

## YSZ İçerikli Seramik Üst ve NiCrAlY İçerikli Metalik Bağ Kaplamaya Sahip Termal Bariyer Kaplama (TBC) Sisteminin Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi

Abdullah Selim PARLAKYİĞİT<sup>1</sup>, Abdullah Cahit KARAOĞLANLI<sup>2</sup>, Turgut GÜLMEZ<sup>1</sup>, Ahmet TÜRK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Bartın.

<sup>3</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

e-posta: asparlakyigit@itu.edu.tr

Geliş Tarihi: 22.10.2012; Kabul Tarihi: 11.11.2013

### Özet

Termal bariyer kaplamalar (TBC), endüstriyel gaz türbinlerinde ve hava araçlarının türbin motorlarının sabit ve hareketli parçalarında, esas işlevi gören malzemenin sıcak gazların olumsuz etkilerinden korumak ve termal verimi artırmak amaçlarıyla kullanılmaktadırlar. Bir TBC sistemi tipik olarak; istenen amaca hizmet eden altlık malzemenin, ısı yalıtım sağlayan seramik bir üst kaplamadan, altlık malzemenin oksitlenmeye karşı koruyan ve üst kaplama ile altlık malzeme arasındaki termal uyumsuzluğu önleyen metalik bir bağ kaplamadan ve kaplama prosesiyle başlayıp servis koşullarında büyümeye devam eden bir oksit tabakasından oluşmaktadır. Bu çalışmada, ağırlıkça %8 oranında yitriya ile kararla hale getirilmiş zirkonya (8YSZ;  $ZrO_2-8Y_2O_3$ ) içerikli üst kaplamalar APS (Atmosferik Plazma Sprey) yöntemiyle ve NiCrAlY içerikli metalik bağ kaplamalar HVOF (Yüksek Hız Oksi Yakıt) yöntemi kullanılarak üretilmiştir. TBC sisteminin mikroyapısal özellikleri, porozite oranları ve mikrosertlik ölçümleri sırasıyla, taramalı elektron mikroskobu (SEM), mikroyapı analiz yazılımı ve mikrosertlik test cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Termal bariyer kaplama (TBC), YSZ, NiCrAlY, APS, HVOF, Mikroyapı

## Investigation of Microstructural Properties of Thermal Barrier Coating (TBC) System Consisting of YSZ Topcoat and NiCrAlY Bond Coat

### Abstract

Thermal barrier coatings (TBCs) are used in stationary and dynamic parts of gas turbines in order to protect main component from detrimental effect of hot gases and increasing thermal efficiency of system. A TBC system is typically consist of, a suitable substrate material, a ceramic top coat providing thermal insulation, a metallic bond coat protecting the substrate material against to oxidation and preventing thermal mismatch between the substrate and top-coat and, an oxide layer that starts with the coating process going on with growing under service conditions. In this study, yttria stabilized zirconia (8YSZ;  $ZrO_2-8Y_2O_3$ ) topcoat deposited with APS (Atmospheric Plasma Spray) technique and NiCrAlY bond coat were deposited with HVOF (High Velocity Oxy-Fuel) technique. Microstructural properties, porosity rates and microhardness measurements of TBC system were conducted by using scanning electron microscope (SEM), microstructure analysis software and microhardness test equipment, respectively.

### Key words

Thermal barrier coating (TBC), YSZ, NiCrAlY, APS, HVOF, Microstructure

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

Günümüzde giderek artan ihtiyaçlar ve teknolojik gelişmelere paralel olarak, makine elemanları ve sistemler karmaşık ve zorlu çalışma koşullarına daha fazla maruz kalmaktadırlar. Bu şartlarda hizmet verebilme ihtiyacı yeni malzemelerin keşfedilmesini gerekli kılmıştır. Yüksek sıcaklığa dayanım problemi de bu ağır koşullardan birisidir. Geleneksel döküm alaşımlarından yönlü

katılaştırılmış alaşımlara ve tek kristalli alaşımlara yapılan geçişlerle sistemdeki malzemelerin yüksek sıcaklıklarda dayanım ve çalışma performansında ciddi gelişmeler sağlanmıştır. Ancak bu malzemelerin de şu anda ergime noktalarına çok yakın sıcaklıklarda çalışması ortaya çıkabilecek problemler açısından yeni yaklaşımların geliştirilmesine neden olmuştur [1].

Termal bariyer kaplama (TBC) sistemleri havacılık ve endüstriyel gaz türbin motorlarında, parçaları yüksek sıcaklığın olumsuz etkilerinden korumak amacıyla kullanılmaktadırlar. TBC kullanımı ile daha yüksek türbin giriş sıcaklıklarına ulaşılabilen ve aynı zamanda soğutma amaçlı hava miktarı düşürülebilmektedir. Böylece komponentlerin servis ömürlerinin artmasının yanında performans artışı da mümkün olmaktadır [2-4].

Bir TBC sistemi tipik olarak; istenen mekanik özellikleri sağlayan süper alaşım bir altlık malzemedan, seramik esaslı bir üst kaplamadan, seramik kaplamanın üzerine biriktirildiği metal içerikli bağ kaplamadan ve kaplamanın biriktirilmesi süreciyle başlayıp servis süresi boyunca gelişen bir termal büyüyen oksit (TGO) tabakasından oluşmaktadır [5].

TBC' ler elektron demetiyle fiziksel buhar biriktirme (EB-PVD) veya termal sprey kaplama yöntemleriyle üretilebilmektedir [6,7]. Ancak kaplama sistem parametrelerinde sağladığı esneklik ve ekonomiklik yönleriyle termal sprey yöntemleri ile üretim daha yaygın olarak uygulanmaktadır. Günümüzde ise bu yöntemlerden atmosferik plazma spreyi (APS) ve yüksek hızlı oksit-yakıt spreyi (HVOF) yöntemleri ön plana çıkan termal sprey kaplama teknikleridir [8,9].

APS yöntemi ile üretilen kaplamalar, prosesin doğası gereği havadaki oksijenle temas halinde gerçekleştiğinden dolayı kaplama yapısı gözenekli ve oksit içerikli bir mikroyapıya sahip olmaktadır [10].

Buna karşın HVOF yöntemi kullanılarak üretimde, toz parçacıkların ses hızına yakın hızlarda esas malzeme üzerine püskürtülmesi, parçacıkların hava ile daha kısa süre temas etmesine neden olmaktadır. Böylece daha yoğun bir kaplama mikroyapısı elde edilmektedir. Ayrıca toz parçacıkların sahip olduğu bu yüksek hız, kaplanan malzeme üzerinde plastik deformasyona neden olarak üretilen kaplamanın altlık malzeme ile daha sıkı bir şekilde birleşmesini sağlamaktadır [10-11].

Bu çalışmada HVOF yöntemi ile üretilen NiCrAlY içerikli bağ kaplamaların üzerine, APS yöntemi

kullanılarak ağırlıkça %8 oranında yitriya ile kararlı hale getirilmiş zirkonya (8YSZ) seramik üst kaplamalar biriktirilmiştir. Üretilen TBC sisteminin mikroyapısı ve porozite içerikleri; taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve mikroyapı analiz programları kullanılarak incelenmiştir. Mikrosertlik ölçüm cihazı ile her bir katmanın sertlik ölçümleri yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 25 mm çapında ve 4 mm kalınlığında disk şeklindeki Inconel 718 altlık malzeme üzerine sırasıyla bağ ve üst kaplamalar biriktirilmiştir. Bağ tabakada NiCrAlY genel bileşiminde, gaz atomizasyon yöntemiyle üretilmiş AMDRY 962 ticari kodlu (Sulzer Metco, USA) metalik toz malzeme kullanılmıştır. Bağ kaplamaların üretimi HVOF yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üst kaplamada ise YSZ ( $ZrO_2-8Y_2O_3$ ) içerikli Metco 204NS ticari kodlu (Sulzer Metco, USA) seramik esaslı toz malzeme kullanılmıştır. Üst kaplamaların üretimi APS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

TBC' lerin üretilmesinde kullanılan tozlara ait üreticinin vermiş olduğu toz partikül boyut aralığı ve toz içerikleri Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1.** Kullanılan toz malzeme özellikleri

Toz içeriği	Partikül boyut aralığı( $\mu m$ )
NiCrAlY	-106+53
YSZ, $ZrO_2+Y_2O_3$	-125+11

Çalışmalarda kullanılan TBC' lerin üretimleri aşağıda verilen sistemler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. NiCrAlY bağ kaplamaların üretilmesinde Hobart Tafa-JP500 ekipmanı kullanılmıştır. YSZ içerikli üst seramik kaplamaların üretilmesi ise Metco-3MB sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm kaplamaların üretilmesine ait kaplama parametreleri Tablo 2'de verilmektedir. TBC sistemlerinde kullanılan bağ kaplama kalınlığı ortalama 60-85  $\mu m$  arasında, üst seramik kaplama kalınlığı ise ortalama 150-175  $\mu m$  arasında değişmektedir.

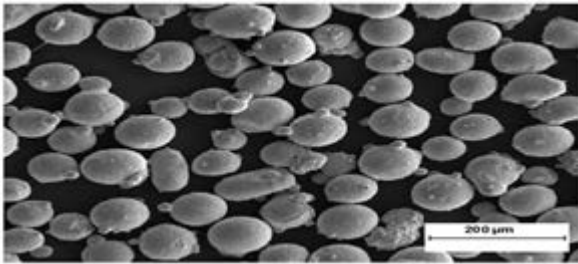
**Tablo 2.** NiCrAlY içerikli bağ ve YSZ ( $ZrO_2+Y_2O_3$ ) içerikli üst kaplama malzemelerinin üretilmesinde kullanılan kaplama parametreleri

HVOF Kaplama parametreleri	NiCrAlY
Taşıyıcı gaz hızı (slpm)	15
Toz besleme hızı (kg/saat)	5.4
Kaplama mesafesi (mm)	220
Yanma gazları	$O_2$ & $C_3H_8$
APS Kaplama parametreleri	YSZ
Akım (amper)	500
Argon akış hızı (slpm)	80
Hidrojen akış hızı (slpm)	15
Toz besleme hızı (kg/saat)	2.7
Taşıyıcı gaz hızı (slpm)	10
Güç (kW)	40
Kaplama mesafesi (mm)	75

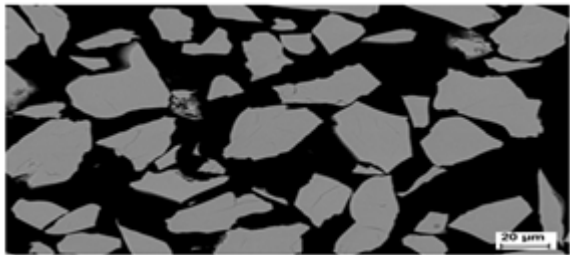
Kaplamaların mikroyapı analizlerinin yapılmasında ve porozite ölçümlerinin gerçekleştirilmesinde sırasıyla; Vega 2 Tescan marka SEM cihazı ve Lucia marka yazılıma sahip görüntü analiz programları kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçümleri ise Shimadzu marka test cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

### 3. Deneysel Sonuçlar

Kaplamaların üretiminde kullanılan NiCrAlY ve YSZ içerikli toz malzemelere ait mikroyapı görüntüleri Şekil 1 ve Şekil 2’ de gösterilmektedir.



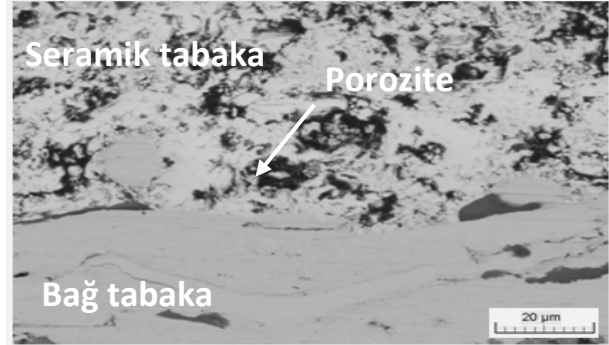
**Şekil 1.** Bağ kaplamaların üretiminde kullanılan NiCrAlY içerikli kaplama tozlarına ait mikroyapı görüntüsü [12].



**Şekil 2.** Üst kaplamaların üretiminde kullanılan YSZ ( $ZrO_2-8Y_2O_3$ ) içerikli kaplama tozlarına ait mikroyapı görüntüsü [13].

Bağ kaplamaların üretilmesinde kullanılan NiCrAlY tozlarının küresel morfolojiye sahip olduğu ve üst kaplamaların üretilmesinde kullanılan YSZ kaplama tozlarının ise düzlemsel yapıda olduğu Şekil 1 ve Şekil 2’den görülmektedir.

HVOF tekniği kullanılarak bağ kaplama üretimi ve APS tekniği ile üst seramik kaplama üretimi gerçekleştirilen TBC’ ye ait mikroyapı görüntüsü Şekil 3’de gösterilmektedir.



**Şekil 3.** HVOF ve APS yöntemleri kullanılarak üretilen TBC arayüzüne ait mikroyapı görüntüsü

Şekil 3’de verilen TBC ara yüzey mikroyapısından da görüldüğü üzere, her iki kaplama tabakasında da lamelar bir yapı gözlemlenmiştir. HVOF yöntemi ile üretilen bağ kaplama yapısı oldukça yoğun yapıdayken, APS tekniğiyle üretilen üst kaplamanın mikroyapısı birçok porozite ve oksit yapısını içermektedir. APS kaplamaların üretiminden kaynaklanan tipik kaplama mikroyapısı şekilden de görülmektedir.

Kaplamaların üretimleri sonrası gerçekleştirilen porozite analizleri sonucunda bağ ve üst kaplamalara ait porozite oranları sırasıyla;  $\%1.5\pm1$  ve  $\%8\pm3$  arasında değişmektedir.

Altlık malzeme, bağ ve üst kaplamalara ait mikrosertlik ölçümleri vickers baticı uç kullanılarak, 15 saniye süre ile 300 g ağırlıkta gerçekleştirilmiştir. Ölçümler sonucunda altlık malzeme, bağ ve üst kaplamalara ait sertlik değerleri sırasıyla;  $480\pm25$ ,  $320\pm45$ ,  $660\pm30$  Hv aralığında bulunmuştur.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, HVOF tekniği kullanılarak NiCrAlY içerikli bağ kaplama, APS tekniği kullanılarak ise YSZ içerikli seramik üst kaplamalar başarılı bir şekilde üretilmiştir. Kaplamaların mikroyapısal analizleri ve porozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda kaplamaların belirtilen yöntemler kullanılarak literatürdeki çalışmalara benzer olarak üretilebileceği görülmüştür. APS üst kaplama yapısı prosesin üretim koşullarından kaynaklanan tipik porozite ve oksit içeriklerine sahipken, HVOF tekniğiyle üretilen bağ kaplama yapısının ise yine bu tip kaplamaların bir özelliği olan yoğun yapıda olduğu görülmüştür. Her iki tip kaplama yapısına yapılan porozite ölçümleri sonucunda beklendiği üzere HVOF tekniğiyle üretilen bağ kaplama yapısından oldukça düşük porozite yüzdesi elde edilirken, APS tekniğiyle üretilen seramik üst kaplama yapısından da literatüre uygun bir biçimde yüksek oranda porozite içeriği elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar TBC' ler konusunda bir ön çalışma basamağını oluşturmakta olup, bundan sonraki süreçlerde her iki tip kaplama yapısının APS tekniğiyle üretimi sonra mikroyapısal incelemeler yapılacak ve oksidasyon testleri TBC' lerin kullanımına uygun sıcaklıklarda gerçekleştirilerek değişimler karşılaştırmalı olarak gözlemlenerek, değerlendirilecektir.

#### Teşekkür

Çalışmayı maddi olarak destekleyen İstanbul Teknik Üniversitesine ve kaplamaların üretimlerini yapan Senkron Yüzey Teknolojileri Sanayi ve Dış Ticaret Ltd. Şti.' ye teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Bi, X., Xu, H., Gong, S., 2000, Investigation of the failure mechanism of thermal barrier coatings prepared by electron beam physical vapor deposition, *Surface & Coatings Technology*, 130, 122-127p.
- Bose, S., 2007, *Thermal Barrier Coatings, High Temperature Coatings*, Elsevier, 104- 107.
- Bertrand, G., Mevrel, R., 1997, Zirconia coatings realized by microwave plasma-enhanced chemical vapor deposition, *Thin Solid Films*, 292, 241-246p.
- Dalkılıç, S., 2007, Bir termal bariyer kaplama sisteminin

yorulma davranışının incelenmesi, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 149.

- Dorfman, M.R., 2005, *Thermal Spray Coatings, Surface Engineering, Handbook of Environmental Degradation*, William Andrew, 407-408p
- Gell, M., Jordan, E., Vaidyanathan, K., McCarron, K., Barber, B., Sohn, Y.H., Tolpygo, V.K., 1999, Bond strength, bond stress and spallation mechanism of thermal barrier coatings, *Surface & Coatings Technology*, 120-121, 53-60.
- Karaoglanlı, T. Lampke, T. Grund, F. Ak Azem, I. Ozdemir, A. Turk, F. Ustel, Study of oxidation behavior of TBCs with APS and HVOF CoNiCrAlY bond coatings, *International Thermal Spray Conference 2011*, September 27-29 2011, Hamburg, Germany
- Matsubara, H., Jang, B.K., 2006, Microstructure of nanoporous yttria-stabilized zirconia films fabricated by EB-PVD, *Journal of European Ceramic Society*, 26, 1585-1590p.
- Padture, N.P., Gell, M., Jordan, E.H., 2002, Thermal barrier coatings for gas-turbine engine applications, *Science's Compass*, 296, 280-284p.
- Sidhu, T.S., Prakash, S., Agrawal, R.D., 2006, Evaluation of hot corrosion resistance of HVOF coatings on a Ni-based superalloy in molten salt environment, *Materials Science & Engineering, A* 430, 64,78p.
- Yu, Q., Rauf, A., Wang, N., Zhou, C., 2011, Thermal properties of plasma-sprayed thermal barrier coating with bimodal structure, *Ceramics International*, 37, 1093-1099p.
- Zhang, Y.Y., Deng, H.X., Shi, H.J., Yu, H.C., Zhong, B., 2012, Failure characteristics and life prediction for thermally cycled thermal barrier coatings, *Surface and Coating Technology*, 206, 2977-2985p.

#### İnternet Kaynakları

[http://www.sulzer.com/en/-/media/Documents/ProductsAndServices/Coating\\_Materials/Thermal\\_Spray/ProductInformation/DSMT\\_S\\_0102\\_0\\_NiCrAlY.pdf](http://www.sulzer.com/en/-/media/Documents/ProductsAndServices/Coating_Materials/Thermal_Spray/ProductInformation/DSMT_S_0102_0_NiCrAlY.pdf) (18.10.2012)