



Nano partikül takviyeli teflon kaplamaların üretilmesi ve karakterizasyonu

Utku Bozan^{1*}, Ekrem Altuncu¹, Fatih Üstel¹

¹Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Sakarya

28.05.2013 Geliş/Received, 14.11.2013 Kabul/Accepted

ÖZET

Yapışmaz kaplamalar; düşük sürtünme katsayıları, yüksek korozyon dirençleri, yüksek dielektrik mukavemetleri, diğer polimerlere göre daha yüksek sıcaklık dayanımları ve geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmaları sebebiyle birçok sektörde yaygın olarak kullanılırlar. En önemli dezavantajları ise düşük aşınma dirençleridir. Bu çalışmada teflonun aşınma direncini arttırmak amacıyla teflon kaplama içine nano boyutlu gümüş (Ag) partikülleri ilave edilerek, kaplamanın karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemelere göre nano gümüş (Ag) katkısının kaplamanın tribolojik özelliklerini ve aşınma direncini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Endüstriyel test sonuçları doğrultusunda da ev ve el araçlarında başarılı bir şekilde kullanılabilir bir kaplama kompozisyonu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Teflon, Nano Gümüş, Aşınma Direnci

Production and characterization of nano particle reinforced teflon coatings

ABSTRACT

Non stick coatings is widely used in many industries because of having low coefficient of friction, high corrosion resistance, dielectric strength, high temperature resistance according to other polymer sand a wide operating temperature range characteristics. But the most important disadvantage is the low abrasion resistance. In this study to increase the abrasion resistance, non stick components were mixed with nano silver and characterization was realized on the teflon coating. As results, nano silver particles reinforced the non-stick coating improved its tribological properties and abrasion resistance. Industrial test results in accordance with the home and hand tools can be used in the composition of a coating successfully was formed. *

Keywords: Teflon, Nano Silver, Abrasion Resistance

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

utkubozan@hotmail.com

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapışmaz (non-stick) kaplamalar, floro polimerik bazı kaplamalardır. Yapışmaz kaplamalar daldırma, silindirik (rulo) kaplama, termal sprey, perde kaplama ve daha birçok yöntemle gerçekleştirilmektedir. En yaygın olarak kullanılan kaplama yöntemi ise basınçlı sprey yöntemi ile yapılan uygulamalardır.

Yapışmaz kaplamalar, malzemelere yapışmayan, hidrofobik yüzeyler kazandırmalarının dışında özellikle düşük sürtünme katsayıları, yüksek korozyon dirençleri, yüksek dielektrik mukavemetleri, diğer polimerlere göre daha yüksek sıcaklık dayanımları ve geniş bir çalışma sıcaklığı aralığına sahip olmaları sebebiyle birçok sektörde yaygın olarak kullanılırlar. En önemli dezavantajları ise düşük aşınma dirençleridir.

Genelde aşınma, çizilme direncini yükseltmek için teflon kaplamalara nano boyutlu seramik ve/veya metalik esaslı nano boyutlu tozlar karıştırılmaktadır. Bu çalışmada teflon yapısı içine ayrıca anti bakteriyel özelliği ile bilinen nano gümüş (Ag) partiküller (% 0.5 oranında) ilave edildi. Bu kaplama yüzeyi önceden hazırlanmış alüminyum altlık üzerinde basınçlı hava sprey yöntemi ile kaplandı ve sonrasında 400 °C de 6 ve 8 dakika sürelerinde kürlenme yapıldı. Elde edilen kaplamaların makro ve mikro yüzeyleri OM, SM, SEM ile incelenmiş, yapıda Ag katkısının varlığı EDX, XRD, FTIR, Potansiyostat testleri ile tespit edilmeye çalışılmıştır.

Ag katkısının kaplamanın yüzey dokusunu inceltici etki yaptığı ve buna bağlı olarak tribolojik özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Endüstriyel test sonuçları doğrultusunda da ev ve el araçlarında başarılı bir şekilde kullanılabilir bir kaplama kompozisyonu ortaya çıkarılmıştır.

2. YAPIŞMAZ KAPLAMALAR (NON-STICK COATINGS)

Yapışmaz kaplamalar genellikle polimerik esaslı kaplamalardır ve iki temel bileşenden meydana gelirler: Floropolimer (floroplastik), silikon olmak üzere. Bu bileşenler kaplamaya yapışmazlık özelliğini sağlayan temel bileşenlerdir. Başka hiçbir kaplama malzemesinin bir arada sahip olmadığı kimyasal direnç, nem ve ortam şartlarından etkilenmeme, esneklik, geniş çalışma sıcaklığı aralığı, düşük sürtünme katsayısı, yapışmayan yüzey ve üstün dielektrik kararlılığı özelliklerine sahip olan yapışmaz (non-stick) kaplamalar uzay araçlarından insan vücuduna kadar birçok alanda kullanılmaktadır. En zayıf yönleri ise abrazyon çalıştırma koşullarında düşük

aşınma dirençleridir. Bu durum yapışmaz kaplamaların kullanım ömrünü sınırlamaktadır [1].

2.1. Yapışmaz Kaplamaların Özellikleri ve Bileşenleri (Components and Properties of Non-stick Coatings)

Yapışmaz kaplamalar, polimerikbazlı kaplamalardır ve 5 ana bileşenden meydana gelirler: Bağlayıcı (reçine), Pigment (renk verici kimyasal), Floropolimerler (PTFE, PFA, silikon), Katkılar ve. Taşıyıcılar(su veya çözücü kimyasallar) [2]. PTFE, FEP, PFA ve silikon kaplamalar nem absorbe etmez ve diğer hava şartlarından etkilenmez. Ayrıca yanmama özelliğine sahiptir. Yapışmaz kaplama türleri tek katmanlı veya çok katmanlı (tek kattan 5 kata kadar uygulamalar) olarak istenilen altlığa uygulanabilir. Metal enjeksiyon döküm, levha alüminyum, sac, paslanmaz çelik parçalar, tahta ve plastikler bu kaplamalarla kaplanabilen malzemelerdendir. Kürlenme sıcaklıkları 360°C-400°C değişen kaplamalardır. Nonstick kaplamalar içerdikleri nonstick bileşene göre kaplandıkları malzemelere başta yapışmama olmak üzere farklı özellikler kazandırılırlar. Yapışmaz kaplamaların bilinen avantajlı özellikleri arasında yapışmazlık özelliği, ıslanmazlık (düşük kir tutma), düşük sürtünme katsayısı, kimyasal inertlik, yüksek korozyon dayanımı, geniş sıcaklık aralığında özelliklerini koruma (-270°C-260°C), yüksek dielektrik mukavemeti, yağlayıcılık özelliği, esneklik ve yanmama özelliğidir (Tablo 1). Düşük aşınma direnci ve insan sağlığına olumsuz etkisi ise dezavantajlı özellikleridir. Bu genel özelliklerinin yanında ses ve titreşim absorpsiyonu, sıcaklık direncini artırması ve ısıyı sabitlemesi, düşük sesle çalışması, hava şartlarından etkilenmemesi diğer üstün özellikleri olarak sayılabilir [3]. DUPONT laboratuvarlarındaki bulunuşunun ardından Teflon adı verilen ve günümüzde de daha çok bu adla tanınan PTFE, flor atomları ile doymuş uzun bir lineer karbon zincirinden oluşan molekül yapısı ve flor atomlarının karbon atomları ile çok kuvvetli bağlar oluşturması nedeni ile diğer plastiklerin hiçbirinde bir arada bulunmayan mükemmel özelliklere sahiptir. Bütün mühendislik plastikleri arasında en geniş çalışma sıcaklık aralığına (-260 °C, +270 °C) sahiptir [2].

Tablo 1. PTFE'nin fiziksel özellikleri (Physical Properties of PTFE))

Özgül ağırlığı: 2,1 – 2,2 gr/cm ³	Çekme muk.: 140-380 kg/cm ²
Kopma muk. (MPa): 14 – 32	Basma muk.: 45-50 kg/cm ²
Gerilme modülü (MPa): 420	Eğilme modülü: 3500-6300 kg/cm ²
Dielektrik kaybı: ...<0,0002	Sürtünme katsayısı (dinamik): 0,06
Viskozitesi: 1,00 MPa s	Isı iletkenliği: 5,5-6,6 x10 ⁻⁴ cal/cm °C

PTFE plastikleri opak, kristalin ve sünektirler. 340 °C sıcaklığın üzerine ısıtıldığında, saydam ve amorf olurlar, ancak soğutulduğunda tekrar normal halini alırlar. Sanayide kullanılan bütün kimyasal maddelere, neme ve ortam şartlarına tam süresiz dayanıklılığının yanı sıra bilinen bütün katılar içinde en düşük statik ve dinamik sürtünme katsayısına sahip oluşu, üstün dielektrik dayanımı, yüzeyine hiçbir malzemenin yapışmaması, yanmama ve yeterli mekanik özelliklere sahip olması nedeni ile PTFE birçok kaplamada diğer malzemelere tercih edilmektedir. Ancak PTFE nin aşınma dayanımı ve yük altında deformasyona karşı direnci düşük, ısıl genleşme katsayısı ise yüksektir. Bu özelliklerini iyileştirmek, iletkenliğini artırmak ve benzeri özellikler kazandırabilmek için PTFE nin içine nano boyutlu seramik ve/veya metalik esaslı tozlar belli oranlarda ilave edilebilmektedir [4].

2.2. Yapışmaz Kaplamaların Üretimi (Non-stick Coatings Production)

Yapışmaz kaplama üretiminde birçok kaplama yöntemi kullanılır. Kullanılan kaplama yöntemi uygulanacak kaplama türüne, üretim miktarına, ekonomiklik ve kaplamadan istenen özellikler gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Başlıca kaplama yöntemleri; Rulo Kaplama, Perde Kaplama, Sargı Kaplama, Termal Sprey Kaplamalar, Basınçlı Hava ile Sprey Kaplama'dır[3]. Basınçlı Hava Sprey ile Kaplama Sistemi'nde kaplama çözeltisi hava basıncı ile püskürtülerek kaplamayı atomize eden bir sprej tabancasının içine konur (Şekil 1). Tabancanın bu yapısı sürekli bir film tabakası uygulamasına olanak sağlar. Sprey kaplama yöntemi pişirme kaplarının kaplanması en dayanıklı ve sağlıklı yöntem olarak tanınmaktadır. Kaplanacak yüzey özel yıkama sistemlerinde her türlü kir ve yağdan arındırıldıktan sonra özel bir yöntemle aşındırılır. Bu işlemden sonra da aşındırılmış yüzey üzerine kaplama özel bir spreyleme yöntemiyle çok katmanlı olarak tatbik edilir. Sonrada optimum ısı eğrisinde sertleştirilir (kürleme). Bu yöntemle kaplama malzemesi yüzeyde çok iyi bir tutunma ve yapışma özelliği göstermektedir. Bu yöntemin başlıca avantajları olarak; pürüzsüz, sürekli kaplama, uzun ömürlü ve çok iyi performans, aşınma ve çizilmeye karşı yüksek direnç, mükemmel kayganlık sayılabilir. Dezavantajları olarak ise; aşırı sprej israfı (%35-%50 kaplama kaybı), yavaş üretim olması gösterilir [3].



Şekil 1. Basınçlı hava sprej kaplama (Compressed air spray coating) [3].

2.3. Yapışmaz Kaplamalara Takviye Edilen Nano Partiküller (Nano Particles Reinforced Non-stick Coatings)

Endüstriyel ihtiyaçlar doğrultusunda yapışmaz kaplamaların aşınma, anti bakteriyellik, iletkenlik gibi fiziksel performanslarını geliştirmek amacıyla kaplama yapısına nano boyutlu seramik ve/veya metalik esaslı nanopartikül takviyesi yapılmaktadır. Aşınma direncini artırma ve mikroorganizmalardan arınma amacıyla en çok takviye edilen inorganik nano yapı malzemeler şöyle sınıflandırılabilir: TiO₂ ve nano-kompozit, gümüş ve nano yapı malzemeler, ZnOnano parçacıklar, Cu nano parçacıklar, altın esaslı nano-partiküller, Galyum esaslı anti-bakteriyel ajanlar, karbon nanotüpler (CNT), nano-kil ve nano-kil içeren kompozitler [5].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA PROSEDÜRÜ (EXPERIMENTAL STUDY PROCEDURE)

3.1. Kaplama Prosesi ve Kullanılan Malzemeler (Coating Process and Used Materials)

Kaplama malzemesi olarak mutfak eşyaları sektöründe tercih edilen PTFE teflon malzemesi; takviye edilecek nanopartikül olarak ise ilave edildiği malzemelerin aşınma direncini ve iletkenliğini artırıp, antibakteriyel koruma sağlayan nano gümüş partikülü seçilmiştir. Böylece 1990 ml PTFE teflon sıvısı içine olan 10 ml % 0,05 'lik Ag⁺2 iyonu katkılı su bazlı solüsyon ilave edilip, havalı otomatik karıştırıcı yardımı ile sprej tabancasının haznesinde 3 dk süre ile karıştırıldı. Takviye öncesi ASTM D2196 test metoduna göre 1,0 MPa s ölçülen saf teflon viskozitesi, takviye sonrası ise 1,42 MPa.s ölçüldü ve böylece nano partikülün teflon sıvısının viskozitesini arttırdığı tespit edildi. Atık olarak mutfak eşyaları (tencere, tava, tepsi vs.) yapımında iyi derin çekilebilirlik özelliği ve iyi bir ısı iletken olması nedenleri ile tercih edilen 2 mm kalınlıkta 340 mm

çapındaki H0 kondüsyonuna sahip 1050 alaşım alüminyum disk malzeme olarak seçilmiştir.

Kaplama prosesi öncesinde alüminyum altlık malzeme yüzeyi temizlenerek, kaplamanın tutunma kolaylığını sağlamak için yüzey pürüzlendirildi. Basınçlı Hava Sprey Kaplama yöntemi kullanılarak altlık malzeme üzerine yapışma kalitesini arttırmak amacıyla astar kaplama gerçekleştirildi. Daha sonra nano gümüş partikül takviyeli teflon sıvısı yüzeye sprey edilerek (Şekil 1) kaplama prosesi gerçekleştirildi. Son olarak numuneler 6 dk ve 8 dk olmak üzere 2 farklı sürede 400 °C sıcaklığa maruz kalarak teflonun kurlenmesi sağlandı.

Proses Parametreleri: Basınçlı hava: 5 bar, Sprey mesafesi: 35 cm, Sprey hızı: 300 m/sn, Sprey Açısı : 90°. Nanopartikül takviyesinin etkisini kıyaslamak amacıyla partikül takviyesi olmayan saf teflon sıvısı yine aynı işlemleri takip ederek alüminyum altlık malzeme üzerine kaplaması gerçekleştirildi ve son olarak kaplama kurlenme işlemine tabi tutuldu. Böylelikle nanopartikül takviyeli ve takviyesiz olmak üzere tüm numuneler karakterizasyon uygulamaları için hazır duruma geldi.

3.2. Karakterizasyon ve Performans Testleri (Characterization and Performans Tests)

Yapışmaz kaplamaların yapı özellikleri, optik mikroskop ve SEM (taramalı elektron mikroskobu) ile mikro yapı analizi sonucu tespit edilir. EDX (enerji dağılımlı X-ışınları) spektroskopisiyle ise kaplama bileşenlerini ve dağılımlarını ortaya koymak amacıyla elementel analiz gerçekleştirilmektedir. X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılarak faz analizi, Infrared Spektroskopisi (FTIR) ile ise bağ yapılarının özellikleri belirlenir. Kaplamaların korozif ortama karşı dayanıklılıkları korozyon testi ile değerlendirilir. Kaplamanın yüzey profili incelenerek yüzey özellikleri tespit edilir. Kullanım esnasında aşınmaya karşı gösterdiği mukavemeti özel test yöntemleri (ball on testi) kullanılarak ölçülebilir. Islatma açısı ölçümünün birçok metodu (direkt geometrik ölçüm, moleküler arası kuvvetlerden hesaplamalar, vb) vardır. Kendine has özellikleri itibarıyla yapışmaz kaplamaları incelemede kullanılan bazı özel inceleme yöntemleri de mevcuttur. Endüstri de teflon tava kaplamalarının kalitesinin anlaşılabilirliği için yapışmazlık (süt) testi, kareleme tırnak testi ve aşındırma testleri kullanılmaktadır [3]. Süt Testi, bir miktar yağlı süt kullanarak yapışmaz yüzeyin yeterliliğini değerlendirmek için yapılan bir testtir. Test yaklaşık 20 cc. tam yağlı sütün tamamen karbonlaşana (yanana) kadar bir ocakta ısıtılması ile gerçekleştirilir. Test sonrasında yanmış süt tabakasının bir miktar su yardımıyla yüzeyden ayrılma kolaylığı yapışmazlık kalitesi olarak belirlenir [3]. Kareleme ve Tırnak Testi, yapışmaz yüzeyin alüminyum malzemeye olan tutunma

(ayrılmama) ve kalkmama kabiliyetini değerlendirmek için yapılır. Keskin uçlu bir bıçak (falçata-maket bıçağı) ile yanmaz yapışmaz yüzey üzerine birbirini dik olarak kesen çizgiler çizilir. Kare olarak çizilmiş yüzey üzerine özel bir yapışkan bant yapıştırılır ve bant hızlıca çekilerek bant üzerinde herhangi bir kalıntı olup olmadığına bakılır. Tırnak testi ise keskin bir bıçağı yan tutarak düz bir çizgi halinde baz malzeme yüzeyine inmek suretiyle gerçekleştirilir. Daha sonra tırnak ile bu çizgi dik yönde çekilerek uzama olup olmadığı kontrol edilir [3]. Aşındırma Testi, yapışmaz yüzeyin aşınmaya karşı göstereceği direnci değerlendirmek için yapılır. Test düzeneği evde yapılacak olan bulaşık yıkama işleminin hızlandırılmış benzerini sert bir sünger yardımıyla gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Aşındırıcı sünger test yüzeyi üzerinde bir baskı kuvveti ile hareket etmektedir. Sert bir sünger kullanarak yanmaz yapışmaz yüzeyin kaç gitme-gelme hareketi ile aşındığı kontrol edilir [3]. Nano gümüş takviyeli teflon (PTFE) kaplama numunesi üzerinde gerçekleştirilen karakterizasyon ve performans ölçümü çalışması mevcuttur. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel sonuçlar 4. bölümde irdelenmiştir [6].

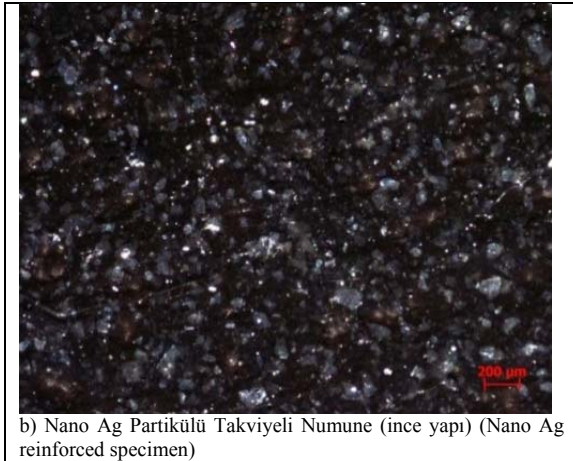
4. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLAR (EXPERİMENTAL STUDY AND RESULTS)

4.1. Makro İnceleme (Macro Review)

Numuneler üzerinde sırasıyla farklı büyütme oranları ile makro incelemeler stereo mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Numune yüzeylerinde homojen dağılım olduğu gözlemlendi. Numune grupları üzerinde yapılan makro incelemeler esnasında alınan aynı büyütme görüntüler numune grupları arasında kıyaslanmıştır. Bu görüntülerden nanopartikül takviyesiz (referans) teflon kaplama numunesinin nano partikül takviyeli teflon kaplama numunelerine göre daha kaba taneli yüzey profiline sahip olduğu gözlenmektedir (Şekil 2).



a) Takviyesiz Referans Numune (kaba yapı) (Non reinforced reference specimen)

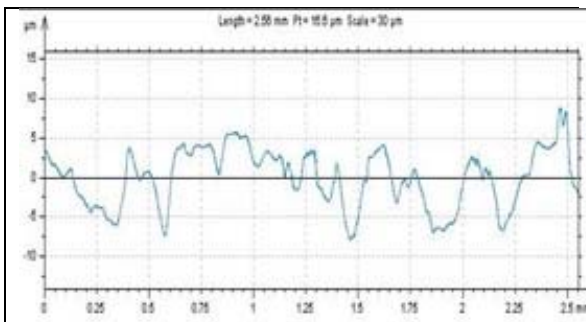


Şekil 2. Numunelerin makro yüzey görüntüsü (macro appearance of specimen surface)

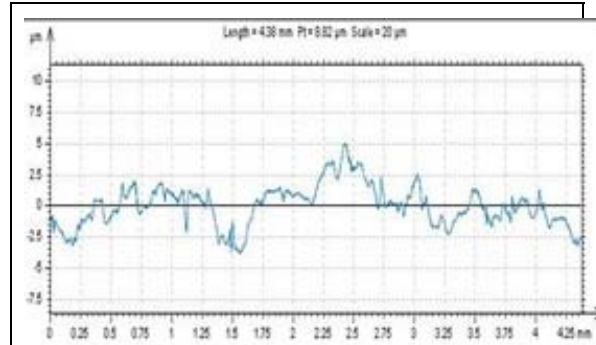
4.2. Yüzeysel Profil İnceleme (Surface Profil Review)

Makro inceleme sonucuna göre numunelerin topolojik özellikleri incelenerek, yüzey profilleri incelendi. Şekil 3'te numuneler arasında yüzey pürüzlülük grafikleri ve ölçüm sonuçları karşılaştırılmaktadır. Grafiklere göre nanopartikül takviyesi olmayan referans teflon numune yüzey pürüzlülüğünün, nano partikül takviyeli teflon numuneye göre daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Referans numune yüzeyindeki girinti ve çukurcuk seviyeleri takviyeli yüzeye göre daha fazla ve derindir. Yüzey pürüzlülük ölçüm sonuçları da farkı açıklamaktadır. Partikül takviyesiz numune pürüzlülük değerleri; Rp:5,31 – Rv:7,63 – Rz:12,9 – Ra:2,21 µm ölçülmüştür. Nano partikül takviyeli numune pürüzlülük değerleri ise; Rp:2,41 – Rv:2,52 – Rz:4,92 – Ra:0,71 µm ölçülmüştür

Bu sonuçlardan anlaşılacağı üzere nano gümüş partikülü takviyesi, teflon kaplama yüzeyinde tane inceltici ve yüzey pürüzlülüğünü azaltıcı rol oynamaktadır. Bu durum, nano Ag takviyesi teflon sıvısının viskozitesini artırması sonucu kütleme işlemi esnasında buharlaşma hızının azaldığı ve böylece yüzey pürüzlülüğünün azalma yönünde davrandığı şeklinde yorumlanmaktadır.



a) Referans (katkısız) teflon numune yüzey profili ve yüzey pürüzlülüğü ölçümü (Reference specimen surface profile and roughness measurement)

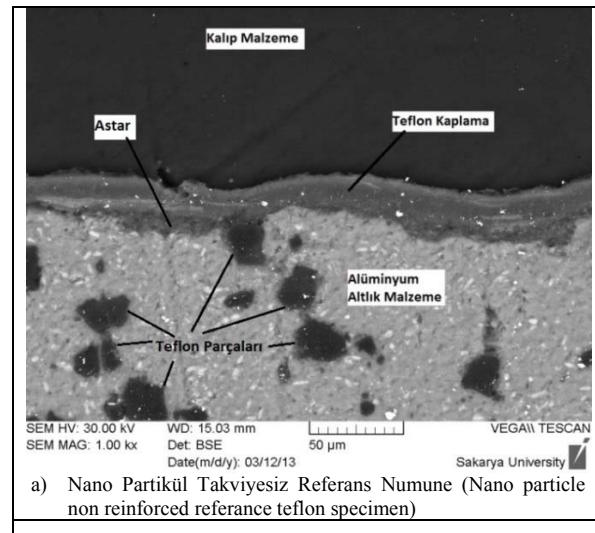


b) Ag katkıli teflon numune yüzey profiline yüzey pürüzlülüğü ölçümü (Ag reinforced teflon specimen surface profile and roughness measurement)

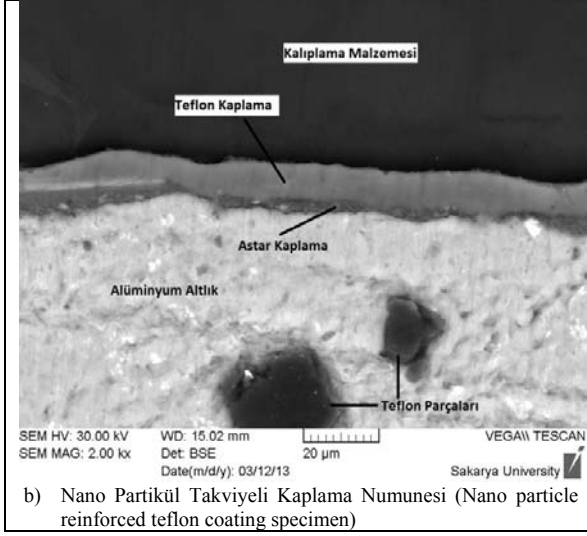
Şekil 3. Nano partikül takviyeli/ takviyesiz teflon kaplama numuneleri üst yüzey profilleri (Nano particle reinforced/non reinforced teflon coating specimen surface profile)

4.3. Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile Kesit İnceleme ve Element (EDX) Analizi (Section of Micro Structure Review at Scanning Electron Microscope ,SEM, and EDX Analysis)

Metalografik numune hazırlama işlemleri sonrası numuneler tarama elektron mikroskobu (SEM) ile incelendi. SEM ile teflon kaplama numunelerin kesitinde yapılan mikroyapı incelemesinde alüminyum altlık malzeme, metalografik numune hazırlama aşaması olan zımparalama işlemi sırasında kopmuş ve altlık üzerine sıvanan teflon parçaları, altlık üzerine yapılan astar kaplama (TiO₂), teflon (PTFE) kaplama kesitleri görülmektedir (Şekil 4).

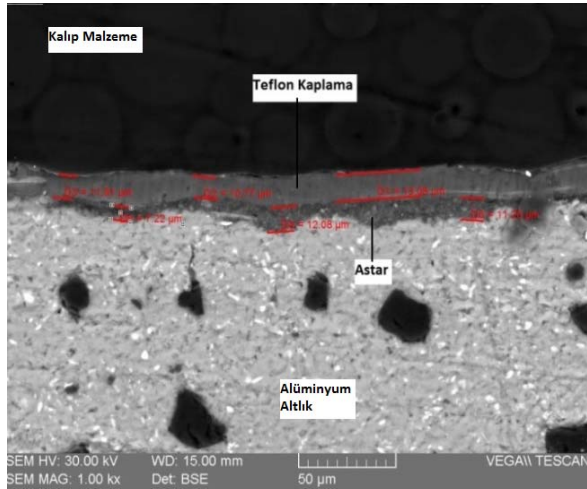


a) Nano Partikül Takviyesiz Referans Numune (Nano particle non reinforced reference teflon specimen)



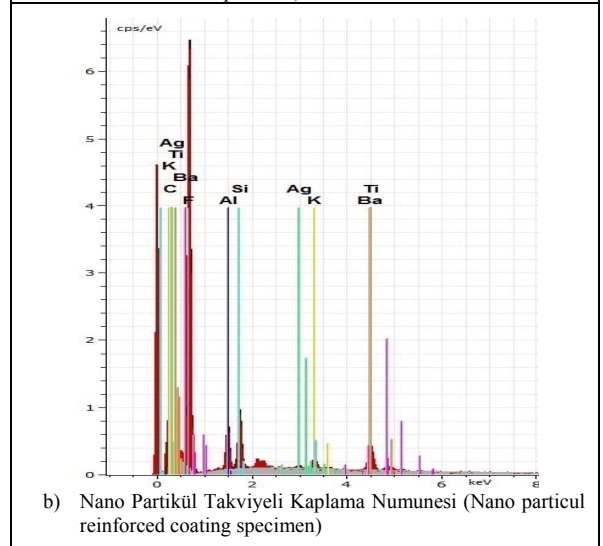
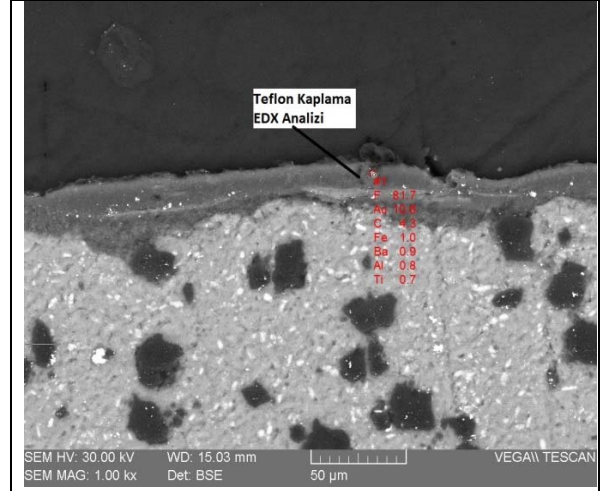
Şekil 4.SEM Görüntüleri (SEM Review)

Basıncılı hava ile sprey kaplama yönteminin avantajı olan pürüzsüz sürekli yapı, dezavantajı olan kontrolsüz kalınlıktaki kaplama tabakası kolaylıkla anlaşılmalıdır. Astar kaplama kalınlığı 5-12 µm arası, teflon kaplama kalınlığı ise 10-20 µm arası ölçülmektedir. Farklı noktalarda ölçüldüğünde kaplama kalınlıkları değişmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Kaplama kalınlıkları (coating thickness)

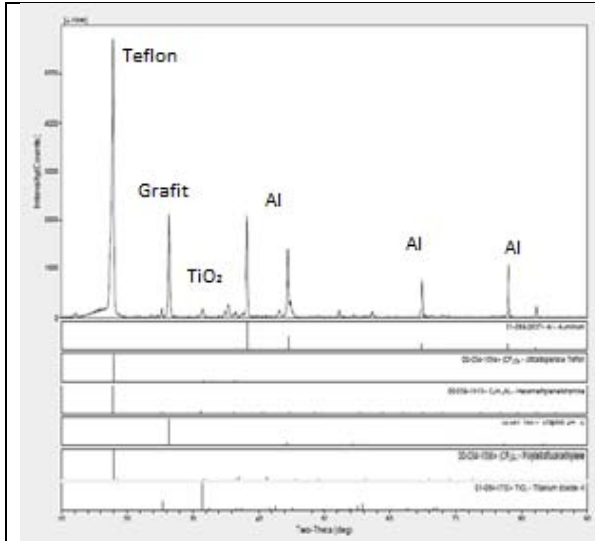
Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) ile numunelerin kaplama kesitinde Enerji Dağılımlı X-Işını (EDX) Analizi yapılarak teflon kaplama element analizi gerçekleştirildi. Yapılan element analizinde teflon kaplama bileşenleri flor (%81.7 F) ve karbon (% 4.3 C) elementleri, metalografik işlem yüzey ince bir film tabakası kaynaklı altın (% 10.8 Au) elementi tespit edilmiştir (Şekil 6.a – 6.b). Ayrıca teflon kaplama numunesine takviye edilen gümüş (Ag) elementinin varlığı tespit edilmiştir (Şekil 6.b).



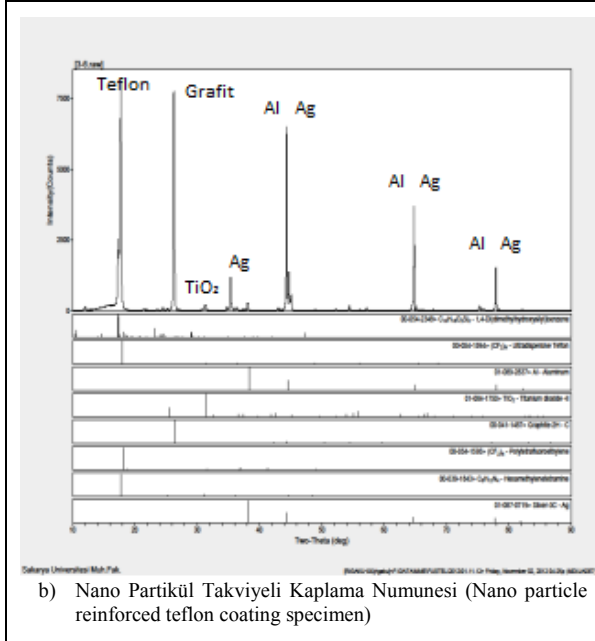
Şekil 6. EDX Analizi (EDX Analysis)

4.4. XRD Faz Analizi (XRD Phase Analysis)

Takviyesiz Teflon Kaplama (Referans numune) ve nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama numunelerine X-ışını kırınım yöntemi (XRD) kullanılarak faz analizi gerçekleştirildi. Şekil 7'deki analiz sonuçlarında görüleceği üzere yapı kristalin bir faz yapısına sahiptir. Amorflaşma gözlenmemiştir. Teflon kaplama bileşeni PTFE fazı ile astar kaplama bileşenleri (grafit, TiO₂, diğer floropolimer) tanımlanan pik ile gösterilmektedir. Ayrıca XRD analiz paternlerinde görülen alüminyum (Al) fazı varlığı ise; ince teflon tabakasından dolayı X-ışınlarının altlık malzemeye ulaştığı şeklinde yorumlanmıştır.



a) Referans (takviyesiz) Numune (Non reinforced reference specimen)



b) Nano Partikül Takviyeli Kaplama Numunesi (Nano particle reinforced teflon coating specimen)

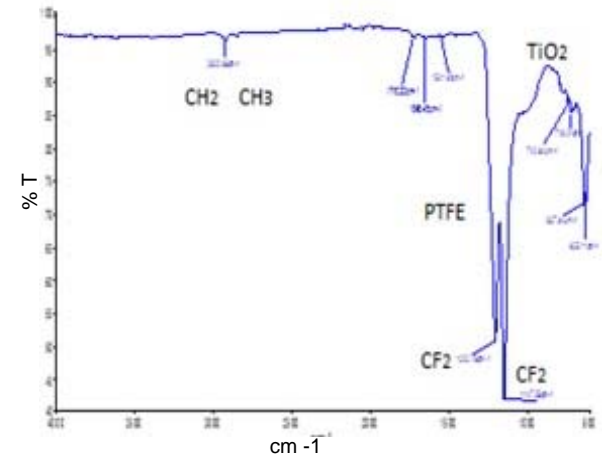
Şekil 7. XRD Analiz sonuçları (XRD Analysis Results)

Referans teflon kaplama numunesinden farklı olarak Ag katkılı kaplamalarda kristalin farklı faz yapıları gözlemlenmiştir. Böylelikle ana yapıda Agdope elementlerinin mevcudiyeti gözlemlenebilmektedir. Yapı tümüyle kristalin bir faz yapısına sahiptir (Şekil 7.b).

4.5. Infrared Spektroskopisi (FTIR) ile Yapı Analizi (Micro Structure Analysis at Infrared Spectroscopy. FTIR)

Teflon kaplama numunelerinin infrared (IR) spektrumunu ile Ag metali ile teflon arasında bir bağ oluşup oluşmadığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun

yanında yapılan incelemelerde kaplama yapısında hangi fonksiyonel grupların bulunduğunu ve molekül içindeki bağ türlerinin belirlemek amacıyla ATR-FTIR analizi gerçekleştirilmiştir. IR bölgesi 2500–15000 nm (4000 – 650 cm⁻¹) aralıktır. IR bölgesinin 4000 – 1300 cm⁻¹ arasındaki bölgede karşılaşılan pikler moleküldeki çeşitli fonksiyonel gruplara (CH₂, CH₃, CF₂) ait belirgin teflon pikleridir. Ayrıca teflon kaplama altında yer alan TiO₂ içerikli astar kaplama içeriğinde belirgin bir omuz bölgesi göstermiştir. Bu gruplara ait pikler nano Ag katkılı ve katkısız tüm teflon kaplamalarda benzer alanda gözlenmiştir (Şekil 8) [7].

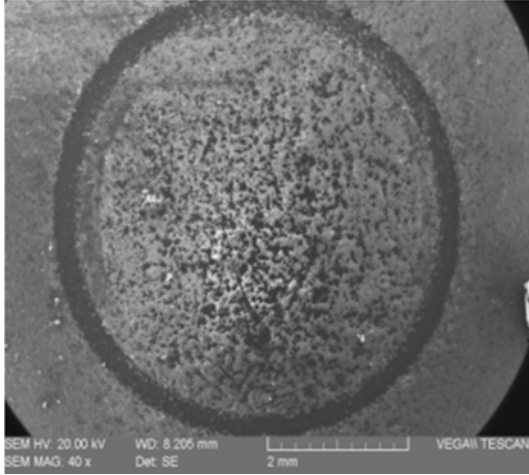


Şekil 8. FTIR Analizi sonuçları (FTIR Analysis Results) [7]

4.6. Tribolojik Davranışlar ve Aşınma Performansı (Tribological Behavior and Abrasion Performance)

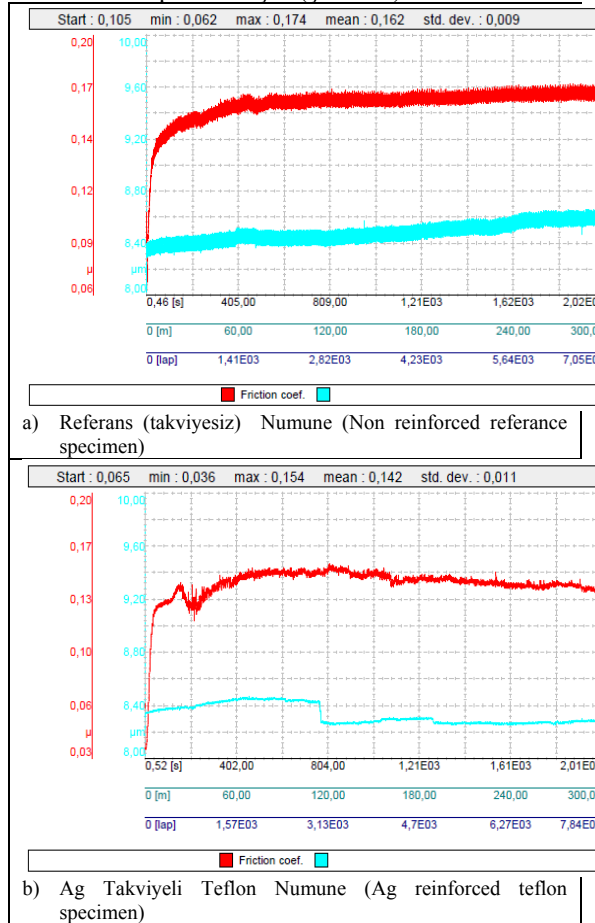
Teflon kaplı numunelerin sürtünme katsayısının tespiti ve aşınan yüzeylerin mikro görüntüleme ile incelenmesi amacıyla ASTM G133 ve G65 Ball on aşınma testi uygulanmıştır. Bu şekilde kaplamanın tribolojik özellikleri ball on disk testi ile incelenmeye çalışılmıştır.

Aşındırıcı olarak 10 mm çapında alümina kürenin kullanıldığı ball on disk test düzeneğinde diğer parametreler; radius 6,78 mm, test hızı: 0,15 m/s, normal yük 5 N olarak ayarlanmıştır. 25 °C'lik kuru ortam şartlarında gerçekleşen aşınma testi sonrası teflon numunelerde elde edilen aşınmış yüzeye ait görüntü Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Aşınmış yüzey görüntüsü (Wear surface appearance)

Aşınma testi ile nanopartikül takviyesiz referans teflon numune sürtünme katsayısı 0.162, nano gümüş partikül takviyeli teflon kaplama numunesi sürtünme katsayısı ise 0.142 olarak tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Sürtünme katsayısı tespiti

Teflon numunelerin katı partikül abrazif aşınma kayıplarını karşılaştırmak amacıyla ASTM G65 aşınma test sistemi kullanılmıştır. Bu test cihazında tane boyutu 250 μm olan alümina tozu aşındırıcı partikül olarak kullanılmıştır. Ayrıca test, 45 N kuvvet altında 2000 devirde uygulanmıştır. Test verilerinden anlaşılacağı üzere nano partikül takviyesi olmayan referans teflon kaplama numunelerinde, nano partikül takviyeli teflon kaplama numunelerine göre aşınma kaybı kısmen daha fazladır (Tablo 2).

Tablo 2. Aşınma kaybı (Abrasion loss)

Başlıklar	Test öncesi ağırlık (gr)	Test sonrası ağırlık (gr)	Aşınma kaybı (gr)	Aşınma oranı %
Takviyesiz Referans Numune	5,715	4,708	1,007	17,62
Ag takviyeli numune	5,681	4,859	0,822	14,46

Bu sonuçlara göre nanopartikül takviyesi, teflon kaplamaların aşınma direncini kısmen artırmaktadır. Metal partiküller ile modifiye edilmiş teflon kaplamalar, tane yapısının incelenmesi ve katmanlar arasındaki iyi dağılım nedeni ile yüksek mekanik ve tribolojik davranış göstermektedir.

4.7. Endüstriyel Testler (Industrial Tests)

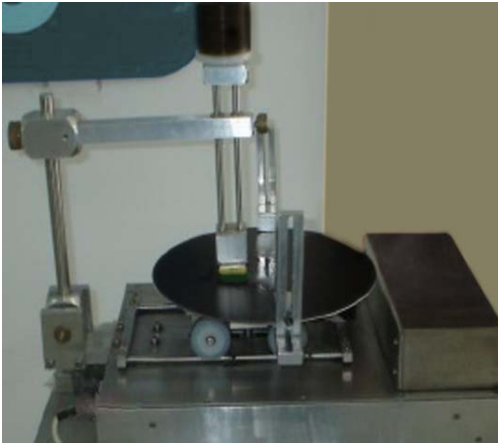
Kareleme testi sonrasında, Şekil 11'de nano partikül takviyesi olmayan referans numune teflon kaplama görüntüsünden anlaşılacağı üzere test sonrasında bant üzerinde kalan teflon miktarı, nano gümüş takviyeli teflon kaplı numunelere göre daha fazladır. Buradan anlaşılın nano gümüş takviyesi, teflon kaplamaların altlık malzemeye tutunma kuvvetini artırmaktadır.





Şekil 11. Kareleme Testi (Quadrature Test)

Aşındırma testi sonucunda, referans numune yüzeyinde 1860 çevrim sonrasında aşınmış yüzey belirtisi referansı olan 2 adet çizik tespit edildi ve test sonlandırıldı. Nano gümüş takviyeli teflon numune yüzeyinde 2480 çevrim sonrasında aşınmış yüzey tespit edildi ve test sonlandırıldı. Test sonuçlarından anlaşılacağı üzere nano gümüş takviyeli teflon kaplı numuneler, nanopartikül takviyesi olmayan teflon kaplamalı referans numuneye göre aşınmaya daha uzun süre ile direnç gösterdi. Buradan anlaşılan nano gümüş takviyesi, teflon kaplamaların aşınma direncini arttırmaktadır. Aşındırma testi düzeni Şekil 12’de gösterilmektedir.



Şekil 12. Aşınma testi düzeni (Abrasion test mechanism)

Süt testi sonrasında referans numune yüzey temizleme işleminde yüzeyde oluşan yanık tabakası yüzeyden su yolu ile ayrılmadığı, ancak bir sünger yardımıyla kolayca ayrılmakta olduğu değerlendirildi. Nano gümüş takviyesi olan teflon numunelerin test sonrası yüzey temizleme işleminde yüzeyde oluşan yanık tabakaları yüzeyden su yardımıyla tamamen değil parçaları olarak ayrılmakta olduğu değerlendirildi. nano gümüş takviyeli teflon kaplı numuneler, nanopartikül takviyesi olmayan teflon

kaplamalı referans numuneye göre daha kaliteli yapışmazlık özelliği gösterdi. Nano gümüş partikülü takviyeli teflon kaplama 2.derece yapışmazlık kalitesine sahipken, nano gümüş partikül takviyesi olmayan teflon kaplama 3.derece yapışmazlık kalitesine sahip olduğu değerlendirildi.

5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Nanopartikül takviyeli teflon kaplama ile takviyesiz teflon kaplama numunelerinin karakterizasyonu gerçekleştirilmiş ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen verilere göre nanopartikül takviyesi teflon kaplama üzerinde tane inceltici rol oynadığı tespit edilmiştir. Nano gümüş (Ag) takviyesi ile teflon kaplama yüzey profili değişmektedir. Takviyesiz teflon kaplamadaki kaba taneli yüzey yapısı yerine, nanoAg takviyesi ile daha düşük pürüzlülüğe sahip ince taneli yüzey yapısı oluşmaktadır. Böylelikle nanoAg takviyesi ile teflon kaplama yüzeyi sürtünme katsayısı da düşmektedir. Tarama elektron mikroskobu incelemesi sonucunda kaplama yapısı ve kaplama metodunun etkileri tespit edilmiştir. EDX element analizi ve XRD faz analizi ile teflon malzeme yapısındaki nano gümüş yapısı tespit edilmiştir. Standart aşındırma testleri ile teflon kaplamaların dezavantajı olan aşınma direncine nanoAg takviyesinin etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmaya göre nanoAg takviyesi teflon kaplamaların aşınma direncini arttırmaktadır. Bu değerlendirme de takviyesiz referans numunedeki kaba yüzey aşınmayı artırırken, nanoAg katkılı ince taneli ve sıkı dokulu yüzey sürtünmenin azalmasına yardımcı olarak aşınmayı düşürdüğü yorumlanmıştır. Endüstriyel test uygulamaları ise nano gümüş takviyesinin teflon kaplamaların aşınma direncini arttırdığı, yapışmazlık özelliğini iyileştirdiği ve altlık üzerine tutunma mukavemetini arttırdığı tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Dr N. Rivier (February 2003), “Non-stick quasicrystalline coatings”, Blackett Laboratory, Imperial College, London SW7 2BZ.
- [2] Du Pont Teflon Industrial Coatings”, Du Pont Licensed Industrial Applicator Program, Erişim: http://www.productknowledge.com/courses/corp/what/what_intro.asp, 21.07.13
- [3] Çelik Ö. (2009), “Non-stick (Yapışmaz) Kaplamalar ve Özellikleri, Y.Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, pp 4-8, 22-28.
- [4] Floroplastiklerin Yapı ve Özellikleri, Erişim: <http://www.bilimselkonular.com/bilim/teknoloji/floroplastikler-.html>, 20.04.2013

- [5] Verran J., Sandoval G., Allen N.S., Edge M., Stratton J. (2006), "Variables affecting the antibacterial properties of nano and pigmentarytitanium particles in suspension"
- [6] Utku BOZAN, Ekrem ALTUNCU, Fatih ÜSTEL, "Nano Partikül Takviyeli Teflon Kaplamaların Üretimi ve Karakterizasyonu", Y.LisansTezi, Sakarya Üniversitesi, pp 38-79
- [7] Judith Mihály, Silvana Sterkel, Hugo M. Ortner (July 2006), 'FTIR and FT-Raman Spectroscopic Study on Polymer Based High Pressure Digestion Vessels' Pannon University, Hungary
Erişim:<http://www.sciencedirect.com/articles/21.04.13>