

Toz Alev Püskürtme Yöntemi Kullanılarak Kaplanan Alüminyum Alaşımının Aşınma ve Sertlik Davranışlarının İncelenmesi

Investigation of the Wear and Hardness Behaviour of Aluminium Alloy Coated Using the Powder Flame Spraying Method

Nurullah KIRATLI ^a, Salih Hakan YETGİN ^{b,*} ve Tuncay ÇÖĞÜR ^c

^aDumlupınar Üniversitesi, Simav Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 43500, Kütahya

^bSakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, 54187, Sakarya

^cHidroteknik Ticaret Malzemeleri A.Ş. Denizli

Geliş Tarihi/Received : 23.02.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 26.05.2009

ÖZET

Bu çalışmada; alevle toz püskürtme yöntemi kullanılarak 10Al-Cu alaşımı (RotoTec® 19850) ve 15Cr7Fe-Ni alaşım (RotoTec® 19985) tozları ile kaplanan Al5754 (Etial 53) alüminyum alaşımının aşınma davranışları incelenmiştir. Ana malzeme ve kaplama malzemeleri arasında termal genleşmeleri önlemek için Ni-Al RotoTec® 51000 esaslı ara bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Aşınma testleri pim-on-disk sisteminde gerçekleştirilmiştir. Karşı aşındırıcı olarak 800 gridlik SiC zımpara kullanılmıştır. Kaplamaların aşınma testleri oda sıcaklığında, 0.35 ve 0.70MPa basınç altında ve 1.0m/s kayma hızında yapılmıştır. Kaplama numunelerini karakterize etmek için optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda her iki kaplama malzemesinin de aşınma davranışını geliştirdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Alevle toz püskürtme, Kaplama, Aşınma.

ABSTRACT

In this study, the wear behavior of aluminum alloy AL 5754 (Etial 53) coated with powders of 10Al-Cu alloy (RotoTec® 19850) and 15Cr7Fe-Ni alloy (RotoTec® 19985) using powder flame spraying method has been investigated. To avoid thermal expansions between substrate and coating materials, Ni-Al RotoTec® 51000 was used as binding material. The wear test was performed on a pin-on-disc test apparatus. As an abrasive material, a SiC, 800 sandpaper was used. The wear tests of coated materials were carried out at room temperature and at 1.0m/s sliding speed with 0.35 and 0.70MPa pressures. To characterize coated specimens, they have been examined with optical microscope. As a result, it is found that the both coating materials have improved wear resistance.

Keywords : Powder flame spraying, Coating, Wear.

1. GİRİŞ

Modern teknolojide, metal yüzeylerinin dış ortamdan korunması, maruz kaldığı yorulma, sürtünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek amacıyla çeşitli yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Yetgin,2006).

Kaplama malzemesinin ergitilerek daha önceden pürüzlendirilmiş ana malzeme (altlık) üzerine püskürtülmesi esasına dayanan ısı

püskürtme sistemleri (Rodriguwz, 2003; Kuşoğlu, 2005; Uyulgan, 2007), kullanılan enerji kaynağı (yanıcı gaz veya elektrik), kaplama malzemesi formu (tel, toz veya çubuk), ve atmosfer (hava, düşük basınç veya soy gaz) bakımından birbirinden farklılık gösterir (Kahraman, 2002; Sarıkaya, 2003; Kiper, 2004; Nejat, 2005;). Endüstride geniş kullanım alanına sahip bu teknolojiler arasında alevle spreyle kaplama ve plazma spreyle kaplama teknikleri en çok tercih

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : shyetgin@gmail.com (S. H. Yetgin)

edilenlerdir (Rodriguez, 2003; Uyulgan, 2007; Gomez, 2008). Plazma sprey kaplama yöntemi, aşınma, korozyon ve yüksek sıcaklıktan korunmak için metalik ve seramik kaplama malzemelerinin uygulanabildiği, daha yüksek biriktirme oranı ve daha kalın kaplamaların yapılabildiği bir yöntemdir (Rodriguez,2003; Sainz,2008). Plazma sprey yöntemine göre daha ekonomik ve proses kontrolü daha kolay olan alevle sprey prosesinde, sıkıştırılmış havanın veya inert gazın (argon veya nitrojen) akmasıyla kaplama malzemesi direkt olarak alev içerisine beslenir. Ergiyen partiküller hızlandırılarak alev gazları yardımıyla ana malzeme üzerine püskürtülür. Ana malzemeye çarpan her bir ergimiş partikül yüzey üzerinde düzleşir ve hızlıca katılaşır. Bu yöntemle ince ve çok katmanlı kaplamalar elde edilebileceği gibi aşınmış yüzeylerin tamiratı da sağlanır (Kahraman, 2002; Uyulgan, 2003; Nejat, 2005; Torres, 2007; Salman, 1998).

Bu çalışmada; alevle toz püskürtme yöntemi kullanılarak bakır-alüminyum ve krom-nikel esaslı tozlar ile kaplanan Al5457 (ETIAL 53) alüminyum alaşımının aşınma davranışları incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2. 1. Ana Malzeme

Deneysel çalışmalarda ana malzeme olarak, 100x100x10mm boyutlarında, Seydişehir Etibank Alüminyum tesislerinden temin edilen 5754 Alüminyum alaşımı (ETIAL 53) ana malzeme olarak kullanılmıştır. Alüminyum alaşımının % ağırlık olarak kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 5754 Alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (% ağı.).

Element	Cu	Mg	Zn	Cr	Mn	Fe	Si	Ti	Al
% Oran	0.10	2.60-3.60	0.20	0.30	0.50	0.40	0.40	0.15	Kalan

2. 2. Kaplama Malzemeleri

Deneylerde ana malzeme ile kaplama malzemesi arasındaki termal uyumsuzlukları ortadan kaldırmak için ara bağlayıcı olarak RotoTec® 51000 tozu (Ni-Al esaslı), kaplama malzemesi olarak da Tablo 2'de özellikleri verilen RotoTec® 19850 ve RotoTec® 19985 kodlu iki farklı toz çeşidi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan kaplama tozları Castolin-Türkiye firmasından temin

edilmiştir.

Tablo 2. Kaplamada kullanılan tozların özellikleri.

Tozun Adı	Bileşim	Özellikleri	Sertlik (Hv)
RotoTec 19850	10Al-Cu	Yüksek korozyon direnci, tamamen işlenebilir kaplama tabakası, düşük sürtünme katsayısı	110-130
RotoTec 19985	15Cr 7Fe-Ni	Yüksek korozyon direnci, tamamen işlenebilir kaplama tabakası, basınç altında dahi düşük sürtünme katsayısı	190

2. 3. Alev Püskürtme İle Kaplama İşlemi

Kaplama işlemleri, Ostim / Ankara'da bulunan KAYNAK MERKEZİ firmasının atölyesinde, Castolin marka, manüel veya torna sportuna bağlanarak kullanılabilen püskürtme tabancası ile yapılmıştır. Kaplama parametreleri Tablo 3'de verilmiştir. Kaplamada altlık malzemeler maksimum 300 °C'de tavlandıktan sonra püskürtme işlemine geçilmiş ve yeterli kaplama kalınlığı elde edildiğinde tabancadaki toz akışı kesilmiştir. Kaplama işleminden sonra numuneler açık havada soğumaya bırakılmıştır.

Kaplanan numuneler 10x10x10mm ölçülerinde kesilerek mikro sertlik ölçümü ve optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Mikro sertlik ölçümlerinde HVM SHIMADZU marka mikrosertlik cihazı kullanılmış ve 100 gr yük uygulanmıştır. Kaplama yüzeyinden ana malzemeye doğru 0.25 mm aralıklarla ölçüm yapılmıştır.

Tablo 3. Alevle toz kaplama parametreleri.

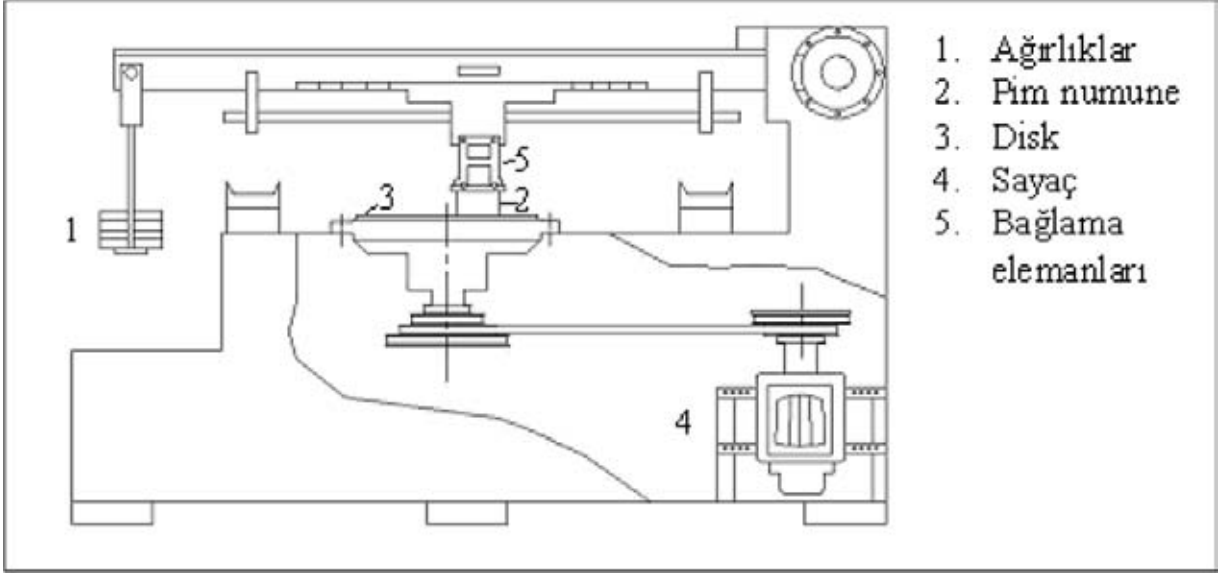
Sprey Parametreleri	
Sprey mesafesi	15cm
Toz besleme hızı	40m/sn
Oksijen basıncı	0.4 bar
Asetilen basıncı	0.6 bar
Toz boyutu	250µ

2. 4. Aşınma Deneyleri

Aşınma deneyi için hazırlanan numunelerin kaplama yüzeylerinin aşınmayı olumsuz etkilememesi için yüzeyleri yağ ve kirden korunmuştur. Aşınma testleri Şekil 1'de gösterilen pim-on-disk aşınma deney cihazında ve kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Karşı aşındırıcı olarak 800 gridlik SiC zımpara kullanılmıştır. Kaplamaların aşınma testleri oda sıcaklığında, 0.35 ve 0.70 MPa basınç altında ve 1.0m/s kayma hızında yapılmıştır. Kayma mesafeleri 180-360-540-720-900m olarak belirlenmiştir. Özgül

aşınma hızı ise;
 $W = \Delta m / (\rho \cdot F \cdot S)$

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Burada;
 ρ : malzeme yoğunluğu (gr/cm^3), Δm : ağırlık kaybı (gr), F: kuvvet (N), S: alınan yol (m)'dur.



Şekil 1. Aşınma deney cihazı.

3. DENEY SONUÇLARI

3. 1. Mikroyapı

Yapışma dayanımını etkileyen en önemli parametrelerden birisi ana malzeme yüzey pürüzlülüğüdür (Toma, 2001). Tablo 2' de kumlama öncesi ve sonrası ana malzeme yüzey pürüzlülüğü, Ni-Al ara bağlayıcı uygulandıktan sonraki ve kaplama sonrası yüzey pürüzlülüğü değerlendirilmiştir.

Şekil 1. Aşınma deney cihazı.

	Yüzey pürüzlülüğü (R_a)
Kumlama öncesi Alüminyum yüzey pürüzlülüğü	0,646
Kumlama sonrası Alüminyum yüzey pürüzlülüğü	9,862
Ni-Al ara bağlayıcı uygulandıktan sonraki yüzey pürüzlülüğü	7,427
19850 kaplama malzemesi uygulandıktan sonraki yüzey pürüzlülüğü	9,817 μm
19985 kaplama malzemesi uygulandıktan sonraki yüzey pürüzlülüğü	11,372 μm

Termal sprey kaplamaların karakterizasyonu, porozite (boşluklar, çatlaklar ve diğer hatalar şeklinde) gibi geometrik özelliklerin nicel olarak ölçümünü ve splat yapısı, arayüzeyler ve fazlar gibi kaplama malzemelerinin analizini içerir (Deshpande, 2004). Bu özelliklere bağlı olarak kaplama tabakasının mikroyapısal özellikler açıklanır.

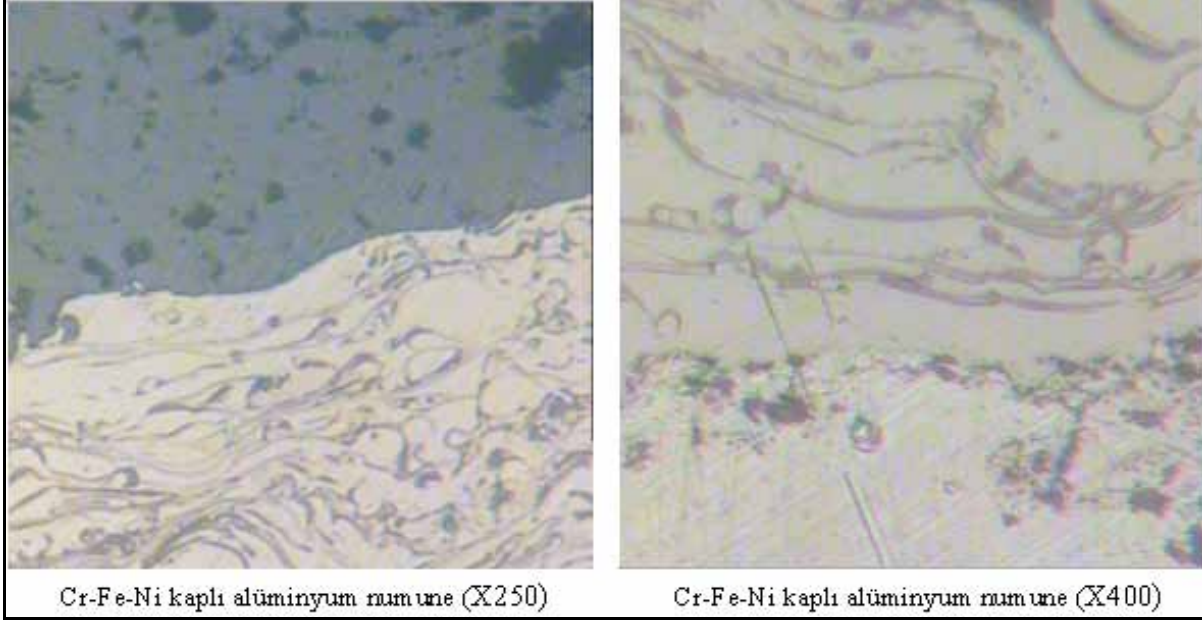
Şekil 2 ve Şekil 3'de, sırasıyla Cr-Fe-Ni ve Al-Cu esaslı kaplamaların farklı büyütmelerdeki kapla-

ma-ara bağlayıcı ve ara bağlayıcı-ana malzeme kesit mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Her iki kaplama malzemesi içinde ara bağlayıcının hem kaplama malzemelerine hem de ana malzemeye, yüzey pürüzlülüğünün sonucu olarak girintili-çıkıntılı şekilde bağlandığı ve yapışmanın tam olarak sağlandığı görülmektedir.

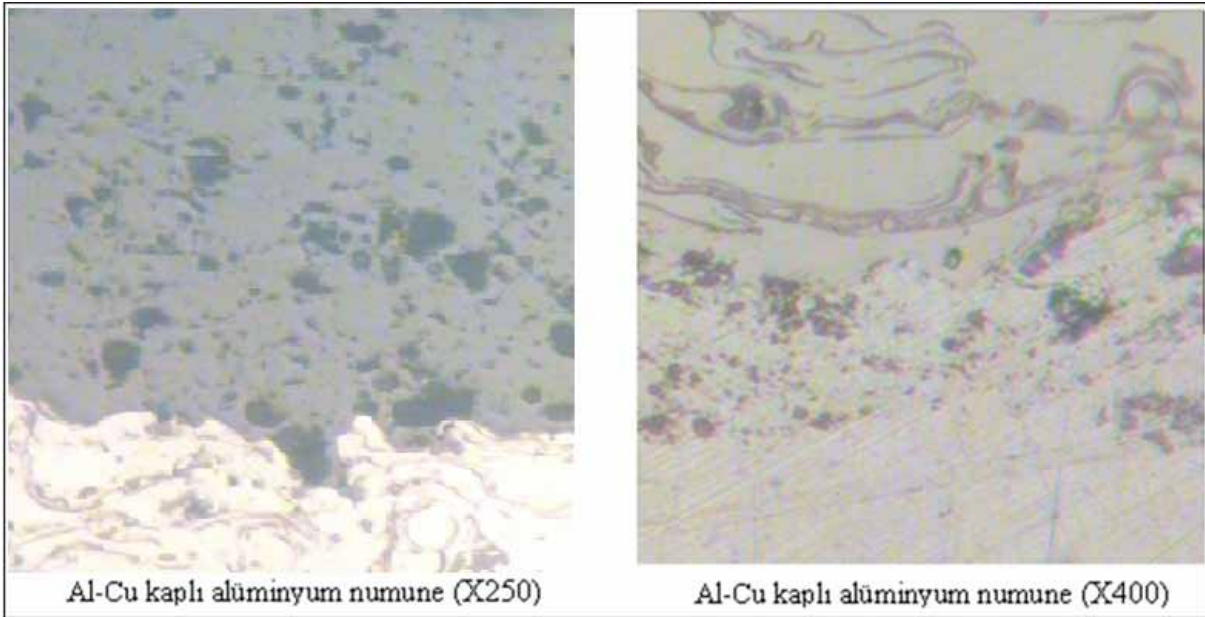
Tüm numunelerde ortalama porozite ve kaplama kalınlığı ölçümleri imaj analiz programı vasıtasıyla belirlenmiş ve Cr-Fe-Ni ve Al-Cu kaplı numunelerde kaplama kalınlıkları sırasıyla ortalama 184 ve 196 μm elde edilmiştir. Her iki kaplama numunesinde de porozite miktarı % 15'in altında bulunmuştur. Kullanılan tel ve toz malzeme cinsine bağlı olarak kaplamalarda % 20'lere kadar gözenek bulunabilir (Çelik, 2004).

Genel düşünce, düşük güç seviyelerinde püskürtme işlemi uygulanan kaplamalar, (mekaniksel özellikleri etkileyebilecek düzeyde) önemli miktarda ergimemiş partiküller ve porozite içerir. Yüksek güç seviyelerinde ve daha kısa sprey mesafesinde partiküllerin ergimesi ve ana malzemeye daha yüksek hızla çarpması sağlanır.

Düşük güç ve yüksek torç-ana malzeme mesafesi sadece partiküllerin soğumasını değil aynı zamanda partikül hızlarını da azaltacaktır. Bu daha büyük sayıda ergimemiş partiküllere sebep olur ve sonuçta yüksek porozite ile sonuçlanır (Uylugan, 2007).



Şekil 2. Cr-Fe-Ni kaplı alüminyum numuneye ait optik mikroskop görüntüleri.

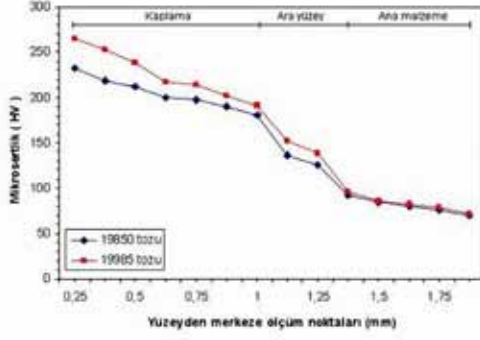


Şekil 3. Al-Cu kaplı alüminyum numuneye ait optik mikroskop görüntüleri.

3. 2. Sertlik

Kaplama tabakası, ara yüzey tabakası ve ana malzemenin mikro sertlik değerleri Şekil 4'de verilmiştir. Numunelerin kesitinden alınan mikro sertlik değerleri düzenli olarak azalmaktadır. Aynı zamanda, kaplama ve ara yüzey tabakasının mikro sertlik değerleri ana malzemedenden oldukça yüksektir. Şekilde de görüldüğü gibi Cr-Fe-Ni esaslı (19985) kaplama malzemesinin Al-Cu

esaslı (19850) kaplama malzemesine göre sertlik değerleri daha yüksek elde edilmiştir. Krom, kaplama tabakasının sertliği üzerinde önemli bir rol oynamıştır (Kumar, 2006). Cr içeriğine ilave olarak porozite, oksitler ve ergimemiş partiküller gibi süreksizlikler kaplama tabakasında sertlik değerlerinin değişmesine sebep olmuştur. Benzer sonuçlar, (Kusoğlu, 2005) ve (Uyulgan, 2007) tarafından da elde edilmiştir.



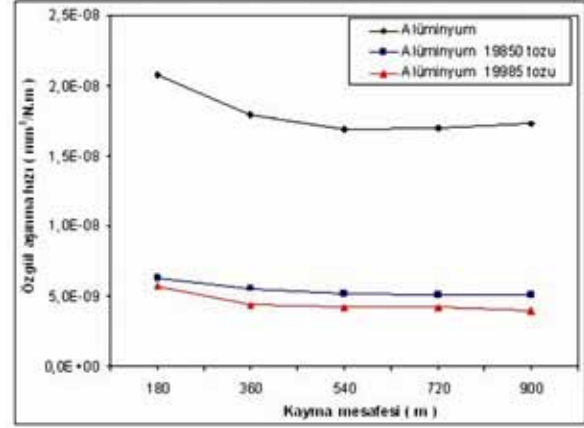
Şekil 4. Alüminyum altlık malzemeye uygulanan 19985 ve 1985 kaplama malzemelerine ait sertlik değişimi.

3. 3. Aşınma

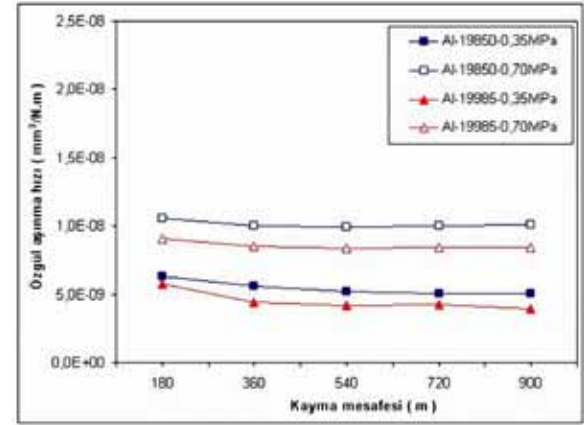
Şekil 5’de kayma mesafesine bağlı olarak alüminyum, Cr-Fe-Ni ve Al-Cu kaplama malzemelerinin 0.35MPa basınç altındaki özgül aşınma hızları verilmiştir. Kayma mesafesinin artmasıyla hem alüminyumda hem de kaplama malzemelerinde aşınma davranışı yaklaşık olarak 540m’den sonra kararlı hal aşınmasına dönüşerek daha az aşınma hızı meydana gelmiştir. Her iki kaplama malzemesi de alüminyumun aşınma hızını azaltmıştır. Bu azalma 0.35MPa basınç altında ve 720m kayma mesafesinde 1985 kaplama malzemesi için yaklaşık olarak % 235 iken 19985 kaplama malzemesi için yaklaşık olarak % 301 civarında elde edilmiştir. Kaplama malzemeleri arasında kıyaslama yapıldığında 0.35MPa basınç için 15Cr7Fe-Ni (19985) esaslı kaplama malzemesinin aşınmaya daha dirençli olduğu görülmektedir.

Şekil 6’da kayma mesafesine bağlı olarak kaplama malzemelerinin 0.35 ve 0.70MPa basınç altındaki özgül aşınma hızı değişimleri verilmiştir. Uygulanan yükün iki katına çıkması ile 19985 ve 1985 kaplama malzemelerinin her ikisinde de aşınma hızı değerleri artmıştır. Bu aşınma hızlarındaki artış 19985 kaplama malzemesi için yaklaşık olarak %90 civarında, 19850 kaplama malzemesi için ise yaklaşık olarak %88 oranında bulunmuştur. Bu iki kaplama malzemesi arasında karşılaştırma yapıldığında 19850 kaplama malzemesinin aşınma hızının, 19985 kaplama malzemesine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kaplama malzemeleri arasında en yüksek aşınma hızı 0.70MPa basınç altında, $1,06 \times 10^{-8}$ mm³/N.m değeri ile 19850 kaplama malzemesinde görülürken, en düşük

aşınma hızı ise 0.35MPa basınç altında, $3,97 \times 10^{-9}$ mm³/N.m değeri ile 19985 kaplama malzemesinde görülmüştür.



Şekil 5. Alüminyum ve kaplama malzemelerine ait kayma mesafesi-özgül aşınma hızı değişimi (Basınç : 0.35MPa).



Şekil 6. Kaplama malzemelerine ait kayma mesafesi-özgül aşınma hızı değişimi.

4. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

Her iki kaplama malzemesinin de alüminyum alaşımı için uygun olduğu belirlenmiştir. Kaplama kalınlıkları, Cr-Fe-Ni ve Al-Cu kaplama malzemeleri için ortalama 184 ve 196 µm elde edilmiştir. Her iki kaplama numunesinde de porozite miktarı %15’in altında bulunmuştur. Sertlik değerleri kaplama tabakasından ana malzemeye doğru azalmış ve en yüksek sertlik değeri Cr-Fe-Ni kaplı numunede elde edilmiştir. Kayma mesafesinin artmasıyla hem alüminyum hem de kaplama malzemelerinin aşınma hızları azalmıştır. Cr-Fe-Ni kaplı numunenin aşınmaya daha dirençli olduğu belirlenmiştir.

En yüksek aşınma hızı 0.70MPa basınç altında, 1.06×10^{-8} mm³/N.m değeri ile 19850 kaplama malzemesinde görülürken, en düşük aşınma

hızı ise 0.35MPa basınç altında, 3.97×10^{-9} mm³/N.m değeri ile 19985 kaplama malzemesinde görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Çelik, E., Sarıkaya, Ö. 2004. The effect on residual stresses of porosity in plasma sprayed MgO-ZrO₂ coatings for an internal combustions diesel engine, *Materials Science and Engineering A379*, 11–16.
- Deshpande, S., Kulkarni, A., Sampath, S., Herman, H. 2004. Application of image analysis for characterization of porosity in thermal spray coatings and correlation with small angle neutron scattering, *Surface & Coatings Technology*. (187), 6-16.
- Gomez-del Rio, T., Garrido, M.A., Fernandez, J.E., Cadenas, M., Rodriguez, J. 2008. Influence of the deposition techniques on the mechanical properties and microstructure of NiCrBSi coatings, *Journal of Materials Processing Technology*. (204), 304-312.
- Kahraman, N., Gülenç, B. 2002. Abrasive wear behaviour of powder flame sprayed coatings on steel substrates, *Materials and Design*. (23), 721-725.
- Kiper G., Mindivan H., Samur R., Kayalı E. S., Çimenoğlu H. 2004. "Alüminyum üzerine uygulanan yüksek karbonlu çelik kaplamanın aşınma davranışının incelenmesi", 10. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 14-16 Nisan 2004. Denizli, 84-87.
- Kumar, S., Selvarajan, V., Padmanabhan, P.V.A., Sreekumar, K.P. 2006. Characterization and comparison between ball milled and plasma processed iron-aluminium thermal spray coatings, *Surface & Coatings Technology*. (201), 1267–1275.
- Kuşoğlu, I. M., Çelik, E., Çetinel, H., Özdemir, I., Demirkurt, O., Önel, K. 2005. Wear behavior of flame-sprayed Al₂O₃-TiO₂ coatings on plain carbon steel substrates, *Surface & Coatings Technology*. (200), 1173 – 1177.
- Nejat, Y. S., Muharrem, Y. 2005. Ni-Esaslı kaplamaların abrazif+erozif aşınma direncine ısı püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi, *Mühendis ve Makine*. 46 (541), 14-20.
- Rodriguez, J., Martin, A., Fernandez, R., Fernandez, J.E. 2003. An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings, *Wear*. (255), 950–955.
- Sainz, M.A., Osendi, M.I., Miranzo, P. 2008. Protective Si-Al-O-Y glass coatings on stainless steel in situ prepared by combustion flame spraying, *Surface & Coatings Technology*. (202), 1712–1717.
- Salman, S., Vayvay, Ö. 1998. The thermal sprayed coatings applications in aero engines components, *Fifth Combustion Symposium, İstanbul*. 497-505.
- Sarıkaya Ö. 2003. Al-%12Si malzemesi üzerine plazma püskürtme tekniği ile Al-Si+B₄C kaplama, *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Toma, D., Brandl, W., Marginean, G. 2001. Wear and corrosion behaviour of thermally sprayed cermet coatings, *Surface and coating technology* (138), 149-158.
- Torres, B., Campo, M., Urena, A., Rams, J. 2007. Thermal spray coatings of highly reinforced aluminium matrix composites with sol-gel silica coated SiC particles, *Surface & Coatings Technology*. (201), 7552–7559.
- Uyulgan, B., Dokumacı, E., Çelik, E., Kayatekin, I., Ak Azem, N.F., Özdemir, I., Toparli, M. 2007. Wear behaviour of thermal flame sprayed FeCr coatings on plain carbon steel substrate, *Journal of Materials Processing Technology*. (190), 204–210.
- Yetgin, S. H., Küçükrendeci, İ. 2006. "Al₂O₃ kaplı numunelerde kaplama parametrelerinin etkilerinin incelenmesi", 11. Denizli Malzeme Sempozyumu ve Sergisi, 19–21 Nisan 2006. Denizli, 359-362.