

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PETROL VE DOĞALGAZ BORULARININ TEK KAT
FBE (FUSION BONDED EPOXY) KAPLANMASINDA YÜZEY PROFİL
DERİNLİKLERİNİN KATODİK SOYULMA PERFORMANSINA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İbrahim AŞKAR**

Anabilim Dalı : Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Programı : Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa ÜRGEN

Haziran 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PETROL VE DOĞALGAZ BORULARININ TEK KAT
FBE (FUSION BONDED EPOXY) KAPLANMASINDA YÜZEY PROFİL
DERİNLİKLERİNİN KATODİK SOYULMA PERFORMANSINA ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İbrahim AŞKAR
506071225**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.05.2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 01.06.2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa ÜRGEN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Kürşat KAZMANLI (İTÜ)
Doç. Dr. Gökhan ORHAN (İÜ)**

Haziran 2009

Anneme,

ÖNSÖZ

Tez çalışmalarım boyunca değerli görüşlerini benden esirgemeyen, tecrübelerini benimle paylaşan ve bana yol gösteren sayın hocam Prof. Dr. Mustafa Ürgen'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca tecrübeleri ile katkıda bulunan Borusan Mannesman Boru İzmit Fabrikası Fabrika Müdürü Hakan ÖZBAY'a, Kaplama Tesisi Birim Yöneticisi Akın TURAN'a, Kalite Yetkili Uzmanı Arif ALBAR'a, numunelerin hazırlanması aşamasında aktif olarak çalışan Kaplama Tesisi Postbaşı Tahir SAĞLAM'a, Mekanik Atelye çalışanlarından Musa İNCEEL'e, Kalite Departmanı çalışanlarından Ali DİZDAR, M. Ali YEMİŞER ve Orhan EREN'e, katkılarından dolayı değerli arkadaşlarım Aykut AVCI ve Meryem ÇUBUKÇU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatıma başlamama ve devam ettirebilmeme vesile olan amcam Kamil AŞKAR'a, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi desteği ile her zaman yanımda olan, bana abilik yapan değerli büyüğüm Renault Mais Genel Müdürü İbrahim AYBAR'a, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve beni hep daha iyiye, güzele yönlendiren aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İyi bir eğitim alabilmem için küçük yaşta beni İstanbul'a gönderebilme dirayetini gösteren **Annem**'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran 2009

İbrahim AŞKAR

Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	3
1.2 Literatür Özeti	3
1.3 Hipotez.....	4
2. FBE KİMYASI.....	5
2.1 Epoksi Reçineleri	7
2.2 Kür Katkıları	8
2.3 Katalizörler	10
2.4 Pigmentler ve Dolgu Katkıları	10
3. PETROL VE DOĞALGAZ BORULARINDA KOROZYON ÖNLEYİCİ FBE KAPLAMALAR KİMYASI	11
3.1 Giriş.....	11
3.2 Tek Kat FBE Kaplamalar	11
3.3 Çift Kat FBE Kaplamalar	12
3.4 Üç Kat FBE Kaplamalar.....	12
4. TEK KAT FBE KAPLAMA.....	17
4.1 Yüzey Hazırlama	17
4.1.1 Yüzey görünümü ve pürüzlülüğü	17
4.1.2 Kimyasal yıkama	20
4.1.3 Kromatlama	21
4.2 FBE Uygulama.....	23
4.2.1 Daldırma yöntemi	24
4.2.2 Elektrostatik toz boya yöntemi.....	25
5. FBE KAPLAMA PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ.....	29
5.1 İşletme Testleri.....	29
5.1.1 Yüzey hazırlama	29
5.1.1.1 Ortam şartları	30
5.1.1.2 Yüzey temizlik derecesi	30
5.1.1.3 Yüzey pürüzlülüğü	31
5.1.1.4 Tuz kirliliği	32
5.1.1.5 Toz kirliliği	33
5.1.1.6 Yüzey görünümü.....	35
5.1.1.7 Kimyasal yıkama performans ölçümleri	35
5.1.2 FBE kaplama	36

5.1.2.1 Holiday testi	36
5.1.2.2 Kaplama kalınlığı	37
5.1.1.3 Yapışma testi	38
5.1.1.4 Yüzey görünümü	38
5.1 Laboratuvar Testleri	39
5.2.1 DSC (Differential scanning calorimetry) testi	39
5.2.2 Yapışma testi	40
5.2.3 Düşük sıcaklıkta bükme testi	41
5.2.4 Karşı yüzey kirlilik tayini	41
5.2.5 Porozite	42
5.2.6 Katodik soyulma testi	44
5.2.7 Sıcak suya dayanım testi	46
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	49
6.1 Yüzey Hazırlama.....	49
6.1.1 Çelik numunelerin hazırlanması.....	49
6.1.2 Yüzey profili oluşturma	49
6.1.3 Toz kirliliği	51
6.1.4 Tuz kirliliği	52
6.2 FBE Kaplama.....	53
6.2.1 FBE kaplı yüzey DSC testi	56
6.2.2 Katodik soyulma testi	56
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	63
EKLER	65

KISALTMALAR

FBE	: Fusion Bonded Epoxy
BPA	: Bisphenal-A
DSC	: Differential Scanning Calorimetry
AWWA	: American Water Works Association
API	: American Petroleum Institute
NACE	: National Association of Corrosion Engineers
KCC	: Korean Chemical Company
ISO	: International Organisation for Standardization
CSA	: Canadian Standards Association

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Kür katkısıve epoksi eşdeğer oranlarının ürün özelliklerine etkileri.....	9
Çizelge 2.2: Katalizörlerin jel süresine etkileri.....	10
Çizelge 3.1: Üç katlı FBE kaplama sistemlerinde performans ölçümleri	15
Çizelge 4.1: FBE kaplama standartlarında talep edilen yüzey profil değerleri	18
Çizelge 4.2: Bazı FBE ürünlerin jel ve kür süreleri	26
Çizelge 5.1: Toz oranı sınıflandırma tablosu.....	33
Çizelge 5.2: Kimyasal yıkama performans ölçümleri	35
Çizelge 5.3: FBE kaplama standartlarına göre holiday testi voltaj değerleri	37
Çizelge 5.4: FBE kaplama standartlarına göre FBE kaplama kalınlıkları.....	37
Çizelge 5.5: Standartlara göre katodik soyulma test şartları	44
Çizelge 5.6: Standartlara göre test koşulları	46
Çizelge 5.7: Sıcak suya dayanım testi yapışma oranı belirleme referans tablosu	47
Çizelge 6.1: X60 çelik malzeme kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri.....	49
Çizelge 6.2: Yüzey profil ölçüm sonuçları	51
Çizelge 6.3: Toz kirlilik testi sonuçları	51
Çizelge 6.4: Numunelerdeki tuz kirlilik seviyeleri	52
Çizelge 6.5: Karumel ex4413 F103(A) ürün özellikleri	53
Çizelge 6.6: Kaplanmış numunelerde kaplama kalınlık ölçüm sonuçları	55
Çizelge 6.7: Katodik Soyulma Test Sonuçları (mm)	59
Çizelge 6.8: Farklı profil derinliklerinde pik sayıları.....	59
Çizelge 7.1: Ortalama değerlere göre katodik soyulma mesafeleri	61
Çizelge A.1: X60 kimyasal bileşim ve mekanik özellikler.	66
Çizelge B.1: Misketlenmiş yüzeyde toz kirlilik ölçümü	67
Çizelge C.1: Katodik soyulma test raporu 1	68
Çizelge C.2: Katodik soyulma test raporu 2	69
Çizelge C.3: Katodik soyulma test raporu 3	70
Çizelge C.4: Katodik soyulma test raporu 4	71
Çizelge C.5: Katodik soyulma test raporu 5	72
Çizelge C.6: Katodik soyulma test raporu 6	73
Çizelge C.7: Katodik soyulma test raporu 7	74
Çizelge C.8: Katodik soyulma test raporu 8	75
Çizelge C.9: Katodik soyulma test raporu 9	76

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Eşit pik sayılı farklı yüzey profil derinlikleri	4
Şekil 2.1: Epoksi (oksiran) grubu	5
Şekil 2.2: Epoksi reçine bağ yapısı	6
Şekil 2.3: Camsı geçiş sıcaklığının % uzama yeteneğine etkileri	7
Şekil 2.4: Bazı kür katkıları ve bağ yapıları	8
Şekil 3.1: Tek kat FBE kaplı doğalgaz boruları	11
Şekil 3.2: (1) Korozyon Önleyici FBE kat (2) Mekanik koruyucu polyester kat	12
Şekil 3.3: Üç katlı FBE kaplama sistmi	12
Şekil 3.4: İndüksiyon akım yöntemi ile çelik boru ısıtma sistemi	13
Şekil 3.5: Elektrostatik toz boya yöntemi ile FBE astar uygulaması	14
Şekil 3.6: Üç katlı FBE kaplama sistemi	14
Şekil 3.7: Üç katlı FBE kaplama sistemlerinde boru ucu hazırlama	15
Şekil 4.1: Misketlenmiş çelik boru yüzey profili	18
Şekil 4.2: Çelik bilya ve çelik grit sınıflandırmaları	19
Şekil 4.3 : (1) İndüksiyon akım ile ısıtma yöntemi (2) Fosforik asit uygulama (3)Yüksek basınçlı su ile durulama (4) Yüzey kurutma	21
Şekil 4.4: Kromatlamamanın katodik soyulma performansına etkisi	22
Şekil 4.5: Şerit fırça yardımı ile kromikasit çözeltisinin boru yüzeyine sarılması ...	22
Şekil 4.6: Kromatlama sonra ince oksit tabakalarının detayı ve tabaka kalınlıkları ..	23
Şekil 4.7: (1) Isı tebeşirleri (2) İnfrared sıcaklık ölçüm cihazı	24
Şekil 4.8: Daldırma yöntemi ile FBE kaplama	25
Şekil 4.9: Elektrostatik toz boya uygulaması	26
Şekil 4.10: Dupont 7-2500 kodlu FBE ürünün kür grafiği	27
Şekil 5.1: Yüzeyi temizlik derecesinin belirlenmesinde kullanılan komperatör	30
Şekil 5.2: Çelik yüzeydeki pas oranına göre temizlik sonrası elde edilecek yüzey görünümleri	31
Şekil 5.3: Dijital Profil Ölçüm Cihazı	31
Şekil 5.4: Tuz kirliliğinin ölçümü için kullanılabilen dijital ölçüm cihazı (ELCOMETER SCM 400)	32
Şekil 5.5: Tuz kirlilik tayini	32
Şekil 5.6: Toz oranı referans tablosu	34
Şekil 5.7: Örnek toz kirlilik ölçümü	34
Şekil 5.8: Yüzey temizliği tamamlanmış boruda görsel kontrol	35
Şekil 5.9: Kimyasal yıkama sonrası uygunsuz çelik boru yüzeyleri	36
Şekil 5.10: Manuel holiday test uygulaması	36
Şekil 5.11: Otomatize Haliday uygulama ünitesi	37
Şekil 5.12: X-Kesme Yapışma Testi	38
Şekil 5.13: (1) Uygunsuz kaplama yüzey görünümü, (2) Uygun kaplama yüzey görünümü	38
Şekil 5.14: DSC testi sonuç grafiği	39
Şekil 5.15: Tam küre ulaşmamış numune için DSC testi	40

Şekil 5.16: FBE yapışma testi.....	40
Şekil 5.17: Bükme testi	41
Şekil 5.18: Karşı yüzey kirliliği ve kabarcıklı yapı	42
Şekil 5.19: Ara yüzey porozite tayini.....	42
Şekil 5.20: Porozite oranı karşılaştırma tablosu	43
Şekil 5.21: Yüksek sıcaklıklarda yapılmış kaplamalarda porozite oran artışı.....	43
Şekil 5.22: Numune üzerine başlangıç deliğın açılması	45
Şekil 5.23: Katodik soyulma test hücresi	45
Şekil 5.24: Test parametrelerinin katodik soyulma etkileri	46
Şekil 6.1: Numunelerin misketleme kabin içinde farklı noktalara kaynatılması.....	50
Şekil 6.2: Yüzey profil ölçümleri	50
Şekil 6.3: Toz testi uygulaması.....	51
Şekil 6.4: (1)Demineralize suyun ölçüm bezine aşılınması (2) Ölçüm bezinin numuneye temas ettirilmesi (3) Ölçüm bezinin cihaza yerleştirilmesi (4) Sonuç görüntüleme	52
Şekil 6.5: Numunelerin ısıtılması ve sıcaklık kontrolü.....	53
Şekil 6.6: Numunelerin elektrostatik toz boya yöntemi ile FBE kaplanması	54
Şekil 6.7: FBE kaplı numunelerin su ile soğutulması.....	54
Şekil 6.8: FBE kaplı numunelerde kalınlık ölçümleri.....	55
Şekil 6.9: FBE kaplama DSC(Differential Scanning Calorimety) testi.....	56
Şekil 6.10: Katodik soyulma test hücreleri	57
Şekil 6.11: Kesici uç ile çizgisel kesme işlemi.....	57
Şekil 6.12: Çizgisel kesim sonrası numuneler.....	58
Şekil 6.13: Katodik soyulma sonrasında düşük profil derinliklerindeki aşırı soyulma	58
Şekil 6.14: Farklı yüzey profil derinlikleri için üç boyutlu resimlendirme	60
Şekil 7.1: Yüzey profil derinliği – Katodik soyulma mesafe ilişkisi.....	62
Şekil D.1: DSC test raporu (4-14µm)	78
Şekil D.2: DSC test raporu (7-12µm)	79
Şekil D.3: DSC test raporu (17-26µm)	80
Şekil D.4: DSC test raporu (32-41µm)	81
Şekil D.5: DSC test raporu (36-42µm)	82
Şekil D.6: DSC test raporu (45-57µm)	83
Şekil D.7: DSC test raporu (67-88µm)	84
Şekil D.8: DSC test raporu (92-101µm)	85
Şekil D.9: DSC test raporu (105-112µm)	86

PETROL VE DOĞALGAZ BORULARININ TEK KAT FBE (FUSION BONDED EPOXY) KAPLANMASINDA YÜZEY PROFİL DERİNLİKLERİNİN KATODİK SOYULMA PERFORMANSINA ETKİLERİ

ÖZET

Petrol ve doğalgaz boru hatlarındaki en önemli problem olan korozyon maliyeti, geçmişten günümüze önemli teknolojilerin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Çelik boruların koruyucu kaplamalar ile izole edilerek servise sunulması, korozif elemanların ortamdaki uzaklaştırılması, katodik koruma bu tip teknolojilerin başlıcalarıdır.

Kömür katranı, asfalt, beton ve katkılı bitüm uygulamaları ile başlayan kaplama teknolojileri daha sonraları polimerik ve organik malzeme uygulamaları ile devam etmiştir. 1970'li yıllardan sonra, FBE (Fusion Bonded Epoxy) olarak isimlendirilen ve termoset özellik gösteren organik kaplama uygulamaları yaygınlaşmıştır. Sıcak yüzeye teması sonucu eriyik bir yapıya bürünüp sertleşme eğilimi gösteren FBE ürünlerinin, tekrar ısıtıldıklarında fiziksel ya da kimyasal bir değişime uğramaları söz konusu değildir. Günümüzde tek kat, çift kat ve üç kat FBE kaplama teknolojileri dünya üzerinde yaygın şekilde uygulanmaktadır. Bunun yanı sıra kompozit malzeme uygulamaları için laboratuvar çalışmaları da devam etmektedir.

Bu çalışmada tek kat FBE kaplama uygulaması için yüzey hazırlama kriterlerinde yüzey profil derinliğinin kaplama performansı üzerine etkileri katodik soyulma testleri ile incelemeye alınmıştır. İlk olarak X60 çelik sınıfından 100x100mm ebatlarında numuneler misketleme prosesine alınmıştır. 0-115 µm aralığında yüzey profil derinliklerine sahip numuneler elektrostatik toz boya kaplama metodu ile FBE kaplanmıştır. 48 saatlik katodik soyulma testine tabi tutulan numunelerden elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Farklı yüzey profil derinliklerinin katodik soyulma mesafeleri ile ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. 90µm ve üstü profil derinliklerine sahip numunelerin katodik soyulma mesafelerinde artış gözlenmiştir.

THE EFFECTS OF SURFACE PROFILE DIFFERENTIATION TO THE CATHODIC DISBONDMENT PERFORMANCE OF FUSION BONDED EPOXY COATINGS FOR OIL AND GAS PIPELINES

SUMMARY

The corrosion cost of pipelines has forced new technologies to be developed such as the isolation of steel pipes with corrosion resistant materials and/or cathodic protection.

The coating technologies with coaltar epoxy, asphalt, cement and bitumen had been widely used before the newest polymeric and organic coating materials were developed. After seventies, organic coating systems with thermosetting properties such as FBE (Fusion-Bonded Epoxy) coatings started to be used owing to their better corrosion protection, ease of application and resistance to cathodic disbondment. After applying on a hot surface FBE gets a jelly-like structure and cures. It does not exhibit any physical or chemical change when reheated. There are three types of FBE application which are commonly used; stand alone FBE coating, dual layer FBE coating and three layer FBE coatings. More than that, some laboratory trials are being initiated for the production composite material coatings with the above mentioned method.

In this work, the effects of surface profile differentiation to the single layer FBE coating performance is studied with the cathodic disbondment tests. 100x100mm samples of X60 steel were grid blasted to have different surface profiles in a range of 0-115 μ m. The samples were then FBE coated with electrostatic spray method. The coated samples were then subjected to 48 hour cathodic disbondment tests.

The results of the experiments had shown that, increasing surface profile results a decrease in the cathodic disbondment resistance. There has been an increase with the cathodic disbondment values when the surface profiles are above 90 μ m.

1. GİRİŞ

20. yüzyıl boyunca petrol ve doğalgazın dünya üzerinde kullanım yaygınlığının artışı, rafinasyon, depolama ve taşıma teknolojilerinin de bu artışa paralel olarak gelişmesine vesile olmuştur. Her yeni teknoloji farklı bir gereksinimi karşılamış ve insanlığının hizmetine sunmuştur.

Petrol ve doğalgaz türevi ürünlerin rafinasyon, depolama ve taşıma teknolojilerinde büyük ölçüde çelik malzemelerin kullanımı söz konusudur. Günümüzde petrol ve doğalgaz ürünleri genelde büyük çelik kazanlarda depolanmakta ve yine çelik borulardan oluşturulan hatlar ile transfer edilmektedir.

Petrol ve doğalgaz boruları yeryüzünde farklı coğrafyalar üzerinde hat haline getiriliyor olsa da her dönem için karşılaşılmış olan en büyük problem korozyon maliyeti olmuştur. Toprak altına döşenen ve korozif bir ortamda servise sunulan çelik boruların korozyona karşı direnç gösterebilmesi için birçok teknoloji geliştirilmiştir.

Bu teknolojilerin iki ana başlık altında incelenmesi doğru olacaktır [1].

Çelik boru üretimi sırasında alınan önlemler ve çelik boru hattında alınan önlemler. Çelik boru üretimi sırasında alınan önlemleri, boru yüzeylerine korozyon önleyici organik ya da inorganik kaplama teknolojilerin uygulanmasıdır. Boru hatlarında alınan önlemler ise; servis sıcaklığının değiştirilmesi, korozyon hızının değiştirilmesi, frenleyici kullanımı, katodik koruma, galvanik katodik koruma şeklinde sıralanabilir.

Çelik boru üretimi sırasında uygulanan kaplamalar organik ve inorganik malzeme teknolojilerinin gelişimine paralel olarak değişkenlik göstermiştir. Çelik boru yüzeyine kömür katranı, asfalt, beton ve katkılı bitüm uygulamaları ile başlayan kaplama teknolojileri daha sonraları polietilen, polipropilen ve toz boya uygulamaları ile devam etmiştir [2].

Günümüzde petrol ve doğalgaz borularına uygulanan korozyon önleyici kaplamalar genellikle termoset özellik gösteren epoksi toz boya tek kat, çift kat ya da üç kat uygulanması şeklindedir. Termoset tipi epoksi toz boyalar, literatürde FBE (fusion

bonded epoxy) isimlendirilmiştir. Sıcak yüzeyle temas ettirildiğinde eriyik bir yapıya bürünen FBE (Fusion Bonded Epoxy) toz taneleri daha sonra sertleşerek hem mukavim hem de esnek bir yapı ile çelik yüzeyi örtmektedir.

FBE (fusion bonded epoxy) kaplama 1950’li yıllarda elektriksel yalıtkanlık gibi amaçlar için geliştirilmiş organik bir kaplama teknolojisidir. 1959 yılında R. Strobel FBE boyların boru hatlarında korozyon direnci elde etmek için kullanımını önermiş ve ilk FBE kaplama fabrikasının kurulup devreye alınmasında görev almıştır (1960 New Mexico) [1] .

İlk FBE kaplamalarda o dönem için mükemmel katodik soyulma ve sıcak suya dayanım dirençleri elde edilmesine rağmen kaplama filminin oldukça gevrek bir yapıya sahip olması boru hatlarında ihtiyaç duyulan bükme gibi plastik şekil verme uygulamalarında kırılma, kopma gibi kalite problemleri yaşanmasına sebep olmuştur [2].

Epoksi reçineler ve katkı malzemeleri üzerine yürütülen kimyasal araştırmalar, kürlenme sonrasında da esnek ve plastik deformasyona uygun bir yapı elde etmeye yönlenmiştir. Kısa sürede kaplamanın bükme performansını artıracak yeni reçineler geliştirilmiş ve uygulamaya alınmıştır. Tüm gelişmelere rağmen üretici firmalar kaplama standartlarında talep edilen esneklik performansını sağlayabilmek için uygulanan kaplama kalınlıklarını sınırlamışlardır.

1970’li yıllarda katodik soyulmaya daha dirençli ve bükme toleransı çok daha yüksek FBE toz boyalar geliştirilmiştir. Aynı dönemlerde uygulama ekipmanlarında da yeni teknolojilerin geliştirilmesi ile FBE kaplama sistemleri oldukça yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır [2].

Petrol ve doğalgaz boru hatlarında FBE kaplamanın daha etkin hale gelmesi ve tüm standartlarda yer almaya başlaması 80’li yıllarda gerçekleşmiştir. Tek kat , çift kat ve üç kat FBE kaplama sistemleri geliştirilerek yaygın şekilde uygulanmaya başlanmıştır.

Sonuç olarak FBE kaplama teknolojisi 50 yıllık hızlı bir büyüme serüveninden sonra bugün dünyada mevcut tüm petrol ve doğalgaz borularında tercih edilen kaplama sistemi haline gelmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada petrol ve doğalgaz borularında günümüzde yaygın şekilde uygulanan FBE toz boya teknoloji toerik bir yaklaşım ile sunulacaktır.

Öncelikle FBE toz boyanın kimyasal yapısı incelenerek, tipik katkı malzemelerinin ürüne kattığı özellikler sıralanacaktır.

Petrol ve doğalgaz borularında korozyon önleyici FBE Kaplama çeşitlerinin tanıtımından sonra, tek kat FBE kaplama işlem adımları detaylandırılacaktır. Tüm işlem adımları için referans standartlardan örneklemeler ve FBE kaplama tesislerinde çekilmiş fotoğraflar ile görsel bir sunum da yapılacaktır.

FBE kaplama öncesi yüzey hazırlama kriterlerinden biri olan yüzey pürüzlülük derecelerinin kaplama performansı üzerine etkileri incelenecektir. Çalışma farklı yüzey profil derinliklerine sahip numunelerin aynı şartlar altında kaplanması ve yine aynı şartlar altında katodik soyulma testine tabi tutulması esasına dayanmaktadır. Elde edilecek sonuçlar ışığında standart taleplerini karşılayan yüzey profil derinlik değerleri ile kapalama performansı arasındaki ilişki grafik halinde sunulacaktır.

Yapılan literatür çalışmalarında yüzey profil derinliklerinin kaplama performansı üzerine etkilerini özetleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu sebeple çalışma sonuçları, FBE kaplama teknolojisi için teknolojik ve bilimsel bir kaynak niteliği taşımaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Petrol ve doğalgaz borularına uygulanan FBE Kaplama uygulamalarının yaygınlaşması ile birlikte, literatürde 2000’li yıllarda yayınlanan makale sayısında bir artışa rastlanmıştır. Elektriksel iletkenlik, korozyon direnci, servis ömrü gibi konular üzerine yoğunlaşan çalışmalar arasında FBE ürünlerin kimyasal yapısı ve üretim teknolojilerini özetleyen bilgi kaynakları oldukça sınırlıdır.

J. Alan Kehr tarafından 2003 yılında yayına hazırlanmış olan “FBE Kaplama: Boru Hatları İçin Korozyon Önlemleri ” kitabı, FBE ürün tanıtımından işletme uygulamalarına, korozyon teorisinden boru hatlarında yaşanan problemlerin çözümüne kadar hemen her konuda sunduğu teorik ve pratik bilgiler ile günümüzdeki en önemli kaynaklardan biridir.

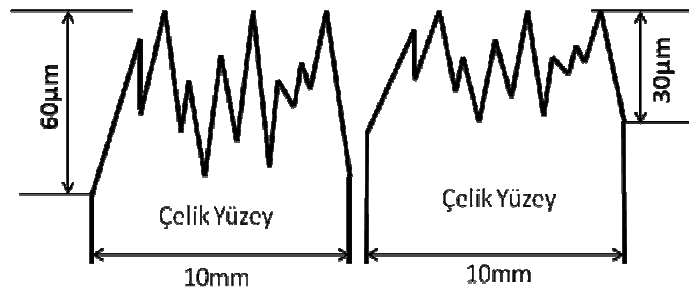
Bunun yanı sıra FBE üretici firmaların ürünün kullanımı için sunmak durumunda kaldığı uygulama önerileri, FBE kaplama standartlarında detaylandırılan performans ölçümleri ve petrol-doğalgaz çelik boru müşterileri şartnameleri önemli bilgi kaynaklarıdır.

Bütün kaynaklardaki ortak yaklaşım, FBE kaplama performansının çelik yüzey hazırlama performansı ile paralel olmasıdır. Çelik yüzeyin fiziksel ve kimyasal kirliliklerinden arındırıldıktan sonra kaplamanın gerçekleştirilmesi uzun servis ömrünü, üstün kaplama performansını garanti etmektedir.

Yüzey pürüzlülük derecesi çelik yüzey hazırlama prosesinin önemli noktalarından biri olması itibarı ile, tüm standartlarda ve literatür kaynaklarında kendine yer bulmuştur. Ölçüm metotları, değerler ve bu değerlerin elde edilebilmesi için uygun ekipman, aşındırıcı kullanımı için öneriler sunulmaktadır. Birçok kaynakta, 40-80µm mertebesindeki yüzey profil derinlikleri, kaplama performansı için sınır olarak önerilmektedir.

1.3 Hipotez

Yüzey profil derinliği, çelik yüzey alanındaki artışının bir başka ifadesidir. Dolayısı ile Şekil 1.1'deki gibi farklı yüzey profil derinliklerine sahip iki numuneden yüksek profil derinliklerine sahip olanın yüzey alanı daha fazladır. Uygulama sırasında mekanik olarak daha fazla alana tutunacak olan FBE toz boyanın yüzeye yapışma performansının daha yüksek olması beklenmektedir.



Şekil 1.1: Eşit pik sayılı farklı yüzey profil derinlikleri.

2. FBE KİMYASI

Endüstriyel tipte toz epoksi boyalar iki farklı başlık altında incelenebilirler.

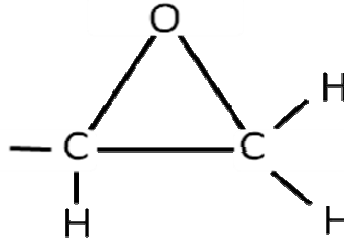
- Termoplastik toz boyalar
- Termoset toz boyalar

Termoplastik toz epoksi boyalar, çoğunlukla kalın kaplama kalınlıklarına ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılır. Elektrik yalıtımı gibi kullanım alanları olduğu gibi beyaz eşya kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır.

Termoset toz epoksiler boyalar, ısıtıldıklarında eriyik bir yapıya dönüşerek kimyasal değişikliğe uğrarlar. Tekrar ısıtıldıklarında kimyasal yapılarında geri dönüşüm söz konusu değildir. Düşük molekül ağırlığına sahip bileşikler olan termoset epoksi toz boyalar, eriyik hale geçtikten sonra uygulanan yüzeye mekanik tutunma ile bağlanırlar.

Termoset – temoplastik ayrımı epoksi reçinelerinden üretilen FBE ürünleri için de yapılabilir. Termoset özelliği gösteren tüm toz epoksi boyalar FBE (Fusion Bonded Epoxy) olarak adlandırılmaktadır.

Temel olarak Karbon, Hidrojen ve Oksijen atomlarının kombine bileşikleriyle oluşturulan epoksi(oksiran) grubu reçineler ilk olarak 1942 yılında S. O. Greenlee tarafından sentezlenmiş ve aynı yıl içerisinde patenti alınmıştır. Sentez çalışmaları termoset epoksi grubu ürünlerinin gelişimi ile devam etmiştir [1].



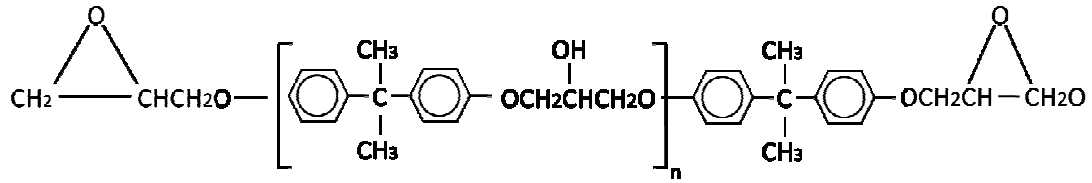
Şekil 2.1: Epoksi (oksiran) grubu [1].

Termoset tipte epoksi reçineleri ve kaplama uygulamaları, metalik parçaların korozyondan korunması ya da elektriksel izolasyonu için dizayn edilmiş ve uygulanmıştır.

Tüm kaplama sistemlerinde olduğu gibi, epoksi kaplama sisteminde de performans kullanılan malzemenin kimyasal bağ yapıları bileşenlerin miktarları ve birbirleri etkileşimleri ile ilgilidir.

FBE toz boya üretiminde aşağıda listelenen bileşenlerin kullanımı oldukça yaygındır.

- Epoksi Reçine
- Kür katkısı
- Katalizörler
- Pigmentler ve Dolgu Katkıları



Şekil 2.2: Epoksi reçine bağ yapısı [1].

Epoksi reçinesi ve kür katkısı ürün performansını etkileyen en önemli bileşenler olsa da diğer katkı malzemelerinin de prosesin verimliliği üzerine olumlu etkileri söz konusudur.

Korozyondan koruma performansının yanı sıra, FBE kaplama sistem dizaynında;

- Üretim ve depolama
- Uygulama
- Kaplı parçanın sevkıyatı

gibi önemli unsurlar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Uygulama sırasında kür katkısı üretim beklentilerini karşılayacak nitelikte olmalıdır. Uygun performansın elde edilmesi için kaplanacak parça şekline ve boyutlarına göre reçine tasarımı söz konusu olabilmektedir.

2.1 Epoksi Reçineleri

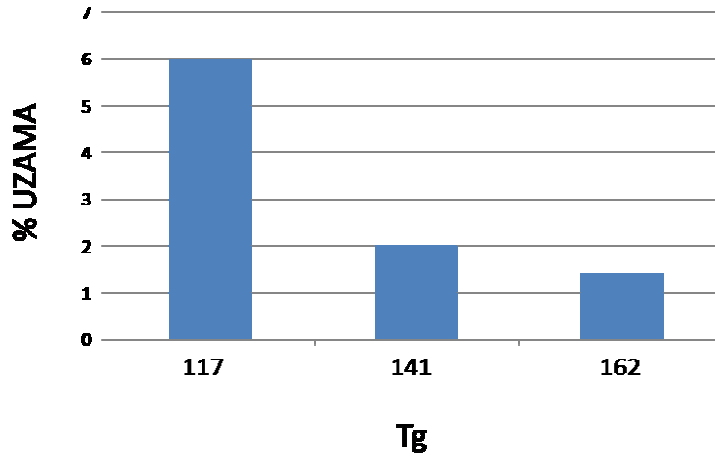
BPA (Bisfenol-A) esaslı reçineler, boru hattı kaplamalarında en yaygın olarak kullanılan epoksi reçineleridir fakat farklı gereksinimler için diğer reçine katkıları ile istenen ürün performansı elde edilebilir.

Epoksi reçineri:

- Diglisidil Eter BPA
- Fenol ve Kresol Epoksi
- Bromine BPA Epoksi
- Glisidil Ester
- Florlanmış Epoksi Reçinesi

Camsı geçiş sıcaklığı (T_g), polimerik malzemelerde kristalleşmenin başladığı sıcaklıktır. T_g 'nin altındaki çalışma sıcaklıklarında polimer camsı özellikler gösterirken, T_g 'nin üzerindeki sıcaklıklarda yumuşaktır. T_g , polimer malzemeler için çalışma sıcaklığını ve şartlarını kısıtlayan en önemli faktördür.

Epoksi molekülleri arasındaki çapraz bağ yoğunluğunun artışı camsı geçiş sıcaklığını yükseltmektedir. Yükselen camsı geçiş sıcaklıkları reçinede sabit esneklik değerlerinde daha yüksek kimyasal direnç sağlar [3].



Şekil 2.3: Camsı geçiş sıcaklığının % uzama yeteneğine etkileri [1].

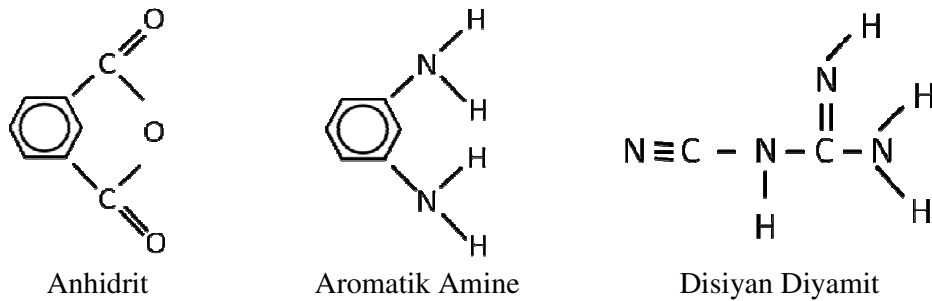
FBE kaplama uygulamaları için uygun performansta epoksi reçineleri, uygulama sonrasında oda sıcaklığında tam kür haline gelebilmesi için yeterli moleküler ağırlığa sahip olmalıdır. Öte yandan boru kaplama proseslerinde üstün performans gösterebilecek kadar pulvarize olmaya eğimli düşük molekül ağırlıklı olması da gereklidir.

Optimize edilmiş molekül ağırlıklarına sahip epoksi reçineler sıcak yüzeye uygulandıklarında eriyik hale gelir ve çapraz bağ oluşumları ile kür eğilimi gösterirler. Artan moleküler ağırlık, kürlenme prosesi boyunca meydana gelen çapraz bağ oluşum miktarını azaltır. Azalan çapraz bağ yoğunluğu ile esneklik artar iken, artan çapraz bağ yoğunluğu ile reçine termal ve kimyasal direnç kazanır[1].

Boru kaplama uygulamaları için kürlenme süresi seri imalat mantığı, hat hızı ve tesis verimliliği açısından önemli olduğundan sektörlere yönelik özel ürün gelişimleri söz konusudur.

2.2 Kür Katkıları

Epoksi reçinesi ile birlikte en önemli bileşen kür katkısıdır. Kür katkısı sıcak yüzeye temas eden reçine ile çapraz bağ oluşum eğilimi göstererek sertleşme sürecini başlatan bileşendir. Ürün performansı, kimyasal ve fiziksel özellikleri kür katkısı ile reçine arasındaki kuvvetli reaksiyonların mertebesine bağlıdır. Kür katkısının birincil görevi reçine molekül omurgası boyunca ya da epoksi halkası etrafında hidroksil grupları ile homojen polimerizasyon sağlamaktır.



Şekil 2.4: Bazı kür katkıları ve bağ yapıları [1].

Kür katkıları farklı formlarda oluşabilmektedir. Çapraz bağ yoğunluklarının farklılık göstermesi sonucunda farklı özelliklerin ön plana çıkması söz konusu olabilir. Bazı

kür katkılarının esnekliğe katkısı varken diğer bazı kür katkıları katodik soyulma dayanımı artırabilmektedir.

Çizelge 2.1: Kür katkısı ve epoksi eşdeğer oranlarının ürün özelliklerine etkileri [1].

Kür Katkı Eşdeğeri / Epoksi Reçine Eşdeğeri	Jel Süresi (s) 205°C	Gerilme Mukavemeti (MPa)	Kopma Uzaması (%)
0.8	14	48.7	15
1.0	12	52.4	24
1.2	11	52.7	16
1.4	12	54.5	16

Bazı çok amaçlı kür katkıları aşağıdaki gibidir.

- Alifatik aminler
- Aromatik aminler
- Dikarboksilik acid anhidritler
- Poliamidler
- Aminoplast
- Fenolplast

Belli oranlarda karışım şeklinde kullanılabilen kür katkılarının tek başlarına kullanımı da söz konusudur.

Kür katkılarının sınıflandırılması için asidik-bazik ilişkileri kullanılabilmektedir. Bazik kür katkıları, aromatik aminler, alifatik aminler ve amidler gibi maddeler içerirken, asidik kür katkıları organik anhidritler, organik asitler ve fenol türevi maddeleri içerir. Her iki tipteki katkı maddeleri, kimyasal kararlılığı yüksek kaplama uygulamaları sağlıyor olsa da bazik kür katkıları yüksek pH ortamında daha yüksek performans göstermektedir. Katodik koruma uygulanan boru hatlarında, boru kaplamalarında zarar gören bölgeler yüksek pH değerine sahiptirler. Bu ortamda bazik kür katkılı FBE ürünlerin katodik soyulma performansı daha yüksektir [1].

2.3 Katalizörler

Katalizör katkıları FBE kaplamalarda jelleşme ve kurlenme süreçlerinin hızlandırılması amacı ile kullanılan katkı malzemeleridir.

Çizelge 2.2: Katalizörlerin jel süresine etkileri [1].

Epoksi Reçine	Kür Katkısı	Jelleşme süresi (150°C) (Sn)	
		Katalizörsüz	%0,5 Ni İmidazolate
Novolac	Tetrahydrophthalic anhidrit	1680	80
Novolac	Disiyandiamid	480	63
Novolac	Adipic dihidrazide	98	42
Sikloalifatik	Tetrahydrophthalic anhidrit	315	55
Sikloalifatik	Disiyandiamid	2040	1080
Sikloalifatik	Adipic dihidrazide	2790	1020

Katalizör malzemelerin iki önemli fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar jel - kür mekanizmasının yönlendirilmesi ve reaksiyon hızlarını belirleyici rol üstlenmesidir. Katalizör sisteminin seçimi, çelik boru FBE kaplama tesis verimliliğini doğrudan etkilediği için, uygulama için kritiktir.

Günümüzde FBE kaplama tesislerinde kullanımda olan FBE ürünlerin jel ve kür süreleri genellikle 20-120sn. aralığındadır. Ürünlerin düşük jel-kür süreli ya da uzun jel-kür süreli şeklinde sınıflandırılması söz konusudur. [4] [5] [6].

2.4 Pigment ve Dolgu Katkıları

Pigmentler ve diğer dolgu katkıları ürüne renk verme amacı ile kullanılırlar da, reaksiyona girme eğiliminde de olabilirler. Karbonatlar, sülfat ürünler ve silikatlar başlıca pigment ve dolgu katkılarıdır. Bu tip katkıların bükme, katodik soyulma ve sıcak suya dayanım gibi performans ölçümlerine olumlu katkıları vardır.

3. PETROL VE DOĞALGAZ BORULARINDA KOROZYON ÖNLEYİCİ FBE KAPLAMALAR

3.1 Giriş

Petrol ve doğalgaz borularında korozyon önleyici FBE kaplamalarda, tek kat, çift kat, ve üç kat FBE kaplama uygulamaları söz konusudur. Dünya üzerinde farklı kıtalarda farklı uygulamalar yaygınlık göstermektedir. Kuzey ve güney Amerika kıtalarında tek kat ve çift kat FBE kaplamalar yaygın iken Asya ve Avrupa kıtalarında 3 kat kaplama daha yaygındır.

Her yöntem için çelik yüzeyin hazırlanması işlemleri benzerdir.

3.2 Tek Kat FBE Kaplama

Tek kat FBE kaplama uygulamasında çelik boru yüzeyi ön hazırlık sürecinden geçtikten sonra genelde elektrostatik toz boya uygulama yöntemi ile 250-600µ kaplanır [7].



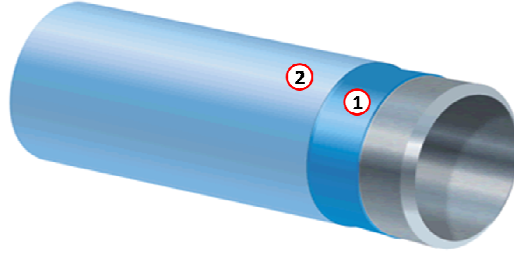
Şekil 3.1: Tek kat FBE kaplı doğalgaz boruları.

Tek kat FBE kaplama yüzey hazırlama, uygulama ve performans ölçümleri 4. bölümde detaylandırılacaktır.

3.3 Çift Kat FBE Kaplama

90'lı yıllarda geliştirilmiş olan çift kat FBE kaplama uygulamalarında FBE astar kat üzerine ikinci bir koruyucu polyester kaplamanın uygulanması söz konusudur. İkinci kat genelde birinci kat jelimsi yapıda iken uygulanmakta ve iki kat arasında penetrasyon sağlanmaktadır [8].

Tek kat FBE kaplamaya oranla çift kat uygulamalarda darbe, bükme, güneş ışınlarına dayanım, sıcak suya dayanım gibi önemli ölçümlerde performans artışı gözlenir.

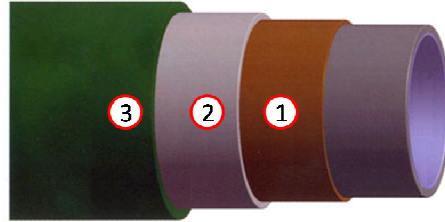


Şekil 3.2: (1) Korozyon Önleyici FBE kat (2) Mekanik koruyucu polyester kat [9].

3.4 Üç Katlı FBE Kaplama

Üç kat FBE uygulamalarında ilk kat FBE astarıdır. 80-150µm aralığında uygulanan ilk katın üstüne ekstrüzyon yöntemi ile endüstriyel yapıştırıcı kat sarılır. Daha sonra 3-4,5mm kalınlığında polietilen, polipropilen gibi plastik kaplamalar uygulanır.

FBE kat korozyon önleyici astardır. 150-200µm kalınlığında uygulanan yapıştırıcı kat 1. ve 3. kat kaplamalarının birbirine yapıştırılabilmesi amacı ile uygulanır. 3. kat olan plastik kat daha çok FBE astarın mekanik olarak korunması amacı ile uygulanmaktadır.



Şekil 3.3: (1) Korozyon Önleyici FBE kat (2) Endüstriyel Yapıştırıcı (3) Mekanik koruyucu PE/PP kat.

3 katlı kaplama sistemlerinde proses sıcaklığı kullanılan FBE reçineye bağlı olarak 180-210°C aralığında değişkenlik göstermektedir. Çelik borunun proses sıcaklıklarına çıkarılabilmesi için tünel fırın tipi ısıtıcılar ya da indüksiyon akım yöntemleri uygulanabilmektedir.

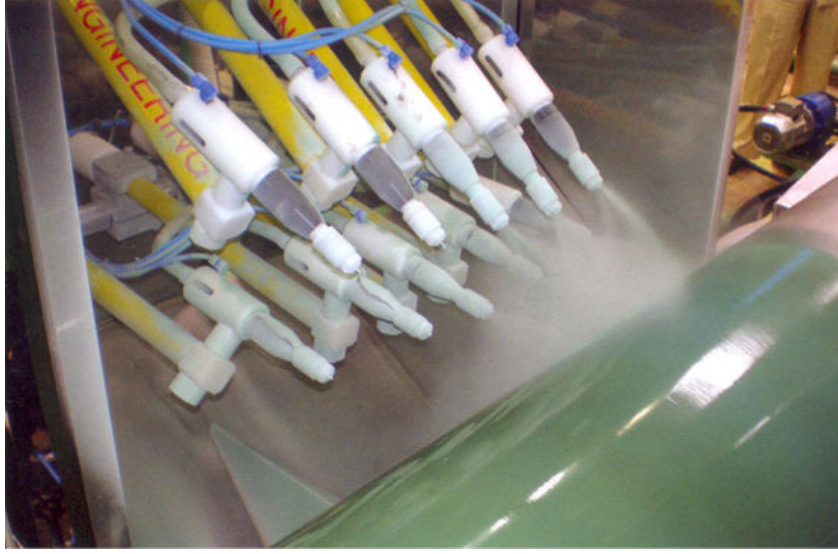


Şekil 3.4: İndüksiyon akım yöntemi ile çelik boru ısıtma sistemi.

Proses sıcaklığına kadar ısıtılan boru yüzeyine genelde elektrostatik toz boya uygulama yöntemi ile FBE astarı çekilir. FBE kat, korozyon koruyucu kat olarak düşünülebilir [9].

Daha sonra dönerek ilerleyen boru yüzeyi ekstrüzyon yöntemi ile film şerit haline getirilen endüstriyel tipi yapıştırıcı malzeme ile sarılır. Film şerit genelde ısıya dayanıklı bir merdane yardımı ile boru yüzeyine temas ettirilir. Hem boru yüzeyinin hem de yapıştırıcı malzemenin sıcak oluşu sebebi ile uygun yapışma seviyeleri elde edilir. Yapıştırıcının sarılmasından hemen sonra boru yüzeyine yine ekstrüzyon yöntemi ile film şerit haline getirilen polietilen ya da polipropilen malzeme, yine ısıya dayanıklı bir silikon merdane yardımı ile belli bir basınçta boru yüzeyine temas ettirilir. 3. kat kaplama sistemi böylece tamamlanmış olur.

Üçüncü kat için kullanılan polietilen ya da polipropilen malzeme FBE katın mekanik olarak korunması amacı ile uygulanmaktadır.

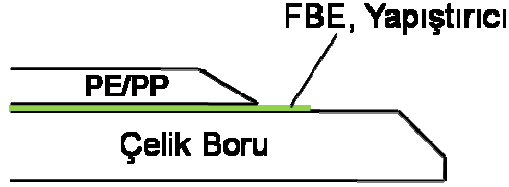


Şekil 3.5: Elektrostatik toz boya yöntemi ile FBE astar uygulaması.



Şekil 3.6: Üç Katlı FBE kaplama sistemi [7].

Üç katlı kaplama sistemlerinde önemli bir detay boru ucu hazırlama aşamasıdır. Kaplaması tamamlanmış borularda, boru ucu standartlarda ya da müşteri şartnamelerinde belirtilen boyutlarda hazırlanması gerekmektedir. FBE astarın çıplak göz ile görülebilir hale getirilmesi amaçlanır.



Şekil 3.7: Üç Katlı FBE kaplama sistemlerinde boru ucu hazırlama [7].

3 katlı kaplama sistemlerinde performans ölçümleri aşağıda belirtilmiştir. Performans ölçümleri için müşteri şartnamelerinde ya da standartlarda belirtilen değerlerin geçerliliği söz konusudur.

Çizelge 3.1 Üç katlı FBE kaplama sistemlerinde performans ölçümleri.

Yüzey Hazırlama	Üç Katlı FBE Kaplama
Yüzey Görünümü	Holiday testi
Yüzey Temizlik Derecesi	Yapışma Testi
Yüzey Profili	Darbe Direnci
Ortam Şartları (Nem, sıcaklık vb.)	PE/PP çekme testi
Toz Kirlilik Oranı	UV ışınlarına dayanım
Tuz Kirlilik Oranı	Isıl Yaşlanma
	Katodik Soyulma Testi
	Düşük Sıcaklıkta Bükme

4. TEK KAT FBE KAPLAMA

4.1 Yüzey Hazırlama

Petrol-doğalgaz borularının tek kat, çift kat ya da üç kat FBE kaplama sistemlerinde uygulamanın yapılacağı çelik boru yüzeyinin bir dizi yüzey hazırlama işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Boru yüzeyindeki serbest tuzlar, çelik malzeme tufalleri, yağ-gres kirlilikleri, diğer fiziksel kirlilikler uygun yöntemler ile giderilmelidir. Daha sonra kaplamanın boru dış yüzeyine yüksek performans ile yapışması için bir yüzey pürüzlülüğü oluşturulmalı ve uygulama yüzey alanı artırılmalıdır.

Yüzey hazırlama işlem adımlarını üç ana başlık altında toplamak mümkündür;

- Misketleme
- Kimyasal Yıkama
- Kromatlama

Misketleme, boru yüzeyindeki belirgin pas tabakasının giderilmesi ve yüzey pürüzlülüğü oluşturmak amacı ile uygulanmaktadır. Kimyasal yıkama ile öncelikli olarak yüzeydeki serbest tuzların giderilmesi hedeflenir. Kromatlama prosesi ile FBE kaplamanın katodik soyulma performansı artırılmaktadır.

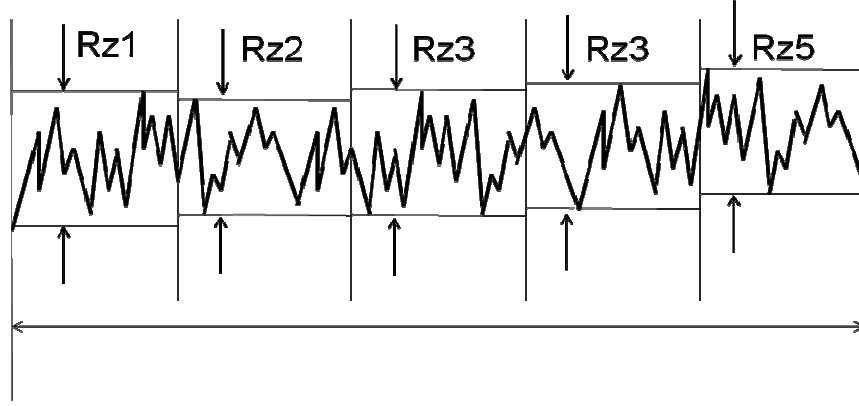
4.1.1 Yüzey görünümü ve pürüzlülüğü

FBE kaplama uygulanacak olan çelik boru yüzeyinin beyaz metale yakın derecede temizlenmesidir. Temizlenmiş yüzeyde herhangi bir büyütme yapılmadan çıplak göz ile bakıldığında yağ, gres, bant tufalı, pas gibi major kirlilikler giderilmiş olmalıdır.

Yüzey pürüzlülük derecesi, FBE kaplama uygulanacak yüzey alanın artırılması ve mekanik tutunma için girintili çıkıntılı bir yüzey etme ile ilgili bir tanımdır. Yüzey profili olarak da tanımlanan bu değer uygun aşındırıcı seçimi için önemlidir.

Yüzey temizleme süresince çelik yüzey sıcaklığı ortamın çığlenme sıcaklığının en az 3 °C üzerinde olmalıdır [12]. Yüzey temizleme işlemi tek bir ünite de yapılabildiği gibi iki ayrı ünite de kademeli olarak da tamamlanabilir. İhtiyaca göre çelik grit,

kum, sert seramik aşındırıcıların kullanımı söz konusu olsa da daha çok çelik grit ve çelik bilya kullanımı yaygındır. Proses kapalı bir kabin içerisinde yüksek devirle dönen fırlatıcılar aracılığı ile aşındırıcın boru yüzeyine fırlatılması şeklinde gerçekleştirilir.



Şekil 4.1: Misketlenmiş çelik boru yüzey profili.

Rz ifadesi yüzey pürüzlülük derecesi için kullanılan tanımlama birimidir. Ayrıca R_t ve R_a gibi farklı tanımlamalar da mevcuttur. Rz ifadesi misketlenmiş boru yüzeyindeki belirli bir uzunluğun 5 eşit parçaya bölünmesi, her eşit parçadaki minimum ve maksimum profil derinliğinin ölçülerek ortalamasının alınması esasına dayanır. Dijital ölçüm cihazları da aynı mantıkla çalışarak belirli bir mesafeyi 5 eşit parçaya böler ve ortalama bir sonuç bildirir.

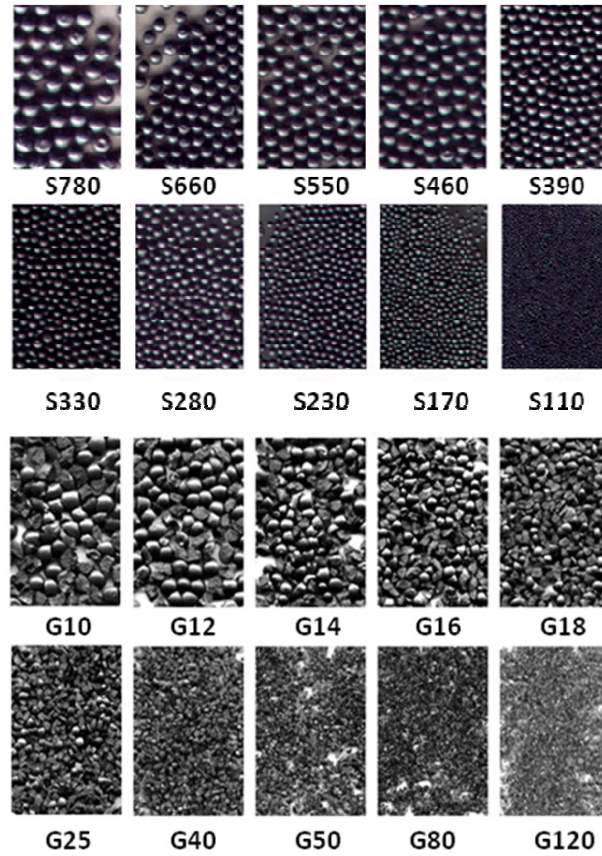
Çizelge 4.1: FBE kaplama standartlarında talep edilen yüzey profil değerleri [7].

STANDART	DEĞER(μm)
AWWA C 213	38 - 102
API 5 L 7	38 - 100
Z 245 20. 98	40 - 100
NACE RP 0394	38 - 100
Z 245. 21. 98	40 - 80

Misketleme işleminin verimliliği aşağıda listelen faktörler ile bire bir bağlantılıdır;

- Aşındırıcının nominal büyüklüğü
- Aşındırıcı elek dağılım oranları
- Aşındırıcının sertliği
- Aşındırıcının şekli
- Fırlatma Hızı
- Akış hızı
- Fırlatma açısı
- Misketleme süresi

Petrol ve doğalgaz borularında yüzeyin çift kademeli misketlenmesi yaygın bir uygulamadır. İlk aşamada genelde S230-S330 aralığındaki çelik bilyalar ile boru yüzeyinde pas, tufal gibi major kirlilikler giderildikten sonra ikinci aşamada G18-G40 aralığındaki çelik grit ile yüzey pürüzlülük derecesi artırılarak boru yüzeyi bir sonraki proses için hazır hale getirilmektedir.



Şekil 4.2: Çelik bilya ve çelik grit sınıflandırmaları [1].

4.1.2 Kimyasal yıkama

Kimyasal yıkama prosesi boru yüzeyde mevcut olabilecek gres, yağ, markalama boyları gibi organik ve NaCl, sülfat bileşikleri gibi inorganik kirliliklerin giderilebilmesi için uygulanır. Bu tipteki kirliliklerin kaynakları çelik bandın ya da henüz izole edilmemiş boruların transportu sırasında deniz suyu ve buharı ile temas etmesi olabilir. Ayrıca okyanus ya da deniz kıyısında stoklanmış boru ya da çelik bantlarda bu kirlilikleri kolayca üzerinde toplayabilmektedir.

Organik ve inorganik kirlilikler FBE kaplamanın çelik yüzeye yapışmasında zafiyete ya da kaplamanın kendisinde yüksek porozite değerlerine sebep olabilmektedir.

Organik ve inorganik kirliliklerin giderilmesi ihtiyacı, petrol ve doğalgaz borularında 1970 -1980’li yıllarda sık sık yaşanan sıcak suya dayanım, katodik soyulma problemleri sırasında doğmuştur. Farklı sektörlerde zaten uygulanmakta olan kimyasal yıkama yöntemleri bu dönem itibari ile çelik boru sektöründe de yerini almış ve sektöre hitap eden kimyasalların geliştirilmesine sebep olmuştur. Günümüzde Foxbond 1099, OAKITE 33, Nu Coat 33 gibi ticari isimli kimyasal temizleyiciler petrol ve doğalgaz boru sektörü için özel geliştirilmiş fosforik asit bazlı ürünlerdir [7].

Kimyasal yıkama prosesini 4 adımda açıklamak mümkündür;

- Ön ısıtma
- Yüzeyin asitle yıkanması
- Elektriksel iletkenliği düşük su ile durulama
- Kurutma

Çelik boru yüzeyindeki kirlilikler ile fosforik asit arasındaki etkileşim, boru yüzey sıcaklığının artması durumunda çok daha hızlı gerçekleşir. Uygulama sıcaklığı için kimyasal üreticilerinin önerileri farklılık gösterse de yaygın uygulama 40-60°C aralığındadır. Çözelti konsantrasyonu için önerilen değerler %5 ile %20 arasında değişmektedir [7].

Asit uygulama süresi tesis planına, hat hızına, reaksiyon sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. OAKITE 33 ürünü ile yapılan uygulamalarda bu süre 20-30 saniye aralığında seyretmektedir. Bu süre sonunda reaksiyon sonucu oluşan köpüğün boru yüzeyinden giderilmesi gerekmektedir. Durulama olarak adlandırılan bu işlem,



Şekil 4.3: (1) İndüksiyon akım ile ısıtma yöntemi (2) Fosforik asit uygulama (3)Yüksek basınçlı su ile durulama (4) Yüzey kurutma.

düşük elektrik iletkenliğine sahip de-mineralize suyun yüksek basınç ile boru yüzeyine püskürtülmesi yöntemi ile gerçekleştirilir. Uygulama sonrasında boru yüzeyindeki sıvı filmin pH (min. 6) ölçümleri yapılarak durulama performansı ölçülebilir. Daha sonra bu sıvı film bir hava kolektörü yardımı ile kurutularak çelik boru yüzeyi bir sonraki proses için hazır hale getirilmelidir.

4.1.3 Kromatlama

Kromatlama işlemi, fosforik asit ile kimyasal yıkma sonrasında uygulanan bir yüzey işlemdir. Çelik boru yüzeyinde ince bir oksit filmi oluşturularak FBE kaplama için bir ön yüzey hazırlığı yapılmış olur. FBE kaplama standartlarında zorunlu bir işlem olarak yer almamasına rağmen müşteri şartnamelerinde zaman zaman yer almaktadır.

Kromatlama işlemi ile FBE kaplamanın yapışma performansını, katodik soyulma direncini artırmaktadır.



Şekil 4.4: Kromatlamamanın katodik soyulma performansına etkisi [10].

Yandaki test numunesinde kromatlama uygulanmış ve uygulanmamış yüzeydeki katodik soyulma sonuçları incelenmiştir. Kromatlı yüzeye uygulanmış FBE kaplamanın soyulma performansı ile kromatsız yüzeye uygulanmış FBE kaplama performansları arasındaki fark açıkça görülmektedir.

Uygulamada kromatlama, düşük basınçlı bir nozulden boru yüzeyine damlatılan kromik asit çözeltisinin bir fırça yardımı ile boru yüzeyine sarılması şeklindedir. Kullanılan çözelti miktarı boru yüzeyinden yere damlamayacak şekilde ayarlanır.



Şekil 4.5: Bir şerit fırça yardımı ile kromik asit çözeltisinin boru yüzeyine sarılması.

Kromatlama prosesi çelik yüzeyde ince oksit kaplamaların oluşumunu sağlamaktadır. Bu oksitli yapılar ile kürlenmiş FBE reçinesi arasındaki mekanik tutunma FBE ile

elik yüzey arasındaki mekanik tutunmaya kıyasla daha güçlüdür. Oksitli tabakaların elik yüzey ile olan ilişkisi aşağıdaki şekilde resmedilmiştir.



şekil 4.6: Kromatlama sonra ince oksit tabakalar ve tabaka kalınlıkları [11].

ACOMET PC , PC Gardobond 4505, BASOMAT PT GZ 90 - 8202 gibi ticari isimler ile sektörde kullanımda olan kromik asit çözeltileri için tavsiye edilen kullanım miktarı 3 - 7 gram/m² 'dir [7].

4.2 FBE Uygulama

FBE kaplama prosesi işlem adımları aşağıda sıralanmıştır;

- Isıtma
- FBE uygulama
- Jel Süresi
- Kr Süresi
- Soğıtma

FBE kaplama prosesi yüzeyi uygun şekilde hazırlanmış eliğın uygulama sıcaklığına kadar ısıtılması ile başlar. Proses sıcaklığı, kullanılan FBE ürününe göre farklılık gösterebilir. Bu sebeple üretici firmanın nerileri dikkate alınmalı ve optimum sıcaklık değerlerinde çalışılmaya dikkat edilmelidir. Farklı retici firmalarda sıcaklık değerleri 220 – 255°C aralığında değişmektedir [4] [5] [6].

Kaplama sırasında toz epoksi boya üreticisinin önerdiği sıcaklık aralıklarından, jel-kr zamanlarından sapma yaşanmazsa yüksek performanslı bir uygulama söz konusu olur. Önerilen sıcaklık aralıklarından sapılması durumunda gerçekleştirilen FBE

kaplamada yapışma, katodik soyulma, zayıf bağ yapıları gibi önemli problemler yaşanır.

Bu derece hassas olan bir parametrenin sürekli kontrolü ve kayıt altına alınması da oldukça önemlidir. FBE kaplama tesislerinde bu ölçümler üç farklı yöntemle yapılmaktadır;

- Kaplanmış yüzeyden infrared cihazlar ile sürekli ölçüm
- Kaplanmak üzere olan metalik yüzeyden infrared cihazlar ile sürekli ölçüm
- Kaplanmak üzere olan metalik yüzeyden ısı tebeşirleri periyodik ölçüm



Şekil 4.7: (1) Isı tebeşirleri (2) İnfrared sıcaklık ölçüm cihazı.

Toz halinde bulunan epoksi boyanın depolanma şartları da proses için oldukça önemlidir. Klimatize ortamda depolanması ve nemli hava ile teması engellenmelidir. Üzerinde nem toplaması durumunda uygulama sırasında boya nemli olduğu noktalarda kendi içinde oluşturacağı kimyasal bağları tamamlayamaz ve kaplanacak yüzeyi örtme problemleri yaşanır.

FBE kaplama temelde ısıtılmış yüzeyin toz epoksi boya ile temas ettirilmesi esasına dayanır. İki tür uygulama yöntemi mevcuttur [8];

- Daldırma Yöntemi
- Elektrostatik Toz Sprey Yöntemi

4.2.1 Daldırma yöntemi

Toz haldeki epoksi boya ile kuru hava üflemleri bir hazne içinde akışkan bir sistem oluşturulur. Proses sıcaklığına kadar ısıtılmış olan çelik yüzey bu hazne içerisine

daldırılarak epoksi boya ile temas ettirilir. Sıcak yüzey ile temas eden epoksi boya yüzeyde eriyik bir hal alır. Epoksi boya tanecikleri metalik yüzeye mekanik, birbirilerine kimyasal olarak bağlanarak çelik yüzeyin tamamını örterler. Arzu edilen kaplama kalınlıklarına bağlı olarak çelik parça belli bir süre hazne içinde tutulur ve daha sonra soğutmaya alınır.



Şekil 4.8: Daldırma yöntemi ile FBE kaplama [1].

4.2.2 Elektrostatik toz boya yöntemi

Elektrostatik toz boya yönteminde epoksi boya ile kaplanacak yüzeyler arasında bir potansiyel fark oluşturularak toz halindeki boya bir tabanca ve kurutulmuş hava yardımı ile yüzeye Şekil 4.9'daki gibi uygulanır. Uygulama sırasında sıcak boru yüzeyine temas eden epoksi boya taneleri eriyik (jelimsi) bir davranış göstererek yapışkanlaşır, çelik yüzey ile mekanik, birbirleri ile kimyasal bağ oluşturarak boru yüzeyinin tamamını örter. Bu özelliği epoksi boyanın jel süresi olarak da adlandırılabilir. FBE ürünlerinin jel süreleri farklı imalatçılar için farklılık göstermektedir. Çizelge 4.2'de Dupont, 3M, Jotun FBE ürünleri için jel ve kür süreleri listelenmiştir.



Şekil 4.9: Elektrostatik toz boya uygulaması.

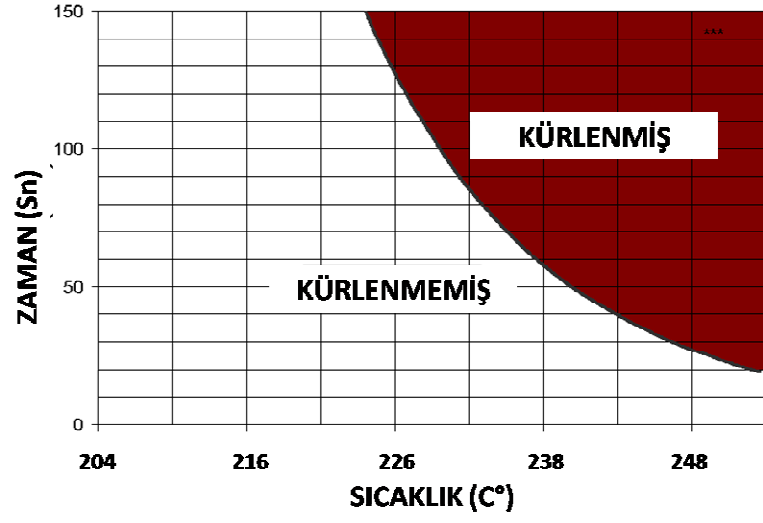
Çizelge 4.2 Bazı FBE ürünlerin jel ve kür süreleri [4] [5] [6].

İMALATÇI FİRMA	JEL SÜRESİ (Sn)	KÜR SÜRESİ(Sn) (230°C)
3M 6233 4G	10	30
JOTUN 1010	12-18	30
DUPONT 7500	22	80

Uygulama sırasında jel süresinin tamamlanmasının hemen ardından FBE toz boya için tanımlanmış olan kür süresi başlar. Kürlenme boyanın kendini jelimsi yapıdan daha mukavim ve sert bir yapıya dönüştürmesi, bir nevi sertleşmesi olarak düşünülebilir.

Çelik boru üzerine uygulanan toz epoksi boyanın kürlenme sürecinin tamamlanması ile boru artık soğutma işlemine tabi tutulabilir. Kürlenme tamamlanmadan aşırı miktarda soğutma suyu ile temas söz konusu olduğunda boyanın çelik yüzeye yapışmaması ve kendi içinde oluşturduğu kimyasal bağlarının zayıf kalması gibi olumsuzluklar yaşanabilir.

Şekil 4.10'da DUPONT firmasının 7-2500 kodlu FBE ürününün kür süresinin sıcaklık ile değişimi grafiklenmiştir. Grafiğe göre 226C de yapılan bir kaplama prosesinde sıcak yüzeye 125Sn 'den önce su ile soğutma uygulanmamalıdır.



Şekil 4.10: Dupont 7-2500 kodlu FBE ürünün kür grafiği [6].

5. FBE KAPLAMA PERFORMANS ÖLÇÜMLERİ

Petrol ve doğalgaz borularına yapılan tek kat FBE kaplamaların performans ölçümelerini;

- İşletme testleri
- Laboratuvar testleri

başlıkları altında incelemek doğru olacaktır.

İşletme testleri daha çok FBE kaplama öncesi yüzey hazırlama koşullarını ve uygulama sırasındaki sıcaklık gibi bazı önemli parametrelerinin yönetildiği kontrollerdir.

Laboratuvar testleri ise FBE kaplamada kullanılacak olan ürün ile ilgili ölçümler ve gerçekleştirilmiş olan kaplamanın performansını ölçmek için yapışma, bükme, sıcak suya dayanım gibi önemli testleri kapsamaktadır.

5.1 İşletme Testleri

5.1.1 Yüzey hazırlama

Çelik borunun yüzey hazırlama testleri aşağıdaki gibidir;

- Ortam Şartları
- Yüzey Temizlik Derecesi
- Yüzey Pürüzlülüğü (Yüzey Profili)
- Tuz Kirliliği
- Toz Kirliliği
- Yüzey Görünümü
- Kimyasal Yıkama Performans Ölçümleri

5.1.1.1 Ortam şartları

Misketleme ve FBE kaplama yapılacak bölgede ortamın % nem, çiğlenme noktası, boru yüzey sıcaklığı ve ΔT sıcaklık değeri tespit edilmelidir. Ölçümler dijital ölçüm cihazları ile yapılabilir.

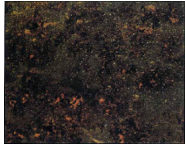
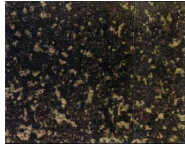
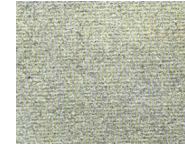
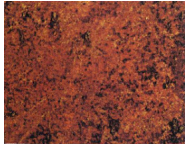
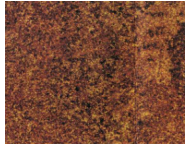
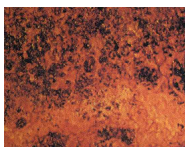
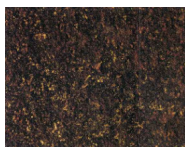
Relatif nem için kabul kriteri maksimum % 85 tir. ΔT Sıcaklık değeri FBE kaplamaya alınacak olan çelik boru yüzey sıcaklığı ile ortamın çiğlenme noktası arasındaki farkı ifade etmektedir. Bu değer 3°C 'nin üzerinde olmalıdır [12].

5.1.1.2 Yüzey temizlik derecesi

Beyaz metale yaklaşan renge ulaşacak kadar boru yüzeyinde mevcut olan pas, gres-yağ gibi kirliliklerinin giderilmesidir. Ölçümler karşılaştırma yöntemi şekil 5.1'deki komperatör ile yapılır ve çelik boru yüzeyi temizlik derecesi belirlenir. Komperatör kontrol edilecek çelik yüzey üzerine koyularak ortasındaki dairesel delikten göz ile kontrol yapılır. Yüzeyin komperatör üzerindeki derecelendirilmiş yüzeylerden hangisine daha yakın olduğu belirlenir.



Şekil 5.1: Boru yüzeyi temizlik derecesinin belirlenmesinde kullanılan komperatör.

PAS ORANI	SA 1	SA 2	SA 2 ½	SA 3
				
				
				

Şekil 5.2: Çelik yüzeydeki pas oranına göre temizlik sonrası elde edilecek yüzey görünümleri [13] [14] [15].

Yüzey hazırlama sonrasında temizlik derecesinin minium SA 2 ½ olması talep edilir. SA 2 ½ sınıflandırması beyaza yakın metalik renk olarak yorumlanmaktadır.

5.1.1.3 Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülük ölçümleri, temizlik derecesinin ölçülmesinde kullanılan komperatör yardımı ile yapılabileceği gibi elektronik cihazlar ile de yapılabilir.

Misketlenmiş yüzeylerde komperatör ile ölçüm yapıldığında; standart komperatör boru yüzeyine göre kıyaslanır. Yüzey profilinin hangi segmente denk geldiği tespit edilir ve o segmentin yüzey profil değeri, yüzey profil değeri olarak kabul edilir. Dijital profil ölçüm aleti ile ölçüm yapıldığında, boru yüzeyinden farklı bölgelerden ölçümler alınır. Ölçüm birimi olarak genelde “Rz” tipi cihazlar kullanılır.



Şekil 5.3: Dijital Profil Derinlik Ölçüm Cihazı [16].

5.1.1.4 Tuz kirliliği

Tuz kirliliği ölçümü, misketlenmiş çelik boru yüzeylerindeki tuz kirliliklerini “ μg ” cinsinden ifade eden cihazlar kullanılarak yapılır.



Şekil 5.4: Tuz kirliliğinin ölçümü için kullanılabilen dijital ölçüm cihazı (ELCOMETER SCM 400) [16].

Yüksek saflıktaki test kağıdı ıslatılarak çözülebilir tuzların test kağıdına aktarılması sağlanır. Daha sonra test kağıdı cihazın içine yerleştirilir ve cihaz tuz kirliliğini tayin eder.



Şekil 5.5: Tuz kirlilik tayini [7].

FBE kaplama standartlarında tuz kirlilik seviyeleri ile ilgili belirli değerler olmasa da müşteri şartnameleri bu konuda oldukça hassas davranmaktadır. Sadece NACE 0394 standartında tuz kirlilik oranı için “2 µg” gibi bir değer ön plana çıkmaktadır. Müşteri şartnamelerinde de bu değere yakın olan değerler maksimum değer olarak seçilmektedir.

Tuz kirliliği yüksek olan yüzeyler, aşağıdaki yöntemleri uygulanarak arındırılabilir.

- Yüksek basınçlı de-mineralize su ile yıkama
- Asit ile kimyasal yıkma
- Sıcak de-mineralize su içinde belirli bir süre bekletme

Petrol ve doğalgaz boru FBE kaplama tesislerinde, standartların ve müşteri şartnamelerinin de yönlendirmesi sonucu genelde fosforik asit ile yıkama tercih edilmektedir.

5.1.1.5 Toz kirliliği

FBE kaplama öncesi yüzeydeki toz kirliliği miktarı, performansı doğrudan etkilemektedir. Yüksek toz kirlilikleri ile yapılan FBE kaplamalarda ara yüzeyde konuşlanan kirlilikler yapışma ve katodik soyulma performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu sebeple, yüzeyde kalan toz kirliliğinin belirlenmiş limit içinde olup olmadığının da ölçülmesi önemli bir aşamadır. Toz kirliliği tayini için referans standart ISO 8502 – 3 olarak kabul görmüş ve müşteri şartnamelerinde yerini almıştır.

Çizelge 5.1: Toz oranı sınıflandırma tablosu [17].

SINIF	Açıklama
0	Tanecikler 10 X büyütmede çıplak göz ile görülmez.
1	Tanecikler 10 X büyütmede görülebilir durumda olsa bile çıplak gözle
2	Tanecikler gözle fark edilebilir durumdadır. Tanecik çapı 50-100 µm
3	Tanecikler çıplak göz ile net bir şekilde görülebilir durumdadır. Tanecik
4	Taneciklerin çapı 0,5 mm ile 2,5 mm arasındadır.
5	Taneciklerin çapı 2,5 mm’den büyüktür.

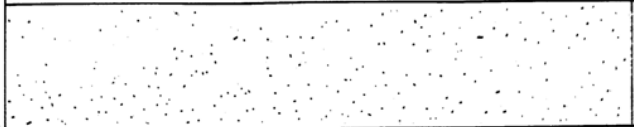
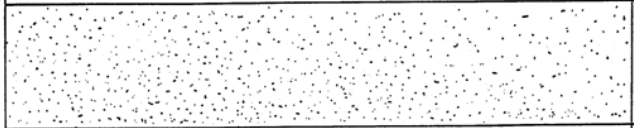
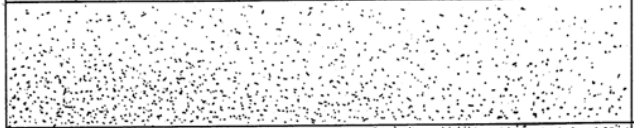
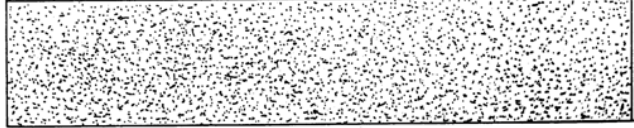
Uygulama şeffaf bandın boru yüzeyine yapıştırılarak yüzeydeki kirliliklerin üzerine alması sonucu oluşan kirliliğin referans tablolar ile karşılaştırılması esasına dayanmaktadır.

Boru üzerine yapıştırılmış bant yüzeyden alınır ve temiz beyaz kağıt üzerine ya da cam plaka üzerine yapıştırılır.

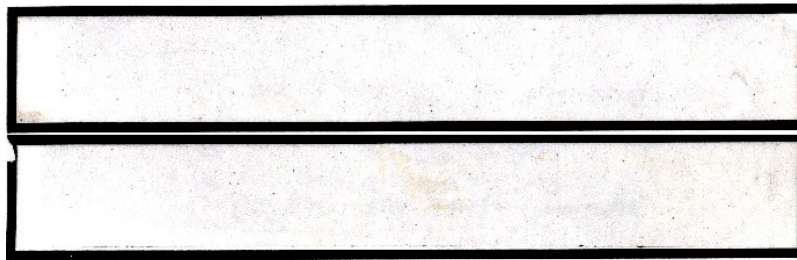
Değerlendirmede;

- Toz oranı (Şekil 5.6'e bakılarak)
- Toz tanecikleri büyüklük sınıfı (Çizelge 5.1 ' e bakılarak) ayrı ayrı değerlendirilir.

ÖRNEK → Toz oranı : 5 Toz Büyüklük sınıfı : 1

	1
	2
	3
	4
	5

Şekil 5.6 : Toz oranı referans tablosu [17].



Şekil 5.7 : Örnek toz kirlilik ölçümü [7].

5.1.1.6 Yüzey görünümü

Boru yüzeyi görsel olarak kontrol edilerek derin oyukların, çelik malzeme yaralarının, kaynak dikişi kenarlarında kalıntı pasların ve kirliliklerin varlığı sorgulanır.



Şekil 5.8 : Yüzey temizliği tamamlanmış boruda görsel kontrol.

5.1.1.7 Kimyasal yıkama performan ölçümleri

Fosforik asit ile yapılan kimyasal yıkama prosesinde, hem uygulama yöntemleri hem de performans ölçümleri için üretici firma önerileri dikkate alınmalıdır. Prosesi; asit ile kimyasal yıkama ve yüksek basınçlı su ile durulama şeklinde ikiye bölmek mümkündür. Çoğu üretici firma için bazı kritik uygulama parametreleri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.2 : Kimyasal yıkama performans ölçümleri [7].

Asit İle Kimyasal Yıkama	Yüksek Basınçlı Su İle Durulama
Konsantrasyon %5-20	Su iletkenliği 40µS<
Sıcaklık 45-60C°	pH 6-7,5
Reaksiyon Süresi 15-30Sn	Basınç Min 70Bar
Miktar 0,2-0,4Lt/m2	Miktar Min. 1 Lt/m2

Efektif bir kimyasal yıkama prosesi için çizelge 5.2'deki değerlerin sürekli kontrolü kimyasal yıkama sürecinin performans kontrolü olarak düşünülmelidir. Durulama sonrasında boru yüzeyindeki sıvı film tabakasının pH'ı minimum 6 olmalıdır. Ayrıca boru yüzeyinde çıplak gözle görülen aşırı kahverengileşme ya da noktasal renk farklılıkları da olmamalıdır.



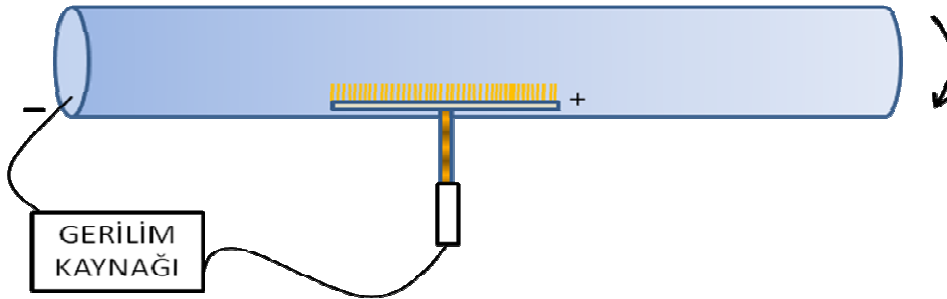
Şekil 5.9 : Kimyasal yıkama sonrası uygunsuz çelik boru yüzeyleri.

5.1.2 FBE kaplama

5.1.2.1 Holiday testi

Holiday testi FBE kaplama tesislerindeki en önemli işletme testlerinden biridir. Bu test kaplanmış boru yüzeyindeki kaçakların tespit edilmesi amacı ile uygulanmaktadır. Uygulama bir detektör aracılığı ile boru yüzeyine 2,4kV'a kadar potansiyel uygulama esasına dayanır. Boru ucu kaplamasız bölgeden yapılan topraklama sayesinde kaplama kaçaklarının olduğu noktalardan sinyal alınarak bölgenin kapatılması sağlanır. Kontrol sırasında detektör kaplanmış boru yüzeyinin tamamına temas ettirilerek kaçaklar tespit edilmektedir.

Holiday testi manual test cihazları ile yapılabildiği gibi otomatize sistemler ile de yapılabilmektedir. Holiday dedektörünün probunda iletken lastik veya FBE kaplamaya zarar vermeyen pirinç tel fırçalar kullanılır.



Şekil 5.10 : Manuel Holiday test uygulaması.



Şekil 5.11 : Otomatize holiday uygulama ünitesi.

Çizelge 5.3 : FBE kaplama standartlarına göre holiday voltaj değerleri [12][13][15].

TEST	TEST VOLTAJI
API 5 L 7	125 VOLT / 25.4µm - 350 µm için : 1722 volt min.
AWWA C 213	350 µm için : 1948 Ayrıca ıslak-sünger dedektörü
NACE RP 0490	350 µm için : 1950 volt

5.1.2.2 Kaplama kalınlığı

FBE kaplama kalınlık ölçümü önemli performans göstergelerinden biridir. FBE kaplama standartlarında genellikle müşteri taleplerinin göz önünde bulundurulması istenmiştir. Kaplama kalınlığı ölçümü, metal üzerinde metal olmayan kaplama kalınlığının tahribatsız olarak manyetik veya elektro-manyetik olarak ölçülmesidir.

Çizelge 5.4 : FBE kaplama standartlarına göre FBE kaplama kalınlıkları[12][13][15].

STANDART	FBE KAPLAMA KALINLIĞI
AWWA C 213	305 - 406 µm (ya da müşteri talebi)
API 5 L 7	Müşteri talebi
NACE RP 0394	Minimum 300 µm - Müşteri Talebi

5.1.2.3 Yapışma testi

Boru yüzeyine yapılan FBE kaplamayı çelik yüzeye kadar kesebilecek bir kesici uç yardımı ile resimde görüldüğü gibi bir bir kesme işlemi yapılır. Daha sonra aynı kesici uç ile kesişme noktasından kaplama kaldırılmaya çalışılır. Yapışma görsel olarak kontrol edilmiş olur. Bu kontrol sonucunda kaplamanın çelik boru yüzeyinde kolayca ayrılıp ayrılmadığı tespit edilir.



Şekil 5.12: X-Kesme yapışma testi.

5.1.2.4 Yüzey görünümü

FBE kaplanmış çelik boru yüzeyi görsel olarak kontrol edilerek üniform bir görünüm sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.



Şekil 5.13 : (1) Uygunsuz kaplama yüzey görünümü, (2) Uygun kaplama yüzey görünümü.

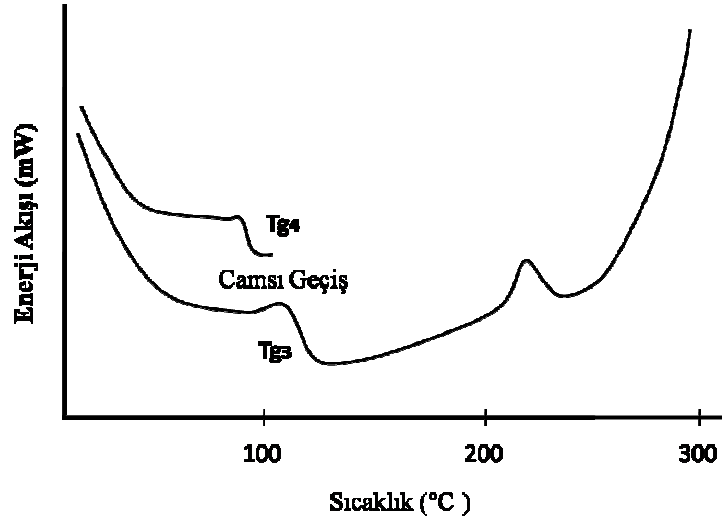
5.2 Laboratuvar Testleri

FBE kaplama için toz epoksi boyaya ve kaplanmış yüzeylere uygulanan testler aşağıdaki gibidir;

- DSC (Differential-Scanning Calorimetry) Testi
- Yapışma Testi
- Düşük Sıcaklıkta Bükme Testi
- Karşı Yüzey Kirlilik Tayini
- Porozite
- Katodik Soyulma Testi
- Sıcak Suya Dayanım Testi

5.2.1 DSC (Diferential – Scanning Calorimetry) testi

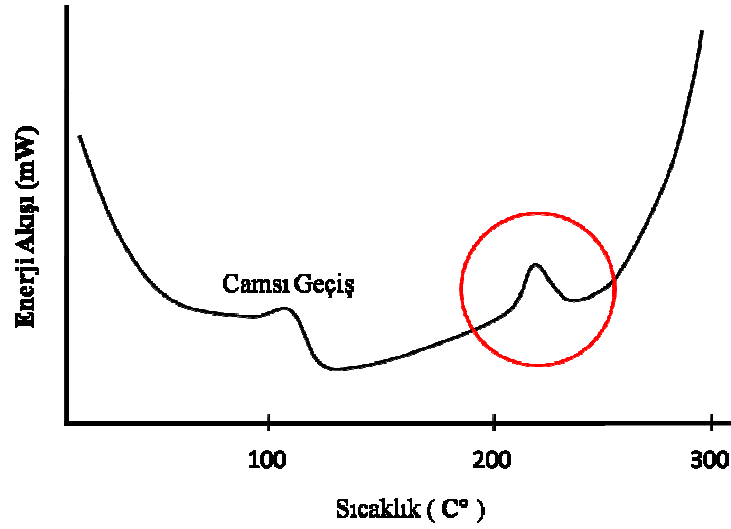
DSC testinde, numune FBE partiküllerinin sıcaklığını sabit hızla artırmak için harcanan enerji miktarını bir grafik haline getirilir. Elde edilen grafik, harcanan enerji miktarı ile numune sıcaklıklarının ilişkilerini vermektedir.



Şekil 5.14 : DSC testi sonuç grafiği [18]

Grafik üzerinden numunelerde fiziksel ve kimyasal değişimleri inceleyebilmek de mümkündür. Devam etmekte olan enerji emilimi, erime ya da camsı geçiş sıcaklığı gibi endotermik reaksiyonlar negatif eğim ile sonuçlanır. Epoksi reçinesi ile kür katkıları arasındaki eksotermik reaksiyonlar ise grafikte pozitif bir eğimle izlenebilmektedir. Tg4 sıcaklığı teste tabi tutulmuş numunelere testin ikinci kez

uygulanması sonucu elde edilen camsı geçiş sıcaklığıdır. Tg3 den daha düşük dğerlere sahip olması numunelerin tam küre ulaşmış olduğunun ıspatıdır.

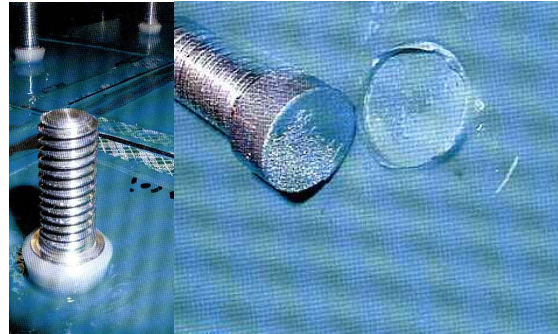


Şekil 5.15 : Tam küre ulaşmamış numune için DSC testi.

Şekil 5.15'te 220°C üstünde enerji akışında gözlenen pik oluşumu ekzotemik bir reaksiyonun varlığını göstermektedir. Uygulama sırasında tam kür aşamasına ulaşamayan ve çapraz bağ oluşum reaksiyonlarını tamamlayamayan FBE ürünü, yeniden uygulama sıcaklığına kadar ısıtıldığında reaksiyonu tamamlama eğilimi göstermektedir.

5.2.2 Yapışma testi

Aluminyum parçaları FBE kaplama yüzeyinden ayırabilmek için uygulanan kuvvetin ölçülmesi esasında dayanan testin uygulanışı aşağıda detaylandırılmıştır.

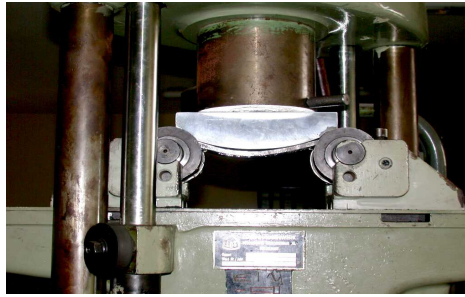


Şekil 5.16 : FBE yapışma testi [1].

Alüminyum kütlelerin yapıştırılacağı kaplama yüzeyi temizlenerek yüzey zımparalanır. 3 adet alüminyum kütle epoksi yapıştırıcı malzemesi ile yüzeye yapıştırılarak numune 24 saat bekleme alınır. Bu üre sonunda alüminyum kütle bir test cihazı ile yüzeyden koparılmaya çalışılır. Kopma noktasında test cihazı göstergesinden kopma mukavemeti okunarak yapışma derecesi belirlenir. Bu değer 2500psi (17,2Mpa) dan daha büyük olmalıdır [12].

5.2.3 Düşük sıcaklıkta bükme testi

FBE kaplı boruların düşük sıcaklıkta bükülebilme kabiliyetinin test edilerek kaplamanın uygunluğunun belirlenmesi amacı ile yapılan bükme testi petrol ve doğalgaz boruları için oldukça önemlidir. Boruların hatta döşenmesi sırasında eğme, bükme gibi uygulamalar söz konusu olduğunda kaplamanın esnek yapısı önemli bir kriter haline gelmektedir.



Şekil 5.17: Bükme testi.

FBE kaplı boru yüzeyinden 25 mm x 200 mm ebatlarında kesilen numuneler -18°C de 1 saat süre ile bekletilir. Daha sonra numunenin alındığı boru çapına bağlı ($2,5^{\circ}\text{C}/\text{boru çapı}$) olarak belirli bir açıda bükme işlemi uygulanmaktadır. Soğutucudan alınan numunenin 30sn içinde bükme işlemine alınması ve bükmenin 10 sn içinde tamamlanması testin düşük sıcaklıktaki numune ile yapılması açısından önemlidir[13].

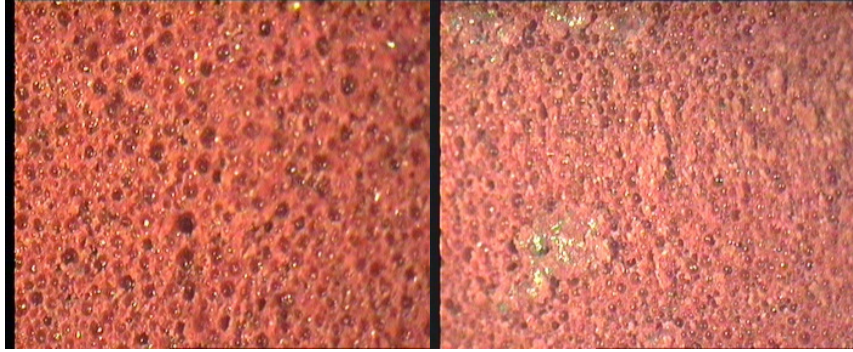
Test sonucunda numunelerin oda sıcaklığına kadar ısınması beklenir. Numune 40X büyütme altında gözle incelendiğinde kaplamada çatlama, yırtılma ve ayrılma olmamalıdır.

5.2.4 Karşı yüzey kirlilik tayini

Karşı yüzey kirlilik testi kaplamanın uygulandığı yüzeydeki kirliliğin tespit edildiği bir testtir. 25 x 200 mm ebadındaki kaplı numune, soğutucu içinde -40°C , -60°C de

yaklaşık bir saat bekletildikten sonra 180° bükülür ve FBE kaplamanın çelik yüzeyden ayrılması sağlanır. Çelik yüzeyden ayrılan FBE parçalarından 3 x 20 mm ebadında kaplama parçaları alınarak mikroskopta incelemeye alınır [7].

Epoksi reçinesi haricindeki tüm yabancı maddeler kirlilik olarak kabul edilir ve kirliliklerin kapladığı alanın incelenen yüzey alanının %30'nu geçmemesi önerilir [12].

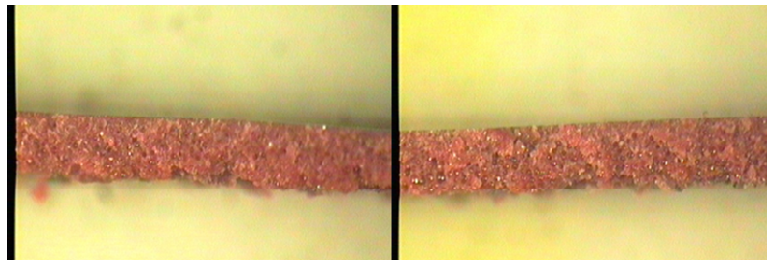


Şekil 5.18 : Karşı yüzey kirliliği ve kabarcıklı yapı.

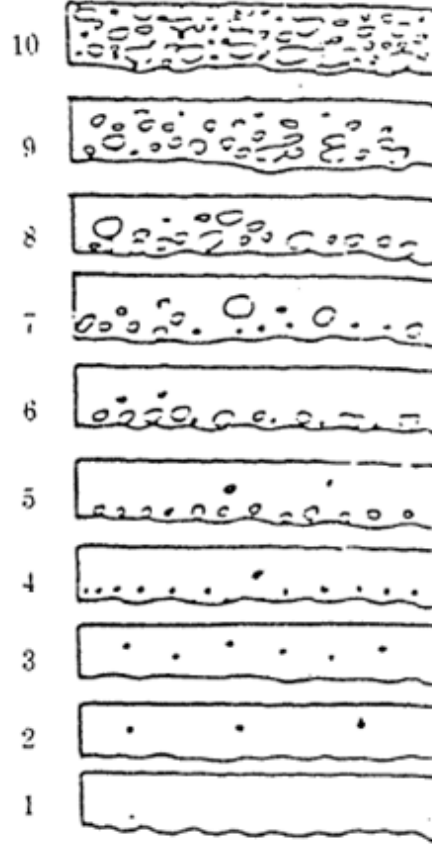
5.2.5 Porozite

Soğuk eğme sonucu alınan kaplama parçacıklarında kaplama dikey yönde kırılarak herhangi bir işlem yapılmadan 40X büyütme ile mikroskopta süngerimsi yapı incelenir. Süngerimsi yapıdaki boşluk oranı kaplama kalınlığının % 60'dan fazla olmamalıdır. Kaplama kalınlığının en dıştaki %40' lık kısmında boşluklar bulunmamalıdır [12].

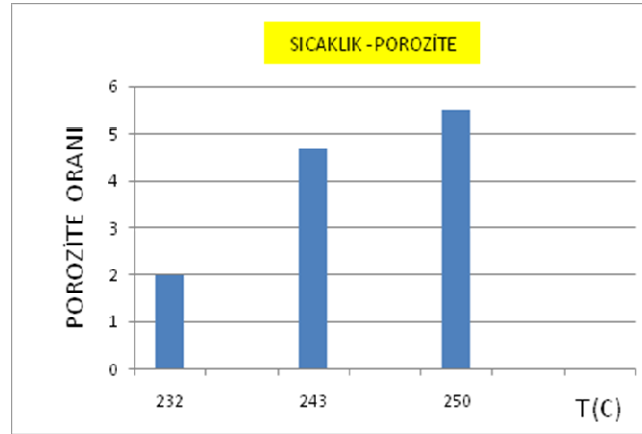
Boşluk oranı, API 5L7 standardında karşılaştırma resimlerine bakılarak da tespit edilir ve oranın 8'in altı olması istenir[12].



Şekil 5.19 : Ara yüzey porozite tayini [7].



Şekil 5.20 : Porozite oranı karşılaştırma tablosu [12].



Şekil 5.21 : Daha yüksek sıcaklıklarda yapılmış kaplamalarda porozite oran artışı[1].

5.2.6 Katodik soyulma testi

FBE kaplamanın elektrik gerilimi altında ve yüksek iletken çözelti içinde bekletilerek performansının belirlenmesi olarak tanımlanabilir. Katodik soyulma testi ile belirli gerilim ve sıcaklık koşullarında FBE kaplamanın çelik yüzeyden soyulma mesafeleri ölçülür.

10x10cm ebatlarında FBE kaplı numuneler ile yapılan katodik soyulma testi için gerekli ekipman listesi ve test koşulları aşağıdaki gibidir;

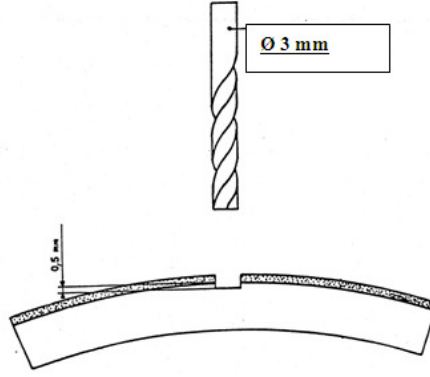
- DC güç ünitesi, Kalomel referans elektrot ,
- 0,8mm çapında ve min. 75 mm uzunluğunda platin tel,
- 100mm uzunluğunda ve 90 mm iç çapında plastik tüp,
- Saf su ile hazırlanmış % 3 NaCl çözeltisi,

Çizelge 5.5 : Standartlara göre katodik soyulma test şartları [7].

Parametre	NFA 49-710	CSA 245.21 (98)	InSP 266.5.2
Test Voltajı	- 1.5 volt	- 1.5 volt	- 1.5 vlt
Test Süresi	7 gün	2 gün 65 ± 3° C (1)	2 gün 60 ± 3° C
	40 ± 2°C	28 gün 20 ± 3°C(2)	28 gün 23 ± 2° C
Kabul	R : max. 10 mm	R : max. 10 mm (1)	Ortalama. R: max.8mm
Kriteri		R : max. 15 mm (2)	Tek değer: R:max 10mm

Katodik soyulma test hücresinin hazırlanışı ve uygulama aşamaları aşağıda sıralanmıştır;

Test plakasının merkezine kaplamayı tamamen kesecek şekilde 3.0 mm çapında ve metali en fazla 0.5 mm deiecek şekilde delik açılır, plastik tüp, kaplı numune üzerine açılmış deliğin merkezine yerleştirilir. Tüpün içine 350 ml % 3'lük Sodyum Klorür çözeltisi dökülür ve ve çözelti seviyesi tüp üzerinde işaretlenir. (Test süresince eksilen çözelti miktarı kadar demineralize su ilavesi yapılır.)



Şekil 5.22: Numune üzerine başlangıç deliğın açılması [7].

Kalomel elektrot çözelti içine delikten 10 mm yüksekliğe kadar daldırılır, sabitlenir ve DC güç kaynağının (+) pozitif ucu platin elektrota bağlanır. (-) negatif ucu numunenin kaplamasız bölgesine bağlanır.

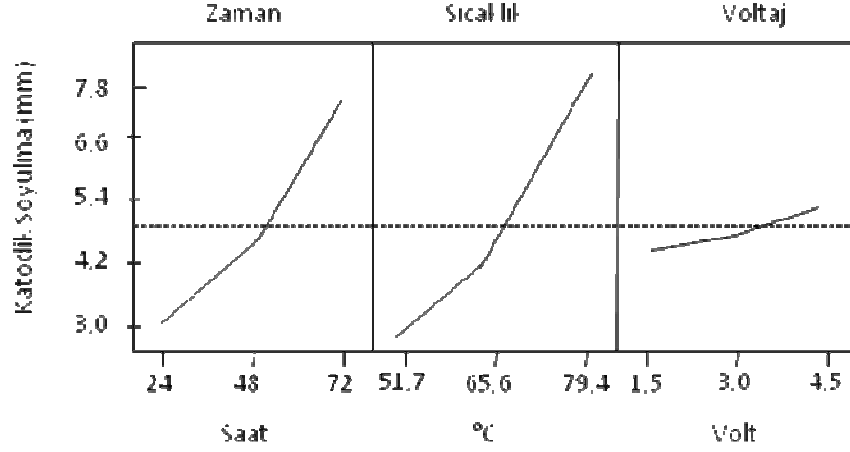
Numune plaka hava ile 20 ± 3 °C'ye soğutulur. Değerlendirme test süresi bitiminden itibaren 1 saat içinde yapılır.



Şekil 5.23 : Katodik soyulma test hücresi.

Uygun bir aparat ile başlangıç deliğinden itibaren FBE kaplama kaldırma hareketi yapılarak çelik yüzeyden kaldırılır. Soyulan kaplama sonrasında oluşan yeni deliğın çapı ölçülerek yapışmama mesafesi miktarı tespit edilir. Test sonucunda ortalama soyulma mesafesinin 14mm 'den küçük olması beklenir [7].

Katodik soyulma test sonuçlarını etkileyen en önemli faktörler sıcaklık, zaman, hücre voltajıdır. Ayrıca kaplama kalınlığı, elektrolit konsantrasyonu ve pH değeri gibi parametrelerin de katodik soyulma üzerine etkileri önemlidir.



Şekil 5.24 : Test parametrelerinin katodik soyulmaya etkileri.

$Cl^- \rightarrow \frac{1}{2} Cl_2 + e^-$ eşitliği şeklinde gerçekleşen anot reaksiyonu sonucunda elektron kaybeden Cl_2 ile, $2H_2O \rightarrow 2OH^- + H_2$ reaksiyonu sonucu açığa çıkan hidroksit iyonları, $Cl_2 + 2OH^- \rightarrow H_2O + Cl^- + ClO^-$ reaksiyonu gereğince hipoklorit oluşumunu gerçekleştirirler [1]. Anot yakınındaki bu oluşum yapay bir oluşumdur. Hipoklorit iyonlarının FBE molekülleri ile etkileşimi sonucu mekanik tutunma olumsuz etkilenecek metalik yüzeyden ayrılmaya zorlanır. Katodik koruma sistemlerinde hipoklorit oluşumları engellenerek kaplama koruma altına alınır.

5.2.7 Sıcak suya dayanım testi

FBE Kaplamanın performansının tespit edilmesi ve kaplama uygulama parametrelerinin doğrulanması amacı ile yapılır. FBE kaplı numune belirli bir süre sıcak su içerisinde bekletildikten sonra kaplamanın hangi oranda çelik yüzeyden kaldırılabildiği değerlendirilir.

Çizelge 5.6: Standartlara göre test koşulları [7].

Test Koşulları	API 5L 7	AWWA C 213-96	Z245.20.98
Test Sıcaklığı °C	75 ± 3 °C	95 ± 3 °C	75 ± 3 °C
Bekletme Süresi	48 saat	24 saat	48 saat
Kare Ebadı	25 x 12 mm	25 x 13 mm	30 x 15 mm

Test sonunda oda sıcaklığına soğutulmuş numune keskin bir bıçakla karelerin köşelerinden kaplama ile çelik arayüzeyine sokularak kaplamaya kaldırma hareketleri yapılır. FBE kaplama yapışma direnci ile karşılaşılana kadar soyulur. Daha sonra referans tablo yardımı ile yapışma oranı belirlenir. Yapışma oranının 3 ya da alt değerlerde olması istenir.

Çizelge 5.7: Sıcak suya dayanım testi yapışma oranı belirleme referans tablosu [12].

ORAN	Kriter
1	Kaplama köşelerde açık bir şekilde kopmamıştır. Kaplama kalkmıyor.
2	Kaplamanın % 50'den az kısmı kaldırıldı. Köşelerden kaplamanın altına bıçak sokularak kaplama kaldırılmaya çalışıldığında önemli miktarda kaplama kalıyor. Bazı
3	kaplama parçacıkları çelik yüzeyden uzaklaştırılamamıştır. Görsel olarak incelendiğinde önemli miktarda kaplama görülebilir. Çelik tamamen temiz bir şekilde görülemez.
4	Kaplama, büyük parçalar halinde kolayca kalkıyor.
5	Kaplamanın tamamı kolayca tek bir parça olarak kalktı.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar kapsamında, 100x100mm çelik numunelere işletme şartlarında özel bir çalışma ile yüzey hazırlama, laboratuvar ortamında FBE kaplama prosesleri ve testler uygulanmıştır. Uygulamalar sırasında önemli parametrelerin kontrolü yapılarak kayıt altına alınmıştır. Daha sonra numuneler 48 saat süren katodik soyulma testine tabi tutulmuştur.

6.1 Yüzey Hazırlama

6.1.1 Çelik numunelerin hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan çelik malzeme, API 5L standardına göre X60 sınıfı çeliktir. Borusan Mannesman Boru İzmit fabrikasında devam etmekte imalat kapsamında üretilmiş çelik borulardan temin edilmiştir.

Çizelge 6.1: X60 çelik malzeme kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri [12].

C	Mn	Si	P	S	Akma Dayanımı Mpa	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)
0,09	1,43	0,19	0,011	0,06	460	<560	<30

X60 çelik malzemeye yapılmış olan kimyasal analiz raporu Çizelge A.1’de detaylandırılmıştır.

6.1.2 Yüzey profili oluşturma

Farklı profil deriliğine sahip numunelerin hazırlanabilmesi için üç farklı kumlama\misketleme firması ile deneme çalışmaları yapılmıştır. Deneme çalışmaları sonucunda 60µm ve üstündeki profil derinliklerinin oluşturulmasında sıkıntılar yaşanmıştır.

Bunun üzerine Borusan Mannesmann Boru İzmit fabrikası FBE kaplama tesisinde kullanımda olan misketleme kabininde deneme çalışmaları yapılmıştır. Numuneler kabin içerisinde farklı noktalara kaynatılarak devam etmekte olan misketleme prosesine tabi tutulmuştur. Sonuç itibari ile 0-112 μ m aralığında numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 6.1 : Numunelerin misketleme kabin içinde farklı noktalara kaynatılması.

Misketleme sonrası 9 adet numune sırasıyla yüzey profil ölçümü, tuz kirliliği ve toz kirliliği testlerine alınmıştır.



Şekil 6.2 : Yüzey profil ölçümleri.

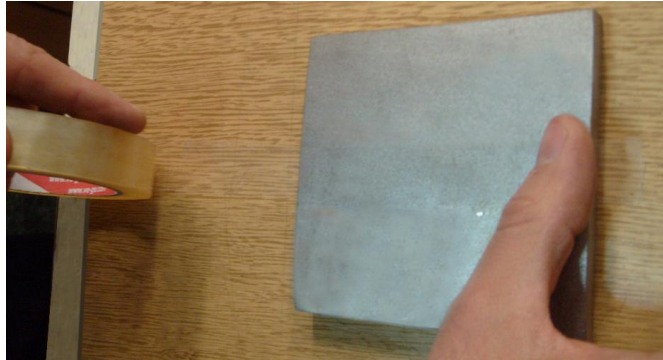
Yüzey profil ölçümleri (Rz) için Mitutoyo SJ201P cihazı kullanılmıştır.

Çizelge 6.2 : Yüzey profil ölçüm sonuçları.

Numune No	Ölçüm Sonuçları (µm)
1	4,4 – 11,3 – 9,9 – 9,1 – 7,6 – 7,1- 12,3 – 11,9 – 6,3 – 10,0
2	9,3 – 11,9 – 11,3 – 7,9 – 10,3 – 14,1 – 11,9 – 13,2 – 13,5 – 12,9
3	19,1 – 17,9 – 20,3 – 24,6 – 21,7 – 20,9 – 20,9 - 26,3 – 23,5 – 23,9
4	32,6 – 34,4 – 41,4 – 38,4 – 37,5– 40,9 – 35,4 – 36,6 – 32,1 – 33,3
5	36,4 – 39,1 – 37,6 – 37,3 – 41,2 – 42,2 – 42,9 – 39,4 – 39,6 –
6	51,1 - 54,3 - 55,7 - 47,4 – 49,4 – 56,9 – 56,1 – 53,5 – 45,3 – 57,2
7	67,1 – 82,4 -74,8 – 88,2 – 83,7 – 86,4 – 77,2 – 80,0 – 84,6 – 85,5
8	92,2 – 99,1- 93,7- 95,6 – 100 – 101,4 - 94,5 – 96,2 – 99,9 – 99,0
9	106,1-109,3-105,7-110,1- 110,9-112,5-110,9-109,5-105,7-102,8

6.1.3 Toz kirliliği

Yüzey profil değerlerinin kayıt atına alınmasından sonra numunelerin her biri toz kirliliği testine tabi tutulmuştur. Toz kirlilik testi sonucunda hiç bir numune de uygunsuz oranlarda toz ihtivası saptanmamıştır.



Şekil 6.3 : Toz testi uygulaması.

Çizelge 6.3: Toz kirlilik testi sonuçları.

NUMUNE NO									
Toz Oranı	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1	1-1

6.1.4 Tuz kirliliği

Toz kirliliği tespitinden sonra numuneler tuz miktarı tayini için bekletilmeden teste alınmıştır. Tuz kirliliğinin ölçümü için elektriksel iletkenliği $10\mu S$ 'in altında olan demineralize su kullanılmıştır. Ölçümlerde Elcometer SCM 400 kodlu cihaz kullanılmıştır. Ölçüm sonuçlarında tüm numunelerde tuz kirlilik değerlerinin $2\mu g/cm^2$ nin altında olduğu tespit edilmiştir.



(1)



(2)



(3)



(4)

Şekil 6.4: (1)Demineralize suyun ölçüm bezine aşılması (2)Ölçüm bezinin numuneye temas ettirilmesi (3)Ölçüm bezinin cihaza yerleştirilmesi (4) Sonuç

Çizelge 6.4: Numunelerdeki tuz kirlilik seviyeleri.

Numune No	Ölçüm Sonuçları ($\mu g/cm^2$)
1	0,8
2	0,5
3	0,9
4	1,3
5	0,7
6	0,7
7	1,1
8	1,1
9	0,7

6.2 FBE Kaplama

Yüzey hazırlama kriterlerinde hiç bir uygunsuzluğa sahip olmayan numuneler laboratuvar ortamında FBE kaplama prosesine tabi tutulmuştur.

240°C'ye setlenmiş bir etüv yardımı ile numuneler 230-235°C aralığına ısıtılmıştır. Numunelerin sıcaklıkları temas bölgesinde mıknatıslı olan kontak termometre yardımı ile kaplama uygulaması süresince takip edilmiştir.



Şekil 6.5 : Numunelerin ısıtılması ve sıcaklık kontrolü.

FBE Kaplama malzemesi olarak KCC firmasının KARUMEL EX4413-F103(A) kodlu ürünü kullanılmıştır.

Çizelge 6.5 : Karumel ex4413 F103(A) ürün özellikleri [19].

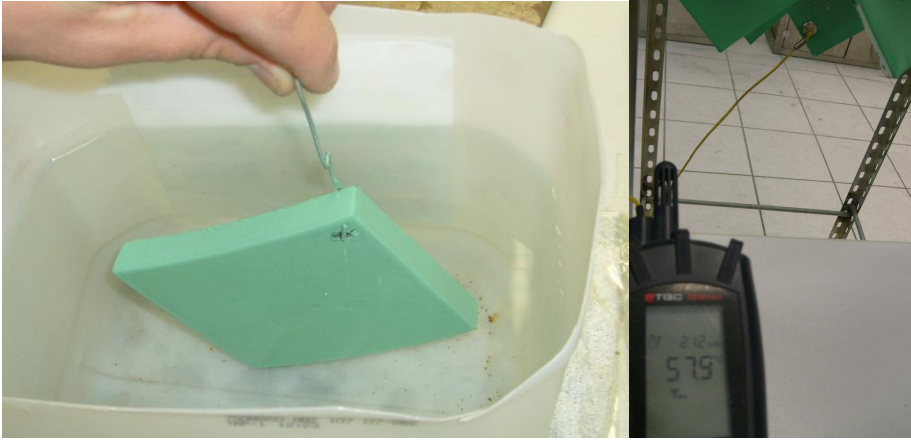
Özellikler	Değerler
Kür Süresi	90Sn (232C)
Jel Süresi	23 ±5 Sn (204)
Nem içeriği	<0,3%

Daha sonra numuneler tek tek elektrostatik toz boya kaplama yöntemi uygulanarak kaplanmıştır. Manuel uygulama ile uygulanan FBE toz boyanın sıcak numune yüzeyinde eriyik yapıya geçişi gözlenmiştir.



Şekil 6.6 : Numunelerin elektrostatik toz boya yöntemi ile FBE kaplanması.

Kaplama sonrasında numuneler ilk 3-5 dakika boyunca hava ile daha sonra su ile 50-60 °C aralığına kadar soğutulmuştur.



Şekil 6.7 : FBE kaplı numunelerin su ile soğutulması.

FBE kaplı numuneler ile daha sonra kaplama kalınlığı profilinin çıkarılabilmesi için kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Kalınlık ölçümleri sırasında Elcometer 416 kodlu kalınlık ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 6.8 : FBE kaplı ürünlerde kalınlık ölçümleri.

Her numuneden 10 farklı noktadan kalınlık ölçümü alınarak kaplama kalınlığının uygunluğu teyit edilmiştir.

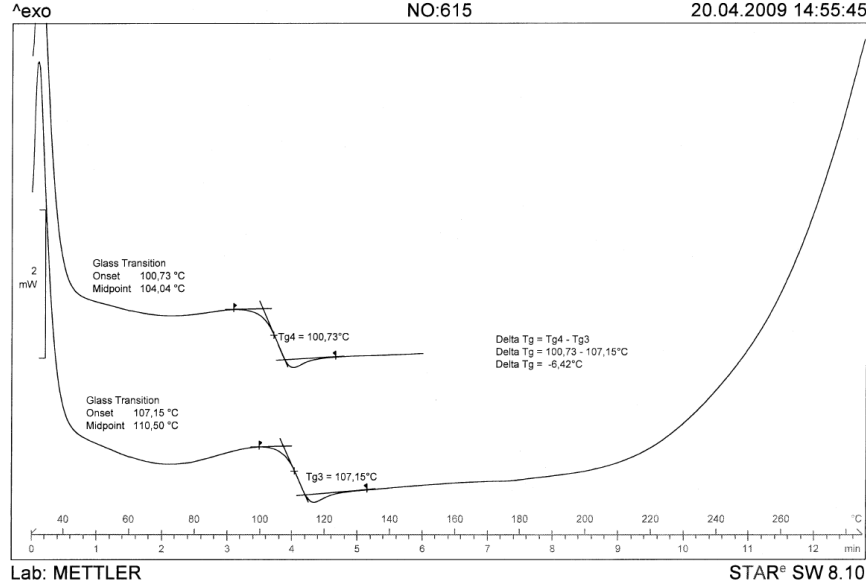
Çizelge 6.6 : Kaplanmış numunelerde kaplama kalınlık ölçüm sonuçları.

Numune No	Ölçüm Sonuçları (μm)
1	516 – 610 – 550 – 577 – 598 – 632 – 526 – 600 – 603 – 632
2	439 – 520 – 503 – 570 – 561 – 547 – 507 – 601 – 598 – 631
3	620 – 564 – 545 – 609 – 685 – 584 – 590 – 530 – 541 – 499
4	569 – 591 – 605 – 550 – 621 – 601 – 608 – 567 – 549 – 594
5	498 – 430 – 550 – 501 – 530 – 579 – 493 – 540 – 549 – 509
6	394 – 401 – 411 – 379 – 385 – 439 – 426 – 460 – 439 – 405
7	540 – 511 – 514 – 532 – 601 – 598 – 586 – 620 – 632 – 604
8	611 – 580 – 650 – 657 – 660 – 611 – 643 – 640 – 670 – 646
9	670 – 699 – 605 – 550 – 560 – 601 – 645 – 599 – 613 – 605

Kaplama kalınlıkları Çizelge 5.4’te listelenen FBE kaplama standartlardaki talepleri karşıladığı tespit edilmiştir.

6.2.1 FBE kaplı yüzey DSC testi

FBE uygulanmış yüzeyden mekanik olarak kazınan FBE tozları, uygulama sıcaklığının, kurlenme derecesinin uygunluğunu tespit etmek için DSC (Differential-Scanning Calorimetry) testine tabi tutulmuştur.



Şekil 6.9 : FBE kaplama DSC(Differential Scanning Calorimety) testi.

Şekil 6.8’de de gösterildiği üzere numunelerin uygun sıcaklıkta kaplandığı ve FBE ürünün tam kür seviyesine ulaştığı saptanmıştır. 230 °C ve üzerine ısıtılan numunelerde yeniden reaksiyona girme eğilimi gözlenmemiştir. Tüm numunelerde, Tg4 sıcaklık değerleri Tg3 değerlerinden düşük olduğu tespit edilmiş ve uygulama sırasında tam kürün sağlanmış olduğu tespit edilmiştir.

6.2.2 Katodik soyulma testi

Numuneler aynı koşullar altında aynı anda katodik soyulma testine tabi tutulmuştur. Test öncesinde tüm numuneler manuel holiday testine alınarak kaplamalarda kaçak tespiti yapılmıştır. Kaplı yüzeylerin tamamına 2400mV gerilim uygulanmıştır. Kaplamalarda mikro delik, yaralanma sonucu çatlamlar gibi uygunsuzluklar gözlenmemiştir.

48 saat süren katodik soyulma testi CSA 245.21 (98) FBE kaplama Kanada standard referans alınarak gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin tam ortasından 3mm delik açılmıştır. Katodik soyulma hücresine yerleştirilen numunelere -3500mV gerilim uygulanmıştır.



Şekil 6.10 : Katodik soyulma test hücreleri.

48 Saat sonunda test hücresi kapatılarak numuneler incelemeye alınmıştır. İnceleme için FBE kaplama üzerine, 3mm başlangıç deliğinden itibaren kesici uç ile çelik yüzeye kadar çizgisel olarak kesme işlemi yapılmıştır. Çizgiler A, B, C, D, E, F, G, H şeklinde işaretlenmiştir.

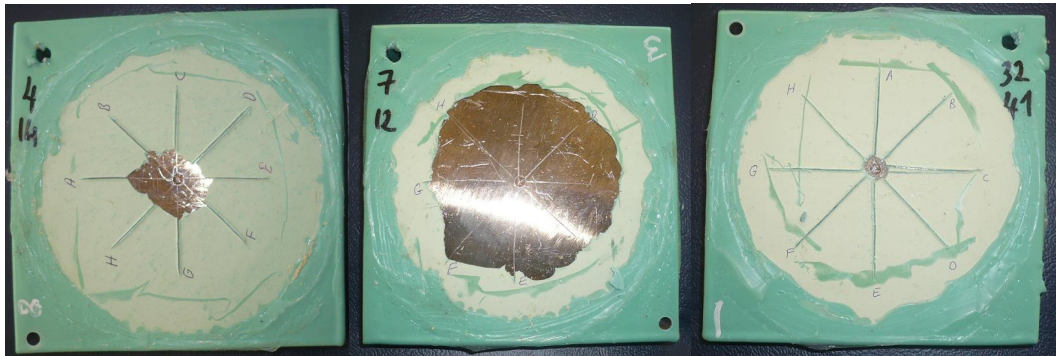


Şekil 6.11 : Kesici uç ile çizgisel kesme işlemi.



Şekil 6.12 : Çizgisel kesim sonrası numuneler.

Çizgisel kesim ve harflendirme işleminden sonra başlangıç delik çapından itibaren çelik yüzey ile kaplama arayüzüne kesici uc ile mekanik kaldırma yapılarak kaplama yüzeyden sıyırılmıştır. Sıyırma işlemi yapışma direnci ile karşılaşılan kadar devam ettirilmiştir.



Şekil 6.13 : Katodik soyulma sonrasında düşük profil derinliklerindeki aşırı soyulma.

Soyulma sonrasında harflendirilmiş kesim çizgileri boyunca soyulma mesafeleri ölçülmüştür. Soyulma miktarı başlangıç delik çapından itibaren ölçülmüştür.

Çizelge 6.7: Katodik soyulma test sonuçları (mm).

NUMUNE NO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	29,14	30,15	13,48	1,91	2,89	2,19	1,16	2,51	2,81
B	33,59	29,59	10,48	2,43	2,43	1,99	1,59	2,48	2,05
C	26,68	29,68	7,49	2,1	2,66	2,03	1,74	2,65	2,31
D	32,18	27,68	5,31	2,47	1,21	1,95	1,35	2,71	2,22
E	27,13	27,77	8,62	2	2,24	2,29	1,61	2,89	2,93
F	31,2	31,25	9,87	1,19	1,15	2,63	1,65	2,79	2,95
G	30,2	27,28	10,35	1,85	2,55	1,23	1,01	2,33	2,13
H	29,23	30,23	8,79	2,15	2,93	2,09	1,51	2,07	2,29
AVG.	29,9	28,2	9,3	2,01	2,25	2,05	1,45	2,05	2,46

Düşük profil derinliğine sahip numunelerin katodik soyulma test sonuçları standartlarda belirtilen limitlerin üstünde sonuçlanmıştır. Ortalama yüzey profil derinliği 21,93µm olan numune dahil diğer tüm numunelerin sonuçları standart taleplerini karşılamıştır. Buna ek olarak katodik soyulma miktarı ile yüzey profil derinliği arasında belirli aralıklarda ters orantı olduğu saptanmıştır.

Ortalama yüzey profil derinliği 97µm ve üstü olan numelerde katodik soyulma mesafesindeki artışı yorumlayabilmek için yeni numuneler hazırlanarak

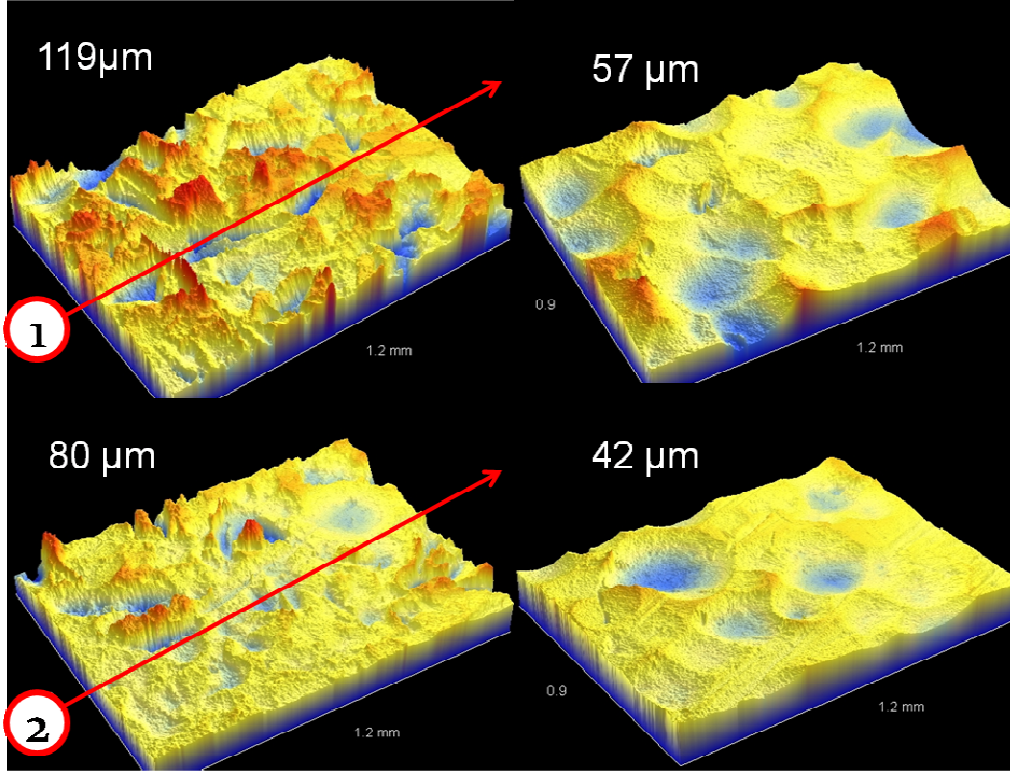
- Yüzey profil pik sayısı
- Üç boyutlu profil resimleri

çalışmaları yapılmıştır.

Çizelge 6.8: Farklı yüzey profil derinliklerinde pik sayıları.

Rz	32,7	44,7	56,1	77,9	86,3	93,9	101,0	106,1	112,5
Pik Sayısı	27	43	60	72	79	80	72	68	61

1cm mesafede yapılan pik sayısı ölçümlerinde 90 µm ve üstü Rz değerlerinde yüzey profili pik değerlerinde düşüş gözlenmiştir.



Şekil 6.14: Farklı yüzey profil derinlikleri için üç boyutlu resimlendirme.

Şekil 6.14'te farklı yüzey profil derinliklerinde yüzey profilindeki pik sayılarındaki azalma kolayca gözlenmektedir. 1 ve 2 no'lu çizgiler boyunca pik sayımı yapıldığında 80μm için daha yüksek değer bulunacaktır. Derin yüzey profilindeki pik sayılarının azalması ile toplam yüzey alanda azalma söz konusu olmuştur.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Katodik soyulma testi sonucunda elde edilmiş olan soyulma mesafelerinin yüzey profil derinlikleri ile belirli bir değere kadar ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. 95 μ ve üstü yüzey profil derinliklerindeki katodik soyulma mesafelerinde 60-90 μ arası profil derinliklerindeki katodik soyulma mesafelerine oranla belirgin bir artış gözlenmiştir.

Bu önemli bulgu, 95-100 μ m üzerindeki yüzey profil derinliklerinde yüzey alanın düşüşe geçişi olarak yorumlanmıştır. Aynı çizgisel mesafede yüzey profil pik sayısındaki düşüş, yüzey alanındaki düşüşe sebebiyet vermiş olması muhtemeldir.

Çizelge 7.1: Ortalama değerlere göre katodik soyulma mesafeleri.

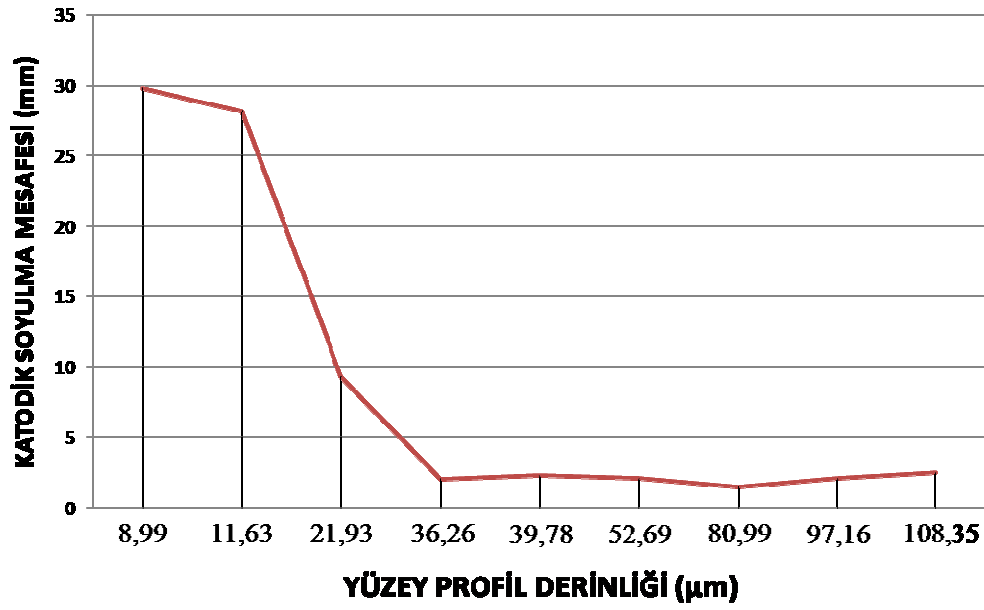
Numune No	Ortalama Yüzey Profili Derinliği (μ m)	Ortalama Kaplama Kalınlığı (μ m)	Katodik Soyulma (mm)
1	8,99	584,4	29,9
2	11,63	547,7	28,2
3	21,93	576,8	9,3
4	36,26	585,5	2,01
5	39,78	468,4	2,25
6	52,69	413,9	2,05
7	80,99	573,8	1,45
8	97,16	636,8	2,05
9	108,35	614,7	2,46

Çizelge 7.1’da her bir numunenin ortalama yüzey profil derinliği ve FBE kaplama kalınlığı ile katodik soyulma miktarı arasındaki ilişki listelenmiştir.

FBE kaplama uygulaması için, diğer tüm parametrelerin uygun olduğu varsayımı ile yüzey profil derinliğinin 40 μ m ve üstü olması durumunda standart taleplerini karşılayacak katodik soyulma sonuçlarının elde edilmesi garanti edilmiş olur.

90 μ m ve üstü profil derinlikleri ile elde edilmiş olan yüzey alanı, 60-90 μ m profil derinliği ile elde edilmiş olan yüzey alandan daha düşük olması şeklinde

yorumlanmıştır. Profil derinliklerindeki artış ile belirli mesafedeki profil pik sayısındaki azalma, toplam yüzey alanda da azalmaya sebep olmuştur.



Şekil 7.1 : Yüzey profil derinliği – Katodik soyulma mesafe ilişkisi.

Yüzey profil derinliği için üst sınır olarak 90μm seçmek uygun olacaktır. Daha yüksek değerlerde uygun katodik soyulma sonuçları elde ediliyor olsa bile riskli sonuçlar elde edilebilme olasılığı da söz konusudur. Ayrıca 90μm ve üstü profil derinlik sonuçları elde edebilmek için taze aşındırıcı kullanımı, hat hızı gibi önemli parametrelerden de taviz verilmesi söz konusu olmayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Kehr A. J.**, 2003: Fusion-Bonded Epoxy(FBE) A Foundation for Pipeline Corrosion Protection. NACE International, Houston, USA
- [2] **Neal D.**, 1997. Fusion – Bonded Epoxy Coatings, Application and Performance Harding & Neal INC, Houston USA
- [3] **Drew M. S.**, 2007: History of Dual Layer Pipeline Coatings, Akzo Nobel Powder Coatings, pp. 10-17
- [4] **3M Scotchkote 226N/6233/226N**; 2006, Fusion-Bonded Epoxy Coatings Application Guide, <<http://www.3m.com/corrosion/>>,USA
- [5] **Jotun Corro-coat EPF 1010**; 2005, Ürün Teknik Bilgi Föyü, <<http://www.jotun.com/>>, Türkiye
- [6] **Dupont Napgard FBE Powder Coatings 7-2500**, 2005, Ürün Teknik Bilgi Föyü, <<http://www.dupont.com/>>, USA
- [7] **Albar A.**, 2002: FBE Ön Araştırma Raporu, Borusan Mannesmann Boru, Türkiye
- [8] **Kehr A. J., Hakkinen J., Turan A., Albar A.**, 2008. Kişisel görüşme.
- [9] **Url-1** <http://www.brederoshaw.com/solutions/DualLayer_FBE.htm/>, alındığı tarih 14.01.2009.
- [10] **Bates C.**, 2004, Surface Preparation for FBE Pipecoating, Chemetall, pp. 2-28
- [11] **Payer J. H., Shan X., Trautman B. L., & Song I.**, 2002: Cathodic Disbondment of Pipeline Coatings Under Realistic Field Conditions, Case Western Reserve University. pp. 3-15
- [12] **API 5L**, 2002. Fusion Bonded Epoxy Coatings, American Petroleum Institute
- [13] **NACE RP 0394**, 2006, Fusion Bonded Epoxy Coatings, National Association of Corrosion Engineers, USA
- [14] **CSA Z245.20, 1998**, External Fusion Bond Epoxy Coating for Steel Pipe - External Polyethylene Coating for Pipe, Canasian Standarts Association, Canada
- [15] **AWWA C213**, 1996, Fusion-Bonded Epoxy Coating for the Interior and Exterior of Steel Water Pipelines, America
- [16] **Elcometer 130 SCM 400**, 2005, Ürün Teknik Bilgi Föyü, < <http://www.elcometert.com/>>, USA
- [17] **ISO 8502-3**, 1992, Preparation of steel substrates before application of paints and related products, International Orgnisation of Standardization, USA
- [18] **Url-2** <http://en.wikipedia.org/wiki/Fusion_bonded_epoxy_coating/>, alındığı tarih 14.01.2009.
- [19] **KARUMEL EX4413-F103(A)**, 2008, Technical Data Sheet, KCC Cooperation, Korea

EKLER

EK A : X60 kimyasal bileşim ve mekanik özellikler

EK B : Misketlenmiş yüzeyde toz kirlilik ölçümü

EK C : Katodik soyulma test raporu

EK D : FBE kaplı yüzeyde DSC test sonuçları

EK A

Çizelge A.1: X60 kimyasal bileşim ve mekanik özellikler.

Task/Program: FECOLAST/FELAST
Date and Time of Analysis: 08/04/2009 9:21:56 AM
Type of Analysis: Unknown Concentrations
Number of Repeats: 1

BORUSAN MAN. SAMPLE ID: 546
HEAT : COIL NO :
PIPE NO : SIZE : 508X9.50
CUSTOMER: QUALITY : ERD. X-60

Run	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	V	Ti	Al	Nb	W
Avg	0.09	1.43	0.19	0.011	0.006	0.03	0.02	0.03	0.00	0.05	0.018	0.044	0.05	0.000
	Sn	Pb	B	Ca	Zn	N	FE%	CE	CEpcm					
Avg	0.002	0.002	0.0001	0.0049	0.001	0.005	98.01	0.34	0.17					

Borusan Mannesmann A.S

08.04.2009

Parameter table:

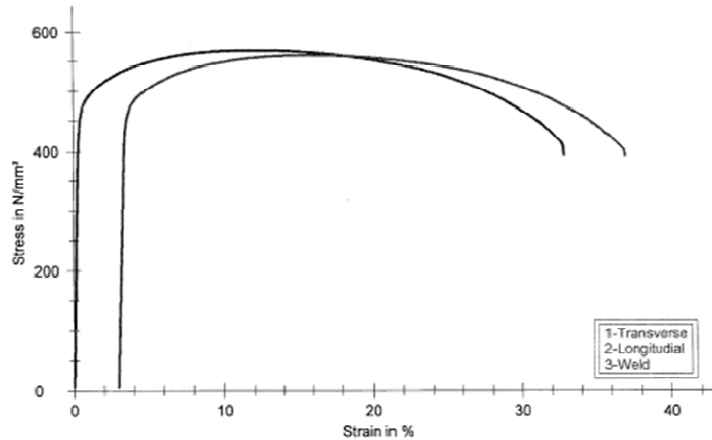
Client : CAMEG SPA Colée no : 727419
Com. no : 4911/3 Bobine no : 47045021
Dimension: 508X9,50mm Tube no : 309000572
material : X-60

E-Modülü hızı : 3 mm/min Speed in yield range: 25 mm/min
Rp, ReH Akma hızı : 3 mm/min Test hızı : 25 mm/min

Results:

Legends	Nr	Rp 0,2 N/mm ²	Rm N/mm ²	A %
	1	460	568	33
	2	460	560	34

Series graphics:



EK B

Çizelge B.1: Misketlenmiş yüzeyde toz kirlilik ölçümü.

MİSKETLENMİŞ YÜZEYDE TOZ KİRLİLİĞİ ÖLÇÜMLERİ

Müşteri : İbrahim Asker
Ebat :
Dosya No. : 10x10 Numune
Standart :

Boru No.:

Sınıf=1 Orm=1

Boru No.:

Sınıf=1 Orm=1

Boru No.:

Sınıf=1 Orm=1

Boru No.:

Sınıf=1 Orm=1

Yüzey Kalitesi : 5 a 25

Toz Miktarı : 1-1

Misket Fırılarcılar : Doğu : Am. Batı : Am hZ:

Batı : Am. Batı : Am hZ:

Boru ilerleme hızı :

Kullanılan grit : B2 25

7155.01.03.REV.0

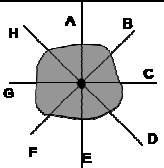
EK C

Çizelge C.1: Katodik soyulma test raporu 1.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	1	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No		
	1 (7 - 12)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	584,4 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	29,14	
	B	33,59	
	C	26,68	
	D	32,18	
	E	27,13	
	F	31,2	
	G	30,2	
	H	29,23	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

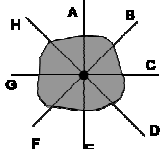
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür.		TARİH Date	TESTİ YAPAN Operator	KONTROL EDEN Approved by
Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		18.04.2009	A.DİZDAR	İ. AŞKAR

Çizelge C.2: Katodik soyulma test raporu 2.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	2	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No 2 (4 - 14)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	547,7 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	30,15	
	B	29,59	
	C	29,68	
	D	27,68	
	E	27,77	
	F	31,25	
	G	27,28	
	H	30,23	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

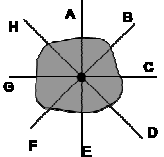
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür. Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		TARİH Date 18.04.2009	TESTİ YAPAN Operator A.DİZDAR	KONTROL EDEN Approved by İ. AŞKAR
---	---	--	--	--

Çizelge C.3: Katodik soyulma test raporu 3.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	3	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No 3 (17 - 26)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	547,7 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	13,48	
	B	10,48	
	C	7,49	
	D	5,31	
	E	8,62	
	F	9,87	
	G	10,35	
	H	8,79	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

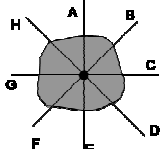
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür. Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		TARİH Date 18.04.2009	TESTİ YAPAN Operator A.DİZDAR	KONTROL EDEN Approved by İ. AŞKAR
--	---	---------------------------------	---	---

Çizelge C.4: Katodik soyulma test raporu 4.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	4	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE <i>Parameter</i>	BORU NO <i>Pipe No</i>		
	4 (32 - 41)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) <i>Initial hole diameter</i>	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) <i>Coating Thickness</i>	585,5 µm		
3- Holiday Test (kV) <i>Holiday Test (kV)</i>	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) <i>Applied Voltage (V)</i>	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) <i>Test Temperature (°C)</i>	65 °C		
6- Test Süresi (saat) <i>Test Period (hours)</i>	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) <i>Start of test (day / time)</i>	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) <i>Finish of test (day / time)</i>	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) <i>Disbonded Radial Value (mm)</i>		Cell 1	Cell 2
	A	1,91	
	B	2,43	
	C	2,1	
	D	2,47	
	E	2	
	F	1,19	
	G	1,85	
	H	2,15	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) <i>Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)</i>		2,01	
	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

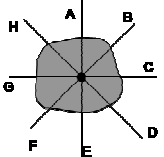
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür. Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		TARİH Date 18.04.2009	TESTİ YAPAN Operator A.DİZDAR	KONTROL EDEN Approved by İ. AŞKAR
---	---	--	--	--

Çizelge C.5: Katodik soyulma test raporu 5.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	5	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No		
	5 (36 - 42)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	468,4 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	2,89	
	B	2,43	
	C	2,66	
	D	1,21	
	E	2,24	
	F	1,15	
	G	2,55	
	H	2,93	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

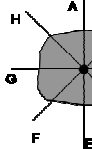
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür. Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		TARİH Date	TESTİ YAPAN Operator	KONTROL EDEN Approved by
		18.04.2009	A.DİZDAR	İ. AŞKAR

Çizelge C.6: Katodik soyulma test raporu 6.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	6	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No 6 (45 - 57)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	468,4 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	2,19	
	B	1,99	
	C	2,03	
	D	1,95	
	E	2,29	
	F	2,63	
	G	1,23	
	H	2,09	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

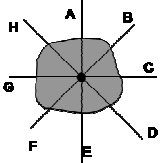
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür.		TARİH Date	TESTİ YAPAN Operator	KONTROL EDEN Approved by
Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		18.04.2009	A.DİZDAR	İ. AŞKAR

Çizelge C.7: Katodik soyulma test raporu 7.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	7	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No 7 (67 - 88)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	573,8 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	1,16	
	B	1,59	
	C	1,74	
	D	1,35	
	E	1,61	
	F	1,65	
	G	1,01	
	H	1,51	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

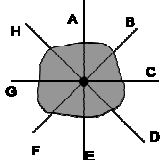
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür.		TARİH Date	TESTİ YAPAN Operator	KONTROL EDEN Approved by
<i>Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.</i>		18.04.2009	A.DİZDAR	İ. AŞKAR

Çizelge C.8: Katodik soyulma test raporu 8.

 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	8	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No		
	8 (91 - 101)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	636,8 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	2,51	
	B	2,48	
	C	2,65	
	D	2,71	
	E	2,89	
	F	2,79	
	G	2,33	
	H	2,07	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

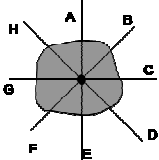
Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür.		TARİH Date	TESTİ YAPAN Operator	KONTROL EDEN Approved by
Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		18.04.2009	A.DİZDAR	İ. AŞKAR

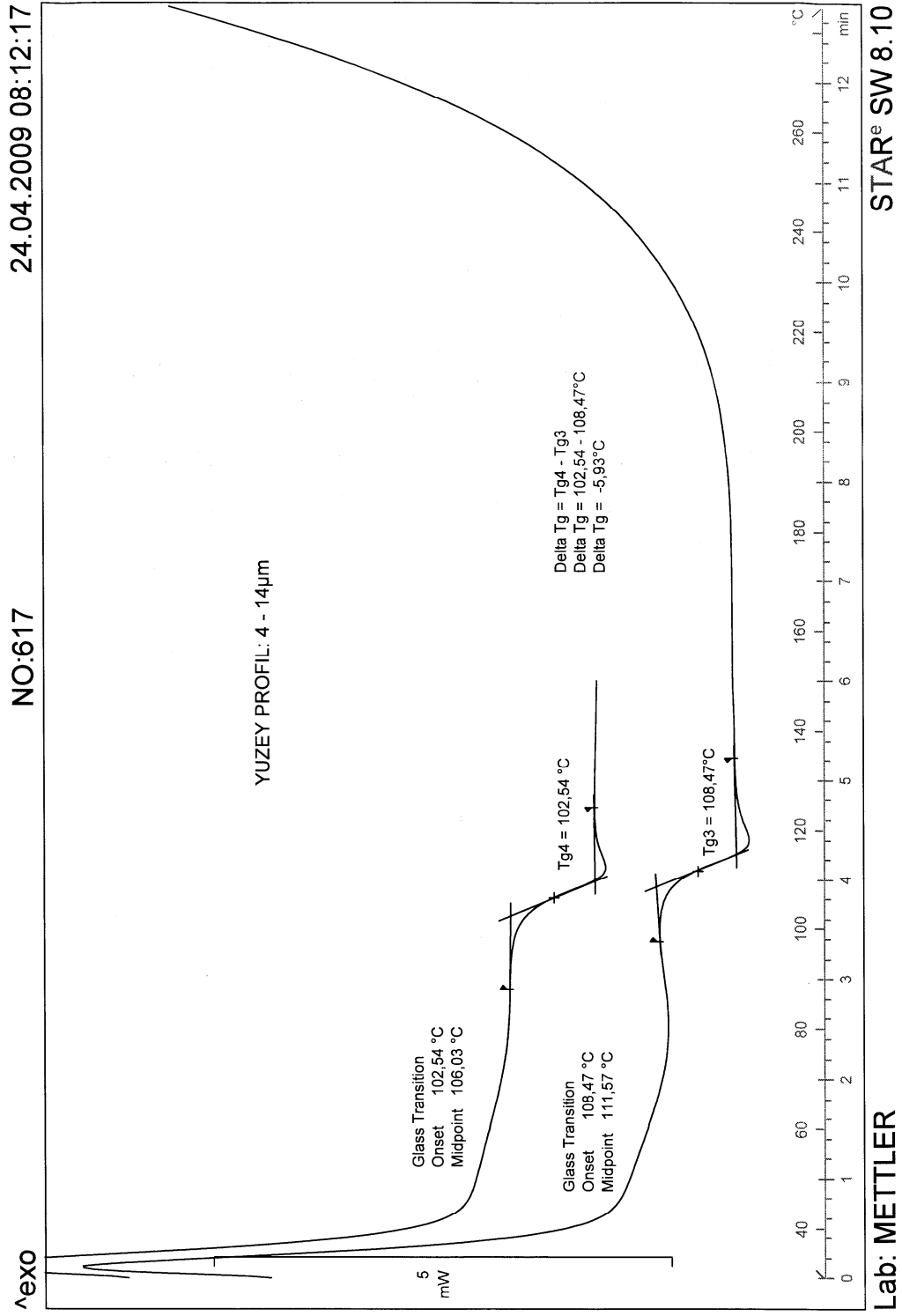
Çizelge C.9: Katodik soyulma test raporu 9.

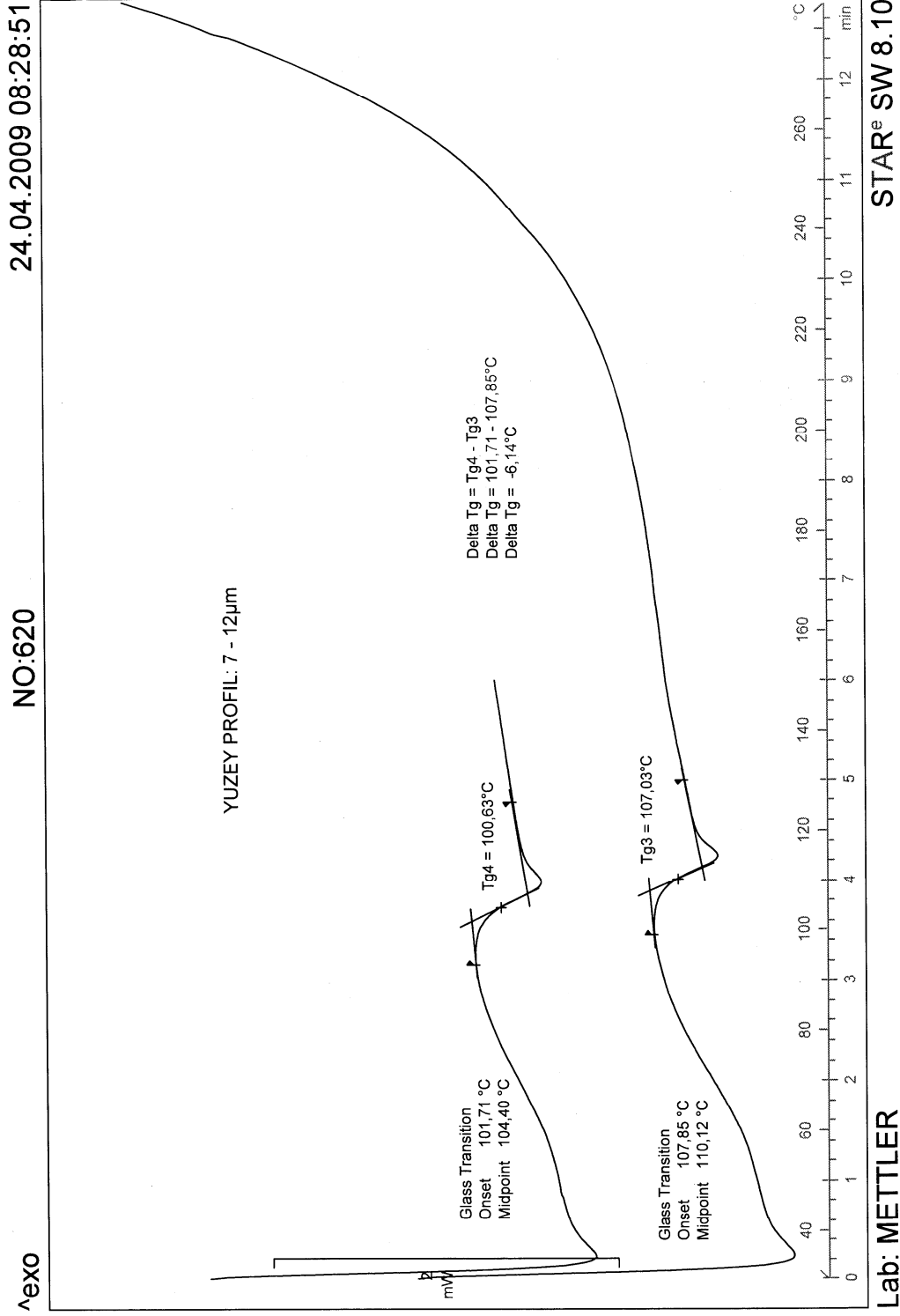
 BORUSAN MANNESMANN	KATODİK SOYULMA TEST RAPORU CATHODIC DISBONDMENT TEST REPORT
---	--

MÜŞTERİ Customer	EBAT Size	STANDART Standard	RAPOR NO Report No	FBE
DENEME	100x100 mm	API RP 5L7	9	KCC KARUMEL EX4413- F103(A)

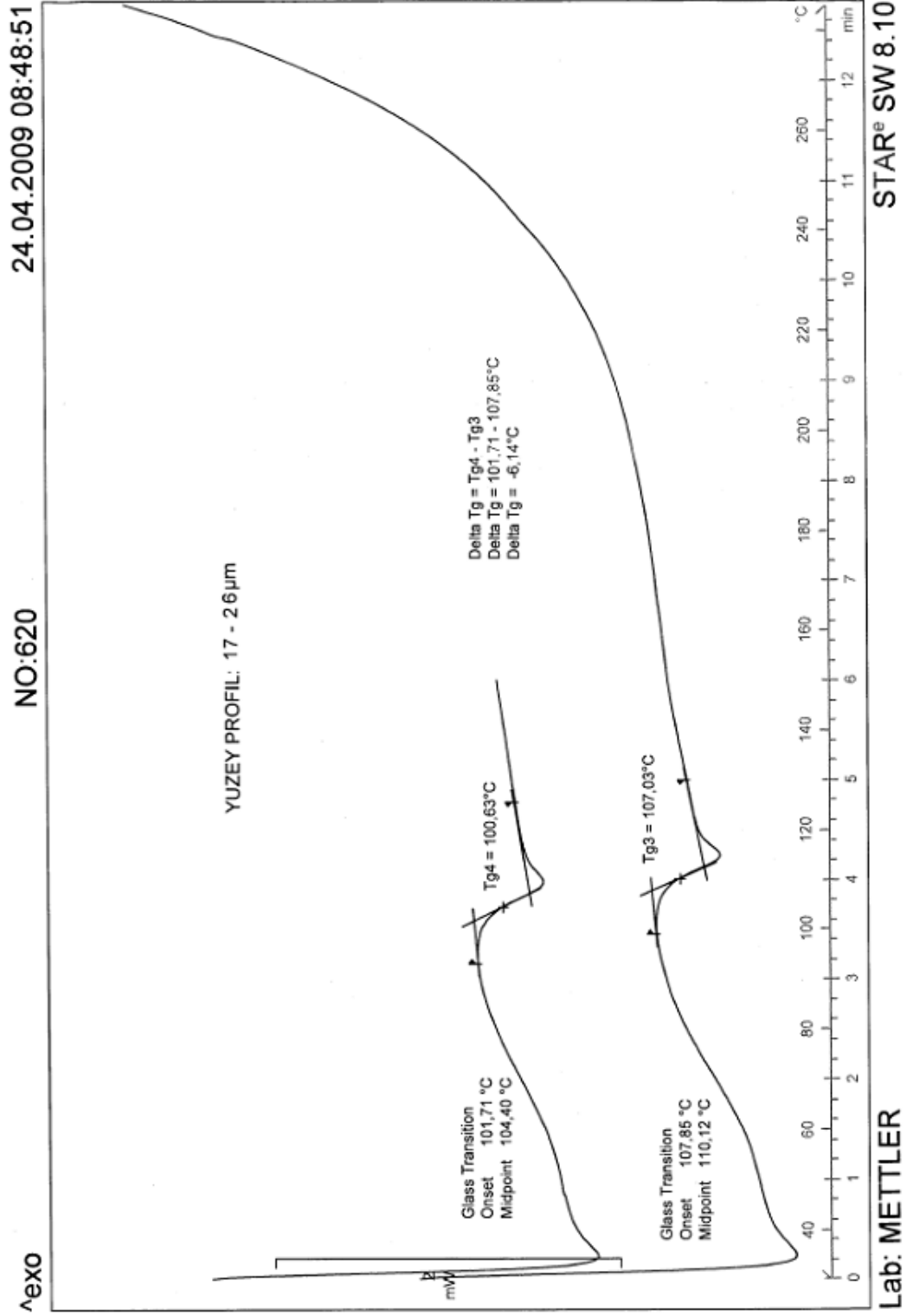
PARAMETRE Parameter	BORU NO Pipe No		
	8 (105 - 112)		
1- Başlangıç Delik Çapı (mm) Initial hole diameter	3.0 mm		
2- Kaplama Kalınlığı (µm) Coating Thickness	614,7 µm		
3- Holiday Test (kV) Holiday Test (kV)	OK		
4- Uygulanan Potansiyel (V) Applied Voltage (V)	-3500mv		
5- Test Sıcaklığı (°C) Test Temperature (°C)	65 °C		
6- Test Süresi (saat) Test Period (hours)	48 HOURS		
7- Test Başlangıcı (tarih / saat) Start of test (day / time)	16.04.2009 11:00 AM		
8- Test Bitişi (tarih / saat) Finish of test (day / time)	18.04.2009 11:00 AM		
SOYULAN ALAN UZUNLUĞU (mm) Disbonded Radial Value (mm)		Cell 1	Cell 2
	A	2,81	
	B	2,05	
	C	2,31	
	D	2,22	
	E	2,93	
	F	2,95	
	G	2,13	
	H	2,29	
Ortalama Soyulan Radyüs (mm.) Average Disbondment Value (mm.) (Cell 1 and Cell 2)	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm	ORT. (avg) mm

Not : Radyüs başlangıç deliğinin kenarından itibaren ölçülür.		TARİH Date	TESTİ YAPAN Operator	KONTROL EDEN Approved by
Note : This disbonded radial shall be measured from the circumference of the original hole.		18.04.2009	A.DİZDAR	İ. AŞKAR

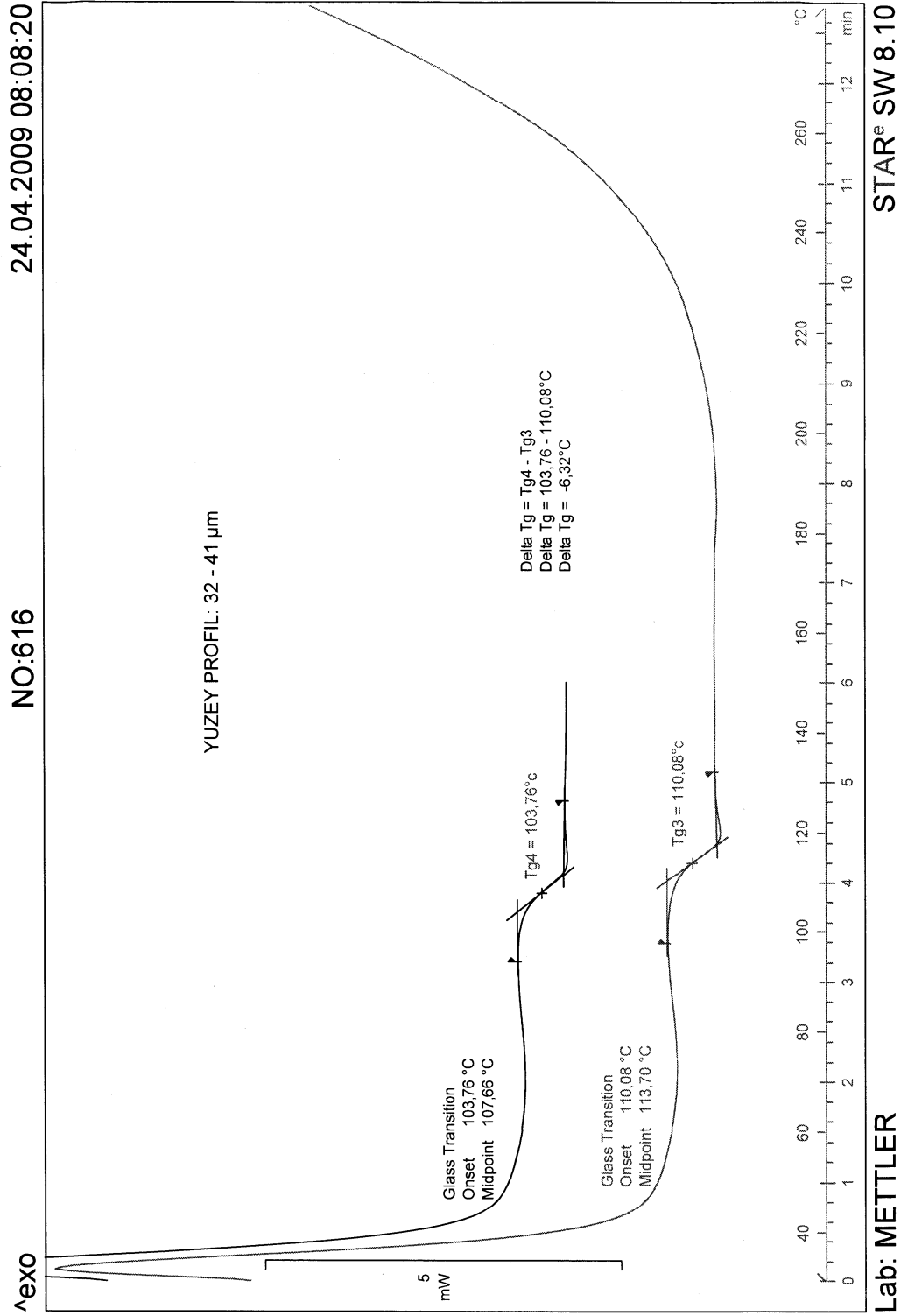
Şekil D.1: DSC test raporu (4-14 μ m)



Şekil D.2: DSC test raporu (7-12µm)



Şekil D.3: DSC test raporu (17-26 μm)

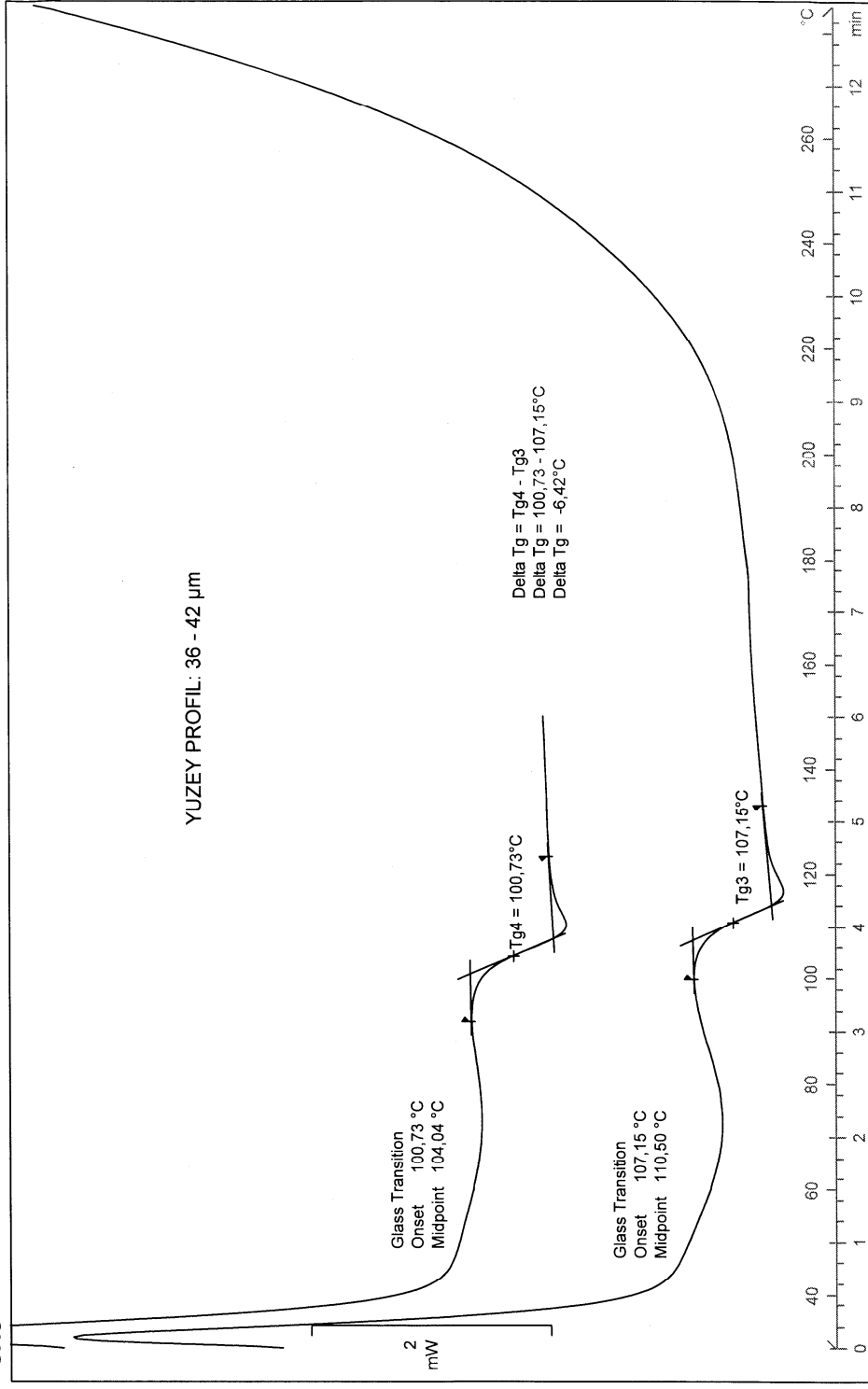


Şekil D.4: DSC test raporu (32-41 μm)

20.04.2009 14:55:45

NO:615

^exo



STAR^e SW 8.10

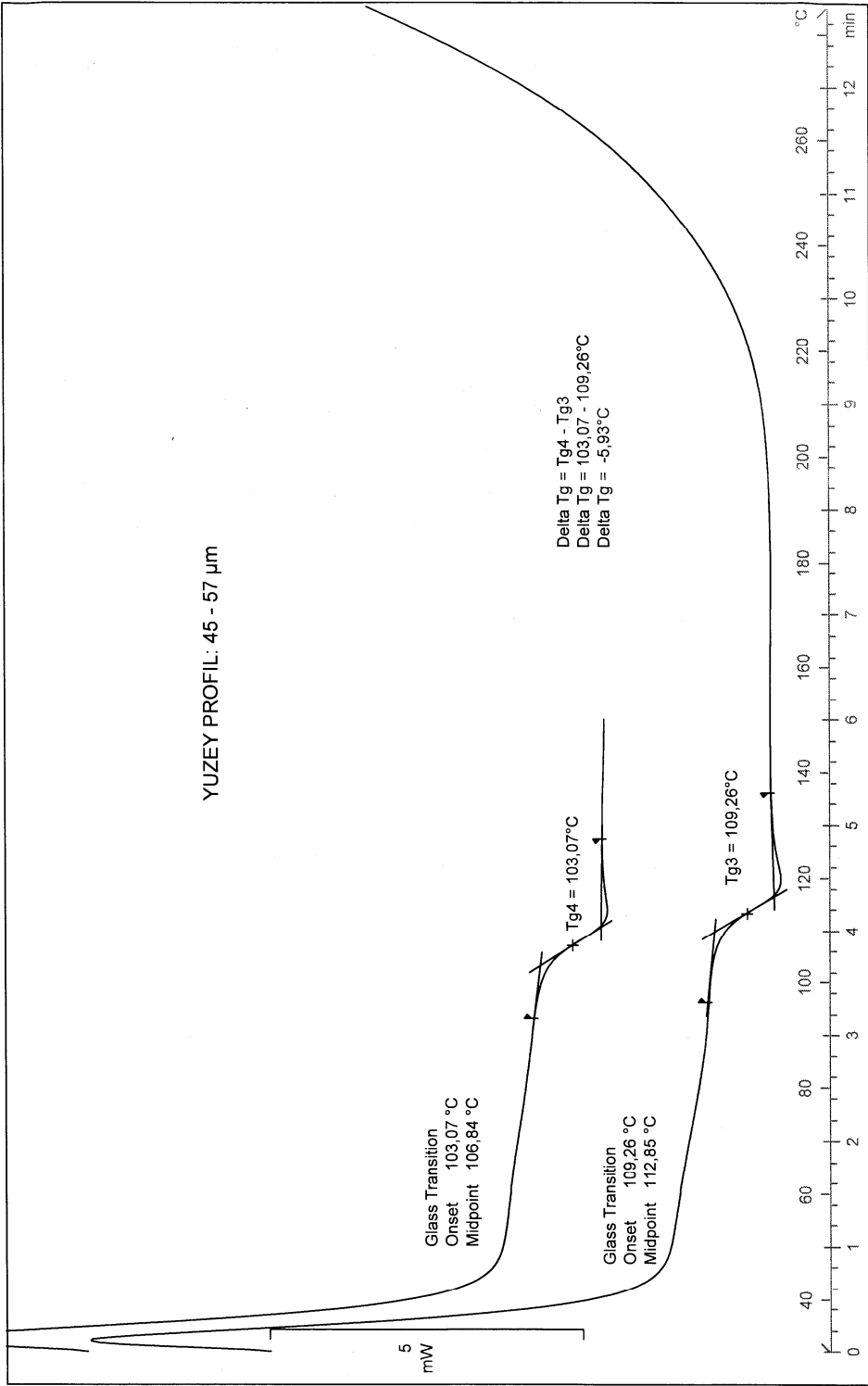
Lab: METTLER

Şekil D.5: DSC test raporu (36-42 μm)

24.04.2009 08:16:35

NO:618

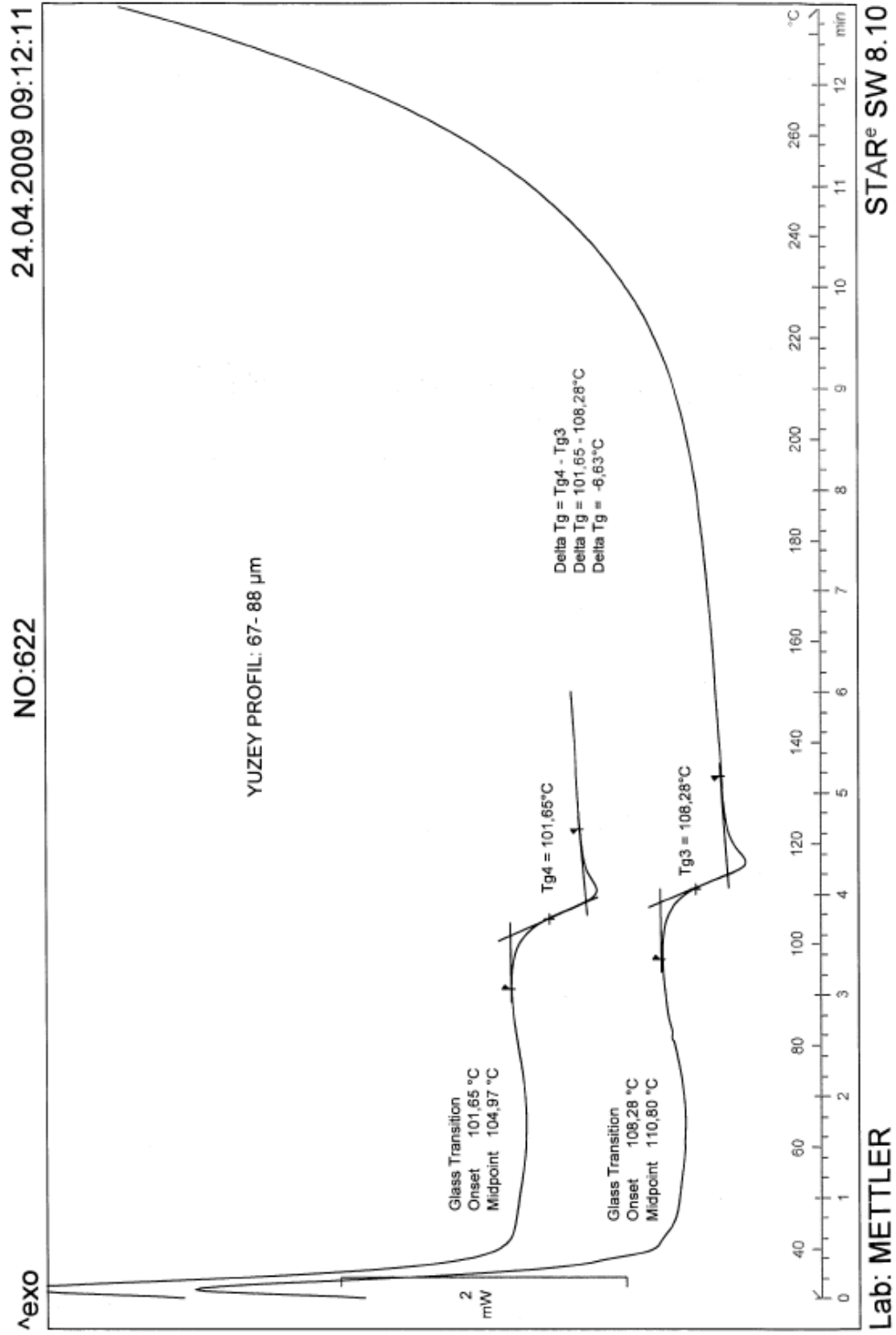
^exo



STAR^e SW 8.10

Lab: METTLER

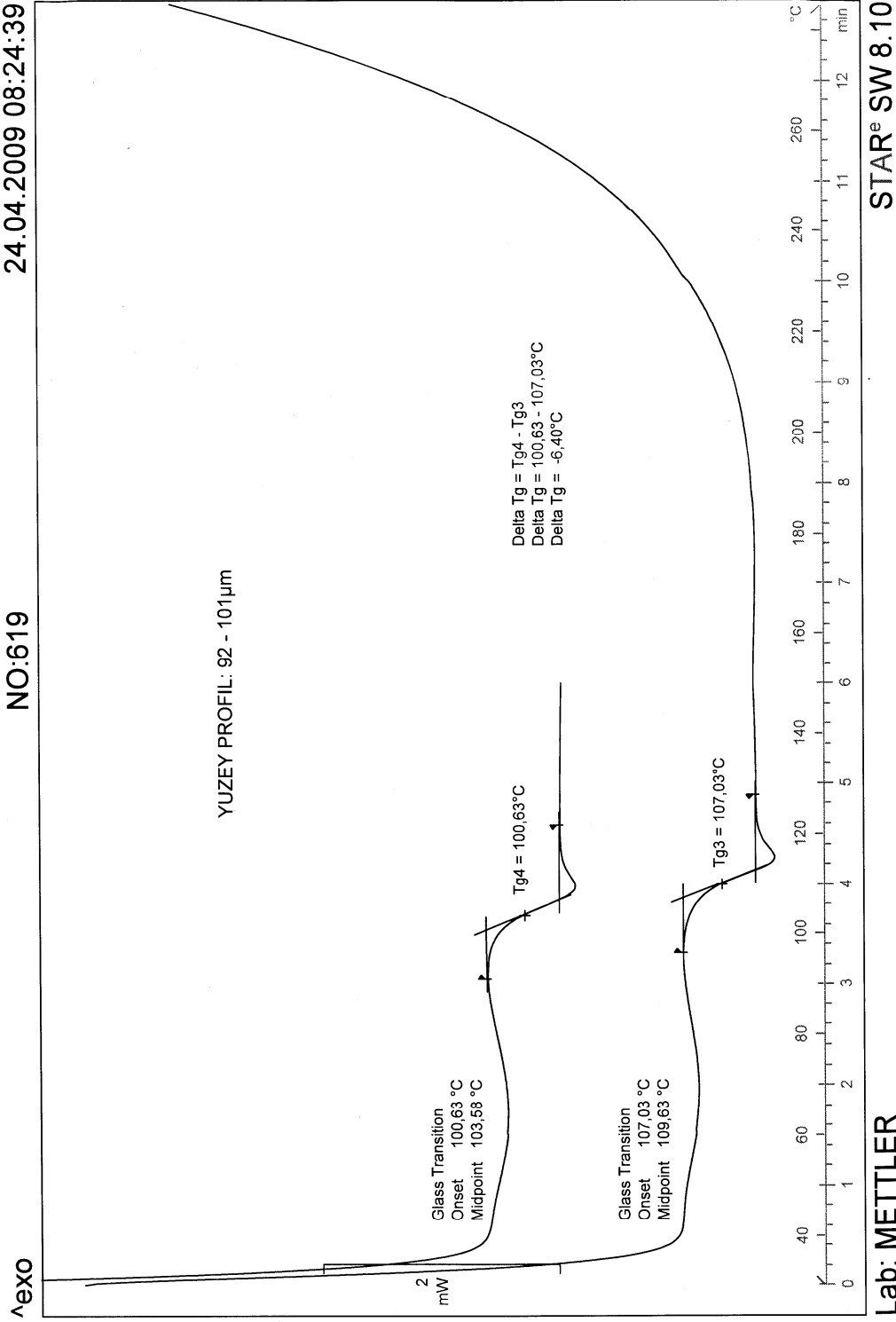
Şekil D.6: DSC test raporu (45-57 μm)



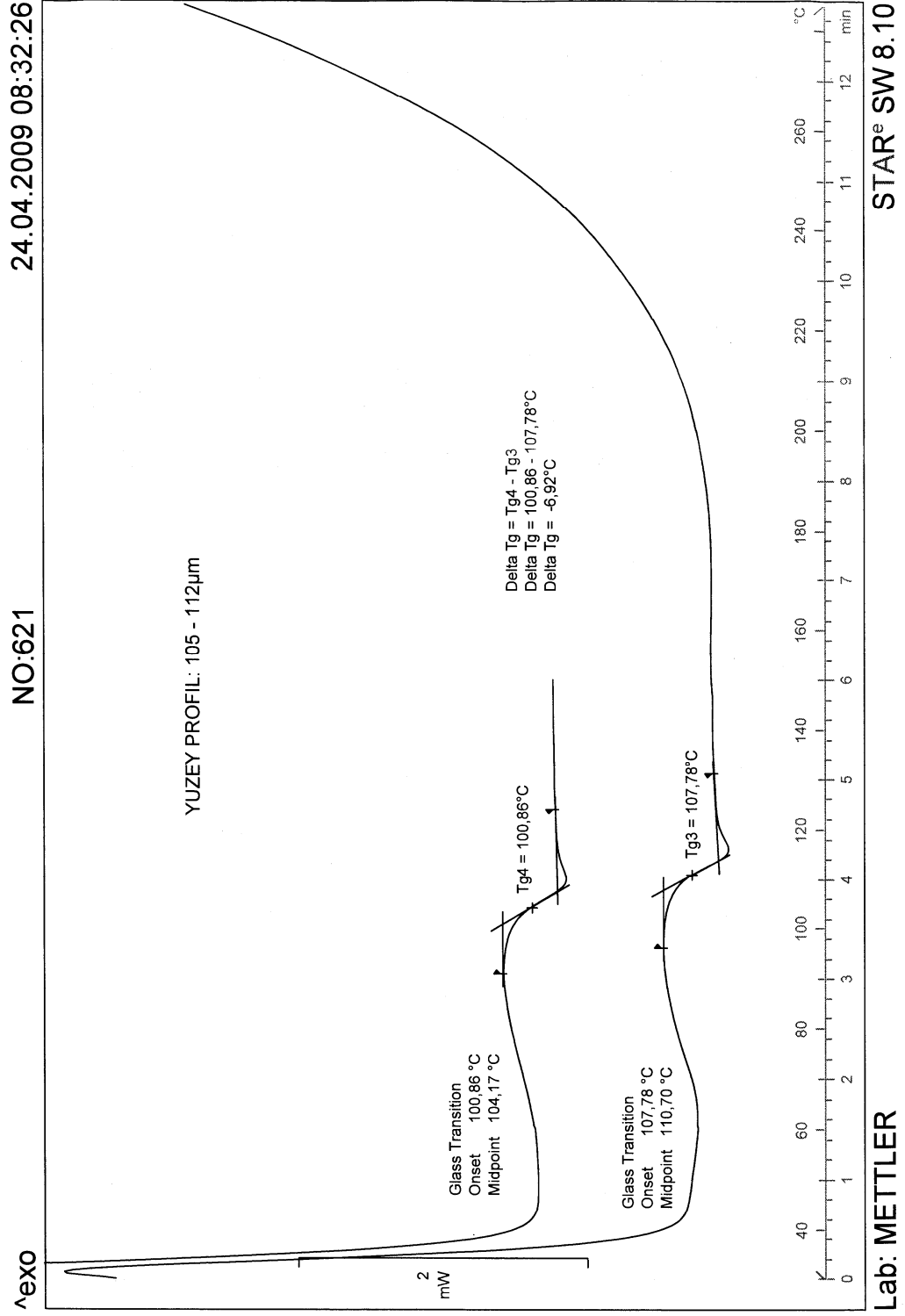
Şekil D.7: DSC test raporu (67-88µm)

24.04.2009 08:24:39

NO:619



Şekil D.8: DSC test raporu (92-101 μ m)



Şekil D.9: DSC test raporu (105-112 μ m)

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: İbrahim AŞKAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Zonguldak 11.03.1982

Adres: Vezirçiftlik Mah. Muallim Sk. No:21/A Kullar /İzmit

Lisans Üniversitesi: İ.T.Ü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

