



**İNŞAAT ÇELİKLERİNİN
SICAK DALDIRMA YÖNTEMİYLE
ALÜMİNYUM KAPLANMASI VE KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Şükrü ÇALI

**Yüksek Lisans Tezi
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK**

2016

Her Hakkı Saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İNŞAAT ÇELİKLERİNİN SICAK DALDIRMA YÖNTEMİYLE
ALÜMİNYUM KAPLANMASI VE KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Şükrü ÇALI

**METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Malzeme Bilim Dalı**

**ERZURUM
2016**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

İNŞAAT ÇELİKLERİNİN SICAK DALDIRMA YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM
KAPLANMASI VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK danışmanlığında, Şükrü ÇALI tarafından hazırlanan bu çalışma 21/09/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı – Malzeme Bilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu (.../...)~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ersin ARSLAN

İmza

Üye : Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hikmet ÇİÇEK

İmza

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 22.../ 09.../2016 tarih ve 36.../...43..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT ÇELİKLERİNİN SICAK DALDIRMA YÖNTEMİYLE ALÜMİNYUM KAPLANMASI VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Şükrü ÇALI

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Malzeme Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

Donatı korozyonu betonarme yapılarda karşılaşılan en önemli problemlerden biridir. Donatıda meydana gelen korozyon, beton-donatı ara yüzeyindeki yapışmayı olumsuz yönde etkiler. Ayrıca oluşan oksitlerin hacimce genişmesi nedeniyle beton içerisinde zararlı gerilmeler oluşur. Bu zararlı etkileri ortadan kaldırmak amacıyla inşaat çeliklerinin korozyon dayanımının arttırmak gereklidir. Bu çalışmada donatılarda oluşan korozyonu azaltmak için inşaat çeliklerinin üzerine sıcak daldırma yöntemiyle alüminyum alaşımı kaplamalar yapılmış, ardından yapılan kaplamaların mekanik ve korozyon özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında üç farklı çapta inşaat çeliği, farklı daldırma sürelerinde (1-3-5 dakika) sıvı alüminyum alaşımı içerisine daldırılmış, süreye bağlı olarak farklı kalınlıkta kaplama ve difüzyon tabakalarının oluştuğu görülmüştür. Ara tabakanın kalınlığı daldırma süresine göre farklılık göstermiştir. Sıcak daldırma Al kaplama prosesi sırasında oluşan ara tabaka malzeme içerisine parmak görünümünde difüze olmuştur. Üretilen kaplamaların korozyon özelliklerini incelemek amacıyla üzerinde herhangi bir işlem yapılmamış malzemeler ile kaplanmış malzemeler karşılaştırmalı olarak %3.5'lik NaCl çözeltisinde korozyon testine tabi tutulmuştur. Kaplanmış numunelerde herhangi bir korozyona rastlanmazken, kaplanmamış olan malzemelerde ciddi miktarlarda korozyon oluştuğu görülmüştür.

2016, 81 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Sıcak daldırma, alüminyum kaplama, inşaat çeliği, korozyon

ABSTRACT

MS Thesis

HOT DIP ALUMINIZING OF REINFORCING STEEL AND INVESTIGATION OF CORROSION PROPERTIES

Şükrü ÇALI

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Metallurgical and Materials Engineering
Department of Materials

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK

Reinforcement corrosion is one of the most important problems encountered in reinforced concrete structures. Interfacial adhesion between the concrete and the reinforcement is negatively affected by the corrosion of steel reinforcement. Also corrosion products can be produce harmful stresses in the concrete due to the volumetric expansion of oxide structures. Corrosion resistance of the reinforcing steel must be increase in order to eliminate harmful effects. In this study, hot-dip aluminum alloy coatings were made on the structural steel for the purpose of reduced corrosion. Then mechanical and corrosion properties of coatings were examined. Three different diameters construction steels were immersed in molten aluminum alloy at different immersion times (1-3-5 min). Different coating thickness and diffusion thickness was observed depending on the holding time. The thickness of the interlayer vary with holding time. In hot-dip-aluminizing, the interlayer was shown a finger-like growth into the steel. The corrosion properties of the coated samples were investigated in to a solution of NaCl 3.5% as compared to the uncoated samples. The coated samples shown better corrosion resistance compared to uncoated steels.

2016, 81 Pages

Keywords: Hot-dip, aluminum coatings, reinforced steel, corrosion

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin oluşumunda ve yönetiminde yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Kadri Vefa EZİRMİK'e, biricik eşim Elif Berna ÇALI'ya ve canımdan çok sevdiğim oğlum Ahmet Şahabettin ÇALI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Şükrü ÇALI

Eylül 2016



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	7
2.1. Yüzey Mühendisliğinde Uygulamalar.....	7
2.1.1. Yüzey işlem prosesleri.....	9
2.1.1.a. Mikroyapısal uygulamalar.....	9
2.1.2. Kimyasal difüzyon işlemleri.....	10
2.1.3. Kaplama teknikleri.....	12
2.1.4. Sıcak daldırma kaplama yöntemi.....	15
2.2. Alüminyum Kaplama Prosesleri.....	18
2.2.1. Sıcak daldırma yöntemiyle alüminyum kaplama prosesi.....	21
2.2.2. Sıcak daldırma işleminde kullanılan parametreler.....	23
2.2.3. Kaplama öncesi hazırlık aşaması.....	24
2.2.4. Fe-Al (demir-alüminyum) faz diyagramı.....	35
2.3. Difüzyon.....	36
2.3.1. Difüzyon oluşum mekanizmaları.....	38
2.3.2. Fick kanunları.....	38
2.4. Korozyon.....	42
2.4.1. Korozyon oluşum mekanizması.....	43
2.4.2. Korozyon oluşum çeşitleri.....	46
2.4.3. Ağırlık kaybı yöntemi.....	49
2.4.4. Betonarme korozyonu.....	50
2.4.5. Donatı korozyonu.....	50
2.4.6. Betonarme korozyonuna karşı alınacak tedbirler.....	56
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	58

3.1. Kaplama Yapılacak Malzemelerin Seçimi	59
3.2. Kaplama Yüzeyinin Hazırlanması.....	61
3.3. Alüminyum Banyosunun Hazırlanması	63
3.4. Sıcak Daldırma ile Kaplama İşleminin Gerçekleştirilmesi	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	68
4.1. Kaplama Tabakasının Kalınlık ve Sertlik Ölçümü İşlemleri	68
4.2. Kaplama Yapılmış Malzemelere Uygulanan Korozyon Deneyi	74
5. SONUÇLAR.....	78
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	82

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yaş galvenizleme yönteminin işlem basamakları	17
Şekil 2.2. a) Farklı sıcaklıklarda karbon oranının tabaka derinliğine etkisi b) Alüminyum kaplama sırasında alaşım elementlerinin tabaka derinliğine etkisi	22
Şekil 2.3. (Ç1020) çeliğin alüminyum kaplandıktan sonraki a) iç yapı görüntüsü b) 800°C’de 1 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı görüntüsü c) 800°C’de 6 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı görüntüsü	26
Şekil 2.4. a) (AISI 316) paslanmaz çeliğin alüminyum kaplandıktan sonraki iç yapı görüntüsü, b) 800°C’de 1 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı c) 800°C’de 6 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı	26
Şekil 2.5. a) (Ç1020) b) (AISI 316) Malzemelerin yüzeylerinden merkezlerine doğru alınan mikrosertlik ölçümleri	27
Şekil 2.6. a) Yapı çeliğinin(Ç1020) Al kaplanmış görüntüsü, b) Al kaplanmış ve 800°C’de 1 saat difüzyon tavlaması, c) Al kaplanmış ve 800°C’de 6 saat difüzyon tavlaması	30
Şekil 2.7. Paslanmaz çeliğin(AISI 316) Al kaplanmış görüntüsü, b) Al kaplanmış ve 800°C’de 1 saat difüzyon tavlaması, c) Al kaplanmış ve 800°C’de 6 saat difüzyon tavlaması	31
Şekil 2.8. Al kaplanmış olan yapı çeliğindeki(Ç1020) element değişimleri, a) Fe ve C elementlerinin değişim grafiği, b) Cr, Al ve Ni elementlerinin değişimi	32
Şekil 2.9. Al kaplanmış olan paslanmaz çelikteki(AISI 316) element değişimleri, a) Fe ve C elementlerinin değişim grafiği, b) Cr, Al ve Ni elementlerinin değişimi	33
Şekil 2.10. Farklı sürelerde çeliklere uygulanan oksidasyona göre değişen ağırlık değerleri.....	33
Şekil 2.11. Demir-Alüminyum çift fazının diyagram halindeki gösterimi	35

Şekil 2.12. İnterdifüzyon mekanizmasının oluşumu.....	37
Şekil 2.13. Ara yer ve Yer alan atom difüzyon mekanizması için kullanılan aktivasyon enerjisi (Q) değişimi	38
Şekil 2.14. Kararsız hal difüzyonu için belirtilen bileşimin profil özelliği	40
Şekil 2.15. Kararsız hal difüzyonunda meydana gelen üç farklı sıcaklıktaki bileşim değerleri.....	40
Şekil 2.16. Metallerin korozyon çevrimi	43
Şekil 2.17. Elektrokimyasal reaksiyon mekanizmasının korozyon olayındaki etkisi.....	44
Şekil 2.18. Korozyon hücresinin oluşum mekanizması.....	45
Şekil 2.19. Üniform korozyon	46
Şekil 2.20. Çukur korozyonu-Çatlak korozyonu	46
Şekil 2.21. Galvanik korozyon.....	46
Şekil 2.22. Taneler arası korozyon	47
Şekil 2.23. Seçici korozyon	47
Şekil 2.24. Erozyon-Kavitasyon korozyonu.	47
Şekil 2.25. Aşınma korozyonu.....	48
Şekil 2.26. Gerilmeli(stres) korozyonu-yorulmalı korozyon.....	48
Şekil 2.27. Soyulma-iç atak korozyonu	48
Şekil 2.28. Betonarme yapı içerisindeki donatı korozyonun oluşum mekanizması ve pasivasyonu tabakası	51
Şekil 2.29. Demiroksitin yapı içerisindeki hacim artış oranları.....	52
Şekil 2.30. Demir oksitten kaynaklanan yapı içerisindeki etkiler	53
Şekil 2.31. Demir oksitin, yapı içerisindeki çatlak oluşumuna etkisi	53
Şekil 2.32. Betonarme yapılara uygulanan çekip-çıkarma deneyi.....	54
Şekil 2.33. Donatı içerisinde bulunan klorürün meydana getirdiği korozyon	54
Şekil 2.34. Klorürden kaynaklanan korozyonun donatı üzerindeki gelişim aşamaları...	55
Şekil 3.1. Kaplama yapılacak olan silindirik çelik numuneler	59
Şekil 3.2. Kaplama yapılacak olan St-37 az karbonlu lama çelik numuneler.....	60
Şekil 3.3. Metalografik numune kesme makinası	62
Şekil 3.4. Metal yüzey temizleme makinası	63
Şekil 3.5. Eriyik banyonun hazırlandığı fırın	64
Şekil 3.6. Eritilmek için kullanılan alüminyum tabakalar	64

Şekil 3.7. Sırasıyla (a-b-c) 12-16-20mm çaplı alüminyum kaplanmış numuneler	66
Şekil 3.8. Sırasıyla (a-b-c) 1-3-5 dak süre ile kaplama yapılmış numuneler	67
Şekil 4.1. Bakalite alınmış nervürlü silindirik ve lama çelik numuneler.....	68
Şekil 4.2. Parlatma makinası.....	69
Şekil 4.3. İçyapı incelemesi için kullanılan optik mikroskop.....	69
Şekil 4.4. Optik mikroskop yardımı ile alınan içyapının görüntüleri	70
Şekil 4.5. Numunelerden alınan XRD ölçüm sonuçları.....	72
Şekil 4.6. Ana metal-ara tabaka-kaplama tabakalarından alınan sertlik görüntüleri	72
Şekil 4.7. Kaplama yapılmış numunelerin tabakalarından Hv 0.01 g 98.7 mN 10 s süre ile alınmış sertlik değerleri.....	74
Şekil 4.8. Silindirik ve lama çelik numunelerin korozyon deneyinden sonraki görüntüleri	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Malzeme yüzeyinde meydana gelen alüminyum ve difüzyon kaplama kalınlıkları(μm).....	26
Çizelge 2.2. Çelik malzemelerin % ağırlıkça kimyasal bileşimleri.....	29
Çizelge 2.3. Çeliklere uygulanan işlemlere göre alınan tabaka kalınlıkları	29
Çizelge 2.4. Ağırlıkça Al kompozisyonuna bağlı olarak oluşan faz yapı değerleri	36
Çizelge 3.1. St-37 Az karbonlu çeliğin kimyasal bileşimi.....	60
Çizelge 3.2. Silindirik çelik numunelerin çap ve uzunluk özellikleri.....	61
Çizelge 3.3. Silindirik çelik numunelerin mekanik özellikleri	61
Çizelge 3.4. 5083 serisi alüminyumun kimyasal bileşimi	65
Çizelge 3.5. Nervürlü silindirik çelik numunelerin grup numaraları ve eriyik alüminyum banyosundaki bekleme süreleri	65
Çizelge 4.1. Kaplama yapılan malzemelerde ölçülen difüzyon kalınlıkları	71
Çizelge 4.2. Hv 0,01 10 s süre ile silindirik çelik numunelerden alınan sertlik ölçüm sonuçları.....	73
Çizelge 4.3. Alüminyum kaplanmış silindirik çelik numunelerin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri	75
Çizelge 4.4. Kaplama yapılmamış silindirik çelik numunelerin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri	75
Çizelge 4.5. 5 dak süre ile kaplanmış lama çelik numunenin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri.....	76
Çizelge 4.6. Kaplanmamış lama çelik numunenin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri	76

1. GİRİŞ

Teknolojik açıdan hızlı bir gelişim sürecinin yaşandığı günümüzde, üretimin nasıl yönlendiği hakkında bilgi sahibi olunabilmesi için ne üretildiğinden çok nasıl ve hangi şartlarda üretimin gerçekleştiğinin bilinmesi gerekmektedir.

Üretim aşamasında kullanılacak malzeme ve bunu üretebilecek olan makine ve teçhizat da o denli önem arz etmektedir. Üretilen mekanizmanın kullanım kalitesi, bu üretim proseslerinin her bir aşamasında kendini göstermektedir. Eğer bu aşamalardan birinde malzemedeki kaynaklanan bir eksiklik meydana gelirse yaşanan bu sıkıntı tüm üretimi etkileyecek, maddi zararlara sebep olabilecektir. Bu yüzden üretime başlamadan önce malzeme seçimi ve kullanılacak malzeme özellikleri hakkında önceden bir bilgi sahibi olunmalı ve üretim bu seçilen malzeme üzerinden devam ettirilmelidir.

Seçilen malzeme üretim açısından sıkıntı yaratmayacak boyutlarda ise malzemenin işleniş bakımından hazır hale getirilmesi ve daha iyi verim alınabilmesi açısından mühendisliğin bilgi ve becerisi ortaya konulmalı, işlemler bu adımlar üzerinde devam ettirilmelidir.

Günümüzde kullanılacak malzeme seçimi iyi yapılmadığından çok riskli ve tehlikeli boyutlara varan olaylar meydana gelmektedir. Örneğin gemi sanayisinde kullanılacak çelik malzemenin korozyon açısından dayanıklı seçilmesi ve işlenmesi mühendislik boyutunda çok önemli bir unsurdur. Korozyon dayanımı açısından çok dayanıklı olmadığı gözlemlendiği durumlarda bu malzeme için gerekli çalışmalar yapılmalı ve uygun malzeme seçilerek üretim riske atılmamalıdır.

Kullanılacak malzeme ya da malzemelerde istenilen özellikler açısından eksikler olabilir, ancak bu eksiklikler çeşitli işlemler gerçekleştirilerek giderilmeye çalışılabilir. Örneğin yüzeyi daha da sert olması istenilen bir malzeme gerekli yüzey işlemleri uygulanarak sertleştirilebilir. Bu yüzden mühendisliğin vazgeçilmez bir işlemi olan

yüzey mühendisliği bu aşamada devreye girerek daha üstün özelliklere sahip malzemelerin üretimini mümkün kılmaktadır.

Yüzey işlemleri, çok farklı basamaklardan oluşan dallanmış bir ağaca benzetilebilir. Çok yönlü oluşu itibari ile malzemenin üretim yönünden de üreticiye sınırsız sayıda seçenekler sunar. Üretici yüzey işlemlerini kullanarak, malzemeyi sanki elinde bir hamur varmış gibi şekilden şekle sorarak üretimin kapasitesini arttırabilir, hatta malzemeye yenilikler katarak piyasaya, kendine özgü bir modelleme yaparak sunabilir.

Malzemelerin çoğu farklı ortamlarda birbirleriyle ve ortamla sürekli etkileşim halinde bulunabilir. Bu etkileşime maruz kaldığı takdirde malzemenin fiziksel ya da kimyasal özelliklerinde değişimler hatta bozunmalar (korozyon) meydana gelir. Bu bozunmadan dolayı malzemede ve tasarımda istenmeyen sonuçların ortaya çıkması durumu ile karşı karşıya kalınabilir. Malzemenin bu özellik kaybına uğraması tasarım mühendisliği açısından hiçte olumlu sonuçlar vermez (Callister and Rethwisch 2014).

Malzemeler açısından oluşan bu tip tahribatlar, kullanım sırasında sıkıntılar doğurarak çok tehlikeli olaylara sebep olabilir. Günümüzde bu gibi olaylarla karşı karşıya kalınmaması açısından çeşitli prosesler kullanılarak malzemenin daha fazla zarar görmesi engellenmiştir.

Bu uygulama alanlarından en önemlisi ise yüzey kaplama prosesidir. Yüzey kaplama, başlı başına bir üretim aşaması ve yüzey kalitesini iyileştirilmesi olarak görünse de, gerçek manada malzemelerin korozyondan korunması açısından yüzey mühendisliğinin vazgeçilmez bir uygulaması olarak göze çarpmaktadır.

Yüzeyi kaplanan malzemelerde bu bozunum (korozyon) olayına çok nadir rastlanır. Kaplanan yüzey hem maliyet açısından hem de kaliteli bir üretim oluşturma açısından üreticiye çok ciddi avantajlar sunar. Örneğin yapıda korozyona uğramaması istenilen bir metal kullanılmak istenmekte ancak o bölgede çok basit bir malzemenin tercih edilmesi öngörülmektedir. Bilindiği gibi korozyona en dayanıklı metallere birisi altındır. Bu

metal o bölgede kullanılmak istenirse çok fazla bir maliyet ile karşı karşıya kalınabilir. Ayrıca mukavemet açısından da altın oldukça zayıf bir malzemedir. Bu riski ortadan kaldırmak için ucuz bir metal yüzeyine çinko kaplanarak bu sorun ortadan kaldırılabilir.

Teknolojik gelişmeler sayesinde günümüzde çok farklı işlemler uygulanarak malzemelerin yüzeyleri kaplanmaktadır. Bazısı maliyet açısından avantajlı, bazısı ise kaplanacak malzeme ile alakalı dezavantajlı bir durum sergileyebilir.

Kaplama yapan makine ve teçhizat kaplanmanın kalitesini ön plana çıkartan en önemli unsurlardan biridir. Kullanılacak yöntem üretim açısından malzemenin konumunu gözeterek gerçekleştirilmeli ve uygulanmalıdır.

Malzemenin kullanılacağı bölgenin gerekli incelemeler yapıldıktan sonra etkileşimde bulunduğu ya da bulunacağı bölgeler tespit edilerek, yapılacak olan kaplamaya uygunluğu analiz edilmelidir. Kullanılacak bölge hassas ve çok riskli bir bölgede bulunuyorsa, seçilen kaplama yöntemi de o derece hassas ve kaliteli olmak zorundadır. Dikkat edilmeden gerçekleştirilen tüm işlemler ileri ki zamanlarda kullanıcıyı çok önemli ve tehlikeli durumlarla karşı karşıya bırakabilir.

Başka bir durum ise üreticiye yükleyeceği ağır bir maliyet olarak değerlendirilebilir. Dikkat edilmeden gerçekleştirilen uygulama sonucu meydana gelen kayıpların geriye dönerek tekrarlanması hem zaman açısından hem de fazladan tüketim yönünden yüklü bir maliyeti ortaya çıkarır. Belki üretici bu durumu telafi edebilir ancak daha büyük kayıplar oluşması durumunda, örneğin (can ve mal kaybı) gibi olaylarda hem vicdani hem de maddi açıdan sıkıntılı bir sürece sürükleyebilir.

Bir diğer önemli unsurda yüzey aşınmasıdır. Yüzey aşınması tasarım açısından istenmeyen durum olarak meydana çıkar. Mekanik bir sistem üzerinde çalışan malzemelerin zamanla birbirleriyle etkileşimleri durumunda meydana gelebilecek yüzey aşınmaları, sistemde önemli derece de zararlara sebebiyet verebilmektedir. Bu zararları en hafif ve ucuz bir şekilde azaltmanın yollarından biri ise yüzeyin kaplanmasıdır.

Bilindiği üzere Yüzey Mühendisliği ‘yüzey modifikasyonları ve yüzey kaplamaları’ olarak ikiye ayrılır. Her iki grupta da malzemenin yüzeyi ile ilgili belli bir işlem prosedürü gerçekleştirilmektedir. Gerçekleştirilen bu işlemler sayesinde malzeme yüzeyinin daha kullanışlı hale getirilmesi amaçlanarak üretim kalitesinin artırılması ön görülmektedir.

Çeşitli kaplama teknikleri uygulanarak malzeme yüzeyinin korozyon ve aşınmadan korunabileceği bilinmektedir. Kullanılan bazı kaplama yöntemleri ise şöyle sıralanabilir.

1. Atomize sıvı spreycaplamalar
2. Daldırma kaplamalar
3. Kaynak kaplama
4. Sol-gel kaplama
5. Elokrokimyasal kaplamalar
6. Giydirme (duble etme) kaplamalar
7. Kimyasal kaplama
8. Dönüşüm kaplamaları
9. Buhar fazı kaplamaları

Üretimde çelik yüzeyine birçok metal kullanılarak kaplama yapılmaktadır. Genellikle bu metaller (Zn, Al, Ni, Cr vs) kapsamaktadır. Kaplama yöntemi ise sıralamada belirtildiği gibi (sıcak daldırma, püskürtme, plazma vs.) olabilmektedir. Bu metallerden Al ve Zn'nin genelde sertliğinin az olmasına rağmen kaplama yapıldığı çeliğin bileşimindeki Fe ile metaller arası bileşik (*intermetalik*) bir faz oluşturmasından dolayı sert ve kırılgan bir hal almaktadır (Köksal 2009).

Genellikle uçak sanayii ve uzay endüstrisinde kullanılmak üzere yüksek dayanım/düşük yoğunluğa sahip malzemeler tercih edilmektedir. Özellikle havacılık endüstrisinde alüminyum yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra oksitleyici sıvı yakıt tanklarında sıklıkla kullanılır. Düşük yoğunluğunun yanında uygun yüzey işlemleri ile

yüzeyi pasifleştirilmiş alüminyumun yüksek korozyon direncine sahip olması alüminyumu havacılık uygulamaları için cazip kılar.

Alüminyum genellikle *anodik* bir özelliğe sahip olduğundan kaplanan yüzeyi korozyondan rahatlıkla korur. Uygulanan yüzeyi kendi yüzeyinde oluşturduğu bir oksit film varlığı sayesinde korozyondan korumaktadır. Alüminyum kaplanan malzeme yüzeyleri, temiz sularda kullanıldığı takdirde her sıcaklıkta, diğer sular içerisinde kullandığında ise yüksek sıcaklıkta rahatlıkla kullanılabilir (Köksal, 2009).

Kaplama işleminin başarıyla gerçekleştirilmesi için en önemli unsurlardan biri difüzyon olayıdır. Difüzyon olayı, moleküllerin rastgele hareket ederek daha yüksek konsantrasyonlu bölgeden daha düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru yayılması olarak bilinir.

Özellikle sıcak daldırma yapılarak gerçekleştirilen kaplamalarda oluşturduğu süreç dikkate alınacak olursa, difüzyon etkisinin atomların yüzeysel bir yayılma gerçekleştirerek meydana getirdiği işlem olarak ifade edilebilir.

Bu yayılım süreçleri ise belli bir kural çerçevesi içerisinde meydana gelmektedir. Kaplanacak yüzey ile ergimiş halde olan metal arasında belirli bir konsantrasyon ilişkisi sayesinde kaplama yüzeyinin homojen olarak kaplandığı görülür. Bu homojen dağılım sürecinde kaplamayı etkileyen belirli parametreler vardır. Bu parametreler '1. ve 2. *Fick Kanunu*' adı altında toplanmış; sıcaklık, zaman ve derinlik unsurlarıyla belirlenerek hesaplama yapılır.

Kaplama yöntem ve teknikleri çok eski dönemler de bile insanoğlu tarafından kullanılan bir yaşayış biçimi olarak da değerlendirilebilir. Milattan önce 900'lü yıllarda yerli kabile halkı arasında yaşayan insanlar, bir baltanın ucunu karbürleyerek sertliğini 444 *Brinell* sertliğine kadar çıkarmışlardır. O zamanda gerçekleştirilen bu işlemler günümüzde kullanılan kaplama yöntem ve uygulamalarına ışık tuttuğu anlamına gelmektedir (Bülbül 2006).

Endüstride alanında birçok kaplama yöntemi kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden birisi ise ‘Sıcak Daldırma’ yöntemidir. Bu yöntem sayesinde çok karışık ve büyük malzemelerin tek parça halinde kaplanması, üretici açısından çok büyük avantaj sergilemektedir. Tek seferde daha büyük parçaların sıvı eriyik halde bulunan banyo içerisine daldırılmasıyla gerçekleştirilen bu işlem sayesinde kaplanmayan hiçbir yüzey kalmadığı gibi pürüzsüz ve kaliteli bir üretim gerçekleştirilmiş olur.

Kaplama yöntem ve teknikleri endüstride çokça kullanılması itibari ile istihdam açısından da çok önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle gelişen endüstri alanındaki kullanılacak malzemenin daha dayanıklı ve üretimde risk oluşturmayacak şekilde tasarlanıp kullanılması itibari ile kaliteli üretimlerin ortaya çıkması, üretici açısından büyük bir avantaj olarak değerlendirilebilir.

Kaplama üretimi ne kadar kaliteli gerçekleştirilirse, kaplama yapılan malzeme açısından da dayanıklılık bir o kadar artacak ve daha kullanışlı hale gelecektir. Bu durum ise üretici ve kullanıcılar açısından çok büyük bir önem taşımaktadır.

Kaplama işlemleri, malzeme açısından büyük önem taşıyan bir yüzey işleme yöntemi olarak da değerlendirilebilir. Kurulum itibari ile yüksek maliyetli olması bir dezavantaj olarak görünse de, endüstride vazgeçilmez bir uygulama alanı olarak kendisine yer bulabilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Yüzey Mühendisliğinde Uygulamalar

Yüzey mühendisliği son yıllarda malzeme yüzeyindeki oluşan aşınma problemlerini gidermek amacıyla kullanılmakta ve giderek tüm endüstri alanlarında yaygınlaşmaya başlamıştır. Genellikle aşınma ile alakalı problemler yüzey işlemleri kullanılarak giderilmeye çalışılmaktadır. Yüzeyin alevle sertleştirilmesi, *karbürlenmesi* ve *nitrürlenmesi* gibi çok çeşitli yöntemler uygulanarak yüzey iyileştirilmesinin yapılması yanında, malzeme yüzeyine ince film şeklinde gerçekleştirilen kaplama işlemleri ile de bu süreç daha da ileri bir noktaya taşınmıştır. Bu gerçekleştirilen kaplama işlemleri malzemenin korozyondan korunması ve daha dekoratif görünmesi açısından mühendislik alanında çokça kullanılan bir yöntem haline dönüşmüştür (Alsaran 2003).

Yüzey mühendisliğinin genel amacı ise malzemenin metalurjik, mekanik, kimyasal, fiziksel ve elektriksel özelliklerinin daha da iyileştirilmesi ve kullanışlı bir yapı haline getirilmesi süreci olarak değerlendirilebilir.

Teknolojik alanda kullanılan aşınmaya uğramış malzemelerin, yüzeyinin iyileştirilmesi istenen malzemelerin ve korozyona çok çabuk uğrayan alanlarda yüzeyi Al-Zn kaplaması yapılarak üretimi gerçekleştirilmek istenen işlemlerde yine ön plana yüzey mühendisliği ve uygulamaları çıkmaktadır (Sarı 2005).

Malzemelerin çalıştığı ortamdaki temas etme durumuna göre yüzeyinde oluşan aşınma ve sürtünme gibi durumlar meydana gelmektedir. Bu gibi durumların oluşumu çevre ve çalışma koşullarından oluştuğu bilinmektedir. Malzemenin yüzeyinde gerçekleşen bu tahribatlar nedeniyle malzemenin mekanik özelliği önemli ölçüde değiştiği görülür. Bu yüzden malzemenin sadece yüzeyine gerçekleştirilecek işlemler sayesinde aşınma ve sürtünmeye bağlı kayıpları düşürmek mümkündür. Sadece bu tip malzemelerde geçerli olmayıp çok yüksek sıcaklıkta çalışan makine elemanlarının da yüzeyinde

gerçekleştirilecek yüzey iyileştirme işlemleri ile korozif etkinin azaltılması da ön plana çıkarılmaktadır.

Yüzey iyileştirme işlemleri malzemelerin üretimi ve kullanımı açısından çok büyük bir önem taşıyan olay olarak değerlendirilebilir. Aşınma dayanımını, korozyon direncini ve yüzey sertliğini arttırmak amacı ile kullanılan yüzey işlemleri;

- 1- Mikroyapısal
- 2- Kimyasal difüzyon
- 3- Kaplamalar

olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkün olur.

Mikroyapısal uygulamalarda, malzeme yüzeyine belirli bir sıcaklık etkisi uygulanarak (ısıl işlem) mikro yapının değiştirilmesi ve buna bağlı olarak yüzey sertliğinin artırılması olarak düşünülebilir. Yüzeyin bölgesel bir ısıl işleme tabi tutulmasından sonra ani bir şekilde soğutulması yüzeyin sertleştirilmesi ile aşınma ve sürtünme tahribatının azaltılması sağlanabilir. Yüzeyin ısıtılması için ısıl işlemi gerçekleştiren cihazlar ise ismine göre (indüksiyon, lazer, alevle yüzey sertleştirme gibi) değişiklik gösterebilir.

Kimyasal difüzyon prosesleri ise malzeme yüzeyinde yüksek sıcaklık oluşturularak farklı metal fazın difüze ettirilmesiyle malzeme yüzeyinde sertlik, mukavemet ve korozyon dayanımının artırılması işlemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu işlemde özellikle sıcaklık çok büyük bir etki göstermektedir. Bazı yapılan işlemlerde hızlı bir soğutma süreci istenilebilir. Özellikle lazer, elektron ışınlarla yapılan işlemlerde soğutma hızlı gerçekleştirildiği için fazladan bir soğutma prosesine ihtiyaç duyulmaz. Malzeme yüzeyine C, N, B gibi atomların difüze edilmesiyle malzemenin yüzey sertliği ve korozyon dayanımı artmaktadır. Bu işlemler ise; sementasyon, nitrürasyon, borlama, kromlama ve silikonlama adı altında toplanmıştır (Ezirmik 2000).

Yüzey kaplama yöntemi ise kaplama yapılacak taban malzemesinin kaplama yapılan malzemenin özelliği açısından farklı ya da çok az bir miktarda benzerlik teşkil eden bir malzeme ile kaplanmasıyla yüzeyde istenilen özellikleri kazandırmak amacıyla oluşturulan yeni bir tabaka oluşturma işlemidir. Özellikle son yıllarda kaplama adına çok fazla yenilikler meydana gelmektedir. Başlıca kaplama prosesleri ise şunlardır; termal sprey, daldırma kaplama, elektrolitik kaplama, kaynak kaplama, fiziksel buhar kaplama (PVD) ve kimyasal buhar kaplama (CVD).

2.1.1. Yüzey işlem prosesleri

2.1.1.a. Mikroyapısal uygulamalar

Bu uygulamalarda malzeme yüzeyinin ısıtılıp daha sonra ani bir şekilde soğutulmasıyla yüzeyde sertleştirilmiş ve aşınma direnci yükseltilmiş ince bir film tabakası oluşturulur. Bu işlemler dışında mekanik yollarla da malzeme yüzeyine benzer özellikler kazandırılabilir. Yapılan bu uygulamalar aşağıda açıkça belirtilmiştir.

a. Alevle Yüzey Sertleştirme: Kullanılan bu işlemde (yanıcı-yakıcı) gaz karışımının birlikte karıştırılarak yanması sonucu ısıyı yönlendirecek bir aparat yardımı ile yüzeyin ısıtılması sağlanır. Yanıcı gaz olarak; asetilen, metan, propan ve hidrojen, yakıcı gaz olarak (oksijen) kullanılır. Isıl işleme tabi tutulan bölgenin ısınmasının ve gerçekleştirilen işlemin ardından yüzeyin istenen sertlik değerlerinde elde edilmesi için ani soğutma gerçekleştirilip işlem sonlandırılır (Sarıkaya 2007).

b. Lazerle Yüzey Sertleştirme: Malzemenin yüzeyine gönderilen lazer ışın demetleriyle yüzey çok kısa bir sürede eritilir. Eritme yüzeyinin kalınlığı 1-100µm dir. Bu ışın demetinin oluşumunda 1 ila 25 kw'lık CO₂ kullanılır. Soğutma ünitesi olarak parçanın kalan diğer kısımları bu işlem için kullanılmaktadır. Bu sebepten dolayı malzeme yüzeyine ekstradan su verme işlemine gerek kalmaz. Taban malzemedede ise distorsiyon oluşumu gözlenmez (Ezirmik 2000).

c. İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme: Bu işlem %0.35-%0.60 oranında C bulunan orta karbonlu çeliklere uygulanmaktadır. Prensip olarak parça yüzeyine sarılan bobinlerin yardımıyla yüzeyden geçirilen elektrik akımının malzeme yüzeyinde oluşturduğu yüksek sıcaklık sayesinde numunenin yüzeyi ısınır. Daha sonra ısınan bölge su ile ani olarak soğutulur. Soğutma mekanizması olarak genellikle su kullanılır ancak bunun yanında yağ ve tuzda kullanılmaktadır (Megep 2006)

d. Elektron Işınlarıyla (Demetiyle) Yüzey Sertleştirme: Yüzey sertleştirilmesi için kullanılan bu sistemde, malzemenin vakum ortamında yüzeyine hızlandırılmış elektron bombardımanı gönderilmesiyle, yüzey sıcaklığının artırılması sağlanır.

Sıcaklık, çeliğin yüzeyinde Ac_3 sıcaklığının üstünde meydana gelir. Bu yöntemle alevle yüzeyi sertleştirilen malzemelerde kullanılır. Kurulum maliyeti açısından çok yüksek oluşu ve kaplama derinliği 0.1 mm olması sistemin dezavantajı olarak görülebilir (Sarıkaya 2007).

e. Mekanik Yüzey Sertleştirme: Bu işlemlerde malzeme yüzeyine mekanik olarak yapılan uygulamalarda, yüzeyin plastik şekil vermesi meydana getirilerek yüzeyin sertleştirilmesi gerçekleştirilir. Bu uygulamalar; yüzey haddeme, bilye püskürtme ve patlatmalı sertleştirme olarak sıralanabilir.

2.1.2. Kimyasal difüzyon işlemleri

Kullanılacak malzeme açısından özellikle demir ve çelik malzemelerin yüzeylerinde özel bir ortam oluşturulup çok yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen difüzyon işlemi sayesinde yüzey sertleştirilmesi gerçekleştirilebilir. Genelde oluşan bu difüzyon sayesinde yüzeyin farklı alaşımlanmış olduğu görülür. Bu oluşumun etkisi ile yüzeyin aşınma ve sürtünme dayanımı artar. Malzeme yüzeyinde kullanılan bu işlemler hakkında bilgiler aşağıda kısa belirtilmiştir.

1. Sementasyon: Bu işlemlerin diğeri bir ismi ise karbürasyon olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu işlemin asıl amacı ise çeliğin içyapısında yüksek tokluk, yüzeyinde ise yüksek sertlik oluşturmaktır. İşlem gerçekleştirildikten sonra yüzeyin çok sert, içyapının ise yüzeye göre yumuşak ama tok bir yapıda olduğu görülmektedir(Pekgöz, 2013). Bu yöntemde düşük karbonlu çeliklerin (%0.1-0.2) yüzeyi 925°C sıcaklığa kadar çıkarılıp, karbonca zengin bir ortamda tutulması işlemini kapsar. Bu işlem sonunda genellikle su ile soğutulan malzemelerin yüzeyinin sertleştiği içyapının ise daha tok hale geldiği gözlemlenebilir. Bu işlem sayesinde yüzeyin karbon miktarı %0.65-0.8 oranına kadar çıkarılır, yüzey sertliği ise 850HV'nin üzerinde seyrettiği gözlemlenebilir. Çok yüksek sıcaklıklarda çalışılmasından dolayı malzemede distorsiyon oluşumu meydana gelebilir (Ezirmik 2000).

2. Nitrürasyon: Bu işlemde ise çelik yüzeyine azot(N) yayılması gerçekleştirilerek, yüzeyin sertleşmesi ve aşınma dayanımının artırılması sağlanır. Karbürleme işlemine nazaran çok yüksek sıcaklıklarda çalışılmaz. Bu özelliğinden dolayı da malzemede oluşacak distorsiyon miktarı ise minimum düzeyde seyreder. Ancak 0.5mm'lik bir yüzeyin difüzyon derinliğinde bile 520°C sıcaklık ve yaklaşık 100 saat bir süre beklenerek bu işlem sonlandırılır. Soğuma işleminde ise vakum ortamında kendi kendine soğumaya bırakılır. Çelik içerisinde Al, Mo, Cr, V, W gibi kararlı nitrid yapıcılar kullanılması sayesinde yüzeyin sertleşmesi sağlanır (Ezirmik 2000).

3. Kromlama: Bu işlem şeklinde ise kullanılan malzeme tipi olarak yüksek karbonlu çelikler seçilir. Bu çeliklerin ise Kromca zengin ortamlarda (katı sıvı ve gaz) kromun yüzeylerine difüze edilmesiyle sertleştirme gerçekleştirilir. Çalışılma sıcaklığı 950-1300°C'de ve yaklaşık 12-15 saatlik bir zaman içerisinde yöntem uygulanır. Bu sayede çeliklerin sertlik değerleri 1200-1300HV kadar çıkar, ayrıca yüzey aşınma dayanımı ise artar.

4. Borlama: Hemen hemen tüm çelik malzemelerine uygulanan bir yöntem olması avantaj olarak görünse de korozyon dayanımı açısından düşük seviyelerde olması üretimde sıkıntılara yol açmaktadır. Yapıda FeB ve Fe₂B fazlarının oluşmasından dolayı

yüzeyindeki sertlik ve aşınma dayanımı çok yüksektir. Uygulama bitiğinde malzeme üzerinde herhangi bir işlem yapılamaması da yüzeyin ne kadar sert olduğunun bir kanıtıdır (Şakar 1998). Borlama uygulaması genellikle 800-1000°C sıcaklıkta ve 1-8 saat süreyle gerçekleştirilir. Çelik malzemelerin sertlik değerleri ise yaklaşık 2000HV dolaylarında seyrederek (Ünlü 2006).

5. Alüminyumlama: Düşük ve orta karbonlu çeliklere uygulanan bu yöntemde çalışma sıcaklığı 750-1000°C olup, malzeme yüzeyine sıvı veya katı ortamlarda alüminyum difüzyonu yapılması ile sertlik değerinin 300-500HV arasında bir değere ulaşması sağlanır.

6. Silikonlama: Bu uygulama daha çok korozyon dayanımını arttırmak amacı ile yumuşak dövülebilir dökme demir ve çeliğin yüzeyine silisyum difüze edilmesi ile gerçekleştirilir. Bu uygulama da çok yüksek sıcaklıklarda meydana geldiği için distorsiyon oluşumu gözlenir. 950-1200°C sıcaklıkta ve katı veya gaz ortamlarında uygulanan bu yöntem sayesinde 200-300HV dolayında bir sertliğe ulaşır. Yüzey gözenekli ve gevrek bir yapıda olup, kalınlığı ortamın özelliğine göre 0.2-1.25mm arasında değişim sergileyebilir (Ezirmik 2000).

2.1.3. Kaplama teknikleri

Endüstri alanında kullanılan malzemelerin işlevsellik açısından tek kullanımlık olması istenmez. Kullanılacak malzemeler üretim açısından dayanıklı ve sağlam olması o malzemenin sürekli kullanılabilmesi ve her şartta üreticinin lehine bir durum sergileyeceği aşikârdır. Bu yüzden dayanım ve sürekli kullanılması düşünülen bu malzemelerin yüzeylerinin korunması amaçlanarak bazı kaplama teknikleri geliştirilmiştir. Kaplanan yüzeyler sayesinde malzeme kaybı ortadan kaldırılarak maliyet açısından önemli derecede tasarruf sağlandığı da görülmektedir. Günümüzde çok çeşitli kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- **Atomize sıvı sprej kaplamalar:** Sıvı sprej kaplama prosesi çok ekonomik ve geniş uygulama alanına sahip bir prosesdir. Sprej olarak basınçlı, sıcak hava, havasız ve elektrostatik sprejler kullanılır. Tüm sprej tekniklerinde küçük boyutlu sıvı damlacıkları halindeki kaplama malzemesi, sprej kullanılarak kaplanacak malzeme üzerine gönderilir (Ezirmik 2000). Bu işlemden kaplama yüzeyinin bağlanma mukavemeti artırılmak amacıyla ile yüzey pürüzlendirilmelidir. Bu kaplamaların yapısı ise yüzeye paralel şekilde oluşur. Bu şekil yüzey pürüzlendirildiği takdirde yerini dalgalı bir şekle bırakabilir (Yeşildal 2007).

- **Daldırma Kaplama:** Bu kaplama prosesi çok büyük parçalarda kullanılması açısından üreticiye büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Malzemenin tüm yüzeyinin eksiksiz kaplanması sayesinde yüzeyde kaplanmamış hiçbir bölgenin kalmaması yönü ile de çok kullanılan bir uygulama alanıdır. Metaller için hazırlanmış eriyik bir banyo içerisine daldırmak suretiyle gerçekleştirilen bu uygulama, yağlayıcı kaplamalar için farklılık gösteren bir banyo hazırlanması ile uygulanır.

- **Kaynak Kaplama:** Bu uygulamada ergitme kaynağı olarak (gaz akışı, plazma, elektrik arkı vb.) gibi uygulamalar kullanılarak kaplanacak malzeme yüzeyinin ergitilerek doldurulması ile meydana gelen bir kaplama yöntemi olarak değerlendirilebilir. Doldurma işlemi için tel, toz veya çubuk gibi malzemeler kullanılır. Ergime işlemi sırasında kaplanan bölge, ergiyen bölge ile füzyon bölgesinde karışır. Genellikle el ile gerçekleştirilen kaplamaların kalınlıkları 1.5mm'nin altına inmez (Ezirmik 2000).

- **Sol-Jel Kaplama:** Uygulama alanı bakımından çok yönlü bir yöntem oluşu sayesinde avantajlı bir durum sergileyen bu işlemden sol-jel sıvı fazın (sol) katı faza (jel) dönüşmesi esasına dayanan bir uygulama olarak göze çarpmaktadır. Sol'un hazırlanması amacıyla ile gerçekleştirilecek başlangıç işlemi olarak inorganik metal tuzları veya organik metal bileşikleri kullanılır. Daha sonra *polimerizasyon* ve *hidroliz* işlemleri gerçekleştirilerek sol üretilmiş olur. Altlık malzemesine bu süspansiyonun çöktürülmesi ve ardından kurutma işlemine tabi tutulmasıyla yüzeyin kaplandığı

görülür. Çok yüksek sıcaklıklara çıkılmadığı için altlık olarak kullanılan metal malzemesinin mekanik bozunmadığı ve faz dönüşümlerinin olmadığı tespit edilmiştir. Bu işlem vakum dışında kullanılan kimyasal bir uygulama olup atomik boyutta bir karışım sağladığı için homojen bir dağılım sergilemektedir (Azem 2009).

- **Elektrokimyasal kaplamalar:** Bu yöntemde elektrolit bir sıvı içerisinde yerleştirilen taban malzemesi ile kaplamayı gerçekleştirecek olan malzeme üzerinden geçen akım sayesinde meydana gelen bir kaplama işlemidir. Dışarıdan uygulanan gerilim sayesinde katot(-) kutbunda bulunan kaplanacak malzeme yüzeyine, anot(+) kutbunda bulunan kaplama malzemesi çözünerek yapışır. Bu sayede yüzey istenilen düzeyde kaplanmış olur. Elektrolit olarak kaplama işlemine uygun düzeyde tuzlu çözeltiler hazırlanarak kaplama işlemi gerçekleştirilir. Kaplama kalınlığı akım yoğunluğu ve kaplama süresine bağlı olarak değişir.

- **Giydirme (duble etme) Kaplama:** *Kompozit* bir yüzey oluşturulmak amacı ile kullanılan bu yöntemde ince sac ve metalik levhaların, malzeme yüzeyine metalurjik açıdan bağlanarak yapıldığı kaplama işlemidir. Bu işlem prosesinde kaplanacak malzeme ana malzeme yüzeyine sıcak haddeleme olacak bir şekilde giydirilir (Ezirmik 2000).

- **Kimyasal Kaplama:** Bu yöntemin elektrokimyasal kaplama yönünden tek farkı kaplama amacı ile elektrik akımının kullanılmamasıdır. 2 şekilde gerçekleştirilen bu yöntemde indirgenme reaksiyonları ile hazırlanan bir sıvı solüsyon içerisinde meydana gelen iyon transferlerinin oluşması sayesinde kaplama işleminin gerçekleştirilmesi mantığına dayanır.



Kimyasal indirgeme ile meydana gelen kaplamada, kaplanacak malzeme solüsyonla reaksiyona girer ve iyonların yer değiştirmesi ile işlem malzeme yüzeyinde çok ince bir film kaplaması oluşuncaya kadar devam eder. Elektrotsuz kaplamada ise iyonlar kendi

arasında bir yer değişim olayında bulunmadan çözeltili içerisinde bulunan iyonların malzeme yüzeyine birikmesi sonucu yüzeyde oluşan kaplama işlemidir (Ezirmik 2000).

• **Dönüşüm kaplamaları:** Kaplama işleminde, metal yüzeyler üzerinde gerçekleştirilen çözeltili reaksiyonları ile yüzeylerin *kromat*, *fosfat*, *oksit* gibi bileşiklere dönüştürülmesi işlemine dayanır. Fosfatlama mekanizmasında hemen hemen tüm çelik yüzeylerine fosforik ve diğer kimyasal hızlandırıcılar eklenerek gerçekleştirilen kaplama işlemidir. Kaplanan yüzeyin aşınma direncinin arttığı gözlenir. *Kromatlama* işleminde gerçekleştirilen işlem basamakları ise metal yüzeyine *kromik* asit, fosforik asit veya diğer mineral asitlerin sprey yöntemiyle püskürtülmesi ve daha sonra yüzeyin bu asit karşısında çözülme aşamasının beklenmesi olarak açıklanabilir. Bu çözülmenin sonunda yüzeyde ince bir film şeklinde kaplanmış yüzeylerin oluştuğu gözlenir. Oksit oluşumunda ise mekanizma ya kendiliğinden meydana gelir ya da metalin diğer metallerle etkileşimi sonucu oluşabilir. Çelikler havada ısıtılıp, yağda soğutulduklarında yüzeylerinde kararma ve oksit oluştuğu gözlenmiştir. Bu işleme örnek olarak en çok '*eloksal*' denilen alüminyumun oksitlenmesi olayı olarak gösterilebilir.

• **Buhar fazı Kaplamaları:** Metallerin kaplama malzemesi olarak kullanıldığı sistemlerde, kullanılan kaynaklar sayesinde buhar fazına getirilerek, kaplanacak bir yüzey üzerine biriktirilmesi işlemine dayanan yöntemler topluluğu olarak bilinmektedir. Bu tarzda kullanılan başlıca yöntemler ise; fiziksel buhar kaplama işlemi(PVD), kimyasal buhar işlemi(CVD)'dir

2.1.4. Sıcak daldırma kaplama yöntemi

Çalışmalarda ya da uygulamalarda tasarım açısından seçilen malzemenin, sürecin sonuna kadar özelliklerinde herhangi bir değişiminin olmaması, üretici açısından çok önemli bir durum arz eder. Bu duruma bakarak özellikle metal malzemelerden olan çeliğin çalışma esnasında mekanik ve kimyasal özelliği açısından herhangi bir değişiminin olmaması istenir. Malzeme yüzeylerinin iyileştirilmesi, korozyon ve aşınma dayanımının artırılması yanında dekoratif açıdan da iyi görünmesi istenir. Bu amaçla

üretimde kullanılacak metal malzemelerin ömrünü ve kalite standardını arttırmak, üretildiği ve kullanılacağı ortamın olumsuz etkilerinden korumak ve bazı mekanik özellikleri bakımından iyileştirmeye gidilmesi amacıyla yüzeylerine kaplama işlemleri gerçekleştirilmektir (Pasinli 2004).

Demir ve çeliklerin özellikle korozyondan korunması amacı ile yüzeyleri plastik, boya, nikel, krom, bakır, çinko ve alüminyum gibi madde veya alaşım malzemeleri ile kaplanır. Ancak yüzeye uygulanan özellikle boya veya plastik malzemelerin, mekanik etkilere maruz kalan kısımlarında korozyon oluşumu gözlenebilir. Bu olay neticesinde boya ve plastik kaplama malzeme yüzeyinden kalkar ve metalin tamamen paslanmasına neden olur. Bu tip uygulamalar yüzey koruması açısından çokta koruyucu olmamaktadır. Bu nedenlerin tamamı açısından en uygun ve kaliteli bir kaplama imkânı tanıyan ve koruyuculuk bakımından, ömürleri uzun olması istenen malzemelere daldırma kaplama yöntemi uygulanabilir (Pasinli 2004).

Özellikle demir ve çelik malzeme yüzeyleri yaygın olarak bu teknikle kaplanmaktadır. Ayrıca makine elamanı olarak kullanılan vida ve civata yüzeylerinde daldırma kaplama yöntemi uygulanır (Pasinli 2004).

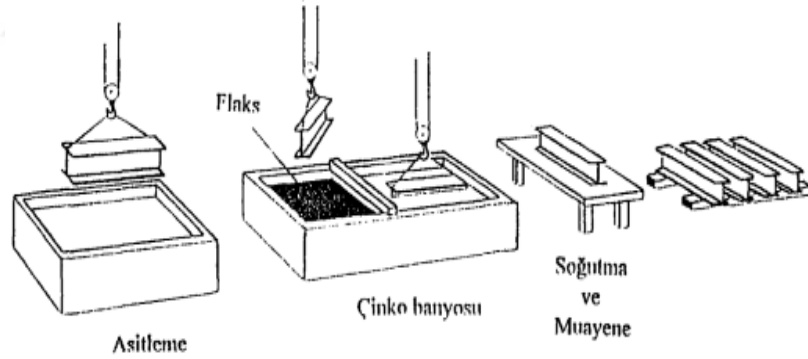
Sıcak daldırma çinko kaplama ile kaplanan malzemelerin endüstri alanlarında düşük yoğunluktaki sülfür dioksit ve diğer endüstriyel kirleticiler arasında oluşabilecek korozyona karşı dayanımlarını korurlar. Bu yöntem ayrıca gemi imalatı yapılan denizcilik sektöründe de olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Özellikle sıcak daldırma yöntemine bakıldığında daha çok çinko ile yapılan *galvanizleme* prosesi öne çıkmaktadır. Galvanizleme işlemi, çelik malzemelerin yüzeyinin 450°C deki eriyik çinko banyosuna daldırılarak gerçekleştirilmesi işlemidir. Bu işlem sonrasında malzemenin ömrü, çinko kaplama kalınlığı ve bulunduğu ortama göre değişmektedir. Bu işlem sonrasında ölçülen çinko kaplama kalınlığının 50µm olarak tespit edildiği belirtilmiştir. Yüzeyi çinko ile kaplanmış çelik malzemelerin, iletkenliği yüksek olan deniz suyunda rahatlıkla kullanılmaktadır. Ancak iletkenlik

açısından normal sularda çinko kaplamanın katodik özellikte koruma sağlamasından dolayı, küçük mesafelerin korozyona uğramaması için yüzeyin boşluksuz bir halde kaplanması gerekir. Kaplamanın alt tabakasında %20-27 Fe içeren çinko ve demir alaşımının varlığından bahsedilir (Tuna 2013).

Korozyona dayanıklılığı açısından saf haldeki çinkonun eşdeğerine yakın olmasına rağmen aşırı gevrek özelliği, kalınlığı ince olan küçük parçalarda şekil değişimi sırasında parçalanmalara neden olur. Bu problemin minimum düzeye indirilmesi açısından daldırma süresinin kısa tutulup, banyo içerisine Al eklenmesi gerekir (Tuna 2013).

Sıcak daldırma ile galvanizleme prosesi, 2 şekilde malzeme yüzeyine uygulanmaktadır. Bu aşamalar aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 2.1. Yaş galvanizleme yönteminin işlem basamakları (Elkoca 1998)

Kuru galvanizleme işleminde ise, asitlemeden sonra durulama aşaması, flukslama aşaması, kurulama aşaması ve tekrar çinko banyosu aşaması ile işlem sona erdirilmektedir (Elkoca 1998).

Sıcak daldırma ile alüminyum kaplama prosesi, kaplama teknikleri açısından çok avantaj sergileyen ve endüstride bir çok isim adı altında gerçekleştirilerek, üreticiler için

vazgeçilmez konumda bulunmasından dolayı en çok uygulanan proses olarak göze çarpmaktadır.

Üretici açısından kolaylık sağlayan bu prosesin genel amacı, kaplanan malzeme yüzeyindeki aşınma dayanımını arttırması yanında, yüzeyin korozyona uğramasını engellemektedir. Farklı uygulama alanlarında kullanılması yönüyle de üreticiye çok sayıda avantajlar sunmaktadır.

2.2. Alüminyum Kaplama Prosesleri

Farklı yöntemler uygulanarak, metal yüzeyine alüminyum kaplama işlemleri gerçekleştirilebilir. Bu işlemler bazen yüzeyin yüksek sıcaklık oksidasyon direncini arttırmak amacıyla da yapılmaktadır. Aşağıda farklı türde alüminyum kaplama prosesleri sıralanmıştır (Awan 2001).

- 1) Kutu alüminyum kaplama
- 2) Sprey yöntemi ile alüminyum kaplama
- 3) Vakum ile alüminyum kaplama
- 4) Gaz ortamında alüminyum kaplama
- 5) Giydirme (cladding)
- 6) Elektrolitik alüminyum kaplama
- 7) Sıcak daldırma ile alüminyum kaplama

Genellikle daldırma Al kaplama işleminde, çelik yüzeye temizlenme işlemi yapıldıktan sonra belirli bir süre içerisinde sıcaklığı 700-800°C ergimiş alüminyum banyosuna daldırma suretiyle gerçekleştirilir. Süreç genellikle 'galvenizleme ya da çinko kaplamaya' benzer bir özellik taşıyan, termokimyasal yöntem olarak gerçekleştirilir (Awan 2001).

Alüminyum kaplama işlemi sırasında, alüminyumun alt tabakaya tutunduğu andan itibaren meydana gelen bileşiğin içerisindeki yapıda Fe-Al elementleri dışında farklı elementlerinde varlığı söz konusudur. Bu özelliğinden dolayı alüminyumun yüzeye tutunma kabiliyetini etkilemektedir. Özellikle bu işlemin 1.Dünya savaşı sırasında Rusya, ABD ve Japonya' da uygulanıp geliştirildiği bilinmektedir (Awan 2001).

Aşağıda farklı türde alüminyum kaplama prosesleri kısaca açıklanmıştır.

1. Kutu Alüminyum Kaplama Yöntemi: Yöntemin uygulamasına bakıldığında, malzeme yüzeyinin üzerinde bulunan toz alüminyum parçacıklarının yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak, malzeme yüzeyine yapıştırılması işlemine dayanır. İşlemden önce ön hazırlık aşaması olarak yüzeyin kirlerden arınması amacı ile temizlik işlemi gerçekleştirilir (Awan 2001).

İşlem için kullanılan sıcaklık yaklaşık 900-1080°C derecedir. Genellikle daha karmaşık parçaların kaplanması amacı ile kullanılan bir yöntemdir. Ayrıca yüksek sıcaklıktaki oksidasyon direncinin artırılması amacı ile endüstride nikel bazlı alaşımlara ve gaz tribünlerine uygulanan bir proses olarak bilinmektedir.

2. Spray (püskürtme) Alüminyum Kaplama Yöntemi: Bu yöntem, daha önceden yüzeyi hazırlanmış malzeme yüzeyine ergitilmiş alüminyum metalinin püskürtülmesi ile gerçekleşir. Püskürtme 25-60 psi hava basıncında yapılır. Kaplama tabakasının alt yüzeyi iyi yapışmasına rağmen, tutunma bağının zayıf olduğu görülür. 850-1250°C derece de tavlama işlemi gerçekleştirilmesi durumunda tutunma bağının kuvveti artırılabilir (Awan 2001).

3. Vakum ile Alüminyum Kaplama Yöntemi: Bu işlemde alüminyum buharlaştırılır. Daha sonra buharlaşan alüminyum partikülleri malzeme yüzeyine yoğunlaştırılarak, biriktirilir. Böylelikle kaplama işlemi gerçekleştirilmiş olur. Kaplama kalınlığının yaklaşık 0.1µm'dir. Bu işlem bir vakum odasında gerçekleştirilir. Alüminyumun erimesi ve yüzeye kaplanması için sıcaklığın 1400°C dereceye yükseltilmesi gerekir. Yüzeyde

alüminyumun daha iyi tutunması ve yapışması için, kaplama işleminden önce malzeme yüzeyinin 175-370°C sıcaklıkta ısıtılması gerekir (Awan 2001).

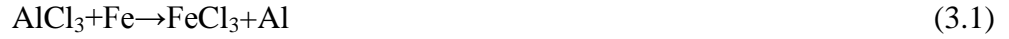
4-) Gaz ile Alüminyum Kaplama Yöntemi: Bu yöntemde kaplama alt yüzeyine alüminyum klorürünün, gaz fazında emdirilerek kaplanması sağlanır. Kaplamanın yapışması açısından bir karışım hazırlanır (Awan 2001). Bu karışım altta belirtilen yüzdelerde kullanılarak gerçekleştirilir.

% 45 saf alüminyum

% 45 Al₂O₃

% 10 AlCl₃

Daha sonra hazırlanan bu karışım, 600°C dereceye kadar ısıtılır. Bu karışımın reaksiyona girip yüzeye emdirilmesi açısından sıcaklık 900-1000°C derecede kullanılması gerekir. Bu karışımın reaksiyonu aşağıdaki gibi açıklanabilir.



İşlemin çok karmaşık olması ve enerji tüketimi açısından, endüstride çok nadir kullanımına neden olmuştur.

5. Giydirme (Cladding) Yöntemi: Soğuk haddeleme yapılarak çelik yüzeyine alüminyumun kaplatılması işlemidir. Haddeleme işlemi sırasında çelik yüzeyine, alüminyumun metalik bağ oluşturulması sağlanır. Bu yöntemle şerit ve yaprak şekilde kaplanmış plakalar elde edilir (Awan 2001).

6. Elektrolitik Alüminyum Kaplama: Bu işlem bir çözelti içerisinde gerçekleştirilir. Çözelti olarak etil bromür ve benzen içerisinde alüminyum klorür ya da erimiş alüminyum tuzlarından oluşturulan bir elektrolit hazırlanır. Malzeme HCl çözeltisi içerisinde temizlenerek, yağ ve kirlere uzaklaştırılır. Bu işlemlerden sonra metalin

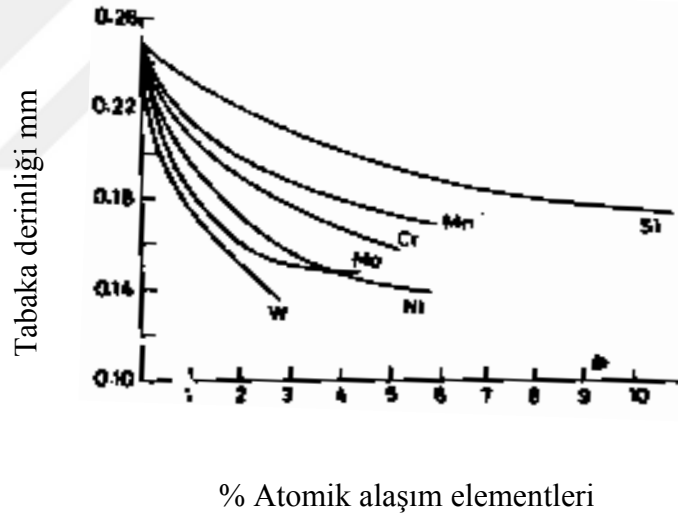
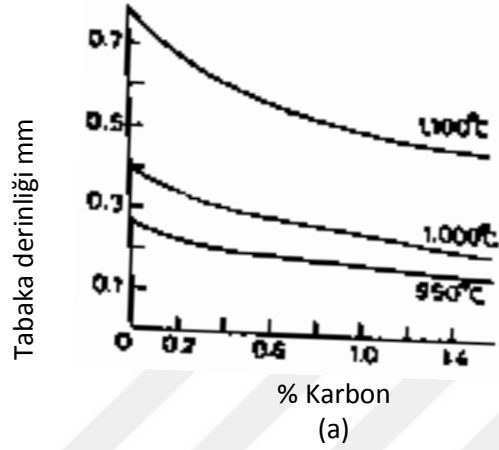
yüzeğe çöktürülmesi sağlanarak kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir olur. Kaplama süresi yaklaşık 30 dak sürmektedir. Çöktürme işlemleri yavaş olmasından dolayı kaplama kalınlığının 0.01mm oluştuğu gözlenir (Awan 2001).

7. Sıcak Daldırma ile Alüminyum Kaplama Yöntemi: Genellikle bu uygulama galvanizleme ya da çinko kaplama işlemine çok benzemektedir. 700-800°C derecedeki eriyik halde bulunan alüminyum banyosuna malzemenin daldırılması ile gerçekleştirilir (Awan 2001). Genellikle bu proses için eriyik banyo içerisine, kaplama özelliklerini geliştirmek amacıyla farklı metallerin eklendiği bilinmektedir. Bu proses aşağıda geniş bir şekilde özetlenmiştir.

2.2.1. Sıcak daldırma yöntemiyle alüminyum kaplama prosesi

Sıvı haldeki alüminyum kaplama prosesi 700-800°C sıcaklıkta bulunan ve %6-8 oranında demir ile doygun hale getirilmiş eriyik alüminyum banyosu içerisine, çelik parçaların daldırılması ile gerçekleştirilebilir. Demir kaplama sırasında alüminyumun çelik malzemelerde sıcak korozyon oluşturmamasına engel olmak amacıyla banyo içerisine konulur. Bu işlemlerle 1-1,5 saat süre içerisinde çelik malzeme yüzeyine biriken alüminyumun 0,2-0,35 mm arasında bir tabaka oluşturduğunu göstermektedir (Bhushan and Gupta 1991).

Bu alüminyum kaplama yüzeyinin bileşenlerinde, alüminyum ve demirin birlikte bir katı eriyik oluşturduğu gözlenir. Karbon ve diğer alaşım elementlerinin, çelik içerisindeki miktarlarının artması ile alüminyum difüzyonunu engellediği görülür. Bu durum Şekil 2.2’de belirtilmiştir.



Şekil 2.2. a) Farklı sıcaklıklarda karbon oranının tabaka derinliğine etkisi b) Alüminyum kaplama sırasında alaşım elementlerinin tabaka derinliğine etkisi (Bhushan and Gupta 1991)

Kaplama işlemindeki bileşenlerin yüksek sıcaklıklara maruz kalması durumunda, tercihen bu proses kullanılır. Alüminyum kaplama tabakası, kükürt içeren atmosferlerde, ısı ve korozyona karşı mükemmel direnç sergilerler (Bhushan and Gupta 1991).

Eriyik bileşiminin içerisindeki %25 oranındaki alüminyumun varlığı, ısı ve korozyona karşı yeterli direnç sağlar. Eriyik bileşimi içeriğindeki alüminyum oranının az olması halinde, kaplama tabakasında tok ve sünek bir yapının varlığı gözlenir (Bhushan and Gupta 1991).

Alüminyum kaplama uygulamalarının; gaz tribünlerinde, baca borularında, kazan borularında, yüksek sıcaklıktaki bağlantı elemanlarında, kimyasal reaktör tüplerinde, uçakların gaz tribün kanatlarında, pirometre koruma tüplerinde ve yakıcı borularda kullanılmaktadır (Bhushan and Gupta 1991).

2.2.2. Sıcak daldırma işleminde kullanılan parametreler

Bu işlem gerçekleştirilirken kaplama yapısı ve kalınlığını, etkileyen birçok parametrelerin olduğu görülmektedir. Banyo sıcaklığı, eriyik banyo içerisine katılan alaşımlar, daldırma süresi, daldırma sonrası soğutma gibi birçok parametrenin etkisinden bahsedilir (Altun 1998).

a. Banyo Sıcaklığı: Banyo sıcaklığının, kaplama yapılacak çeliğin yapısını ve kaplama kalınlığını etkilemeyecek şekilde olması gerekir. Örnek olarak galvanizleme işleminde kullanılan çinkonun ergime sıcaklığının 415°C olduğu bilinmektedir. Ancak bu işlemin 445-465°C derece sıcaklıkta uygulandığı için banyo içerisindeki sıvı eriğin akıcılığını, malzeme sıcaklığını ve malzemenin banyodan çıktıktan sonraki katılaşacak olan kaplama tabaksının süresini oldukça uzatır. Bazen de banyo içerisinde oksit oluşumunu hızlandırarak daldırma süresini azaltır (Altun 1998).

b. Daldırma Süresi: Özellikle galvaniz kaplama ve diğer sıcak daldırma kaplama işlemlerinde, daldırma gerçekleştirilirken özellikle metal ve fluks parçacıklarının sıçramalarını engellemek için malzemenin eriyik banyo içerisine hızlı bir şekilde daldırılması gerekir. Bu özellikle malzeme yüzeyindeki fluks tabakasının oksit oluşum hızını artırır. Daldırma süresinin değişme durumu, malzeme boyutuna göre değişir. Özellikle bu süre küçük parçalarda 1 dak iken büyük parçalarda 5 dak'ya kadar çıkabilir.

Bazı çelik parçalarda silisyumun değeri açısından süresinin kontrol altında tutulması gerekmektedir. Çünkü bu durum sürenin aşılması halinde malzemede aşırı gevrek bir yapının oluşumuna neden olur. Gevreklik oluşumundan dolayı tabakanın mekanik özelliğinde değişme olur. Bu etkenlerden dolayı her parçanın deneme-yanılma yoluyla kaplanarak minimum ve maksimum değerinde bir süre belirlenmesi gerekir (Altun 1998).

c. Banyodan Çıkarma ve Süzdürme: Malzeme kalınlığında düzgün ve her bölgede homojen bir kaplama kalınlığı elde etmek için numunenin banyo içerisinde kontrollü ve yavaş bir şekilde çıkartılması gerekir. Numune üzerinde gerçekleşen kaplama tabakasının kalınlığının çıkarma hızına bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Bu hızın optimum olarak genelde tüm parçalarda 0.025 m/s sürede uygulanması gerekir (Altun 1998).

d. Banyodan Sonra Soğutma İşlemi: Genellikle soğutma işlemi olarak su kullanılmaktadır, ancak havada ya da fırın içerisinde de parçanın kendi kendine soğutmaya bırakıldığı bilinmektedir.

2.2.3. Kaplama öncesi hazırlık aşaması

Galvanizleme prosesinde olduğu gibi, sıcak daldırma alüminyum kaplama işleminde de kaplama öncesi belirli bir işlem basamağı ve ön hazırlık aşaması gerçekleştirilmektedir (Awan 2001). Bu işlem basamakları şöyledir.

- Yüzey hazırlama
- Çelik taban ön ısıtma
- Alüminyum kaplama

Yüzey işlemi olarak malzeme yüzeyinde bulunan oksit tabakasının kimyasal ya da mekanik yöntemlerle temizlenerek ortamdan uzaklaştırılmaya çalışılır. Daha sonra kaplama aşaması öncesinde, malzeme yüzeyindeki oksit tabaka oluşumunu azaltan bir ortam hazırlanır. Daldırma işlemi sırasında alüminyum ve çelik malzeme arasında aşırı

alaşım oluşumunun azaltılması açısından, daldırma süresinin iyi ayarlanması gerekir. Bu yapının etkisini kontrol altına almak amaçlı olarak, yüzeye silisyum ilavesi gerçekleştirilir. Bu sayede tabakada oluşacak fazla miktardaki alaşım oluşumunun, tabakada meydana getirecek kırılma etkisi yok edilebilir (Awan 2001).

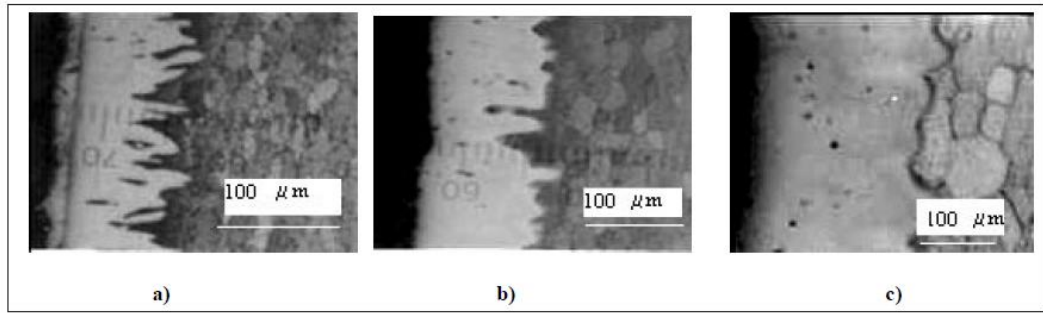
Malzeme yüzeyinin hazırlanması, genel manada mekanik yollar kullanılarak oksit tabakasının giderilmesi ve toz partiküllerinin ortamdan uzaklaştırılmasını hedef almaktadır. Böylelikle kirli yüzey temizlenerek alüminyum tabakasının yapışmasını daha da etkili hale getirir. Bu aşama kaplama işleminden önce yapılmasından dolayı çok önemlilik arz eder. Genellikle tel fırçalar yada motor ünitesine bağlanmış dairesel tel fırçalar sayesinde, yüzeyde istenmeyen pas, kir ve oksit tabakası giderilmeye çalışılır.

Bu proses hakkında farklı zamanlarda bir çok çalışmalar gerçekleştirilmiş ve farklı deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmaların başlıcaları şu şekilde özetlenebilir.

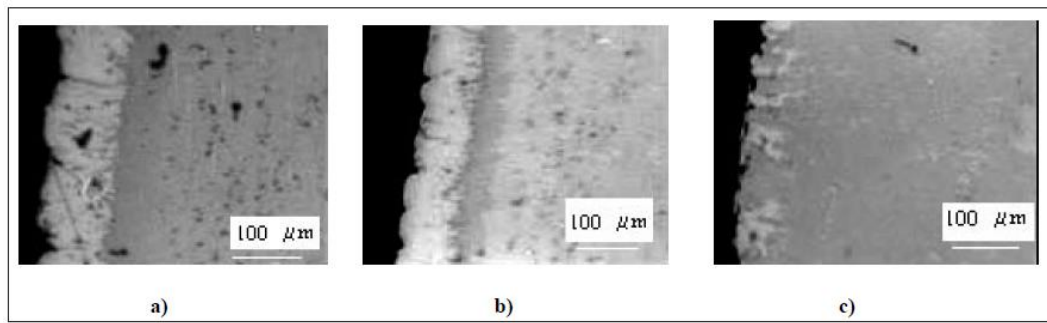
Konuyla ilgili olarak yapılan bir çalışmada az karbonlu çelik (Ç1020) ve paslanmaz çelik (AISI316) yüzeyine sıcak daldırma yöntemi kullanılarak alüminyum kaplaması gerçekleştirilmiştir. Bu kaplama süreci yaklaşık 750°C sıcaklıkta 2-10 dak süre ile çelik malzeme yüzeylerine uygulanmıştır. Kaplama işleminden sonra 800°C sıcaklıkta nötr ortamda kaplanan malzeme yüzeylerine 1-6 saat süre ile difüzyon tavlama gerçekleştirilmiştir. Tüm bu işlemler sonucunda uygulanan ısı işlem sonrası mikroyapı ve mikrosertlik ölçümleri yardımıyla alüminyum tabakası ve difüzyon tabakasının kalınlık değişimlerine bakılarak farklı sonuçlar elde edilmiştir (Pasinli 2004).

Çizelge 2.1. Malzeme yüzeyinde meydana gelen alüminyum ve difüzyon kaplama kalınlıkları(μm) (Pasinli 2004)

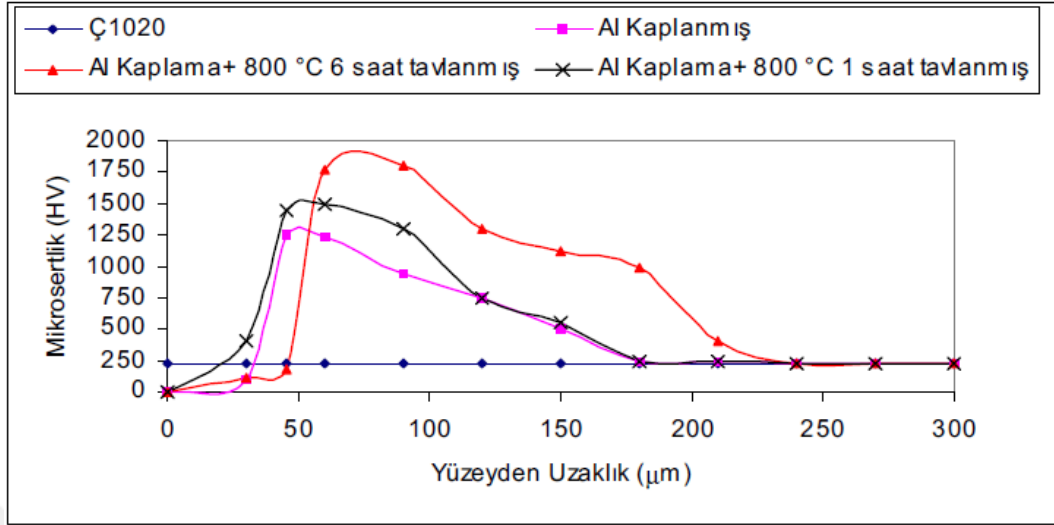
Malzeme+İşlem	Tabaka	Ç 1020	AISI 316
Al Kaplama (750 °C' de 10 dak)	Al	31,36	15,68
	Difüzyon	117,60	78,40
Al Kaplama+800 °C' de 1 saat difüzyon tavlama	Al	39,20	23,52
	Difüzyon	141,20	86,24
Al Kaplama+800 °C' de 6 saat difüzyon tavlama	Al	54,88	23,52
	Difüzyon	125,40	156,80



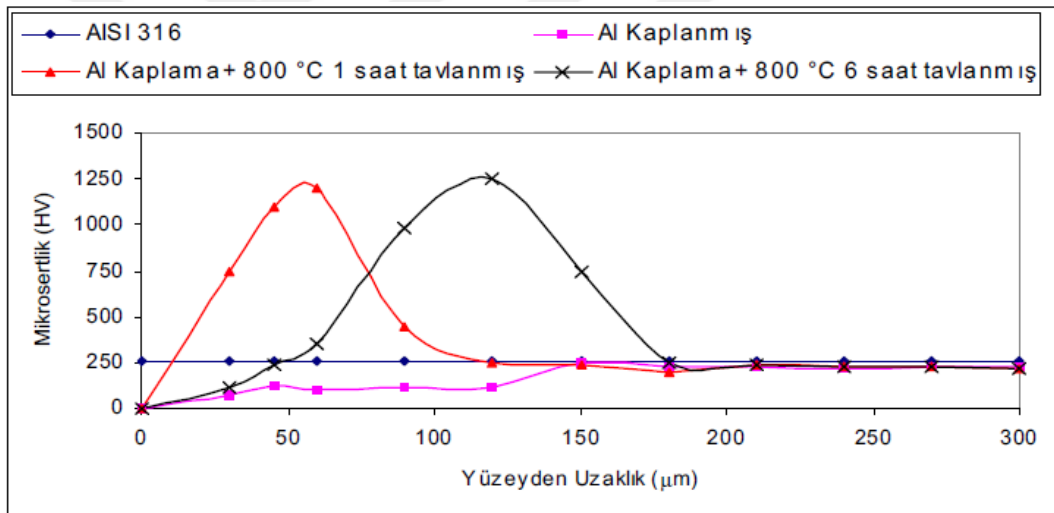
Şekil 2.3. (Ç1020) çeliğin alüminyum kaplandıktan sonraki a) iç yapı görüntüsü b) 800°C' de 1 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı görüntüsü c) 800°C' de 6 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı görüntüsü (Pasinli 2004)



Şekil 2.4. a) (AISI 316) paslanmaz çeliğin alüminyum kaplandıktan sonraki iç yapı görüntüsü, b) 800°C' de 1 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı c) 800°C' de 6 saat boyunca difüzyon tavlaması sonrası içyapı (Pasinli 2004)



a)



b)

Şekil 2.5. a) (Ç1020) b) (AISI 316) Malzemelerin yüzeylerinden merkezlerine doğru alınan mikrosertlik ölçümleri (Pasinli 2004)

Gerçekleştirilen bu deneyler sonucuna bakıldığında çeliklerin yüzeyinde meydana gelen difüzyon ve alüminyum tabaka kalınlıklarındaki ölçümün ısı işlem ve sürelerine bağlı olarak değiştiği, az karbonlu çeliğin özellikle paslanmaz çeliğe nazaran sertlik ve difüzyon tabakasının kalınlığındaki değerlerinin daha fazla bir değişim sergilediği belirtilmiştir (Pasinli 2004).

Alüminyum eriyik içerisinde bekletilen (Ç1020) çeliğin kaplama tabakasının (AISI 316) paslanmaz çeliğe göre daha görünür olduğu, ayrıca kaplama kalınlığının paslanmaz çeliğe göre daha iyi olmasından dolayı ölçülen sertlik değerlerinin yüksek çıktığı, bu sonucun ne kadar doğru olduğunu göstermektedir (Pasinli 2004).

Uygulanan ısı işlem yönünden malzemelere difüzyon tavlama gerçekleştirildiğinde, paslanmaz çelik yüzeyindeki alüminyum kaplama tabakası kalınlığının diğer çelik malzemesine göre arttığı görülmüştür. Ölçümü gerçekleştirilen sertlik değerlerindeki artışın ise yapı içerisindeki intermetalik fazların varlığından kaynaklandığı bilinmektedir (Pasinli 2004).

Literatürde gerçekleştirilen diğer bir çalışma ise farklı iki çelik numune yüzeyine sıcak daldırma yöntemi kullanılarak alüminyum kaplanmış, kaplanan bu numuneler yüksek sıcaklıkta ne derece oksidasyona uğradığı araştırılmıştır (Köksal 2009).

Genel manada kullanılan malzemeler yapı çeliği (Ç1020) ve paslanmaz çelik olan (AISI 316)'dir. Kullanılan bu malzemelere 750°C sıcaklıktaki eriyik alüminyum banyosuna daldırılmış ve 10 dak süre ile bekletilmiştir. Kaplama işlemi sonrası nötr ortamda 1-6 saat boyunca malzemelere 800°C'de difüzyon tavlama uygulanmıştır. Daha sonra kaplama yapılan ve yapılmayan malzemelere 900°C'de ve farklı sürelerde yüksek sıcaklık oksidasyonuna maruz bırakılarak, yüzeylerinde gerçekleşen ağırlık değişimleri incelenmiştir (Köksal 2009).

Çalışmada kullanılan çelik malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir.

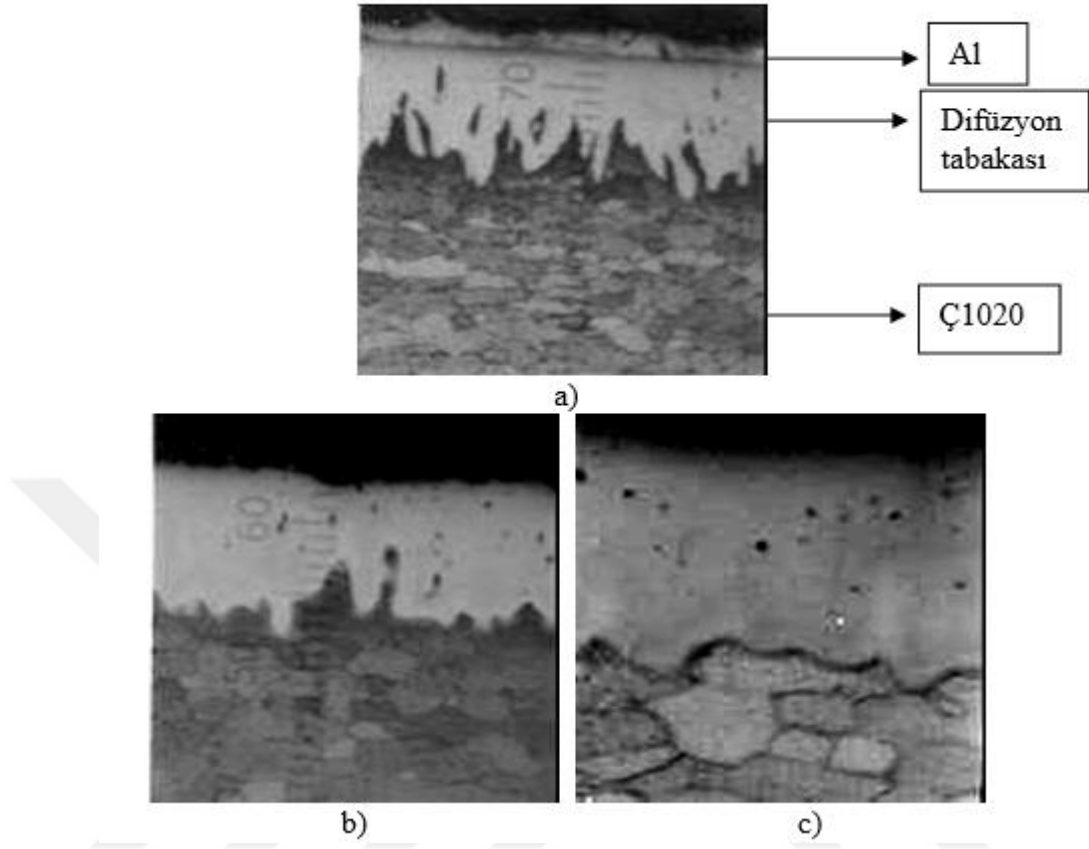
Çizelge 2.2. Çelik malzemelerin % ağırlıkça kimyasal bileşimleri (Köksal 2009)

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

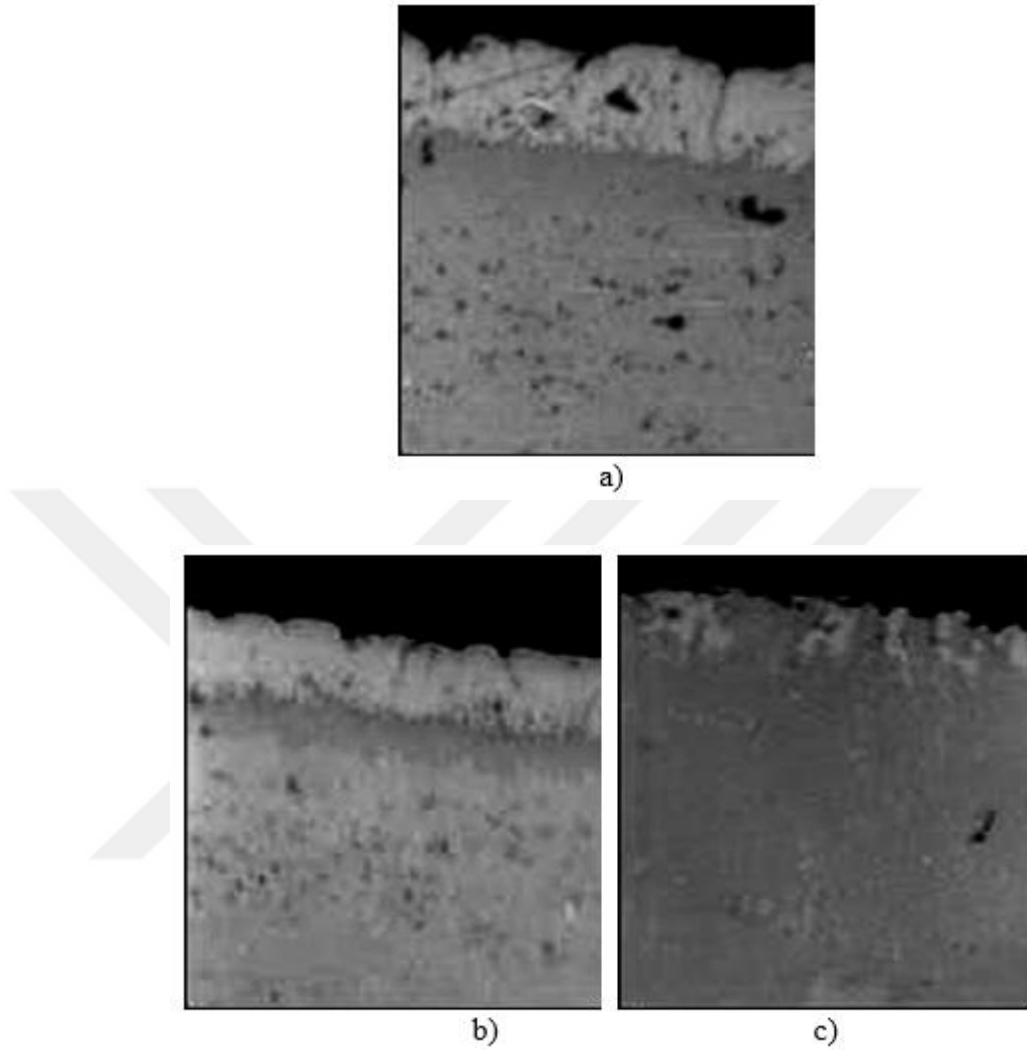
Deney sonrasında meydana gelen diğer sonuçlar ise aşağıdaki tablo ve içyapıdan alınan görüntüler ile yorumlanmaya çalışılmıştır.

Çizelge 2.3. Çeliklere uygulanan işlemlere göre alınan tabaka kalınlıkları (Köksal 2009)

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

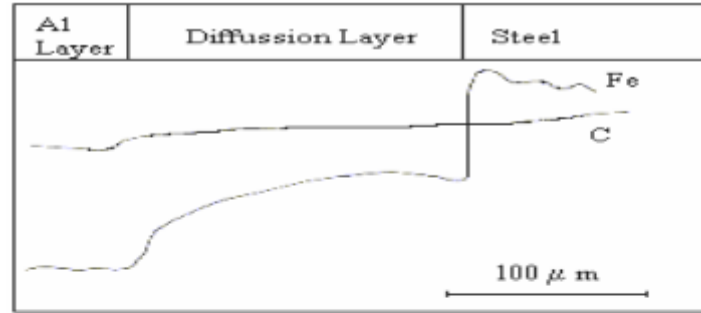


Şekil 2.6. a) Yapı çeliğinin(Ç1020) Al kaplanmış görüntüsü, b) Al kaplanmış ve 800°C’de 1 saat difüzyon tavlaması, c) Al kaplanmış ve 800°C’de 6 saat difüzyon tavlaması (Köksal 2009)

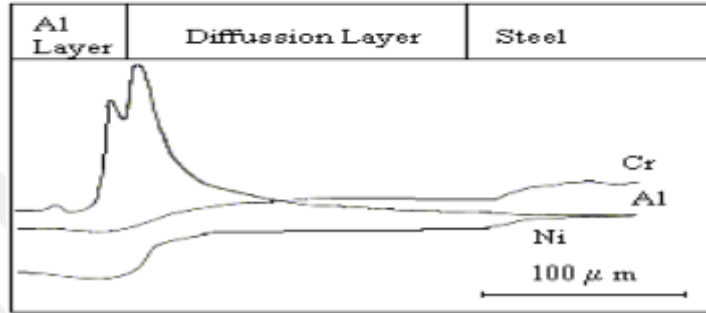


Şekil 2.7. Paslanmaz çeliğin(AISI 316) Al kaplanmış görüntüsü, b) Al kaplanmış ve 800°C’de 1 saat difüzyon tavlaması, c) Al kaplanmış ve 800°C’de 6 saat difüzyon tavlaması (Köksal 2009)

Şekil 2.8 ve 2.9’da ise tabakalar arası yoğunluğa bağlı olarak Fe, Cr, Ni, C ve Al elementlerinin yapılan mikroprob analiz dağılım ölçümleri gösterilmiştir.

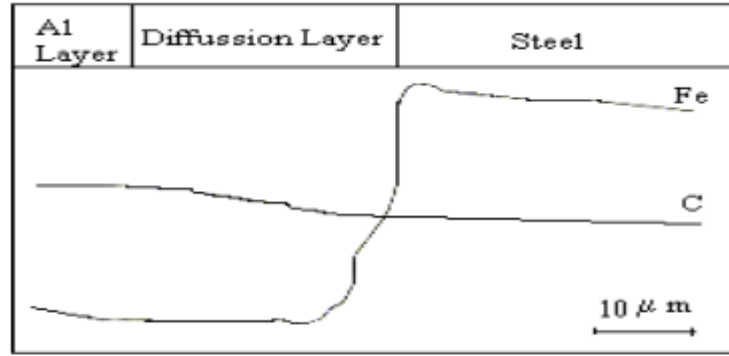


a)

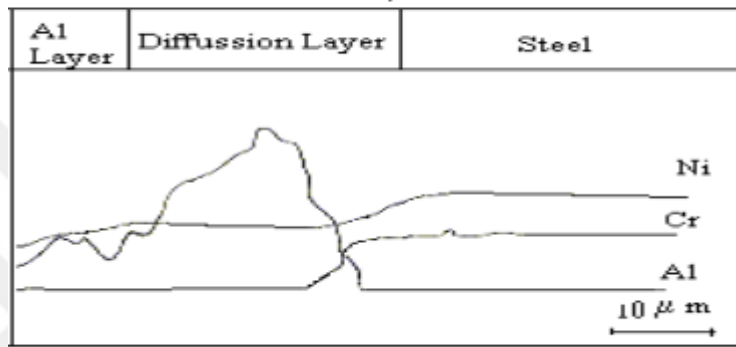


b)

Şekil 2.8. Al kaplanmış olan yapı çeliğindeki(Ç1020) element değişimleri, a) Fe ve C elementlerinin değişim grafiği, b) Cr, Al ve Ni elementlerinin değişimi (Köksal 2009)



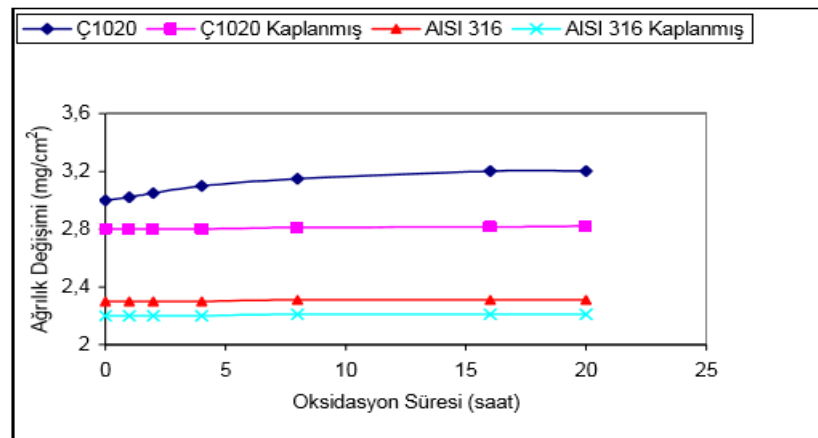
a)



b)

Şekil 2.9. Al kaplanmış olan paslanmaz çelikteki(AISI 316) element değişimleri, a) Fe ve C elementlerinin değişim grafiği, b) Cr, Al ve Ni elementlerinin değişimi (Köksal 2009)

Şekil 2.10'da ise oksidasyon süresine bağlı olarak değişen ağırlık ölçümleri kullanılan çelik malzemesine göre belirtilmiştir.



Şekil 2.10. Farklı sürelerde çeliklere uygulanan oksidasyona göre değişen ağırlık değerleri (Köksal 2009)

Sonuç olarak malzemelerin yüzeylerini iyileştirmek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada farklı kalınlıklarda alüminyum tabakası oluşmuş, oluşan bu difüzyon tabakası içerisine yayılmış intermetalik fazların varlığı itibari ile sertlik ve yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı direncin arttığı görülmüştür (Köksal 2009).

Özellikle (Ç1020) yapı çeliğinin yüksek oksidasyon direncinin daha yüksek olduğu ve alüminyum kaplamanın yüksek sıcaklık oksidasyonuna karşı malzemeyi çok iyi koruduğu gözlenmiştir (Köksal 2009).

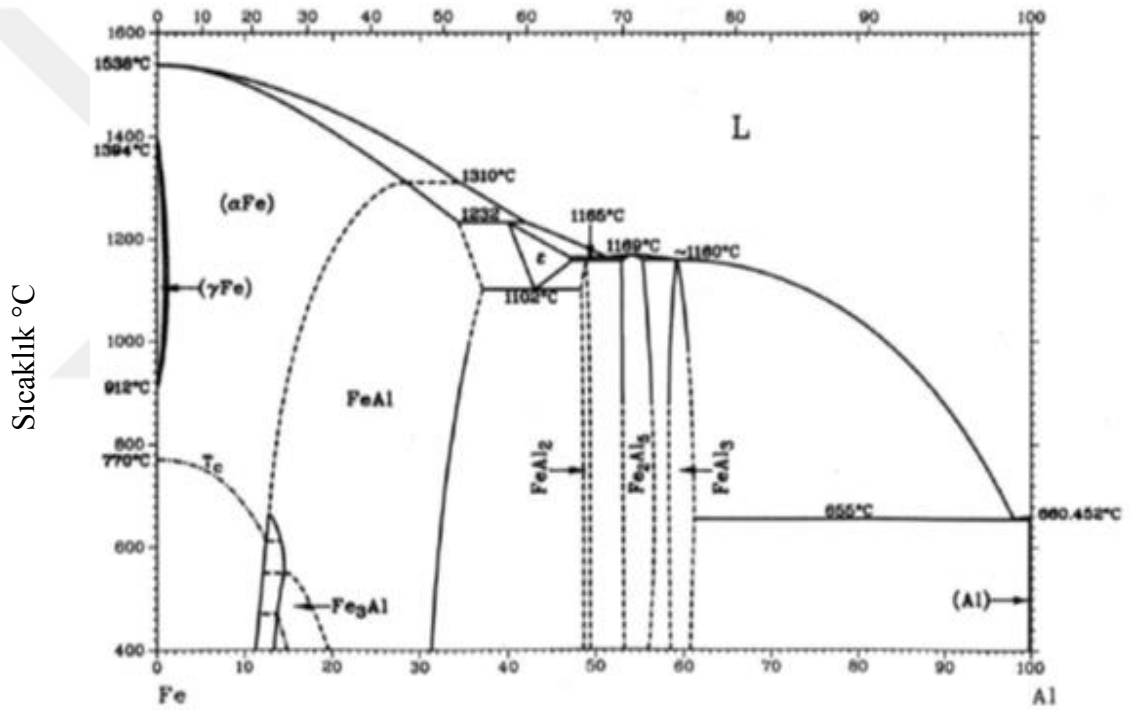
Bu konuda yapılan bir çalışmada düşük alaşımlı çelikler, saf ve %2 Si içeren alüminyum ergiyikler içerisine 780-792°C sıcaklık aralığında daldırılarak Al kaplama yapılmış, ergiyik yapıya eklenen Si ile sıcak daldırma işleminde oluşan intermetalik tabaka kalınlığının azaldığını tespit etmişlerdir (Eggeler and Auer, 1986).

Al kaplama amacıyla yapılan farklı bir çalışmada da paslanmaz çelikler üzerine kimyasal buhar biriktirme tekniği kullanılarak 525°C'de 10µm kalınlığında kaplama yapılmış, yapılan bu kaplamada da daldırma kaplamalara benzer olarak, farklı Al-Fe intermetaliklerinin oluştuğu tespit edilmiştir. (Pe'rez and Hierro, 1999).

Yayındırma işlemleri sonucunda çelik ve alüminyum arasında oluşan intermetalik bileşikler konusunda en kapsamlı çalışma Kobayashi *et al.* 4 tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada karbon çelikleri üzerine 873K-1323K sıcaklık aralığında sıcak daldırma yöntemiyle Al kaplamalar yapılmış, özellikle 873-923K sıcaklık aralığında Fe₂Al₅ yapısının oluştuğu gözlemlenmiştir. Nispeten yüksek kırılma ve oksidasyon direncine sahip olan FeAl ve Fe₃Al yapılarının ise 1273K'in üzerindeki sıcaklıklarda yapılan difüzyon işlemi sonucunda oluştuğunu tespit etmişlerdir. Daldırma kaplama sırasında oluşan Fe₂Al₅ yapısının özellikle 973 ila 1073K arasında hızlı bir şekilde oluştuğunu, 1073K den daha yüksek sıcaklıklarda ise doyuma ulaştığını tespit etmişlerdir. Ayrıca oluşan Fe₂Al₅ yapısının 1000-1200 Vickers sertliğe kadar ulaştığını da rapor etmişlerdir (Kobayashi and Yakou 2002).

2.2.4. Fe-Al (demir-alüminyum) faz diyagramı

Fe-Al faz diyagramı Şekil 2.11’de verilmiştir. Ağırlıkça %1-1.2 Al içeren yapıda γ Fe fazı oluşumu gözlenir. α -Fe yapısı ağırlıkça %28 Al içeriğinde 1310°C’ye kadar mevcudiyetini sürdürür. Ayrıca farklı Al kompozisyonlarına bağlı olarak oluşan intermetalik bileşikler (FeAl , Fe_3Al , FeAl_2 , Fe_2Al_5 , FeAl_3) grafikte görülmektedir. Bunlar dışında Fe_2Al_9 ve FeAl_6 metastabil fazlarının oluştuğu da bilinmektedir.



Ağırlıkça % alüminyum

Şekil 2.11. Demir-Alüminyum çift fazının diyagram halindeki gösterimi (Awan 2001)

Faz	Kompozisyon ağırlıkça %Al
α Fe	0~28
γ Fe	0-0.6
FeAl	12.8-37
Fe ₃ Al	13-20
ϵ	40-47
FeAl ₂	48-49.4
Fe ₂ Al ₅	53-57
FeAl ₃	58.5-61.3
(Al)	100
Metastabil fazlar	
Fe ₂ Al ₉	68.5
FeAl ₆	74.3

Çizelge 2.4. Ağırlıkça Al kompozisyonuna bağlı olarak oluşan faz yapı değerleri (Awan 2001)

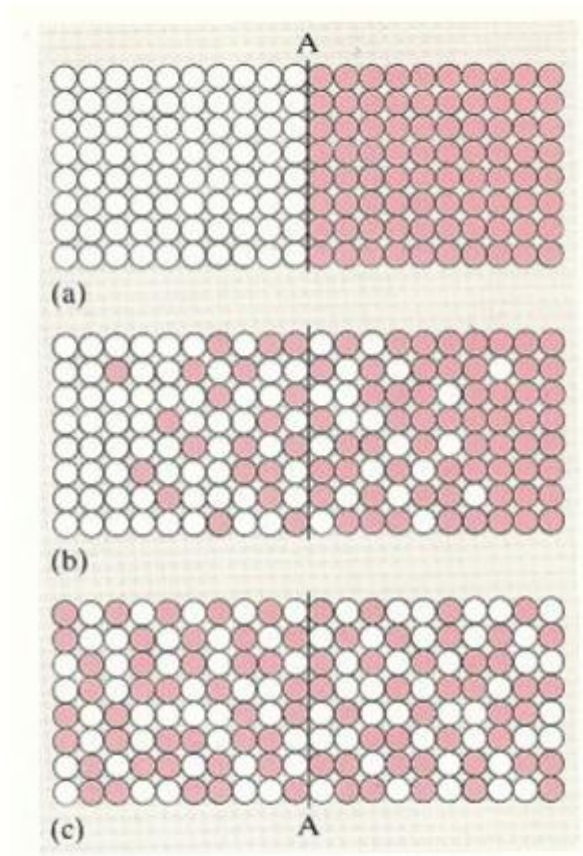
2.3. Difüzyon

Malzeme içyapısında bulunan atom ve iyonların yer değiştirmesine difüzyon adı verilmektedir (Koç 2008). Atomların sıcaklığı arttıkça ısıl titreşimlerinin artışı gözlenir. Bu titreşim sayesinde buldukları konumdan farklı bir konuma doğru yönelirler. Bu yönelime kısaca difüzyon adı verilmektedir (Onaran 1997).

Bu olay esnasında atom önce kendi içerisindeki bağ yapısından koparak kurtulur. Daha sonra kopan atomlar diğer atomlar arasındaki boşluklara doğru yönelerek kendilerine yer bulurlar. Buldukları konumda çevresindeki atomlarla tekrar bağ kurarak difüzyon işlemini gerçekleştirmiş olurlar. Bu yayılım enerjisinin sistemin getirdiği bir özelliğinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu özelliğinin ise deneysel boyutta ölçülebilir olduğu söylenebilir (Onaran 1997).

Yayınım gerçekleştiren atomların birim hacimdeki sayılarının zamanla görünür bir fark oluşturduğu bilinmektedir. Bu farkın oluşmasını sağlayan mekanizma olarak atomların yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru hareket ederek yayındıkları gösterilebilir (Onaran 1997).

Diğer bir atomsal yayılım mekanizması olarak interdifüzyon örnek verilebilir. Bu difüzyon işleminin süreci iki farklı metal malzemenin birleştirilerek ergime sıcaklıklarının altında bir sıcaklıkta tavlanması ile başlar. Daha sonra oda sıcaklığında soğütularak inceleme altına alınan bu malzemelerin kimyasal analiz sonuçlarına bakıldığında konsantrasyona bağlı olarak atomların yer değiştirdiği ve atomların birbiri içerisine difüzyon olduğu görülür. Bu işlemin gösterimi aşağıdaki şekilde bilmiştir (Koç 2008).



Şekil 2.12. İnterdifüzyon mekanizmasının oluşumu (Koç 2008)

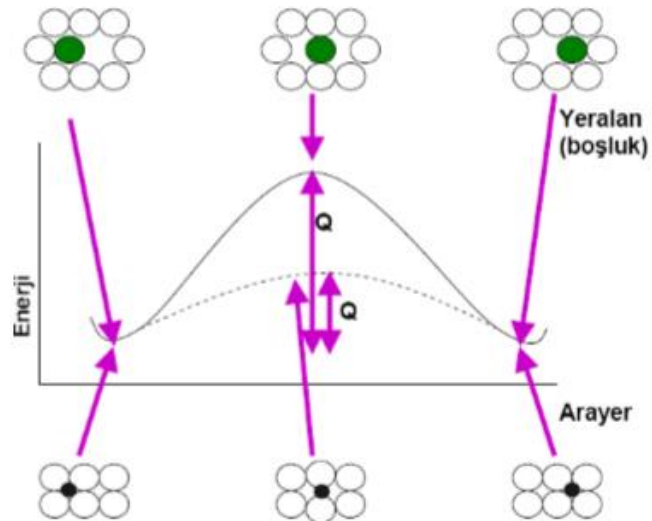
Atomal yayılım olarak bilinen difüzyon oluşumunun en hızlı olduğu madde boyutunun gazlar olduğu bilinmektedir. Katılarda ise bu durum çok yavaş olmaktadır. Bu kadar yavaş olmasına rağmen mühendislik malzemeleri açısından çok büyük bir önem arz eder (Koç, 2008).

2.3.1. Difüzyon oluşum mekanizmaları

Malzemenin içyapısındaki atomların difüzyonu öz yayılım ya da interdifüzyon olması açısından fark etmeyen bir durum olarak göze çarpar. Bu difüzyonlar belirli bir mekanizma çerçevesinde meydana gelir (Koç 2008).

2.3.2. Fick kanunları

Diğer bir ismi ‘kararlı hal difüzyonu’ olarak tanımlanan 1. Fick kanunu, difüzyon olayında sabit bir kesit yüzeyinde difüze olan atom miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Sabit bir kesiti ‘A’ harfi ile sembolize edip, aşağıdaki şekil ile gösterilebilir (Altakan 2011).



Şekil 2.13. Ara yer ve Yer alan atom difüzyon mekanizması için kullanılan aktivasyon enerjisi (Q) değişimi (Altakan 2011)

$$J = -D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (2.1)$$

Denklemdaki dc/dx bileşim gradyanı eğer sıfırdan farklı ise difüzyon hızının varlığından söz edilebilir. Eğer bu bileşim sıfıra eşit ise ($dc/dx=0$) difüzyon hızı oluşmamaktadır. Bu bileşim gradyanı dc/dx difüzyonun yer değiştirdiği mesafe olarak kabul edilen 'x' ile ifade edilir. J metal kütlesi akı veya akış olarak belirtilebilir, bu akı değeri t zamanı içerisinde A kesitine dik doğrultuda olacak şekilde atomların hareket ettiği yer değiştirme miktarıdır. D difüzyon katsayısını (m^2/sn) cinsinden ifade eder, dc/dx yoğunlaşma gradyanı (m^3/m)⁻¹ olarak ifade edilir (Altakan 2011).

2. Fick kanunu, yani diğer bir ifade ile 'kararsız hal difüzyonu' daha çok metal malzeme ve alaşımlarının çözümünde, bileşim kütle akışının sabit ve zor olduğu durumlarda, 1. Fick kanununun kullanılmadığı ya da yetersiz kaldığı zamanlarda ve deneysel manada difüzyon katsayılarının hesaplanmasında kullanılan bir kanundur.

2. Fick kanununun hesaplanması için ön görülmüş olan parametre ise, iki malzemenin birbirilerine paralel ve dx kadar mesafede sınırlandırılmış bir alan olarak gösterimidir. Bu yüzden problem çözümünde denklem x ve t'ye bağımlı olacağından dolayı aşağıdaki denklem hesaba katılır

$$dc/dt = D d^2 c / dx^2 \quad (2.2)$$

Bazı sınır değerlere bağlı olarak bu denklemin çözülmesi mümkündür. Bu da

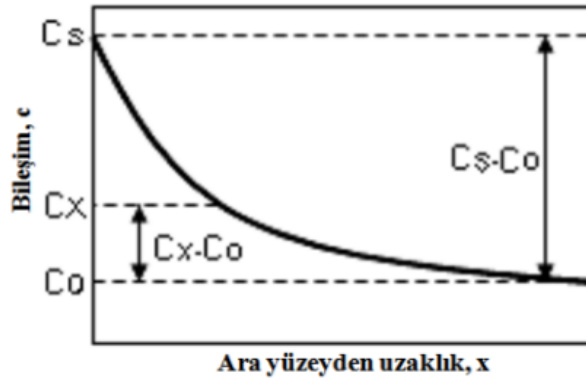
$$(C_s - C_x) / (C_s - C_0) = \text{erf} (x / 2\sqrt{D t}) \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. Burada; C_s : Bileşimin yüzeydeki değeri C_x : Belirli bir noktanın konsantrasyonunun, belirli bir x kadarlık mesafedeki değeri, C_0 : Difüzyona uğrayan çiftten birinin konsantrasyon değeri, x: Ölçümü yapılmış C_x değerinin yüzey

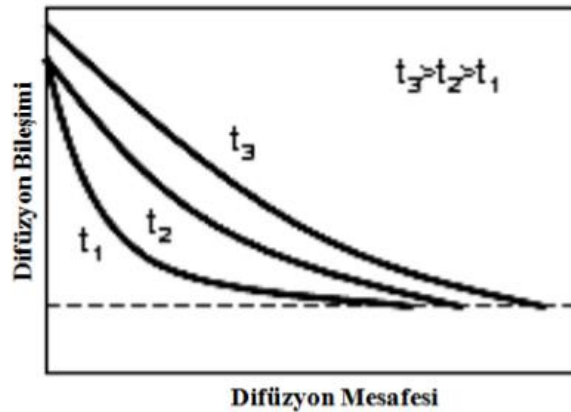
mesafesine olan uzaklık değeri, D : Ortak difüzyon katsayısının değeri, t : Difüzyon süresinin değeri ve erf: Hata fonksiyonunu ifade eder (Altakan 2011).

Kısacası 2. Fick kanunu, malzeme yüzeyine difüze olmuş atomların zamana ve sıcaklığa bağlı kalarak bileşiminin hesaplanmasına yardımcı olur.

Şekilde belirtilen grafiklerde denklemde kendini gösteren bileşim özelliğinin nasıl geliştiği hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 2.14. Kararsız hal difüzyonu için belirtilen bileşimin profil özelliği (Altakan 2011)



Şekil 2.15. Kararsız hal difüzyonunda meydana gelen üç farklı sıcaklıktaki bileşim değerleri (Altakan 2011)

2.3.3. Difüzyon mekanizmasını etkileyen parametreler

Sıcaklık, tane boyutu, bileşim, kristal yapı, alaşım elementleri gibi parametrelerin difüzyonun oluşumundaki mekanizmayı etkilediği bilinmektedir.

1. Sıcaklık: Bu parametre difüzyonu en çok etkilemesi bakımından önemli bir parametredir. Faz durumuna göre örnek verilmesi açısından α -Fe de sadece Fe'nin difüze edilmesinde 500°C'den 900°C'ye çıkan sıcaklıkta oluşan difüzyon miktarı 10^6 kat arttığı görülmüştür. Yüksek sıcaklıkta aktivasyon enerjisinin artması ile difüzyon olan atomların boşluklara yayılım hızı da artar.

2. Kristal yapı: Kristal yapı bakımından ergimiş demir içerisinde meydana gelen difüzyon mekanizması incelendiğinde, belirli bir sıcaklıkta difüzyon hızının ferrit'te (HMK), östenitten(YMK) yaklaşık $10^2, 10^3$ fazla olduğu görülmüştür.

3. Tane boyutu: Karşılaştırma yapılmak istenirse tane içi difüzyon, tane sınırı difüzyonuna göre daha yavaş seyretmektedir. Bu yüzden küçük tane yapısında sahip malzemelerde difüzyon hızının daha yüksek olması beklenir. Bu yüzden difüzyon hesaplamaları yapılırken tane boyutuna bakılmasına gerek yoktur (Altakan 2011).

4. Bileşim: Malzeme yapısının bağlı olduğu mesafe değişim değerini bildiren özelliğe bileşim denir. Bileşim değerinin değişmesi ile difüzyonda değişiklikler meydana gelmektedir. Ara yer katı eriyik durumlarında bu olay daha kolay incelenebilir.

5. Alaşım elementleri: Malzeme içerisinde bulunan alaşımlar, difüzyon mekanizmasını oldukça etkileyen bir etkidir. Bazen difüzyon hızını artırırken, bazen de hızı azalttıkları görülür. Örneğin; krom ve vanadyum alaşımları difüzyon katsayısını oldukça iyileştirirken, kuvvetli karbür içeren östenit içerisindeki karbonun difüzyonunu yavaşlatır.

2.4. Korozyon

Özellikle metallerin ortam içerisinde meydana gelen kimyasal veya elektrokimyasal reaksiyonlara maruz kalması durumunda, metalik özelliklerini kaybetmeleri olayına 'korozyon' adı verilmektedir. Özellikle bazı metaller her ortamda korozyon olayına maruz kalmaktadırlar. Bunun nedeni olarak suya veya atmosfer etkisine dayanmadıkları görülür. Çoğu metal malzeme kullandıkları alan dâhilinde korozyona uğrarlar. Mesela; yakıt depoları, yer altı boru hatları kimyasal depo olarak kullanılan metal malzemeler, su tankları direkler, korkuluklar, tanklar, beton içerisinde kullanılan demir malzemeler örnek olarak verilebilir. Bu durum çok hızlı bir şekilde gelişmesinden dolayı işletmelerde kullanılan malzemeler çok kısa bir süre içerisinde kullanılmaz hale gelir, bu yüzden de maliyet çok yüksek değerlere çıkar (İnal 2013).

Aslında diğer bir ifade ile korozyon olayı doğal bir olay olarak belirtilir. Çünkü metaller ve alaşımlar atmosferle reaksiyona girerek fazla enerjilerini dışarı atma eğilimindedirler. Bu durum sayesinde daha kararlı bir bileşik haline dönüşmek isterler. Korozyon oluşum durumları alaşım ve metaller açısından eğer gaz içeren bir ortamda oluşmuş ise bu korozyona 'kuru korozyon' adı verilir. Çevre şartlarına göre nemli veya sulu bir ortamda gerçekleşiyor ise bu korozyona da 'ıslak korozyon' diğer bir ifade ile elektrokimyasal korozyon adı verilir (İnal 2013).

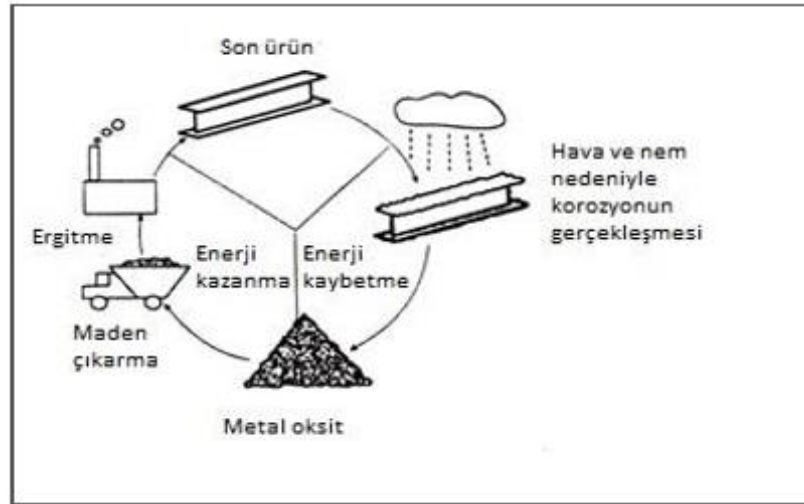
Uygun ortamın oluşması durumunda metal veya alaşımlar, üzerinde taşıdıkları fazla enerjiyi vererek daha stabil haldeki bileşiklere dönüşmek isterler. Bu stabil haldeki bileşiğin enerji seviyesinin minimum düzeyde olduğu bilinmektedir. Bu durum sayesinde ortama enerji verilerek stabil konuma dönüşen metaller korozyon oluşumunu başlatmış olur. Endüstri ve diğer alanlarda kullanılan soy metaller hariç diğer tüm metallerin korozyona uğradığı bilinmektedir.

Üretim aşamasında birçok kaybın ortaya çıktığı görülür. Bu kayıplar arasında korozyondan kaynaklanan kayıplarında olduğu aşikârdır. Ancak bu korozyon kayıplarının tayin edilmesi oldukça zordur. Zorluk derecesi açısından bakıldığında gözle

görülmeven küçük kayıpların varlığı, bu hesabın yapılmasını zorlaştıran en önemli parametre olarak göze çarpar (İnal 2013).

Malzemelerin korozyona uğramasından dolayı dünya genelinde trilyon dolar değerinde malzeme israfının oluştuğu ve bu zararın dünyanın gayri safi hasılatının yüzde üçünü oluşturduğu belirtilmektedir. Korozyonun sadece maddi zararının yanında çevre ve canlılar üzerindeki etkisi de çok büyük kayıplara sebebiyet vermektedir. 1992 yılında Guadalajar'a meydana gelen korozyon yüzünden büyük patlamaların yaşandığı ve çok sayıda evin yıkıldığı, birçok insanın ölümüyle sonuçlandığı belirtilmiştir (Topal 2016).

Aşağıda gösterilen şekilde metallerin korozyon çevrimi anlatılmaktadır.



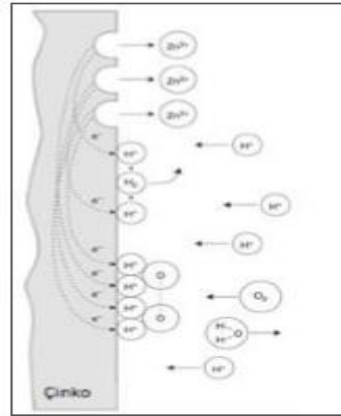
Şekil 2.16. Metallerin korozyon çevrimi (Topal 2016)

2.4.1. Korozyon oluşum mekanizması

Korozyonun oluşumuna bakıldığında, olayın daha çok elektrokimyasal bir mekanizmada gerçekleştiği görülmektedir. Bu yüzden korozyonun oluşumundan önce elektrokimyasal olayının açıklanması gerekmektedir

Elektrokimyasal olayın, bir elektrolit ile elektrot ara yüzeyinde meydana gelen elektrik yüklerinin yer değiştirmesi ile meydana geldiği bir kimyasal olay olarak açıklanabilir. Bu olayda iki tip reaksiyon oluşumu gerçekleşir. Birisi indirgenme diğeri ise yükseltgenme reaksiyonudur. Genel olarak bir molekül ya da atomun çevresine bir elektron vermesi durumunda gerçekleşen reaksiyona yükseltgenme, çevresinden bir elektron alarak gerçekleştirdiği reaksiyonlara ise indirgenme reaksiyonları adı verilir (Topal 2016).

Bu belirtilen reaksiyonlar üzerinden çinko örneği özetlenerek, korozyonun nasıl oluştuğu aşağıdaki şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.



Şekil 2.17. Elektrokimyasal reaksiyon mekanizmasının korozyon olayındaki etkisi (Topal 2016)

Metallerin anodik bölgede gerçekleşen yükseltme reaksiyonun denklemi aşağıda belirtilmiştir.

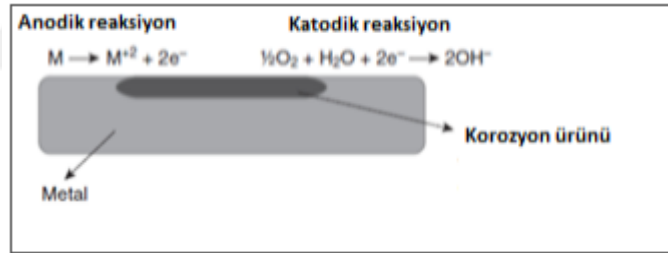


Denklemden belirtilen bu reaksiyonun çoğu ortamda hızlı bir şekilde seyrettiği bilinmektedir. Reaksiyonun oluşmasıyla korozyonun mekanizma hızının kontrolü daha yavaş ve ağır seyreden indirgenme reaksiyonu tarafın kontrol altına alınır. Aşağıda

belirtilen denklemde havasız bir ortamda indirgenmiş reaksiyonun denklemi gösterilmiştir.



Bu reaksiyon bazı ortamlarda yavaş bazı ortamlarda ise hızlı bir seyirde ilerlediği bilinmektedir. Asidik ortama alındığında reaksiyonun hızlı olduğu görülür. Bazik veya nötr bir ortama sokulduğunda ise bu reaksiyonun yavaş ilerlediği gözlenmiştir. İyonların elektrolit mekanizması içerisinde hareket etmesiyle elektrolit devresinin tamamlandığı görülür. Aşağıdaki şekilde belirtilen korozyon üretimi şemasına bakıldığında M^+ iyonlarının OH^- iyonlarına doğru hareket etmesiyle bir araya gelerek malzeme yüzeyinde metal hidroksit'in oluştuğu görülür. Bu birikimin kısacası bir korozyon hücresi olduğu belirtilmiştir (Topal 2016).



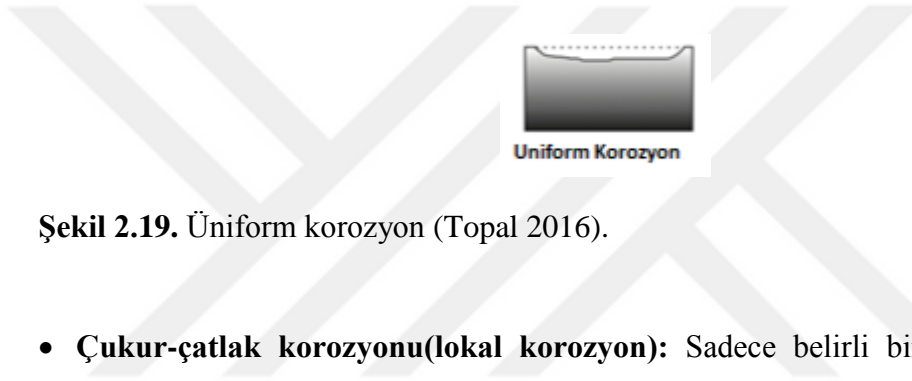
Şekil 2.18. Korozyon hücresinin oluşum mekanizması (Topal 2016).

Korozyon oluşumuna bakıldığında serbest enerji olarak adlandırılan Gibbs serbest enerjisinin azalması, tüm yüzeyde korozyon mekanizmasının başladığının bir göstergesi olarak belirtilebilir. Tam tersi olarak da serbest enerjinin azalması, toplam korozyon hücresi denilen ($E_{\text{hücre}}$) değerinin pozitif hale dönüşmesi anlamına gelmektedir. Hücre potansiyelinin manası ise anodik yarı-reaksiyon potansiyeli ile katodik yarı-reaksiyon potansiyeli arasındaki fark olarak söylenebilir.

2.4.2. Korozyon oluşum çeşitleri

Korozyon oluşum mekanizmalarının buldukları ortam bakımından farklı şekillerde gerçekleşerek, malzemeye çok ağır bir derecede kayba uğrattığı, aşağıda özetlenen bilgiler ışığında sunulmaya çalışılmıştır.

- **Üniform Korozyon:** Genel manada bakıldığında tüm malzeme yüzeyinde eşit bir hızda gerçekleşen korozyon olarak özetlenebilir.



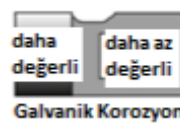
Şekil 2.19. Üniform korozyon (Topal 2016).

- **Çukur-çatlak korozyonu (lokal korozyon):** Sadece belirli bir bölgede meydana gelen korozyon olarak belirtilebilir.



Şekil 2.20. Çukur korozyonu-Çatlak korozyonu (Topal 2016)

- **Galvanik Korozyon:** Bu korozyon genellikle bir elektrolit ortamda, birbirine benzemeyen iletkenlerin aralarında meydana gelen, elektriksel iletkenliğe bağlı olarak oluşan temasın meydana getirdiği korozyon olarak özetlenebilir.



Şekil 2.21. Galvanik korozyon (Topal 2016)

- **Taneler Arası Korozyon:** Metal malzemesinin içyapısındaki atomların arasında meydana gelen korozyon çeşididir.



Şekil 2.22. Taneler arası korozyon (Topal 2016)

- **Seçici Korozyon:** Alaşım malzemesinin içyapısındaki bileşimlerin çözünmesi sonucu meydana gelen korozyondur.



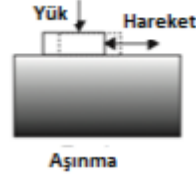
Şekil 2.23. Seçici korozyon (Topal 2016)

- **Hız Etkili Korozyon(erozyon-kavitasyon):** Bir akışkan içerisinde meydana gelen korozyon çeşitleridir. Akış durumuna göre farklı şekillerde oluşur. Akışın hızlı seyrettiği bölümlerde erozyon korozyonu, daha yüksek hızlarda seyrettiği bölümlerde ise *kavitasyon* korozyonu meydana gelir.



Şekil 2.24. Erozyon-Kavitasyon korozyonu (Topal 2016).

- **Aşınma Korozyonu:** Yük altında meydana gelen bu korozyonda, temas halindeki yüzey ile yük arasında meydana gelen titreşimlerin yol açtığı kayıplara, aşınma korozyonu adı verilir.



Şekil 2.25. Aşınma korozyonu (Topal 2016)

- **Çatlak Korozyonları:** Farklı isimlerde oluşan bu korozyon türleri genellikle mekanik olayların etkisi altında çatlak oluşmasıyla meydana gelir.



Şekil 2.26. Gerilmeli(stres) korozyonu-yorulmalı korozyon (Topal 2016)

- **Yüksek Sıcaklık Korozyonu:** İki farklı durumda meydana gelen bu korozyonda yüksek sıcaklığın yol açmasından kaynaklanan korozyonlar olarak bilinmektedir



Şekil 2.27. Soyulma-iç atak korozyonu (Topal 2016)

Korozyondan metal malzemeyi kayıplara karşı korumanın üç temel faktörü bulunmaktadır. Bunlar; ortamın yer değiştirilmesi, malzemenin değiştirilmesi ve malzeme yüzeyi üzerine koruma amaçlı yapılan set oluşturma işlemi olarak

belirtilebilir. Bazı durumlarda ortamın değiştirilmesi pek mümkün olmamaktadır. Bu yüzden iki yol seçilerek, korozyondan malzeme kaybı önlenmeye gidilebilir. Bunlardan birisi malzemenin alaşımlandırılması ile korozyon mekanizmasının yavaşlatılması, diğer bir yol ise organik ya da inorganik bir malzeme kullanılarak yüzeyinin kaplanması işlemidir.

2.4.3. Ağırlık kaybı yöntemi

Bu yöntem çok basit olduğundan dolayı genellikle kullanılan bir yöntemdir. İnhibitör test yöntemlerinden biri olmasından dolayı metal yüzeyinin tamamı ya da lokal olan bölgelerde meydana gelen korozyon kaybını çok rahatlıkla belirlemektedir (Topal 2016).

Bu yöntem uygulanırken korozyon hızının belirlenmesinde çözünmenin homojen olarak gerçekleşmesi ve korozyondan kaynaklanan ürünlerin çözünerek malzeme yüzeyinden uzaklaştıracak bir çözelti hazırlanması gerekir (Akkum 2006). Korozyon akımı hesaplanırken şu denklem üzerinden yola çıkılır. Bu denklem ise Faraday kanunları kullanılarak oluşturulur.

$$\dot{I}_{cor} = \Lambda_m \cdot n \cdot F / M \cdot S \cdot \Delta t \quad (2.6)$$

Denkleme göre ağırlık kaybı Λ_m , korozyon oluşumundan dolayı çözeltiye geçen metalin değeri n , Faraday sabiti (96500 C), zaman değerini Δt , metalin mol kütlesi değerini M ve yüzey alan değeri ise S ile belirtilmiştir. Bu yöntem sayesinde korozyondan kaynaklanan kütle kaybı hesabı yapılabilir ancak her zaman kesin sonuç vermediği gibi, çok zaman alması yöntemin dezavantajları olarak gösterilir.

2.4.4. Betonarme korozyonu

Yapı bakımından içerisinde çelik çubuklarla takviye edilmiş kompozit beton matrislere *betonarme* denir. Betonarme yapısındaki bu takviyeli kompozit yapının tam anlamıyla betonarme gibi davranması için, ikilinin dış çevreden gelebilecek kuvvetlere karşı dayanıklı davranarak, birbirleri ile iyi bir kenetlenme gücü sergilemesi gerekmektedir (Aköz 2013).

Mekanik anlamda, beton yapıların basma kuvvetlerine karşı dayanması, içyapısında bulunan çelik malzemesinin ise çekme kuvvetine karşı bir dayanıklılık göstermesi gerekir. Betonun ve çeliğin *termik* genişleme özelliğinin aynı olması ve birbirlerine yakın derecede yük taşıyor olmaları, bu iki yapının eş zamanlı kullanılarak *monolitik* özellikte bir üretim gerçekleştirilebilir

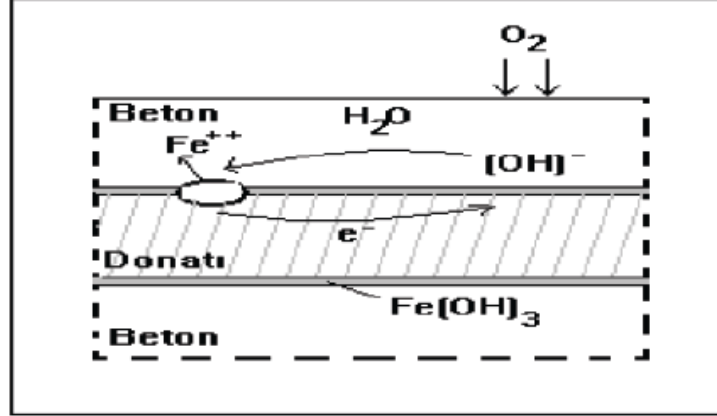
Üretimi açısından kolaylık sağlaması ve diğer yapısal donatım elemanlarına nazaran rahat üretilmesinden dolayı üreticiye rahatlık sağladığı görülmektedir. Ancak bu üstünlüğünün yanında dış etkiler nedeniyle *donatı* korozyonuna maruz kalmaktadır (Aköz 2013).

2.4.5. Donatı korozyonu

Genellikle betonarme yapıların temas halinde bulunduğu hava nedeniyle betonun içerisinde bulunan O_2 ve su miktarının korozyona sebebiyet verdiği bilinmektedir. Gözenek açısından miktarın az oluşu ve betonarme yapıların örtü beton kalınlığının fazla olması, içerisindeki su miktarının korozyonu tetikleyecek boyuta ulaşmasını engellemektedir. Bunun nedeni gözenek yapının azlığından dolayı O_2 'nin beton içerisine difüzyon etme yoğunluğunun az olmasından kaynaklanmaktadır (Aköz 2013).

Ancak beton içerisine katılan puzolan malzeme ve yapının $Ca(OH)_2$ dönüşmesi pH'ın düşmesine ve serbest haldeki Cl^- varlığını ortaya çıkarmasından dolayı donatı korozyonunun oluşmasına sebep olur (Aköz 2013).

Şekil 2.28'de betonarme yapılarında meydana gelen donatı korozyonunun oluşum mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Betonarme yapı içerisindeki donatı korozyonunun oluşum mekanizması ve pasivasyonu tabakası (Aköz 2013)

Bu korozyon oluşumuna bakıldığında çelik malzemesi yüzeyinde farklı potansiyele sahip anodik ve katodik elektrokimyasal bölgelerin, beton için kullanılan çimento içindeki tuz çözeltileri ile birleştiği görülür. Bu aşama nedeniyle yapının, elektronları ileten bir özellik kazanma şansı yükselir. Akımın dış kaynaklı gerçekleşmediği durumlarda, açığa çıkan anodik reaksiyonların ve korozyon olayının devamlılığı açısından katodik reaksiyonların elektronları tüketmesi gerekir. Aşağıda beton içerisinde bulunan yapı içerisinde meydana gelen anodik ve katodik reaksiyonların oluşumu gösterilmiştir.

Anot Reaksiyonları



Katot Reaksiyonları

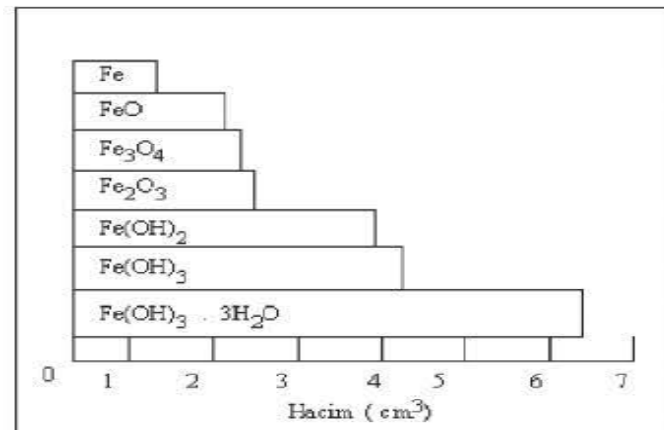


Katot reaksiyonunda meydana gelen hidroksil, anot reaksiyonunda meydana gelen demir iyonları ile bir araya gelerek ferrohidroksite daha sonra kararlı haldeki ferrihidroksit konumuna dönüşür (Aköz 2013).

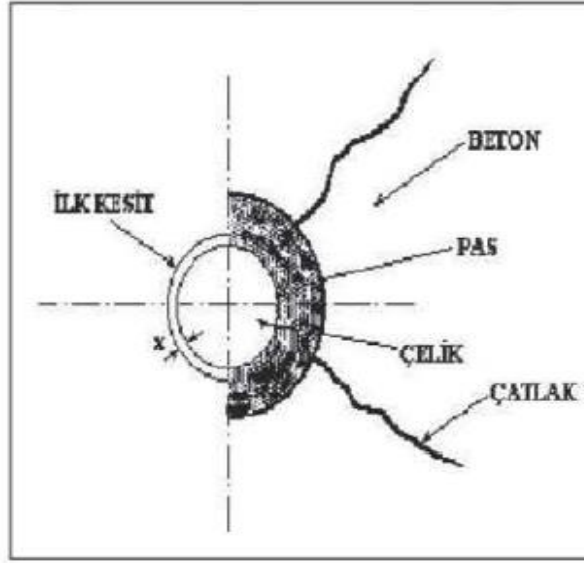


Beton yapısı içerisindeki donatı yüzeyinin $Fe(OH)_3$ ile kaplanarak pas ve pasivasyon tabakası meydana getirmesi sayesinde, korozyonun gerçekleşmesini engellediği görülür.

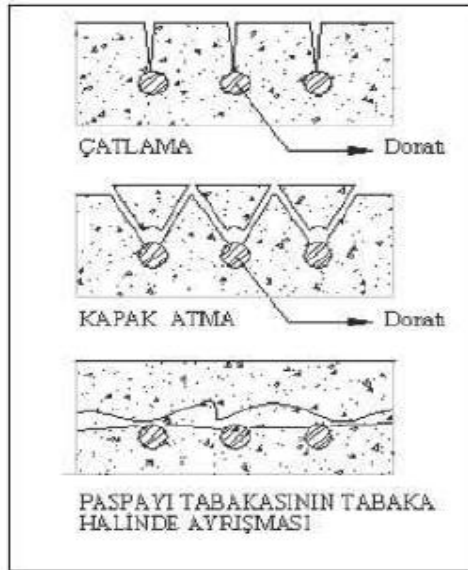
Yapı içerisindeki yüzeyin korozyondan oluşan üründen kaynaklanan kütle kaybına sebebiyet vermesinden dolayı, yapı çeliği hacminin 1-6 kat arasında artışı görülür. Bu olaydan dolayı beton içerisinde çatlakların meydana geldiği görülür. Bu çatlakların donatı korozyonunu arttırdığı, betonun kalitesini ve yapı güvenirliliğini düşürdüğü gözlenir (Aköz 2013).



Şekil 2.29. Demiroksitin yapı içerisindeki hacim artış oranları (Aköz 2013)

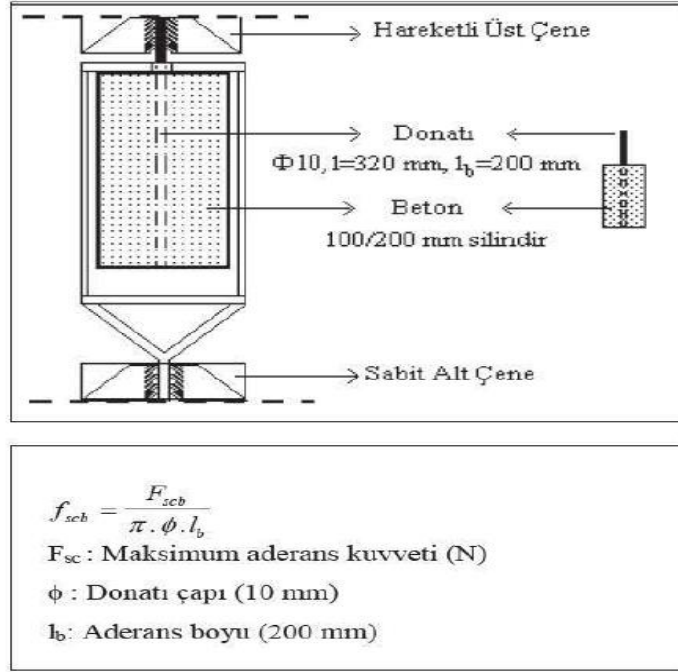


Şekil 2.30. Demir oksitten kaynaklanan yapı içerisindeki etkiler (Aköz 2013)



Şekil 2.31. Demir oksitin, yapı içerisindeki çatlak oluşumuna etkisi (Aköz 2013)

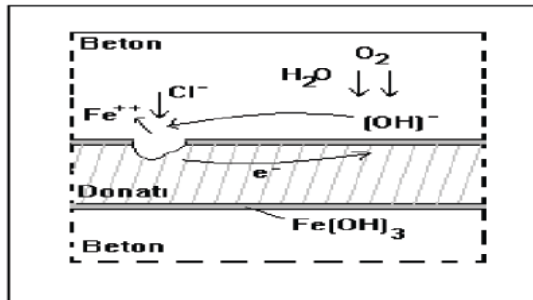
Donatı korozyonu yüzünden yapı ve çelik yüzeyinde, çatlak oluşumlarından kaynaklanan aderans dayanımının azaldığı görülür. Bu dayanımın azalıp azalmadığı hakkındaki gerekli ölçümü sağlayan deney düzeneği Şekil 2.32'de gösterilmiştir (Aköz 2013).



Şekil 2.32. Betonarme yapılara uygulanan çekip-çıkarma deneyi (Aköz 2013)

Donatı içerisinde bazen adsorbe edilemeyen Cl^- iyonlarının korozyona sebebiyet verdiği bilinmektedir. Bu iyonlar bazı ürünler tarafından bağlanamadığı ve çimento hidratları tarafından adsorbe edilemediği zaman çelik yüzeyinde pasifize olan tabakayı yok eder. Bu olay sonucunda çukurcuk korozyonu denilen olay meydana gelir. Bu olayın sebebi olarak Cl^- iyonlarının hidrolikasite dönüşüp yapıyı yok etmesidir.

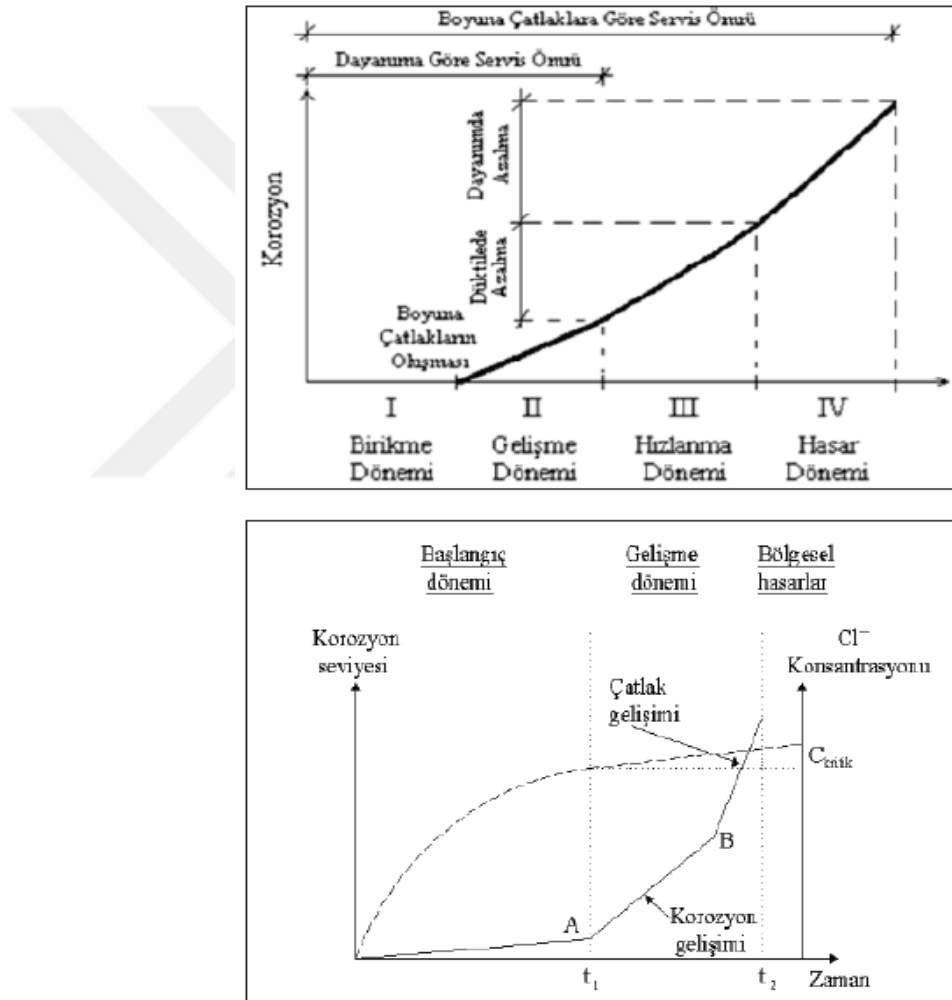
Bu olayın nasıl gerçekleştiğine dair şekil aşağıdaki gibi özetlenebilir.



Şekil 2.33. Donatı içerisinde bulunan klorürün meydana getirdiği korozyon (Aköz 2013)



Yukarıda gösterilen reaksiyonların oluşum mekanizması Şekil 2.33'de gösterilmiştir.



Şekil 2.34. Klorürden kaynaklanan korozyonun donatı üzerindeki gelişim aşamaları (Aköz 2013)

Betonarme yapısı içerisindeki donatının uğradığı korozyon aşamalarının gelişimsel dönemlerine bağlı olarak hesaplanan ömür yetisi hakkında bilgiler Şekil 2.34'da belirtilmeye çalışılmıştır. Birikme dönemi olarak bu bölgede Cl⁻ atomlarının yüzey

üzerine birikmesiyle dönemin başladığı görülür. Bu döneme 'birikme dönemi' denir. İkinci dönemde Cl⁻ iyonlarının yapı içerisinde korozyon olayını gerçekleştirmesi ile çatlak oluşumunun başladığı ve 'gelişme aşaması' denilen yeni bir döneme girildiği görülür. Bu aşamaya bakıldığında dayanım ömrüne göre servis ömrünün bittiğini gözler önüne serer. 'Hızlanma aşaması' olarak bilinen üçüncü dönemde ise çatlak şeklinin boyuna doğru gelişmesinden kaynaklanan Cl⁻ iyon difüzyon hızındaki artışından dolayı, korozyon olayının hızlandığı görülür. Korozyon artışından dolayı betonun parçalanma hızının arttığı görülür. Son dönem olarak 'hasar aşaması' denilen bu dönemde, korozyon yüzünden çatlak oluşumunun çok hızlandığı, betonun boyuna çatlaklar yüzünden daha fazla parçalanarak tekrarlı yüklere karşı dayanımının azaldığı görülür (Aköz 2013).

2.4.6. Betonarme korozyonuna karşı alınacak tedbirler

Betonarmeyi korozyondan korumak amacı ile çeşitli tedbirler arasından bazı özellikler şu şekilde özetlenebilir; özellikle elektrolit çözeltisi içerisinde potansiyeli farklı iki metalin, anottan katoda doğru kütle taşınmasından dolayı meydana gelen kütle kaybının sonucunda, korozyon olayının meydana geldiği bilinmektedir. Korozyonun önlenmesi için elektrolit sıvısı ile elektrotun birbirinden ayrılması ya da metaller arası potansiyel farkın sıfırlanması gerekir. Betonun prensipte, korozyon olayının gelişmesindeki rolü galvanik pillere benzetilebilir.

Homojen olmayan beton kalıbın içerisindeki çelik yapı üzerinde anot ve katot kutupları oluşmaktadır. Beton yapının homojen olmayışından dolayı sanki bir elektrolit sıvı gibi davranması, bu kutupların aktif hale getirilmesine ve korozyon olayının başlamasına neden olmaktadır. Bu olayın önüne geçmek için, kaliteli bir beton üretimi gerçekleştirilerek, gözeneksiz, boşluksuz, akış geçirimsizliği düşük, kimyasal sıvılar ya da maddelerce kolayca çözülmeyecek durumda olması gerekir (Aköz 2013).

Genel manada tras, diğer bir ismi ise doğal pulzonlar, ayrıca; yüksek fırın cürüfları, uçucu küller, silis dumanları ve kalsine edilmiş killer, beton içerisinde poroziteyi ve geçimsizlik özelliği düşürmesinden dolayı korozyon oluşumunu yavaşlatır. Ayrıca

sayılan bu maddeler sayesinde serbest kirecin engellenmesi ile beton kalitesini arttırarak korozyon oluşumunu engeller (Aköz 2013).

Kaliteli üretilen betonarme yapıların tabaka kalınlığı iyi olduğu takdirde beton içerisine difüze olabilecek O₂'nin engellenmesinden dolayı, içyapıda ne kadar nem olursa olsun korozyon olayı gerçekleşse dahi tehlikeli sınırlara ulaşmadığı görülmüştür.

Genel anlamda kullanılacak betonarme yapıların korozyondan korunması ve bu durumun önüne geçilmesi amacıyla yerine getirilecek üretim şartnamelerin tam anlamıyla gerçekleşmesi gerekmektedir. Ancak bu yeterli olamayabilir. Çünkü üretim aşamasından başlanarak kullanılacak malzemenin seçimi iyi belirlendiği takdirde bu tip korozyon olaylarının önüne geçilerek malzeme kayıplarının önüne geçilmiş olur (Aköz 2013).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Sıcak daldırma ile alüminyum kaplama işlemi gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, farklı şekil ve boyutlarda seçilmiş çeliklerin yüzeyleri sıcak daldırma yöntemi kullanılarak alüminyum ile kaplanmış, kaplanan bu malzemelerin taban malzemeye yapışması, sertlik ve korozyon özellikleri incelenmiştir.

Özellikle betonarme yapı içerisinde kullanılan donatıların, beton yapının daha sağlam ve dayanıklı olması açısından hiç bir şekilde korozyona maruz kalmaması istenmektedir. Çünkü korozyonun beton yapısını bozduğunu ve çatlamalardan dolayı yapı güvenirliliğini yok ettiği bilinmektedir.

Bu konunun üretim açısından irdelendiği düşünüldüğünde, korozyon olayından dolayı malzeme kaybının artması, güvenlik boyutu özelliğinin azalması gibi pek çok dezavantajların kaliteyi bozduğu ve maddi açıdan çok büyük zararların meydana geldiği bilinmektedir.

Bundan dolayı malzeme yüzeyinin kaplanması ile ilgili bu tür çalışmalar kapsamında, oluşabilecek sıkıntıların yaşanmaması ve malzeme kayıpları ile maliyetin minimum seviyeye düşürülmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmanın genel amacına bakıldığında, her türlü üretim safhasında kullanılarak malzemelerin daha elverişli ve kullanışlı bir yapıya dönüşmesi, ayrıca maliyetin düşürülmesi ile güvenirliliğin hat safhaya çıkartılması amaçlanmıştır. Bu açıdan korozyon oluşumunun engellenmesi ve yüzey dayanımının arttırılması için daha iyi bir çalışma gerçekleştirilmek istenmiştir.

3.1. Kaplama Yapılacak Malzemelerin Seçimi

Malzeme seçim işlemi, kaplama uygulaması öncesi gerçekleştirilecek ön önemli ölçüt olarak göze çarpmaktadır. En önemli amaç olarak bilinen bu işlem, ne için üretildiği ve tüketiciye ne amaçla hizmet edeceği hakkında geniş bir bilgi yelpazesi sunar. Bu bilgi yelpazesi sayesinde endüstride kaplanacak malzemenin hangi alanda ve nasıl kullanılacağı, tüketici için çok önemli bir başlangıç olarak kabul edilebilir.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, kaplama işleminden önce seçimi yapılan malzemelere bakıldığında silindirik ve dikdörtgen prizma şekilli lama çelik malzemesi kullanılmıştır. Silindirik boyuttaki çelik malzemesi 3 adet olup çap açısından birbirinden farklıdır. Üretim aşamasına bakıldığında yüzeyleri nervür denilen ve sürtünmeyi artırıcı çıkıntılarla dolu olan inşaat çeliği malzemeler kullanılmıştır. Kaplama öncesi yüzey hazırlığı yapılan inşaat çeliklerin şekli aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kaplama yapılacak olan silindirik çelik numuneler

Kaplama işleminde kullanılan diğer bir çelik numune ise, az karbonlu St-37'dir bu çalışmada lama şeklinde 20cm boyunda ve 6mm kalınlığında olacak şekilde kullanılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan St-37 az karbonlu lama çelik malzemesinin kaplama işlemi öncesindeki durumu aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kaplama yapılacak olan St-37 az karbonlu lama çelik numuneler

Tez çalışmasında kullanılan bu çelik numuneler üçerli gruplar halinde üçer adet hazırlanarak farklı sürelerde kaplama işlemine tabi tutulmuştur. Silindirik nervürlü çelik numunelerden toplamda dokuz adet, lama çelik numunelerden ise aynı sayıda olacak şekilde numune hazırlığı yapılmıştır. Daha çok inşaat işlerinde ve beton yapı içerisinde kullanılmasından dolayı bu tez çalışmasında kullanılmıştır.

St-37 diğer ismi ile S235JR az karbonlu çeliğin; inşaat, sanayi sektöründe, kutu profil, çelik çubuk yapımı ve sıcak haddelenmiş sanayi profilleri imalatında çok yoğun olarak kullanıldığı bilinmektedir. Aşağıdaki tabloda ise St-37 az karbonlu çeliğin kimyasal bileşimi verilmiştir.

Çizelge 3.1. St-37 Az karbonlu çeliğin kimyasal bileşimi

% alaşımlar	Kimyasal bileşimler								
	C	Mn	Si	S	P	Al	Ti	Nb	V
S235JR	0,19	1,4	0,55	0,04	0	0	0	0	0

Yukarıda belirtilen sayısal değerler standart olup, $\pm 0,01$ 'lik bir değişim sergileyebilir.

Silindirik çelik numunelerin çap değerleri ise aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Silindirik çelik numunelerin çap ve uzunluk özellikleri

Numune No	Silindirik Çelik Numune Ölçüleri
1	Numunenin Çap Uzunluğu:12mm Boy Uzunluğu:7cm
2	Numunenin Çap Uzunluğu:16mm Boy Uzunluğu:7cm
3	Numunenin Çap Uzunluğu:20mm Boy Uzunluğu:7cm

Deney aşamasında kullanılan bu silindirik çelik numunelerin, üretim aşamasında yüzeylerinde kabartılmış çıkıntılarının olması, kaplama açısından çok olumlu bir sonuç verdiği gözlenmiştir. Bu özelliğinden dolayı kaplama tabakasının tutunma ve yapışması açısından çok kullanışlı olduğu bir kez daha görülmüştür.

Çizelge 3.3'de bu silindirik çelik malzemelerin genel özelliklerinden bahsedilmiştir.

Çizelge 3.3. Silindirik çelik numunelerin mekanik özellikleri

N/mm ²	Mekanik özellikleri		
	Akma muk.	Çekme muk.	Uzama(A10%)
I-a kalite	220	340	18

Silindirik numune özellikleri hakkındaki bilgiler (SYM) Demir-Çelik A.Ş firmasının internet sitesinden alınmıştır.

3.2. Kaplama Yüzeyinin Hazırlanması

Bu süreç ise kaplama ve kaplama tabakasının ömür açısından dayanımını belirleyen en önemli etken olarak göze çarpmaktadır. Kaplama işlemindeki gerçek amaç kaplama

tabakasının yüzeye iyi tutunarak kuvvetli bir şekilde yapışmasıdır. Bunun gerçekleşmesinin tek şartı ise malzeme yüzeyinin oksit veya diğer yabancı partiküllerden uzaklaştırılmasıdır.

Yüzeyin temiz olmaması durumunda, kaplama tabakasının tam anlamıyla yapışmaması ve lokal ya da yüzeyin genelinde pul pul dökülmelere sebebiyet veren bir olayın meydana geldiği gözlenmiştir.

Temizleme işlemi gerçekleştirilmeden önce numunelerin boyutları eşit bir biçimde kesilerek, talaşlı kalan bölgeleri taş makinasında temizlenmiştir. Şekil 3.3’de metal ve çelik numune kesmek için kullanılan testere makinası gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Metalografik numune kesme makinası

Boyut ve uzunluk açısından eşit bir biçimde hazırlanarak metal kesme makinasında kesilen numuneler, yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla Şekil 3.4’de gösterilen yüzey temizleme makinasına alınarak temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Metal yüzey temizleme makinası

Metal temizleme makinasında yüzeyleri temizlenen çelik numuneler, kaplama işlemi gerçekleştirilmek amacıyla kaplama ünitesine doğru alınır.

3.3. Alüminyum Banyosunun Hazırlanması

Yüzeyleri temizlenen çelik numunelerin kaplama ünitesine alınmadan önce çevresi etrafına ince bir tel malzemesi sarılmıştır. Bunun amacı daldırma işleminde çelik numunenin daldırılıp tekrar çıkarılması için kolaylık sağlamaktadır. Banyonun hazırlanması amacı ile laboratuvarında bulunan yaklaşık 1200°C sıcaklığa kadar yükselebilen bir fırın kullanılmıştır. Bu fırın Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Eriyik banyonun hazırlandığı fırın

Özel bir termostat mekanizması sayesinde sıcaklığı yaklaşık 750-800°C derece arasında tutarak alüminyumun eriyik bir halde kalması sağlamıştır. Böylelikle çelik malzemenin daldırılması ve hızlı bir şekilde banyodan çıkarılması işlemi kısa bir sürede gerçekleştirilmiştir. Eriyik banyonun çok çabuk tahribata uğramaması amacı ile kullanılan ve özellikle fırın için hazırlanmış grafit potalar seçilmiştir. Eriyik olarak hazırlanması için kullanılan alüminyum tabakalar Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Eritilmek için kullanılan alüminyum tabakalar

Bu çalışmamızda, kaplama yüzeyi için kullanılan 5083 serisi alüminyum tabakaların kimyasal özellikleri Çizelge 3.4’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.4. 5083 serisi alüminyumun kimyasal bileşimi

Ağırlık %	Si	Fe	Cu	Mg	Mn	Cr	Zn	Ti
Maximum	0.21	0.32	0.085	4.52	0.52	0.8	0.065	0.023

Bu alüminyum serisinin kullanılmasının amacı deniz suyu korozyonuna karşı daha dayanıklı olmasıdır (Mısırlı, 2011).

3.4. Sıcak Daldırma ile Kaplama İşleminin Gerçekleştirilmesi

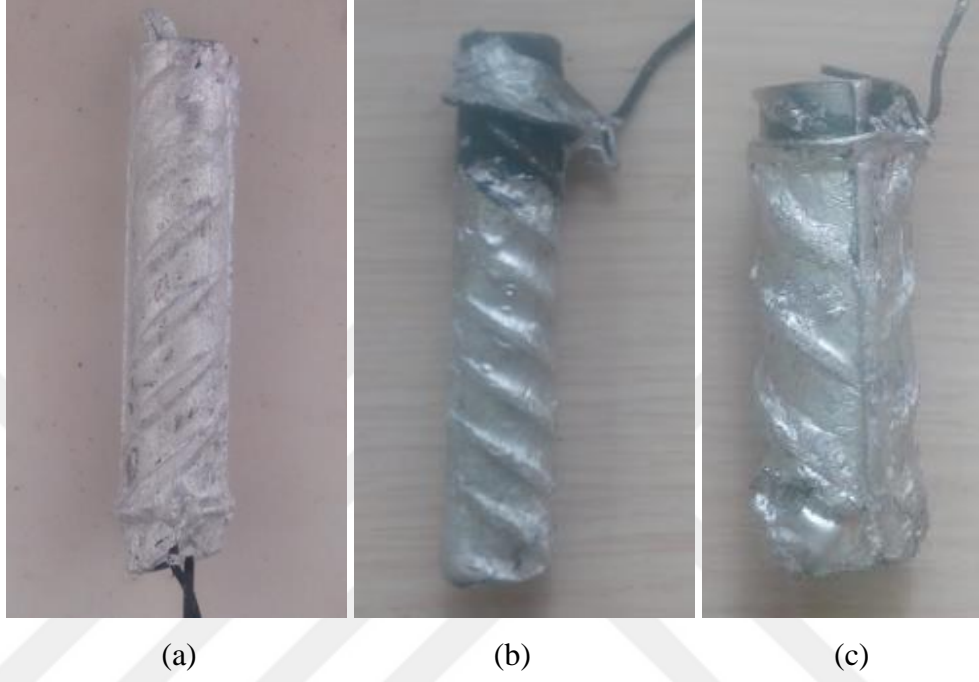
Eriyik banyonun hazırlanmasından sonra kaplama yapılacak numuneler son bir defa daha yüzeyleri temizlenerek hızlı bir şekilde banyo içerisine daldırılmıştır. Eriyik içerisinde farklı sürelerde bekletilen numuneler tekrar hızlı bir şekilde banyodan çıkartılıp su içerisine bırakılmıştır. Su içerisinden çıkartılan numuneler havada soğuması için beklemeye alınmıştır. Numuneler su içerisinde yaklaşık 1-2 saniye bekletilmiştir.

Üç adet, üç gruptan oluşan nervürlü silindirik çelik numunelerin eriyik alüminyum banyosundaki bekleme süreleri ise Çizelge 3.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Nervürlü silindirik çelik numunelerin grup numaraları ve eriyik alüminyum banyosundaki bekleme süreleri

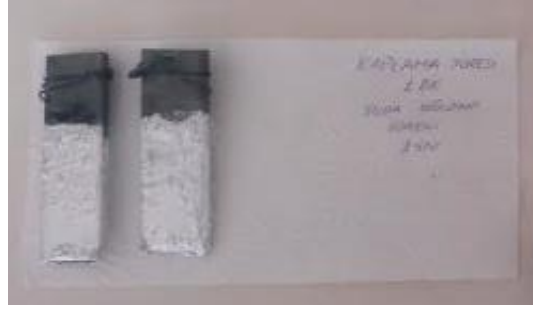
Grup	Banyoda bekleme Süreleri
1.Grup (3 adet numune)	1 dak
2.Grup (3 adet numune)	3 dak
3.Grup (3 adet numune)	5 dak

Alüminyum kaplaması gerçekleştirilen bazı nervürlü silindirik çelik numuneler Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Sırasıyla (a-b-c) 12-16-20mm çaplı alüminyum kaplanmış numuneler

Şekil 3.8'de ise yüzeyi alüminyum kaplama yapılmış lama çelik numuneler gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.8. Sırasıyla (a-b-c) 1-3-5 dak süre ile kaplama yapılmış numuneler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Kaplama Tabakasının Kalınlık ve Sertlik lümü İŞlemleri

Kaplama işlemi gerçekleştirilen numunelerin, kaplama tabakasının içyapı analizini yapmak ve sertlik ölçüm sonuçlarını belirlemek amacı ile tekrar bir kesme işlemine tabi tutulmuş, kesilen parçalar bakalite alınarak parlatma makinasında parlatılmıştır.

AŞağıdaki Şekillerde bakalite alınmış numuneler ve parlatma işlemi için kullanılan makine gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Bakalite alınmış nervürlü silindirik ve lama elik numuneler

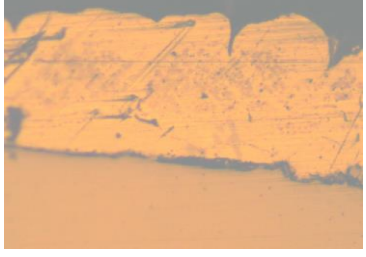
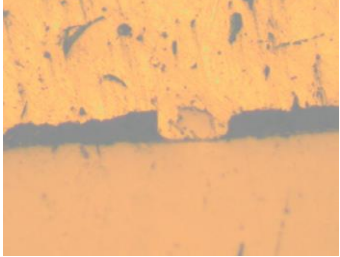
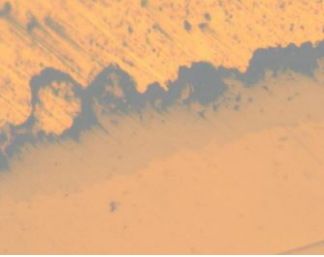

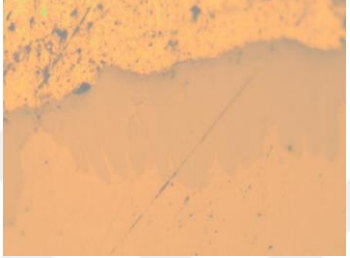





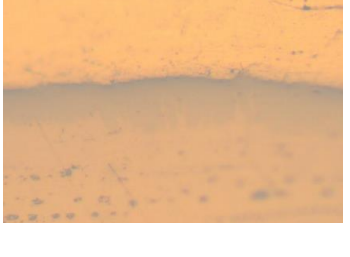
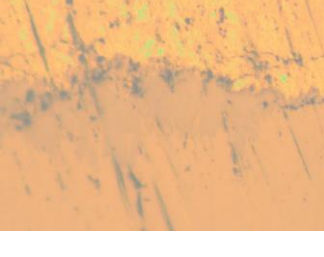


Şekil 4.2. Parlatma makinası

Bakalite alınarak parlatma işlemi yapılan numunelerin, kaplama tabakası içerisindeki içyapıda görülen difüzyon oluşumunu ve meydana gelen diğer fazları belirlemek amacı ile Şekil 4.3’de gösterilen optik mikroskop kullanılmıştır.



Şekil 4.3. İçyapı incelemesi için kullanılan optik mikroskop

		
1 dak 12 mm 200x büyütme	1 dak 16 mm 200x büyütme	1 dak 20 mm 200x büyütme
		
3 dak 12 mm 200x büyütme	3 dak 16 mm 200x büyütme	3 dak 20 mm 200x büyütme
		
5 dak 12 mm 200x büyütme	5 dak 16 mm 200x büyütme	5 dak 20 mm 200x büyütme
		
1 dak lama demir 200x büyütme	3 dak lama demir 200x büyütme	5 dak lama demir 200x büyütme

Şekil 4.4. Optik mikroskop yardımı ile alınan içyapının görüntüleri

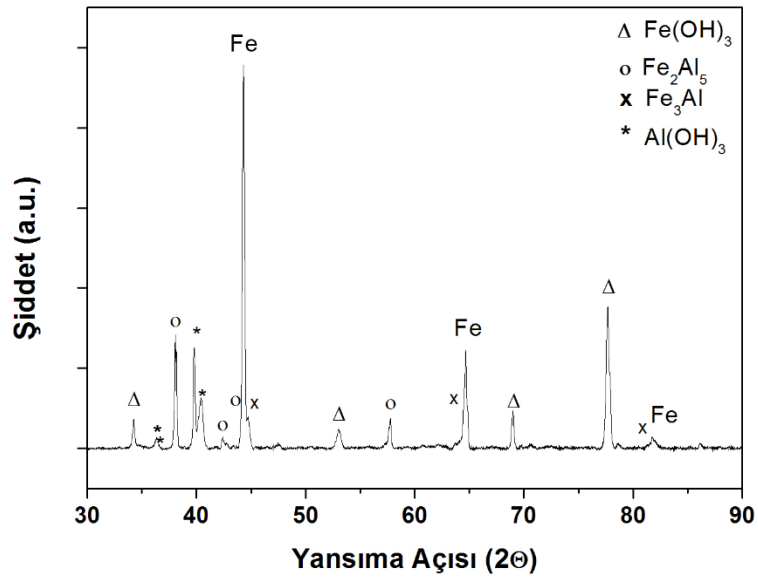
Çizelge 4.1’de alüminyum kaplanmış malzemelerde oluşan difüzyon tabaka kalınlığının ölçümleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kaplama yapılan malzemelerde ölçülen difüzyon kalınlıkları

Süre	Numune boyutu	Ölçüm değeri(μm)
1 dak	12 mm	Ölçüm yapılamadı
1 dak	16 mm	Ölçüm yapılamadı
1 dak	20 mm	40
3 dak	12 mm	70
3 dak	16 mm	100
3 dak	20 mm	100
5 dak	12 mm	130
5 dak	16 mm	120
5 dak	20 mm	64

Difüzyon tabakasında oluşan fazların bulunması amacıyla, numuneler %10’luk NaOH çözeltisinde, üzerindeki Al katmanının tamamen temizleninceye kadar bekletilmiş, ardından XRD incelemeleri yapılmıştır.

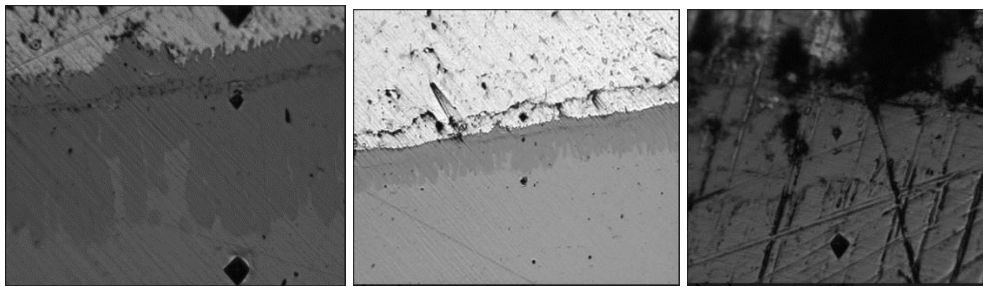
Numunelere 30-100° arasında Cu K α x- ışını kaynağı kullanılarak XRD incelemesi yapılmış ve sonuçlar Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Numunelerden alınan XRD ölçüm sonuçları

Kaplama sonrası difüzyon tabakasının Fe₂Al₅-Fe₂Al fazların, yapı içerisinde oluştuğu görülmüştür.

Aşağıdaki Şekil 4.6’da kaplama yapılmış numunelerden alınan sertlik görüntüleri verilmiştir.



Şekil 4.6. Ana metal-ara tabaka-kaplama tabakalarından alınan sertlik görüntüleri

Ölçümü yapılmış sertlik değerleri ise Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Hv 0,01 10 s süre ile silindirik çelik numunelerden alınan sertlik ölçüm sonuçları

1 dk süre ile kaplanan numuneler	Küçük	Çelik	270
		Ara Tabaka	852
		Alüminyum	121
	Orta	Çelik	290
		Ara Tabaka	455
		Alüminyum	104
	Büyük	Çelik	270
		Ara Tabaka	413
		Alüminyum	106

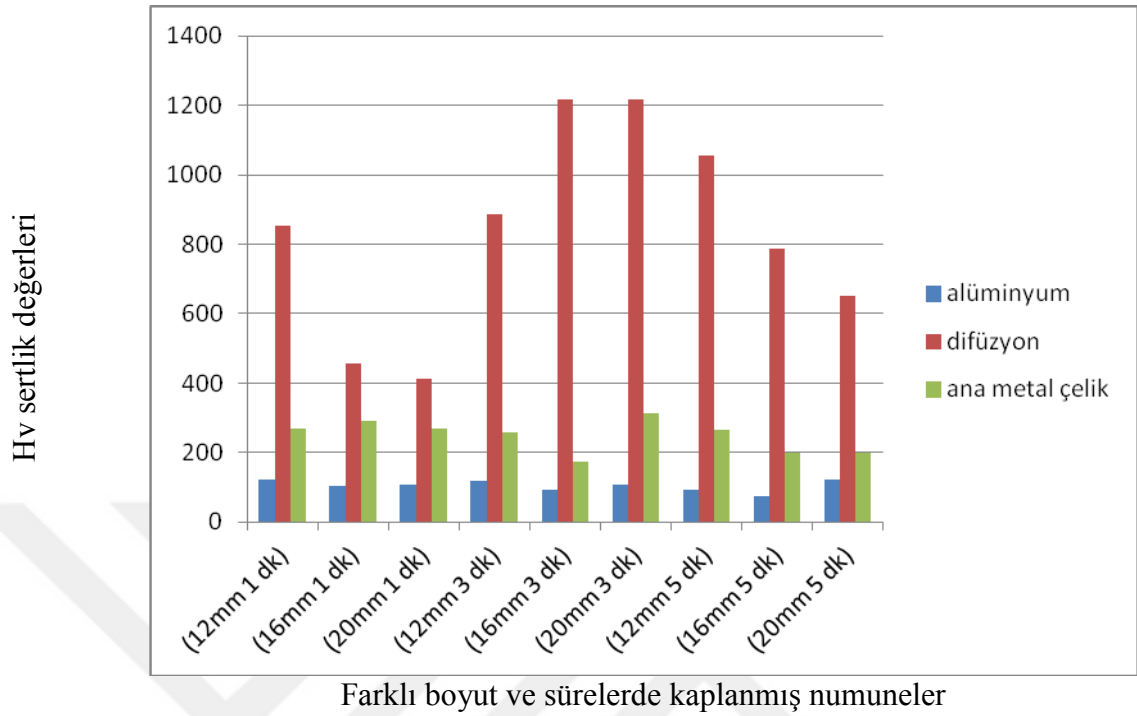
(a)

3 dk süre ile kaplanan numuneler	Küçük	Çelik	257
		Ara Tabaka	887
		Alüminyum	117
	Orta	Çelik	175
		Ara Tabaka	1216
		Alüminyum	94,6
	Büyük	Çelik	312
		Ara Tabaka	1218
		Alüminyum	107

(b)

5 dk süre ile kaplanan numuneler	Küçük	Çelik	264
		Ara Tabaka	1056
		Alüminyum	93,3
	Orta	Çelik	200
		Ara Tabaka	786
		Alüminyum	75,1
	Büyük	Çelik	200
		Ara Tabaka	652
		Alüminyum	123

(c)



Şekil 4.7. Kaplama yapılmış numunelerin tabakalarından Hv 0.01 g 98.7 mN 10 s süre ile alınmış sertlik değerleri

4.2. Kaplama Yapılmış Malzemelere Uygulanan Korozyon Deneyi

Korozyon deneyleri %3.5'lik NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiştir. Tuzlu su çözeltisine alınmadan önce her bir numunenin ağırlıkları tartılmış ve yaklaşık 72 saat boyunca çözelti içerisinde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler çözelti içerisinde çıkarılarak ağırlıkları ölçülmüş ve ağırlık kayıpları hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3'de ise alüminyum kaplanan silindirik çelik numunelerin korozyon deneyinden önceki ve deney sonundaki ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 4.3. Alüminyum kaplanmış silindirik çelik numunelerin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri

Süre	Boyut	Ağırlık(gr)		Fark (gr)
		Önce	Sonra	
1 dak	12 mm	64.879	64.889	0.01
1 dak	16 mm	110.880	110.905	0.025
1 dak	20 mm	184.130	184.184	0.054
3 dak	12 mm	64.057	64.066	0.09
3 dak	16 mm	102.577	102.575	0.002
3 dak	20 mm	160.206	160.223	0.017
5 dak	12 mm	66.427	66.425	0.002
5 dak	16 mm	103.939	103.949	0.01
5 dak	20 mm	171.592	171.610	0.018

Çizelge 4.4. Kaplama yapılmamış silindirik çelik numunelerin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri

BOYUT	AĞIRLIK(gr)		Fark (gr)
	Önce	Sonra	
12 mm	63.023	62.283	0.74
16 mm	113.266	112.416	0.85
20 mm	177.511	176.584	0.927

Çizelge 4.5’de ise kaplama kalitesi silindirik çelik numunelere kıyasla biraz daha düşük gerçekleşen, 5 dak’lık süre ile kaplama gerçekleştirilmiş lama çelik numunenin, korozyon deneyine alınmadan önceki ve sonraki ağırlığı tartılarak belirtilmiştir

Çizelge 4.5. 5 dak süre ile kaplanmış lama çelik numunenin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri

SÜRE	AĞIRLIK(gr)		Fark (gr)
	Önce	Sonra	
5 dak	126.057	126.053	0.004

Çizelge 4.6. Kaplanmamış lama çelik numunenin korozyon deneyinden önceki ve sonraki ağırlık değerleri

AĞIRLIK(gr)		Fark (gr)
Önce	Sonra	
112.788 gr	112.687	0.101

Şekil 4.8’de ise silindirik ve lama çelik numunelerin korozyon deneyinden sonraki görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Silindirik ve lama çelik numunelerin korozyon deneyinden sonraki görüntüleri

Bu çalışmada az karbonlu inşaat çeliği ve St-37 lama çelik numuneler kullanılmıştır. İnşaat çeliği olarak farklı üç çapta (12mm, 16mm, 20mm) alınan numuneler 1-3-5 dak süreler halinde eriyik alüminyum banyosuna daldırılmış daha sonra suda 1-2 saniye tutularak hava ortamında soğumaya alınmıştır.

Çelik numunelerin yüzeyleri kaplama öncesi temizlenmiş ve daha sonra eriyik alüminyum banyosuna daldırılmıştır. Kaplama yapıldıktan sonra soğumaya alınan numunelerin belirli bölgelerinden alınan örnekler bakalit içerisine alınarak parlatma ünitesinde parlatılmıştır.

Parlatma işleminden sonra optik mikroskop ile içyapı incelenmiş ve kaplama tabakası ile ana metal arasında oluşan yapının görüntüleri alınmıştır. Alınan bu görüntülerde difüzyona uğrayan bölgelerde intermetalik fazların oluştuğu görülmüştür.

Bakalit içerisinde parlatması gerçekleştirilen malzemelere sertlik deneyi uygulanmış, ana metal ara tabaka ve kaplama tabakalarından sertlik ölçümleri alınmıştır.

Daha sonra kaplanan ve kaplanmayan malzemeler için %3.5'lik NaCl çözeltisi hazırlanarak 72 saat korozyon deneyi gerçekleştirilmiş, bu deneyler ışığında malzemelerin korozyona uğrayıp uğramadığı araştırılmıştır.

5. SONUÇLAR

Sıcak daldırma yöntemiyle yüzeyleri alüminyum kaplama yapılan az karbonlu inşaat çeliği ve St-37 lama çelik malzemesinin, kaplanan yüzeylerindeki sertlik değerleri ana metale göre daha yüksek bir değerde olduğu gözlenmiştir. Değerlerin bu denli yüksek olması, yüzeye difüze olan ve tabakada oluşan Fe_2Al_5 intermetalik faz olarak bilinen yapıların varlığından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu fazların oluşumunun daha çok küçük çaptaki numunelere uzun sürede gerçekleştirilen kaplama işleminin sebep olduğu tespit edilmiştir. Ancak 1 dak kaplama süresi ile kaplama yapılan 12-16 mm'lik çaplardaki numunelerde difüzyon tabakasının oluşmadığı gözlenmiştir.

Özellikle yapı ve boyut itibari ile daha küçük çaptaki malzemelerin, kaplama süresine bağlı olarak kaplama tabakasının daha iyi olduğu görülmüştür. Bu yüzden küçük çaptaki malzemelerin ara tabakalarındaki sertlik değerleri diğer numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kaplama yapılan numunelerin yüzeylerindeki pürüzlülük açısından değerlendirildiğinde, silindirik numunelerin yüzeylerinde bulunan nervürün kaplama kalitesini oldukça iyi duruma getirdiği kaplanan alüminyum yüzeyinin, lama çelik numunesinin yüzeyine göre daha iyi yapıldığı görülmüştür.

Kaplama yapılan numuneler tuzlu su çözeltisinde hazırlanan korozyon deneyine tabi tutulmuş ve kaplama yapılmayan diğer çelik numunelere kıyasla korozyon olayına uğramadığı görülmüştür.

Kaplama işlemi gerçekleştirildikten sonra soğutmak için su içerisine daldırılan numunelerin 1-2 saniyeyi geçmeden tekrar hava ortamı içerisinde soğutulması, kaplama tabakasının daha iyi tutunduğunu göstermiş, bu sayede hem korozyon dayanımının arttığını hem de ara yüzeyin daha sert oluşmasını sağlamıştır.

Literatürde gerçekleştirilen bir çalışmada kaplama işlemi yapıldıktan sonra kaplama tabakasının daha iyi yapışması için difüzyon tavlama gerçekleştirilmiştir. Bu işlem seri üretim için düşünüldüğünde hem zaman kaybına hem de maliyete oldukça zarar verdiği tespit edilmiştir. Ancak görüldüğü üzere gerçekleştirilen bu tez çalışmasında özellikle küçük çaptaki malzemeler açısından, kaplama işleminden sonra tekrar bir difüzyon tavlama gerekliliği kalmamış ve yüzeyin gayet iyi bir şekilde kaplandığı görülmüştür.

Gerçekleştirilen bu çalışma için belirlenen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Özellikle yapı ve inşaat işlerinde kullanılan bu çelik malzemenin, beton içerisinde korozyona uğramaması için yüzeyi sıcak daldırma yöntemiyle alüminyum kaplanabilir.
- Seri bir üretim prosesi hazırlanıp, çelik numuneler eriyik banyo içerisine daldırılarak kaplanma işlemi gerçekleştirilebilir.
- Özellikle küçük çaplardaki inşaat çeliklerinin kaplama süresi itibari ile uzun bir kaplama işleminden geçirilerek, kaplama tabakasının daha kaliteli oluşmasını ve difüzyon olayının hızlandırılması sağlanabilir.
- Bu süreç iyi hazırlandığında yüzey sertliğinin ve korozyon dayanımının daha da arttığı gözlemlenebilir.
- Bir başka sonuç ise, kaplanan yüzeylerin suda 1-2 saniyeyi geçmeden daldırılıp çıkartılarak hava ortamında soğutulması, kaplama tabakasının daha iyi bir şekilde yapıştığını gözler önüne sermektedir.

KAYNAKLAR

- Akkum, V., 2006. "Galvanik anotla yapılan katod koruma Uygulamalarında anot verimliliğinin belirlenmesi ve ölçülmesi". Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, s-4.
- Aköz, F., Çakır, Ö., 2013. "Betonarme Korozyonu". Hazır Beton, s-70-85.
- Alsaran, A., Çelik, A., Karakan, M., Yetim, F., 2003. "Yüzey mühendisliğinde yeni bir yaklaşım; dubleks yüzey işlemi". Mühendislik bilimleri dergisi, 9(1), s-1-7.
- Altakan, C., 2011. "AISI 1010 ve AISI 1040 çeliklerine nikel ve krom yayındırılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi". Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s-29-35.
- Altun, H., 1998. "Sıcak daldırma yöntemiyle çeliğin çinko ve çinko-alüminyum alaşım ile kaplanması". Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, s-3-6-8-9-10.
- Azem, F., Çakır, A., 2009. "Sol-jel yöntemi ile implant kalite 316L paslanmaz çelik üzerine üretilen hidroksiapatit kaplamaların morfolojisi üzerine ısıl işlem rejiminin etkisi". Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 10(1), s-291-298.
- Awan, H. G., 2001. "The Morphology of Coating-Substrate Interface in Hot-Dip-Aluminized Steels". Doctor of philosophy, Department of Metallurgical & Materials Engineering University of Engineering and Technology Lahore, Pakistan, s-2-4-14.
- Bhushan, B., Gupta, K. B., 1991. "Handbook of tribology, Materials, coatings, and surface treatments". United States of America, s-49-50, Newyork.
- Bülbül, F., 2006. "Darbeli-dc manyetik alanda sıçratma yöntemi ile kaplanan TiB₂ ve ME-DLC filmlerin mekanik, yapısal ve tribolojik özelliklerinin araştırılması". Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, s-27.
- Callister, D. W., Rethwisch, G. D., 2014. "Malzeme bilimi ve mühendisliği, Materials science and engineering". Nobel yayıncılık, s-675, İstanbul.
- Eggeler, G., Auer, W., Kaesche, H., 1986. "On the influence of silicon on the growth of the alloy layer during hot dip aluminizing". Journal of materials science, 21, s-3348-3350.
- Elkoca, O., 1998. "Sıcak daldırma galvenizlemede çelik yüzey özelliklerinin kaplama davranışına etkisi". Doktora tezi, Yıldız Teknik üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s-4.
- Ezirmik, V. K., 2000. "Nitrür seramik kaplamaların yüksek sıcaklıklarda oksidasyon davranışının incelenmesi". Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, s-15-22.
- İnal, G., 2013. "Asit çözeltisi içinde alüminyumun korozyonunun aminoasitlerle kontrolü". Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s-3-5.
- Koç, E., 2008. "Çinko ve bakırın sabit tavlama sıcaklığında 1050 alüminyum alaşım serisine difüzyonunun süreye bağlı değişimi". Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, s-2-3.

- Kobayashi, S., Yakou, T., 2002. "Control of intermetallic compound layers at interface between steel and aluminum by diffusion-treatment". *Materials Science and Engineering*, 338-s-44-53.
- Köksal, S., N., 2009. "Sıcak daldırma yöntemi ile alüminyum kaplanan çelik malzemelerde yüksek sıcaklık oksidasyonunun incelenmesi". *DEÜ mühendislik fakültesi fen ve mühendislik dergisi*, 11(31), s-1-9.
- Megep., 2006. "Metal teknolojisi yüzey sertleştirme-1". Milli Eğitim Bakanlığı yayın evi, s-1-27, Ankara.
- Mısırlı, C., 2011. "5083 kalite alüminyum alaşımının homojenize edilerek sertlik değerlerinin ve mikroyapılarının incelenmesi". Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, s-35.
- Onaran, K., 1997. "Malzeme bilimi ders kitabı". Bilim teknik yayın evi, 167, s-67-68, Türkiye.
- Pasinli, A., Köksal, S., 2004. "Alüminyum kaplanan çelik malzemelerde yüzey özelliklerin incelenmesi". *Mühendis ve makine dergisi*, 45(536), s-42-45.
- Pekgöz, B., Sarıdemir, S., Uygur, İ., Aslan, Y., 2013. "Sementasyon işleminin farklı çeliklerin mikroyapı ve sertlik değerlerine etkileri". *Makine teknolojileri elektronik dergisi*, 10(1), s-19-24.
- Pe'rez, J., F., Hierro, P., M., Pedraza, F., Gomez, C., Carpintero, C., M., 1999. "Aluminizing and chromizing bed treatment by CVD in a fluidized bed reactor on austenitic stainless steels". *Surface and Coatings Technology*, 120(121), s-151-157.
- Sarı, Y., N., Yılmaz, M., 2005. "Ni esaslı kaplamaların abrazyon+erozyon aşınma direncine ısı püskürtme yönteminin ve WC ilavesinin etkisi". *Mühendis ve makine dergisi*, 46(541), s-14-20.
- Sarıkaya, Ö., 2007. "Aşınmaya karşı yüzey mühendisliği yöntemleri", S-322, Sakarya.
- Şakar, G., 1998. "İyon nitrürasyon düzeneyinin imali ve uygulaması". Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, s-8.
- Topal, E., 2016. "Alüminyum için korozyon inhibitörü olarak kullanılan bazı proton pomp inhibitörlerinin kuantum kimyasal olarak incelenmesi". Yüksel lisans tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, s-3-9.
- Tuna, N., 2013. "Çinko ve nikel kaplanmış düşük karbonlu çelik plaka ve vidaların korozyon davranışının incelenmesi". Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s-3-4.
- Ünlü, S., B., Yılmaz, S., 2006. "Bor ve borlamanın kullanım alanları". *Mühendis ve makine dergisi*, 47(552), s-48-54.
- Yeşildal, R., Günay, Z., Y., 2007. "Plazma sprey yöntemi ile kaplama ve sprey karakteristiklerinin incelenmesi". *DEÜ mühendislik fakültesi fen ve mühendislik dergisi*, 9(1), s-59-76.

ÖZGEÇMİŞ

Şükrü ÇALI 1983 yılında Eskişehir’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir’de tamamladı. 2003 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Öğretmenliği Bölümünü kazanarak, 2007 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2014 yılında lisans tamamlama sınavını kazanarak, Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümüne yerleşti. 2016 yılında bu bölümden mezun oldu. Eylül 2014’de Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Anabilim Dalında yüksek lisans yapma hakkını kazandı. Evli ve bir erkek çocuk babasıdır.