

Doğrudan Buhar Biriktirme Tekniği (DVD)

Gürcan SAMTAŞ^{*,1}, Hasan SERT²

¹ *Düzce Üniversitesi, Cumayeri Meslek Yüksek Okulu, 81700, Cumayeri, Düzce*

² *Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, 06500, Beşevler, Ankara*

Özet: Yüzey kaplama metodu olan Doğrudan Buhar Biriktirme (DVD) tekniği ile; yüksek hızlarda çalışan makine elemanlarıyla, sürtünmeye, ısıya ve aşınmaya dayanıklı, alaşım ve bileşiklerin düzlemsel ya da eğrisel yüzeylerine kaplama yapılabilmektedir. Düşük vakumda elektron ışını ile buharlaştırma yaparak buhar spreyiyle birlikte taşıyıcı gaz akımının birleşimiyle depositlenen metaller, seramikler ve yarı iletken malzemelerin DVD ile kaplanması gerçekleştirilebilmektedir. Buharın elde edilmesi ve kaplamanın gerçekleşmesindeki farklılıklardan dolayı DVD sistemi, Fiziksel Buhar Biriktirme (PVD) yönteminden farklı bir yapıya sahiptir. Düşük vakumda taşıyıcı gaz akımı altında çalışan DVD ile iş parçalarına buhar biriktirme esnasında akım odaklanarak verimli, bir o kadar da hızlı malzeme birikimi sağlayarak işlevsel nitelik kazandırılabilir. DVD yönteminin geliştirilmesiyle metallerin kaplanması yanında fiber özellikli metal matris kompozitlerin ve sürekli fiberlerin endüstriyel kaplama uygulamalarına da katkı sağlanmaktadır. Bu çalışmada, PVD yöntemine alternatif olarak geliştirilmiş DVD tanıtımı, DVD Tekniği ile ilgili çalışmalar, sistemde kullanılan ekipmanlar, kullanımı ve DVD tekniğinin belirleyici özelliklerine yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaplamalar, ince film kaplamalar, e-ışın, buhar biriktirme

Directed Vapor Deposition Technique (DVD)

Abstract: With directed vapor deposition (DVD) technique which is a surface coating method coating can be made to the planar or curved surfaces of compound which are resistant to friction, heat, and wear with high speed machine elements. By vaporizing with low vacuum electron beam (E-Beam), with steam spray metals, ceramics and semi conductor products deposited by combination of gas stream can be coated by DVD. Because of the differences between producing vapor and realization of coating, DVD system has different structure from Physical Vapor Deposition (PVD) method. With DVD which works under a stream of carrier gas in low vacuum, workpieces can be provided both productive and rapid functional attributes by focusing current during vapor deposition. With the development of the method of DVD, it contributes to coating both the metals and fiber-featured metal matrix composites and constant fibers. In this study, beside the PVD method, DVD presentation, studies about the DVD, equipments used in the system, usage and features of DVD method are included.

Keywords: Coatings, thin film coatings, e-beam, vapor deposition

1. Giriş

Doğrudan buhar biriktirme (DVD) tekniği; farklı malzeme türleri üzerine ince ve kalın film tabakası kaplama yapabilen, ışına dayalı bir elektron buharlaşma tekniği olup (Groves, 1998) aynı zamanda da patentlidir. Karmaşık yüzeyler üzerinde de kaplama yapabilme kabiliyetine sahip bir yöntemdir. Bu yöntem Elektro-Işın Doğrudan Buhar Biriktirme (E-DVD) yöntemi de denilmektedir. Endüstriyel şekilde yaygın kullanım alanlarına sahip olmakla birlikte bilhassa fiber ve tellerin kaplanması verimli olarak kullanılabilir. Tıbbi alanda bir kısım devrelerin kaplanmasında ve mikro bakteriyellere karşı stentlerin yüzeylerinde gümüş içerikli radyo-opak bir film tabakası oluşturmada DVD tekniği kullanılmaktadır. Gaz tribünü ve buna benzer rotorların yüzeyleri DVD tekniği kullanılarak Ni veya Ti ile kaplanarak daha verimli olarak kullanılmaları sağlanabilmektedir. DVD tekniği; hem yapıştırıcı kaplama tabakasının, hem de üst kaplamanın birikimi için vasıta olarak

kullanılmakta, yüksek etkili işlem süreci ve işlem ortamı nedeniyle maliyetleri en aza indirebilmektedir.

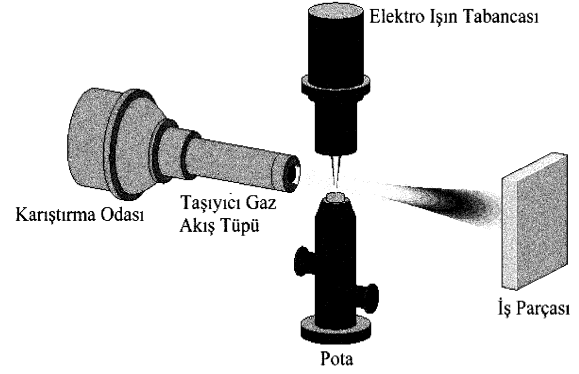
Hass v.d. yaptıkları çalışmada; termal bariyerli kaplamalar için DVD tekniğini kullanmışlardır (Hass vd., 1998). Ayrıca polimerik malzemelerden yararlanılarak sıvı kristal ekranlar için sıralama katmanları için yüksek oranda ve verimli bir birikim yaklaşımı sunmaktadır. Jin ve Wadley yaptıkları çalışmada; temelinde bir gaz jeti barındıran DVD tekniği kullanarak lityum mangan oksit ince filmler oluşturmuşlardır. Birikim oranı, elektro ışın gücü gaz jeti yoğunluğu ve hızı ile ayarlanarak kontrol edilebilmektedir. Biriktirilen kaplamalar küçük, düzenli dağılmış gözenekli ve anlamlı bir doku sergilemiştir. Kaplamalar ince film Li/Li-ion bataryalarda katot katmanlarının kullanımı için uygun olduğu görülmüştür (Jin ve Wadley, 2009). Diğer bir çalışmada Kim ve Wadley; bir plazma desteğiyle, DVD yaklaşımını lityum fosforlu oksinitrit (Lipon) ince filmlerin sentezlenmesinde kullanmışlardır (Kim ve Wadley, 2008). Yttria ile dengelenmiş zirkonya

temelinde seramik bulunan bir zirkonyum oksit olup, özel bir seramik ürünüdür. Özellikle jet motorlarında ve gaz tribünlerinde ısıya dayanıklı ve termal bariyer kaplama olarak kullanılmaktadır (Wikipedia, 2011). Yttria ile dengelenmiş zirkonya fonksiyonel uygulamaların yanı sıra yapısal uygulamalarda da kullanılır. Zirkonya; termal iletkenlik, kimyasallara karşı yüksek koruma, basınç ve gerilmelere karşı iyi direnç gösterme gibi önemli özelliklere sahiptir (Claub vd., 2000). Hass v.d. yaptığı çalışmada, doğrudan buhar biriktirilen, Yttria ile dengelenmiş Zirkonya kaplamaların çok ölçekli gözenekli morfolojik özelliklerini araştırmışlardır (Hass vd., 2010). Zhao v.d. yaptıkları diğer bir çalışmada; DVD kullanılarak oluşturulan termal bariyer kaplamalarının kaplama dizilimi üzerine kaplama uyumunun etkisini araştırmışlardır. Düşük izafi yoğunlukta Yttria ile dengelenmiş Zirkonya termal bariyerli kaplamalar; DVD metodu kullanılarak Hastelloy-X parçaları üzerine NiCoCrAlY kaplanarak oluşturulmuştur. Çalışmada kaplamalar, pürüzlü ve düz yapışma kaplama yüzeylerine uygulanmıştır. (Zhao vd., 2010). Zhao v.d. diğer bir çalışmada, $Sm_2Zr_2O_7$ (SZO) sentezinin incelenmesinde ve kaplama durumları ile kaplama kompozisyonu, yapısı, dokusu, gözenek morfolojisi ve termal iletkenliği arasındaki ilişkilerin araştırılmasında DVD tekniğini kullanmışlardır (Zhao vd., 2009). Hass v.d. DVD tekniği ile, metal oksit kaplamaların reaktif birikimi gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımla; iş parçasına metal buharının etkili bir biçimde taşınması ve oluşturulması için, ses ötesi Helyum taşıyıcı gaz jeti elektro ışın buharlaştırma ile birleştirilmiştir. Metal oksit kaplamalar, taşıyıcı gaza oksijen ilave edilmesiyle üretilmiştir. Çok unsurlu oksit kaplamaların sentezi ise, bir alaşım kaynağı ya da iki ve daha fazla kaynaktan metallerin buharlaştırılmasının simüle edilmesiyle yapılmıştır.

Bu çalışmada; DVD tekniği ile ilgili araştırmalar, sistemde kullanılan ekipmanlar, kullanımı ve DVD tekniğinin belirleyici özellikleri verilmiştir. Sonuçlar kısmında ise, DVD tekniğinin önemli avantajlarından bahsedilmiştir.

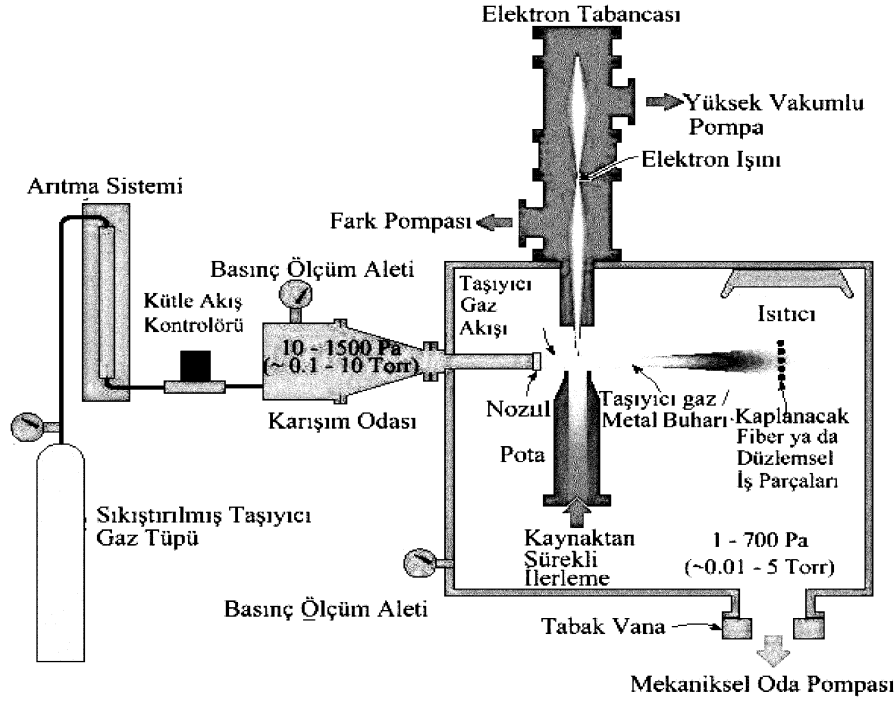
2. DVD Sisteminin Temel Bileşenleri

DVD süreci, metal ya da bileşiklerin silindirik şeklindeki bir ağızlığın ortasına yerleştirilen çubuk destekli bir potadan reaktif olan veya olmayan metallerin elektro-ışın ile yüksek oran da buharlaştırılmasıyla ifade edilmektedir. Ağızlık içinden geçen taşıyıcı bir gaz akımı, buhar parçacıklarını yüksek verimle ana malzemeye odaklayarak iletebilen süpersonik bir püskürtme meydana getirir ve bu püskürtme sayesinde kuvvetli bir kaplama oluşturulabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Doğrudan buhar biriktirme sisteminin basit tasarımı (Groves, 1998)

DVD, E-Işını ile buharlaşmış malzemeyi yeni bir ortama, orta seviyeli ya da alçak bir vakumdaki gaz akışıyla birleştirip, elektron ışınlarıyla bütünleşik işlem kabiliyetlerini geliştirme çabasıdır. Bu taşıyıcı gaz akışına buhar katılarak, diğer metotlarla kaplanması şimdiye kadar zor olan malzemelerin ve mikro-yapıların buhar yöntemiyle kaplanması mümkün olmaktadır (Hass vd.,1998). DVD sistemi, taşıyıcı bir gaz akımındaki buhar atomlarını toparlar ve kaplanacak malzeme üzerinde odaklar. Bu özellik ana malzemeye ulaşan buhar atomları için birikim dağılımı ve açısının değiştirilmesini mümkün hale getirmektedir. Kaplama materyalinin küçük bir alanda biriktirilmesi özelliğiyle bu alandaki uygulamalarda (Kompozit malzemeler ve fiber kaplamalar) gösterdiği verimlilik yüksek düzeydedir. DVD sistemindeki vakum ortamı, diyet püskürtme sistemlerindeki basınç ortamlarıyla karşılaştırılabilir. Sonuçta, DVD ile yüksek vakum birikimi teknikleriyle karşılaştırıldığında diğerlerine göre yüksek bir kaplama gücü göstererek, daha verimli malzeme kullanımı, daha hızlı işlem ile düz ya da eğri yüzeyli malzemelere buhar biriktirirken daha düşük nihai ürün maliyeti elde edilebilmektedir (Bunshah, 1994). DVD sistemde taşıyıcı gazın püskürtülmesi akış tüpünden yeterince yüksek bir hızla çıkartılarak (Şekil 1), taşıyıcı gaz akımında birbiri ardına yakalanan DVD atomları hızlandırılmaktadır. Hızlandırma meydana geldiğinde, buhar atomları ana malzemeye 0.5-2 ev'lik bir kinetik enerjiyle çarpabilirler. Bu tür enerji seviyeleri yüzey difüzyonundaki etkileşme enerjisiyle karşılaştırılabilir (Kellogg, 1994). Böylece DVD atomları, düşük enerji alanlarına sahip yüzey difüzyon oranları ile yerleşmiş termik buharlaşma metotlarıyla gözlemlenen seviyelerin üstüne çıkarmaya yetecek kadar enerjiye sahip olmaktadır. En temel haliyle önerilen DVD Sistemi Şekil 2'de görüldüğü gibi 4 esas bileşenden oluşur. Parçaların kaplanması ise buharlaştırılacak bir materyal kaynağı ve kaynaktan atom buharının oluşturulması, atom buharının işlem odasından geçirildiği bir taşıyıcı gaz akışı ve buharın tortulaştığı bir ana malzeme gibi unsurların oluşturduğu sistemli bir işleyişin ardından sağlanmaktadır.



Şekil 2. DVD Sisteminin temel yapısı (Groves, 1998)

2.1. Elektro - Işın tabancası

DVD sisteminde E-Işın tabancasının kullanılması birçok avantajı da beraberinde getirmiştir. Elektro-Işın tabancası (Şekil 3) parçalar üzerine kaplanacak olan saf haldeki malzemeleri bir pota içinde ergiterek buharlaştırmaktadır. Oluşan bu buhar süpersonik bir gaz akışı ile karışarak parça üzerine çok yüksek hızlarda çarparak kaplamayı meydana getirmektedir. E-Işın'nın yapacağı iş, taşıyıcı püskürmeden dolayı 50 Pa'ya varan arttırılmış bir basınca sahip çalışma odası alanında yayılmak ve yeterli bir güç yoğunluğuyla potaya ulaşmaktadır. Bu işlem ortamı için, özel bir basınç kademesi bulunan bir tabanca tasarlanmıştır. E-Işın tabancasının verimli bir şekilde kullanılması için en düşük derecede çalıştırılması, hatta buna bağlı olarak Elektro-Işın'ın otomatik merkezleme ile odaklanması gerekmektedir (Kellogg, 1994). Işının ve buharın üretilmesi arasındaki çeşitli E-Işını enerji kayıplarının belirlenmesi oldukça zordur. Bu nedenle buharlaşma sistemleri için maksimum E-Işını tabancasının gücü ve kabiliyetinin tarif edilmesi gerekmektedir. E-Işını ile DVD sisteminde kaplama malzemesi olarak farklı elementler kullanılmaktadır.

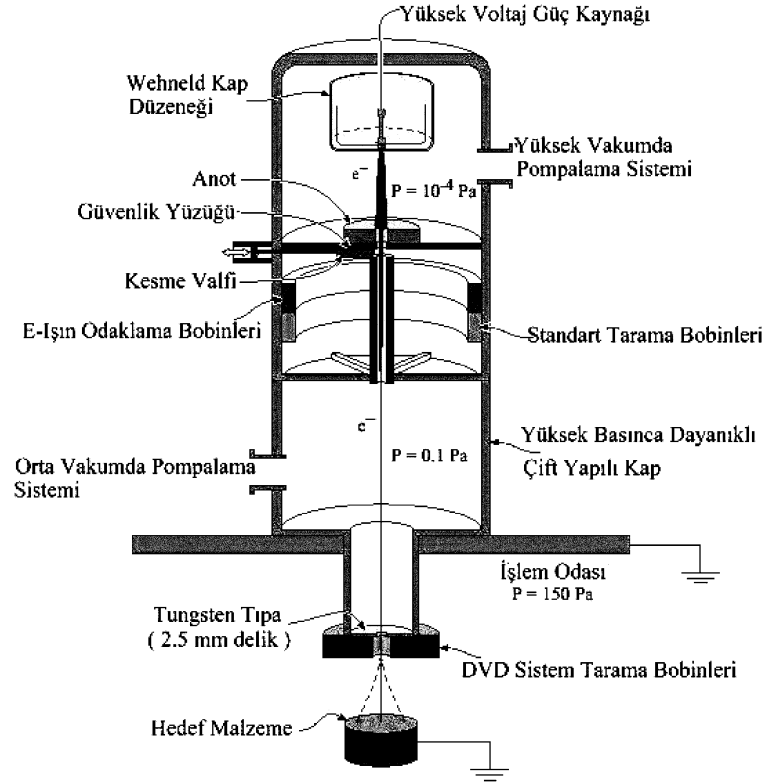
DVD sisteminde parçalara kaplama kalınlığı sağlamak için bir E-Işın güç hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Bu hesaplama sonucunda ergime ısısının kaplanacak malzemenin ergime noktasına kadar yükseltilmesi gerekmektedir. Bu nedenle ergitilecek olan metallerin cinsine göre E-Işın tabancasının güç gereksinimleri farklılık göstermektedir. MMC (Metal Matriks Kompozitler) uygulaması için genel endüstri şartnamesine dayanarak Çizelge 1'de malzeme birikintisi parametreleri belirtilmiştir (Groves, 1998). Bu parametreler sayesinde kullanılacak olan buharlaştırma elementlerine göre E-Işın Tabancası'nın gücü rahatlıkla ayarlanabilmektedir (McCullough vd., 1995).

Voltaj seçiminin hızlandırılması için DVD sisteminin birikim verimi (% 20) ve enerji kullanma verimi (%3-3.5) olarak alınmaktadır. Fiber kaplamalarda E-Işın Tabancasının (Şekil 3) voltajını belirlemede genellikle birikim verimi kullanılmaktadır.

Çizelge 1. DVD Sisteminde buharlaştırılan metallerin E-Işın tabancası için gereken güç hesaplamaları

ELEMENTLER											
	Al	Cu	Mo	Ni	Nb	Si	Ti	V	Y	Z	
Atomik Ağırlık (g/mol)	27	63.6	95.9	58.7	92.9	28.1	47.9	50.9	88.9	91.2	
Yoğunluk (g/cm ³)	2.70	8.96	10.2	8.90	8.57	2.33	4.54	6.11	4.47	6.51	
C _p (J/Kmol)=a+bT+cT ²	T _m (K)	933	1356	2893	1726	2740	1683	1940	2188	1803	
	T _b (K)	2793	2840	4880	3180	5010	2628	3560	3680	3573	
	KATI	a	20.7	22.6	24.1	17.0	23.7	23.9	22.1	20.5	23.9
		b $\times 10^3$	12.3	5.6	1.2	29.5	4.0	2.5	10	10.8	7.55
		c $\times 10^{-5}$	-	-	-	-	-	-4.1	-	0.8	0.3
	SIVI	a	29.3	-	-	29.7	-	-	32.6	36.0	43.1
		b $\times 10^3$	-	-	-	4.18	-	-	-	-	-
		c $\times 10^{-5}$	-	-	-	-9.3	-	-	-	-	-
	L _f (kJ/mol)	10.4	13.0	35.5	17.2	29.3	50.7	17.5	16.7	11.4	
	L _e (kJ/mol)	290	306	590	375	681	386	427	456	371	
ΔH (Kj/mol)	372	350	744	498	659	475	550	575	508		
GÜÇ (kW)	6.4	8.5	14	13	10	6.8	9.0	12	4.4		

C_p=Sabit basınçta belirleyici ısı
L_f=Gizli ergime ısısı
L_e=Buharlaştırma gizli ısısı

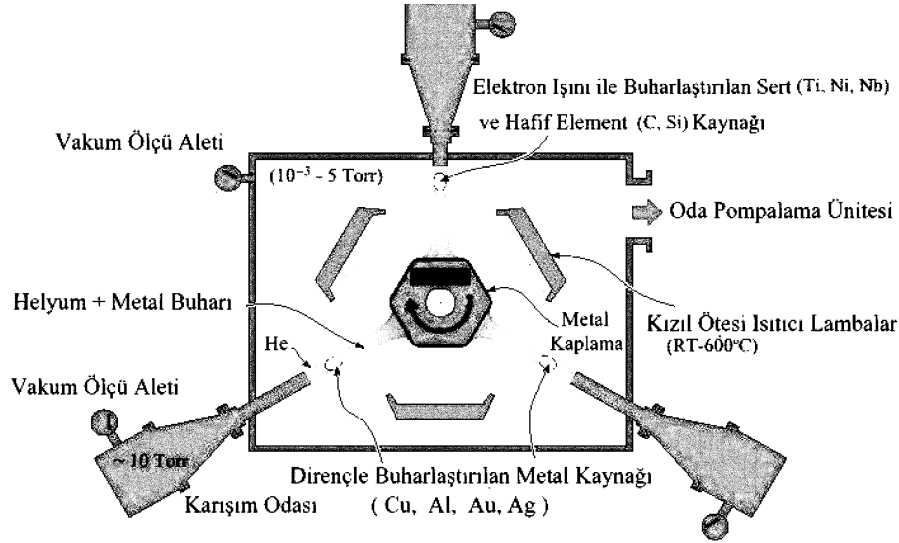


Şekil 3. Elektro-Işın tabancası (Groves, 1998)

2.2. İşlem odası

İşlem odası, gaz akışıyla beraber buharlaştırmanın meydana getirildiği ve kaplamanın gerçekleştirildiği bölümdür (Şekil 4). DVD sistemi E-Işın tabancasıyla 60 kW'lık hızlandırma voltajı ile en düşük ergime noktasına sahip elementlerden Tungsten'in

ergitilmesine yetecek kadar (59.32 Kev) ışın üretilebilmektedir. Bu üretim esnasında ortaya yüksek miktarlarda X ışını çıkmaktadır. Bu nedenle sistem yakınındaki bireyleri korumak amacıyla, işlem odasının duvarlarının bu X ışınlarını emecek şekilde tasarlanması gerekmektedir.

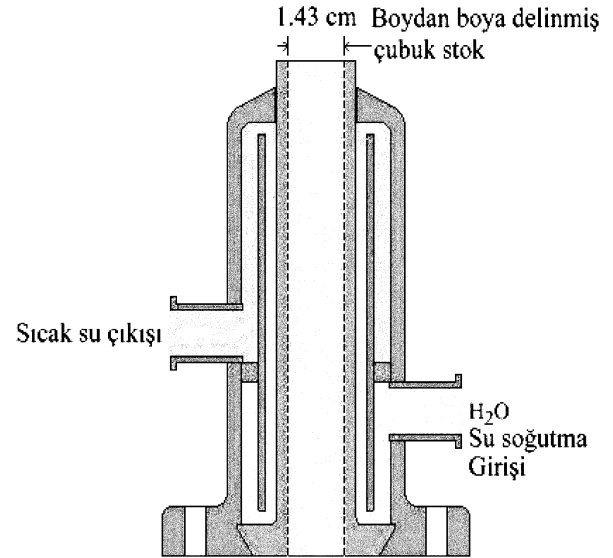


Şekil 4. Üç girişli bir işlem odası (Groves, 1998)

DVD sistemi içerisinde vakum odası olarak adlandırılan bir oda ve kaplamaya yardımcı olacak X ışını emisyonlarının elle kontrol edilebildiği bir detektör bulunmaktadır. Bu detektörlerin dışında işlemler dışarıdan da gözlemlenebilir. İşlem odasında yer alan ışınların şiddeti doğrultusunda oda duvarlarının direnci artırılabilir. Bu direnç artırımı için yapılan ölçümler esnasında bazı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bu durumlarda detektör, işlem odası duvar kalınlığı ve gözlem kapısı yapısının sistemden X ışını emisyonunun çıkmasını önlemeye yetecek durumda olduğunu doğrular. Ancak bazı durumlarda; odanın flanşlı girişlerinin etrafında, işlem odası kapısının kenarlarında, işlem odası pompasına giden ekzoz flanşında ve orta seviyeli vakum pompalama sistemini tabancadan ayıran alüminyum sürgülü vanada sızıntılar olabilmektedir. Bu nedenle işlem odası tasarımı oldukça itinalı ve zahmetli bir iştir. Şekil 4'de yer alan işlem odasının gösterildiği tasarımda pek çok gaz akımının aynı anda kullanımı kolaylaştırılmıştır. Bu sayede tek bir parçaya birden fazla farklı tarzda malzeme kaplanabilmektedir.

2.3. Pota

Elektro ışın kaynağının bitiş noktasını oluşturan ve kaplanacak olan malzemelerin eritildiği yer olarak tanımlanır. Elektron ışın buharlaşmasının önemli bir avantajı, ısıtma kaynağının elektronların buharlaşacak olan kaynak maddeyle doğrudan temas ettirilebilmesidir (Groves, 1998). Bu durumda enerjinin sıcak, potansiyel olarak reaktif/kirletici potarlardan ya da dirençle ısıtılan tellerden kaynak maddesine iletilmesine gerek kalmamaktadır (Şekil 5).



Şekil 5. DVD sistemde standart pota tasarımı (Groves, 1998)

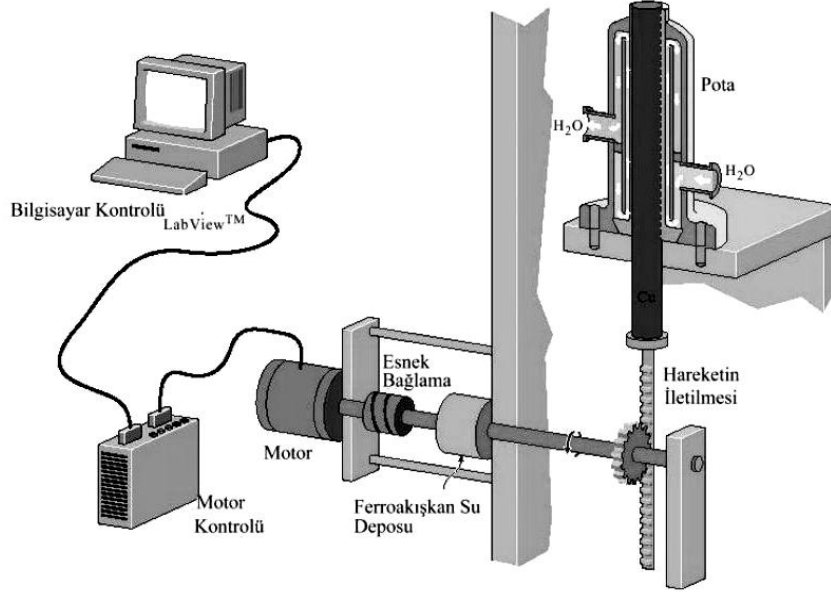
Pota tasarımında su soğutmalı sistem kullanıldığında, boydan boy delinmiş çubuk stok ile soğutma alanı artırılmaktadır. Çubuk stokun diğer bir faydası da buhar kaynağından gelen taşıyıcı gaz akımı girişini en aza indirir. Bu sayede sistem kirliliği büyük ölçüde azalmaktadır.

2.4. Gaz sistemi

DVD sisteminde buharlaştırılan kaplama malzemesi, atıl veya reaktif bir gaz akışına dâhil edilerek ana malzemeye doğru ulaştırılmaktadır. Yüzey kaplamalarında alçak vakum işlemiyle ilgili bazı sıkıntılar vardır. Bu temel sıkıntılardan biri, odadaki gazdan dolayı biriken filmlerin potansiyel kirliliğidir. DVD teknolojisi, saf madde filmlerinin

oluşturulmasını sağlamak için, sistemdeki taşıyıcı gaz kirleticilerin miktarını minimum hale getirmektedir. Gaz sistemi, işlem odasıyla beraber çalışmaktadır.

Birbiri ardına seyreden bu sistematik çalışma bir bilgisayar vasıtasıyla kontrol edilmekte ve kontrol elektromekanik olarak sağlanmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Mekanik hareketin işlem odasına transferi (Groves, 1998)

Tasarlanan elektro mekanik konfigürasyon, buharlaşma kaynak madde konumunun merkezi bir bilgisayar tarafından kontrol edilmesine imkan vermektedir (Hsiung vd., 1995).

2.5. Vakum pompaları

DVD sisteminde operasyon uygunluğu için gazın işlem odasına alınması ve E-Işın Tabancası çalışmaya hazır hale getirilmesi gerekmektedir. Bütün bunların gerçekleşmesi vakum pompalarının düzenli olarak çalışmasıyla sağlanır. Diğer taraftan DVD sisteminde vakum pompaları, basıncı dengede tutmak ve sistemde olabilecek enerji kayıplarını en aza indirmede kullanılmaktadırlar. Oda içersinde pompaların kapasitesi süpersonik bir gaz akışına bağlıdır. Süpersonik gaz akışının gerçekleştirildiği kafanın ağız genişliği normalde 2.2 cm olarak kullanılmaktadır. Bu ortamın sağlanması için E-Işın tabancasının basınç değeri 10^{-8} Pa olarak ayarlanır. Eğer çalışma esnasında çok az miktarlarda enerji kayıpları olursa bu durumu dengelemek için basınç yaklaşık 10^{-4} Pa' ya kadar inebilmektedir.

2.6. Vakum ölçü aygıtları

DVD sisteminde karışım ya da işlem odalarında vakum basınçlarının doğru olarak tanımlanması için buhar/faz malzeme kapasitesinin doğru olarak kontrolü ve tayin edilmesi gerekmektedir. Bu kontrol ve tayin vakum ölçü aygıtları tarafından sağlanmaktadır. Sistemde oluşan basınçları ve taşıyıcı gaz akış hızına göre hesaplanan süpersonik bir hızla

ifade edilen akış işlem parametreleri (Mach Numarası) malzeme özelliklerini etkilemektedir. Karışım ve işlem odasında basınç ölçümlerinin sağlıklı bir şekilde yapılması için sisteme üç adet ölçü aletinin verimli olarak monte edilmesi gerekmektedir. Monte edilen manometre kapasitesinin bağımsız çalışabilmesinin de sağlanması ve ölçü aleti kalibrasyonunun yapılarak basınç değerinin eklenmesi sağlanmalıdır. Sisteme bir ya da daha fazla ölçü aletinin eklenmesi E-Işın tabancasının seri bir şekilde çalışmasına yardımcı olmaktadır. Genellikle E-Işın tabancasında tercih edilen yüksek vakum değerleri 6×10^{-4} Pa ($\sim 5 \times 10^{-6}$ Torr) kadar olmalıdır. Birden fazla düzenlenen vakum ölçü aleti sayesinde, atmosferik basınç altındaki operasyonlarda soğuk katotta ölçüm yapılabilmektedir. Soğuk katot ölçüm aygıtı 1×10^{-5} Pa ($\sim 10^{-7}$ Torr) kadar basınçları rahatlıkla okuyabilmektedir.

2.7. İş parçası sıcaklık kontrol sistemi

Bu tür sistemler kullanılacak olan malzeme yapısına göre tasarlanmaktadır. Sıcaklık kontrol ekipmanı, malzeme sıcaklığının kontrol altına alınması ve bunun uygunluğunu sağlayan kontrol sistemi olarak tanımlanmaktadır. DVD sisteminde kullanılan sıcaklık kontrol sistemi; güç ünitesi, sıcaklık kontrolü ve ısıtıcılar olmak üzere 4 adet bölümden oluşmaktadır. İşlem odasında gazın dışarı atılmasıyla beraber bu ısıtıcılar iş parçasını 1100 °C üzerinde bir sıcaklığa çıkarabilmektedirler. Bununla birlikte gaz akışı 1 ila 20 slm (litre/dak) arasında değiştiğinde DVD sisteminde ayarlanan ısıtıcılar ile düzlem yüzeyleri

yaklaşık 600 °C ve üstünde ısıtılmaktadırlar. Bu surette sistem sıcaklığı sürekli olarak dengede tutulmaktadır.

2.8. Bilgisayarlı kontrol

DVD'nin tam olarak tanımlanması için kaplama malzemesi ve kaplanacak malzemelere göre sağlanacak takımlar, sayısal olarak bilgisayar kontrollü bir alt sistemle beraber kullanılması gerekmektedir. Bu alt sistemde kullanılan ekran ve kontrol sistemi, güvenliği ve kullanımı kolay olmasına rağmen itinalı bir kullanım gerektirir. Bu sistemin geliştirilmesi ile beraber operasyonlarda kritik olan

değerlerin verilmesini kolaylaştırmıştır. DVD sisteminde bulunan vakum ölçü aletleri, gaz, motor ve E-Işın Tabancası kontrollerinin sağlanması bunlara gerektiğinde müdahale edilmesi bilgisayar kontrollü ile sağlanabilmektedir. Bilgisayar tabanlı sistem monitörü ve kontrol, sisteme paralel ya da seri girişlerden bağlanmaktadır. Seri bağlantı (RS-232, RS-485) donanım duyarlı olup devreden gelecek olan sinyalleri bilgisayara aktaracak şekilde tasarlanmıştır. Bilgisayar, işlem hattında oluşacak kesintileri önceden tespit ederek gerekli sınırlamaları yapabilmektedir (Hsiung vd., 1995). Standart bir DVD yapısında kullanılan arabirim IEEE – 488'dir (Çizelge 2).

Çizelge 2. DVD Sistem unsurları için bilgisayar ara yüzü bilgileri

Ekipmanlar	Üretici	Model	Ara birim
Elektro Işın Tabancası	F.E.P.	HPE 10/60	RS-232
Gaz Akış Kontrolörleri	M.K.S.	647B Çoklu Gaz Kontrolörü	IEEE-488
Vakum Ölçü Aygıtı	Leybold Inficon Edwards	CM3/CC3 Dijital dış okuma	IEEE-488
Kaynak İlerleme Motoru	Aerotech	Unidex 100 çok görevli hareket sensörü	IEEE-488
Isıtıcılar	Omega	CN76000 Sıcaklık kontrolörü	RS-485

DVD'de kullanılan donanımların kontrolünün bilgisayar ortamında yapılması ve kullanılacak olan bilgisayar programlarının seçimi Tablo 2'de verilmiştir. Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi bu tip konfigürasyonları üreten firmalar ve kullandıkları arayüzler DVD sistemlerde başarıyla kullanılmaktadır.

3. DVD Sistemde Gaz Akışı ve Buhar Akımının İş Parçası ile Etkileşimleri

DVD'de taşıyıcı gaz ve buhar akımları, uygun yönde karışımla hazırlanmış taşıyıcı gazın potadan ayrılan buhar atomlarıyla birleşimi sonucunda farklı yönde kaplanacak malzemelerle birlikte tanımlanmaktadır. Belirlenen veya değişik işlem parametrelerinin DVD üzerinde değiştirilip kullanıldığında taşıyıcı gaz ile buhar akımının yoğunluğunda farklılıklar meydana gelmektedir. Sistemde iş parçası üzerine etki eden parametreleri şöyle sıralayabiliriz:

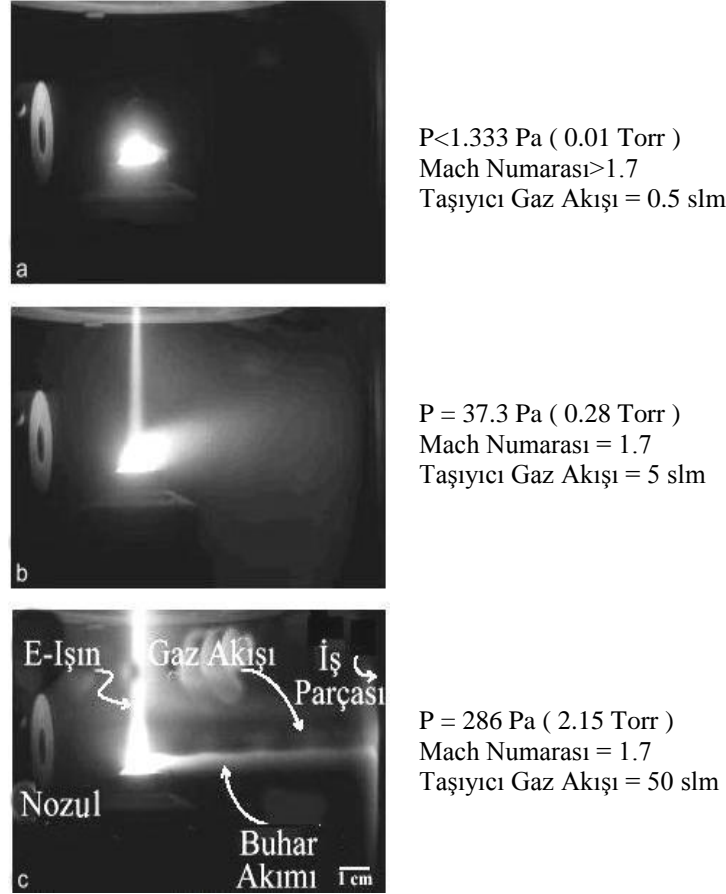
1. Taşıyıcı gaz akışı (slm-litre/dak),
2. Taşıyıcı gaz Mach sayısı (Akış işlem parametreleri),

3. Taşıyıcı gaz tipi (argon, helyum v.b. gibi),
4. E – Işın gücü (kW).

Sistemde kullanılacak olan taşıyıcı gazlar incelendiğinde helyum gazının özelliklerinden dolayı, argon gazından daha parlak bir ışığa sahip olduğu görülmüştür (Şekil 9).

3.1. Taşıyıcı gaz akışı

Sistemde kullanılan taşıyıcı gaz akışı denildiğinde ilk akla gelen, dakikada litre cinsinden ifade edilen taşıyıcı değer (slm) buhar akımı üzerine etkisidir. Şekil 7'de görülen deneysel çalışmalarda taşıyıcı gazın Mach sayısı ilk etapta değiştirilmemiş, daha sonra helyum taşıyıcı gaz jet akışının değerleri 0.5 ile 5 ve daha sonra 50 akış hızına kadar yükseltilmiştir (Groves, 1998). Bu durum esnasında oda içerisinde potaya doğru yönlendirilmiş olan E-Işını 2.7 kW ile pota içerisinde bulunan bakırı az miktarda buharlaştırmış, bu buhar 3,5 cm'ye kadar çıkartılmıştır.



Şekil 7. Taşıyıcı gaz akışları içerisinde buhar ortamı (Groves, 1998)

Şekil 7’de gösterildiği gibi buhar akımını ayırt etmek oldukça zor olup gaz akış değeri 3’den 0.5 akış hızlarına indirgenmiştir. Bu gibi değişimlerle bakır buharının indirgenmesi ve buhar atomlarının uyarılması sistemde bulunan basıncı etkilemektedir. Potadan buhar atomlarının düşük seviyede ayrılması ve akış hallerinin düşük kullanılması aşağıdaki durumları meydana getirir;

- Potada azaltılmış bir buharlaşma oranının yüksek ve 0.5 değerleri için, diğer ortam koşullarından yüksek olması sistemde buharlaştırılan elementlerin az da olsa görünmez olmasına neden olur.
- Taşıyıcı gaz akışının yüksek olması pota içerisinde yer alan bakır bloğunun yüzey sıcaklığının yükselmesine ve buharlaşma oranının düşük olmasına neden olur. Sonuç

olarak buharlaşma oranı 0.5 için, diğer koşullardan yüksek olmalıdır.

3.2. Taşıyıcı gaz tipi ve E-Işın gücü

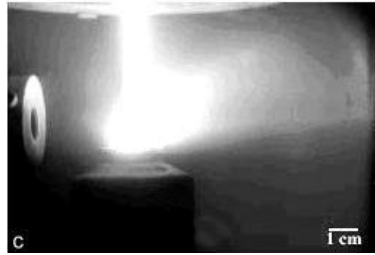
DVD sistemde taşıyıcı gazın helyum veya argon olarak tercih edilmesi oda içerisinde farklı bir şok yapısı ve basınç ortamının değişikliğine sebebiyet vermektedir. Her iki gazında oda içerisinde meydana getirdiği etkileşim farklı nitelik taşımaktadır. Helyum gazının yapısına bakıldığında argon gazından daha fazla bir ışık şiddetine sahip olduğu görülmektedir (Seto vd., 1997). Şekil 8 ve Şekil 9’da taşıyıcı gaz olarak argon gazı kullanılmıştır. Düşük oda basıncı ve taşıyıcı gaz akışında argon gazı, helyuma göre bakır elementinin buharlaştırılmasında çok küçük de olsa benzerlik göstermiştir (Groves, 1998).



E – Işın gücü = 2.1 kW
P = 160 Pa (1.20 Torr)
Mach Numarası = 1.7
Taşıyıcı Gaz Akışı = 25 slm

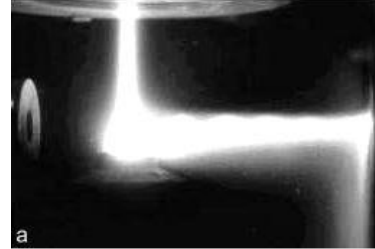


E – Işın gücü = 4.2 kW
P = 165 Pa (1.24 Torr)
Mach Numarası = 1.7
Taşıyıcı Gaz Akışı = 25 slm



E – Işın gücü = 6.3 kW
P = 175 Pa (1.31 Torr)
Mach Numarası = 1.7
Taşıyıcı Gaz Akışı = 25 slm

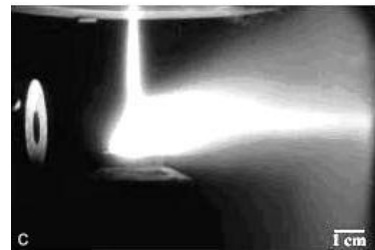
Şekil 8. Helyumda E-Işın güç değerleri etkisi (Groves, 1998)



E – Işın gücü = 2.1 kW
P = 73.3 Pa (0.55 Torr)
Mach Numarası = 1.7
Taşıyıcı Gaz Akışı = 5 slm



E – Işın gücü = 4.2 kW
P = 78.6 Pa (0.59 Torr)
Mach Numarası = 1.7
Taşıyıcı Gaz Akışı = 5 slm



E – Işın gücü = 6.3 kW
P = 86.6 Pa (0.65 Torr)
Mach Numarası = 1.7
Taşıyıcı Gaz Akışı = 5 slm

Şekil 9. Argonda E-Işın güç değerleri etkisi (Groves, 1998)

4. Sonuç ve Değerlendirme

DVD kaplama tekniği, işlem sürecindeki dört temel niteliği, endüstriyel açıdan, verimli olacak şekilde bir sistemde birleştirme gereksiniminden ortaya çıkmıştır. Bunlar:

- Çok yüksek oranda buhar birikimi, yaklaşık olarak 100 cm²'lik alanda 5 µm/dak ve yukarısidir,
- Yüksek oranda zengin materyal kullanma verimliliği (100 cm²'lik alanlarda, verimlilik diğer kaplama teknolojilerinin en az üç katıdır),
- Kaplama katmanında atom yapısının tam kontrolü,
- Kaplama katmanı atom bileşiminin son derece esnek tanımının verilebilmesi.

DVD sisteminin süpersonik bir gaz akışı kullanması, farklı kaynaklardan buharın karışmasını sağlayarak diğer yöntemlerle kaplanması zor olan bileşik ve alaşımların hızlı bir kaplama oluşturulabilmesini sağlamaktadır. Çok farklı buhar basınçları bulunan materyal sistemleri, DVD'nin önemli işlem avantajları sağlayabileceği bir alanı oluşturmaktadır (Blumenfeld ve Soubbaramayer, 1994). PVD'den farklı olarak bu avantajları;

- Diğer atomlarla olan çarpışmalar arasındaki ortalama mesafe uygunluğu PVD'den daha iyidir (Blumenfeld ve Soubbaramayer, 1994).
- Buhar kaynağının görüş hizasında olmayan alt tabaka yüzeylerde buhar biriktirme kabiliyeti verimlidir (Seto vd., 1997).

DVD metodu ile malzemenin farklı yüzeylerine aynı anda değişik türde kaplama yapılabilir. Bu sayede bir seferde sistemin yapısını değiştirmeden farklı katmanlarda kaplama oluşturulabilmektedir. DVD sistemi malzemenin kaplama sistemlerinin bir parçası olarak işlem odasına gaz verdiği için dolayı kaplama oluşturma ortamı umut verici bir şekilde yalnızca saf malzemeler değil aynı zamanda nakil esnasındaki buhar/gaz etkileşimiyle oluşturulan bileşikler de üretebilmektedir. Bu gibi birçok değişik özelliğe sahip DVD sistemin belli başlı avantajlarını şu şekilde sıralamak mümkündür;

- Düşük vakum ortamı,
- Kontrol edilebilir mikro yapılar,
- Doğrusal olmayan yüzeylere yapılabilen birikim,
- Çok katmanlı alaşımların birikimi,
- Yüksek oranda zengin malzeme kullanımı,
- Yüksek oranda reaktif birikim,
- Verimli birikim oranları,
- Düşük miktarda kaplama fiyatları.

5. Kaynaklar

- [1] Blumenfeld, L., Soubbaramayer. 1994. Combined Effect of Buoyancy and of Interfacial Phenomena on The Heat Transfer Coefficient at The Melt Surface of an EB Evaporator. 10th International Heat Transfer Conference, 14-18 August, Brighton, England.
- [2] Bunshah, R. F. 1994. Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, 2nd ed. Noyes Publications, New Jersey, US, 838 pp.
- [3] Groves, J. F. 1998. Directed Vapour Deposition, Doctor of Philosophy Thesis, The Faculty of the School of Engineering and Applied Science University of Virginia, Charlottesville, U.S.A., 12-125.
- [4] Hsiung, L.M., Lankey, R.L., Wadley, H.N.G., Smith, D.T., Zang, J.Z., Golz, B.J. W., Halpern, L. and Schmitt, J.J. 1995. Jet Vapor Deposited Aluminum-Aluminum Oxide Nanolaminates. 129 pp., Singh, E. J. and Copely, S.M., Int. Symposium on Novel Techniques in Synthesis and Processing of Advanced Materials, TMS, Warrendale, PA, U.S.A., 456 pp.
- [5] Hass, D.D., Parrish, P.A., Wadley, H.N.G. 1998. Electron Beam Directed Vapor Deposition of Thermal Barrier Coatings, Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surface, and Films, 16 (6), 3396-3401.
- [6] Hass, D.D., Zhao, H., Dobbins, T., Allen, A.J., Slifka, A.J., Wadley, H.N.G. 2010. Multi-scale Pore Morphology in Directed Vapor Deposited Yttria-Stabilized Zirconia Coatings, Materials Science and Engineering A, 527, 6240-6282.
- [7] Hass, D.D., Groves, J.F., Wadley, H.N.G. 2001. Reactive Vapor Deposition of Metal Oxide Coatings, Surface and Coating Technology, 146-147, 85-93.
- [8] Jin, S.W., Wadley, H.N.G. 2008. Lithium Manganese Oxide Films Fabricated by Electron Beam Directed Vapor Deposition, Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, 26 (1), 114-122.
- [9] Kellogg, G. L. 1994. Field Ion Microscope Studies of Single-Atom Surface Diffusion and Cluster Nucleation on Metal Surfaces, Surface Science Reports, 21 (1), 1-88.
- [10] Kim, Y.G., Wadley, H.N.G. 2008. Lithium Phosphorous Oxynitride Films Synthesized by a Plasma-Assisted Directed Vapor Deposition Approach, Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surface, and Films, 26 (1), 174-183.
- [11] McCullough, C., Storer, J., Berzins, L. V. 1995. Manufacture of Orthorhombic Titanium Aluminide Composites by PVD Methods. 259-274 pp., Froes, F.H. and Storer, J., In Recent Advances In Titanium Metal Matrix Composites, TMS, Warrendale, PA, U.S.A., 450 pp.
- [12] Seto, T., Okuyama, K., De Juan, L., De la Mora, J. F. 1997. Condensation of Supersaturated Vapors on Monovalent and Divalent Ions of Varying Size. Journal of Chemical Physics. 107(5), 1576.

- [13] Yttria-Stabilized Zirconia, http://en.wikipedia.org/wiki/Yttria-stabilized_zirconia (Erişim Tarihi: 10.08.2011).
- [14] Zhao, H., Haydn, Z.Y., Wadley, H.N.G. 2010. The Influence of Coating Compliance on The Delamination of Thermal Barrier Coatings, *Surface and Coating Technology*, 204, 2432-2441.
- [15] Zhao, H., Levi C.G., Wadley, H.N.G. 2009. Vapor Deposited Samarium Zirconate Thermal Barrier Coatings, *Surface and Coatings Technology*, 203, 3157-3167.