

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

SICAK DALDIRMA YÖNTEMİYLE ÇELİĞİN ÇİNKO VE
ÇİNKO-ALÜMİNYUM ALAŞIMI İLE KAPLANMASI

EC.Y.
DOKU
MERKEZİ

Mak. Müh. Hikmet ALTUN

78052

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

"Makina Yüksek Mühendisi"

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :

Tezin Savunma Tarihi :

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN

T. Savaşkan

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

F. Arslan

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hasan SOFUOĞLU

H. Sofuoğlu

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

F. Arslan

Trabzon 1998

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, TS Fe 37 standardına uygun düşük karbonlu çelik parçalar değişik şartlarda sıcak daldırma yöntemiyle saf çinko ile ZnAl5 ve ZnAl25 alaşımları ile kaplanarak, banyo sıcaklığı ve daldırma süresi gibi parametrelerin kaplama kalınlığına ve kalitesine etkileri incelendi. Yapılan incelemeler sonucunda, çinko, ZnAl5 ve ZnAl25 kaplamalar için en uygun koşullar belirlendi.

Tez çalışmasının yürütülmesinde yapıcı eleştiri ve yardımlarıyla yol gösteren ve bu konuda ilgisini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Temel SAVAŞKAN'a teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, bu çalışmanın tamamlanmasında büyük katkıları bulunan Arş. Gör. H. Hüseyin AYAR'a ve Arş. Gör. Gençğa PÜRÇEK'e teşekkür etmeyi bir görev sayarım. Aynı zamanda, deney düzeneği ve kaplama numunelerinin hazırlanmasında emek sarfeden Makina Bölümü Malzeme Laboratuvarı ile Talaşlı İmalat Atölyesi'nde görevli teknisyenlere de teşekkür ederim.

Hikmet ALTUN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Kaplama Öncesi Parçaların Temizlenmesi.....	3
1.2.1. Yağ Temizleme İşlemi.....	3
1.2.2. Asitle Temizleme.....	5
1.2.3. Mekanik Temizleme.....	6
1.3. Sıcak Daldırma ile Kaplama Yöntemleri.....	6
1.4. Sıcak Daldırma ile Kaplamadaki İşlem Parametreleri.....	8
1.4.1. Banyo Sıcaklığı.....	8
1.4.2. Daldırma Süresi.....	9
1.4.3. Banyodan Çıkarma ve Süzdürme.....	10
1.4.4. Kaplamadan Sonra Soğutma.....	11
1.5. Kaplama Kabının Özellikleri.....	12
1.6. Kaplama Tabakasının Yapısı.....	13
1.7. Sıcak Daldırma ile Galvanizlemenin Kaplanan Malzemeye Etkisi.....	14
1.8. Kaplama Kalitesini Etkileyen Bazı Faktörler.....	15
1.8.1. Kaplanacak Malzemenin Kimyasal Bileşimi.....	15
1.8.2. Kaplama Kalınlığı.....	16
1.9. Sıcak Daldırma ile Galvanizlemenin Uygulama Alanları.....	16
1.10. İlgili Literatürün Özeti ve Çalışmanın Amacı.....	17
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	20
2.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler.....	20

2.2. Kaplama Deney Düzenegi.....	21
2.1. YüzeY Temizleme İşlemi.....	23
2.2. Sıcak Daldırma Yöntemiyle Kaplama.....	24
2.4.1. Çinko Kaplama.....	25
2.4.2. ZnAl5 Alaşımı Kaplama.....	25
2.4.3. ZnAl25 Alaşımı Kaplama.....	26
2.5. Kaplanan Numunelerin İncelenmesi.....	26
2.6. Kaplama Kalınlığının Ölçümü.....	27
2.7. Gerilmeli Korozyon Deneyi.....	27
3. BULGULAR.....	31
3.1. Kaplama Banyolarının Kimyasal Analiz Sonuçları	31
3.2. Çinko Kaplama ile İlgili Bulgular.....	31
3.2.1. Daldırma Süresinin Çinko Kaplamaya Etkisi.....	31
3.2.2. Banyo Sıcaklığının Çinko Kaplamaya Etkisi.....	34
3.3. ZnAl5 Alaşımı ile Yapılan Kaplama ile İlgili Bulgular.....	37
3.3.1. Daldırma Süresinin ZnAl5 Alaşımı ile Yapılan Kaplamalara Etkisi.....	37
3.3.2. Banyo Sıcaklığının ZnAl5 Alaşımı ile Yapılan Kaplamaya Etkisi.....	40
3.4. ZnAl25 Alaşımı ile Yapılan Kaplama ile İlgili Bulgular.....	42
3.4.1. Daldırma Süresinin ZnAl25 Alaşımı ile Yapılan Kaplamaya Etkisi.....	42
3.4.2. Banyo Sıcaklığının ZnAl25 Alaşımı ile Yapılan Kaplamaya Etkisi.....	45
3.5. Gerilmeli Korozyon Deneyinden Elde Edilen Bulgular.....	48
4. İRDELEME.....	49
5. SONUÇLAR.....	52
6. ÖNERİLER.....	53
7. KAYNAKLAR.....	54
8. ÖZGEÇMİŞ.....	56

ÖZET

Bu çalışmada, TS Fe 37 standardına uygun çelik parçalar sıcak daldırma yöntemiyle saf çinko ile ZnAl5 ve ZnAl25 alaşımlarıyla kaplanarak, banyo sıcaklığı ve daldırma süresinin kaplama kalınlığına, kaplama tabakasının yapısına ve yapışma kalitesine etkileri incelendi. Ayrıca, söz konusu metal ve alaşımlarla kaplanan numunelerle, hiç kaplanmamış numunelerin nitrik asit çözeltisi içerisindeki gerilmeli korozyon dirençleri incelenerek bulunan sonuçlar karşılaştırıldı.

Çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda, daldırma süresi arttıkça kaplama kalınlığının çok az miktarda arttığı ve banyo sıcaklığının artması durumunda da kaplama kalınlığının çok az miktarda azaldığı görüldü. Ayrıca, ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda ise uzun daldırma sürelerinde ve yüksek banyo sıcaklıklarında kaplama kalınlığının aşırı şekilde arttığı gözlemlendi. Öte yandan, yüksek banyo sıcaklıklarında yapılan kaplamaların mat görünümlü olduğu görüldü. Özellikle ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda banyo sıcaklığı ve daldırma süresinin belirli bir seviyeyi aşması durumunda kaplama tabakasında mikro çatlakların oluştuğu veya kaplama tabakasının ana metalin yüzeyinden ayrıldığı belirlendi.

Ayrıca, sıcak daldırma ile yapılan kaplamaların nitrik asit çözeltisi içerisindeki çelik parçaların gerilmeli korozyon direncini artırdığı belirlendi. Öte yandan, ZnAl5 alaşımı ile kaplanan numunelerin, Zn ve ZnAl25 alaşımı ile kaplanan numunelerden daha üstün gerilmeli korozyon direncine sahip oldukları görüldü.

Anahtar Kelimeler: Sıcak Daldırma ile Kaplama, Kaplama Kalınlığı, Kaplama Kalitesi ve Gerilmeli Korozyon

SUMMARY

Zinc and Zinc Aluminum Alloy Coating of Steel Parts Using Hot Dipping Technique

In this work, the effect of bath temperature and dipping time on the coating thickness, structure of the coating layer and adhesion quality were determined for pure zinc, ZnAl5 and ZnAl25 alloy coating of TS Fe 37 steel parts using hot dipping technique. In addition, the stress corrosion behavior in nitric acid solution of the coated and uncoated specimens were compared.

As the dipping time increased, the coating thickness increased marginally, and the coating thickness showed a small decrease as the bath temperature increased for both zinc and ZnAl5 alloy coatings. However, as the bath temperature or dipping time was increased, the thickness of the zinc aluminum alloy coating increased. The coatings made at high bath temperatures appeared to be dull. Microcracks were observed in ZnAl25 alloy coatings and coating layer was found to be separated from the surface of the base metal when either the bath temperature or dipping time exceeded a certain level.

It was also found that hot dip coating increased the stress corrosion resistance of the steel parts in nitric acid solution. In addition, the specimens which were coated with ZnAl5 alloy showed higher stress corrosion resistance than the specimens coated with either pure zinc or ZnAl25 alloy.

Key Words: Hot Dip Coating, Coating Thickness, Coating Quality and Stress Corrosion

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Çelik malzemenin iç yapısı.....	20
Şekil 2. Kaplama deney düzeneği.....	21
Şekil 3. Kaplama deney düzeneğinin şematik resmi.....	22
Şekil 4. Çinko-alüminyum denge diyagramı.....	24
Şekil 5. Gerilmeli korozyon deney düzeneğinin genel görünümü.....	27
Şekil 6. Gerilmeli korozyon deney düzeneğinin şematik resmi.....	28
Şekil 7. Gerilmeli korozyon deney numunesi.....	30
Şekil 8. Çinko kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi.....	32
Şekil 9. 20s'lik daldırma süresinde çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	33
Şekil 10. 360s'lik daldırma süresinde çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	34
Şekil 11. Çinko kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi.....	35
Şekil 12. 430 °C sıcaklıkta çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	36
Şekil 13. 460 °C sıcaklıkta çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	36
Şekil 14. 550 °C sıcaklıkta çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	37
Şekil 15. ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi.....	38
Şekil 16. 20s'lik daldırma süresinde ZnAl5 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi..	39
Şekil 17.360s'lik daldırma süresinde ZnAl5 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi.	39
Şekil 18. ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi.....	40
Şekil 19. 400 °C sıcaklıkta ZnAl5 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	41
Şekil 20. 520 °C sıcaklıkta ZnAl5 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	42
Şekil 21. ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi.....	43
Şekil 22. Farklı daldırma sürelerinde ZnAl25 alaşımı kaplanan örneklerin fotoğrafı....	44
Şekil 23. 20s'lik daldırma süresinde ZnAl25 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi.	44
Şekil 24. 360s'lik daldırma süresinde ZnAl25 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	45

Şekil 25. ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi.....	46
Şekil 26. 540 °C sıcaklıkta ZnAl25 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	47
Şekil 27. 630 °C sıcaklıkta ZnAl25 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi.....	47



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1. Alkali bileşiklerin %1'lik çözeltilerinin pH değerleri.....	4
Çizelge 2. Sülfirik asit ve hidroklorik asit çözeltileri için tipik temizleme koşulları.....	5
Çizelge 3. Çelik malzemenin kimyasal bileşimi.....	20
Çizelge 4. Yüzey temizleme işleminde uygulanan adımlar.....	24
Çizelge 5. Gerilmeli korozyon deneyinde kullanılan numunelerinin kaplama koşulları	29
Çizelge 6. Kaplama banyolarının kimyasal analizleri.....	31
Çizelge 7. 450 °C'lik banyo sıcaklığında değişik daldırma sürelerinde çinko ile yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri.....	32
Çizelge 8. Değişik sıcaklıklarındaki çinko banyosuna bir dakikalık süre daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri.....	34
Çizelge 9. 440 °C'lik banyo sıcaklığında değişik daldırma sürelerinde ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri..	38
Çizelge 10. Değişik sıcaklıklarındaki ZnAl5 banyosuna bir dakikalık süre daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri.....	40
Çizelge 11. 560 °C'lik banyo sıcaklığında değişik daldırma sürelerinde ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri	42
Çizelge12. Değişik sıcaklıklarındaki ZnAl25 banyosuna bir dakikalık süre daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri.....	46
Çizelge 13. Gerilmeli korozyon deneyinde elde edilen bulguları.....	48

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Yüzeyleri kimyasal bakımdan kararsız olan düşük karbonlu yumuşak çelikler, pek çok çalışma ortamında korozyona uğrarlar. Malzemede meydana gelen korozyonu kontrol etmek ve böylece malzemenin kullanım ömrünü arttırmak için bu tür çelikleri sıcak daldırma yöntemiyle metal kaplamak, yüksek korozyon direncine sahip paslanmaz çelik kullanmaktan çoğunlukla daha ekonomik olmaktadır. Metalik kaplamalar korozyona karşı iyi bir koruma sağlamakla birlikte, parçalara güzel görünüm kazandıran dekoratif etkiye de sahiptirler.

Koruyucu kaplama malzemesi olarak pek çok metal kullanılır. Ancak, çelik üzerine sıcak daldırma yöntemiyle daha çok düşük ergime noktasına sahip çinko (Zn), alüminyum (Al), kalay (Sn) ve kurşun (Pb) kaplanmaktadır. Bu dört metalin her birinin korozyon direnci, çeliğin korozyon direncinden daha yüksektir. Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamalarda en çok çinko kullanılır [1]. Son zamanlarda, çinko içerisine başka elementler katarak daha üstün özelliklere sahip kaplamalar elde edilmeye çalışılmaktadır. Alüminyumun oldukça yüksek korozyon direncine, çinkonun ise çok iyi galvanik koruma özelliğine sahip olması nedeniyle çelik üzerine çinko-alüminyum alaşımlarının sıcak daldırma yöntemiyle kaplanmasına ilişkin çalışmalar oldukça sıklaşmıştır [2]. Sıcak daldırma yöntemiyle çelik üzerine yapılan bu tür kaplamalar sayesinde hem yüksek mukavemete, hem de yüksek korozyon ve oksidasyon direncine sahip kompozit bir malzeme oluşturulabilir. Bu şekilde, her iki metalden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme elde edilmiş olur [1].

Sıcak daldırma yöntemiyle kaplama, sıvı haldeki kaplama banyosuna daldırılıp burada belirli bir süre tutulan malzemenin yüzeyinde yapışkan ve koruyucu bir tabaka oluşturulması işlemidir [3]. Kaplama malzemesi ile ana metal arasında iyi bir bağın oluşması ya da iyi bir yapışkanlığın sağlanması, büyük ölçüde parça yüzeyinin geometrik şekline, profiline ve temizliğine bağlıdır [4].

Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplama sonucunda oluşan kaplama tabakası, birkaç katmandan meydana gelen karmaşık bir yapıya sahiptir. Kaplama tabakasının kimyasal bileşimi ile fiziksel ve mekanik özellikleri tabakadan tabakaya önemli ölçüde değişiklik gösterir [3]. Kaplama içerisinde, belirli kalınlıkta ara alaşım tabakası meydana gelmektedir. Bu tabaka genellikle, gevrek davranış sergileyen metallerarası (intermetalik) bileşiklerden oluşmaktadır. Ancak, oluşan bu bileşiklerin belirli bir büyüklüğü aşması durumunda, kaplama yoluyla elde edilen kompozit malzemenin mekanik özellikleri olumsuz etkilenmektedir [4].

Kaliteli kaplama yapmak için, kaplama banyosunun sıcaklığı ve bileşimi ile daldırma süresi ve soğutma hızı gibi parametrelerin iyi ayarlanması gerekir. Söz konusu parametreler kaplamaların özelliklerini ve kalitesini büyük ölçüde etkilemektedirler.

Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplama işlemi yağ temizleme, asitle temizleme, flukslama, kaplama ve soğutma aşamalarından oluşur. Yağ temizleme; gres, yağ ve katı kir parçacıklarının temizlenmesi, asitle temizleme; metallerin yüzeylerindeki oksit filmlerinin temizlenmesi, flukslama; sıvı haldeki metal veya alaşım banyosunun kaplanacak metalin yüzeyini iyi ıslatmasının sağlanması, kaplama; parçanın sıvı haldeki metal veya alaşım banyosuna daldırılarak kaplanması ve soğutma; kaplanan parçanın uygun ortamda soğutulması anlamına gelmektedir.

Yağ temizleme ve asitle temizleme aşamalarının her birinden sonra, temizlemede kullanılan çözeltilerin giderilmesi için parçanın su ile yıkanması gerekir [1].

Üniform kalınlıkta ve kaliteli bir kaplama elde edebilmek için kaplama işleminin kontrol edilmesi gerekir. Kaplanan parçaların kullanım ömrü, büyük ölçüde kaplama malzemesine ve kaplama kalınlığına bağlıdır. Yapılan kaplamaların kalınlığı ya uygun yöntemlerle mikrometre mertebesinde ölçülür veya kaplama ağırlığının ana metalin yüzey alanına oranı ile belirlenir.

Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamalar değişik ortamlarda üstün performans sergilediklerinden, diğer koruyucu metalik kaplamalardan daha çok tercih edilmektedirler. Bu yöntemle kaplanan parçalar çeşitli konstrüksiyonlarda, tarım ve otomotiv endüstrisi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Sıcak daldırma yöntemiyle kaplama işlemi şerit, boru ve tel gibi yarı mamul malzemeler ile tam mamul

malzemelere uygulanabilir. Tam mamul malzemelerde bütün yüzeylerin, köşelerin ve bağlantı yerlerinin tam olarak kaplanması önemli bir avantaj oluşturmaktadır [5].

1.2. Kaplama Öncesi Parçaların Temizlenmesi

Yüzey temizliği, kaplama kalitesini doğrudan etkileyen en önemli faktörlerden biridir [7,8]. Metal yüzeyinin kimyasal ve fiziksel durumu, metali korumak için yapılan kaplamanın kalitesini etkiler. Yağ, kir ve korozyon ürünü gibi yabancı maddelerin bulunması, kaplamanın yapışkanlığını, sünekliğini ve sağlamlığını etkiler [9]. Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamalarda meydana gelen hatalar, çoğunlukla yüzey temizliğinin uygun veya yeterli olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sıcak daldırma yöntemiyle kaplanacak parçalar, flukslama ve metal banyosuna daldırmadan önce yağ, kir ve oksit gibi yabancı maddeler ile işleme esnasında yüzeyden ayrılmış olan metal parçacıklarından temizlenmelidir [3].

Genellikle, yüzeyi kaplamaya hazır hale getirmek için birkaç işlem uygulamak gerekir. Kaplanacak parçanın durumuna göre bu işlemler uygun şekilde seçilmelidir. Ancak, çoğu parçalara hemen hemen aynı yüzey temizleme işlemleri uygulanır [9]. Sıcak daldırma yönteminde, kaplanacak parçaların öncelikle yağı temizlenir. Daha sonra, parçalar sülfirik asit (H_2SO_4) veya hidroklorik asit (HCl) çözeltileri ile temizlemeye tabi tutulurlar. Bazı durumlarda, asitle temizlemeden önce mekanik temizleme de yapılmaktadır [3]. Parçanın yüzeyinde kalan temizleme artıklarının etkin olarak giderilmesi için, yağ alma ve asitle temizleme aşamalarının her birinden sonra parça su ile iyice yıkanmalıdır [1].

1.2.1. Yağ Temizleme İşlemi

Bu terim yağ ve gresin temizlenmesini ifade etmesine rağmen, malzemenin yüzeyindeki oksit tabakası hariç genellikle diğer bütün yabancı maddelerin temizlenmesini kapsar. Parçaları haddede, şekillendirmede veya işlemede kullanılan yağ, gres ve diğer yağlayıcılar; buharla yağ alma, çözücü ile temizleme ve alkali temizleme gibi yöntemler ile giderilebilir. Üretimden sonra sıcak daldırma

yöntemiyle yapılan kaplamada yağ temizleme için çoğunlukla ısıtılmış alkali temizleme banyoları kullanılır [3].

Alkali temizleyiciler su ile kolaylıkla durulanabilirler ve zehirli değildirler. Ayrıca, alkali çözeltilerin düşük konsantrasyonda kullanılabilmesi ekonomik açıdan yararlar sağlar. Çelik üzerinde ağır kirlerin bulunması durumunda, derişik alkali temizleme çözeltileri kullanılır. Sıvı ve katı yağlarla diğer yabancı maddelerin etkin biçimde temizlenmesi için, farklı türden birkaç alkali bileşik değişik oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Alkali bileşiklerin başlıcalarına örnek olarak; sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3), sodyum ortofosfat ($\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), sodyum pirofosfat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$), sodyum metasilikat ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve sodyum silikat ($\text{Na}_2\text{O} \cdot 1.6\text{SiO}_2$) verilebilir [9]. Çizelge 1, %1 oranında alkali temizleme bileşii ieren bazı çözeltilerin pH değerlerini göstermektedir.

Alkali temizleme çözeltilerinin 65-82 °C sıcaklık aralığına kadar ısıtılması gerekir [3]. Temizlenecek parça ya alkali bir banyo içerisine daldırılır, ya temizleme çözeltisi parça üzerine püskürtülür ya da elektrolitik olarak temizleme yapılır. Genellikle, elektrolitik temizleme diğer ikisinden daha hızlıdır.

Çizelge 1. Alkali bileşiklerin %1'lik çözeltilerinin pH değerleri

Bileşik	Kimyasal formül	pH
Sodyum hidroksit	NaOH	13.4
Sodyum metasilikat	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	12.5
Sodyum ortofosfat	$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	12.0
Sodyum silikat	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 1.6\text{SiO}_2$	12.0
Sodyum karbonat	Na_2CO_3	11.4
Sodyum profosfat	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	10.1

Son yıllarda yağ temizleme işleminin kimyasal çözücülerle yapılması oldukça yaygınlaşmıştır. Parçaları temizlemede genellikle karbontetraklorür, trikloretilen ve pentakloreten gibi kimyasal çözücüler kullanılır [9].

1.2.2. Asitle Temizleme

Sıcak daldırma yöntemiyle kaplanacak parçaların yüzeylerinin hazırlanmasındaki ikinci aşama, oksit ve pas gibi kaplamayı olumsuz etkileyen korozyon ürünlerinin giderilmesi için uygulanan asitle temizleme işlemidir. Asitle temizleme işleminde sülfirik asit veya hidroklorik asidin sulu çözeltileri kullanılır [1,3]. Sülfirik asidin avantajları, daha ekonomik olması, daha az duman çıkarması ve kullanılacak asit hacminin daha az olması şeklinde sıralanabilir. Diğer yandan, hidroklorik asidin avantajları ise temizleme sırasında özellikle karbon oranı yüksek olan çeliklerde daha az kalıntı bırakması, suyla daha kolay temizlenmesi ve daha yüksek demir oranlarında da etkin temizleme sağlamasıdır [1].

Asitle temizleme çözeltileri, ağırlıkça %3-10 sülfirik asit veya %5-15 hidroklorik asit içerirler. Asitle temizlemenin etkinliğini arttırmak için sülfirik asit çözeltileri yaklaşık 65-88 °C sıcaklık aralığında kullanılırken, hemen hemen aynı etkiye sahip hidroklorik asit çözeltileri daha düşük sıcaklıklarda kullanılabilir. Her iki durumda da oksit veya pasın temizlenmesi için gerekli süre, oksit veya pasın özelliğine ve miktarına göre ayarlanır [3,9]. Sülfirik asit ve hidroklorik asit çözeltileri için tipik temizleme koşullarını gösteren çizelge aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2. Sülfirik asit ve hidroklorik asit çözeltileri için tipik temizleme koşulları

Çözelti özellikleri	Sülfirik asit	Hidroklorik asit
Konsantrasyon (%ağırlık)	5-15	8-12
Sıcaklık (°C)	60-77	38-41
Daldırma süresi (dakika)	5-20	5-15
Çözeltideki maksimum demir miktarı (%ağırlık)	5	13

Sülfirik asit ve hidroklorik asit yanında nitrik asit, hidroflorik asit ve fosforik asit gibi oksit temizleyicileri de vardır [9]. Özellikle, yumuşak ve kır dökme demirden silikatları gidermek için hidroklorik asit ve sülfirik asit yerine öncelikli olarak

hidroflorik asit veya nitrik asit kullanılır. Çünkü, silikatlar sülfirik asit ve hidroklorik asit içinde çözünmezler. Hidroflorik asit ve nitrik asit çözeltileri genellikle soğuk olarak kullanılırlar [3].

1.2.3. Mekanik Temizleme

Oksit gidermede kullanılan mekanik temizleme yöntemleri; abrazyif kazıma, tel fırça ile süpürme, taşlama ve parlatma gibi işlemleri içerir. Genellikle, metalik temizleme sırasında metalin sağlam kısımları da bir miktar aşınır ve asitle temizlemeye göre daha pürüzlü yüzeyler oluşur [9]. Ayrıca, kaplanacak parça üzerindeki oksit tabakası çok kalın ise parça, zımparalama gibi bir işlemle mekanik temizlemeye tabi tutulduktan sonra, bilinen temizleme işlemleri uygulanabilir. Asitle temizlemeyi en aza indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için parçalar mekanik olarak temizlenebilir [3]. Ayrıca, demir tuzlarının tamamen giderilmesi için parçanın asitten çıkarıldıktan hemen sonra çok iyi yıkanması gerekir [1].

1.3. Sıcak Daldırma ile Kaplama Yöntemleri

Asitle temizleme, mekanik temizleme ve su ile yıkama gibi temizleme işlemleri ile çeliğin yüzeyindeki pas ve kirlerin uzaklaştırılmasına karşın, yüzeyde az miktarda da olsa oksit, klorür, sülfat ve sülfid halindeki artıklar kalmış olabilir. Parça yüzeyinde kalan bu artıkları gidermek ve parçayı kaplama banyosu üzerindeki oksitlerden korumak için flukslama yapılır [3].

Günümüzde kuru ve ıslak olmak üzere iki çeşit ticari galvanizleme yöntemi uygulanmaktadır. Kuru ve ıslak galvanizleme yöntemlerinde benzer flukslama malzemeleri kullanılmakla birlikte, bu iki yöntemi birbirinden ayıran faktör flukslama işleminin uygulanış şeklidir [9]. Kuru galvanizleme yönteminde parça, yağı alındıktan ve asitle temizlendikten sonra belirli sıcaklıktaki fluks çözeltilisine daldırılır. Belirli bir süre sonra, parça fluks çözeltilisinden çıkarılarak kurutulur ve kaplama banyosuna daldırılır. Fluks çözeltileri oda sıcaklığı ile 82 °C arasındaki herhangi bir sıcaklıkta olabilir. Ancak, parçanın kurutulmasını kolaylaştırmak için flukslama işlemi çoğunlukla

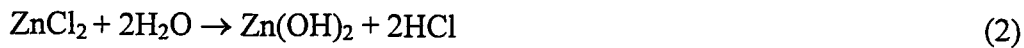
yüksek sıcaklıklarda yapılır. Flukslanan parçalar ise uygun sıcaklıklardaki fırınlarda kurutulur. Parça tam kurumadan sıvı haldeki kaplama banyosuna daldırılırsa metal sıçraması meydana gelebilir. Bu nedenle ön flukslama yapılmış bir malzemeyi kaplarken, sıçrama tehlikesini en aza indirmek için fluks tabakası iyice kurutulmalıdır. Ayrıca, banyodaki sıvı metal üzerinde ince bir fluks tabakası oluşturulabilir. Kuru galvanizleme yönteminin asitle temizleme aşamasında genellikle hidroklorik asit çözeltileri kullanılır [1,3].

Islak galvanizleme yönteminde, yağı alınan ve asitle temizlenen parçaya kaplama banyosuna daldırmadan önce ön flukslama yapılmaz. Bu yöntemde, fluksun kaplama banyosu yüzeyinde erimesine izin verilir ve burada fluks, koruyucu bir yüzey tabakası oluşturur. Böylece, parça kaplama banyosuna girerken yüzeyinin fluks tabakasıyla ıslatılması ile flukslama gerçekleştirilmiş ve son temizleme yapılmış olur. Islak galvanizleme işleminde yapılan iyi bir flukslama, çoğunlukla parçaların iyi bir şekilde kaplanmasını sağlar. Fluks yeterli kararlılığa sahip olmalı ve kaplama sıcaklığında kimyasal olarak aktif olmalıdır. Islak galvanizleme yönteminde asitle temizleme işlemi genellikle sülfirik asit çözeltileri kullanılarak gerçekleştirilir [1,3].

Klorürler hidroliz sırasında hidroklorik asit açığa çıkardıklarından hem ıslak, hem de kuru galvanizleme yöntemlerinde çok uygun flukslar oluştururlar. Hidroliz sırasında meydana gelen reaksiyonlar;



veya



şeklinde gösterilebilir. Açığa çıkan hidroklorik asit ise aşağıdaki denklemde gösterildiği gibi, metal oksidi ayrıştırarak giderir [4].



Çinko klorüre ($ZnCl_2$) ilaveten sodyum klorür ($NaCl$) ve amonyum klorür (NH_4Cl) de fluks olarak kullanılabilir. Genellikle, hem ıslak ve hem de kuru galvanizleme yöntemlerinde fluks olarak çinko klorür-amonyum klorür karışımı kullanılır. Ancak, bu karışım en fazla %5-10 arasında amonyum klorür içermelidir [3].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan yöntem, asitle temizlemeden sonra su ile yıkama, sulu çinko-amonyum klorür çözeltisinde flukslama, kurutma ve sıvı haldeki metal banyosuna daldırarak kaplama işlemlerini içerir. Ön flukslama ile daha iyi bir flukslama kontrolü yapılabilir. Flukslanan malzeme, banyoya daldırılmadan önce yaklaşık bir veya iki saat açık havada bekletilebilir [3].

1.4. Sıcak Daldırma ile Kaplamadaki İşlem Parametreleri

Demir veya çelik üzerine sıcak daldırma ile yapılan kaplamaların kalitesini etkileyen birçok işlem parametresi vardır. Banyo sıcaklığı ve akışkanlığı, banyoya katılan alaşımlama elementleri, daldırma süresi, banyodan çıkarma ve süzdürme ile kaplamadan sonraki soğutma işlemleri bu parametrelere örnek olarak verilebilir [3].

1.4.1. Banyo Sıcaklığı

Kaplama sırasındaki banyo sıcaklığının, hem çeliğe zarar vermeyecek, hem de kaliteli kaplamaya uygun olacak şekilde seçilmesi gerekir [5]. Örneğin, saf çinko yaklaşık 419 °C sıcaklıkta ergimesine karşın, galvanizleme genellikle 445-465 °C gibi daha yüksek sıcaklıklardaki sıvı çinko banyolarında yapılır. Kaplama sıcaklığının artması; sıvı haldeki banyonun akıcılığını, kaplanacak parçanın sıcaklığını ve parçanın banyodan çıkarılmasından sonra kaplamanın katılma süresini artırır ve ayrıca banyo üzerinde oksit oluşumunu hızlandırır, kaplayıcı metalin parçadan daha fazla süzdürülmesini sağlar ve daldırma süresini azaltır.

Sıvı metalin akıcılığında meydana gelen artış, kaplama banyosundan çıkarılan parça üzerinde kalan sıvı metalin daha iyi süzdürülmesine neden olur. Bununla birlikte, banyo sıcaklığının artması, kaplanacak parçanın yüzeyi ile merkezi arasında belirgin bir sıcaklık farkı meydana getirir. Parçanın şekline bağlı olarak, değişik bölgelerde meydana

gelen büyük sıcaklık farkı, distorsiyona neden olur. Banyo sıcaklığı ile birlikte kaplanacak parçanın sıcaklığının artması, parça banyodan çıkarıldıktan sonra kaplamanın katılaşması için gerekli süreyi arttırır. Ayrıca, banyo sıcaklığındaki artış banyo yüzeyinde oksit oluşumunu hızlandırır ve oluşan oksit filminin bir kısmı parçanın banyodan çıkarılması sırasında parçaya yapışabilir. Bu durum ise sıvı metalin süzdürülmesini engelleyerek, istenmeyen özelliklere sahip, mat ve iyi görünümlü olmayan bir kaplamanın oluşmasına neden olur. Oksit filmi, özellikle ince kesitli ve geniş yüzey alanına sahip parçalarda daha fazla oluşur [3].

J. H. Selverian ve arkadaşları [10], % 45-75 oranında alüminyum içeren 610 °C sıcaklıktaki çinko çözeltilerine daldırılan 0.65 mm kalınlığındaki demir numunelerinin çözelti sıcaklığına kadar ısınmaları için 2-3 saniye (s) civarında bir sürenin geçtiğini belirlediler. Çelik ile banyodaki sıvı metal arasındaki reaksiyonun başlaması için geçen süre, çeliğin yüzeyine uygulanan ön işlemlere göre değişir [9]. P. G. Caceres, bu sürenin birkaç saniye olduğunu, A. R. P. Ghuman ve J. I. Goldstein ise yaptıkları deneyler sonucunda bu sürenin çok daha fazla olabileceğini ileri sürdüler [11].

1.4.2. Daldırma Süresi

Parça, fluks ve metal sıçramasına meydan vermeden mümkün olduğu kadar hızlı bir şekilde banyoya daldırılmalıdır. Bu husus, özellikle ıslak galvanizleme yönteminde önemlidir. Çünkü, oluşan oksit miktarı, parçanın sıvı banyo üzerinde bulunan fluks tabakasına temas süresiyle birlikte artar. Ayrıca, daldırma hızı kaplamanın homojenliğini de etkiler. Bu durum, özellikle uç kısımlarının banyoya girme anları arasındaki zaman farkı fazla olan uzun parçalar için önemlidir.

Parça üzerindeki fluksun erimesi ve banyo içerisinden yüzeye doğru yükselmesi sırasında başlangıçta banyoda bir hareketlilik gözlenir. Banyo yüzeyi sakinleşir sakinleşmez parça banyodan çıkartılabilir [1,3]. Z. W. ve arkadaşları [11], 450°C sıcaklıktaki ZnAl5 banyosuna düşük karbonlu çeliğin daldırılması sırasında metallerearası bileşiklerin çekirdeklenmesi için geçen sürenin 32 saniye civarında olduğunu ileri sürdüler. Ancak, söz konusu bileşikler için değişik kaynaklarda farklı çekirdeklenme süreleri verilmektedir. Çekirdeklenme süresinde gözlenen bu fark, yüzey

hazırlama işlemlerinin farklı olması nedeniyle ısınma sürelerinin değişmesinden kaynaklanabilir [11]. Islak galvanizleme yönteminde, ana metal ve kaplama arasında iyi bir metalurjik bağ oluşturmak için parça, daldırmadan önce kaplama banyosunun sıcaklık seviyesine yakın bir sıcaklığa kadar ısıtılabilir. Ancak, kuru galvanizleme yönteminde bu mümkün değildir. Çünkü, yaklaşık 130 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda fluks ayrışmaya başlar [10]. Gerekli daldırma süresi kaplanacak parçanın büyüklüğüne göre de değişir. Küçük parçalar için 1 (bir) dakika yeterli olurken, büyük parçalar için 5 dakikaya kadar bir süre gerekebilir [1,3]. Ancak, bazı çeliklerde bulunan silisyum, daldırma süresinin birkaç dakikayı aşması durumunda aşırı gevrekliğe yol açabilir. Gevreklik ise tabakaların mekanik özelliklerini olumsuz etkiler [12]. Bu yüzden, deneme-yanılma yoluyla her parça için bir optimum daldırma süresi belirlenmelidir [1,3].

1.4.3. Banyodan Çıkarma ve Süzdürme

Minimum kalınlıkta üniform bir kaplama elde etmek için parçalar banyodan yavaşça ve kontrollü olarak çıkartılmalıdır. Böylece, sıvı metalin parça yüzeyinden maksimum düzeyde aktılması (süzme) sağlanmış olur. Bununla birlikte, sıcak daldırma işleminde kaplanan metal miktarını ve kaplamanın yüzey üzerindeki dağılımını kusursuz olarak kontrol etmek mümkün değildir. Parça üzerinde kalan ve alaşım oluşturmamış kaplama tabakasının kalınlığı banyodan çıkarma hızına bağlıdır ve bu hız da uygulanan işleme göre değişir. Pek çok parça için optimum çıkarma hızı 0.025 m/s olarak belirlenmiştir [3]. Parça, sıvı metalin parça yüzeyinden serbestçe aktığı hızdan daha düşük bir hızla banyodan çıkarıldığında, alaşım oluşturmayan kaplama tabakası üniform bir dağılım gösterir. Daha yüksek çıkarma hızlarında fazlalık sıvı metal katılaşınca kadar yüzeyden akar ve sonuçta yumrulu veya düzgün olmayan bir kaplama tabakası oluşur [3,9].

Bazı araştırmacılar [2,10] sıcak daldırma yöntemiyle çelik parçaların çinko-alüminyum alaşımı ile kaplanması konusunda yapmış oldukları deneyler sonucunda, çelik ile Zn-Al banyosu arasında meydana gelen reaksiyon ile ana metal-kaplama ara yüzeyinde metallererası bileşik oluştuğunu ve oluşan bu bileşik tabakasının difüzyonu

önlemesi nedeniyle kaplama tabakasının büyük bir kısmının parçanın banyodan çıkartılması sırasında, üzerine sıvı metal sayesinde oluştuğunu ileri sürdüler. Bu araştırmacılar, difüzyonu engelleyen tabakanın Fe, Zn ve Al'dan oluşan bir bileşik olduğunu iddia ettiler.

Bazı durumlarda, banyodan çıkarma hızı artırılabilir ve parçalar kapalı bir kap içerisinde bulunan bir sepete yerleştirildikten sonra sepet hızlıca döndürülerek fazlalık metalin süzülmesi sağlanabilir. Alternatif bir yöntem olarak fazlalık metal, uygun aletlerle parçalardan silinerek giderilebilir [3].

1.4.4. Kaplamadan Sonra Soğutma

Kaplama banyosundan çıkarılan parçalar fırında, havada veya suda soğutulabilirler [1,5,13]. Ancak, soğuma hızı kaplamanın yapısını ve korozyon davranışını etkiler. Su verilerek soğutulan kaplamalar, havada soğutulan kaplamalardan daha üstün korozyon direnci sergilerler. Suda soğutma ile yapıdaki lameller arasındaki uzaklık azaltılabilir. Havada ve suda soğutulmuş çinko kaplamaların korozyon potansiyelleri arasındaki fark tane büyüklüğündeki değişimden kaynaklanırken, ZnAl5 kaplamalarının korozyon dirençleri arasındaki farkın nedeni henüz anlaşılamamıştır [6].

Eğer parçalar kaplamadan sonra yüksek sıcaklıklarda tutulursa kaplama tabakası katlaşmış olmasına karşın, alaşım tabakaları büyümeye devam edebilir. Alaşım tabakasının bu şekilde büyümesi kaplamanın yapışkanlığını olumsuz etkiler ve parlak kaplamanın mat görünmesine neden olur. Bundan dolayı kaplama banyosundan çıkartılan parçalar, serbestçe hava sirkülasyonuna izin verecek şekilde istiflenmelidirler. Ayrıca, hem kaplamayı katılaştırmak ve hem de aşırı alaşım oluşumunu önlemek için silisyum içermeyen çeliklerden imal edilmiş büyük parçalar, genellikle su verme yöntemiyle hızlıca soğutulurlar. Çünkü, alaşımlama katılaşmadan sonra da devam edebilir [1,5].

K-L. Lin ve arkadaşları [6,13], özellikle Zn-Al alaşımı kaplamada soğutma hızının içyapıyı etkilediğini belirlediler. Örneğin, ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamanın lamelli ötektik yapısının suda soğutma durumunda daha dar aralıklı olduğunu ve soğuma hızının ZnAl55 alaşımı ile yapılan kaplamaların içyapısına etkisinin, demirle

alüminyum ve çinko arasındaki difüzyonlardan etkilendiğini ileri sürdüler. Onlara göre, daldırma işlemi sırasında, Fe ile ZnAl₅ banyosundaki Zn ve Al arasındaki difüzyon, intermetalik tabakanın ve bu üç elementten meydana gelen bir alaşım tabakasının oluşmasına neden olur. Kaplama tabakasının hızlı soğutulması, kaplamadan sonraki çinko difüzyonunu azaltarak kaplama tabakasının ve alaşım tabakalarının katılaşmasına neden olurken, havada soğutma sırasındaki nispeten düşük soğuma hızı banyodan parçayı çıkardıktan sonra da difüzyonun devam etmesine izin verir.

1.5. Kaplama Kabının Özellikleri

Kaplamanın yapıldığı kap kaplamada kullanılan en önemli teçhizat olduğundan, bu kabın tasarımında; boyut, şekil, cidar kalınlığı, kap malzemesi, ısı kaynağı ve yardımcı teçhizat gereçleri gibi birkaç önemli parametrelerin dikkatlice seçilmesi gerekir.

Banyo kabının büyüklüğü ve eğimi, öncelikle kaplanacak parçaların boyutlarına göre belirlenir. Parçalar kaplama banyosuna daldırıldığında meydana gelen ısı kaybının karşılanabilmesi için kap yeterince geniş olmalıdır. Kabın eğimi, oksitlenme kayıplarını en aza indirmek için minimum bir banyo yüzey alanı verecek şekilde olmalıdır. Kabın duvar kalınlığı; sıvı metalin korozif etki hızı, metal banyosunun hacmine bağlı olarak kap duvarlarına uygulanan hidrostatik basınç, kaplama sıcaklığında kap malzemesinin mukavemeti ve kap duvar destekleri dikkate alınarak belirlenir. Bunların hepsini ayrı ayrı hesaplayıp gerekli duvar kalınlığını belirlemek oldukça güç olduğundan, duvar kalınlığı genelde deneyimle belirlenir.

Kap malzemesinden istenen temel özelliklerin başında, yüksek mukavemet ve sıvı haldeki metalin korozif etkisine dayanabilme gücü gelir. Ayrıca, kap malzemesinin iyi kaynak edilme ve eğilme özelliklerine sahip olması gerekir. Kullanılacak kaplar, sıvı veya gaz yakıtlar, elektrik dirençleri veya elektromanyetik endüksiyon ile uygun şekilde ısıtılabilir [1,3].

1.6. Kaplama Tabakasının Yapısı

Sıcak daldırma ile yapılan kaplamalar birkaç tabaka halindedir. Ana metale en yakın olan iç tabaka genellikle "alaşım tabakası" olarak adlandırılır. Kaplamaların özellikleri, kaplamada kullanılan metallerin kaplama öncesi özelliklerinden farklıdır. Birbirine benzemeyen metallerin birleşmesi ile oluşan alaşımlar, genellikle basit katı çözeltiler veya normal ötektik alaşımlar gibi basit malzeme değildirler. Aksine, söz konusu alaşımlar metallerarası bileşik içeren daha karmaşık yapılardan oluşur. Sıcak daldırma ile yapılan bir kaplamanın iç tabakası veya alaşım tabakası, büyük ölçüde ana metal ile kaplama metalinin oluşturduğu metallerarası bir bileşikten meydana gelir. Bu yüzden, kaplamanın bu kısmı çoğunlukla saf kaplama metalinden oluşan dış tabakadan daha sert ve gevreklerdir.

Yüksek ergime sıcaklığına sahip bir metal, düşük ergime sıcaklığına sahip sıvı durumdaki bir metal banyosu içine daldırıldığında, tuzun suda çözünmesi gibi az bir miktar çözünür. Aynı zamanda, sıvı metal ile katı metal difüzyonla birbirine nüfuz eder. Bu yayılma sonunda belirli bir alaşım tabakası oluşur. Eğer bu işlemin devam etmesine izin verilirse yayılma belirli bir mesafeye kadar uzayabilir ve bunun sonucunda kimyasal bileşim ve özellikleri birincisinden farklı olan ikinci bir alaşım tabakası oluşur. Oluşan alaşım tabakalarının her biri belirli bir bileşime sahiptir. Numune kaplama banyosundan çıkarılırken yüzeyinde sıvı metal tabakası oluşur. Bu tabaka daha sonra katılarak kaplamanın en dış tabakasını oluşturur.

Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamalardaki alaşım tabakasının kalınlığı, kaplamadan kaplamaya değişir. Örneğin; demir üzerine kalay kaplamada alaşım tabakası çok ince iken, demir üzerine çinko kaplamada, bu tabaka kalınlaşarak kaplamanın büyük kısmını oluşturabilir. Kaplama sırasında meydana gelen alaşımlama miktarı daldırma süresine, banyo sıcaklığına ve parçanın kütlesine bağlı olduğu için uygulamada bütün bu faktörler dikkatlice ayarlanmalıdır. Parça sıvı metal içerisine gereğinden fazla bir süre daldırılırsa, kaplamayı gevrekletiren kalın bir alaşım tabakası oluşabilir. Böyle bir durum pek çok uygulama için uygun değildir [9].

Z. W. Chen ve arkadaşları [11], çelik üzerine ZnAl5 alaşımını kaplanması sırasında banyodan çıkarılan parça yüzeyine yapışmış olan ZnAl5 alaşımının, dış kısımda ötektik

bileşime sahip bir tabaka olarak katılaştığını ve çeliğe bitişik yerde de ötektik dışı alaşım oluşturduğunu ileri sürdüler. Bununla birlikte, daldırma süresi artırıldığında bazı intermetalik fazların oluştuğunu ve bu fazların zamanla hem dışa, hem de içe doğru büyüyerek, belirli bir süreden sonra yüzeyden koptuğunu belirlediler. Ayrıca, S.H. Hörnström ve arkadaşları [14], çelik üzerine ZnAl55 alaşımının kaplanması sırasında, alüminyumca zengin dendritler ile çinkoca zengin dendritler arası bölgelere sahip bir yapının oluştuğunu gözlediler.

Sonuç olarak, elde edilen kaplamanın yapısı; banyo sıcaklığı, banyo bileşimi ve daldırma süresi gibi kaplama koşulları ile çeliğin bileşimi, yüzey durumu ve kaplamadan sonraki soğutma hızına bağlıdır [5]. Sıcak daldırma yöntemi ile banyoda yapılan kaplamalarda elde edilen yapılar, seri üretimle elde edilen yapılardan oldukça farklıdır. Buna bağlı olarak, her iki durumda elde edilen kaplamaların korozyon özellikleri de birbirinden oldukça farklı olabilir [6,11].

1.7. Sıcak Daldırma ile Galvanizlemenin Kaplanan Malzemeye Etkisi

Sıcak haddelenmiş çeliklerin çekme dayanımı, akma dayanımı, kopma uzaması ve kopma büzülmesi gibi mekanik değerleri galvanizleme işleminden pek etkilenmez. Parçaların soğuk şekil değiştirme veya ısıl işlem sonucunda artan mukavemet değeri, sıcak daldırma yöntemi ile yapılan galvanizleme sonucunda azalabilir. Mukavemetteki azalma miktarı, şekil değiştirme oranına, ısıl işlemin cinsine ve çeliğin kimyasal bileşimine bağlıdır. Galvanizleme sonucunda çeliğin darbe tokluğu bir miktar azalır ancak, bu durum çeliğin kullanılabilirliğini pek etkilemez. Parçaların şekillenme kabiliyetleri de galvanizlemeden pek fazla etkilenmez. Ancak, malzemenin aşırı ölçüde eğilmesi durumunda, kaplama kalınlığı ve eğme yarıçapına bağlı olarak, kaplama eğilmeye zorlanan kısımdan çatlayabilir veya kopabilir.

Galvanizlenmemiş çelikler korozyon ortamlarında çabuk paslanırlar. Bu nedenle korozif etkilere maruz kalan galvanizlenmemiş çeliklerin yorulma dayanımları, pas ilerlemesinin bir sonucu olarak hızlı bir şekilde azalır. Başka bir deyişle; galvanizleme ile korozyonun, çeliğin yorulma dayanımı üzerindeki olumsuz etkisi giderilir. Sıcak daldırma ile galvanizlenmiş çelik parçaların yorulma dayanımları, kaplama çelik

üzerinde bulunduğu sürece pek değişmez. Ancak, yorulma gerilmesi etkisiyle demir-çinko alaşım tabakasında çatlaklar oluşabilir ve bu çatlaklar çelik yüzeyinde çatlamalara neden olabilir [3].

1.8. Kaplama Kalitesini Etkileyen Bazı Faktörler

1.8.1. Kaplanacak Malzemenin Kimyasal Bileşimi

Çeliğin, sıcak daldırma yöntemiyle kaplamaya uygun olup olmadığı, kimyasal bileşimine göre belirlenir. Çünkü, kaplamanın görünümü ve özellikleri büyük ölçüde ana metalin kimyasal bileşimine bağlıdır. Örneğin; ana metal olan çelikteki safsızlıklar ile alaşım elementleri, kaplamanın yapısını ve kalınlığını etkiler.

Konstrüksiyon malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılan çelikler , sıcak daldırma yöntemiyle başarılı bir şekilde kaplanabilir. Bu malzemeler içerisinde, sıcak daldırma yöntemiyle en kolay, karbon (C) oranı en fazla %0.15 olan yumuşak çelikler kaplanır. Düşük karbonlu ve az alaşımlı çelikler, önemli bir sorunla karşılaşmadan kolayca kaplanabilir [1]. Ancak, çelikteki karbon oranının %0.4'ü aşması durumunda, kaplama işlemini zorlaştıran karbonlu asit kirleri oluşur. Bu kirlerin oluşmasını önlemek için yüzey temizleme işlemine özel önem vermek gerekir [5].

Malzemenin içerdiği safsızlık elementleri de kaplama kalitesini önemli ölçüde etkiler. Kaplama kalınlığını kontrol etmek için çelik malzemenin yeterli oranda silisyum (Si) ve fosfor (P) içermesi gerekir [6]. %0.02'den daha düşük oranlardaki silisyum, kaplama sırasında oluşan reaksiyonu pek fazla etkilemez. Ancak, bu oranın üzerindeki silisyum reaksiyon hızını artırır ve %0.09 oranındaki silisyum bu hızı en yüksek değere ulaştırır. Bu orandan sonra ise reaksiyon hızı azalır. Genellikle, %0.25 oranına kadar silisyum içeren çelikler normal olarak kaplanabilir. Uygun oranda karbon ve silisyum içeren çeliklerin fosfor oranı %0.05'ten ve mangan (Mn) oranı %1.35'ten az ise bu çelikler sıcak daldırma yöntemiyle kaplanmaya elverişlidirler [3].

1.8.2. Kaplama Kalınlığı

Geleneksel sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamalarda, kaplama kalınlığı yeterli ölçüde kontrol edilemeyebilir ve kaplama ile ana metal arasındaki alaşım tabakasının büyüklüğü daldırma süresine bağlı olarak değişir [4]. Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamaların kalınlığı ana metalin kimyasal bileşimi ve yüzey profilinden başka, daldırma süresi, banyo sıcaklığı ve banyodan çıkarma hızına bağlıdır. Kaplama kalınlığı ayrıca, parçayı banyodan çıkardıktan hemen sonra uygulanan silme, sallama ve çevirme işlemlerinden de etkilenir. Üniform kalınlıkta bir kaplama elde etmek için kaplama işleminin dikkatlice kontrol edilmesi gerekir. Kaplama kalınlığı, kaplanan malzemenin kullanım ömrünü en çok etkileyen faktörlerden birisidir. Çünkü ilk paslanma kaplama kalınlığının en az olduğu yerlerde başlar [1].

L. A. Rocha ve M. A. Barbosa [2], çelik üzerine ZnAl5 alaşımı kaplama deneyleri sonucunda, elde edilen kaplama kalınlığının daldırma süresinden hemen hemen bağımsız olduğunu gördüler. Bu davranışı, sıvı banyo içerisinde daldırılan çelik parçanın yüzeyinde birkaç saniye içerisinde oluşan metallerarası bileşiğin çelik ve sıvı banyonun birbirine temasını engellemesine dayandırarak açıkladılar.

Aşırı alaşımlama sonucunda oluşan intermetalik tabakalar gevrekleşmeye yol açarlar. Bu nedenle kaplanan parçaların deformasyona uğraması söz konusu ise kaplama kalınlığının sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gerekir. Bu durum, özellikle tekrarlı veya çevrimsel gerilmeye maruz kalan parçalar için önemlidir.

Sıcak daldırma ile yapılan kaplamaların kalınlığı, mikron seviyesinde ölçümler yapılarak belirlenir veya kaplamanın ağırlığı, çeliğin kaplanmadan önceki yüzey alanına bölünerek g/cm^2 cinsinden hesaplanır [3]. Sıcak daldırma ile yapılan kaplamaların kalınlıkları genellikle 0.02 ile 0.09 mm değerleri arasında yer alır [4].

1.9. Sıcak Daldırma ile Galvanizlemenin Uygulama Alanları

Demir veya çelik parçaların sıcak daldırma yöntemiyle çinko kaplanmasına *galvanizleme* adı verilir. Çinko kaplamalar öncelikle atmosfer, yeraltı ve sualtı ortamlarına maruz kalan çelik malzemeleri korozyona karşı korumak amacıyla yapılır.

Değişik ortam koşullarında gösterdiği üstün performans nedeniyle çinko kaplamalar, diğer koruyucu kaplamalardan daha avantajlı sayılmaktadır[1].

Sıcak daldırma ile galvanizlemenin uygulama alanlarına örnek olarak; çatı ve yan kapak sacları, tam olarak açık havaya maruz kalan tel ve tel ürünleri, çelik levhalardan üretilen parçalar (otomobil kasaları, gövde parçaları, kovalar, tenekeler ve sıcak su tankları gibi) ve açık havada kullanılan hırdavat, boru ve oluklar verilebilir. Bunların yanında, sıcak daldırma ile yapılan galvanizleme; enerji santrallerindeki yapı çeliklerinde, petrokimya tesisatında, elektrik iletim direkleri ve kulelerinde, köprülerde, atmosfere açık yapı elemanlarında, su kanallarında, soğutma kulelerinde ve binaların çatılarında, iskele ayaklarında, ray ve demiryolu elektrik hatlarında, otoyol banketlerinde, yüksek aydınlatma direklerinde, işaret levhalarında, parmaklıklarda, merdivenlerde, emniyet kafeslerinde, taşıt gövdeleri ile taşıtların yapı elemanlarında, metal borularda ve akışkan depolama tanklarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çinko kaplamaların başlıca yararları ise korozyon direncinin demir ve çeliğe göre daha yüksek olması, kaplama hasara uğradığında demir veya çeliğe elektrolitik koruma sağlaması, kaplamanın ve demir-çinko metallerarası bileşiğinin oluşturduğu tabakaların dayanıklı ve aşınma direncinin yüksek olması ve gerektiğinde boyanmasının nispeten kolay ve ekonomik olması şeklinde sıralanabilir.

Koruyucu kaplamalar içerisinde galvanizleme ile yapılan kaplamalar, çok az miktarda sülfür gazı ve endüstriyel atık içeren veya hiç içermeyen ortamlarda en uzun ömre sahiptirler. Bununla birlikte, galvaniz kaplamalar korozyona karşı dayanımlarını deniz suyu ortamında da uzun süre koruyabilirler. Kısaca; sıcak daldırma yöntemiyle galvanizleme, çeliğin atmosfer, su ve toprak korozyonuna maruz kaldığı her yerde standart ve etkin bir koruma yöntemidir [3].

1.10. İlgili Literatürün Özeti ve Çalışmanın Amacı

Mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan düşük karbonlu yumuşak çelikler çalışma ortamlarının çoğunda kolayca korozyona uğrarlar. Bu tür çeliklerden imal edilen parçaların korozyon ortamındaki çalışma ömürlerini artırmak için, korozyon direnci çeliğe göre daha yüksek olan başka bir metal veya alaşım ile kaplanmaları gerekir.

Bu şekilde hem korozyona karşı iyi bir koruma sağlanır, hem de parçaya güzel bir görünüm kazandırılabilir.

Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamalar değişik korozyon ortamlarında üstün performans sergilediklerinden, diğer koruyucu metalik kaplamalardan daha çok tercih edilmektedirler. Bu kaplama yöntemiyle çelik üzerine, çoğunlukla ergime sıcaklığı düşük olan metaller kaplanmaktadır. Bu metaller içerisinde en çok çinko kullanılır. Son zamanlarda, çinko içerisine başka elementler katılarak daha üstün özelliklere sahip kaplamalar elde edilmeye çalışılmaktadır. Alüminyumun oldukça yüksek korozyon direncine, çinkonun ise çok iyi galvanik koruma özelliğine sahip olmaları nedeniyle çeliğin çinko-alüminyum alaşımları ile kaplanmasına ilişkin çalışmalar sıklaştırılmış bulunmaktadır.

Bütün kaplama işlemlerinde, kaplama yapılmadan önce, kaplanacak malzeme yüzeyinin çeşitli yöntem ve şekillerle temizlenmesi gerekir. Böylece, kaplama tabakasının ana malzemeye yapışmasını engelleyen yağ, kir ve oksit gibi yabancı maddeler yüzeyden uzaklaştırılarak gerekli yapışma sağlanabilir. Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplama işleminde izlenen aşamalar yağın temizlenmesi, asitle temizleme, flukslama, kaplama ve soğutma şeklinde sıralanabilir.

Sıcak daldırma yöntemiyle kaplama işleminde, kaplamanın özelliklerini ve kalitesini etkileyen faktörlerin başında kaplama banyosunun sıcaklığı, banyoya daldırma süresi ve kaplamadan sonraki soğutma hızı gelmektedir. Kaplanan parçaların kullanım ömrü büyük ölçüde kaplama malzemesine ve kaplamanın kalınlığına bağlıdır. Sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamaların kalınlığı ana metalin kimyasal bileşimi ve yüzey profilinden başka, daldırma süresi, banyo sıcaklığı ve banyodan çıkarma hızına da bağlıdır. Amaca uygun ve kaliteli bir kaplama yapabilmek için bu faktörlerin kaplama kalitesine etkisinin dikkate alınması gerekir.

Literatürde, sıcak daldırma yöntemiyle çinko kaplama konusunda önemli miktarda bilgi birikimi olmasına karşın, yapılan çalışmalarda daha çok kaplamaların korozyon davranışı üzerinde durulmuş ancak, işlem parametrelerinin kaplama kalınlığı ve kaplamaların kullanım ömrüne etkileri yeterince incelenmemiştir. Ayrıca, sıcak daldırma yöntemiyle kaplanan malzemelerin gerilmeli korozyon davranışı hakkında da herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu nedenle bu çalışmanın amacı, banyo sıcaklığı ve daldırma süresi gibi kaplama parametrelerinin saf Zn ile ZnAl5 ve ZnAl25 alaşımları ile yapılan kaplamaların kalınlığına ve kalitesine etkilerini incelemek ve ayrıca söz konusu kaplamaların düşük karbonlu çeliğin gerilmeli korozyon davranışına etkilerini belirlemektir.



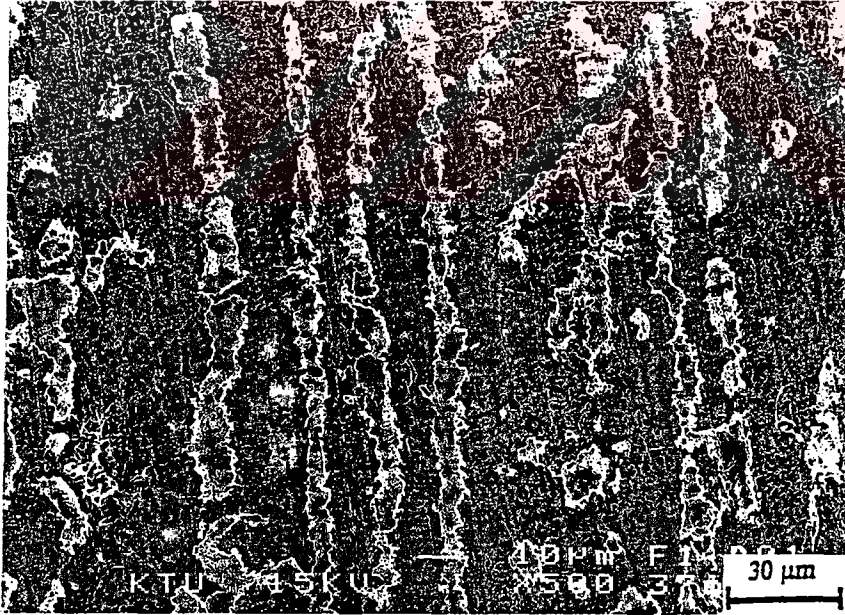
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Sıcak daldırma yöntemiyle kaplanacak parçalar, sıcak haddelenmiş TS Fe 37 standardına uygun düşük karbonlu çelik malzemeden (45x15x5) mm boyutlarında imal edildi. Söz konusu çelik malzemenin kimyasal bileşimi spektral analiz yöntemiyle belirlenerek Çizelge 3’te, iç yapısı ise Şekil 1’de verilmiştir.

Çizelge 3. Çelik malzemenin kimyasal bileşimi (% ağı.)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Fe
0.16	0.22	0.92	0.014	0.008	0.017	0.03	0.004	0.048	<98.52



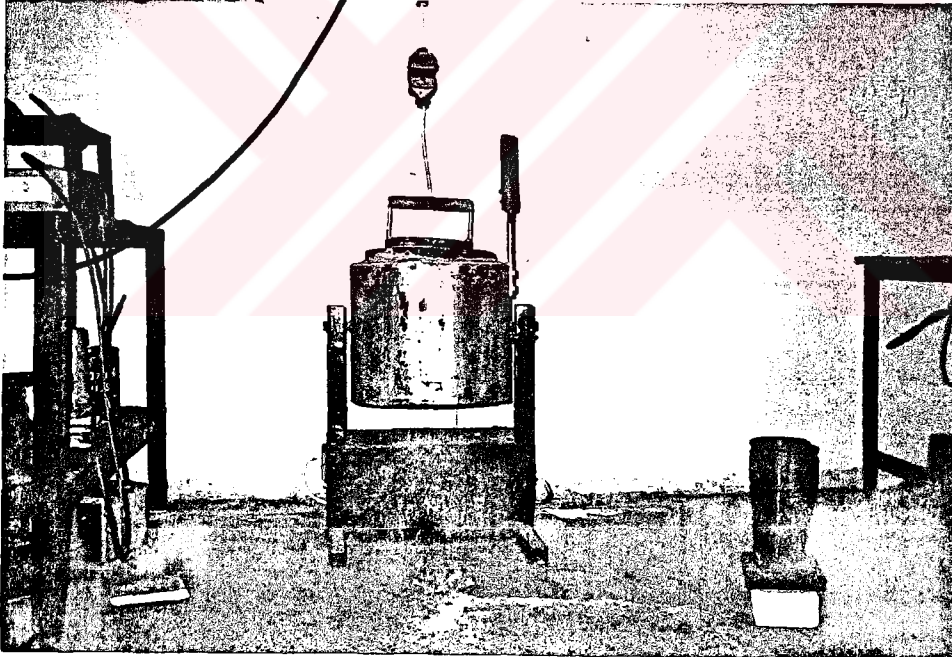
Şekil 1. Çelik malzemenin iç yapısı

Hazırlanan çelik parçalar hem saf Zn, hem de ZnAl15 (%95 Al - %5Zn) ve ZnAl25 (%75 Al - %25 Zn) alaşımları ile kaplandı. Kaplama banyosunu oluşturmak için %99.99

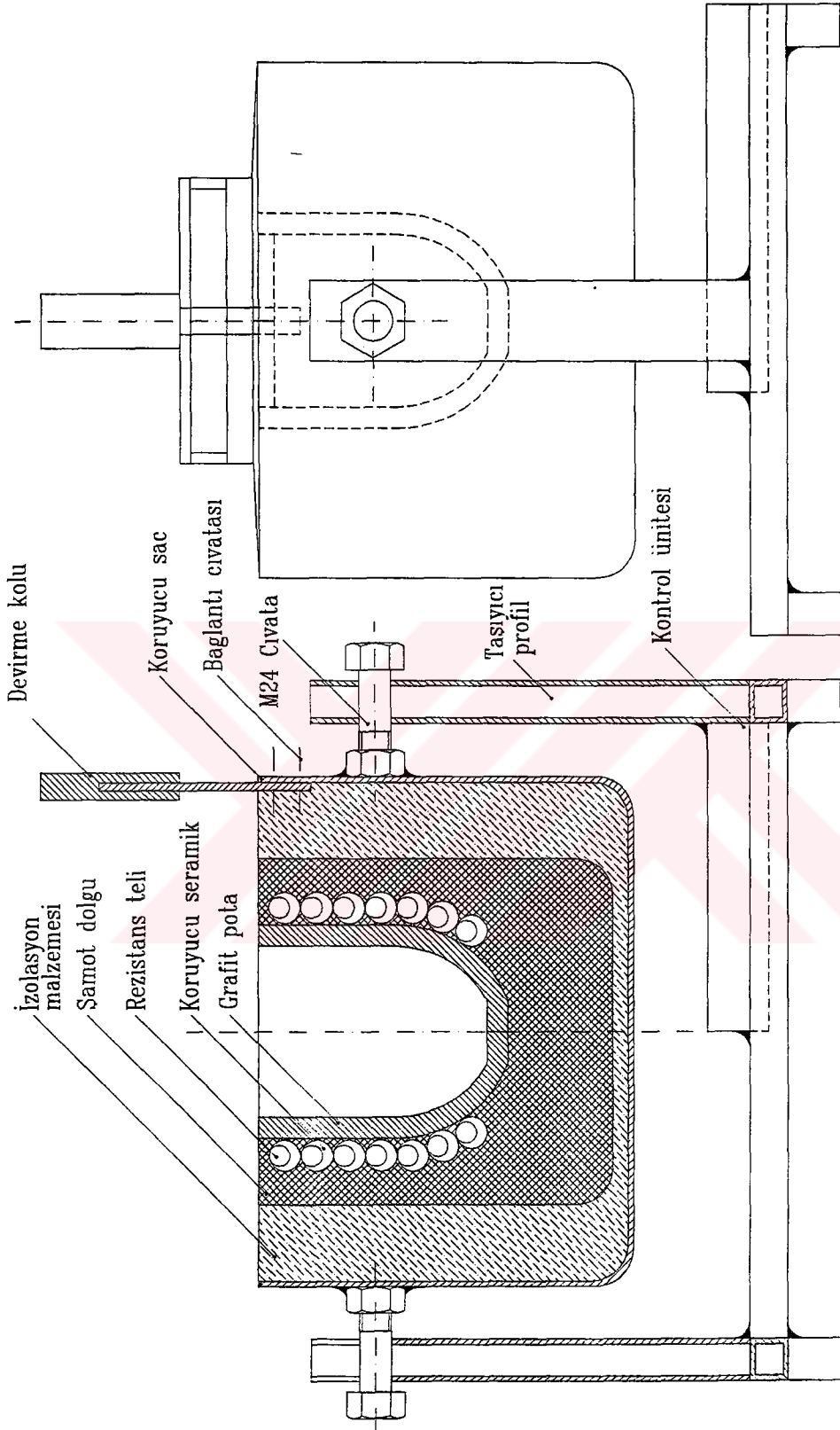
safılıkta çinko ve %99.70 safılıkta alüminyum kullanıldı.

2.2. Kaplama Deney Düzenegi

Sıcak daldırma yöntemiyle kaplama yapmak için, grafit pota, rezistans teli, şamot tozu, izolasyon malzemesi ve kontrol ünitesi gibi ana elemanlardan oluşan bir deney düzenegi kullanılmaktadır. Düzenege ait pota grafit malzemedan imal edilmiş olup, hacmi 2150 cm^3 ve $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki ısı iletim katsayısı $58 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ civarındadır. Direnç malzemesi olarak kullanılan rezistans teli (CrAl 25 5) %75 Fe, %25 Cr, %5 Al içermektedir. İzolasyon malzemesi olarak taş yünü kullanılmıştır. Ayrıca, kontrol ünitesi yardımıyla pota sıcaklığı sabit bir değerde tutulabilmektedir. Kaplama deney düzeneginin fotoğrafı Şekil 2’de, şematik resmi ise Şekil 3’te görülmektedir.



Şekil 2. Kaplama deney düzenegi



Şekil 3. Kaplama deney düzeneğinin şematik resmi

2.3. Yüzey Temizleme İşlemi

Kaplanacak parçaların üzerindeki yağın temizlenmesi için sıcak alkali temizleme çözeltisi, asitle temizleme işlemi için hidroklorik asit çözeltisi ve fluks malzemesi olarak da çinko klorür - amonyum klorür - damıtılmış su karışımı kullanıldı. 500 ml damıtılmış su içerisine yaklaşık 65 gr NaOH (sodyum hidroksit) katılarak alkali temizleme çözeltisi, aynı miktardaki damıtılmış su içerisine yaklaşık 85 ml HCl (hidroklorik asit) katılarak asitle temizleme çözeltisi ve yine aynı miktardaki damıtılmış su içerisine yaklaşık 500 gr $ZnCl_2$ (çinko klorür) ile 62.5 gr NH_4Cl (amonyum klorür) katılarak fluks çözeltisi hazırlandı. Tartımlar hassas bir terazide yapıldı. Uygun büyüklüklerdeki beherler içerisindeki bu çözeltilerle birlikte 500 ml civarındaki damıtılmış su, elektrikli bir ısıtıcı yardımıyla aşağıda verilen sıcaklıklara kadar ısıtıldı. Yağ temizleme işlemi yaklaşık 70-80 °C sıcaklıkta, asitle temizleme işlemi yaklaşık 65-75 °C sıcaklıkta ve flukslama işlemi yaklaşık 60-70 °C sıcaklıkta yapıldı. Damıtılmış su ise yaklaşık 50-60 °C sıcaklıkta tutuldu. Çözelti sıcaklıkları civalı bir termometre yardımıyla ölçüldü.

Boyutları 45x15x5 mm olan kaplama örnekleri, uç kısımlarına açılan 3 mm çapındaki deliklere geçirilen teller yardımıyla tutuldu. Numuneler önce alkali temizleme çözeltisine daldırıldı ve burada yaklaşık 60 s tutularak üzerlerindeki yağlar temizlendi. Numuneler bu çözeltilerden çıkarıldıktan sonra, damıtılmış sıcak su içerisine daldırılarak 30 s çalkalandı ve üzerlerindeki reaksiyon artıkları giderildi. Yağı temizlenen numuneler daha sonra asitle temizleme çözeltisine daldırıldı ve burada da yaklaşık 60 s kadar tutuldu. Bu süre sonunda asitli çözeltilerden çıkarılan numuneler tekrar damıtılmış sıcak su içerisine daldırılarak 30 s kadar çalkalandı ve son adımda oluşan reaksiyon artıkları da giderildi. Daha sonra numuneler fluks çözeltisine daldırıldı ve burada 80 s kadar tutularak yüzeylerinin fluks ile kaplanması sağlandı. Flukslanan numuneler fluks çözeltisinden çıkarıldıktan hemen sonra, kaplama banyosuna daldırma sırasında banyoda sıçrama olmaması için bir etüv içerisinde, yaklaşık 100-120 °C sıcaklıkta 4 dakika kadar bekletilerek fluks tabakası kurutuldu. Bu işlemlerin sonunda numuneler kaplamaya hazır hale getirildi. Yüzey temizleme işleminde izlenen adımlar kısaca Çizelge 4'te görülmektedir.

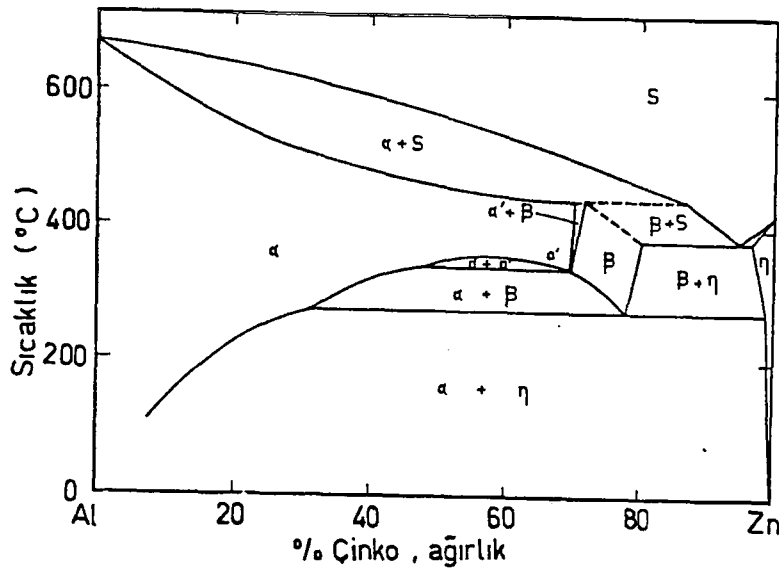
Çizelge 4. Yüzey temizleme işleminde izlenen adımlar

Adım	Kullanılan materyal	Çalışma sıcaklığı(°C)	Çalışma süresi (s)
Alkali temizleme	Sodyum hidroksit çözeltisi	70-80	60
Suda çalkalama	Damıtılmış su	50-60	30
Asitle temizleme	Hidroklorik asit çözeltisi	65-75	60
Suda çalkalama	Damıtılmış su	50-60	30
Flukslama	ZnCl ₂ -NH ₄ Cl çözeltisi	50-60	80
Kurutma	Etüv fırın	100-120	240

Yapılan kaplamaların hepsinde (Zn, ZnAl15 ve ZnAl25) aynı temizleme işlemleri uygulandı.

2.4. Sıcak Daldırma Yöntemiyle Kaplama

Bu çalışmada kaplama malzemesi olarak saf çinko ile ZnAl15 ötektik ve ZnAl25 ötektoid alaşımı kullanıldı. Söz konusu metal ve alaşımların Zn-Al denge diyagramındaki yeri Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. Çinko-alüminyum denge diyagramı

Kaplama deneyleri tamamlandıktan sonra, grafit pota içerisinde bulunan sıvı haldeki metal veya alaşım banyosu kokil kalıba dökülerek katılaştırıldı. Katılaştıran metal veya alaşımların kimyasal analizleri yaş analiz yöntemiyle yapıldı.

2.4.1. Çinko Kaplama

Sıcak daldırma yöntemiyle çinko kaplamak için gerekli banyo %99.99 saflıktaki çinkonun grafit pota içerisinde ergitilmesiyle oluşturuldu. Flukslandıktan sonra etüvde kurutulan numuneler, paslanmaz çelik telle tutularak belirli sıcaklıklardaki kaplama banyolarına belirli süreler daldırılarak kaplandı. Numuneler kaplama banyosuna daldırılmadan ve banyodan çıkarılmadan hemen önce, banyo yüzeyindeki cüruf tabakası uygun bir aletle temizlendi. Ayrıca, kaplanan parçalar banyodan mümkün olduğu kadar yavaş çıkarılarak, parçaların yüzeylerinden yeterli miktarda çinkonun homojen olarak akıtılması sağlandı.

Daldırma süresinin çinko kaplamaya etkisini belirlemek için sabit banyo sıcaklığında deneyler yapıldı. Banyo sıcaklığının çinko kaplamaya etkisini belirlemek için de deneyler sabit daldırma süresinde yapıldı. 450 °C olarak seçilen sabit banyo sıcaklığında yapılan çinko kaplama deneylerinde 6 adet numune kullanıldı ve bunlar 20 s, 40 s, 60 s, 120 s, 240 s ve 360 s'lik süreler kaplama işlemine tabi tutuldu. Sabit daldırma süresindeki deneylerde ise yine 6 adet numune kullanıldı ve bunlar 430 °C, 450 °C, 460 °C, 480 °C, 500 °C ve 550 °C'lik sıcaklıklarda ve birer dakikalık süre kaplama işlemine tabi tutuldu. Çinko banyosuna daldırılan numuneler havada soğutularak, kaplama tabakasının katılaşması sağlandı.

2.4.2. ZnAl5 Alaşımı Kaplama

Sıcak daldırma yöntemiyle ZnAl5 alaşımı kaplama deneylerinde kullanılan banyo, %99.99 saflıktaki çinko ile % 99.7 saflıktaki alüminyumun bir potada ergitilip karıştırılması ile hazırlandı. Kaplama işlemi, çinko kaplamada olduğu gibi yapıldı.

ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplama deneylerinin bazıları, sabit banyo sıcaklığında ve farklı daldırma sürelerinde; bazıları ise sabit daldırma süresi ve farklı banyo sıcaklıklarında gerçekleştirildi. 440 °C olarak seçilen sabit banyo sıcaklığındaki deneylerde, 6 adet numune 20 s, 40 s, 60 s, 120 s, 240 s ve 360 s'lik daldırma sürelerinde kaplama işleme tabi tutuldu. 1 dakikalık sabit daldırma süresindeki deneylerde ise yine 6 adet numune 400 °C, 410 °C, 420 °C, 440 °C, 480 °C ve 520 °C'lik sıcaklıklarda kaplandı. Kplama işleminde sonra numuneler havada soğutulurak kaplama tabakası katılaştırıldı.

2.4.3. ZnAl25 Alaşımı Kplama

Sıcak daldırma yöntemiyle ZnAl25 alaşımı kaplamak için gerekli banyo, % 99.99 saflıktaki çinko ile % 99.7 saflıktaki alüminyumun grafit pota içerisinde ergitilip karıştırılması ile hazırlandı. Kplamaya hazır hale getirilen numuneler, çinko kaplamadaki gibi kaplandı.

Daldırma süresinin ZnAl25 kaplamaya etkisini belirlemek için yapılan deneylerde, 560 °C sabit sıcaklıktaki banyoya 6 adet numune 20 s, 40 s, 60 s, 120 s, 240 s ve 360 s'lik sürelerde daldırılarak kaplama işleme gerçekleştirildi. Banyo sıcaklığının ZnAl25 kaplamaya etkisini belirlemek için yapılan deneylerde ise yine 6 adet numune 520 °C, 530 °C, 540 °C, 560 °C, 590 °C ve 630 °C'lik sıcaklıklarda ve 1 dakika'lık süre kaplama işleme tabi tutuldu. Kplama işleminde sonra numuneler havada soğutuldu.

2.5. Kplanan Numunelerin İncelenmesi

Kplama tabakasının ana malzemeye yapışma durumu, düzgünlüğü ve yapısı metalografi yöntemiyle incelendi.

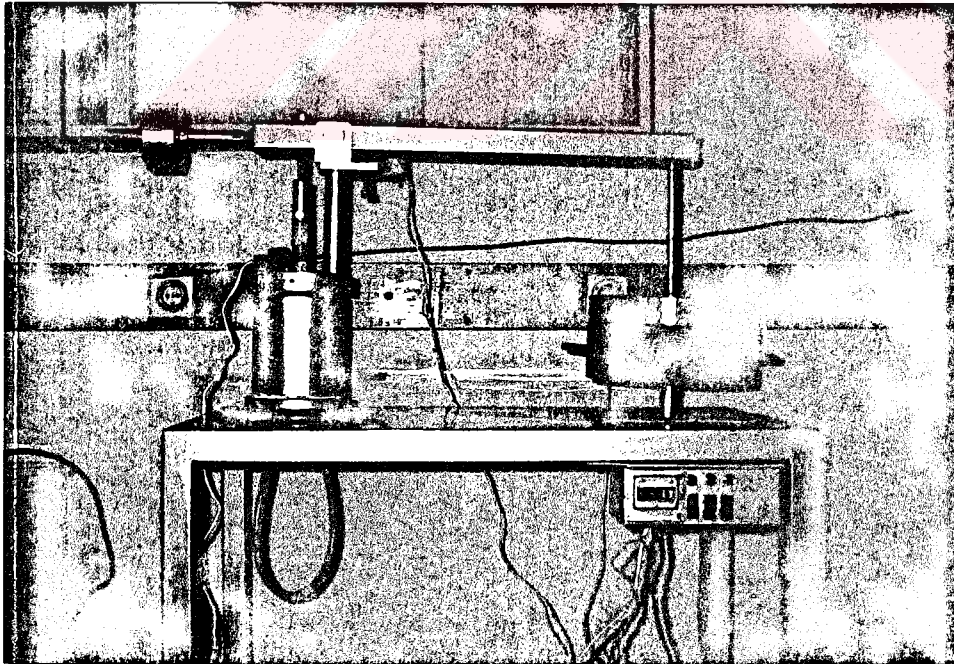
Kplanmış malzemelerden kesilen parçalar bakalite alındı. Standart metalografi yöntemleriyle hazırlanan örnekler % 2'lik nital (% 2 nitrik asit - alkol) içerisinde dağlandı. Hazırlanan örnekler önce ışık mikroskobunda, sonra da taramalı elektron mikroskobunda (SEM) incelendi. Örneklerin yapılarını gösteren fotoğraflar SEM'de çekildi.

2.6. Kaplama Kalınlığının Ölçümü

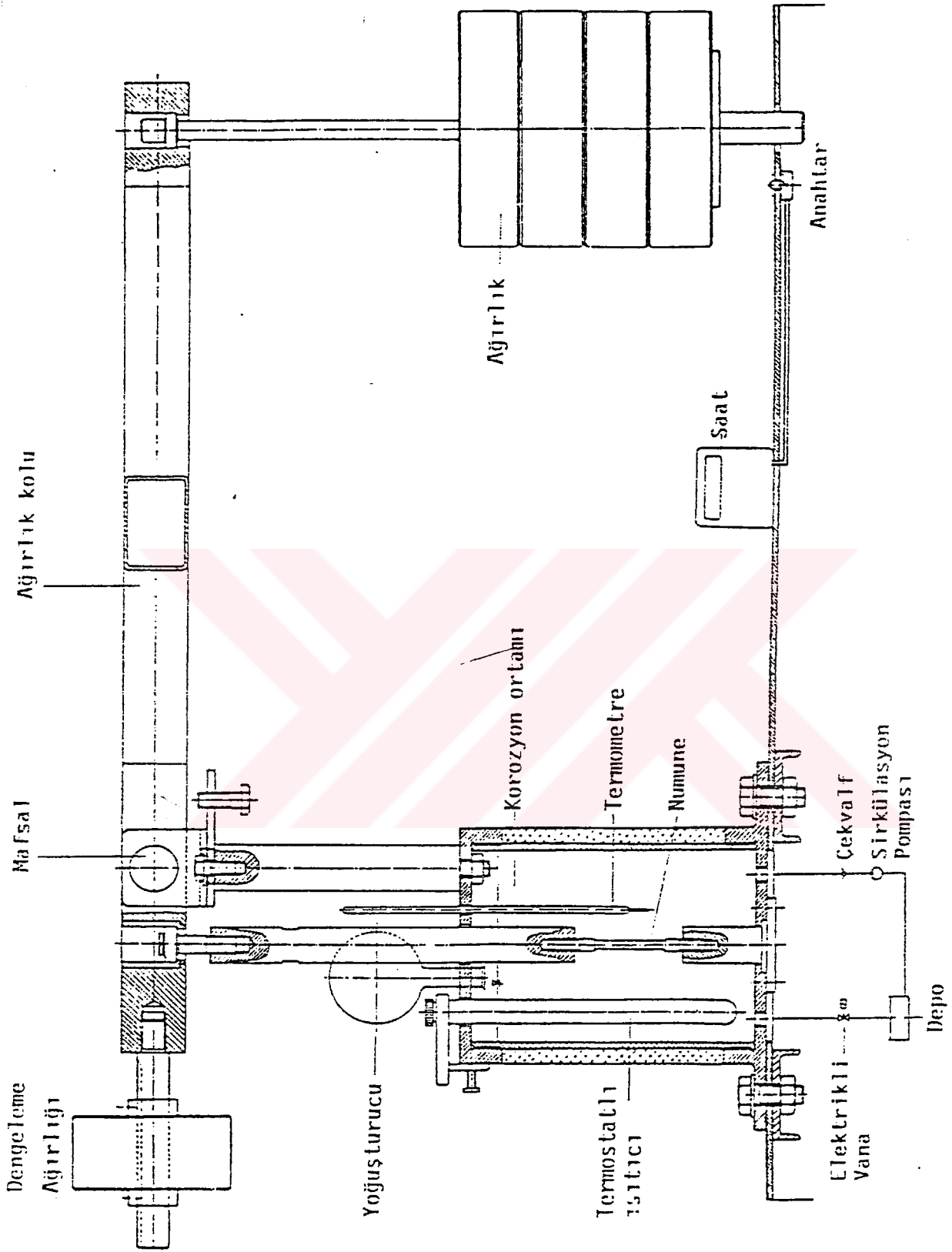
Sıcak daldırma yöntemiyle kaplanan numunelerin kaplama kalınlıklarını belirlemek için, numunelerin kaplamadan önceki ve sonraki kalınlıkları $\pm 1\mu\text{m}$ hassasiyetindeki bir mikrometre ile ölçüldü. Banyoya daldırma sırasında numunenin her iki tarafı da kaplandığından, mikrometreden okunan değer ikiye bölünerek kaplama kalınlığı hesaplandı. Ayrıca, SEM’de çekilen fotoğraflardan da yararlanarak kaplama kalınlıkları belirlendi ve her iki yöntemle ölçülen değerler karşılaştırıldı.

2.7. Gerilmeli Korozyon Deneyi

Gerilmeli korozyon deneyleri, sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamanın, düşük karbonlu çeliğin hem korozyon direncine ve hem de korozyon ortamındaki mukavemetine etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirildi. Söz konusu deney düzeneğinin fotoğrafı Şekil 5’te, şematik resmi ise Şekil 6’da verilmiştir.



Şekil 5. Gerilmeli korozyon deney düzeneğinin genel görünümü



Şekil 6. Gerilmeli korozyon deney düzeneğinin şematik resmi

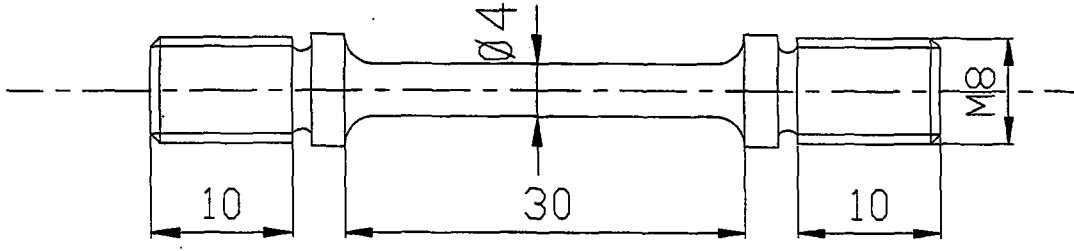
Gerilmeli korozyon deney düzeneğinde, malzemeye istenilen gerilmeyi uygulayabilmek için ağırlık kolu ve karşı ağırlıktan oluşan bir manivela sistemi kullanıldı. Yükleme sırasında numunede burulma ve eğilme gerilmesi oluşmaması için, numune ve ağırlıkların bağlantıları mafsallı olarak yapılmıştır. Düzenekte, numunenin belirlenen ortamda muhafaza edilmesini sağlayan silindirik bir kap, ortam sıcaklığını sabit tutan termostatlı bir ısıtıcı ve ortam sıcaklığını ölçmek için bir termometre kullanılmaktadır.

Silindirik kap içerisindeki çözeltinin sirkülasyonu, düzeneğin alt kısmında bulunan bir pompa ile sağlanmaktadır. Deney numunelerinin kırılma süreleri, deney düzeneğine yerleştirilen bir saat yardımıyla tespit edilmektedir. Deney numunesi kırıldıktan sonra, korozyon ortamının numuneye etki etmemesi için ortamı başka kaba aktaran bir vana sistemi kullanılmaktadır.

Gerilmeli korozyon deneyinde, kaplanmamış çelik ile çinko, ZnAl5 ve ZnAl25 alaşımı kaplanmış çelik numunelerin gerilmeli korozyon davranışları karşılaştırıldı. Söz konusu kaplamalar için seçilen deney koşulları Çizelge 5'te verilmiştir. Deneyler, 35 °C sıcaklıktaki % 4'lük nitrik asit çözeltisi içerisinde yapıldı. Deneylerde normalize edilmiş durumdaki TS Fe 37 standardına uygun düşük karbonlu çelik numuneler kullanıldı. Kullanılan numunelerin resmi Şekil 7'de verilmiştir.

Çizelge 5. Gerilmeli korozyon deneyinde kullanılan numunelerin kaplama koşulları

Kaplama Malzemesi	Banyo sıcaklığı (°C)	Daldırma süresi (s)
Zn	450	30
ZnAl5	420	30
ZnAl25	530	30



Şekil 7. Gerilmeli korozyon deney numunesi



3. BULGULAR

3.1. Kaplama Banyolarının Kimyasal Analiz Sonuçları

Yapılan analizler sonucunda kaplama banyolarının kimyasal bileşimlerinin Çizelge 6'daki gibi olduğu görüldü.

Çizelge 6. Kaplama banyolarının kimyasal analizleri

Metal veya Alaşım	Kimyasal Bileşim (% ağırlık)	
	Zn	Al
Zn	100	–
ZnAl5	95	5
ZnAl25	75	25

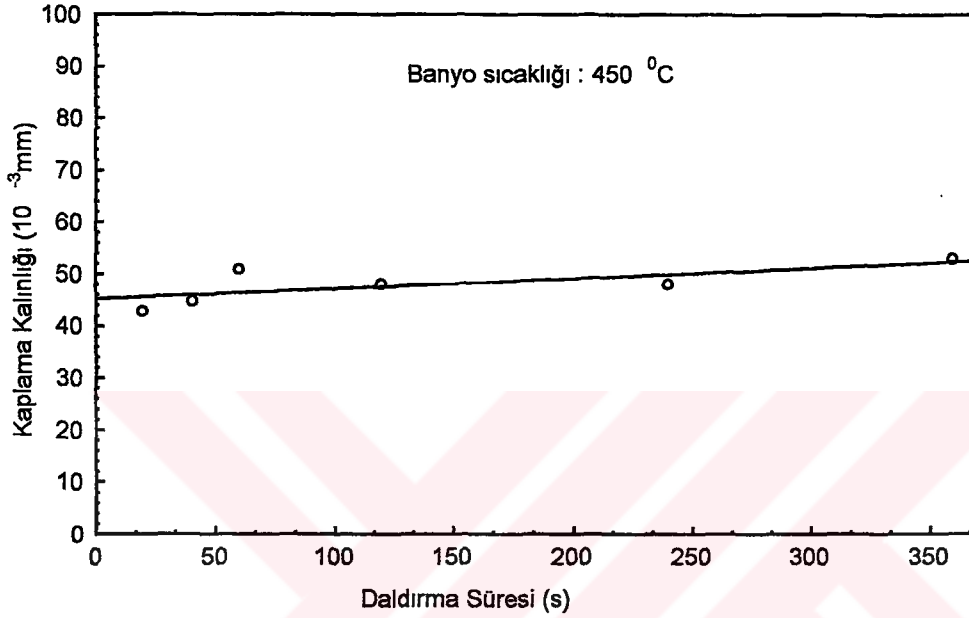
3.2. Çinko Kaplama ile İlgili Bulgular

3.2.1. Daldırma Süresinin Çinko Kaplamaya Etkisi

450 °C sıcaklıkta ve değişik daldırma sürelerinde yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri Çizelge 7'de verilmiştir. Çinko kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi ise Şekil 8'de görülmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi, 20 s ile 360 s arasındaki daldırma sürelerinde yapılan kaplamalarda, daldırma süresi arttıkça kaplama kalınlığı da çok az miktarda artmaktadır.

Çizelge 7. 450 °C'lik banyo sıcaklığında değişik daldırma sürelerinde çinko ile yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri

Daldırma süresi (s)	20	40	60	120	240	360
Kaplama kalınlığı (μm)	43	45	51	48	48	53

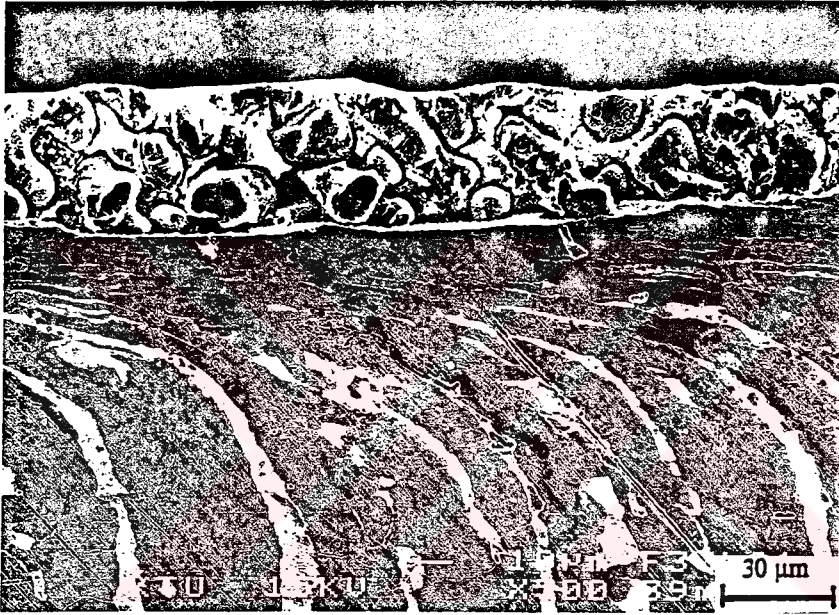


Şekil 8. Çinko kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi

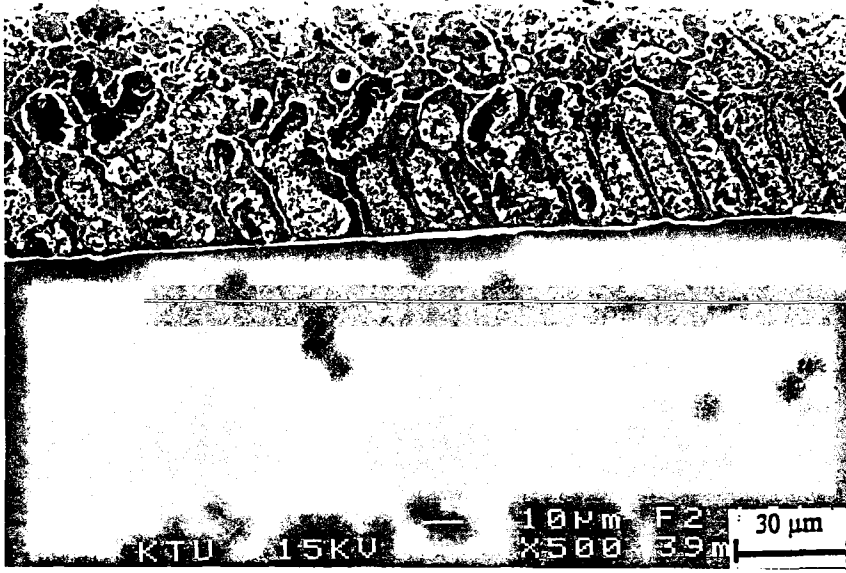
Değişik daldırma sürelerinde yapılan kaplamalarda, hemen hemen aynı görünüme sahip kaplama yüzeyleri elde edildi. Örneklerin bütün kenarlarında düzgün ve parlak bir kaplama oluşmakla birlikte, kaplama banyosundan en son çıkartılan alt kısımlarında kaba birikintilerin meydana geldiği görüldü. Ayrıca, kaplamalar mikroskop altında incelendikten sonra, kaplama tabakasının yapısının oldukça karmaşık olduğu ve daldırma süresindeki değişimlerin kaplama tabakasının yapısını etkilediği belirlendi. Bu durum, 20 s ve 360 s'lik daldırma sürelerinde yapılan kaplamaların, sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da verilen fotoğraflarında görülmektedir.

Daldırma süresinin kaplama ara yüzeyini belirgin bir şekilde etkilemediği ve kaplama tabakasının ana malzemeye iyi yapıştığı görüldü. Aynı kaplama koşullarında, 20 s ve 360 s'lik daldırma sürelerinde çinko kaplanan numunelerin ara yüzeyleri, sırasıyla Şekil 9 ve Şekil 10'da görülmektedir. Söz konusu kesitlerin üst kısımları çinko

kaplama tabakasını, alt kısımları ise üzerine kaplama yapılan çelik malzemeyi göstermektedir. Sıvı haldeki kaplama banyosunun ana malzemeye daha iyi tutunmasını sağlamak amacıyla çelik malzemenin yüzeyi kaplama işleminden önce taşlanmadığından ara yüzey çizgisi zigzaglı veya pürüzlü görünmektedir. Çinko kaplama tabakası ile çelik malzeme arasında boşluk ve ayrılma olmaması, her iki durumda da iyi bir yapışmanın sağlandığını ve kaplamanın kaliteli olduğunu göstermektedir.



Şekil 9. 20 s'lik daldırma süresinde çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi



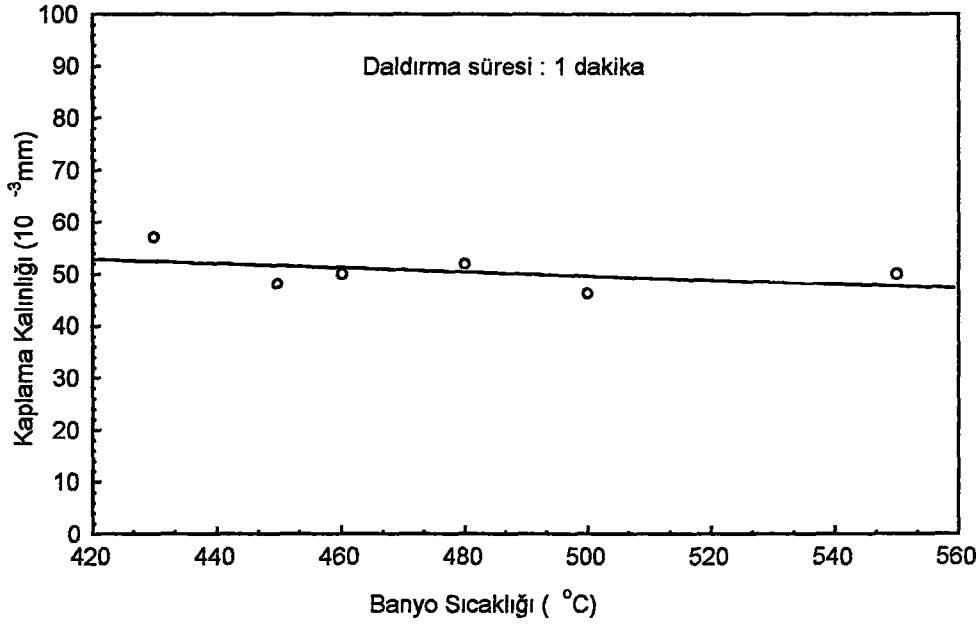
Şekil 10. 360 s'lik daldırma süresinde çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi

3.2.2. Banyo Sıcaklığının Çinko Kaplamaya Etkisi

Değişik sıcaklıklardaki çinko banyolarına bir (1) dakikalık süre daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlıkları Çizelge 8'de verilmiştir. Çinko kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi ise Şekil 11'de görülmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, belirtilen sıcaklıklardaki banyolarda yapılan kaplamalarda, banyo sıcaklığı arttıkça kaplama kalınlığı çok az miktarda azalmaktadır.

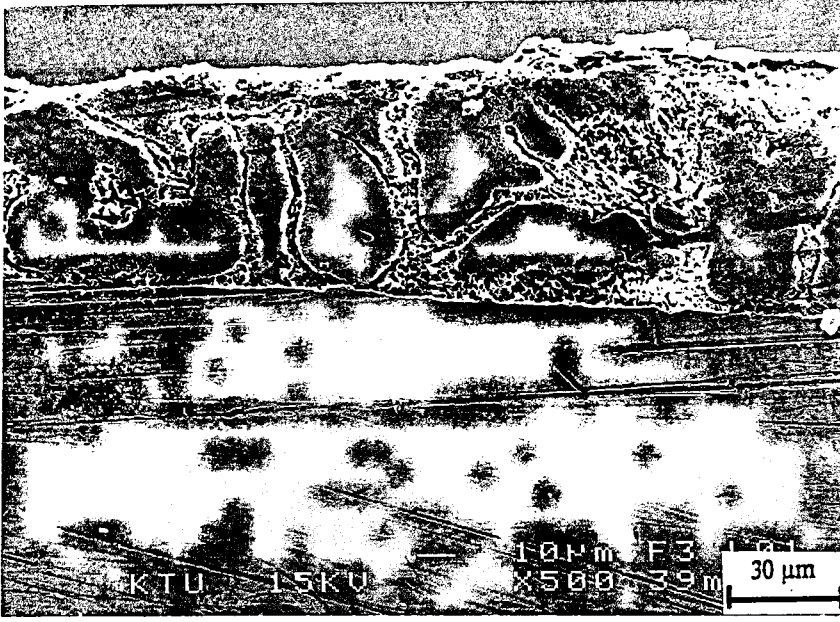
Çizelge 8. Değişik sıcaklıklardaki çinko banyosuna bir dakikalık süre daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri

Banyo sıcaklığı (°C)	430	450	460	480	500	550
Kaplama kalınlığı (µm)	57	48	50	52	46	50

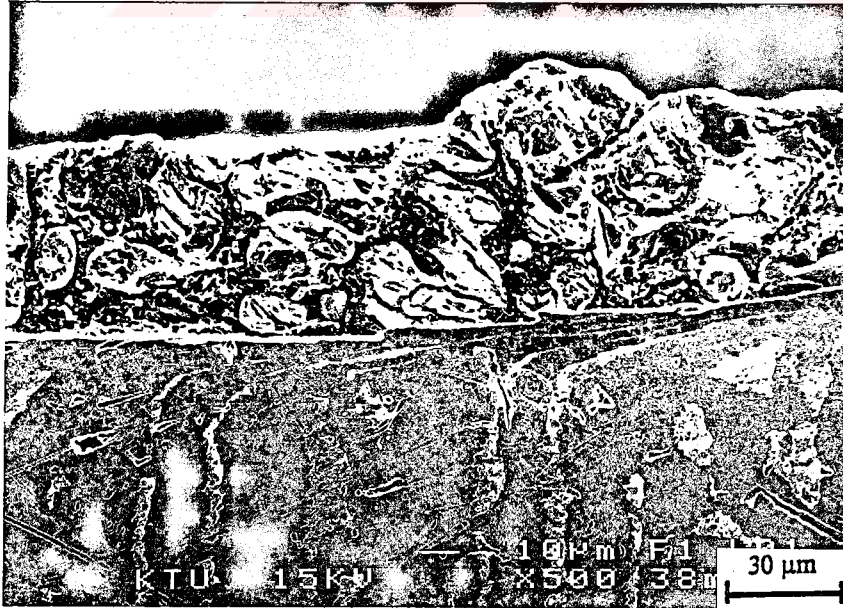


Şekil 11. Çinko kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi

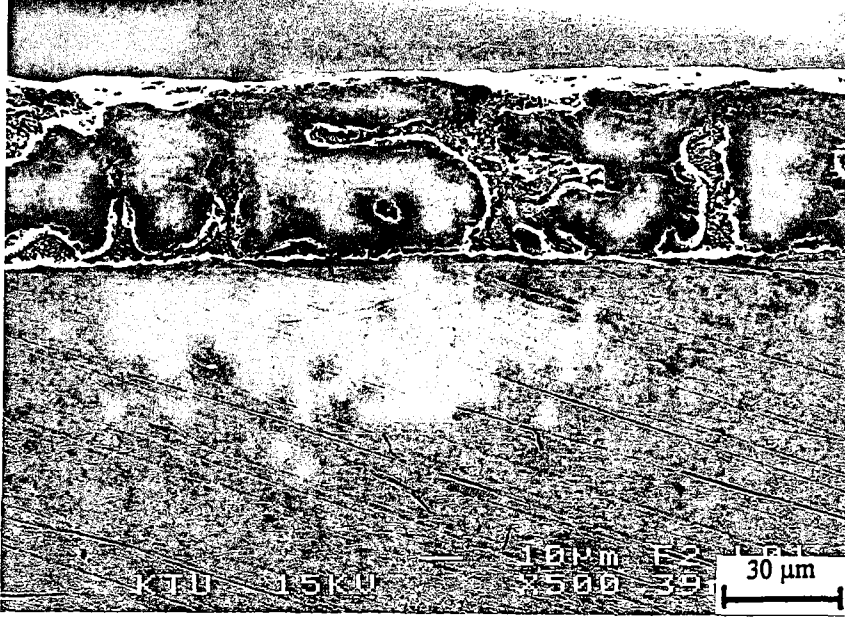
Seçilen banyo sıcaklıklarında yapılan kaplamalarda, hemen hemen aynı görünüme sahip kaplama yüzeyleri elde edilmekle birlikte, 550 °C sıcaklıktaki kaplamanın diğerlerine göre daha mat olduğu görüldü. Numunelerin kaplama banyosundan en son çıkartılan alt kısımlarında kaba birikintilerin meydana geldiği görüldü. Mikroskobik incelemeler sonucunda, kaplama tabakasının oldukça karmaşık bir yapıya sahip olduğu ve banyo sıcaklığındaki değişimlerin kaplama tabakasının yapısını önemli ölçüde etkilediği belirlendi. Bu durum; 430 °C, 460 °C ve 550 °C sıcaklıklardaki banyolarda çinko kaplanan numunelerin, sırasıyla Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te verilen fotoğraflarındaki görünümünden belli olmaktadır.



Şekil 12. 430 °C sıcaklıkta çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi



Şekil 13. 460 °C sıcaklıkta çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi



Şekil 14. 550 °C sıcaklıkta çinko kaplanan numunenin ara yüzeyi

Seçilen değerler arasındaki banyo sıcaklıklarında yapılan kaplamalarda, malzeme yüzeyi ile kaplama tabakası arasında herhangi bir boşluk veya ayrılma olmadığı ve kaplama tabakasının yüzeye iyi yapıştığı gözlemlendi. Bu durum; Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'te verilen fotoğraflarda da görülmektedir.

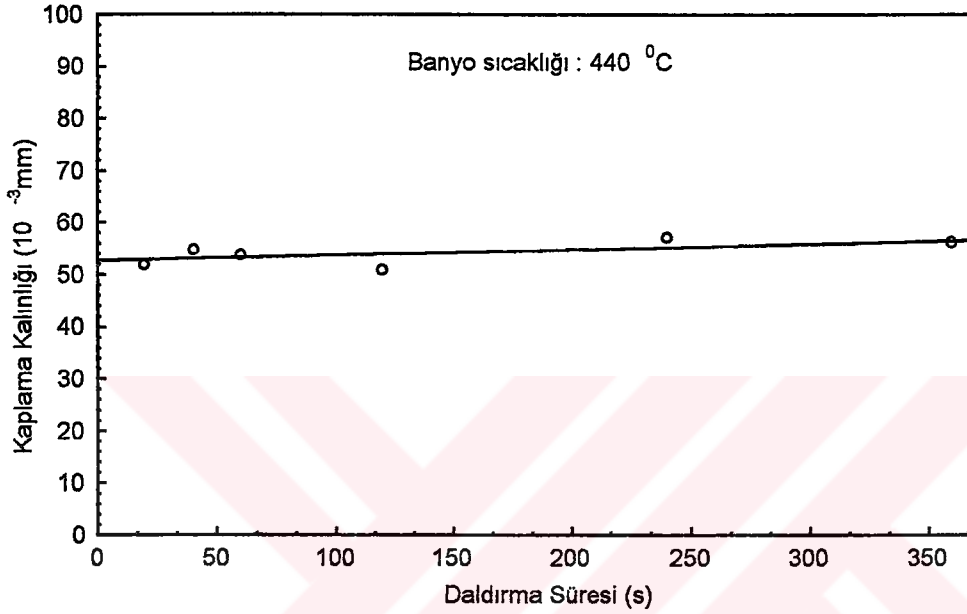
3.3. ZnAl5 Alaşımı ile Yapılan Kaplama ile İlgili Bulgular

3.3.1. Daldırma Süresinin ZnAl5 Alaşımı ile Yapılan Kaplamaya Etkisi

Değişik daldırma sürelerinde elde edilen kaplama kalınlıkları Çizelge 9'da verilmiştir. ZnAl5 alaşımı kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi ise Şekil 15'te görülmektedir. Şekil 15'te görüldüğü gibi, daldırma süresi arttıkça kaplama kalınlığı az da olsa artmaktadır.

Çizelge 9. 440 °C'lik banyo sıcaklığında değişik daldırma sürelerinde ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri

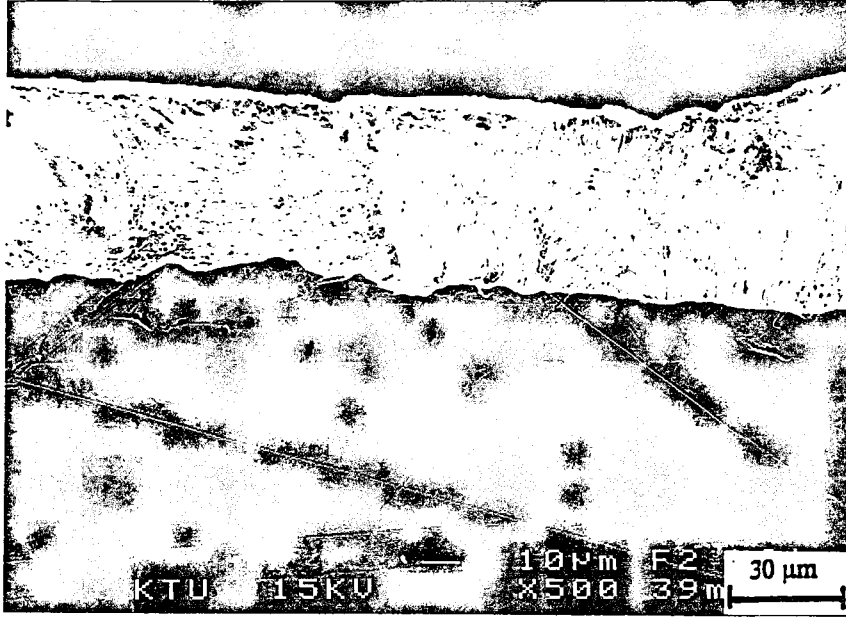
Daldırma süresi (s)	20	40	60	120	240	360
Kaplama kalınlığı (μm)	52	55	54	51	57	56



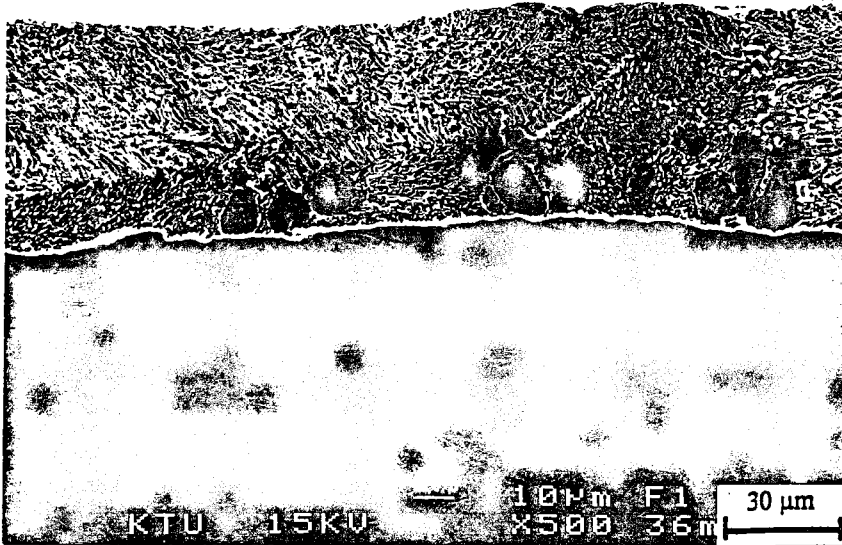
Şekil 15. ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi

Seçilen değerler arasındaki daldırma sürelerinde yapılan kaplamalarda hemen hemen aynı görünüme sahip kaplama yüzeyleri elde edildi. Numunelerin kenarlarında parlak ve düzgün görünümlü kaplamalar oluştu. Kaplamalar mikroskop altında incelendiğinde, ötektik bileşime sahip ZnAl5 alaşımıyla yapılan kaplamaların da ötektik karışımı andıran ince taneli bir yapıya sahip olduğu belirlendi. Bu durum, 20 s ve 360 s'lik daldırma sürelerinde yapılan kaplamaların, sırasıyla Şekil 16 ve Şekil 17'de verilen yapısal fotoğraflarından açıkça görülmektedir.

Değişik daldırma sürelerinde ZnAl5 alaşımı ile yapılan bütün kaplamalarda, kaplama malzemesi ile çelik malzeme arasında herhangi bir boşluğa veya ayrılmaya rastlanılmadı. Şekil 16 ve Şekil 17'deki fotoğraflar söz konusu kaplamanın yapılaşma durumunu göstermektedir.



Şekil 16. 20 s'lik daldırma süresinde ZnAl5 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi



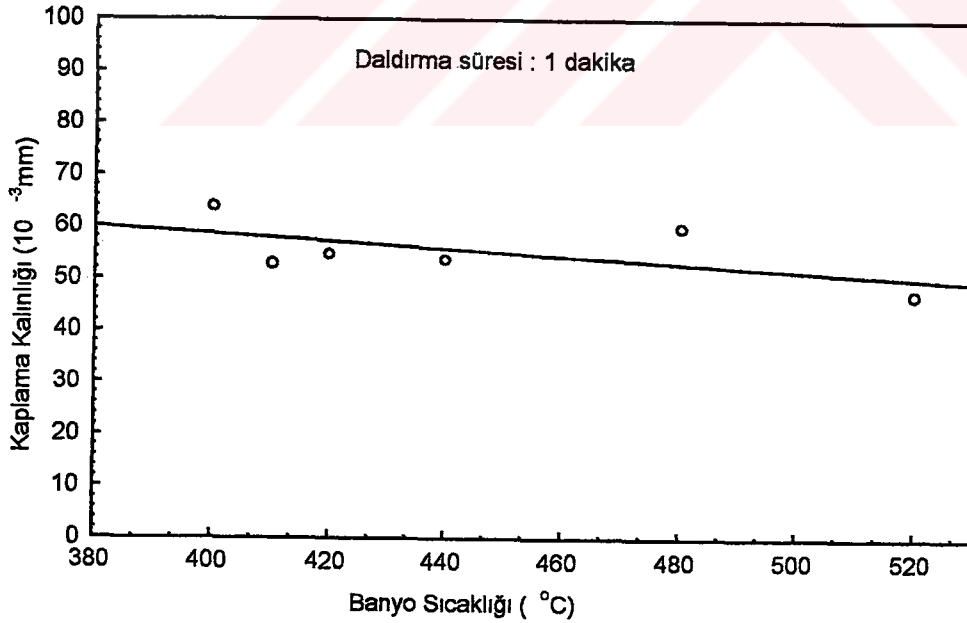
Şekil 17. 360 s'lik daldırma süresinde ZnAl5 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi

3.3.2. Banyo Sıcaklığının ZnAl5 Alaşımı ile Yapılan Kaplamaya Etkisi

Banyo sıcaklığının ZnAl5 kaplamaya etkisini belirlemek için değişik sıcaklıklardaki ZnAl5 banyolarına 1'er dakika süre ile daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri Çizelge 10'da verilmiştir. ZnAl5 kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi ise Şekil 18'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, belirtilen sıcaklıklardaki banyolarda yapılan kaplamalarda, daldırma sıcaklığı arttıkça kaplama kalınlığı az miktarda da olsa azalmaktadır.

Çizelge 10. Değişik sıcaklıklardaki ZnAl5 banyosuna bir dakikalık süre daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri

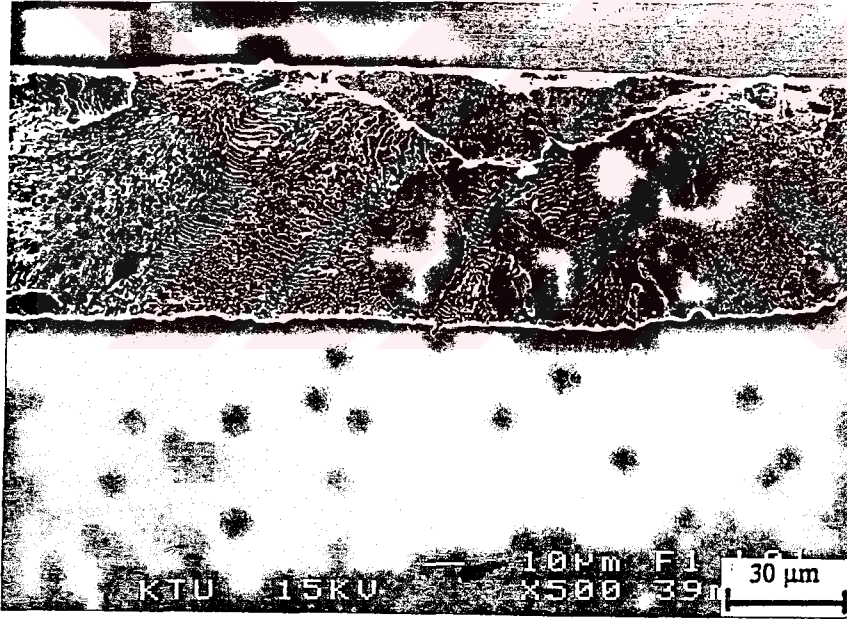
Banyo sıcaklığı (°C)	400	410	420	440	480	520
Kaplama kalınlığı (µm)	64	53	55	54	60	47



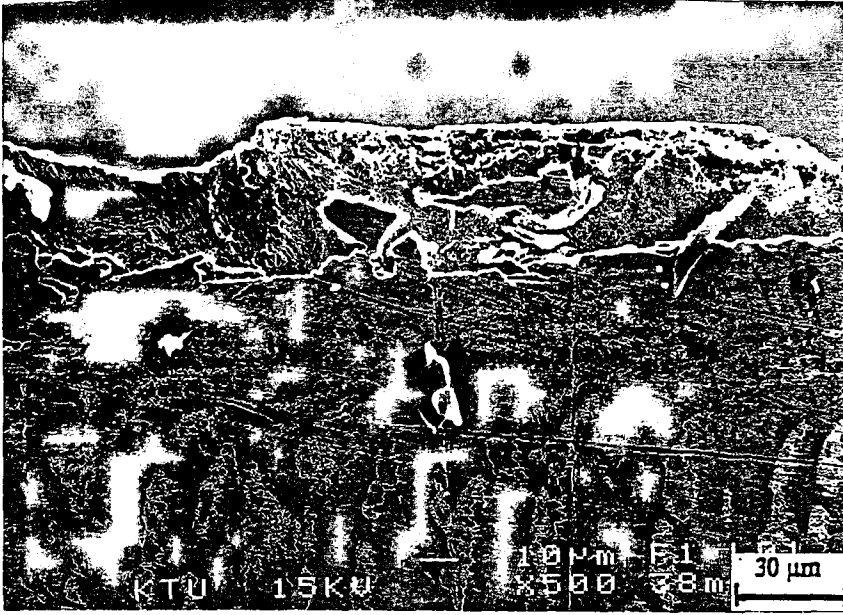
Şekil 18. ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi

Değişik koşullarda ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda, kaplama yüzeylerinin hemen hemen aynı görünüme sahip oldukları görüldü. Ancak 520 °C sıcaklıkta yapılan kaplamada elde edilen yüzeyin diğerlerine göre biraz daha mat olduğu görüldü. Kaplamaların arakesitleri mikroskop altında incelendiğinde, kaplama tabakasının çoğunlukla ötektik karışımı andıran bir görünüme sahip olduğu gözlemlendi. 400 °C sıcaklıktaki banyoda ZnAl5 alaşımı ile kaplanan bir numunenin Şekil 19'daki fotoğrafında bu durum açıkça görülmektedir.

Yapılan incelemelerde, malzeme yüzeyi ile kaplama tabakası arasında herhangi bir boşluğa veya ayrılmaya rastlanmadı. Ancak, 520 °C sıcaklıkta yapılan kaplamada malzeme yüzeyi ile kaplama tabakası arasında boşluklar oluştuğu ve bazı yerlerde kaplamanın yüzeyden ayrıldığı gözlemlendi. Bu durum Şekil 20'de görülmektedir.



Şekil 19. 400 °C sıcaklıkta ZnAl5 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi



Şekil 20. 520 °C sıcaklıkta ZnAl15 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi

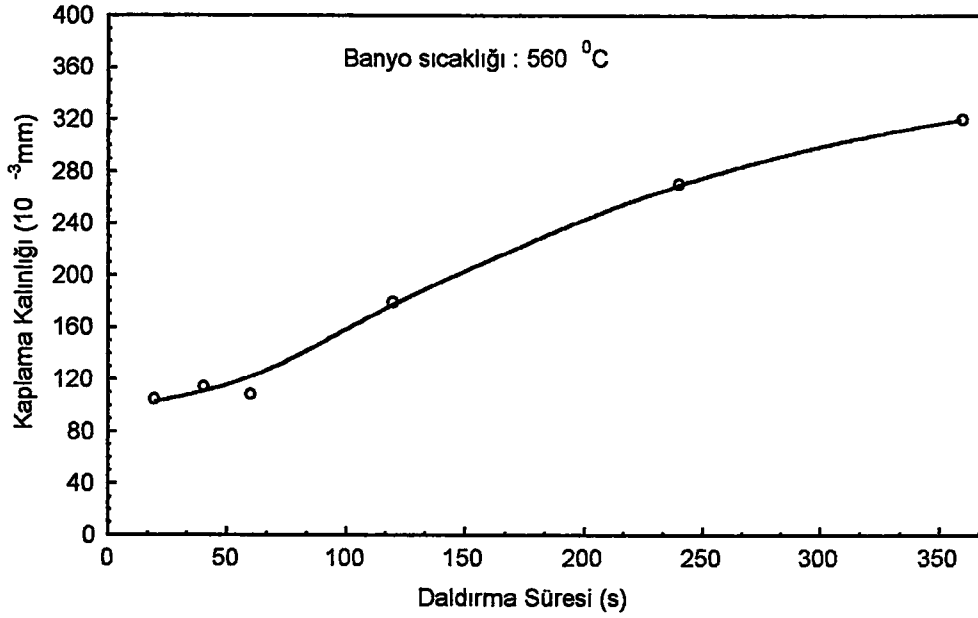
3.4. ZnAl25 Alaşımı ile Yapılan Kaplama ile İlgili Bulgular

3.4.1. Daldırma Süresinin ZnAl25 Alaşımı ile Yapılan Kaplamaya Etkisi

560 °C sıcaklıktaki ZnAl25 banyosuna değişik sürelerde daldırılarak yapılan kaplama işlemlerinde elde edilen kaplama kalınlığı değerleri Çizelge 11’de verilmiştir. Kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi ise Şekil 21’de verilmiştir. Söz konusu şekilde 60 s’ye kadar olan daldırma sürelerinde kaplama kalınlığının pek değişmediği, daha uzun daldırma sürelerinde ise biraz arttığı gözlenmektedir.

Çizelge 11. 560 °C’lik banyo sıcaklığında değişik daldırma sürelerinde ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri

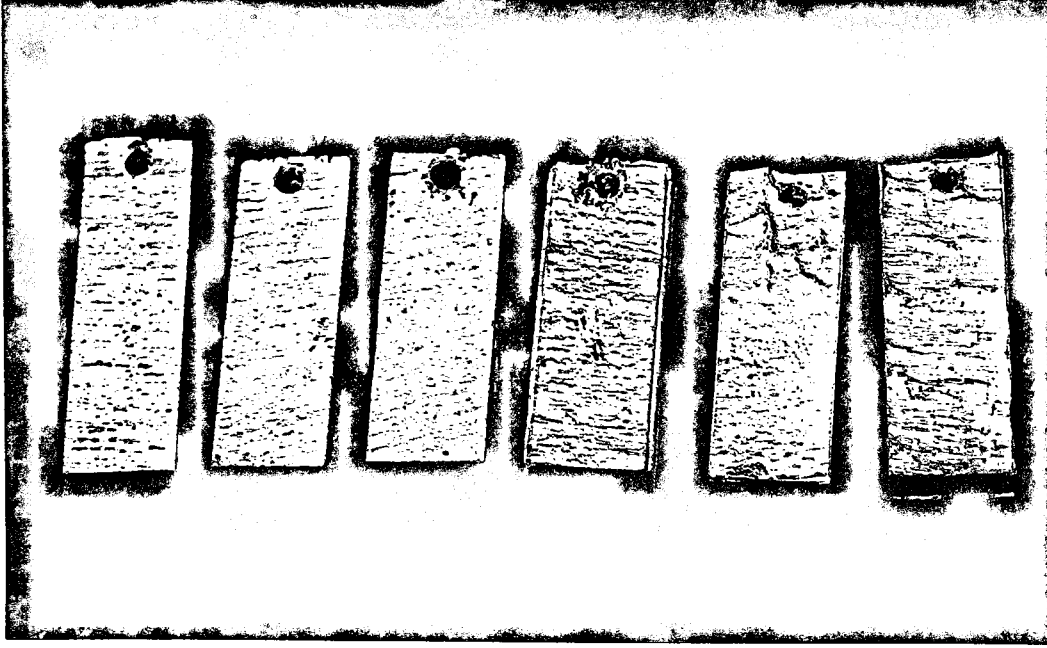
Daldırma süresi (s)	20	40	60	120	240	360
Kaplama kalınlığı (μm)	105	115	108	180	270	320



Şekil 21. ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının daldırma süresine göre değişimi

60 s'den daha kısa daldırma sürelerinde yapılan kaplamalarda genellikle düzgün kaplama yüzeyleri elde edildi. Ancak, 60 s'den daha uzun sürelerde yapılan kaplamaların düzgün olmadığı ve yüzeylerinin pürüzlü olduğu gözlemlendi. Söz konusu durum Şekil 22'de görülmektedir.

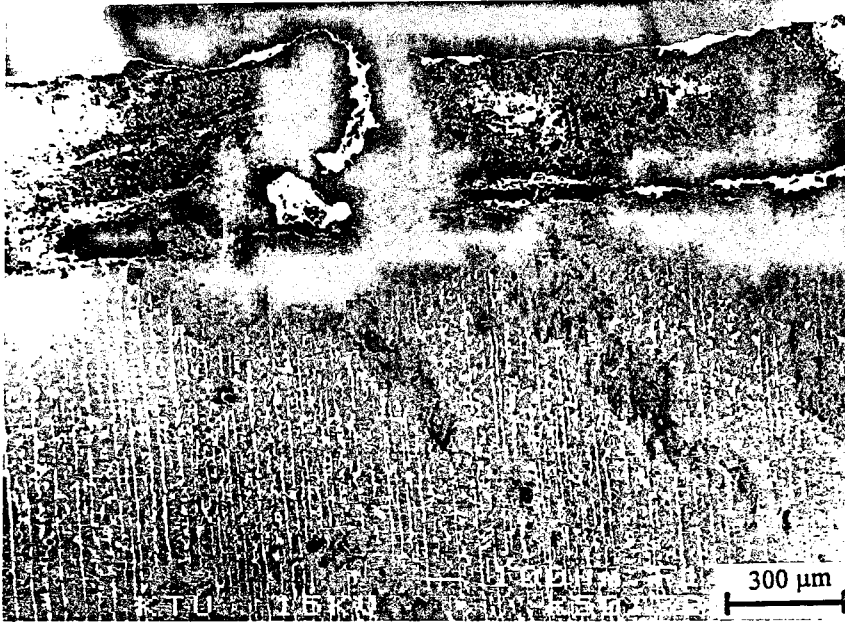
Yapılan kaplamalar mikroskop altında incelendiğinde, kaplama tabakalarının oldukça karmaşık bir yapıya sahip oldukları görüldü. Ayrıca, kısa daldırma sürelerinde yapılan kaplamaların malzeme yüzeyine iyi yapıştığı, ancak uzun daldırma sürelerinde yapılan kaplamaların malzeme yüzeyine iyi yapışmadığı belirlendi. Bu durum, 560 °C sıcaklıkta 20 s ve 360 s'lik daldırma sürelerinde ZnAl25 alaşımı kaplanan numunelerin Şekil 23 ve Şekil 24'te verilen fotoğraflarında açıkça görülmektedir.



Şekil 22. Farklı daldırma sürelerinde ZnAl₂₅ alaşımı kaplanan örneklerin fotoğrafı



Şekil 23. 20 s'lik daldırma süresinde ZnAl₂₅ alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi



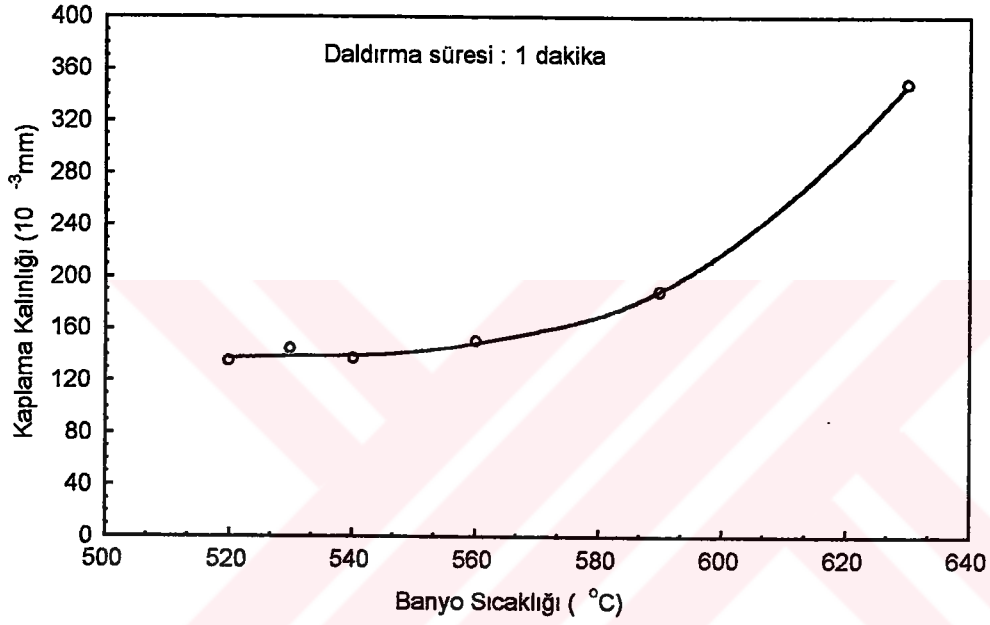
Şekil 24. 360 s'lik daldırma süresinde ZnAl25 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi

3.4.2. Banyo Sıcaklığının ZnAl25 Alaşımı ile Yapılan Kaplamaya Etkisi

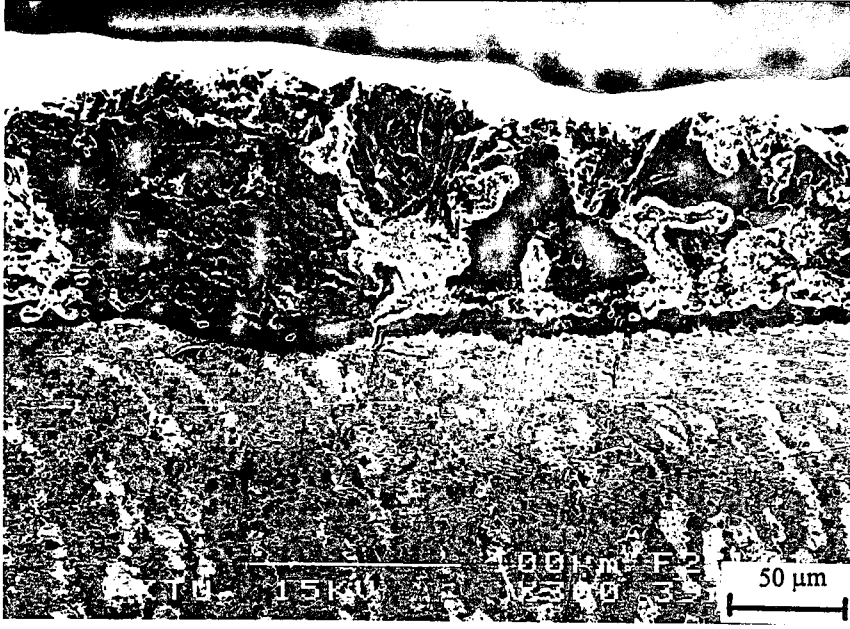
Değişik sıcaklıklarda ZnAl25 alaşımı ile kaplanan numunelerde elde edilen kaplama kalınlığı değerleri Çizelge 12'de, kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi ise Şekil 25'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, 560 °C'ye kadar olan kaplamalarda kaplama kalınlığı banyo sıcaklığından pek etkilenmemektedir. Ancak, daha yüksek sıcaklıklarda yapılan kaplamalarda hem kaplama kalınlığının arttığı, hem kaplama tabakası içerisinde gözenekler oluştuğu ve hem de kaplama tabakasının malzeme yüzeyine iyi yapışmadığı gözlemlendi. 540 °C ve 630 °C banyo sıcaklıklarında ZnAl25 alaşımı kaplanan numunelere ait arakesitlerin Şekil 26 ve Şekil 27'de verilen fotoğraflarında bu durum açıkça görülmektedir. Ayrıca, Şekil 26 ve Şekil 27'de görüldüğü gibi, kaplama tabakası oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir.

Çizelge 12. Değişik sıcaklıklarındaki ZnAl25 banyosuna bir dakikalık süre daldırılarak yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı değerleri

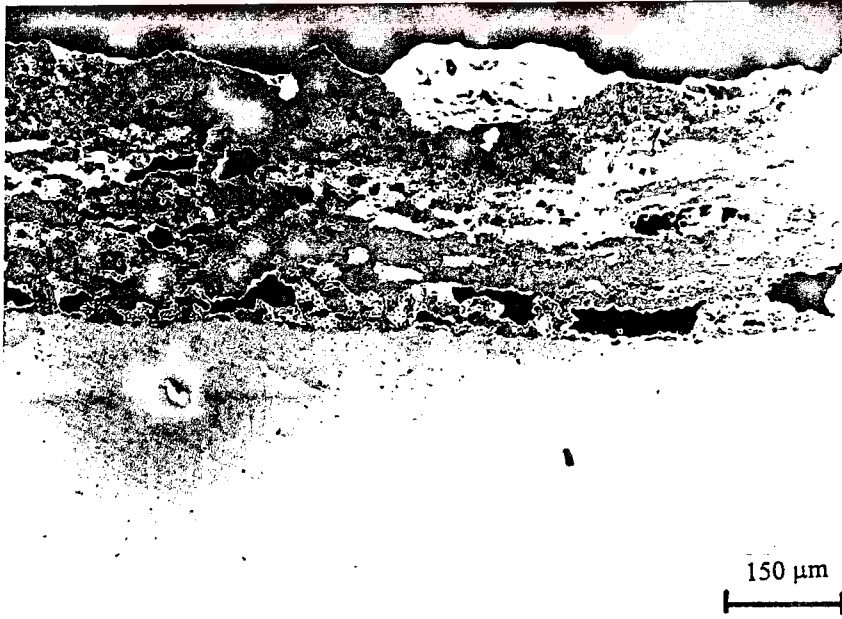
Banyo sıcaklığı (°C)	520	530	540	560	590	630
Kaplama kalınlığı (µm)	135	145	138	150	188	348



Şekil 25. ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplama kalınlığının banyo sıcaklığına göre değişimi



Şekil 26. 540 °C sıcaklıkta ZnAl25 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi



Şekil 27. 630 °C sıcaklıkta ZnAl25 alaşımı kaplanan numunenin ara yüzeyi

3.5. Gerilmeli Korozyon Deneyinden Elde Edilen Bulgular

Gerilmeli korozyon deneyinden elde edilen bulgular Çizelge 13'te verilmiştir. Bu çizelge'de görüldüğü gibi, sıcak daldırma yöntemiyle kaplanan çelik numunelerin kırılma süreleri, kaplanmamış çelik numunenin kırılma süresinden daha uzundur. Ayrıca kaplanmış durumdaki numuneler içerisinde en uzun kırılma süresi ZnAl5 alaşımı kaplanmış çelikten ve en kısa kırılma süresi ise saf Zn kaplanmış çelikten elde edildi.

Çizelge 13. Gerilmeli korozyon deneyinde elde edilen bulgular

Numune	Gerilme (MPa)	Kırılma Süresi (Dakika)
Kaplanmamış çelik	350	276
Saf Zn kaplanmış çelik	350	348
ZnAl5 kaplanmış çelik	350	438
ZnAl25 kaplanmış çelik	350	387

4. İRDELEME

Bu çalışmada, daldırma süresi arttıkça saf çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda kaplama kalınlığının çok az miktarda arttığı; ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamada ise kaplama kalınlığının 60 s'lik daldırma süresinden sonra artmaya başladığı gözlemlendi. Sıcak daldırma yöntemindeki kaplama kaplama ana metal ile sıvı banyo atomlarının karşılıklı difüzyonu ile gerçekleştiğinden, daldırma süresi arttıkça yayılan madde miktarı ve dolayısıyla kaplama kalınlığı artar [4]. Kaplama kalınlığındaki artışın çok az olması, çelik parçanın sıvı banyo ile temas ettiği ilk bir kaç saniyelik süre içinde yüzeyinde intermetalik bileşiğin oluşmasından kaynaklanır [2]. Oluşan bu tabaka, sıvı metal veya alaşımın çeliğe doğru difüzyonunu kısıtlayarak kaplama kalınlığındaki artışın çok az olmasına neden olur ve kaplama kalınlığının büyük bir bölümü parçanın banyodan çıkarılması sırasında üzerine sıvı metalin katılması sonucunda elde edilir [2].

Çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda, banyo sıcaklığı arttıkça kaplama kalınlığının çok az miktarda azaldığı görüldü. Bu durum, sıcaklık arttıkça sıvı banyonun viskozitesinin azalmasından ve dolayısıyla kaplama banyosundan çıkartılan ana metalin yüzeyine sıvı metalin daha iyi süzdürülmesinden kaynaklanmaktadır [3].

Değişik daldırma sürelerinde çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamaların yüzeylerinin genelde düzgün ve parlak olduğu görüldü. Ancak, ZnAl25 alaşımı ile 60 s'den daha uzun daldırma sürelerinde yapılan kaplamaların pürüzlü ve mat görünümlü olduğu görüldü. Ayrıca, 550 °C'den daha düşük sıcaklıklarda yapılan çinko kaplamalarda ve 520 °C'den daha düşük sıcaklıklarda yapılan ZnAl5 alaşımı kaplamalarda düzgün ve parlak kaplamalar elde edilmekle beraber, bu değerlerin üzerindeki sıcaklıklarda yapılan kaplamaların mat oldukları görüldü. ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda ise 560 °C'lik banyo sıcaklığına kadar düzgün yüzeyli kaplamalar oluşurken, daha yüksek sıcaklıklarda pürüzlü ve mat görünümlü kaplamalar elde edildi. Aşırı yüksek banyo sıcaklıkları veya uzun daldırma sürelerinde yapılan kaplamalarda parça yüzeyinde yapışkan olmayan kalın bir alaşım tabakası oluşmaktadır. Bu durum,

banyo sıcaklığının çok yüksek ve daldırma süresinin çok uzun olmasından kaynaklanabilir. Şöyleki; aşırı yüksek banyo sıcaklıkları ve uzun daldırma sürelerinde yapılan kaplamalarda yapışkan olmayan kalın bir alaşım tabakası meydana gelir. Bu tabaka zamanla kaplamanın yüzeyine kadar uzanarak pürüzlü ve mat bir yüzey oluşumuna neden olabilir [1].

Farklı daldırma sürelerinde ve banyo sıcaklıklarında çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda, kaplama tabakasının ana metale iyi yapıştığı; ancak 520 °C'lik sıcaklıkta ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamanın iyi yapışmadığı görüldü. Ayrıca, 60 s'den daha kısa daldırma süreleri veya 560 °C'den daha düşük banyo sıcaklıklarında ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda kaplama tabakasının ana metale iyi yapıştığı, daha uzun daldırma süresi veya daha yüksek banyo sıcaklıklarında yapılan kaplamalarda ise kaplama tabakasının yüzeye iyi yapışmadığı ve içerisinde gözenek olduğu gözlemlendi. Bu durum, daldırma sırasında parça yüzeyinde oluşan intermetalik tabakanın çok yüksek banyo sıcaklıkları veya uzun daldırma sürelerinde aşırı şekilde büyüyerek zamanla yüzeyden ayrılmasından ve buna bağlı olarak çatlak ve çukur gibi yapısal hataların oluşmasından kaynaklanabilir [11].

Yüksek banyo sıcaklığı ve uzun daldırma sürelerinde, çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda yapışma kalitesinin iyi olmasına karşın, ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda iyi yapışma sağlanamadı. Bu durum, intermetalik tabakanın oluşumunun sıvı banyo içerisindeki alüminyum oranından etkilenmesi ve artan alüminyum oranı ile birlikte intermetalik tabakanın daha kolay oluşması ve zamanla büyüyerek yüzeyden uzaklaşmasına dayandırılarak açıklanabilir. Nitekim bazı araştırmacılar [2,13], çeliğin sıcak daldırma yöntemiyle ZnAl55 alaşımı ile kaplanması sırasında oluşan intermetalik tabakanın çoğunlukla demir ve alüminyumdan meydana geldiğini belirlediler.

Belirli banyo sıcaklıklarında ve daldırma sürelerinde ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamaların, çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalardan daha kalın olduğu görüldü. Bu durum, alüminyum difüzyonunun sıvı banyodaki artan alüminyum oranı ile artması nedeniyle intermetalik tabakanın kolayca oluşmasından kaynaklanabilir. Oluşan intermetalik tabaka hem kaplamaya ve hem de ana metale doğru büyüyerek zamanla kaplamanın hacminde önemli bir artışa neden olur. Bu durum ise büyüme

sırasında intermetalik tabakanın gözlenebilir miktarda büyümesine yol açar. Gevrek fazlarda hacimsel büyüme nedeniyle meydana gelen gerilmeler, kaplamanın çatlamasına ve yüzeyden ayrılmasına neden olabilir [11].

Ayrıca, çelik üzerine sıcak daldırma yöntemiyle yapılan kaplamaların, çeliğin %4'lük nitrik asit çözeltisi içerisindeki gerilmeli korozyon direncini bir miktar artırdığı ve ZnAl5 alaşımı ile kaplanmış çeliğin belirtilen ortamda ve şartlarda diğerlerine göre daha yüksek gerilmeli korozyon direncine sahip olduğu görüldü. Bu durum, kaplama tabakasının korozyon davranışından kaynaklanır. Nitekim çinko-alüminyum alaşımları ile yapılan kaplamaların korozyon direncinin % 4 - 7'ye kadar artan alüminyum oranı ile arttığı ve daha yüksek alüminyum oranlarında (%21'e kadar) ise azaldığı belirlenmiştir [2].



5. SONUÇLAR

1. Çinko ve ZnAl5 alaşımları ile yapılan kaplamalarda daldırma süresi arttıkça kaplama kalınlığı çok az miktarda artmaktadır.

2. ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda elde edilen kaplama kalınlığı, belirli bir daldırma süresi içerisinde değişmemekte, ancak bu süreden sonra hızla artmaktadır.

3. Belirli banyo sıcaklığı veya daldırma süresinde ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamada elde edilen kaplama kalınlığı, çinko veya ZnAl5 alaşımı kaplama ile elde edilen kaplama kalınlığından daha büyüktür.

4. Gerek uzun, gerekse kısa daldırma sürelerinde çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda düzgün ve parlak yüzeyler elde edilirken, uzun daldırma sürelerinde ZnAl25 alaşımı ile kaplanan yüzeyler pürüzlü ve mat bir görünüm sergilemektedir.

5. Çinko ve ZnAl5 alaşımı ile yapılan kaplamalarda kaplama kalınlığı, banyo sıcaklığı arttıkça az da olsa azalmaktadır. ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda ise banyo sıcaklığı arttıkça kaplama kalınlığı hızlı bir şekilde artmaktadır.

6. Çok yüksek sıcaklıklarda çinko veya çinko- alüminyum alaşımları ile yapılan kaplamalarda mat yüzeyler oluşmaktadır.

7. Gerek uzun daldırma sürelerinde, gerekse yüksek banyo sıcaklıklarında ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalarda kaplama tabakası yüzeye iyi yapışmamakta ve kaplama tabakası içinde gözenekler oluşmaktadır.

8. Gerek saf Zn, gerekse ZnAl5 ve ZnAl25 alaşımı ile yapılan kaplamalar düşük karbonlu çeliğin nitrik asit çözeltisi içerisindeki gerilmeli korozyon direncini artırmaktadır.

6. ÖNERİLER

1. Çelik üzerine sıcak daldırma yöntemiyle korozyon ve aşınma direnci yüksek olan metal veya alaşımlar kaplanarak, hem korozyona hem de aşınmaya dayanıklı malzemeler elde edilebilir ve bu malzemelerin farklı ortamlardaki gerilmeli korozyon ve aşınma davranışları incelenebilir.



8. KAYNAKLAR

1. Gabe, D. R., Principles of Metal Surface Treatment and Protection, Pergamon Press, New York, 1978
2. Rocha, L. A., ve Barbosa, M. A., Microstructure, Growth Kinetics, and Corrosion Resistance of Hot Dip Galvanized Zn-5%Al Coatings, Corrosion, 47,7 (1991) 536-541
3. Metals Handbook, Desk Edition, American Society for Metals, Metals Park, Ohio, USA, 1985
4. Murphy, J. A., Surface Preparation and Finishes for Metals, McGraw Hill Book Company, New York, 1971
5. Fraunhofer, J. A., Basic Metal Finishing, London, 1976
6. Lin, K. L., Yang, C. F. ve Lee, J. T., Correlation of Microstructure with Corrosion and Electrochemical Behaviors of the Bath-Type Hot-Dip Al-Zn Coatings, Corrosion, 47, 1 (1991) 17-23
7. Dunpernell, G., Modern Electroplating, Lowenheim, F. A., Third Edition, John Wiley, New York, 1974
8. Develi, S., Galvanoteknik, 2. Baskı, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 1947
9. Brown, W. H., An Introduction to the Seasoning of Timber, Pergamon Press Limited Oxford, England, 1965
10. Selverian, J. H., Marder, A. R. ve Notis, M. R., The Reaction between Solid Iron and Liquid Al-Zn Baths, Metallurgical Transactions A, 19A (1988) 1193- 1203
11. Chen, Z. W., Gregory, J. T. ve Sharp, R. M., Intermetallic Phases Formed during Hot Dipping of Low Carbon Steel in Zn-5 Pct Al Melt at 450°C, Metallurgical Transactions A, 23A(1992) 2393-2400
12. Reumont, G., Gloriant, T. ve Perrot, P., Titanium Solubility in the Fe-Zn Intermetallic Compounds when Galvanizing Iron Substrates in Zn-Ti Baths at 450 °C, Journal of Materials Science Letters, 14 (1995) 752-754
13. Lin, K. L., Yang, C. F. ve Lee, J. T., Correlation of Microstructure with Corrosion and Electrochemical Behaviors of the Bath-Type Hot-Dip Al-Zn Coatings, Corrosion, 47, 1 (1991) 9-17

14. Hörnström, S. E., Hedlund, E. G., Klang, H., Nilsson, J.O. ve Backlund, M., Surface Study of a Chromate Pretreatment before Coil Coating of Al-43.4Zn-1.6Si Coated Steel, Surface and Interface Analysis, 20 (1993) 427-433



8. ÖZGEÇMİŞ

Hikmet ALTUN, 1972 yılında Bayburt'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bayburt'ta tamamladı. 1990 yılında K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 1994 yılında aynı bölümden makina mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen yüksek lisans öğrenimine devam etmekte olup, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

