

Ni-ESASLI KAPLAMALARIN ABRAZİF+EROZİF AŞINMA DİRENCİNE ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMİNİN VE WC İLAVESİNİN ETKİSİ

Nejat Y. SARI *, Muharrem YILMAZ **

Endüstride kimya, petrol ve çimento sanayiinde kullanılan Ni-esaslı tozlar ile ısı püskürtme yöntemleri kullanılarak aşınmaya karşı dirençli kaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, AISI 1050 çeliğinin aşınma direncini arttırmak için Ni-esaslı tozlar kullanılarak alev püskürtme, alev püskürtme + ergitme, yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) püskürtme + ergitme şeklinde bir seri ısı püskürtme yöntemleri ile kaplama tabakasının aşınma direncine WC sert fazı ilavesinin ve ısı püskürtme yönteminin etkisi incelenmiştir.

Anahtar sözcükler : Isıl püskürtme, Ni-esaslı tozlar, abrazif aşınma, erozif aşınma

Coatings with wear resistance obtained using thermal spray methods and Ni-based powders which are used in the chemical, petrol and cement industry. In this study, influence of thermal spray method and WC hard phase addition on the abrasive+erosive wear resistance of coating layers which were generated by using Ni-based powders with several thermal spray methods such as flame spray, flame spray plus remelting, and high velocity oxy-fuel (HVOF) plus remelting to increase the wear resistance of AISI 1050 steel was investigated.

Keywords : Thermal spraying, Ni-based powders, abrasive wear, erosive wear

* Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Makina Müh. Böl.,
** Kocaeli Üniversitesi, Müh. Fak., Metalurji ve Malzeme Müh. Böl.,

GİRİŞ

Yüzey işlemleri ve kaplamalar, yüzey sertleştirme işlemleri olarak adlandırılan mühendislik ve bilim dalları arasındaki uzlaşmadır. Yüzey mühendisliği yöntemleri, malzemenin korozyon ve aşınma direncini, yorulma mukavemetini, fiziksel özelliklerini, estetik görünümünü veya bunların bileşimi olan özellikleri iyileştirmek için kullanılabilir. Yüzey mühendisliği, bir kaplama tekniği veya diğer bir deyişle yüzey özellikleri kazandırma tekniğinden başka imalat yöntemi ve parça tasarımını da içermektedir [1]

Endüstride aşınmış makina parçalarının tamiri, makina parçalarının yüzeysel özelliklerinin iyileştirilmesi ve konstrüktif parçaların yüzeyleri için çinko ve alüminyum gibi koruyucu kaplamalar oluşturulması şeklinde kullanılan ısı püskürtme yöntemleri, parça yüzeyine ilave kaplama oluşturma şeklinde endüstride çeşitli yöntemlerle yaygın uygulama alanı bulmaktadır [2].

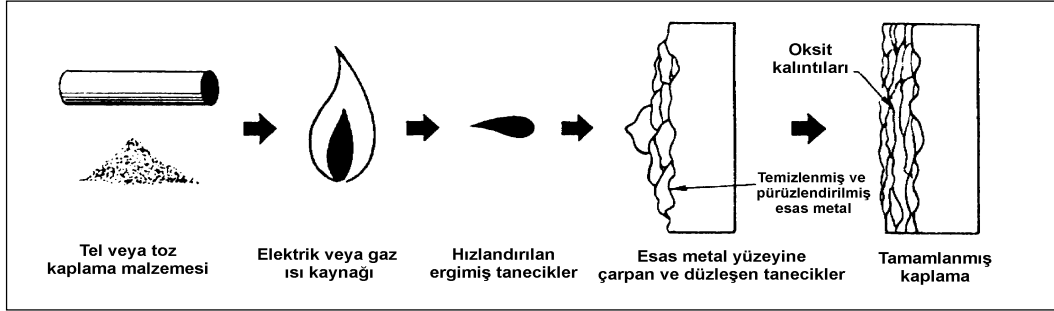
Isıl püskürtme yöntemi, kaplama oluşturmak için önceden hazırlanan esas metale çok ince metalik veya metalik olmayan malzemeleri çökeltten bir grup yöntemi tanımlamak için kullanılan jenerik bir terimdir. Kaplama malzemesi toz, çubuk ya da tel biçiminde olabilir. Isıl püskürtme tabancası (başlığı), kaplama malzemesini ergetmek için gerekli olan sıcaklığı yanıcı gazlar, elektrik arkı veya plazma arkı ile elde eder [3,4,5].

Ergiyen kaplama malzemesi kaplanacak olan ve altlık denilen parçanın soğuk olan yüzeyine püskürtülür. Yüzeye darbe etkisi ile çarpan damlacıklar düzleşmekte ve esas metale olan ısı transferi ile soğuyarak katlaşmakta ve birbirleri ile temas haline gelerek tabaka meydana getirmektedir (Şekil 1). Ergiyen kaplama malzemesinin esas metal ile birleşmesi ve tabaka oluşturması difüzyon ve kaynak kabiliyetine bağlıdır. Kaplamalar, genellikle mekanik bağlanma ve kimyasal bağ kuvvetleri ile oluşmaktadır [6]. Enerji kaynağı (yanıcı gaz veya elektrik), kaplama malzemesi (tel veya toz) ve atmosfer (hava, düşük basınç veya soy gaz) bakımından birbirlerinden farklılık gösteren ısı püskürtme

yöntemleri alev, elektrik ark, plazma, patlamalı ve yüksek hızlı oksji-yakıt (HVOF) şeklinde sıralanır [7].

Isıl püskürtme yöntemi ile kaplama tabakası oluşturmak için Ni-esaslı kaplama tozları yaygın olarak

kaplama tozu ile yüksek hızlı oksji-yakıt püskürtme (HVOF) işlemi kullanılarak kaplama tabakası oluşturulduktan sonra ayrıca ergitme işlemi de uygulanmıştır. Alev püskürtme işlemi ile hem Ni-esaslı



Şekil 1. Isıl Püskürtme İşlem Sırası [8].

kullanılmaktadır. Ni esaslı alaşımlar, aşınma direnci ile birlikte sıcak korozyon ya da oksidasyona direncin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadırlar. Piston kolları ve toprak kaldırma ekipmanları gibi büyük boyutlardaki parçalarda kaplama tabakası oluşturmak için kullanılırlar. Ni esaslı alaşımlar, ısıl püskürtme teknolojisinde püskürtme-ergitme tozları olarak bilinir. Kaplama sonrası ergitme işlemi, alaşımın katı-sıvı sıcaklıkları arasında (927-1127 °C) oksji-asetilen başlığı veya fırın yardımı ile yapılır. Böylelikle kaplama tabakası ile ana malzeme arasında kaplamanın yapışabilirliği ve bağ mukavemeti artırılmış olur [9]. Ni-esaslı alaşımların aşınma direncini arttırmak için bir diğer yol ise kaplama tabakası içine WC, VC ve CrC gibi sert fazların ilavesidir [10].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, altlık malzemesi olarak kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen AISI 1050 çeliği kullanılmıştır. Kaplama tozu, işlem parametreleri ve uygulanan yöntemler ise Tablo 2'de verilmiştir. WC ilaveli Ni-esaslı

hemde WC+ Ni-esaslı olmak üzere 2 değişik toz ile kaplama tabakası oluşturulmuş buna ek olarak sadece Ni-esaslı toz ile de ayrıca alev püskürtme ve sonrasında ergitme işlemi şeklinde bir diğer kaplama tabakası daha oluşturulmuştur.

AISI 1050 çeliğinden tornalanarak hazırlanan deney numuneleri toplam 60 mm uzunluğunda olup 30 mm'lik kısım 5 mm çapında diğer 30 mm' lik kısım da 7 mm çapında olacak şekilde kademeleri olarak tasarlanmış olup deney numunelerinin aşındırılacak kısmı 7 mm'lik çapındaki ve 30 mm uzunluğundaki kısmıdır.

Hazırlanan deney numunelerine Şekil 2'de gösterilen deney cihazında aşınma deneyleri uygulanmıştır. Aşındırıcı tanecik olarak 820 Knopp sertlik değerindeki çakmak taşı seçilmiştir. Aşındırma makinası dönme+karıştırma sistemine göre çalışmaktadır. Kazan içerisindeki aşındırıcı tanecikler içinde planet dişli mekanizması ile hem kendi ekseninde hem de ana mil eksenine etrafında dönen numunelerin aşınma miktarları ağırlık kaybına göre belirlenmiştir. Deney öncesi numuneler ultrasonik

Tablo 1. Deney Çeliği Kimyasal Bileşimi

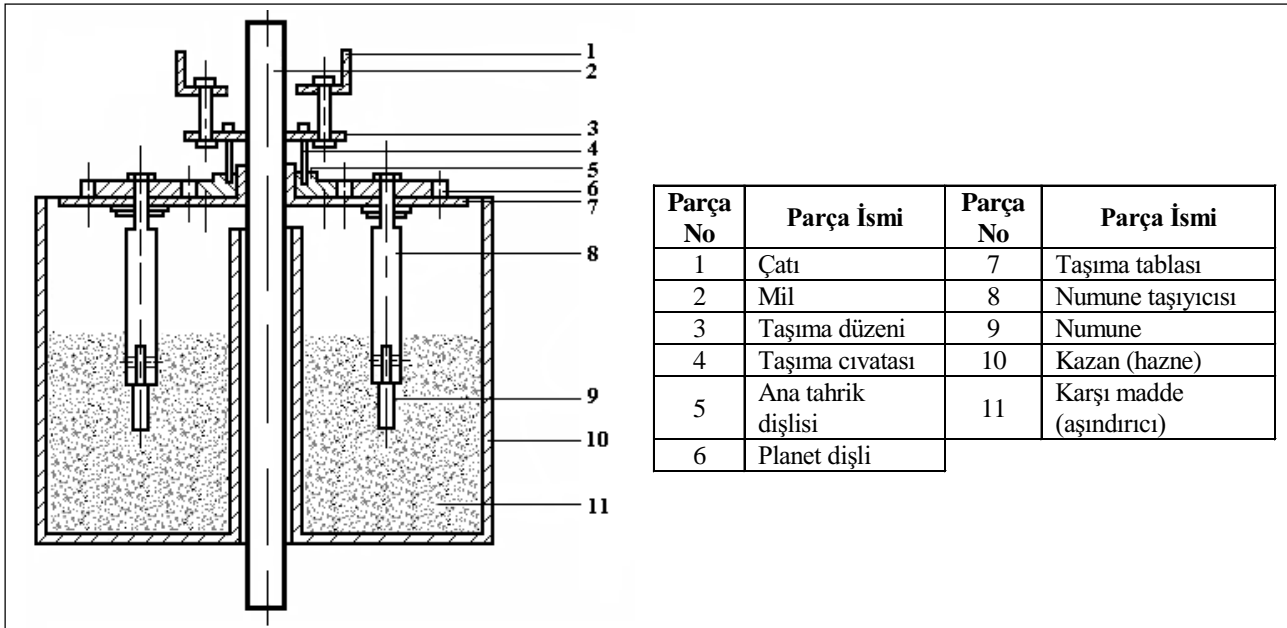
Ana Malzeme	Kimyasal Bileşim (%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
AISI 1050	0.533	0.293	0.883	0.033	0.012	0.255	0.183	0.098

Tablo 2. Isıl Püskürtme İşlem Parametreleri.

İşlem Parametreleri	Isıl Püskürtme Yöntemi	
	Yüksek hızlı oksî-yakıt püskürtme (HVOF)	Alev ile püskürtme
Püskürtme Başlığı	JP 500 HP/HVOF	Metco Thermo Spray 5P-II
Püskürtme Mesafesi	350 mm	150 mm
Püskürtme Oranı	5,9 kg/saat	9 kg/saat
Oksijen Basıncı	9,53 atm	2,31 atm
Azot Basıncı	3,4 atm	-
Yanıcı Gaz Cinsi ve Basıncı	Kerosen, 8,85 atm	-
Asetilen Basıncı	-	2,31 atm
Kaplama Tozu (Deney Kodu)	WC+CrNiBSi (HVOFM)	NiCrBSi (FS1, FSM*) ve WC+NiCrBSi (FS2)
*) Ni-esaslı toz ile alev püskürtme ve sonradan ergitme işlemleri uygulanmış numunenin deney kodu		

temizleyicide alkol içerisinde temizlenerek kurutulmuş ve 0.1 mg hassasiyetli 330 gr kapasiteli Shimadzu-Libror EB-330H marka elektronik terazi ile tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir. Her bir numune için aşınma süresi 10 saat olarak belirlenmiştir. Ancak, numuneler başlangıçta yüzeylerinin pürüzlü olmasından dolayı çok hızlı aşınma gösterdiğinden ilk 1 saat sonundaki ağırlık kayıpları dikkate alınmamıştır. Ağırlık kaybı ölçümleri her 1 saatlik süreler sonunda yapılmıştır. Aşınma deneyleri boyunca, aşındırıcı

tanecik boyutu ve cinsi ile numunelerin hızı ve aşındırıcı tanecik içerisindeki derinliği gibi işlem parametreleri her bir numune için sabit olarak seçilmiştir. Aşındırıcı tanecikler, kendi aralarındaki etkileşimlerinden dolayı aşındırma kabiliyetlerinin azaldığı göz önünde bulundurularak 40 saatlik süreler sonunda yenilenmiştir. Numunelerin, belirli sürelerdeki aşınma deneyi sonucunda ağırlık kayıplarını belirlemek için tartıma alınmadan önce, yüzeylerinde aşındırıcı taneciklerden veya



Şekil 2. Abrazif Aşınma Deney Makinası.

herhangi bir nedenden dolayı oluşabilecek toz, kir v.s. gibi yabancı maddelerden temizlenmesi amacı ile ultrasonik temizleyicide 10 dakika süre ile alkol içerisinde temizlenmiştir.

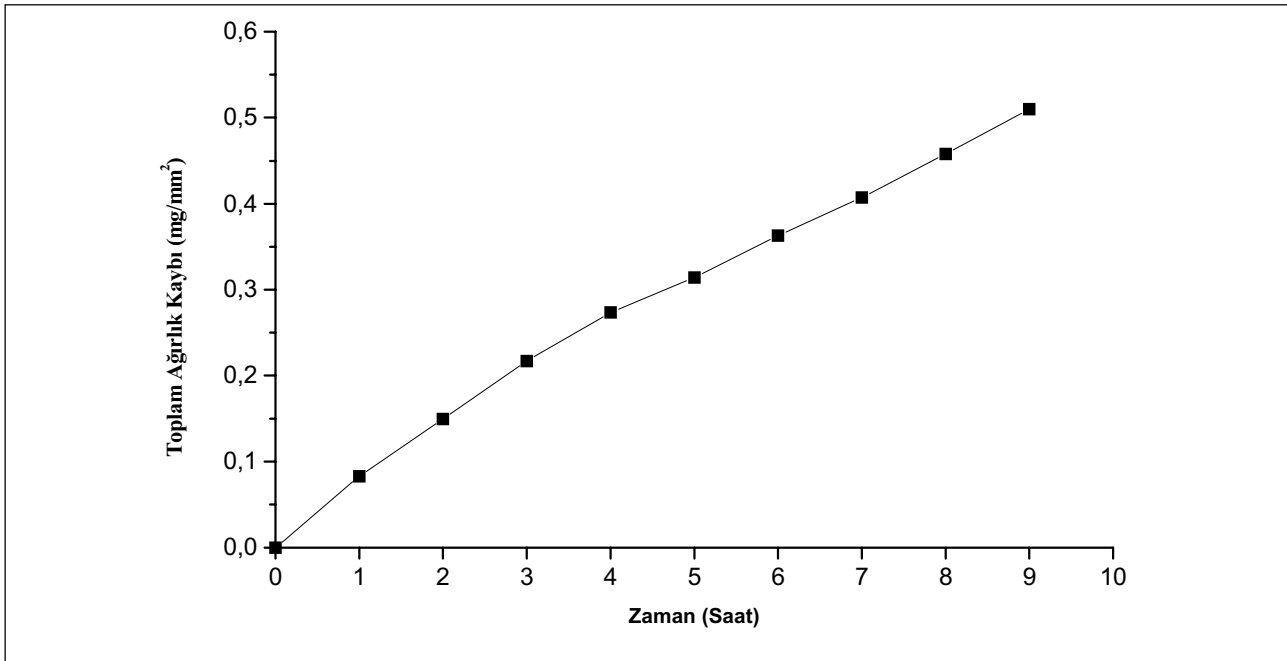
10 saatlik aşınma deneyi sonucunda aşınan her bir deney numunesinin, yüzey topoğrafyası incelemeleri Jeol JSM 6400 tarama elektron mikroskopunda gerçekleştirilmiş ve numunelerin aşınma yüzeylerinden fotoğraflar çekilmiştir. Bunun yanı sıra püskürtme kaplamalarda yüzey adhezyonu açısından çok önemli olan kaplama malzemesi elementlerinin difüzyonu tarama elektron mikroskopunda yüzeyden içeri doğru bir hat boyunca EDX analizi yapılarak incelenmiştir.

DENEY SONUÇLARI VE İRDELEME

Toplam aşınma miktarının birim yüzey alanına bölünmesi ile elde edilen mg/mm^2 şeklindeki ağırlık kayıpları esas metal için Şekil 3'de, ısı püskürtme ile kaplama tabakası oluşturulmuş numuneler için Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 3 ve 4'den görüleceği gibi ısı püskürtme işlemi uygulanmış olan numunelerin tamamı

esas metalden daha düşük aşınma miktarı göstermiştir. Esas metalin aşınma miktarını azaltmada HVOF+ergitme yöntemini, alev ile püskürtme+ergitme ve alev ile püskürtme yöntemleri izlemektedir. Esas metalin gösterdiği birim yüzeydeki toplam ağırlık kaybı; yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme+ergitme işlemi uygulanmış numune (HVOFM) ile %80 oranında, Ni-esaslı toz kullanılarak alev püskürtülmüş numune (FS1) ile %59, WC+Ni-esaslı toz kullanılarak alev püskürtülmüş numune (FS2) ile %61 oranında ve Ni-esaslı toz kullanılarak alev püskürtme+ergitme işlemli numune (FSM) ile %69 oranında azaltılmıştır. Bu verilerden, Ni-esaslı toza WC ilavesinin kaplama tabakasının aşınma direncini az da olsa (%3.36) arttırdığı anlaşılmaktadır. Ni-esaslı tozlara WC sert fazının ilavesi ile aşınma direncinin artabileceği çeşitli araştırmacılar tarafından da belirtilmiştir [11].

Isıl püskürtme ile kaplama tabakası oluşturmak için öncelikle Ni-Cr-B-Si tozları (FS1) püskürtme kaplama işlemi için kullanılmıştır. Daha sonra bu toz karışımına kaplama malzemesinin aşınma direncini arttırmak

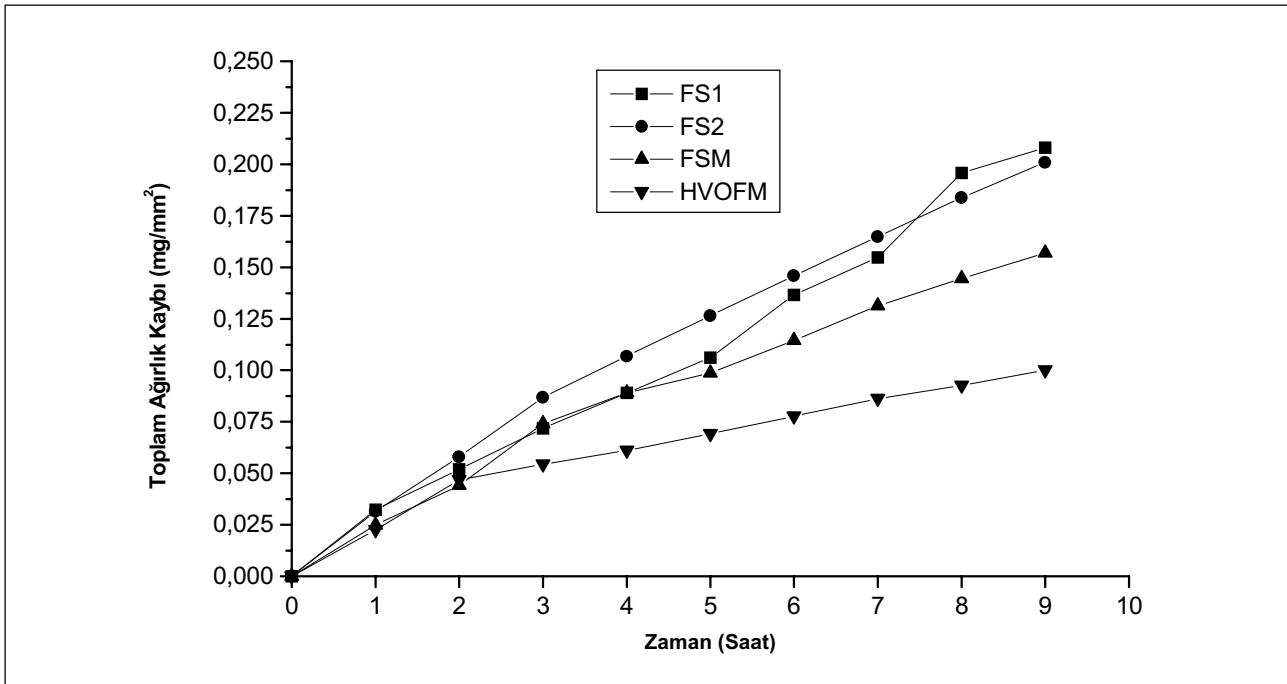


Şekil 3. AISI 1050 Çeliğinin Toplam Ağırlık Kaybı-Zaman Grafiği.

amacıyla WC katılmıştır (FS2). Alev püskürtme yöntemi ile bu iki farklı toz harmanları kullanılarak yüzeyi kaplanan numunelerin yaklaşık aynı aşınma direncini verdikleri belirlenmiştir (Şekil 4'de FS1 ve FS2 numuneleri). Bu numunelere alev püskürtme sonrası takiben şaluma ile ergitme işlemi uygulandığında (FSM) aşınma direncinin bariz bir biçimde arttığı görülmektedir. Ergitme işleminin burada önemli bir katkısı olduğu şüphesizdir (Şekil 4, FSM numunesi). Esas metalin aşınma miktarını azaltmada alev püskürtme yöntemi kullanılarak püskürtülen Ni-esaslı toza WC ilavesinin önemli bir etkisi olmamasına karşın aynı toz bu kez HVOF yöntemi ile püskürtülüp sonradan da ergitme işlemi uygulandığında (HVOFM) en iyi aşınma direnci elde edilmiştir. Dolayısı ile gerek Ni-esaslı gerekse de WC ilaveli Ni-esaslı tozların iyi bir aşınma direnci göstermesi ya püskürtme işlemini takiben ergitme işleminin uygulanmasına ya da HVOF gibi yüksek enerjili yöntemin kullanılmasına bağlıdır.

Bu numunelerin aşınma testi sonrasında yüzeylerinin taramalı elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerinde

püskürtme sonrası yüzey ergitme işlemi uygulanmamış numunelerde aşınmanın mikroçatlak mekanizması ile oluştuğu gözlenmektedir. Püskürtme kaplama işlemi doğası gereği ergimiş damlacıkların üst üste yüzeyde biriktiği tabakalı bir yüzey katmanı oluşturmaktadır. Bu katmanların birbirlerine tam olarak nüfuz etmedikleri durumda, aşındırıcı taneciklerin darbe etkisiyle bu ara yüzeylerde çatlak oluşup ilerleyebilmekte ve böylece parçacıkların kopmasına neden olmaktadır (Şekil 5a). Kaplama malzemesi olarak kullanılan tozlara aşınma direncini arttırmak gayesi ile katılan WC tozları püskürtme sonrası tabakalar arasında yüzeyde bulduklarında aşırı sertlikleri ve gevreklikleri nedeniyle çatlak oluşumuna katkıda da bulunmaktadır (Şekil 5b). Ayrıca bu tanecikler aşınma testi sırasında matristen koparak uzaklaşmak suretiyle de aşınmayı arttırıcı bir etki gösterebilmektedirler. Bu nedenle matrisin ve matris içindeki bağlantıların kuvvetlendirilmesi amacıyla bir yüzey ergitme işleminin uygulanması uygun olacaktır. Bu numunelere püskürtme sonrası bir yüzey ergitme işlemi uygulandığında tabakalar

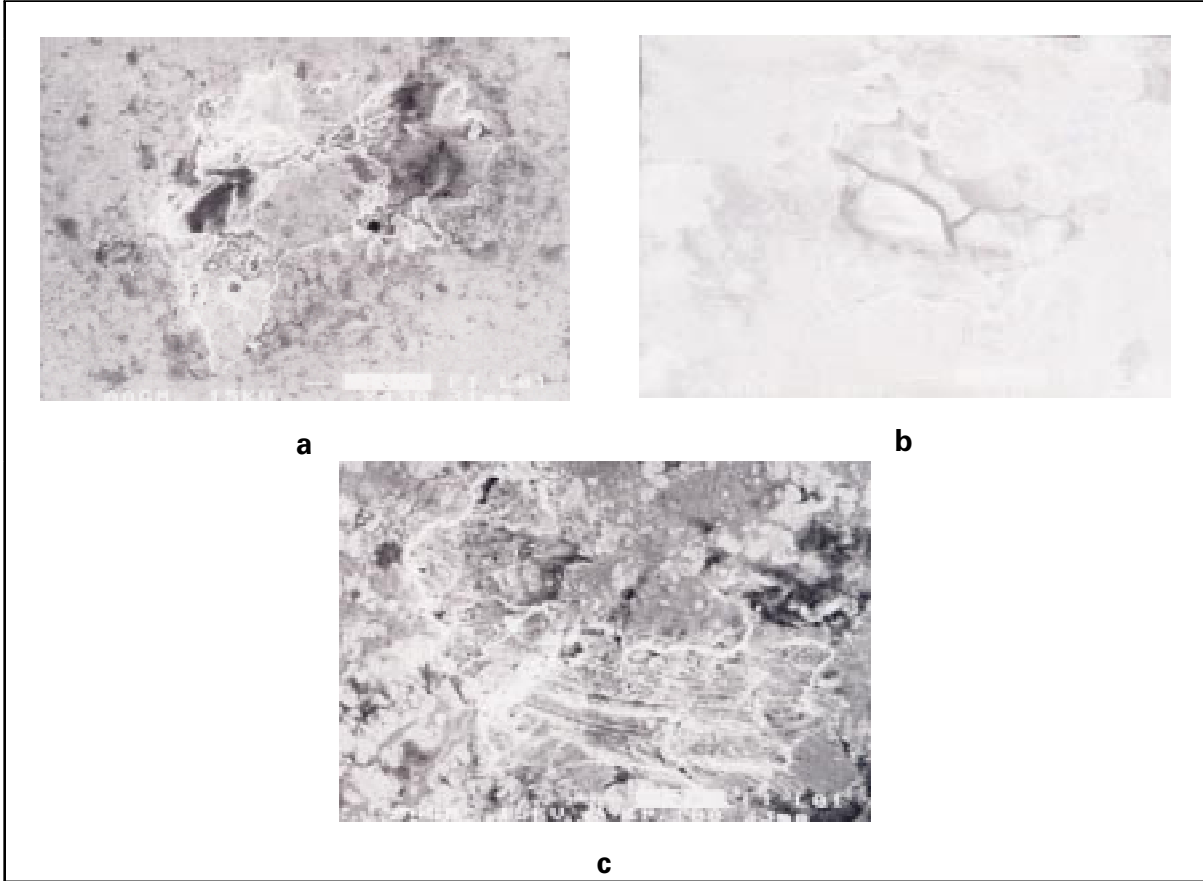


Şekil 4. Isl püskürtme ile kaplanmış numunelerinin toplam ağırlık kaybı-zaman grafiği.

arasında daha iyi nufuziyet sağlandığından aşınma mekanizması mikrosürme mekanizmasına dönüşmektedir (Şekil 5c). Doğal olarak bu da aşınma oranını düşürmektedir. Alev püskürtme yerine HVOF yöntemi kullanılarak kaplanmış numunelerin en iyi aşınma direncini

yöntemini, alev püskürtme+ergitme ve alev püskürtme yöntemleri izlemektedir.

- AISI 1050 çeliğininin aşınma miktarı; Ni-esaslı toz ve alev püskürtme yöntemi ile %59 oranında azalmışken WC+Ni-esaslı toz ve alev püskürtme yöntemi ile %61



Şekil 5. Alev Püskürtme İşlemi Uygulanmış, FS1 (a) FS2 (b) ile HVOF + Ergitme İşlemi Uygulanmış, HVOFM (c) Numunelerine Ait Aşınma Yüzeylerinin SEM Fotoğrafı.

vermesi bu yöntemin çok yüksek olan enerjisi nedeniyle daha iyi yüzey adhezyonu ve daha iyi tabakalar arası nufuziyete bağlanabilir.

SONUÇLAR

- Isıl püskürtme yöntemi ile kaplama tabakası oluşturulmuş numunelerin tamamı AISI 1050 çeliğinden daha düşük aşınma miktarı göstermiştir.
- AISI 1050 çeliğininin aşınma miktarını azaltmada en etkili yöntem olan yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF)

oranında azalmıştır. Ni-esaslı toza WC ilavesi aşınma miktarını %3.36 oranında azaltmıştır.

- Alev püskürtülmüş Ni-esaslı kaplama tozu ile AISI 1050 çeliğininin aşınma miktarı %59 oranında azalırken aynı toza püskürtme işlemini takiben ergitme işlemi uygulandığında bu oran %69'a yükselmiştir.
- AISI 1050 çeliğininin aşınma miktarını % 80 oranında azaltan en etkili yöntem, WC ilaveli Ni-esaslı kaplama tozu kullanılarak yüksek hızlı oksijen-yakıt(HVOF) işlemini takiben yapılan ergitme işlemidir.

KAYNAKÇA

1. **Bloyce, A.**, How Surface Treatments Can Help The Designer, Design Engineering, pp. 32-34, September 1995.
2. **Hoff, I.H.**, Thermal Spraying and its Application, Welding and Metal Fabrication, 63 (7), pp. 266-269, July 1995
3. **Hutching, I.M.**, Tribology: Friction and Wear Engineering Materials, Edward Arnold, London, p. 273, 1992
4. **Smith, R.W., Fast, R.D.**, The Future of Thermal Spray Technology, Welding Journal, 73(8), pp. 43-50, 1994
5. **Howes, C.P.**, Thermal Spraying: Processes, Preparation, Coatings and Applications, Welding Journal, 73(4), pp. 47-51, 1994
6. **Villat, M.**, Functionally Effective Coatings Using Plasma Spraying, Sulzer Technical Review, 3, pp. 41-45, 1986
7. **Smith R.W., Knight, R.** Thermal Spraying I: Powder Consolidation-From Coating to Forming, JOM, 47(8), pp. 32-39, 1995
8. **N.N.**, Thermal Spray: Advances in Oatings Technology, Edited by Houck, D.L., Proceeding of The National Thermal Spray Conference, Orlando, Florida, USA, Published by ASM, p. 367, 14-17, September 1987
9. **Miguel, J.M., Guilemany, J.M., Vizcaino, S.** Tribological Study of NiCrBSi Coating Obtained by Different Processes, Tribology International, Vol. 36, pp. 181-187, 2003
10. **Hidalgo, V.H., Varela, F.J.B., Menendez, A.C., Martinez, S.P.**, A Comparative Study of High-Temperature Erosion Wear of Plasma Sprayed NiCrBSiFe and WC-NiCrBSiFe Coatings under Simulated Coal-Fired Boiler Conditions, Tribology International, Vol. 34, pp. 161-169, 2001.
11. **Wang, H., Xia, W., Jin, Y.**, A Study on Abrasive Resistance of Ni-based Coatings with a WC Hard Phase, Wear , Vol. 195 pp. 47-52, 1996.

ODA DERGİLERİ 2005 YILI ABONE FORMU

Adı-Soyadı	:	.....
Meslek	:	.....
İşyeri Adı	:	.....
Adres ve Posta Kodu	:	.....
Telefon	:	.....
e-posta	:	.....
Kayıtlı Olduğunuz ODA	:	.....
Oda Sicil No	:	.....
İSTENİLEN DERGİ			
Dergi		Yıllık Abone Bedeli	
<input type="checkbox"/> Mühendis ve Makina.....		30 YTL	
<input type="checkbox"/> Endüstri Mühendisliği.....		15 YTL	
<input type="checkbox"/> Tesisat Mühendisliği.....		18 YTL	
Tek Dergi Bedelsiz	<input type="checkbox"/> Mühendis ve Makina	<input type="checkbox"/> Endüstri Mühendisliği	<input type="checkbox"/> Tesisat Mühendisliği
Ödenen Miktar	:	.....
Ödeme Şekli	:	.....
Gereğini bilgilerinize sunarım.	Tarih .....	..... / 2005 İmza
<ul style="list-style-type: none">• 96954 No.lu Posta Çeki hesabına, fotokopisiyle beraber bir dilekçe• İş Bankası Yenişehir/ANK. Şb. 4218 89872 Hs. Banka dekontu ile beraber bir dilekçe			

