



MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜZEYİ ÇEŞİTLİ TİPLERDE KAPLANMIŞ GALVANİZLİ SACLARIN
BÜKÜM BÖLGELERİNDE OLUŞAN TAHRİBATIN İNCELENMESİ**

MEHMET ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Antakya/HATAY
ŞUBAT-2013

**MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜZEYİ ÇEŞİTLİ TİPLERDE KAPLANMIŞ GALVANİZLİ SACLARIN
BÜKÜM BÖLGELERİNDE OLUŞAN TAHRİBATIN İNCELENMESİ**

MEHMET ÇETİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA danışmanlığında hazırlanan bu tez 11.02.2013 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. İ. Hakkı
KARAHAN

Başkan

Yrd. Doç. Dr. Selçuk
MISTIKOĞLU

Üye

Yrd. Doç. Dr. Erdoğan
KANCA

Üye

Bu tez Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. İlhan ÜREMİŞ

Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1 Korozyonun Tanımı	2
1.2 Korozyonun Oluşumu	4
1.3 Korozyon Hızı ve Önemi	5
1.3.1 Havadaki nemin etkisi	8
1.3.2 Endüstriyel kirleticilerin etkisi	8
1.3.3 Sıcaklığın etkisi	9
1.3.4 Yağış ve rüzgarın etkisi	10
1.4 KOROZYON HIZININ ÖLÇÜMÜ	10
1.4.1 Kütle Azalması Yöntemi	10
1.4.2 Lineer Polarizasyon Yöntemi	10
1.4.3 Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi	11
1.4.4 Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi	11
1.5 Korozyona Karşı Alınacak Önlemler	14
1.5.1 Korozyon Ortamında Alınan Önlemler	14
1.5.2 Malzemede Alınan Önlemler	15
1.5.2.1 Yüzey hazırlama	15
1.5.2.2 Metalik kaplama yöntemleri	19
1.5.2.3 İnorganik kaplamalar	21
1.5.2.4 Organik kaplamalar (Boyalar)	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
3. ÇELİK SAÇLARIN GALVANİZ KAPLANMASI	26
3.1 Sıcak daldırma ile çinko kaplama yöntemleri	28
3.1.1 Yığın yöntemi	28
3.1.2 Sürekli yöntem	29
3.2 Alaşımli çinko kaplama	31
3.2.1 Alaşımli tavlama (Galvannealing)	32
3.3 Galvanizli saçların şekillenebilirliği	34

3.4	Çelik Sacların Şekillendirilmesi.....	37
3.4.1	Sac şekillendirme yöntemleri.....	37
3.4.1.1	Kesme.....	37
3.4.1.2	Bükme	38
3.4.1.3	Sıvama.....	38
3.4.1.4	Gererek biçimlendirme.....	39
3.4.1.5	Çekme	39
3.5	Sac Biçimlendirme İşlemlerinde Görülen Hatalar	40
3.5.1	Kırılma	40
3.5.2	Buruşma ve kırışma.....	40
3.5.3	Şekil bozukluğu.....	40
3.5.4	Serbest metal	41
3.5.5	İstenmeyen yüzey yapısı	41
3.5.6	Çatlama ve yırtılma	41
3.5.7	Yüzey bozukluğu	41
4.	GALVANİZLENMİŞ SACLARIN BOYAYLA KAPLANMASI	42
4.1	Bobin Boyama Prosesi	42
4.2	Boyalı Metal Kullanım Alanları	44
4.3	Kalite Kontrol ve Test Uygulamaları.....	45
4.3.1	Boya Türleri	47
4.3.1.1	Polyester Esaslı Boya.....	47
4.3.1.2	PVDF Esaslı Boya	48
4.3.1.3	Plastisol Esaslı Boya	48
4.3.1.4	Poliüretan Esaslı Boya	48
4.3.2	Kaplama Türleri	48
4.3.2.1	PVC Film Kaplama	48
4.3.2.2	PET Film Kaplama.....	49
4.3.2.3	PE / Protective Film Kaplama.....	49
4.4	Boyaların ve Performans Mukayeseleri	50
5.	ÇALIŞMANIN ÖNEMİ VE AMACI.....	52
6.	MATERYAL VE METOD.....	54
6.1	Materyal	54
6.2	Metod	63
6.3	Çalışma Planı	69
6.3.1	Numune Hazırlanması.....	70
6.3.2	Soğuk Şekillendirme	70
6.3.3	Hızlı Korozyona Zorlama İşlemi	70
6.3.4	Gözlem	70
6.3.5	Sonuç.....	70
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71

8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
9. KAYNAKLAR	79
TEŞEKKÜRLER	83
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ÖZET**YÜZEYİ ÇEŞİTLİ TİPLERDE KAPLANMIŞ GALVANİZLİ SACLARIN
BÜKÜM BÖLGELERİNDE OLUŞAN TAHRİBATIN İNCELENMESİ**

Soğuk haddelenmiş ve tavlanmış, düşük karbonlu çelikler atmosfer şartlarında kullanıldığında zamanla çok hızlı bir şekilde korozyona uğramaktadırlar. Malzemenin korozyon direncinin arttırılması için, atmosfer şartlarında demire göre daha inert olan metal ya da organik malzemelerle kaplama yapılmaktadır. Bu kaplanmış malzemeler, çoğu zaman değişik oranlarda soğuk şekillendirilerek kullanılmaktadır. Soğuk şekillendirmenin, sac yüzeyine yapılan kaplamanın türü ve kalınlığına bağlı olarak, malzemenin kaplamasında tahribata sebep olabileceği ve bunun sonucunda korozyona açık bir hale geleceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, piyasa koşullarında en fazla kullanılmakta olan, 0,50 mm kalınlığında, sıcak daldırma metodu ile her iki tarafı 50 g/m² Çinko kaplanmış DX51D+Z100 (EN 10327) kalite saclar kullanıldı. Saclardan biri galvanizli olarak bırakılarak, galvaniz kaplı diğer sacların tümüne önce 5 µm kalınlığında poliester astar boya uygulanıp üzerlerine de üç farklı kalınlıkta (Poliester, PVDF ve Plastisol) boya laboratuvar koşullarında uygulandı. Elde edilen on değişik numune 180 derece katlanarak büküldü, katlama yapılan bölgeler korozyona zorlandı ve fotoğraflama işlemleri yapılarak kaplama kalınlıkların ve boya türlerinin korozyona karşı dirençleri incelendi.

Plastisol boya ile kaplanmış sacların katlama bölgelerinde korozyona en dayanıklı boya olduğu, kaplama kalınlığının artması korozyon direnciyle paralellik gözetmediği anlaşılmaktadır.

2013, 95 sayfa

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Sıcak Daldırma, Çinko kaplama, Boya Kaplama, Soğuk Şekillendirme

ABSTRACT**VARIOUS TYPES OF SURFACE COATED GALVANIZED SHEETS, ANALYSES
DAMAGE OF BENDING REGIONS**

Cold-rolled and annealed, low carbon steels used in atmospheric conditions over time, very quickly suffer corrosion. Material to improve corrosion resistance, the material is coated with a more inert metal than the iron in atmospheric conditions or coated with an organic material. These materials are often used in different proportions cold shaping. It is thought that, cold forming makes a deformation on the coating of the material depending on the kind and thickness of the coating which causes to weaken the corrosion resistance of the material.

In this study, the most being used in market conditions, 0,50mm.thick, hot-dip zinc coated 50 gr/m² on both sides by the method DX51 + Z 100 (EN 10327) quality plates were used. As one of the galvanized sheets, leaving all of the first 5 mm thick galvanized steel sheet coated polyester primer coating is applied on them in three different thickness (polyester, PVDF, Plastisol) coating applied to laboratory conditions. Obtained ten different samples were bent 180° exponentially, doubling regions were forced to corrosion and photographic processes were made coating thickness and type of the paint corrosion resistance were investigated.

Corrosion resistance of the plastisol coated sheet metal folding regions is most durable paint, when coating thickness increases, corrosion resistance is not different were understood.

2013, 95 page

Key Words: Corrosion, hot-dip, zinc coating, paint coating, cold forming

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Tanım
ASTM	Amerikan Test ve Malzemeler Derneği
Cl	Klor
Cr	Krom
Cu	Bakır
°C	Derece
GSMH	Gayri safi milli hasıla
H	Hidrojen
KBN	Kritik bağıl nem
L	Litre
m	Metre
m ³	Metre küp
mg	Mili gram
mg/lt	Miligram/litre
mm	Milimetre
Na	Sodyum
Nbs	National (National Buruea of Standart)
Ni	Nikel
O	Oksijen
P	Pascal
pH	Asit-baz miktarı
SEGEM	Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi
St	Steel (Çelik)
TS	Türk Standartları
V	Volt
Zn	Çinko
µm	Mikrometre

ÇİZELGELER DİZİNİ

Tablo 1-1 Çeliğin çeşitli atmosferler içinde korozyon hızı (Yalçın H., Koç T. 1991)	7
Tablo 1-2 Atmosferik kirleticiler ve tipik konsantrasyonları (Yalçın H., Koç T. 1991)	9
Tablo 4-1 ECCA - European Coil Coating Association Standartları.....	45
Tablo 4-2 ECCA Test Metotları Standart Uygulama ve Toleransları.....	46
Tablo 4-3 Genel Performans Mukayesesi	50
Tablo 4-4 Çevre Koşul / Ortam Performans Mukayesesi	51
Tablo 6-1 Çalışmada kullanılan sacların genel özellikleri	60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1-1 Korozyon sebebiyle oluşan hasar (Kaftan, M.A. 2006)	3
Şekil 1-2 Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri. (Sarıtaş 2007).....	12
Şekil 3-1 450°C’de Al içermeyen bir çinko banyosunda çok düşük karbonlu bir çeliğin 300s galvanizlenmesi sonrasında kaplama yapısında görülen fazlar. (1) Gama fazı Γ γ , (2) Delta fazı δ , (3) Zeta fazı ζ , (4) Eta fazı η (27) (Elkoca, O. 2006).....	28
Şekil 3-2 Sürekli galvanizleme hattı (CGL) şematik gösterimi (Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş. 2006).....	30
Şekil 3-3 Tavlama ünitesi boyunca ilerleyen şeridin tipik sıcaklık profili (Banabic, D. 2000)	33
Şekil 3-4 Galvanizli parçaların biçimlendirilmesinde ortaya çıkan problemleri (Özenbaş,M. 1995)	34
Şekil 3-5 Fe İçeriği ve Kaplama Ağırlığının Tozlaşma Üzerindeki Etkisi (Özenbaş, M. 1995).....	35
Şekil 3-6 Şekillendirme özellikleriyle kaplamadaki Fe içeriği ve Fe-Zn fazları arasındaki ilişki (Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K. 1993)	37
Şekil 3-7 Kesme işleminin şematik gösterimi (Dieter, G. E).....	37
Şekil 3-8 Bükme işleminin şematik gösterimi (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000).....	38
Şekil 3-9 Sıvama işleminin şematik gösterimi (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000).....	38
Şekil 3-10 Gererek biçimlendirmenin şematik gösterimi (Banabic, D. 2000).....	39
Şekil 3-11 Derin çekme işleminin şematik gösterimi (Banabic, D. 2000).....	39
Şekil 4-1 Bobin Boyama Prosesi (Kolor Metal)	43
Şekil 4-2 Boya Kaplı metallerin Kullanım Alanları	44
Şekil 4-3 PVC Film Kaplama (Kolor Metal)	49
Şekil 4-4 PET Film Kaplama	49
Şekil 4-5 PE / Protective Film Kaplama (Kolor Metal).....	49
Şekil 6-1 Şeritlerin iç yapıları (Danielli 2009).....	54
Şekil 6-2 Sacın yüzey Kaplama Bölgesi (Danielli 2009).....	56
Şekil 6-3 Çelik ve çinko alaşımının mikro düzeydeki durumu (Danielli 2009)	58

Şekil 6-4 % Si elementinin Çinko kaplama kalınlığına etkisi	59
Şekil 6-5 Jet Hava Bıçağı Mekanizması (Danielli 2009).....	61
Şekil 6-6 Bar Aplikatör	65
Şekil 6-7 Kuru (solda) ve Yaş (sağda) film kalınlık ölçer	67
Şekil 6-8 Boya Kürleme Fırını.....	67
Şekil 6-9 Astar kaplı (solda) son kat polyester boya kaplı (sağda) saclar	68
Şekil 7-1 Korozyona uğramış galvanizli sac fotoğrafı Beyaz pas içeren kare sayısı 198, topam kare sayısı 576 ve $\%Korozyon = 198/576 \cdot 100 = \%34,4$	71
Şekil 7-2 Kaplama tahribatı ve korozyon oluşum süreci	74
Şekil 8-1 Üç farklı kalınlıkda kaplanmış PVDF boyanın zamana göre değişimi	77
Şekil 8-2 Üç farklı kalınlıkda kaplanmış Poliester boyanın zamana göre değişimi	77

1. GİRİŞ

Metal malzemeler doğal koşullar altında, bulundukları ortamdaki elemanlarla kimyasal reaksiyona girerek bozunuma uğrarlar. Bu bozunmaya önlem alınmaz ise zamanla metal malzemenin korozyona uğrayacağı ve kullanılamaz hale gelmesi kaçınılmazdır.

Korozyonu önlemek veya korozyondan korunmak için birçok yöntem geliştirilmiştir. Uygun metal seçimi ve bilinçli tasarım yapıldığı sürece, en önemli yenim önleme yöntemi yüzey kaplama uygulamalarıdır. Yüzey kaplama sonrasında ise malzemelere genellikle soğuk şekillendirme işlemleri uygulanmaktadır. Bu soğuk şekillendirme sonrasında malzemenin yüzeyine kapladığımız kaplamada ise ister istemez bazı deformasyonlar olabilmektedir. Kaplamada oluşan bu çatlak bölgelerde korozyon oluşumu başlamaktadır.

Bu tezin birinci bölümünde, korozyonun tanımı, korozyonun oluşumu, korozyonun hızını etkileyen faktörlerin neler olduğu, korozyon hızı ölçümünün nasıl yapılacağı ile ilgili yöntemlerin neler olduğu ve korozyondan korunmak için ne tür önlemler alınabileceği detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

İkinci bölümde, yaptığımız bu çalışmaya benzer daha önce yapılmış çalışmalardan bahsedilmiştir. Yapılmış olan bu çalışmaların kimler tarafından, ne zaman yapıldığı ve hangi konuların araştırıldığından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, yüzey kaplama çeşitlerinden çelik sacların galvaniz (çinko) ile kaplanmasından bahsedilmiştir. Hangi yöntemler kullanılarak galvanizleme yapıldığından bahsedilmiştir. Galvanizlenmiş saclara kaplama işleminden sonra yapılan süreçlerden de bahsedilmiştir. Galvanizli sacların şekillendirilebilirliği, ne tip şekillendirmelerin yapıldığı ve şekillendirme sırasında meydana gelebilecek hataların neler olabileceği anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, galvanizlenmiş sacların boya ile kaplanmasından ve boya türlerinden bahsedilmiştir. Bobin boyama prosesinin nasıl çalıştırıldığından, boyalı sac ürününün nerelerde kullanıldığından, boyalı sac'a hangi kalite testlerinin yapıldığından, boya kaplama türlerinden ve çeşitli boya tiplerinde kaplanmış boyalı sac'ların performans mukayeselerinin elde edilmiş sonuçları açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, çalışmanın önemi ve amacı açıklanmıştır. Dünyadaki kaplanmış sac tüketiminin, galvaniz kaplı sac tüketiminden boya kaplı sac tüketimine doğru bir yönelimde olduğu, nihai tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak için kullandıkları sac malzemelerin hangi koşullarda, ne türde ve hangi nitelikte bir sac malzeme kullanmaları gerektiğini tam olarak bilemedikleri ve sonuçta nihai tüketicilerin bilinçsizce malzeme seçiminin ileride malzemenin kaplamasında meydana gelen tahribatlar sonucunda korozyonlanmaya karşı bir zafiyet doğurduğundan bahsedilmiştir. Tüketicinin uzun yıllar kullanabileceği malzeme daha kısa zamanda kullanılmaz hale gelebilmektedir. Bu da bu çalışmamızın ne kadar önem arz ettiğini göstermektedir. Bu çalışmamızın önemi de bu bölümde anlatılmıştır.

Altıncı bölümde, bu çalışmada kullanılan malzemelerden ve uyguladığımız çalışma metodolojisinden detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Çalışma için hazırladığımız numunelerin hangi üretim yöntemleri kullanılarak üretildiği, hangi kaplama malzemeleri ile hangi kalınlıklarda kaplama yapılarak hangi numunelerin hazırlandığı, hazırlanmış bu numunelere uygulanan soğuk şekillendirme, sonrasında uygulanan korozyona zorlama prosesi ve gözlemlene prosesinde detaylı bir şekilde bahsedilmiştir. Ayrıca bu çalışmaları yaparken kullanılan araç ve gereçlerin neler olduğu da anlatılmıştır.

Yedinci bölümde, çalışma sonucunda elde ettiğimiz bulguların neler olduğu ve bunların analizi yapılmış ve tartışılmıştır. Korozyona zorlama işlemleri sırasında her 24 saatte bir fotoğraflanmış ve bu fotoğraflar görsel olarak verilmiştir. Numunelerden çekilen fotoğraflar şablon metodu kullanılarak analiz edilmiş ve tahribat oranları hesaplanmıştır.

Sekizinci bölümde, şablon metodu kullanılarak elde edilen bu matematiksel veriler grafiksel olarak şekiller ile gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda ne tür önlemler alabileceğimiz açıklanmıştır.

1.1 Korozyonun Tanımı

Metaller doğada bileşik halinde bulunurlar. Bu bileşiklerden ilave malzeme, enerji, emek ve bilgi kullanmak suretiyle metal veya alaşım üretilir. Üretilen metal ve alaşımların ise tekrar kararlı durumları olan bileşik haline dönme eğilimleri yüksektir. Bu nedenle, metaller içinde bulundukları ortamın elemanları ile reaksiyona girerek önce iyonik duruma, sonra da ortamdaki başka elementlerle birleşerek bileşik haline dönmeye çalışırlar.

Böylece, kimyasal değişime veya bozunuma uğrarlar. Sonuçta, metallerin fiziksel, kimyasal, mekanik ve elektriksel özelliklerinde istenmeyen bazı değişiklikler meydana gelir ve bu değişiklikler bazı zararlara yol açar. Hem metal malzemelerin bozunma reaksiyonuna, hem de bu reaksiyonun neden olduğu zarara korozyon adı verilir. Genel anlamda ise; ortamın kimyasal ve elektrokimyasal etkilerinden dolayı metalik malzemelerde meydana gelen hasara korozyon denir. (Dillon, C. P. 1982)



Şekil 1-1 Korozyon sebebiyle oluşan hasar (Kaftan, M.A. 2006)

Korozyon en geniş tanımıyla, metal ve alaşımlarının çevreleri ile girdiği reaksiyonlar sonucunda özelliklerinin bozulmasıdır. Diğer bir ifade ile korozyon, “metal yapı alaşımlarının, elektrokimyasal özellikleri ve bulundukları ortamın etkisi ile süreye bağlı olarak kemirilip tahrip olmaları şeklinde tanımlanabilir. (Eriç, M. 1994)

Korozyon doğrudan ürün kaybına yol açabildiği gibi (delinmiş depo veya iletim hattı borularında petrol veya su kaybı) ürünü kirleterek kullanılmaz hale dönüştürebilir. (korozyon ürünlerinin ana ürüne karışması). Korozyon ürünlerinin yüzeysel yığılması ısı geçirgenlik katsayısını önemli ölçüde düşürerek (örneğin; sıcak su ve buhar hazırlama tesislerinde) verimin düşmesine yol açar. Bu türden kayıplar dolaylı kayıplar olarak tanımlanırlar. (Dillon, C. P. 1982)

Emniyet faktörünün önemini ortaya koyan etmen korozyondur. Örneğin, korozyonun sonucunda oluşan beklenmedik malzeme bozunmaları, yüksek basınçlı kazan ve benzeri tesislerin patlamasına ve çevreye zarar vermelerine neden olabilir. İlginç örneklerini günlük yaşamımızda gözlemleyebileceğimiz bir diğer tehlike de, gıda maddelerinin korozyon ürünleri ile kirlenerek sağlığa zararlı hale gelmeleridir (Doruk, M. 1982)

Korozyona ilginin bir başka kaynağı; hammadde rezervlerini koruma zorunluluğudur. Gerçekte büyük bir zorlama sonucu oksitlerinden arıtılarak kazanılan metalleri (örneğin, demir cevherlerinden ham demir elde etmek için yüksek fırında gerçekleştirilen olaylar) korozyon yolu ile tekrar oksit haline dönüştürerek kaybetmek hammadde rezervlerinin daha kısa sürede tüketilmesi anlamına gelir. Özellikle bazı metal rezervlerinin hızla azalmakta olduğu dikkate alınınca, korozyona ilginin zamanla daha da artmasını beklemek gerekecektir. (Doruk, M. 1982)

Bir metalin çevresi ile etkileşerek fazla enerjisini vermesi ve kararlı bileşiği haline dönüşmesi doğal bir olaydır. Ancak enerji ve emek sarfedilerek güçlkle elde edilen metallerin bu şekilde doğal hallerine dönüşleri, ekonomik açıdan oldukça büyük kayıplara neden olmaktadır. En basit deyimle korozyon sonucu kaybedilen metal, elde edilmesi sırasında harcanan emeğin, enerjinin ve paranın boşa gitmesi demektir. Her ülkenin, özellikle de sanayileşmiş ülkelerin korozyon giderleri oldukça büyük miktarlar tutmaktadır. (Dehri, İ. 1994)

1.2 Korozyonun Oluşumu

Korozyon metal yüzeyinde meydana gelen bir dizi fiziko-kimyasal olayın sonucu ortaya çıkar. Korozyon reaksiyonunun meydana gelmesi için, önce metal yüzeyinde yeteri kalınlıkta bir sıvı filminin bulunması gerekir. Bu film; yağışlardan veya atmosfer içinde bulunan su buharının yoğunlaşmasından meydana gelir. Demir ve çelik yüzeyinde cereyan eden anot ve katot reaksiyonları şöyledir; Anotta demir elektron vererek yükseltgenir.(1)



Katot reaksiyonu, metal yüzeyinde bulunan sıvı filmi içinde çözülmüş olan oksijenin hidroksit haline indirgenmesi şeklinde olur. (2)



Bu iki reaksiyonun aynı anda yürümesi gerekir. Katot reaksiyonu için mutlaka oksijene ihtiyaç vardır. Sıvı filmi içinden oksijenin difüzyon hızı çok küçüktür. Bu nedenle korozyon olayı kısa bir süre sonra katot reaksiyonunun kontrolü altına girer. (Kaftan, M.A. 2006)

Başlangıçta sıvı filmi kalınlığı çok az iken oksijen difüzyonu kolay olmakla beraber sıvı henüz yeterli değildir. Sıvı filmi kalınlığı 1 µm'ye erişinceye kadar korozyon hızında artış görülür. Sıvı filmi kalınlığı daha da fazlalaşınca metal yüzeyinde oksijen difüzyonu gittikçe güçleşir. Bu nedenle korozyon hızında azalma olur. Sıvı filmi kalınlığının 0,1-1,0 µm olduğu bölgede korozyon hızı en fazladır. Sıvı filmi kalınlığının 1 mm'den daha büyük olması halinde korozyon hızı yaklaşık olarak sabit kalmaktadır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Yapının hangi alanında kullanılırsa kullanılsın, metallerin atmosferik korozyona maruz kalması kaçınılmaz bir olaydır. Atmosferik korozyon diğer tüm korozyon çeşitlerinden gerek harcanan para ve gerekse yitirilen malzeme miktarı bakımından en büyük olanıdır. Atmosferik korozyon çeşitli coğrafik bölgeler ve yerel koşullara göre değişir. Endüstri bölgelerinde korozyon hızı çöl ve kutup bölgelerine oranla 100 kat daha büyük olabilir. Deniz kenarından 24 m. uzakta bulunan çelik levhanın, 240 m. uzakta bulunan bir levhadan 12 kat daha hızlı korozyona uğradığı saptanmıştır. Çeliğin deniz kenarındaki korozyon hızı çöl bölgelerine oranla 400-500 kat daha büyüktür. (Üneri, S. 1998)

1.3 Korozyon Hızı ve Önemi

Günümüzde, ısınma, ulaşım ve üretim gibi faaliyetler için gün geçtikçe artan enerji talebi ve bu talebin fosil kaynaklı enerji kaynaklarından sağlanmaya çalışılması, havadaki kirlilik miktarının önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Bu kirlilik artışı karşısında korozyon hızı da artmakta ve metal yapı malzemelerinin hasar oranında artışa yol açmaktadır. Bu ise malzemenin daha sık onarılması, temizlenmesi ve korunması gibi çabaları gerektirmektedir. Daha fazla maliyet, emek ve zaman anlamına gelen bu çalışmalar beraberinde korozyonun daha iyi anlaşılmasının zorunlu bir gereklilik olduğunu ortaya koymaktadır. Korozyon nedeniyle metal yapı malzemelerinin işlevlerini kaybetmesi

üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Bazı araştırmalara göre, her yıl korozyon nedeniyle harap olan çelik miktarı, yılda üretilen çelik miktarının yüzde 0.5'ini bulmaktadır. (Eriç, M. 1994)

Böylesi önemli ve ciddi bir sorun olan korozyon olayında, yapısal özelliklerine ve ortamın etkisine bağlı olarak metallerin korozyon hızlarının bilinmesi, korozyon zararlarının önüne geçilebilmesinde temel bir rol oynamaktadır. Korozyon hızı, metalin birim zamanda çözünme miktarıdır. Buna göre, korozyon hızlarının bilinmesi, metal ve alaşımlarının korozyona karşı dayanımlarının belirlenebilmesi için önemlidir. Ortamın korozifliğine bağlı olarak malzemenin korozyon yatkınlığının bilinmesi ise, kullanılabilecek en uygun malzemenin seçilmesi ve gerekli koruyucu tedbirlerin alınabilmesi açısından çok büyük önem taşımaktadır. (Doğan, G. 2006)

Atmosferik korozyon hızı, meteorolojik koşullara ve özellikle endüstriyel kirlenme derecesine bağlıdır. Atmosferler, korozyon açısından dört ana grup altında toplanabilir. Hafif korozif atmosfer; kuru kırsal atmosferler bu sınıfa girer. Bu sınıftaki atmosferlerin karakteristik özellikleri şöyledir; yıllık yağış 300 mm.'den az, bağıl rutubet genellikle %50'den düşük, denizden uzaklık en az 50 km. çevrede endüstriyel kirleticiler mevcut değil. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Orta korozif atmosfer; az miktarda endüstriyel kirlenmenin mevcut olduğu şehir atmosferleri bu sınıfa girer. Bu sınıftaki atmosferlerin karakteristik özellikleri şöyledir; yıllık yağış 300-1000 mm. arasında, bağıl rutubet %50-65 arasında, denizden uzaklık en az 15 km, çevrede ağır endüstriyel kirleticiler mevcut değil. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Korozif atmosfer; endüstriyel kirlenmenin mevcut olduğu rutubetli atmosferler bu sınıfa girer. Bu sınıfın karakteristik özellikleri şöyledir; yıllık yağış 1000 mm'den fazla, bağıl rutubet %50-80 arasında, yüksek oranda kükürt dioksit konsantrasyonu mevcut. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Şiddetli korozif atmosfer; yoğun şekilde endüstriyel olarak kirlenmiş olan rutubetli atmosferler bu sınıfa girer. Bu sınıftaki atmosferlerin karakteristik özellikleri şöyledir; deniz rüzgârlarının etkisinde kalacak şekilde denize yakındır, bağıl rutubet çok yüksektir, aşırı oranlarda endüstriyel kirlenmeler mevcuttur. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Meteorolojik olaylar çok kısa süreler içinde değişim gösterirler. Ortamı kirleten bileşenlerin miktarı ve cinsi, yüzeyde biriken tuzlar, kirlilikler ve bunların zamanla değişimi çok önemlidir. Diğer taraftan yüzeylerin ıslak kalma süresi ve sıklığı da korozyon hızını büyük ölçüde etkiler. Birçok halde, bir yapının konumundan ileri gelen mikro seviyede yerel etkiler de korozyon açısından önemli sonuçlar doğurabilir. Ancak pratikte korozyonu önleyici tedbirleri almak için belli kıstasların bulunması gerekir. Bu amaçla standartlarda çeşitli sınıflamalar yer almaktadır. Bir fikir vermek üzere, çeşitli sınıf atmosfer içinde çeliğin korozyon hızı Tablo 1.1’de verilmektedir. Tablo 1.1’deki korozyon hız değerleri 10 yıllık korozyonun yıllık ortalaması olarak verilmiştir. Başlangıç periyodundaki korozyon hızı ortalama değerden 2-3 kat fazladır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Tablo 1-1 Çeliğin çeşitli atmosferler içinde korozyon hızı (Yalçın H., Koç T. 1991)

Atmosfer Cinsi	Koroziflik Derecesi	Korozyon Hızı ($\mu\text{m}/\text{yıl}$)
Kuru kırsal atmosfer Kuru endüstriyel atmosfer	Hafif Korozif	1-5
Kırsal rutubetli atmosfer Şehir atmosferi	Orta Korozif	10
Endüstriyel olarak kirlenmiş rutubetli atmosfer	Korozif	20
Yoğun şekilde kirlenmiş deniz atmosferi	Şiddetli Korozif	35

Atmosferik korozyon, etkileri bakımından genelde felaket boyutunda değildir. Fakat sonuçları, bakım giderlerini artırır ve en iyi malzemenin bile ömrünü belirli oranda kısaltır. Atmosferik korozyon hızı; ürünün tasarımına, uygun malzeme seçimine, imalat yöntemi ve kalitesine bağlı olduğu gibi çevresel faktörlere de bağlıdır. Bu faktörlerin en önemlileri; hava rutubeti, havanın kirlenme derecesi, yıllık yağış, hava sıcaklığı ve rüzgar hızıdır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.3.1 Havadaki nemin etkisi

Doğal halde bulunan temiz atmosfer bileşiminde su buharı dışında korozyon yapacak başka bir bileşen mevcut değildir. Havadaki su buharı doygun halden daha az olduğunda dahi korozyona neden olabilir. Bağlı rutubetin %70'den yukarı olması halinde, gece gündüz sıcaklık farkı nedeniyle metal yüzeyinde yoğunlaşma sonucu ince bir sıvı filmi oluşur. %70-80 bağlı rutubette korozyon hızında keskin bir artış olur. Metal yüzeyinde sıvı filminin oluşmasına neden olan minimum bağlı rutubete 'Kritik Bağlı Rutubet' denir. Rutubetin bu değerden daha düşük olduğu zamanlarda, metal yüzeyinde sıvı tabakası görülmez. Ancak, çok ince kapiler boşluklar içinde sıvı halde su bulunabilir. Eğer, metal yüzeyinde toz ve kir gibi kapiler özelliği olan katı tanecikler mevcutsa, su buharının yoğunlaşması daha kolay olur. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.3.2 Endüstriyel kirleticilerin etkisi

Atmosferik korozyon açısından en etkili faktör endüstriyel kirlenmedir. Başta yanma olayları olmak üzere, endüstriyel işlemlerden atmosfere birçok kimyasal gaz, buhar ve katı tanecikler karışır. Havadaki kimyasal gazlardan en yaygın ve en etkili olanı kükürt oksitleridir. Bu oksitler havada bulunan su buharı ile birleşerek asitleri oluştururlar. Bunun dışında diğer asitler, amonyak ve klorürler de atmosfer içine karışabilir. Özellikle denize açık atmosferlerde rüzgar ile taşınan mikroskobik tuz parçacıkları bulunur. Bunlar atmosfere açık metal yüzeylerinde çökerek birikir. Atmosferde bulunan bazı kirletici bileşenlerin tipik konsantrasyonları Tablo 1.2'de verilmektedir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Tablo 1-2 Atmosferik kirleticiler ve tipik konsantrasyonları (Yalçın H., Koç T. 1991)

Kirleticiler	Yer	Konsantrasyon (mg/m ³)	
Kükürt dioksit	Endüstriyel bölge	Kış	350
		Yaz	100
	Kırsal bölge	Kış	100
		Yaz	40
Amonyak	Endüstriyel bölge	Kış	4,8
	Kırsal bölge	Yaz	2,1
Klorür *Yağışta ölçülen klorür (mg/L)	Endüstriyel iç bölge	Kış	7,9
		Yaz	5,3
	Kırsal deniz kıyısı	Kış	57
		Yaz	18
Katı tanecikler	Endüstriyel bölge	Kış	250
		Yaz	100
	Kırsal bölge	Kış	60
		Yaz	15

1.3.3 Sıcaklığın etkisi

Atmosferik korozyon hızı, metal yüzeyinde oluşan sıvı filminin yüzeyde kalış süresine bağlı olduğundan, korozyon olayına sıcaklığın büyük etkisi vardır. Sıcaklık düşük olduğu sürece metal yüzeyinde kuruma gecikecek ve korozyon olayı devam edecektir. Bu nedenle, atmosferik korozyon hızı, sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde, ılıman iklimin hakim olduğu bölgelere göre daha fazladır. Bunun dışında sürekli değişen sıcaklık, metal yüzeyindeki yoğunlaşmayı kolaylaştırdığı için korozyonu artırıcı olarak rol oynamaktadır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Sıcaklığın yükselmesiyle korozyonun arttığı doğru olmakla beraber, artan sıcaklığa bağlı olarak, bağıl nemlilikteki azalma ve çevrenin tamamen kuruması durumlarının bu genellenmenin dışında kaldığına dikkat edilmelidir. Genelleştirmek gerekirse; 30 C°'lık bir sıcaklık değişikliğinin korozyon hızında 10 kat artış yarattığı söylenebilir. (Çakır, A. F. 1990)

1.3.4 Yağış ve rüzgarın etkisi

Atmosferik korozyonun yürümesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Bu nedenle yıllık yağış miktarı ile korozyon hızı arasında doğrudan bir ilişki vardır. Ancak yağış miktarı kadar sıklığı ve kuruma süresi de önemlidir. Bu yüzden bölgedeki rüzgar hızı ve yönü de önemli rol oynamaktadır. Rüzgar kurumayı çabuklaştırdığı gibi yüzeyde toplanan kir ve tozların sürüklenerek uzaklaşmasına da neden olur. Yukarıda belirtilen faktörler herhangi bir bölgedeki korozyon hızı hakkında kesin bir değer vermeyi güçleştirir. Birçok halde aynı yapının çeşitli kısımlarında bile korozyon hızı büyük ölçüde değişebilir. Buna rağmen mühendislikte alınacak önlemlere yardımcı olmak amacıyla, atmosferlerin korozyon açısından sınıflandırılması yoluna gidilmektedir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.4 KOROZYON HIZININ ÖLÇÜMÜ

1.4.1 Kütle Azalması Yöntemi

Kütle kaybından korozyon hızı belirlenirken çözünmenin homojen olması ve korozyon ürünlerinin ya tamamen çözünür veya uygun bir çözültide çözünerek metal yüzeyinden uzaklaştırılması gerekir. (3) (Konus, M. T. 2005)

$$Korozyon\ Hızı = \left(\frac{Kütle\ azalması}{metal\ in\ yüzey\ alanı * zaman} \right) \quad (3)$$

1.4.2 Lineer Polarizasyon Yöntemi

Akım potansiyel eğrisinin korozyon potansiyeli dolayındaki doğrusal kısmının eğiminden polarizasyon direnci bulunup, aşağıda ifade edilmiş Stern-Geary eşitliği kullanılarak korozyon hızı bulunur. (Konus, M. T. 2005) Polarizasyon direnç yöntemiyle korozyon hızı belirlenmesinde akım potansiyel eğrisi I_{corr} ile ağırlık azalması arası ilişki denklem 4'de verilir;

$$I_{corr} = \Delta m.F.n / \Delta t.M_k \quad (4)$$

Burada; Δm : ağırlık azalması, F: Faraday sabiti; n: alınan verilen elektron sayısı, M_k : metalin atom gramının kütlesi, Δt : zaman aralığıdır. (Yakar, E.2006)

$$I_{corr} = (\beta\alpha * \beta c)/(2,303(\beta\alpha + \beta c)) * \left(\frac{\Delta I}{\Delta E}\right) = (\beta\alpha * \beta C)/(2,303(\beta\alpha + \beta c)) * \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p} \quad (5)$$

I_{corr} korozyon akımını, $\beta\alpha$ ve βc sırasıyla anodik ve katodik tafel sabitlerini, R_p polarizasyon direncini gösterir. (Yakar, E. 2006)

1.4.3 Alternatif Akım Empedans Ölçme Yöntemi

Yöntemin esası, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın uygulanan alternatif akım ile empedansının ölçülmesine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında, çift tabaka kapasitesi ve metal yüzeyi ile çözeltinin iç kısmı arasındaki dirençlerden oluşan bir “elektronik eşdeğer devre” tasarlanarak polarizasyon direnci belirlenmeye çalışılmıştır. Bulunan polarizasyon direnci (R_p) değeri Stern-Geary eşitliğinde yerine konularak, korozyon hızı hesaplanır. (Konus, M. T. 2005)

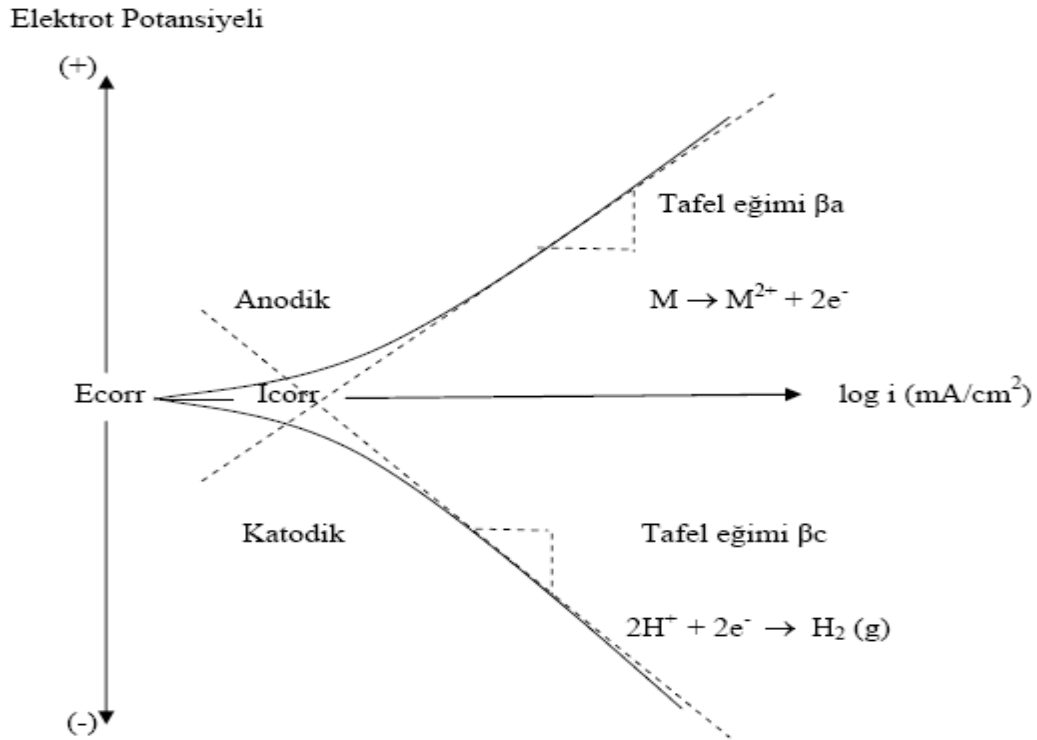
1.4.4 Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

Çözelti ortamında malzeme belirli bir potansiyele sahiptir. Akım çekmezken oluşan bu potansiyel değeri açık devre potansiyeli olarak adlandırılır. Açık devre potansiyeli daha negatif veya daha pozitif yapılan taramalar bu bölgede yüzeyde meydana gelen reaksiyonlar hakkında bilgi verir. Bu davranışlar incelenerek deneye tabii tutulan malzemenin elektrokimyasal özellikleri ile ilgili sonuca varırız. Elde edilen bu katodik ve anodik eğriler vasıtasıyla β -Anodik ve β -Katodik eğriler ile E_{corr} potansiyel korozyon ve I_{corr} akım korozyon değerleri tespit edilir. Tespit edilen bu veriler vasıtasıyla malzemenin belirlenen ortamda belirlenen koşullarda elektrokimyasal özellikleri ve korozyon hakkında yorum yapılır. (Akgül, İ. 2011)

Korozyon, metal ve çözelti arasında anodik ve katodik reaksiyonların oluşup dengeye gelmesiyle oluşur. Anodik reaksiyonda açığa çıkan elektron katodik reaksiyonda indirgenmede kullanılır. Bu yolla korozyon hızının belirlenmesi, korozyona uğrayan metalin anot ve katot yüzeyleri arasındaki akımı ölçülerek yapılır. Bu yöntemle korozyon olaylarında anot ve katot yüzeyleri birbirinden ayrılmadığından, iki kutup arasındaki akım dolaylı olarak ölçülür. Bu ölçüm korozyon hızı olarak kabul edilir. (Sarıtış Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2007)

Bu yöntemde de akım-potansiyel ölçümü vardır. Akım ya da potansiyelden biri denetimli olarak uygulanır ve diğerinin değişimi kayıt edilir. Sabit potansiyelde akım değerlerinin ölçülmesi potansiyostatik yöntem, değiştirilen potansiyellere karşılık gelen akım şiddetlerinin ölçülmesi ise potansiyodinamik yöntemdir. (Saritaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2007)

Korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik tafel eğrileri deneysel olarak belirlenir. Bu eğrileri çizebilmek için, çalışılacak potansiyel aralığı korozyon hızının belirleneceği yöntemle seçilir. Şekil 1.2’de görülen E - log i polarizasyon eğrisi elde edilir. Şekilden de görüldüğü gibi uygulanan dış akım belli bir değere ulaştıktan sonra polarizasyon eğrisinde lineer bölge oluşuyor. Uygulanan dış akımın lineer olarak değiştirdiği bu bölgelere “Tafel Bölgesi” denir. Korozyon potansiyelinden başlayarak katodik ya da anodik yönde çizilen yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri tafel eğimleri olarak bilinir (Şekil 1.2). Bu eğrilerin ekstrapolasyonu alındığında kesişen noktadaki potansiyel korozyon potansiyeli, buna karşılık gelen akım ise korozyon akımıdır. Korozyon akımı korozyon hızı hakkında bilgi verir. (Saritaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2007)



Şekil 1-2 Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri. (Saritaş 2007)

Tafel doğrusunun eğimi deneysel olarak elde edilip korozyon hızı bulunur. Yani tafel ekstrapolasyonu yönteminde anodik ve katodik tafel eğrilerinin çizgisel olan kısımları azaltılıp kesim noktalarından korozyon hızı ve korozyon potansiyeli bulunur.(Saritaş 2007) Anodik ve katodik reaksiyonlar elektrot yüzeyinde aynı anda gerçekleştiğinden elektrot potansiyeli karma bir potansiyel değere yani E_{corr} 'a ulaşır. Buna karşılık gelen akımda I_{corr} korozyon akımı olur. (Saritaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2007)

Korozyon hızının elektrokimyasal olarak ölçülmesi sırasında karşılaşılan en büyük sorunlardan biri, korozyon potansiyelindeki akımın ölçülmesidir, çünkü bu potansiyelde dışarıdan bir ölçüm cihazı tarafından kaydedilebilecek herhangi bir akım olmaz. Sonuç olarak, korozyon akımını (I_{corr}) ölçmek için yapılan herhangi bir elektrokimyasal yöntem, korozyon potansiyeli dışındaki potansiyellerdeki akımları ölçerek gerçekleştirilir. Böylece, korozyon potansiyelindeki akım yaklaşık olarak tahmin edilir, daha doğrusu yaklaşık olarak hesaplanabilir. (Konus, M. T. 2005)

Katodik ve anodik reaksiyonlar bir korozyon işlemi olarak birleştirildiğinde, metal çözünümünden kaynaklı anodik akım, redüksiyon nedeniyle oluşan eşit katodik akım ile dengelenmelidir. (Konus, M. T. 2005)

Bu durumda I_{corr} korozyon akımıdır ve sadece tek bir potansiyelde gerçekleşebilir, o da E_{corr} , yani korozyon potansiyelidir. E_{corr} 'un değeri temel bir termodinamik anlama sahip değildir. (Konus, M. T. 2005)

Korozyon potansiyeli genellikle anodik ve katodik reaksiyonların tafel analizine uygun şartlarda devam ettiği tafel bölgesindedir. Dolayısıyla, hem katodik, hem de anodik reaksiyonların polarizasyon eğrileri korozyon potansiyelinden uzakta potansiyellerde belirlenir. Dış devrede ölçülen akım her zaman $I_{anot} + I_{katot}$ toplamıdır ve korozyon potansiyelinde (E_{corr}) sıfıra denk gelir. Bu fikirden yola çıkarak, korozyon potansiyeli ölçümü ile korozyon akımı aşağı yukarı belirlenebilir. Bunun için I_0 değişim akım yoğunluğu (exchange current), tafel katsayıları (b_{anot} , b_{katot}), denge potansiyeli (E_e) gibi metal çözünme reaksiyonuna dair veriler, deneyler sonucu bulunmalıdır. (Konus, M. T. 2005)

$$E_{corr} = (E_e)_{anot} + b_{anot} \log (I_{corr} / i_0) \quad (6)$$

$$I_{corr} = i_0 \exp [2,303 (E_{corr} - (E_e)_{anot}) / b_{anot}] \quad (7)$$

Ölçümlerde Gamry Potansiyostat cihazı kullanılmıştır. Potansiyostat çözeltideki IR gerilim düşüşünü dengeleyen ve çalışma elektrotu ile referans elektrot arasındaki potansiyel farkını istenilen değerde sabit tutan bir cihazdır. Potansiyostat vasıtasıyla akım-potansiyel eğrileri elde edilmektedir. Yapılan deneysel çalışmada karşıt ve çalışma elektrotlarının yanında bir referans elektrotunun yerleştirildiği bir hücre potansiyostata bağlanır. Çalışma elektrotu ile referans elektrotu arasındaki potansiyel fark potansiyostat ile sabit tutulur. (Konus, M. T. 2005)

1.5 Korozyona Karşı Alınacak Önlemler

Korozyon; önlenmesi oldukça zor olan, doğal bir olaydır. Ancak belirli oranlarda yavaşlatılabilir. Korozyonun önlenmesi yada sınırlandırılması bilinçli bir denetimle sağlanabilir. Bilinçli denetim, malzemenin kullanım amacına bağlı olarak ilk önce tasarım aşamasında başlar. Korozyonun önlenmesi için; tasarım, malzeme, ortam ve ara yüzey ile ilgili değişkenlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Söz konusu değişkenler incelenerek korozyonu meydana getiren sebepler tespit edilip, bunları ortadan kaldıracak, dolayısıyla korozyonu önleyecek en ekonomik tedbir seçilmelidir. (Erbil, M. 1996)

1.5.1 Korozyon Ortamında Alınan Önlemler

Korozyon, metal ile ortam arasında ara yüzeyde meydana gelen bir olaydır. Korozyondan korunma ilkesi ara yüzeyde yürüyen reaksiyonları durdurmak veya yavaşlatmak amacını taşır. (Özcan, M. 2000)

Ortamda yapılacak değişikliklerle korozyon hızı azaltılabilir. Genelde açık ortamda, atmosferin korozyon etkisini, ortam koşullarını değiştirerek azaltma imkanı yoktur. Bu durumda malzemeyi ortama daha dayanıklı yapmak veya metal-ortam ara yüzeyini değiştirmek gerekir. Kapalı ortamlarda alınan en yaygın tedbir ise; bağıl rutubetin azaltılmasıdır. Ayrıca, kapalı ortamda buharlaşabilen frenleyiciler de kullanılır. (Çizmecioğlu, Z. 1998).

1.5.2 Malzemede Alınan Önlemler

Yüzey kaplama işlemleri malzemeyi korumada kullanılan en önemli yöntemdir. Ancak iyi temizlenmemiş bir yüzeye yapılan kaplamanın uzun ömürlü olmasından söz edilemez, bu açıdan yüzey hazırlama işlemleri, kaplamanın uzun ömürlü ve amacına uygun olarak korozyondan koruma sağlaması için dikkat edilmesi gereken ilk husustur. (Kaftan, M.A. 2006)

1.5.2.1 Yüzey hazırlama

Korozyon bir yüzey olayıdır ve bu olayla mücadelede yine en önemli silahlardan birisi metal yüzeylerinin özelliklerinin değiştirilmesidir. Yüzey temizliğinin amacı; metal yüzeyinde bulunan yağ, toz, kir, oksit ve pas tabakalarının tamamen uzaklaştırılmasıdır. Bir boyanın ve kaplamanın ömrü, büyük ölçüde yüzey temizliğine bağlıdır. Bu açıdan kaplamanın ya da boyanın gerçek bir koruyucu olması ve uzun süre etkisinin devam etmesi için yüzey temizliği önemlidir. Yüzey temizliği için hangi yöntemin seçileceği uygulanacak boya cinsine bağlıdır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Mesela; inorganik çinko silikat boya uygulanacak ise, yüzeyin pürüzlü olması gerekir ve kum püskürtme yöntemi uygulanır. Eğer elektrolitik kaplama yapılacaksa kum püskürtme uygun değildir. Bunun yerine yüzey kimyasal yöntemlerle temizlenmelidir. Halk arasında ‘kir’ olarak bilinen, kaplanacak yüzeyde bir tabaka oluşturup, yapılan kaplama ile esas malzeme arasına giren, kaplamanın kısa sürede bozulmasına ya da etkisiz olmasına neden olan yabancı maddelere ‘yüzey kirletici maddeler’ diyoruz.

Atmosferde bir süre beklemiş olan metal yüzeyinde şu üç tür kirlenmeye çok rastlanır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1- Yağlar ve gresler; mineral veya hayvansal-bitkisel kökenli yağlardan oluşur. Bütün yağ ve gresler organik solventler içinde kolaylıkla çözünürler. Buna karşılık asit ve alkaliler içinde çözünmezler. Yalnız hayvansal ve bitkisel yağları alkali içinde sabunlaştırabilmek mümkündür.

2- Toz, toprak ve katı partiküller; metal yüzeyine çevreden bulaşan çeşitli kirlerdir.

3- Pas veya metal oksit filmi; metal yüzeyinde atmosferik etkilerle oluşan korozyon ürünleridir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Kirlenmenin cinsi, derecesi, metalin kullanılma amacı ve ekonomik faktörler göz önüne alınarak yüzey temizliği için aşağıdaki yöntemlerden biri seçilir.

1.5.2.1.1 Alevle temizleme yöntemi

Yüksek sıcaklıktaki alev hızlı bir şekilde yüzeyde gezdirilerek, yüzeyde bulunan organik bileşikler (eski boya kalıntıları gibi) temizlenebilir. Alevle temizleme yapılırken esas malzemenin zarar görmemesi için, çok ince elemanlar alevle temizlenmemelidir. Kaynak perçin gibi düşük sıcaklıkta eriyen malzemelerin bulunduğu ek yerleri fazla ısıtılmamalıdır. Bu esaslara dikkat edilerek yapılan temizliğin hemen ardından temizlenmiş bölgeye astar tabakası uygulanmalıdır. (Kaftan, M.A. 2006)

1.5.2.1.2 Mekanik yöntemle temizleme

Mekanik temizleme yöntemleri; basit el aletleri ile temizleme, elektrikli el aletleri ile temizleme ve kum püskürtme ile temizleme şeklinde üç grup altında incelenir. (Kaftan, M.A. 2006)

1.5.2.1.2.1 Basit el aletleri ile temizleme yöntemi

Tel fırça, zımpara gibi el aletleri kullanılarak metal yüzeyinde bulunan gevşek hadde kabuğu, pas ve yabancı maddelerin temizlenmesidir. Yüzeyde kalan tozlar, temizleme işlemi tamamlandıktan sonra yüzeye basınçlı hava tutularak veya bir fırça ile süpürülerek giderilir. (Kaftan, M.A. 2006)

1.5.2.1.2.2 Elektrikli el aletleri ile temizleme yöntemi

Kum püskürtme ile temizleme işleminin mümkün olmadığı hallerde bu yöntemle temizlik yapılır. Bu amaçla döner tel fırçalar, zımparalar ve aşındırıcı diskler (taşlar) kullanılır. (Kaftan, M.A. 2006)

1.5.2.1.2.3 Kum püskürtme ile temizleme (Kumlama) yöntemi

Sıcak olarak şekillendirilmiş taze çelik malzeme yüzeylerinde ince bir oksit tabakası mevcuttur. Bu oksit tabakası dayanıksız olup taşıma ve depolama sırasında yer yer parçalanır. Böyle bir yüzeye boya uygulanırsa homojen bir tabaka elde edilemez. Eğer malzeme boyasız olarak uzun süre beklemiş ise yüzeydeki oksit (pas) yer yer kalın tabakalar oluşturur. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Bu yöntemle metal yüzeyinde bulunan pas, kir, cüruf, çapak vb. yabancı maddelerin tamamı giderilerek temizlenmiş yüzeylerde boya için uygun olan 25-75 µm. arasında bir pürüzlülük meydana gelir. Uygulama sonrasında mümkün olduğu kadar kısa zaman içinde astarlama yapılması gerekir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.5.2.1.3 Kimyasal yüzey temizleme yöntemleri

Metal yüzeyinde yabancı maddelerin bulunması, boyanın yüzeye tam olarak yapışmasını önler. Özellikle yağ ve greslerin temizlenmesi ancak kimyasal yöntemlerle mümkün olmaktadır. Kimyasal yöntemlerle yalnız yağ ve gresi değil bütün kirlilikleri tam olarak temizleyebilmek mümkün olabilmektedir. Bu yöntemler doğrudan uygulanabildiği gibi, metal yüzeyindeki kaba kirler tel fırça ile mekanik olarak veya kum püskürtüldükten sonra son temizlik olarak da yapılabilir. Kimyasal yüzey hazırlama yöntemleri kullanılan maddeye göre üç bölüm halinde incelenir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.5.2.1.3.1 Solvent ile yüzey temizleme yöntemi

Solvent olarak alkol-eter karışımları, petrol damıtma ürünleri ve diğer organik çözücüler kullanılmaktadır. Bunların içinde, benzin ve karbon tetra klorür gibi solventler alevlenme tehlikesi ve toksik etkileri nedeniyle tercih edilmez. Solvent kirlenmesinin sorun oluşturmasını önlemek için yüzey temizleme işlemi sonrasında mutlaka durulama yapılmalıdır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.5.2.1.3.2 Alkali ile yüzey temizleme yöntemi

Alkali ile yüzey temizleme yöntemleri, solvent kullanılarak yapılan temizleme yöntemlerine göre, daha verimli, daha ucuz ve daha az tehlikelidir. Bütün alkali temizleyici maddeler, su içinde çözülmüş olarak ve yüksek sıcaklıkta kullanılır Alkaliler yüzeyde

bulunan yağları sabunlaştırır, böylece yüzeyde oluşan aktif bileşenler diğer kirlilikleri sökerek yüzeyden uzaklaştırırlar. Trisodyum fosfat, sodyum karbonat, sodyum hidroksit, sodyum meta silikat ve sodyum onosilikat v.b. maddeler alkali temizleyici olarak kullanılır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Alkali temizleme yöntemlerinin en büyük sakıncası, temizleme sonunda alkali özellikte bir yüzey elde edilmesidir. Boya uygulanacak yüzeylerin alkali karakterde olması istenilmez. Bu nedenle alkali temizleme yöntemlerinden sonra metal yüzeyinin asitli su ile çalkalanması yoluna gidilir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.5.2.1.3.3 Asit ile yüzey temizleme (Pickling) yöntemi

Asit ile yüzey temizleme işlemi; daldırma veya püskürtme şeklinde yapılır. Kullanılacak asit konsantrasyonu metal yüzeyinde bulunan pasın derecesine göre belirlenir. Hafif bir pasın mevcudiyeti halinde, bir ölçek aside beş ölçek su katılarak seyreltik bir çözelti hazırlanır. Fazla paslı yüzeylerin temizlenmesi için bir ölçek aside bir veya iki ölçek su katılır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Asit çözeltileri içine daldırılarak yapılan temizleme işlemleri pratik olması bakımından geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bu temizleme yönteminde malzemeler ilk olarak sıcak asit çözeltisi içine daldırılır. Sonra su ile yıkanır ve arkasından sıcak kromik asit çözeltisi içinden geçirilir, yıkanır ve kurutulur. Asit ile yüzey temizleme işleminden sonra temizleme işlemi uygulanan malzemeler su banyosuna daldırılır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Asit temizleme banyolarının sıcaklığı genellikle oda sıcaklığı ile 80 C° arasındadır. Çözelti konsantrasyonu; hacimsel olarak %20 ile %50 arasında değişir. Asit konsantrasyonu ve banyo sıcaklığı metal yüzeylerinin 10 dakika içinde temizlenmesini sağlayacak şekilde ayarlanır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Metal yüzeylerindeki oksit filminin veya pas tabakasının giderilmesi amacıyla asit çözeltisi içine daldırılması işlemine pikling adı verilir. Bu işlemde en çok sülfürik asit kullanılır. Sülfürik asidin tercih edilmesinin nedeni; kaynama noktasının yüksekliği ve hızlı temizleme özelliğidir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Pikling işleminde; temizlenmesi istenilen malzemeler, içinde sıcak asit çözeltisi bulunan bir tank içine daldırılır. Asit, metal yüzeyinde bulunan oksit tabakasının çatlakları arasından geçerek metal yüzeyine kadar ulaşır. Demir, asit içinde oksitlerine göre daha kolay çözünür. Demir ile asidin reaksiyonu sonucu hidrojen çıkışı olur. Bu gaz metal yüzeyindeki oksit tabakasının kalkmasına yardım eder. Ancak bu işlemler sırasında bir miktar demirin de asit içinde çözünmesi önlenemez. Bu nedenle inhibitör katılmamış asit çözeltileri ile yapılan pikling işlemlerinde daima metal kaybı söz konusu olur. İşlemler sırasında yalnız metal değil asit miktarında da azalmalar meydana gelir. Bu kayıpları azaltmak için, çözelti içine uygun inhibitörler katılması yoluna gidilir. İşlem sonrasında metalin asit ile reaksiyonu sonucu oluşan ürünler metal yüzeyini ince bir film halinde kaplayacağı için yüzeylerin iyice yıkanması gerekir. (Yalçın H., Koç T. 1991)

Boyanacak metal yüzeylerinin hafifçe asidik karakterde olması uygundur. En iyi sonuç, yüzey pH'ı 3-5 arasında olduğu zaman elde edilir. Bu nedenle pikling işleminden sonra yüzeyin pasif hale getirilmesi istenir. Bunu sağlamak için sülfürik asit banyosundan çıkarılmış olan malzemeler su ile yıkandıktan sonra fosforik asit çözeltisi içine daldırılarak yüzeyde ince bir tabaka halinde demir fosfat filminin oluşması sağlanır. (Yalçın H., Koç T. 1991)

1.5.2.2 Metalik kaplama yöntemleri

Metalik kaplama; metallerin yüzeylerinin, ana metale göre korozyona daha dayanıklı bir başka metalle kaplanarak korunması işlemidir. Bu işlemler; ana metalin yüzeyini kaplayacak olan metalinin uygulanış biçimine göre sınıflandırılırlar. (Kaftan, M.A. 2006)

1.5.2.2.1 Elektrolitik kaplama (Elektrolizle kaplama) yöntemi

Yüzeyi kaplanacak metal katot, kaplama metali anot olarak, kaplama metalinin bir tuzunun çözeltisinden oluşan elektrolit banyosuna daldırılır. ve uygun bir elektrot yardımıyla doğru akım kaynağına bağlanır. Anotdaki metal iyonları indirgenerek, katotdaki yüzeyi kaplanmak istenen malzemenin üzerine yapışır. Anotdaki malzeme iyonlaşarak kütle kaybeder. (Kaftan, M.A. 2006)

1.5.2.2.2 Sıcak daldırma Galvanizleme (SDG) yöntemiyle metalik kaplama

Galvanizleme; temizlenmiş, yağı giderilmiş metal malzemenin ergimiş haldeki çinko banyosuna daldırılarak yüzeyinin çinko tabakası ile kaplanması işlemidir. Çinko, normal koşullarda 420 C°'ta ergir. Çinko banyosu sıcaklığı ise 450 C° civarındadır. 430-475 C° sıcaklıkları arasında galvanizleme işlemi yapılır. Daha yüksek sıcaklıklar hem çinko banyosu tankına zarar verir, hem de kötü galvanizlemeye neden olur. (Çakır, A. F. 1990)

Sıcak daldırma yoluyla galvanizleme; saf demir ile çinkonun difüzyonu sonucu gerçekleşir. Sağlıklı bir kaplama gerçekleşmesi için; demir ve çinkonun difüzyonuna engel oluşturacak pas mutlaka çelik yüzeyinden temizlenmelidir. Bu temizleme işlemi asitle yapılır. Sıcak daldırma yoluyla galvanizleme (SDG); çelik ile çinkonun difüzyonu sonucu gerçekleşir. Bu amaçla; galvanizleme işleminden önce, bu difüzyona engel olacak oksitli tabaka, malzeme yüzeyinden asitle temizlenmelidir. (Çakır, A. F. 1990)

Malzemeler asitten çıktıktan sonra, mutlaka su banyosunda çalkalanmalıdır. Bunun amacı; asit banyolarından çıkarken malzemenin yüzeyine yapışan demir tuzlarını yıkamaktır. Çünkü bu tuzlar eritken (flaks) banyosunun bozulmasına neden olurlar. (Çakır, A. F. 1990)

Flaks banyosu, amonyum klorür ve çinko klorür kimyasallarından oluşur. Flaks işlemi; malzemenin yüzeyindeki küçük artıkların temizlenmesi ve kurutma ile çinko banyosu arasında geçen sürede paslanmamasını sağlar. Bu işlem; malzemelere çeşitli şekilde uygulanır. Örneğin en yaygın kullanımı, sıvı bir banyo hazırlanarak parçaların bu banyoya daldırılması şeklindedir. (Çakır, A. F. 1990)

Son olarak malzeme ortalama sıcaklığı 450 C° olan çinko havuzunda 10-15 dakika bekletilerek kaplama gerçekleşir. Kaplanan malzeme soğumaya bırakılır.

Galvanizleme, boyamaya göre daha uzun ömürlü ve sağlam bir koruma sağlar. Aynı çeliğin boyanmış ve galvanizlenmiş iki ayrı örneğinin üzerine eşit boyutlu çizikler çizilirse, boyanmış çeliğin bu zayıf bölgesinde korozyon gerçekleşir ve burada oluşan korozyon hacimce çelikten daha fazla olduğundan o bölgedeki boya tabakasını kaldırır ve korozyon hızla yayılmaya başlar. Ancak galvanizlenmiş çeliğin üzerindeki çinko tabaka anot olarak

davranır ve bu tabaka korozyona uğrar, buna ‘kurban anot’ denir. Burada, çelik korozyona uğramadan önce, o bölgedeki tüm çinko tabakasının bitmesi gerekir. (Çakır, A. F. 1990)

1.5.2.3 İnorganik kaplamalar

İnorganik kaplamalar; fosfat kaplama, kromat kaplama ve anodik işlemler olmak üzere gruplanabilirler. Uygun bileşimde banyolar içine daldırılan metaller, ortam ile reaksiyona girerek yüzeyde tuzlardan oluşan bir tabaka meydana getirirler. Bu işleme en iyi örnek fosfatlamadır. Fosfatlamadan sonra, pasifleştirme işlemi olarak kromatlama uygulanır. Fosfatlama çelik parçalara uygulanabilir, kromatlama yalnız başına ancak Zn, Cd ve Al gibi hafif metallere uygulanır. (Çizmecioğlu, Z. 1998)

Yüzeyi temizlenmiş çelik parçalar asit (özellikle Zn ortofosfat) çözeltilerinde bırakılarak fosfat tabakasıyla kaplanırlar. Malzemenin dokusundaki gözenekler korozyon dayancını düşüreceğinden bir tabaka ile kaplanmaktadır. Fosfatlama, boyanacak yüzeylerin boyaya hazırlanması amacıyla da kullanılır. Ayrıca boya tabakasının aşınması halinde fosfat tabakası koruyuculuk görevini üstlenir. (Çizmecioğlu, Z. 1998)

Anodik işlemler, alüminyumun korozyondan korunmasının yanında mekanik aşınmalarda dayanıklı kalın oksit tabakaları elde etmek için uygulanan bir yöntemdir. Metal, uygun bileşimli bir banyo içinde anot olarak bağlanır. Elektrolit olarak sülfirik asit, kromik asit, okzalik asit çözeltileri kullanılır. En çok kullanılan, alüminyumun okzalik asit içinde eloksal adı verilen anodik oksidasyonudur. (Çizmecioğlu, Z. 1998)

1.5.2.4 Organik kaplamalar (Boyalar)

Organik kaplamaların en önemli temsilcisi boyalardır. Başta demir-çelik esaslı metaller olmak üzere, tüm metalik yüzeylerin korunmasında, uygulama kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle, korozyondan korunmak üzere yaygın şekilde kullanılmaktadır. Boyalar, metal yüzeyini çevreden yalıtarak su ve oksijenin metal yüzeyine ulaşmasını önleyen malzemelerdir. Boyalar, pigment içeren, sıvı halde yüzeye tatbik edilen ve bunu takiben sertleşen bileşiklerdir. Atmosfere doğrudan maruz kalan boya kaplamaları genellikle iki kat halinde uygulanır. Astar olan ilk tabakanın fonksiyonu; kimyasal reaksiyonlarla metal yüzeyini korozyona karşı korumaktır. İkinci tabaka ise, su ve oksijen

geçişini engeller. Ayrıca, korozyonu önlemenin yanında dekoratif özellikleri de vardır. (Çakır, A. F. 1990)

Atmosferik korozyon etkisinde kalan çelik yapıları korozyondan korumak için hangi boya cinsinin kullanılması gerektiğini belirlerken; yapının içinde bulunduğu ortamın korozyon özelliklerini dikkate almak gerekir. Diğer taraftan yapının işletme ömrü göz önüne alınarak yapılacak olan boyadan beklenen minimum ömür belirlenmelidir. Boya ömrü, boyanın uygulanmasından itibaren ilk bakıma kadar geçen süredir. Boyaların korozyondan koruma işlevini sağlayabilmesi için; geçirgen olmama, frenleyici etki gösterme veya katodik koruma sağlama gibi özelliklerden en az birine sahip olması gerekir. (Çakır, A. F. 1990)

Bir boya sisteminin başarısı, kaplanacağı sistemin yüzeyinin boyaya hazırlanması ile birinci derecede ilgilidir. Boya katmanı ile metal arasındaki bağın çok iyi olabilmesi için metal yüzeyi boyadan önce uygun yöntemlerle temizlenip bekletilmeden boyanmalıdır. (Çakır, A. F. 1990)

Boya uygulamanın, fırça tatbikatı, püskürtme, daldırma ve elektrostatik yöntem gibi çeşitli yöntemleri vardır. Korozyonu önlemek veya korozyondan korunmak için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Uygun metal seçimi ve bilinçli tasarım yapıldığı sürece, en önemli yenim önleme yöntemi YÜZEY KAPLAMA uygulamalarıdır. (Prof.Dr. Tekin, E. 2011)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kanca E., Karahan İ.H., Eyercioğlu O. (2008), American Iron and Steel Institute (AISI) tip 304 (AISI - 304 SS) paslanmaz çelik malzemeyi farklı hızlarda keserek yüksek hızda kesmenin kesme yüzeyindeki korozyon direncini nasıl etkilediğini incelemişlerdir.

Schurr, G.G., H.A. Gardner, G.G. Sward (1972), Boya kaplı çelik sacların esnekliklerini incelemişlerdir. Boya kaplı sacları mandrel kullanarak silindirik ve konik olarak bükerek esneklik ve dayanımlarını incelemişlerdir. Ayrıca boya kaplı sacı impact test yöntemiyle de esneklik ve dayanımını incelemişlerdir. Daha sonra bu boya kaplı sac malzemelerin büküm yapılan bölgeleri ile büküm yapılmayan bölgeleri arasındaki değişimi atmosfer koşullarında güneşli ve nemli hava koşullarında bırakarak kaplamanın tahribat oranlarını incelemişlerdir.

Ramanauskas ve ark. (1998), Çinko ve çinko alaşımlarıyla elde edilen bariyer tabakanın korozyon özelliklerini incelemişlerdir. Özellikle nemli tropikal iklimde yaptığı çalışmada yüksek klorür kirlenmesiyle oluşan korozyona karşı çinkonun davranışını incelemiş ve nikelin, çinko alaşım kaplamalarının korozyon direncini artırdığı sonucuna varmışlardır.

Skrovanek, D.J., Schoff, C.K. (1988) Organik kaplı metallerin mekanik analizlerini yapmışlardır. Organik kaplı malzemelerin dinamik ve termal mekanik durumlarını incelemişlerdir. Organik kaplamanın fiziksel zorlama altında esneklik ve dayanımının nasıl değiştiğini grafiksel olarak göstermişlerdir.

I.Decri, M.Erbil (1999), Hasarlanmış polyester kaplamanın atmosferik korozyonuna bağlı nemin etkisini laboratuvar koşullarında impedans ölçümleriyle belirlemişlerdir. Değişik bağıl nemliliklerde SO₂ ve NH₃ gazlarının etkilerini araştırmak için amonyum sülfat çözeltisine gliserin ekleyerek elde edilen çözeltileri kullanmışlardır. Kaplama direncinin bağıl neme bağlı olarak değiştiği belirtilmektedir.

Moore, R.J. (1971), Epoksi boya filmiyle kaplı sac malzemelere impact testi uygulamış ve epoksi boya kaplı sac malzemenin çarpma dayanımının moleküler biçimde değişimini incelemiştir.

Morse, M.P. (1955), Boya filmi ile kaplı sac malzemelerin fiziksel özelliklerini incelemiştir. Gordon Araştırma konferansında araştırma sonuçlarını sunmuştur. Boya kaplı saclara soğuk darbe testi uygulayarak oluşan çatlakların oranlarını incelemiştir.

L.Fedrizzi, F. Deflorian, G. Boni, P.L. Bonora, E. Pasini (1996), Değişik malzemeler üzerinde (örneğin %55 Al-Zn – Aluzinc) yapılan organik kaplamaların %3 lük NaCl çözeltisindeki performanslarının zamanla değişimi kapasitans/zaman, impedans/zaman, yük transfer direnci/zaman ölçümleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Örnekler üzerinden elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır.

Varadarajan, K. (1983), Organik kaplı sac malzemelerin dinamik elektrik test yöntemi ile kaplama kalınlığındaki azalmanın organik kaplamanın karakteristik özelliklerinin nasıl bir değişim gösterdiğini incelemiştir.

Tordella, J.P. (1965), Amorf yapıdaki polimer malzemelerin mekanik özelliklerini incelemiştir.

Supnik, R.H. (1962), Organik kaplı sac malzemelere yapılan bükme T-bend testi ve impact testlerinin hassasiyet oranlarını ölçerek incelemiştir.

I.Dehuri, R.L. Howard, S.B. Lyon (1999) : Polyester kaplamalı galvanize çelik malzemelerde laboratuvar koşullarında yapılan atmosferik korozyon testleri sonunda kaplamanın malzeme kenarından başlayarak iç kısımlara doğru nasıl etkilendiğini ve metal korozyonunun hızını belirlemişlerdir. İmpedans ölçümleri ile yapılan deneylerde kaplamanın kenardan başlayarak çok küçük mesafelerle (4mm.) çok farklı şekilde etkilendiği belirtilmekte ve her 4mm.uzaklıkta alınan impedans ölçümleri için farklı eşdeğer devreler önermektedirler.

Schuh, A.E., Theurer, H.C., (1937), Bükme testlerinde kullanılan mandrel çapındaki değişimin Organik kaplı sac malzemelerin uzamasında nasıl bir değişim sergilediğini incelemiş ve ölçmüştür. Farklı kalınlıklarda ve farklı tipte metallerin farklı mandrel çaplarındaki yüzde uzama testlerini yapmış ve ölçüm sonuçlarını tablo halinde sergilemiştir.

Metallerde kaplama, organik kaplı panellerin şekillendirme sonucu tahribat oluşumlarının incelenmesi, korozyon oluşumunun incelenmesi ve kaplanmış malzemelerin korozyona zorlanma işlemleri ile ilgili daha önce yapılmış yerli ve yabancı bir çok çalışma bulunmaktadır.

3. ÇELİK SACLARIN GALVANİZ KAPLANMASI

Günümüzde teknolojinin hızlı bir şekilde ilerlemesinin sonucu olarak ağırlaşan çalışma koşullarında kullanılan makine yapı elemanları ve malzemeleri (metal ve alaşımları): özellikle aşınma, erozyon, korozyon, yorulma, oksidasyon ve yüksek sıcaklığa dayanım konularındaki talepleri tam olarak karşılayamamaktadır. Metal ve alaşımlarının üretiminde kullanılan hammadde rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve artan maliyetler ile aşınma ve korozyonun neden olduğu büyük ekonomik kayıplar, alternatif malzeme arayışlarını hızlandırmış ve dikkatler süper alaşım, plastik, kompozit, sermet ve seramik gibi malzeme grupları üzerine yoğunlaşmıştır. (Üstel, F., Soykan, H. Ş., Çelik, E., Avcı, E. 1995)

Bu malzemelerin kullanım açısından çeşitli problemlerle karşı karşıya kalması nedeniyle metal ve alaşımları ile birlikte kullanımı gündeme gelmiştir. Bu birliktelik, metal veya alaşımdan yapılmış bir taban (altlık) malzeme yüzeyine ince ve koruyucu değeri yüksek bir tabaka üretilmesiyle gerçekleştirilmiştir. (Üstel, F., Soykan, H. Ş., Çelik, E., Avcı, E. 1995)

Çalışma ortamının etkisi ile metalik malzemelerin kimyasal yapıları ve fiziksel özelliklerinde değişimler ortaya çıkmaktadır. Üretilen parçanın ömrünü ve kalitesini artırmak, çalışma ortamının olumsuz koşullarının etkilerini azaltmak ve bazı mekanik özelliklerini iyileştirmek gayesiyle çeşitli metalik ve metalik olmayan kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. (Üstel, F., Soykan, H. Ş., Çelik, E., Avcı, E. 1995)

Genellikle mühendislikte kullanılan malzemelerin istenen dayanıklılığa sahip olması ve uygulanan yükleri taşıması gerekir. Bu tür özellikler malzemenin kendisi ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca malzemeleri verimli olarak kullanılabilmek için gerekli bazı yüzey özelliklerini de taşımalıdırlar. Bunlar iletkenlik, yarıiletkenlik, süperiletkenlik, yalıtkanlık, piezoelektrik, manyetik, optik, optoelektronik, piroelektrik, biouyumluluk ve ısıl özellikler olabileceği gibi; malzemenin kullanım süresi ile yakından ilgili olan aşınma, erozyon, yorulma, sürünme ve korozyon dayanımı gibi özellikleri de içermektedir. Genelde bütün bu özellikleri (mekanik+yüzey) tek bir malzemedede bulmak ya olanaksız, yada çok pahalı olmaktadır. Bu nedenle mühendislik malzemelerinin gerekli yapısal özellikleri sağlayan

ucuz bir malzemeden seçilmesi ve diğer yüzey özelliklerinin ise kaplamalarla sağlanması en uygun çözümdür. (Özenbaş, M. 1995)

Galvanizleme, demir esaslı bir malzemenin sıvı çinko banyosu içerisine daldırılarak yüzeyinin koruyucu bir çinko tabakasıyla kaplanması işlemidir. Galvanizleme, demir esaslı ürünleri atmosferik, toprakaltı ve sualtı korozyonuna karşı korumak için yaygın olarak kullanılan bir koruma yöntemidir. Çinko kaplama çeliği üç şekilde korumaktadır. (Elkoca, O. 2006)

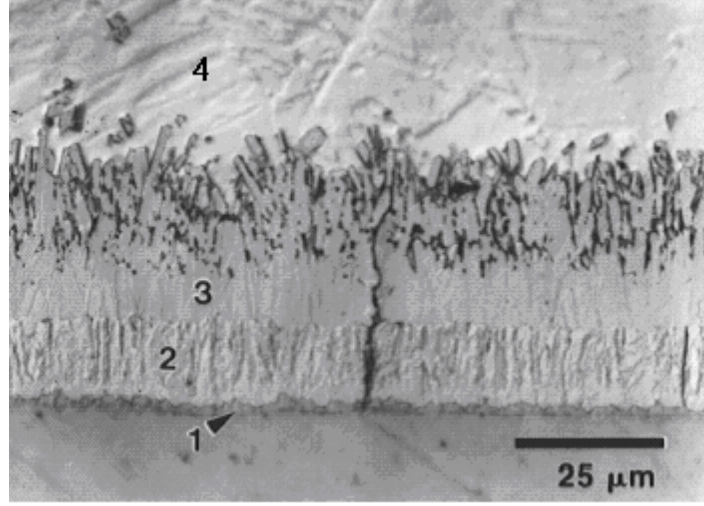
1. Yüzeydeki sürekli çinko filmi çeliği bulunduğu ortamdan ayırır.
2. Kaplamada bir süreksizlik olması durumunda, çeliği korumak için kurban olarak davranır (katodik koruma).
3. Zamanla oluşan çinko korozyon ürünleri genel korozyon hızını yavaşlatır.

Kaplama metalinin uzun süre etkin bir korozyon bariyeri olarak hizmet etmesi için çelik tabandan daha düşük bir hızla korozyona uğraması gerekir. Kaplamanın ıslak kaldığı süre, ortamdaki klor ve sülfat seviyesi gibi etkenlere bağlı olarak korozyon hızı büyük ölçüde değişmesine rağmen, çinko farklı ortamlardaki açık hava korozyonuna çelikten 1-2 defa daha dirençlidir. Açık havaya maruz kalan galvaniz kaplamaların yüzeylerinde zamanla neredeyse çözünmeyen koruyucu bir çinko karbonat filmi oluşur. Bu oluşum korozyon hızını azaltan en önemli etkenlerden birisidir. (Porter, F. C. 1994)

Galvaniz kaplamalar, endüstriyel baca gazlarının bulunmadığı kırsal kesimde en uzun korumayı sağlarken deniz atmosferinde de tatmin edici bir koruma sağlamaktadır. Ancak yüksek ölçüde asidik gazların bulunduğu endüstriyel ortamlarda galvaniz kaplamalar çok hızlı bir şekilde aşındıklarından yeterli koruma sağlayamamaktadır. Bu yüzden bu tür ortamlarda kullanılacak galvanizli ürünler çinko kaplamaya ek olarak aside dayanıklı boyalarla boyanmaktadır. Bir çok anti korozyon sistemine göre galvaniz kaplamalar toksik değildir ve insan yada hayvan yaşamına zararlı bir etkisi yoktur. (Elkoca, O. 2006)

Yukarıda açıklanan özellikler çelik yapılar için galvaniz kaplamayı (özellikle bu parça düşük maliyette ve pahalı bir bakım gerektirmeden uzun süre korozyona karşı korunacaksa) ideal bir koruma yöntemi yapmaktadır. Bu nedenle, günümüzde

galvanizlenmiş çelik en fazla kullanılan kaplı çelik üründür. Tipik bir galvaniz kaplamanın kesitten görünümü Şekil 3.1'deki gibidir. (Elkoca, O. 2006)



Şekil 3-1 450°C'de Al içermeyen bir çinko banyosunda çok düşük karbonlu bir çeliğin 300s galvanizlenmesi sonrasında kaplama yapısında görülen fazlar. (1) Gama fazı Γ γ , (2) Delta fazı δ , (3) Zeta fazı ζ , (4) Eta fazı η (27) (Elkoca, O. 2006)

3.1 Sıcak daldırmayla çinko kaplama yöntemleri

Galvanizleme, pratikte kaplanacak parçaların kaplama öncesi şekillendirilmiş olup olmamalarına göre iki farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Sürekli yöntem ile şekillendirilmemiş çelik şeritler için avantaj sağlarken, yığın yöntemi daha çok işlenmiş bireysel yada grup şeklindeki parçalar için tercih edilmektedir. (Elkoca, O. 2006)

3.1.1 Yığın yöntemi

Bu yöntemde galvanizlenecek parçalar tek tek yada grup şeklinde çinko banyosuna daldırılır, istenilen kaplama kalınlığına göre banyoda tutulduktan sonra banyodan çıkarılır. Yöntemin avantajı, imalat işleminden sonra çinko kaplamanın kesik kenarları, üst üste binmeleri, perçinli ve kaynaklı bölgeleri tamamıyla örterek bir sızdırmazlık sağlamasıdır. İşlem basit ve çok yönlüdür. Civata, somun gibi çok küçüklerinden köprü ve binalar için yapısal kirişler gibi çok büyüklerine kadar çok değişik boyuttaki parçaların kaplanmasında kullanılabilir. Biçim yığın yönteminde sınırlayıcı değildir. Borular, açık kaplar, variller,

tanklar, ısı eşanjörleri gibi karmaşık şekilli parçaların içi ve dışı bir defada kolayca kaplanabilmektedir. (Elkoca, O. 2006)

3.1.2 Sürekli yöntem

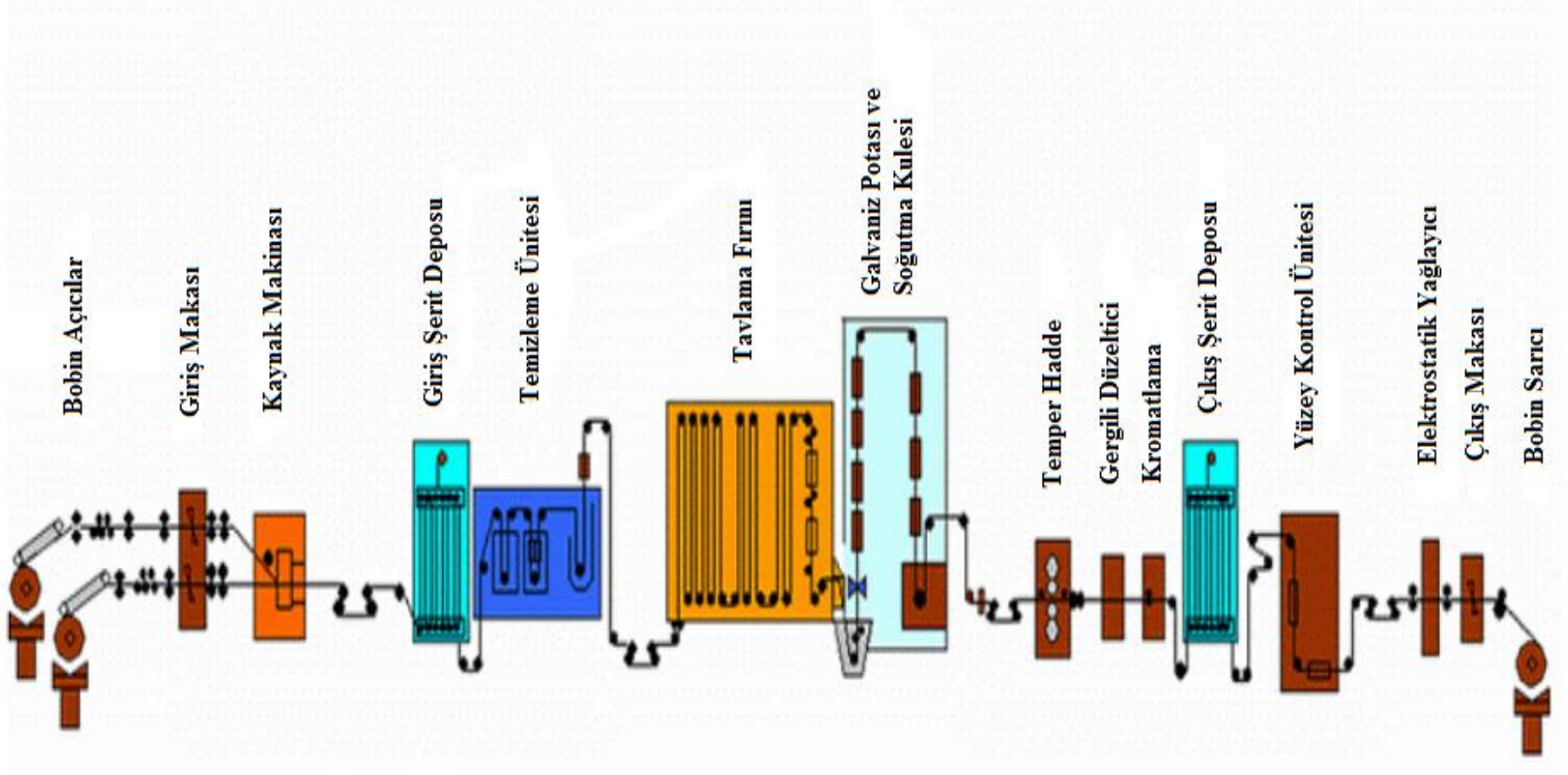
Sürekli yöntemde birbirlerine kaynakla bağlanmış çelik şeritler 200 m/dak.'lık hızlarda galvanizlenebilmektedir. Genel amaçlı kullanım için tek yüzeyde 19 μm 'luk bir kaplama kalınlığı çok yaygındır (bu değer her iki yüzey için 275 g/m²'lik bir kaplama ağırlığına karşılık gelmektedir). Daha kalın kaplamalar otoban drenaj kanalları gibi korozyon direncinin en fazla istendiği uygulamalarda kullanılmaktadır. Şekillenebilirlik ve kaynaklanabilirliğin anahtar olduğu otomotiv endüstrisinde 90g/m² gibi hafif kaplamaların kullanımı daha yaygındır. (Elkoca, O. 2006)

Sürekli yöntemde tipik temizleme adımları; alkali temizleme, asitleme (her ikisi de elektrolitik olabilir), oksidasyon (gaz atmosferinde) ve redüksiyondan (gaz atmosferinde) oluşmaktadır. Gazlı redüksiyonun en son temizleme adımı olduğu durumda çelik havayla temas etmeden ergiyik çinko banyosuna daldırılır. En son temizleme adımı asitleme ise sıvı çinko banyosuna daldırılmadan önce çelik yüzeyinde kalan oksitleri çözen sıvı bir flaks çözeltisinden geçirilir. Buna benzer şekilde gazlı redüksiyon da bir flakslama işlemi olarak düşünülebilir. Şekil 3.2'de sürekli galvanizleme hattının şematik gösterimi verilmiştir.

Temiz çelik bundan sonra çinkonun çelik yüzeyini ıslatması ve kendisi ile reaksiyona girmesine fırsat verecek ölçüde kaplama banyosuna daldırılır. Kaplanmış çelik şerit ergiyik banyosundan çıkarken yüzeyindeki aşırı kaplama hava jetleriyle istenilen kalınlığa ulaşınca kadar süpürülür. (Elkoca, O. 2006)

Kaplama kalınlığı kaplanmış çelik sacların performansının belirlenmesinde anahtar rolü oynamaktadır. Genelde, kalın kaplamalar daha yüksek korozyon direnci sağlarken, ince kaplamalar daha iyi şekillenebilirlik ve kaynaklanabilirlik özelliği sunmaktadır. (Elkoca, O. 2006)

Galvanizli çelik saclar için tipik uygulamalar; inşaat, otomotiv, beyaz eşya ve mefruşat gibi geniş bir sektörel aralığı kapsamaktadır.



Şekil 3-2 Sürekli galvanizleme hattı (CGL) şematik gösterimi (Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş. 2006)

Sürekli galvanizleme ile üretilen düşük karbonlu çelik saclar geniş bir aralıktaki mekanik özelliklerle temin edilebilir. Çıplak çelikte karşılaştırıldığında, kaplama işleminin ısı etkisiyle çelikteki karbonun çökmesi sonucunda ortaya çıkan yaşlanma sertleşmesinden dolayı sıcak galvanizleme ile kaplanmış düşük karbonlu çelik sacın sünekliği bir miktar düşmektedir. Endüstride ekstra derin çekme işlemleri, vakumda gaz giderme ve titanyum ve /veya niobyum ile stabilizasyon sonucunda çok düşük karbon seviyelerine inilen arayer atomsuz (interstitial free) çelik kaliteleriyle yapılmaktadır. Bu tür çelikler galvanizleme işleminin ısı etkisine oldukça duyarsız olup mükemmel bir biçimlenebilirlik sunmaktadır. (Takechi, H. 1992)

Pratikte sürekli galvanizleme yapan tesisler soğuk ve sıcak hatlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Sıcak hatta, yüzeyi kaplamaya hazırlamak için çelik şerit temizlenir ve ardından hidrojen ve azot karışımından oluşan redükleyici bir gaz atmosferinde ısıtılır. Soğuk haddelenmiş çeliğin yaklaşık 700°C olan yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerine ısıtılarak tavlama bu işlemin bir parçasıdır. Sürekli bir çevrim içerisinde temizleme, ısıtma işlem adımlarının birleştirilmesi ve sacın kaplama sıcaklığına getirilmesi, sıcak hatların ekonomik olmasına katkıda bulunmaktadır. Yeniden kristalleşme olmaksızın daha düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilen sıcak işlem sıcak haddelenmiş ve asitlenmiş çelikler yada tavlama olmadan geçirilmiş soğuk haddelenmiş çelikleri kaplamak için kullanılmaktadır. (Elkoca, O. 2006)

3.2 Alaşımli çinko kaplama

Sürekli galvanizleme sonrasında kaplama özelliklerini değiştirmek amacıyla şeride farklı işlemler uygulanabilmektedir. Bunlardan birisi demir-çinko alaşımli kaplama elde etmek için oluşturulan galvaniz kaplamanın tavlama işlemidir. Alaşımli çinko kaplamalar galvaniz kaplamalara göre çok daha iyi punto kaynaklanabilirliği, boya yapışma özelliği ve boyanmış durumda korozyon dayanımı özellikleri sunmakta, presle biçimlendirme sırasında daha az yapışma olasılığı taşımaktadır. (Beranger, G., Henry, G., Sanz, G 1996)

Presle biçimlendirmede karşılaşılabilen tozlaşma ve elektroforetik boyama sırasında ortaya çıkabilen krater oluşumları optimum kaplama özelliklerinin oluşturulmasıyla çözümlenebilmektedir. (Kawaguchi, H., Hirose, Y. 1993)

3.2.1 Alaşımlama tavlı (Galvannealing)

Alaşımlı kaplamalar, galvaniz kaplamanın 500C° civarındaki sıcaklıkta tavlama sırasında yayınmayla gelişen Fe-Zn fazlarından oluşan kaplamalardır. Tavlama işlemi Şekil 3.3'de görüldüğü gibi sıvı çinko potasının üstündeki ısıtma ünitesinde sürekli bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Arzu edilen alaşımlı kaplama özelliklerinin elde edilebilmesi Fe-Zn reaksiyon kinetikleri üzerinde ısıtma hızı, tavlama sıcaklığı ve süresi ve soğutma hızının çok iyi kontrol edilmesini gerektirmektedir. İşlem değişkenleri yanında, çinko banyosunun ve taban çelik sacın kimyasal bileşimi de nihai iç yapıyı ve buna bağlı özellikleri etkilemektedir. (Van der Heiden et al. 1993)

Alaşımlı çinko kaplamalarda görünen iç yapılar Şekil 2.4'deki gibi sınıflandırılmıştır. Presle biçimlendirme sırasında yapılaşma ya da tozlaşmadan kaçınmak için, δ fazının yüzeye ulaştığı ana kadar (yüzeyde minimum ζ fazının kaldığı durum) galvaniz kaplamanın alaşımlanması gerekmektedir. Optimum kaplamalar pratikte 500C° civarında 15-20 saniyelik tutma süresiyle yaklaşık 50C° civarındaki bir proses aralığında elde edilebilmektedir. (Van der Heiden et al. 1993).

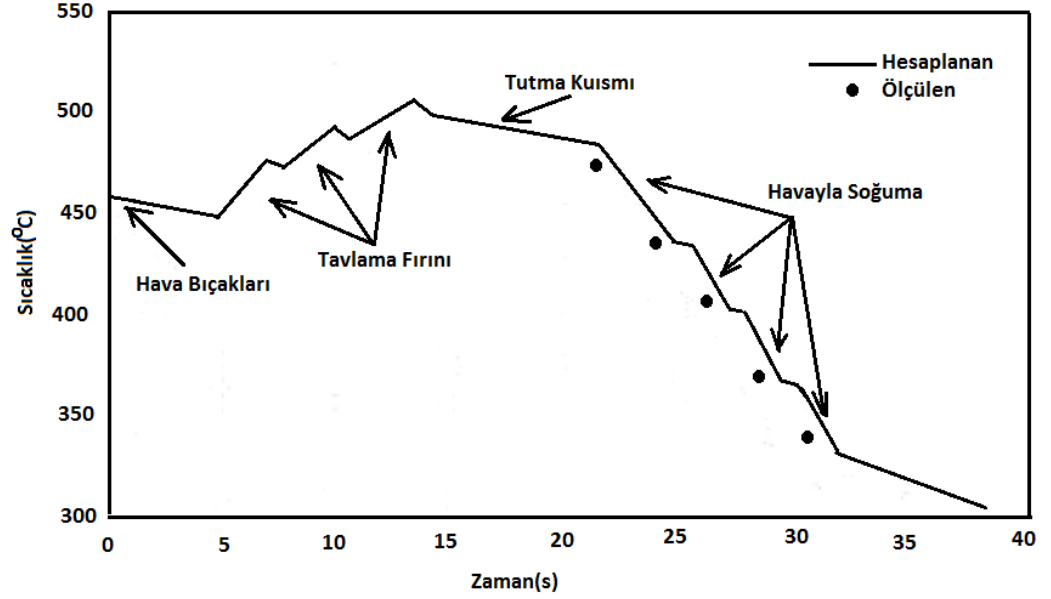
Modern bir sürekli galvanizleme hattının tavlama ünitesi boyunca ilerleyen şeridin tipik sıcaklık profili Şekil 3.3'de görüldüğü gibidir. Şeridin maruz kaldığı sıcaklığın eş-ısıt olmadığı bu profilden açıkça görülmektedir. Bu nedenle pratikte oluşan sıcaklık profilinin karakterize edilmesi son derece önem kazanmaktadır.

Kanamura ve Nakayama tavlama sırasında hem ζ hem de Γ fazlarının büyümesini engellemek için ısıtma hızının mümkün olduğunca yüksek olması gerektiğini ileri sürmektedir. (Kanamaru, T., Nakayama, M. 1995)

Hayes tavlama işlemindeki sıcaklık profilini modellemiş ve kimyasal bileşim açısından farklı bir seri alaşım tabanı üstünde banyo Al içeriği, ısıtma hızı, tutma sıcaklığı ve soğutma hızının etkisini araştırmıştır. (Hayes, S. 1994)

Hayes tavlama sırasındaki alaşımlamanın eş-ısıt bekletmeye ek olarak ısıtma ve soğutma sırasında da gerçekleştiğini göstermiştir. Örneğin, alaşım oluşumunu engellemek

için çelik kimyasal bileşimine ve tutma sıcaklığına bağlı olarak 25-50C°/s arasındaki ısıtma hızları gereklidir. (Hayes, S. 1994)



Şekil 3-3 Tavlama ünitesi boyunca ilerleyen şeridin tipik sıcaklık profili (Banabic, D. 2000)

Presle biçimlendirme özelliklerini iyileştirmek için ince bir Γ fazı ile birlikte yüzeye kadar çıkan bir δ fazının varlığını öngören Kawaguchi ve Hirose, galvanizleme banyosuna Mn ilave ederek peritektik dönüşüm ($S + \delta \rightarrow \zeta$) sıcaklığını (bu sıcaklığın üzerinde ζ fazı artık oluşmamaktadır) daha aşağı sıcaklıklara çekmişlerdir. (Kanamaru, T., Nakayama, M. 1995)

Çinko banyosuna % 0,46 Mn ilavesiyle 520C° civarında olan peritektik dönüşüm sıcaklığı 495 °C'a indiğinden geleneksel tavlama sıcaklıklarında ζ fazı kaybolurken tavlı çinko kaplı sacın biçimlenme özelliğinin de geliştiği ileri sürülmüştür. Derin çekmeye uygun ve yaşlanmayan arayer atomsuz çelik kaliteleri yanında özellikle otomotiv sektöründeki yapısal gövde parçalarında aranılan daha yüksek dayanım fosfor katımlı çeliklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Fosforun alaşımlama kinetiğini yavaşlatıcı etkisinden dolayı pratikteki tavlama koşullarında alaşım oluşumunun geciktiği tespit edilmiştir. Bu nedenle uygulanan hat hızı ve tavlama koşullarına bağlı olarak çelikteki fosfor içeriği ve banyonun kimyasal bileşimi ayarlanmalıdır. (Beranger, G., Henry, G., Sanz, G 1996)

3.3 Galvanizli sacların şekillenebilirliği

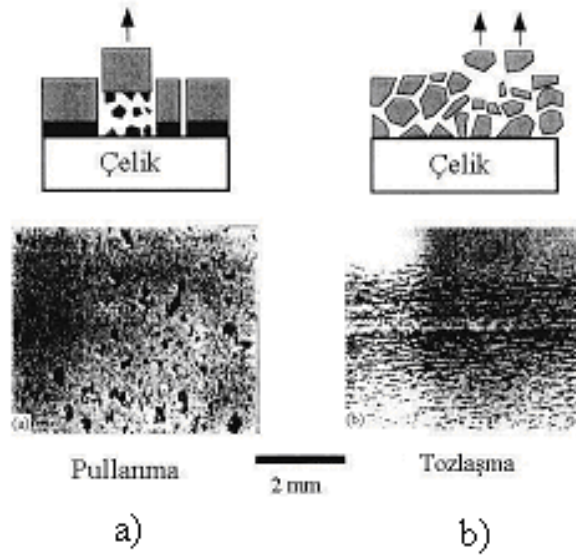
Çelik sac üzerindeki çinko kaplamanın deformasyon davranışı çeliğin presle biçimlendirme işlemindeki performansını etkilemektedir. Kaplamadan dolayı, biçimlendirme sırasında sac/kalıp ara yüzeyinde artan sürtünme koşulları malzemenin biçimlendirmeye tepkisini değiştirebilmektedir. Kaplamanın deformasyon davranışı Fe-Zn fazlarının varlığına ve kalınlığına bağlıdır. (Dieter, G. E. 1984)

Kaplamadan ayrılıp kalıp yüzeylerinde toplanan partiküller sürtünme davranışında değişikliğe yol açarken, biçimlendirilen parçaların da yüzeylerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle galvaniz kaplamanın alaşımlanması sırasında en uygun yüzey özelliklerini verecek içyapısal gelişimin sağlanması esastır.

Galvanizli parçaların şekillendirilmesi sırasında ortaya çıkan pullanma (flaking) ve tozlaşma (powdering) olayları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır. (Özenbaş, M. 1995);

Pullanma: Kaplama kalınlığına yakın boyutta partiküllerin ortaya çıkmasına neden olacak şekilde kaplama-çelik ara yüzeyinin ayrılması (Şekil 3.4 a)

Tozlaşma: Kaplama kalınlığından daha küçük boyutta partiküllerin ortaya çıkmasına neden olacak şekilde kaplama içerisindeki kırılmalar (Şekil 3.4 b)

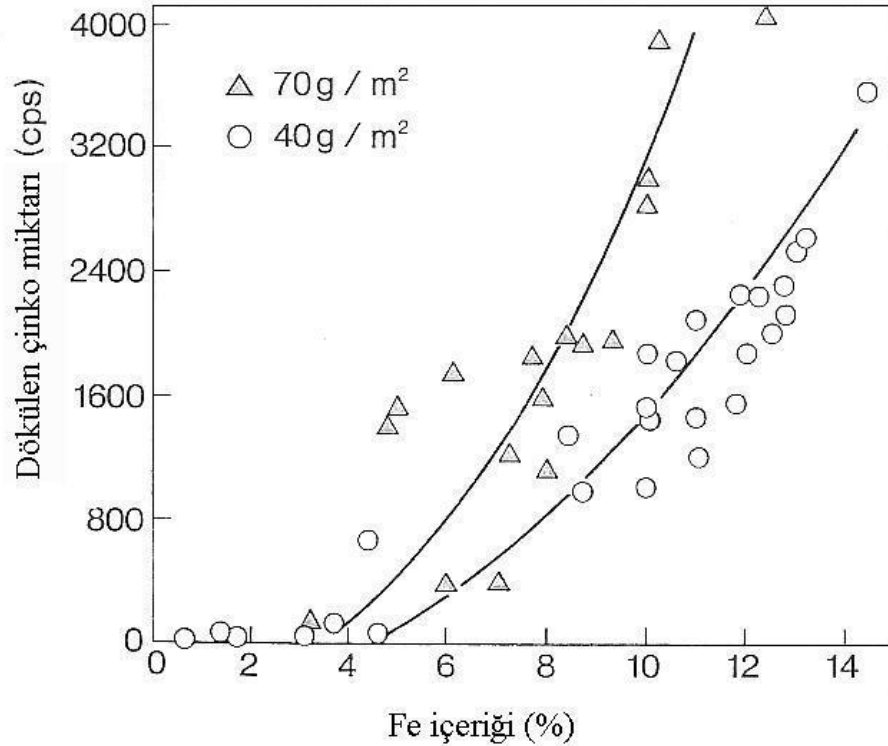


Şekil 3-4 Galvanizli parçaların biçimlendirilmesinde ortaya çıkan problemleri (Özenbaş, M. 1995)

Şekillendirme sırasında ortaya çıkacak tozlaşma ya da pullanma olayları kaplamanın korozyon dayanımı ve boyanabilirliğini düşüreceğinden kaplama içerisinde mevcut gevrek Fe-Zn fazları alaşımlı çinko kaplı sacların şekillenebilirliğinde önemli bir özellik olarak ortaya çıkmaktadır.

Galvaniz kaplı sacların şekillenebilirliği “Bilya Düşürme (Ball-Drop)”, “Çift Olsen”, “180° U Bükme”, “60° V Bükme”, “Ters V Bükme”, “Kupa Çekme (Swift-Cup)”, “Sıyrarak Çekme (Draw Bead)” gibi çeşitli testlerle değerlendirilmektedir. (Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K. 1993)

Bu testlerde numuneler farklı şekilde deforme edildiğinden, değerlendirme sonuçları uygulanan test yöntemiyle ilişkili olmaktadır. Genel olarak, tozlaşma derecesi hem kaplamadaki Fe içeriği hem de kaplama ağırlığıyla artmaktadır. (Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K. 1993)

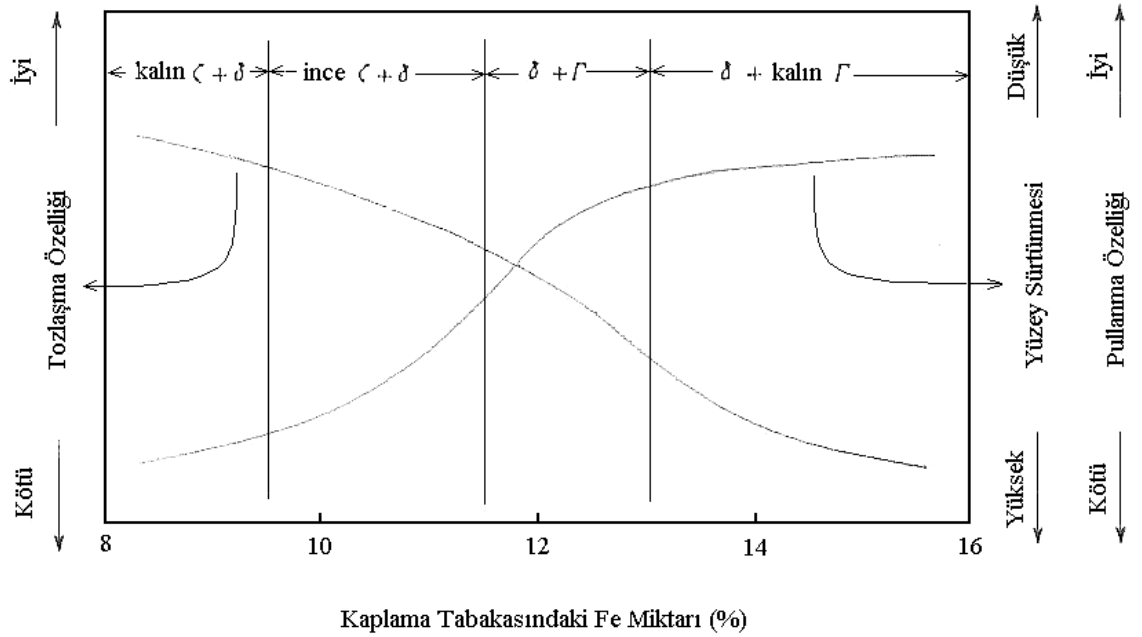


Şekil 3-5 Fe İçeriği ve Kaplama Ağırlığının Tozlaşma Üzerindeki Etkisi (Özenbaş, M. 1995)

Yapılan araştırmalara göre, kaplamadaki çatlama derecesinin Γ fazının varlığına, ζ/δ fazı oranına ya da bu fazlardaki Fe dağılımına bağlı olduğu ileri sürülmüştür. (Özenbaş, M. 1995)

Fe-Zn fazları arasındaki en sünek faz iken δ ve Γ fazları gevrek fazlardır. ζ fazı biçimlendirme sırasında kaplamada ortaya çıkan gerilimlerin bir kısmını soğurabilir ve sünek olmasından dolayı tozlaşmaya karşı daha iyi bir dayanım sergiler. Ancak, ζ fazıyla artan sürtünme katsayısının bir sonucu olarak, biçimlendirme sırasında yetersiz kalan metal akışından dolayı kaplamadan kitlesel kayıplar (pullaşma) olabilir. (Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K. 1993)

İçerisinde ana bileşen olarak δ fazının bulunduğu, yüzeyde bir miktar ζ fazı ve ara yüzeyde göz yumulabilecek ölçüde ince ($\leq 1 \mu\text{m}$) Γ fazı içeren bir kaplamanın pullanma yanında iyi bir tozlaşma dayanımı da sergilediği belirtilmiştir. Şekil 3.6 optimum şekillenebilirliğe sahip bölgeyi göstermektedir.



Şekil 3-6 Şekillendirme özellikleriyle kaplamadaki Fe içeriği ve Fe-Zn fazları arasındaki ilişki (Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K. 1993)

Biçimlendirme sırasında ortaya çıkan çatlaklar Γ fazı/çelik ara yüzeyinde ve δ fazı/ Γ fazı ara yüzeyinde gözlenmiştir. Alaşımlama sırasındaki işlem parametreleri Fe-Zn fazlarının büyüme kinetiğini kontrol etmekte ve bu şekilde kaplamanın son iç yapısı belirlenmektedir. (Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K. 1993)

3.4 Çelik Sacların Şekillendirilmesi

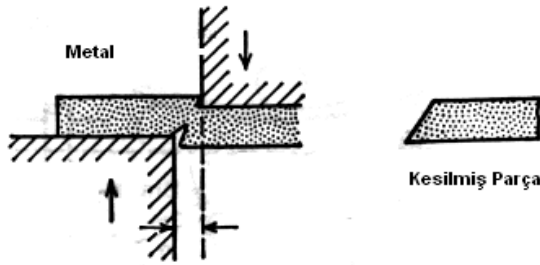
Yassı çelik saclar çeşitli şekillendirme işlemleri yardımıyla mutfak eşyalarından, otomobil parçalarına kadar birçok değişik şekillere biçimlendirilirler. Bu amaçla mekanik ve hidrolik presler kullanılmaktadır. Sac biçimlendirme işlemlerinde kalıplar genellikle iki parçadan oluşur. Çıkıntılı şekle sahip birinci parçaya zımba, girintili şekle sahip ikinci parçaya kalıp denmektedir. Zımba genellikle presin hareketli kısmına bağlanır, kalıp ise sabit tutulur. Çoğu kez metalik sacı kalıp çevresince sıkıştırarak biçimlendirme sırasında kırışmasına engel olacak bir sıkıştırma kalıbı kullanılır. (Dieter, G. E)

3.4.1 Sac şekillendirme yöntemleri

Bükme, sıvama, gererek (stretch) şekillendirme, derin çekme, rulo şekillendirme (roll forming), hidroforming, manyetik dalga ile şekillendirme patlamalı şekillendirme bunlardan birkaçıdır. (Banabic, D. 2000)

3.4.1.1 Kesme

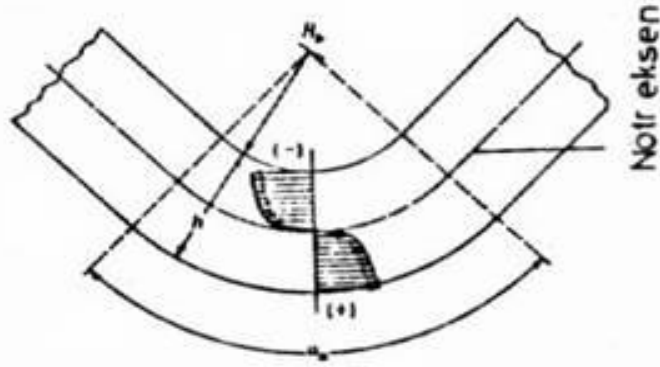
Kesme işlemi, saclarla ilgili imalat işlemlerinde sıklıkla kullanılır. Kesme, yassı çelik sac ve levhaların dilme, ayırma, taslak kesme, delme, çentik açma, yarma, çapak kesme gibi işlemlerinde kullanılır. (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000) Şekil 3.7’de kesme işleminin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 3-7 Kesme işleminin şematik gösterimi (Dieter, G. E)

3.4.1.2 Bükme

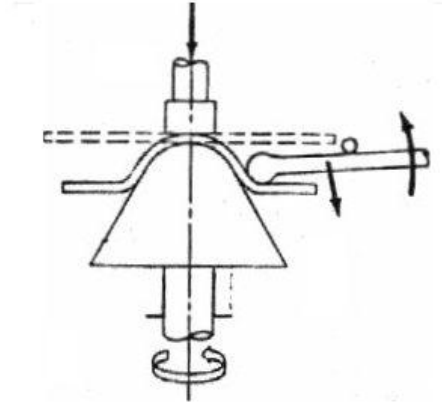
Birçok parça, sacların bir veya birkaç yerinden bükülmesi (Şekil 3.8) ile şekillendirilir. Bükme işleminde malzemenin dış yüzeyinde germe, iç yüzeyinde sıkıştırma olayı söz konusudur. Malzemenin orta bölgesinde ise, ilk boyutun sabit kaldığı bir nötr eksen mevcuttur. (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000)



Şekil 3-8 Bükme işleminin şematik gösterimi (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000)

3.4.1.3 Sıvama

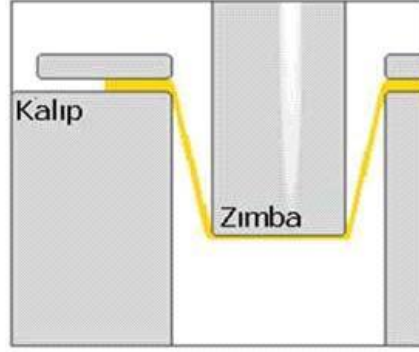
Dairesel simetriye sahip derin parçaların, metalik düz sacın üretilecek parça biçimindeki dönen bir kalıp üzerine bastırılması yoluyla elde edilmesi (Şekil 3.9) işlemine sıvama denir. (Banabic, D. 2000)



Şekil 3-9 Sıvama işleminin şematik gösterimi (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000)

3.4.1.4 Gererek biçimlendirme

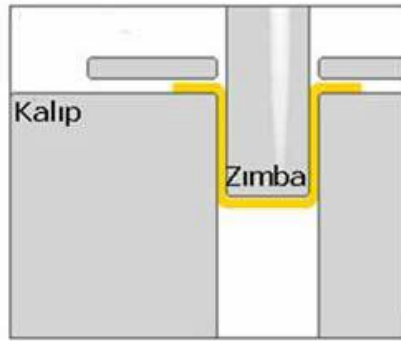
Bu işlemde metalik sac iki ucundan veya çevresi boyunca bağlanır. Daha sonra biçimlendirme kalıbı saca doğru ilerleyerek malzemenin gerilmesini (Şekil 3.10) ve kalıbın biçimini almasını sağlar. (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000)



Şekil 3-10 Gererek biçimlendirmenin şematik gösterimi (Banabic, D. 2000)

3.4.1.5 Çekme

Çekme işlemi, yassı bir metalik sacdan üç boyutlu derin bir kap elde etme işlemidir (Şekil 3.11). Tek seferde çekmeye sığ, birden fazla çekmeye derin çekme denilir. (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000)



Şekil 3-11 Derin çekme işleminin şematik gösterimi (Banabic, D. 2000)

3.5 Sac Biçimlendirme İşlemlerinde Görülen Hatalar

3.5.1 Kırılma

Kırılma, metalik sac şekillendirilirken uygulanan germe veya derin çekme kuvvetlerinin, malzemenin kırılma limitlerini aşması sonucu gerçekleşir. Germede, sac başlangıçta homojen, daha sonra ise bölgesel olarak inceler. Deformasyonun yoğunlaştığı incelmış bu bölgeye boyun vermiş bölge denir ve kırılma son olarak burada gerçekleşir. Genelde boyun vermenin oluşması da bir hasar olarak kabul edilir, çünkü gözle görülebilir bir hata oluşturur ve yapısal zayıflamaya neden olur. (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000)

3.5.2 Buruşma ve kırışma

Sacın şekillendirilmesi esnasında oluşan basma gerilmeleri etkisi ile oluşan gerilmeler, malzeme ve kalınlığına bağlı olarak kritik bir değeri aştığında buruşukluk denilen engebeler oluşur. Eğer sıkıştırma basıncı yeterli değilse kırışıklık denilen daha büyük engebeler ve dalgalanmalar oluşur. Özellikle; kesit değişiminin fazla olduğu ve kalıpla temasın olmadığı durumlarda yaygın oluşur. (Banabic, D. 2000) Sıkıştırma kalıbının basıncını arttırmak genellikle bu sorunu engeller. (Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000)

3.5.3 Şekil bozukluğu

Şekillendirme işlemlerinde metal uygulanan kuvvetler altında elastik ve plastik olarak deforme olur. Dış kuvvetler kaldırıldığında, iç elastik gerilme gevşer. Bazı bölgelerde tamamen gevşeyebilir ve parça boyutunda az miktarda değişme olur. Ancak bükülmeye uğramış bölgelerde et kalınlığı boyunca elastik gerilme değişimi olur, dış yüzeydeki gerilme iç yüzeydekinden farklıdır. Eğer bu gerilmeler engellenmezse veya parça geometrisi tarafından kilitlenmezse, bu gevşeme parça boyutlarında geriye yaylanma (springback) olarak adlandırılan bir değişime neden olur. Geriye yaylanma, kalıp dizaynındaki bazı değişiklikler ile kısmen engellenir. (Banabic, D. 2000)

3.5.4 Serbest metal

Şekillendirme sonrasında malzemenin deformasyona uğramamış bölgelerinde istem dışı çarpılmalar (parçanın bir bölgesi iç bükey/dış bükey) oluşabilir. Aynı yönde ve aynı keskin bükme köşeleri bulunan parçalarda köşeler arasında serbest metal bölgeleri kalabilir. Bu bölgelerin şekillendirme sırasında çekilmesi zordur. Büyük, yassı ve bir miktar eğilmiş parçalarda serbest metal oluşma ihtimali yüksektir. Sac kenarlarındaki sıkıştırma kuvvetlerini arttırmak problemi çözebilir. (Banabic, D. 2000)

3.5.5 İstenmeyen yüzey yapısı

Aşırı deforme olmuş metal sac, eğer büyük taneli ise, “portakal kabuğu” olarak adlandırılan kaba görümlü bir yüzeye sahip olur. Metallerde yüzey probleminin diğer bir nedeni ise malzemenin süreksiz akma göstermesidir. Bu metallerde düşük birim şekil değişimi değerlerindeki deformasyonlar Lüders bantları denilen düzensiz izler oluşturur. Bu hatalar orta ve yüksek birim şekil değişimi seviyelerinde görülmez. Ancak neredeyse her parçada düşük birim şekil değişimi içeren bölgeler vardır. Bu hatalar belirsiz değildir ve boyama ile kapatılamaz. (ASM Handbook, Vol. 8 1978)

3.5.6 Çatlama ve yırtılma

Şekillendirme esnasında uygulanan germe/derin çekme kuvvetlerinin, malzemenin kırılma limitlerini aşması sonucu oluşur. Çatlamanın sebebi, yanlış malzeme seçimi, malzeme hataları (bileşim, kalınlık, inklüzyon), kalıp hatası, yanlış kalıp açıklığı (yorulmalı kırılmayı ateşleyebilir), levhalardaki anizotropik davranışlarla ilgili olabilmektedir. (Banabic, D. 2000)

3.5.7 Yüzey bozukluğu

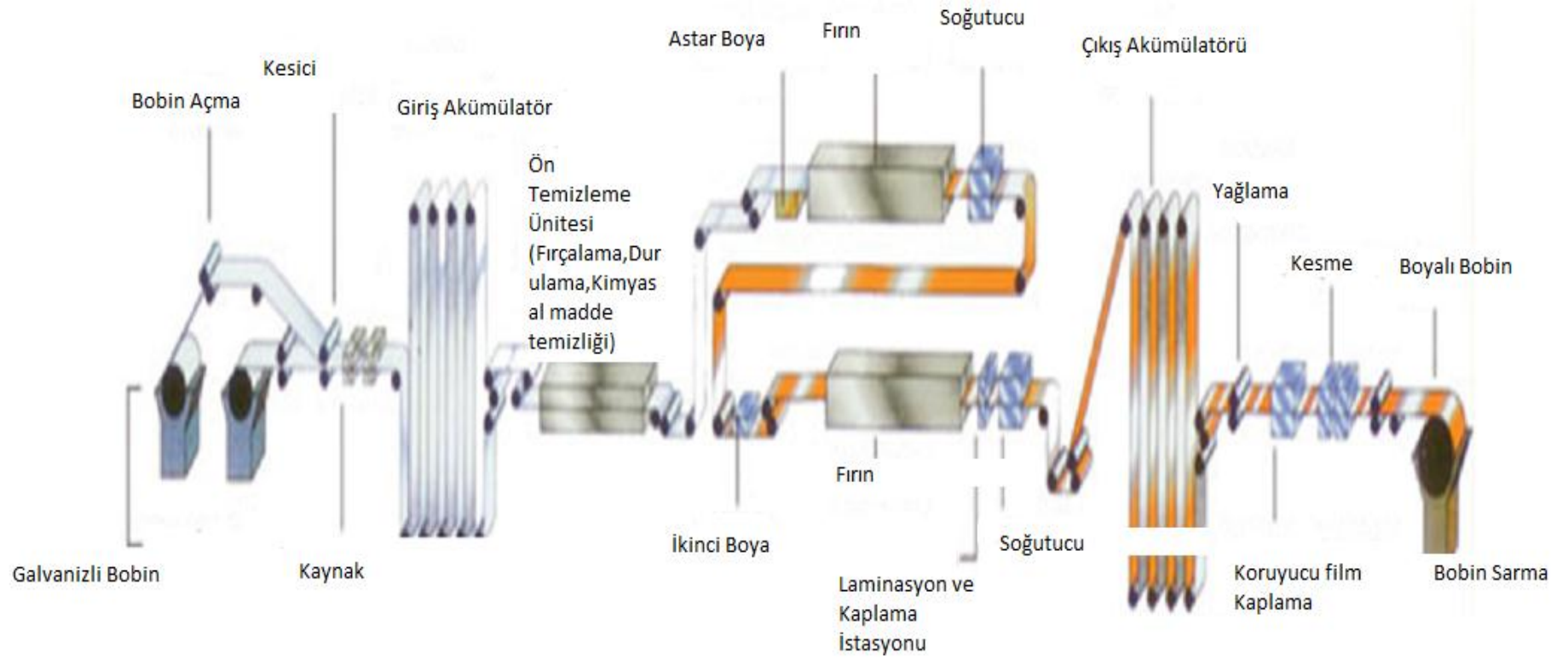
Süreksiz akma problemini önlemek için çelik üretiminin son aşamasında özellikle düşük C’lu saclara Temper Haddesi denilen % 0,5-2 oranında ezme uygulanır. Sac hemen kullanılmayıp stokta bekletilirse süreksiz akma olayı tekrar ortaya çıkar bu olaya “Deformasyon Yaşlanması” denir. Engellemek için C ve N azaltılmalıdır. Al, V, T, Nb gibi karbür ve nitrür oluşturu elementler katılmalıdır. (Banabic, D. 2000)

4. GALVANİZLENMİŞ SACLARIN BOYAYLA KAPLANMASI

4.1 Bobin Boyama Prosesi

Bobin boyama, rulo halinde sarılmış olan sac yada alüminyum metallere uygulanan yüksek otomasyona dayalı bir boyama prosesidir. Sürekli üretim hattında kesintisiz olarak devam eden bu prosesin temel aşamaları şöyledir.

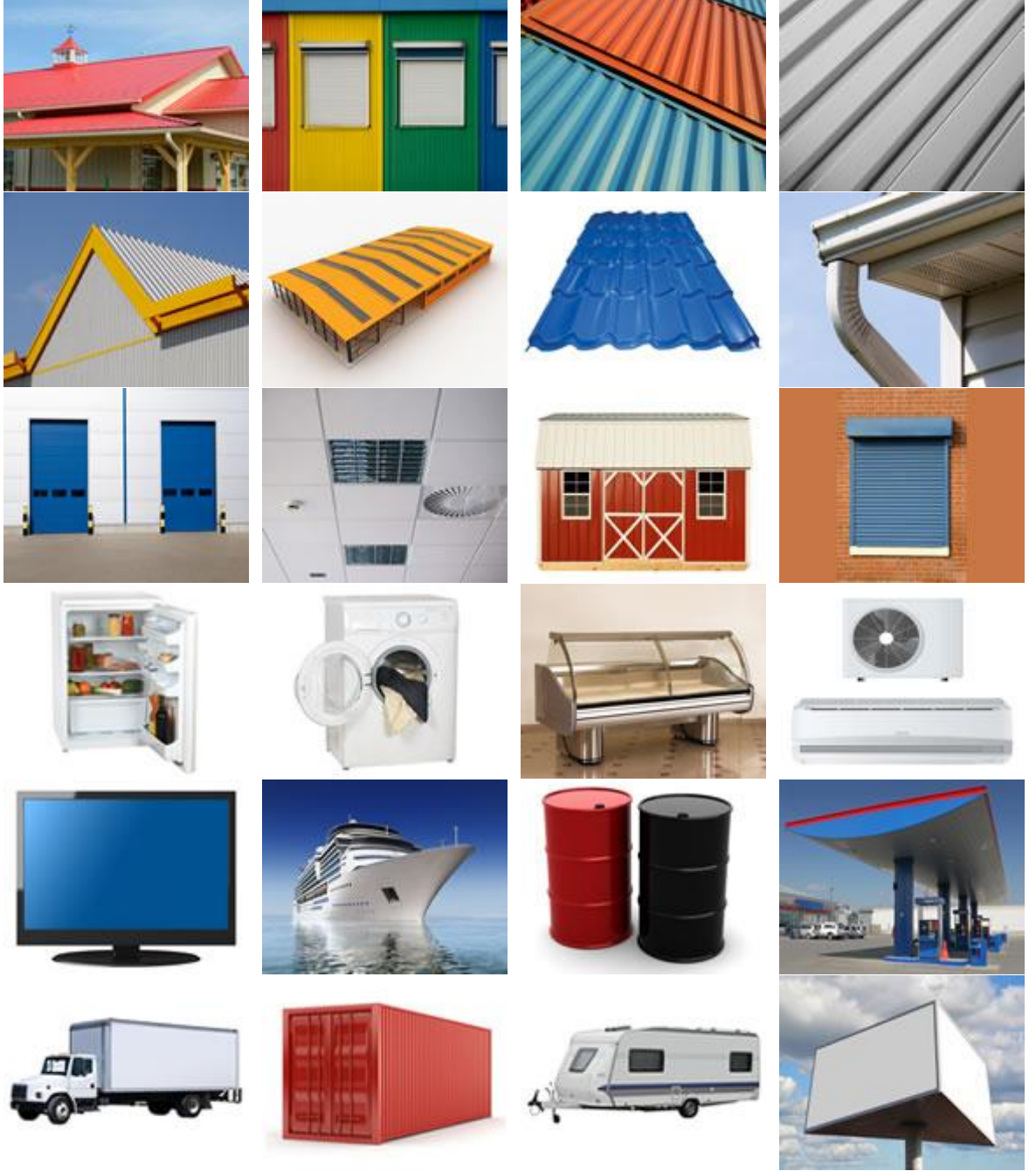
Metal rulo çözücü üniteye yerleştirilir ve sürekli üretim hattında akümülatör vasıtası ile hat durdurulmaksızın klavuz metalin ucuna kenetlenir. Klavuz metal, boyanacak olan metal ruloyu hat içerisine çeker ve yürütmeye başlar. Sürekli üretim hattının çözücü ve akümülatör sonrasındaki ilk aşamasında, boyanacak metalin yüzeyindeki yağ ve kir, alkali temizleyiciler vasıtası ile yıkanır ve durulanır. Devamında ise, korozyon direncini arttırmak ve boya yapışmasını güçlendirmek için kromat uygulaması yapılır. Son kat boya uygulanacak metal yüzeyi / yüzeyleri astarlanır. Astarın kuruması ve yüzeyin son kat boya öncesine hazırlanması için fırınlanır. Metalin astarlanmış yüzeyine / yüzeylerine son kat boya uygulanır. Eğer tek yüzeyde son kat boya uygulaması söz konusu ise, metalin alt yüzeyine de (isteğe göre) alt/arka boya uygulanır. Boyanın kuruması için metal tekrar fırınlanır ve su / hava soğutma sistemleri ile soğutulur. Metalin tamamı için üretime devam edilmeden önce yaklaşık 10–15 mt test parçası alınır. (Test parçası için, üretim başlangıcında klavuz metalin ucuna boyanacak olan bobinden 10–15 mt kadar test parçası kenetlenmiş durumdadır.) Alınan test parçası üzerinde Boya / Astar Film Kalınlıkları, Renk, Parlaklık, MEK Dayanımı, Yapışma, T-Bend, Kalem Sertliği ve Ters Darbe (Sac rulolarda) kontrolleri yapılır. Test parçasının uygun bulunması durumunda, hat başında klavuz malzemenin ucuna boyanacak tüm metal rulo nihai üretim için kenetlenir ve yukarıdaki aşamalar paralelinde üretime geçilir. Hat çıkışında sarıcı üniteye gelen boyalı metal, bobin halinde sarılarak uygun bobin büyüklüğüne ulaştığında sarıcıdan çıkarılır ve ambalajlanarak sevke hazır hale getirilir.



Şekil 4-1 Bobin Boyama Prosesi (Kolor Metal)

4.2 Boyalı Metal Kullanım Alanları

Kara ve deniz taşımacılığı, inşaat sektörü, beyaz eşya, ofis eşyası vb. alanlarda kullanılır. Şekil 4-2 de boya kaplı metallerin kullanım alanlarından örnekler verilmektedir.



Şekil 4-2 Boya Kaplı metallerin Kullanım Alanları (Kolor Metal)

4.3 Kalite Kontrol ve Test Uygulamaları

Kalite kontrol test ve uygulamaları, tablo 4-1 de belirtilen ECCA - European Coil Coating Association (Avrupa Boyalı Metal Birliği) norm ve methodlarına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. (Kolor Metal)

Tablo 4-1 ECCA - European Coil Coating Association Standartları (Kolor Metal)

ECCA T1 (EN 13523-1 / ASTM D 1400)	Kuru Film - Kaplama Kalınlığı Testi
ECCA T2 (EN 13523-2 / ASTM D 523)	Parlaklık Testi - 60°
ECCA T3 (EN 13523-3)	Renk Farkı Testi
ECCA T4 (EN 13523-4 / ASTM D 3363)	Kalem Sertliği Testi
ECCA T5 (EN 13523-5 / ASTM D 2794)	Ters Darbe Testi
ECCA T6 (EN 13523-6 / ASTM D 3359)	Yapışma Testi
ECCA T7 (EN 13523-7 / ASTM D 4145)	T-Bend - Bükme Testi
ECCA T11 (EN 13523-11)	M.E.K - Solvent Silme Testi

EN 13523 standartında Tablo 4.2.de görüleceği gibi astar boya kaplamaları için $5\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ kaplama kalınlığı istemektedir. polyester, pur-pa, pvdf boyaların opak son kat boyaları için $20\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$, metalik son kat boyaları için ise $18\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$, istemektedir. Plastisol boyaların son kat kuru film kalınlığı toleransı $\pm \%10$ 'dur. Sacın alt kısmına uygulanan backcoat için ise $7\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ kaplama istenmektedir.

Boyanın parlaklığının ölçümü için elektronik bir cihaz kullanılır. Bu cihaz 60° açı ile boyalı sac üzerine ışık gönderir ve sacdan geri 60° açı ile yansıyan ışığı ölçer. Örnek olarak 100 birim gönderilene karşılık 60 birim geri geliyorsa parlaklık 60 gloss'dur. Tabloya bakılırsa 20 gloss altı mat, 20 – 40 arası yarı mat, 40 – 70 parlak, 70'den yukarısı ise yüksek parlaklıktadır.

Tablo 4-2 ECCA Test Metotları Standart Uygulama ve Toleransları (Kolor Metal)

ECCA TEST METODLARI STANDART UYGULAMA VE TOLERANSLARI			
TEST ADI	METOD	SP POLYESTER / PVDF / PUR	PVC(P) PLASTİSOL BOYALAR
		PUR-PA BOYALAR	
Astar Kalınlığı	ECCA T1	5 ± 1 µm	
Son Kat Boya Kalınlığı	ECCA T1	Opak Renkler : 20 ± 2 µm	100 µm / 150 µm / 200 µm
		Metalik Renkler : 18 ± 2 µm	İş Emri ± % 10
Toplam Üst Boya Kalınlığı	ECCA T1	Opak Renkler : 25 ± 3 µm	İş Emri ± %10 + (5 ± 1 µm)
(Astar + Son Kat)		Metalik Renkler : 23 ± 3 µm	
Arka Boya Kalınlığı	ECCA T1	7 ± 1 µm (Eğer arka yüzde de astar + son kat boya uygulanacak ise; astar ve son kat boya kalınlıkları standart olarak yukarıdaki gibi uygulanır.)	
Üst Boya 60° Parlaklık	ECCA T2	Mat : < 20	
		Yarı-Parlak : ≥ 20 - < 40	
		Parlak : ≥ 40 - < 70	
		Yüksek Parlak : ≥ 70	
Arka Boya 60° Parlaklık	ECCA T2	Üst Boya Parlaklığı ± 20	
Üst Boya Renk Farkı	ECCA T3	Opak Renkler : ΔE ≤ 1	ΔE ≤ 2
		Metalik Renkler : ΔE ≤ 2	
Üst Boya Kalem Sertliği	ECCA T4	≥ F	-
		(HB-2H)	
Arka Boya Kalem Sertliği	ECCA T4	≥ F	
		(4H)	
Üst Boya Ters Darbe	ECCA T5	> 150 kg.cm	> 150 kg.cm
		Pur Pur-Pa : > 36 kg.cm	Boyada kırılma/çatlama olmamalı.
		Boyada kırılma/çatlama olmamalı.	
Üst Boya Yapışma	ECCA T6	≥ 5B (Yapışma kaybı olmamalı)	
Arka Boya Yapışma	ECCA T6	≥ 4B (Yapışma kaybı olmamalı)	
T-Bend / Bükme	ECCA T7	≤ 1,5 T	≤ 0,5 T
		Boyada kırılma/çatlama olmamalı.	Boyada kırılma/çatlama olmamalı.
Üst Boya M.E.K Silme	ECCA T11	Opak Renkler ≥ 100	-
		Metalik Renkler ≥ 80	
Arka Boya M.E.K Silme	ECCA T11	≥ 20	

Renk farkı için, istenilen renk ile üretilen renk arasında oluşan farka spektrofotometre cihazı ile bakılır. ΔE değerinin opak renkler için 1'den küçük, metalik renkler için ise 2'den küçük olması gerekmektedir.

Kalem sertliğinin ölçülmesi ise, farklı sertlikteki kalemler ile boyalı sac çizilir. Kalemin boyalı sacı çizmediği kalemin sertliği boyalı sacın sertliğini tayin eder. Üst boya kalem sertliği F - 2H arasında olmalıdır.

Ters darbe testinde boyalı sac üzerine 50 cm.yükseklikten 2 kg.lık ağırlık düşürülür. Bu darbenin altında boyalı sac üzerinde herhangi bir tahribat olmamalıdır.

Boyanın sac yüzeyine yapışması kontrol edilir. Cross cut testi yapılır. Yapışma değeri sıfır olmalıdır, üst boya için 5B, alt boya için 4B değerinde olmalıdır.

Bükme testinde boyalı sac 180° katlanarak yapılır. 1.katlama 0 T, 2.katlama 0,5 T, 3.katlama 1 T bükme ve +0,5 T eklenerek sayılarak gidilir. Polyester, pur-pa, pvdf boyalar için en fazla 2 T. Plastisol boyalar için ise 0,5 T değerinin altında katlama istenir.

Metil etil keton (MEK) ile boyanmış sac üzerindeki boya fırçalanarak boyanın sac üzerinden silinmesi için uğraşılır. 100 kere sürtmenin altında boyanın silinmemesi gerekmektedir.

4.3.1 Boya Türleri

Deneylerde kullanılan boyalar içerisinde ihtiva ettikleri kimyasal yapılarına göre Polyester, PVDF ve Plastisol esaslı olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

4.3.1.1 Polyester Esaslı Boya

Metal boyama işlemlerinde en sık kullanılan ve en ekonomik seçenek olup, hem iç hem de dış ortamlarda kullanılabilen son kat boyalardır. Kaplama alanı yüksektir. Geniş parlaklık alternatifleri ile uygulanabilmektedir. (Kolor Metal)

4.3.1.2 PVDF Esaslı Boya

Poliviniliden Florür ve Akrilik Reçine ile (% 70/30) esaslandırılmış son kat boyalar olup, dış ortam dayanıklılığı en üst seviyededir. Korozyon direnci yüksektir. Yüksek maliyetli ve düşük kaplama alanı sunan bir boya olmakla birlikte, UV ve kimyasal direnci mükemmeldir. Renk ve parlaklık kalıcılığı üst seviyededir. (Kolor Metal)

4.3.1.3 Plastisol Esaslı Boya

Yüksek kalınlıklarda uygulanan, dış dayanım ve korozyon mukavemeti üst düzey olan son kat boyalardır. Elastikiyet ve sertlik açısından iyi bir denge sunarlar. Sürtünme ve çizilmelere karşı dayanıklı olup, nem ve tuz dirençleri üst seviyededir. Büküm ve şekillendirme kabiliyeti mükemmeldir. Soğuk ve nemli iklim ve koşullarında üstün koruma sağlayan bu boyalar iç ve dış ortamda kullanılabilir. (Kolor Metal)

4.3.1.4 Poliüretan Esaslı Boya

Polyester ve PVDF esaslı boyalara nazaran daha yüksek kalınlıklarda uygulanabilen bu boyalar, içerdikleri poliamid takviyesi sayesinde sertlikleri ve sürtünme dirençleri açısından ön plandadır. Çizilmeye karşı yüksek dirençli boyalar olup, derin çekme ve bükme işlemlerine uygundur. Düz yada desenli olarak uygulanabilmektedir. (Kolor Metal)

4.3.2 Kaplama Türleri

4.3.2.1 PVC Film Kaplama

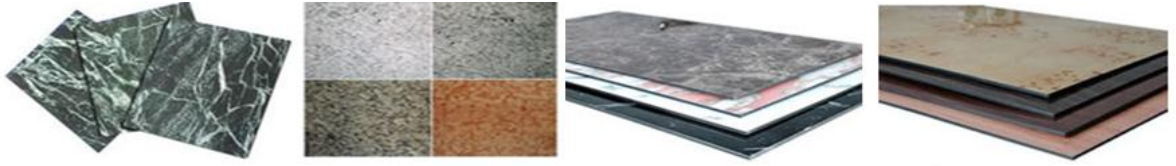
Sac ve alüminyum yüzey üzerine lamine edilen PVC film, iç veya dış ortamlarda kullanılabilir. Düz yüzeyli, dokulu ve desenli alternatifleriyle çok geniş kullanım olanakları sunar. Metalin arka yüzeyine uygulanan boya ile poliüretan köpüğün metale daha iyi tutunması sağlanır. Kaplanmış metal yüzey, talep halinde sökülebilir şeffaf koruyucu film ile kaplanır ve ilave koruma sağlanır. PVC filmler, non-toksik, alev yürütmezlik, UV Direnci, gıda güvenliği ve mekanik ortama uygun seçenekleri ile farklı sektörlerde pratik ve etkili kullanım olanakları sağlamaktadır. Şekil 3.3’de sıcak olarak lamine edilmiş farklı desenlerde saclar bulunmaktadır. (Kolor Metal)



Şekil 4-3 PVC Film Kaplama (Kolor Metal)

4.3.2.2 PET Film Kaplama

Sac ve alüminyum yüzeylere uygulanabilen PET film (Polyethylene Terephtalete) renk ve desen açısından geniş bir yelpaze sunmaktadır. İç ve dış mekanda kullanılabilen bu ürün, mükemmel kimyasal dayanım, buzdolapları için leke bırakmazlık, kolay temizlenebilme, yüksek çizilme direnci ile günümüz kaplama endüstrisinin en gözde ürünlerinden biridir. (Kolor Metal)



Şekil 4-4 PET Film Kaplama (Kolor Metal)

4.3.2.3 PE / Protective Film Kaplama

Boyalı sac, PVC kaplı sac yada boyalı alüminyum yüzeylerin, nakliye, formlandırma, montaj vb. operasyon süreçlerinde çizilme, kirlenme vb. dış etkenlerden korunmasını sağlamak üzere uygulanan filmlerdir. Şeffaf yada renkli olarak 40, 50, 60, 80 micron kalınlıklarda uygulanabilmektedirler. Nakliye, formlandırma yada montaj sonrasında boyalı yüzeyden sökülme üzere geçici olarak kullanılırlar. (Kolor Metal)



Şekil 4-5 PE / Protective Film Kaplama (Kolor Metal)

4.4 Boyaların ve Performans Mukayeseleri

Tablo 4-3 de görüldüğü gibi Büküm Dayanımı en yüksek kaplama olarak, Polyvinyl Chloride – Plastisol ve Polyvinyl Chloride - PVC Film kaplama, büküm dayanımı en zayıf ise Polyamide – Polyurethane olduğu görülmektedir. Nem dayanımı en yüksek PVDF kaplama, en zayıf ise polyester kaplama olduğu görülmektedir. Kimyasal dayanımı en yüksek olan PVDF ve PVC film kaplama, korozyon dayanımı en iyi olan Plastisol kaplama, renk ve parlaklık stabilitesi en iyi olan PVDF kaplama, yüzey sertliği açısından en sert kaplama olarak da Polyuretane Polyamide olduğu görülmektedir.

Çevre koşulları ortamı mukayese tablosu incelendiğinde ise şu sonuçlar görülmektedir; dış mekan endüstriyel çevre koşullarında PVDF kaplama, kıyasal iklim koşullarında da Plastisol kaplamanın daha iyi olduğu görülmektedir. İç mekanlarda, PVC film ve plastisol kaplamanın üstünlüğü, soğuk odalarda da PVC film kaplamanın üstünlüğü göze çarpmaktadır.

Tablo 4-3 Genel Performans Mukayesesi (Akzo Nobel.2009)

Genel Performans Mukayesesi							
Boya/Kaplama Türü	Kodu	Büküm Dayanım puanı	Nem Dayanım puanı	Kimyasal Dayanım puanı	Korozyon Dayanım puanı	Renk & Parlaklık Stabilitesi puanı	Yüzey sertliği puanı
Polyester	SP	3,5	3	3	3	3	4,5
High Durable Modified Polyester	HDP	4	3,5	3	3	3,5	4
Polyurethane	PUR	4	4	3	3	3,5	3
Polyamide - Modified Polyurethane	PUR-PA	3	3,8	3	3	3	5
Polyvinylidene Fluoride – PVDF	PVDF	4,5	5	5	4,5	5	3
Polyvinyl Chloride – Plastisol	PVC(P)	5	4	4	5	2	2
Polyvinyl Chloride - PVC Film	PVC(F)	5	4	5	4,5	2	2

Puan : 1 → 5
Düşük → Yüksek

Tablo 4-4 Çevre Koşul / Ortam Performans Mukayesesi (Akzo Nobel 2009)

Boya/Kaplama Türü	Kodu	DIŞ MEKAN				
		Kırsal	Kentsel	Endüstriyel	Kıyasal	
					5-15 km	< 5 km
Polyester	SP	1	1	0	1	0
High Durable Modified Polyester	HDP	2	2	2	1	1
Polyurethane	PUR	2	2	1	1	1
Polyamide - Modified Polyurethane	PUR-PA	2	2	1	1	1
Polyvinylidene Fluoride - PVDF	PVDF	2	3	3	2	1
Polyvinyl Chloride - Plastisol	PVC(P)	2	3	2	3	2
Polyvinyl Chloride - PVC Film	PVC(F)	1	1	1	1	1
Boya/Kaplama Türü	Kodu	İÇ MEKAN				
		< 25°C	25-50°C	25-50°C	< 25°C	
		< 80% Nem	< 80% Nem	> 80% Nem	Yoğunlaşma	
Polyester	SP	2	2	1	1	
High Durable Modified Polyester	HDP	2	2	1	1	
Polyurethane	PUR	2	2	2	2	
Polyamide - Modified Polyurethane	PUR-PA	2	2	2	2	
Polyvinylidene Fluoride - PVDF	PVDF	2	2	1	2	
Polyvinyl Chloride - Plastisol	PVC(P)	3	2	2	3	
Polyvinyl Chloride - PVC Film	PVC(F)	3	3	2	3	

Boya/Kaplama Türü	Kodu	SOĞUK ODALAR	
		-20 C Max	-30 C Max.
Polyester	SP	1	1
High Durable Modified Polyester	HDP	1	1
Polyurethane	PUR	1	1
Polyamide - Modified Polyurethane	PUR-PA	1	1
Polyvinylidene Fluoride - PVDF	PVDF	2	1
Polyvinyl Chloride - Plastisol	PVC(P)	2	1
Polyvinyl Chloride - PVC Film	PVC(F)	3	2

Puan : 1 → 3

Düşük → Yüksek

5. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ VE AMACI

Soğuk haddelenmiş ve tavllanmış, düşük karbonlu çelikler atmosfer şartlarında kullanıldığında zamanla çok hızlı bir şekilde korozyona uğramaktadırlar. Malzemenin korozyon direncinin artırılması için, atmosfer şartlarında demire göre daha inert olan metal ya da organik malzemelerle kaplama yapılmaktadır. Bu kaplanmış malzemeler, çoğu zaman değişik oranlarda soğuk şekillendirilerek kullanılmaktadır. Soğuk şekillendirmenin, sac yüzeyine yapılan kaplamanın türü ve kalınlığına bağlı olarak, malzemenin kaplamasında tahribata sebep olabileceği ve bunun sonucunda korozyona açık bir hale geleceği düşünülmektedir. Farklı kaplama türleri ve kalınlıklarında kaplanmış malzemenin soğuk şekillendirme sonrasında, kaplama üzerinde tahribat oluşup oluşmadığına bakılacaktır. Sonra hazırlanmış olan numuneler, laboratuvar ortamında korozyona zorlanacaktır. Bu işlemlerin tahribat yaratıp yaratmadığı, tahribat oluşuyorsa hangi şiddette tahribat oluşturduğunun incelenmesi yapılacaktır.

Yapılacak olan bu çalışmanın, genellikle yapılarda çatı ve cephe kaplamalarında kullandığımız malzemelerin hangi türde yüzey kaplama malzemesi ve hangi yüzey kaplama kalınlığı ile kaplanmış malzemeleri kullanmamız gerektiğinin belirlenmesinde bize öncü olacağı düşünülmektedir. Yüzey kaplaması yapılmış malzemelerin soğuk şekillendirme sonrası nasıl bir değişim gösterdiği, aynı türde yüzey kaplama malzemesiyle ve farklı yüzey kaplama kalınlıklarında kaplanmış sacların soğuk şekillendirme karşısında kaplama malzemesinin nasıl bir değişim gösterdiğinin incelenmesi ile hangi kalınlıkta kaplamanın hangi malzeme için daha uygun olacağının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Ulusal yayınların yayınlamış olduğu istatistiki veriler kontrol edildiğinde boyalı sac tüketimleri galvanizli sac tüketimlerine göre daha hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Buradan çıkartılacak sonuca bakarsak, Dünyadaki kaplanmış sac tüketiminin, galvaniz kaplı sac tüketiminden boya kaplı sac tüketimine doğru bir yönelimde olduğu görülmektedir. Dünyada kaplamalı sac tüketiminde galvanizli sacdan boyalı sac tüketimine doğru hızlı bir geçiş olmaktadır.

Nihai tüketiciler ihtiyaçlarını karşılamak için kullanacakları sac malzemelerin hangi koşullarda, ne türde ve hangi nitelikte bir sac malzeme kullanmaları gerektiğini tam olarak

bilememektedirler. Bulundukları çevre ortamının durumunu göz önünde bulundurarak, hangi tür ve hangi nitelikde bir malzeme kullanacaklarını bildiklerinde ise hem kendisi hem de ülke ekonomimiz kazanacaktır. Mesela bazı tüketiciler hiç soğuk şekillendirme yapmamalarına rağmen yüksek bedeller ödeyerek soğuk şekillendirmeye karşı direnci yüksek malzemeler kullanabilmektedirler. Bazı tüketiciler ise aksine yüksek derecede soğuk şekillendirme yapmalarına rağmen, daha uygun fiyatta ve soğuk şekillendirmeye karşı direnci zayıf ve ürünleri seçebilmektedirler.

Ayrıca bu çalışma, sac üzerine kapladığımız kaplamanın kalınlığının da olumlu ya da olumsuz ürünü nasıl etkilediğinin de bilinmesi açısından bize öncü olacaktır. Genelde nihai tüketiciler arasında kaplama kalınlığı arttıkça korozyonlanmaya karşı ürünün direncinin arttığı kanısı hakimdir. Bu çalışmada, kaplama kalınlığının değişiminin korozyonlanmaya karşı ne tür bir etki yaptığını da inceleyeceğiz.

Nihai tüketicilerin bu konuda bilinçsizce malzeme seçimi ileride malzemenin kaplamasında meydana gelen tahribatlar sonucunda korozyonlanmaya karşı bir zafiyet doğurmaktadır. Tüketicinin uzun yıllar kullanabileceği malzeme daha kısa zamanda kullanılmaz hale gelebilmektedir.

Bu çalışmada, piyasa koşullarında en fazla kullanılmakta olan, 0,50 mm kalınlığında, sıcak daldırma metodu ile her iki tarafı 50 g/m² Çinko kaplanmış DX51D+Z100 (EN 10327) kalite saclar kullanılacaktır. Saclardan biri galvanizli olarak bırakılarak, galvaniz kaplı diğer sacların tümüne önce 5 µm kalınlığında poliester astar boya uygulanıp üzerlerine de üç farklı kalınlıkta (Poliester, PVDF ve Plastisol) boya laboratuvar koşullarında uygulanacaktır. Elde edilen on değişik numune 180 derece katlanıp bükülecek, katlanarak bükme yapılan bölgeler korozyona zorlanacaktır. Her 24 saatte bir fotoğraflama işlemleri yapılarak kaplama kalınlıklarının ve boya türlerinin korozyona karşı dirençleri incelenecektir.

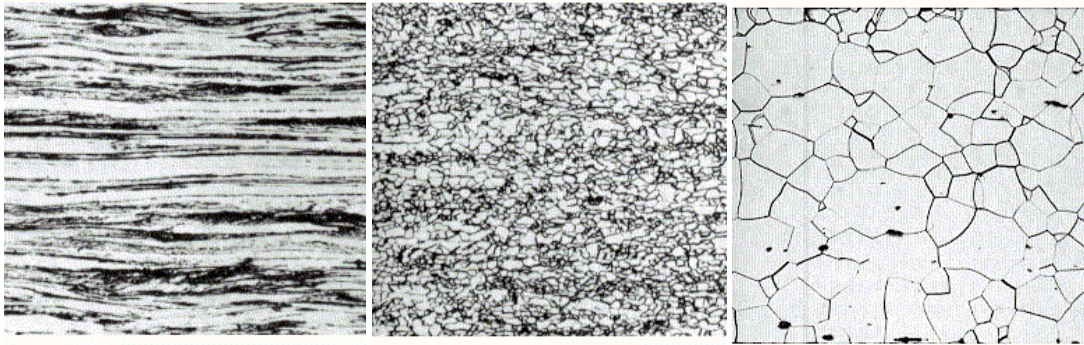
6. MATERYAL VE METOD

6.1 Materyal

Numuneler ilk önce sürekli sıcak daldırma galvanizleme yöntemi ile fabrika işletme şartlarında üretilmiştir. Sıcak haddelenmiş çelikler çinko potasına girmeden önce bir ön rekristalizasyon tavlama işlemine ihtiyaç duymazlar. Sıcak haddelenmiş şeritler sadece çinko banyosu sıcaklığına kadar ısıtılırlar.

Fakat soğuk haddelenmiş olan bobinler galvanizleme hattına alındığında çinko potasına girmeden önce birinci olarak yüzey hazırlama arkasından da tavlama işlemlerine tabi tutulur. Yüzey hazırlama işleminde sac yüzeyinde bulunan yağları sıcak su ve detarjan ile temizleme işlemi (degresleme) gerçekleştirilir. Tavlama işlemi ise yüzey oksitlerini giderip rekristalizasyon adımlarıyla birlikte akma dayanımının düşmesine ve uzamanın artmasına neden olur. Ayrıca, fırın bölgesinde sıcaklık arttıkça şerit tutma zamanının düşürülmesi gerekir. Aksi halde, akma dayanımının düşmesi sonucu şeritte plastik deformasyon artacak ve şeritte kopmalara neden olacaktır.

Soğuk hadde işlemi şeritte sertlik ve dayanımı artırırken aynı zamanda şeridin sünekliğini de azaltmaktadır. Soğuk haddelenmiş şeritteki bu mekanik özellikleri düzeltmek ve istenen forma getirmek amacıyla fırın bölgesinde tavlama işlemi uygulanır. Aşağıdaki şekil 6.1’de soğuk haddelenmiş, 830°de 2 dakika tavllanmış ve 930°de 2 dakika tavllanmış çeliklerin iç yapıları gösterilmiştir.



Soğuk haddelenmiş 830°C 2 dakika tavllanmış 930°C 2 dakika tavllanmış

Şekil 6-1 Şeritlerin iç yapıları (Danielli 2009)

Fırın bölgesinde tavlama işlemi sonucunda soğuk haddeden gelen şeritteki iç gerilmeler azaltılır. Ayrıca, şeridin süneklik, dayanıklılık, yumuşaklık ve işlenebilirlik özellikleri de tavlama işlemiyle artırılır. Şeridin tane yapısındaki kabalıklar da tavlama işlemiyle giderilir. Son olarak da şeridin fırın bölgesinden sonra pota bölgesinde uygulanacak çinko kaplama işleminin de şerit yüzeyinde daha verimli ve homojen yapılabilmesini sağlar.

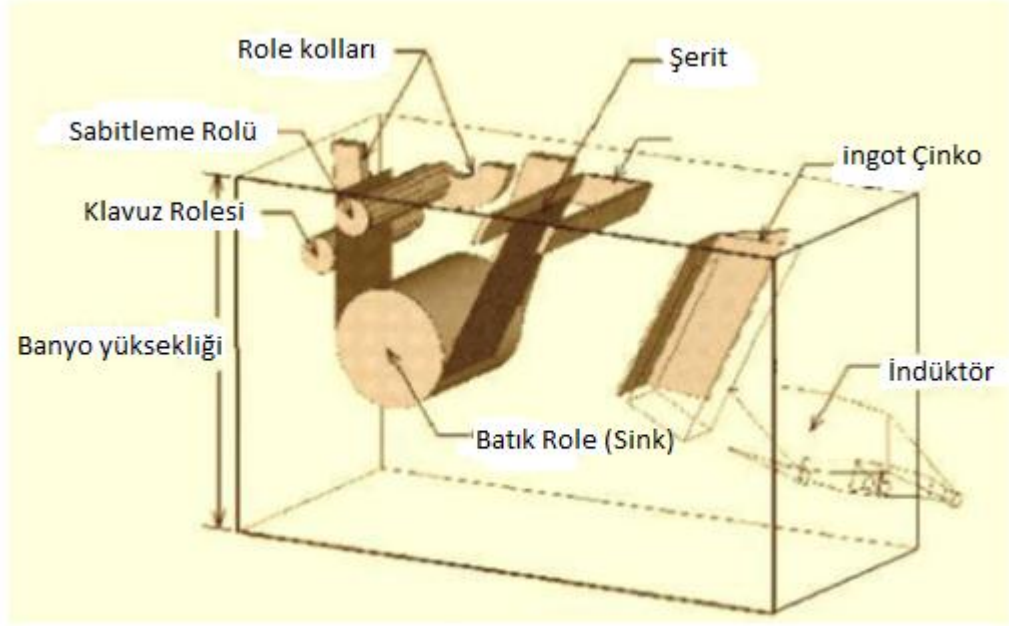
Tavlama işleminin başlıca adımları şeridi belli bir sıcaklığa çıkarmak, arkasından bu sıcaklıkta redükleyici atmosferde belli bir süre tutarak gerekli mekanik özelliklere ulaşılmasını sağlamak ve son olarak da şeridi pota giriş sıcaklığına düşürmektir.

Düşük karbonlu şeritlere tavlama işleminde uygulanacak sıcaklık 700°C'nin altındadır. Çelik karbon denge diyagramından da bakıldığında bu sıcaklıkta çeliğin iç yapısındaki maksimum karbon miktarı 0,02% olmaktadır. Tavlama işleminde daha yüksek sıcaklık uygulanması durumunda istenenden fazla tane büyümesiyle karşılaşılır ve nihai ürün kullanımında şekillendirme işlemlerinde yüzey hatalarıyla karşılaşılır.

Tavlama işleminde uygulanacak tek bir termal döngüden bahsetmek imkansızdır. Çünkü şeridin çelik kalitesi, uygulanmış soğuk haddeleme işlemi ve çeliğin kimyasal kompozisyonuna göre tavlama işleminde uygulanacak termal döngü değişkenlik gösterir.

Tavlama işleminde, soğuk haddelenmiş şeridi % 5 - 6 H₂+N₂ içeren ortamda 800°C sıcaklığa ısıtma sonucunda demir oksitler ve yağ tabakaları şerit yüzeyinden temizlenerek daha sonraki çinko kaplama işleminde çinkonun yüzeye yapışması artırılır. Ayrıca, bu işlem sayesinde rekristalizasyon sağlanarak tane büyümesi gerçekleştirilir. Bunlara ek olarak, soğuk haddeden dolayı çeliğin kaybetmiş olduğu mekanik özellikler şeride yani çeliğe geri kazandırılır. Tavlama işleminin bir diğer sonucu da müşteriye gönderilen nihai ürünün çekme kabiliyetinin artırılmasıdır.

Çinko potasında şerit kaplama işlemi 460°C ±2 sıcaklığında gerçekleştirilir. Pota içinde bulunan çinkoyu ertmek ve çinko banyosunu bu sıcaklıkta tutmak için elektrik indüktörler kullanılır. Çalışmada kullanılacak tüm saclar, sürekli sıcak daldırmayla galvanizleme yöntemi ile üretilmiştir.



Şekil 6-2 Sacın yüzey Kaplama Bölgesi (Danielli 2009)

Şekil 6.2 de görüldüğü üzere sac galvaniz kaplanmak üzere çinko potasına sürekli daldırma yöntemiyle daldırılır. Çinko potasında şerit kaplama işlemi $460^{\circ}\text{C} \pm 2$ sıcaklığında gerçekleştirilir. Pota içinde bulunan çinkoyu ergetmek ve çinko banyosunu bu sıcaklıkta tutmak için elektrik indüktörler kullanılır. Elektrik indüktörlerin çalışma mekanizması yaratılan indüklenmiş akıma karşı sıvı metalin direnç göstermesi esasına dayanır. Thermocouple ve pyrometer (yüksek sıcaklık ölçer) vasıtasıyla çinko banyosunun ve şeridin sıcaklık ölçümü gerçekleştirilir ve belli bir sıcaklıkta tutulması sağlanır. İndüktör bobinlerinin yarattığı elektromanyetik alan ergimiş çinko etrafında dolaşarak çinkonun ısınmasını ve belli bir sıcaklıkta tutulabilmesini sağlar.

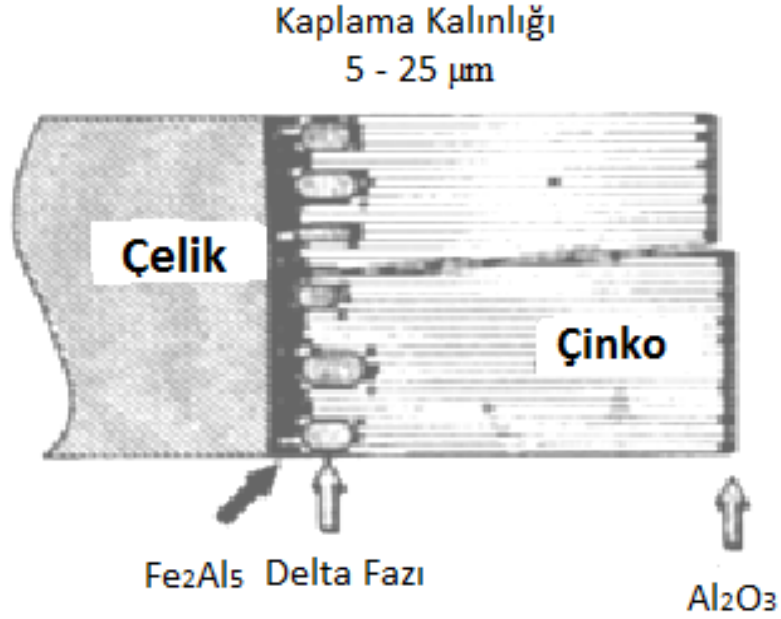
Oluşturulan bu manyetik alan ayrıca ergimiş çinkoda jet akışı etkisi meydana getirerek çinko banyosundaki karıştırma (mixing) işini de gerçekleştirir. Böylece, indüktörler çinko banyosunun her yerinde homojen bir kompozisyon dağılımına, sabit sıcaklık dağılımına ve homojen ergimişlik seviyesine ortam sağlarlar.

Çinko banyosu bileşiminde demir oranının %5'i geçmesi durumunda, taban curuf oluşumu artar ve tabanda birikme yapar. Arkasından yapılacak banyo karıştırma

işlemindeyse bu taban curufları banyo yüzeyine doğru yükselir ve istenmeyen şekilde şerit yüzeyine curuf yapışmasıyla karşılaşılır.

Çinko potasında ergimiş çinko ve gelen şerit arasında difüzyon adı verilen kimyasal tepkime gerçekleşir. Sonuç olarak çinko ve çelik arasında bulunan katı karışım tabakası ortaya çıkar. Bu alaşım tabakası (intermetalik bileşim) belli oranlarda demir ve çinko içererek $ZnFe_7$ bileşiği oluşturur. Bu alaşım çelik ve çinko arasında kuvvetli bir bağ oluşmasını sağlar. Fakat, bu alaşımın bir diğer özelliği de sünekliğinin çok zayıf olması, kırılkan ve sert olmasıdır. Bu da şeridin şekillendirme işlemlerinde alaşım tabakasında çatlaklar oluşmasına ve çinko kaplamanın pul pul soyulmasına neden olur.

Fakat, çinko banyosunda alüminyum bulunması durumunda, alüminyumun demire karşı afinitesi çinkonunkinden fazla olduğu için şerit çinko banyosuna girer girmez demir ve alüminyum arasında Fe_2Al_5 bileşimine sahip alaşım oluşur. Oluşan bu yapılar Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Bu alaşım tabakası çok ince bir yapıya sahiptir ve çinko demir arasındaki tepkimeyi geciktirir. Bu nedenle bariyer veya inhibisyon tabakası olarak da bilinir. Daha sonrasında çinko da bu alaşım tabakasına girerek çok ince ve sünek bir yapıya sahip üçlü alaşım tabakası oluşturur. Bu üçlü alaşım tabakası yaklaşık 45% Al, 35% Fe ve 20-35% Zn karışımından meydana gelir ($Fe_2Al_5 - XZnX$). Bu ince ve sünek yapıya sahip alaşım tabakası şeridin şekillendirilmesinde veya eğilip bükülmesinde herhangi bir kaplama çatlağına veya kaplama adhezyonun bozulmasına meydan vermez.

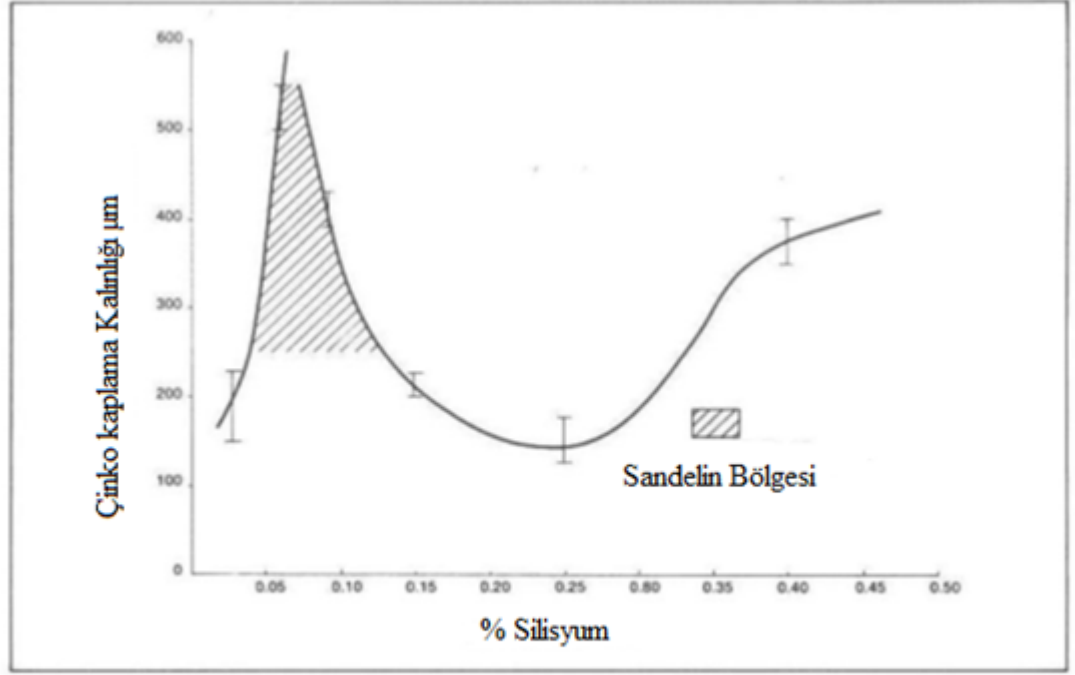


Şekil 6-3 Çelik ve çinko alaşımlarının mikro düzeydeki durumu (Danielli 2009)

İyi galvaniz kaplama adhezyonu sağlamak için gereken çelik içyapısı özellikleri;

- Çelik kompozisyonunda C (Karbon) seviyesi 0.25%'den düşük olmalıdır.
- Çelik içinde Mn (Mangan) miktarının ise 1.35%'den az olması arzu edilir.
- Si (Silisyum) seviyesi ise 0.03%'den düşük veya 0.15% - 0.25% aralığında olmalıdır. Bunun nedeni kaplama kalınlığının belirtilen silisyum oranlarında düşük olması ve bu nedenle de kaplama adhezyonun yüksek olmasıdır.

Si (Silisyum) seviyesinin çinko kaplama etkinliğine etkisi ile ilgili Sandelin tarafından yapılmış araştırma sonuçlarına göre elde edilmiş grafik ise aşağıda şekil 6.4'de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere % 0,03 ile % 0,15 arasında çinko kaplama kalınlığı hızlı bir şekilde artmaktadır.



Şekil 6-4 : 460 derece sıcaklıkta çinko potasına daldırılmış Demir Silisyum (Fe-Si) alaşımının çinko kaplama kalınlığının, % Silisyum oranına göre değişimi

- Çelik kimyasal kompozisyonunda P (Fosfor) seviyesi ise 0.04%'den kesinlikle yukarıda olmamalıdır. Fosfor miktarının bu değerden fazla olması durumunda ise galvaniz kalınlığının hızlı bir şekilde artar. Sonuç olarak fosfor ve silisyum miktarı galvaniz kaplama üzerinde benzer etkiler göstererek kaplama adhezyonunda değişkenliklere neden olurlar. Yüksek oranda fosfor veya fosfor + silisyum galvaniz kaplama daha kırılgan bir yapıya sahip olmasına neden olurlar.

İyi kaplama adhezyonu için: $\%Si + 2,5\%P \leq 0,090$ (Pelerin bağıntısı) (Danielli 2009)

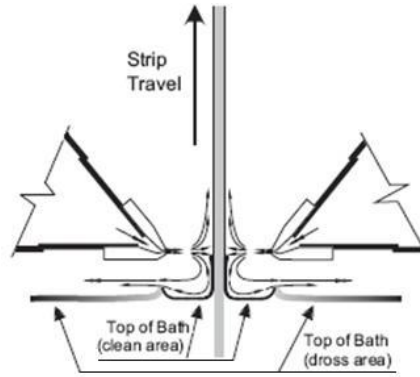
Değişik kalınlık ve kaplama miktarlı, DX51D+Z kalite galvanizli saclardan kesilmiş numunelerin genel özellikleri Çizelge 6.1'de verilmiştir. Bu nitelikteki çeliğin kimyasal ve mekanik özellikleri aşağıdaki tabloda belirtilmiştir. Bu tip çelikler soğuk haddelemeye uygundur düşük C (Karbon) ve düşük Si (silisyum) ihtiva ederler. Akma ve çekme mukavemetleri düşük, kopma uzaması yüksektir ve yumuşaktırlar. Şekillenebilirlikleri kolaydır ve galvaniz kaplamaya uygundurlar.

Tablo 6-1 Çalışmada kullanılan sacların genel özellikleri (Çetin M.2011)

Çelik Kimyasal Kompozisyonu %				
C	Si	Mn	P	S
0,045	0,024	0,234	0,011	0,005
Mekanik Özellikler				
Akma Mukavemeti Re	Çekme Mukavemeti Rm	Kopma Uzaması A ₈₀	Plastic Strain Ratio r ₉₀	Strain Hardening Exponent n ₉₀
EN 10002-1	EN 10002-1	EN 10002-1	ISO 10113	EN 10325
(N/mm ²)	(N/mm ²)	%		
350	417	30	1,2	0,19
Kaplama Tabakası Kompozisyonu %				
Al	Fe	Cd	Sb	Pb
0,52153		0,00009	0,00004	0,00153
Üretim Sırasındaki Çinko Potası Kompozisyonu %				
Al	Fe	Cd	Sb	Pb
0,21135	0,01634	0,00009	0,00004	0,00151

Fabrika prosesi esnasında üretilen galvanizli saclar çinko potasında sürekli sıcak daldırarak galvanizleme işlemi uygulandıktan sonra, çinko potası çıkışında jet hava bıçakları sayesinde galvanizlenmiş sac istenen çinko kaplama kalınlığına getirilir. Hava bıçakları çinko potasından hemen sonra şeridin her iki tarafında bulunacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Hava bıçakları ekipmanı genel olarak iki hava bıçağı, bu hava bıçaklarının yerlerini belirleyici kaldıraç ünitesi, baffle'lar, hava üfleyici ve hava üfleyici borularından oluşmaktadır. Hava bıçakları üfleyicilerden iletilen basınçlı havayı çinko potasından çıkan şeridin üzerine iki taraftan üfleyerek her iki yüzeyde de fazladan bulunan çinko kaplamayı kaldırarak belli bir çinko kaplama kalınlığı elde edilmesini sağlarlar. Bu işlem şeridin genişliği boyunca eşit miktarda yapılmaya çalışılarak şeridin genelinde aynı seviyede homojen çinko kaplama kalınlığı elde edilmeye çalışılır. Hava bıçakları nozzle dudaklarının her iki ucunda bulunan iki baffle vasıtasıyla şerit üzerindeki çinko kaplama

kalınlığının her yerde homojen olması sağlanır. Normalde, hava bıçaklarının çalışması sırasında jet hava basıncının şerit kenarlarında turbulans etkisi göstermesi sonucu şerit kenarlarında istenen sıyırma işlemi yapılamamakta ve çinko kaplama kalınlığı şeridin kenarlarında orta kısımlara göre daha fazla olmaktadır. Fakat sistemde jet hava bıçaklarının her iki ucunda bulunan baffle lar tam şeride hizalanarak ve şerit ile baffle aralarında asgari mesafe bırakılarak baffle'lar şeridin kenar parçalarıymış gibi hareket ederler ve şerit kenarları yerine baffle'ların kenarlarında türbülans oluşumunu meydana getirirler. Böylece şerit kenarlarındaki kaplama kalınlığı türbülansdan etkilenmeden şeridin orta kısımlarındakiyle aynı miktarda basınçlı hava sıyırmasına maruz kalırlar. Böylece, şeridin orta kısımlarıyla şerit kenarları kaplama kalınlığı arasında herhangi bir fark olmaksızın şerit genişliği boyunca sabit çinko kaplama kalınlığı elde edilir. Bafflelar ayrıca, şerit kenarlarındaki türbülansı azaltmalarından dolayı türbülans sonucu oluşacak gürültü seviyesinin de düşmesini sağlarlar. Kenar baffleların bir diğer özelliği de, şerit çinko banyosundan çıkarken şerit kenarlarında birikmeler yapabilecek curuf parçacıklarının şeride yapışmasını önlemektir. Hava bıçaklarının basınçlı hava üflemesi sonucu şeridin yüzeyinden sıyrılan fazladan çinko banyo yüzeyine akar ve şeridin banyodan çıkış bölgesinde curufsuz ergimiş çinko metal bölgesi oluşturur. Fakat şerit kenarlarında ise yaratılan hava türbülansından dolayı (basınç farkı) curuf parçacıkları çinko banyosundan çıkan şeridin kenarlarına doğru yayılma eğilimi gösterir. Baffleların kullanılması durumunda şeridin kenarlarında oluşacak türbülans önlenmiş olacak ve şerit kenarlarına curuf yapışma sorunu giderilecektir.



Şekil 6-4 Jet Hava Bıçağı Mekanizması (Danielli. 2009)

Şerit kenarlarında fazladan kaplama birikmesini önlemek için, hava bıçaklarının dizaynında dudaklarda merkez bölgesi dar olarak ayarlanmışken kenarlara doğru dudak aralığı arttırılır yani daha geniş bir dudak aralığı sağlanarak kenarlarda jet sıyırma işlemi daha yoğunlaştırılır. Bu durum yavaş proses hızıyla ağır kaplama kalınlığında veya yüksek proses hızında hafif kaplama ağırlığında çalışılırken daha fazla önem arz etmektedir. Ayrıca, bu dizayn sayesinde operatör hava bıçaklarını çinko banyosuna daha yakın yani çok kısa mesafede çalıştırma imkanına sahip olur.

Hava bıçakları üzerinde çinko birikmesi sonucu tıkanma sorunuyla karşı kaşıya kalırlar. Bu tıkanıklıkların hava bıçaklarının dudaklarından temizlenmesi ve tam performansta çalışmaları gerekir. Bu amaçla hava bıçaklarının dudaklarının iç kısmında bulunan ufak bir plaka vasıtasıyla temizleme işlemi gerçekleştirilir. Bu temizleme işlemi manuel olarak operator tarafından lokal operator panelinde gerçekleştirilebilir. Şeridin genişliği boyunca homojen (uniform) kaplama kalınlığı elde etmek amacıyla kontrol altında tutulması gereken parametreler;

1. Hava bıçaklarının çinko banyosu yüzeyinden yüksekliği
2. Hava bıçaklarının dudak aralığı
3. Hava bıçaklarında uygulanan hava basıncı ve jet hızı
4. Hava bıçaklarının şeride olan uzaklığı ve açısı

Şerit hızı ne kadar yüksek olursa, belirli bir kaplama kalınlığı elde etmek için uygulanacak hava basıncının o kadar yüksek olması gerekir. Hava bıçaklarının çinko banyosu yüzeyine çok yakın çalışmasının amacı birincil olarak çinko banyosundan gerçekleşebilecek herhangi bir sıçramaya engel olmak ve şerit yüzeyinde istenmeyen kaplama kalınlığını ve hava bıçakları dudaklarının tıkanmasını önlemektir. Ayrıca, bu durum çinko banyosundan çıkan şeridin herhangi bir titreşime maruz kalmadan hava bıçaklarına girmesine yardımcı olur.

Hava bıçaklarının düşük hava basıncıyla çalışmaları arzu edilir. Bunun nedeni, yüksek hava basıncının çinko banyosu üzerinde türbülans etkisi yaratarak çinko banyosundan şerit yüzeyine hava bıçakları dudaklarına sıçramaları engellemektir. Ayrıca, yüksek hava basıncı durumunda çinko banyosu yüzeyindeki türbülansın artması ve oksijen miktarının artmasından dolayı curuf oluşumu daha da yüksek seviyelerde olacaktır.

Hava bıçakları dudak aralığının dar olması durumunda, yüksek hızlarda hafif kaplama kalınlığında çalışılırken sıçrama miktarı minimuma indirilebilir. Ayrıca, dar dudak aralığı hafif kaplama kalınlığı elde edilmesini daha kolaylaştırmaktadır. Hava bıçaklarının dudak aralığının geniş olması durumunda ise, şeridin hava bıçaklarına olan uzaklığının jet sıyırma operasyonuna etkisi daha az olacaktır. Ek olarak, geniş dudak aralıklarının kaplama malzemesinin sıçramasıyla tıkanma tehlikesi daha azdır.

Hat duruşları sırasında, jet hava bıçaklarını şeritten uzaklaştırarak hava bıçaklarının şeridin ve potanın ısısından zarar görmesini engellemek gerekir. Eğer bu duruşlar birkaç dakikadan daha fazlaysa, hava bıçaklarını şeritten uzaklaştırmanın yanında ayrıca hava bıçakları yaklaşık 0.5 m civarında yükseltilerek potadan uzaklaşması sağlanır. Bu duruşların 3-4 saatten daha fazlayı bulması durumunda ise hava bıçaklarının pota bölgesinden uzaklaştırılması pratik olarak iyi sonuçlar verebilir.

Çinko potasından çıkan ve hava bıçaklarından geçen şeridin yüzeyine hava çarptırma işlemiyle soğutma işlemi gerçekleştirilir. Şerit soğutma bölgesinde ilk olarak dikey hatta yukarı doğru ilerler. Arkasından soğutma kulesinin tepesinde bulunan turnover roll vasıtasıyla yatay hatta çekilen şerit hemen sonrasında bulunan turndown roll vasıtasıyla tekrar dikey hatta fakat zıt yönde ilerletilir.

Soğutma işleminden sonra şerit 30 – 40 C° ye kadar düşmüştür. Soğutma prosesinden sonraki proses boyanacak olan galvanizli saclar için skin pass (pürüzlendirme) prosesidir. Burada skinpass prosesinin amacı galvanizli sac üzerine uygulanacak olan boya kaplamasının sac üzerinde tutunmasını arttırmak için uygulanır. Pürüzlendirme prosesinde galvanizli şerit yüzeyinde 0,80 – 1,2 Ra pürüzlülük oluşur.

Galvanizli saclar üretildikten sonraki proses boyama hattıdır. Boyama hattında müşterinin istediği renklerde boyalı saclar üretilir. Fabrika koşullarında boyama hattında yapılan kaplamanın aynısını laboratuvar koşullarında da gerçekleştirebiliriz.

6.2 Metod

Bu işlemler laboratuvar koşullarında aşağıdaki işlem sırasına göre gerçekleştirilmiştir.

1. Hat üzerinde kullanılan galvanizlenmiş saclardan numune alınarak 200x150 mm boyutlarında paneller hazırlandı.
2. Panellerin kesim noktalarında mevcut olan çapaklar el makası yardımıyla alınır.
3. Panelin ulaştığı sıcaklığın belirteci olan ve Temperature Indicator olarak adlandırılan şerit panele yapıştırıldı.
4. Aplikasyonu yapılacak yaş boya, panele yapıştırılan şeridin hemen altına ve panelin kısa kenarına paralel olarak damlatıldı.
5. Uygun bar aplikatör seçildi.
6. Damlatılan boya, bar aplikatör ile tek seferde panele yayıldı.
7. Aplikasyon paneli fırına (300 °C) verildi.
8. Uygun sürede (20-35 saniye) bekletildikten sonra çıkartılarak soğutma suyuna daldırılarak kurutuldu.

Bu işlemlerin gerçekleştirilmesinden önce baz metalimiz olan galvanizli sac işletme şartlarında sürekli sıcak daldırarak galvanizleme yöntemi ile ve skin pass işlemi de uygulanmak suretiyle elde edilmiştir.

Üretilmiş olan galvanizli sacdan laboratuvar koşullarında boya kaplaması yapmak için numuneler kesildi. Numune seçiminde şunlara dikkat edimiştir.

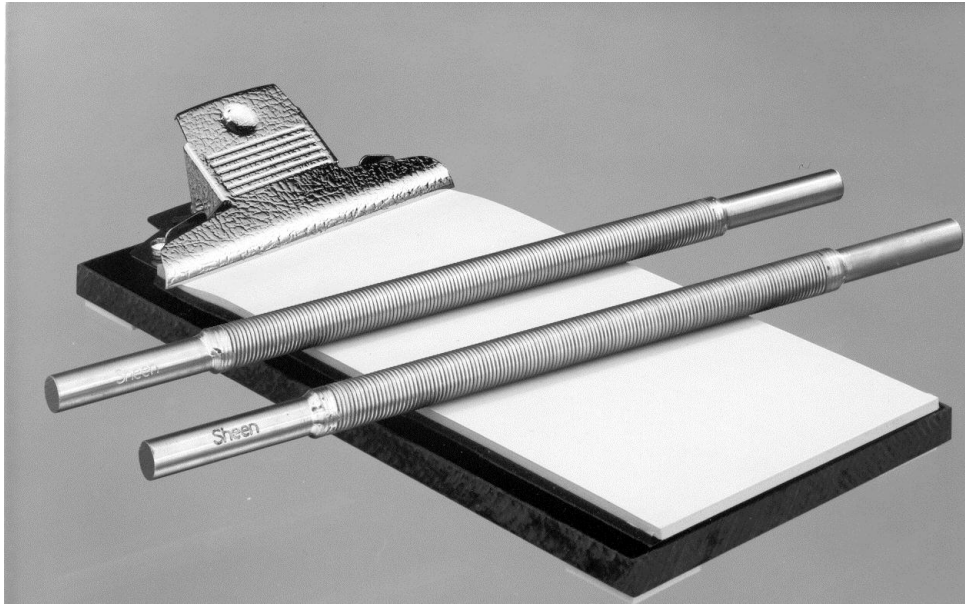
Seçilecek galvanizli panelde skin pass (pürüzlendirme) uygulanmış olmalı, yüzey kusuru olmamalı ve yüzeyi temiz olmalıdır. Yüzeyde bulunacak her türlü kirlilik, boyanın saca tutunmasını engelleyecek şekilde hareket eder. Panellerin genişliği, bar aplikatörlerin aktif alanlarının uzunluğuna göre ayarlanmalıdır. Çalışmada kullanılan bar aplikatörler 180 mm aktif alana sahip olduğundan 150 mm'lik genişlik tercih edilmiştir. Galvanizli panellerin kesim noktalarındaki çapakların alınmaması durumunda bar aplikatör optimum baskıyı veremeyeceğinden boyanın yayılımı yeterli olmaz. Ayrıca aplikatör zarar görebilir.

Boya kaplayacağımız galvanizli sacı elde ettikten sonra, sıra galvanizli sac üzerine boyanın kaplamasında kullandığımız aplikatör seçimine gelmiştir. Bar aplikatörler (şekil

6.6), panel üzerine bıraktıkları yaş film kalınlığına göre sınıflandırılır. Uygulanmak istenen kuru film kalınlığına ulaşabilmek için panel üzerine bırakılması gereken yaş film aşağıdaki gibi hesaplanır:

Uygulanması gereken yaş film kalınlığı = (istenen kuru film kalınlığı / hacimsel katı madde yüzdesi)*100

Uygun aplikatör ve yaş boya seçimiyle, laboratuvar şartlarında 2-200 µm arasında kuru film kalınlığı elde edilebilir. Çalışmada kullanılan bar aplikatörler, 16, 26, 36, 50, 76, 100, 128 ve 150 µm yaş film bırakan aplikatörler arasından seçilmiştir. Aplikatör seçiminden sonra sıra galvanizli sac üzerine uygulanacak boya tiplerinin seçilmesine gelmiştir.



Şekil 6-5 Bar Aplikatör

Çalışmada kullanılan boya tipleri Polyester, PVDF ve PVC Plastisol'dür. Her birinin aplikasyon parametreleri farklı olduğu gibi, korozyon ve UV dayanımı özellikleri de farklıdır. Aynı zamanda, üzerine uygulanacakları astar tipleri de farklılık gösterir. Bunlarla ilgili uygulanması gerekenler ve gerekli parametreler aşağıda belirtilmiştir.

- **Polyester Kromatlı Astar:** Genel olarak 5 µm kuru film kalınlığında uygulanır. 16 µm yaş film kalınlığı sağlayan bar aplikatör, bu uygulama için doğru seçimdir. Optimum kürlenme seviyesi için panelin ulaşması gereken sıcaklık aralığı Peak Metal Temperature (PMT) 200-216 °C'dir. Polyester ve PVDF son kat boyalarla uyumlu, PVC Plastisol son kat boyalar ile uyumsuzdur. PVC Plastisol için kullanılması gereken astar Plastisol Kromatlı Astar olmalı ve yine aynı şartlarda uygulanmalıdır.
- **Polyester Son Kat:** Genel olarak 5 µm polyester astar üzerine 20 µm kuru film kalınlığında uygulanır. 50 µm yaş film kalınlığı sağlayan bar aplikatör, bu uygulama için doğru seçimdir. Optimum kürlenme seviyesi için panelin ulaşması gereken sıcaklık aralığı (PMT) 232-243 °C'dir.
- **PVDF Son Kat:** Genel olarak 5 µm polyester astar üzerine 20 µm kuru film kalınlığında uygulanır. 50 veya 76 µm yaş film kalınlığı sağlayan bar aplikatörler, bu uygulama için doğru seçimdir. Optimum kürlenme seviyesi için panelin ulaşması gereken sıcaklık aralığı (PMT) 249-254 °C'dir.
- **PVC Plastisol Son Kat:** Genel olarak 5 µm plastisol astar üzerine 100 µm kuru film kalınlığında uygulanır. 128 µm yaş film kalınlığı sağlayan bar aplikatörler, bu uygulama için doğru seçimdir. Optimum kürlenme seviyesi için panelin ulaşması gereken sıcaklık aralığı (PMT) 216-224 °C'dir.

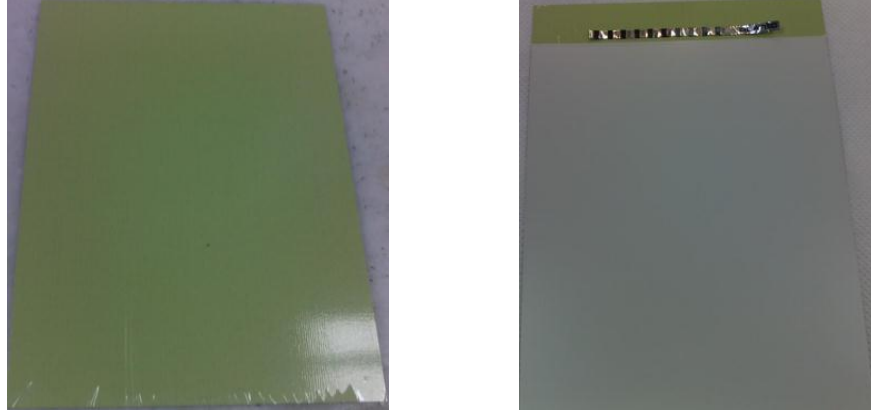
Burada yaş ve kuru boya filmlerinin kalınlıklarının ölçümü için Erichsen marka boya kalınlık ölçme cihazları kullanıldı. Şekil 6.8. Yaş boya ile kaplanmış galvanizli sacların üzerindeki boyanın kürlenmesi için, Alborg Company 300C° marka kürleme fırını kullanıldı. Şekil 6.8 Kürleme fırınından sonra şekil 6.9'de görüldüğü gibi boya kaplı numunelerimiz elde edilmiştir.



Şekil 6-6 Kuru (solda) ve Yaş (sağda) film kalınlık ölçer



Şekil 6-7 Boya Kürleme Fırını



Şekil 6-8 Astar kaplı (solda) son kat polyester boya kaplı (sağda) saclar

Farklı tip boya ile kaplı galvanizli sacların (numune) elde edilme işlemi bittikten sonra, TS EN 13523-7 standartı kullanılarak sacların soğuk şekillendirme (bükme) işlemine geçilmiştir. Farklı kalınlıklarda Poliester, PVDF ve Plastisol boya ile kaplanan boya kaplı saclar 180° açıda bükülerek aşağıdaki numuneler elde edilmiştir.

1. DX51Z100 kalitedeki galvanizli saclar
2. 16 mikron Poliester boya kaplı saclar
3. 20 mikron Poliester boya kaplı saclar
4. 26 mikron Poliester boya kaplı saclar
5. 80 mikron Plastisol boya kaplı saclar
6. 100 mikron Plastisol boya kaplı saclar
7. 118 mikron Plastisol boya kaplı saclar
8. 15 mikron PVDF boya kaplı saclar
9. 20 mikron PVDF boya kaplı saclar
10. 29 mikron PVDF boya kaplı saclar

Çalışmada kullanılan sacların kimyasal kompozisyonu Thermo Fisheer marka optik emisyon spektrometresi ile ve galvaniz tabakasının kompozisyonu ise Varian Marka ICP-OES 710-ES axial spektrometre ile yapılmıştır. Numunelendirme, 5 x 5 cm ebadında kesim alanına sahip hidrolik punch press ile yapılmıştır. Galvanizli sac üzerine boya uygulaması Sheen marka 180mm merdane ile yapılmıştır. Boya kalınlığı ölçümleri Erichsen marka boya kalınlığı ölçer ile 2–200µm yaş film ölçer, 100µm kuru film ölçer ile yapılmıştır.

Galvanizli sacın üzerine uygulanmış olan boya kaplamalarının kurutulmasında Aalborg Company marka kurutma fırını kullanılmıştır. Korozyon şartları Sheen marka, FMC 1000 FogMaster model Cyclyc Corrosion Cabinet ile sağlanmıştır. Görüntü alınmasında XJM 300 (Ters Metal Mikroskopu) Kameralı ve Yazılımlı cihaz kullanılmıştır. Korozyon kabininde tuzlu su sisini oluşturmak için, %5'lik nötral tuzlu su çözeltisi, analitik saflıkta NaCl (Merck katalog No. 1.06404.9050) ve iletkenliği 0,1 mikrosiemens/cm'den daha az olan ultra saf su ile hazırlanmıştır.

Numune parçası olarak, piyasa koşullarında en fazla kullanılmakta olan, 0,50 mm kalınlığında, sıcak daldırma metodu ile her bir tarafı 50 g/m² Çinko kaplanmış DX51D+Z100 (EN 10327) kalite saclar kullanıldı. Saclardan biri galvanizli olarak bırakıldı. Galvaniz kaplı diğer sacların tümüne önce 5 µm kalınlığında poliester astar boya uygulandı ve üzerlerine de üç farklı kalınlıkta poliester boya, PVDF boya ve Plastisol boya laboratuvar koşullarında uygulandı. Böylece aşağıda verilen numuneler elde edildi.

- 1 adet galvaniz kaplı sac
- 3 adet farklı kalınlıklarda Poliester kaplı sac
- 3 adet farklı kalınlıklarda PVDF kaplı sac
- 3 adet farklı kalınlıklarda Plastisol kaplı sac

Galvanizli sacların elde edilmesi işlemi Endüstriyel koşullar altında Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplama Yöntemiyle yapıldı. Galvanizli sac üzerine Poliester, PVDF ve Plastisol boya kaplama işlemleri laboratuvar koşullarında merdane yöntemi ile bar aplikatörler kullanılarak yapıldı.

Yüzey kaplama işlemleri bittikten sonra numuneler mengenede 180° büküldüler. Büküm işlemlerinden sonra korozyona zorlama işlemlerine tabi tutulam numuneler büküm yapılan bölgedeki tahribat oluşumu olup olmadığına ve tahribat oluşumu varsa tahribatın zamanla nasıl bir hal aldığı incelendi.

6.3 Çalışma Planı

Çalışma planımızı; numune hazırlama, soğuk şekillendirme, Hızlı korozyona zorlama işlemi, gözlemlene ve sonuç aşamaları diye beş kısma ayırabiliriz.

6.3.1 Numune Hazırlanması

Endüstriyel şartlarda Sıcak daldırma Galvaniz Kaplama Yöntemi ile 50gr/m² çinko kaplı galvanizli sacların üretiminin yapılması. Bu üretimden ihtiyacımız kadar gerekli galvanizlenmiş sacı alarak laboratuvar koşullarında merdane yöntemiyle bar applikatörler kullanarak farklı kalınlıklarda poliestere, PVDF ve Plastisol boya kaplı malzemelerin elde edilmesi sağlandı.

6.3.2 Soğuk Şekillendirme

Hazırlamış olduğumuz bütün numuneler 180° bükülerek Soğuk Şekillendirme işlemi yapıldı. İnceleme yapacağımız nokta; sacı bükmüş olduğumuz bölgedir.

6.3.3 Hızlı Korozyona Zorlama İşlemi

Bükülmüş olan numuneler Salt Spray kabinde % 5 NaCl içeren tuzlu su sisinde 35C° ve %100 bağıl rutubet ortamında korozyona zorlandı.

6.3.4 Gözlem

Korozyona zorlama işlemine başlamadan önce ve korozyona zorlama işlemine başladıktan sonra Numuneler, 24, 48, 96, 120 ve 168. saatlerde kabinden alınarak, yüzeylerine temas edilmeden, numune yüzeyine dik olarak XJM 300 (Ters Metal Mikroskopu) ile 50 kez büyütülmüş şekilde fotoğraflandırıldı.

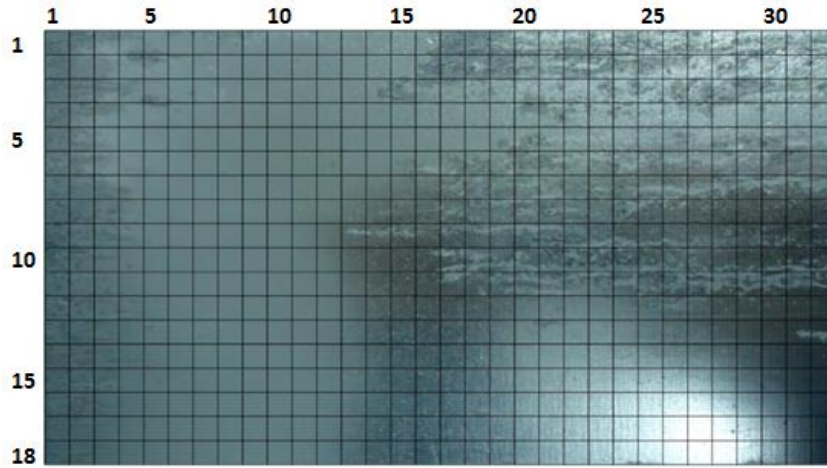
6.3.5 Sonuç

Her bir numunenin zamana bağlı tahribat miktarları tablo haline getirilip grafiksel olarak sunuma hazırlandı.

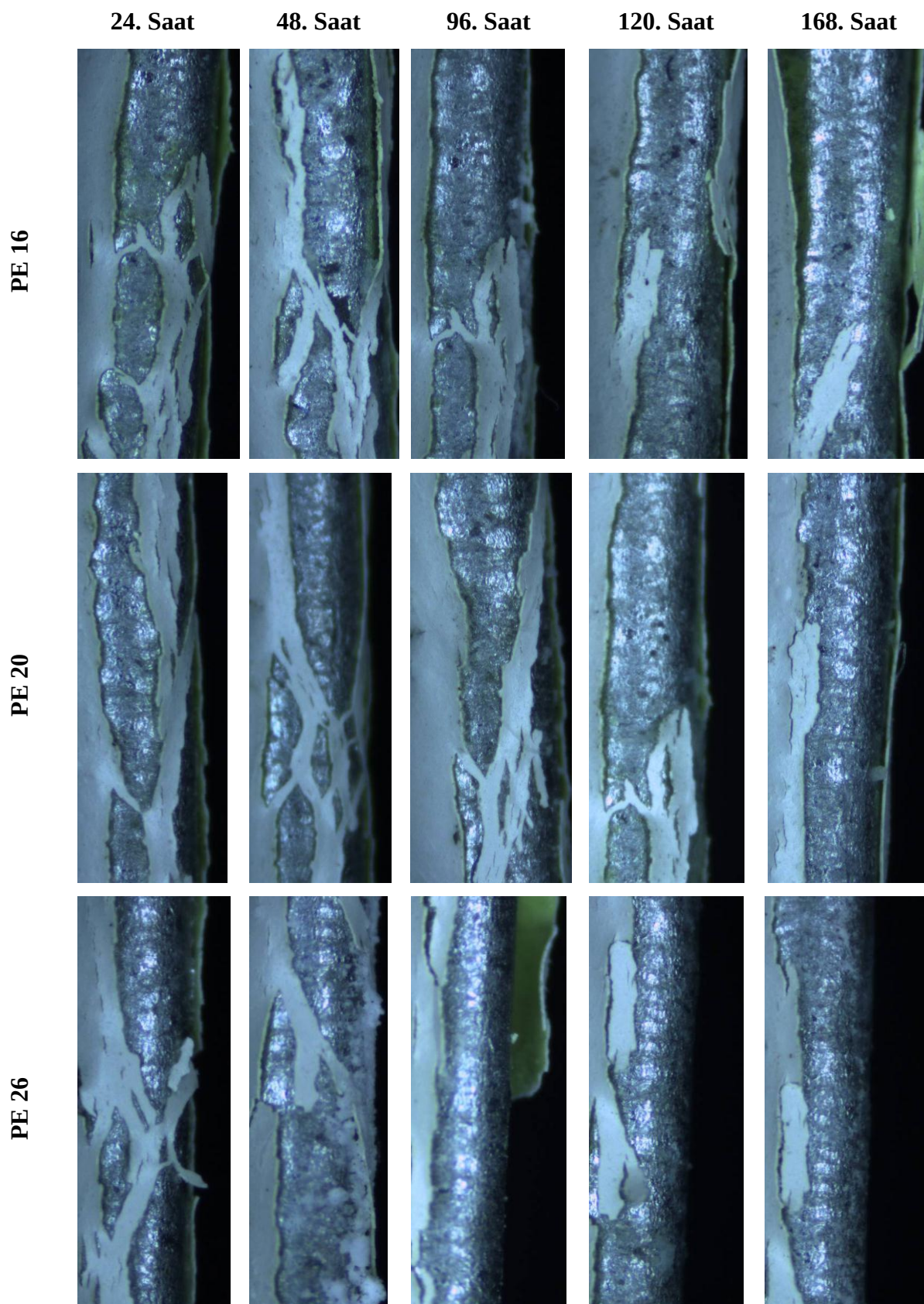
7. BULGULAR VE TARTIŞMA

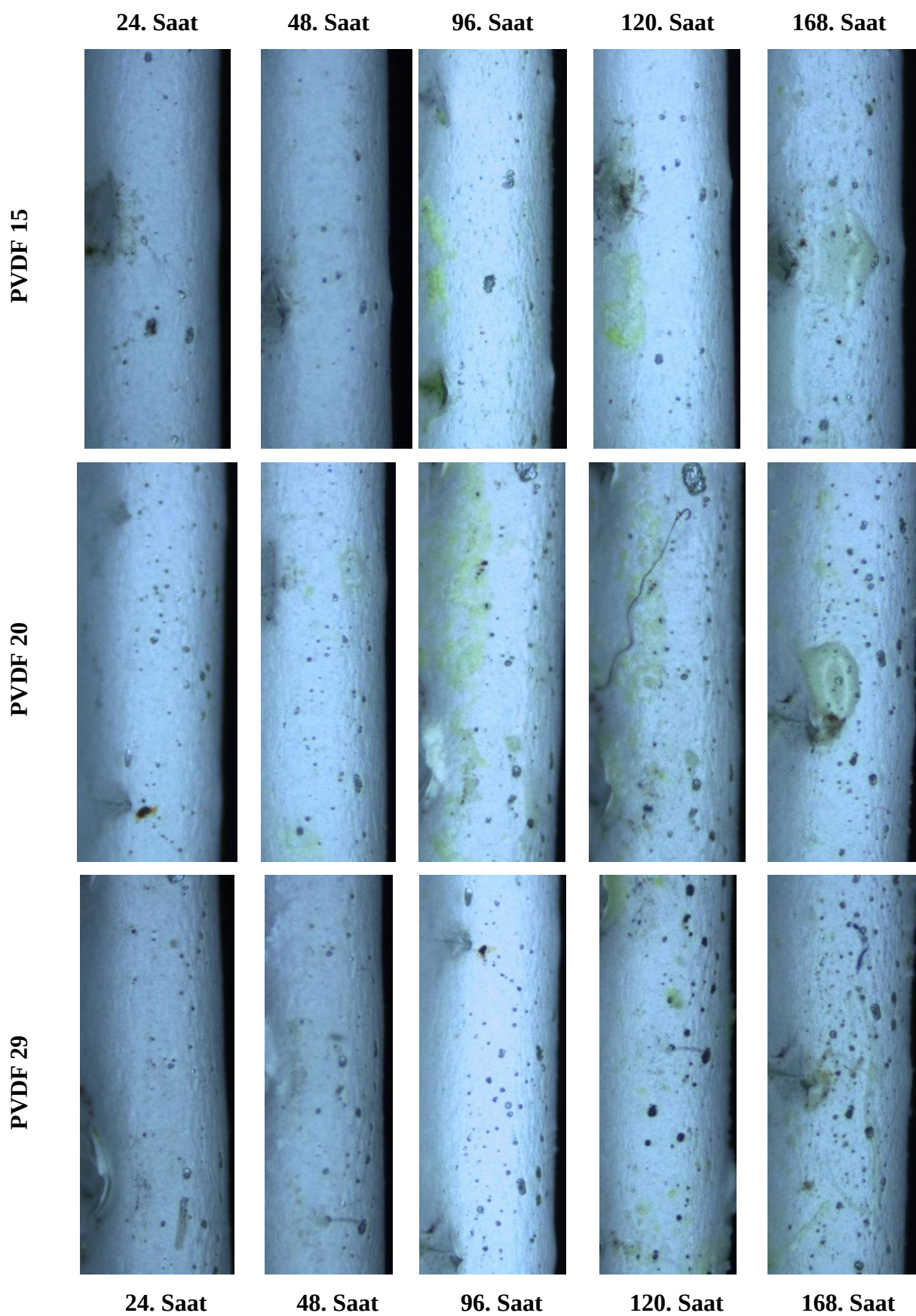
Numunelere soğuk şekil verme işleminden sonra korozyona zorlama ve fotoğraflama işlemlerine geçilmiştir. Korozyona zorlama işlemi Sheen marka, FMC 1000 FogMaster model Cyclyc Corrosion Cabinet ile sağlanmıştır. Bükülmüş olan numuneler Salt Spray kabininde % 5 NaCl içeren tuzlu su sisinde 35C° ve %100 bağıl rutubet ortamında korozyona zorlanmıştır ve aşağıdaki belirtilen saatlerde sis cihazından çıkartılıp, yüzeylerine temas edilmeden, numune yüzeyine dik olarak XJM 300 (Ters Metal Mikroskopu) ile 50 kez büyütülmüş şekilde fotoğraflanmıştır. Bu fotoğraflar salt spray kabine girmeden önce ve girdikten 24, 48, 96, 120 ve 168 saat sonra çekim yapılmıştır.

10 farklı numunenin 6 farklı zaman da çekimleri yapılmıştır. Toplam fotoğraf sayısı 60 adettir. Bu fotoğraflar incelendiğinde numunelerin çoğunda tahribata rastlanmıştır. Bu fotoğraflar aşağıda şekil 7.2’de yer almaktadır. Kaplama kalkma miktarı ve bunun sonucunda oluşan korozyonlanmanın değerlendirilebilmesi için, çekilen fotoğraflar üzerine eşdeğer karelerden oluşan bir şablon oturtulmuş ve içerisinde tahrip olmuş kareler sayılarak, şablondaki toplam kare adedine bölünmüş ve bölüm 100 ile çarpılarak korozyon miktarı % olarak ifade edilmiştir (şablon metodu). Şekil 7.1’de üzerine şablon oturtularak korozyon miktarı hesaplanmış örnek bir, korozyona uğramış galvanizli sac fotoğrafı görülmektedir. Bu çalışmada, test verilerindeki sapmaların en aza indirilmesi amacı ile her bir faktörün incelenmesinde mümkün olan en fazla sayıda numune kullanımına dikkat edilmiş ve sonuçlar her zaman üç numunenin ortalaması olarak verilmiştir.

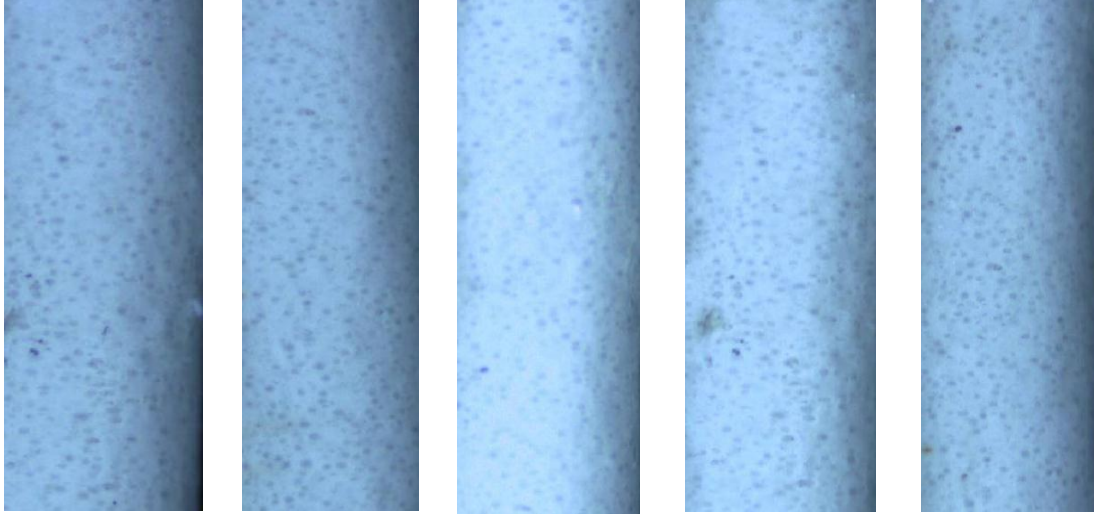


Şekil 7-1 Korozyona uğramış galvanizli sac fotoğrafı Beyaz pas içeren kare sayısı 198, toplam kare sayısı 576 ve %Korozyon = $198/576 \times 100 = \%34,4$ (Çetin M. 2011)

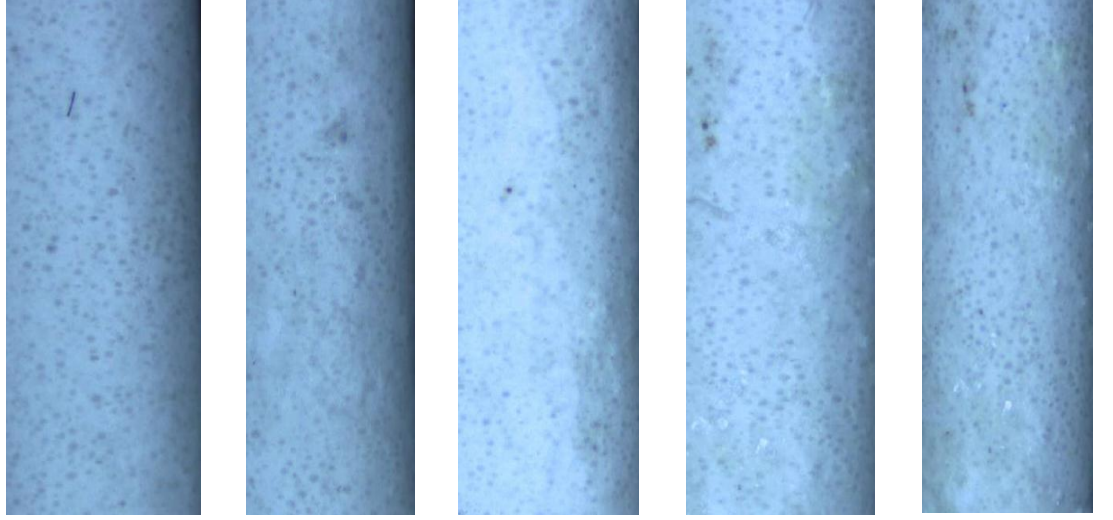




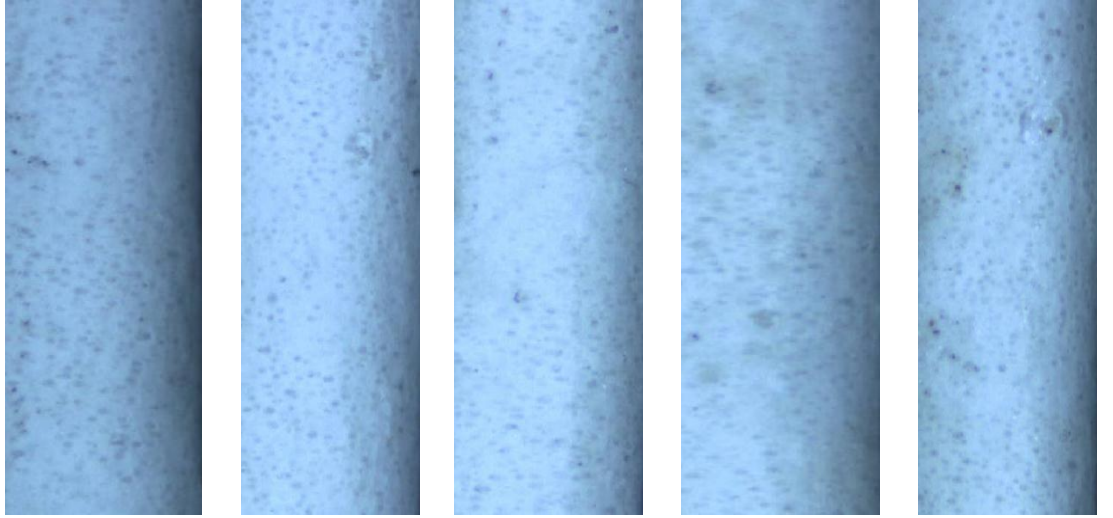
Plastisol 80



Plastisol 100



Plastisol 118



Şekil 7-2 Kaplama tahribatı ve korozyon oluşum süreci (Çetin M. 2011)

Şekil 7.2’de numunelerin fotoğrafları görülmektedir. Bu fotoğrafların sol tarafında, çekilmiş fotoğrafın hangi numuneye ait olduğu, numunenin kaplama cinsi ve kaplama kalınlığı belirtilmektedir. Fotoğrafların üst kısmında ise fotoğrafın salt spreycabininde kaldıktan kaç saat sonra çekildiği bilgisi yer almaktadır. Bu fotoğraflarda tahrip olmuş ve korozyonlanmaya karşı savunmasız bir şekilde olan numunelerin, tahrip olmuş yüzey alanlarının toplam yüzey alanında ne kadar yer kapladığı, şekil 7.1’de bahsedilen şablon metodu kullanılarak yüzde olarak bulunmuştur.

Buradan şu sonuca varılabilir, genel olarak boyanın kaplama kalınlığındaki artış ürünü daha fazla koruma sağlamamaktadır. Aksine tahribat oranında artışa sebep olmaktadır.

Polyester boya kaplı üründe oluşan tahribat, PVDF boya kaplı üründe meydana gelen tahribatdan her zaman daha fazla olmaktadır. Buradan da PVDF boya kaplı ürünlerin polyester boya kaplı ürünlere göre, tahribat oluşumu ve korozyon direnci açısından daha dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Şekil 7.2’deki Plastisol fotoğrafları incelendiğinde, Plastisol boya ile kaplanmış numunede zaman ilerledikçe herhangi bir tahribat görülmemektedir. Ayrıca kaplama kalınlığı değişiminin de tahribat yüzdesinde herhangi bir değişim yapmadığı gözlemlenmiştir. Buradan da plastisol boya kaplı ürünlerin korozyon direnci ve tahribata karşı en dayanıklı ürünler olduğu anlaşılmaktadır.

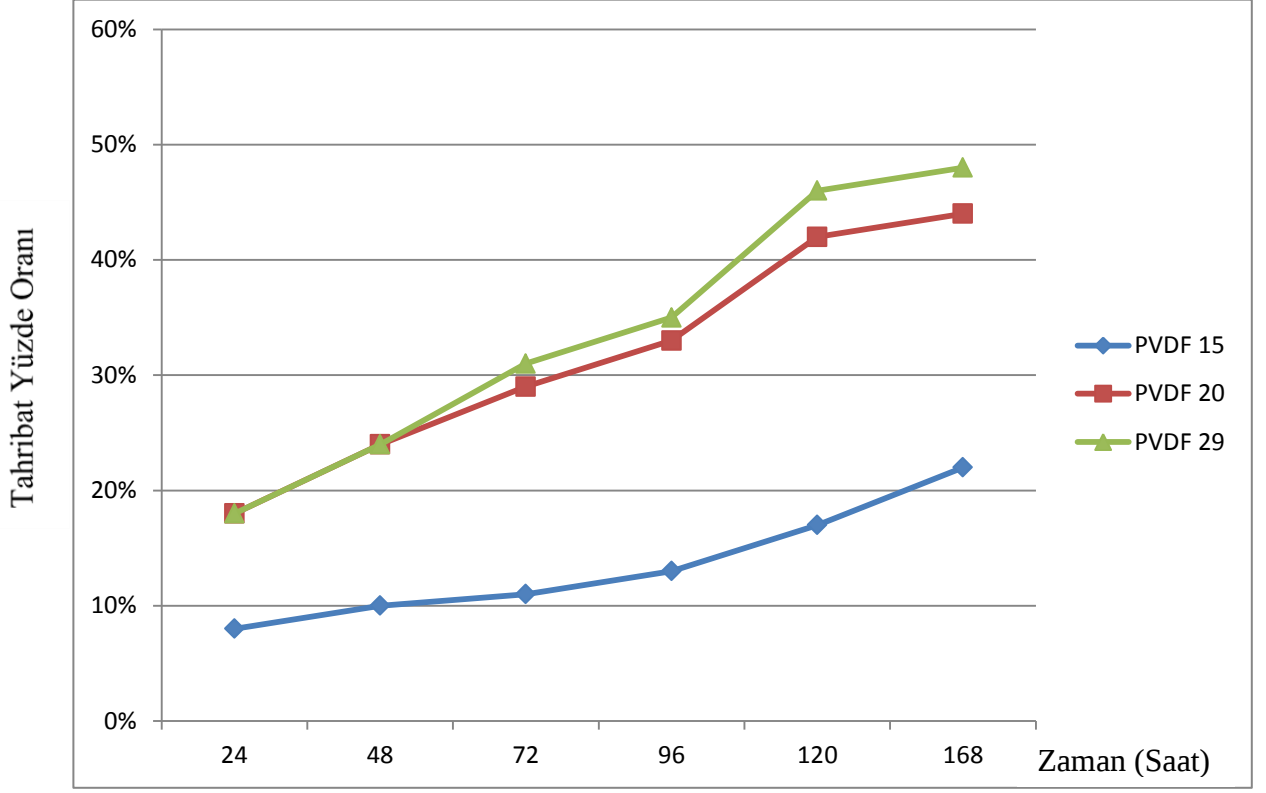
8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şablon metodu kullanılarak bulunan sonuçlar Şekil 8.1 ve Şekil 8.2’de grafik olarak verilmektedir. Şekil 8.1’de yatay eksen salt spreycabininde numunenin ne kadar zaman korozyona zorlandığını, dikey eksen ise tahribat oranının yüzdesini göstermektedir. Bu grafiği analiz ettiğimizde, PVDF boya kaplı numunemizin korozyona zorlama işlemi süresi (numunenin salt spray cabininde geçirdiği süre) uzadıkça tahribat oranının arttığı görülmektedir. Yine şekil 8.1 analiz edildiğinde, PVDF boya kaplı numunenin kalınlığı arttıkça tahribat oranı artmaktadır. Bu iki durum şekil 8.2 incelendiğinde de yine aynı sonuçla karşılaşılmaktadır.

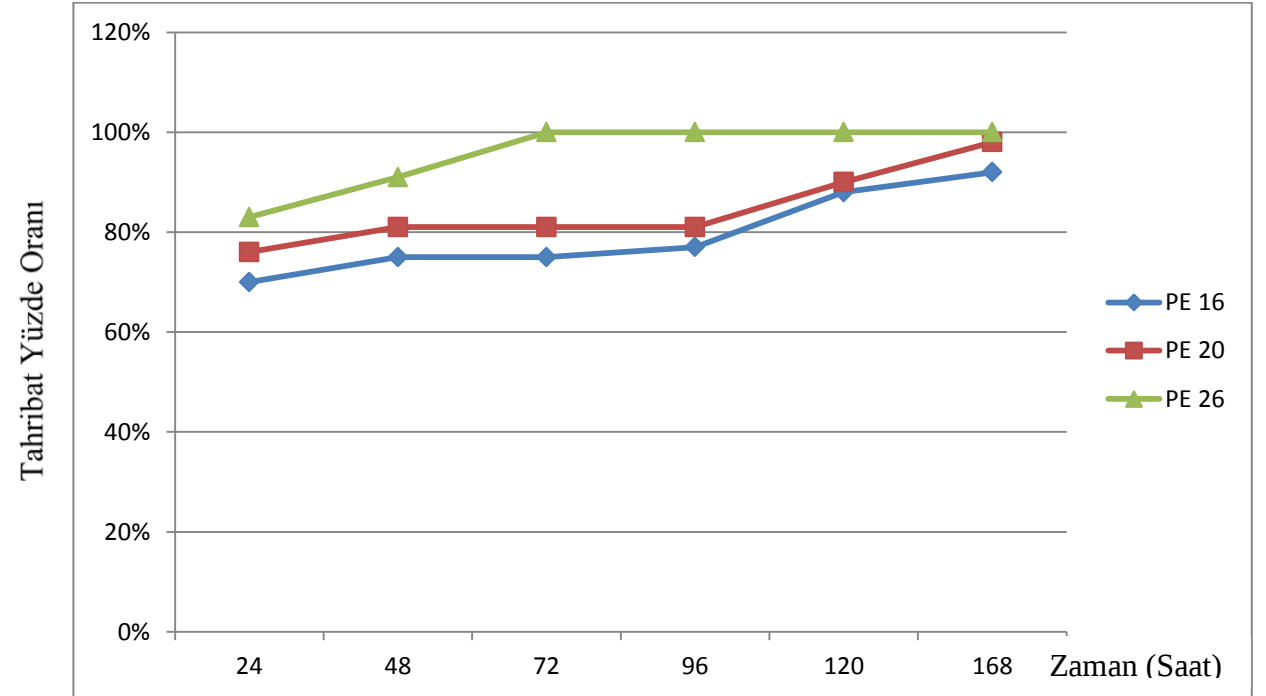
Şekil 8.2’de, polyester boya ile kaplı numunenin zamana karşı tahribat oranı grafiksel olarak gösterilmektedir. Yatay eksen korozyon cabininde numunenin kaldığı süreyi, dikey eksen ise polyester boya kaplı numunenin yüzeyinde oluşan tahribat oranını yüzde olarak belirtmektedir. Şekil 8.2 analiz edildiğinde polyester boya kaplı numunenin salt spray cabininde geçirdiği süre arttıkça tahribat yüzdesinin arttığı görülmektedir. Ayrıca yine PVDF boyada olduğu gibi boyanın kaplama kalınlığı arttıkça tahribat oranında arttığı görülmektedir.

Şekil 8.1’de PVDF boya ile kaplanmış sacın kalınlığa ve zamana bağlı olarak tahribat oranının arttığı görülmektedir. Ama bu tahribat artışı poliester boyadaki gibi hızlı değildir. Poliester boya ilk 24 saatte % 70 ve üzerinde iken, PVDF boya da bu oran %10 - % 40 dolaylarındadır. Kaplanmış boya kalınlıkları arttıkça yine tahribat oranları artmaktadır. Poliester ve PVDF boya karşılaştırması yaparsak 15µ PVDF boya kaplaması yapmanın en doğru bir uygulama olduğu anlaşılmaktadır. Poliester boyanın performansına baktığımızda 180° bükümde kesinlikle kullanılmaması gerekmektedir. İlk 24 saatte kaplamanın en az % 70 ‘i tahrip olmaktadır.

Şekil 8.2’de Polyester boya ile kaplanmış sacın kalınlığa ve zamana bağlı olarak tahribat oranının arttığı görülmektedir. İlk 24 saatte %70 ve üzerinde tahribat oluşmuştur. Kaplanmış boya kalınlığı arttıkça da tahribat oranındaki artış artmaktadır.



Şekil 8-1 Üç farklı kalınlıkta kaplanmış PVDF boyanın zamana göre değişimi



Şekil 8-2 Üç farklı kalınlıkta kaplanmış Poliester boyanın zamana göre değişimi

Piyasada kullanılan yüzeyi kaplanmış metaller genelde soğuk şekillendirme yapılarak kullanılırlar. Preste şekil verme, derin çekme, trapez, bükme gibi. Yüzey kaplama için genellikle çinko kaplama ya da boya ile kaplama yapılır. Bu çalışmada çinko ile kaplanmış (galvanizli) sac ve farklı kalınlıklarda üç tip boya (polyester, pvdf, plastisol) ile kaplanmış malzemelerin soğuk şekillendirme sonrasındaki tahribatları incelenmiştir.

Bu metalleri kapladıktan sonra şekillendirme yaptığımızda galvanizli malzemede baz metalin yüzeyinde bulunan çinkoda herhangi bir deformasyon olmadığı görüldü. Poliester ve pvdf boya ile kaplanmış galvanizli sacda, soğuk şekillendirme yapıldığında 180° büküm sonrasında boyanın çatladığı görülmüştür. Plastisol boyada ise herhangi bir çatlamaya rastlanılmamıştır.

Buradan şu sonucu çıkarabiliriz; görsel açıdan yüzeyde oluşacak olan lekelenmeler önemli değil ise, sacı boya ile kaplamadan galvanizli olarak kullanmak en doğrusudur. Fakat görsellik ön plana çıktığında boyalı sac devreye girmektedir. Eğer 180° şekillendirme yaparak boya kaplı sacı kullanacak isek plastisol boya kaplı malzemeden şaşmamamız gerekmektedir. Bu seçimleri yaparken maliyet ve kullanım amaçlarımızı da hesaplamamız gerekmektedir. Malzemeyi ne tür bir şekillendirme yapacağımız ve hangi hava koşullarında kullanacağımız da önemlidir. Nemli ortamlar için farklı, asidik ortamlar için durum farklıdır. Ayrıca maliyet tarafını da ele alırsak Plastisol boya poliester boyaya göre 5 kat pvdf boyaya göre 4 kat daha pahalıdır.

Seçilen plastisol boya kaplı ürün için fazladan kaplama kalınlığına gerek olmadığı görülmüştür. İşletme koşullarında uygulanabilir en düşük kalınlık olan 80µm kaplama yeterlidir. Kaplama kalınlığının artması demek fazladan maliyet ve fiyat artışı demektir. Gereksiz, boşa harcanmış para ve emektir. Bu kriterleri göz önünde bulundurarak, en ekonomik olanının seçilmesi ülke ekonomisine katkı anlamına geldiğini unutmamamız gerekmektedir.

9. KAYNAKLAR

- Akgül, İ. 2011, **Petro-Kimya Endüstrisinde Kullanılan CrMo Çeliğinin Korozyon davranışının İncelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Karabük
- Akzo Nobel, 2009, **Akzo Nobel “Bobin Boyaları Tanıtım kataloğu”**
- ASM Handbook, Vol. 8 1978, **Mechanical Testing, American Society for Metals, 9th Edition.**
- ASM Handbook Vol 5: Surface Engineering 1994, **American Society for Metals.**
- Banabic, D. 2000, **Formability of metallic Materials, Springer, Stuttgart.**
- Beranger, G., Henry, G., Sanz, G 1996, **The Book of Steel, Lavoisier Publishing with the participation of SOLLAC - Usinor Group, France.**
- Bilhan, H. 2003, **Çeşitli organik tükürük komponentlerinin diş hekimliğinde kullanılan farklı döküm alaşımları ve amalgam’ın korozyonu üzerine etkisi**, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, **Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.**
- Çakır, A. F. 1990, **Metalik Korozyon İlkeleri ve Kontrolü**, Makine Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.
- Çakmen, Z. 2003, **Atmosferik Korozyonun Çinko Kaplama (Galvanizleme) Direncine Etkilerinin İncelenmesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, **Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Ankara.**
- Çetin M. 2011, **Yüzeyi Çeşitli Tiplerde Kaplanmış Galvanizli Sacların Büküm Bölgelerinde Oluşan Tahribatın İncelenmesi**, Metal Makina Dergisi Makale **Mart-Nisan 2012**
- Çizmecioğlu, Z. 1998, **İsale Hatlarının Katodik Korunması**, İstanbul Su Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) Yayını, İstanbul
- Danielli, 2009, **Galvanizleme Hattı Eğitim Notları**, İtalya
- Dehri, İ. 1994, **Atmosfer Kirleticilerinin Yapı Mazemelerine Korozi Etkisi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, **Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.**
- Dieter, G. E., **Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition, McGraw-Hill.**
- Dieter, G. E. 1984, **Workability Testing Techniques, American Society for Metals, Ohio.**
- Dillon, C. P. 1982, **Forms of Corrosion: Recognition and Prevention**, NACE International Publishing, Houston.
- Doğan, G. 2006, **Atmosferik Korozyonun Metal Yapı Malzemelerine Etkisi Üzerine Deneysel Bir Çalışma ve Yapay Sinir Ağı ile Korozyon Hızı Tahmini** Yüksek Lisans Tezi

- Doruk, M. 1982, **Korozyon ve Önlenmesi**, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yayını, Ankara.
- Elkoca, O. 2006, **Çelik Yüzeylerin Kaplanması, Galvanizleme, Erdemir Bilim ve Teknoloji Serisi**, Kdz. Ereğli, Zonguldak.
- Erbil, M. 1996, **Korozyonun Önlenmesi**, 5. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Adana.
- Ereğli Demir ve Çelik Fab. T.A.Ş. 2006, **Tanıtım ve Teknik Özellikler Kataloğu**.
- Eriç, M. 1994, **Yapı Fiziği ve Malzemesi**, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
- Hayes, S. 1994, **Morphology development of galvanized coatings based on steel substrate chemistry and processing parameters**, M.S. Thesis.
- Kaftan, M.A. 2006, **Çelik Yapılarda Korozyon Oluşumu ve Korozyondan Korunma Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Kahraman, S. 2010, **ZnO Yarıiletken Yapıların Üretilmesi ve Karakterizasyonu**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi. Hatay.
- Kanamaru, T., Nakayama, M. 1995, **Alloying reaction control in production of galvanized steel**, Mater Sci Res Int.
- Kato, C., Koumura, H., Uesugi, Y., Mochizuki, K. 1993, **Influence of phase composition on formability of galvanized steel sheet**, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, The Minerals, Metals & Materials Soc.
- Kawaguchi, H., Hirose, Y. 1993, **Structural control of galvanized alloy layer by adding Mn to galvanizing bath**, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, The Minerals, Metals & Materials Soc.
- Kayalı, E. S. - Ensari, C. 2000, **Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları**, İ.T.Ü., Kimya-Metalurji Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Koleske, V. J. 2008, **Paint and Coating Testing Manuel Editing**, Gardner – Sward Handbook
- Kolor Metal, Kolor Metal İnternet sitesi <http://www.kolormetal.com>
- Konuş, M. T. 2005, **Alüminyum-bakır-silisyum alaşımlarının sulu ortamlardaki korozyonuna lantanitlerin etkisi**, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara

- Moore, R.J.1971, **Molecular Basis for Impact Resistance of Epoxy Paints Films**, Journal of Paint Technology, Vol 43,No:554 pp.39-46 March
- Morse, M.P., 1955, **Physical Properties of Paint Films Relating to Service**, Gordon Research Conferences-Organic Coatings Section
- Nakamori, T., Adachi, Y., Arai, A., Shibuya, A 1995, **Coating adhesion and interface structure of galvanized steel**, ISIJ International.
- Özcan, M. 2000, **Organik Kaplamalı Metalik Malzemelerde Kaplama Etkinliği ve Metal Korozyonunun Belirlenmesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Özenbaş, M. 1995, **Yeni Kuşak Sert Kaplamalar ve Elmas İnce Filmler**, 8. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, İstanbul
- Porter, F. C. 1994, **Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys**, ed. Schwietzer P. A., Marcel Dekker Inc.
- Prof.Dr. Tekin, E. 2011, MMK Atakaş Seminer Notları, Hatay.
- Sakae, F., Hiroshi, K., Chiaki, K. **Assessment and Application Technologies for Automotive Materials (Perforation)—Techniques for Corrosion**
- Sarıtaş Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş. 2007 **İnternet**.
<http://www.saritas.com.tr/ktlg/pdf/Paslanmaz%20Celik%20Saritas%2006.pdf>,
- Schuh, A.E., Theurer, H.C. 1937, **Measurement of Distensibility of Organic Finishes**, Industrial and Engineering Chemistry, **Vol.9 p.9**
- Schurr.G.G., H.A. Gardner, G.G. Sward 1972, **Flexibility – Painting Testing Manual ASTM STP 500 13th ed.**, American Society for Testing and Materials, **Philadelphia**
- Skrovanek, D.J.,Schoff C.K., 1988, **Mechanical Analysis of Organic Coatings, Progress in Organic Coatings**, Vol 16 pp. 135 - 163
- Supnik, R.H., 1962, **Rate Sensitivity: Its Measurement and Significance**, Material Research Standarts, **Vol.2 p.498**
- Takechi, H. 1992, **Recent Developments in the Metallurgical Technology of Continuous Annealing for Cold-Rolled and Surface-Coated Sheet Steels, Developments in the Annealing of Sheet Steels**, The Minerals, Metals & Materials Society.
- Üneri, S. 1998, **Korozyon ve Önlenmesi**, Korozyon Derneği Yayını, Ankara.
- Tordella, J.P.,1965, **Mechanical Properties of Amorphous Polymers**, Official Digest, **Vol.37, p.349**

- Üstel, F., Soykan, H. Ş., Çelik, E., Avcı, E. 1995, **Plazma-Sprey Kaplama Teknolojisi**, Metalurji Dergisi, Sayı:97
- Van der Heiden et al. 1993, **Galvanneal microstructure and anti-powdering process windows, The Physical Metallurgy of Zinc Coated Steel, The minerals, Metals & Materials Soc.**
- Varadarajan, K., 1983, **Review of Dielectric and Dynamic Mechanical Relaxation Techniques for the Characterization of Organic Coatings**, Journal of Coatings Technology, Vol.55 No:704 pp. 95 - 104
- Yakar, E. 2006, **Elektropolimerizasyon yöntemiyle polipirol ve polianilin ile kaplanmış alüminyumun asidik korozyonunun önlenmesinde farklı anyonların etkileri**, Fen Bilimleri Enstitüsü, **Yüksek Lisans Tezi**, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Yalçın H., Koç T. 1991, **Demir ve Çelik Yapıların Korozyonu ve Katodik Korunması**

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmalarımın ve akademik hayatımın her aşamasında büyük sabır, özveri, samimiyetle emek vererek beni yönlendiren, motive eden, çok kıymetli vakitlerini bana ayıran, parlak akademik kariyerinde edindiği bilgi ve deneyimlerini bana aktarmak için elinden geleni yapan saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Erdoğan KANCA'ya sonsuz minnet, saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarımın çeşitli aşamalarında tecrübelerini benden esirgemeyen ve bana karşı büyük sabır gösteren Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nün çok kıymetli hocalarına ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında görüşlerinden yararlandığım ve deneysel çalışmalarımda benden yardımlarını esirgemeyen iş arkadaşım ve kadim dostum Sayın Özgür KARAKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emeği olan, maddi ve manevi desteklerini benden asla esirgemeyen anne-babama, eşime ve kardeşlerime ve benden hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen yakın çevremdeki kıymetli dostlarıma teşekkürlerimi sunarım.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Hatay’da doğdu. İlk öğrenimini Dörtyol / Hatay Mehmet Akif İlköğretim okulu’nda, orta öğrenimini Dörtyol / Hatay Karahasan Paşa orta okul kısmında, Lise öğrenimini Dörtyol / Hatay Dörtyol Lisesi’nde tamamladı. Lisans öğrenimini 1996 yılında başladığı İstanbul Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden 2001 yılında mezun olarak tamamladı. 2003 yılından itibaren Hatay’da Demir-Çelik sektörlerinde faaliyet gösteren Tosçelik Profil ve Sac Endüstrisi A.Ş. ve Nursan Metalurji Endüstrisi A.Ş. firmalarında mühendislik çalışmalarında bulundu. Halen MMK Metalurji San.Tic.ve Liman İşletmeciliği A.Ş.firmasında departman müdürü olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.