

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

## **EMAYELEME VE OLUŞABİLECEK HATALAR**

**Emre DURMUŞOĞLU**

**FBE Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı Üretim Programında  
Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU**

**İSTANBUL, 2009**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	ix
ÖNSÖZ .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. EMAYE .....	3
2.1 Emayeleme Tarihi.....	3
2.2 Emayenin Yapısı .....	4
2.3 Emaye Türleri.....	6
2.3.1 Astar Kat Emayeler.....	6
2.3.2 Üst Kat Emayeler.....	12
2.4 Emayeleme Yararları .....	15
2.5 Emaye Hazırlama ve Değirmen İşlemleri .....	16
2.5.1 Değirmen Hesapları .....	17
2.5.2 Değirmende Öğütülecek Malzeme Miktarının Belirlenmesi .....	18
2.5.3 Değirmen Devir Sayısının Belirlenmesi .....	19
2.5.4 Değirmen Katkıları ve Görevleri.....	19
2.5.4.1 Kil .....	19
2.5.4.2 Bentonit .....	21
2.5.4.3 Kuvars .....	21
2.5.4.4 Potasyum Feldspat .....	23
2.5.5 Değirmenin Şarj Edilmesi .....	23
2.6 Emayeleme Prosesi.....	25
2.6.1 Metalin Hazırlanması ve Banyolar .....	27
2.6.1.1 Alkali Yağ Alma (Degreasing).....	27
2.6.1.2 Sıcak Su Durulama .....	28
2.6.1.3 Soğuk Su Durulama .....	28
2.6.1.4 Asit Banyosu (Pickling) .....	28

2.6.1.4.1	Sülfürik Asit ile Yapılan Asit Banyosu .....	30
2.6.1.4.2	Hidroklorik Asit ile Yapılan Asit Banyosu .....	32
2.6.1.5	Soğuk Su Durulama .....	33
2.6.1.6	Nötralizasyon.....	34
2.6.1.7	Kurutma .....	35
2.6.2	Emayenin Uygulanması .....	36
2.6.2.1	Yaş Emayeleme .....	36
2.6.2.1.1	Daldırma Yöntemi ile Emayeleme .....	36
2.6.2.1.2	Püskürtme Yöntemi ile Emayeleme .....	36
2.6.2.2	Elektrostatik (Toz) Emayeleme .....	39
2.6.3.	Piştirme .....	41
2.7	Emayenin Kontrolü için Yapılan Testler .....	44
2.7.1	Yapışma Testi.....	44
2.7.2	Kaynar Su Dayanım Testi.....	46
2.7.3	Pudra Emaye Tutunma Testi.....	47
2.7.4	Emaye Kalınlığının Ölçülmesi .....	48
3.	EMAYELENECEK MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ .....	50
3.1	Çelik Malzemeler .....	50
3.2	Döküm Malzemeler .....	54
3.3	Alüminyum Malzemeler .....	58
4.	EMAYELERE UYGULANAN KALİTE KONTROL YÖNTEMLERİ .....	63
4.1	Piştirici Cihazlar .....	64
4.2	Mutfak Eşyaları .....	65
4.2.1	Çelik Saçtan Yapılmış Emayeli Mutfak Eşyaları.....	66
4.2.2	Dökme Demirden Yapılmış Emayeli Mutfak Eşyaları.....	66
4.2.3	Alüminyumdan Yapılmış Emayeli Mutfak Eşyaları .....	67
4.3	Ortam Isıtıcıları .....	68
4.4	Emayeli Sıcak Su Tankları.....	69
4.5	Dış Mekânlar için Kullanılan Emayeli Ürünler .....	69

5.	EMAYELEMEDE DE KARŞILAŞILAN HATALAR.....	71
5.1	Emaye Hatalarının Kontrolü .....	71
5.1.1	Emayede Hata Arama .....	72
5.2	Hata Türleri .....	73
5.2.1	Ham Saç Malzemedeki Hatalar .....	73
5.2.1.1	Hatalı Saç Yüzeyi .....	73
5.2.1.1.1	Yanmış Karbon Bölgesi .....	73
5.2.1.1.2	Çapaklar .....	74
5.2.1.1.3	Soğan Kabuğu – Deoksidize Tufal .....	75
5.2.1.1.4	Saca Gömülü Cisimler .....	75
5.2.1.1.5	Saç Yüzeyine Preslenmiş Yabancı Maddeler.....	76
5.2.1.1.6	Paslanmalar .....	77
5.2.1.2	Hataya Yol Açan Bileşimler .....	78
5.2.1.2.1	Karbürler .....	78
5.2.1.2.2	Boru Şeklindeki Şişkinlikler .....	78
5.2.1.2.3	Hatalı Kaynaklar.....	78
5.2.2	Pişmiş Astar Katta Görülen Hatalar .....	79
5.2.2.1	Zayıf Yapışma .....	79
5.2.2.2	Bakırbaşı .....	80
5.2.2.3	Kabarcık .....	82
5.2.2.4	Yanma .....	82
5.2.2.5	Balıkpulu .....	82
5.2.3	Pişmiş Üst Katta Görülen Hatalar .....	83
5.2.3.1	Portakal Kabuğu .....	83
5.2.3.2	Yırtılma .....	84
5.2.3.3	Su İzi .....	84
5.2.3.4	Tufaller.....	85
5.2.3.5	Patlamalar .....	85

6.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	87
6.1	Numunelerin Hazırlanması .....	87
6.2	Asit Banyosunda Optimum Bekleme Sürelerinin Bulunması.....	91
6.3	Emaye Uygulamasının Optimum Uzaklığının Bulunması.....	96
6.4	Emaye Uygulanmış Numunelerin Optimum Kurutma Sıcaklığının Bulunması .	102
6.5	Emayenin Optimum Pişirme Sıcaklığının Bulunması .....	105
7.	SONUÇLAR .....	112
8.	GENEL SONUÇLAR.....	114
	KAYNAKLAR.....	115
	ÖZGEÇMİŞ.....	117

## SİMGE LİSTESİ

$V_{bilye}$	Bilyenin hacmi
$V_{iç}$	Değirmenin iç hacmi
$M_{bilye}$	Bilye ağırlığı
$d_{bilye}$	Bilye hacmi
$N$	Değirmenin devir sayısı
$V$	Değirmenin hızı
$D$	Değirmenin çevre uzunluğu
$L$	Gereken su miktarı
$P_1$	Bulunan özgül ağırlık
$P_2$	Olması gereken özgül ağırlık
$C$	Tanka konulan emaye miktarı
$M_1$	Parçanın ilk ağırlığı
$M_2$	Parçanın son ağırlığı
$R_e$	Akma Dayanımı
$R_m$	Çekme Dayanımı
$A$	Uzama
$J$	Çentiksiz darbe testi
$W_a$	İlk ölçülen ağırlık
$W_s$	Son ölçülen ağırlık
$W_{emaye}$	Yüzeyde tutunan emayenin ağırlığı

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Düşük fırınlama derecesinde fırınlanan astar kat emayenin yüzeyinin görüntüsü (Kyri, 1976) .....	8
Şekil 2.2. Normal fırınlama derecesinde fırınlanan astar kat emayeni yüzeyinin görüntüsü (Kyri, 1976).....	8
Şekil 2.3 Çok yüksek derecede fırınlanan astar kat emayenin yüzeyinin görüntüsü (Kyri, 1976).....	9
Şekil 2.4. Bir U tip fırında astar kat emayenin fırınlanması (Kyri, 1976) .....	10
Şekil 2.5. Metalin emayelenmesi esnasındaki galvanik akımın şematik olarak gösterilmesi (Dietzel, 1981).....	12
Şekil 2.6. İçinde yetersiz miktarda kil bulunduran frit karışımı ile elde edilen üst kat emayenin kesit görüntüsü. (Onishi ve Tsai, 2008) .....	13
Şekil 2.7. İçinde aşırı miktarda kil bulunduran frit karışımı ile elde edilen üst kat emayenin kesit görüntüsü. (Onishi ve Tsai, 2008) .....	14
Şekil 2.8. Emaye hazırlamada kullanılan değirmenin görüntüsü.....	17
Şekil 2.9. Kuvars bileşiğinin oluşumu (Toplan, 2005).....	22
Şekil 2.10. Çeliklere uygulanan emayeleme işleminin genel akış şeması .....	26
Şekil 2.11. Normal bir sülfürik asit banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü [2] .....	31
Şekil 2.12. Yetersiz bir sülfürik asit banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü [2] .....	31
Şekil 2.13. Aşırı bir sülfürik asit banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü [2] .....	31
Şekil 2.14. Banyolama tesisinin görüntüsü. ....	35
Şekil 2.15. Bir sprej tabancasının kesit görüntüsü (Kyri, 1976).....	37
Şekil 2.17. Sprej tabancası.....	38
Şekil 2.18. Toz emaye deposunun çalışma şekli.(Andrews, 1961).....	40
Şekil 2.19. Fırınlama işleminde, fırınlama sıcaklığı ve zamana bağlı olarak gözlenen değişimlerin grafiği [2] .....	42
Şekil 2.20. Emaye uygulaması yapılmış, fırınlamaya hazır askıdaki ürünler. ....	43
Şekil 2.21. Fırınlaması yapılmış, metal ürünler .....	43
Şekil 2.22. Emayeye yapışma testinin uygulandığı darbe testi aleti.....	44
Şekil 2.23. Emayelemeden sonra uygulanan yapışma testinin darbe skalası .....	45
Şekil 2.24. Kaynar su dayanım testinde kullanılan cihaz .....	46
Şekil 2.25. Pudra emaye tutunma testinde kullanılan aparat .....	48
Şekil 2.26. Elkometre cihazı ve kalibrasyon kâğıtları .....	49
Şekil 3.1. Artan karbon miktarı ile değişim gösteren emaye uygulama esasları (Kyri, 1976) .....	53
Şekil 3.2. Soğuma hızının veya döküm boyutunun iki değişik tip gri dökme demirin çekme özelliği üzerine etkisi. (Askeland, 2005) .....	56
Şekil 5.1. Saçtaki çapaklar ve etrafındaki çözünmemiş demir oksit tabakası. (Laughlin, 1983) .....	74
Şekil 5.2. Yüzeyde görülen soğan kabuğuna benzeyen pullar. (Laughlin, 1983) .....	75
Şekil 5.3. 300 kez büyütme yapılarak tane yapısında görülen gömülü karbürlerin Görüntüsü (Laughlin, 1983) .....	76
Şekil 5.4. Çelik bir panelden alınmış bir kesitte, çapın 300 kez büyütülmesiyle görülen ve halen erimemiş halde bulunan demir oksidin görüntüsü (Laughlin, 1983) .....	76
Şekil 5.5. Çapın 100 kez büyütülmesi ile görülen camgöz kaynamada çelik tanesinin sebep olduğu kabarcığın görüntüsü (Laughlin, 1983) .....	77
Şekil 5.6 Az pişmiş astar katın gözenek yapısı (Laughlin, 1983).....	79
Şekil 5.7. Bakır başı hatasının yüzeysel görüntüsü (Laughlin, 1983).....	80
Şekil 5.8. Bakır başı hatasının 10 kez büyültüş görüntüsü. (Laughlin, 1983).....	81
Şekil 5.9. Astar kat altında ve üstünde oluşan bakır başı bölgesinin ara kesit	

Görüntüsü (Laughlin, 1983) .....	81
Şekil 5.10. Bir balık pulu hatasının görüntüsü (Collins, 1995) .....	83
Şekil 5.11. Portakal kabuğu hatasının emaye yüzeyindeki görüntüsü (Laughlin, 1983) .....	84
Şekil 5.12 Su çizgisinin yüzeysel görünümü (Laughlin, 1983) .....	85
Şekil 5.13 Patlama hatasının ara kesitinin 100 kez büyütülmüş görüntüsü (Laughlin, 1983) .....	86
Şekil 6.1. Deneylerde kullanılan numunelerin görüntüsü .....	89
Şekil 6.2. Deneylerde kullanılan numunelerin tartıldığı hassas tartı.....	89
Şekil 6.3. 7512 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile oluşan grafik .....	92
Şekil 6.4. 6837 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile oluşan grafik .....	92
Şekil 6.5. 7512 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ölçülen ortalama emaye kalınlıkları ile elde edilen grafik .....	93
Şekil 6.6. 6837 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ölçülen ortalama emaye kalınlıkları ile elde edilen grafik.....	94
Şekil 6.7 7512(1) numaralı numunede görülen yanma hatasının görüntüsü .....	94
Şekil 6.8. 6837(2) numaralı numunede görülen yanma hatasının görüntüsü .....	95
Şekil 6.9. 6837(5) numaralı numunede görülen atma hatasının görüntüsü .....	95
Şekil 6.10. 7512(3) numaralı numunenin görüntüsü.....	96
Şekil 6.11. Emaye uygulamasının yapıldığı pistolenin görüntüsü .....	97
Şekil 6.12. Numunelere pistole ile emaye uygulaması .....	98
Şekil 6.13 7512 kalite saç numunede elde edilen verilerle oluşan grafik .....	100
Şekil 6.14 6837 kalite saç numunede elde edilen verilerle oluşan grafik .....	100
Şekil 6.15 6837(6) numaralı numunenin yüzeyinde görülen topaklanma hatasının görüntüsü .....	101
Şekil 6.16. Kurutma fırınına alınmak üzere askılara asılmış numunelerin görüntüsü.....	102
Şekil 6.17. Kurutma fırınının içinin görüntüsü.....	103
Şekil 6.18. Kurutmadan çıkmış, bisküvi yapısına sahip metal plakanın görüntüsü .....	103
Şekil 6.18 7512(11) numaralı numunenin yüzeyinde görülen su izi hatasının görüntüsü ...	105
Şekil 6.19 7512(14) numaralı numunenin yüzeyinde görülen portakal kabuğu hatasının görüntüsü.....	105
Şekil 6.21. Pişirme fırınına alınacak askıdaki numunelerin görüntüsü.....	106
Şekil 6.22. Pişirme fırınından çıkmış 7512(8) numaralı numunenin görüntüsü .....	108
Şekil 6.23. 7512 kalite saç numuneleri için pişirme sıcaklığı ile ortalama emaye kalınlığı ilişkisini gösteren grafik .....	109
Şekil 6.24. 6837 kalite saç numuneleri için pişirme sıcaklığı ile ortalama emaye kalınlığı ilişkisini gösteren grafik.....	109
Şekil 6.25. Darbe testi düzeneği .....	110
Şekil 6.26. Darbe testi düzeneği .....	110
Şekil 6.27. Darbe testi sonucunda numunenin görüntüsü .....	111
Şekil 6.28. Darbe aparatının oluşturduğu yüzeyin görüntüsü .....	111

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Emayenin yapısında bulunabilecek oksit bileşiklerinin listesi (Construct, 2006).....	5
Çizelge 2.2 Değirmen taşı ve bilyelerin özellikleri. (Eppler ve Eppler, 2000) .....	16
Çizelge 2.3. Muhtelif Bilyeli Değirmenlerin Özellikleri (Ege Frit, 2000).....	25
Çizelge 2.4. HCl ve H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile yapılan banyolama işleminden sonra sac yüzeyinden ayrılan demir miktarları. (Ege Frit, 2000) .....	29
Çizelge 2.5. HCl ve H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ile yapılan banyoların karşılaştırmalı tablosu (Kyri, 1976) ...	29
Çizelge 2.6. Birinci soğuk su durulamanın özellikleri.[2] .....	33
Çizelge 2.7. İkinci soğuk su durulamanın özellikleri [2]. .....	33
Çizelge 3.1. Emayelemede kullanılan sacların kimyasal özellikleri (Kyri, 1976).....	50
Çizelge 3.2. Soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin kimyasal bileşimleri .....	51
Çizelge 3.3. Soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin mekanik özellikleri .....	52
Çizelge 3.4. Soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin mekanik özellikleri .....	52
Çizelge 3.5. Gri dökme demirlerin tipik kimyasal bileşimleri ve özellikleri (Askeland, 2005).....	55
Çizelge 3.6. Emayelemeye uygun dökme demirin içinde bulunması gereken elementler ve limit değerleri. (Kyri, 1976).....	56
Çizelge 3.7. Emayelemeye uygun dökme demirde bulunabilecek diğer elementler ve limitleri. (Kyri, 1976) .....	56
Çizelge 3.8. Emayeleme yapılmış dökme demirin mikro yapısındaki değişimler. (Kyri, 1976) .....	57
Çizelge 3.9. %99,5 saflıktaki alüminyumun kimyasal analiz değerleri .....	59
Çizelge 3.10. Emayelemeye uygun alüminyum alaşımlarının özellikleri (Paytuncu, 2005) .....	59
Çizelge 3.11. Emayelemeye uygun alüminyum alaşımlarının bileşimleri (Paytuncu, 2005) .....	60
Çizelge 3.12. 1100 ve 3003 alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri. (Askeland, 2005).....	60
Çizelge 3.13. 6061 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri .....	61
Çizelge 3.14. 7104 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi (Belov, Eskin, Aksenov, 2005).....	61
Çizelge 4.1. Emayeli pişirici gereçler için geçerli şartlar (Paytuncu, 2005) .....	64
Çizelge 4.2. Çelik saçtan yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar (Paytuncu, 2005) .....	66
Çizelge 4.3. Dökme demirden yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar (Paytuncu, 2005) .....	67
Çizelge 4.4. Alüminyumdan yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar (Paytuncu, 2005) .....	67
Çizelge 4.5. Emayeli ortam ısıtıcıları için gerekli şartlar (Paytuncu, 2005) .....	68
Çizelge 4.6. Emayeli sıcak su tankları için gerekli şartlar (Paytuncu, 2005).....	69
Çizelge 4.7. Emayeli mimari paneller, reklam panoları ve işaret levhaları için gerekli şartlar (Paytuncu, 2005).....	70
Çizelge 6.1. Deneyde kullanılan çelik plakaların kimyasal bileşimleri. ....	87
Çizelge 6.2. Deneyde kullanılan çelik plakaların mekanik özellikleri.....	87
Çizelge 6.3. Deneyde kullanılan çelik plakaların ağırlıkları .....	88
Çizelge 6.4. Numune plakalara uygulanan yüzey temizleme banyolarına ait veriler .....	90
Çizelge 6.5. Asit banyosunun değişen bekleme sürelerine göre ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri .....	91

Çizelge 6.6. Asit banyosunda değişen bekleme sürelerine göre numune yüzeylerinde ölçülen ortalama emaye kalınlıkları. ....	93
Çizelge 6.7. Emayenin numune plakalara uygulama uzaklığı.....	98
Çizelge 6.8. Emaye uygulamasından sonra önce ve sonra ölçülen numunelerin ağırlıkları .....	99
Çizelge 6.9. Numunelere uygulanan kurutma sıcaklıkları .....	104
Çizelge 6.10. Numunelere uygulanan pişirme sıcaklıkları.....	107
Çizelge 6.11. Pişirme sonrasında numunelerin ölçülen ortalama emaye kalınlıkları. ....	108

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada günümüzdeki emaye uygulamaları ve emayeli ürünlerin üretimi esnasında karşılaşılan hatalar incelenmiş, çalışmanın gerek üretim gerekse endüstriyel sektörlere ışık tutması hedeflenmiştir.

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca bana gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı çok değerli ve saygıdeğer hocam Sayın Prof. Dr. Müzeyyen MARŞOĞLU'na çok teşekkür ederim. Bu çalışmaların yapılabilmesi için gerekli her türlü desteği sağlayan başta hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet EKERİM olmak üzere tüm değerli hocalarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans öğrenimime başladığım zamandan beri yanımda çalışmaktan onur duyduğum, kendisinden bu süre zarfında çok değerli ve önemli şeyler öğrendiğim Sayın Dr. Murat AKDOĞAN'a ve hayatımın her bölümünde ve özellikle lisans öğrenimimin başladığı günden bugüne kadar benden yardımını, desteğini, tecrübesini esirgemeyip, attığım her adımı destekleyen ve tüm birikimleri ile yanımda olan babam Mehmet DURMUŞOĞLU'na her türlü destek ve yardımları için çok teşekkür ederim.

Ocak 2009

Emre DURMUŞOĞLU  
Metalürji ve Malz. Müh.

## ÖZET

Bu çalışmada emayeleme işlemi ve bu işlemi etkileyecek faktörler, emayelemenin nedenleri, faydaları, uygulama yöntemleri, çelik, dökme demir ve alüminyum malzemeler için emaye uygulamaları ve oluşabilecek emaye hataları açıklanmıştır. Erdemir'den temin edilen 7512 kalite soğuk çekilmiş ve 6837 kalite sıcak çekilmiş çelik saçlara uygulanan emayeleme işlemi için optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

Optimizasyon çalışmaları için her iki kalite saçtan 25x25 cm ebatlarında ve 2 mm kalınlığında 20'şer adet numune alınmış ve bu numunelerin ayrı ayrı %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisiyle yapılan asit banyosundaki bekleme süreleri, emaye uygulamasında pistolenin metal yüzeyine olan optimum uzaklığı, kurutma fırınının optimum sıcaklığı ve pişirme fırınının optimum sıcaklığı araştırılmıştır.

Yapılan inceleme sonucunda , %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ile uygulanan asit banyosunda numunelerin optimum bekleme süreleri 6 dk bulunmuştur. Emaye uygulamasının yapıldığı pistolenin metalden optimum uzaklığı 20 cm, emayenin optimum kurutma sıcaklığı 90°C ve emayenin optimum pişirme sıcaklığı 860°C olarak bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Emaye, emaye hataları, çeliğin emayelenmesi

## **ABSTRACT**

In this study enamelling process and its affected factors, reasons of enamelling, advantages of enamelling, application methods, enamelling applications for steel, cast iron and aluminum materials and possible enamel defects were explained. Optimization researches were done for enamelling application of 7512 quality cold rolled and 6837 quality hot rolled steel sheets which provided from Erdemir

Samples have 25x25 cm dimensions, 2 mm thickness and 20 pieces were taken from both different steel sheets for optimization researches. Optimum waiting durations for acid pickling that composed with %10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution, optimum distance of spray gun from metal surface, optimum temperature of drying furnace and optimum temperature of enamel cooking furnace values were researched.

As a result of studies, the optimum waiting duration for acid pickling founded 6 minutes, the optimum distance of spray gun from metal surface founded 20 cm, optimum temperature of drying furnace founded 90°C and the optimum temperature of enamel cooking furnace founded 860°C.

**Keywords:** Enamel, enamel defects, enamelling of steel

## 1. GİRİŞ

Emaye, sadece metal malzemelerin yüzeylerinin kaplamasında kullanılabilen, bazı inorganik oksitlerin karışımından meydana gelmiş ve metal yüzeyine uygulandıktan sonra fırınlarda uygun erime sıcaklığında ergiyip metali kaplayan alkali borosilikat cam kaplamalardır.

Emayenin diğer kaplama malzemelerine nazaran ısıya karşı direnç, sertlik, kimyasal etkilere karşı direnç, estetik görünüm, pürüzsüzlük ve sıhî gibi avantajları ile öne çıkıp tercih edilmesinin yanı sıra bazı dezavantajları da vardır. Özellikle şekillendirme açısından emaye diğer kaplama yöntemlerine göre çok yetersizdir. Çünkü emayenin katılaştıktan sonra eğilip bükülmesi mümkün değildir.

Emayenin hammaddesine frit adı verilir. Fritler istenen özelliğe göre değişik bileşimlere sahip olabilir. Fritte kullanılan bor mineralleri fluks ve bağlayıcılık özellikleri ile kaplamanın camsı görünümünü geliştirdiği gibi, kaplama yüzeyinde oluşacak çatlama ve kavlama gibi yüzey hatalarının oluşmasını da engeller.

Emaye kaplanabilen metaller; çelik, sac, dökme demir, alüminyum ve alüminyum alaşımlarıdır. Ayrıca bakır, gümüş ve altın üzerine de sanatsal uygulamalar için emaye kaplanabilir. Ancak saf nikel ve pirinç üzerine emaye kaplanamaz.

Emayelerin başlıca uygulama alanları; pişirme cihazları, çamaşır makineleri, sıcak su cihazları, ısıtma cihazları, tencere ve tava gibi ev eşyaları, kimya, gıda, maden ve inşaat sektörleri ve altın ve gümüş üzerine uygulanan sanatsal çalışmalardır.

Kullanımlarına göre astar emaye ve üst kat emayeler olarak ikiye ayrılan emayelerde, astar kat emaye kendinden sonra uygulanacak olan üst kat emayenin metale iyi bir şekilde ve tam nüfuz ederek yapışmasını sağlar. Üst kat emayeler ise kaplamaya mekanik ve kimyasal dirençlerini kazandırır. Bunun yanında renkli yapısı ile estetik görüntünün kaplamaya kazandırılmasını sağlar. Üst kat emayeler, içlerinde kullanılan renklere göre çeşitli gruplara ayrılırlar. Üst kat emaye olarak en çok kullanılan emayeler titan beyazı emayelerdir.

Bu çalışmada emayenin özellikleri, emayenin hazırlanması ve uygulanması, elik, alüminyum ve dökme demir malzemelere uygulanan emayeleme işlemi, emayeleme işlemi esnasında ve sonrasında karşılaşılan hatalar ve bu hataların giderilme yöntemleri anlatılmıştır. Ayrıca bu çalışmada 7512 ve 6837 kalite çeliklerin emayelenmesi esnasında gerekli olan optimum Őartların belirlenmesi için deneyler yapılmış ve teknik olarak emayeli ürünlerin üretim prosesine katkı sağlanması hedeflenmiştir.

## 2. EMAYE

Emaye, bazı inorganik oksitlerin karışımından meydana gelmiş bir çözeltinin, döküm veya metalik bir yüzeyin üzerine tatbik edildikten sonra, bu oksitlerin erime sıcaklığında fırınlanmasıyla elde edilen, camsı bir görünüme sahip katı bir maddedir. (Evcin, 2006)

### 2.1. Emayeleme Tarihi

Emayenin ilk olarak nerede ve kimler tarafından bulunup kullanıldığı tam olarak bilinmemekle beraber en çok kabul gören teori, Mısırlılar tarafından İsa'dan önce 14. yüzyılda bulunduğudır. Mısırlılar mücevherlerini Cloisonne tekniğini kullanarak emaye kaplamışlardır.

Cloisonne tekniği denilen yöntemi ilk kullananlar kuyumculardır. Altın ve gümüş gibi değerli metaller üzerine emaye kaplamak için kuyumcular yine altın ve gümüş telleri bordür şeklinde lehimleyerek değişik dizaynlar yaratmışlar ve bu tellerin arasında kalan yüzeylere pudra halindeki emayeyi kuru ya da pasta halinde presledikten sonra düzleştirerek fırınlamışlardır. Camsı bir yüzey elde edinceye kadar pişirdikten sonra kullanmışlardır.

Emayenin bulunmasından 19. yüzyıla kadar geçen süre zarfında öncelikle altın ve gümüş daha sonra da bakır ve tombak üzerine emaye uygulanmıştır. Demir üzerine ilk uygulama ise 19. yüzyılın ilk yarısında dökme demir üzerine olan uygulamadır.

Dökme demir üzerindeki bu ilk uygulamalarda da yine toz emaye kullanılmıştır. Bunun için döküm malzeme fırında kor hale gelinceye kadar ısıtılıp üzerine toz emaye dökülmüştür. Başlangıçta bu metot oldukça sorunlu olmuştur. Öncelikle istenen kalınlığın sağlanması için birkaç kez uygulama tekrarlanmış ve fırındaki gaz problemleri nedeniyle siyah lekelerle karşılaşmıştır. Ancak bütün bu güçlükler rağmen emayeciler sorunlardan yılmamış ve demir üzerine emaye uygulaması giderek yaygın hale gelmiştir. Demir üzerine yapılan bu denemeler, emayenin endüstriyel kullanımı bakımından çok önemlidir.

Emayenin ilk kez ticari anlamda döküm ve sac üzerine uygulanması 1850' li yıllarda Avusturya ve Almanya'da olmuştur. Bu ilk dönemlerde parçaların sadece kullanım yüzeylerine emaye kaplanmış, arka yüzeyler ise siyah boyayla boyanmıştır. 1851 yılında Braunschweig'lı Moritz Vogelsang ilk emaye kitabını yayımlamış ve bu kitabın da etkisiyle dönemin en iyi kimyacıları emaye ile ilgilenmeye başlamışlardır.

19. yüzyılın sonlarında ve 20 yüzyılın başlarında çelik endüstrisi yoğun bir gelişme ve yoğun bir değişim içerisine girmiştir. Bu değişim emaye için çeşitli zorlukları da beraberinde getirmiş ve çeliklerin değişimi ile çeliğin yeni yapısına uyan emaye kompozisyonlarının geliştirilmesi gerekmiştir.

20. yüzyılın başlarında Amerika'da emaye kullanımı yaygınlaşmıştır. Amerika ve Kanada'da 40'a yakın emaye fabrikası kurulmuştur. 1910 yılında, 1000 civarında işçi çalıştıran büyük fabrikalar açılmıştır. 1925 yılında cirosu 675 milyon doları bulan fabrikalar olmuştur. Avrupa'da da 1. Dünya Savaşı'nın bitiminden sonra emaye fabrikaları kurulmaya başlanmış ve 1930'lu yıllarda Avrupa'da emaye fabrikası sayısında patlama olmuştur. (Çavuşoğlu, 2005)

## 2.2 Emayenin Yapısı

Emayenin yapısında anyonlar ve katyonlar bulunmaktadır. En önemli anyonlar oksijen ve flor olup bunlara ek olarak klor, brom ve iyot da anyonlar olarak gösterilebilir. Katyonlar ise iki grupta incelenmektedir;

a-Şebekeyi oluşturan iyonlar:  $Si^{+4}$ ,  $Al^{+3}$ ,  $B^{+3}$ ,  $P^{+5}$

b-Şebekeyi güçlendiren iyonlar: Tek ve çift değerlikli katyonlar

Li, Na, K gibi büyük iyonların oranının arttırılmasıyla genleşme katsayı ve camın daha kolay ergiyip yapışma özelliği arttırılabilirken, Si gibi küçük iyonların oranının arttırılması durumunda ise genleşme katsayısı ve yapışma özelliği düşer. (Evcin, 2006)

Emayenin ergime özelliğinin artırılması ile uygulandığı yüzeye tutunması kolaylaştırılır ve uygulandığı yüzeye tam nüfuziyet sağlanır. Bundan dolayı uygulamalardan önce ergime özelliğini artırıcı işlemler yapılması gerekmektedir.

Emayenin ergime özelliğini arttırmak için;

SiO<sub>2</sub> yerine B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ilave edilir,

SiO<sub>2</sub> yerine P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> veya Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> ilave edilerek karşıdaki oksijen miktarı arttırılır.

O<sup>2-</sup> nin tek değerlikli halojenlerle yer değiştirmesi sağlanır.

Emayenin yapısında bulunabilecek oksit bileşiklerinin listesi çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 Emayenin yapısında bulunabilecek oksit bileşiklerinin listesi  
(Construct 06/768 rev.1)

Bileşikler	Min %	Max %
SiO <sub>2</sub>	25	80
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1	20
Na <sub>2</sub> O	0	30
K <sub>2</sub> O	0	10
Li <sub>2</sub> O	0	10
CaO	0	10
BaO	0	15
SrO	0	5
MgO	0	5
CeO <sub>2</sub>	0	15
ZnO	0	10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	5
CoO	0	5
NiO	0	3
CuO	0	3
MnO <sub>2</sub>	0	5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	5
MoO <sub>3</sub>	0	5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	5
SnO <sub>2</sub>	0	5
TiO <sub>2</sub>	0	10
ZrO <sub>2</sub>	0	30
F	0	10

Hızlı sıcaklık değışiklikleri emayeleri etkilemez. Oldukça düşük sıcaklıklardan yüksek sıcaklık değerlerine geçişlerde emayeler, mükemmel ısıl kararlılıkları ve ısıl şok dirençleri sayesinde etkilenmezler. Bundan dolayı ısı iletimi ve ısı üretimi konusundaki uygulamalarda kullanılabilen en uygun kaplama emayedir. [1]

## 2.3 Emaye Türleri

Emayeler kullanımına göre ikiye ayrılırlar:

- 1- Astar Emayeler (Ground Coat Enamels)
- 2- Üst Kat Emayeler (Cover Coat Enamels)

### 2.3.1 Astar Kat Emayeler

Astar kat emayeler son kat emayenin metale direkt olarak temasını önleyip, üst kat emaye ile metalin arasındaki bağlanma ile yapışmayı sağlayan emaye türüdür. Astar kat emayelerin içerisinde CoO ve NiO gibi yapıştırıcı oksit görevi gören oksitler bulunmaktadır. Bu oksitler emayenin saca iyi bir şekilde yapışmasını sağlar ve bileşimde %0,5 ile %1 oranında bulunurlar. (Kyri, 1976)

Bu oksitlerin yanı sıra astar emayelerin yapısında;

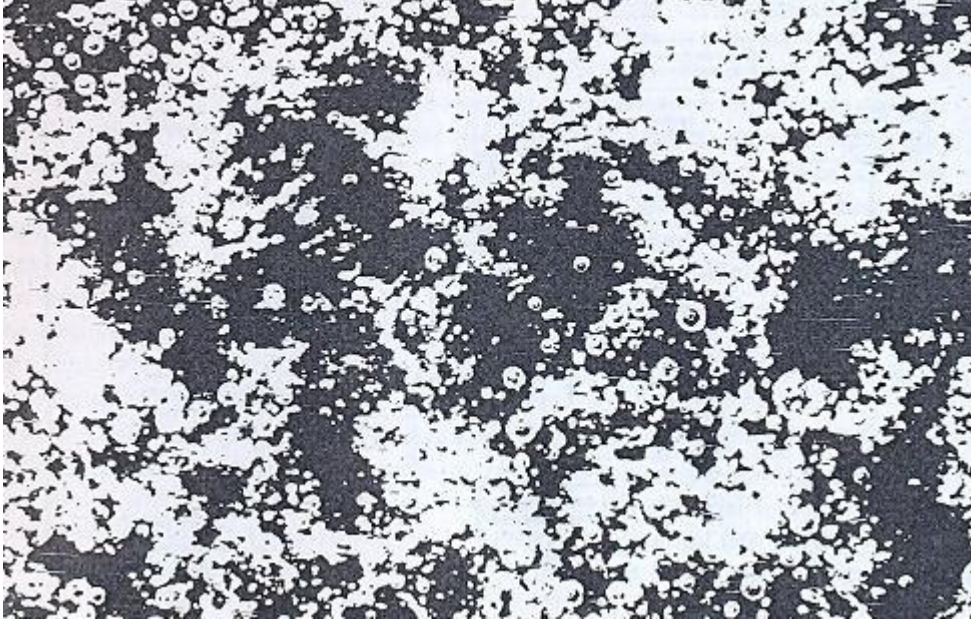
- Refrakter oksitler olarak:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{CaO}$
- Akışkanlaştırıcı olarak:  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  ve florürler
- Oksidasyon maddeleri olarak:  $\text{MnO}$  ve nitratlar
- Özellik verici oksitler olarak:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$  ve  $\text{Li}_2\text{O}$  bulunur

Emayenin fırınlanması esnasında, ısıl işlem sırasında bile, yüzey oksitlenmesi görülmektedir. Metalin üzerinde ergimiş halde bulunan emaye, bu oksit tabakasını oluşturarak metal üzerinde ıslak bir yapı oluşmasını sağlar. Metalik Co ve Ni kristalleri, bir tarafta Fe, diğer tarafta CoO ve NiO arasında kimyasal değişim ile ayrılarak ergimiş emayeden metal yüzeyine geçerler. Yapının tamamında gözlenen bu durum, emaye uygulanan yüzeyin oldukça pürüzlü hale gelmesini sağlar. (Kyri, 1976)

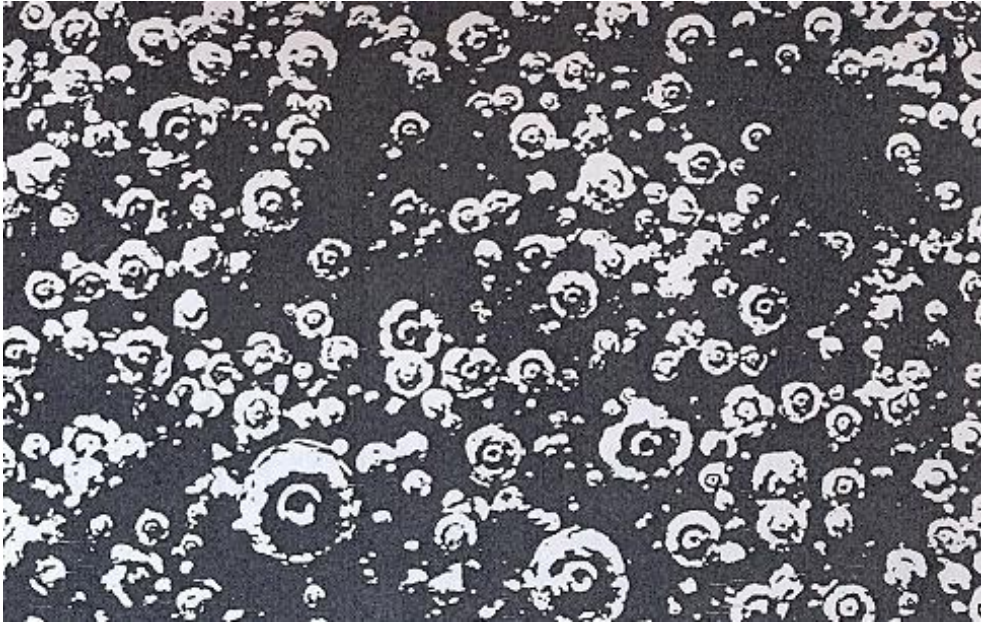
Emayenin oluşan bu pürüzlü kısımlardaki tam tutunması, sağlam yapışmayı açıklamaya yetmemektedir. Demir oksitler astar emayede bulunmayıp, metalin yüzeyinde bulunduğundan dolayı burada bir konsantrasyon farkı olur. Bu konsantrasyon farkından dolayı, demir oksitler erimiş olan astar emaye içinde çözünerek emaye tabakası içinde yayılırlar. Astar tabakanın tamamı demir okside doymuş hale geldiği anda emaye camsı bir görünüm kazanır ve camsı bir yapı oluşturur. Oluşan bu camsı yapının mekanik direnci çok düşük olup hidrojene karşı çok hassastır. Ayrıca astar kat emayelerde demir oksitler bakımından aşırı doygunluk görülürse, emayede bakır başları denilen bakır renginde noktasal hatalar ortaya çıkmaktadır. (Kyri, 1976)

Astar kat emayenin içinde bulunan kil, silika, feldspat ve organik tuzlar kısmen de olsa bozulabilirler. Bu bozulmadan dolayı fırınlama esnasında emaye, ergimesi zor ve ısıya karşı dirençli hale gelir. Emayenin içinde bulunan bu malzemelerin bozulmasını engellemek için emaye hazırlanırken değirmenlerde karışım oranlarının iyi belirlenmesi ve değirmenden geçirme sürelerinin iyi ayarlanması gerekir. (Kyri, 1976)

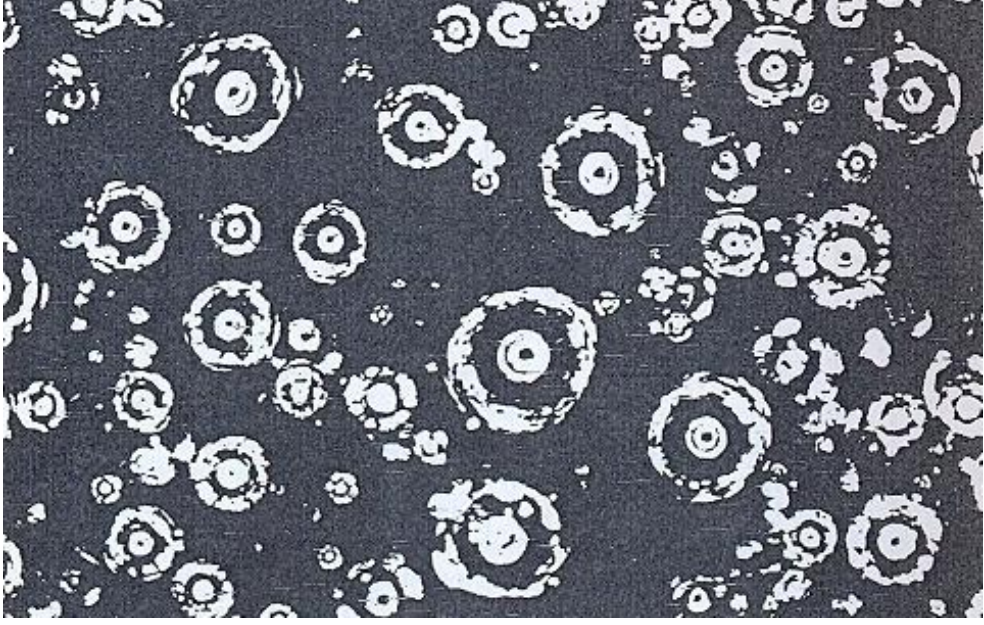
Kilin parçalanması emaye yüzeyinde su buharının oluşmasıyla gerçekleşir. Bu durum emayenin içinde “baloncuklu yapı” denilen kabarcıkların oluşmasına neden olur ki bu yapı astar kat emayenin karakteristik bir özelliğidir. Baloncuklu yapının özellikleri astar kat emayenin fırınlanma şartlarına ve sıcaklıklarına göre farklılıklar gösterir. Fırınlama derecesi çok düşük olduğunda astar kat emaye yüzeyinde çok sayıda küçük baloncuk oluşur. Böyle bir durumda astar kat emayede görülen yüzey özelliği Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Fırınlama derecesinin normal olduğu astar kat emayelerdeki baloncuklu yapı (Şekil 2.2) ise normal bir dağılım gösterir. Son olarak fırınlama derecesinin çok yüksek olduğu astar kat emayelerde bir kaç düzensiz büyük baloncuk görülür. (Şekil 2.3)



Şekil 2.1 Düşük fırınlama derecesinde fırınlanan astar kat emayenin yüzeyinin görüntüsü.  
(Kyri, 1976)

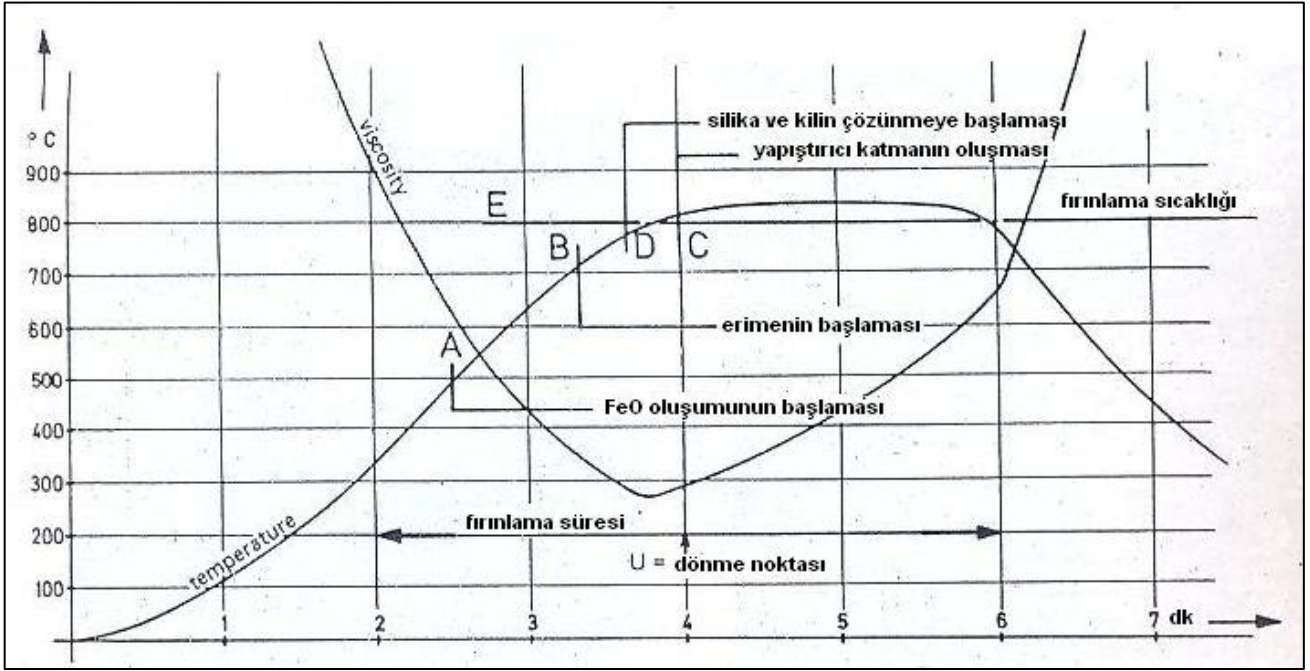


Şekil 2.2 Normal fırınlama derecesinde fırınlanan astar kat emayenin yüzeyinin görüntüsü.  
(Kyri, 1976)



Şekil 2.3 Çok yüksek derecede fırınlanan astar kat emayenin yüzeyinin görüntüsü.  
(Kyri, 1976)

Astar kat emayenin içinde bulunan parçalanmamış haldeki silika ve feldspatın emayenin mekanik direncini arttırdığı bilinmektedir. Parçalanmayan bu irili ufaklı parçacıklar fırınlama esnasında birleşerek daha büyük ve farklı yapıda parçacıklar oluşturmaya eğilimlidirler. Oluşan bu farklı kil bileşimleri, astar emayenin fırınlanması sırasında parçalanmada da farklılığa neden olur. Bundan dolayı uygun oranlarda kil bileşimlerinin seçilmesi gerekmektedir. Bir U tip fırında astar kat emayenin fırınlanması esnasında süre ve sıcaklık değerleri ile elde edilmiş grafik Şekil 2.4.'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Bir U tip fırında astar kat emayenin fırınlanması. (Kyri, 1976)

Bir astar kat emayede 780°C ile 820°C arasında yapılan fırınlama işleminde ortaya çıkacak 0,08 mm ile 0,12 mm arasındaki bir kaplama kalınlığı normal olarak nitelendirilir. Düz yüzeyli eşyalara uygulanan astar kat emayede, silika ve feldspat, fritin ağırlığına göre %5 ile %15 oranları arasında eklenir. 4 mm saç kalınlığında çelik kullanılarak yapılmış mutfak eşyalarında ise ekleme oranı %25 ve üzerindedir. Aside ve deterjanlara dirençli astar kat emaye gibi özel fritler ise az miktarda silika eklenmesi ile elde edilir. (Kyri, 1976)

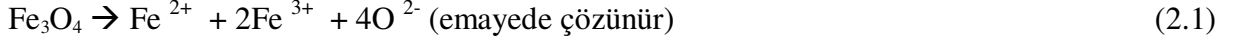
Astar emayelerin en önemli özelliği yapışma özelliğidir. Astar emayelerin saca yapışmasının mekanizması kimyasal açıdan tam olarak kanıtlanmamış olmakla birlikte Dietzel'in teorisi en çok benimsenmiş olanıdır.

Dietzel, oksit içermeyen bir astar emayenin pişirilmesi sırasında gerçekleşen olayları incelemiş ve yapışmayı sağlayan bileşiğin  $Fe_3O_4$  olduğunu bulmuştur. Bu tabaka hem emayeye hem de demire çok iyi bir şekilde yapışmıştır. (Dietzel, 1981)

Dietzel, emayenin, düzgün akmaya başlayınca kadar pişirildiğinde yapışmadığını görmüş ve deneylerine devam ederek, emayeyi alışıldandan biraz daha uzun süre pişirmiştir. Sonuçta emayenin biraz yanarak koyu gri hale geldiğini, yapıştığını ve aynı zamanda da kristallerinin ayrıştığını görmüştür. Daha uzun süre pişirmeye devam ettiğinde ise emayenin cüruf haline geldiği ve yapışmanın daha kötü olduğunu belirlemiştir. (Dietzel, 1981)

$\text{Fe}_3\text{O}_4$  tabakası yüzeyde oluştuktan sonra demire çok iyi yapışır ve emayede bu tabakanın üzerine oldukça iyi bir şekilde tutunur.

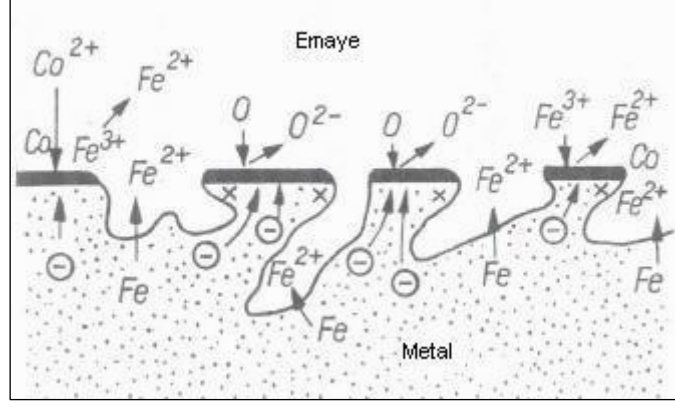
Pişirme esnasında sıvılaştan emaye önce demir yüzeyi üzerinde oluşan demir oksit tabakasını çözer. Eşitlik 2.1 ve 2.2' nin çözünme reaksiyonları gösterilmiştir. Eşitlik 2.3'de demirin kobalt ile tepkimesi gösterilmiştir.



Metalik demir, daha sonra emayedeki kobalt oksit ve nikel oksidi, metalik kobalt ve metalik nikel haline redükler. Eşitlik 2.4 ve 2.5'de redüklenme reaksiyonları gösterilmiştir. (Dietzel, 1981)



Sıvı emayedeki demir ve kobalt metali arasında galvanik bir element oluşur ve bu yaklaşık 0,33 Volt değerinde bir elektrik akımı üretir. Burada demir negatif kutup, nikel ve kobalt ise pozitif kutupturlar. Böylece akım demirden, eriyik kanalıyla kobalt ve nikel doğru akar. Bu galvanik akım vasıtasıyla, açılı oyuklar oluşur. Bunların içerisine emaye dolar ve mekanik olarak tutunur. Sonuç olarak yapışma, mekanik, kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonların üçünün bir araya gelmesiyle sağlanır. (Dietzel, 1981) Şekil 2.5'te bu durum gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Metalin emayelenmesi esnasındaki galvanik akımın şematik olarak gösterilmesi. (Dietzel, 1981)

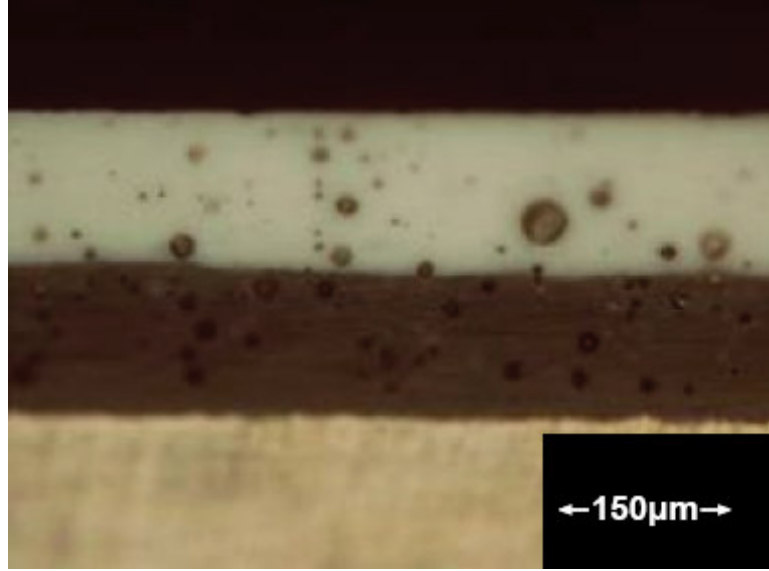
### 2.3.2 Üst Kat Emayeler

Üst kat emayeler, emayenin estetiksel açıdan güzel görünmesini sağlamanın yanı sıra emayenin kimyasal stabilizesini ve mekanik direncini arttırmak için kullanılırlar. Astar kat emayenin fırınlanmasından sonra üzerine uygulanan üst kat emayeler genelde opaklık derecelerine göre sınıflandırılırlar. (Kyri, 1976)

En çok kullanılan üst kat emayeler opak titan beyazlardır. Bu emayeler kendiliğinden, hiçbir boya katılmaksızın beyaz olarak kaplanan emayelerdir. Transparan emayeler, değirmende %2-5 arasında oksidik boya katılarak renklendirilen emayelerdir. Bunlarla koyu ve canlı renkler elde edilir. Yarı opak ya da yarı transparan emayeler de yine değirmende %1-5 arasında oksidik boya katılarak renklendirilen emayelerdir. Bunlarla da pastel renkler elde edilir. (Eppler ve Eppler, 2000)

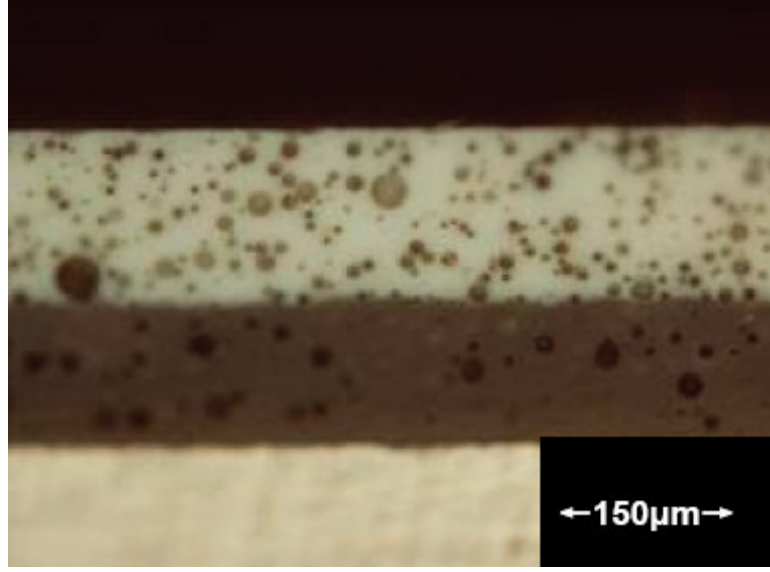
Titan beyazı üst kat emayeler, bazı durumlarda yetersiz kaplama güçlerinden dolayı sorun yaratabilirler. Çok ince kaplama kalınlığı, koyu renk astar kat emayeyi yeterince gizleyemez ve alttaki koyu renk fırınlanmanın sonunda tüm kaplama altında gözükür. Bu hatanın üç değişik sebebi olabilir. Birincisi, frit kompozisyonundaki yetersiz titanyum dioksit miktarıdır. İkincisi, hatalı değirmen formülü ve üçüncüsü de yanlış fırınlama koşulları olarak gösterilebilir. Bu sebeplerin tamamı emaye yüzeyinde yetersiz baloncuk yapısının oluşmasına sebep olur. (Onishi ve Tsai, 2008)

İçinde yetersiz miktarda kil bulunan bir frit karışımı ile oluşturulan titan beyazı üst kat emayenin, metale uygulandıktan sonraki kesit görüntüsü Şekil 2.6'de gösterilmiştir. Oluşan hava kabarcıklarının az miktarda olduğu görülmektedir.



Şekil 2.6 İçinde yetersiz miktarda kil bulunduran frit karışımı ile elde edilen üst kat emayenin kesit görüntüsü. (Onishi ve Tsai, 2008)

İçinde aşırı miktarda kil bulunan bir frit karışımı ile elde edilen titan beyazı üst kat emayenin, metale uygulandıktan sonraki kesit görüntüsü Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Oluşan hava kabarcıklarının çok fazla miktarda olduğu görülüyor.



Şekil 2.7 İçinde aşırı miktarda kil bulunduran frit karışımı ile elde edilen üst kat emayenin kesit görüntüsü. (Onishi ve Tsai, 2008)

İçinde az miktarda hava kabarcığı bulunduran üst kat emayelerde ışık, astar kat emaye tabakasını rahatlıkla geçerek metalin kendisine ulaşabilir. İçinde fazla miktarda hava kabarcığı olan üst kat emayelerde ise kaplama kalınlığı ne olursa olsun ışık, astar kat emayeye ulaşmadan geri yansır. Bundan dolayı emaye tabakasının içinde yeterli miktarda hava kabarcığının bulunması tercih edilir. (Onishi ve Tsai, 2008)

Yarı opak emayeler tek kat olarak üst kat emaye işlemi için yetersizdir. Bundan dolayı en az iki kat olarak uygulama yapılır. (Kyri, 1976)

Geçmişte opaklaştırma işlemi için zirkonyum ve antimon oksitler kullanılmıştır fakat şu anda opak emayeler için titanyum dioksit kullanılmaktadır. Çoğu durumda, tüm titanyum oksit, gerekli opaklaşmayı sağlamak için pişirme işlemi esnasında anataz ve rutile kristalleştirilen şeffaf frite ergitilir. ( Eppler ve Eppler, 2000)

Bazı emayeler kendinden renkli olarak üretilirler. Kendinden renkli emayeler de kobalt mavisi dışında pastel renklindedir. Kendinden renkli emayelerin rengi ilave boyalar katılarak biraz daha koyulaştırılabilir.

Majolikalar kendinden renkli transparan emayelerden en önemlisidir. Bunların istenen etkiyi verebilmesi için astar kat üzerine ara kat beyaz veya açık renkli bir emaye uygulaması yapılır. Ayrıca çok parlak emayeler olduklarından dolayı parlaklığın azalmaması için değirmen

katkıları diğer emayelerden oldukça farklıdır. En önemli farklılık, yüzdürücü olarak bilinen kilin ya hiç kullanılmaması ya da çok az kullanılmasıdır. Bu nedenle Majolika emayeler hazırlandıktan sonra bir gün içerisinde kullanılır. (Evcin, 2006)

Kullanım yerlerine göre diğer üst kat emayeler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sıcak su kazanlar için sıcak suya dayanıklı emayeler,
- Levhalar, işaretler ve ilanlar için havaya dayanıklı emayeler,
- Kimyasal aletler için yüksek asit dayanımlı emayeler,
- Pişirme ocakları için kendiliğinden temizlenebilen emayeler
- Yıkama bidonlarında kullanmak için sodalı su çözeltilisine dayanıklı emayeler,
- Yüksek sıcaklıklarda metallerin korozyona karşı korunması amaçlı yüksek sıcaklık emayeleri,
- Mutfak gereçleri, depolar, kaplar için asit dayanımı yüksek emayeler.

## 2.4 Emayeleme Yararları

Emayeleme faydaları aşağıda sıralanmıştır:

- Emayeleme ile metalin yüzeyinde korozyona karşı dirençli bir yüzey oluşturmak.
- Bakterilerin oluşumuna ve çoğalmasına imkân vermeyen bir yüzey oluşturmak,
- Zamanla renk değişimlerine maruz kalmayan bir yüzey oluşturmak,
- Uygulandığı metalik yüzeye pürüzsüz bir yüzey kazandırmak,
- Dekoratif ve estetik bir görünüm sağlayan yüzeyler oluşturmak,
- Toksik etki göstermeyen bir yüzey oluşturmak,
- Asit ve alkali gibi kimyasal etkilere karşı dirençli bir yüzey oluşturmak,
- Çizilmeye ve aşınmaya karşı sert bir yüzey oluşturmak,
- Organik boyalar gibi zamanla özelliğini kaybetmeyen bir yüzey oluşturmak,
- Isı değişikliğine ve aşınmaya karşı dirençli bir yüzey oluşturmak,
- Koku ve tat vermeyen hijyenik bir yüzey oluşturmak,

Bütün bunların yanında kimya endüstrisinde kullanılan cihazların reaktif olmaması istendiğinde emayeli yüzeylerin kullanılması oldukça önem kazanır. Ayrıca maden aramada kullanılan ekipmanların aşınmaya karşı dirençlerinin artırılması işlemi de emayeleme ile gerçekleştirilir.

## 2.5 Emaye Hazırlama ve Değirmen İşlemleri

Emaye, bilyeli değirmenlerde öğütülerek hazırlanmaktadır. Bilyeli değirmenler çelik gövdeli silindirlerdir ve bu silindirlerin içi çeşitli çaplarda bilyelerle doldurulmuştur. Çelik silindir eksenine etrafında döndürüldüğü zaman, bilyeler birbiri üzerine düşerek aradaki emaye granüllerini öğüterek ufaltırlar. Değirmenlerin içi aşındırılacak çeliğin emayeyi bozmasını engellemek amacıyla özel tuğlalar veya örgü taşları ile örülmüştür. (Eppler ve Eppler, 2000)

Değirmenlerin iç yüzeyi, sileks taşı, porselen, steatit, alüminalı seramik veya sinterlenmiş alümina ile örülüdür. Değirmende kullanılan bilyeler de yine aynı malzemelerden yapılmıştır. Örgü taşları ile bilyelerin aynı malzemeden olması gerekmektedir. Eğer farklı malzemeler kullanılırsa sert olan, yumuşak olanı aşındırıp kullanım ömrünü kısaltacaktır. Sanayide daha çok tercih edilen porselen örgü taşları ve porselen bilyelerdir. Değirmen taşı ve bilyelerin özellikleri Çizelge 2.2' de gösterilmiştir. (Eppler ve Eppler, 2000)

Çizelge 2.2 Değirmen taşı ve bilyelerin özellikleri. (Eppler ve Eppler, 2000)

	Porselen	Steatit	Alüminalı Seramik	Sinterlenmiş Alümina
Kimyasal Bileşim	SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgSiO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %55 SiO <sub>2</sub> %39	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %85 - 90
Yoğunluk (Kg/Lt)	2,4	2,6 - 2,75	2,7 - 2,75	3,4 - 3,55
MOHS Sertliği	6,7	7	8 - 9	9

Emaye friti, yzdrcler olmadan suda süspansiyon yapamaz. Frit partiküllerini su içinde askıda tutmak için friti uygun kil ve diğr kimyevi katkılar ile beraber değirmende ğtp, belirli bir incelik ve kıvama getirmek gerekir. (Emaye el kitabı, Ege Frit )

Değirmenlerin iyi bir performansla çalışabilmesi için bilye şarjının, değirmen devir hızının ve değirmenin doğru bir şekilde yüklenmiş olması çok önemlidir. Tipik bir emaye hazırlama değirmeni şekil 2.8’de gösterilmiştir.



şekil 2.8 Emaye hazırlamada kullanılan değirmenin görüntüsü.

### 2.5.1 Değirmen Hesapları

Değirmenin yaklaşık olarak % 55’i bilye ile doldurulur. Değirmende kullanılan bilyeler genellikle üç veya dört farklı boyutta seçilmeye zen gösterilir. Bu sayede boşlukları maksimum düzeyde kapatarak homojen bir ufaltma işlemi, istenen zaman zarfında yapılabilir. Değirmenin görünen hacminin % 55’i bilye ile doldurulduğunda, bilyeler arasında boşluklar kalır. Bu boşluklar da hesaba katıldığında değirmen i hacminin % 55’ nin % 60’ının bilye ile dolu olduğu ortaya çıkar ki bu oran da standart bir öğüterek ufaltma işlemi için yeterlidir. (2.6) eşitliği yardımıyla değirmen i hacminin 1/3’ bilye ile doldurulacağı görülebilir.

$$V_{\text{bilye}} = V_{\text{iç}} \times \% 55 \times \% 60 \quad (2.6)$$

$$V_{\text{bilye}} = V_{\text{iç}} \times \% 33$$

Değirmene konulan bilyelerin çapları değirmenin büyüklüğüne göre, 20mm ile 80mm arasında üç veya dört farklı boyutta seçilir. Eğer değirmenin içine aynı boyutta bilyelerden konulursa, toplam öğütme yüzeyi azalır ve öğütme zamanı çok uzun sürer. (2.7) eşitliği yardımıyla bilye ağırlığının hesaplanması için bilye hacmi ile bilye yoğunluğu çarpılır.

$$M_{\text{bilye}} = V_{\text{bilye}} \times d_{\text{bilye}} \quad (2.7)$$

Değirmen iç hacminin % 55'ini bilye ile doldurulduktan sonra sadece % 60'ının gerçek bilye olduğunu (2.6) eşitliği ile belirlemiştir. Sonuç olarak da değirmen iç hacminin % 33'ünün bilye ile dolu olduğu hesaplanmıştır. Bu durumda görünen bilye hacminin % 22'si hava boşluğu olduğu anlaşılır. Teorik olarak öğütülecek malzemenin, bu % 22'lik boşluğa doldurulması gerekmektedir. Emayenin öğütülmesi esnasında, bu % 22'lik boşluğun hacmi, emaye fritinin yığın yoğunluğu olan 1,7 ile çarpılarak öğütülecek frit miktarı belirlenir. (Kyri, 1976)

### 2.5.2 Değirmende Öğütülecek Malzeme Miktarının Belirlenmesi

Öğütme esnasında istenilen inceliğin normal bir süre zarfında elde edilmesi, değirmene yüklenen fritin ağırlığı ile ilgilidir. Fazla yüklenen frit miktarı, öğütme zamanının uzamasına neden olur. Eksik yüklenen frit miktarı ise bilye ve iç kaplamanın erken aşınmasına sebep olur. Bunun nedeni değirmen boş olacağından, bilyelerin birbiri ve değirmen porselen iç kaplaması ile fazla sürtünme meydana getirmesidir. Öğütülecek fritin miktarı değirmen iç hacmi ile 0,8 katsayısının çarpılmasıyla elde edilir. (2.8) eşitliği ile teorik olarak şarj edilecek frit miktarı hesaplanır. (Kyri, 1976)

$$\text{Frit Ağırlığı (kg)} = \frac{\text{Değirmen iç Hacmi} \times 0,8}{2} \quad (2.8)$$

### 2.5.3 Değirmen Devir Sayısının Belirlenmesi

Sağlıklı bir öğütme işleminin yapılabilmesi için değirmen devir sayısının doğru olması gerekmektedir. Öğütme işlemi, bilyelerin düşerek fritleri ezmesi ile yapıldığından dolayı değirmen hızı olması gerekenden düşük ise, o zaman bilyeler düşmeden, birbiri üzerinden kayar ve fritleri öğütemez. Buna karşın değirmen hızı çok yüksek ise, bu kez de bilyeler merkezkaç kuvvetinin etkisiyle değirmenin iç yan yüzeyinde dönerek sağlıklı öğütme yapamazlar. Bir değirmenin en uygun hızı 80-90 m/dk.'dır. Bunun anlamı, değirmen üzerindeki bir noktanın bir dakikada kat ettiği yolun 80 – 90 metre olduğudur.

Buna göre değirmenin devir sayısı  $N$  olmak üzere (2.9) eşitliği ile devir sayısı hesaplanabilir.

$$N = \frac{V}{3,14 \times D} \quad (2.9)$$

### 2.5.4 Değirmen Katkıları ve Görevleri

#### 2.5.4.1 Kil

Killer tane boyutu 0.02 mm den küçük ince taneli sedimanlar olup; toprağımsı, belirli miktarda su katıldığında plastikliği artan, alümina ve silis içeriği yüksek bir mineraldir. Genellikle belirli şartlar altında, feldspatların ayrışması veya volkanik kayaların çözünmesinden, değişmesinden meydana gelmiştir. Hiçbir zaman saf bir şekilde bulunmayan kilin içersinde alüminyum silikatlarla beraber, demir, magnezyum, potasyum, kalsiyum, sodyum, kuvars gibi mineraller bulunur. Bu mineraller kil olmayan malzemeyi yani

safsızlıkların oluşturmaktadırlar. Birçok kil mineralleri de ayrıca organik madde ve suda çözünebilen tuzları da içerebilmektedir. Kil oluşumunda ana kayaç, etkili olduğu kadar, taşıma, yıkama, kimyasal reaksiyonlar da etkili olmaktadır. (Malayoğlu ve Akar, 1995)

En önemli değirmen katkılarından biri olan kilin en işlevsel görevi yüzdürücülüktür. Kil partikülleri öğütme esnasında frit tanelerinin etrafını sararlar ve frit tanelerinin yüzmesini yani dibe çökmelerini sağlarlar. Böylelikle kil uygun öğütme ortamını yaratır ve öğütme zamanının kısalmasını sağlar.

Kil, ayrıca öğütme sonrası boşaltılan emayenin çökmesini geciktirir. Kilin diğer bir önemli görevi ise bağlayıcılıktır. Emaye kaplamasından sonra, emaye saca yapışmaya kadar sac ile emaye arasında bağlayıcılık görevi görür.

Fırınlama esnasında emaye içinde çözünen kilden dolayı hidrojen gazı açığa çıkar. Bu hidrojen gazının bir kısmı bünyeyi terk ederken bir kısmı da emaye tabakasının viskozitesinden dolayı bünyeyi terk edemez ve emayenin içinde kalır. Bu özellik astar emayeler için tipiktir ve hidrojen gazlarının oluşturduğu bu yapıya kabarcık yapısı adı verilir. Bu gaz kabarcıkları emayede pişirim sonrası moleküler hale gelerek hareketlilik kazanan ve sacdan kaynaklanan hidrojen gazlarının oluşturduğu balık pulu hatasını engeller. (Emaye el kitabı, Ege Frit)

Ancak mikroskop altında görülebilen bu kabarcık yapısı aynı zamanda emayenin saca yapışma derecesinin de göstergesidir. İyi pişmiş astarda kabarcıklar tane tane, gelişmiş ve homojen dağılmış iken az pişmiş astardaki kabarcıklar minik minik ve birbiri üstüne yığılmış haldedir. Çok pişmiş astarda ise kabarcıklar aşırı ısı alarak bünyeyi terk etmiştir. Buradaki kabarcıklar sayıca az ve hacimce daha büyüktür.

Kilin bu yararlarının yanında bazı olumsuz etkileri de vardır. Kil emayeyi matlaştırır, dolayısıyla majolik emayeler gibi parlaklığın önemli olduğu uygulamalarda kil yerine alternatif yüzdürücüler kullanılmalıdır. Ayrıca kilin fazlası emayenin kimyasal direncini de olumsuz yönde etkiler. Değirmene yüklenen aşırı miktardaki kil, emayenin değirmen taşlarına ve değirmen iç duvarlarına sıvanmasına ve viskozitenin aşırı derecede artmasına sebep olur. (Kyri, 1976)

### 2.5.4.2 Bentonit

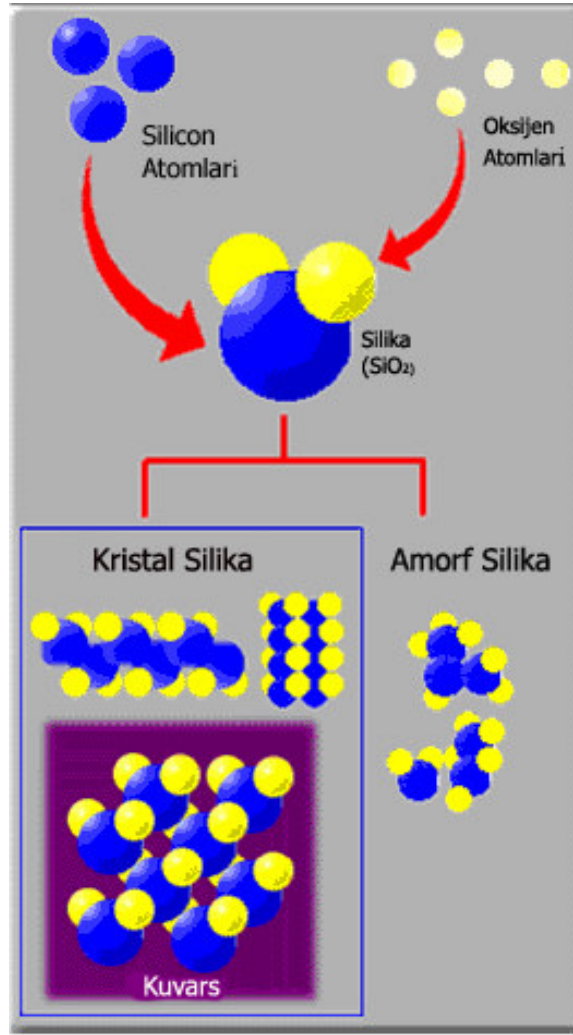
Bütün bentonitler Montmorillonit grubu kil minerallerindedir. Montmorillonit mineralleri üç tabakalı bir yapı gösterirler ve bu onların karakteristik özelliğidir. Tabakalar arasında su molekülleri ve değişebilen iyonlar yer alır. Bu tabakalar arasına su ve organik moleküller girerek yapının genişlemesine neden olurlar. Bu özellik killerin şişmesi olarak tanımlanırlar. Tabakalar arasındaki değişebilen iyonlar ve değişik empüritelerin varlığı kilin değişik karakteristik özelliklerini belirler. (Malayoğlu ve Akar, 1995)

Bentonitin temel görevi yüzdürücülüktür. Kilden beş kat daha etkilidir. Bisküvi yapısını sertleştirir ve yırtılmaları önler. Daha fazla parlaklık ve kimyasal direnç istendiği durumlarda kil ile birlikte kullanılır.

### 2.5.4.3 Kuvars

Yeryüzünün %25'ini kuvars bileşikleri oluşturur ve oksijenden sonra en çok rastlanan bileşiktir. Doğada kristal olarak dağ kristali, serbest halde kum, kayaç olarakta kuvarsit ve flint olarak bulunur. Şekil 2.9'da kuvars bileşiğinin oluşumu şematik olarak gösterilmiştir. (Toplan, 2005)

Emaye hammaddeleri arasında en yüksek oranda kullanılan hammadde kuvarstır. Kuvars asidik karakterli olduğu için kuvars oranı yükseldikçe camın ve emayenin asit mukavemeti de artmaktadır. Kuvars, astar emayelerde ısıya dayanımı ve pişme sınırlarını arttırmak, yanmayı önlemek ve mekanik direnci arttırmak için kullanılır. Ayrıca sahip olduğu kristal yapı sebebiyle emayenin pişmesi esnasında gaz çıkışını kolaylaştırarak iyi bir yüzey dağılımı sağlar. Özellikle sorunlu saçlarda değirmen reçetesine yüksek miktarlarda katmak fayda getirir. Çünkü kuvars emaye tabakası içinde baca yapısı oluşturarak saçtan gelen gazların bünyeyi terk etmelerini kolaylaştırır. Böylelikle balık pulu hatasını engellemede büyük rolü vardır. (Kyri, 1976)



Şekil 2.9 Kuvars bileşiminin oluşumu (Şematik). (Toplan, 2005)

Astar reçetelerinde normal olarak % 10 oranında kuvars kullanılır. En çok % 30'a kadar kullanılabilir. Kuvars refrakter bir malzeme olduğu için her % 1 ilavesi pişirme sıcaklığını 2°C artırır. Ancak fazla miktardaki kuvars matlık verir, az miktarda kuvars kullanılan emayelerin parlaklığı çok daha fazladır. (Ege Frit, 2000)

#### 2.5.4.4 Potasyum Feldspat

Astar emayelerde kullanılan refrakter bir maddedir. Balık pulu hatalarını ve yanmayı önler.

Potasyum feldspatın ekonomik değeri kimyasal bileşimine ve bünyesinde bulunan kuvars, iotit, muskovit ve turmalin mineralleri ile sodyum ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) oranına göre değişiklik göstermektedir. Ayrıca yapısında bulundurduğu iki özelliği, potasyum feldspatın değerini artırmaktadır. Toz halinde öğütülüp emaye üretiminde kullanıldığında, daha düşük sıcaklıklarda eriyerek seramik bünyede gözeneksiz, camsı bir yapı oluşmasını sağlar. İkinci olarak da yine bünyesinde bulunan alimüna ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) içeriği sebebiyle darbeye, kıvrılmaya ve ani ısı değişimlerine karşı malzemenin direncini arttırmaktadır. (Bates, 1969).

#### 2.5.5 Değirmenin Şarj Edilmesi

Değirmen şarjına başlanması için tüm malzemelerin aynı anda ve belirlenmiş bir alanda hazırlanması çok önemlidir. Tüm tartı işlemleri bitmeden şarj işlemine başlanmamalıdır. Diğer bir önemli konu ise emaye malzemelerinin kesinlikle birbirlerinden ayrı yerlerde stok edilmesidir. Aynı alanda yapılan stoklamalar sonucunda değirmene yanlış malzeme şarj edilebilir. Değirmenin doldurulması aşağıdaki sırayla gerçekleştirilir: (Kyri, 1976)

- 1 - Frit ve diğer tüm ilaveler dikkatle tartılıp, ayrı ayrı hazırlanır,
- 2 - Şarj edilecek frit toplamının yarısı değirmene ilave edilir,
- 3 - Kil ve kuvars ilave edilir,
- 4 - Kimyevi tuzlar ve oksit eklenir,
- 5 - Fritin geriye kalan kısmı konulur,
- 6 - Su ilave edilir.

Malzemelerin değirmene yüklendikten sonra değirmen ağzı, değirmen kapak taşı ve contası temizlenir. Daha sonra değirmen ağzı sıkıca kapatılarak değirmen çalıştırılır. Çalışmaya başlama zamanı kaydedilir ve aynı zamanda tahmini durdurma saati belirtilir. Eğer değirmen üzerinde otomatik durdurma mekanizması varsa çalıştırmadan önce ayarlanarak istenen devirde dönme işlemi sağlanır ve değirmen kendiliğinden durur.

Boşaltma esnasında, astar emayeler 40 mesh, üst kat emayeler de 50 mesh elekten geçirilir. Aynı zamanda emaye, manyetik seperatör de denilen mıknatıslı bir elekten daha geçirilir. Böylece elek üzerinde porselen parçası gibi iri taneler kalır, mıknatıs üzerinde de gelmesi muhtemel demir zerrecikleri tutulur.

Değirmen boşaltıldıktan sonra emayenin 24 saat dinlendirilmesi gerekmektedir. Bu sayede emaye normal sıcaklık ve kıvama gelir. Dinlendirme periyodunun sonlarına doğru, test plakaları kullanarak emayenin ilk testlerinin yapılır. Böylelikle gerek saçtan gelebilecek hatalar gerekse diğer hatalar, emaye işletmeye alınmadan görülmüş ve önlemi alınmış olur. Öğütülen emaye, içinde karıştırıcıların olduğu tanklarda dinlendirilecekse, karıştırma işleminin sürekli yapılmaması gerekir. Emaye sürekli olarak karıştırılırsa kıvamı bozulur ve içinde hava kalır. Dinlendirme tanklarında her yarım saat arayla beş dakika karıştırmak yeterlidir. (Kyri, 1976)

Dinlendirme işlemi 20°C ile 25°C sıcaklık arasında yapılmalıdır. Düşük sıcaklıklarda emaye, içindeki kimyasal tuzların etkisi ve kristalleşmeleri sebebiyle zayıflar. Normal oda sıcaklığındaki emayenin işletmeye verilmeden önce kıvamlılığı ve saç yüzeyine tutunma kuvveti (set-up) ayarı yapılır. Kıvam ayarı için önce emayenin özgül ağırlığı ayarlanır.

Kıvamlandırma tankından sonra emaye tekrar elekten ve mıknatıstan geçirilerek daldırma ve pistole tankına boşaltılır. Özgül ağırlık ayarı için boşaltılan emayenin kaç litre olduğunun bilinmesi gerekmektedir. (2.10) eşitliği ile özgül ağırlık ayarlamasında gereken su miktarı hesaplanabilir.

$$L = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - 1} \times C \quad (2.10)$$

L = Gereken su miktarı

P<sub>1</sub> = Kontrol sonucu bulunan özgül ağırlık

P<sub>2</sub> = Olması gereken özgül ağırlık

C = Tanka konulan emaye miktarı

Dinlendirilmiş emaye üzerinde biriken suyun mecbur kalınmadıkça temizlenmemesi gerekmektedir. Bu su içinde, emayeye değirmende ilave edilen kimyasal katkı maddeleri çözülmüş biçimde bulunur. Eğer bu su temizlenirse emayenin saç yüzeyine tutunma kuvvetinde azalma olur. Emaye, stok tankından işletmeye verilmek üzere akıtılırken tekrar elekten ve manyetik seperatörden geçirilmesi gerekir. Böylece stok ve dinlenme esnasında olabilecek pas ve demir kirlenmelerinden arındırılmış olur. (Ege Frit, 2000)

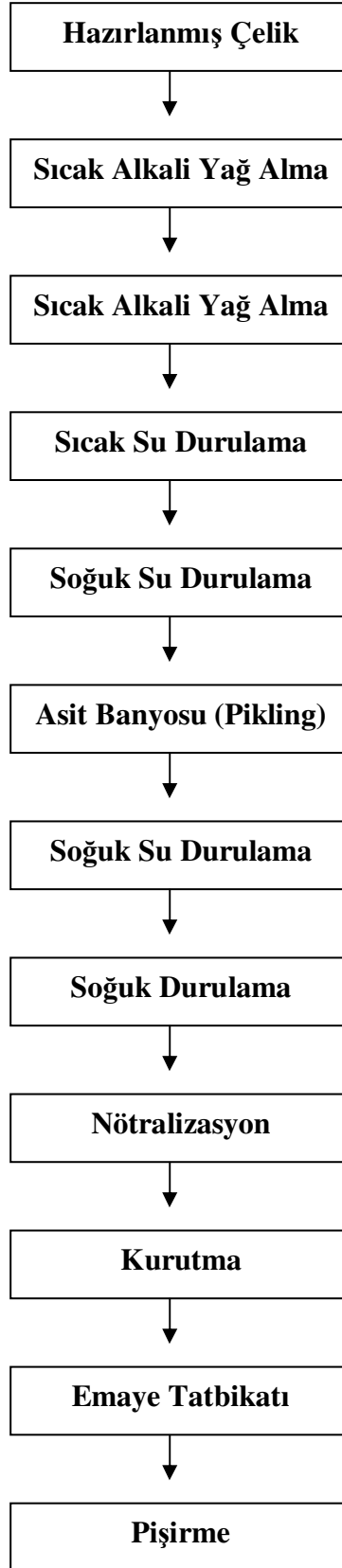
Muhtelif bilyeli değirmenlerin özellikleri Çizelge 2.3' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 Muhtelif Bilyeli Değirmenlerin Özellikleri. (Ege Frit, 2000)

Değirmen Dış Çapı (cm)	65	80	90	100	120	130	140
Değirmen Dış Uzunluğu (cm)	55	75	80	90	100	114	120
Toplam Öğütme Hacmi (Lt)	100	200	300	400	700	1000	1200
Frit Öğütme Kapasitesi (kg)	40	80	120	160	280	400	480
Sulu Emaye Kapasitesi (kg)	65	130	200	260	460	650	800
Porselen Bilye Şarjı (kg)	80	160	240	320	560	800	960
Değirmen Devri (Devir/Dk)	55	43	34	31	26	25	24
Motor Gücü (Hp)	1	2	2	3	5	7,5	7,5
Değirmen Astar Kalınlığı (cm)	5	7	7	7	7	7	7

## 2.6. Emayeleme Prosesi

Emayeleme işlemi, emayelenecek metalin banyolarda temizlenmesiyle başlar, emayenin uygulanmasıyla devam eder ve kurutma işlemi ile sona erer. Çeliklere uygulanan emayeleme işleminin genel akış şeması şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Çeliklere uygulanan emayeleme işleminin genel akış şeması

### 2.6.1. Metalin Hazırlanması ve Banyolar

Emayenin uygulanmasından önce, emaye uygulanacak metalin hazırlanması gerekmektedir. Çeşitli temizleme banyolarından geçirilen metale daha sonra emaye uygulanır. Kaliteli bir emaye elde etmek için kaplanacak yüzeylerin temizliği çok önemlidir. Emayelemede kullanılan saçlar genelde soğuk çekilerek hazırlanmışlardır. Bunun yanında az da olsa sıcak çekilmiş saçlar da kullanılır. Soğuk çekme saçların üretimleri sırasında yüzeylerine paslanmadan korunmaları için anti-korozyon etkili koruma yağı tabakası uygulanır. Gene soğuk çekme işleminde çekme yağları da metalin yüzeyinde kullanılmaktadır.

Koruma yağları genellikle bitkisel ve organik bileşimli, çekme yağları ise madensel bileşimlidir. Tüm bu şekil verme işlemlerinden sonra sacın yüzeyinde koruma yağları, çekme yağları ve metal parçacıkları bulunur. Tüm bu istenmeyen maddelerin temizlenmesi için iyi bir banyolama işlemi gerekir. (Kyri, 1976)

#### 2.6.1.1 Alkali Yağ Alma (Degreasing)

Alkali yağ alma banyolarının amacı, çeliğin yüzeyinde daha önceki işlemlerden kalan tüm yağların ve pisliklerin temizlenmesidir. Alkali yağ alma işlemi yüzey temizleme işlemleri içinde en önemli olanıdır ve bundan dolayı doğru bir şekilde uygulanmalıdır. [2]

Bu banyolarda kullanılan yağ maddeleri genel olarak; sodyum meta silikat ( $\text{NaSiO}_3$ ), Tri sodyum fosfat ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ), sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), sodyum hidroksit ( $\text{NaOH}$ ) ve organik ıslatıcılardan oluşan bir karışımdır. Sıcak alkali yağ alma banyosunda bazı yağlar sodyum hidroksit ve alkalilerle sabunlaşmakta, diğer bir kısım yağlar ise alkalilerle ayrılmaktadır.

Alkali yağ alma banyoları, uygulanacak prosese göre  $60^\circ\text{C}$  ile  $90^\circ\text{C}$  arasında sıcaklığa sahiptir ve genelde  $85^\circ\text{C}$  ile  $90^\circ\text{C}$  arasında banyolama yapılır. Daldırma zamanı 10 dk'dır. Metalin yüzeyi banyodan çıktıktan sonra kontrol edilir, tam ıslanmış olarak bir görüntü yok ve yıkama suyu dalgalı görülürse yağ gidermenin tam yapılamadığı anlaşılır. (Kyri, 1976)

### 2.6.1.2 Sıcak Su Durulama

Sıcak alkali yağ banyolarından sonra parçalar, yüzeylerinde bulunabilecek banyo suyunun giderilmesi için 60°C - 70°C' deki durulama suyunda 3 ile 5 dk arasında bekletilir. Alkali banyosundan sonra direkt olarak soğuk suda durulama yapıldığı takdirde metalin üzerindeki sabunlaşmış yağlar yüzeyden ayrılmadan donar ve emayeleme işleminde fırında gaz oluşumuna sebep olarak yüzey hataları meydana getirir. Banyonun sıcak suyu her gün değiştirilmelidir.

### 2.6.1.3 Soğuk Su Durulama

Sıcak su durulamadan çıkan parçalar, soğuk su yıkama tankında 3 dk ile 5 dk arasında çalkalanarak durulanır. Banyoda kullanılan soğuk su devamlı üstten akışkan olmalıdır.

### 2.6.1.4 Asit Banyosu (Pickling)

Asit banyolarının amacı çelik malzemenin yüzeyinin düzgün bir şekilde aşındırılmasını sağlamaktır. Böylelikle aşındırılmış haldeki pürüzlü yüzeye emayenin iyice yapışması sağlanmış olur.

Asit banyosu iki değişik bileşikle uygulanabilir. Zaman olarak daha kısa bir sürede, aktif ve ucuz bir maliyet ile isteniyor ise sülfürik asit ( $H_2SO_4$ ), soğuk çalışma mecburiyeti var ise hidroklorik asit (HCl) tercih edilir. (Kyri, 1976)

Yüzey aşındırma işlemi özellikle direk uygulanan emayeler için çok önemlidir. Direk emayeleme işleminde kesin olarak sülfürik asit kullanılır. Astar kat ve üst kat emayelerin metalin yüzeyine tam nüfuziyeti için saç yüzeyinden 5-10 gr/m<sup>2</sup> demir ayrılması gerekir. Direkt emayelemede ise iyi bir yapışma için 50 gr/m<sup>2</sup> demir ayrılması gerekmektedir. Bunun yanında aynı miktardaki çelik plakanın asit banyosu işleminde, aynı oranda demir kaybının sağlanması için gerekli olan hidroklorik asit kullanımını sülfürik asit kullanımından yaklaşık %50 oranında daha maliyetlidir.

Çizelge 2.4'te HCl ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile yapılan banyolama işleminden sonra sac yüzeyinden ayrılan demir miktarları gösterilmiştir. Çizelge 2.5'de HCl ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile yapılan banyoların karşılaştırmalı tablosu gösterilmektedir. (Kyri, 1976)

Çizelge 2.4 HCl ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile yapılan banyolama işleminden sonra sac yüzeyinden ayrılan demir miktarları. (Ege Frit, 2000)

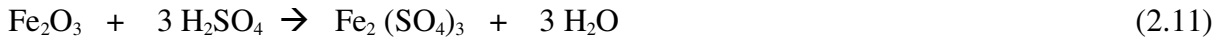
Asit	Banyo Zamanı (dk)	Sıcaklık (°C)	Demir Ayrılması (gr/m <sup>2</sup> )
HCl %15	3	25	2,5
HCl %15	6	25	4
HCl %15	9	25	5,3
HCl %20	3	25	2,8
HCl %20	6	25	7,8
HCl %20	9	25	15
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> % 9	6	75	71,3

Çizelge 2.5 HCl ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile yapılan banyoların karşılaştırmalı tablosu (Kyri, 1976)

	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl
Banyolama Süresi (dk)	6-10	15-40
Sıcaklık Aralığı (°C)	60 - 80	15 - 20
Banyo Tankının Malzemesi	Özel Plastikler Kauçuk Kaplanmış Çelik Seramik	Tahta Taş
Buhar Basıncı	Yok	Yok
Banyo Odasındaki Çelik Konstrüksiyonun Korozyonu	Yok	Çok Fazla
Isıtma	Buhar ile	Oda Sıcaklığı

#### 2.6.1.4.1 Sulfürik Asit ile Yapılan Asit Banyosu

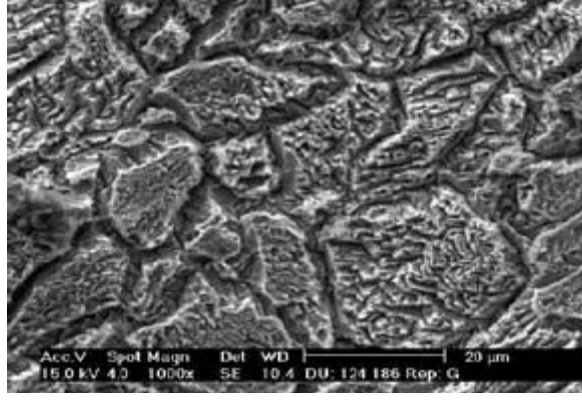
Sulfürik asit ile yapılan banyolamada banyo sıcaklığı 65 °C' nin altına düşmemelidir çünkü bu sıcaklığın altında asidin etkisi azalmaktadır. Banyo esnasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar olan pasın çözünmesi eşitlik 2.11'de, kaynakların çözünmesi eşitlik 2.12'de ve demirin çözünmesi eşitlik 2.13' te gösterilmiştir.



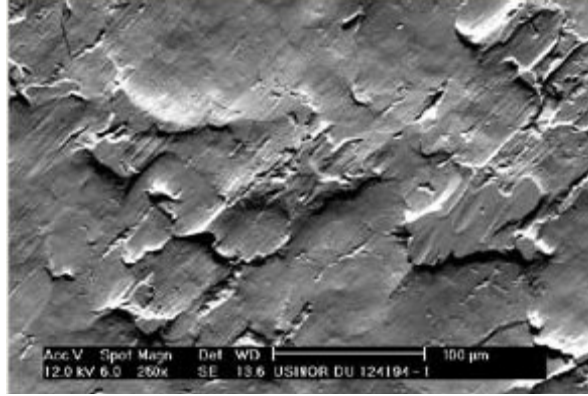
Çözünen bu demirler asit banyosunun demir konsantrasyonunu devamlı olarak arttırır. Önemli olan banyodaki demir miktarının %5'i geçmemesidir. Günlük yapılan kontroller sonucunda banyoda fazla miktarda demire rastlanır ise banyo solüsyonu yenilenir. Banyonun yenilenmemesi durumunda emayenin yüzeyinde bakır başı hatası olarak nitelendirilen kırmızı kahverengi leke ve noktacıklar meydana gelir.

Sulfürik asit çözeltisi hazırlanırken öncelikle tank soğuk suyla yarıya kadar doldurulur ve belirlenmiş ticari bir konsantrasyona sahip sulfürik asit ilave edilir. Hiçbir zaman asidin içine su ilave edilmez. Asit, tanka boşaltılırken solüsyon belirli aralıklarla karıştırılır. Su ve asit karışımı hemen ısınır. Daha sonra tank istenilen seviyeye kadar su ile doldurulur. Banyonun içerisindeki asit çözeltisi %6 ile %8 arasında, banyonun sıcaklığı da 65°C ile 75°C arasında olmalıdır. (Kyri, 1976)

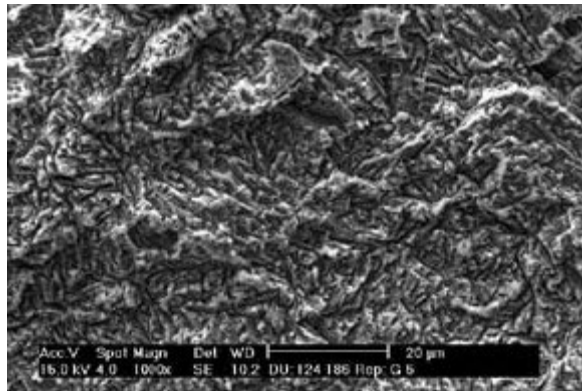
Şekil 2.11'de normal bir sulfürik asit banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü, şekil 2.12'de yetersiz bir sulfürik asit banyosu banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü ve şekil 2.13'de aşırı bir sulfürik asit banyosu banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü gösterilmektedir. [2]



Şekil 2.11 Normal bir sülfürik asit banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü [2]



Şekil 2.12 Yetersiz bir sülfürik asit banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü [2]



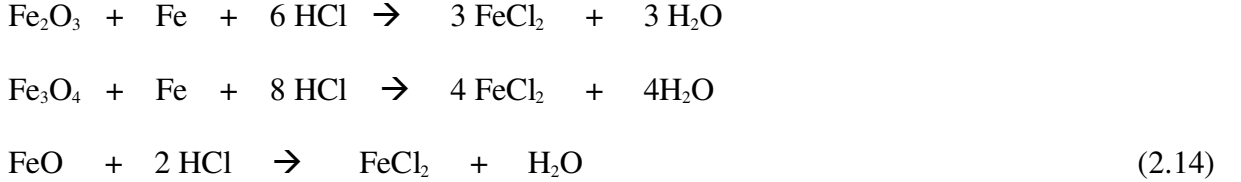
Şekil 2.13 Aşırı bir sülfürik asit banyosundan sonra çelik yüzeyinin görüntüsü [2]

#### 2.6.1.4.2 Hidroklorik Asit ile Yapılan Asit Banyosu

Hidroklorik asit ile yapılan banyolamalar eski bir yöntem olduğu içine günümüzde sadece eski işletmelerde kullanılmaktadır. Pahalı olduğundan dolayı tam saflıktaki hidroklorik asit kullanılmaz. Banyolama esnasında oda sıcaklığındaki ısı yeterli olur fakat banyolama zamanı uzun olmaktadır.

Banyo hazırlanırken %30'luk hidroklorik asit çözeltisi aynı miktardaki soğuk su ile karıştırılır. Tank malzemesi seramik veya tahta olabilir. Banyolama süresi başlangıçta 10 dk olarak başlar fakat çözeltinin içindeki demir miktarı arttıkça bu süre 50 dk' ya kadar çıkarılır. Çözeltinin içerisindeki demir miktarı ve asit konsantrasyonu günlük olarak test edilir. (Kyri, 1976)

Hidroklorik asidin en belirgin dezavantajlarından birisi de çabuk uçuculuğu ve gaz haline gelmesidir. Bu özelliği sülfürik aside nazaran çok fazladır. Demir oksitleri hidroklorik asit içerisinde çözüldüğü zaman, demir tuzu ve su oluşur. Eşitlik 2.14'de bu reaksiyonların oluşum sırası gösterilmiştir. (Robson, 1993)



Hidroklorik asit çelikle de reaksiyona girer. Bu reaksiyon eşitlik 2.15'de gösterilmiştir.



Banyolama esnasında çeliğin maruz kaldığı asit saldırısını önlemek veya azaltmak için banyo solüsyonuna bir inhibitör ilave edilir. Bu inhibitör, öncelikli olarak demir oksitlerin çelik yüzeyiyle reaksiyona girmesini sağlar.

Banyo işleminin çelik üzerindeki etkisinin oranı değişkenlere bağlıdır. Bunlar; çeliğin yapısını oluşturan bileşikler, oksitlerin yapışma türleri, asit konsantrasyonu, çözelti içindeki klor konsantrasyonu, banyonun sıcaklığı, karıştırma, parçanın daldırılma zamanı ve inhibitörlerin varlığıdır. (Robson, 1993)

### 2.6.1.5 Soğuk Su Durulama

Asit banyosundan sonra metalin yüzeyinde kalabilecek asidik çözeltinin metalin yüzeyinden temizlenmesi ve banyodan sonra metalin pürüzlü yüzeylerinde kalabilecek demir tozlarının temizlenmesi için soğuk durulama işlemi yapılır. (Kyri, 1976)

Soğuk su durulamada arka arkaya iki banyolama yapılır. Birinci tankta uygulanan durulamanın özellikleri çizelge 2.6'da, ikinci tankta uygulanan durulamanın özellikleri çizelge 2.7'de gösterilmiştir. [2]

Çizelge 2.6 Birinci soğuk su durulamanın özellikleri.[2]

Ph Derecesi	2,5 ile 3,1 arasında
Sıcaklık (°C)	30 - 35
Daldırma Süresi (dk)	7

Çizelge 2.7 İkinci soğuk su durulamanın özellikleri. [2]

Ph Derecesi	3,5 ile 5 arasında
Sıcaklık (°C)	25
Daldırma Süresi (dk)	7

### 2.6.1.6 Nötralizasyon

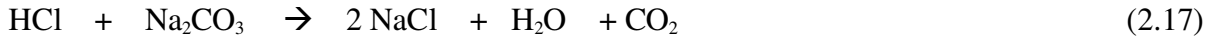
Asit banyosundan ve soğuk yıkama banyolarından geçen parçalar 75°C ile 80°C arasındaki sıcaklığa sahip soda-boraks nötralizasyon banyosuna alınır.

Metalin yüzeyinde asit banyosundan kalan asitler, durulama işlemlerine rağmen metalin yüzeyinde kalabilirler. Bu sebepten dolayı yüzeyde kalan artık asitlerin nötr hale getirilmesi gerekmektedir. (Kyri, 1976)

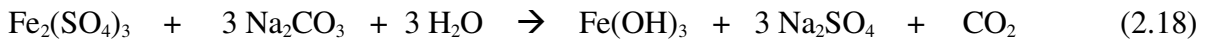
Nötralizasyon işleminin uygulanma süresi 6 dk ile 8 dk arasındadır. Banyonun ph derecesi ise 10,5 ile 11,5 arasında olmalıdır. [2]

Nötralizasyon işlemi sırasında metal yüzeyinde meydana gelen reaksiyonlar sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

- Sülfürik asit ile gerçekleştirilmiş asit banyosundan sonra metalin yüzeyinde kalan artık asitlerin nötralizasyonu eşitlik 2.16'da, hidroklorik asit ile gerçekleştirilmiş asit banyosundan sonra metalin yüzeyinde kalan artık asitlerin nötralizasyonu eşitlik 2.17'de gösterilmiştir.



- Asit banyosunda saç yüzeylerinde meydana gelen demir tuzlarının demir hidroksit olarak çöktürüp ayrılması eşitlik 2.18'de gösterilmiştir.



- Asit banyosundan sonra çok aktif hale gelen metal yüzeylerinin koruyucu bir soda boraks filmi ile kaplanarak daha sonraki işlemlerde paslanmasının önlenmesi.

Nötralizasyon banyolarına pas inhibitörü ve koruyucu film kuvvetlendiricisi olarak %0,3 oranında sodyum nitrit ilavesi yapılması yeterlidir. (Kyri, 1976) Tipik bir metal hazırlama banyo tesisi şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14 Banyolama tesisinin görüntüsü.

#### 2.6.1.7 Kurutma

Nötralizasyon banyosundan çıkan parçalar kurutma bölümüne alınır ve yüzeylerine hava üflenerek kurutulur. Kurutmanın amacı emayenin üzerinde biran önce pasa karşı koruyucu filmin oluşmasını sağlamaktır. (Kyri, 1976)

## **2.6.2. Emayenin Uygulanması**

Emayenin uygulanması işlemi iki değişik yöntem ile yapılmaktadır. Bunlar, yaş emayeleme ve toz emayeleme (elektrostatik) yöntemleridir. Yaş emayeleme kendi içinde daldırma ve püskürtme yöntemleri olarak ikiye ayrılır.

### **2.6.2.1. Yaş Emayeleme**

#### **2.6.2.1.1. Daldırma Yöntemi ile Emayeleme**

Daldırma yönteminde emayelenecek parça süspansiyon haldeki emayenin içine daldırılıp çıkarılır ve kurumaya bırakılır. Karışımdaki katkıları sayesinde ayarlanan kıvama bağlı olarak metalin yüzeyine bir miktar süspansiyon yapışır. Kurumaya bırakılan parça son olarak fırınlanır.

En uygun daldırma sıcaklığı 17-22°C arasındadır. Bu sıcaklığın yüksek tutulması durumunda balık pulları meydana gelebilir. Çok soğuk emaye kolayca çöker ve daldırma esnasında bulutlanmalara yol açar. Pişme esnasında da sertliğin artmasına ve yüzey parlaklığının azalmasına neden olur. (Ay, 2000)

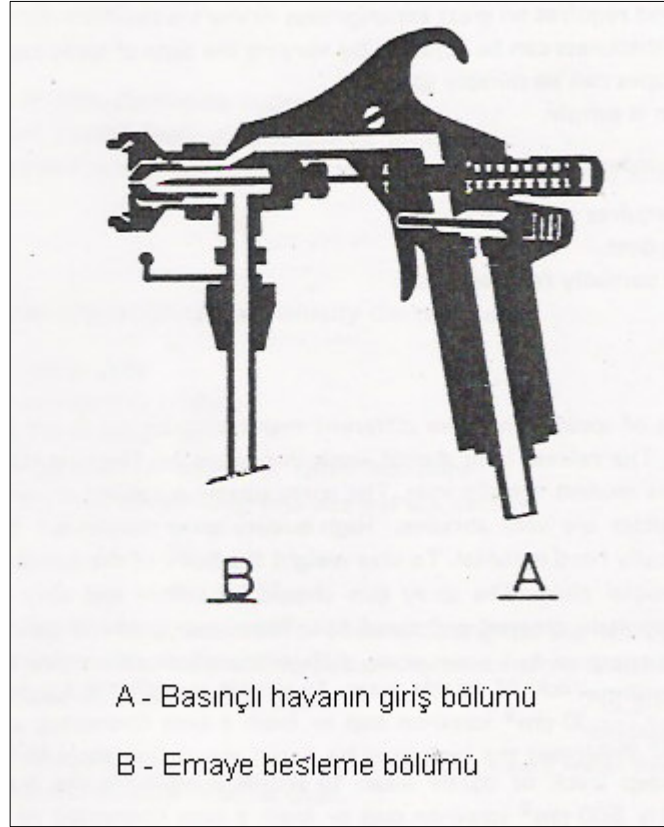
Daldırma yönteminin tek avantajı emaye kaybının yok denecek kadar az olmasıdır. Fakat ön ve arka yüzeylerin aynı kalınlıkta emaye ile kaplanmak zorunda olması, emayenin akış yönünde izler olması ve kaplama kalınlığının akış yönü boyunca değişmesi en önemli dezavantajlarıdır. Bu sebeplerden dolayı daldırma yöntemi ile emayelemede verim düşüktür ve kaplama kalınlığının ayarlanması zordur.

#### **2.6.2.1.2 Püskürtme Yöntemi ile Emayeleme**

Püskürtme yönteminde ise atomize hale getirilmiş emaye çözeltisi çok ince damlacıklar halinde, basınçlı hava yardımı ile emayelenecek parça üzerine püskürtülür. Püskürtülen

damlacık halindeki emaye, metal yüzeyine çarptığı zaman burada ince bir film tabakası oluşturur ve yüzeye yapışır. Püskürtme yöntemi, pistole tezgâhında elle veya kapalı kabinlerde robotlar yardımıyla yapılır.

Püskürtme sistemi, bir püskürtme kabini veya odasından, bir kompresörden, bir sprej tabancasından (pistole) ve bir sıvı emaye deposundan oluşur. Kompresörün görevi basınçlı havayı sağlamaktır. Sprej tabancasının iki önemli görevi vardır. Birincisi, basınçlı havanın uygun bir şekilde tabancaya girmesini sağlamak, ikincisi de bu basınçlı havanın yardımı ile emaye çözeltisini atomize hale getirmektir. Şekil 2.15’de bir sprej tabancasının kesit görüntüsü gösterilmektedir. Şekil 2.16’da sprej tabancası gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Bir sprej tabancasının kesit görüntüsü (Kyri, 1976)



Şekil 2.17 Sprey tabancası (Pistole)

İdeal bir sprey tabancası aşağıdaki özelliklere sahiptir;

Meme deliği	:	1,8 – 2,4 mm
Püskürtme Basıncı	:	2,8 – 3,5 atm
Emaye Debisi	:	36 – 48 Lt/saat
Hava Tüketimi	:	30 – 35 m <sup>3</sup> / saat
Emayelenecek parçalara optimum uzaklık	:	30 – 50 cm

Püskürtme yönteminde genellikle emayenin % 33'ü metalin yüzeyine yapışır, % 59'u ise kabinde kalır. Geri kalanın % 7'lik kısmı emme donanımının içinde kalmakta % 1'i ise tamamen kaybolmaktadır. Bu durumda emayenin yaklaşık olarak % 66'sı kullanılamamaktadır. Bu kütlenin yeniden kazanılabilmesi ve işletmenin hijyenik nedenleri ile püskürtme kabini içine vantilatörlü bir emme donanımı yapılır. (Kyri, 1976)

Sürekli üretim tiplerinde de otomatik püskürtme yöntemi uygulanır. Otomatik püskürtme yöntemi üç veya dört tabancadan meydana gelen bir sistem ile yapılır. Parçalar konveyör ile püskürtme sisteminin önünden geçerler ve hiç el değmeden kurutmaya girerler. Kurutma mümkün olduğu kadar çabuk yapılmalı ve sıcaklığı 70 °C' yi aşmamalıdır. (Ay, 2000)

Püskürtme işleminin avantajları;

- Elde edilen emaye kalınlığının, püskürtme zamanını değiştirerek ayarlanabilir olması,
- Çok karmaşık şekilli parçaların bile bu yöntemle emayelenebilir olması,
- Sonradan tamir yapılmasına olanak tanınması ve arka yüzler kaplanmadan ya da ince bir tabakadan sonra uygulamanın bırakılabilmesidir. Bu da balık pulu arazının önlenmesi için önemli bir faktördür.

Yöntemin dezavantajları ise kullanılacak ekipmanların yüksek maliyette olması ve emayeleme esnasında havada bulunan tozların emayeye tutunarak parça üzerine yapışmasıdır.

Püskürtme yöntemi özellikle tek tarafın emaye ile kaplanacağı durumlarda uygulanır. Yiyecek kapları, soba boruları, ocak tepsileri gibi çift tarafın emaye kaplanacağı eşyaların dışındaki ürünlerin çoğu püskürtme yöntemi ile emayelenir.

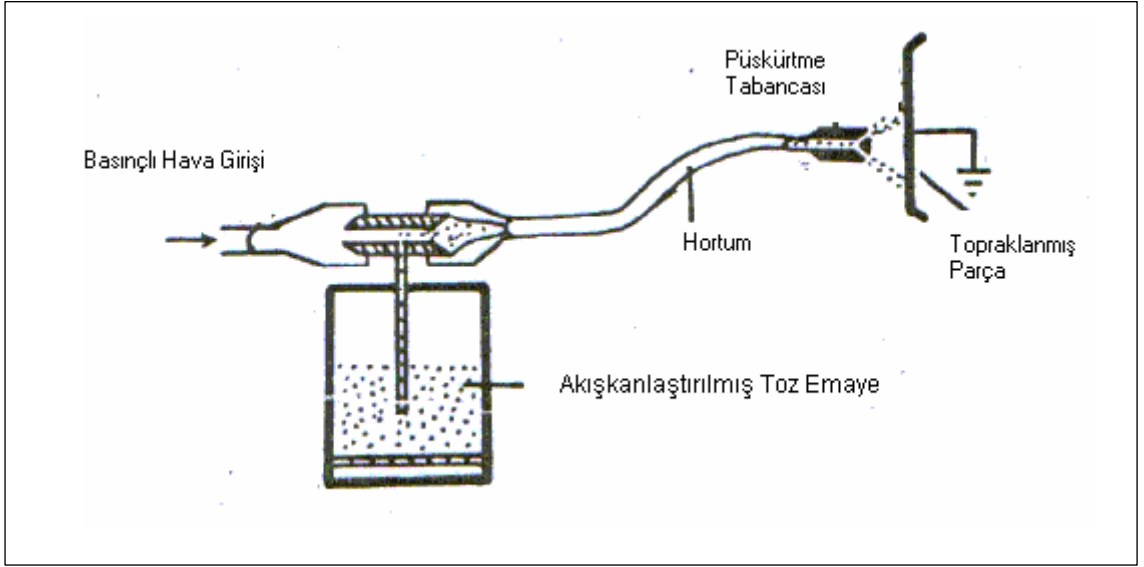
### **2.6.2.2 Elektrostatik (Toz) Emayeleme**

Emayelemeye hazır hale gelen parçalar ilk olarak elektrostatik toz astar emaye ile emayelenir. Bu emayenin kalınlığı 20 ile 30 mikron arasındadır. Daha sonra yine elektrostatik olarak üst kat toz emaye ile 90 ile 100 mikron arasında bir kalınlıkta emayelenir. Daha sonra 830°C' de uygun bir fırınlama süresinde fırınlanır.

Öncelikle toz emaye kabininden, hava akımı ile elektrostatik püskürtme tabancasına iletilen toz emaye parçacıkları elektrik yükü kazanırlar ve ters elektrik kutbu bağlanan malzemeye yapışırlar. (Smothers, 1980)

Elektrostatik toz emaye kaplamasında kullanılan tabancanın uç kısmında altlı üstlü, sağlı sollu elektrotlar bulunur. Toz partikülleri bu elektrotların arasından geçerken elektrik yükü ile yüklenirler. Tabancalar, homojen mikronize partikül büyüklüğü dağılımlı ve yüksek yoğunluğa sahip toz emayelerin kaplanacak olması ve parça üzerine yapışma veriminin yüksek olması için çok düşük amperde ve 100 KV gibi yüksek voltajlarda çalışan özelliğe sahiptirler. Emaye tozları çok aşındırıcı özelliğe sahip olduğundan dolayı, tabancanın toz partiküllerle temas eden yüzeyleri seramikten yapılmıştır.

Tabancaların çoğu yüksek bir boya çıkışı sağlayabilecek şekilde tasarlanmışlardır. Ancak püskürtülen emaye miktarı dengesiz olarak arttıkça parça üzerine tutunma verimi düşer ve kabine saçılan emaye oranı artar. (Akzo, 2005) Toz emaye deposunda toz emaye akışkan hale getirilir. Toz emaye deposunun çalışma şekli 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18 Toz emaye deposunun çalışma şekli. (Andrews, 1961)

Toz emaye partikülleri elektrik yükü ile yüz bin volta kadar yüklenebilir. Uygulanacak voltajın ayarı, emaye partiküllerinin boyut dağılımı ve kaplama kalınlığına göre değişir. Toz partikülleri ne kadar küçük olursa, bu partiküllerin elektrik yükü ile yüklenebilmeleri de o kadar kolay olur ve metalin yüzeyine yapışımı da artar. (Andrews, 1961)

### 2.6.3. Pişirme

Emayeleme işleminin en son aşaması pişirmedir. Emaye, pişirme sonunda poroz bisküvi, sıkıca yapışmış, düz ve cam gibi sert bir yüzey haline gelir. Pişirme sıcaklığı ve süresi her emaye için özeldir ve mutlaka uyulması gerekir. Emayenin pişirilmesi esnasında bir dizi kimyasal ve fiziksel olaylar meydana gelir. Bu nedenle pişirme koşullarında bir sapma olursa, emaye özelliklerinde de azalma olur. Bu durum, normalin altında veya üstündeki sıcaklık veya sürelerde meydana gelebilir.

Pişirme esnasında ve pişirmeden sonra soğutma aşamasında emayenin çelik yüzeyiyle girdiği reaksiyonlar dört değişik bölüme ayrılır.

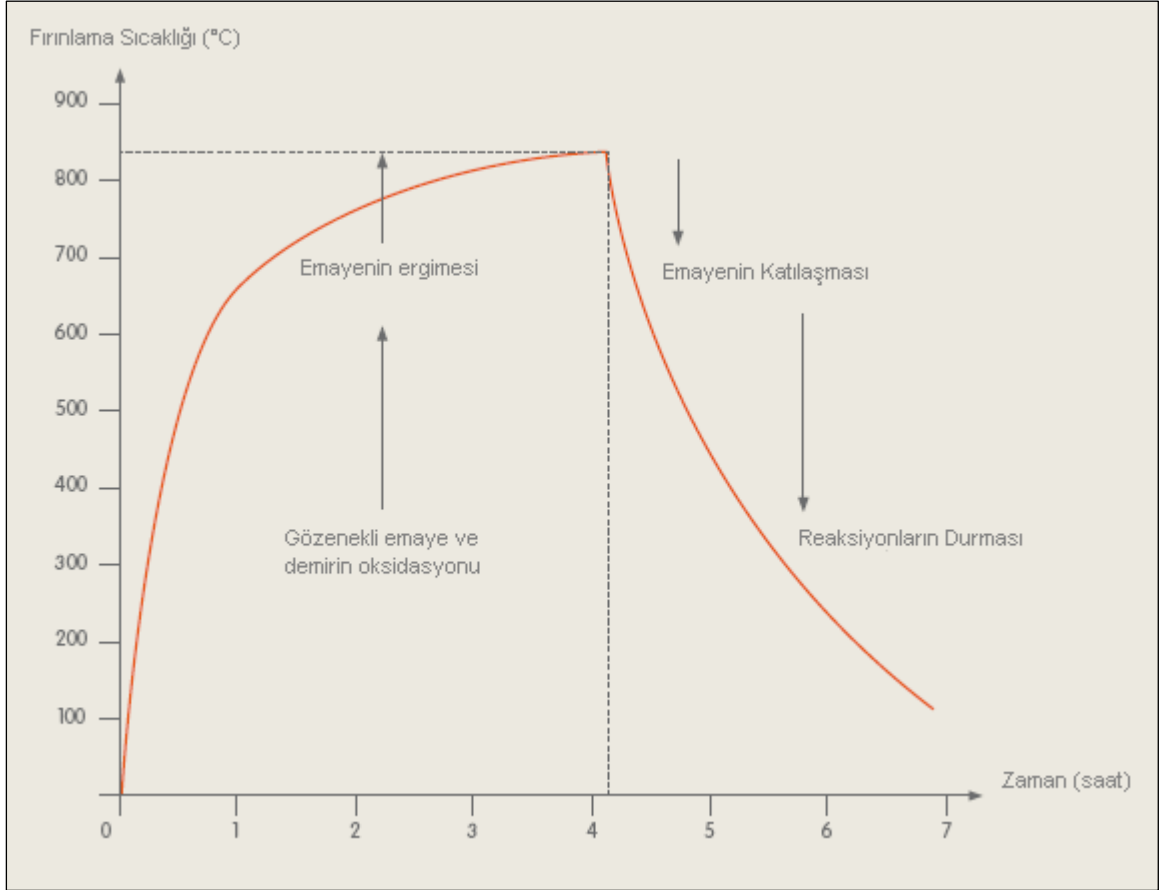
550°C' ye kadar olan pişirme aşamasında; havadaki nem (H<sub>2</sub>O) ve oksijen (O<sub>2</sub>) gözenekli emayeye nüfuz ederek çelik saçıdaki demiri okside eder. Bu oksidasyon sonucunda emaye çelik ara yüzeyinde demir oksit tabakası oluşur. Ardından havadaki nemin ayrışmasından gelen atomize haldeki hidrojen çeliğin içine difüze olur ve çelikle moleküler hidrojen olarak birleşerek çeliğin içindeki boşlukları kapatır. Hidrojenin çelik içerisindeki çözünürlüğü sıcaklık ile doğru orantılı olarak artar.

550°C ile 830°C arasındaki fırınlama aşamasında; emaye yumuşayarak ergimeye geçer ve yarı geçirgen bir tabaka halini alır. Çelik yüzeyinde bulunan demir oksit ara yüzeyi, emaye ile kaplanır.

Pişirme sıcaklığı 830°C seviyelerine geldiğinde, demir oksit tabakası ile emaye çelik ara yüzeyi arasında kimyasal (yükseltgenme-indirgenme) reaksiyonlar başlar. Emayenin içindeki metal oksitler ile çeliğin içindeki karbon bu reaksiyonlarda önemli rol oynar. Daha sonra demir, nikel ve kobalt alaşımları emaye çelik ara yüzeyinde çökelmeye başlarlar Bu çökeltme reaksiyonu, emayenin çeliğe yapışmasının temel taşıdır.

Çeliğin pürüzlülüğü yapışmayı destekler ve çözünmüş haldeki oksijen çeliğin içindeki karbon ile yeniden birleşerek gaz haldeki karbondioksitin çıkışını sağlar. Bu gaz çıkışının yoğunluğu mutlaka pişirme esnasında kontrol edilmelidir. Tüm bu reaksiyonlardan sonra çelik içindeki hidrojen maksimum seviyededir. [2]

Pişirme işleminin en son aşaması soğutmadır. Bu aşamada emaye katılaşır ve gaz ıkışları biter. Pişirme işleminde, pişirme sıcaklığı ve zamana bağlı olarak değişen emaye yapısı şekil 2.19’da gösterilmiştir. [2]



şekil 2.19 Fırlama işleminde, fırlama sıcaklığı ve zamana bağlı olarak gözlenen değişimler. [2]

Emayelenecek rnlerin pişirme fırınına girmeden önce, askıdaki halleri şekil 2.20’de, gerekli pişirme işleminde sonra fırından çıkan emayeleri ürünlerin görüntüsü de şekil 2.21’de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Emaye uygulaması yapılmış, fırınlamaya hazır askıdaki ürünler.



Şekil 2.21 Fırınlanması yapılmış, metal ürünler (Akkor halinde)

## 2.7. Emayenin Kontrolü İçin Yapılan Testler

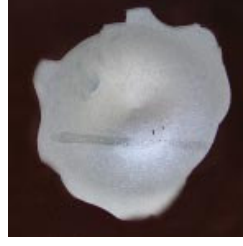
### 2.7.1. Yapışma Testi

Emaye uygulandıktan sonra, metale hangi derecede yapıştığının bulunabilmesi ve kontrolü için yapışma testi uygulanır. Yapışma seviyesinin bulunması için kullanılan deney parçaları düz ve bozulmamış halde olmalı ve kalınlıkları 0,6mm ile 3mm arasında olmalıdır. (TS EN, 2003) Yapışma testi için darbe testi aleti kullanılır. Darbe testi aleti şekil 2.22’de gösterilmiştir.

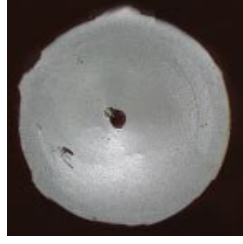


Şekil 2.22 Emayeye yapışma testinin uygulandığı darbe testi aleti.

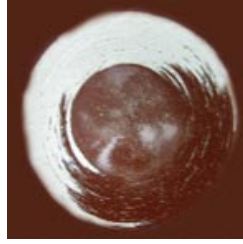
Bir metre uzunluğunda ve 21 mm iç çapında olan bir boru uygun bir şase üzerinde tamamen dik olacak şekilde konumlandırılır. Borunun bir yüzeyinden kanal açılmıştır. Bu kanalın çeşitli yükseklikteki bölgelerinde, ağırlığı sabitlemek için bölmeler bulunur. Borunun içinde ise 2 kg ağırlığında darbe aparatı bulunur. Bu aparatın ucu 10 mm çapında yarı küre olarak dizayn edilmiştir. Darbe ağırlığının, üzerine test parçası koyulacak olan metal kalıba mesafesi 0,75 m’ dir. Bu mesafeden darbe ağırlığı serbest bırakılır. Emayeli parça darbe soncu deforme olur ve oluşan deformasyon darbe skalasına göre derecelendirilir. Darbe enerjisinin değeri; düşme yüksekliği, darbe ağırlığı ve yerçekimi sabitinin çarpılması ile bulunur. Darbe skalası şekil 2.23’ de gösterilmiştir.



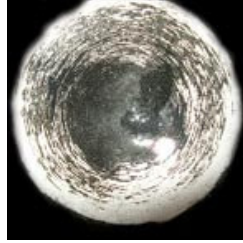
Çok Zayıf Yapışma



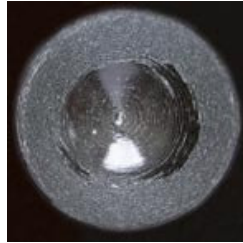
Zayıf Yapışma



Orta Yapışma



İyi Yapışma



Mükemmel Yapışma

Şekil 2.23 Emayelemeden sonra uygulanan yapışma testinin darbe skalası

### 2.7.2. Kaynar Su Dayanım Testi

Özellikle sıcak su üreten cihazların ve sıcak suyu koruyan kapların emayelemesinden sonra uygulanan bir test olan kaynar su dayanımı testinde aynı plakadan saçlar kullanılır. Tartım hassasiyetinin sağlanabilmesi için kullanılan saçların kalınlığı en fazla 2 mm olacak şekilde seçilir. Aksi takdirde hassas bir ölçüm yapılamaz. Test uygulanacak emayelenmiş parçadaki emaye kalınlığı en az 250 mikrondur. Ayrıca emayenin yüzeyinde delik ve çatlama gibi yüzey hatalarının olmaması gerekir. Deneyde kullanılan parçalar tartıma getirilmeden önce saf su ile yıkanır ve 100 °C – 110 °C’deki etüvde iyice kurutulur. Desikatörde soğutulduktan sonra ilk tartım alınır. (M1).

Testte kullanılan cihaz, DIN ISO 2734 normlarına göre hazırlanır. Bir plaka, aparatın tabanına diğeri ise aparatın üstüne bağlanır. Daha sonra aparat yüksekliğinin 2/3’ü kadar saf su ile doldurulur. Isıtıcı dakikada 2-3 baloncuk verecek şekilde ayarlanır. Kaynar su dayanım testinde kullanılan cihaz şekil 2.24’de gösterilmiştir.



Şekil 2.24 Kaynar su dayanım testinde kullanılan cihaz

Testte korozyon süresi minimum 2 gün olarak ayarlanır. Korozyon işlemi bittikten sonra plakalar alınır, önce %5' lik asetik asit çözeltisi ile sonra da saf su ile iyice yıkanır. Daha sonra plakalar 100°C - 110°C'lik etüvde kurutulur, desikatörde soğutularak tekrar tartılır (M2). Emayenin kaynar su dayanımının hesaplandığı formül eşitlik 2.19'da gösterilmiştir.

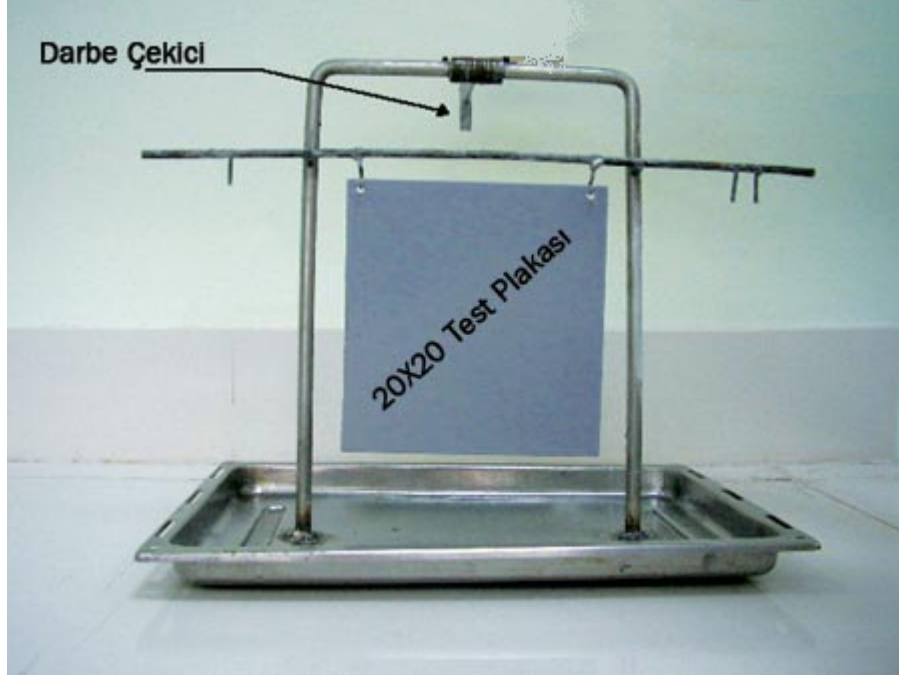
$$\text{Kaynar Su Dayanımı} = \frac{M1 - M2}{\text{Korozyon _ Alanı}} = \text{gr} / \text{m}^2 \quad (2.19)$$

### 2.7.3 Pudra Emaye Tutunma Testi

Pudra emayenin uygulanmasından yapılan sonra tutunma testi için bir aparat kullanılır. 20 x 20 cm ebadında paslanmaz sacdan yapılmış ve ağırlığı bilenen test plakasına 20 gr pudra emaye uygulanır. Daha sonra darbe ağırlığı 90 derece açı yapacak şekilde dik tutulur ve serbest bırakılarak plakaya çarpması sağlanır. Darbe çekici tutularak, metale ikinci defa vurması engellenir. Plaka tekrar tartılarak üzerinde kalan emaye miktarı bulunur. Plaka üzerinde kalan emayenin ilk uygulanan emaye miktarına oranı % tutunma değerini verir. % tutunma değerlerine göre test sonuçları aşağıdaki gibi değerlendirilir.

Yakın Tutunma	> %70	emaye kullanımı için çok güvenli
Yakın Tutunma	70-60%	emaye kullanımı için riskli
Yakın Tutunma	< %60	emaye kullanımı için uygun değil

Pudra emaye tutunma testinde kullanılan aparat şekil 2.25'de gösterilmiştir.



Şekil 2.25 Pudra emaye tutunma testinde kullanılan aparat

#### 2.7.4 Emaye Kalınlığının Ölçülmesi

Madeni parçalar üzerine kaplanmış olan emaye kalınlığını ölçmek için elkometre kullanılır. Emaye kalınlığını ölçmede iki tip elkometre kullanılır. Birincisi, saç parçalar üzerine kaplanan emaye kalınlığını ölçmek için kullanılan ve 0 – 0,6 mm arasında ölçme yapan elkometre, ikincisi ise döküm parçalar üzerine kaplanan emaye kalınlığını ölçmek için kullanılan ve 1-2 mm arasında ölçme yapan elkometredir. (Ege Frit, 2000)

Öncelikle elkometreyi ölçmeye hazırlamak için kalibrasyon kâğıtları kullanılır. Kalınlığı belirli kalibrasyon kâğıtları ile elkometre kalibre edildikten sonra, kalınlığı ölçülecek emaye yüzeyine, elkometrenin ucundaki prob oturtulur. Daha sonra prob dik olarak tutulur ve elkometre cihazından gösterge takip edilir. Göstergedeki değer tamamen hareketsiz kalıncaya kadar beklenir. Sabit olarak çıkan değer emayenin mikron cinsinden kalınlığı olarak belirlenir. Tipik bir elkometre cihazı ve kalibrasyon kâğıtları şekil 2.26'da gösterilmiştir.



Şekil 2.26 Elkometre cihazı ve kalibrasyon kâğıtları

Çeşitli renklerle belirlenmiş kalibrasyon kâğıtlarının, her birinin değişik kalınlıkları vardır. Kalibrasyon esnasında kâğıtların kalınlığı cihazda doğru gözükene kadar cihazın artı ve eksi tuşlarıyla ayarlama yapılır. Kalınlık doğru okunduğu anda, cihaz emaye kalınlığının ölçümü için hazır durumdadır.

### 3. EMAYELENECEK MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

#### 3.1 Çelik Malzemeler

İyi kalite emaye uygulamaları için en önemli şart, kullanılan sacın aynı kalitede devam etmesidir. Düzgün yüzeyi olan ve kolay temizlenebilen saclarla en iyi sonuçlar elde edilir.

Emayelemede genellikle 3 çeşit sac kullanılır;

1. Soğuk Çekilmiş Normal Kalite Saclar
2. Emaye Kalitesi Saclar
3. Direkt beyaz emaye için az karbonlu saclar

Bu sacların kimyasal özellikleri çizelge 3.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Emayelemede kullanılan sacların kimyasal özellikleri

Saç Cinsi	Karbon	Mangan	Fosfor	Kükürt	Silisyum
Normal Kalite	% 0,2 max.	% 0,40	% 0,04	% 0,05	% 0,02
Emaye Kalitesi	% 0,05 – 0,13	% 0,3 – 0,45	% 0,05 max	% 0,04 max	-
Direkt Emaye Kalitesi	% 0,0005 max	% 0,33	% 0,08	% 0,03	-

Genel olarak saclarda aranan özellikler aşağıdaki gibidir.

1. Temiz yüzeyli olmalı ve üzerindeki koruyucu yağ tabakası, temizleme banyolarında normal sürede temizlenebilmelidir.
2. Sacın bünyesinde cüruf ve zararlı atıklar olmamalıdır.
3. Presleme, sıvama ve kaynak işlemlerine uygun olmalıdır.
4. Karbon oranı mümkün olan derecede düşük olmalı ve alüminyum ihtiva etmemelidir.

Ticari kalite soğuk çekilmiş saçlar bünyelerinde genellikle emaye uygulaması için yüksek oranlarda karbon ve manganez bulundurlar. Bundan dolayı çok dikkatli bir şekilde yüzey temizleme işlemi ve emayeleme yapılarak iyi sonuç alınabilir.

Emaye kalitesi olarak adlandırılan saçların içerdiği düşük karbon miktarı, emayeleme işleminde daha iyi sonuçların alınmasını sağlar. Bu saçların derin çekme ve diğer soğuk şekillendirme işlemlerine karşı dayanıklılığını arttırmak için bünyesindeki manganez oranı üst limite yakın tutulmaktadır.

Sıfır karbon veya direkt emaye kalitesi olarak adlandırılan saçlarda ise karbon oranı % 0,0001 ile % 0,0005 arasındadır. Bu kalitedeki saçlara astar emaye kullanılmadan, doğrudan yapışma kuvvetini arttırmak için, banyolama işlemi esnasında daldırma ile nikel tabakası kaplanmaktadır. (Kyri, 1976)

Sanayide genelde kullanılan soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin kimyasal bileşimleri çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin kimyasal bileşimleri

Erdemir Kalite No	Standart Karşılığı		%	
	Standart	Kalite	C (max)	Ti (max)
7512	DIN EN 10209	DC01 EK	0,08	-
6513	DIN EN 10209	DC04 EK	0,08	-
7513	DIN EN 10209	DC04 EK	0,08	-
7514	DIN EN 10209	DC06 ED	0,02	0,3

Sanayide genelde kullanılan soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin mekanik özellikleri çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin mekanik özellikleri

Kalite	Erdemir Kalite No	Standart	Kalınlık (mm)	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama
				$R_e$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	A (%)
DC01EK	7512	DIN EN 10209	0,4 - 0,5	140 - 310	270 - 390	$\geq 26$
			0,5 - 0,7	140 - 290		$\geq 28$
			0,7 - 3	140 - 270		$\geq 30$
DC03EK	6513		0,4 - 0,5	140 - 280	270 - 350	$\geq 28$
			0,5 - 0,7	140 - 260		$\geq 30$
			0,7 - 2	140 - 260		$\geq 32$
			2 - 3			
DC04EK	7513		0,4 - 0,5	140 - 260	270 - 340	$\geq 32$
			0,5 - 0,7	140 - 240		$\geq 34$
			0,7 - 2	140 - 220		$\geq 36$
			2 - 3			
DC06EK	7514		0,4 - 0,5	120 - 210	270 - 320	$\geq 36$
		0,5 - 0,7	120 - 190	$\geq 38$		
		0,7 - 2	120 - 170	$\geq 40$		
		2 - 3				

Sanayide kullanılan sıcak çekilmiş emayelik çeliklerin mekanik özellikleri çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

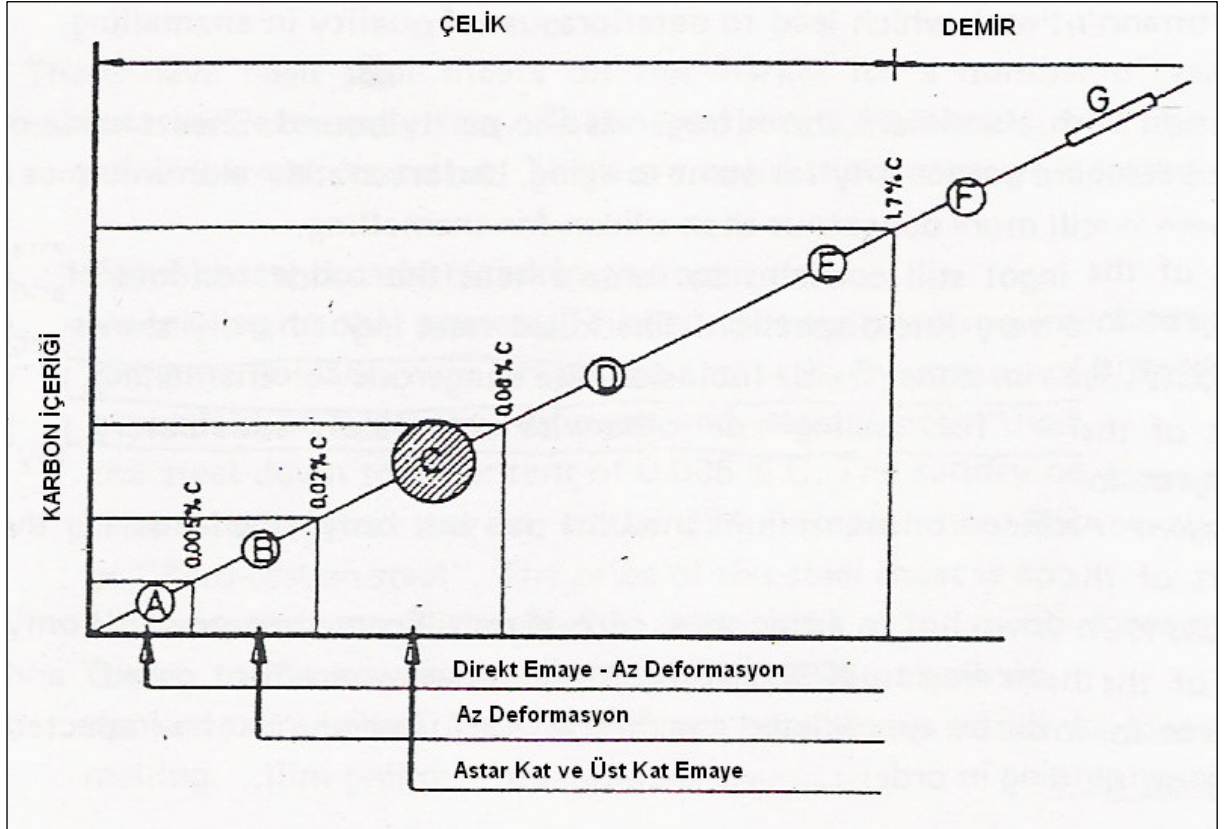
Çizelge 3.4 Soğuk çekilmiş emayelik çeliklerin mekanik özellikleri

Kalite	Kalınlık (mm)	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama
		$R_e$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	A (%)
S240EK	1,5 - 3	$\geq 240$	360-430	$\geq 27$
	3 - 6			$\geq 34$
S300EK	1,5 - 3	$\geq 280$	330 - 450	$\geq 25$
	3 - 4,5	$\geq 260$		$\geq 30$

Erimiş demirin içine oksijen gönderilerek çeliğin içindeki karbon miktarı azaltılır. Bu sayede yapıdaki karbon karbondioksit haline geçerek yapıdan uzaklaştırılmış olur. Dekarbonizasyon işleminden sonra istenilen şekle sokulur. Karbonsuz çeliklerin 6 ile 10 hafta içinde emayelenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde emaye hataları oluşur. Karbon içeriği son derece düşük çelik plakalardaki karbon oranı iki ayrı teknik ile düşürülür;

- $N_2$ ,  $H_2$  ve su buharından oluşmuş gaz akımı tavllanmış plakaların üzerinden geçirilir. Bu yöntem ile %0.005 karbon içeriğine kadar çelik üretmek mümkündür fakat çeliğin yapısındaki bazı elementler yine de bir miktar karbonu bünyesinde tutarlar.
- Çelik plakalar vakumlama yöntemiyle dekarbonize edilirler. Çelikteki karbon, erime anında meydana gelen oksitleri vakumlama yapmak yolu ile ortamdan çekilirler.

Artan karbon miktarı ile değişim gösteren emaye uygulama esasları şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Artan karbon miktarı ile değişim gösteren emaye uygulama esasları. (Kyri, 1976)

Şekil 3.1’de A,B,C,D,E,F ve G harfleri ile gösterilmekte olan çelik türleri aşağıdaki gibidir;

- A – Dekarbonize edilmiş çelik sac
- B – Saf demir
- C – Emaye derecesi çelik
- D – İnşaat (Yapı) çeliği
- E – Takım çeliği
- F – Biçimlenebilir dökme demir
- G – Dökme demir (Pik)

İstenilen kalite gereksinimlerini sağlamayan çelik saçlar emayeleme prosesi için uygun değildir. Çelik sacın kalitesi ne kadar kötü olursa emayeleme işleminin sonucu da o derecede başarısız olur. Çelik saclarda karşılaşılan emayeleme zorluklarının nedenleri gene saçlarda karşılaşılan kusurlardır. Bunlardan bazıları; killed steel (sönmüş çelik), yüzey hataları, düzensiz dağılmış karbon miktarı, yapıdaki yabancı maddeler, kristal yapının gelişmesi esnasında görülen düzensizliklerdir.

### 3.2 Döküm Malzemeler

Teknik olarak emayeleme tarihsel gelişimi, dökme demirin emayelenmesi ile başlar. Dökme demire uygulanan işlemlerin çelik saçların üzerine uygulanan işlemlerden daha kolay olması sebebiyle ilk olarak dökme demir emayeleme denenmiştir. Özellikle dökme demirin elde edilmesi ve hazırlanması sırasındaki maliyetin düşük olması da bir etken olmuştur. (Kyri, 1976)

Emayeleme için en uygun döküm gri dökümdür. Gri dökümün yapısı, emaye işleminden sonra tamamen ferrit olarak oluştuğu için emayenin yapışması daha iyi olur. Ferritin genleşme katsayısı, perlit ve sementitten yüksek olduğundan sanayide tercih edilir. (Ege frit, 2000)

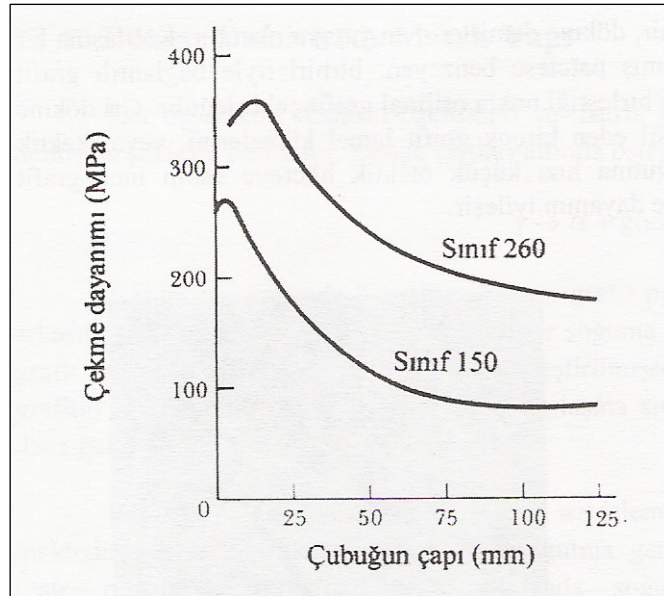
Gri dökme demirler normal olarak 30 mm çapında test çubuğunun minimum çekme dayanımı veren sınıf numarası ile tanımlanmışlardır. Sınıf numarası 180 olan gri dökme demir 180 MPa minimum çekme dayanımına sahip olabilir. Gri dökme demirlerin tipik kimyasal bileşimleri ve özellikleri çizelge 3.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5 Gri dökme demirlerin tipik kimyasal bileşimleri ve özellikleri (Askeland, 2005)

Sınıf / MPa	Yaklaşık KE	%0,2 Deneme Dayanımı (MPa)	% Uzama	Çentiksiz Darbe (J)
150	4,5	100	0,6	8-13
180	4,3	120	0,5	8-13
220	4,1	140	0,4	8-13
260	3,85	175	0,5	13-23
300	3,65	205	0,5	16-31
350	3,5	235	0,5	24-47
400	3,4	270	0,5	24-47

Gri dökme demirin düşük dayanım ve süneklik gibi dezavantajlarının yanında birçok avantajı da vardır. Pulcuklar baskı yüklemesi altında gerilim arttırıcı olarak davranmaz. Bu nedenle gri dökme demir uygun tasarımla büyük yüklemeleri taşıyabilir. Gri dökme demirin işlenebilirliği mükemmeldir çünkü grafit lamelleri kırılğan olarak davranır. Kayma aşınmasına karşı iyi bir direnç gösterir. (Askeland, 2005)

Gri dökme demirlerde, herhangi bir sınıf dökme demirin çekme dayanımı, soğuma hızı ve/veya döküm boyutu ile değişebilir. Soğuma hızının veya döküm boyutunun iki değişik tip gri dökme demirin çekme özelliği üzerine etkisi şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Soğuma hızının veya döküm boyutunun iki değişik tip gri dökme demirin çekme özelliği üzerine etkisi. (Askeland, 2005)

Emayelemeye uygun dökme demirin içinde bulunması gereken elementler ve limit değerleri çizelge 3.6' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.6 Emayelemeye uygun dökme demirin içinde bulunması gereken elementler ve limit değerleri. (Kyri, 1976)

		% Limitler
Karbon (C)	Toplam Karbon	3,2 - 3,4
	Grafitik Karbon	2,8 - 3,2
	Bileşik Karbon	0,4 - 0,6
Si	Silisyum	2,5 - 2,8
P	Fosfor	0,4 - 0,7
Mn	Manganez	0,4 - 0,6
S	Sülfür	< 0,09

Bu elementlerin yanı sıra döküm yapısının içinde aşağıdaki miktarlarda diğer elementlerde bulunabilir. Diğer bulunabilecek elementlerin limit değerleri çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Emayelemeye uygun dökme demirde bulunabilecek diğer elementler ve limitleri. (Kyri, 1976)

		% Limitler
Cr	Krom	0,05
Mo	Molibden	0,02
V	Vanadyum	0,07
Cu	Bakır	0,06
Ti	Titanyum	0,05
Nikel	Ni	0,2

Manganez elementi dökümün mekanik dayanıklılığını artırır ve karbonu bileşik halde tutmaya yarar. Kükürt ile birleşerek MnS oluşturur ve kükürdün verebileceği zararı engeller. İçerikte yüksek miktarda Mn var ise bu emayenin yapışmasını azaltır.

Kükürt dökümün gevrekliğini ve bileşik haldeki karbon oranını artırır. Eğer yapıda fazla miktarda bulunursa gaz çıkışına sebep olur ve emayeye zarar verir. Dökümdeki maksimum kükürt miktarı % 0,09 olmalıdır.

Silisyum kükürdün sertleştirme etkisine engel olur. Dökümdeki bileşik karbonu grafitik karbona dönüştürür ve dökümün yumuşamamasını sağlar. Eğer yapıda %3'ten fazla bulunur ise demirin karakterini tamamen değiştirir. Demirin gevrek ve zayıf bir şekilde oluşmasını sağlar ve döküm yüzeyi gözenekli olur. Gözenekli bir yüzeye emayenin yapışması çok daha zordur.

Fosfor büzülme azaltır ve erimiş dökümün akışkanlığına yardımcı olur. Özellikle ince dökümlerde dökümün kalıbı tam doldurmasını sağlar. Yapıda % 0,7'den fazla bulunması durumunda dökümün gevrekliğini ve kırılgenliğini artırıp dökümü zayıflatır.

Yapıdaki karbon miktarı hammadde ve dökümhane prosedürleri ile kontrol edilir. Karbon dökümün karakteristik özelliklerini oluşturur. Bileşik karbonun artışı dökümün sertliğinin büzülmesinin ve gevrekliğinin artmasına sebep olur. Bileşik karbon dökümün yapısında ya sementit ( $Fe_3C$ ) olarak ya da dökümdeki perlit veya östenitin içinde çözülmüş olarak bulunur. (Ege frit, 2000)

Emayeleme yapılmış dökme demirin mikro yapısındaki değişimler çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8 Emayeleme yapılmış dökme demirin mikro yapısındaki değişimler. (Kyri, 1976)

Ham Döküm	Emayelenmiş Döküm
Perlitik Ana Yapı	Ferritik Ana Yapı
Grafit	Grafit
Az miktarda ferrit	Perlit yok veya az miktarda
Az miktarda sementit	Sementit yok
Az miktarda steadit	Az miktarda steadit
Manganez sülfat	Manganez sülfat

Emaye ve dökme demirin fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olduğundan ısıtıldıkları zaman farklı genleşme göstereceklerdir. Emayenin dökme demir üzerine tutunabilmesi için de baskı kuvvetine maruz kalması gerekmektedir. Aksi takdirde emaye çatlama ve atmaları meydana gelebilir. Bu baskı kuvvetinin sağlanabilmesi içinde dökme demirin genleşme katsayısının belli bir limit dahilinde emayeninkinden daha büyük olması gerekmektedir. Dökme demirin genleşme katsayısı dilatometre adı verilen cihazlarla 20°C - 400°C arasında veya 20°C - 100°C arasında testler yapılarak bulunur. (Kıran, 2000)

Mikroyapılarına göre değişik dökme demirlerin genleşme katsayıları aşağıdaki gibidir;

Ferritik dökme demirin 20°C – 400°C’ de ki genleşme katsayısı :  $400 \times 10^{-7}$

Perlitik dökme demirin 20°C – 400°C’ de ki genleşme katsayısı :  $350 \times 10^{-7}$

Karbürlü dökme demirin 20°C – 400°C’ de ki genleşme katsayısı :  $300 \times 10^{-7}$

### 3.3. Alüminyum Malzemeler

1950’li yılların başında alüminyum malzemelerin üzerine koruma amaçlı emayeleme uygulamaları başlamıştır. Alüminyumun düşük ergime sıcaklığı, 580°C’nin altında eriyip pürüzsüz bir yüzey oluşturabilecek emayeler için çok uygun olduğundan dolayı kullanım sahaları oldukça fazladır. (Kyri, 1976)

İlk olarak, minimum % 99,5 oranında alüminyum içeren saf alüminyum ve Al-Mn alaşımları emayeleme için kullanılmıştır. Bu kadar saflığa sahip alüminyum alaşımı emayeleme için hiç bir sorun teşkil etmemektedir. %99,5 saflıktaki alüminyumun kimyasal analiz değerleri çizelge 3.9’da gösterilmiştir.

Çizelge 3.9 %99,5 saflıktaki alüminyumun kimyasal analiz değerleri

	max %
Si	0,3
Fe	0,4
Ti	0,03
Cu	0,05
Zn	0,12
Diğer	0,03

Endüstride çok sayıda alüminyum alaşımı bulunmakla beraber bunların sadece bir kaçı emayeleme için uygundur.

Soğuk tavlınmış alaşımların haddeleme, çekme, presleme ve kalıplama gibi soğuk şekillendirme işlemlerinde dayanımı artar fakat esnekliği azalır. Bu durum emayeleme prosesi esnasında veya daha sonra bitmiş ürünün kullanılması sırasında gereken mekanik özelliklerin ayarlanması önem taşımaktadır. Soğuk tavlınmış alaşımların magnezyum miktarları % 0,01' i geçmemelidir. Geçtiği durumlarda daha yüksek oranlarda emaye tabakalarının yapışması tehlikeye girer.

Sıcak tavlınmış alaşımlarda ise ön işlem olarak kromlama banyosundan geçirilme zorunluluğu vardır. Bu durum, özellikle bitmiş ürün yiyeceklerle temas edecek ise istenmeyen bir durumdur. Yiyecek kapları için soğuk tavlınmış alaşımlar uygundur. (Paytuncu, 2005)

Emayelemeye uygun alüminyum alaşımlarının özellikleri çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10 Emayelemeye uygun alüminyum alaşımlarının özellikleri (Paytuncu, 2005)

Alüminyum Saç	Kaplanmış Alaşımlar	Alüminize Çelik	Pres Malzeme	Döküm Malzeme
1100	Sıcak tavlınmış alaşıma kaplanmış 1100 veya 3003	Çelik üzerine kaplanmış 1100 veya 3003	6061	43
3003			7104	344
3008				356
6061				

Emayelemeye uygun alüminyum alaşımlarının bileşimleri çizelge 3.11’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11 Emayelemeye uygun alüminyum alaşımlarının bileşimleri (Paytuncu, 2005)

Alaşım	Maksimum %								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
1100	Si + Fe = 1		0,2	0,05	-	-	0,1	-	99
3003	0,6	0,7	0,2	1,0 - 1,5	-	-	0,1	-	Geri kalanı
3008	0,1	0,2	0,1	1,2 - 1,8	0,01	-	-	0,5	Geri kalanı
6061	0,4 - 0,8	0,7	0,15 - 0,4	0,15	0,8 - 1,2	0,04 - 0,35	0,25	0,15	Geri kalanı
7104	0,25	0,4	0,05	0,1	0,5 - 1,0	0,25	3,7 - 4,3	0,15	Geri kalanı
43	4,5 - 6,0	0,8	0,1	0,1	-	-	-	0,2	Geri kalanı
344	6,5 - 7,5	0,3	0,1	-	0,05	-	-	-	Geri kalanı
356	6,5 - 7,5	0,25	0,1	0,05	0,3 - 0,4	-	0,05	0,2	Geri kalanı

1100 (Al 99.0Cu) ve 3003 (AlMn1Cu) alaşımlarının her ikisi de özellikle yiyecek kapları için kullanılabilir. Şekillendirilebilme oranlarının iyi olması sebebiyle tercih edilirler. 3003 numaralı alaşım emayelemeden sonra daha fazla mukavemet gösterdiği için daha çok tercih edilir. 1100 numaralı alaşım ile ikinci pişirim mümkün değildir. 1100 ve 3003 numaralı alaşımlara ısı işlem uygulanabilir. Bu alaşımların çekme dayanımları, akma dayanımları ve uzamaları çizelge 3.12’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 1100 ve 3003 alüminyum alaşımlarının mekanik özellikleri. (Askeland, 2005)

Alaşım	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama
1100 O-D > %99 Al	89,66	34,48	40
1100 H-18	165,52	165,52	10
3003-O %1,2 Mn	110,34	41,38	35
3003 H-18	200	186,21	7

3008 numaralı alaşım 3003 numaralı alaşım ile karıştırılabilir. Bir kaç pişirimden sonra bile yüksek mukavemet göstermesi, bu alaşım için geniş bir kullanım alanı yaratır.

Sıcak tavllanmış alaşım 6061 hem sac olarak hem de pres malzemesi olarak kullanılabilir. Magnezyum içermediklerinden dolayı 1100 ve 3003 alaşımlarına göre oldukça yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Bundan dolayı bir kaç kez tekrarlanan pişirimlerde emaye tabakasında sac çizgileri oluşturmaz. 6061 alaşımının mekanik özellikleri çizelge 3.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.13 6061 alüminyum alaşımının mekanik özellikleri

Alaşım	Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Dayanımı (MPa)	% Uzama
6061 - T6	310,34	275,85	15

7104 alaşımı yapısından dolayı emayelemeden önce çok kademeli bir kromat ön işleme ihtiyacı vardır. Temel olarak iki kat emaye yapılması durumunda en iyi sonuçlar alınır. 7104 alaşımı pres malzemesi olarak çok iyi özelliklere sahiptir. Emaye uygulandıktan sonra iki hafta içinde orijinal mukavemetine ulaşır. Alaşımın bileşimleri kontrol edilmez ise emayede atmalar meydana gelebilir. Bundan dolayı bileşimleri kontrol altında olmalıdır. 7104 alaşımının kimyasal bileşimi çizelge 3.14'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.14 7104 alüminyum alaşımının kimyasal bileşimi.  
(Belov, Eskin ve Aksenov, 2005)

Alaşım	Zn %	Mg %	Diğer			
			Cu %	Mn %	Fe %	Si %
7104	3,6 - 4,4	0,5 - 0,9	0,03	-	0,4	0,25

1100 ve 3003 alaşımlarının iyi emayelenebilme özellikleri ve sıcak tavlanmış alaşımların yüksek mukavemet özelliklerini bünyesinde toplayan kaplanmış sa alaşımları emayeleme için oldukça uygun malzemelerdir. Kaplanmış sa alaşımları, sıcak tavlanmış bir i saca, tek ya da çift taraflı 1100 veya 3003 alaşımlarının kaplanmasından oluşur.

Alüminize elikler de bir diğer kombinasyondur. Alüminyum kaplanmış elik, ürünün emaye pişirmesi esnasında deformasyonunu engeller veya azaltır. Böylece bitmiş ürünün deformasyonu dar bir sınır aralığında kalır. Bu işlemdede sadece gözenekli olmayan alüminize elik salar kullanılmalıdır. elik zerine kaplanacak alüminyumun da bileşiği çok önemlidir. Hatalı bileşimler kullanılırsa emayeden sonra atma ve iğne başı gibi hatalar görülebilir. (Paytuncu, 2005).

Alüminize eliklerin emaye kaplamasının avantajları; basit bir n yıkma işlemi, basit bir uygulama işlemi, düşük derecede pişirme ( $560^{\circ}\text{C} - 580^{\circ}\text{C}$ ), sac emayelerine nazaran daha elastik olması, eğilme ve bükülmelere karşı daha dayanıklı olması olarak gösterilir. Dezavantajları ise; aşınma direncinin ve çizilmelere karşı direncin henüz sac emayesi seviyesinde olmaması, sıcak asitlere ve sıcak alkalilere karşı direncin sac emayelerinden zayıf olması olarak gösterilir. (avuşoğlu, 2005).

Döküm alaşımları da emayeleme de kullanılır. En iyi sonuçlar 43 kodlu döküm alaşımıyla elde edilir. Doğal sertliğe sahip bu alaşımın iyi döküm özellikleri vardır. Basit bir yağ alma işlemi ve tavlama işleminde sonra emaye için uygun bir duruma getirilir. Tüm döküm parçaların hava kabarcıkları içermemesi istenir. Aksi taktirde pişirme esnasında kabarcık oluşur. Al-Mg alaşımları emayeleme için tercih edilmez. Magnezyum miktarları yüzünden bu ürünlere emaye yapışamaz ve kullanılmaz duruma getirir.

#### 4. EMAYELERE UYGULANAN KALİTE KONTROL YÖNTEMLERİ

Emayelemede iyi bir yüzey kalitesinin elde edilmesi her şeyden önce, kullanılan emayenin kalitesine, uygulama ve pişirim şartlarına bağlıdır. Ulaşılan kalitenin devamı hem frit üreticileri hem de emaye uygulayıcılarının yapması gereken kontrollerle sağlanmaktadır. Pudra emaye uygulamalarında, emayenin öğütme inceliği, direnci ve akışkanlığı frit üreticisi tarafından kontrol edilmektedir. Burada uygulayıcı kabin içi nem, sıcaklık ve tabanca pozisyonları, voltajlar, topraklama ve besleme havalarını sürekli kontrol altında tutmaktadır. Diğer taraftan yaş emayeleme yapan tüm üreticiler de her yaş öğütmeden sonra bazı kontrolleri yaparlar. Bu kontroller emaye çamur haldeyken, çamurun fiziksel özelliklerini kapsayan kontrollerdir ve aşağıda verilen sıraya göre yapılmaktadır.

1. Öğütme inceliği kontrolü ( 150 veya 325 mesh' de)
2. Özgül ağırlık kontrolü
3. Set kontrolü

İstenilen öğütme inceliğine gelen emaye, değirmenden boşaltılırken mıknatıs ve elek sisteminden geçirilerek tanklara alınır. Emaye çamuru değirmenden ilk çıktığında sıcaktır ve yüksek setlidir, çamur bekleme esnasında soğudukça seti düşer ve belli bir süre sonra sabitlenir. Bu yüzden değirmenden boşaltılan bir emaye çamurunun set değerinin sabitlenmesi için en az 1 gün süreyle bekletilir. (EAE, 2001)

Emaye çamurunun özgül ağırlık ve set değeri, kaplama yöntemine bağlı olarak değişim gösterir. Daldırma yöntemiyle emaye kaplamada, emayenin belli bir yoğunluktaki set değeri önemliyken, pistole ile emayelemede belli bir set değerinde yoğunluk önemlidir. Özellikle robot pistole sistemlerinde yoğunluğun yanında set değeri de çok önemlidir.

Emayeleme uygulamalarında kalite kontrol yöntemleri ve uygulanması gereken testler aşağıdaki gruplar altında incelenir:

1. Pişirici cihazlar ( fırın iç gövdeleri, bek tablası, tepsi, kalpak, ızgara vb)
2. Mutfak eşyaları
3. Sağlık gereçleri
4. Ortam ısıtıcıları (doğalgaz ve katı yakıt sobalar ile şofbenler)

5. Sıcak su tankları ( termosifon ve termoboyler )  
6. Mimari paneller, reklam panoları ve işaret levhaları

#### 4.1. Pişirici Cihazlar

Bu şartlar, sac veya dökme demirden imal edilmiş kalpaklar, ızgaralar, bek tablaları, fırın kontrol panelleri, fırın iç gövdeleri, fırın tepsileri ve fırın dış panelleri için geçerlidir. Emayelenmiş pişirici gereçler için geçerli şartlar çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Emayeli pişirici gereçler için geçerli şartlar. (Paytuncu, 2005)

Test metodu	Şartlar	Standart No
Altlık metalin kalınlığı	- Dökme demir kalpaklar ve ızgaralar için min:3,00 mm - Bek tablaları, tepsiler ve dış paneller için min:0,70 mm - Kontrol panelleri için min: 0,60 mm - Fırın iç gövdeleri için min: 0,50 mm	
Emayenin kalınlığı	- Dökme demirden yapılmış ızgara ve kalpaklar için max: 0,60 mm - Diğer tüm uygulamalar için max: 0,40 E23mm	ISO 2178
Termal şok direnci	- Kalpaklar: 380°C ( 5x ) - Izgaralar: 360°C ( 5x ) - Bek tablaları: 200°C ( 5x ) - Tepsiler: 260°C ( 5x )	
Termal Çevrim Oranı	- Kalpaklar: 400°C ( 3 saat boyunca ) - Izgaralar: 380°C ( 3 saat boyunca )	ISO 4530
Yapışma	- Dökme demirden yapılan ürünler için min: iyi - Sac ürünler için min: 3	EN 10209

Emayeli parçaların termal şoklara karşı direnci, emaye ve alt metal sisteminin termal genleşme katsayılarının uyumuna bağlıdır. Her zaman kaplama malzemesinin termal genleşme katsayısının alttaki metal malzemenin termal genleşme katsayısından düşük olması

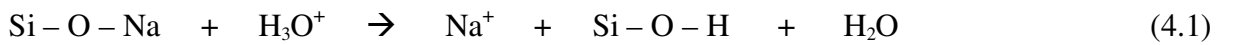
gerekir. Ancak aradaki farkın aşırı olması, oda sıcaklığında emayenin atmasına veya çatlamasına sebep olur. Emayenin genişmesi metalin genişmesine göre çok düşükse oda sıcaklığında emaye, aşırı basma gerilimi altında kalacak ve atma yapacaktır. Emayenin genişmesi metale göre çok yüksekse oda sıcaklığında emaye aşırı çekme gerilimi altında kalacak ve çatlama yapacaktır. Buna bağlı olarak, aşırı basma veya çekme gerilimi altında olan bir emayenin de termal şoklara karşı direnci çok azdır. İyi bir termal şok mukavemeti için, emaye ve metal sisteminin termal genişleme uyumunun yanında, uygun pişirim sıcaklığı, homojen uygulama kalınlığı ve uygun kaplama kalınlığı (100 – 150 mikron) gerekmektedir. (Paytuncu, 2005)

## 4.2 Mutfak Eşyaları

Emaye, bir yiyecek kabı olarak üzerinde en az bakteri üreyen malzemedir. Hem bu açıdan hem de pişirme özellikleri açısından diğer kaplamalara üstünlük gösterir. Emayeli mutfak eşyalarında aranan diğer bir özellik ise ısı transferidir. Mutfak eşyalarında ekstra olarak kompozit taban emayesi kullanılarak daha iyi bir ısı geçirgenliği sağlanır. Bu amaçla kullanılan tabanlarda emaye, grafit ve SiC kompozesi kullanılır. (Ferro, 2002)

Mutfak eşyalarının emaye uygulamasında, dengeli bir kaplama kalınlığı, düz yüzeyli parçalara göre daha zor elde edilir. Kalın emaye uygulamasında, tam bir kurutma da sağlanamadığı durumlarda yüzey çatlakları oluşur. (Ferro, 2002)

Emayeli mutfak eşyaları, organik mutfak asitleri olan, asetik asit, şarap asidi ve sitrik asit etkisine maruz kalırlar. Bu etkinin sonucunda az ya da çok kimyasal aşınma kayıplarına ve parlaklık azalmalarına uğrarlar. Emayenin alkalileri ile asidin hidrojen iyonlarının yer değiştirmesi sonucunda asidin emaye üzerine etkisi gerçekleşir. Yer değiştirme reaksiyonu eşitlik 4.1’de gösterilmiştir.



#### 4.2.1 Çelik Saçtan Yapılmış Emayeli Mutfak Eşyaları

Bu şartlar, tavalar, yemek ve saklama kapları, çaydanlıklar, tencereler ve tencere kapakları için geçerlidir. Saçtan yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Çelik saçtan yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar.  
(Paytuncu, 2005)

Test metodu	Şartlar	Standart No
Emayenin kalınlığı	İç kısımlarda max: 0,35 mm Dış kısımlarda max: 0,45 mm	ISO 2178
Soğuk Sitrik Asit	Min A (2)	ISO 2722
Kaynar Sitrik Asit	İç kısımlarda max: 5 g /m <sup>2</sup> (2,5 saat) Dış kısımlarda max: 10 g/m <sup>2</sup> (2,5 saat)	ISO 2742
Kaynar Su Buharı	Max: 2,5 g/m <sup>2</sup> gün	ISO 2744
Su Buharı	Max: 5 g/m <sup>2</sup> gün	ISO 2744
Emayenin Yapışması	Minimum 3	EN 10209
Termal şok direnci	Minimum 280°C	EN 10209
Sodyum pirofosfat	Max: 5 g/m <sup>2</sup> (5 saat )	ISO 4533

#### 4.2.2 Dökme Demirden Yapılmış Emayeli Mutfak Eşyaları

Bu şartlar, dökme demirden imal edilmiş güveç tencereleri, kızartma tavaları, kaplar, kulplu tencereler ve kapaklar için geçerlidir. Dökme demirden yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar çizelge 4.3’de gösterilmiştir. (EAE, 2001)

Çizelge 4.3 Dökme demirden yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar.  
(Paytuncu, 2005)

Test metodu	Şartlar	Standart No
Emayenin kalınlığı	İç kısımlarda max: 0,2 - 0,5 mm Dış kısımlarda max: 0,7 mm	ISO 2178
Soğuk Sitrik Asit	Min A (2)	ISO 2722
Kaynar Sitrik Asit	İç kısımlarda max: 10 g/m <sup>2</sup> (2,5 saat)	ISO 2742
Kaynar Su Buharı	İç kısımlarda max: 5 g/m <sup>2</sup> (gün)	ISO 2744
Su Buharı	Dış kısımlarda max: 10 g/m <sup>2</sup> (gün)	ISO 2744
Emayenin Yapışması	Minimum iyi	EN 10209
Termal şok direnci	Minimum 220 °C	EN 10209
Sodyum pirofosfat	Max: 10 g/m <sup>2</sup> . (5 saat)	ISO 4533

#### 4.2.3 Alüminyumdan Yapılmış Emayeli Mutfak Eşyaları

Bu şartlar alüminyumdan yapılmış kızartma tavaları, güveç tencereleri ve küçük kap kacakların dış yüzeylerinde kullanılan emayeler için geçerlidir. Alüminyumdan yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar çizelge 4.4'de gösterilmiştir. (EAE, 2001)

Çizelge 4.4 Alüminyumdan yapılmış emayeli mutfak eşyaları için gerekli şartlar.  
(Paytuncu, 2005)

Test metodu	Şartlar	Standart No
Alüminyum Kalitesi	Saf Al > %95, Mn < %1,7 Mg max = % 0,010	
Emaye Kalınlığı	0,05 - 0, 15 mm	EN ISO 2178
Yapışma	-	ISO 13805

### 4.3 Ortam Isıtıcıları

Bu şartlar, saçtan yapılmış soba panelleri, yanma odaları, ısı değiştiricileri, baca tüpleri ve soba borularında kullanılan emayeler için geçerlidir. Emayeli ortam ısıtıcıları için gerekli şartlar çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5 Emayeli ortam ısıtıcıları için gerekli şartlar. (Paytuncu, 2005)

Test metodu	Şartlar	Standart No
Altlık metalin kalınlığı	Soba panelleri, ortam ısıtıcıları ve şofbenlerde min: 0,7 mm	
	Baca tüpleri ve borularında, yanma odalarında ve merkezi ısıtmalardaki ısı değiştiricilerinde min: 0,9 mm	
Emayenin kalınlığı	Paneller, şofbenler ve yanma odalarında max: 0,40 mm	ISO 2178
	Baca tüpleri, borularında ve ısı değiştiricilerinde max: 0,30 mm	
Soğuk Sitrik Asit	Sobaların yan panellerinde: Asit direnci istenmez. Şofbenlerde: B ( 2 ) Gazlı yanma odalarında: Asit direnci istenmez Yağ yanan yanma odalarında: B ( 2 )	ISO 2722
Kaynar sülfürik asit	Isı değiştiriciler için 20 g/m <sup>2</sup> (6 saat) (% 30’ luk H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ’ te)	ISO 2742
Termal Çevrim Oranı	Normal uygulama sıcaklığının 50 °C üstünde 48 saat sonunda atma, gözle görülür çatlak veya erime olmamalıdır.	ISO 4530
Termal şok direnci	Soba panelleri ve şofbenlerde, gazlı yanma odalarında 250 °C ( 5x )	
	Yağ yanan yanma odalarında 400 °C (5x )	
	Isı değiştiricilerinde 350 °C ( 5x )	

Emaye kaplanmış ortam ısıtıcılarında, daldırma ile emayelenmiş parçalarda bulunan süzülme izlerinin olduğu bölgelerde emaye kalınlığı 1mm’ ye kadar çıkabilir. Bu kalınlık toleranslar dahilindedir. Ayrıca termal şok uygulanacak parçalar öncelikle gereken sıcaklığa ısıtılıp 18°C ile 22 °C arasındaki suya bırakılır. (EAE, 2001)

#### 4.4 Emayeli Sıcak Su Tankları

Bu şartlar, saçtan yapılmış olan sıcak su tankları (termosifonlar, termoboylerler ve boylerler) için geçerlidir. Emayeli sıcak su tanklarında 1 mm'ye kadar bölgesel kalınlaşmalar tolere edilebilir. Emayeli sıcak su tankları için gerekli şartlar çizelge 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 Emayeli sıcak su tankları için gerekli şartlar. (Paytuncu, 2005)

Test metodu	Şartlar	Standart No
Emayenin kalınlığı	0,15 - 0,50 mm	ISO 2178
Soğuk Sitrik Asit	Min A (2)	ISO 2722
Kaynar Su	Max 3,5 g/m <sup>2</sup>	ISO 2744
Yapışma	DIN 4753/3 & 4.3.1	EN 10209
Termal şok direnci	200 °C (5x)	

#### 4.5 Dış Mekânlar için Kullanılan Emayeli Ürünler

Bu şartlar, çelik saçtan yapılmış dış mekânlarda kullanılan mimari paneller, işaret levhaları ve reklam panolarında kullanılan emayeler için geçerlidir. Emayeli mimari paneller, reklam panoları ve işaret levhaları için gerekli şartlar çizelge 4.7'de gösterilmiştir. (EAE, 2001)

Çizelge 4.7 Emayeli mimari paneller, reklam panoları ve işaret levhaları için gerekli şartlar.  
(Paytuncu, 2005)

Test metodu	Şartlar	Standart No
Altlık metalin kalınlığı	Min 0,75 mm	
Emayenin kalınlığı	Max 0,40 mm	EN ISO 2178
Soğuk Sitrik Asit	Min A (2)	ISO 2722
Kaynar Sitrik Asit	Max 18,5 g/m <sup>2</sup> (2.5 saat)	ISO 2742
Yapışma	Min 2	EN 10209
Porozite veya hataların belirlenmesi	Max 10 hata/m <sup>2</sup>	ISO 2746 - ISO 8289
Çizilme Direnci	Min 7 N	ISO 15695
Aşınma Direnci	Max 0,1 gr	ASTM C501

## 5. EMAYELEMEDE KARŞILAŞILAN HATALAR

### 5.1. Emaye Hatalarının Kontrolü

Emayelenmiş bir parçanın reddedilmesine yol açan kusurlar, emaye hatası olarak tanımlanabilir. Emaye hatasına sahip ürünler, genelde ardı ardına bir kaç uygulamadan sonra fark edilebilmektedir. Seri üretimde hatalı bir parça çıkarsa bunun telafisi yoktur. Bundan dolayı hatayı oluşturan kaynağı bulmak ve üretimden önce tedbirini almak gerekir. Emayelemede hata aramanın amacı, kalitesiz ürün üretimini en aza indirmektir.

Pratik olarak üretimlerde tanımlanabilecek hata kaynakları ham maddeler ve proses olabilir. Zayıf hammadde ve yetersiz prosesler hataların oluşmasına sebep olur.

Basit bir özetleme biçimiyle olası hata kaynakları aşağıda gösterilmektedir.

#### 1- Malzeme

##### a. Saç

- i. Fiziksel özellikler
- ii. Yüzey koşulları
- iii. Kimyasal özellikler

##### b. Emayeler

##### i. Frit

1. Oran
2. Bileşim
3. Kirlenme
4. Seçim

##### ii. Değirmen Katkıları

1. Oran
2. Bileşim
3. Kirlenme
4. Seçim

## 2- Uygulamalar

- a. Metal Hazırlama
  - i. Fabrikasyon
  - ii. El işçiliği
  - iii. Temizleme
- b. Emaye Hazırlama
  - i. Formülasyon
  - ii. Öğütme
  - iii. Kontrol
- c. Emaye Prosesi
  - i. Daldırma
  - ii. Kurutma
  - iii. Astar Kat Pişirme
  - iv. Püskürtme
  - v. Üst Kat Kurutma
  - vi. Üst Kat Pişirme
  - vii. Üst Kat El İşçiliği
  - viii. Yeniden İşleme Alma

Hatanın muhtemel sebeplerini araştırmak üretim esnasında zaman kaybını önler. Hata prospekti çok olduğu için hatalar çoğu zaman birbirine karışabilir. Bu da hataların artmasına sebep olur. İki veya daha fazla küçük sebep birleşerek bir tek büyük hatayı meydana getirebilirler. Üretim esnasında yapılacak basit denemeler ve sade gözlemler ile birçok küçük hatalar önlenir. (Laughlin, 1983)

### 5.1.1. Emayede Hata Arama

Emayede hata arama prosedürü aşağıdaki şekilde işlemektedir;

- a. Genel işletme ve uygulama koşulları araştırılır
- b. Prosesin her aşaması adım adım izlenerek özelliklerdeki sapmalar belirlenir. Sapma belirlenen aşamada düzeltmeye gidilir.
- c. Üründeki ilk anormal belirtiler görülene kadar araştırma sürdürülür.

- d. Hata ile karşılaşılan üretim kademesinde oluşan hatanın ismi belirlenir
- e. İki aynı tipte hata ile karşılaşıldığı zaman, sonuca ulaşabilmek için her ikisinin de ayrı ayrı prosedürleri takip edilir. (Laughlin, 1983)

## **5.2. Hata Türleri**

### **5.2.1 Ham Saç Malzemedeki Hatalar**

#### **5.2.1.1 Hatalı Saç Yüzeyi**

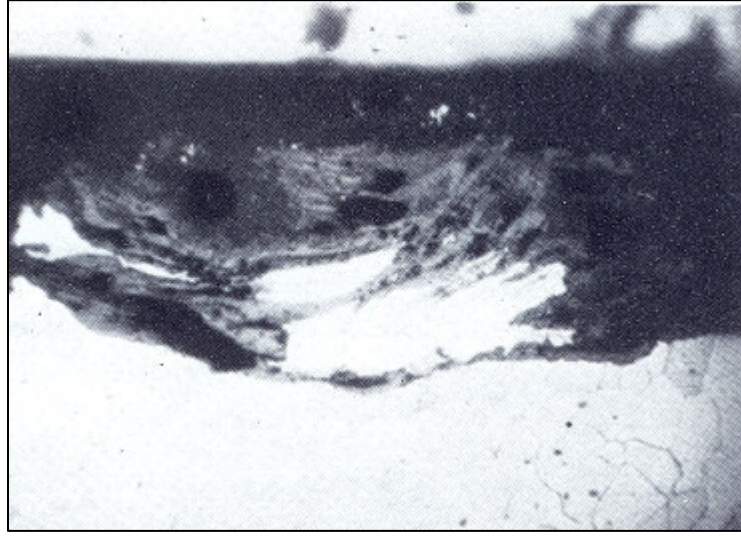
Bu tür hataların çoğu saç üzerinde gözle görülecek boyutta değildir. Bu hataları ortadan kaldırmak için özel donanımlar ve teknikleri kullanmak gerekir. Bu konuda alınacak detaylı bilgiler ile hatanın kaynağının yeri rahatlıkla belirlenebilir. Hata arama tekniği hatanın göz ile görülebildiği ilk noktada başlar.

##### **5.2.1.1.1 Yanmış Karbon Bölgesi**

Saç yüzeyinde yüksek ısıya maruz kalmış her noktanın çevresinde karbonlu bir bölge oluşur. Bu durum genellikle kaynaklar etrafındaki koruyucu yağ veya çekme yağlarının kısmı olarak ayrışması ile oluşur. Bu alan, saçın üstünde ve daldırmadan önce siyah veya kahverengi bölgeler halinde görülmektedir. Asit banyolarında kullanılan çözeltiler bu bölgeyi ortadan kaldırmaz. Bu bölge aynı zamanda katta kabuklaşmaya ve beyaz alanda kabuklaşmaya neden olur. Tavlama veya kaynak işleminden önce temizlenerek giderilebilir. Banyodan geçen ve bu hataya sahip ürünleri kurtarmak için astar daldırmadan önce karbonlu bölgelere polisaj uygulamak yeterli olur. Hatanın çözümü ısıya maruz kalmadan bölümün temizlenmesidir. (Laughlin, 1983)

### 5.2.1.1.2 çapaklar

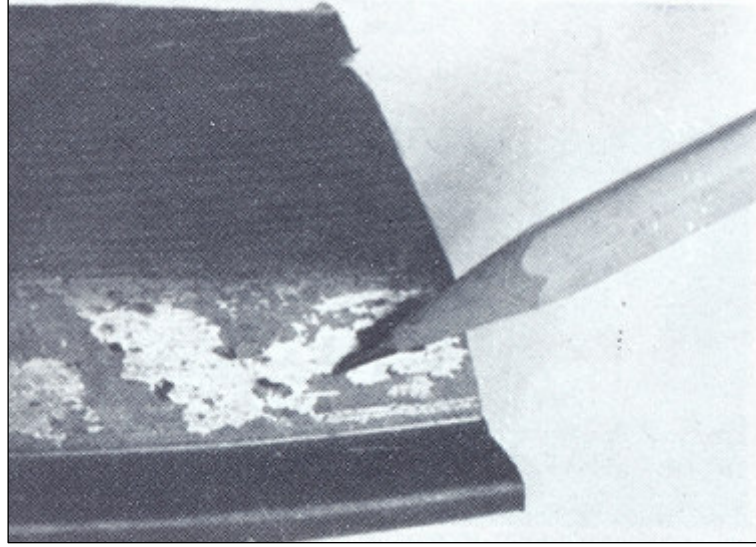
Kalıpların aşınmasından veya takım çeliğinin küçük bir parçasının birleşmesi ile çapaklar meydana gelir. apak, kalıpta veya parçada gömülü olarak bulunabilir. Bu kötü koşullara sahip her kalıp ile üretilen her parça kesik ve pürüzlüdür. apağın diğere nedenleri; baskı çemberlerinde olan aşınmış kalıplar, aşırı kalın saçlar, hatalı kalıp ayarlamaları ve hatalı kesme işlemlerinin yapılmasıdır. Oluşan pürüzler genellikle her parçada aynı yerde bulunmaktadır. apaklı parçalar da polisajla önlenebilir. Pürüzler, astar katın altında kalacak kadar küçük bile olsa, çok nadir olarak temiz olabilir. Her durumda astar katın bünyesine emilebileceğinden dolayı fazla oksidasyona sebep olan bir yüzey oluşturur. Şekil 5.1'de saçtaki çapaklar ve etrafındaki çözünmemiş demir oksit gösterilmektedir. (Laughlin, 1983)



Şekil 5.1 Saçtaki çapaklar ve etrafındaki çözünmemiş demir oksit tabakası. (Laughlin, 1983)

### 5.2.1.1.3 Soğan Kabuğu – Deoksidize Tufal

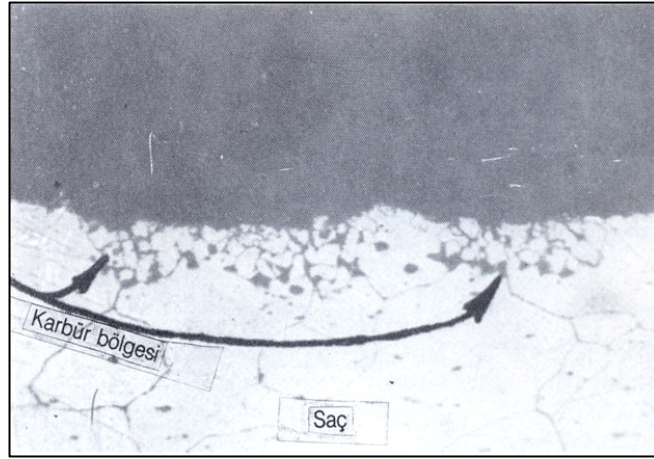
Bu hata, saç üzerindeki oksit filminin metalik demire redüklendiği haddehanede meydana gelebilir. Aşırı olarak görüldüğu durumlarda yüzeyde soğan kabuğuna benzeyen pullar görülür. Yüzeyde görülen soğan kabuğuna benzeyen pullar şekil 5.1’de gösterilmiştir.



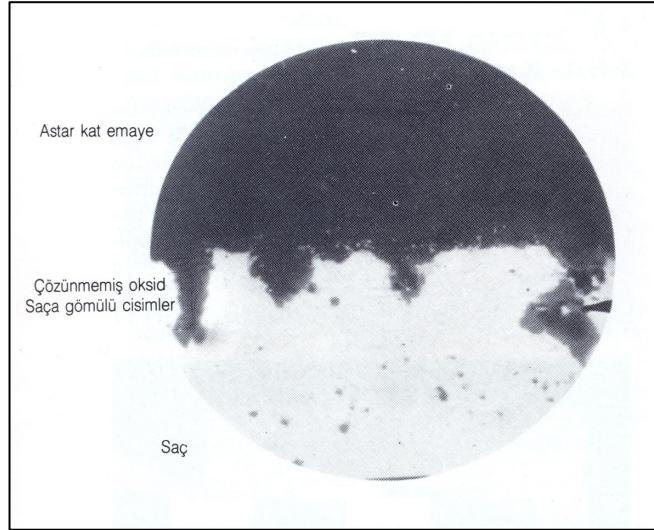
Şekil 5.2 Yüzeyde görülen soğan kabuğuna benzeyen pullar. (Laughlin, 1983)

### 5.2.1.1.4 Saca Gömülü Cisimler

Saç yüzeyine gömülü olan cisimlerin çıplak gözle görülmeleri çok zordur. Bu tür bir hatanın en iyi tespiti ve teşhisi saç kesitinin mikroskopla incelenmesidir. Endüstride en çok görülen saca gömülme hatalarının kaynağı oksitler ve karbürlerdir. 300 kez büyütme yapılarak tane yapısında görülen gömülü karbürlerin görüntüsü şekil 5.3’de gösterilmiştir. Çelik bir panelden alınmış bir kesitte, çapın 300 kez büyütülmesiyle görülen ve halen erimemiş halde bulunan demir oksidin görüntüsü ise şekil 5.4’de gösterilmiştir. (Laughlin, 1983)



Şekil 5.3 300 kez büyütme yapılarak tane yapısında görülen gömülü karbürlerin görüntüsü



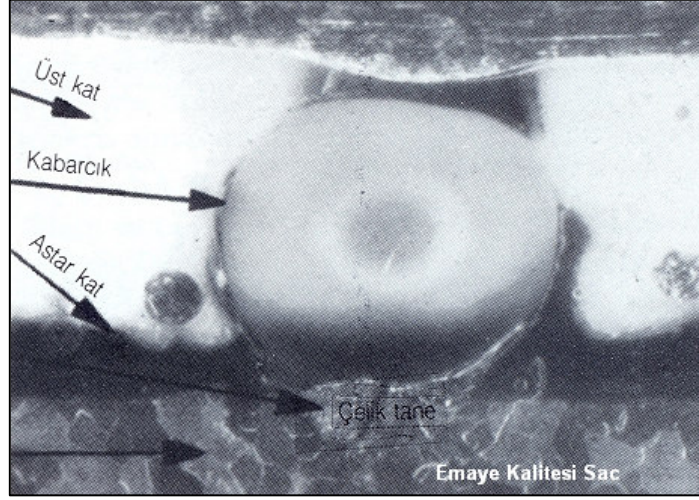
Şekil 5.4 Çelik bir panelden alınmış bir kesitte, çapın 300 kez büyütülmesiyle görülen ve halen erimemiş halde bulunan demir oksidin görüntüsü. (Laughlin, 1983)

#### 5.2.1.1.5 Saç Yüzeyine Preslenmiş Yabancı Maddeler

Emaye kalitesi saç, yumuşak yapısından dolayı çelik, kum veya diğer küçük sert maddeleri bünyesine kolaylıkla alır. Saça gömülü bu maddeler bazen büyüteçle görülebilir. Kabarcıkların, siyah noktaların veya camgöz kaynamalarının kaynağının kesin olarak belirlenmesi genellikle kesitin incelenmesinden sonra anlaşılabilir. Saça gömülü olan çelik

tane veya kumlar, pişirme esnasında CO<sub>2</sub> olarak açığa çıkan ve emayede büyük kabarcıklara sebep olan karbon içermektedir.

Emaye kalitesi saçtan alınan kesitte çapın 100 kez büyütülmesi ile görülen camgöz kaynamada çelik tanesinin sebep olduğu kabarcığın görüntüsü şekil 5.5'te gösterilmiştir. (Laughlin, 1983)



Şekil 5.5 Çapın 100 kez büyütülmesi ile görülen camgöz kaynamada çelik tanesinin sebep olduğu kabarcığın görüntüsü. (Laughlin, 1983)

#### 5.2.1.1.6 Paslanmalar

Saç üzerinde bulunan yağın üzerindeki pas, astar katta sorun yaratır. Yağ alma banyosundaki reaktif çözücüler yağa ulaşmak için pası temizleyemez. Asit banyosu pası giderir fakat astar katta açılmaları neden olan yağ filmini yüzeyde bırakır.

Aşırı paslanma derin çukurlara ve oyuklara neden olur. Bu oyuklarda asit banyosu solüsyonları hapsolarak siyah noktalar, kabarcıklanma, kaynama ve bakır başı hatalarına sebep olur. Bundan dolayı, yağ alma banyolarını doğru bir şekilde çalıştırmak, malzemeyi asit banyosunda fazla tutmak ve banyolar arasındaki yıkamaları çok iyi bir şekilde yapmak gerekir. (Laughlin, 1983)

## **5.2.1.2 Hataya Yol Açan Bileşim**

### **5.2.1.2.1 Karbürler**

Emaye kalitesi saçlardaki karbon yüzdesi az ve iyi dağılmıştır. Karbon, düşük yüzdelerde bile, eğer belirli bölgelerde toplanmışsa hatalara sebep olur. Karbür bölgeleri tüm saç yüzeyi boyunca yayılabilir veya merkeze yakın yerde kalabilir. Sıcak veya soğuk çekme işlemlerinde sacı çatlatabilecek kadar büyük olabilirler. (Laughlin, 1983)

### **5.2.1.2.2 Boru Şeklindeki Şişkinlikler**

Sacın yapısında, safsızlıklar katmanlaşmış halde bulunur. Atomik hidrojen, karbon veya bir başka gaz, katmanın içine nüfuz ederek moleküler gaz oluşturur. Bu durumda metalin iki kenarında bombeleşmeler olur. Hafif durumlarda emayede şerit şeklinde kabarcıklar görülür. Bu kabarcıklar camgöz kabarcıklardır. Biraz daha ciddi durumlarda bu kabarcıklar yine şerit halinde uzanır. Aşırı asit banyosu, kabarcıkları daha da arttıracığından bu hatanın çözümü için asit banyosunda kalma süreleri azaltılarak gerekli aşındırmanın sağlanmasıdır.

### **5.2.1.2.3 Hatalı Kaynaklar**

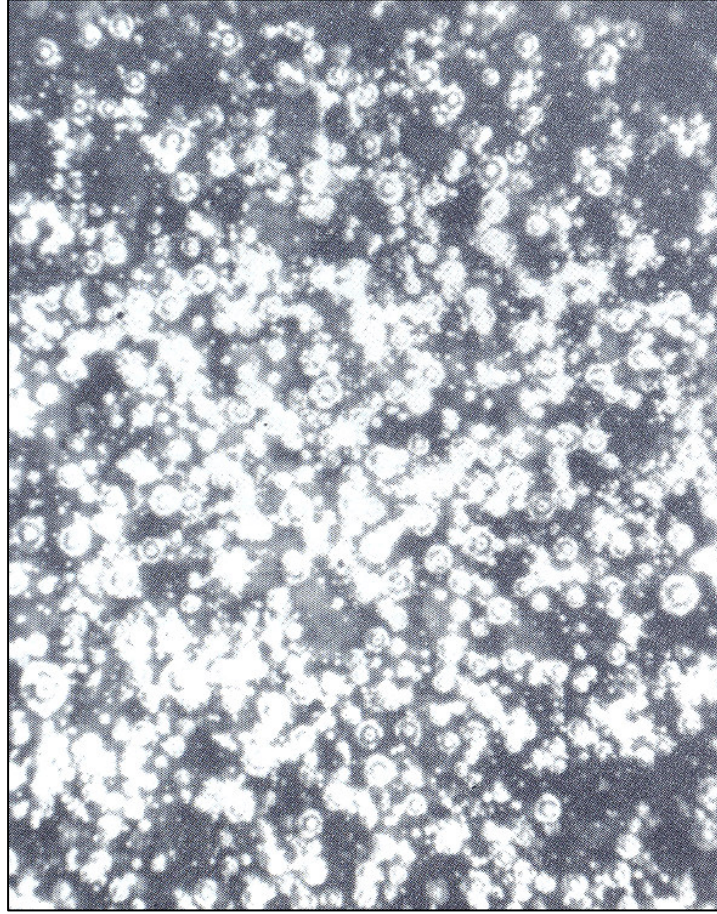
Soğuk veya sıcak çekilmiş metallerin yüzeyinde bulunan çekme yağı, kir ve diğer yağlama maddeleri pürüzlü kaynaklara neden olur. Kaynak esnasında metalin aşırı ısıtılması sonucu kaynak üzerinde çukurluklar, pislik ve tufaler oluşur. Bu durum emayede kabarcıklara yol açar. Bu hatayı engellemek için, kaynak yapılmadan önce malzeme iyice temizlenir ve çekme yağları ile pas giderilir.

Bindirme kaynaklarda, emayeli taraftaki kaynak yerleri tamamıyla örtülmüş olmalıdır. Açık durumdaki bir çatlak temizleme işlemleri sırasında banyo çözeltilerinin araya sıkışmasına sebep olur. Bundan dolayı, korozyon ve pişme sonucu kabarcıklara sebep olan gaz çıkışı olur. Hataya engel olmak için, kaynak uygun ve gerektiği gibi yapılmalıdır. (Laughlin, 1983)

## 5.2.2 Pişmiş Astar Katta Görülen Hatalar

### 5.2.2.1 Zayıf Yapışma

Emayeye yapışma kontrolü yapıldıktan sonra, sacın pürüzsüz ve düzgün bir şekilde kalması ve hiçbir emaye yapışmamış olması, astar kat emayenin yapışması için sacın iyi aşındırılmadığını gösterir. Sacın asit banyosunda uzun süre tutulması, ardından nikel ile kaplanması yüzeyi aşındırır ve yapışmayı artırır. Son derece düzgün yüzeyli saclarda bile uygun bir asitleme ve nikel kaplama sonucunda iyi bir yapışma sağlanır. Az pişmiş astar katın gözenek yapısının rengi normalden çok daha açık olduğu zaman emayenin pişmediği anlaşılır. Bu durum şekil 5.6'da gösterilmiştir.



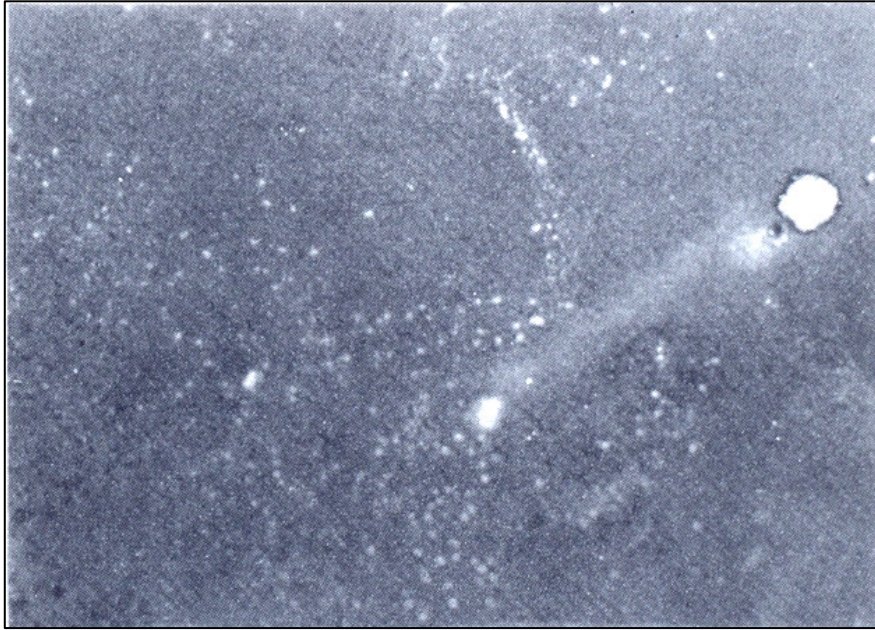
Şekil 5.6 Az pişmiş astar katın gözenek yapısı. (Normalden 63 kat büyütülmüş.)  
(Laughlin, 1983)

### 5.2.2.2 Bakır başı

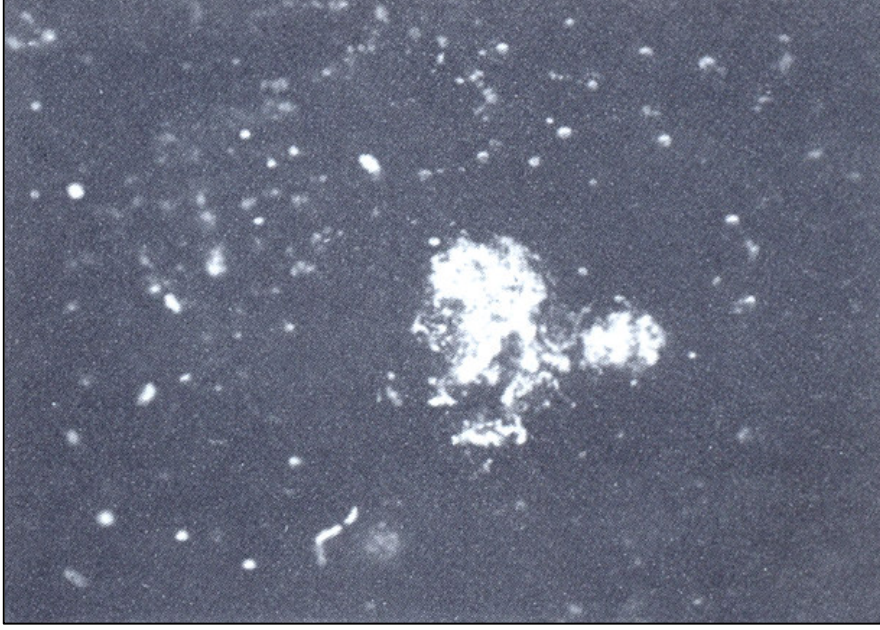
Astar emaye yüzeyinde kırmızı kahverengi leke ve noktacıklardır. Bakır başı hatası sacın arka yüzünde, ön yüzünde veya her iki yüzünde birden görülebilir.

Hata arka yüzde görülüyorsa; astar katın doğru özgül ağırlıkta olup olmadığı ve emayenin kalınlığı kontrol edilir. Emaye gereğinden kalın ise daldırma işlemi süresince daldırma tankı saatte bir, iyi bir şekilde karıştırılır. Emaye gereğinden ince ise suda çözünmüş boraks, sodyum nitrit veya potasyum karbonatla set artırılır. Bakır başı hatasının varlığı uygun olmayan yağ almanın, soğan kabuğu veya saç yüzeyinde gömülü birikintilerin olduğunu gösterir. Bunun dışında saçtaki yarıklardan kaynaklanan emaye çizikleriyle birlikte görülen bakır başı hataları da vardır. Bu hatanın giderilmesi için derin yarıklar zımparalanır ve yağ alma işlemine dikkat edilir. Hata giderilmez ise nikel banyosu, kabarcıklara neden olur.

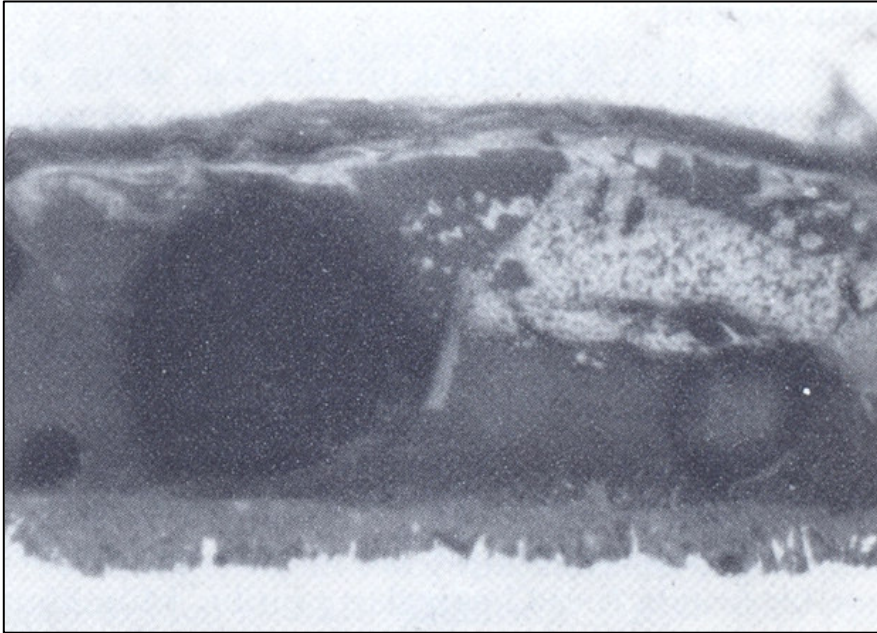
Astar kat emayedeki boraksın rekristalizasyonu sonucunda oluşan koyu renkli çukurlarla birlikte de bakır başı hataları görülebilir. Hatanın giderilmesi için emaye bekletilerek üstünde toplanan su alınır ve emaye saflaştırılmış su ile uygun özgül ağırlığa getirilir. Tipik bir bakır başı hatasının görüntüsü şekil 5.7, 5.8 ve 5.9' da gösterilmiştir. (Laughlin, 1983)



Şekil 5.7 Bakır başı hatasının yüzeysel görüntüsü. (Laughlin, 1983)



Şekil 5.8 Bakır başı hatasının 10 kez büyültüş görüntüsü. (Laughlin, 1983)



Şekil 5.9 Astar kat altında ve üstünde oluşan bakır başı bölgesinin ara kesit görüntüsü (Laughlin, 1983)

### 5.2.2.3 Kabarcık

Kabarcık hataları sadece kenar çekilmiş bölgede, flanşlarda veya metalin her iki yüzünde görülebilir.

Hata kenarda görülürse, kenar emayenin özgül ağırlığı arttırılır ve emaye formülü astar kata eşit ayda daha sert olacak şekilde ayarlanır. Kenar emayenin içine magnezyum karbonat yerine boraks koyarak da hata giderilebilir.

Kabarcıklar flanş bölgesinde görülürse, emayenin süzülme kalınlığı ve kenar üzerindeki kuruma hızı kontrol edilir. Banyoların öncesindeki sepet yüklemesi, çalkalama ve banyolarda ki süzülme de kontrol edilir. Hata eğer her iki yüzde de görülüyor ise kurutma ve pişirme fırınları kontrol edilir. Fırınlarda uygunsuz bir durum yok ise sorun emaye çamuru ile ilgilidir. Değirmendeki emaye katkı maddeleri ve şarjlar kontrol edilir. (Lauglin, 1983)

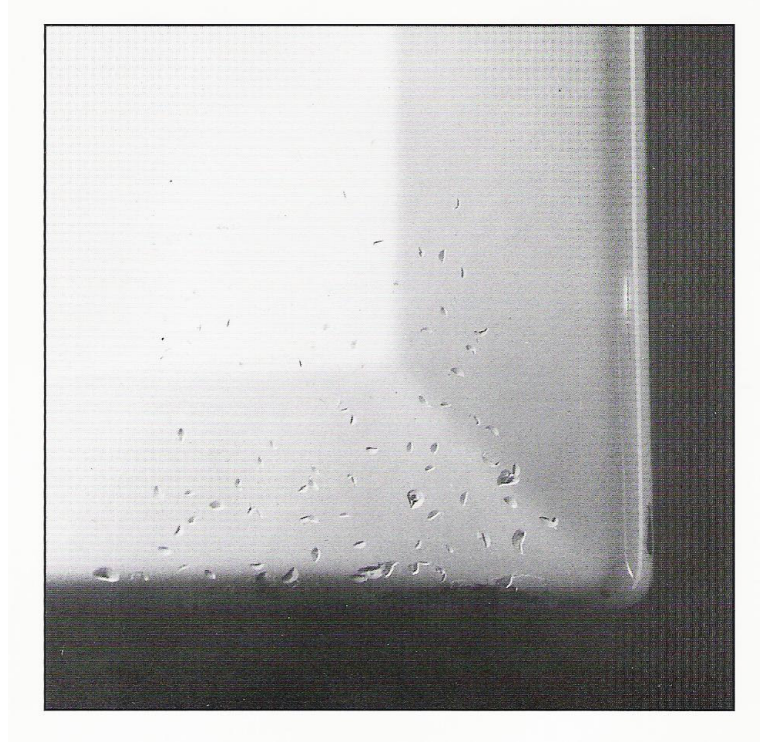
### 5.2.2.4 Yanma

Kenarlar ve flanşlarda meydana gelen yanma hataları için emayenin süzülmesine bakılır. Zayıf süzülme bu hatanın oluşumuna sebep olur. Özgül ağırlık azaltılması, set ayarının iyi tutunma sağlayacak şekilde ayarlanması ve emayeyi sarsan konveyörün titreşiminin kontrol edilmesi ile hata giderilebilir. Ön yüzeyde bir yanma meydana gelmiş ise bu hatanın sebebi, yüzeyin ıslak olarak ve aşırı ısıyı alacak şekilde askılığa asılmasıdır. (Lauglin, 1983)

### 5.2.2.5 Balık pulu

Balık pulu hatasının en belirgin sebebi zayıf yapışmadır. Emayelenmiş metal yüzeyindeki kalın kısımlar ve kaynaklı bölgeler, diğer bölgelerden daha kalın olduklarından dolayı az pişerler ve bu sebepten dolayı da balık pulu hatasına sebep olurlar. Hatanın giderilmesi için ürünlere ön ısıtma yapılır. Pişirme, daha uzun sürede veya daha yüksek sıcaklıkta yapılır. Bunların yanı sıra yağ alma banyosunun süresi de kontrol altında tutulur. Fazla veya az banyolama da balık pulu hatasına sebep olur.

Orta veya iyi yapışmaya sahip ürünlerde de balık pulu hatası görülebilir. Değirmen tuğlasından veya taşlama diskinden gelen silisyum karbür gibi refrakter partikülleri yüzeyi kirleterek balık pulu hatasını oluşturur. Hatanın önlenmesi için dikkatli taşlama yapılır ve değirmen kontrol altında kullanılır. Bir balık pulu hatasının görüntüsü şekil 5.10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Bir balık pulu hatasının görüntüsü (Collins, 1995)

### 5.2.3 Pişmiş Üst Katta Görülen Hatalar

#### 5.2.3.1 Portakal Kabuğu

Emaye uygulanırken atomize basınç kontrol altında tutulur. Fazla atomize hava basıncı, emayenin set ayarını düşürerek portakal kabuğu hatasına sebep olur. Bu durumda yüksek özgül ağırlık ile püskürtme emaye uygulaması denemelidir. Gereğinden fazla yüksek özgül ağırlıklarda emayede tozlanma görülebilir. Bu durumda emayenin set değeri pirofosfat ile emaye ıslanana kadar düşürülür. Kalın uygulama durumlarında da portakal kabuğu hatası görülür. Tipik bir portakal kabuğu hatasının görüntüsü şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Portakal kabuğu hatasının emaye yüzeyindeki görüntüsü. (Lauglin, 1983)

### 5.2.3.2 Yırtılma

Yırtılma hatasının birçok sebebi olabilir. Uygulama ağırlığının yanlış seçilmesi, kalın emayenin oluşmasına kalın emaye de yırtılmaya neden olur. Uygulanan emayenin özgül ağırlığı kontrol altında tutulmaz ise bileşimdeki çok fazla su da yırtılmaya neden olur. Kurutma işleminde kullanılan kurutucunun nem oranı kontrol edilmediği takdirde, çok az nemli ortam ve hızlı kurutma da yırtılmaya neden olur. Bundan dolayı kurutma ortamının emaye bileşiminin ve metalin gerektirdiği gibi ayarlanması gerekir. (Lauglin, 1983)

Emayenin ince uygulanması da bir diğer yırtılma hatası sebebidir. Sodyum nitrit miktarı artırılarak veya kil içeriği maksimum %7,5 olan bir set kullanılarak yırtılma önlenir.

### 5.2.3.3 Su İzi

Su izi hatası genelde daldırma ile yapılan emayelemede, ürünlerin iç yüzeylerinde görülür. Hata, emaye çamurundaki parçacıkların, suyun yaptığı erozyondan dolayı süzülme sırasında emayeden ayrılmasından kaynaklanır. İşlem sırasındaki yüksek nem, yüzeydeki buharlaşmayı engeller ve hatanın gelişmesini sağlar. Hatanın önlenmesi için parçaların yüzeylerine düşük

neme sahip bir hava sirkülasyonu uygulanır. Termosifon gibi dar ağızlı parçalarda, parçanın içine düşük hızlı hava üflenerek süzülme sağlanır. Şekil 5.12’de su çizgisinin yüzeysel görünümü gösterilmektedir. (Lauglin, 1983)



Şekil 5.12 Su çizgisinin yüzeysel görünümü (Lauglin, 1983)

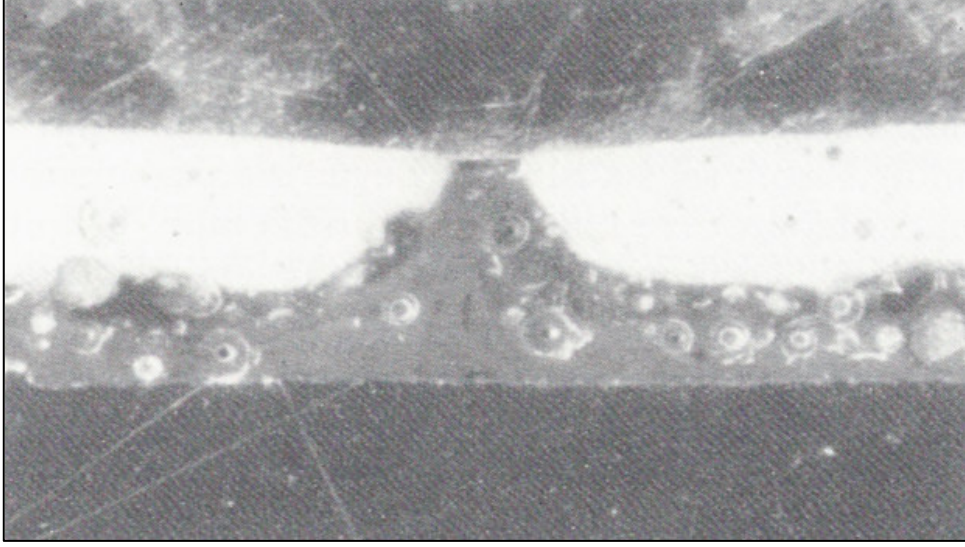
#### 5.2.3.4 Tufaller

Tufaller genel olarak tüm emaye uygulamalarında yüzey üzerinde görülürler. Önlenmesi için fırına giren ürünler hava veya fırça ile temizlenir. Kontuni fırınlarda parçanın asılma pozisyonu, tufalden dolayı reddolan ürün sayısına etki eder. Bundan dolayı parçaların asılma pozisyonu uygun biçimde yapılmalıdır.

#### 5.2.3.5 Patlamalar

Patlama hataları ile balık pulu hatası birbirine çok benzer. Bundan dolayı iyi bir inceleme yapılır. Patlama hataları yuvarlak şekilleri ile balık pulundan ayrılırlar. Balık pulu hataları

yarım ay şeklindedir. Patlamalar emaye yüzeyinde yuvarlak kraterler meydana getirir. Bu krater, emaye ve saçtan daha farklı bir genişleme katsayısına sahip yabancı bir maddenin, zorla astar kattan çıkararak oluşturduğu bir kraterdir. Bu yabancı madde polisaj işleminden gelen zımpara veya silisyum karbür ise hatayı önlemek için, ürünü daldırma yapmadan önce iyice temizlemek ve polisaj için daha ince ve kumlu bir malzeme kullanılması gerekir. Eğer bu yabancı madde değirmen tuğlasının bir parçası veya büyük kuvars tanesi ise, hatanın önlenmesi için emaye 50 mesh elekten geçirilir. Bir patlama hatasının ara kesitinin 100 kez büyütülmüş görüntüsü şekil 5.13’ de gösterilmiştir. (Lauglin, 1983)



Şekil 5.13 Patlama hatasının ara kesitinin 100 kez büyütülmüş görüntüsü.  
(Lauglin, 1983)

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu araştırmada Erdemir'den temin edilen 7512 kalite soğuk çekilmiş ve 6837 kalite sıcak çekilmiş çelik plakalara, pistole ile emaye uygulaması yapılmış ve emayelenmiş en iyi ürün kalitesini elde etmek için gerekli olan optimum şartlar araştırılmıştır. Deneyde Ege Kimya Ař'den temin edilen toz halindeki hazır emaye kullanılmıştır. Kullanılan emayenin bileşiminde % 30 sert frit (1127) , % 40 orta sert frit (1128), %30 yumuşak frit (1129), % 6 kil, % 10 quartz, %2 magnezyum karbonat, %2 sodyum nitrit, %2 boraks ve %2 antimon bulunmaktadır. Deneyde kullanılan çelik plakalara ait kimyasal bileşimler çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Plakaların mekanik özellikleri çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 Deneyde kullanılan çelik plakaların kimyasal bileşimleri.

Erdemir Kalite No	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Ni %
7512	0,031	0,006	0,205	0,012	0,009	0,053	0,009
6837	0,105	0,077	0,747	0,012	0,007	0,057	0,054

Çizelge 6.2 Deneyde kullanılan çelik plakaların mekanik özellikleri

	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı	Uzama
Erdemir Kalite No	Re (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
7512	232	330	32
6837	316	424	34

### 6.1. Numunelerin Hazırlanması

7512 ve 6837 kalite saçlardan 25x25 cm ebatlarında ve 2 mm kalınlığında 20'şer adet numune, toplamda 40 adet numune, alınarak 0,01 gr hassasiyetteki Sartorius markalı elektronik tartıda tartılmıştır. Tartılan plakaların ağırlıkları çizelge 6.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.3 Deneyde kullanılan çelik plakaların ağırlıkları.

Numune No	Ağırlık (gr)	
	7512 Kalite	6837 Kalite
Numune 1	488	489
Numune 2	490	490
Numune 3	489	490
Numune 4	489	488
Numune 5	490	491
Numune 6	489	490
Numune 7	489	491
Numune 8	490	489
Numune 9	488	489
Numune 10	489	491
Numune 11	491	492
Numune 12	492	494
Numune 13	488	489
Numune 14	489	489
Numune 15	488	490
Numune 16	488	487
Numune 17	491	492
Numune 18	489	492
Numune 19	489	490
Numune 20	489	488

Deneylerde kullanılan plaka numunelerin ve ağırlık ölçümünün yapıldığı elektronik hassas tartının görüntüleri şekil 6.1 ve şekil 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Deneylerde kullanılan numunelerin görüntüsü



Şekil 6.2 Deneylerde kullanılan numunelerin tartıldığı hassas tartı

Tartma işleminden sonra numune plakalar, askılı taşıyıcılara asılarak yüzey temizleme işlemi için banyolara daldırılmıştır. Yüzey temizleme işleminde plakalar sırasıyla; yağ alma 1 , yağ alma 2 , sıcak su durulama, soğuk su durulama, asit banyosu, soğuk durulama 1 , soğuk durulama 2 ve nötralizasyon banyolarından geçirilmiştir. Bu banyoların sıcaklığı, bileşimi ve bekleme sürelerine ait veriler çizelge 6.4'te verilmiştir. (Kyri, 1976)

Çizelge 6.4 Numune plakalara uygulanan yüzey temizleme banyolarına ait veriler.

Banyo Adı	Bekleme Süresi (dk)	Sıcaklık (°C)	Banyo Bileşimi
Yağ Alma 1	7	75	Alkali + Silikat + Fosfat + Tensid
Yağ Alma 2	7	75	Alkali + Silikat + Fosfat + Tensid
Sıcak Su Durulama	4	80	Su
Soğuk Su Durulama	2	Ortam Sıcaklığı	Su
Asit Banyosu	6	65	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Soğuk Su Durulama 1	1,5	Ortam Sıcaklığı	Su
Soğuk Su Durulama 2	1,5	Ortam Sıcaklığı	Su
Nötralizasyon	3	75	Soda + Sodyum Nitrat

Yüzey temizleme işleminde özellikle asit banyosu, metal yüzeyinin emaye uygulaması için hazır hale getirilmesinde çok önemli olması nedeniyle, metal yüzeyi aşındırılarak yüzey pürüzlülüğü artırılmıştır. (Emayenin tutunması için gerekli olan pürüzlülüğün sağlanması asit banyosunda gerçekleştirilir). Metalin yüzeyine istenenden daha ince bir emaye kaplanırsa pişirme esnasında yanma hatası, istenenden daha kalın bir emaye kaplanırsa pişirmeden sonra kalın emaye atması hataları görülür. (Kyri, 1976) Bundan dolayı asit banyosunda optimum bekleme sürelerinin bulunması için araştırma ve deneyler yapılmıştır.

## 6.2. Asit Banyosunda Optimum Bekleme Sürelerinin Bulunması

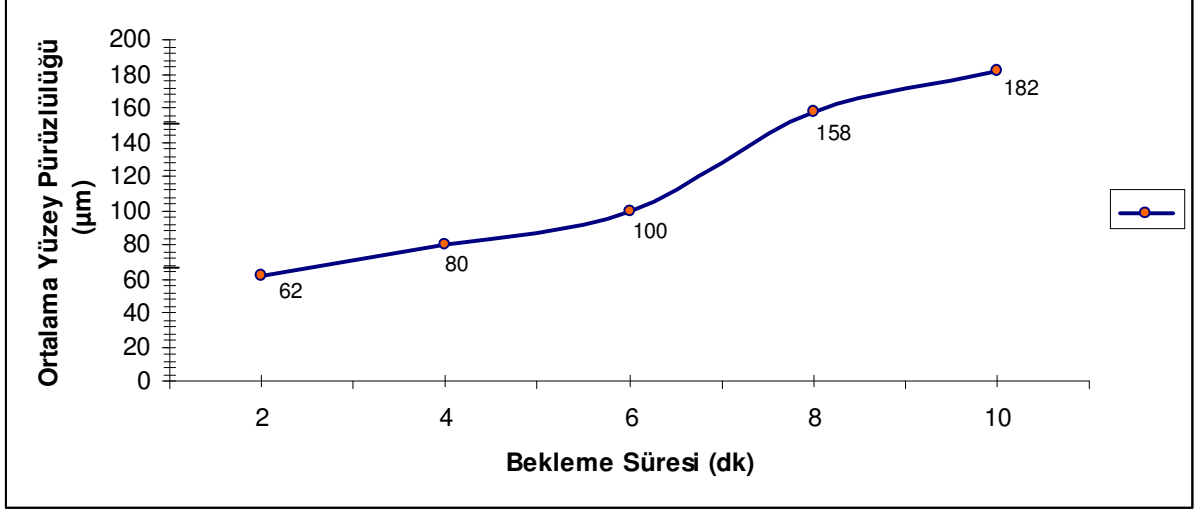
Deneyde 10 adet numune kullanılmış olup, emayenin metale uygulanma uzaklığı 20-40 cm aralığında alınmıştır. Emaye sonrasında kurutma sıcaklığı 80°C - 100°C arasında ve emayenin pişirme sıcaklığı ise 850°C - 900°C aralığında alınmıştır. Asit banyosunun bekleme süreleri değiştirilerek asit banyosu sonucunda metal yüzeylerinin ortalama yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Ortalama pürüzlülük değerlerinin bulunmasında, her numune metalin yüzeyinden dört ölçüm alınmıştır. Toplamda 40 ölçüm yapılmıştır.

Deneylerin tamamı %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde ve 65°C'de yapılmıştır. Ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri ve değiştirilen bekleme sürelerine ait veriler çizelge 6.5'de gösterilmiştir. 7512 ve 6837 kalite saçlar için bekleme süreleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile oluşan grafikler ise şekil 6.3 ve şekil 6.4'te gösterilmiştir.

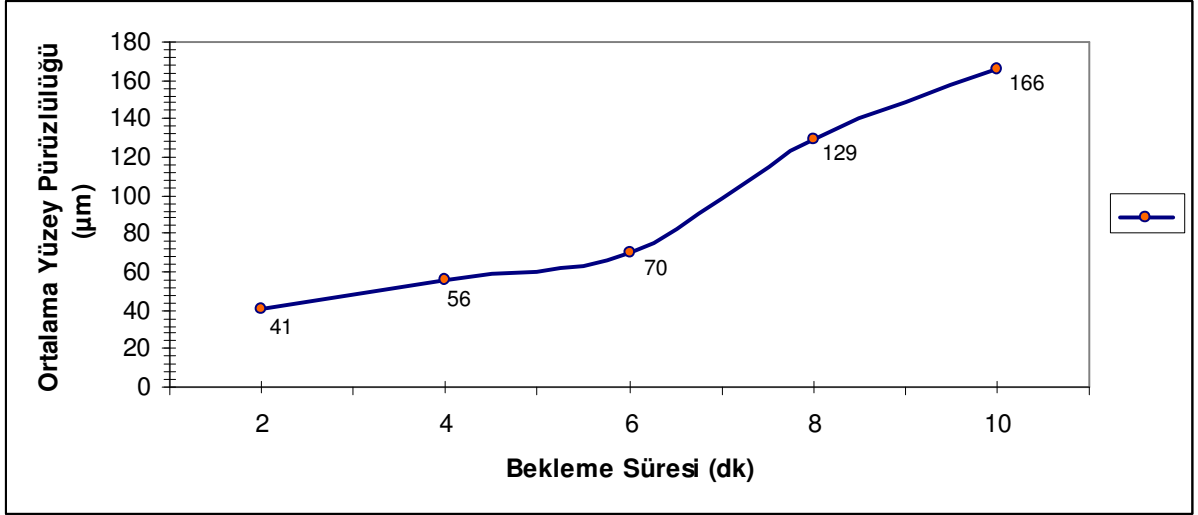
Çizelge 6.5 Asit banyosunun değişen bekleme sürelerine göre ölçülen ortalama pürüzlülük değerleri

Numuneler	Bekleme Süresi (dk)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (µm)
7512 (1)	2	62 (± 3,34)
7512 (2)	4	80 (± 2,17)
7512 (3)	6	100 (± 1,92)
7512 (4)	8	158 (± 2,49)
7512 (5)	10	182 (± 1,79)

6837 (1)	2	41 (± 1,92)
6837 (2)	4	56 (± 1,79)
6837 (3)	6	70 (± 2,05)
6837 (4)	8	129 (± 2,05)
6837 (5)	10	166 (± 1,92)



Şekil 6.3 7512 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile oluşan grafik



Şekil 6.4 6837 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ortalama yüzey pürüzlülük değerleri ile oluşan grafik

Grafiklerden de görüldüğü gibi asit banyosunda bekleme süresi ile ortalama yüzey pürüzlülük değerleri arasında bir doğru orantı mevcuttur. Bekleme süreleri arttıkça, yüzey pürüzlülüğü de artmaktadır.

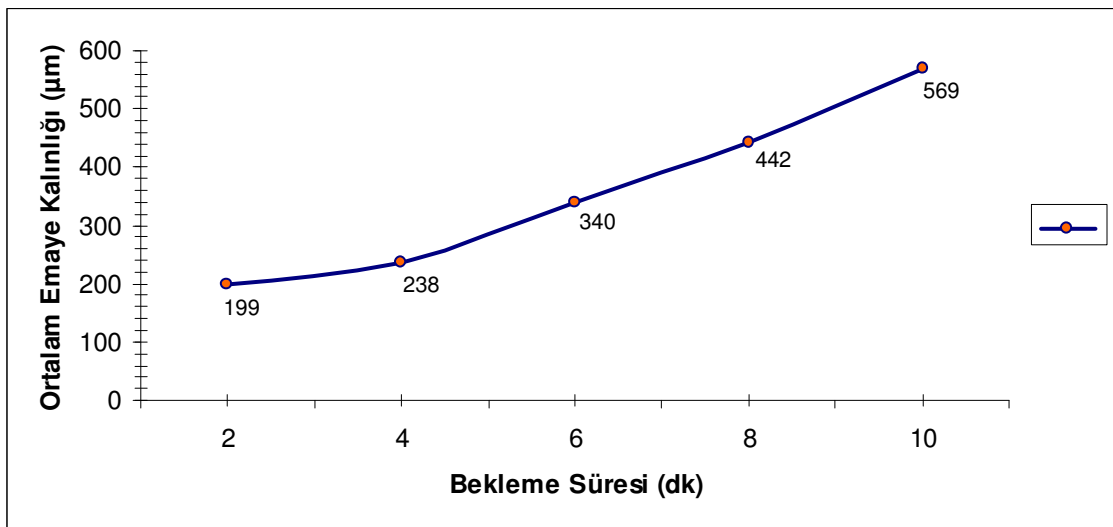
Ortalama yüzey pürüzlülükleri ölçülen numunelere pistole ile emayeleme işlemi uygulanmıştır. Daha sonra numuneler 90°C'deki kurutma fırınında kurutulmuştur. Ardından 900°C'de pişirilmiştir. Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra Positector 6000 markalı

elkometre ile numunelerin yüzeyindeki ortalama emaye kalınlığı değerinin bulunması için her numune için dört kere ölçüm yapılmış ve toplamda 40 ölçüm değeri alınmıştır. Ölçülen değerler çizelge 6.6'da gösterilmiştir. 7512 ve 6837 kalite saçlar için bekleme süreleri ve elde edilen ortalama emaye kalınlıkları ile oluşan grafikler şekil 6.5 ve şekil 6.6'de gösterilmiştir.

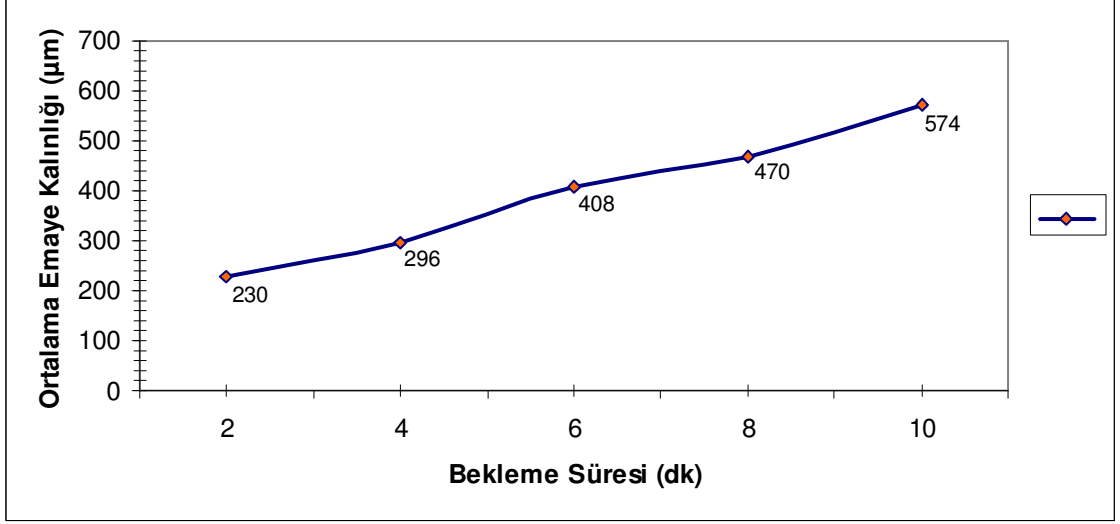
Çizelge 6.6 Asit banyosunda değişen bekleme sürelerine göre numune yüzeylerinde ölçülen ortalama emaye kalınlıkları.

Numuneler	Bekleme Süresi (dk)	Ortalama Emaye Kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )
7512 (1)	2	199 ( $\pm 2,95$ )
7512 (2)	4	238 ( $\pm 3,77$ )
7512 (3)	6	340 ( $\pm 3,11$ )
7512 (4)	8	442 ( $\pm 2,55$ )
7512 (5)	10	569 ( $\pm 3,56$ )

6837 (1)	2	230 ( $\pm 2,28$ )
6837 (2)	4	296 ( $\pm 2,55$ )
6837 (3)	6	408 ( $\pm 1,09$ )
6837 (4)	8	470 ( $\pm 2,92$ )
6837 (5)	10	574 ( $\pm 2,86$ )

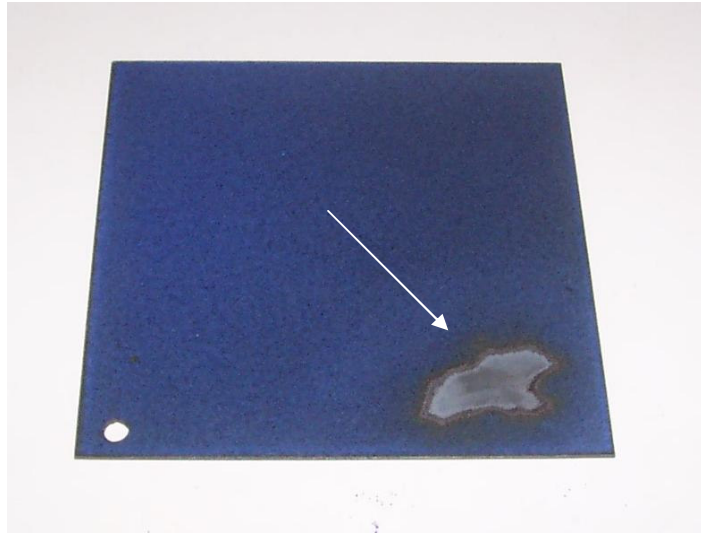


Şekil 6.5 7512 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ölçülen ortalama emaye kalınlıkları ile elde edilen grafik

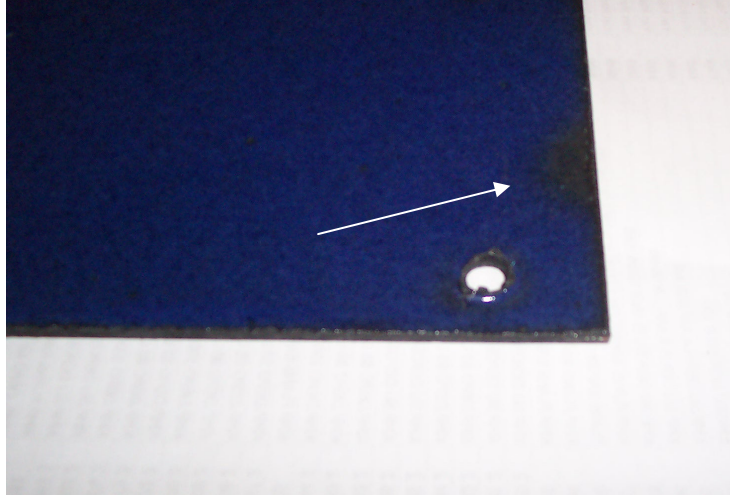


Şekil 6.6 6837 kalite saçtan numuneler için bekleme süreleri ve ölçülen ortalama emaye kalınlıkları ile elde edilen grafik

Ortalama emaye kalınlıkları ölçülen numunelerin yüzeyleri incelenerek, oluşan hatalar belirlenmiştir. Buna göre; 7512(1) ve 6837(1) numaralı numunelerde yanma hataları, 7512(2) ve 6837(2) numaralı numunelerde seyrek de olsa yanma hataları görülmüştür. 7512(1) numaralı numunede görülen yanma hatasının görüntüsü şekil 6.7’de gösterilmiştir. 6837(2) numaralı numunede görülen yanma hatasının görüntüsü şekil 6.8’de gösterilmiştir



Şekil 6.7 7512(1) numaralı numunede görülen yanma hatasının görüntüsü.



Şekil 6.8 6837(2) numaralı numunede görülen yanma hatasının görüntüsü.

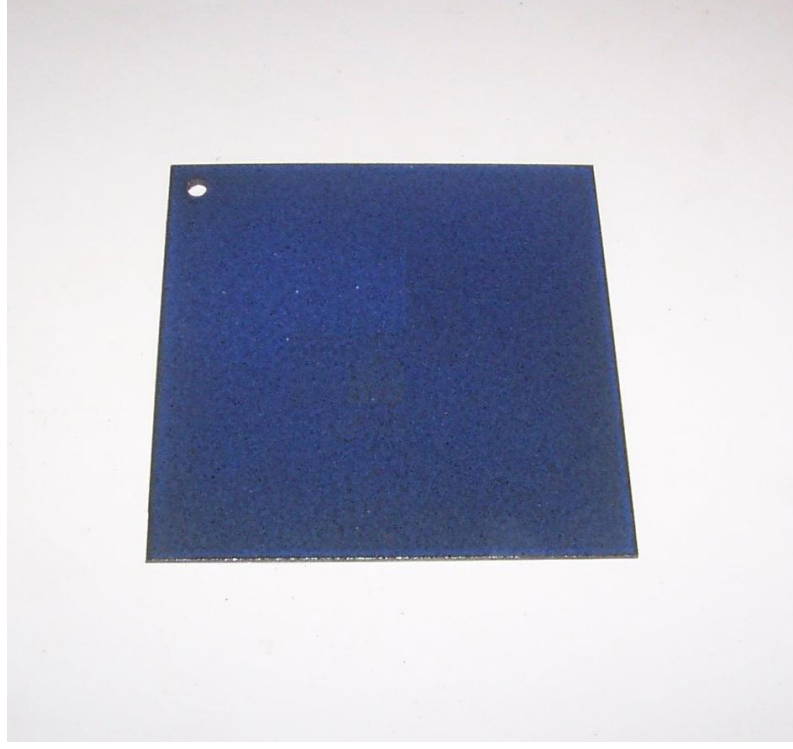
7512(4) ve 6837(4) numaralı numunelerde az miktarda atma hatası ve 7512(5) ve 6837(5) numaralı numunelerde oldukça geniş atma hataları gözlemlenmiştir. 6837(5) numaralı numunede görülen atma hatasının görüntüsü şekil 6.9'da gösterilmiştir.



Şekil 6.9 6837(5) numaralı numunede görülen atma hatasının görüntüsü.

7512(3) ve 6837(3) numaralı numunelerde yanma hatalarına veya atma hatalarına rastlanmamıştır. Sonuç olarak 7512 kalite çelik saç ve 6837 kalite çelik saç için asit

banyosunda optimum bekleme süreleri 6 dk olarak bulunmuştur. Yüzey hatası olmayan 7512(3) numaralı numunenin görüntüsü şekil 6.10'da gösterilmiştir.



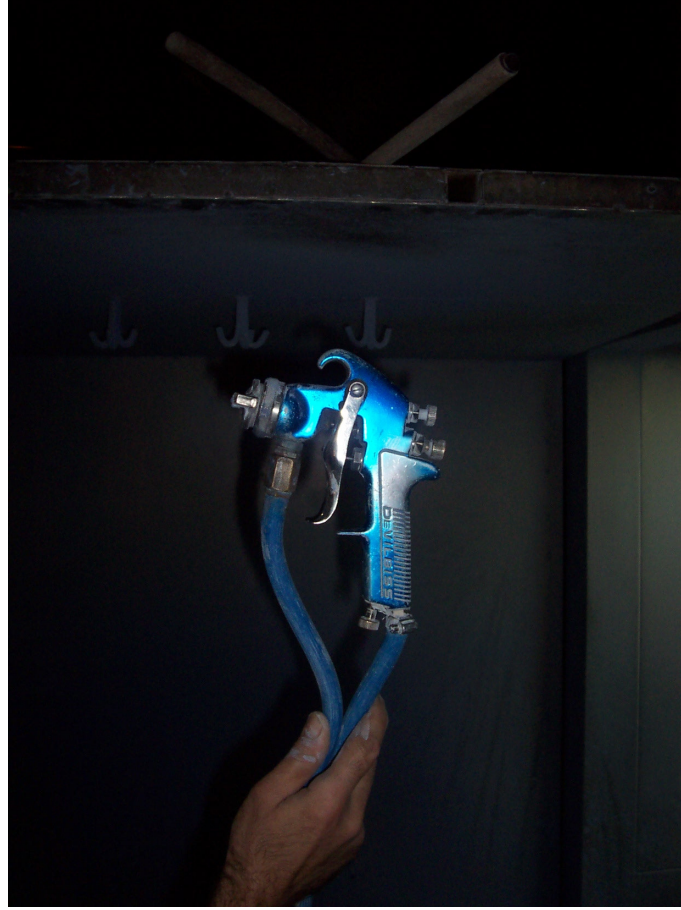
Şekil 6.10 7512(3) numaralı numunenin görüntüsü

### 6.3. Emaye Uygulamasının Optimum Uzaklığının Bulunması

7512 kalite ve 6837 kalite saçlardan alınmış numuneler için optimum banyolama süreleri belirlendikten sonra, emaye uygulamasında optimum uygulama uzaklığının bulunması için deney yapılmıştır. Bu deney için daha önce bulunan optimum bekleme süresi olan 6dk kullanılmış ve emaye sonrasında uygulanan kurutma sıcaklığı 80°C - 100°C arasında, emayenin pişirme sıcaklığı 850°C - 900°C arasında alınarak emaye uygulamasının yapıldığı pistolenin metal yüzeyine uzaklığı değiştirilmiş ve en iyi kalitedeki emayeyi elde etmek için gerekli uzaklıklar araştırılmıştır.

7512(6), 7512(7), 7512(8), 7512(9), 7512(10), 6837(6), 6837(7), 6837(8), 6837(9), ve 6837(10) numaralı numuneler askılara asılarak yüzey temizleme banyolarına daldırılmıştır. Asit banyosunda 6 dk bekletilen numuneler kurutulduktan sonra emayeleme işlemine geçilmiştir.

Emaye uygulaması Dewillbiss markalı pistole ile 20 sn süre boyunca her iki yüzeye yapılmıştır. Numunelerin yüzeylerine çeşitli uzaklıklardan emaye püskürtülerek emaye kaplanmıştır. Numuneler ve emayenin uygulama uzaklıkları çizelge 6.7’de gösterilmiştir. Emaye uygulamasının yapıldığı pistolenin görüntüsü şekil 6.11’de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 Emaye uygulamasının yapıldığı pistolenin görüntüsü

Numunelere pistole ile uygulanan emayeleme işlemi şekil 6.12’de gösterilmiştir.



Şekil 6.12 Numunelere pistole ile emaye uygulaması

Çizelge 6.7 Emayenin numune plakalara uygulama uzaklığı.

Numuneler	Pistolenin Ağzının Metal Yüzeyinden Uzaklığı (cm)
7512 (6)	5
7512 (7)	10
7512 (8)	20
7512 (9)	35
7512 (10)	55

6837 (6)	5
6837 (7)	10
6837 (8)	20
6837 (9)	35
6837 (10)	55

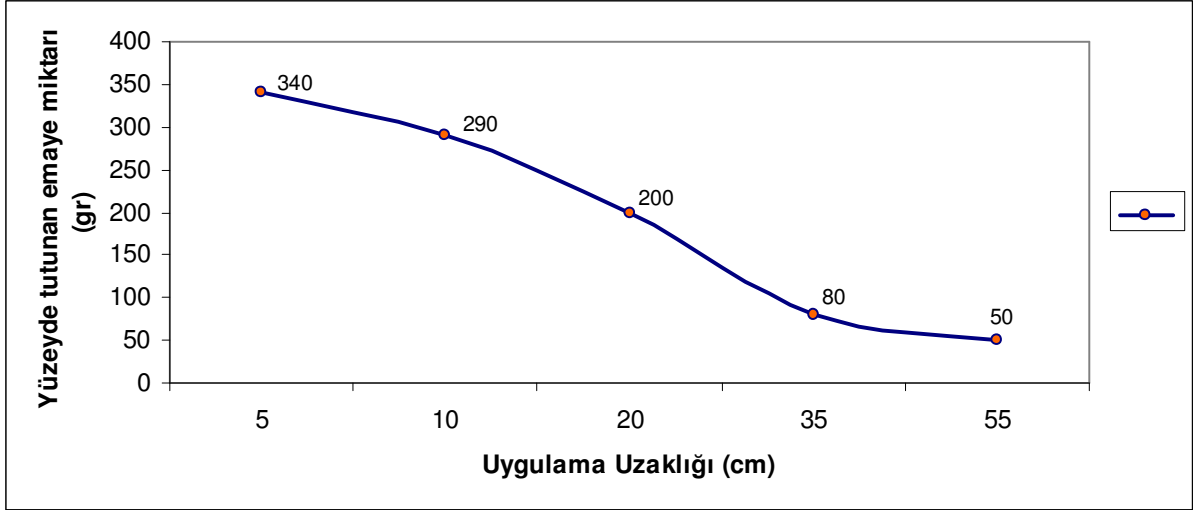
Numunelerin, emaye işleminden önce ( $W_a$ ) ve emaye uygulamasından sonra ( $W_s$ ) ağırlıkları ölçüldü. Ölçülen değerler çizelge 6.8’de gösterilmiştir. Metal plakaların yüzeylerinde tutunan emaye miktarı ( $W_{emaye}$ ), eşitlik 6.1’e göre hesaplanmıştır..

$$W_{emaye} = W_s - W_a \quad (6.1)$$

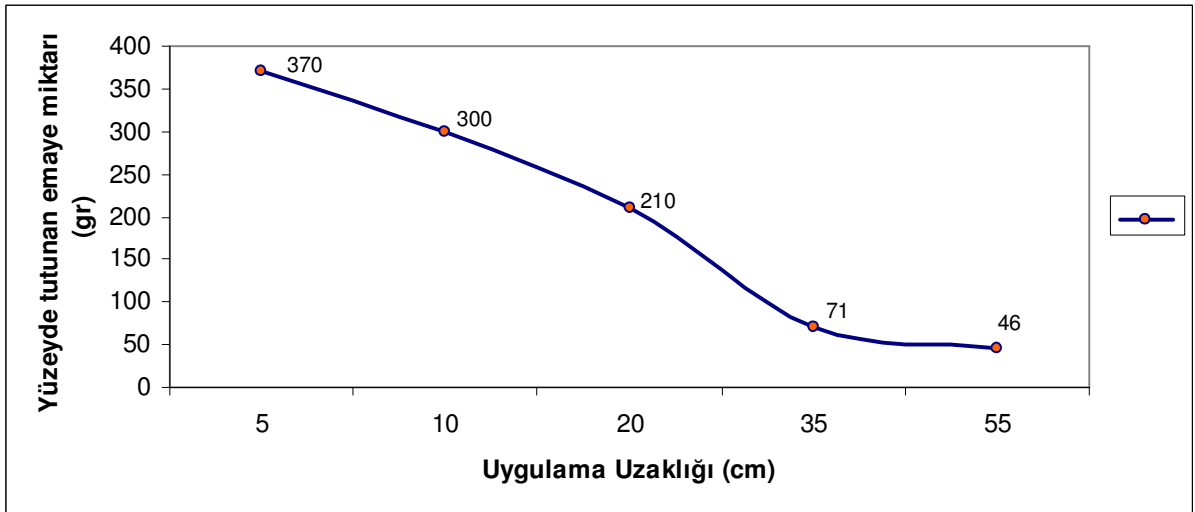
Çizelge 6.8 Emaye uygulamasından sonra önce ve sonra ölçülen numunelerin ağırlıkları.

Numuneler	Emaye uygulanmadan önce ölçülen ağırlık ( $W_a$ ) (gr)	Emaye uygulandıktan sonra ölçülen ağırlık ( $W_s$ ) (gr)	Metal yüzeyinde tutunan emaye miktarı ( $W_{emaye}$ ) (gr)
7512 (6)	489	829	340
7512 (7)	489	779	290
7512 (8)	490	690	200
7512 (9)	488	563	75
7512 (10)	489	539	50
6837 (6)	490	865	375
6837 (7)	491	791	300
6837 (8)	489	699	210
6837 (9)	489	560	71
6837 (10)	491	537	46

Emaye uygulanan pistolenin metal yüzeyinden uzaklıkları ve yüzeyde tutunan emaye miktarları kullanılarak elde edilen grafikler şekil 6.13 ve 6.14’te gösterilmiştir.



Şekil 6.13 7512 kalite saç numunede elde edilen verilerle oluşan grafik

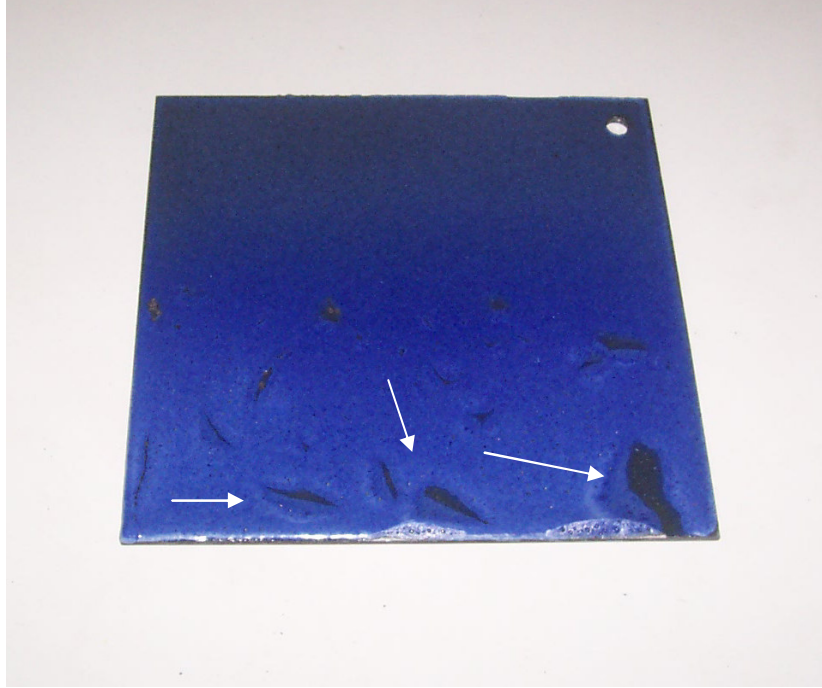


Şekil 6.14 6837 kalite saç numunede elde edilen verilerle oluşan grafik

Grafiklerden de görüldüğü gibi emayenin metal yüzeyine uygulama uzaklığı ile metal yüzeyine tutunan emaye miktarı arasında bir ters orantı mevcuttur. Emayenin uygulanma uzaklığı arttıkça, yüzeye tutunan emaye miktarında azalma gözlemlenmektedir.

Emaye uygulaması bitip ölçümler alındıktan sonra numuneler tekrar askılı konveyör sistemine alınıp kurutma ve pişirme işlemleri tamamlanıp emaye prosesi sonlandırılmıştır. Numuneler oda sıcaklığında soğuduktan sonra yüzeylerindeki hatalar incelenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda 7512(6), 7512(7), 6837(6) ve 6837(7) numaralı numunelerin yüzeyinde yakın uygulamadan dolayı emaye birikmesi (topaklanma) hatası görüldü. 7512(9), 7512(10), 6837(9) ve 6837(10) numaralı numunelerde ise emayenin metal yüzeyine yeterince yapışmadığı ve bundan dolayı pişirme esnasında yanma hatalarının oluştuğu görüldü. 7512(8) ve 6837(8) numaralı numunelerin yüzeylerinde ise herhangi bir sorunla karşılaşılmadı. 6837(6) numaralı numunenin yüzeyinde görülen topaklanma hatası şekil 6.15'te gösterilmiştir.



Şekil 6.15 6837(6) numaralı numunenin yüzeyinde görülen topaklanma hatasının görüntüsü

Yapılan tüm bu incelemelerin sonucunda 7512 ve 6837 kalite saçların pistole ile emayelenmesi esnasında, pistolenin metalden optimum uzaklığının 20 cm olduğu belirlenmiştir.

#### 6.4. Emaye Uygulanmış Numunelerin Optimum Kurutma Sıcaklığının Bulunması

Numunelerin asit banyosunda optimum bekleme süreleri ve emayenin uygulanma uzaklığı tespit edildikten sonra emayeleme işlemi sonrasında uygulanan kurutma işleminin optimum sıcaklığını bulmak için deney yapılmıştır. Bu deneyde, bulunan bekleme süreleri 6 dk ve uygulama uzaklıkları 20 cm olarak alınmış olup emayenin pişirme sıcaklığı da 850°C - 900°C aralığında alınmıştır. Kurutma fırınının sıcaklığı değiştirilerek en iyi performansı verecek değerlerin bulunması için araştırma yapılmıştır.

(Emaye uygulamasından sonra uygulanan kurutma işleminin amacı, emayenin yüzeyinde pişirme işleminden önce bisküvi yapısını elde etmektir. Bisküvi yapısı, pişirme esnasında emayenin yüzeyinde gözeneklerin oluşmasını engelleyerek emayenin metale daha iyi yapışmasını sağlar.)

Bu deney için 7512(11), 7512(12), 7512(13), 7512(14), 7512(15), 6837(11), 6837(12), 6837(13), 6837(14), ve 6837(15) numaralı numuneler kullanılmıştır. Plakalara öncelikle yüzey temizleme işlemi yapılmış ve sonrasında emaye tatbik edilmiştir. Emayenin uygulanmasından sonra numuneler RotaMak markalı kurutma fırınında kurutulmak üzere askılara asılarak fırına alınmıştır. Askıdaki numuneler şekil 6.16'da gösterilmiştir. Kurutma fırınının içinin görüntüsü şekil 6.17'de gösterilmiştir.

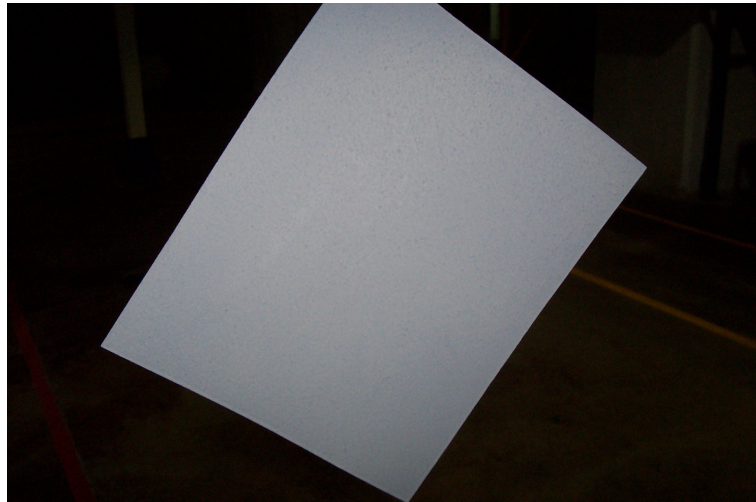


Şekil 6.16 Kurutma fırınına alınmak üzere askılara asılmış numunelerin görüntüsü.



Şekil 6.17 Kurutma fırınının iinin görüntüsü

Kurutma fırını, askılı konveyör sistemlerinde alttan sıcak hava üfleme mekanizmasıyla emayeyi kurutmaktadır. Kurutmadan çıkmış, bisküvi yapısına sahip metal plakanın görüntüsü Şekil 6.18’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18 Kurutmadan çıkmış, bisküvi yapısına sahip metal plakanın görüntüsü

Numuneler, kurutma sıcaklıkları değiştirilerek fırında 30 dk boyunca kurutulmuştur. Uygulanan sıcaklıklar çizelge 6.9'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.9 Numunelere uygulanan kurutma sıcaklıkları

Numuneler	Kurutma fırınının sıcaklığı (°C)
7512 (11)	50
7512 (12)	70
7512 (13)	90
7512 (14)	110
7512 (15)	140

6837 (11)	50
6837 (12)	70
6837 (13)	90
6837 (14)	110
6837 (15)	140

Kurutma sonunda tüm numuneler tekrar askılı konveyör sistemine alınıp pişirme fırınına alınmıştır. Pişirme fırınında pişirildikten sonra yüzeyleri incelenmiştir. 7512(11) ve 6837(11) numaralı numunelerde emaye çatlaklarının ve su izi hatalarının olduğu görülmüştür. Kurutma sıcaklığının yetersiz olmasından dolayı, emaye nemli olarak pişirme fırınına girmiş ve pişirme esnasında alt tabakada oluşan baloncuklar yüksek sıcaklık ile yüzeye çıkıp bu izleri oluşturmuştur. 7512(12) ve 6837(12) numaralı numunelerde de aynı çatlamlar ve dökülmeler görülmüş olup fazla yaygın ve büyük çapta oluşmamış olduğu gözlenmiştir. 7512(11) numaralı numunede görülen su izi hatasının görüntüsü şekil 6.19'da gösterilmiştir.



Şekil 6.19 7512(11) numaralı numunenin yüzeyinde görülen su izi hatasının görüntüsü

7512(14) ve 6837(14) numaralı numunelerde yapılan incelemede, kurutma sıcaklığının fazla gelmesi nedeniyle yüzeyde portakal kabuğu hatasına rastlanmıştır. 7512(15) ve 6837(15) numaralı numunelerde de, emayenin çok yüksek sıcaklıkta kurutulmasından dolayı aşırı miktarda portakal kabuğu hatası görülmüştür. 7512(14) numaralı numunede görülen portakal kabuğu hatasının görüntüsü şekil 6.20’de gösterilmiştir.



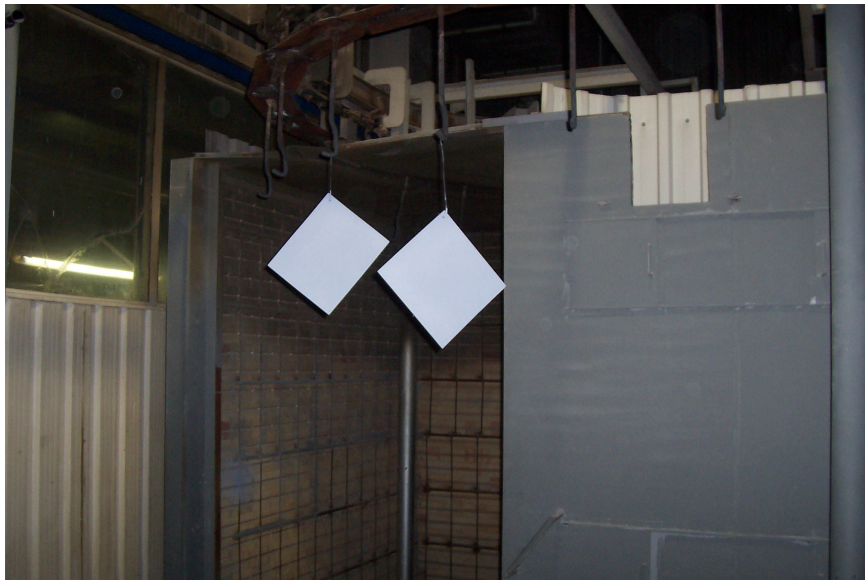
Şekil 6.20 7512(14) numaralı numunenin yüzeyinde görülen portakal kabuğu hatasının görüntüsü

7512(13) ve 6837(13) numaralı numunelerde ise portakal kabuğu ve su izi hatalarına rastlanmamıştır. Pürüzsüz ve olması gereken gibi bir yüzey elde edilmiştir. Elkometre ile yapılan ölçümlerde de emaye kalınlığının standartlar dâhilinde olduğu görülmüştür. Sonuç olarak emayenin optimum kurutma sıcaklığının 90 °C olduğu belirlenmiştir.

#### 6.5. Emayenin Optimum Pişirme Sıcaklığının Bulunması

Emaye fırınının kurutma sıcaklığı, emaye uygulamasının uzaklığı ve asit banyosunda bekleme süreleri belirlendikten sonra optimum pişirme sıcaklığının belirlenmesi için deney yapılmıştır. Bu deneyde daha önce tespit edilen optimum değerler kullanılmış olup, emaye fırınının pişirme sıcaklığı değiştirilmiş ve pişirme sonrasında emayeli ürünün yüzeyi kontrol edilmiştir.

Bu deney için 7512(16), 7512(17), 7512(18), 7512(19), 7512(20), 6837(16), 6837(17), 6837(18), 6837(19), ve 6837(20) numaralı numuneler kullanılmıştır. Öncelikle numunelerin yüzeyleri temizlenmiş ve emaye uygulanmıştır. Daha sonra kurutma fırınında kurutma yapılarak askılı konveyör sistemi ile Ferro Makine markalı kutu pişirme fırınına alınmıştır. Pişirme fırınına girmeye hazır numuneler şekil 6.21’de gösterilmiştir. Pişirme fırınında numunelere uygulanan sıcaklık değerleri çizelge 6.10’da gösterilmiştir.



Şekil 6.21 Pişirme fırınına alınacak askıdaki numunelerin görüntüsü.

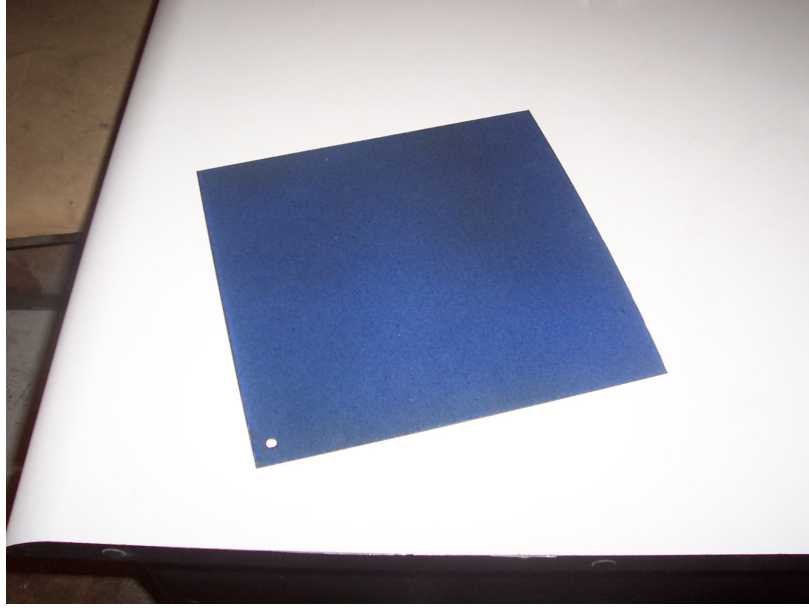
Çizelge 6.10 Numunelere uygulanan pişirme sıcaklıkları

Numuneler	Piştirme fırınının sıcaklığı (°C)
7512 (16)	650
7512 (17)	760
7512 (18)	860
7512 (19)	970
7512 (20)	1050

6837 (16)	650
6837 (17)	760
6837 (18)	860
6837 (19)	970
6837 (20)	1050

Emayenin metale tam yapışması için, numuneler piştirme fırınında 15 dk süreyle bekletildikten sonra oda sıcaklığında soğutulmuşlardır.

Numuneler soğuyup yüzeyleri incelendiğinde; 7512(16) ve 6837(16) numaralı numunelerde oldukça mat bir yüzey görülmüştür. Yine 7512(17) ve 6837(17) numaralı numunelerde de mat yüzey hatasına rastlanmıştır. (Yetersiz piştirme sıcaklığından dolayı, emayenin metale tam olarak yapışmaması durumunda mat yüzey hatası oluşur). 7512(19) ve 6837(19) numaralı numunelerin yüzeyleri kontrol edildiğinde ise yüzeyde belirli bölgelerde yanma hataları görülmüştür. 7512(20) ve 6837(20) numaralı numuneler incelendiğinde ise yüzeyde aşırı yanmalar ve boşluklar görülmüştür. (Bu tip yanma hataları, yüksek piştirme sıcaklığından dolayı emayenin yanması ve metal yüzeyinin alttan görünmesi durumudur) 7512(18) ve 6837(18) numaralı numunelerin kontrolünde ise emayeli yüzeyde matlık ve yanma gibi hatalar görülmemiş olup pürüzsüz bir yüzey görülmüştür. 7512(18) numaralı numunenin görüntüsü şekil 6.22’de gösterilmiştir.



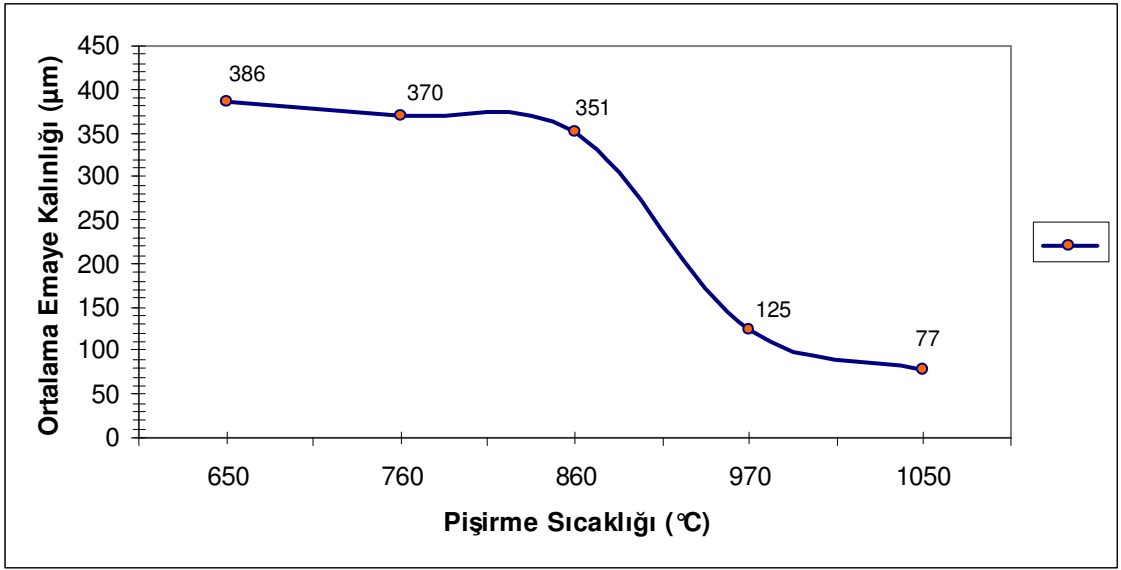
Şekil 6.22 Pişirme fırınından çıkmış 7512(18) numaralı numunenin görüntüsü

Pişıirmeden çıkan numunelerin elkometre ile ortalama emaye kalınlıkları da ölçülmüş olup ölçülen değerler çizelge 6.11’de gösterilmiştir. Uygulanan pişirme sıcaklıkları sonrasında elde edilen ortalama emaye kalınlıkları ile elde edilen grafikler şekil 6.23 ve 6.24’de gösterilmiştir.

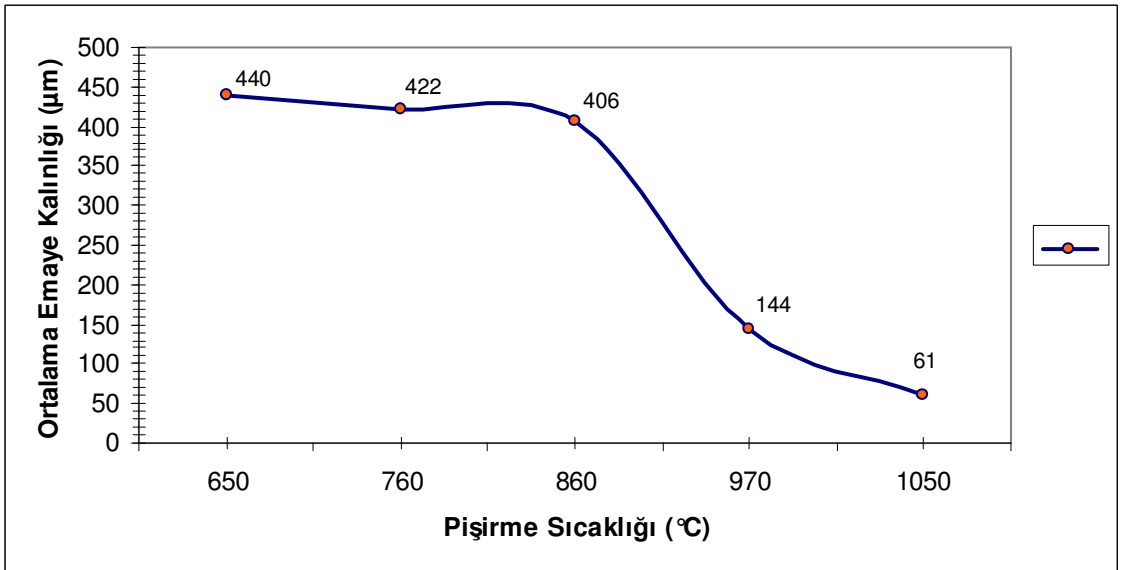
Çizelge 6.11 Pişirme sonrasında numunelerin ölçülen ortalama emaye kalınlıkları.

Numuneler	Pişirme Sıcaklığı (°C)	Emaye Kalınlığı (µm)
7512 (16)	650	386 (± 3,49)
7512 (17)	760	370 (± 3,74)
7512 (18)	860	351 (± 3,16)
7512 (19)	970	125 (± 1,64)
7512 (20)	1050	77 (± 1,41)

6837 (16)	650	440 (±1,22)
6837 (17)	760	422 (±1,87)
6837 (18)	860	406 (± 0,83)
6837 (19)	970	144 (± 1,79)
6837 (20)	1050	61 (± 1,92)



Şekil 6.23 7512 kalite saç numuneleri için piştirme sıcaklığı ile ortalama emaye kalınlığı ilişkisini gösteren grafik



Şekil 6.24 6837 kalite saç numuneleri için piştirme sıcaklığı ile ortalama emaye kalınlığı ilişkisini gösteren grafik

Grafiklerden de görüldüğü gibi piştirme sıcaklığı ile ortalama emaye kalınlığı arasında ters orantı vardır. Emayenin piştirme sıcaklığı arttıkça, emayenin kalınlığı azalmaktadır.

Daha sonra yüzeyi pürüzsüz ve hatasız görünen 7512(18) ve 6837(18) numaralı numunelerdeki emaye yapışmasının nasıl olduğunu görmek için, numunelere darbe testi uygulanmıştır. Darbe testi düzeneğinde 75 cm yüksekliğe çıkarılmış 2 kg ağırlığındaki darbe aparatı emayelenmiş metal yüzeyine dik olarak bırakılmış ve yüzeyde oluşan deformasyona darbe skalası kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Darbe testi düzenekleri şekil 6.25 ve şekil 6.26'da gösterilmiştir.

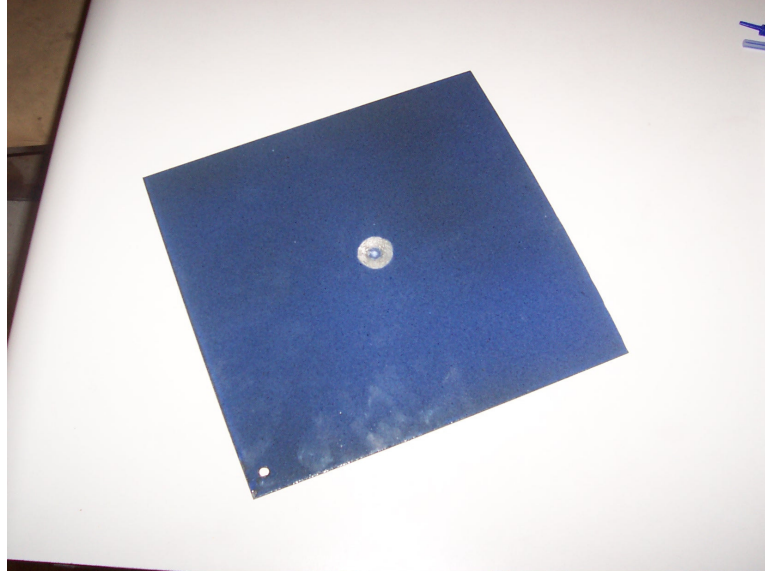


Şekil 6.25 Darbe testi düzenegi

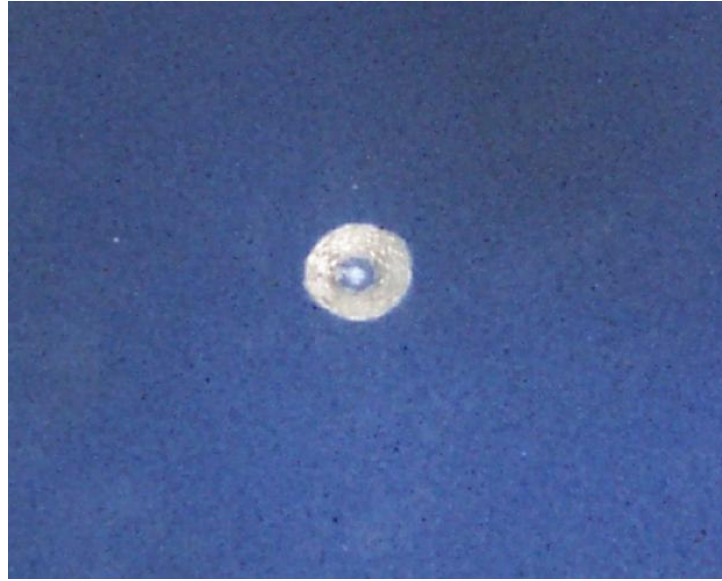


Şekil 6.26 Darbe testi düzenegi

Darbe testinden çıkan numunenin darbe skalasına göre karşılaştırması yapıldığında emayenin yapışmasının iyi ile mükemmel seviyesinin arasında olduğu görülmüştür. Darbe testinden çıkan emayeli numunenin görüntüsü şekil 6.27'de, darbe aparatının oluşturduğu yüzeyin görüntüsü şekil 6.28'de gösterilmiştir.



Şekil 6.27 Darbe testi sonucunda numunenin görüntüsü



Şekil 6.28 Darbe aparatının oluşturduğu yüzeyin görüntüsü

Deneylerin sonucunda 7512(18) ve 6837(18) numaralı numunelere uygulanan pişirme sıcaklığı olan 860°C’de herhangi bir sorunla karşılaşılmamış olması ve yapışmanın tam olarak sağlanmasından dolayı 860°C optimum pişirme sıcaklığı olarak belirlenmiştir.

## 7. SONUÇLAR

Bu araştırmada Erdemir'den temin edilen 7512 kalite soğuk çekilmiş ve 6837 kalite sıcak çekilmiş, 25x25 cm ebatlarında ve 2 mm kalınlığındaki 40 adet çelik plaka numuneye, pistole ile Ege Kimya Ař'den temin edilmiş ve bileşiminde % 30 sert frit (1127) , % 40 orta sert frit (1128), % 30 yumuşak frit (1129), % 6 kil, % 10 quartz, % 2 magnezyum karbonat, % 2 sodyum nitrit, % 2 boraks ve % 2 antimon bulunan emaye uygulanmış ve emayelenmiş en iyi ürün kalitesini elde etmek için optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda bulunan şartlar aşağıdaki gibidir;

- %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi içerisinde ve 65°C'de uygulanan asit banyosunda malzemelerin optimum bekleme süresi; 7512 kalite çelik saç için 6 dk, 6837 kalite çelik saç için 6 dk bulunmuştur.

Numunelerin asit banyosunda bekleme süreleri ile numunelerin ortalama yüzey pürüzlülük değerleri arasında bir doğru orantı olduğu, bekleme süreleri arttıkça yüzey pürüzlülüğünün de arttığı tespit edilmiştir.

- Emayenin uygulanmasında, her iki saç için de asit banyosu bekleme süreleri 6dk, kurutma sıcaklığı 90°C ve pişirme sıcaklığı 860°C alındığında, pistolenin metal yüzeyinden optimum uzaklığı 20 cm olarak bulunmuştur.

Emayenin metal yüzeyine uygulanma uzaklığı ile metal yüzeyine tutunan emaye miktarı arasında bir ters orantı olduğu, emayenin uygulanma uzaklığı arttıkça, yüzeyde tutunan emaye miktarının azaldığı yapılan deneylerden elde edilmiştir.

- Emaye uygulamasından sonra metale uygulanan 30 dk'lık kurutma işleminde, kurutma fırınının optimum sıcaklığı 90°C olarak bulunmuştur.
- Emayeleme işlemi uygulanmış numunelere 15 dk boyunca uygulanan pişirme işleminde kullanılan kutu tipi fırının optimum sıcaklığı 860 °C olarak bulunmuştur.

Emayenin pişirilme sıcaklığı ile ortalama emaye kalınlığı arasında bir ters orantı olduğu yapılan deneysel incelemeler sonucunda bulunmuştur. Pişirme sıcaklığı arttıkça, emayenin kalınlığının azaldığı yapılan incelemeler sonucunda bulunmuştur.

Pişirilmiş numuneye yapılan darbe testi sonucunda yüzeyde oluşan deformasyonun, darbe skalasına göre yapılan incelemesinde, emayenin yapışma derecesinin iyi ile mükemmel seviye arasında olduğu bulunmuştur.

## 8. GENEL SONUÇLAR

Erdemir'den temin edilen 7512 kalite soğuk çekilmiş ve 6837 kalite sıcak çekilmiş çelik plakalara, bileşiminde % 30 sert frit (1127) , % 40 orta sert frit (1128), % 30 yumuşak frit (1129), % 6 kil, % 10 quartz, % 2 magnezyum karbonat, % 2 sodyum nitrit, % 2 boraks ve % 2 antimon bulunan emaye ile uygulanan emayeleme işlemi sonucunda, %10'luk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ile uygulanan asit banyosunda numunelerin optimum bekleme süreleri 6 dk, emaye uygulamasının yapıldığı pistolenin, metal yüzeyinden optimum uzaklığı 20cm, pistle ile emaye püskürtüldükten sonra numunelere uygulanan optimum kurutma sıcaklığı 90°C ve emayenin pişirildiği pişirme fırınının optimum sıcaklığı 860°C olarak belirlenmiştir.