcaklığı yani gazın sıcaklığı çok düşük (oda sıcaklığı) olduğu için, bu plazmalar aynı zamanda “Soğuk Plazmalar” olarak adlandırılır (Akan, 2003).

### 1.3.d Plazma Frekansı

Plazma ile ilişkili diğer bir özellik, plazma içindeki parçacıkların, plazma içindeki bir yüklü parçacık tarafından ya da dışarıdan oluşturulan bir elektrostatik alana karşı “kalkan” oluşturacak şekilde, kendilerini yeniden düzenleme eğiliminde olmalarıdır. Eğer plazma içinde bir elektrik alan oluşturulursa, plazma içindeki yüklü parçacıklar alanın etkisini azaltmak için tepki vereceklerdir. Bu tepki, daha hafif ve daha hızlı olan elektronlar tarafından, elektrik alanın etkisini azaltmak için plazma içindeki diğer türlere göre daha hızlı bir şekilde verilecektir. Plazma içindeki yüklü parçacıklar bu etkiyi azaltmak için verecekleri tepkiyi, bir titreşim hareketi şeklinde yaparlar. Bu titreşim hareketini düşük kütleleri nedeniyle elektronlar, diğer türlere nazaran daha şiddetli yaparlar. Elektronların bu etkiyi azaltmak için yaptıkları titreşim hareketinin frekansı “Plazma Frekansı” olarak adlandırılır. Başka bir deyişle plazma içinde meydana gelen bir etki, plazma içinde plazma frekansı ile yayılır. Plazma frekansı Langmuir frekansı olarak da bilinir ve

$$v_L = \left( \frac{e^2 \cdot n_e}{\epsilon_0} \right)^{1/2} \quad (1.6)$$

şeklinde verilir (Akan, 2003).

### 1.3.e Debye Uzunluğu ve Plazma Kılıfı

Lokal elektrik alanların etkisini azaltmak için yüklü parçacıkların tepkisi “Debye Kafeslemesi (Debye Shielding)” olarak adlandırılır. Debye kafesleme etkisi nedeniyle plazma içinde lokal elektriksel alanların oluşmasına izin verilmediği için plazma sürekli olarak nötral halde kalmaya çalışır. Debye kafesleme etkisi ile plazmanın bu şekilde nötral halde kalma isteği “Yaklaşık Olarak Nötral (Quasi-Neutrality)” olarak adlandırılır. Ancak plazma içinde,

$$\lambda_D = (\epsilon_0 k T_e / n_e e^2)^{1/2} \quad (1.7)$$

olarak verilen ve ‘Debye Uzunluğu’ olarak adlandırılan uzunluk, plazma içinde minimum nötral olan bölgeye karşılık gelir (Grill, 1993).

İlk bakışta plazma, maddenin gaz haline yakın gözükmektedir. Bu nedenle plazma halini, gaz halinden ayıran temel özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Gazlar elektriği iletmezler. Plazma ise elektriksel nötralitesine rağmen, iyi bir elektriksel iletkenidir. Bazen bakır veya gümüşten bile daha iyi iletkenlerdir.
- Gazlar nötral parçacıklardan oluşur. Bu nedenle elektrik ve manyetik alanlarla etkileşmez. Plazma ise elektriksel nötralitesine rağmen, elektrik ve manyetik alanlarla etkileşir.

- Plazma içindeki herhangi bir pertürbasyonun yayılması elektromanyetik dalga hızında gerçekleşirken, bu yayılım gaz içinde ses hızında gerçekleşir.
- Plazma halinde kimyasal reaksiyonlar, gaz halinden daha büyük hızlarda gerçekleşir.
- Plazma içinde yüklü parçacıklar arasındaki Coulomb çekim kuvvetleri çok uzak mesafelerde bile etkilidir. Bu nedenle plazma içindeki her parçacık civarındaki tüm parçacıklarla sürekli etkileşim halindedir. Gaz halinde parçacıklar arasındaki Coulomb etkileşimi ancak iki parçacık yarıçapı toplamı uzaklığında gerçekleşir. Bu uzaklıklar dışında parçacık etkileşmesi yok sayılır.
- Gazların boş olan her şeyi doldurma özelliğine karşılık, plazmalarda bir toplama eğilimi vardır (Akan, 2003).

#### **1.4 PLAZMA TEKNOLOJİSİ**

Plazmanın endüstrideki uygulamalarına örnek olarak yarıiletken elektronikler, materyallerin plazma modifikasyonu, plazma püskürtme, plazma kaynak, kesme ve materyal işleme, magnetohidrodinamik (MHD) güç üretimi, plazma ile uzay sanayi, plazma ekranlar, plazma ve elmas endüstrisi, plazma ile atık arıtma, plazma ile aydınlatma, plazma kimyası, gaz lazerler verilebilir.

Plazmanın gelecekte mümkün olan uygulamalarına ise kontrollü termonükleer füzyon, parçacık hızlandırıcıları, plazma ile X-ışını lazerleri üretimi, plazma ile izotop ayırıştırma ve plazma antenleri örnek olarak verilebilir (Akan, 2005). Şekil 1.4'de plazma teknolojisinin uygulamalarından bazı örnekler verilmiştir.



**Şekil 1.4** Plazma Teknolojisi ( [www.plasmas.org/rot-home.htm](http://www.plasmas.org/rot-home.htm))

- a) Atmosferik Plazma
- b) Plazma atık arıtma sistemi
- c) Materyallerin Plazma ile işlenmesi
- d) Yüksek yoğunluklu plazma ark lambaları
- e) Yüzey Kaplama

## 2. KOMPOZİT MALZEMELER

### 2.1 GİRİŞ

Kompozit malzemelerin üretimi nispeten yeni bir alan olup II. Dünya savaşı esnasında mevcut konvansiyonel malzemelerin tek başlarına teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap veremez hale gelmesi ile başlamıştır. O zamandan beri de bu malzemelerin üretimi ve mekanik özellikleri üzerine araştırma ve geliştirme faaliyetleri genişleyerek devam etmektedir. Bu gelişmeler için tahrik edici güç malzemelerde yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranı elde etmek olmuştur. Bu nedenle de spesifik uygulama alanlarında kullanımları hızla artmaktadır. Tablo 2.1’de bazı malzemelerin uygulamaları ve özellikleri verilmiştir (Eroğlu, 2004).

**Tablo 2.1** Malzeme Türleri (Eroğlu, 2004).

MALZEMELER	UYGULAMALAR	ÖZELLİKLER
<b>SERAMİKLER</b>		
SiO <sub>2</sub> -Na <sub>2</sub> O-CaO	Pencere camları	İyi optik özellikler ve ısı yalıtımı
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , MgO, SiO <sub>2</sub>	Ergiyik metaller için refraktörler	Isı yalıtımı, yüksek ergime sıcaklığı, ergiyik metale karşı nispeten asal davranış
Baryum titanat	Stereo kayıtlar için ileticiler	Sesi elektriğe çeviren piezo elektrik davranışlar
<b>KOMPOZİTLER</b>		
Grafit-epoksi		
Tungsten kobalt-karbür	Uçak parçaları	Ağırlığa göre yüksek dayanım
Titanyumla kaplanmış çelik	İşleme için karbürlü kesme takımları	Yüksek sertlik ve iyi darbe direnci
	Reaktör kapları	Titanyum korozyona karşı iyi dayanımı ile birlikte çeliğin yüksek dayanımı

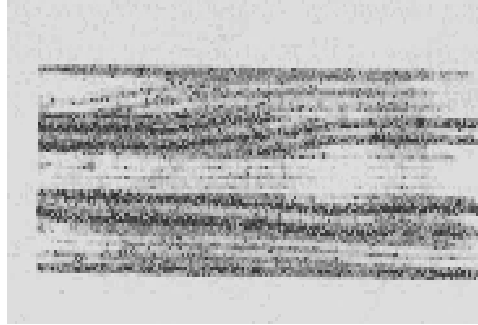
Birbirinin zayıf yönünü düzelterek üstün özellikler elde etmek amacıyla bir araya getirilmiş değişik tür malzemelerden veya fazlardan oluşan malzeme sistemine kompozit malzeme denir. Cam elyafı poliyester levhalar, çelik donatılı beton elemanlar, otomatik lastikli ve seramik metal karışımı olan Sermetler buna örnektir.

Aşınma dayanımı, yorulma dayanımı, korozyona dayanımı, ısı iletkenlik, akustik iletkenlik, ekonomiklik, estetik görünüm, rijitlik, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık özellikleri, elektrik iletkenliği, hafiflik-ağırlık, çekme dayanımı gibi özellikleri nedeniyle kompozitler günümüzde özellikle nano ve mikro boyutlarda bir çok kullanım alanına sahiptirler .

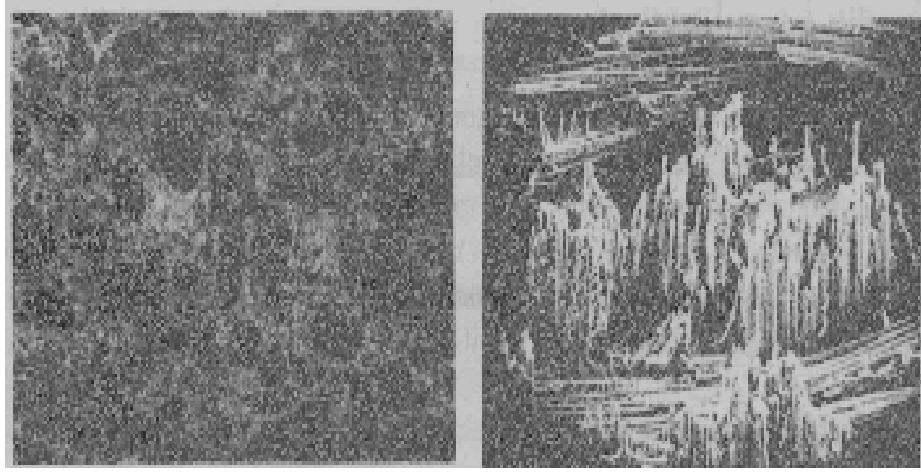
İki malzeme, orijinal malzemelerde elde edilmeyen bir özellik kombinasyonu elde etmek için birleştirildiğinde kompozitler üretilir. Kompozit malzemeler alışılmışın dışındaki bükülmezlik, mukavemet, ağırlık, yüksek sıcaklık performansı, korozyon direnci, sertlik ve iletkenlikten oluşan kombinasyonları elde etmek için seçilebilmektedir. Kompozitler, metal-metal, metal-seramik, metal-polimer, Seramik-polimer, seramik-seramik veya polimer-polimer olabilmektedir. Metal-seramik kompozitler örneğin sementit karbür kesici takımları, silisyum karbür fiber (elyaf) takviyeli titanyum ve kaplanmış çelik kompozitleri içermektedir.

Kompozitler, takviye malzemelerinin şekline göre parçacık, fiber ve katmanlı olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir. Çimento ve çakılın bir karışımı olan beton bir parçacık takviyeli kompozit, polimer matris içerisine gömülmüş olan cam fiberler içeren cam elyafı (fiberglass) bir fiber takviyeli kompozit, ağaç kaplama katmanlarının dönüşümlü olarak yapılandırıldığı kontra plak ise bir katmanlı kompozittir(Şekil 2.1). Parçacık takviyeli kompozitlerde takviye parçacıklar matris içerisinde uniform olarak dağılırsa özellikler izotropiktir. Fiber takviyeli kompozitler, fiberlerin matris içerisindeki dizilimine göre ya izotropik veya anizotropik özelliklere sahip olabilir, katmanlı kompozitler anizotropik davranış gösterirler (Eroğlu, 2004).





a)



b)

c)

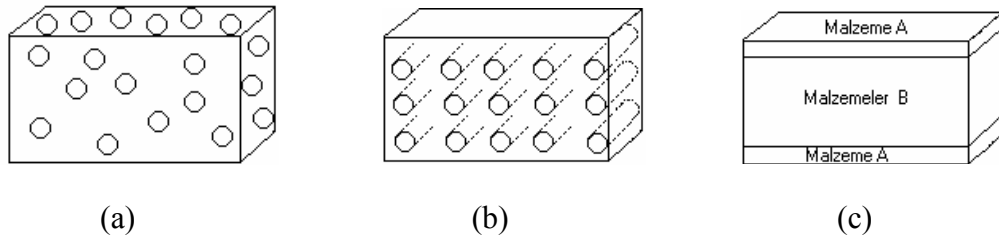
**Şekil 2.1 a) Kontraplak, b) beton ve c) cam fiber kompozit örnekleri (Eroğlu, 2004).**

## 2.2 KOMPOZİT MALZEMELERİN ÖZELLİKLERİ

- Polimer kompozitler genelde  $1,5 - 2 \text{ gr / cm}^3$  yoğunluğundadır. Metal kompozitler,  $2,5 - 4,5 \text{ gr / cm}^3$  olmakla beraber özellerde sıçrama görülebilir. Seramik kompozitler ise ikisi arasındadır.
- Genleşme katsayıları nispeten düşük olup sert, sağlam bir yapı ve büyük bir boyut kararlılığı gösterir.
- Çekme, basma, darbe, yorulma dayanımları çok yüksektir.
- Kompozitler birçok kimyasal maddelere, bu arada asitler, alkaliler, çözücüler ve açık hava şartlarına karşı son derece direnç gösterirler. Kimya tesisleri için çok kullanılan malzemelerdir.

- Kompozitlerin ısı dayanımı sıradan plastiklere göre yüksektir.
- Elektriksel özellikler kompozitlerde isteğe göre ayarlanabilir. Metal Matrisli Birleşik Malzemeler (MMC)'ler iletkenlerdir (Şahin, 2000).

### 2.3 KOMPOZİT MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI



Şekil 2.2 Üç grup kompozit malzemenin kıyaslanması (Şahin, 2000).

- Parçacık takviyeli kompozit,
- Fiber takviyeli kompozit,
- Katmalı kompozit

#### 2.3.1 PARÇACIK TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER

Parçacık takviyeli kompozit malzemelerde, belirgin uniform olarak dağılmış sert, gevrek malzeme yumuşak daha sünek bir matrisle kuşatılmıştır. Aslında yapı, iki fazlı dağılım mukavemetlendirilmiş metal alaşımlarına benzemektedir. Buna karşın, kompozitlerde dağılan parçacıkları oluşturmak için faz dönüşümü kullanılmaz.

Parçacık kompozitler, parçacık boyutu ve parçacıkların kompozit özelliklerine etki durumuna dayalı olarak iki genel alt gruba ayrılabilir. Bu iki sınıf dağılım mukavemetlendirilmiş kompozitler ve gerçek kompozit parçacıkları içermektedir (Şahin, 2000).

### 2.3.2 FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİTLER

Sünek matris içerisine güçlü, bükülmez, kırılğan fiberlerin ilavesi ile fiber takviyeli kompozitlerin mukavemeti, yorulma direnci ve ağırlığa göre mukavemet oranı iyileşmektedir. Fiberler, uygulanan yükün büyük bir kısmını taşıırken matris malzeme yükün fiberlere transferini sağlamakta, süneklik ve tokluk temin etmektedir. Dağılım mukavemetlendirilmiş kompozitlerin aksine kompozitlerin mukavemeti hem oda sıcaklığında, hem de yüksek sıcaklıklarda artar.

Takviye olarak çok çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Yıllarca toprak kerpiçlerin mukavemetlendirilmesi için saman kullanılmıştır. Çelik takviye çubuklar, beton yapılar içine yerleştirilmiştir. Polimer matris içerisine yerleştirilen cam fiberler, ulaşım ve havacılık uygulamaları için kullanılmıştır. Boron, karbon ve polimerlerden yapılmış fiberler mükemmel takviye sağlamaktadır. Hatta whiskers olarak adlandırılan tek kristaller çok ince seramik malzemeler geliştirilmektedir.

Takviye malzemeler aynı zamanda farklı yönlenme şekillerine göre de dizilmektedir. Genellikle cam elyafında (fiberglass) kısa, rast gele yönlenmiş cam fiberler bulunmaktadır. Tek yönlü olarak dizilmiş sürekli fiberler, özel olarak anizotropik özellikler oluşturmak için kullanılabilirler. Fiberler, kumaş şeklinde dokunabilir veya şeritler şeklinde üretilebilirler. Şerit katmanlarının yönleri dönüşümlü olarak değiştirilebilir (Şahin, 2000).

### 2.3.3 KATMANLI (TABAKALI) KOMPOZİT MALZEMELER

Katmanlı kompozit malzemeler çok ince kaplamalar, kalın koruyucu yüzeyler, giydirmeler, ikili metaller, katmanlar ve pek çok diğer malzemelerden meydana gelmektedir. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliği korurken, korozyon direncini geliştirmek için tasarlanmaktadır. Diğer önemli uygulamaları, üstün aşınma veya abrasiv aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısı genleşme özelliklerini kapsamaktadır.

Katmanlı kompozitlerin katmanlar boyunca bazı özellikleri karışım kuralı ile tahmin edilebilir. Yoğunluk, elektriksel ve ısı iletkenlik ve elastikiyet modülü küçük hata ile hesaplanabilmektedir (Şahin, 2000).

$$\text{Yoğunluk} = \rho_c = \sum f_i \rho_i \quad (2.1)$$

$$\text{Elektrik iletkenlik} = \sigma_c = \sum f_i \sigma_i \quad (2.2)$$

$$\text{Isıl iletkenlik} = k_c = \sum f_i k_i \quad (2.3)$$

$$\text{Elastikiyet modülü} = E_c = \sum f_i E_i \quad (2.4)$$

Laminar kompozitler çok anizotropiktir. Lamellere dik özellikler:

$$\text{Elektrik iletkenlik} = \frac{1}{\sigma_c} = \sum \frac{f_i}{\sigma_i} \quad (2.5)$$

$$\text{Isıl iletkenlik} = \frac{1}{k_c} = \sum \frac{f_i}{k_i} \quad (2.6)$$

$$\text{Elastikiyet modülü} = \frac{1}{E_c} = \sum \frac{f_i}{E_i} \quad (2.7)$$

Buna karşın korozyon ve aşınma direnci gibi önemli özelliklerin pek çoğu, öncelikle kompoziti oluşturan elemanlardan birine bağlıdır, bu nedenle karışım kuralı uygun olmamaktadır (Şahin, 2000).

### 2.2.3.1 Katmanlı Kompozitlerin Örnekleri Ve Uygulamaları

Katmanlı kompozitlerin sayısı öylesine fazla ve uygulamaları ve amaçları öylesine çoktur ki davranışları hakkında genelleme yapılması mümkün değildir.

Kompozitin katmanları organik bir yapıştırıcı ile yapıştırılmış malzeme katmanlarıdır. En yaygın katman, her bir alternatif katta dik açılarla ağaç kaplama katmanlarının dizildiği kontra plaklardır. Bu katlar fenolik veya amine reçineler gibi bir yapıştırıcı ile birleştirilir. Kontra plaklar, büyük boyutta ucuz, çatlamaya ve çarpılmaya dirençli ağaç ürünlerin elde edilmesini sağlar (Demirkol, 2004).

Emniyet gözlükleri, polivinil butiral gibi plastik bir yapıştırıcı ile iki cam parçasının birleştirildiği katman malzemelerdir. Cam kırıldığı zaman yapıştırıcı, cam parçacıklarının ayrılmasını önler. Katmanlar, motorlarda, yalıtım için dişlilerde, basınç devre kartlarında ve formika ve mobilya gibi dekoratif parçalarda kullanılmaktadır.

Yapıştırıcı katmanlar, mükemmel hafiflik, alevlenmeyi geciktirici, darbe dayanımı, korozyon direnci, kolay şekillendirme ve işleme, sürtünme ısısının dağıtılması ve iyi yalıtım özelliklerini bünyesinde toplamaktadır.

Sert, aşınmaya dirençli yüzeyler, sert yüzey oluşturma olarak bilinen ergitme kaynağı teknikleri ile daha yumuşak ve sünek malzemeler üzerine biriktirebilir. Sert yüzey alaşımlar, çeliğin sertleştirilebilen sınıflarını, sert karbürler oluşturan demir ve çelikleri, kobalt esaslı alaşımları ve belirli demir dışı alaşımları içermektedir. Kompozit tungsten karbür çubuklar aynı zamanda aşınma yüzeyinde tungsten karbür oluşturmak için kullanılabilir. Benzer kaynak işlemleri yüzeyin korozyona ve ısıya karşı direncini iyileştirebilir (Demirkol, 2004).

Sıcaklık göstergeleri ve kontrol edicileri katmanlı kompozitteki ikili metalin ısıl genişleme katsayısındaki farklılıktan yararlanmaktadır. İki metal parçası ısıtılacak olursa, yüksek ısıl genişleme katsayısına sahip metal daha fazla uzanmış olacaktır. İki

parça birbirine sıkıca bağlanmış ise ısı genleşme katsayılarındaki fark şeridin eğilmesine ve eğimli bir yüzey oluşmasına neden olur. Şeridin bir ucu sabit ise, serbest uç hareket eder. Bu hareketin miktarı sıcaklığa bağlı olup, şeritteki veya sapmanın ölçülmesi ile sıcaklık tespit edilebilmektedir. Aynı şekilde şeridin serbest ucu, elektrik anahtarını hareket ettirirse, düzenli sıcaklık elde etmek için bir fırını veya soğutucunun açılıp kapatılması mümkündür. Tablo 2.4’de ikil metallerin parçası olabilecek bazı malzemelerin özellikleri verilmiştir (Demirkol, 2004).

**Tablo 2.2** İkili metallerin parçası olabilecek bazı malzemelerin özellikleri (Demirkol, 2004).

Malzeme	Isıl genleşme katsayısı ( $\times 10^{-6}$ cm/cm $^{\circ}$ C)	Elastikiyet modülü	Gpa
Cu	17	18	124
Al	24	10	69
Ni	13	30	207
Çelik	12	30	207
Cu-%30 Zn pirinç	16	22	152
Monel	14	26	179
Ergimiş kuvars	5.5	10	69
Invar (Fe-%3 6 Ni)	1	21.4	148

İkili metaller termostatlarda devre kesici olarak görev yapabilmektedir. Şerit içerisinden çok yüksek akım geçerse ısınma ikili metalin bükülmesine ve devrenin kesilmesine neden olmaktadır (Demirkol, 2004).

## 2.4 KOMPOZİT MALZEMELERİN KULLANIMI

**2.4.1 Günlük ve Ticari Hayatta Kullanımı:** Günümüzde en çok kullanılan kompozitlerden biri betondur. Çimento ve kumdan meydana gelen malzeme matris çelik çubuklar ile desteklenir. Bir diğer tanınmış kompozit ise kerpiçtir. Çamur ve samanın karıştırılması ile oluşturulan bu malzeme oldukça eskiden beri bilinen belki de insanlık tarihinin en eski yapı malzemesidir ve halen ülkemizde kırsal kesimde kullanılır. Bazı ülkelerde, ör.: Yemende bu yapı malzemesinden çok katli yüksek yapılar inşa edilir. Yakın dönemde yaygınlaşmış ve sıkça kullanılan bir diğer polimer matrisli kompozit ise anorganik ve organik elyafların (elyaf olarak: fiberglas, karbon, aramid, polietil, polipropilen vs.) kullanıldığı fiberglas bileşik, yani kompozit malzemelerdir.

Ayrıca yaygın şekilde cam elyafı, cam, keçe ve cam dokuma ile polyester reçineden yapılan çeşitli ürünler de kullanılmaktadır. Cam elyaf oranı % 30– 40 arasındadır. Çay tepsisi, masa–sandalye, depo, küvet, tekne, bot ve otomotiv sanayi bu kompozitlerin uygulama örnekleridir. Ayrıca formika, baskılı devre plakası, elektrikçi fiberleri, spor malzemeleri ve araç şarjı atlama sırtıkları, kaynak takımı, tenis raketi, yarış kanoları değişik birleşik malzemelerden yapılan ürünlerdir (tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit\_malzemeler - 11k)

**2.4.2 Uzay ve Havacılık Sanayisinde:** Birleşik malzemelerin uzay ve havacılık sanayinde kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık nitelikleri sayesinde. Amaç daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamaktır. Bu kullanımda sadece maddi kazanç düşünülmeyp stratejik performanslarda dikkate alınmıştır. Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde birleşik malzemelerin önde gelen avantajlarıdır.

Birleşik malzemeler, değerli niteliklerden dolayı uzay ve havacılık araçlarında gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Bugün bir av bombardıman uçağında birleşik malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış bulunmaktadır. Bu sayede bor karbür, silisyum karbür, alümina karbon, cam ve kevlar elyafı değişik reçinelerle

değişik birleşik malzemeler yapımında kullanılmaktadır. Uzay yapıları B/Al, B/Mg, Gr/Mg ve antenler de B/Al, B/Mg, Gr/Mg materyallerinden oluşur (tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit\_malzemeler - 11k)

**2.4.3 Silah, Roket ve Diğer Mühimmat Sanayisinde:** Birleşik malzemelerin silah üretimi de kullanımı pek yaygın olmamakla beraber 3000 bara kadar dayanabilen 60 ve 81 mm gibi küçük çaplı havanlar için bazı çalışmalar olmuştur. Bu silahlar hafifliği nedeniyle piyadenin savaş performansını artırıcı niteliktedir.

Birleşik malzemelerin silah üretimi de kullanımı pek yaygın olmamakla beraber 3000 bara kadar dayanabilen 60 ve 81 mm gibi küçük çaplı havanlar için bazı çalışmalar olmuştur. Bu silahlar hafifliği nedeniyle piyadenin savaş performansını artırıcı niteliktedir.

Mühimmat üretiminde de birleşik malzemeler kısmen kullanılmaktadır. M19 A/T mayınında gövde ABS reçine ve cam elyaf parçacıklarından, bu mayına ait küçük ve büyük belleville yayları, cam doku ve fenolik reçineden yapılmışlardır. 155mm lik ICM mühimmatı gövdelerinde cam elyafı epoksi sargı vardır. Miğfer konusunda kevlar ve değişik reçineler kullanılmaktadır.

Kurşungeçirmez yeleklerde günümüzde bitişli kevlardan, balistik testler için zırh levhaları cam ve fenolik reçineler imal edilmektedir ve tasarım alternatiflerinin bulunmasıyla git gide artacak ve birçok avantajlarıyla insanlığın hizmetine verilmiş olacaktır. Uçaklarda gövde ve iç donanım parçaları B/Al, SiC/ Al, Gr/Al materyallerinden, kompresör kanatları B/Al, SiC/ Al, Gr/Al materyallerinden, türbin kanatları Wolfram ve tantal takviyeli süper alaşımlar, in-situ ötektiklerden ve helikopter parçaları da B/Al, SiC/Al, Gr/Al, Gr/Mg, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Mg materyallerinden oluşur (tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit\_malzemeler - 11k)



## 2.5 KOMPOZİT MALZEMELERİN ÜRETİM TEKNİKLERİ

Elyaf takviyeli kompozit malzemeler, elyaf ve matriksin uygun özelliklerini tek bir malzemede toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşmaktadır. Kompozit malzemeleri üretmek için aşağıdaki faktörlerin yerine getirilmesi gerekir:

- 1) Elyafların eşit aralıklı ve homojen bir dağılım göstermesi,
- 2) Yüksek dayanımlı elyaflar mekanik temaslara karşı hassas olduğundan elyafların kırılmasının önlenmesi,
- 3) Elyaf ve matriks arasında kuvvetli bir ara yüzey bağının oluşturulmasıdır (Gül, 1999).
- 4)

### 2.5.1 Sıvı Metal Emdirmesi (İnfiltrasyon)

Sıvı metal emdirmesi tekniği, hem kısa elyaf, kılcal kristalli hem de sürekli elyafla takviyeli metal matriksli kompozitlerin (MMK) üretilmesinde yaygın olarak kullanılan bir metoddur. Bu metod da prensip, önce istenilen şekilde uygun bağlayıcı kullanılarak mastar (preform = önşekil) hazırlanır. Kompozitte tasarlanan elyaf hacim içeriği ve doğrultuları bu aşamada yapılır. Hazırlanan bu model (preform) kalıp içerisine yerleştirilmekte ve ergimiş metal enjekte edilerek bu mastarın ıslatılması sıvı metal emdirerek sağlanır, bu sırada organik bağlar yanar ve katılaşmaya bırakılır. Emdirme işlemi, sıvı dövme döküm tekniğinde olduğu gibi basınçla gerçekleştirilebilir. Bu durumda elyaflar arasına matriksin girmesi ile açığa çıkacak atıl gazlarda yapı içerisinde sıkışıp kalmayıp dışarı atılabilecektir. Emdirilme işlemi, vakumda yapılırsa elyaf yüzeyi aktivitesi yüksek olduğundan daha iyi ıslanabilirlik sağlanabilmektedir. Du Pont Şirketinin ürettiği çok kristalli FP alüminyum oksit elyaf kullanılarak bu teknikle MMK malzemelerin üretimi üzerinde çalışma yapılmaktadır. FP elyafı;

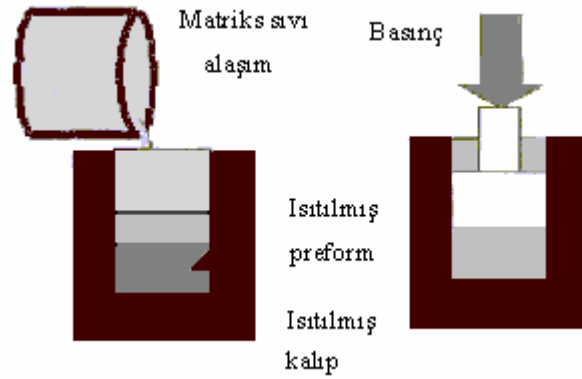
- a) Organik bağlayıcı ile tutulabilir şerit haline getirilir.
- b) İstenilen şekil oluşturulur.
- c) İstenilen yön ve doğrultuda düzenleme yapılır.

- d) Belli hacim oranında elyaf yerleştirilir.
- e) Uygun çelik kalıp içerisine yerleştirilir.

Bu şekilde hazırlanan preform, ergimiş metal eriyiği ile ısıtılarak katılaşması sağlanmaktadır. Fakat bu işlemin uygulanabildiği elyaf matriks çifti sınırlıdır.  $Al_2O_3/Al$ ,  $B/Mg$  gibi kompozitler bu metotla üretilmiştir. Sıvı hal üretiminin en önemli dezavantajı, ıslanabilirlik ve oluşan yapısal kusurlardır. Sıvı matriks elyafları iyi ıslatmadığı zaman elyaf/matriks ara yüzeyinde istenilen kuvvetli bağ oluşamaz. Bunun üstesinden gelmek için başvurulan metotlardan biri de elyafların başka bir malzeme ile kaplama yapılmasıdır. Bunun en güzel örneği de boron elyafların SiC ile kaplama yapılması gösterilebilir. Ergime sıcaklığı nisbeten düşük olan Al, Mg, Ag ve Cu gibi metaller matriks malzemesi olarak kullanılabilir. Son zamanlarda Al-Li esaslı alumina kompozitlerde de başarılı sonuç alınmıştır (Gül, 1999).

### **2.5.2 Sıkıştırılmalı veya Sıvı Dövme Döküm Tekniği**

Bu yöntemde takviyeden oluşturulmuş preform veya yatağa Şekil 2.3' de görüldüğü gibi sıvı alaşım hidrolik basınç altında emdirilmektedir. Sıvıyı soğutma etkisinden kaçınmak için kalıp, preform ve zimba ön ısıtmaya tabi tutulmaktadır. Takviye preform veya yatağı içerisindeki hava boşlukları veya kalıp ile takviye arasındaki boşluklara zamansız sıvı penetrasyonu tehlikesini azaltmak için kalıp boşluğu içerisine sızdırmaz şekilde yerleştirilir. Her bir kompozit sistemi için parçacıklar alaşımın sıvı sıcaklığını aşmayacak kritik sıcaklığa ısıtılmaktadır. Şayet ön ısıtma sıcaklığı metalin sıvı sıcaklığını aşacak olursa sıvı penetrasyonu tamamlanmamış olacaktır. Fakat yüksek basınç altındaki sıvı, kalıp ile zimba arasındaki boşluklardan sızarak dağılma gösterebilecektir (Gül, 1999).



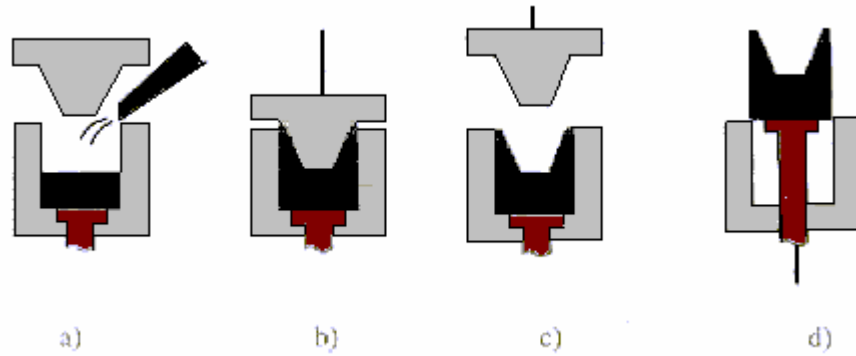
Şekil 2.3 Sıkıştırma Döküm Tekniği (Gül, 1999).

Sıvı dövme ile metal emdirme tekniğinde, önceden ısıtılmış seramik elyafların sıvı metal içerisine veya metal kalıp içine uygun bağlayıcılarla yerleştirilen master elyafların basınç altında sıvı metalle emdirilerek katılaşması kısa sürede gerçekleşmektedir. Şekil 2.4' de sıvı dövme tekniğinin şematik resmi ve aşamaları gösterilmiştir.

Bu metot da genellikle sıvı metale 70–100 MPa basınç uygulanmakta ve katılaşma zamanı kısa olduğundan elyaf matriks ara yüzeyinde herhangi bir reaksiyon bölgesi oluşmamaktadır. Sıvı dövme döküm ile üretilen bir kompozitte yüksek ısı transferiyle birleşen hızlı soğutma neticesinde ince taneli düzgün bir yapı oluşabilmektedir. Ayrıca, yüksek basınç seramiğin ıslanabilirliğini de artırabilmektedir. Bu işlemle yüksek verim, iyi ara yüzey bağı ve düşük maliyette parça üretimi gerçekleştirilebilir. Ancak, istenilen sağlam bir kompozit üretmek için;

- a) Preform ve matriks sıcaklığı,
- b) Uygulanan basınç,
- c) Zaman periyodu,
- d) Kalıp ön ısıtma sıcaklığı,
- e) Matriksin ergime sıcaklığı vb.dir.

Katılaşma şartlarının optimize edilmesi gerekmektedir. Bunlar aynı zamanda önemli proses değişkenleridir. Bu tekniğin en önemli mahsuru ise parça boyutu olup büyük boyutlu parçalarda daha yüksek basınç gerektirmesidir (Gül, 1999).



**Şekil 2.4** Düşey makine sıkıştırımlı veya sıvı dövme döküm işleminin basamakları.

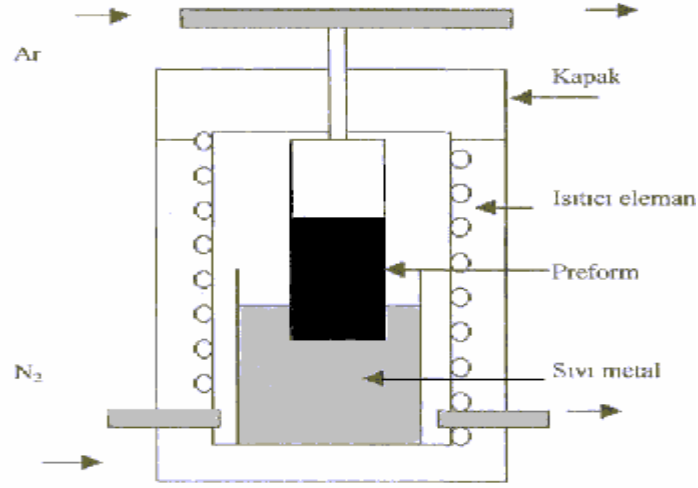
a) Boşaltma, b) Dökme, c) Sıkıştırma, d) Çıkartma (Gül, 1999).

### 2.5.3 Basıncılı ve Basıncısız İnfiltrasyon

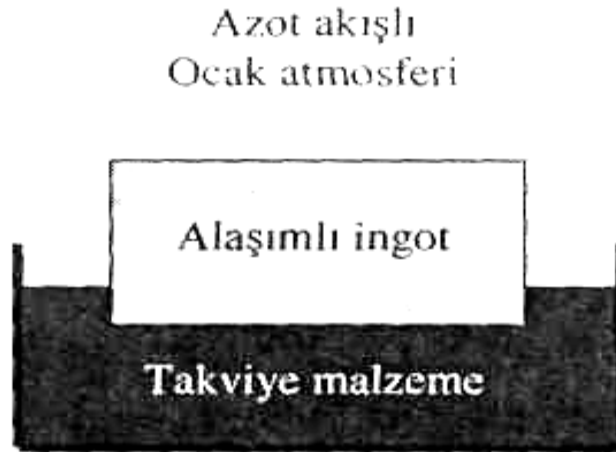
Basıncılı infiltrasyon tekniğinin sıkıştırma dökümden farkı, sıvının preform veya yatak içerisine bir zımba ile değil de basıncılı soygaz ile itilmesidir. Bu şekildeki bir sistem 2.5 de şematik olarak gösterildiği gibi bir ucu basınç ünitesi içerisine yerleştirilmiş pota içerisindeki sıvı metale daldırılmıştır. Diğer ucu normal atmosfer veya vakuma bağlanmış ve içerisinde takviye malzeme bulunan bir silindirden meydana gelmektedir. Takviye geçişi engelleyecek şekilde silindir içerisine yerleştirilir. Silindir içerisindeki bu parçacıklar sıvı metale daldırılır veya başka bir yerde ön ısıtmaya tabi tutulur..

Kapasitans tekniği kullanılarak gerçekleştirilen basıncılı İnfiltrasyon yönteminde; toz numune içeren kuvartz tüp çevresine metal elektrot yerleştirilmiş ve sıvı metal ile elektrot arasında bir potansiyel farkı uygulanmıştır. Sıvı metal elektrot seviyesini geçecek şekilde preform içerisine girdiği zaman silindirik bir kapasitör oluşmaktadır. Bu durumda kuvartz tüp dielektrik olarak sıvı metal ise ikinci elektrot olarak görev

yapmaktadır. Bu yöntemde yaklaşık % 55 hacimsel yoğunluğa sahip SiC preformun kalay ile infiltrasyonu sağlanabilmektedir (Gül, 1999).



Şekil 2.5 Basıncılı infiltrasyon metodu (Gül, 1999).



Şekil 2.6 Basıncısız infiltrasyon metodu (Gül, 1999).

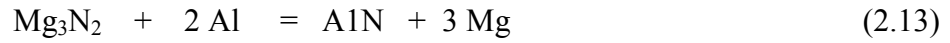
Basıncısız İnfiltrasyon metodunda; sıvı metalin takviye parçacık içerisine kendi kendine infiltrasyonunu sağlayan bu yöntemde paketlenmiş seramik toz yatak azot atmosferinde basınç uygulanmaksızın Al-Mg alaşımının infiltrasyonu sağlanabilir.

Alaşım-seramik sistemi 800–1000 °C'e kadar ısıtılmaktadır. Şekil 2.6'da basınçsız infiltrasyon metodu gösterilmiştir.

İnfiltrasyonun gelişimini sağlayan reaksiyon denklemi;



İnfiltrasyon sırasındaki reaksiyon denklemi;



şeklinde yazılabilir. İnfiltrasyon sıcaklığına ısıtma sırasında magnezyum buharlaşır. Takviye yüzeyini kaplayan magnezyum nitrit ( $\text{Mg}_3\text{N}_2$ ) oluşturmak üzere azot atmosferi ile reaksiyona girer. Magnezyum nitrit basınç veya vakum uygulanmaksızın alaşımın takviye faza infiltrasyonuna imkan sağlayan bir bileşiktir. Bu yöntemin ısıtılmış preformun sıvı içerisine daldırılarak kendi kendine infiltrasyonun sağlandığı değişik bir uygulaması da mevcuttur (Gül, 1999).

#### 2.5.4 Sıvı Metal Karıştırması

Bu üretim yönteminin oldukça değişik versiyonu var olmakla beraber takviye malzemenin tamamıyla sıvı haldeki matriks içerisine girmesini sağlamak için bazı yaklaşımlar şöyle özetlenebilir:

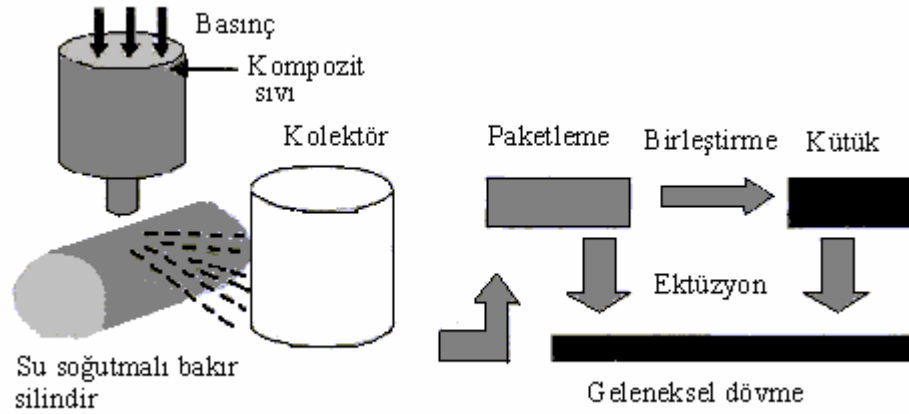
- Bir enjeksiyon tabancası kullanılarak sıvı içerisine taşıyıcı soy gaz ile tozların enjeksiyonu,
- Kalıp dolarken sıvı içerisine seramik parçacıkların ilavesi,
- Mekanik hareket ile oluşturulan vorteks içerisinden parçacıkların sıvı metale ilavesi,
- Sıvı içerisine, matriks alaşımı ve takviye toz karışımından meydana gelen, küçük birikmelerin ilavesi ve ardından karıştırılması,
- Karşılıklı hareket eden çubuklar kullanılarak parçacıkların sıvı içerisine itilmesi,

- f) Merkezkaç etki ile ince parçacıkların sıvı içerisine dağıtılması veya ultrasonik ile sıvı sürekli hareket halinde iken parçacıkların sıvı içerisine enjeksiyonu,
- g) Sıfır yerçekimi prosesidir. Bu proses uzun bir zaman dilimi için çok yüksek vakum ve sıcaklıkların birlikte etkisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Yukarıdaki işlemlerin hepsinde metal matriks ile takviye arasındaki güçlü bağ; yüksek işlem sıcaklığı kullanımı ve yeni faz oluşturulması gereklidir. Bu nedenle de takviye fazı ile matriks arasındaki ıslatmayı geliştirmek için takviye ile etkileşim gösteren bir element ile matriksin alaşımlanması halinde başarılı olunmaktadır. Doğal olarak ıslanmayan parçacıklar için ıslatmayı iyileştirici alaşım elementi ilavesi halinde veya parçacıkların ıslatılabilir bir örtü ile kaplanması gerekmektedir. Fakat bu reaksiyon kompozit üretimi veya kullanımı sırasında takviye elemanın zarar görmesine neden olmaksızın bağ oluşumunu teşvik edecek ıslatmayı sağlayacak kadar olmalıdır (Gül, 1999).

### **2.5.6 Hızlı Katılaştırma Yöntemi**

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi, basınç altında suyla soğutulan bakır disk üzerine sıvı jeli halinde verilerek 40 - 60 mikrometre kalınlığında, 6-8 mikrometre uzunluğunda, 0.5 - 0.7 mikrometre genişliğinde lamelsi tozlar elde edilir. Bunlar bir araya getirilerek değişik ikincil işlemlere tabi tutulur. İki kritik proses parametresi ise bakır diskin soğuma hızı ve disk üzerine verilen malzeme miktarıdır. Şayet disk çok hızlı dönecek olursa sıvı, toz üretmek için yeterli uzun süre diske temas etmeyecektir. Çok yavaş dönmesi durumunda ise, ikincil işlem için kabul edilebilir olmayan kalın lameller elde edilecektir (Gül, 1999).



**Şekil 2.7** Hızlı katılaşma prosesi ile kompozit üretim yöntemi (Gül, 1999).

### 2.5.7 Yarı Katı Karıştırma

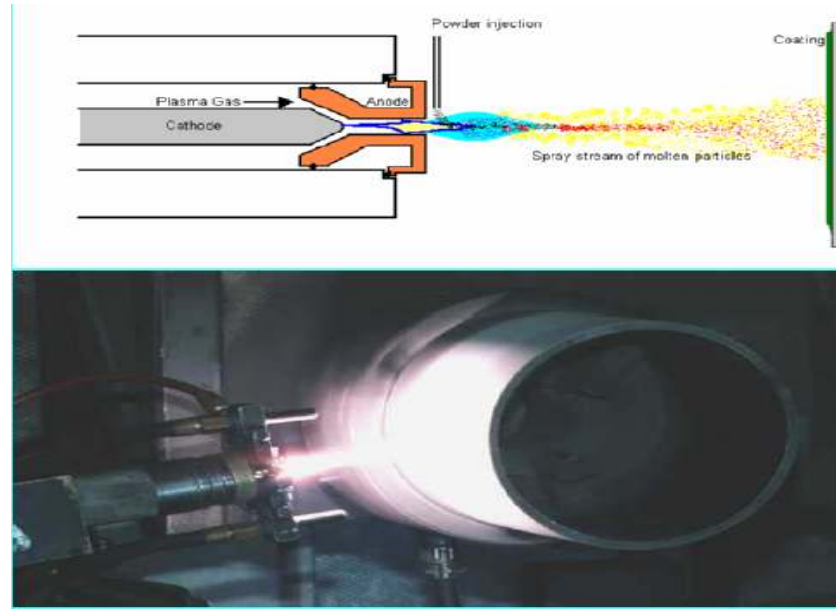
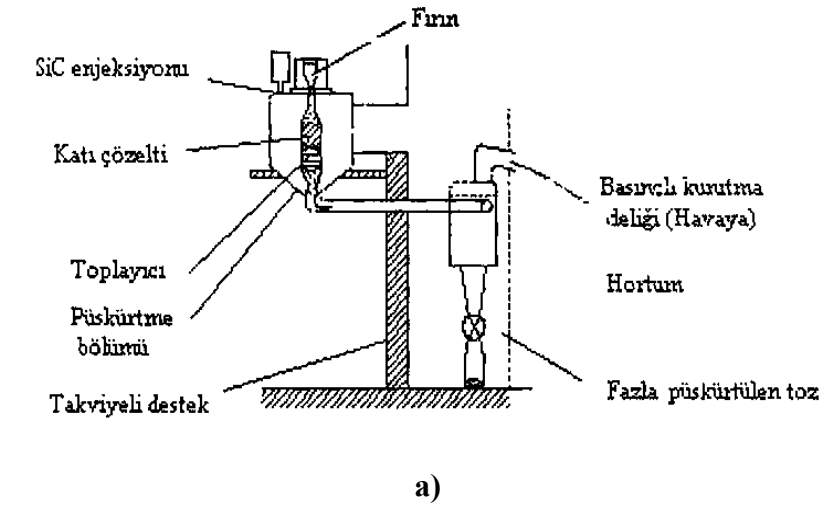
Bu yöntem bazen "Compcasting" veya "Rheocasting" olarak da anılmaktadır. Bu anılan yöntemde katı (solidus) ile sıvı (liquidus) arasındaki sıcaklığa sahip yarı katı karıştırmak suretiyle yapılan takviye ilave tekniğidir. Alaşımın sıcaklığı sıvı sıcaklığının 30 – 50 °C üzerine çıkarılıp şiddetli şekilde karıştırılarak yarı-katı aralığa kadar soğumasına müsaade edilir. Devam eden bu hareketlilik, katılaşılan dendritleri kırarak ince küresel parçacıklara dönüştürmekte ve yarı akışkan vizkozitesindeki yükselmeye de engel olur. Karıştırma devam ederken takviye ilavesi gerçekleştirilir. Nispeten düşük vizkoziteye sahip karışım doğrudan basit kütük şeklinde dökülebilir ve bu durumda yöntem ise "rheocasting" adını alır. Şayet karışım sıvı sıcaklığı üzerine çıkarılıp karıştırılarak yapılırsa bu durumda da işleme "compcasting" adı verilmektedir (Gül, 1999).

### 2.5.8 Plazma Püskürtme

Silisyum karbür parçacıklı kompozitleri üretmek için bu teknik ilk defa ALCAN Şirketi tarafından uygulanmıştır. Alcan püskürtme işlemi aygıtı şematik olarak 2.8' de gösterilmiştir. Bu teknikte püskürtülecek alaşım, indüksiyon fırınında ergitilir ve potaya basınç uygulanır. Ergimiş alaşım püskürtülürken aynı zamanda parçacıklı elyaflar atomize edilmiş sıvı içerisine enjekte edilerek önceden ısıtılmış alt katman



üzerine çökeltilir ve toplayıcı üzerinde katı bir çökelti oluşur. Soğuduktan sonra kaplanmış çökeltmiş çubuk haddelenmesi için göbekten çıkartılır. Bu metot da alüminyum gibi ergime noktası nispeten düşük olan metallere uygulanmalıdır. Son parçanın şekli ise atomize etme şartına, toplayıcı hareketine ve şekline bağlıdır. Tabaka, içi boş tüp gibi değişik karmaşık şekiller, sistem modifiye edilerek üretilebilir (Gül, 1999).



**Şekil 2.8 a)** Plazma püskürtme aygıtının şematik görünümü **b)** çalışma şekli ve kaplama yaparken çekilmiş fotoğrafı (Gül, 1999).

### 2.5.9 Toz Metalürjisi Tekniği

Bu teknikte, toz halindeki metal ve seramik malzemeler birleştirilebilir. Genellikle, takviye elemanı partikülleri olarak silisyum karbür, grafit, nikel, titanyum ve molibden ile matriks malzemesi olarak da metalik bakır, nikel, alüminyum, kobalt ve titanyum esaslı alaşımlar ve çelikler kullanılmaktadır. Bu metot da, tozlar istenilen şekli oluşturmak için tasarlanan hacim oranlarında karıştırılıp kalıp içerisine konularak preslenir. Presleme işlemi soğuk yada sıcak olarak yapılabilmekte fakat ara yüzey bağını iyileştirmek ve partikül kırılmasını azaltmak için sıcak preslemeden daha iyi netice elde edilebilmektedir. Elyafların yığılmadan homojen bir dağılım sağlaması için metal toz ve seramik partikül boyutu önemli olmaktadır

Seramik parçacıkların sıvı metal tarafından ısıtılmasındaki güçlük nedeniyle toz metalürji ile kompozit üretimi ilk geliştirilmiş metotlardan biridir. Toz metalürjinin (TM) temel aşamaları Şekil 2.9' da gösterilmiştir. Bunlar kısaca şöyle özetlenebilir:

- Hızlı katılaştırılmış metal veya alaşım tozlarının elenmesi,
- Takviye fazı ile metal tozların karıştırılması,
- Yaklaşık % 75 yoğunlukta sıkıştırılması,
- Gaz giderme ve ekstrüzyon, dövme, haddeleme ve diğer sıcak işlemler ile son birleştirme işleminin uygulanması vb.dir (Gül, 1999).



Şekil 2.9 Toz metalurjisi yönteminin temel aşamaları (Gül, 1999).

Bu yöntemde ilk önce seramik takviye parçacıkları ve matriks tozları karıştırılarak kalıp içerisine yerleştirilir. Katı hal difüzyonu için ergime sıcaklığı

altındaki bir sıcaklığa kadar ısıtılarak basınç altında sinterleme sağlanır. Daha yoğun parçalar üretmek için parçacık / matriks karışımından sonra doğrudan sıcak presleme yapılabilir. Kuvvetlendirilmiş olan bu mamul ikinci bir işlemden sonra MMK malzeme olarak kullanılır (Gül, 1999).

### **2.5.10 Difüzyon Bağlama ve Vakumda Presleme**

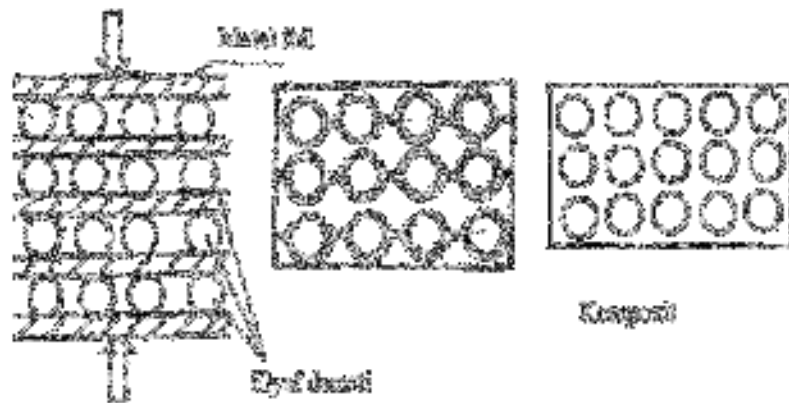
Bu metotla birleştirme, yüksek basınç ve sıcaklıkta yapılır. Boron, silisyum karbür, alüminyum oksit, karbon gibi tek filamentli elyaf yada elyaf demetleri ile alüminyum ve titanyum gibi matriks malzemeleri tabakalar halinde kullanılarak takviyeli kompozit malzemeler üretilir. Bu teknikte ilk olarak, levha şeklinde metal veya metal alaşımları ile elyaf şeklinde takviye elemanları etkili yayılma sağlamak için kimyasal yüzey muamelesine tabi tutulmaktadır. Sonra elyaflar önceden belirlenen yönlerde, açılarda ve istenilen aralıklarda metal tabakalar üzerine düzenlenir. Levha halinde hazırlanan bu malzemeler metal bir kaba yerleştirilerek sızdırmazlık sağlanır ve vakuma alınır.

Daha sonra belirli sıcaklıkta genelde ergime sıcaklığına yakın bir sıcaklıkta ısıtılarak difüzyon ile birleştirmenin gerçekleşmesi için preslenir veya haddelenir. Ancak bu işlemde metal levhalar ile elyaf yüzeylerinin çok temiz ve oksitsiz olması gerekir aksi halde ara yüzeyde arzulanan bir Difüzyon bağı oluşturulamaz çünkü kompozitin dayanımı bu oluşacak Difüzyon bağına bağlıdır. Aynı işlem silindirik parçalar için termal iletkenliği ile iyi olan metal tambur seçilerek üzerine değişik elyaflar sarılabilir. Bu matriks veya elyaf üzerine plazma püskürtme veya diğer kaplama yöntemi uygulanır. Daha sonra da ya sıcak izostatik veya soğuk izostatik preslemeye uygun sıcaklık veya basınçta birleştirme sağlanabilir. Bu birleştirmeden sonra ikinci bir işlem olarak kesme yapılır. Ancak, vakum altında birleştirmede daha düşük sıcaklık gerektirdiğinden diğer metotlardan daha etkili olmaktadır. Fakat bu teknikte uygulanan sıcaklık, basınç ve tutma süresi kompozit sisteme göre değişmekle beraber etkili bir yayılma için optimize edilmesi gerekir (Gül, 1999).

### 2.5.11 Sıcak Presleme ve Sıcak İzostatik Presleme

Bu işlem, Al, Mg ve Ti gibi metal matriksli kompozit panelleri üretmek için başarılı şekilde kullanılır. Şekil 2.10' da gösterildiği gibi, filamentler metal matriksten oluşan ince folyo tabakalar arasına yerleştirilir ve kompoziti yerinde tutmak için bir bağlayıcı ile spreylenecek ve sonra bağlayıcı yakılarak ayrılır. Daha sonra preform kompozit tamburdan çıkarılır, istenilen ölçüde kesilir ve sıcak pres kalıp içine istiflenir. İstiflenmiş kütle üzerine hafif basınç uygulanır ve bağlama sıcaklığına ulaşıldığında gerekli zaman için tam bağ basıncı uygulanır. Daha sonra basınç kaldırılır ve termal uzamalarda uyumsuzluklardan ileri gelen kalıcı gerilmeleri en aza indirmek için komple parça yavaş şekilde soğumaya bırakılır. Sıcak presleme ile ilgili üretilen kompozitlerin;

- 1) Yüksek dayanım,
- 2) Dayanım/yoğunluk oranı geleneksel malzemelerden 2-4 kat daha yüksek olması,
- 3) Yüksek sıcaklıklarda dayanımı muhafaza etmesinin mükemmel olması,
- 4) Yorulma dayanımının iyi olması,
- 5) Karışımlar kuralına tam uyum göstermesi gibi avantajlara sahip olur (Gül, 1999).



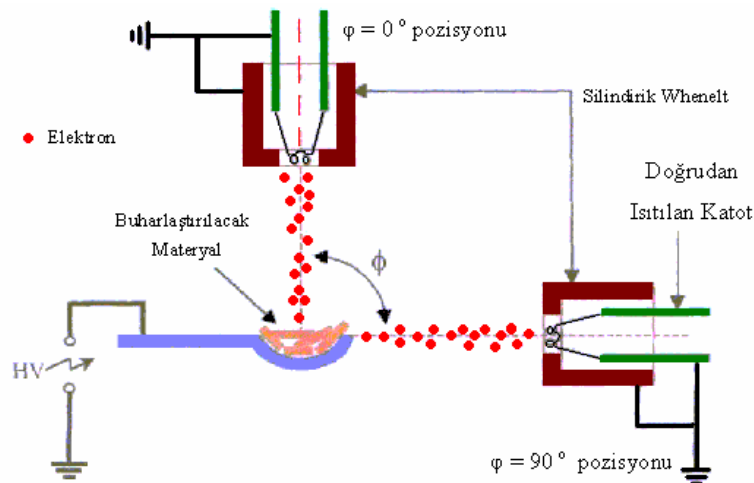
Şekil 2.10 Folyo matriks ile filamentlerin kesit görünümü (Gül, 1999).

Kaplanmış boron ve grafit filamentlerle MMK'lerin üretiminde en iyi yaklaşım sıcak izostatik presleme tekniği ile yapılır. Flament aralığı kaplama kalınlığı ile kontrol edilir. Bu teknik sıcak presleme veya sinterleme için uygulama sıcaklıklarından çok düşük olduğundan seçilir. Gaz basıncı parça boyunca yayılır ve bu nedenle de minimum burulma meydana gelir. Bu metod, boron ve titanyumun reaksiyona uğradığı sıcaklığın çok altında (870 °C) B/Ti kompozitin üretimine imkan verir. Boron elyaflar arasında 0.02 mm aralık elyaflara aşırı hasar veya boşluğa sebep olmaz. Bu da bu işlem altında ince toz kaplamalar yeterli süneklikte yoğun yapıların üretimini mümkün kılabilir. Grafit elyafla takviyeli MMK' ler, ön işlem görmüş grafit elyaflar üzerine kobalt veya nikel elektroliz kaplama yapılarak keza üretilmektedir. Dönen kalıp ile elyaf demetlerinin yoğunlaşması, yumuşak çelik tüpler içinde elyaf demetlerinin kaplanması ve kompozit yapmak için sıcak izostatik presleme işleminin uygulanması gerekir (Gül, 1999).

### 3. TERMİYONİK VAKUM ARK (TVA) YÖNTEMİ İLE NANO KATMANLI KOMPOZİT ÜRETİMİ

#### 3.1 Elektrotların Düzenlenişi

Vakum içinde anodun metal buharı plazmasının üretilmesi için elektrostatik olarak odaklanmış elektron bombardımanı kullanan Termiyonik Vakum Ark (TVA) ilk kez 1983 yılında, INFLPR (National Institute For Laser, Plasma and Radiation Physics, Bükreş) Düşük Sıcaklık Plazma Fiziği Grubu tarafından önerilmiştir. TVA deşarj katot ile anot olarak isimlendirilen iki elektrot arasında meydana gelir. Katot elektron emisyonu sağlayan sıcak bir filament, anot ise buharlaştırılarak plazması elde edilecek materyalin içine konulduğu bir potadır. Katot olarak kullanılan filament; sargılı filament ise elektrotlar doğrusal geometride, bir çember şeklinde ise elektrotlar silindirik geometride olarak kabul edilir. Bu çalışmada doğrusal geometride elektrotlar kullanılmıştır. Şekil 3.1 'de doğrusal geometride elektrotların, birbirine göre iki farklı pozisyon için düzenlenişi gösterilmiştir (Akan, 2003).



Şekil 3.1 Doğrudan ısıtılan katot ile TVA'nın elektrotlarının düzenlenişi (Akan, 2003).

Katot, anoda göre istenilen açıya getirilebilmektedir. Her iki elektrot son vakum değeri  $10^{-5}$ - $10^{-6}$  mbar basınçta olan bir vakum odası içinde bulunmaktadır Burada kullanılan katot, 1 mm çapındaki bir çubuk üzerine 4 kez sarılarak oluşturulmuş, bir güç kaynağı ile üzerinden akım geçirilerek ısıtılmış 0,4 mm çapında tungsten teldir. Bu filament katot elektronlarının istenilen doğrultuda yayılmasını sağlamak için ilk kez Wehnelt tarafından kullanıldığı için, bu isimle anılan bir Wehnelt silindiri içine yerleştirilmiştir. Wehnelt silindiri 15 mm uzunluğunda ve 12 mm çapında ve ön kısmında 5 mm çapında boşluk bulunan, paslanmaz çelikten yapılmış bir silindiridir. Çok yüksek akımlarda çalışıldığında molibden Wehnelt silindiri kullanılmıştır. Bu Wehnelt silindiri içine yerleştirdiğimiz filament vakum odası içine yerleştirdikten sonra, dışarıdan elektrik bağlantılarının yapılacağı mekanizmalarla birlikte düzenlenişine, elektron tabancası ismi verilir. Şekil 3.2' de tümüyle TVA'nın elektron emisyon kaynağını oluşturan elektron tabancasının fotoğrafı verilmiştir (Akan, 2003 ).

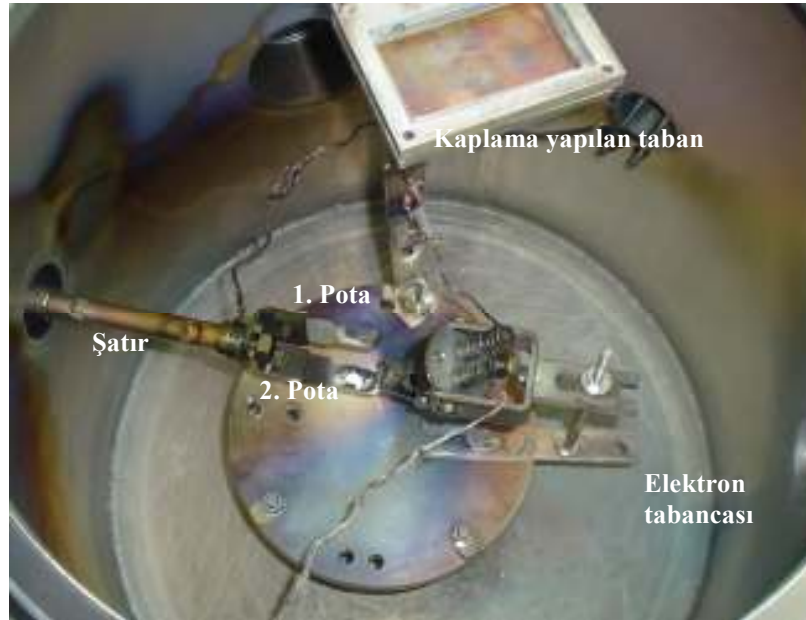


**Şekil 3.2** Elektron tabancasının fotoğrafı

TVA için kullanılan ikinci elektrot anot, tungstenden yapılmış 0.2 mm kalınlığında ve üst kısım boşluğu 10 mm çapında olan kaşık şeklinde bir potadır (Şekil 3.3). Buharlaştırılarak plazması elde edilecek materyal bu potanın içine yerleştirilmektedir. Şekil 3.4 ' de doğrudan ısıtılan katotlu elektron tabancası ile anodun, deney sırasında kullanıldığı biçimdeki düzenlenişinin fotoğrafı verilmiştir (Akan, 2003 a).



Şekil 3.3 Anot olarak kullanılan ikili pota sistemi.

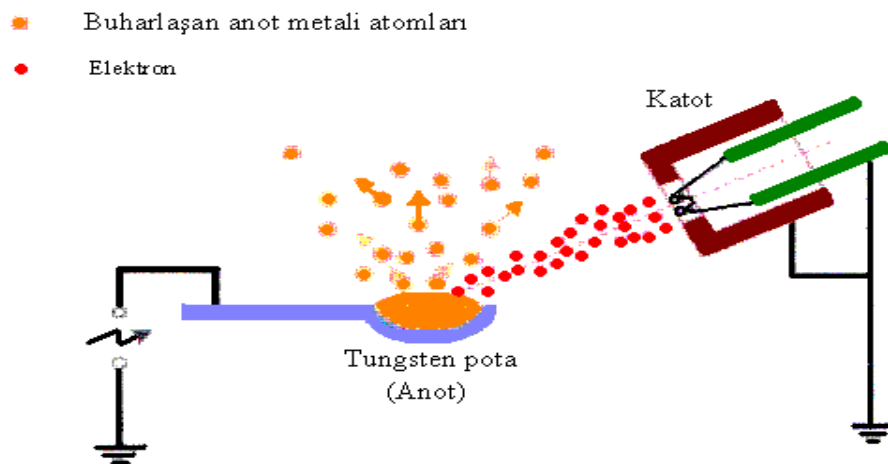


Şekil 3.4 Doğrudan ısıtılan katotlu TVA'nın deneylerde kullanılan elektrotlarının fotoğrafı.



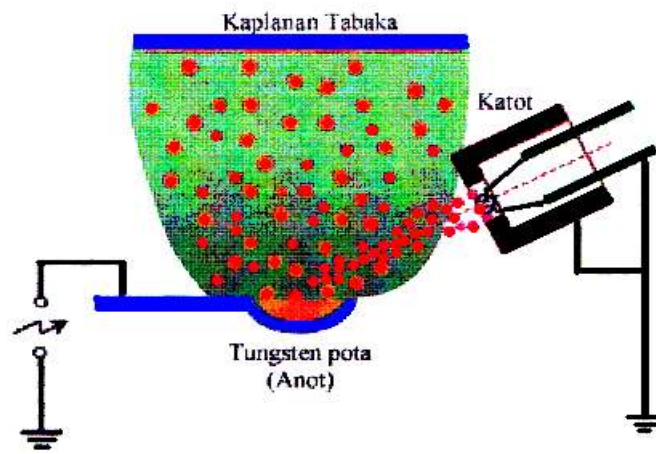
Şekil 3.4 ' de görüldüğü gibi TVA' da elektron emisyonu sağlayıcısı olarak kullanılan elektron tabancası ile anot, 200 mm çapında 15 mm kalınlığında olan ve paslanmaz çelikten yapılmış 80 mm yüksekliğinde dört ayaklı tabla üzerine monte edilmiştir. Bu şekilde elektrotlar sistemi vakum odası içine kolayca yerleştirilip, istenildiğinde çıkartabilmektedir.

Elektrotların monte edildiği tabla vakum odası içine yerleştirildikten sonra anot içine buharlaştırılacak materyal yerleştirilir ve vakum odası vakumlanır. Yaklaşık  $10^{-6}$  mbar civarındaki bir basınç değerine ulaşılnca, bir düşük voltaj güç kaynağı ile filament üzerinden akım geçirilerek filamentin ısınması ve termiyonik emisyon yapması sağlanır. Bu durumda ısıtılmış katot yani filament ile anot arasına yüksek voltaj uygulanarak filamentten termiyonik emisyonla birlikte, Schottky etkisi ve alan emisyonu ile de elektron emisyonu sağlanır. Aynı zamanda elektrotlar arasına uygulanan yüksek voltaj, yayınlanan elektronların anot içinde bulunan materyal üzerine hızlanmasını ve onun ısınmasını sağlar. Uygun şekilde seçilmiş yüksek voltaj için elektron bombardımanı ile pota içindeki anot materyali erir ve sonra sürekli şekilde bir anot materyali buharlaşması elde edilir (Şekil 3.5) (Akan, 2003).



Şekil 3.5 Doğrudan ısıtılan katot ile TVA durumunda anot içindeki materyalin buharlaşması (Akan, 2003).

Anot materyalinin erimesinden ve kararlı hal yoğunluk dağılımına ulaşmasından sonra, katot ile anot arasına uygulanan voltaj daha fazla arttırılırsa vakum odası içinde parlak bir deşarj gözlenir (Şekil 3.6). Anot materyalinin buharında elde edilen bu deşarj, elektriksel parametreler ve yayınlanan spektral radyasyon bakımından çok kararludur. Bununla birlikte TVA deşarj üzerinde yapılan spektroskopik çalışmalar, TVA ile üretilen plazmanın yalnızca anot metali buharlarından meydana geldiğini ispatlamaktadır (Akan, 2003).

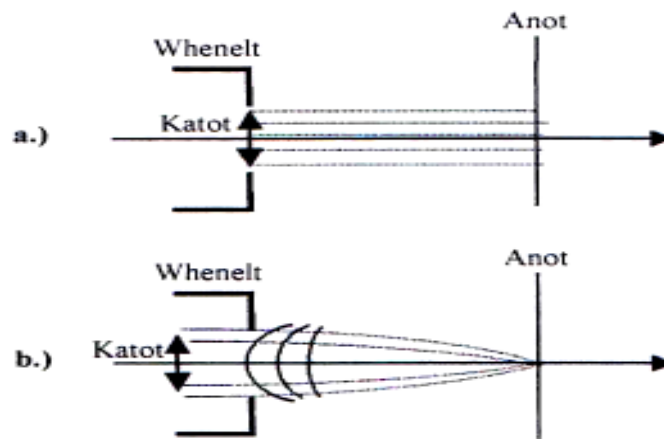


Şekil 3.6 Doğrudan ısıtılan katot ile TVA da metal buharı plazmasının yayılması (Akan, 2003).

### 3.2 Katottan Üretilen Elektron Demetinin Anot Üzerine Odaklanması ve Anot Materyalinin Isıtılması

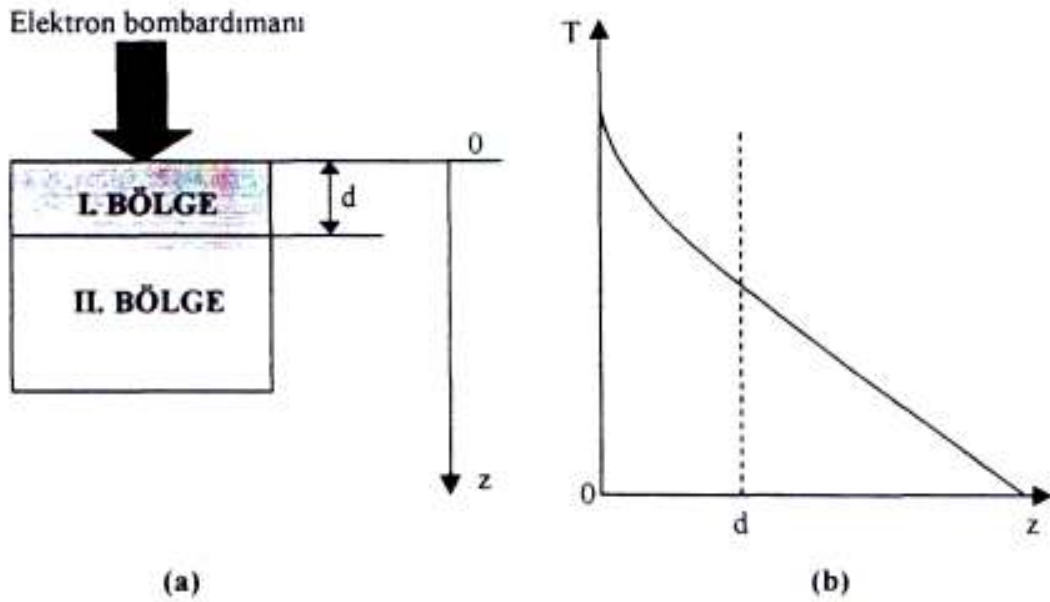
TVA sistemini anot metali buharlarında deşarj üreten diğer tekniklerden ayıran en önemli özelliği, katottan yayınlanan elektronların anot üzerine odaklanması için elektromanyetik bobin yerine elektrostatik mercek görevi yapan bir Wehnelt silindrinin kullanılmasıdır. Şekil 3.1,3.4, 3.5 , v e 3.6 da gösterildiği gibi doğrudan ısıtılan katodun içine yerleştirildiği Wehnelt silindri topraklanmıştır. Şekil 3.4 den görüldüğü gibi doğrudan ısıtılan filamentin bir ucu elektrotların monte edildiği tabla üzerine bağlanmıştır. Bu tabla vakum odasının tabanına yerleştirildiği için ve vakum odası toprak hattına bağlı olduğundan, elektrotlar sisteminin monte edildiği tabla toprak potansiyelinde tutulmuştur. Ancak anot, tabla üzerinden seramik yalıtıcı ile

yalıtılmıştır. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi Wehnelt silindiri elektron tabancasından dolayısıyla tabla üzerinden yalıtılmamıştır. Böylece Wehnelt silindiri toprak potansiyelinde tutulmuştur. Anot pozitif potansiyelde tutulurken Wehnelt silindirinin toprak potansiyelinde tutulması ile katottan yayınlanan elektronlar anot üzerine gönderilir. Katottan yayınlanan negatif yüklü elektronlar, pozitif potansiyel tarafından çekilirken toprak potansiyel içindeki Wehnelt silindiri tarafından itilecektir ve elektronlar yalnızca Wehnelt silindirinin n kısmındaki 5 mm'lik delik içinden anoda hareket edecekler ve dolayısıyla anot üzerine odaklanacaklardır. Bu nedenle TVA sisteminde Wehnelt silindiri, katottan yayınlanan elektron demetini anot üzerine odaklayan elektrostatik mercek gibi davranmaktadır. Katottan yayınlanan elektronların anot üzerine odaklanması, elektrotların ve Wehnelt silindirinin birbirine göre pozisyonuna, Wehnelt silindirinin polarizasyon voltajına ve anoda uygulanan yüksek voltaja bağlıdır. Bizim deneylerimizde katot, Wehnelt silindirinin n yüzüne paralel yerleştirilmiştir ve Wehnelt silindirine negatif voltaj uygulanmamıştır. Bu durumda Wehnelt silindiri katottan yayınlanan elektronları anot üzerine toplamaktadır (Şekil 3.7 a). Ancak katoda AC voltaj uygulandığı için katot Wehnelt silindirine göre bir pozitif voltajda bir negatif voltajda bulunmaktadır. Katodun Wehnelt silindiri içindeki konumuna göre elektronların anot üzerine odaklandığı bir durum elde edilebilir (Akan, 2003).



**Şekil 3.7 a-b)** Elektron demetine Wehnelt silindirinin etkisi (Akan, 2003).

Katottan yayınlanan elektron bombardımanı nedeni ile anot yüzeyi üzerine ve böylece anot materyaline ısı enerjisi aktarılır. Ancak pota içindeki tüm materyalin ısınması aynı mekanizma ile gerçekleşmez. Anot üzerine bombardıman edilen elektronlar, anot materyalinin içinde belli bir uzaklığa kadar girebilir. Başka bir deyişle elektronlar, anot materyali içinde belli bir uzaklıkta durdurulurlar. Anot materyali bu uzaklığa kadar doğrudan elektronlar tarafından aktarılan enerji ile ısınırken bu noktadan sonraki bölgeler ısı transferi ile ısınır. Bu nedenle anot materyali üzerinde sıcaklık gradyentinin değişken olduğu birinci bölge ve sıcaklık gradyentinin sabit olduğu ikinci bölge olmak üzere iki bölge oluşur.



**Şekil 3.8 a)** Anot materyalinin farklı olarak ısıtıldığı bölgeler **b)** Farklı iki bölgedeki sıcaklık değişimi (Akan, 2003).

**a) I. Bölge,  $z \in (0,d)$  :** Hedefteki anot materyali içinde yayılan elektronlar, anot materyaline bu şekilde enerji aktarırlar ve enerjilerini kaybederek  $d$  mesafesi içinde durdurulurlar. Bu ısı kaynağı nedeniyle anot materyali ısıtılmaya başlanır ve gelen elektronların enerjisinin yeterli bir değeri için erime noktasına ulaşır. I. Bölgede anot materyaline doğrudan elektronlar tarafından enerji aktarılır.

**b) II. Bölge,  $z \geq d$ : Bu bölgede doğrudan enerji verici bir kaynak yoktur. Isınma I. Bölgeden termal iletkenlik ile oluşur**

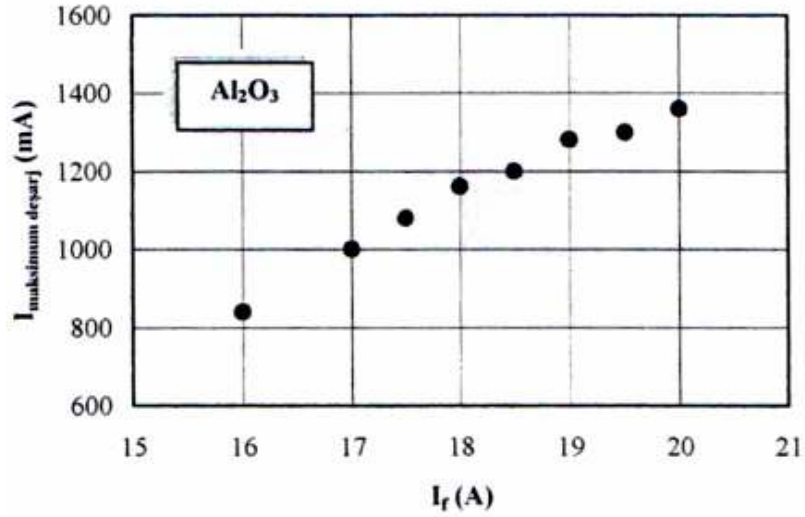
Hedef üzerine giden güç yoğunluğu  $q_v = P / S.d$ , elektron demetinin verimli bir şekilde yayıldığı bölgenin hacmine karşılık gelen minimum S.d değeri için maksimumdur. Bu termal iletkenlik ile minimum kayıplara sahip olmak için elektron demetinin hedef yüzeyine iyi odaklanması gerektiğini açıklar (Akan, 2003)

### 3.3 Alüminanın ( $Al_2O_3$ ) Termiyonik Vakum Ark (TVA) Deşarjları

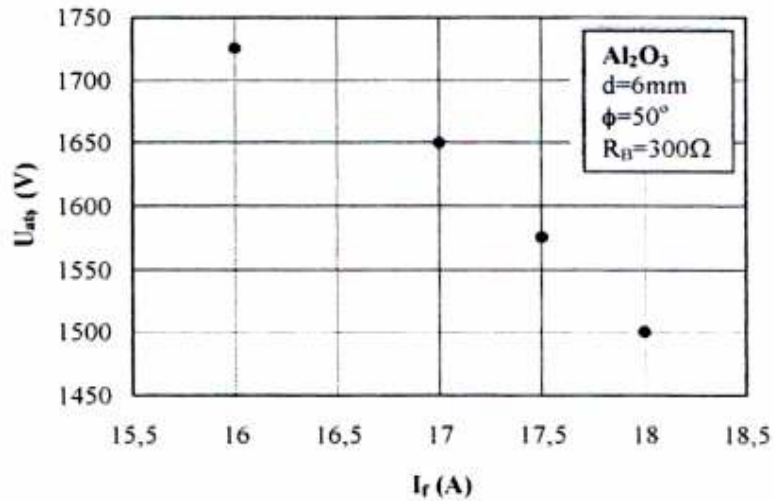
Seramikler genellikle metal ve metal olmayan elementlerin iyonsal bileşiklerinden oluşan inorganik malzemelerdir. Çoğunlukla çok sert ve çok yüksek sıcaklıklara dayanıklıdırlar. Isıl ve elektriksel yönden yalıtandırlar. Metallerden hafif, sürtünme katsayıları düşük ve oksitlenmeye karşı dirençleri yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı uçak ve uzay endüstrisinde büyük ölçüde kullanılmaktadırlar. Piezoelektrik ve süperiletkenlik özelliklere sahip olduklarından elektronik endüstrisinde kullanılmaktadırlar. Seramikler, geleneksel seramikler ve ileri teknoloji seramikleri olarak iki ana grupta incelenebilirler. Geleneksel seramikler; kil, kaolen ve feldispat gibi minerallerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile elde edilirler. Bileşiklerinde değişik türde silikatlar, alüminatlar ve metal oksitleri bulunur. Cam, tuğla, kiremit, aşındırma tuzlan, porselen ve beton gibi malzemeler bu guruba girerler, ileri teknoloji seramikleri genellikle saf bileşikler olup, başlıca oksitler, karbürler ve nitrürlerden oluşurlar. Erime sıcaklıkları 2400 K'nin üzerinde olduğundan, yüksek sıcaklığa ve aşınmaya karşı dayanıklılık gerektiren yerlerde kullanılırlar. Örneğin  $ZrO_3$  (Zirkonya). Soğutma ve yağlama gerektirmeyen motor parçalarının üretilmesinde,  $B_4C$  (Boron karbür) kurşun geçirmez gömlek yapımında kullanılır.

$Al_2O_3$  (Alumina) erime sıcaklığı çok yüksek (2700 K) olan ileri teknoloji seramiklerindedir. Alumina; kesici cihaz ve takımlar, protez yapımı, entegre devre, gaz lazer tüpleri, yüksek sıcaklık ve yüksek voltaj yalıtkanları, balistik zırhlar, termometre sensörleri, öğütücü, sıkıştırıcı ve bileme ortamları, fırın içi yalıtımı ve vida yivi gibi çok farklı amaçlar için kullanılmaktadır (Akan, 2003 a). Şekil 3.9'da  $Al_2O_3$

TVA deşarjının maksimum deşarj akımının katot filament ısıtma akımı ile değişimi ve Şekil 3.10'da  $\text{Al}_2\text{O}_3$  TVA deşarjının ateşleme voltajının katot filament ısıtma akımı ile değişimi verilmiştir.



Şekil 3.9  $\text{Al}_2\text{O}_3$  TVA deşarjının maksimum deşarj akımının katot filament ısıtma akımı ile değişimi (Akan, 2003).



Şekil 3.10  $\text{Al}_2\text{O}_3$  TVA deşarjının ateşleme voltajının katot filament ısıtma akımı ile değişimi (Akan, 2003)

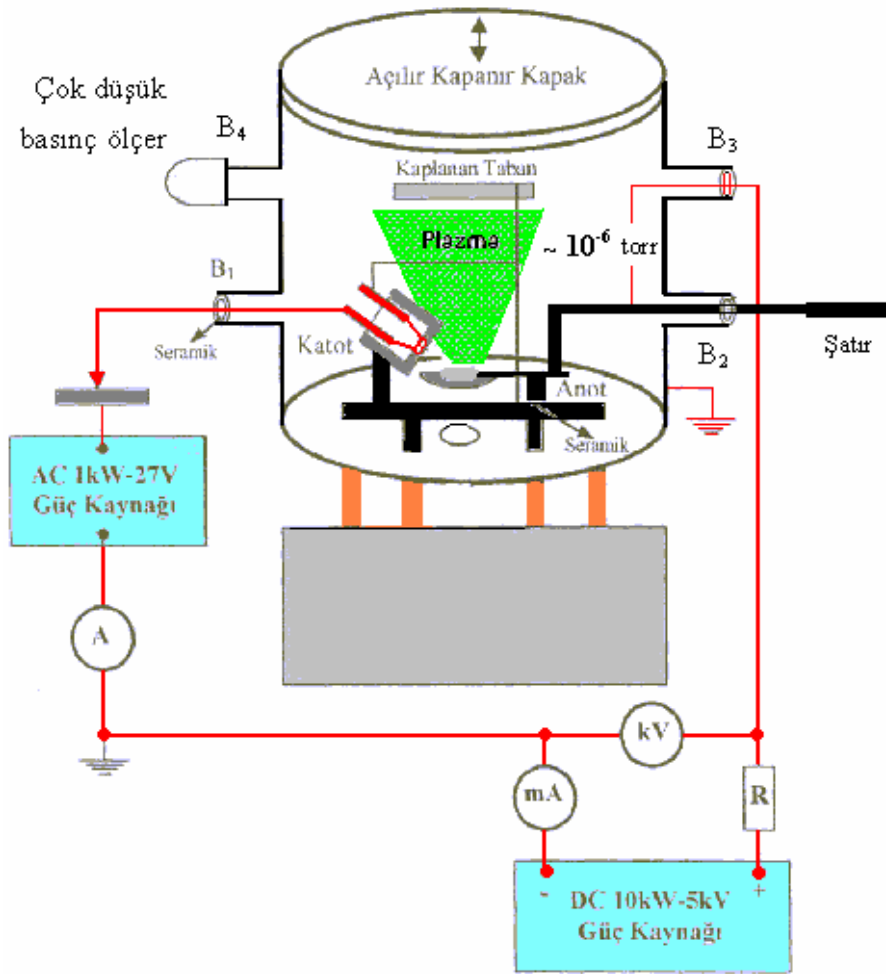
## 4. DENEYSEL KISIM

### 4.1 Giriş

Termoniyonik Vakum Ark (TVA) yöntemi ile üretilen Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katmanlı kompozitinin akım-voltaj karakteristikleri, depolama oranı, Elektron Mikroskop Görüntüsü (SEM) ve Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektroskopisi (EDS) görüntüleri ve sertlik ölçümleri incelenmiştir.

### 4.1 Deneysel Sistem

Katmanlı kompozit üretmek için kullanılan sistem Şekil 4.1'deki gibi şematize edilmiştir.



Şekil 4.1 Termoniyonik Vakum Ark sisteminin şematik gösterimi (Demirkol, 2004).

Bu şekil üzerinde TVA'nın elektrotları ve bu elektrotların içine yerleştirildiği vakum odası, elektrotlara enerji sağlayan güç kaynakları ve bağlantıları ve TVA'nın elektriksel parametrelerinin ölçüldüğü ampermetre ve voltmetre birlikte gösterilmiştir. Sistem başlıca vakum ünitesi, plazma reaktörü ve güç kaynağı kısmından oluşmuştur.

## 4.2 Plazma Reaktörü

Şekil 4.1'de gösterilen plazma reaktörü 415 mm yüksekliğinde, 445 mm çapında ve 5 mm kalınlıkta paslanmaz çelikten yapılmış bir silindiridir. Bu vakum odasının üst kısmında silindir ile aynı çap ve 20 mm kalınlıkta bir vinç yardımıyla açılıp kapanan bir dairesel kapak vardır. Bu kapak ile vakum odası arasında, vakum tutuculuğu sağlayan özel lastik (O-ring) vardır. Bu kapak yardımıyla tabla üzerine monte edilmiş taşınabilir elektrotlar sistemi, vakum odası içinden kolayca çıkarılıp tekrar yerine konulabilmektedir. Vakum odasının yanlarında 45 mm çapında ve özel tutucularla kapakları tutturulmuş 4 tane boşluk vardır. Bu boşluklardan B<sub>1</sub> ile numaralandırılan boşluktan katodun elektrik bağlantısı, B<sub>3</sub> ile numaralandırılan boşluktan anodun elektrik bağlantısı ve B<sub>4</sub> ile numaralandırılan boşluğa çok düşük basınç ölçebilen manometre yerleştirilmiştir. B<sub>2</sub> boşluğu anot olarak kullanılan ve birine gümüş diğerine Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> koyulan şatır ile döndürülebilen iki pota vardır. Simetriden dolayı bir tanesi gösterilmiştir. Bu işlem daha yüksek tutunmaya sahip filmlerin üretimi için yapılacaktır. Bununla birlikte vakum odasının ön kısmında 50 mm çapında, arka ve alt kısmında ise 80 mm çapında üç boşluk daha vardır. Arkada bulunan boşluğa vakum sistemi bağlanılmıştır. Ön kısımdaki boşluğa bir cam yerleştirilerek vakum odasının içinin deney sırasında gözlenebilmesi sağlanmıştır. Şekil 4.2 'de TVA' ın önden çekilmiş fotoğrafı verilmiştir (Demirkol, 2004).





**Şekil 4.2** TVA sisteminin önden görünüşü

### 4.3 Vakum Ölçüm Cihazları

Plazma reaktörünün basıncı Edwards marka Active Pirani Gauge APG-M model düşük basınç manometresi (Şekil 4.6.a) ve Edwards marka Active Inverted Magnetron Gauge AIM-S model çok düşük basınç ölçebilen manometre ile ölçülür. Her iki manometrede 3 girişli Edwards marka Active Gauge Controller AGC Single Display (Şekil 4.6.b) model dijital basınçölçere bağlıdır. Bu basınçölçerde bu iki manometre ayrı ayrı gözlenebilmektedir. Düşük basınç manometresi  $10^{-3}$  mbar a kadar düşük basınçları, diğer manometre ise  $10^{-3}$  ile  $10^{-6}$  mbar arasındaki çok düşük basınçları ölçebilmektedir.



Şekil 4.3 TVA sisteminin dijital 3 girişli basınçölçer monitörü.

#### 4.2.1 Vakum Pompaları

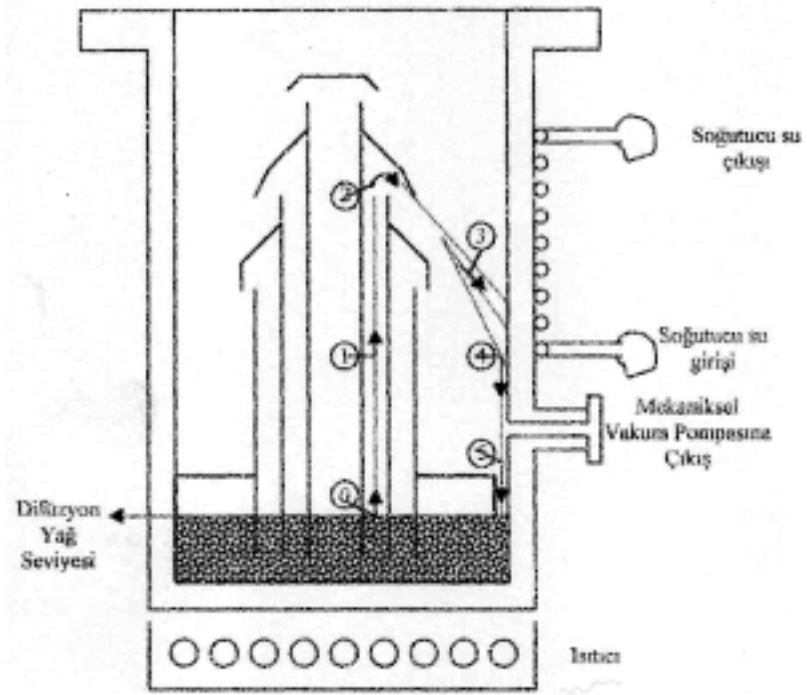
**4.2.1.a Mekanik Pompa :** Plazma reaktörünün vakumlanması için ilk olarak pompa devreye girer. Mekanik pompa RV3 model Edward marka ve 3.7 m<sup>3</sup>/h pompalama hızına sahip Şekil 4.4 de gösterilen cihazdır.



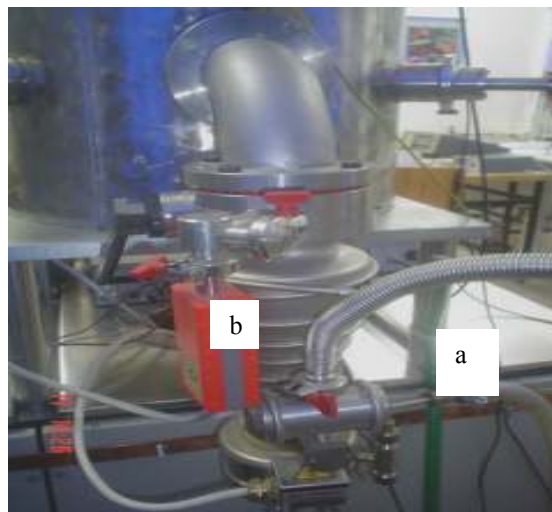
Şekil 4.4 TVA sisteminin mekanik pompası.

**4.2.1.b Difüzyon Pompası :** Buhar pompası da denilen, difüzyon pompası yalnızca çıkışındaki basınç  $10^{-1}$  torr dan daha küçük ise çalışabildiği için, difüzyon pompasının çıkışı mekanik vakum pompasının girişine bağlanır. Önce mekanik pompa çalışır ve basınç  $10^{-1}$  torr dan daha küçük bir değere geldiği andan itibaren difüzyon pompası devreye sokulur.

Bu pompanın çalışma prensibi Şekil 4.5 kullanılarak açıklanabilir. Pompa üç evrelidir. Pompanın nasıl çalıştığının açıklanması simetri nedeni ile yalnızca bir evre için verilmiştir.



Şekil 4.5 Difüzyon pompanının şematik gösterimi (Demirkol, 2004).



Şekil 4.6 TVA sisteminin difüzyon pompanı a) difüzyon pompanı b) düşük basınç manometresi

#### 4.4 Güç Kaynağı

TVA için aynı pano üzerine yerleştirilmiş iki elektriksel güç kaynak kullanılmıştır. Bunlardan birincisi dc, 0-5 kV ve 10 kW kapasiteli ayarlanabilir çıkış voltajlı (varyaklı) yüksek voltaj güç kaynağı, ikincisi ise 1 kW kapasiteli, ve 27 V ac ayarlanabilir çıkış voltajlı (varyaklı) düşük voltaj güç kaynağıdır. Yüksek voltaj güç kaynağı elektrotlar arasına yüksek voltaj uygulamak için kullanılır.

Düşük voltaj güç kaynağı filament üzerinden akımı geçirerek, filamentin ısınarak elektron emisyonu yapması için kullanılır.

Yüksek voltaj güç kaynağı trafoları ile birlikte düşük voltaj güç kaynağı aynı pano içine yerleştirilmiştir. Bu pano üzerinde her iki kaynağın açma kapama düğmeleri, sigortaları ve uygulama voltajlarının kademe kademe arttırılabildiği varyakları bulunmaktadır.

Şekil 4.1' de TVA için tüm elektriksel bağlantılar şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 4.1' de görüldüğü gibi vakum odasının kendisi toprak olarak kullanılmıştır. Katot filamentinin bir ucu elektrotlar sisteminin bulunduğu tablaya bağlanmıştır ve elektrotlar sisteminin üzerinde bulunduğu tabla, vakum odasının tabanına değmektedir ve izole edilmemiştir. Bu şekilde katot, toprak potansiyelinde tutulmuştur. Vakum odasının kendisinin toprak olarak kullanılması çok önemli bir avantajdır. Çünkü elektrotlar arasında meydana gelen plazma, katot potansiyelinden yani toprak potansiyelinden daha yüksek voltajdadır. Toprak olarak da vakum odasının kendisinin kullanılması nedeni ile elektrotlar arasındaki plazma, vakum odası içinde her yöne kolayca yayılabilmektedir. Böylece plazma içindeki iyonlar, ayrı bir hızlandırıcı ve yönlendirici kaynak kullanılmadan vakum odasının çeperlerine doğru yönlendirilmiş ve hızlandırılmış olmaktadır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken bir durum vardır. Katoda güç kaynağı ile dışarıdan akım verilirken ve anoda yüksek voltaj uygularken, katot ve anot bağlantılarının vakum odasına kısa devre yapmaması için, vakum odasına temas etmeleri önlenmelidir. Bu nedenle anot ile katodun elektriksel bağlantılarının

vakum odası ile temasını önlemek için, vakum odasına girdikleri bölge seramik yalıtkanlar ile yalıtılmıştır.

Şekil 4.1 'de gösterilen deneysel düzenekte  $300\Omega$  ve 2A akım taşıyabilen, akım ayarlayıcı  $R_b$ , direnci (balast direnç) kullanılmıştır. Akım ayarlayıcı direnç, deşarj sistemlerinde mutlaka kullanılmalıdır. Çünkü deşarj sırasında plazmanın direnci sıfıra yaklaşır ve akım birden çok yüksek değerlere çıkar. Bu sırada kullanılan ampermetrenin maksimum değerleri aşılarak ya da güç kaynaklarının maksimum verebildikleri akımdan fazlası çekilerek, ampermetrenin ve güç kaynaklarının yanmasına neden olunabilir. Bu sebeple TVA sisteminde de bir akım ayarlayıcı direnç kullanılmıştır. Bununla birlikte TVA deşarj içinden geçen akımın okunması için analog A ampermetresi ve TVA deşarj üzerindeki potansiyel farkının ölçülmesi için analog V voltmetresi kullanılmıştır. Kullanılan ampermetre ve voltmetrede yüksek akım ve yüksek voltaj değerlerinin okunabilmesi için uygun direnç eklemeleri yapılmıştır. Direnç bölücü devrelerle yapılan voltmetre iki kademeli çalışabilmektedir. Düşük voltajların ölçüldüğü birinci kademede maksimum 1200V, yüksek voltajların ölçüldüğü ikinci kademede maksimum 6000V ölçülebilmektedir (Demirkol, 2004).



Şekil 4.7 TVA sisteminin güç kaynağı.

## 5. DENEYİN YAPILIŞI

### 5.1 Giriş

TVA sistemiyle katmanlı kompozit materyal oluşturulurken cam materyal üzerine sıra ile farklı kalınlıklarda Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanarak 4 farklı numune elde edilmiştir. Çift potalı anot sisteminde bir potaya Ag, diğer potaya Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yerleştirilir. Kaplamaya ilk olarak gümüş ile başlandı. Gümüş buharı deşarjı sağlanarak, kaplamada istenilen kalınlık elde edilince deşarj, uygulanan potansiyel farkı sıfırlanarak sonlandırılır. Aynı işlem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için de tekrarlandı. Numuneler istenilen toplam kalınlığa ulaşınca dek, sırası ile Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Ag kaplandı. Kaplama yapılırken tabakaların kalınlığının Cressington MTM-10 High Resolution Thickness Monitors cihazı ile kaplama anında ölçümü yapılmıştır. Elde edilen bu numunelerin tabaka kalınlıkları Tablo 5.2, 5.3, 5.4 ve Tablo 5.5’ de ve katmanlı kompozit malzeme üretilirken uygulanan plazma parametreleri Tablo 5.1 de verilmiştir.

**Tablo 5.1** TVA sistemiyle yapılan Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakalı kompozit malzemenin plazma parametreleri

I <sub>f</sub> (A)	I <sub>D</sub> (A)	I <sub>V</sub> (V)	P (mbar)	$d_{Al_2O_3}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$d_{Ag}$ (g/cm <sup>3</sup> )
20	250	0,4	9.10 <sup>-5</sup>	3,58	10.5

I<sub>f</sub>: Filament akımı

P: Basınç

$d_{Al_2O_3}$  : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’ün özkütlesi

$d_{Ag}$  : Ag’nin özkütlesi

I<sub>D</sub>: Deşarj akımı

I<sub>V</sub>: Deşarj Voltajı

1 Nolu Numune için TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları Tablo 5.2'de gösterilmiştir. İlk ve son tabaka olarak seçilen gümüş 200 nm kalınlıklarda kaplanmıştır. Ara bölgedeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 60 nm Ag: 50 nm olarak TVA sistemi ile kaplama esnasında kalınlık kontrolü ile gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5.2** TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları

Materyal	Kalınlık
Ag	200 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60 nm
Ag	54,3 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60,3 nm
Ag	50,1 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	63,8 nm
Ag	49,2 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	60 nm
Ag	56,6 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	73 nm
Ag	53,7 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	65,5 nm
Ag	47,5 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	71 nm
Ag	44 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	72 nm
Ag	50,2 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56 nm
Ag	194,7 nm
<b>Toplam Kalınlık : 1381,9 nm</b>	

2 Nolu Numune için TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları Tablo 5.3'de gösterilmiştir. İlk ve son tabaka olarak seçilen gümüş 200 nm kalınlıklarda kaplanmıştır. Ara bölgedeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 100 nm Ag:100 nm olarak TVA sistemi ile kaplama esnasında kalınlık kontrolü ile gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5.3** TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları

Materyal	Kalınlık
Ag	200 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	133 nm
Ag	100 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	109 nm
Ag	99,5 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	114 nm
Ag	108 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	106,5 nm
Ag	105 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	136 nm
Ag	197 nm
<b>Toplam Kalınlık : 1408 nm</b>	



3 Nolu Numune için TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları Tablo 5.4'de gösterilmiştir. İlk ve son tabaka olarak seçilen gümüş 200 nm kalınlıklarda kaplanmıştır. Ara bölgedeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 100 nm Ag: 200 nm olarak TVA sistemi ile kaplama esnasında kalınlık kontrolü ile gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5.4** TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları

Materyal	Kalınlık
Ag	201,2 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	106, 2 nm
Ag	199,5 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	103,4 nm
Ag	198 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101 nm
Ag	196,4 nm
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101,4 nm
Ag	200 nm
<b>Toplam Kalınlık: 1407,1 nm</b>	

4 Nolu Numune için TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları Tablo 5.5'de gösterilmiştir. İlk ve son tabaka olarak seçilen gümüş 200 nm kalınlıklarda kaplanmıştır. Ara bölgedeki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 200 nm Ag: 200 nm olarak TVA sistemi ile kaplama esnasında kalınlık kontrolü ile gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5.5** TVA sistemiyle elde edilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitinde Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün tabaka kalınlıkları

Materyal	Kalınlık
Ag	199,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	204,2
Ag	200,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	202,5
Ag	201,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	205
Ag	199,7
<b>Toplam Kalınlık : 1412,7 nm</b>	

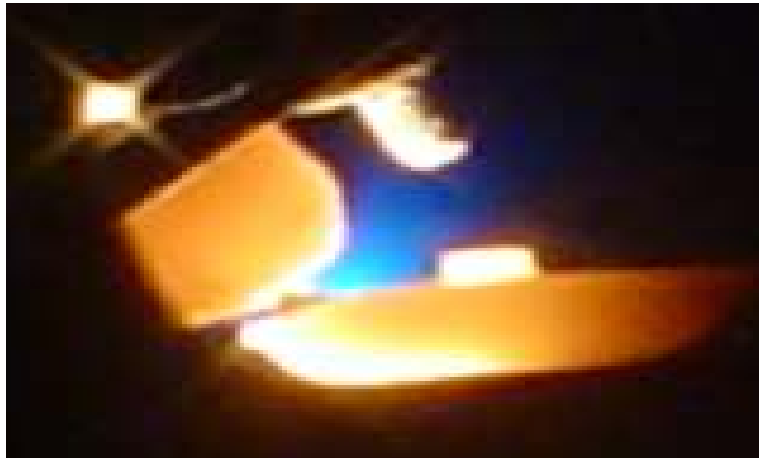
## 5.2 DENEYSEL SONUÇLAR

### 5.2.1 Termiyonik Vakum Ark Sistemiyle Oluşturulan Gümüş Ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün Plazmaları

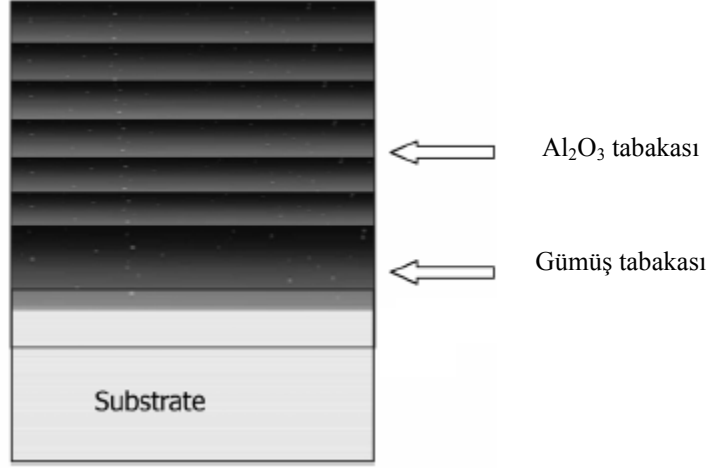
TVA ile üretilen tabakalı kompozit malzemenin deney esnasında görülen gümüş ve alumina plazmalarının fotoğrafları Şekil 5.1 ve Şekil 5.2' de verilmiştir.



Şekil 5.1 Gümüş materyalinin TVA sistemiyle oluşturulan plazma hali.



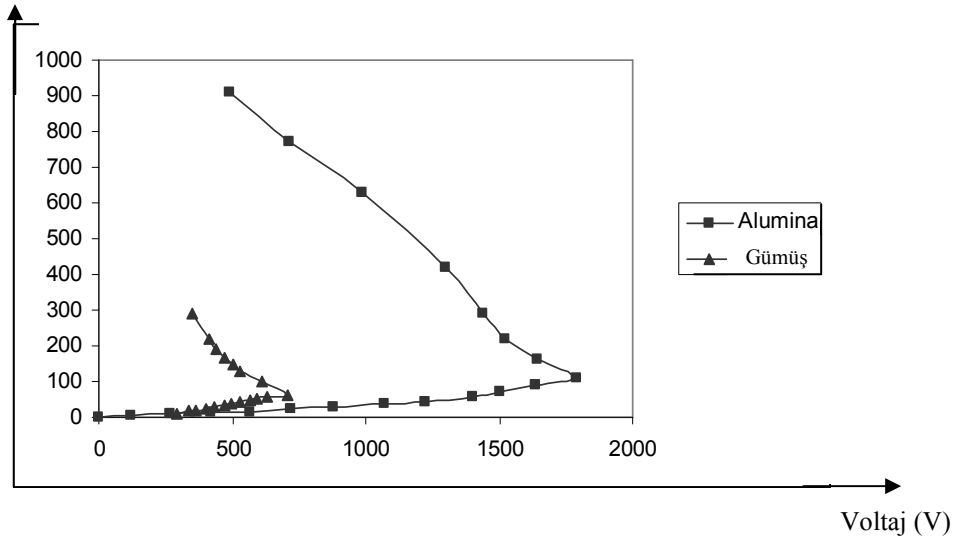
Şekil 5.2 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> materyalinin TVA sistemiyle oluşturulan plazma hali.



Şekil 5.3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ag tabakalı kompozitinin şematik gösterimi (Akan, 2003).

### 5.2.2 Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plazmalarının Akım- Voltaj Karakteristikleri

Akım (mA)

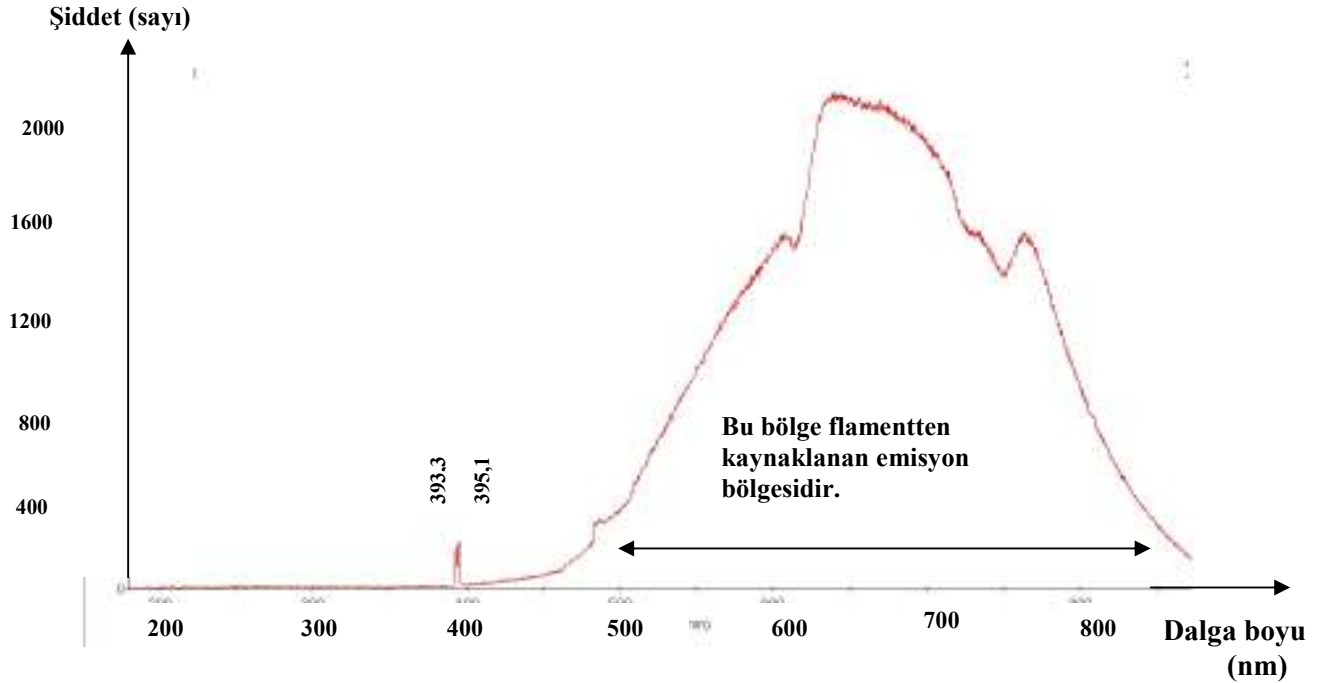


Şekil 5.4 Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> plazmaları için Akım- Voltaj karakteristikleri.

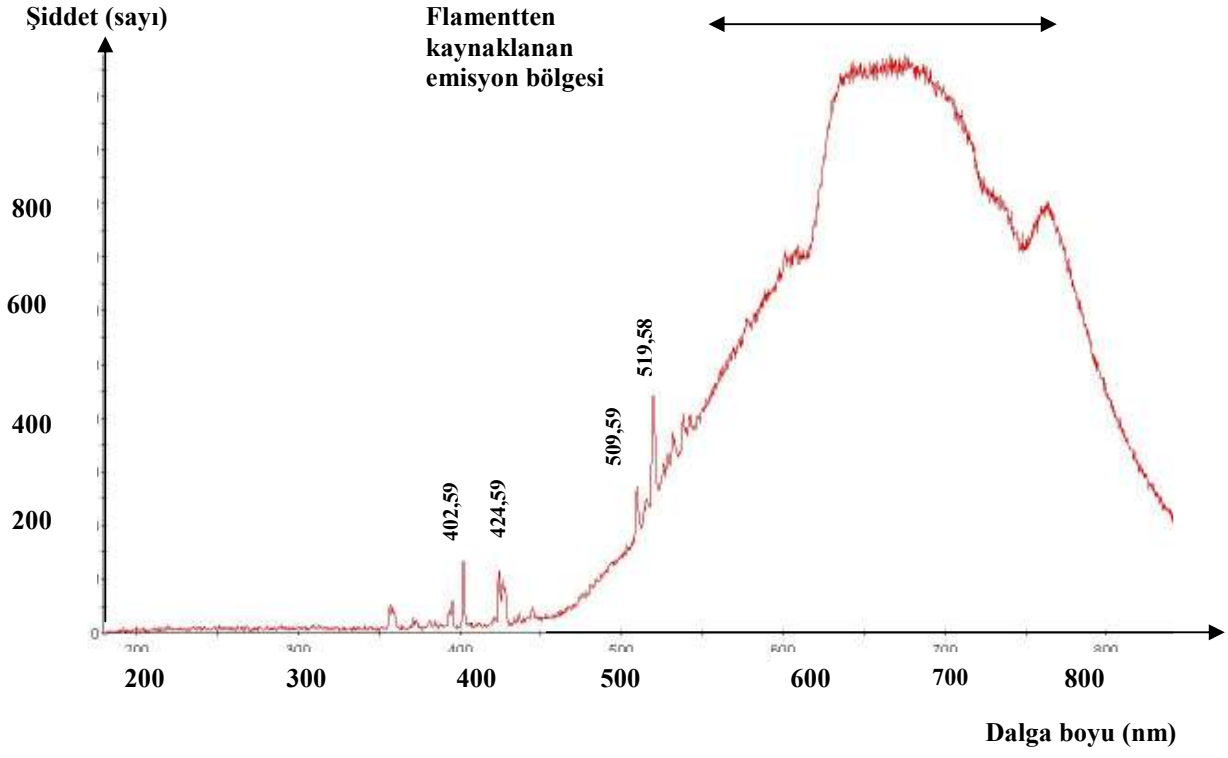
Şekil 5.4 nano katmanlı kompozit üretilirken elde edilen Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> materyalleri için akım-voltaj karakteristikleri görülmektedir. Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için akım-voltaj karakteristikleri birbirine benzerdir. Sadece ark deşarj oluşum için gerekli olan plazmaya geçiş voltajları yani ateşleme voltajları arasında farklılık söz konusudur. Ateşleme voltajının farklı olmasının sebebi ise kullanılan materyalin erime noktalarının farklı olmasındandır.

### 5.2.3 Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Plazmalarının OES Spektrumları

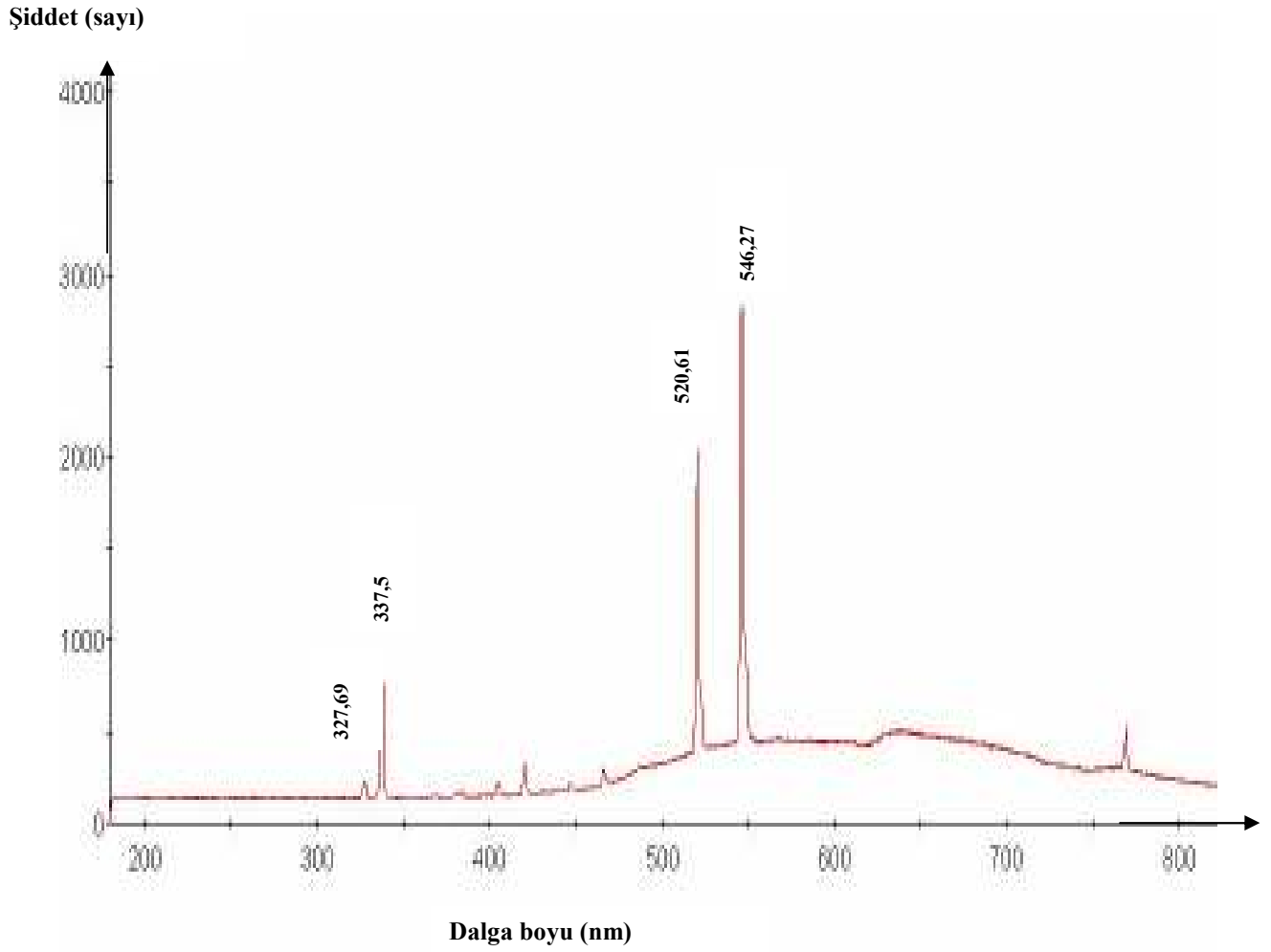
Optik Emisyon Spektroskopisi (OES) plazmada yayınlanan ışığın spektral analizidir. OES plazmalarda ve plazma kaynaklarında optik spektrumların farklı tiplerinde UV' den IR' ye kadar olan bölgede (200nm-850nm) analiz yapılarak gerçekleştirilir. Şekil 5.5, 5.6, 5.7 de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Ag'nin Optik Emisyon Spektroskopileri verilmiştir.



Şekil 5.5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'ün Optik Emisyon Spektroskopisi.



Şekil 5.6  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün Optik Emisyon Spektroskopisi



Şekil 5.7 Ag'nin Optik Emisyon Spektroskopisi (Pat et al., 2005).

#### 5.2.4 Depolama Oranı

Termiyonik vakum ark (TVA) ile cam taban üzerine üretilen Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> katmanlı kompozit malzemenin plazma depolama oranları aşağıda verilmiştir.

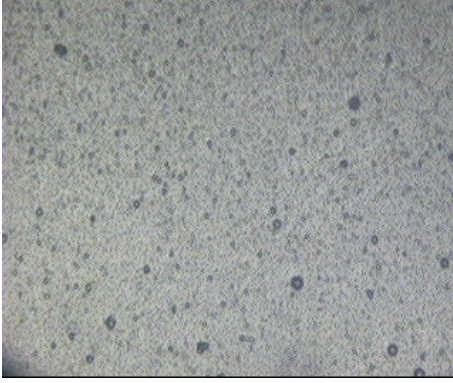
$I_D = 1 \text{ A}$  ,  $I_f = 20 \text{ A}$  için elde edilen;

Ag depolama oranı: 2 nm/s

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> depolama oranı: 1,7 nm/s şeklindedir.

### 5.2.5 Optik Mikroskop Görüntüleri

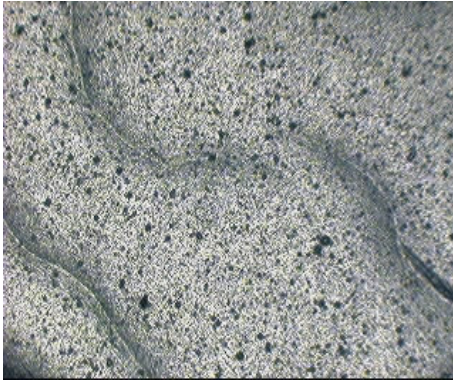
$Al_2O_3 - Ag$  kompozitinin yüzey görüntüleri 1 ½ inç kamera ve 40x objektifli metalürjik optik mikroskop ile alınmıştır. Bu görüntülerden elde edilen kompozitlerin yüzeyde homojen bir dağılım sergiledikleri görülmektedir.



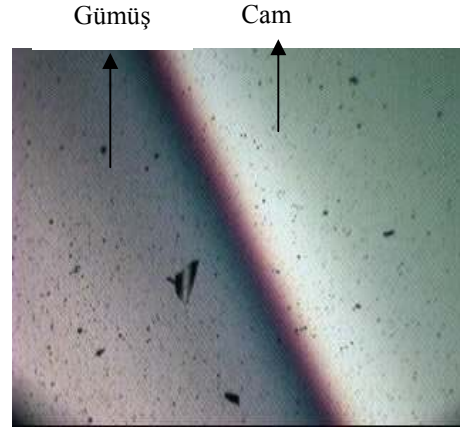
(a) Gümüş-alümina kompozitinin alümina yüzeyi



(b) Gümüş-alümina kompozitinin yeşil filtrede alınan alümina yüzeyi



(c) Gümüş-alümina kompozitinin gümüş yüzeyi



(d) Gümüş-alümina kompozitinin gümüş yüzeyi

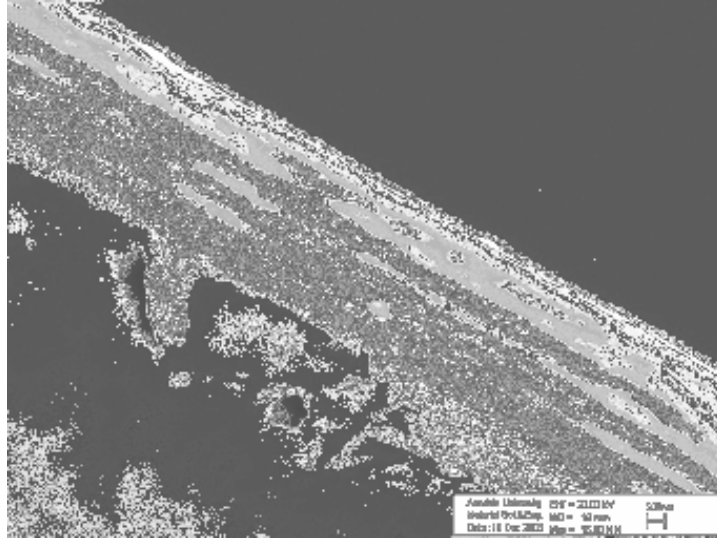
Şekil 5.8 1 ½ inç kamera ile 40x objektifle alınan yüzey görüntüleri



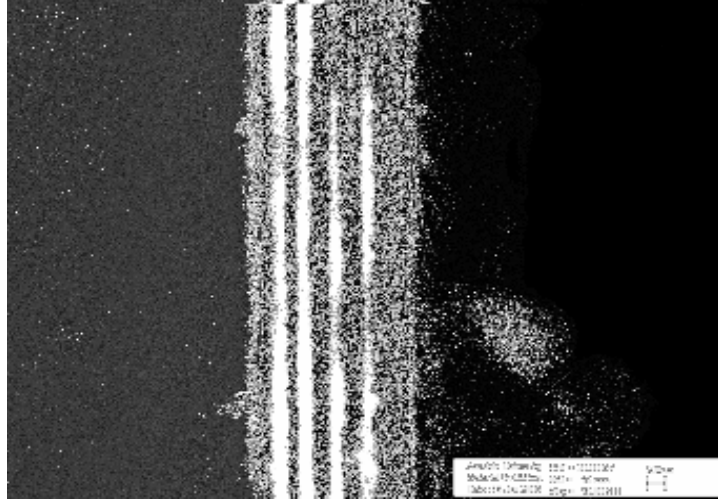
Optik Mikroskop görüntülerine bakıldığında, kaplamaların kalınlık ve yüzeysel dağılım olarak homojen olduğu görülmektedir. Şekil 6.2.a' da diğer görüntülerde göze çarpmayan dislokasyonlar mevcuttur. Buna neden olarak, kaplamanın bu bölgelerde zayıfladığı söylenebilir. Bunun, deney esnasındaki potalara materyal ekleme işleminden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bir başka neden de, üst üste yapılan kaplamalar sonucu film yüzeyinde meydana gelen gerilmeler olabilir. Bu gerilmeler uygun bir tavlama süreci ile ortadan kaldırılabileceği tahmin edilmektedir.

### 5.2.6 Elektron Mikroskop Görüntüleri

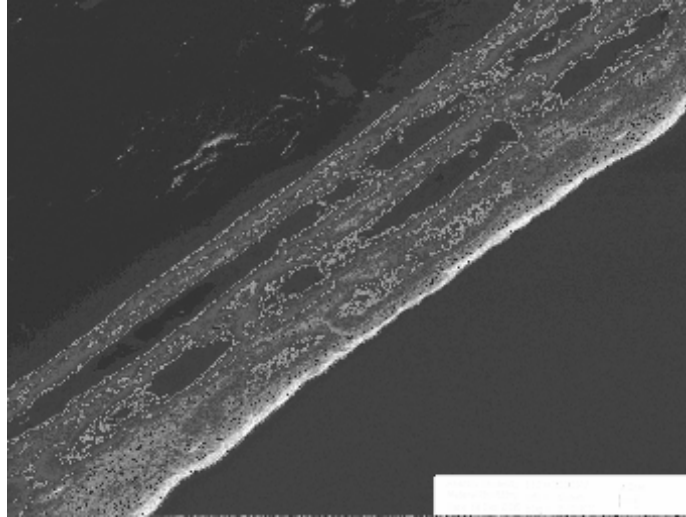
Yapılan kompozitin Zeiss 50 VP Supra görüntü analizörü ile elektron mikroskop görüntüleri alınmıştır. Bu görüntülerden kompozitin nano katmanlı bir yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 5.9, 5.10'da verilen kompozitin tabaka kalınlıkları 3 nolu numune için Ag : 200 nm ve alumina :100 nm ve 4 nolu numune için Ag: 200 nm alumina :200 nm 'dir.



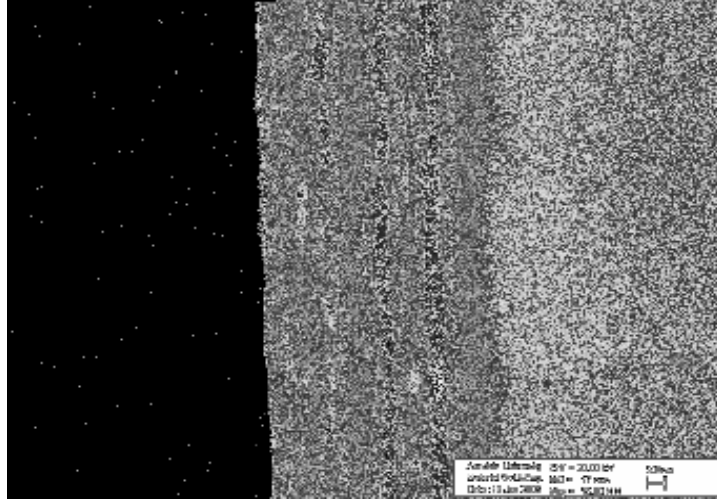
**Şekil 5.9** 3 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü



**Şekil 5.10** 3 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütme geri yansımali elektron mikroskop görüntüsü



**Şekil 5.11** 4 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütme elektron mikroskop görüntüsü



**Şekil 5.12** 4 nolu Gümüş-Alumina kompozitin 15.000 büyütmeli elektron mikroskop görüntüsü.

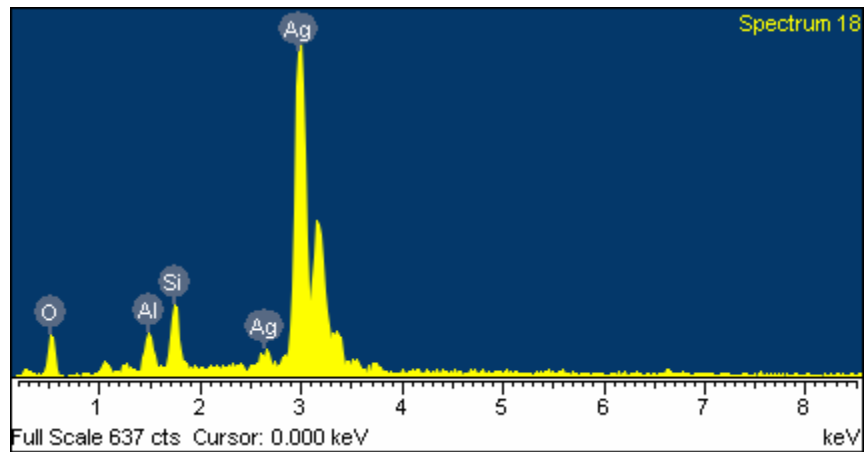
### **5.2.7 EDS (Enerji Dağılımlı X-ışınları Spektroskopisi) Sonuçları**

Yapılan kompozitin Oxford Instruments analizörü ile EDS (Energy Dispersive x-ray Spectroscopy) görüntüleri alınmıştır.

EDS ve elementel analiz sonuçlarına bakıldığında üretilen malzemenin gümüş tabakalarında Ag, alumina tabakalarında ise alüminyum ve oksijen ağırlıklı olduğu görülmektedir. Analizlerde çıkan Si cam tabandan gelmektedir. Bu sonuçlara göre üretilen Ag- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozit malzemenin yüksek saflıkta olduğunu söyleyebiliriz.

**Tablo 5.6** 3 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının elementel analiz sonuçları.

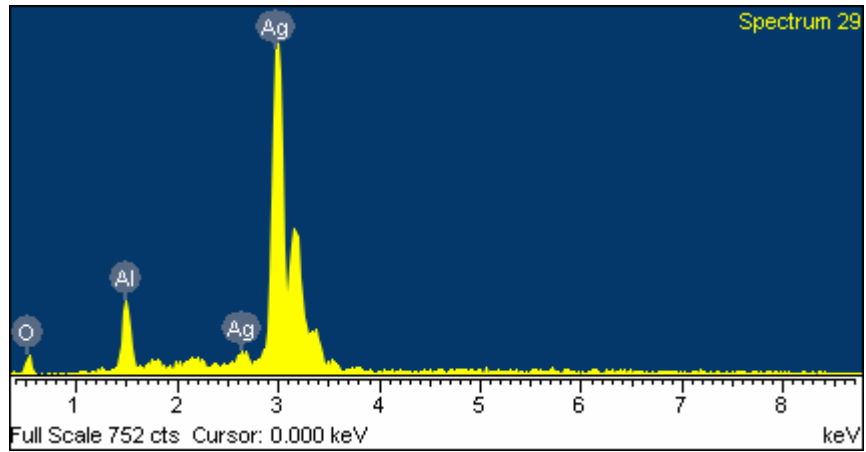
Element	Ağırlık %	Atomik %
O K	23.74	62.23
Al K	2.95	4.58
Si K	4.25	6.34
Ag L	69.06	26.85
Toplam	100.00	



**Şekil 5.13** 3 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının EDS analizi.

**Tablo 5.7** 3 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının elementel analiz sonuçları.

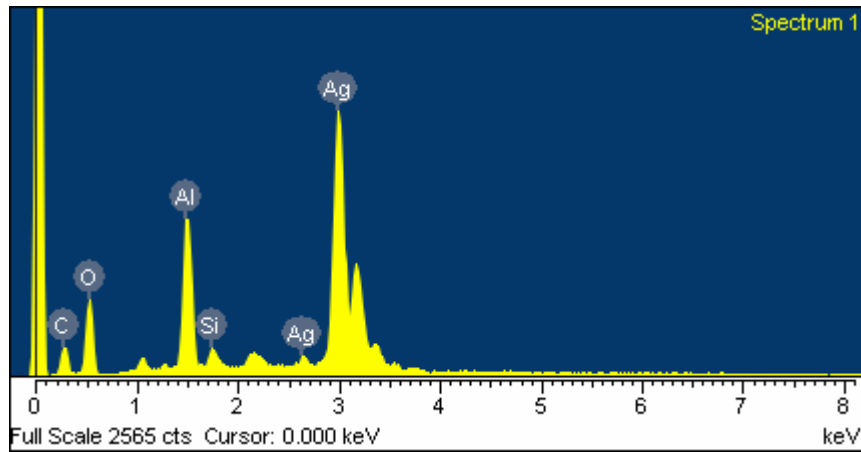
Element	Ağırlık%	Atomik%
O K	14.00	47.18
Al K	6.09	12.17
Si K	0.50	0.96
Ag L	79.41	39.70
Toplam	100.00	



**Şekil 5.14** 3 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının EDS analizi.

**Tablo 5.8** 4 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının elementel analiz sonuçları.

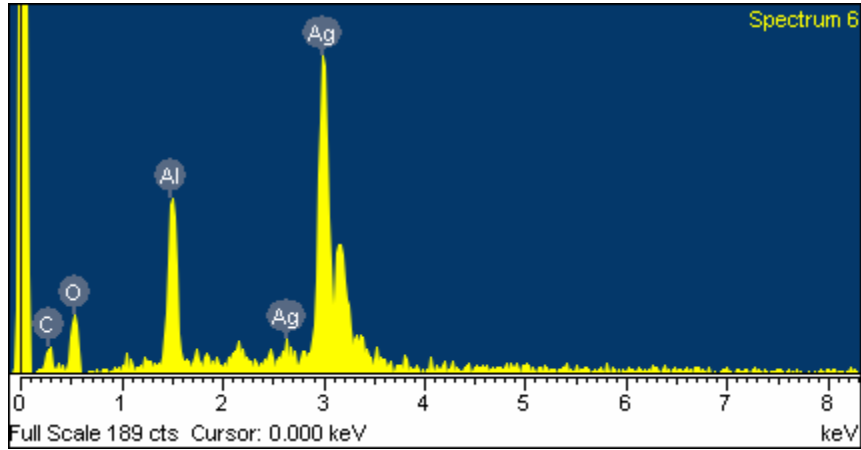
Element	Ağırlık%	Atomi%
O K	35.38	70.11
Al K	11.26	13.23
Si K	1.17	1.32
Ag L	52.19	15.34
Toplam	100.00	



**Şekil 5.15** 4 nolu alumina-gümüş kompozitin gümüş tabakasının EDS analizi.

**Tablo 5.9** 4 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının elementel analiz sonuçları.

Element	Ağırlık%	Atomik%
O K	31.63	67.05
Al K	11.87	14.92
Si K	0.29	0.35
Ag L	56.22	17.68
Toplam	100.00	



**Şekil 5.16** 4 nolu alumina-gümüş kompozitin alumina tabakasının EDS analizi.

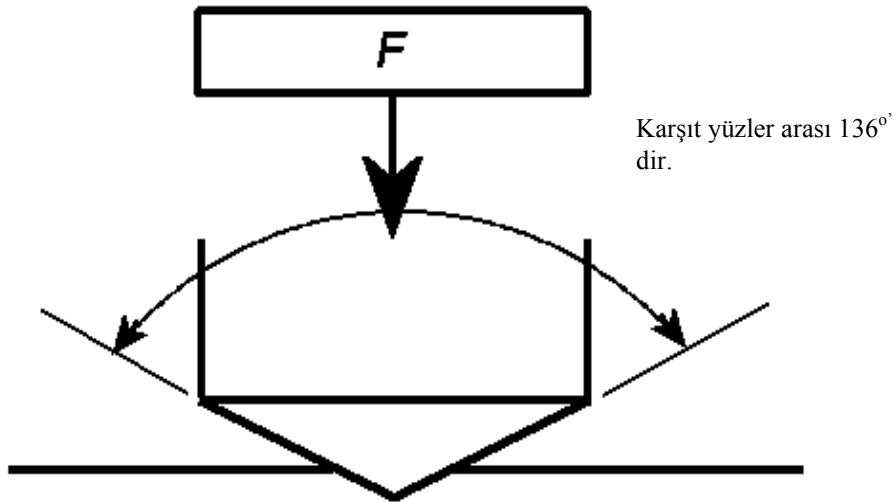
## 5.2.8 Ag ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 'ün Mikroizsertlik Ölçüm Sonuçları

### 5.2.8.1 Vickers Cinsinden Sertlik Ölçüm Yöntemleri

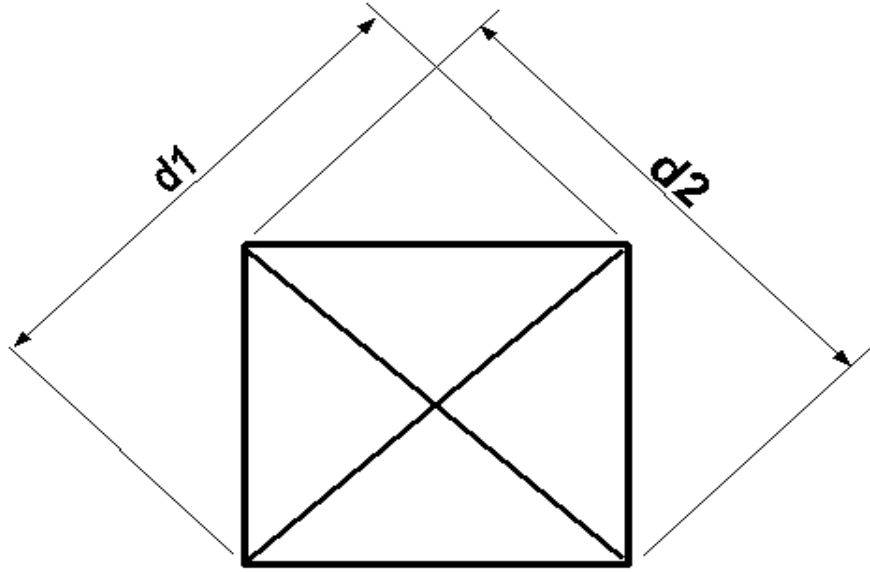
'Mikro iz' sertliği terimi belki daha iyi bir tanımlama olacaktır. Mikrosertlik ölçümlerinin birçoğunda 2 kg veya daha az yük uygulanmaktadır.

Vickers microsertlik ölçme 1925 yılında İngiltere'de geliştirilmiştir. Şekil 6.11 de tipik bir Vickers izini göstermektedir. Vickers ayrıca 'elmas pramit2 olarak da isimlendirilir.

Vickers izinin geometrisi geleneksel 'makro' Vickers sertlik ölçümlerinde kullanılanlar ile aynıdır. Şekil 6.11 Vickers izi için bir şema göstermektedir. Uygulanan yükün oluşturduğu derinlik köşegenin 1/7'si kadardır (<http://www.gordonengland.cu.uk>).







Şekil 5.17 Vickers izi geometrisi (<http://www.gordonengland.co.uk>).

F; kgf cinsinden yük, d; mm cinsinden  $d_1$  ve  $d_2$  diagonallerinin aritmetik ortalaması

HV, Vickers cinsinden sertlik değeri;

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136}{2}}{d^2} \quad HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \quad (6.1)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır (<http://www.gordonengland.co.uk>)

### 5.2.8.2 Vickers Mikroizsertlik Ölçüm Sonuçları

Pulslu plazma ile elde edilen  $Al_2O_3$ -Ag ile kaplanmış olan numuneler HMV-2000 shimadzu Mikrosertlik Cihazı ile 25 gr'lık yük ile 20 saniye işleme tabi tutularak denklem 6.1 yardımı ile hesaplanmıştır.  $Al_2O_3$  – Ag materyalinin tabaka kalınlığı tablo 7.1' de verilmiştir.

**Tablo 5.10 :** Sertlik ölçümü yapılan materyalin tabaka kalınlıkları.

Materyal	Tabaka kalınlığı	Materyal	Tabaka kalınlığı	Materyal	Tabaka kalınlığı
Ag	200	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	103,8	Ag	100,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	97,3	Ag	101	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	107
Ag	98,6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	114	Ag	101,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,1	Ag	99	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	111
Ag	98,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	120	Ag	96,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	99,3	Ag	99,3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102
Ag	99,4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	109,5	Ag	106

Materyal	Tabaka kalınlığı	Materyal	Tabaka Kalınlığı
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	102,1	Ag	313
Ag	103,2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	310
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	90	Ag	302
Ag	201,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	307,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	120,5	Ag	301,3
Ag	100	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	500
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	300,1	Ag	305,2

**Tablo 5.11:** Esas malzemenin sertlik ölçüm sonuçları.

Parametre grubu	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
D <sub>1</sub>	23.0	23.0	22.4	21.9
D <sub>2</sub>	23.0	23.0	22.7	22.6
D	23,0	23,0	22.55	22.25
HV	330	338	364	374
<b>Ortalama sertlik: 351,5 HV</b>				

**Tablo 5.12** : Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- A<sub>g</sub> ile kompoziti kaplanmış malzemenin sertlik ölçüm sonuçları.

Parametre grubu	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5	Test 6	Test 7	Test 8	Test 9
D <sub>1</sub>	10.1	9.5	11.1	7.8	10.6	8.7	10.7	10.8	10.6
D <sub>2</sub>	10.1	9.7	11.1	8.7	10.6	8.9	10.7	10.8	10.6
D	10.1	9.6	11.1	8.25	10.6	8.8	10.7	10.8	10.6
HV	908	1006	762	1362	825	1197	794	794	825
<b>Ortalama sertlik: 943,11 HV</b>									

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Doğrudan ısıtılan termiyonik katot kullanılarak, anot materyalinin buharlaştırılmasıyla oluşan ve saf metal buharı plazması üreten yeni tip bir plazma kaynağı olan Termiyonik Vakum Ark (TVA) sistemiyle nano-katmanlı yapıda Ag-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tabakalı kompozit malzeme üretilerek Optik mikroskop görüntüleri, OES, SEM ve EDS görüntüleri alındı.

Literatürde kompozit malzemeler, sıvı metali emdirilmesi, sıkıştırılmalı veya sıvı dökme döküm tekniği, basınçlı ve basınçsız infiltrasyon, sıvı metal karıştırması, hızlı katılaştırma yöntemi, yarı katı karıştırma, plazma sprej, toz metalürjisi tekniği, difüzyon bağlama ve vakumda presleme, sıcak presleme ve sıcak izostatik presleme yöntemleriyle üretilmektedir. Bu çalışmada ise nano katmanlı kompozit için yeni bir teknik olan TVA sistemi kullanılmıştır.

TVA ile kompozit malzeme üretmek için ilk olarak, kaplama yapacağımız Cam tabanı sisteme yerleştirilmiştir. İlk kaplama tabakası olarak gümüş metalini anot olarak kullanılan birinci potaya, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' ü ise ikinci potaya yerleştirilmiştir. Elektron tabancasına 20 amper filament akımı verildi. Anot olan potaya voltaj uygulanarak elektron bombardımanı hızlandırıldı.. Katı halde olan gümüş metali önce eriyerek sıvı daha sonra gaz en son olarakta plazma haline getirilip cam taban üzerine ilk tabaka gümüş kaplandı. Potaların bağlı olduğu şarj döndürülerek elektron tabancasının hizasına getirilen ikinci potaya da yüksek voltaj uygulanarak alüminanın plazması elde edildi ve ikinci kat kaplama yapılmış oldu. Bu şekilde sıra takip edilerek birinci numune için, ilk ve son katmanlar 200nm diğer katmanlar 50 nm olmak üzere 10 kat Ag, 60 nm olmak üzere 9 kat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ikinci numune için, ilk ve son katmanlar 200nm diğer katmanlar 100 nm olmak üzere 6 kat Ag, 100 nm olmak üzere 5 kat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, üçüncü numune için, ilk ve son katmanlar 200nm diğer katmanlar 200 nm olmak üzere 5 kat Ag, 100 nm olmak üzere 4 kat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dördüncü numune için, ilk ve son katmanlar 200nm diğer katmanlar 200 nm olmak üzere 4 kat Ag, 200 nm olmak üzere 3 kat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

kompozit materyaller üretilmiş oldu. Böylece toplam 1 mikron kalınlığında 4 tane katmanlı kompozit materyaller üretildi. Üretilen bu kompozitlerin en önemli özelliği TVA ile dışarıdan ısıtılan termiyonik katot kullanarak, anot potası içine yerleştirilen gümüş ve alüminanın saf, herhangi bir gaz yada makroparçacık içermeyen buharlarının plazması ile elde edilmesidir. TVA deşarjın breakdown koşulları ve ark voltaj dönüşümü, gazlarda meydana gelen deşarjlardan farklıdır ve en önemlisi bu yeni tip deşarjın meydana geldiği gaz (materyallerin buharı), deşarjın kendisi tarafından üretilmektedir. Aynı zamanda TVA elektrotlarının düzenlenişı bakımından basit bir sistemdir ve maliyeti düşüktür. Bununla birlikte deşarj, katot filamenti ısıtma akımı gibi çalışma parametreleri ile kontrol edilebilmektedir.

Termiyonik Vakum Ark sistemiyle üretilen kompozit malzememizin optik mikroskop görüntülerinin incelenmesiyle yüzeyin homojen bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca SEM ve EDS görüntülerine bakıldığın nano katmanlı kompozit materyallerin özellikleride incelenmiştir.

### KAYNAKLAR

- Akan T., 2003, ‘Termiyonik Vakum Ark (TVA)’ın Temel Özelliklerinin İncelenmesi’,  
Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Akan T., 2005, Maddenin dördüncü hali plazma ve temel özellikleri, Çağdaş Fizik Elektronik Dergi, sayı 4,-1-3
- Tanenbaum, B.S., 1967, Plasma Physics, Mcgraw Hill Book Comp., NewYork, 360p.
- Kikuchi, H., 1988, Laboratory and space plasmas, springer, 657p.
- Gülseven Y., 2003, ‘Glow Deşarjın Radyal Optik Emisyon Spektroskopisinin Belirlenmesi’, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Grill, E., 1993, Cold plasma in materials fabrication, IEEE press, NewYork, 256p
- Eroğlu, Ş., 2004, seramik Kaplama Üretim ve Tanımlama Teknikleri, Teknoloji Tanıtım Konferansı, Gebze/KOCAELİ.
- Roth, J.R., 1995, Industrial Plasma Engineering Volume I, IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 538p
- Şahin, Y., 2000, Kompozit, Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi, Ankara.

### KAYNAKLAR (Devam)

- Demirkol S., 2004, ‘ Termiyonik Vakum Ark (TVA) Sistemiyle Nano Katmanlı Yapıda Ag-AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Tabakalı Kompozit Malzeme Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi’, Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Gül, F., 1999, Seramik Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri ve Özellikleri, M:Ü Fen Bilimleri Dergisi Sayı15, 101-113s.
- Ersoy H.Y., 1992, ‘Kompozit Malzeme’, 55-110s
- Pat S., Ekem N., Akan T., Kusmus O., Demirkol S., Vladioiu R., Lungu C. P., Musa G., 2005, Study on Termionic Vacuum Arc- A novel and advanced technology for surface coating, Journal of optoelectronics and advanced materyals 7 (5) : 2495-2499 p
- Ekem N., Pat S., Küsmüş Ö., Demirkol S., Ciupina V., Vladioiu R., Musa G., 2004, ‘Termiyonik Vakum Ark Yöntemi ile Katmanlı Kompozit Malzeme Üretimi’ 22. Tür Fizik Derneği Kongresi, Bodrum
- [www.aldebaran.cz/astrofizika/plazma/index\\_en.html](http://www.aldebaran.cz/astrofizika/plazma/index_en.html)
- [www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/](http://www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/)
- [www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/](http://www.dcs.lancs.ac.uk/iono/aurorawatch/)
- <http://www.zamandayolculuk.com/cetinbal/antimaddekurami.htm>
- <http://www.fiziksemineri.com/fizik/fizsoz.html>
- [www.plasmas.org](http://www.plasmas.org)
- [www.plasmas.org/rot-home.htm](http://www.plasmas.org/rot-home.htm)
- [tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit\\_malzemeler](http://tr.wikipedia.org/wiki/Kompozit_malzemeler) - 11k

