



Plazma Püskürtme Yöntemiyle Çelik Levha Üzerine Farklı Alaşımların Kaplanması

Coating of Different Alloys on Carbon Steel by Plasma Spray Method

Ömer Alparslan KAYA¹, Kevser ÇAKIR¹, Yahya BOZKURT¹

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 06/05/2017

Kabul/Accepted: 06/09/2017

Son Versiyon/Final Version: 26/12/2017

Öz

Günümüzde metal ve alaşımların yüksek sıcaklık, korozyon, aşınma gibi ağırlaşan çalışma şartlarında istenilen özelliklerini sağlayamadığı durumlarda plastikler, kompozitler, süperalaşımlar ve ileri teknoloji seramikleri gibi malzemeler devreye girmektedir. Bu nedenle ileri teknoloji seramikleri metal malzeme yüzeyine farklı kaplama teknikleri ile (CVD, PVD ve Isıl püskürtme tekniklerinden olan plazma püskürtme ile) uygulanmaktadır. Bu yöntemlerle kaplanan metal ile alaşımlar demir-çelik, uzay ve havacılık, savunma sanayi, otomotiv, makine ve imalat gibi birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, plazma püskürtme yöntemi ile altlık malzemesi olarak karbon çeliği üzerine kaplama işlemi yapılmıştır. Plazma püskürtme yöntemiyle iki farklı kaplama malzemesi olan Cr₂O₃ ve Al₂O₃-TiO₂(87-13) çelik malzemeler üzerine ayrı ayrı uygulanmıştır. Numuneler, mikroyapısal ve mekanik olarak incelenerek, her iki kaplama malzemesi kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler

“Plazma püskürtme tekniği, kaplama, karbon çeliği altlık malzeme, Krom oksit seramik kaplama, Alüminyum ve Titanyum oksit seramik kaplama.”

Abstract

Recently, metal and composition can not manage difficult conditions like the high temperature, corrosion, abrasion. Plastics, super composition, composites and massive technological ceramic were preferred in stead of metal and composition. Because of that advanced technological ceramics applicated onto the metal surface with different techniques (CVD, PVD, plasma spray method which one of termal spray methods, etc.) When the metals and compositions were coating with those methods they can available for iron-steel industry, defense industry, space and aeronautics, automoive, machine and manufacturing. In this study, Cr₂O₃ and Al₂O₃-TiO₂ (87-13)ceramic coatings have been applied onto carbon steel substrates by plasma spray technique. Coated samples have been analyzed and investigated with microstructural and mechanical tests respectively. Finally both coated samples have been compared.

Key Words

“Plasma spraying technique, coating, carbon steel substrate, Chromium oxide ceramic coating, Aluminium oxide and Titanium oxide ceramic coating”

1. GİRİŞ

Dünya üzerindeki her malzeme zamanla korozyon sebebiyle veya kullanım ortamına bağlı olarak aşınmaya uğrar. Bu aşınmayı engellemek için ya bulunması ve işlenmesi zor olan özel üretilmiş pahalı malzemeler kullanılmış, ya da aşınma sonucunda malzeme değişimine gidilmiştir. Buda büyük oranda üretimin durması, sonuçta da maliyetlerin artması anlamına gelmektedir. Bunu engellemek adına malzemeleri kaplama fikri ortaya çıkmıştır (M. R. Dorfman, 2012).

Yüzey kaplama tekniklerinin geniş bir sınıflandırması vardır. Bu sınıflandırma içerisinde yüzey kaplama tekniklerinden olan termal püskürtme kaplamaların kullanımı teknolojideki gelişmelerle paralel gelişmelerle artmaktadır (Rickbery vd, 1991).

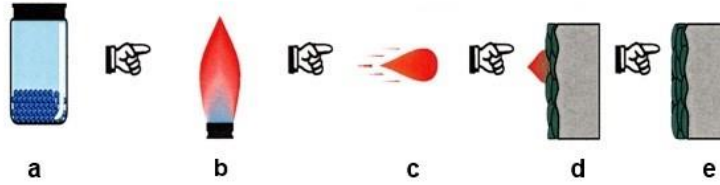
Termal sprey kaplama, toz veya tel halindeki kaplama malzemesinin elektrik arkı, alev veya plazma ile ertilerek, bir püskürtme gazı yardımıyla ergimiş partikülleri altlık malzemeye yapışmasını sağlayan yöntemlerin genel adıdır. Termal sprey kaplamalar korozyonu, abrazyon, erozyon, kazma gibi aşınma olaylarını engellemek, oksidasyonu ve sıcak korozyonu önlemek, ısı yalıtımı, elektrik iletimi veya yalıtımı amacıyla kullanılabilir. Ayrıca yenileme ve onarma, son hale yakın üretim, yenilenebilir kaplama ve dekoratif amaçlarla da kullanılabilir (M. R. Dorfman, 2012).

Termal spreyn en büyük avantajı istediğin tip metal formundaki malzemeye kaplama yapılmasının mümkün olmasıdır. Bu sayede maliyeti düşük olan malzemenize kaplama yapılarak sertliği ve aşınma dayanımı sağlanabilmektedir.

Tablo1: Yüzey Kaplama Tekniklerinin Karşılaştırılması (Rickbery vd, 1991.s4-13)

	GAZ (BUHAR) FAZI			SIVI FAZ		ERGİMİŞ-YARI SIVI FAZI		
	PVD	CVD	İyon Aşılama	Sol-Jel	Elektroliz le Kaplama	Lazer	Isıl Püskürtme	Kaynak
Kaplama Kalınlığı (mm)	0,3'e kadar	0,5'e kadar	0,005'e kadar	0,002'ye kadar	0,02-0,5 arası	0,05-2 arası	0,05-2 arası	1-20 arası veya daha fazla
Çökelti Hızı (kg/s)	0,5'e kadar	1'e kadar	Yok	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-1	0,1-10	3 ile 50 arasında
Kaplanacak Parça Boyutu	Kaplamanın yapılacağı hücre boyutuyla sınırlanmıştır.			Çözelti banyoyla sınırlanmıştır.		Bu işlemlerden bazıları uygulandığı hücre boyutu ile sınırlanmasına rağmen çoğunluğunda sınırlanılmamıştır.		
Kaplanacak Ana Malzeme Cinsi	Oldukça geniş seçim yapabilir.	Çökeltme sıcaklığı tarafından sınırlanmıştır.	Oldukça geniş seçim yapabilir	Oldukça geniş seçim yapabilir.	Oldukça geniş seçim yapabilir.	Oldukça geniş seçim yapabilir	Oldukça geniş seçim yapabilir	Çoğunlukla çeliklere
Ön İşlem	Kimyasal işlemler + İyon bombardımanı	Çeşitli işlemler	Kimyasal işlemler + İyon bombardımanı	Kum püskürtme veya kimyasal temizleme	Kimyasal temizleme ve dağlama	Mekanik ve kimyasal temizleme		
Son İşlem	Yapılmaz.	Ana malzeme gerilmelerin giderilmesi	Yapılmaz.	Yüksek sıcaklıkta kalsinasyon	Yapılmaz veya sadece ana malzemenin gerilmelerinin giderilmesi işlemi yapılır.			
Çökelti Kalınlığının Kontrolü	İyi	Vasat/İyi	İyi	Vasat/İyi	Vasat/İyi	Elle yapılanlar değişik sonuçlar verebilir otomatik yapılanlar iyi		
Bağlanma Mekanizması	Atomik	Atomik	Yok	Yüzey kuvvetler		Mekanik/Kimyasal		Metallurjik
Ana Malzeme Distorsiyonu	Düşük	Yüksek	Düşük	Düşük		Düşük/Orta		Yüksek olabilir.

Termal Sprey Kaplama Prosesi



Şekil 1: Termal Sprey Tekniğinin Şematik Görünüşü a)Tel veya Toz Kaplama Malzemesi b) Elektrik veya Gaz Isı Kaynağı c) Hızlandırılan Ergimiş Tanecik d)Esas Metal Yüzeyine Çarpan ve Düzleşen Tanecikler e) Tamamlanmış Kaplama (AWS, International Thermal Spray Association, 2017)

Tablo 2: St-37 Yapı Çeliği Kimyasal Bileşimi(%ağırlık)

Alaşım Elementi	C	Si	Mn	P	S	Mg	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	V	W	Fe
St-37	0.217	0.001	0.426	0.026	0.022	0.0001	0.064	0.001	0.001	0.001	0.017	0.001	0.003	99.219

Tablo 2’de kimyasal analizi verilen altlığın üzerine ara bağlayıcısı olmadan Plazma Alev Püskürtme ile Al₂O₃+TiO₂(87-13) ve Cr₂O₃ kaplama yapılmıştır. Kullanılan tozların özellikleri aşağıdaki gibidir:

İstatistiklere göre makine elemanlarının ortalama %70’inin hurdaya ayrılma sebebi aşınmadır. Bunun sonucu olarak meydana gelen malzeme kayıpları, aşınan parçaların yenileriyle değiştirilmesi zorunluluğu, makinelerin bakım-onarım faaliyetleri için harcanan zaman ve emek ve bu faaliyetler için istihdam edilen teknik personel göz önüne alındığında her yıl milli sermayeye oldukça büyük yükler getirmektedir. Bu çalışmada St-37 genel yapı çeliği üzerine plazma spre yöntemiyle farklı alaşımlar kaplanmıştır. Plazma Alev Püskürtme ile Al₂O₃+TiO₂ (87-13) ve Cr₂O₃ Altlık Malzemesi St-37 Çeliği: Mn, Si gibi alaşım elementlerinin bir veya ikisinin çeliğin içindeki değerleri, en az Mn % 1,65 Si %0,60 geçmiyor ve kimyasal bileşiminde başka herhangi bir alaşım elementinin belirli bir miktarda en az bulunması istenmiyorsa bu çelikler, karbonlu çelikler sınıfına girer. (Çağrı Barut, 2010)

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Genel çelik kullanımında en yaygın kullanıma sahip St-37 yapı çeliği seçilmiştir. Kimyasal bileşimi Tablo 2’deki gibidir.

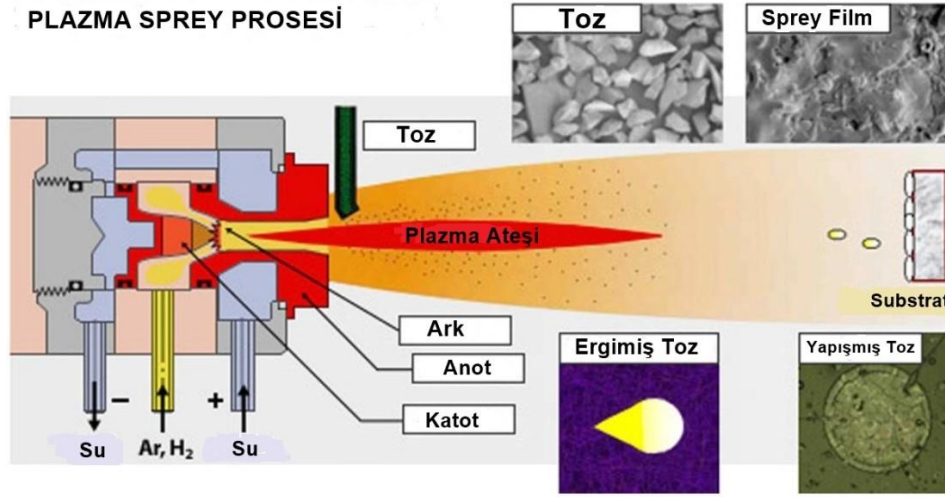
Tablo3: Kullanılan Tozların Özellikleri (METCO Technical Bulletin, 1983)

Kullanılan Tozlar	Seramik Toz 1	Seramik Toz 2
Kimyasal Kompozisyon	%87Al ₂ O ₃ %13TiO ₂	%92 Cr ₂ O ₃ %5SiO ₂ %3TiO ₂
Toz Boyut Dağılımı	-325+5 µm	-53+15µm
Ergime Sıcaklığı(°C)	2010	2435
Yoğunluk (gr/cm ³)	3.4	4.8
Toz Morfolojisi	Köşeli	Düzensiz

2.2. Deneyde Kullanılan Kaplama Yöntemi

Bir gaz, genellikle argon, ancak zaman zaman azot, hidrojen veya helyum dahil, bir tungsten katot ve suyla soğutulmuş bir bakır anot arasında akmasına izin verilir. İki elektrod arasında yüksek frekanslı bir deşarj kullanılarak bir elektrik arki başlatılır ve sonra da güç kullanarak sürdürülür. Ark, gazı iyonlaştırarak yüksek basınçlı bir gaz plazması oluşturur. Gaz sıcaklığındaki 30.000 °C’yi aşan artış, gaz hacmini ve dolayısıyla nozülde çıktığında basıncını ve hızını artırır. (Süpersonik olabilen gaz hızı, parçacık hızı ile karıştırılmamalıdır.) Plazma püskürtme meşalelerinde güç seviyeleri genellikle 30 ila 80 kW aralığında olmakla birlikte 120 kW gibi yüksek de olabilir. Argon genellikle ana gaz olarak seçilir, çünkü kimyasal olarak inerttir. Gazın entalpisi diatomik

gazların, hidrojen veya azotun eklenmesiyle arttırılabilir. (R.C. Tucker, 1994) Plazma püskürtme yönteminde, yüksek sıcaklıktaki kimyasal kararlılık, mükemmel aşınma direnci ve korozyona karşı dayanıklılığından dolayı seramik (özellikle oksit esaslı) esaslı tozlar, metalik tozlara nazaran daha çok kullanılır (Wang, Y, 2000). Alüminyum oksit (Al₂O₃) kaplamalar başarılı seramik kaplama türevlerindedir. Üstün nitelikli metal işleme performanslı, katı seramik kesiciler arasında en çok bilinen ve kullanılan tür olarak açıklanabilirler. Sementle karbür kaplamalara göre daha kırılğan yapıları nedeniyle düşük gerilimli kesme işlemlerinde kullanılırlar ancak buna karşın yüksek hızlardaki işlemlerde kimyasal yapılarını muhafaza ederler (A.Özkan vd,2008).



Şekil 2: Plazma Sprey Kaplama Yönteminin Şematize Edilmiş Hali (Sakarya Üniversitesi, Teslab, Plazma Sprey, 2017)

Kaplama kalitesi plazma sprey sistemindeki pek çok değişkene bağlıdır. Bunların arasında en önemlileri şöyle sıralanabilir:

- Kaplanacak yüzeydeki soğuma,
- Plazma tabancası ile kaplama yüzeyi arasındaki mesafe,
- Kaplama yüzey üzerindeki iç gerilmeler,
- Püskürtülen tozların erime durumları ve yüzeye çarpan parçacıkların hızı,
- Karşılıklı ısıtma ve akışkanlık davranışları şeklindedir. (Nuri Aydın, 2008)

Plazma Sprey Kaplama Yönteminin Avantajları: Plazma püskürtmenin en büyük avantajı, metallere, ısıya dirençli seramiklere kadar pek çok maddeyi aşağıdaki avantajlarla birlikte küçük veya büyük parçalar üzerine püskürtebilmesidir.

- Korozyon koruması
- Aşınma direnci
- Boşluk kontrolü – aşındırıcılar ve aşınacak malzemeler
- Isı ve oksidasyon direnci
- Sıcaklık yönetimi
- Elektrik direnci ve iletkenlik

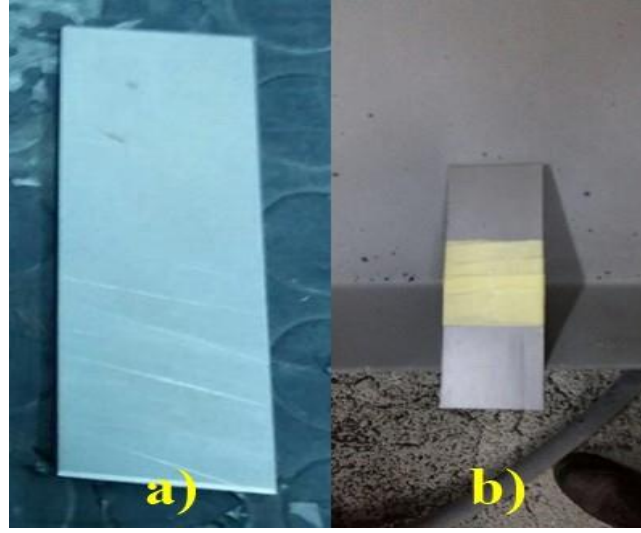
Tablo 4: Plazma Sprey Tekniği Parametreleri

Parametreler	Standart Ayarları
Kaplanacak(altlık) malzeme	St-37
Enjektör nozul çapı (mm)	1.8
Enjektör mesafesi (mm)	6
Enjektör açısı	90°
Plazma püskürtme mesafesi (mm)	120
Akım(A)	600
Voltaj(V)	67
Gaz	Ar
Taşıyıcı gaz akışı (lt/dak.)	3-4
Argon gaz akışı (lt/dak.)	35
Plazma tabancası tipi	Metco 3MB
Metco 3MB Plazma tipi	Ar+H ₂
Nozul tipi	W katot ; Cu anod

Bu çalışmada St-37 yapı çeliği altlığımız kaplama yapılmadan önce ön hazırlık aşamalarına tabii tutuldu.

2.3. Kaplama Öncesi Hazırlık

Plazma püskürtme yöntemi ile kaplama yapmadan önce kaplama tozunun malzemeye iyi bir birleşme yapabilmesi için kumlama işlemi uygulandı. Kumlama işlemi esnasında Sampi marka kumlama cihazı kullanıldı. Yüzeyler pürüzlendirildi.



Şekil 3: a-b) Sampi marka kumlama cihazıyla kumlanmış yüzeyler

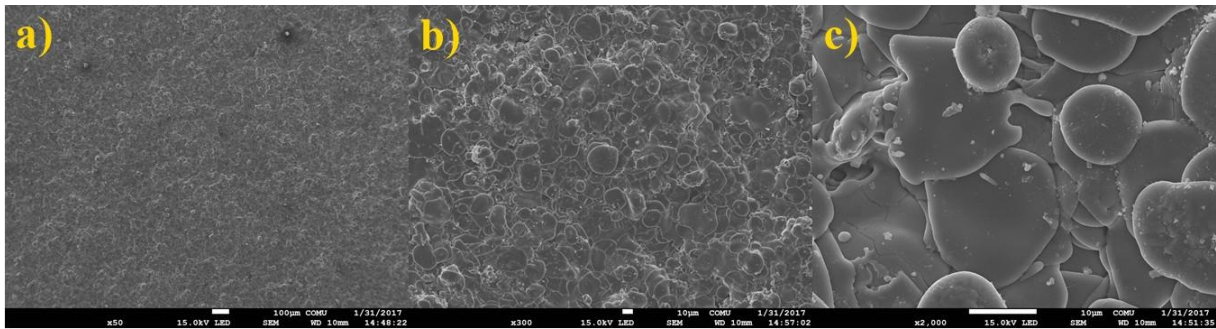
2.4. SEM ile İnceleme

SEM cihazıyla incelemeye önce hazırlık aşamasında önce numuneleri 7*7 mm boyutunda pres makinasıyla kesme işlemi uyguladık. Ardından kestiğimiz numuneleri SEM kalıplarına yapıştırdık. Numuneleri iletken hale getirmek için vakumlu ortamda 75 saniye boyunca 10 amstrong kalınlığında altın-paladyum kaplama yapıldı.

Malzemeler kaplandıktan sonra SEM mikroskobunda incelenmek üzere numune tutucuya yerleştirildi. Ardından yerleştirme koluyla numuneler tabancanın görüş alanına yaklaştırıldı.

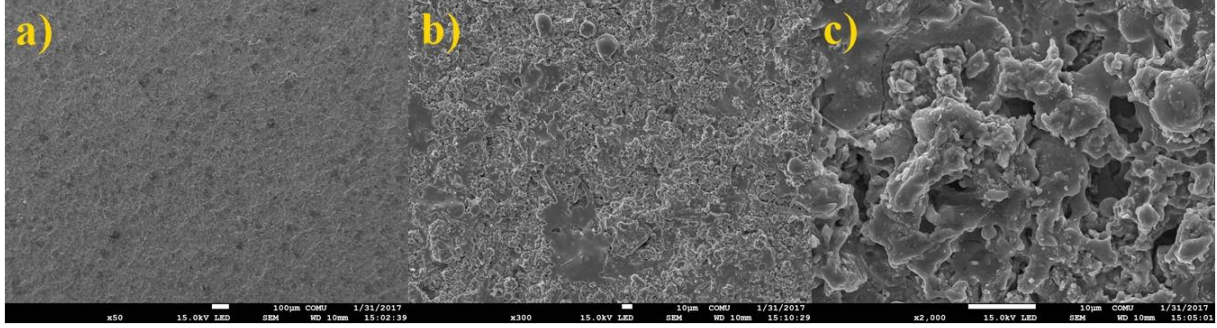
Tabancanın görüş alanında olan numunelere elektron bombardımanı gönderildi. Altın-paladyum kaplama yapıldığından dolayı elektronlar malzemeye güzelce temas ederek 50, 150, 300, 1000 ve 2000 kat büyütülerek görüntü alındı.

1. Numune: Plazma Püskürtme – Al₂O₃+TiO₂ (87-13)



Şekil 4: SEM Görüntüleri a) x50 büyütme 100 µm b) x300 büyütme 10 µm c) x2000 büyütme 10 µm

2. Numune: Plazma Püskürtme- Cr2O3



Şekil 5: SEM Görüntüleri a) x50 büyütme 100 µm b) x300 büyütme 10 µm c) x2000 büyütme 10 µm

2.5. Kaplamaların Mikrosertlik Ölçümü

Kaplanan numunelerin sertlik değerleri, ASTM E384 normuna göre Şekil 10'da gösterilen, Shimadzu HV2 marka mikrosertlik cihaz ile 200 gr yük 10 s. uygulanarak yapılmıştır.



Şekil 6: Shimadzu HV2 Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

Tablo 5: Mikrosertlik Değerleri

Kaplama	Sertlik Değeri
1.Numune (Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (87-13))	343.57
2.Numune (Cr ₂ O ₃)	442.37
Altık Malzeme	115.56

Mikrosertlik değerleri her numuneden 10 adet sertlik değeri alınıp ortalaması ile belirlenmiştir.

3. SONUÇ

St-37 altlık malzeme üzerine plazma sprey kaplama tekniği kullanılarak Al₂O₃+TiO₂ (87-13) ve Cr₂O₃ ara bağlayıcı olmaksızın 2 adet numune kaplanmıştır. SEM mikroskobunda görüldüğü üzere aynı yöntemle fakat farklı alaşımlarla kaplanan malzemelerin bağlarının farklı olduğu kanıtlanmıştır. Aynı altlık malzemesi üzerinde çalışılan kaplamalarda alaşım malzemesi Cr₂O₃ olan kaplama bağının, alaşım malzemesi Al₂O₃+TiO₂ olan kaplama bağına nazaran daha güzel yüzeye yapıştığı gözlemlenmiştir. 2000x büyütmede karşımıza çıkan görünüm bunu destekler niteliktedir. Al₂O₃/TiO₂ oranının ayarlanmasıyla, kaplamanın yoğunluğunu ve dolayısıyla mekanik özellikleri tahmin etmek ve kontrol etmek mümkündür (E. Klyatskina ve arkadaşları, A study of the influence of TiO₂ addition in Al₂O₃ coatings sprayed by suspension plasma spray, 2015, 25-29). E. Klyatskina ve arkadaşlarının yaptığı çalışma bunu destekler niteliktedir.

Bunların yanı sıra yapılan mikrosertlik deneylerinde ise; Al₂O₃+TiO₂ (87-13) kaplamasının altlık malzemesinin sertliğini 3 kat, Cr₂O₃ kaplamasının da altlık malzemesinin sertliğini 4 kat arttırdığı kanıtlanmıştır.

Özetle yapılan bu çalışmada St-37 altlık malzemenin mekanik özellikleri literatürde de incelendiği üzere gelişmiştir. Ve kaplama yöntemlerinin özelliklerinin kullanılan kaplama hammaddeye bağlı olarak değişimi sebebiyle kıyaslanamamıştır. Ancak kullanılan kaplama hammaddesi mekanik özelliklerine bakılarak kaplama yöntemi seçimi yapılması gerektiği öngörülmektedir. Bu çalışmada Al₂O₃+TiO₂ (87-13) ve Cr₂O₃ hammaddelerinin plazma püskürtme yöntemiyle kaplanmasında istenilen kalitede kaplama ürünü elde edilememiştir. Bu konuda ki çalışmalarımız literatür ışığında devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Kaplama konusunda bize atölyesini açan Yüzey Mühendisliğe, SEM cihazıyla ölçüm yapmamız için bizlere yardımcı olan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Merkez Laboratuvarı çalışanlarına, sertlik testi için Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi çalışanlarına, bu çalışmada bizlere yol gösteren hocalarımıza, her zaman yanımızda olan ve bizlerden desteklerini esirgemeyen ailelerimize sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

REFERANSLAR

A.Bhatia, Thermal Spraying Technology and Applications Washington:U.S. Army Corps .Of Engineers., 1999 Ahmet Akgül, S.Serdar Pazarlıoğlu, Doğan Tutak, Zafer Özomay, Hüseyin Beytut, Cem Özakhun, & Serdar

Salman Matbaa Sektöründe Aşınmış Çelik Esaslı Bir Malzeme İçin Seramik Kaplama Uygulaması International Iron & Steel Symposium, 02-04 April 2012, Karabük, Türkiye 587

Ahmet Güleç, Fatih Üstel, Özgür Cevher, Ahmet Türk, Akın Akıncı, Fevzi Yılmaz (2010) Elektrik Ark Sprey Kaplama Teknolojisi Uygulamaları, , Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü, 54187 Adapazarı

Arif Özkan, Fatih Baba, Suat Ayan (2006) Seramiklerin Makine Elemanları ve Mekanizmaları Üzerine Uygulanabilirliği ve İmalat Yöntemlerinin İrdelenmesi

Bartın Üniversitesi, Termal Bariyer Kaplama Ders Notu, s 43-46#

Çağrı Barut (2010) St 37 Karbonlu Çelik Malzeme Ara Bağlantı Aparatı Delme ve Bükmenin Teorik ve Deneysel İncelenmesi- Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Tasarım Öğretmenliği

M. R. Dorfman, “19 - Thermal Spray Coatings,” in Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition), Oxford: William Andrew Publishing, pp. 569–596, 2012.

Nuri Aydın, Plazma Sprey Kaplamada Olivin Değerlendirilmesi ve Kaplama Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

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.

Rickbery , D.S.,Matthews A. Advantages Surface Coatings: a Handbook of Surface Engineering ,New York, U.S.A., 1991.s4-13

Robert C. Tucker, Jr., ASM Handbook, Volume 5: Surface Engineering C.M. Cotell, J.A. Sprague, and F.A. Smidt, Jr., editors,(p 497-509), Termal Spray Coatings, , Praxair Surface Technologies, Inc.

Wang, Y., Jiang, S., Wang, M., Wang, S., Xiao, T.D., Strutt, P.R., Abrasive wear characteristic of plasma sprayed nanostructured alumina/titania coatings, Wear 237, 2000, 176–185.