
Derleme / Review

Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri

Serkan ÖZEL^{*1}

¹*Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü*

Özet

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle metalik malzemelerin herhangi bir işlem uygulanmadan göstermiş olduğu performansı, ağırlaşan şartlar altında yetersiz kalmaktadır. Bu şartlarda malzemelerin istenilen yüzey performanslarını sağlaması amacıyla çeşitli yüzey kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Yüzey kaplamada kullanılan bu yöntemlerden bir tanesi de Isıl Püskürtme ile kaplama yöntemleridir. Bu yöntemler, sanayi sektöründe büyük bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışma ile yüzey kaplamada kullanılan ısıl püskürtme yöntemlerinin tanıtılması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüzey kaplama, Isıl püskürtme, Malzeme

Thermal Spray Methods used on The Surface Coating Processes

Abstract

Along with advancement of the technology, the performance showed by the metals without any heat processes has been inadequate under the severe conditions. Various surface coating methods have been improved to provide desirable surface performance on these conditions. One of the surface coating method is Thermal Spray Coating. These methods have a large area of usage on the industry sector. The publicity of the thermal spraying methods will be shown with this study.

Keywords: Surface coating, Thermal spraying, Material

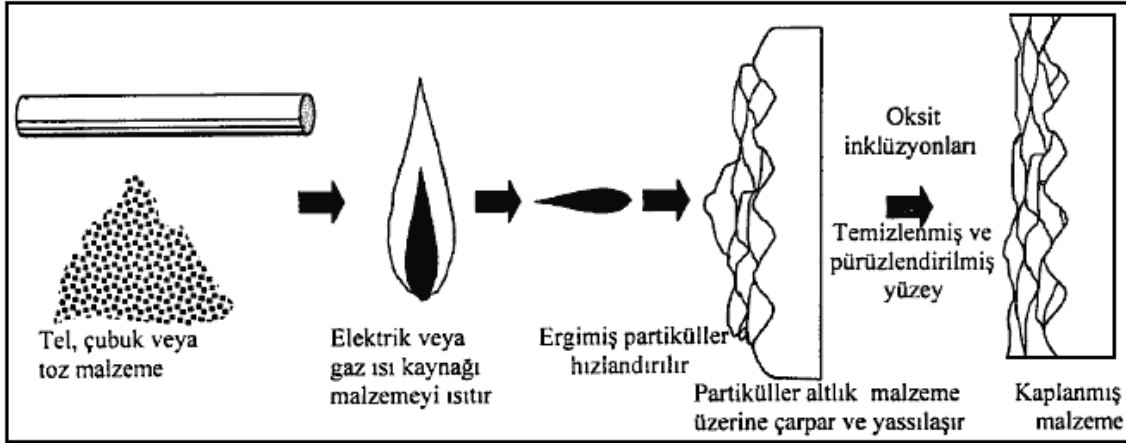
1. Giriş

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği gelişmelere paralel olarak hem gelişen teknolojinin ihtiyacı olan malzemelerin üretilmesine imkân sağlamakta, hem de teknolojik alanlarda bazı yeniliklere öncülük etmektedir. Malzemelerin endüstride kullanılabilmesi için bazı yüzey özelliklerini bünyesinde taşıması gerekmektedir [1]. Isıl püskürtme yöntemi yüzeylerin aşınma ve korozyona karşı korunmasında endüstride geniş bir kullanım alanına sahip bir işlemdir [2,3]. Son 20 yılda kullanılan tekniklere nazaran daha yeni bir kaplama yöntemidir. Bu yöntemin en geniş kullanım alanı, makine parçaları ve otomotiv endüstrisidir. Yöntem, süper alaşımların özel kaplamalarında ve gaz tribün mühendisliğinde kullanılmaktadır [4, 5].

Isıl püskürtülmüş kaplamaların göze çarpan en önemli özelliği geniş bir alanda uygulanabilir olmasıdır. Bu uygulanabilirlik iki nedenin sonucu meydana gelmektedir. Birincisi; malzeme bileşimindeki limitsizlik ve özel uygulamalar için Isıl püskürtme metotlarının uygulanabilir olması, ikincisi ise işlem sırasında parça sıcaklığının (100-260°C) arasında oksidasyonu, distorsiyonu ve faz dönüşümlerini minimize etmek için düşük tutulabilmesidir. Isıl püskürtme yöntemlerinin yüksek sıcaklıkları ve hızları, yöntem parametrelerinin ölçümü ve kontrolünü güçleştirir. Bundan dolayı, yaygın olarak kullanılmasına rağmen, kaliteli kaplamaların üretimi büyük ölçüde yetenekli teçhizat kullanıcılarının sezgisine ve tecrübesine bağlıdır. Isıl püskürtme kaplanmış kaplamalarda yüksek partikül hızı, daha iyi bağ mukavemetini, daha yüksek gözenekliliği ve yoğunluğu, aşınmaya karşı direnci daha büyük olan kaplamaları meydana getirmektedir [6].

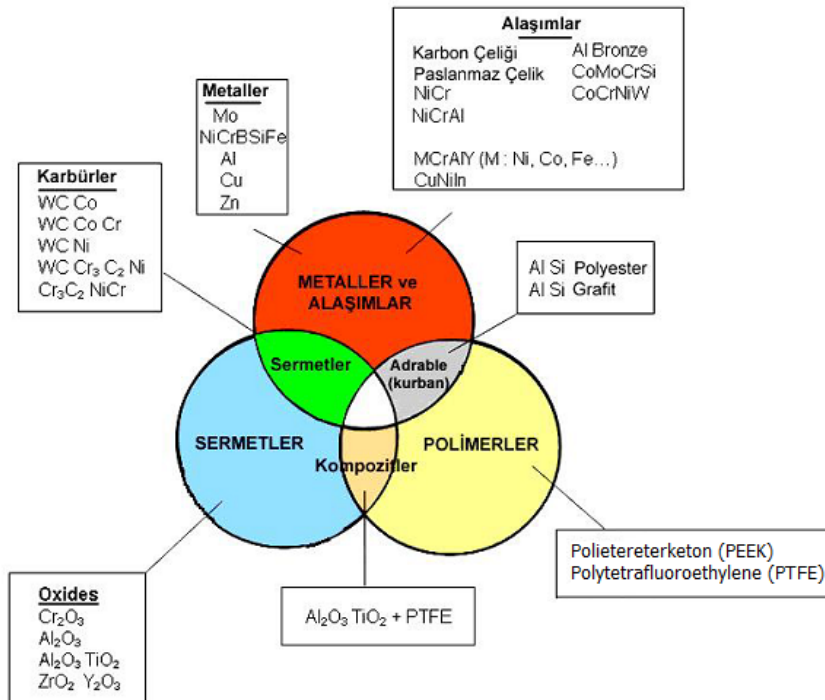
* Sorumlu yazar: sozel@beu.edu.tr

Isıl püskürtme kaplama teknikleri, tel veya toz halindeki kaplama malzemelerinin bir püskürtme tabancasında taşıyıcı, yanıcı ve yakıcı gazların eşliğinde püskürtülerek altlık üzerinde biriktirilmesi ve koruyucu tabakanın elde edilmesi esasına dayanan işlemlerdir (Şekil 1). Isıl püskürtme torcu; yanıcı gazlar, elektrik arkı veya plazma arkı ile kaplama malzemesini ergetmek için gerekli olan sıcaklığı elde eder. Ergiyen kaplama malzemesi kaplanacak olan parçanın soğuk olan yüzeyine püskürtülür. Yüzeye darbe etkisiyle çarpan tanecikler, düzleşmekte ve esas metale olan ısı transferi ile soğuyarak katılaşmaktadır. Birbirleri ile temas haline gelen bu tanecikler malzeme yüzeyinde kaplama tabakasını meydana getirmektedirler. Kaplama genellikle mekanik bağlanma ve bölgesel olarak çeşitli sınıflarda kimyasal bağ kuvvetleri ile oluşmaktadır [7, 8]. Bağlanmanın daha iyi olması için malzeme yüzeyi kaplama öncesinde yüzey pürüzlendirme işlemine tabi tutulur.



Şekil 1. Isıl püskürtme kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi

Isıl püskürtme kaplamalar ile alt malzeme yüzeyinde ısı bir bariyer oluşturulabilmektedir. Isıl bariyer kaplamalar, yüzey boyunca ısı akışını sınırlayan düşük ısı iletkenliğe sahip malzemelerden oluşur. Isıl bariyer kaplama uygulamaları ile ana malzemenin daha yüksek sıcaklıklarda kullanılmasına imkân sağlanır. Isıl bariyer kaplama olarak genellikle oksitler, karbürler ve nitrürler kullanılmaktadır. Genel olarak ısıl püskürtme kaplama yönteminde kullanılan kaplama malzemeleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Isıl püskürtme kaplama yönteminde kullanılan kaplama malzemeleri

Isıl püskürtme yöntemlerinin çeşitli özellikteki kaplamaların gerçekleştirilmesi amacıyla farklı ısıl püskürtme yöntemleri geliştirilmiştir. Sıcaklık, partikül hızı, kullanılan gaz gibi kaplama tabakasının özelliklerini etkileyecek parametrelerin değiştiği bu yöntemler; alevle püskürtme, yüksek hızlı oksji-yakıt (HVOF), plazma püskürtme, patlamalı püskürtme, ark püskürtme vb. yöntemlerdir [7, 9, 10].

2. Isıl Püskürtme Yöntemleri

2.1. Alevle Püskürtme

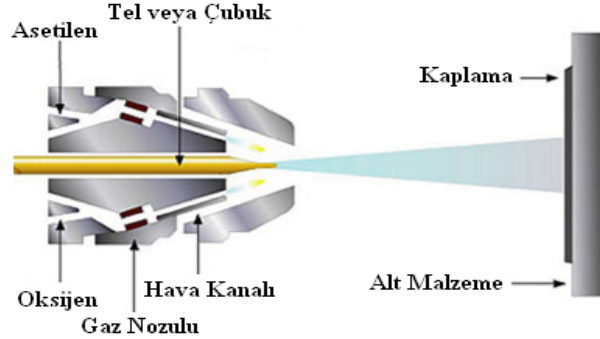
Bu püskürtme sistemi, yüzeye kaplanması düşünülen tel veya tozların, püskürtme memesi içerisinde ergitilerek kaplanacak olan alt malzeme yüzeyine püskürtülmesi şeklinde çalışmaktadır. Yanıcı gaz-oksijen alevinde püskürtülen telin ergimesi için oldukça yüksek bir alev sıcaklığına ihtiyaç vardır. Bu da ancak oksijen-yanıcı gaz alevi ile sağlanabilmektedir. [11, 12]. Alevle püskürtme ile oluşturulan kaplamalar mükemmel darbe direnci ile birlikte aşınma direnci göstermektedir. Havacılık, altyapı, makine tamir vb. birçok sanayi sektöründe alevle püskürtme teknolojisi kullanan bir yöntemdir. Alevle püskürtme yöntemi ile gerçekleştirilen kaplama işlemlerinde, kaplama tabakasındaki gözeneklilik yüksek olduğundan kalın kaplama tabakaları elde edilebilmektedir.

Alevle püskürtme yöntemleri, püskürtülen ilave metalin biçimi ve durumuna ve tabancanın özelliğine göre sınıflandırılırlar Bunlar;

- 1) Alevle tel püskürtme,
- 2) Alevle toz püskürtmedir.

2.1.1. Alevle Tel Püskürtme

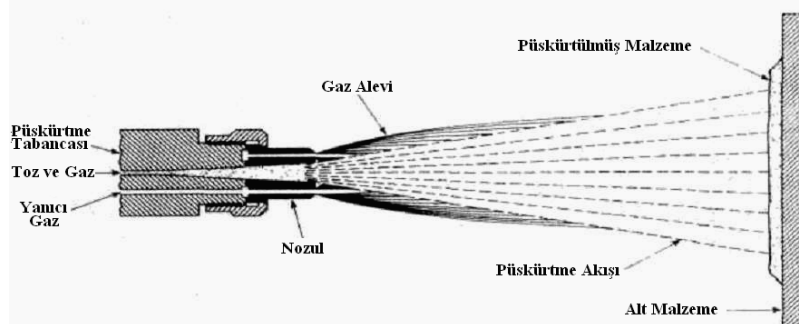
Alevle tel püskürtmede; kaplanacak olan metal tel, sürekli bir şekilde makara ya da halkadan tabancaya iletilerek kaplama işlemi gerçekleştirilir. Diğer bir çeşit olarak da kesilmiş metal çubuklar kullanılır. Şekil 3’de tel veya çubuk kullanılarak gerçekleştirilen alevle püskürtme sisteminin şematik görüntüsü verilmektedir.



Şekil 3. Tel veya çubuk ile gerçekleştirilen alevle püskürtme sisteminin şematik görünüşü [13]

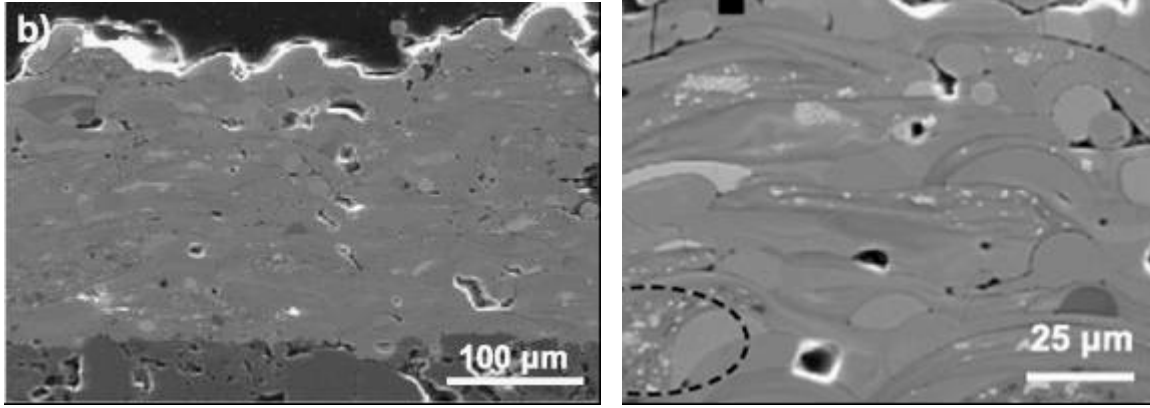
2.1.2. Alevle Toz Püskürtme

Asetilen ve oksijen gazının yanması ile oluşan alev içerisine toz haznesinden kaplanacak olan tozlar hava ile püskürtülmektedir. Burada ergiyen tozlar malzeme yüzeyine püskürtülerek kaplama tabakası elde edilmektedir. Alevle toz püskürtme sisteminin şematik görünüşü Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. Alevle toz püskürtme sisteminin şematik görünüşü [14]

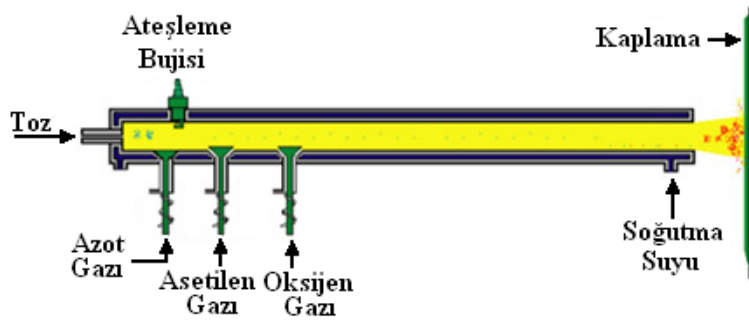
Metal tozları, seramik tozları ve seramik-metal toz karışımları, alevle toz püskürtme yöntemiyle püskürtülebilir. Metal tozları genellikle, aşınma ya da korozyon dirençli uygulamalar için tasarlanan sert alaşımlardır. Karbür ve borürler gibi çok sert metalik bileşikler, aşınma dirençli tabakaların elde edilmesinde, kompozit kaplama oluşturmak için metal tozlarıyla harmanlanır ve alevle püskürtme sistemi ile malzeme yüzeyine kaplanır. Şekil 5'te, alevle püskürtme yöntemi kullanılarak oluşturulmuş kaplama tabakaları görülmektedir.



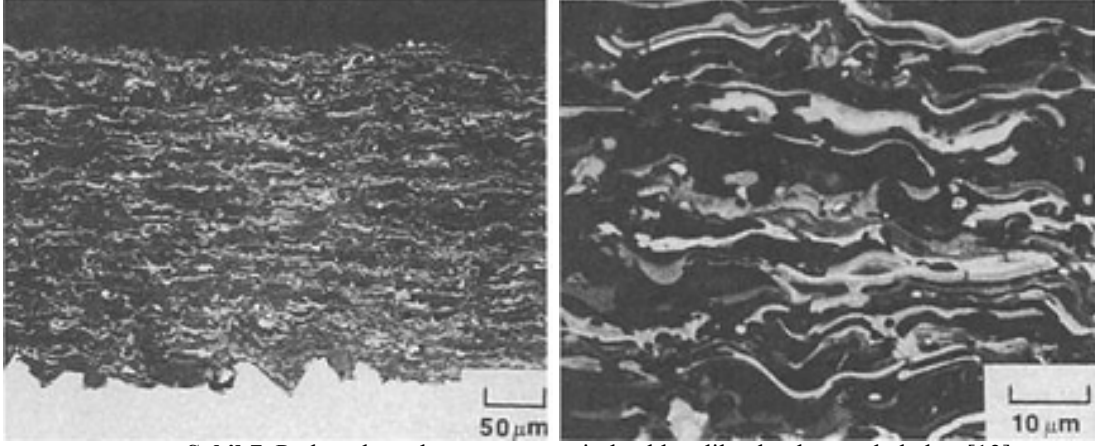
Şekil 5. Alevle püskürtme yönteminde elde edilen kaplama tabakaları [15]

2.2. Detonasyon Püskürtme (D-Gun)

Detonasyon püskürtme, özel olarak tasarlanmış bir tabanca ile yapılır. Tabanca, oksijen, asetilen ve azot içinde asılı olan tozlaştırılmış kaplama malzemesinin enjekte edilecek miktarlarının ölçüldüğü bir hücreyi içermektedir. Oksi-asetilen karışımı saniyede birkaç kez elektrik kıvılcımı ile patlatılır. Bu detonasyon sıcak, yüksek hızlı bir gaz akısını doğurur. Bunu yaparken de önce tozu plastik durumuna ısıtılır ve daha sonra partiküller tabanca namlusundan ayrılırken partikülleri yaklaşık olarak 2500 ft/sn (1ft = 30,48 cm) hıza ivmelendirir. Ergimiş partiküller, is parçasının yüzeyine çarparlar. Tabanca içindeki başarılı detonasyonlar, istenilen kalınlık için biriktirme işlemini sağlar. Şekil 7'de, patlamalı püskürtme yöntemine ait şematik resim görülmektedir. Detonasyon yöntemiyle püskürtme işleminde, kinetik enerji kontrollü bir patlama oluşur. Bu amaçla toz halindeki ilave metal, boru biçimindeki bir reaksiyon odasına sevk edilir ve miktarları hassas olarak ayarlanmış asetilen ve oksijenle karıştırılır; oluşan karışım, elektriksel olarak ateşlenir. Oluşan patlamayla açığa çıkan enerji, toz kabarcıklarını eritir ve çok yüksek hızlara çıkarır. Bu yüksek kinetik enerji, parçacıkların kaplanan yüzeye çarpmaları sırasında kısmen ısıya dönüşür ve böylece parça yüzeyi ile, çarpan damlacıklar arasında mikro kaynak olayı gerçekleşir. Bu proses ile yüzey sertliği 50-60 HRC'den daha yüksek sertliğe sahip tüm malzemeler kaplanabilmektedir. Fakat metalik olmayan altlık malzemeler bu yöntem ile kaplanamazlar. Çünkü yüksek hızdaki gaz akışı yüksek erozyona neden olmaktadır [6]. Şekil 7'de, patlamalı püskürtme yöntemi kullanılarak oluşturulmuş kaplama tabakaları görülmektedir.



Şekil 6. Patlamalı püskürtme sisteminin şematik görünüşü [16]

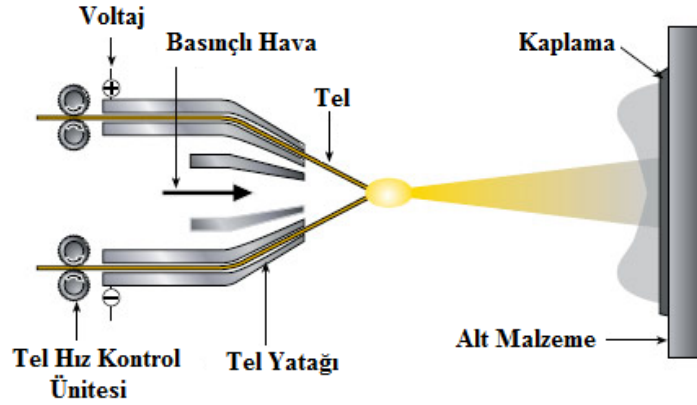


Şekil 7. Patlamalı püskürtme yönteminde elde edilen kaplama tabakaları [13]

2.3. Elektrik Ark Püskürtme

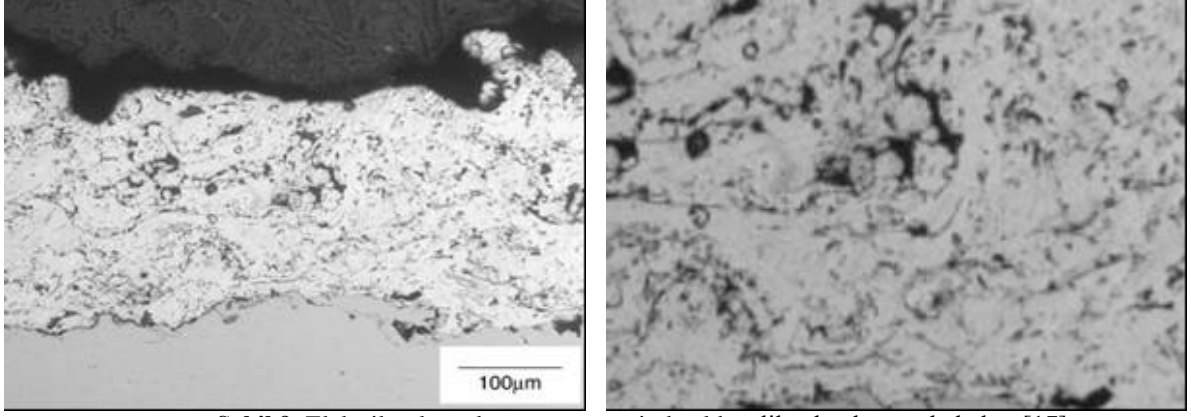
Elektrik ark püskürtme yöntemi, 20. yüzyılın başlarında icat edilmiştir. Bu yöntemde sistem içerisinde iki tel arasında sürekli bir ark meydana getirilmektedir. Bu telleri eritmek için gerekli olan ısı, elektrik arki tarafından sağlanmaktadır. Meydana getirilen ark tel uçlarını eritmektedir. Ergitilen tel uçları Şekil 8’de görüldüğü gibi hızlı ama soğuk hava jeti tarafından atomize edilmekte ve daha sonra kaplamayı meydana getirmek üzere altlık malzemesi yüzeyine püskürtülmektedir. Bu işlemde kullanılan teller, tel ile alev püskürtme işleminde kullanılan tellerle benzerdir. Elektrik ark püskürtülmüş kaplamalar alevle püskürtülmüş kaplamalar ile kıyaslandığında çeşitli üstün özelliklere sahiptir [6].

- 1) Çökme hızı daha yüksektir.
- 2) Yüksek bağ mukavemetine sahiptir.
- 3) Kaplamanın maliyeti daha düşüktür.
- 4) Kaplamadaki oksit miktarı azaltılabilmektedir.



Şekil 8. Elektrik ark püskürtme sisteminin şematik görünüşü [12]

Elektrik ark püskürtme yöntemi, aşınma ve korozyona dayanıklı kaplamaların oluşturulmasının yanında dekoratif amaçlıda kullanılabilir. Genellikle otomotiv, havacılık, savunma, altyapı ve hatta sanat endüstrisinde kullanılır. Malzeme yüzeyine gerçekleştirilen alüminyum ve çinko kaplamalar ile korozyon direnci, karbür kaplamalarla ise aşınma direnci artırılabilir. Ayrıca yöntem, sanatsal heykellerin kaplanmasında da kullanılmaktadır. Şekil 9’da, elektrik ark püskürtme yöntemi kullanılarak oluşturulmuş kaplama tabakaları görülmektedir.



Şekil 9. Elektrik ark püskürtme yönteminde elde edilen kaplama tabakaları [17]

2.4. Plazma Püskürtme

Plazma püskürtme, 1960'lı yılların ortasından bu yana endüstriyel uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir ve modern endüstri tarafından ihtiyaç duyulan yüksek performanslı yüzeylerin üretimi için faydalanılan en önemli teknolojilerden birisidir. Bu yöntem çok yönlü olduğundan geniş endüstriyel alanlarda kullanılmaktadır. Plazma püskürtme kaplamalar havacılık, otomotiv, tıbbi cihazlar, tarım iletişim vb uygulamalar için yaygın olarak kullanılır.

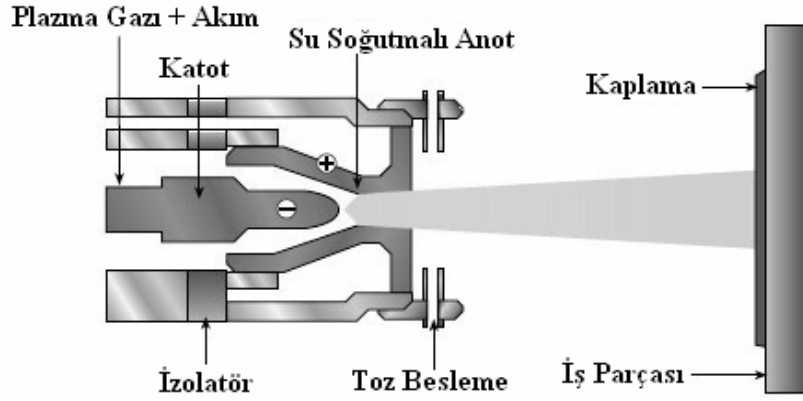
Plazma püskürtme, ısıl bariyer özellikli, oksidasyona dayanıklı, aşınma ve korozyona dirençli değişik özellikteki kaplamaların oluşturulmasında kullanılan çok yönlü bir kaplama tekniğidir. Bu teknikte düşük maliyette seramik veya yüksek ergime sıcaklığına sahip metal ya da alaşımlarının hızlı bir şekilde, değişik altlık malzemeler üzerinde oluşturulması ve şekillendirilmesini sağlar [18, 2].

Plazma püskürtme sisteminde ise plazma ışınının elde edilmesi katot ve anot arasındaki ark ile başlamaktadır. Elektrik arkı plazma torcu içerisinde üretilir. Üreticinin (+) kutbunun bağlandığı iletken anot, (-) kutbunun bağlandığı iletken de katot adı verilir. Tungsten katot ve su ile soğutulması sağlanan bakır (Cu) anot arasında bir elektrik arkı meydana gelir. Bu meydana gelen ark sayesinde, genellikle plazma gazı olarak kullanılan gazın iyonize olması için gerekli enerji sağlanmaktadır. Gazlar elektrik ark vasıtasıyla iyonize olur [19, 20]. Plazma gazının bu şekilde iyonize olması ile "plazma" elde edilir.

Plazma ışınının hızı çıkış ağzında sesten hızlıdır ve plazma arkın merkezinde sıcaklık 15000 °K değerine kadar ulaşır. Kaplama esnasında malzeme yüzeyine kaplanacak tozlar toz besleme ünitesi ile plazmanın içerisine taşınır. Farklı ebat ve şekle sahip tozların belirlenmiş olan oran ve hızlarda, malzeme yüzeyine püskürtme işlemini gerçekleştiren plazma tabancasına taşınmasını sağlamaktadır.

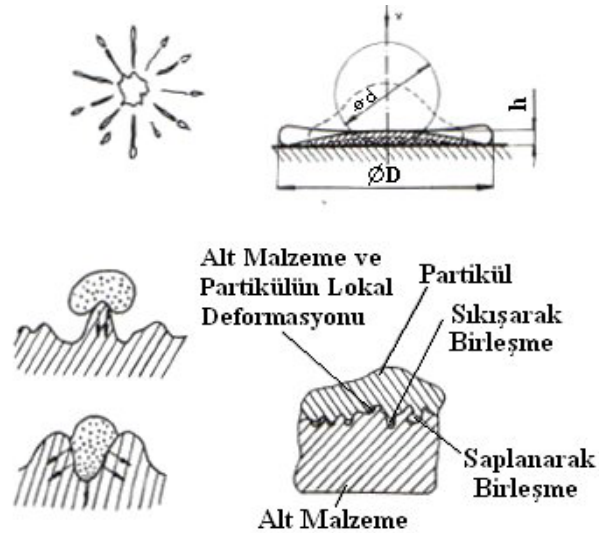
Plazma püskürtme sisteminde kullanılan başlıca gazlar Ar, He, H₂ ve N₂ ile birlikte az miktarda da havadır. Plazmanın oluşumunda bu gazlar kullanılmaktadır. Plazma gazları tek atomlu ve çift atomlu olarak iki temel grupta incelenir. İlk grupta argon ve helyum gazları, ikinci grupta ise azot ve hidrojen gazları bulunmaktadır. Plazma ışınının hızını ve entalpisini arttırmak için farklı oranlarda gaz karışımları kullanılmaktadır. Örneğin püskürtülmüş malzemenin ve ışının kinetik enerjisini arttırmak için argon ve azot gaz karışımının kullanılması uygundur [6].

Püskürtme esnasında tozların hızı yaklaşık 300 ile 550 m/s arasındadır. Taneciklerin ulaşmış olduğu yüksek sıcaklık ve hız sayesinde, yüksek yoğunlukta alt malzemeye tutunan yüksek dayanımlı kaplamalar elde edilebilmektedir. Plazma püskürtme işleminin şematik olarak gösterilişi Şekil 10'da verilmiştir.

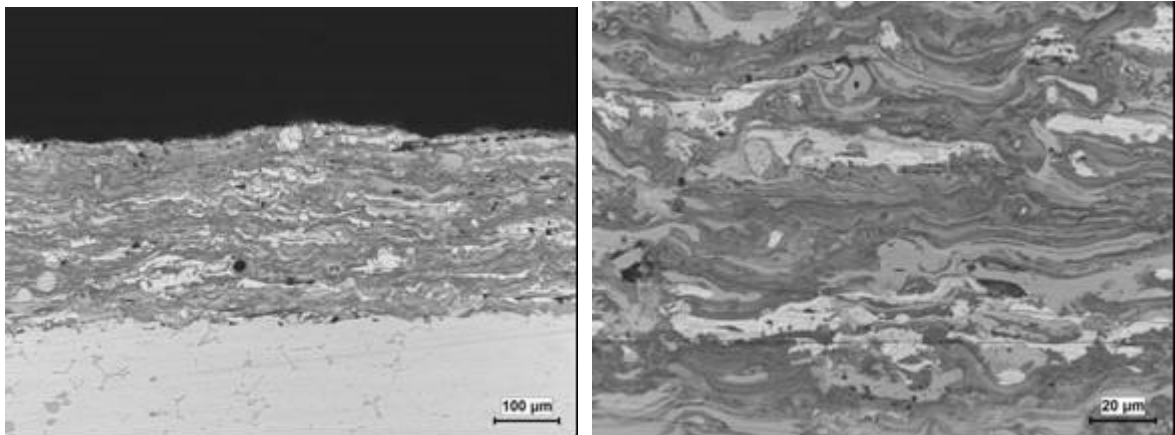


Şekil 10. Plazma püskürtme işleminin şematik olarak gösterilişi [13]

Plazma püskürtme sisteminde kaplama kalınlıkları genellikle 0.05 ile 0.50 mm (0.002 ile 0.020 inç) arasında, kaplamaların dayanımları da 34 MPa (5000 psi) ile 69 MPa (10.000 psi) arasında değişmektedir [13]. Plazma püskürtme sistemi içerisinde çıkan toz tanelerinin, alt malzemeye tutunması mekanik bir bağlanma ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle kaplanacak malzemenin yüzeyi, kaplama öncesinde pürüzlendirilmektedir. Bu sayede toz tanelerinin alt malzemeye çarpıp yassılaşıp tutunması artmaktadır. Tozların alt malzemeye çarpması sonucu elde edilen form Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 12'de, plazma püskürtme yöntemi kullanılarak oluşturulmuş kaplama tabakaları görülmektedir.



Şekil 11. Alt malzeme yüzeyine tozun çarpıp yassılaşması

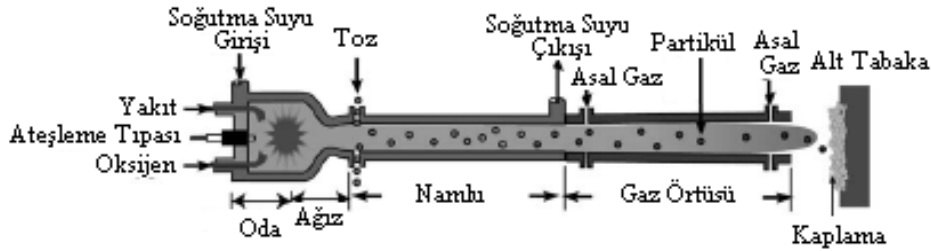


Şekil 12. Plazma püskürtme yönteminde elde edilen kaplama tabakaları [21]

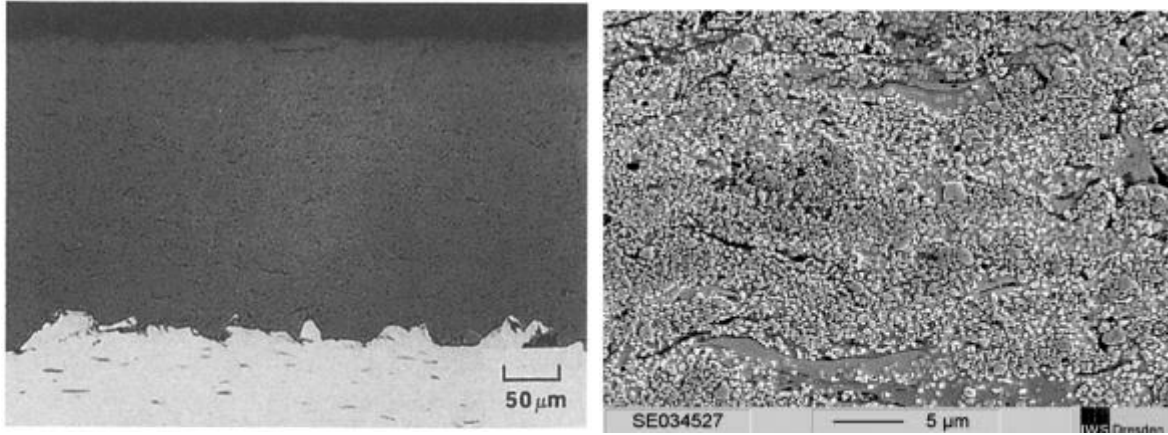
2.5. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme

Yüksek hızlı oksit-yakıt püskürtme (HVOF) yöntemi, mükemmel mekanik özelliğe sahip kaplamalar elde etmekte kullanılan bir yöntemdir. Püskürtme yönteminde olduğu gibi yüksek kinetik enerji ve oldukça düşük sıcaklıklarda, döküm parçası ile diğer bir başka parçayı birbirine dayanımlı bir şekilde bağlamada kullanılır. Korozyon ve aşınmaya maruz kalınan ortamlarda bu gibi kaplama malzemeleri önem taşır [22]. HVOF, 1980 yılından beri endüstride önemli yer tutan ve kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, yüksek gaz debisinde ve sıcaklıklarda uygun yüksek kaliteli kaplamalarda sıkça kullanılmaktadır. HVOF yöntemi, yüksek basınç odasında yakıt ve tutuşturma için oksijenin ve farklı gazların yanma reaksiyonu sonucunda nozulda bir noktadan birleşerek çıkması ve yüksek hızda alt tabaka üzerine püskürtülmesi ile gerçekleşmektedir. Şekil 13'te, HVOF yöntemi şematik olarak görülmektedir.

Kaplama yöntemlerinden biri olan ısı püskürtme kaplama yöntemi; yüzey aşınma, erozyon ve kırılma direnci özellikleri açısından iyidir. Ayrıca HVOF ile yapılan kaplamaların korozyon direnci ise, diğer termal püskürtme yöntemlerinden daha iyi olmaktadır [8, 24-26]. Tarihi gelişiminde termal püskürtme parametreleri, deneysel uygulama ve bağlantılarla bulunup ortaya çıkarılarak optimize edilmiştir. Termal püskürtme; hız, sıcaklık, katılaşmanın derecesi, alt tabaka malzemesi ve alt tabakanın sıcaklığı gibi çok geniş parametrelere sahiptir. Şekil 14'de, HVOF yöntemi kullanılarak oluşturulmuş kaplama tabakaları görülmektedir.



Şekil 13. HVOF püskürtme tabancasıyla birleştirimin şematik gösterilişi [6]



Şekil 14. HVOF yönteminde elde edilen kaplama tabakaları [28]

3. Sonuçlar

Malzeme yüzeyinde istediğimiz özelliği veren kaplamaların gerçekleştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Isıl püskürtme kaplama yöntemleri bu kaplamaların oluşturulmasında çok sık kullanılmıştır. Isıl püskürtme kaplama yöntemleri ile oksit, karbür, metal ve metal alaşımlarına ait bileşikler farklı türdeki altlık malzemelerin yüzeylerine kaplanabilmiştir. Bu kaplamalar ile altlık malzemenin yüzeyinde aşınmaya, sürünmeye ve korozyona dayanıklı tabakalar elde edilmektedir.

Kaynaklar

1. Özel S., Turhan H., Sarsılmaz F. 2008. AA2024 Alüminyum Alaşımı Yüzeyine $Al_2O_3/Al_2O_3+TiO_2$ Tozunun Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanması, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (3): 503-508.
2. Mishra S.B., Chandra K., Prakash S., Venkataraman B. 2005. Characterisation and Erosion Behaviour of a Plasma Sprayed Ni_3Al Coating on a Fe-based Superalloy, Materials Letters, 59: 3694-3698.
3. Yilbas B.S., Arif A.F.M. 2007. Residual Stress Analysis for HVOF Diamalloy 1005 Coating on Ti-6Al-4V Alloy, Surface and Coatings Technology, 202 (3): 559-568.
4. Barbezat G. 2005. Advanced Thermal Spray Technology and Coating for Lightweight Engine Blocks for the Automotive Industry, Surface & Coatings Technology, 200: 1990-1993.
5. Lin B.T., Jean M.D., Chou J.H. 2007. Using Response Surface Methodology for Optimizing Deposited Partially Stabilized Zirconia in Plasma Spraying, Applied Surface Science, 253: 3254-3262.
6. Kahraman N. 2001. Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 82s, Ankara.
7. Özel S. 2009. Alüminyum Alaşımı ve Bronzu Yüzeyine Oksit ve Karbür Bileşiklerinin Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanmasının Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 149s, Elazığ.
8. Sarıkaya Ö. 2003. Al-12Si Malzeme Üzerine Plazma Püskürtme Tekniği ile Al-Si+B₄C Kaplama. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 141 s, Sakarya.
9. Bach F.W., Duda T. 2000. Moderne Beschichtungsverfahren, DGM Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V., Willey-VCH, Weinheim-New York, 80-103.
10. Kahraman N., Gülenç B. 2002. Abrasive Wear Behaviour of Powder Flame Sprayed Coatings on Steel Substrates, Materials & Design, 23 (8): 721-725.
11. Hoff I.H. 1995. Thermal Spraying and Its Application, Welding and Metal Abrication, 63 (7): 266-269.
12. Clare M.J.H., Crawmer D.E. 1982. *Thermal Spray Coatings*, Metals Handbook, American Society for Metal, 5: 361-375. America.
13. 13 Isıl Püskürtme Yöntemleri. <http://www.sulzer.com/en/Products-and-Services/Coating-Equipment/Thermal-Spray/Processes> (Erişim Tarihi: 14.03.2011).
14. Tucker R. C. 1994. *Thermal Spray Coatings, Surface Engineering*, ASM Handbook, 499-509. Ohio.
15. Cano C., Garcia E., Fernandes A.L., Osendi M.I., Miranzo P. 2008. Mullite/ZrO₂ Coatings Produced by Flame Spraying, Flame spray- Journal of the European Ceramic Society, 28 (11): 2191-2197.
16. Patlamalı Isıl Püskürtme Yöntemi. <http://www.gordonengland.co.uk/ds.htm> (Erişim Tarihi 01.06.2012).
17. Regina M. H. Pombo Rodriguez, Ramon S.C. Paredes, Schereiner H. Wido, Alfredo Calixto. 2007. Comparison of Aluminum Coatings Deposited by Flame Spray and by Electric Arc Spray, Electric Arc Spray- Surface and Coatings Technology, 202 (1): 172-179.
18. Fang J.C., Xu W.J., Zhao Z.Y., Zeng H.P. 2007. In-Flight Behaviors of ZrO₂ Particle in Plasma Spraying, Surface & Coatings Technology, 201: 5671-5675.
19. Bolelli G., Cannillo V., Lusvardi L., Manfredini T. 2006. Glass-alumina Composite Coatings by Plasma Spraying. Part I: Microstructural and mechanical characterization, Surface & Coatings Technology, 201: 458-473.

20. Xiong H-B., Zheng L-L., Sampath S., Williamson R.L., Fincke J.R. 2004. Three-Dimensional Simulation of Plasma Spray: Effects of Carrier Gas Flow and Particle Injection on Plasma Jet and Entrained Particle Behavior, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47 (24): 5189-5200.
21. Ozel S., Turhan H. 2011. The Effect of Cr_3C_2 on Microstructure and Hardness of Cu5Al Plasma Sprayed Coatings, *Praktish Metallography*, 48 (6): 321-330.
22. Tan K.S., Wood R.J.K., K.R Stokes K.R. 2003. The Slurry Erosion Behaviour of High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Sprayed Aluminium Bronze Coatings, *Wear*, 255 (1-6): 95-205.
23. Zhao, L., Seemann, K., Fischer, A. and Lugscheider, E. 2003. Study on Atmospheric Plasma Spraying of Al_2O_3 Using On-Line Particle Monitoring, *Surface and Coatings Technology*, 168 (2-3): 186-190.
24. Mostaghimi J., Chandra S., Ghafouri-Azar R., Dolatabadi A. 2003. Modeling Thermal Spray Coating Processes: A Powerful Tool in Design and Optimization, *Surface and Coatings Technology*, 163-164: 1-11.
25. Perry J.M., Neville A., Wilson V.A., Hodgkiess T. 2001. Assessment of the Corrosion Rates and Mechanisms of a WC-Co-Cr HVOF Coating in Static and Liquid-Solid Impingement Saline Environments, *Surface and Coatings Technology*, 137 (1): 43-51.
26. Guilemany J.M., Miguel J.M., Vizcaino S., Climent F. 2001. Role of Three-Body Abrasion Wear in the Sliding Wear Behaviour of WC-Co Coatings Obtained by Thermal Spraying, *Surface and Coatings Technology*, 140 (2): 141-146.
27. Özel S. 2004. Cu-Sn-Zn-Al Bronz Alaşımı Yüzeyine Ferromangan Kaplamasının Aşınma Direncine Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96 s, Elazığ.
28. Berger L.M, Saaro S., Naumann T., Wiener M., Weihnacht V., Thiele S., Suchánek J. 2008. Microstructure and Properties of HVOF-Sprayed Chromium Alloyed WC-Co and WC-Ni Coatings, *Surface and Coatings Technology*, 202 (18): 4417-4421.