

Elektrik Ark Püskürtme Tekniği İle Üretilmiş Sermet Kaplamaların Abrazif Aşınma Performanslarının İncelenmesi

Ahmet GÜLEÇ, Ahmet TÜRK, Fatih ÜSTEL

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, Sakarya.

E mail: ustel@sakarya.edu.tr

Geliş Tarihi:22.10.2012; Kabul Tarihi: 11.11.2013

Özet

Anahtar kelimeler

“Elektrik ark püskürtme” “Özlü tel kaplamalar” “M₇C₃”, “M₂₃C₆” “Abrazif aşınma”.

FeCrCMn alaşım kaplamalar şiddetli abrazif aşınmaya maruz kalan parçalara abrazif aşınma direnci kazandırmak için yaygın olarak uygulanmaktadır. Elektrik ark püskürtme kaplama tekniği termal püskürtme yöntemleri arasında en uygun uygulama ve maliyet avantajlı yöntemdir. Bu çalışmada elektrik ark püskürtme kaplama tekniği ile üretilmiş FeCrCMn kaplamalar, optik mikroskop, SEM incelemesi yapılmış olup mikrosertlikleri ölçülmüştür. Fazların tayini için EDS ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. ASTM G65-04'e göre 13 Cr'lu çelik kaplama ile aşınma performansları karşılaştırılmıştır.

The Investigation of the Abrasive Wear Performance of Cermet Coatings Produced by Electric Arc Spraying Technique

Abstract

Key words

“Electric arc spraying” “cored wire coating” “M₇C₃” “M₂₃C₆” “abrasive wear”.

FeCrCMn alloys coatings are widely used to components to resist abrasive wear when they exposure in severe abrasive environment. Electrical arc spraying is one of the thermal spray coating technique has low cost and easy application. In this study, FeCrCMn coating and steel wire coating (13 Cr) produced by electrical arc spraying with optimized parameters are investigated by optical microscopy, SEM. Microhardness measurement of coatings were carried out and analyzed by EDS and XRD for determine phases. Then they tested for abrasive wear according to ASTM G65-04 norm and compared abrasive wear performance of these coating.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Aşınma hareketli metalik mekanik komponentlerde sıklıkla karşılaşılan üç hasar modundan bir tanesidir. Uygun bir yüzey mühendisliği teknolojisi ile tribolojik komponentlerin yüzeylerinde kaplama oluşturulması ile aşınma dayanımı sağlanması en efektif yaklaşım olmaktadır (Liu et al, 2006).

Termal püskürtme ailesinin bir üyesi olan elektrik ark püskürtme tekniği, iki kaplama telinin püskürtme tabancası ucuna beslenerek tellerin birbirine temas etmesi ile bir elektrik arkın oluşturulması ile ergimesi ve ergiyen metalin kaplama yüzeyine atomize gaz vasıtası ile önceden yüzeyi hazırlanmış altlığa biriktirilmesi. Genellikle atomize gaz olarak basınçlı hava kullanılır. Bu kaplama yönteminin en büyük avantajı yüksek birikme oranına sahip olması ve termal püskürtme

metotları içerisinde en düşük maliyete sahip olan yöntem olmasıdır. Elektrik ark püskürtme tekniği, yüksek birikme oranına sahip olup diğer yöntemlere göre az sayıda kontrol parametresi içermektedir (Hussary, 2003, Zhu et al, 2003, Trant, 2004 ve Newbery et al, 2005).

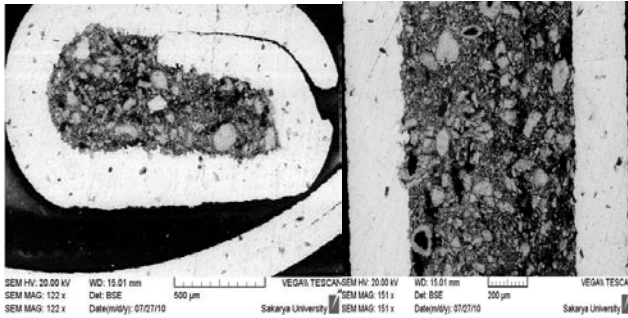
Konvansiyonel olarak elektrik ark püskürtme kaplama teknolojisi ile üretilmiş 13 Cr'lu çelik kaplamalar aşınma dayanımı sağlamak amaçlı kullanılmaktadır. Özlü tellerin de kullanılması sonucu olarak elektrik ark püskürtme yöntemi ile Fe-Cr-C alaşım sert yüzey kompozit kaplamalar altlık yüzeyine biriktirebilmektedir. Özellikle şiddetli abrazif aşınmalı koşullarda sahip oldukları yüksek abrazyon dayanımlarına bağlı olarak yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Weite et al, 2010). FeCrCMn esaslı kaplama yapısında bulunan M₇C₃ ve M₂₃C₆ sermet tip karbürler sahip oldukları

yüksek sertliklerine bağlı olarak abrazif aşınmalı ortamlarda malzeme kaybını engellemektedir.

Bu çalışmada elektrik ark püskürtme yöntemi ile üretilmiş FeCrCMn esaslı kaplamaların mikroyapısal incelemeleri yapılmış olup, 13 Cr'lu çelik kaplamalar ile ASTM G65-04 standardına göre abrazif aşınma performansları karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, 13 Cr'lu çelik tel ve FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamalar kullanılmıştır. Altlık malzemesi olarak 50x50x2 mm ölçülerinde St 37 çelik sac kullanılmıştır. Bu çelik sacların yüzeyleri alkol ile yağ ve kirlerden arındırıldıktan sonra kumlama ile yüzeyleri pürüzlendirilmiştir. Kaplama teli olarak 13 Cr'lu (Metcoloy 2) ve FeCrCMn esaslı özlü tel (Metco 8222) teli kullanılmış olup tel bileşimleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir. Özlü telin ön ve yan kesit görüntüleri Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. FeCrCMn esaslı özlü telin yan ve ön kesit görüntüsü

Tablo 1. FeCrCMn esaslı özlü telin (Metco 8222) bileşimi

Elementler	Cr	C	Mn	Fe
Bileşim (%)	28	5	1	balans

Tablo 2. 13 Cr'lu telin (Metcoloy 2) bileşimi

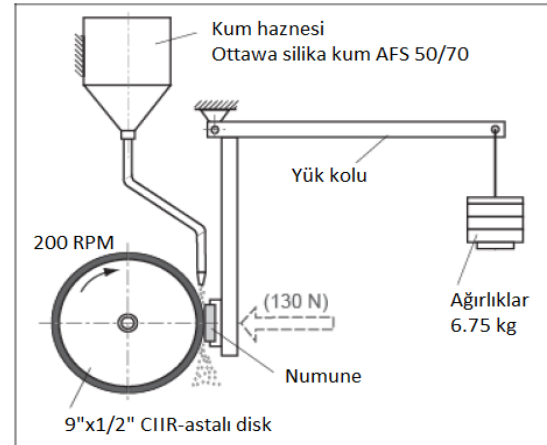
Elementler	Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
Bileşim (%)	85,15	0,35	0,5	0,5	0,5	13

Kaplama uygulamaları Smartarc 350 (Sulzer Metco, Almanya) ile Sakarya Üniversitesi Termal Sprey Teknolojileri Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Optimize edilmiş elektrik ark püskürtme kaplama parametreleri Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. 13 Cr'lu çelik tel ile FeCrCMn esaslı özlü telin elektrik ark püskürtme kaplama parametreleri

Kaplama Parametresi	13 Cr'lu çelik tel	FeCrCMn özlü tel
Akım (amper)	250	200
Voltaj (volt)	29	28
Primer gaz basıncı (bar)	2,4	4
Püskürtme mesafesi (mm)	150	150

FeCrCMn özlü tel kaplama yapısının karakterizasyonu için optik mikroyapı ve SEM incelemesi yapılmış olup, XRD analizi ile beraber EDS analizi uygulanarak kaplama yapısında oluşan fazların tespiti gerçekleştirilmiştir. 100 gr. yük 15 saniye uygulanarak FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın mikrosertlik değerleri ölçülmüştür. ASTM G65-04 standardı şartlarına göre imal edilmiş abrazif aşınma test cihazında 13 Cr'lu çelik kaplama ile FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın abrazif aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Abrasif aşınma test koşulları ASTM G65-04 standardı nda yer alan Prosedür A'ya göre düzenlenmiştir (Şekil 2). Aşındırıcı olarak AFS 50/70 silika kum kullanılmıştır. Abrasif aşınma testi sonrası aşınan yüzeyler SEM ile incelenmiştir.



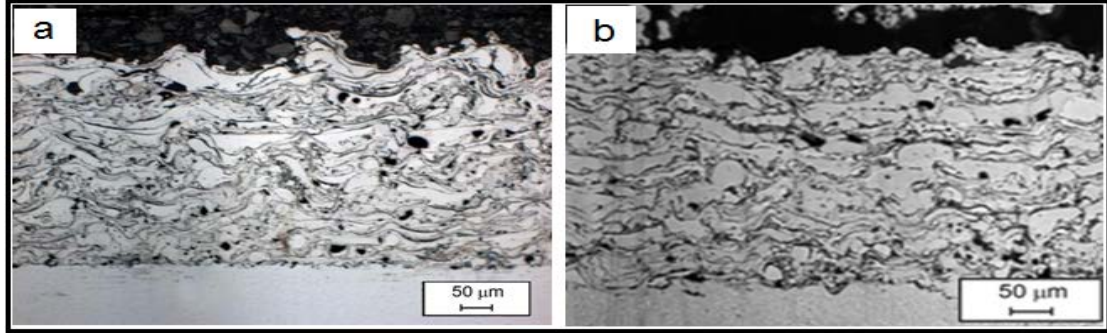
Şekil 2. Abrasif aşınma test düzeneğinin şematik görüntüsü

3. Bulgular

3.1. Mikroyapısal inceleme ve faz analizi

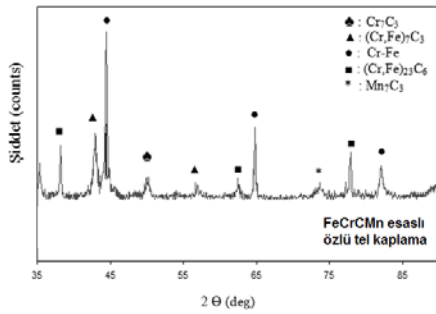
Elektrik ark püskürtme kaplama tekniği ile optimize edilmiş kaplama parametreleri kullanılarak üretilmiş 13 Cr'lu çelik kaplama ile FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın optik mikroskop incelemesi

gerçekleştirilmiş olup mikroyapı görüntüleri Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 3. a) 13 Cr'lu çelik kaplama mikroyapısı, b) FeCrCMn esaslı özlü tel kaplama mikroyapısı.

Şekil 3'de görüldüğü üzere her iki kaplama yapısı da termal püskürtme kaplama yapısı olan lamelar kaplama yapısına sahiptir. Her iki kaplama yapısında da poroziteler ve oksit bölgeleri görülmektedir. Bunun yanında sonradan atkışmış partiküller ile mikçatlıklar kaplama yapılarında mevcuttur. 13 Cr'lu çelik kaplama ve FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın porozite ve oksit içeriği sırasıyla % 1,95, % 2 ve oksit içeriği % 19,72 ve % 12'dir.

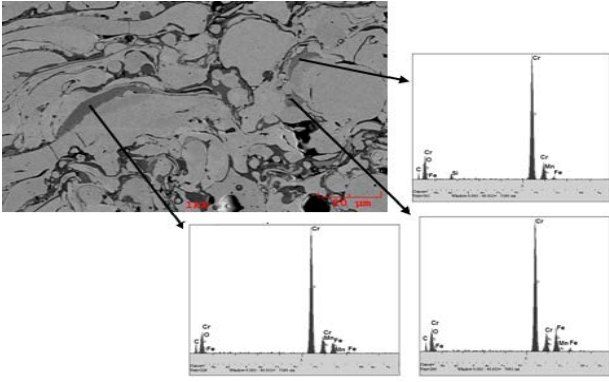


Şekil 4. FeCrCMn kaplamanın XRD analizi

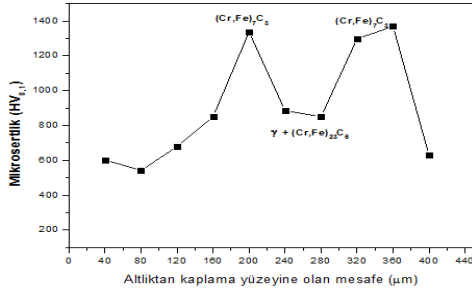
Şekil 4'deki FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın XRD paternlerinden görüldüğü üzere kaplama yapısında Cr-Fe katı çözeltisi (γ), kompleks yüzey merkezli kübik yapı formunda $(Cr,Fe)_{23}C_6$ karbürü ile hegzagonal yapı formundaki $(Cr,Fe)_7C_3$ ve Mn_7C_3 tip karbürler bulunmaktadır. Elektrik ark püskürtme kaplama yapısı hızlı soğuma ile meydana geldiğinden dengesiz katılaşma koşullarına sahiptir. Bu sebeple Cr-Fe katı çözelti östenit (γ) yapısı $M_{23}C_6$ tipi $(Cr,Fe)_{23}C_6$ kompleks karbür ile beraber kaplama yapısını oluşturmaktadır. M_7C_3 tipi karbür olan $(Cr,Fe)_7C_3$ karbür de aynı şekilde yüksek sıcaklıkta kararlı olan bir karbür olup kaplama prosesi esnasında kaplama yapısında bulunabilmektedir. Elektrik ark püskürtme FeCrCMn özlü tel kaplama yapısında

$(Cr,Fe)_7C_3$ karbür yoğunluğunun yüksek olması arzu edilmektedir. Bu şekilde kaplama yapısı M7C3 tipi karbür olan $(Cr,Fe)_7C_3$ tipi karbür takviye edilmiş kompozit bir yapı özelliği göstermektedir. Yüksek sertlik değerine sahip olan M_7C_3 tipi karbürlerin ($\approx 1200 - 1500$ HV) abrazif aşınmaya karşı iyi bir dayanım gösterdiği bilinmektedir. Şekil 5'de FeCrCMn esaslı özlü tel kaplama yapısının SEM görüntüsü ve 3 bölgeden alınmış EDS analizleri verilmektedir.

Şekil 5'de görüldüğü üzere, elektrik ark püskürtme tekniği ile üretilmiş FeCrCMn esaslı özlü tel kaplama yapısında özellikle tane sınırları boyunca karbür fazları bulunmaktadır. Ana fazdan daha koyu renk kontrastına sahip bu bölgelerden alınan EDS analiz sonuçlarında da ana fazdan farklı olarak Cr piklerinin diğer mevcut piklere göre yüksek olduğu görülmektedir. Yine yapıdaki M_7C_3 tipi belirlemek amaçlı kaplama Şekil 5'de görüldüğü üzere karbür olarak tanımlanan alanlar kaplama yapısı içerisine rastgele dağılmış olarak bulunmaktadır. Karbürlerin dağılmış olduğu bölgeler farklı mikrosertlik değerlerini verecektir. Bu amaçla kaplama kesiti üzerinden altlıktan kaplama yüzeyine doğru mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. FeCrCMn esaslı özlü tel kaplama yapısının SEM görüntüsü ve 3 bölgeden alınmış EDS analizleri
Şekil 6'da FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın altlıktan kaplama yüzeyine doğru gerçekleştirilen mikrosertlik ölçüm sonuçları verilmektedir.



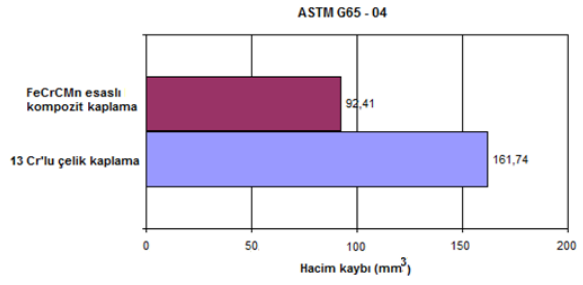
Şekil 6. FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamada gerçekleştirilen mikrosertlik ölçüm profili

FeCrCMn kaplama tabakasının altlık doğrultusundan kaplama yüzeyine doğru alınan mikrosertlik değerleri incelendiğinde mikrosertlik değerlerinin kaplamanın çeşitli bölgelerinde farklılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 6). Yüksek mikrosertlik değerlerine sahip bölgeler M₇C₃ tipi (Cr,Fe)₇C₃ karbürünü tanımlamaktadır.

3.2 Abrazif aşınma testi sonucu

Bu çalışmada üretilen 13 Cr'lu çelik kaplama ile FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamaların abrazif aşınma testleri ASTM G65–04 standardına göre tasarlanıp imal edilmiş abrazif aşınma test cihazı ile ASTM G65–04 standardı prosedür A'ya göre test edilmiştir. Abrazif aşınma test sonucunda kaplama yüzeylerinde meydana gelen hacim kaybı hesaplanmıştır. Hacim kaybı hesaplaması için kaplamaların teorik yoğunlukları kullanılmıştır. 13 Cr'lu çelik kaplama ile FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın ASTM G65–04 standardı Prosedür A'ya

göre abrazif aşınma testi hacim kaybı Şekil 7' de verilmektedir.

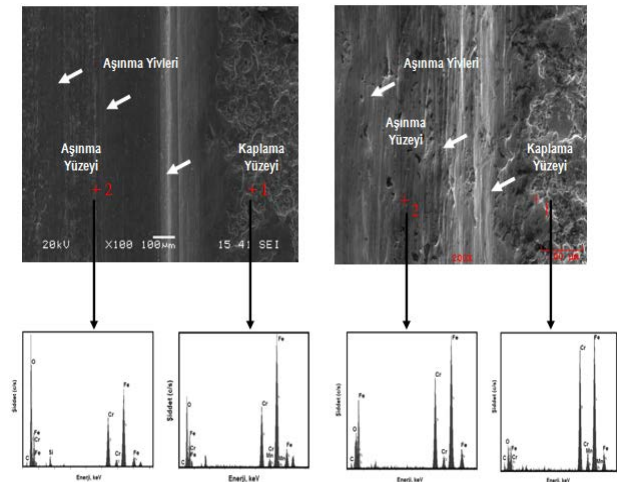


Şekil 7. 13 Cr'lu çelik kaplama ile FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın ASTM G65-04'e göre abrazif aşınma testi sonucu hacim kayıpları

FeCrCMn esaslı özlü tel kaplama 13 Cr'lu çelik kaplamaya oranla daha yüksek aşınma dayanımı göstermiştir (Şekil 7). Aşınma testi sonrası kaplamaların aşınma bölgelerinin SEM incelemesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 8'de her iki kaplamanın aşınma yüzeylerinin SEM incelemesi ve EDS analiz sonuçları verilmektedir.

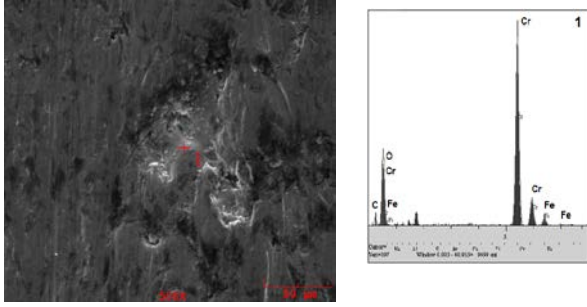
Her iki kaplamanın aşınma yüzeylerinden alınan EDS analizlerinin aşınma öncesi kaplama yüzeyinden alınmış EDS analizleri ile karşılaştırıldığında O pikinin arttığı görülmektedir (Şekil 8).

13 Cr'lu çelik kaplamanın aşınma yüzeyleri incelendiğinde aşınma yivlerinin düz bir hat şeklinde oluşmaktadır. FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın aşınma yüzeyindeki yivlerin ise düz bir hattı takip etmedikleri, bazı bölgelerde yiv çizgilerinin yön değiştirdiği görülebilmektedir. Aşınma yivlerinin yön değiştirdiği noktalar SEM ile incelendiğinde tepelik şeklinde yapıların bulunduğu görülmüştür (Şekil 9).



Şekil 8. 13 Cr'lu çelik kaplama ile FeCrCMn esaslı özlü

kaplamaların aşınma yüzeylerinin SEM incelemesi



Şekil 9. FeCrCMn esaslı özlü kaplamalarda aşınma yiv yüzeyinde SEM incelemesi ve 1 nolu bölgeden alınan EDS analizi

Söz konusu bu tepeliklerden alınan EDS analiz sonucunda Cr pikinin yüksek olduğu görülebilmektedir. Kaplama ana fazına gömülü şekilde bulunan bu yapıların yüksek sertliğe sahip M_7C_3 tipi $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürleri olduğu anlaşılmaktadır. Abrazif aşınma esnasında kaplama ana fazından malzeme kaybı yaşanmakta iken kaplama yapısında bulunan $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürler sahip oldukları yüksek sertlik neticesinde kaplama ana fazında aşınma dayanımı sağlayan bir takviye fazı görevi görmektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada FeCrCMn esaslı kaplamalardaki abrazif aşınma için istenilen yüksek sertlik $(Cr,Fe)_7C_3$ ve $(Cr,Fe)_{23}C_6$ karbürlerinden ileri gelmektedir (Fan et al., 2006). Bu karbürlerin kaplama yapısında bulunması kaplamaların abrazif aşınma dayanımlarının artmasına önemli rol oynar. Ancak bu karbürlerin matris ile uyum halinde bulunması gerekmektedir. Bir Fe-Cr-C üçlü sisteminde yüksek sertliğe sahip $(Cr,Fe)_7C_3$ karbür fazı %2-5 C ve %18-30 Cr krom içeriği olduğunda meydana gelir (Wang and Seitz, 2001). Elektrik ark püskürtme yöntemindeki proses parametreleri tel özü bileşimindeki Fe28Cr5CMn değerinin korunup kaplama fazında karbür yapılarının oluşabilmesi ve homojen bir şekilde kaplama yapısında dağılması, kaplamanın aşınma performansı için önemli rol oynar. Bu çalışmada bütün kaplamalarda M_7C_3 ve $M_{23}C_6$ tipi karbürlerin olduğu görülmüştür. Sert ve aşınma dayanımı sağlayan $(Cr,Fe)_7C_3$ (≈ 1300 HV) karbürü yeterince güçlü ve sünek $\gamma - Cr,Fe$

ötektik matrisinin içerisine uniform olarak dağılması durumunda takviye fazı içeren kompozit kaplama özelliğine sahip olup yüksek sertliğe değerlerine sahip olabilmektedir. Abrazif aşınma sırasında $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürü aşındırıcı partikül ile temas halinde iken sahip olduğu yüksek sertlik sebebiyle plastik deformasyonu başarılı bir şekilde engelleyebilmektedir (Liu et al., 2006). Bu da yüzeyden daha fazla malzeme kaybını önlemektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen 13 Cr'lu çelik ile FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamaların ASTM G65-04'e göre gerçekleştirilen abrazif aşınma testi sonrası FeCrCMn özlü tel kaplamanın aşınma yüzeyindeki küçük tepelikler söz konusu karbürlerin varlığını gösterebilmektedir. Burada $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürü abrazif aşınma sırasında kaplamanın aşınma dayanımında baskın rol oynamıştır. $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürü kaplama ana fazını oluşturan $\gamma - Cr,Fe + (Cr,Fe)_{23}C_6$ fazının daha fazla aşınmasını önemli ölçüde engellemiştir. $(Cr,Fe)_7C_3$ karbürü de güçlü ve yeterince sünek ana faz tarafından desteklenerek abrazif aşınma testi boyunca FeCrCMn esaslı özlü tel kaplamanın 13 Cr'lu çelik kaplamaya göre daha yüksek aşınma dayanımı göstermesini sağlamıştır.

Kaynaklar

- Fan C., Che M., Chang C.M., Wu W., 2006, Microstructure change caused by $(Cr,Fe)_{23}C_6$ carbides in high chromium Fe-Cr-C hardfacing alloys, Surface & Coating 201, 908-912
- Hussary N., 2003. Investigations into the wire arc spraying process, Thesis of Doctor of Philosophy, Univesrsity of Minnesota
- Liu, Y.F., Han, J.M., Li, R.H., Li, W.J., Xu, X.Y., Wang, J.H., Yang, S.Z., 2006, Microstructure and dry-sliding wear resistance of PTA clad $(Cr,Fe)_7C_3/\gamma$ -Fe ceramal composite coating, Surface Science 252, 7539-7544
- Liu, Y.F., Xia, Z.Y., Han, J.M., Zhang, G.I., Yang, 2006. S.Z.2003. Microstructure and wear behavior of $(Cr,Fe)_7C_3$ reinforced composite coating produced by plasma transferred arc weld-surfacing process, Surface & Coating Technology 201, 863-867
- Newbery A.P., Grant P.S., Neiser R.A. , 2005, The velocity and temperature of stell droplets during electric arc spraying", Surface & Coatings Technology 195, 91-101
- Tran T, 2004, The influences of preparation on the bond strength of zinc twin-wire arc spray coating on steel", Master thesis, The Facultyof the department

of chemical and materials engineering, San Jose University

Wang, B.Q., Seitz, M.W., 2001, Comparison in erosion behaviour of iron-base coatings sprayed by three different arc-spray processes, *Wear* 250, 755-761

Zhu Y.L., Liao H.L., Coddet C., Xu B.S., 2003, Characterization via image analysis of cross-over trajectories and in homogeneity in twin wire arc spraying", *Surface and Coating Technology* 162, 301-308