

A General Overview to Thermal Spray Coating Processes: Plasma Spray Coatings

*¹Abdullah Cahit Karaoglanli and ²Ahmet Turk

¹ Metallurgical and Materials Engineering Department, Bartın University, 74100 Bartın, Turkey

² Materials Science Engineering Department, Celal Bayar University, 45140 Manisa, Turkey

Abstract

One of the surface engineering methods used to improve functional properties of components, to increase usage performance under service conditions and to keep this performance for a long time in many of industrial fields such as defense, energy, aviation, automotive and machine industry is thermal spray coating applications. Thermal spray is a general name given to coating processes based on melting of metal and ceramic based powder materials at high speed and temperatures using a spraying gun on a determined substrate material surface. Failure mechanisms such as wear, corrosion, fatigue, oxidation and creep constitute the fields in which thermal spray coating processes are widely used in scientific and industrial scale. In order to prevent the failure factors mentioned, the most widely used thermal spray coating method is plasma spray process. In this study, plasma spray technique of thermal spray coating methods was explained in detail and comparative information were given.

Key words: Surface treatments, Surface engineering, Thermal spray coating, Plasma spray coating

Termal Sprey Kaplama Proseslerine Genel Bir Bakış: Plazma Sprey kaplamalar

*¹Abdullah Cahit Karaoglanlı ve ²Ahmet Türk

¹Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 74100, Bartın, Türkiye

²Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, Türkiye

Özet

Savunma, enerji, havacılık, otomotiv ve makine sanayi gibi endüstriyel birçok alanda, parçaların fonksiyonel özelliklerinin geliştirilmesi, servis koşulları altında kullanım performanslarının artırılması ve sürekliliğinin sağlanması amacıyla kullanılan yüzey mühendisliği yöntemlerinden biri de termal sprey kaplama uygulamalarıdır. Termal sprey, belirlenen altlık malzeme yüzeyleri üzerine metal ve seramik esaslı toz malzemelerin bir püskürtme tabancası kullanılarak, yüksek hız ve sıcaklıklarda ergitilmesi esasına dayanan kaplama proseslerine verilen genel isimdir. Aşınma, korozyon, yorulma, oksidasyon ve sürtünme gibi hasar mekanizmaları termal sprey kaplama proseslerinin bilimsel ve endüstriyel ölçekte yaygın şekilde kullanıldığı alanları oluşturmaktadır. Belirtilen hasar faktörlerinin önüne geçebilmek amacıyla en yaygın şekilde kullanım alanı bulan termal sprey kaplama yöntemi plazma sprey prosesidir. Bu çalışmada, termal sprey kaplama yöntemlerinden plazma sprey kaplama tekniği açıklanarak, karşılaştırmalı bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey işlemleri, Yüzey mühendisliği, Termal sprey kaplama, Plazma Sprey Kaplama

1. Giriş

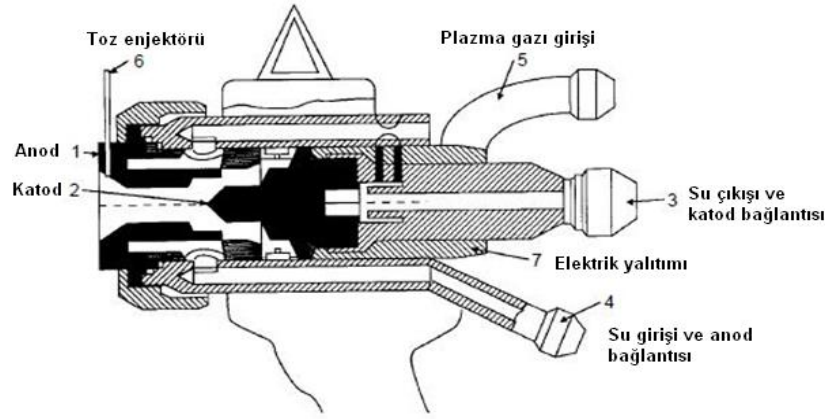
*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering
Bartın University, 74100, Bartın TURKEY. E-mail address: karaoglanli@bartin.edu.tr, Phone: +903782949179 Fax:
+903782949364

Termal spreycaplamalar, bir altlığın yüzeyine yüksek termal ve/veya kinetik enerjiye sahip, erimiş ya da yarı erimiş formdaki toz parçacıkların gönderilmesi yoluyla elde edilmektedir [1]. Bu kaplamalar difüzyon temelli kaplamalardan biriktirme mekanizması yönüyle ayrılmaktadır. Karbürleme/nitrürleme gibi yöntemlerde, kaplama malzemesi ve altlık malzemesi arasında gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda ve de difüzyon yoluyla kaplama tabakası oluşturulması sağlanır. Bu tip kaplamalar, altlığın kimyasal bileşimine bağlılık göstermektedir. NiAl gibi sistemlerin diğer elementleri çözebilirlikleri düşük olduğundan dolayı, difüzyon ile kaplama malzemelerinde üretim noktasında geniş esneklik sunmazlar [2]. Termal spreycaplamalarda ise, malzeme toz formunda parçacık olarak yüzeye gönderilerek yüzeyde biriktirilmesi sağlanır. Termal spreycaplama yöntemlerinde üretim elektrolitik kaplamalardan farklı olarak kaplama malzemesinin parçacıklar halinde biriktirilmesine dayanmaktadır. Elektrolitik kaplama veya PVD (Fiziksel buhar biriktirme) tarzı işlemlerde kaplama malzemesi çeşitli yöntemlerle (buharlaştırma gibi) atomize edilir. Atomlar altlığın üzerinde yoğunlaşarak ve uygun noktalara göç ederek çekirdeklenir ve büyürler. Termal spreycibi parçacık biriktirmesine dayalı yöntemlerde ise erimiş veya katı parçacıklar altlık yüzeyinde birikirler. Termal spreycaplamaların belirtilen biriktirme mekanizması kaplamalara birçok avantaj sağlamaktadır. Örneğin, ergime sıcaklıkları çok yüksek olan seramiklerin kaplanabilmesi, termal spreycaplama yöntemleri kullanılarak çok daha kolay olmaktadır. Seramiklerin kaplanmasında uygulanan diğer bir yöntem olan EB-PVD (Elektron demeti ile fiziksel buhar biriktirme) tekniğinde ise YSZ (Yitriya ile stabilize edilmiş zirkonya) kaplamaların üretilmesi, YSZ'nin buharlaştırılması ve altlık malzeme üzerinde yoğunlaşmasına dayanmaktadır. YSZ kaplamaların bu yöntemle üretilebilmesinin nedeni, içeriğindeki Y ve Zr atomlarının yarıçapları ile buhar basınçlarının birbirine yakın olmasından dolayı aynı sıcaklıkta buharlaştırılabilmeleridir. Fakat parçacık biriktirmesine dayanan termal spreycaplamalarda ise Y ve Zr'nin buhar basınçları önemsizdir [3-4].

Termal spreycaplamalarda altlık ile kaplama malzemesi reaksiyona girmeden kaplama yapılması sağlanmış olur. Böylelikle altlığın kimyasal yapısı bozulmamış olmakla birlikte, termal spreycaplamalarda altlığın kaplamaya direkt katkısının minimum düzeyde kalması sağlanır. Spreycaplama üretiminde, kaplama malzemesinin altlık üstünde birikebilmesi için plastik olarak deformasyona uğraması gereklidir. Bunun için gönderilen parçacıkların ya katı halde ama çok yüksek kinetik enerjiye sahip olmaları ya da erimiş halde olmaları gerekmektedir [2,5]. Termal spreycaplama yöntemleri arasında plazma spreycprosesi en yaygın şekilde kullanılan yöntemlerin başında yer almaktadır.

2. Plazma SpreycKaplamalar

Plazma spreycaplamaları oluşturmak için, yüksek sıcaklığa sahip plazma jetlerinden faydalanılmaktadır. Plazma kavramı, maddenin gazdan sonraki dördüncü halini ifade etmektedir. Gaz halindeki maddenin ısıtılarak pozitif iyonlara, elektronlara ve nötr atomlara ayrılmasıyla oluşur. Pozitif iyonlar ve elektronlar arasındaki çekim sayesinde, iyonlar ve elektronlar birleşirken, bu sayede salınan entalpi enerji sağlamakta ve yüksek sıcaklıkta plazma oluşumu sağlanmaktadır. 40 kW gücünde bir plazma tabancası ile 15000 K sıcaklıkta bir plazma oluşturulabilmektedir [2]. Bir plazma tabancasının kesiti Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Plazma tabancasının kesiti [5].

Plazma jetinin oluşturulmasında, bir tungsten katod ve bakır anod püskürtme nozulundan düz akım geçirilerek bir elektrik arkı üretilmiş olur. Azot veya argon gibi bir birincil gaz, entalpiyi artırmak için hidrojen veya ısı iletkenliğini artırmak için helyum gibi bir ikincil gaz ile karıştırılır ve bu karışım elektrik arkından geçirilerek ısıtılır, ayrıştırılır ve iyonize edilerek plazma üretimi sağlanır. Plazma jeti için yeterli enerji sağlanırsa, en sıcak olduğu yer olan püskürtme nozulu çıkışında 25000-28000 °C sıcaklığa kadar ulaşabilmektedir [5-7]. Genellikle toz beslemesi, dışarıdan nozul çıkışına çok yakın bir yerden veya içerden plazmaya gönderilerek yapılır. Bu sayede tozun plazmanın en sıcak bölgesine ulaşması sağlanır.

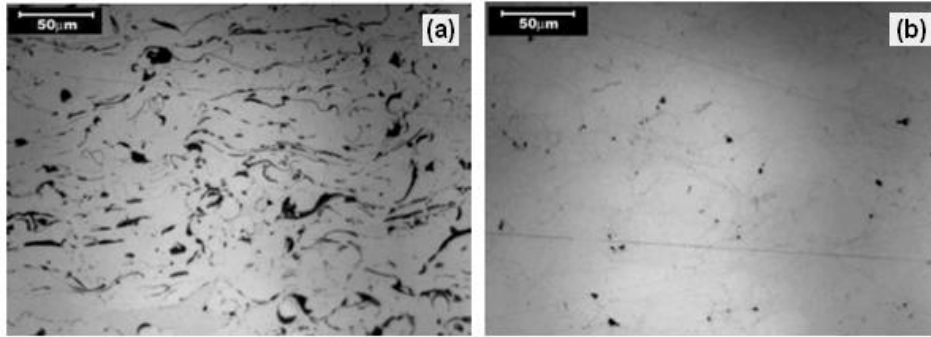
Plazmanın termal enerjisinin tozlara aktarılmasıyla tozlar erir ve bu eriyen tozlar yüzeyde biriktirmek üzere altlığa püskürtülürler [7]. Besleme tozlarının boyutları tipik olarak 20-90 mikrometre (μm) civarındadır [5]. Altlığa temas ettiklerinde çok hızlı bir şekilde soğur ve katılaşır. Soğuma hızları Ni bazlı alaşımlarda 10^7 K/s düzeyinde oranlara kadar çıkabilmektedir [8]. Paso esnasında sprej tabancası hareket hızı 50-2000 mm/s arasında değişmekte ve tabancayla altlık arası mesafe genellikle 60-130 mm arasında olmaktadır. Plazma sprej çok esnek yelpazeye sahip bir kaplama tekniğidir ve işlem sırasında çok yüksek sıcaklıklara ulaşabilmesi nedeniyle yüksek ergime sıcaklığına sahip seramiklerin dahi biriktirilmesine olanak sağlamaktadır. PS kaplama yöntemi atmosfere açık olarak yapılırsa atmosferik plazma sprej (APS) olarak adlandırılır [5].

APS yöntemi, biriktirme mekanizmasının parçacıkların eritilmesine bağlı olmasından dolayı yüksek verimli bir kaplama işlemidir. Yani altlığa gönderilen parçacıkların çoğu altlığa yapışır. Buradaki verimden kasıt, altlığa yapışan parçacık miktarının altlığa püskürtülen toz miktarına olan oranıdır. APS yöntemi ile altlığa gönderilen parçacıklar erimiş olduğu için, yapışmadan geri sekme veya altlığı aşındırıp yapışmadan yüzeyden ayrılma gibi sorunlar oluşmamakta ve kaplama verimi artmaktadır. Örneğin CoNiCrAlY içerikli üretim yapılan bir kaplamada Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt Püskürtme (HVOF) yönteminde verim % 45 iken, APS yöntemi ile % 60 gibi yüksek verim oranı elde edilebilmektedir [9].

APS yöntemi nispeten ucuz ve kolay bir işlem olmakla birlikte, havayla temasa açık olması ve

yüksek işlem sıcaklığından dolayı, kaplama işlemi esnasında oluşan oksit kalıntılara karşı en hassas kaplama işlemidir. Dolayısıyla APS yönteminin, oksit kalıntılara ve kusurlara karşı en az hassasiyete sahip ve yüksek erime sıcaklığı olan seramik parçacıklardan üretilen kaplamalarda kullanılması daha akla yatkın olmaktadır [7]. APS yöntemi ile üretilen kaplamalarda porozite oranı genellikle % 1-7 arasında değişmektedir. Fakat istenirse daha yüksek poroziteye sahip kaplamaların da üretimi mümkündür. Örneğin, termal bariyer kaplamaların (TBC)'lerin üst kaplama yapısında %10-15 içeriğe sahip porozite uygulanmaktadır [5, 10-11].

Plazma sprej işlemi uygulama olarak, kapalı bir oda içinde ve düşük basınç (ya da vakum) veya inert gazlardan oluşan kontrollü bir atmosfer altında da gerçekleştirilmektedir. Bu tür kaplamalara Düşük Basıncılı Plazma Sprej (LPPS) ya da Vakum Plazma Sprej (VPS) kaplama denmekte ve bu yöntemler, düşük basınçlı özel odalarda gerçekleştirilmektedir. VPS yönteminde, ortamda oksijen bulunmadığı için oksit içeriği neredeyse hiç olmayan kaplamaların üretilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca vakum altında yapılan kaplamalarda spreje direnç gösterecek bir gaz bulunmadığı için kaplama yapısında çok düşük gözenek oranlarına ulaşılabilir. Kaplama işlemine bağlı oksit oluşumu VPS işleminde neredeyse hiç olmadığından, TBC'lerin metalik bağ kaplamalarının üretimi için uygun bir alternatiftir. Fakat ekipmanlar ve işlemin APS yöntemine kıyasla daha kompleks ve pahalı olması da sistemin dezavantajlarını oluşturmaktadır. Şekil 2 a ve b'de, Scrivani ve arkadaşları tarafından, APS ve VPS teknikleri ile üretilen CoNiCrAlY içerikli bağ kaplamaların kesit görüntüsü verilmiştir [9]. Mikroyapılardan APS yönteminin oksitlenmeye açık bir kaplama çeşidi olduğu ve VPS yönteminde ise tamamen yoğun ve hemen hemen hiç oksit içermeyen bir kaplama yapısı olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2. CoNiCrAlY içerikli bağ kaplamaların kesit görüntüsü; a. APS yöntemiyle üretilen bir kaplamanın kesit görünümü, b. VPS yöntemiyle üretilen bir kaplamanın kesit görünümü [9].

3. Sonuçlar

Kaplama üretilmesinde düşük maliyet ve yüksek birikme verimliliği gibi unsurlar, termal sprej kaplama ailesi içerisinde plazma sprej yöntemini ön plana çıkartmaktadır. Bununla birlikte, plazma sprej yöntemiyle üretilen kaplamalar yüksek oksit içeriğine sahip olmaktadır. Diğer yandan kaplamada belirli bir homojenliği sağlamak için yüksek sıcaklığa gereksinim duyulmaktadır. Belirtilen hususlar dikkate alındığında, plazma sprej kaplama yöntemi

kullanımında kısıtlamaları olmasına karşın, farklı perspektifteki bir çok malzemeye uygulanabilir özelliğe sahip olması, hızlı ve ekonomiklik gibi avantajları içerisinde barındırması sebebiyle bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda, termal sprey kaplama ailesi içerisinde en çok tercih edilen yöntemdir. Kullanımı her geçen gün gerek dünya pazarında gerekse ülkemiz sanayinde yüzde olarak artış göstermektedir. Havacılık, otomotiv, çelik, kimya, petrokimya ve yarı iletken endüstrileri, makine sanayii, biyomedikal uygulamalar gibi alanlarda günümüz ve geleceğe yönelik olarak umut vaat edici çalışmalar bu alanda artan hızıyla devam etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK, 111M265) tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Davis J.R., Revised by D. E. Crawmer, Thermal Spray Processes, Handbook of Thermal Spray Technology, ISBN 0-87170-795-0, ASM International, 54-76, 2004.
- [2] Bose S., High Temperature Coatings, Butterworth-Heinemann, Elsevier, ISBN-13:978-0-7506-8252-7, 73-96, 2007.
- [3] Martin P.M., Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, Elsevier, 1-32, ISBN-13: 978-0-8155-2031-3, 2009
- [4] Clarke D., “Materials Selection Guidelines for Low Thermal Conductivity Thermal Barrier Coatings, Surface and Coatings Technology 163-164, 67-74, 2003
- [5] Pawlowski L., The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings, John Wiley&Sons, 2nd Edition, 67-165, 2008.
- [6] Heimann R.B., Plasma-Spray Coating, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 17-25., 1996.
- [7] Patrick R., Development of Conventional and Nanocrystalline Bond Coats by Cold Gas Dynamic Spraying for Aerospace Thermal Barrier Coatings, PhD Theses, University of Ottawas, Ottawa Ontario Canada, 1-227, July 19, 2010.
- [8] Sampath S., Herman H., Rapid Solidification and Microstructure Development during Plasma Spray Deposition, Journal of Thermal Spray Technology, 5, 445-456, 1996.
- [9] Scrivani A., Bardi U., Carrafiello L., Lavacchi A., Niccolai F., Rizzi G., A comparative Study of High Velocity Oxygen Fuel, Vacuum Plasma Spray, and Axial Plasma Spray for the Deposition of CoNiCrAlY Bond Coat Alloy, Journal of Thermal Spray Technology, Vol: 12, 504-507, 2003.
- [10] Scrivani A., Rizzi G., Bardi U., Giolli C., Miranda M. M., Ciattini S., Fossati A., Borgioli F., Thermal Fatigue Behavior of Thick and Porous Thermal Barrier Coatings Systems, Journal of Thermal Spray Technology, Vol: 16, 816-821, 2007.
- [11] Golosny I.O., Cipitria A., Clyne T.W., Heat Transfer Through Plasma-Sprayed Thermal Barrier Coatings in Gas Turbines: A Review of Recent Work, Journal of Thermal Spray Technology, Vol : 18, 809-821, 2009.