



Makale / Research Paper

Spiral Kaynaklı Çelik Boruların Korozyonuna Karşı FBE Kaplamaların Test ve Karakterizasyonu

Ekrem ALTUNCU^{1,2*}, Gökhan ÇİL³, Mahmut GEL³

¹Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya/TÜRKİYE

²Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Malz.ve Üretim Tek.Ar. Uyg. Merkezi (SUMAR), Sakarya/TÜRKİYE

³Erciyas Çelik Boru, Tasarım Merkezi, Düzce/TÜRKİYE

¹altuncu@subu.edu.tr

Received/Geliş:17.02.2020

Accepted/Kabul: 02.04.2020

Özet: Doğalgaz boru hatlarında koruyucu kaplamalara olan gereksinim ve daha uzun ömür talebi sürekli artmaktadır. Kaplama-altlık arayüzey arası kirlilikler, uygun olmayan yüzey hazırlama koşulları ve bunun yanında optimize edilmemiş kaplama proses parametreleri zorlu çalışma şartlarında kaplamanın kullanım ömrünü sınırlamaktadır. Bu makale çalışmasında farklı ortam koşullarında, toprak üstünde çalışan spiral kaynaklı çelik (X70M PSL2) doğalgaz borularının katodik korozyona karşı korunması amacıyla elektrostatik sprey tabancası ile uygulanan ergiterek bağlanan epoksi esaslı (FBE, fusion bonded epoxy) kaplamaların test sonuçları ve karakterizasyonu sunulmaktadır. Tek katmanlı FBE kaplamaların performansına etki eden birçok faktör arasında kaplama öncesi çelik ön yüzey hazırlıkları; kaplamanın performansını önemli ölçüde etkilemektedir. Yapılan deneysel çalışmalar, ilgili uluslararası test standartları ve şartnameler (CSA-Z245.20 seri 14) kapsamında kontrol edilmiş, kimyasal karakterizasyon yöntemleri (FTIR, SEM) ile analiz edilmiştir. Değerlendirme sonucunda FBE kaplamaların başarılı bir şekilde üretilbildiği ve farklı sıcaklık koşullarında katodik soyulma, yapışma testlerinden başarı ile geçtiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çelik boru; korozyon; fbe kaplama; katodik soyulma.

Testing and Characterization of FBE Coatings Against Corrosion of Spiral Welded Steel Pipes

Abstract: The need for protective coatings in natural gas pipelines and the demand for longer life is constantly increasing. Impurities between the coating and the substrate interface, unsuitable surface preparation conditions as well as unoptimized coating process parameters limit the service life of the coating under severe operating conditions. This article presents the test results and characterization of fused bonded epoxy based (FBE, fusion bonded epoxy) coatings applied with electrostatic spray gun to protect spiral welded steel (X70M PSL2) natural gas pipes working against soil under cathodic corrosion under different environmental conditions. Many factors affecting the performance of single-layer FBE coatings include pre-coating steel surface preparation; significantly affect the performance of the coating. Experimental studies were controlled in accordance with relevant international test standards and specifications (CSA-Z245.20 series 14) and analyzed by chemical characterization methods (FTIR, SEM). As a result of the evaluation, it has been observed that FBE coatings can be produced successfully and successfully passed cathodic peeling and adhesion tests under different temperature conditions.

Keywords: Steel Pipe; corrosion; FBE coating; cathodic disbondment.

1. Giriş

Yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çelikler (HSLA) petrol veya doğalgaz taşımacılığında yaygın olarak kullanılmaktadır. API-5L X kalite çelikleri ise petrol endüstrisinde kullanılan en yaygın boru

Bu makaleye atıf yapmak için

Altuncu, E., Çil, G., Gel, M., "Spiral Kaynaklı Çelik Boruların Korozyonuna Karşı FBE Kaplamaların Test Ve Karakterizasyonu" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7 (2); 679-689.

How to cite this article

Altuncu, E., Çil, G., Gel, M., "Testing and Characterization of FBE Coatings Against Corrosion of Spiral Welded Steel Pipes" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7 (2); 679-689.

hattı malzemelerinden biridir. Petrol veya doğalgazın taşınması için inşa edilen boru hatları; yerüstü, yeraltı veya ciddi korozyona uğrayabilecekleri denizaltı şartlarında çalışmaktadır. Bu nedenle boru hatlarının korozyondan korunması için tek ya da çok katmanlı kaplamalar ile kaplanması gerekmektedir [1]. Organik bir kaplama malzemesi olan FBE kaplamalar, çelik yüzeye yapışma özelliklerinin iyi olması ve yüksek kimyasal dirençleri sayesinde korozyon koruması amacı ile boru hattı kaplama malzemesi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. [2,3,4].

FBE kaplamalar; boru hatlarında, çelik borularda ve birçok bağlantı parçası üzerinde tek (300-450 μ m) veya çok katmanlı (1000 μ m) şekilde uygulanan termoset (epoksi) esaslı polimerik kaplamalardır. Geleneksel boyalardan farklı olarak çapraz bağlanma sonucunda nihai özelliklerini kazanmaktadır. Hem iç yüzeylerde hem de parçanın dış yüzeylerinde rahatlıkla kullanılabilir. Kaplama kompozisyonu; reçine, sertleştirici (kürleme kolaylaştırıcı), pigment ve dolgu malzemelerinden oluşmaktadır. Uygulama sıcaklığı FBE kaplamanın performansını etkileyen kritik bir parametredir. 180-250 °C arasında toz karışım hazırlanarak sıvı halde kaplanacak yüzeye uygulanmaktadır. Kaplama öncesinde yüzey iyice temizlenmekte ve çelik yüzeye ön ısıtma uygulaması ardından elektrostatik sprej tabancası ile uygulanmaktadır. Kontrollü bir atmosferde hızla kürlenme sonrası katı forma dönüşen kaplama nihai dayanımını ve kalınlığı kazanmaktadır. Boru hatlarında kullanılan bu tür kaplamalardan: çalışma ortamlarında fiziksel ve kimyasal kararlılık, dış mekanik etkilere karşı direnç (gerilme, bükme, yapışma ve darbe), katodik korozyon şartlarına direnç göstermesi beklenmektedir [5-12]. Farklı kaplama uygulamalarına karşın (termal sprej, çinko daldırma gibi) polimerik esaslı kaplamalar ve bunun yanında diğer korozyondan korunma yöntemlerine göre (inhibitör kullanımı, boyalar, anodik koruma vb.) daha ekonomik koşullarda çelik boruların korozyondan korunmasında tercih edilmektedir [13, 14]. Bu çalışma, spiral toz altı ark kaynak yöntemiyle (HSAW) üretilen API 5L X70M PSL2 kalite çelik boru [15] üzerine uygulanan FBE kaplamaların test ve karakterizasyonu detaylı bir şekilde sunulmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Tablo 1’de kimyasal bileşimleri verilen API 5L standart gerekliliklerine uygun, petrol ve gaz borusu imalatında kullanılan, düşük alaşımlı, ince taneli, yüksek mukavemetli 14 mm et kalınlığında X70M PSL2 malzemedan imal edilmiş 12m uzunluğunda, Ø813 mm çapında spiral kaynaklı çelik boru elektrostatik sprej tabancası ile uygulanan ergiterek bağlanan epoksi esaslı kaplama (FBE, fusion bonded epoxy) ile tek katman olarak sistem CSA-Z245.20 seri 14 standardı 1A gerekliliklerine göre kaplanmıştır.

Tablo 1. Çelik borunun kimyasal özellikleri

Malzeme	Kimyasal Kompozisyon, %					
	C	Si	Mn	P	S	Cr
X70M	0,0396	0,0429	1,551	0,0038	0,00091	0,253
PSL2	Mo	Ni	Cu	B	Nb+V+Ti	CEpcm
	0,0807	0,0016	0,0143	0,00021	0,0966	0,140

Kaplama malzemesi olarak toz epoksi (Nap Gard 7-2514 EN) kullanılmıştır. Toz epoksiye ait teknik özellikler Tablo 2’de verilmiştir. Çelik yüzeyin hazırlanması, kaplama uygulaması ve performans testleri Erciyas Çelik Boru A.Ş. üretim tesisinde gerçekleştirilmiş olup, yüzey karakterizasyonu Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Toz epoksi teknik özellikleri

Renk	Kırmızı	
Yoğunluk, g/L	1440±50	
Partikül Boyutu	Max. %3,0>150µm, Max. %0,2>250µm	
Jel süresi, saniye	204°C'de 16±3	232°C'de 10±3
Nem İçeriği, %	0,34	

3.2. Metot

Kaplanacak boru yüzeyinin FBE kaplamaya uygun hale getirebilmek için ortam şartları, kumlama kullanılacak kum kalitesi kontrol edilmiş ardından kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kumlama işleminden hemen sonra asit karışımı uygulanmış ardından saf su ile durulanıp basınçlı hava ile yüzey kurutulmuştur. Yüzey kalitesinin uygunluğunu belirlemek için yüzey profili (Rz), yüzey temizliği, toz kirlilik seviyesi, tuz kirlilik seviyesi ölçülmüştür. Kaplama öncesinde boru yüzeyi 235°C ye kadar indüksiyon bobini ile ısıtılmıştır. Isıtılan boru yüzeyine toz epoksi elektrostatik sprey tabancalar ile tek katman şekilde uygulanmıştır. Toz epoxy kaplama işleminden hemen sonra jel süresi dikkate alınarak boru yüzeyi su ile soğutulmuştur. Uygulama sonrasında kaplama performansının belirlenmesi için ara yüzey ve arka yüzey gözeneklilik tayini, ara yüzey kirlilik tayini, katodik soyulma, yapışma ve kaplama gözeneklilik testleri gerçekleştirilmiştir. Kaplamanın kimyasal karakterizasyonunu tespit edebilmek için kaplama yüzeyi DSC, FTIR ve SEM yöntemleri ile analiz edilmiştir.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Yüzey Hazırlama Test ve Kontrol Sonuçları

Kumlama öncesi ortam şartları, kum, asit ve saf suyun kontrolleri yapılarak ölçümler kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan ölçümler Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Kumlama öncesi kontroller

Bağıl Nem, %	72,8	ΔT Sıcaklığı (T1-T2)°C	38,9
Ortam Sıcaklığı °C	10,2	Saf Su İletkenliği µS/cm	0,79
Yüzey Sıcaklığı (T1)°C	44,5	Kum İletkenliği µS/cm	8,8
Çiğlenme Noktası (T2)	5,6	Asit Karışım Oranı %	5,8

Yüzey hazırlığı öncesi ve sonrası yapılan kontrollerin CSA-Z245.20 seri 14 [6] standart gerekliliklerini sağladığı görülmüştür. Test sonuçları incelendiğinde; yüzey pürüzlülük seviyesinin 80µm-90µm aralığında olduğu görülmüştür. Çelik üzerine toz epoxy uygulaması yapılan bir çalışmada [7], 60µm-90µm arasındaki yüzey pürüzlülük değerinin katodik soyulma testi için en uygun aralık olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında, ISO 8501-1[8] standardına göre uygun karşılaştırma kataloğu ile görsel olarak incelenmiş ve kumlanmış yüzey kalitesinin Sa 3 seviyesinde olduğu görülmüştür. Bu temizlik derecesi ilgili standartta ifade edilen beyaz metal yüzeyinin elde edildiği en üstün temizlik derecesidir. Kumlanmış yüzeyin toz seviyesinin ölçümü ISO 8502-3 [9] standart gerekliliklerine göre gerçekleştirilmiş, alınan ölçümlerde en düşük ve istenilen seviye-1 derecesinde olduğu görülmüştür. Kumlanmış yüzey üzerinden alınan tuz ölçümlerinde ise, tuz

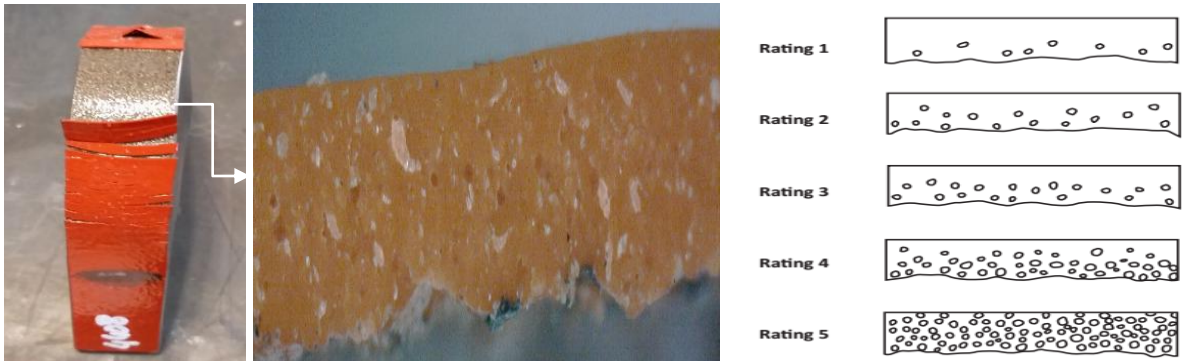
seviyesinin $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ olduğu görülmüş ve çok düşük değere sahip olduğu için kaplama performansına etki etmeyeceği düşünülmüştür.



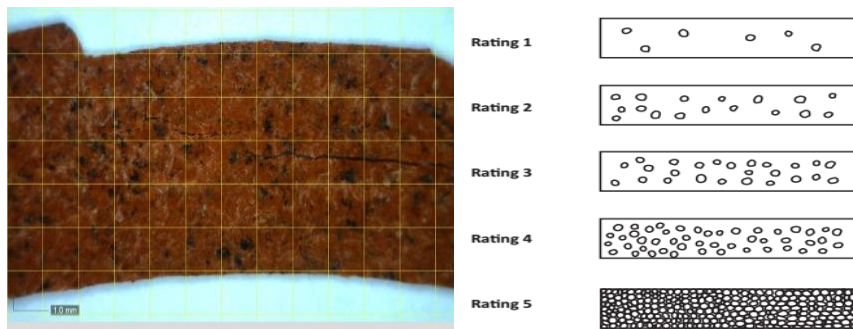
Şekil 1. Yüzey hazırlama sonrası ölçümler (a)Yüzey pürüzlüğü, b)Yüzey kalitesi, c)Toz testi, d)Tuz testi)

4.2. Kaplama Fiziksel ve Mekanik Test Sonuçları

Ara yüzey kirliliği ve gözeneklilik tayini gerçekleştirmek için toz epoksi kaplanmış borudan çıkartılan deney numunesi ortasından kesilip, -30°C de alkol içerisinde 1 saat bekletilmiştir. Soğutucudan çıkartılan numune bükme cihazına alınarak Şekil 2’de görüldüğü gibi deney numuneleri çıkartılmıştır. Çıkartılan numune 40X büyütme altında mikroskopta incelenerek CSA-Z245.20 seri 14 standardında verilen tablo ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre ara yüzey gözeneklilik seviye-1 olduğu görülmüştür. Şekil 3 de kesit gözeneklilik oranı ise seviye-2 olduğu tespit edilmiştir.

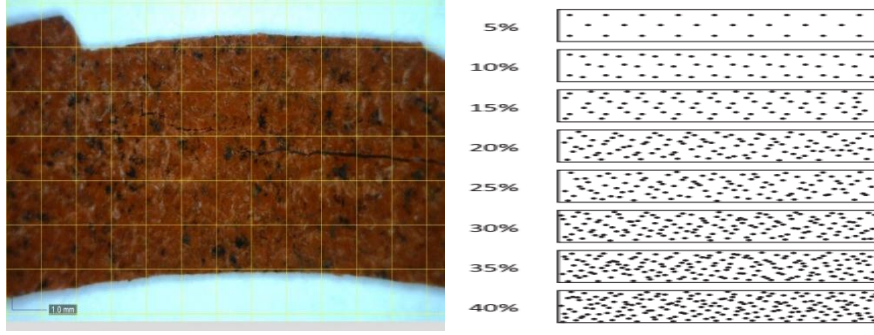


Şekil 2. Gözeneklilik tayini için arayüzey numune görüntüsü



Şekil 3. Kesit gözeneklilik

Ara yüzey kirliliği tayini sonucunda CSA-Z245.20 seri 14 standardında verilen tablo ile karşılaştırıldığında Şekil 4’de görüldüğü gibi kirlilik %15 seviyesinde olduğu görülmüştür.



Şekil 4. Ara yüzey kirliliği

Toz epoksinin metal yüzeyinde soğuk ve stres altında göstereceği yapışma mukavemetini belirlemek için, boru yüzeyinden 25x200 mm ebatlarında çıkartılan numuneler 1,5° ve 2,5° altında bükülerek yüzeyde herhangi bir çatlak oluşup oluşmadığı incelenmiştir. Bükme test parametreleri ve sonuçları Tablo 4’te verilmiştir. Test sonucunda numuneler incelenmiş ve herhangi bir çatlak oluşumuna rastlanmamıştır.

Tablo 4. Bükme test parametreleri ve sonuçları

Numune No	Ort. Kuru Film Kalınlığı	Sıcaklık	Mandrel Derecesi	Sonuç
1	409 μm			Çatlak oluşmadı
2	416 μm	- 30 °C	1.5°	Çatlak oluşmadı
3	440 μm			Çatlak oluşmadı
1	439 μm			Çatlak oluşmadı
2	426 μm	- 30 °C	2.5°	Çatlak oluşmadı
3	436 μm			Çatlak oluşmadı



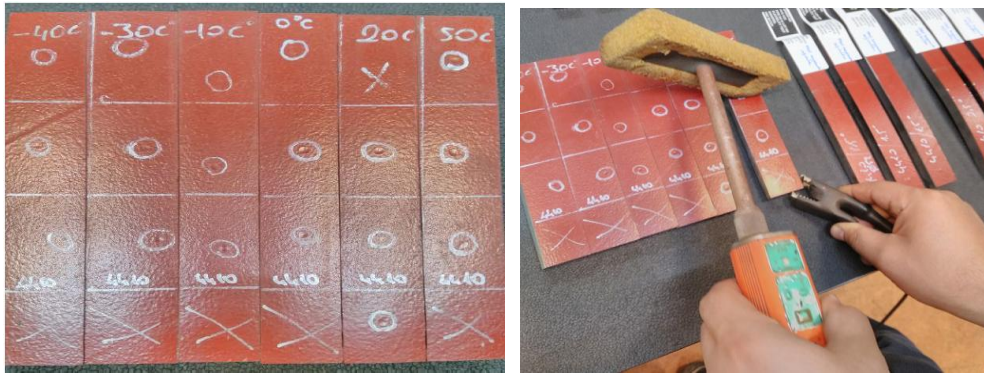
Şekil 5. Bükme test numuneleri

Toz epoksinin metal yüzeyindeki darbe dayanım direncinin tayini için Tablo 5’de verildiği gibi boru üzerinden 25x200 mm ebatlarında çıkartılan test numuneleri farklı sıcaklık altında 1 kg’lık yük 15 cm den bırakılarak test edilmiştir. Test numunelerinin üzerine ağırlık düşürüldükten sonra numuneler oda sıcaklığına gelene kadar bekletilmiştir. Şekil 6’da gösterildiği gibi oda sıcaklığına gelen test numuneleri 67,5V ile ıslak sünger testine tabi tutulmuştur. Test numuneleri

incelendiğinde tüm numunelerin uygun olduğu, darbe sonrası çelik yüzeye ulaşarak kıvılcım oluşumuna sebep verecek herhangi bir süreksizliğin olmadığı görülmüştür.

Tablo 5. Darbe test parametreleri ve sonuçları

Numune No	Ort. Kuru Film Kalınlığı	Sıcaklık	Sonuç
1	415 μm	-40°C	Süreksizlik yok
2			Süreksizlik yok
3			Süreksizlik yok
1	417 μm	-30°C	Süreksizlik yok
2			Süreksizlik yok
3			Süreksizlik yok
1	451 μm	-10°C	Süreksizlik yok
2			Süreksizlik yok
3			Süreksizlik yok
1	437 μm	0°C	Süreksizlik yok
2			Süreksizlik yok
3			Süreksizlik yok
1	429 μm	20°C	Süreksizlik yok
2			Süreksizlik yok
3			Süreksizlik yok
1	435 μm	50°C	Süreksizlik yok
2			Süreksizlik yok
3			Süreksizlik yok



Şekil 6. Darbe test numuneleri

4.3. Kaplamaların Katodik Soyulma ve Yapışma Test Sonuçları

Toz epoksi kaplamalarının katodik soyulma test sonuçlarının belirlenmesi için, borunun toz epoksi kaplaması sonrasında 100x100 mm ebatlarında test plakaları çıkartılmıştır. Katodik soyulma testlerine ait parametreler ve test sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Katodik test sonuçları incelendiğinde (Şekil 7) süre ve soyulma sonuçlarının kendi aralarında, sıcaklık ve soyulma sonuçlarının da kendi aralarında doğru orantılı olduğu görülmüştür. En yüksek soyulma değeri 80°C altında 28 gün süren numunelerde olduğu görülmüştür. Elde edilen katodik soyulma test sonuçlarının ilgili standart [6] ve şartnamede [10] yer alan tolerans değerlerin içerisinde olduğu görülmüştür (Tablo 6).



Şekil 7. Katodik test numuneleri

Toz epoksinin metal yüzeyindeki yapışma mukavemetinin tayini için boru üzerinden 100x100 mm ebatlarında çıkartılan numuneler Tablo 7’de verildiği gibi farklı sıcaklıklar altında, farklı sürelerde bekletildikten bir saat sonra kaplama yüzeyinde bir bıçak yardımı ile 30x15 mm ebatlarında açılan dikdörtgen köşeleri incelenmiştir. Yapışma test sonuçları ilgili standart kapsamında değerlendirilmiş ve uygun aralıkta olduğu görülmüştür. (Şekil 8).

Tablo 6. Katodik soyulma test parametreleri ve sonuçları

Panel	Ort. Kuru Film Kalınlık μm	Süre	Test Öncesi pH	Test Sonrası pH	Sıcaklık	Voltaj	Ortalama Soyulma	
							Panel (mm)	Panellerin Ort. (mm)
1	458	24 saat	8,2	8,4	65°C	-3,5 V	1,55	1,82
2	484						1,95	
3	429						1,96	
1	452	48 Saat	8,1	8,4	65°C	-1,5 V	2,01	1,94
2	446						1,72	
3	485						2,09	
1	432	14 gün	8,7	8,5	65°C	-1,5 V	7,66	7,71
2	433						9,34	
3	476						6,13	
1	457	28 gün	8,8	8,2	20°C	-1,5 V	5,21	3,86
2	485						2,83	
3	562						3,54	
1	458	28 gün	8,7	8,4	50°C	-1,5 V	5,91	6,71
2	519						6,53	
3	428						7,68	
1	461	28 gün	8,7	8,2	65°C	-1,5 V	20,13	11,30
2	420						18,53	
3	421						12,18	
1	494	28 gün	8,9	8,4	80°C	-1,5 V	15,98	15,39
2	501						15,02	
3	541						15,22	

Tablo 7. Yapışma test parametreleri ve sonuçları

Panel	Ort. Kuru Film Kalınlığı	Sıcaklık	Süre	Yapışma Seviyesi
				Panel
1	416 μm	75°C	24 saat	1 - 1
2	421 μm			1 - 1
3	409 μm			1 - 1
1	470 μm	75°C	48 saat	1 - 1
2	512 μm			1 - 1
3	458 μm			1 - 1
1	476 μm	95°C	24 saat	1 - 1
2	463 μm			1 - 1
3	436 μm			1 - 1
1	487 μm	75°C	28 gün	1 - 1
2	477 μm			1 - 1
3	492 μm			1 - 1
1	586 μm	95°C	28 gün	1 - 1
2	613 μm			1 - 1
3	621 μm			1 - 1



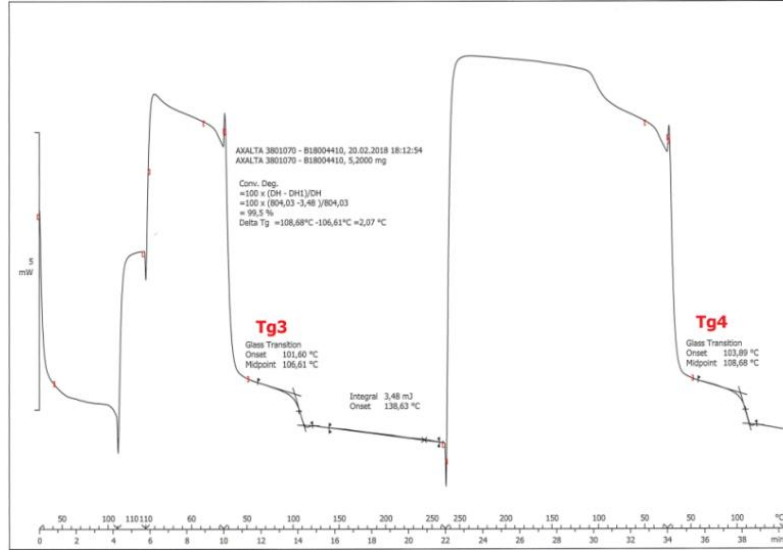
Şekil 8. Yapışma test numuneleri

4.4. Kaplamaların Karakterizasyonu

Kaplamadan elde edilen numuneler üzerinde DSC analizi (Şekil 9), Üst yüzey elektron mikroskobu incelemeleri, EDX element analizi ve FTIR analizi ile kimyasal bağ yapısı yanında temas açısı ölçümü ile yüzey ıslatma kabiliyeti ile FBE kaplamanın yüzey özellikleri incelenmiştir. Termal analiz yöntemi ile yapılan ölçümlerde cam geçiş sıcaklıkları Tg3 ve Tg4 sırasıyla ortalama 106 ve 108 °C tespit edilmiştir. Kaplamalı numunelerin uygun sıcaklıkta kaplandığı ve FBE kaplamanın tam kür seviyesine ulaştığı saptanmıştır.

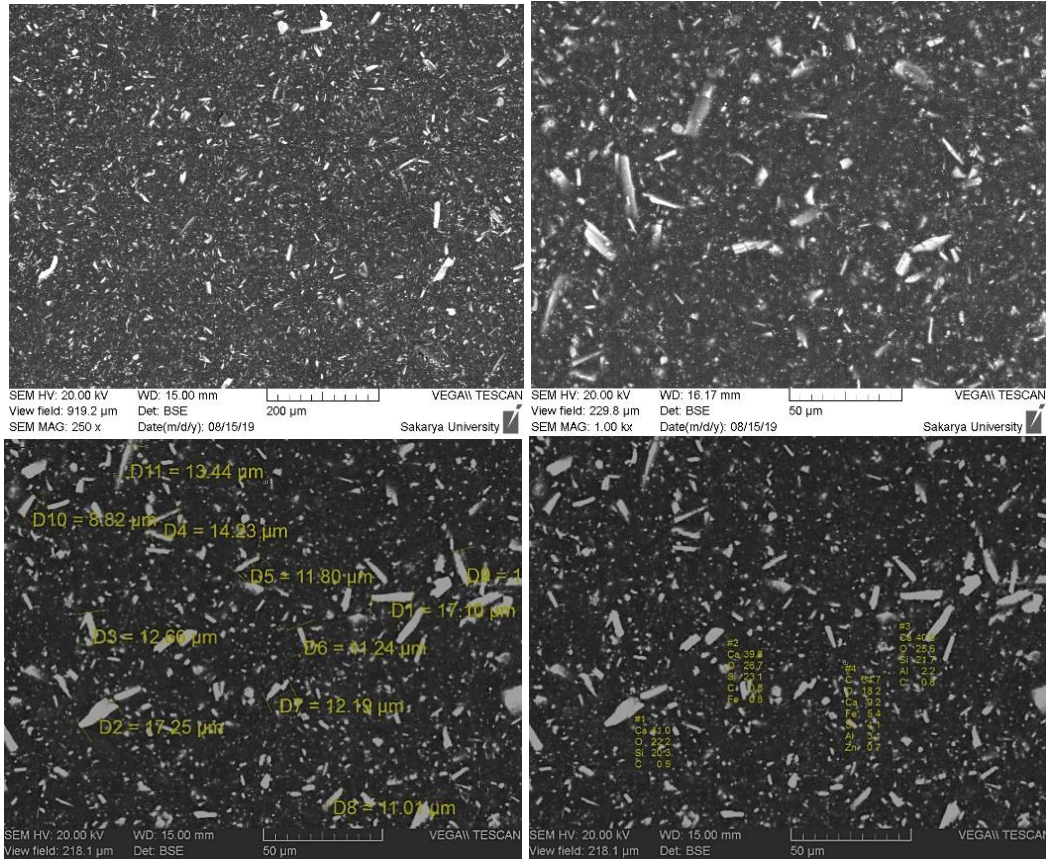
Kaplama tabakasının üst yüzeyinde elektron mikroskobu (SEM-EDX) ile yapılan incelemelerde farklı büyütme ölçeklerinde görüntüler aşağıda Şekil 10'da sergilenmektedir. Karışım kompozisyonunda mevcut dolgu maddeleri açık renkte ana matrisi oluşturan reçine ise koyu renktedir. İnce uzun iğnesel formlarda gelişigüzel homojen bir şekilde dağılmış olan dolgu malzemeleri açıkça görülebilmektedir. Karışım sonrası yüzeyde dolgu malzemelerinin boyutları 10-14 μm arasındadır.

EDX analizinde açık renkli görünen dolgu malzemeleri üzerinde Ca, Si, Al, O ve C elementleri gözlenmektedir. Dolgu bileşenlerinin kalsit, alümina ve silika esaslı olduğu ön görülmektedir.

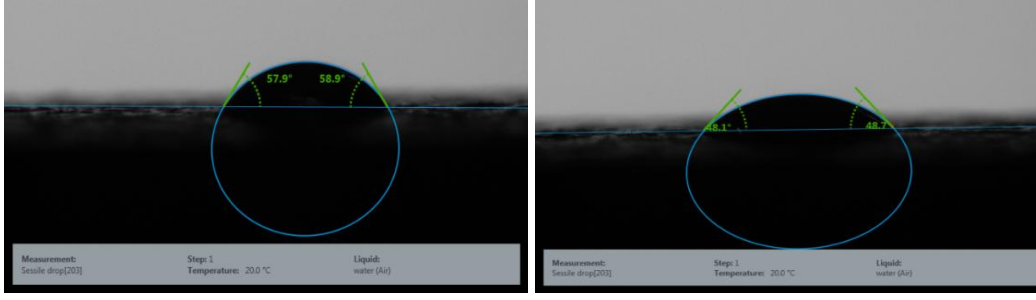


Şekil 9. DSC Analiz Grafiği

Şekil 11’de kaplamanın yüzey ıslatma açısı ölçülmüş olup, damlacık formları aşağıda sergilenmektedir. Çelik yüzeyin hazırlığına ve kurlenme sonrası elde edilen yüzey morfolojisine bağlı olarak ıslatma açısı yüzeyin farklı bölgelerinden alınan ölçüm sonuçlarında 45-60° arasında değiştiği tespit edilmiştir.

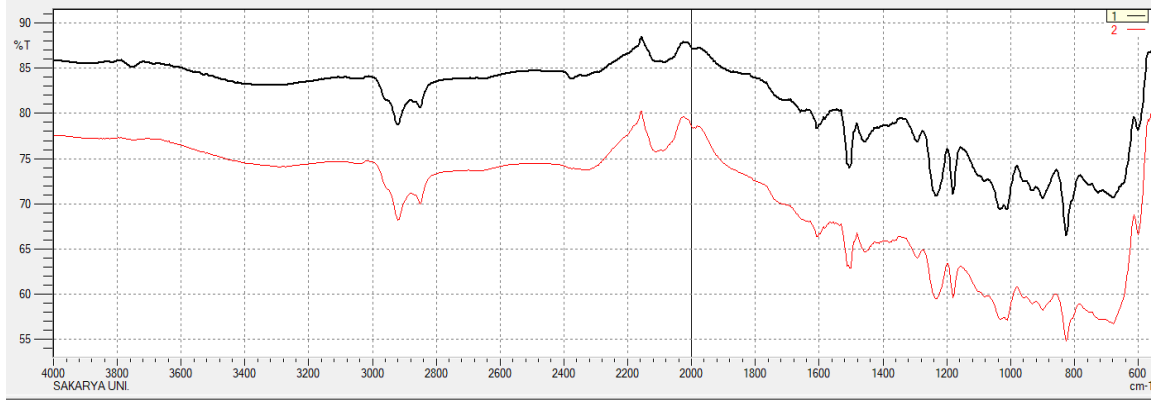


Şekil 10. Kaplamaların üst yüzey SEM incelemeleri ve EDX analizi



Şekil 11. Islatma açısı ölçüm sonuçları

Şekil 12’de kaplamanın üst yüzeyinden farklı bölgelerden alınan FTIR analiz grafiği sunulmaktadır. Her iki grafiğin benzer karakteristiği kaplamanın homojen bir şekilde kürlendiğini göstermektedir. 2800-3100cm⁻¹ arasında C-H bağları, 3200-3600 cm⁻¹ arasında O-H bağları, 1400-1600cm⁻¹ arasında C-C veya C=C bağları, 1080-1000 cm⁻¹ arasında Si-O, C-O-C bağları gözlenmektedir.



Şekil 12. FTIR analizi sonuçları

5. Genel Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma sonucunda FBE esaslı kaplamaların çelik boru yüzeylerine teknik ve ekonomik açıdan başarılı bir şekilde uygulanabildiği gözlenmektedir. Kaplamanın arzulanan homojen kalınlıkta ve kararlı bir yapıya sahip şekilde kürlendiği belirlenmiştir. Uluslararası standart ve testler kapsamında yapılan incelemelerde kaplamaların arzulanan fiziksel ve mekanik özellikleri %100 sağladığı, bunun yanında karakterizasyon çalışmaları kapsamında ise kaplama öncesi işlemler ile kaplama sonrası işlemlerin kaplama kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Katodik soyulma test sonuçları tek katmanlı kaplamanın performans kriterlerini yerine getirdiğini işaret etmektedir. DSC analizi sonucu ile birlikte kaplamanın tam kür seviyesine ulaştığı görülmüştür. Buna desteklemek amacıyla FTIR analizlerinde kaplama tabakasının kürlene sonrasında C-C ve C=C bağ oluşumları açıkça görülmektedir. Kaplama yüzey özellikleri incelendiğine yapılan ıslatma açısı ölçümlerinde temas açısının 90°'nin altında olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak kaplama kalınlığına bağlı olarak performans ölçümlerinde en önemli gösterge sıcaklık artışına bağlı yeterli katodik soyulma direncine sahip olduğu ispatlanmıştır.

Teşekkür

10-12 Ekim 2019 tarihinde Gaziantep Üniversitesi'nde düzenlenen konferansta sunulan çalışmamızın seçiminde TICMET19'un organizasyon komitesine teşekkür ederiz. Bunun yanında Çalışmamız kapsamında desteklerinden dolayı Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Malzeme ve Üretim Teknolojileri Aştırma Uygulama Merkezi (SUMAR)'a teşekkürlerimizi sunarız.

Kaynaklar

- [1]. Saliba, P.A., Mansur, A.A., Santos, D.B., Mansur, S., Fusion-Bonded Epoxy Composite Coatings on Chemically Functionalized API Steel Surfaces for Potential Deep-Water Petroleum Exploration, Saliba et al. Appl Adhes Sci, 2015, 3-22.
- [2]. Latino, M., Varela, F., Tan, Y., Forsyth, M., The Effect of Ageing on Cathodic Protection Shielding by Fusion Bonded Epoxy Coatings, Progress in Organic Coatings, 2019, 134, 58-65.
- [3]. Mobin, M., Malik, A.U., Andijani, I.N., Al-Muaili, F., Al-Hajri, M., Ozair, G., Mohammad N.M.K., Performance Evaluation of Some Fusion-Bonded Epoxy Coatings under Water Transmission Line Conditions, Progress in Organic Coatings, 2008, 62, 369-375.
- [4]. Ramezanzadeh, B., Rostami, M., The Effect of Cerium-Based Conversion Treatment on the Cathodic Delamination and Corrosion Protection Performance of Carbon Steel-Fusion-Bonded Epoxy Coating Systems, Applied Surface Science, 2017, 392, 1004-1016.
- [5]. Jadoon, A.N.K., Thompson, I., Fusion bonded epoxy mainline and field joint coatings performance from the X100 field trial e A case study, International Journal of Pressure Vessels and Piping, 2012, 92, 48-55.
- [6]. Canadian Standards Association (CSA) Z245.20-14, Plant-Applied External Fusion Bond Epoxy Coating for Steel Pipe, 2014.
- [7]. Aşkar, İ., Petrol Ve Doğalgaz Borularının Tek Kat FBE Kaplanması Yüzey Profili Derinliklerinin Katodik Soyulma Performansına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2009.
- [8]. ISO 8501-1, Preparation Of Steel Substrates Before Application Of Paints And Related Products - Visual Assessment Of Surface Cleanliness - Part 1: Rust Grades And Preparation Grades Of Uncoated Steel Substrates And Of Steel Substrates After Overall Removal Of Previous Coatings, 2007.
- [9]. ISO 8502-3, Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Tests for the assessment of surface cleanliness - Part 3: Assessment of dust on steel surfaces prepared for painting (pressure-sensitive tape method), 2017.
- [10]. TES-CO-FBE-GL, External Fusion Bond Epoxy for Steel Pipe Specification, Trans Canada Engineering, 2017.
- [11]. Qian, S., Cheng, Y.F., Degradation of fusion bonded epoxy pipeline coatings in the presence of direct current interference, Progress in Organic Coatings, 2018, 120, 79-87.
- [12]. Mahdavi, F., Tan, M.Y.J., Forsyth, M., Electrochemical impedance spectroscopy as a tool to measure cathodic disbondment on coated steel surfaces: capabilities and limitations, Progress in Organic Coatings, 2015, 88, 23-31.
- [13]. [13] Mindivan H., Kale A., Berse U., Ramazan Samur, A Comparative Study of Thermal Sprayed AISI 316L Stainless Steel Coatings, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(1), 127-134.
- [14]. [14] Şeker A., Gürten A. A., Asidik Ortamda Yumuşak Çeliğin Korozyonu Üzerine Melia Azedarach Özütünün İnhibitör Davranışı, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2015, 2(3),1-13.
- [15]. [15] Aksöz S., Ada H., Fındık T., Çetinkaya C., Bostan B., Canda İ., API 5L X65 Çeliklerinin Elektrik Ark Kaynak Yöntemi ile Birleştirilmesinde, Kaynak İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, El-Cezerî Journal of Science and Engineering 2017, 4(1), 72-81.