



SICAK DALDIRMA YÖNTEMİ İLE ALÜMİNYUM KAPLANAN ÇELİK MALZEMELERDE YÜKSEK SICAKLIK OKSİDASYONUNUN İNCELENMESİ

(THE INVESTIGATION OF HIGH TEMPERATURE OXIDATION IN ALUMINIUM COATINGS USING HOT DEEP METHOD ON STEEL MATERIALS)

Ahmet PASİNLİ*, N. Sinan KÖKSAL**

ÖZET/ABSTRACT

Bu çalışmada, genel yapı çeliği (Ç1020) ve paslanmaz çelik (AISI 316) malzemelerin yüzeyine sıcak daldırma yöntemiyle alüminyum (Al) kaplama uygulanmıştır. Yüzeyde oluşan Al kaplamanın mikroyapısı incelenerek, yüksek sıcaklık oksitlenmesine karşı gösterdiği direnç incelenmiştir. Numuneler 750 °C'deki sıvı Al içinde 10 dakika süreyle bekletilerek yüzeyleri Al ile kaplanmıştır. Daha sonra bu numunelere 800 °C sıcaklıkta 1 ve 6 saat süre ile nötr ortamda difüzyon tavlama uygulanmıştır. Elementlerin difüzyonu, difüzyon tabakası kalınlığı ve oksitlenmeye karşı gösterdiği direnç incelenmiştir. Al kaplama yapılan ve yapılmayan numuneler 900 °C sıcaklıkta ve farklı sürelerde yüksek sıcaklık oksidasyonuna maruz bırakılarak yüzeyde oluşan ağırlık değişimleri ölçülmüştür. Al kaplanmış çelik numunelerde önemli miktarda ağırlık değişimi olmaması, Al kaplamanın çeliği oksitlenmeden koruduğunu göstermiştir. Malzemelerin bileşimindeki Fe, C, Al, Ni ve Cr elementlerinin Al kaplama ve difüzyon tabakasındaki değişimleri mikroprob analizi ile incelenmiştir.

In this study, the surface of SAE 1020 and AISI 316 were applied to aluminium (Al) coating by hot deep method. The oxidation resistance and microstructures were investigated of Al coating applied to the surface of different steels. Sample surfaces were coated with Al at the temperature of 750 °C in 10 minutes durations. Experimental samples were subjected to at the 800 °C temperature and diffusion tempering with 1 and 6 hours durations. The changes in the thickness of diffusion layer and microstructure of the surface, as a result of the processes applied, were examined. Weight variations in the samples oxidized in atmospheric conditions under the temperature of 900 °C with varying durations have also been measured. It was found that steel material which changes of little weight of the samples coated with Al resisted more than without coated Al for oxidation. It was indicated that coated with Al surface of steel protected from oxidation. The changes of elements Fe, C, Al, Ni and Cr were investigated by microprobe analyses in surface region.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Alüminyum kaplama, oksidasyon, mikroprob, element difüzyonu

Aluminium coating, oxidation, microprobe, element diffusion

*Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Makine Bölümü, 35100 Bornova-İZMİR

**Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Bölümü, 45140 Muradiye-MANİSA

1. GİRİŞ

Tasarımlara uygun malzemeyi seçmek ve çalışma süresince malzemenin aynı özelliklere sahip olması önemlidir. Metalik malzemelerin özellikle çeliklerin, çalışma ortamına bağlı olarak kimyasal yapılarında ve mekanik özelliklerinde değişimler olmaması istenir. Yüzey işlemleri, korozyon ve aşınmaya karşı direncini arttırmak veya estetik görünümünü iyileştirmek için yapılır. Üretilen metalik malzemeleri ömrünü ve kalitesini artırmak, çalışma ortamının olumsuz koşullarının etkilerini azaltmak ve bazı mekanik özelliklerini iyileştirmek için metalik ve metalik olmayan kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Endüstride en yaygın kullanılan malzeme olan çeliklerin yüzeyine Cr, Ni, Zn, Al, vb. kaplama metalleri, sıcak daldırma, püskürtme, iyon implantasyonu, plazma gibi değişik yöntemlerle kaplanmaktadır (Drewolt, 1969; Hocking, 1993; Zhaolin, vd., 2009). Kaplamalar esasen demir ve çelik esaslı metal üzerine, korozyona karşı koruyucu bir tabaka elde etmek amacıyla yapılır. Birçok kimyasal ve nano malzemelerin araştırma projeleri derin daldırma yönteminin kullanımını gerektirir. Bu yöntem hem akademik ve hem de endüstri çevrelerinde geniş kullanım alanı bulmaktadır (Tanaka vd., 2002).

Alüminyum, yüksek bir elektronegatif potansiyelli bir metaldir. Normal denge gerilimi -1,67 V'tur. Buna rağmen, alüminyumun dış hava şartlarına, bir çok zayıf asit çözeltilerine, çoğu nötr çözeltilere ve suya karşı oldukça yüksek bir dayanımı vardır. Havalandırılmış çözeltilerde pasif durum kararlılığına göre alüminyum, kromla birlikte titanyumdan sonra ikinci sıradadır. Korozyona direnci yüksek bir malzeme olan alüminyum parçaların üzerindeki anodik tabaka normalde açık gri renkte olup, bazı alaşımlarda koyu griye dönüşmektedir. Tabaka ilk oluştuğu zaman gözenekli ve oldukça yumuşak alüminyum oksit haline geldiği sırada sertleşir ve metali nemden, havadan ve korozyondan koruyan koruyucu tabaka halini alır (Patermarakis vd., 2003). Korozyonun oluşması sadece bir reaksiyondur, asıl önemli olan korozyonun malzeme üzerinde ve çevresinde bırakacağı etkilerdir. Bu halde demir ve çelik malzemeler buldukları bu farklı atmosferik koşullardan etkilenecek fiziksel, kimyasal, elektriksel ve diğer özelliklerini yitirirler. Korozyon sonucu oluşan paslanma, sadece görüntü bozukluğu olmayıp aynı zamanda metali aşındıran bir kimyasal reaksiyondur (Kasaplar, 2007; Vagge, vd., 2009). Kasaplar (2007) çalışmasında, alüminyumun anodik oksidasyonu, oksalik asit ve sülfürik asit karışımında, alüminyumun anot olduğu koşullarda elektroliz işlemiyle gerçekleştirilmiş ve anodizing işlemi, çıplak alüminyum yüzeyini sertleştirerek dayanımını arttırmıştır. Anodizing işlemi süresince yüzeyde önce hidroksit sonra oksit oluşur ve yüzey oldukça sertleşmiştir. Sonuçlarında, alüminyum yüzeyinde oluşturulan oksit, üstün korozyon dayanımı göstermiştir.

Sadece atmosferdeki ve suda çözülmüş oksijen değil, hatta suyun kendisi bile alüminyumu etkisizleştirir. Bu nedenle alüminyum genellikle sadece oksijen ya da oksidasyon unsurlarının oluşunda değil aynı zamanda onların bulunmadığı durumlarda da pasif durumdadır (kendi kendini pasifleyicidir). Alüminyumun aktif hale geçmesi, yüzeyini cıva ya da cıvalı tuz çözeltisiyle silmek ya da muamele etmekle mümkün olabilmektedir. Böylesi bir durumda alüminyum, havada ve nötr çözeltilerde kararsızdır ve hidrojen serbestisiyle saf suda bile hızlı bir şekilde çözünür. Alüminyumun kendi kendine pasivasyona olan hassasiyeti, bu metalin pek çok nötr ve zayıf asidik çözeltilere karşı dayanıklı kılar. Bundan dolayı alüminyum, oksitleyici asit (örnek; nitrik asit) ve kuvvetli oksitlendiricilerin etkisi altında bile kararlıdır. Alüminyum oksitleyici anyonlu (örnek; nitratlar, kromatlar ve bikromatlar) tuzlarda ve sülfat çözeltilerinde kararlıdır (Guillou, 2008). Klorürler ve diğer halojenler, alüminyumdaki koruyucu film tabakasını tahrip etme kapasitesine sahiptir. Bundan dolayı klorlu çözeltilerde alüminyumun kararlılığı, biraz azalmıştır. Bununla beraber saf alüminyum gibi bir takım hallerde kararlılık hala yüksektir. Alüminyum ve alaşımları, HCl çözeltilerinde

kararlı değildir. Kuvvetli negatif potansiyelinden dolayı, pek çok elektropozitif metallere (bakır, platin, demir, nikel, kalay vb.) temasında alüminyumun korozyonu çok artar (Lee vd., 2005; Temel, 2002; Zhang vd., 2004).

Demir ve çeliğin korozyona karşı korunmasında uygulanan yöntemler metal yüzeylerin boya, plastik, nikel, krom, bakır ve çinko gibi maddelerle kaplanmasıdır. Ancak; gerek boya gerekse plastik kaplamada, hasar gören yerlerde metal paslanır ve kaplama tabakasını kaldırır. Bu tür kaplamalar güvenli ve uzun ömürlü değildir (Guillou, vd., 2008; Fang, vd., 2008). Ayrıca zaman içinde sürekli bakım gerektirmektedir. Diğer kaplama yöntemlerinde ise hasar olan bölgede malzemenin içine doğru ilerleyen çukur şeklinde paslanma oluşur. Demir ve çeliğin paslanmaya karşı korunmasında en akılcı ve kesin çözüm ise malzemenin sıcak daldırma galvaniz yöntemi ile kaplanmasıdır. Sıcak daldırma galvaniz, kule ve uzun ömürlü, dayanıklı cıvata imalatında çok yaygın kullanılır. Çeliğin havada, toprakta veya suda korozyona maruz kaldığı durumlarda sıcak daldırma galvanize çinko kaplama standart, etkili ve ekonomik bir koruma yöntemidir (Feliu vd., 2003; Yan, 2001). Sıcak daldırma çinko kaplamalar, sülfür dioksit ve diğer endüstriyel kirleticilerin düşük konsantrasyonda oldukları ortamlarda uzun süre dayanıklılıklarını korurlar. Bu kaplamalar ayrıca denizcilikle ilgili çoğu alanda tatmin edici sonuç verir. Malzeme seçiminde, yüksek dayanımlı, hafif malzemelerle beraber korozyona dayanıklı, refrakterlik özelliği olan malzemeler tercih edilmektedir. Dayanım değerleri iyi malzemelere uygun bir kaplama yöntemi ve ısıl işlemlerle özellikle korozyona dayanımlı parçaların üretimi gerçekleştirilebilir. Uçak endüstrisindeki bazı parçaların üzerinde yapılan Al kaplamanın yüksek sıcaklık korozyonuna karşı daha yüksek dayanım sağladığı çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (Awan vd., 2008; Bondareko vd., 1985; Çakır, 1990; Çakır, 1998).

Düşük karbonlu çeliklerde, yüzey oksidasyonu ve çukurlaşma tipi korozyon oluşur ki, yüzeyler kızıl-kahverengi pas görünümündedir. Korozyona dayanıklı çeliklerde ise uygun olmayan ısı transferinden dolayı taneler arası korozyon tipi görülür ve yüzey üzerinde bazen kızıl, bazen de kahverengi ya da siyah lekeler biçiminde görünüm oluşmaktadır. Bu nedenle yüzeyde oluşturulacak bir kaplamayla bu malzemelerin çalışma koşullarındaki sakıncaların giderilmesi araştırılmaktadır (Awan, 2007; Pasinli, vd., 2004).

Çalışmamızda, çelik malzemelerden genel yapı çeliği ve paslanmaz çelik numunelere sıcak daldırma yöntemi ile alüminyum kaplama işlemi uygulanmıştır. Daha sonra kaplanan numunelere 800 °C sıcaklık ve farklı sürelerde nötr ortamda difüzyon tavlama uygulanmıştır. Yüzeyde oluşan Al kaplamanın özellikleri araştırılmıştır. Bu numunelerin kaplama yüzeyinden ana metale doğru kaplama tabakası ve difüzyon tabakası kalınlıkları ve çelik-kaplama arasındaki element difüzyonları belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık oksidasyonuna dirençleri farklı sıcaklıklarda yapılan deneylerle incelenmiştir.

2. MALZEMLER VE YÖNTEM

Kimyasal bileşimleri Tablo 1’de verilen çelik malzemelerden; paslanmaz çelik (AISI 316) ve genel yapı çeliğinden (Ç1020) hazırlanan 3x5x15 mm boyutlarındaki numunelerin yüzeyleri temizlenmiştir.

Çizelge 1. Çelik numunelerin kimyasal bileşimleri (% ağırlık)

| Malzeme | C | N | Cr | Ni | Mo | P | Si | S | Mn | Fe |
|----------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------------|
| Ç1020 | 0.19 | - | 0.04 | 0.02 | - | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.47 | Kalan 1 |
| AISI 316 | 0.04 | 0.04 | 16.8 | 10.7 | 2.2 | - | 0.9 | - | 2.0 | Kalan 1 |

Bu numuneler bir pota içinde 750 °C'deki sıvı Al içine 10 dakika süre ile daldırılarak yüzeylerde Al tabakası oluşması sağlanmıştır. Potadan çıkarılan Al kaplanmış numuneler, 800 °C sıcaklıkta 6 ve 8 saat süre ile nötr ortamda alümina toz içerisinde bekletilerek difüzyon tavlama uygulanmıştır.

Kaplama yapılmış numuneler bakalit içine alınıp, kaba ve ince zımparalama işlemleri ile parlatma ve uygun dağlama yapıldıktan sonra mikroskopik incelemeye alınmışlardır. Fe, C, Ni, Cr ve Al elementlerinin, dış yüzeyden itibaren tabakalar arası yoğunluğa bağlı dağılımları mikroprob analizlerinden elde edilmiştir.

Alüminyum kaplanmış ve difüzyon tavlama uygulanmış numunelerin yüksek sıcaklık oksidasyonuna dayanımını belirlemek amacıyla, 900 °C de fırın ortam koşullarında 1, 2, 4, 8, 16 ve 20 saat sürelerle yüksek sıcaklık oksidasyon uygulaması yapılmıştır. Bu işleme bağlı olarak oluşan ağırlık değişimleri hassas terazi ölçümleriyle belirlenmiştir.

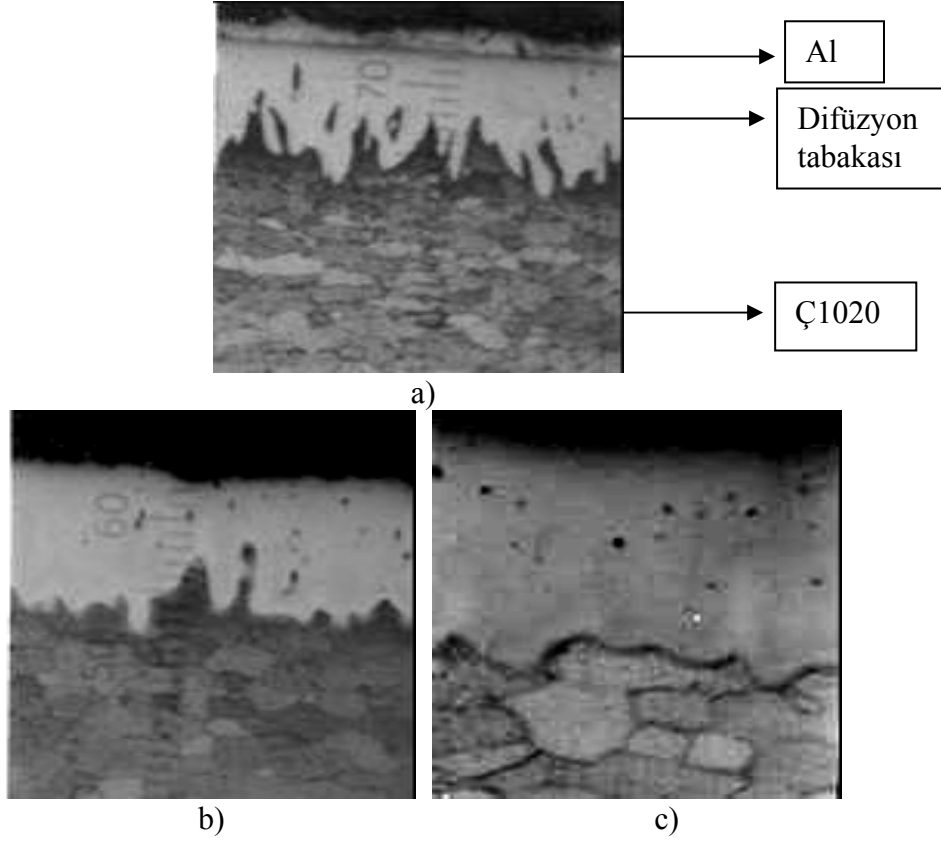
3. DENEY SONUÇLARI

Al kaplanmış ve 800 °C sıcaklıkta 6 ve 8 saat süre ile nötr ortamda alümina toz içerisinde bekletilerek difüzyon tavlama uygulanmış numunelerde; alüminyum kaplama ve difüzyon tabaka kalınlıkları, işlem sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişmektedir. Uygulanan işlem şartlarına bağlı olarak, Al ve difüzyon tabaka kalınlıklarındaki değişimler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Uygulanan işlemlere bağlı olarak Al ve difüzyon tabaka kalınlıkları

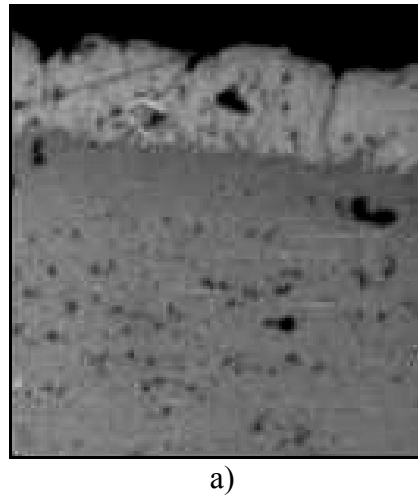
| İşlem | Tabaka | Kalınlık (µm) | |
|--|----------|---------------|----------|
| | | Ç1020 | AISI 316 |
| Al Kaplama (750 °C'de 10 dak.) | Al | 31,36 | 15,68 |
| | Difüzyon | 117,60 | 78,40 |
| Al Kaplama+800 °C'de 1 saat difüzyon tavlama | Al | 39,20 | 23,52 |
| | Difüzyon | 141,20 | 86,24 |
| Al Kaplama+800 °C'de 6 saat difüzyon tavlama | Al | 54,88 | 23,52 |
| | Difüzyon | 125,40 | 156,80 |

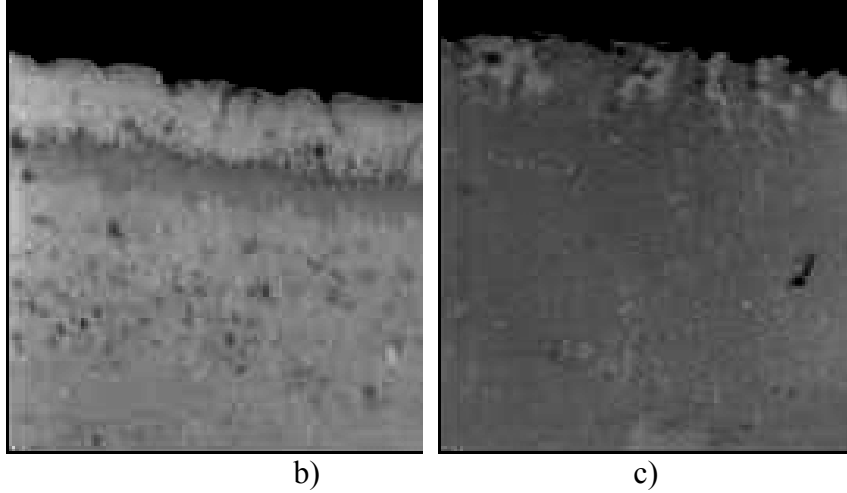
Çizelge 2'ye göre oluşan kaplama kalınlıkları incelendiğinde Ç1020'de, AISI 316 paslanmaz çeliğe göre daha kalın tabakalar elde edilmiştir. Al kaplanmış ve difüzyon tavlama uygulanmış Ç1020 çeliğinden elde edilen mikro yapı görüntüleri Şekil 1'de, AISI 316 çeliğinden elde edilen mikroyapı ise Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. a) Al Kaplanmış Ç1020 genel yapı çeliği
b) Al Kaplama + 800 °C’de 1 saat difüzyon tavlaması
c) Al Kaplama + 800 °C’de 6 saat difüzyon tavlaması

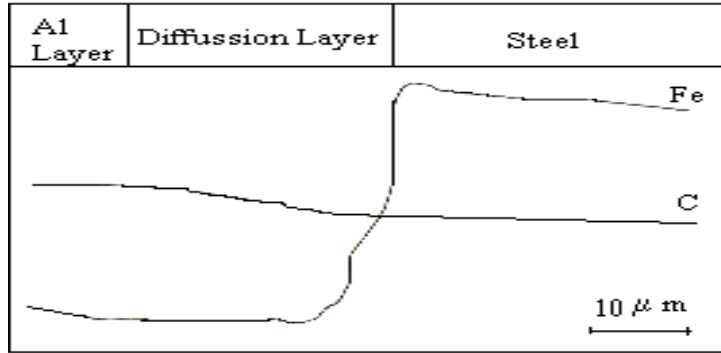
Şekil 1 ve Şekil 2’de görüldüğü gibi, uygulanan işlem koşullarına bağlı olarak Al tabakası ve difüzyon bölgelerinin kalınlıklarında belirgin değişiklikler olmuştur. Yüzeydeki Al, difüzyon tabakasındaki Fe ve Al’nin oluşturduğu intermetalik (Fe_2Al_5) fazlarını örtmektedir (An vd., 2002; Stein-Fechner, 1997). Alt kısım ise çeliğe ait mikroyapıdan oluşmaktadır. Tavlama süresine bağlı olarak oluşan difüzyon tabakası kalınlığı değişmektedir.



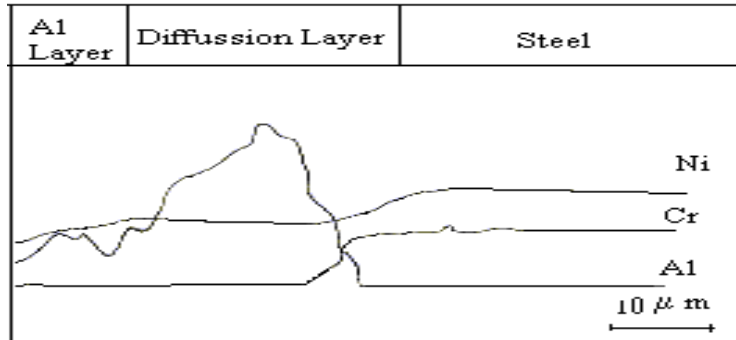


Şekil 2. a) Al Kaplanmış paslanmaz çelik numune görüntüsü
 b) Al Kaplama + 800 °C'de 1 saat difüzyon tavlaması
 c) Al Kaplama + 800 °C'de 6 saat difüzyon tavlaması

Elementlerin dış yüzeyden itibaren tabakalar arası yoğunluğa bağlı dağılımları mikroprob analizlerinden elde edilmiş olup, tabakalardaki Fe, C, Ni, Cr ve Al elementlerinin dağılımı Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.

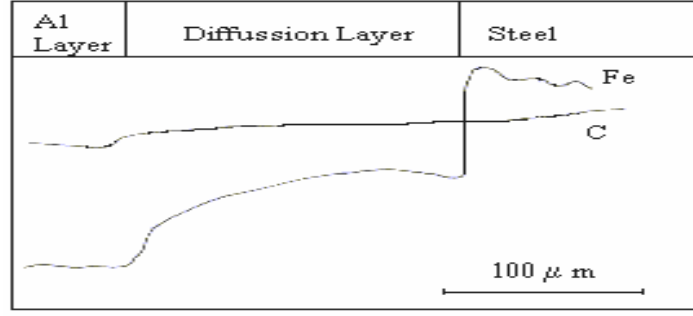


a)

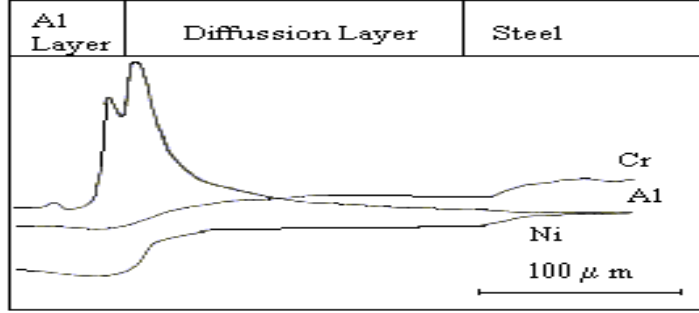


b)

Şekil 3. Al kaplanmış AISI 316 paslanmaz çelik numunede
 a) Fe ve C elementlerinin değişimi
 b) Ni, Cr ve Al elementlerinin değişimi



a)

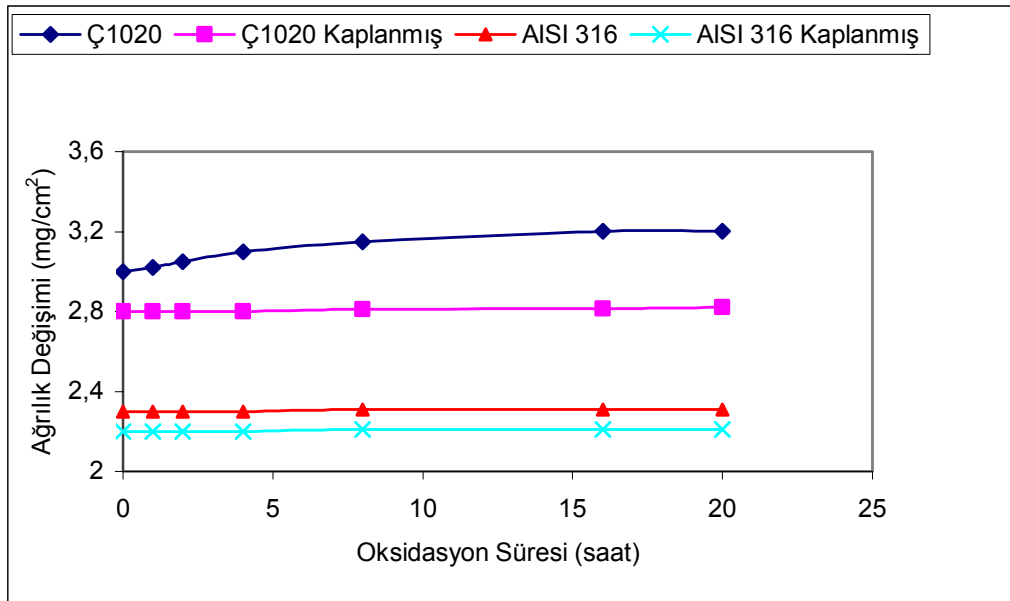


b)

Şekil 4. Al kaplanmış Ç1020 çelik numunede element değişimleri
a) Fe ve C elementlerinin değişimi b) Ni, Cr ve Al elementlerinin değişimi

Yüzeyde Al yoğunluğunun en fazla olduğu ve iç kısımlara doğru hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir. Karbon elementi yoğunluğunun her iki tür çelikte de değişmediği görülmektedir. Cr ve Ni elementlerinin dağılımları yüzeyde çok az, yüzeyden iç kısımlarda ise bir miktar artarak sabit bir değere ulaşmaktadır.

Al kaplanmış ve difüzyon tavlama uygulanmış numuneler ile Al kaplanmamış numunelerin yüksek sıcaklık oksidasyonuna dayanımını belirlemek amacıyla, 900 °C de fırın ortam koşullarında 1, 2, 4, 8, 16 ve 20 saat sürelerle yüksek sıcaklık oksidasyon uygulaması sonrasında, hassas terazi ölçümleriyle belirlenmiş ağırlık artışları Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. Oksidasyon süresine bağlı farklı çelik malzemelerin ağırlık değişimleri

Elde edilen veriler incelendiğinde, Al kaplanmamış genel yapı çeliğinde oksidasyondan dolayı ciddi miktarda ağırlık artışının olduğu ölçülmüştür. Al kaplanmış Ç1020, AISI 316 ve kaplanmamış AISI 316 çelik numunelerde önemli bir ağırlık değişimi olmamıştır.

4. TARTIŞMA

Çelik malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek amacıyla, iki farklı çeliğin yüzeyine sıcak daldırma yöntemi ile Al difüze edilmiştir. Bu işleme göre malzemelerin yüzeylerinde farklı kalınlıklarda Al ve difüzyon tabakası oluşmuştur (Şekil 1 ve Şekil 2).

Difüzyon tabakasında oluşan intermetalik fazlar, mikrosertliği ve yüksek sıcaklık oksidasyonuna direnci artırmıştır (An vd., 2002; Stein-Fechner, vd., 1997; Hwang vd., 2005). Al kaplanmış ve difüzyon tavlama uygulanmış numunelerde en büyük mikrosertlik değeri, intermetalik fazlardan oluşan difüzyon tabakasında ölçülmüştür (Pasinli, vd., 2004; Glasbrenner, vd., 1997). Uzun süreli yüksek sıcaklık oksidasyonu sonuçlarında, özellikle Ç1020'nin direncinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Buna göre yapı çeliklerinde Al kaplamanın, yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı malzemeyi koruduğu belirlenmiştir.

Sıcak daldırma işlemi ile yapılan Al kaplama işleminde, metalik malzemelerin yüzeylerinde oluşan kaplamada; Al sıvı banyo sıcaklığı, bekletme süresi ve tavlama şartlarını değiştirerek alüminyumun difüzyonu kontrol edilebilir. Son yıllarda yapılmış çalışmalarda bu parametrelerin ayrıntılı olarak incelemeleri yapılmaktadır (Kasaplar, 2007; Guillou, vd., 2008). Ayrıca karmaşık geometriye sahip metalik malzemelerin homojen olarak kaplanması da, bu yöntem ile mümkün olduğu için korozyona karşı korumada Zn kaplamaya bir alternatif olabilir. Benzer çalışmalarda da kaplanmış malzemelerdeki şekil alabilirlik, kırılma, dayanım ve süneklik gibi biçimlenebilme özellikleri uygulanan kaplama kalınlığına bağlı olarak mekanik ve metalografik olarak incelenmiştir (Awan, 2007).

KAYNAKLAR

- Awan G. H., (2007): "The Morphology of Coating-Substrate Interface in Hot-Dip-Aluminized Steels", University of Engineering and Technology Lahore, PhD Thesis,
- Awan G. H., Ahmed F., Ali L., Shuja M. S., Hasan F., (2008): "Effect of Coating-thickness on the Formability of Hot Dip Aluminized Steel", Pak. J. Engg. Appl. Sci. Vol. 2. pp.14-21.
- An, J., Liu, Y.B., Zhang, M.Z., Yang, B., (2002): "Effect of Si on the interfacial bonding strength of Al-Pb alloy strips and hot-dip aluminized steel sheets by hot Rolling", Journal of Materials Processing Technology 120, pp. 30-36.
- Bondareko, G.G., Borodulin, I.N., (1985): "Improving the Heat Resistance of Austenitic Steels by Thermomechanical Treatment Method", Metal Science and Heat Treatment 27, pp. 624-627.
- Çakır, A., (1998): "Korozyon Açısından Tasarım ve Malzeme Seçimi" 6. Korozyon Sempozyumu, İzmir.
- Çakır, A., (1990): "Metalik Korozyon İlkeleri ve Kontrolü", s. 223-231, MMO Yayını.
- Drewolt, R., (1969): "Diffusion Coatings for the Protection of Iron and Steel", Anti Corrosion, pp. 11-15.
- Fang H.W., Li K.Y., Su T.L., Yang T.C.K., Chang J.S., Lin P.L., Chang W.C., (2008): "Dip coating assisted polylactic acid deposition on steel surface: Film thickness affected by drag force and gravity", Materials Letters, Vol 62, Iss. 21-22, pp. 3739-3741.
- Feliu, S., Barranco, V., (2003): "XPS study of the surface chemistry of conventional hot-dip galvanised pure Zn, galvaneal and Zn-Al alloy coatings on steel", Acta Materialia 51 pp. 5413-5424.

- Glasbrenner, H., Nold, E., Voss, Z., (1997): "The influence of alloying elements on the hot-dip aluminizing process and on the subsequent high-temperature oxidation", J Nuclear Materials, pp. 24939–45.
- Guillou L., Suptiot Ph., Courtois V. L, (2008): "Oxidized barrier thin film from plasma grown polysiloxane coating over austenitic stainless steel, Surface and Coatings Technology, Vol 202, Issue 17, pp 4233-4241.
- Hocking, M.G., (1993): "Coatings Resistant to Erosive/Corrosive and Severe Environments", Surface and Coating Technology, 62, pp. 460-466.
- Hwang, S. H., Song, J.H., Kim, Y.S., (2005): "Effects of carbon content of carbon steel on its dissolution into a molten aluminium alloy", Materials Science and Engineering A 390 pp. 437–443.
- Kasaplar G., (2007): "Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi", Çukurova U. Fen Bil. Ens., Y L. Tezi.
- Lee HY, Jung S.H, Lee SY, You YH, Ko, KH, (2005): "Correlation between Al₂O₃ particles and interface of Al-Al₂O₃ coatings by cold spray", Applied Surface Science. Vol. 252, No. 5, pp. 1891-1898.
- Pasinli, A., Köksal, N.S, (2004): "Alüminyum Kaplanan Çelik Malzemelerde Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi", Mühendis ve Makina Dergisi, Sayı 536, S. 42–45.
- Patermarakis, G., Moussoutzanis, K., (2003): "A Transport Phenomenon Analysis Criterion Predicting Pitting Appearance During Al Anodizing In Sulphate Electrolytes", Chemical Engineering Communications, 190 (5): p. 1018–1040.
- Stein-Fechner, K., Konys, J., Wederneyer, O., (1997),: "Investigations on the transformation behaviour of the intermetallic phase (Fe, Cr)₂Als formed on MANET II steel by aluminizing", J. Nucl. Mater. 249, pp. 33–38.
- Tanaka J., Masumoto R., Ohsasa K., Narita T. (2002): "Effect of Mg and Si on the Microstructure and Corrosion Behavior on Zn-Al Hot Dip Coatings on Low Carbon Steel", ISIJ International, Vol. 42, No:1, pp. 80-85.
- Temel, A., (2002): "Alüminyum Alaşımlarının Korozyonu", Makine Metal Teknolojileri Dergisi, S.117.
- Vagge S.T., Raja V.S. (2009): "Influence of strontium on electrochemical corrosion behavior of hot-dip galvanized coating", Surface and Coatings Technology, in Pres.
- Yan, L., (2001): "Corrosion behaviour of hot dip zinc and zinc-aluminium coatings on steel in seawater", Bull. Mater. Sci., Vol. 24, No. 4, pp. 355–360.
- Zhang Y., Pint BA., Garner GW., Cooley KM., Haynes JA, (2004): "Effect of cycle length on the oxidation performance of iron aluminide coatings", Surface and Coatings Technology, Vol. 188-189, pp 35-40.
- Zhaolin Z, Yedong H, Li L, Hongxi L, Yongnian D., (2009): "Low-temperature formation and oxidation resistance of ultrafine aluminide coatings on Ni-base superalloy", Surface and Coatings Technology, Vol. 203, Issue 16, pp 2337-2342