



Metal Malzeme Yüzeylerine Atmosferik Basınçlı Plazma Uygulamasının Yapıştırma Bağlarına Etkisi

Öyküm KANBİR¹, Emel TAŞYAKAN², Kadir ÇAVDAR³

¹ B.U.Ü., Mühendislik Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0002-1492-4736

² B.U.Ü., Mühendislik Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0002-3548-8742

³ B.U.Ü., Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, TURKEY, ORCID ID 0000-0001-9126-0315

Corresponding Author: Öyküm KANBİR, oykumkanbir@gmail.com

Özet

Vakum altında yapılan plazma uygulamasının etkileri uzun zamandır bilinmesine karşın nispeten daha yeni süreçler olan atmosferik basınçlı plazma (ABP) uygulamaları günümüzde birçok alanda ön plana çıkmaya başlamıştır. ABP uygulamaları hem hızlı hem de kolay-stabil şekilde malzeme yüzeylerine yapılabilmektedir. ABP ile malzemelerin yüzey enerjileri arttırılmakta ve yapıştırma, yüzey boyama, kaplama, hijyen sağlama gibi uygulamalar daha uygun ve yüksek dayanımlı olarak ortaya konulabilmektedir. Özellikle metal malzemelerin yapıştırılması işleminde daha detaylı araştırmalar yapılarak süreç parametrelerinin ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada da H300LAD (galvaniz kaplamalı) ve H300LA (kaplamasız) malzemeler üzerinde, yapışma dayanımının ABP uygulaması sonucundaki değişimi araştırılmıştır. Deneyler öncesinde metal yüzeylerin enerjilerinin değişimleri su damlası ve mürekkep denemeleri ile ortaya konulmuştur. Sonuçlar, ABP uygulamasının metal yapıştırma işleminde iyileşmeler sağlayabileceğini göstermektedir.

Article Info

Research Article

Received: 28/08/2021

Accepted: 23/06/2022

Anahtar Kelimeler

Atmosferik basınçlı plazma, yapışma dayanımı, galvaniz kaplamalı çelik, temas açısı, ıslanabilirlik, plazma yüzey işleme

Öne Çıkanlar

- Atmosferik basınçlı plazma ile metal yapıştırma işlemindeki iyileşmeler
- Metal malzemelerin yapıştırma özelliklerinin geliştirilmesi
- Su damlası ve mürekkep denemeleri ile yüzey enerji tespiti

Effect of Atmospheric Pressure Plasma Application on Metal Material Surfaces on Adhesive Bonds

Abstract

Although the effects of plasma application under vacuum have been known for a long time, atmospheric pressure plasma (APP) applications, which are relatively new processes, have begun to come to the fore in many areas today. APP applications can be made on material surfaces both quickly and easily-stably. With APP, the surface energies of the materials are increased and applications such as bonding, surface painting, coating, and hygiene can be put forward as more convenient and high-strength. Especially in the bonding process of metal materials, there is a need to reveal the process parameters by making more detailed studies. In this study, the change of adhesion strength as a result of APP application on H300LAD (galvanized coated) and H300LA (non galvanized) materials was investigated. Before the experiments, the changes in the energies of the metal surfaces were demonstrated by water drop and special ink experiments. The results show that APP application can provide improvements in metal bonding process.

Keywords

Atmospheric pressure plasma, adhesion strength, galvanized coated steel, contact angle, wettability, plasma surface treatment.

Highlights

- Improvements in metal bonding with atmospheric pressure plasma
- Improving the bonding properties of metal materials
- Surface energy determination with water drop and special ink experiments

1. Giriş / Introduction

Plazma, basitçe maddenin dördüncü hali olarak tanımlanmaktadır. Maddenin üçüncü hali olan gaz fazı, yüksek enerji ile uyarılıp iyonize edilirse plazma fazına geçiş sağlar. Maddenin bu halinde düzensizlik, gaz fazından daha yüksektir. Maddenin gaz fazı yalıtkan olmasına karşın plazma fazı, ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir (Bonitz 2016). Plazmalar; plazma deşarjının yarattığı basınca göre düşük, atmosferik ve yüksek basınçlı plazma, içerisindeki farklı elektrik yüklü ve kütleli parçacıkların sıcaklıkları arasındaki dengeye bağlı olarak da sıcak veya soğuk plazmalar şeklinde gruplandırılabilirler (Küçük ve ark. 2018). Bu çalışmada, yapıştırma bağlarının mekanik özelliklerindeki değişimi görmek için, çalışma sıcaklığı 50 °C'nin altında olan soğuk atmosferik basınçlı plazma yöntemi kullanılmıştır.

Çalışmanın konusunu oluşturan plazma aktivasyonu, fiziksel bir yüzey modifikasyon işlemidir ve son yıllarda malzemelerin yüzey enerjilerinin, yapışma davranışlarının ve yüzey mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda sıkça tercih edilen bir yöntem olmuştur. Plazma işlemi ile organik ve inorganik malzemeler ve metaller de dahil olmak üzere birçok malzemenin yüzey fonksiyonları önemli ölçüde değiştirilebilir (Park ve Kim 2004, Kim ve ark. 2004). Bu konuda özellikle atmosferik basınçlı plazmalar birçok avantaja sahiptir (Lynch ve ark. 1999). Atmosferik basınçlı plazma işlemi, bir vakum sistemine ihtiyaç duymadan daha yüksek elektrik alanı homojenliği, çok yönlülüğü ve kolay kontrol edilebilirliği gibi özellikleriyle diğer yöntemlere göre avantajlar

sunmaktadır. Hava, N₂, He, Ar gibi gazları ortam medyası olarak kullanmak mümkündür (Shenton ve ark. 2002).

Atmosferik plazmaların en önemli kullanım alanlarından biri de hassas yüzey uygulamalarıdır. Bu yöntem ile metal yüzeylere temizleme, aktivasyon ve kaplama işlemleri rahatlıkla yapılabilir. Bilindiği üzere metal yüzeylere kaplama, boyama ve yapıştırıcı malzeme uygulama gibi birçok işlem yapılabilir. Ancak birçok teknolojiye bu uygulamalar sırasında metal yüzey üzerine tutunma sorunu yaşanabilmektedir. Atmosferik plazmalar yüzeye uygulandıklarında yüzeyi aktifleştirmekte ve boya, yapıştırıcı gibi maddelerin malzeme yüzeyine sıkıca tutunabilmelerini sağlamaktadırlar. Bu tip uygulamalar için taşınabilir olmaları, farklı açılı yüzeylere kolayca uygulanabilmeleri ve atmosferik koşullarda üretilmeleri nedeniyle uygun bir yöntemdir (Dalı 2013).

Günümüzde farklı malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek için yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda, yüzey modifikasyonu alanında plazma işleminin etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır. Organik malzeme, inorganik malzeme ve metaller de dahil olmak üzere birçok malzemenin plazma işlemi ile yüzey özellikleri değiştirilebilmektedir (Øiseth ve ark. 2002, Boudou ve ark. 2003). Yapılan çalışmalar plazma işleminin, ıslanabilirlik, geçirgenlik, iletkenlik, yapışma gibi yüzey özelliklerini değiştirmede oldukça etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Paslanmaz çelikler, endüstride geniş bir uygulama alanına sahiptir. Yüzey yapışma dayanımının önemli olduğu uygulamaların çoğunda, kullanılan malzemenin yüzey özellikleri belirleyicidir. Malzemenin genel mekanik özelliklerini etkilemeden, yüzeyin yapışma dayanımını arttırmak için kullanılan plazma işlemi hakkında çok çeşitli malzemeler üzerine araştırmalar yapılmıştır. Tang ve ark. (2006), atmosferik basınçlı plazma işlemi ile iki AISI 316L paslanmaz çelik plaka arasındaki yapışma dayanımını incelemiştir. Sonuçlar, plazma gazı olarak Ar ve O₂ karışımı kullanıldığında paslanmaz çeliğin yüzey enerjisinin daha da arttığını, ayrıca yapılan çekme testleri de iki paslanmaz çelik plaka arasındaki yapışma dayanımının yükseldiğini göstermiştir. Polini ve Sorrentino (2003), soğuk plazma işlemi ile 2024 alüminyum alaşımının ıslanabilirliğinin iyileşmesi konusunda çalışmışlardır. Yapılan deneyler sonucu su teması açısından plazma işlemi sonrası yaklaşık 2,8 katlık bir iyileşme elde edilmiştir. Ayrıca yapılan SEM analizi sonrası yüzeydeki karbon ve oksijen yüzdesindeki düşüşe dikkat çekilerek soğuk plazma işleminin yüzeyde temizleme etkisi yarattığı ortaya konmuştur. Prysiazhnyi ve ark. (2012), atmosferik plazma kalem cihazının alüminyum levhalar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Plazma gazı olarak Ar kullanıldığında işlem sonrası su teması açısından yaklaşık 8 katlık bir iyileşme, yüzey enerjisinde ise 1,8 katlık bir artış elde edilmiştir. Williams ve ark. (2017), 316 paslanmaz çeliğinin yüzeyini, boyama, kaplama ve yapıştırma gibi işlemlere hazırlamak için yüzey enerjisini arttırmak adına soğuk atmosferik plazma kullanmışlardır. Sonuçlar, yüzey enerjisinde büyük bir artış sağlandığını göstermiştir. Latifi ve ark. (2014), plazma yüzey oksidasyonu işlemiyle 316L paslanmaz çeliği ile silikon kauçuk kaplamanın arasındaki yapışma özelliklerini incelemiştir. Plazma işlemi sonrası kaplamanın yüzeye yapışma mukavemetinin yaklaşık 7,41 katlık bir artış sağlandığı tespit edilmiştir. Kim ve ark. (2003), atmosferik basınçlı plazma jeti kullanarak paslanmaz çeliğin yüzey özelliklerini geliştirme üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucu, 71,49 mN/m ile en yüksek yüzey

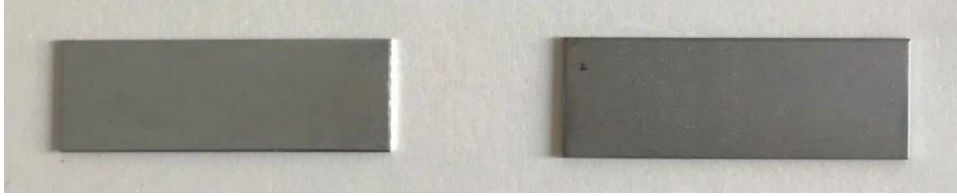
enerjisi, 5 mm başlık-yüzey mesafesi ve 10 mm/s başlık hızında elde edilmiştir ve plazma işlemi görmüş paslanmaz çeliğin yüzey enerjisinin, işlem görmemiş yüzeye kıyasla önemli ölçüde arttığı ortaya konmuştur. Preedy ve ark. (2014), polietilen malzemenin, soğuk atmosferik plazma işlemi sonrası yapışma özelliklerini incelemiştir. Plazma işlemi sonrası polietilen malzeme ile borosilikat partikülü arasında yüksek yapışma kuvvetinin elde edildiği görülmüştür. Lin ve Chang (2011), atmosferik basınç altında plazma işleminin SUS304 paslanmaz çeliğinin yüzey özellikleri üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Plazma işlemi sonrası su teması açısından, 800 W/60 mm/10 s plazma işlem parametrelerinde yaklaşık 8,5 katlık bir iyileşme sağlanmıştır ve bu sayede yüzey daha hidrofilik hale gelmiştir. Mui ve ark. (2017), atmosferik basınçlı plazma jeti ile poliüretan boyanın, AA7075 alaşımı üzerine yapışma davranışını araştırmışlardır. Yüzey özelliklerini geliştirmek için uygulanan plazma işlemi sonrası AA7075 alaşımının yüzeyinde su teması açısından yaklaşık 4,5 katlık bir iyileşme sağladığı, yüzey enerjisinin de yaklaşık 2,5 katlık bir artış sergilediği ortaya konarak boya ile Al alaşımli yüzey arasındaki yapışmanın plazma işlemi sayesinde elde edildiği tespit edilmiştir. Acero ve Lopez (2017), soğuk atmosferik plazma işleminin alüminyum bağlantı noktalarındaki yapışma dayanımının etkilerini araştırmışlardır. Yapıştırma yüzeyine plazma uygulandığında alüminyum numunelerin %24-30'luk bir dayanım artışı gösterdiği tespit edilmiştir. Maroofi ve ark. (2020), atmosferik hava plazma jeti sonrası 5052 alüminyum malzemenin boya tutma kabiliyetini incelemiştir. Plazma işlemi sonrası su teması açısından yaklaşık 2,7 katlık bir iyileşme, boya yapışma kabiliyetinde ise 5 katlık bir artışın olduğu görülmüştür. Plazma işlemi sayesinde yüzey temizliğinin sağlanmasıyla boya ile alüminyum yüzey arasındaki yapışma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir. Ku ve ark. (2013), polipropilen/alüminyum kompozitlerde, polipropilen malzemeye uygulanan atmosferik basınçlı plazma işleminin, polipropilen ve alüminyum plakalar arasındaki soyulma ve kesme dayanımları üzerindeki etkisini incelemiştir. Yüzeye uygulanan 8 tekrarlı plazma işlemi sonrası su teması açısından yaklaşık 1,71 katlık bir iyileşme sağlandığı, soyulma ve kesme dayanımlarının ise sırasıyla %42 ve %44 oranında arttığı tespit edilmiştir. Brzhozovskii ve ark. (2019), düşük sıcaklıktaki plazma işleminin 40x13 çeliğinin yüzey özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Plazma işlemi sonrası yüzey mikrosertliğinin 2 katına çıktığı, yüzey pürüzlülüğünün iyileşerek tane sınırları boyunca gizli kusurları iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca korozyon kaybında 3,17 katlık, korozyon hızında ise 2,91 katlık bir düşüş elde edilerek plazma işlemi sonrası korozyon direncindeki artış da ortaya konmuştur.

Bu çalışmada, H300LAD (galvaniz kaplamalı) ve H300LA (kaplamasız) malzemelerinin yapışma dayanımını iyileştirmek için soğuk atmosferik basınçlı plazma işlemi (Soğuk ABP; Piezoelektrik Doğrudan Deşarj Teknolojisi – PDD Teknolojisi) kullanılmıştır. Deney parametreleri olarak iki farklı malzeme (H300LAD ve H300LA) ve iki farklı yapıştırıcı (Marocol 18576 ve Erde G-Force) belirlenmiştir. Öncelikle deney numunelerinin su damlası kullanılarak temas açıları ölçülmüş, mürekkep testiyle de yüzey gerilimleri tespit edilmiştir. Bu işlemler ABP işlemi sonrası elde edilen verilerle karşılaştırılarak uygulanan plazma işleminin yüzey özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Ardından, farklı yapıştırıcılar uygulanarak hazırlanan deney numuneleri, çekme testine tabi tutulmuş ve elde edilen veriler ile plazma işleminin malzemelerin yapışma dayanımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Yöntem / Material and Method

2.1. Malzeme / Material

Bu çalışmada, BS EN 10346 standartlarına uygun şekilde üretilen H300LAD (M1) ile BS EN 10268 standartlarına uygun şekilde üretilen H300LA (M2) malzemeleri kullanılmıştır. M1 ve M2 malzemesinden 70x25x1 mm ölçülerinde hazırlanan deney numuneleri, Borçelik bünyesindeki mekanik test laboratuvarlarında hazırlanmıştır ve Şekil 1’de gösterilmektedir.



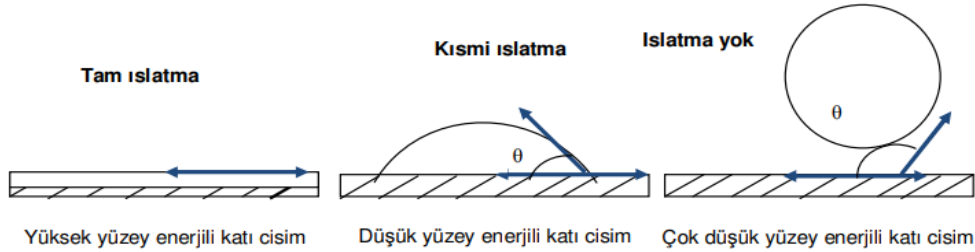
Şekil 1. M1 ve M2 malzemelerinden hazırlanan deney numuneleri

2.2. Ön Hazırlık/Numune Temizliği / Preliminary/Sample Cleaning

Deney numunelerinin yüzeyleri plazma işlemine tabi tutulmadan ve su temas açıları ile yüzey gerilimleri hesaplanmadan önce yüzeyler, kir ve yağ gibi olumsuz etkilerden arındırılmak için etil alkol bazlı solüsyon ile temizlenmiştir.

2.3. Temas Açısı Ölçümleri / Contact Angle Measurements

Su temas açısı, yüzeyin ıslanabilirlik derecesini ifade etmektedir. Şekil 2’de gösterildiği gibi yüksek enerjili yüzeylerde su, yüzeyde düzgün olarak dağılıp ince bir film oluşturmaktadır. Bu durumda temas açısı sıfırdır, yüzey tamamen ıslanmaktadır ve hidrofilitik demektir. Aynı şekilde düşük enerjili yüzeylerde ise su damlaları yüzeye ayrı ayrı yerleşmektedir ve bu durumda da yüzeyin ıslanabilirlik kabiliyeti düşüktür, yani hidrofobiktir (Aydar 2012). Temas açısı azaldıkça yüzey enerjisi, yapışkanlık ve ıslanabilirlik artarken, temas açısı büyüdükçe yüzey enerjisi, ıslanabilirlik ve yapışkanlık azalmaktadır (Adamson 1990).



Şekil 2. Sıvıların farklı yüzey enerjisine sahip katı yüzeylerde ıslatma davranışları (Mirsasaani ve ark. 2011)

M1 ve M2 malzemelerinden hazırlanan deney numunelerinin, plazma uygulamasından önce ve sonra olmak üzere ayrı ayrı suyun yüzey ile yaptığı temas açıları ölçülmüştür.

2.4. Yüzey Gerilimi Değerleri / Surface Tension Values

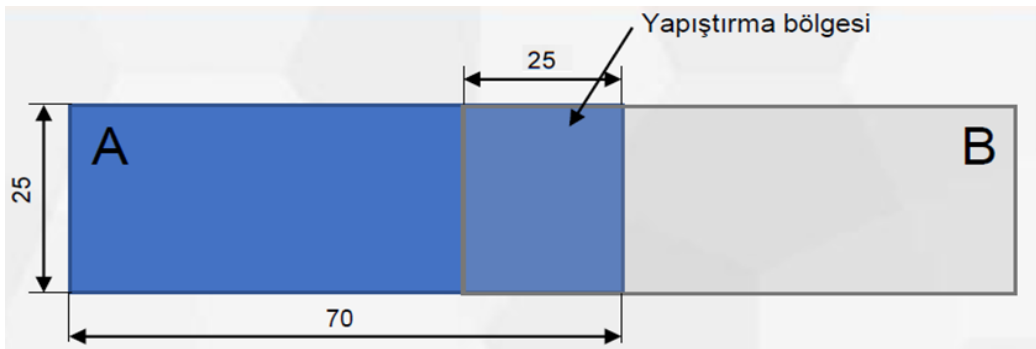
Numunelerin yüzey gerilimleri, M1 ve M2 malzemeleri için soğuk plazma işlemi uygulanmadan önce ve sonra ölçülmüştür. Mürekkep testi, plastik, metal, cam, kompozit malzemeler gibi çok çeşitli malzemelerin yüzey geriliminin ölçülmesi için tercih edilen bir yöntemdir. Test mürekkebi, şişenin bütünleşik fırçasıyla seri bir şekilde yüzey üzerine sürülür. Fırça çizgisinin kenarları, iki saniye boyunca dağılmazsa, yüzey iyi ıslanabilir demektir ve bu durumda maddenin yüzey gerilimi, en az mürekkebine denktir. Ancak test mürekkebinin çizgileri bir araya toplanıyorsa, işleme bir sonraki daha küçük değere sahip olan test mürekkebiyle devam edilir ve mürekkep yüzeyde dağılmayana dek bu işleme devam edilir. Malzemenin yüzey gerilimi, onu en az iki saniye boyunca ıslatan en son test mürekkebinin değerine denktir. Bu şekilde malzemenin yüzey gerilim değeri tayin edilmektedir. Bu çalışmada Ahlbrandt marka mürekkep test seti kullanılmıştır.

2.5. Deneysel Numunelerin Yapıştırılması / Bonding of Test Samples

Çekme testi numuneleri için malzemeleri birbirine yapıştırabilmek adına yapıştırıcı olarak Marocol 18576 (Y1) ve Erde G-Force (Y2) marka yapıştırıcılar kullanılmıştır. Marocol 18576, iki bileşenli poliüretan bir yapıştırıcıdır. Metaller üzerinde iyi yapışma özelliği, -30°C ile 90°C arası sıcaklık direnci, kontrollü kürlenme, kolay ve hızlı uygulama opsiyonu sunması, kürlendikçe hacim kazanmaması gibi özelliklere sahiptir (Marocol 2021).

Deneysel kullanılabilecek bir diğer yapıştırıcı olan Erde G-Force ise çift bileşenli, yüksek performanslı metil metakrilat bazlı bir yapıştırıcıdır. Alüminyum, çelik, bakır, pirinç, paslanmaz çelik, nikel, polyester, PVC, ABS, kompozit malzeme, boyalı ve kaplanmış birçok yüzeyi çok başarılı bir şekilde yapıştırabilmektedir (Erde G-Force 2021).

Şekil 3'te gösterildiği üzere $70 \times 25 \times 1$ mm ölçülerinde hazırlanan deneysel numunelerinin uç kısmından, yapıştırıcının uygulanacağı 25 mm'lik bölüm işaretlenmiştir. İşaretlenen alan, plazma işlemine tabi tutulduktan sonra yüzeye yapıştırıcı uygulanmış ve numuneler bu bölümden birbirine yapıştırılmıştır. Aynı işlem, plazma işlemi görmeyen deneysel numuneleri için de iki farklı yapıştırıcı ile tekrarlanmıştır.



Şekil 3. Deneysel numunelerin yapıştırma bölgesi

Yapıştırma işleminin ardından test numuneleri oda sıcaklığında en az 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan numuneler çekme testine tabi tutulmuştur ve yapışma

dayanımlarına ilişkin elde edilen veriler raporlanmıştır. Plazma işlemi görmeyen ve plazma uygulanan numunelerin gösterdiği yapışma dayanımı farklılıklarına değinilmiş ve plazma işleminin yapışma dayanımı üzerindeki olumlu etkileri ortaya konmuştur.

Tüm deney numunelerine soğuk plazma işlemi oda sıcaklığında uygulanmış ve gaz olarak da ortam havası kullanılmıştır.

2.6. Deney Numunelerine Çekme Testi Uygulanması / Applying Tensile Test to Test Samples

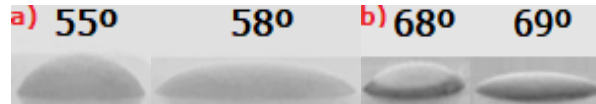
Çekme testi, 10 kN yük hücresi kapasiteli INSTRON 5582 marka elektromekanik üniversal çekme test makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri için test cihazında gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra 5 mm/dak çekme hızında kama aksiyonlu çeneler (wedge-action grips) vasıtası ile çekme testlerine başlanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma / Results and Discussion

3.1. Temas Açısı Ölçümleri / Contact Angle Measurements

M1 ve M2 malzemelerinin ABP uygulanmamış ve uygulanmış olan numunelerinin temas açıları ölçülmüştür.

M1 ve M2 malzemelerinin herhangi bir plazma işlemi görmeden önceki temas açısının sırasıyla ortalama $56,5^\circ$ ve $68,5^\circ$, M1'in soğuk plazma işleminden sonraki temas açısının 35° , M2'nin soğuk plazma işleminden sonra ise temas açısının ortalama 45° olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin temas açısı fotoğrafları Şekil 4 ve Şekil 5'te, temas açısı değerleri ise Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Plazma işlemi öncesi temas açıları. (a) M1 malzemesi, (b) M2 malzemesi



Şekil 5. Plazma işlemi sonrası temas açıları. (a) M1 malzemesi, (b) M2 malzemesi

Tablo 1. M1 ve M2 malzemelerinin plazma işlemi öncesi ve sonrası ortalama su temas açılarının örnek değerleri

Numune	Su Temas Açısı Değerleri	Ortalama Su Temas Açısı Değerleri
M1 plazmasız numune 1	55°	56,5°
M1 plazmasız numune 2	58°	
M2 plazmasız numune 1	68°	68,5°
M2 plazmasız numune 2	69°	
M1 soğuk plazmalı numune 1	-	35°
M1 soğuk plazmalı numune 2	35°	
M2 soğuk plazmalı numune 1	45°	45°
M2 soğuk plazmalı numune 2	45°	

3.2. Yüzey Gerilimi Hesabı / Surface Tension Calculation

M1 ve M2 malzemelerinin plazma işlemi uygulamadan önce ve sonra sahip olduğu yüzey gerilimleri mürekkep testiyle ölçülmüştür.

Şekil 6'da yer alan numunelerden 15 ve 16 sayılarıyla numaralandırılmış olanlar M1 malzemesinin plazma işlemi görmemiş numunelerini, 25 ve 26 numara M2 malzemesinin plazma işlemi görmemiş numunelerini, 17 ve 18 numara M1 malzemesinin soğuk plazma işlemi görmüş numunelerini, 27 ve 28 numara ise M2 malzemesinin soğuk plazma işlemi görmüş numunelerini temsil etmektedir.

Mürekkep testinde, farklı yüzey gerilim değerlerine sahip olan mürekkepler, numunelerin yüzeyine seri bir şekilde uygulanmıştır. Malzemenin yüzey geriliminin tayini için mürekkebin en az iki saniye boyunca yüzeyi ıslatması ve form değiştirmemesi gerektiğinden mürekkebin yüzey üzerinde gösterdiği davranışına göre farklı test mürekkepleri uygulanmıştır.

Şekil 6'da yer alan fotoğrafta görüldüğü gibi M1 ve M2 malzemelerine, aşağıdan yukarıya olmak koşuluyla sırasıyla 32 mN/m, 50 mN/m, 48 mN/m ve son olarak 40 mN/m yüzey gerilimlerine sahip olan mürekkepler uygulanmıştır. Mürekkeplerin yüzeydeki davranışlarına göre M1 ve M2 malzemelerinin, plazmasız yüzey geriliminin 32 mN/m'den büyük, soğuk plazma işleminden sonra yüzey gerilimlerinin ise 32 ile 40 mN/m arasında olduğu tespit edilmiştir.

Numunelerin yüzey gerilimlerinin belirlendiği mürekkep testi sonuçlarının fotoğrafı Şekil 6'da verilmiştir.

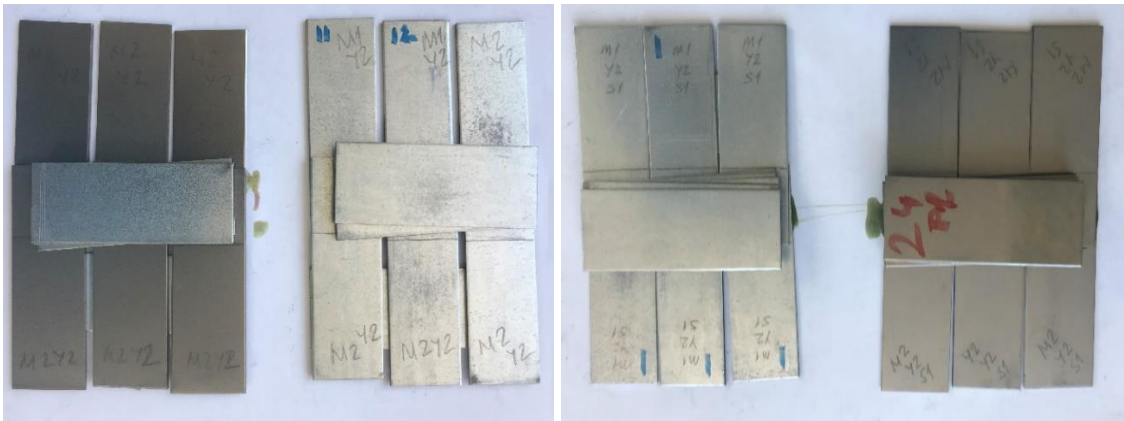


Şekil 6. Yüzey geriliminin tespiti için kullanılan 40, 48, 50 ve 32 mN/m'lik mürekkepler sonucu yüzeyin davranışı

3.3. Çekme Testi Sonuçları / Tensile Test Results

Çekme testi için deney numuneleri gruplara ayrılmıştır. M1 ve M2 malzemelerinin numuneleri, soğuk plazma işleminin sonrası iki farklı yapıştırıcıyla yapıştırıldıktan sonra çekme testine tabi tutulmuş ve bu sayede yapışma dayanımı hakkında izafi bir sonuca ulaşılmıştır. Ayrıca plazma işleminin uygulanmamış numunelerin de yapışma dayanımları incelenerek tüm deney grupları arasında bir kıyaslama yapılmaya imkânına sahip olunmuştur.

Şekil 7'de değişen malzeme ve yapıştırıcı parametrelerine göre hazırlanan çekme deney numunelerinin yapıştırma işlemi sonrasında bekleme aşamasına dair örnek fotoğraflar yer almaktadır.



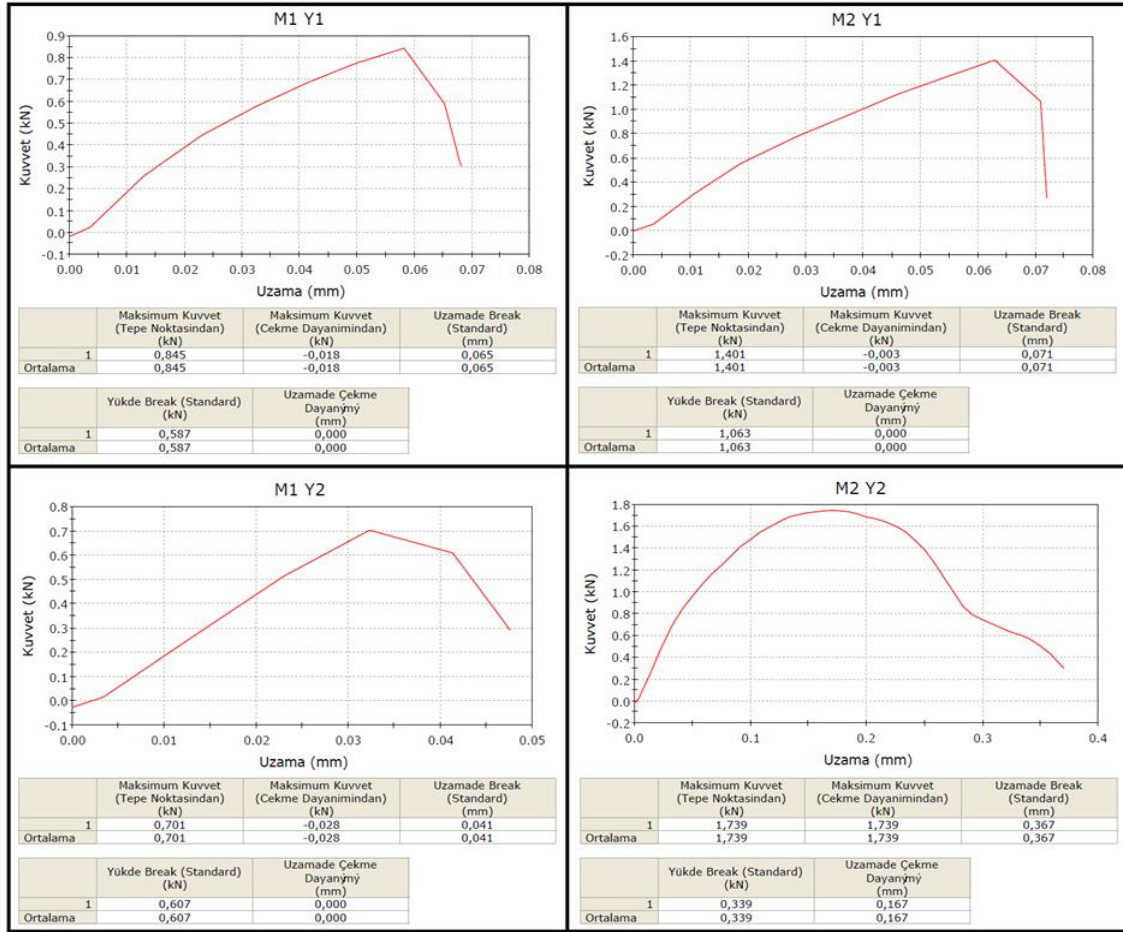
Şekil 7. Deney numunelerinin yapıştırma aşamasından sonraki ve çekme testinden önceki görüntüleri

Tablo 2’de çekme testi için hazırlanan numunelerin tanımı ve deney sonrası elde edilen sonuçların özeti verilmiştir.

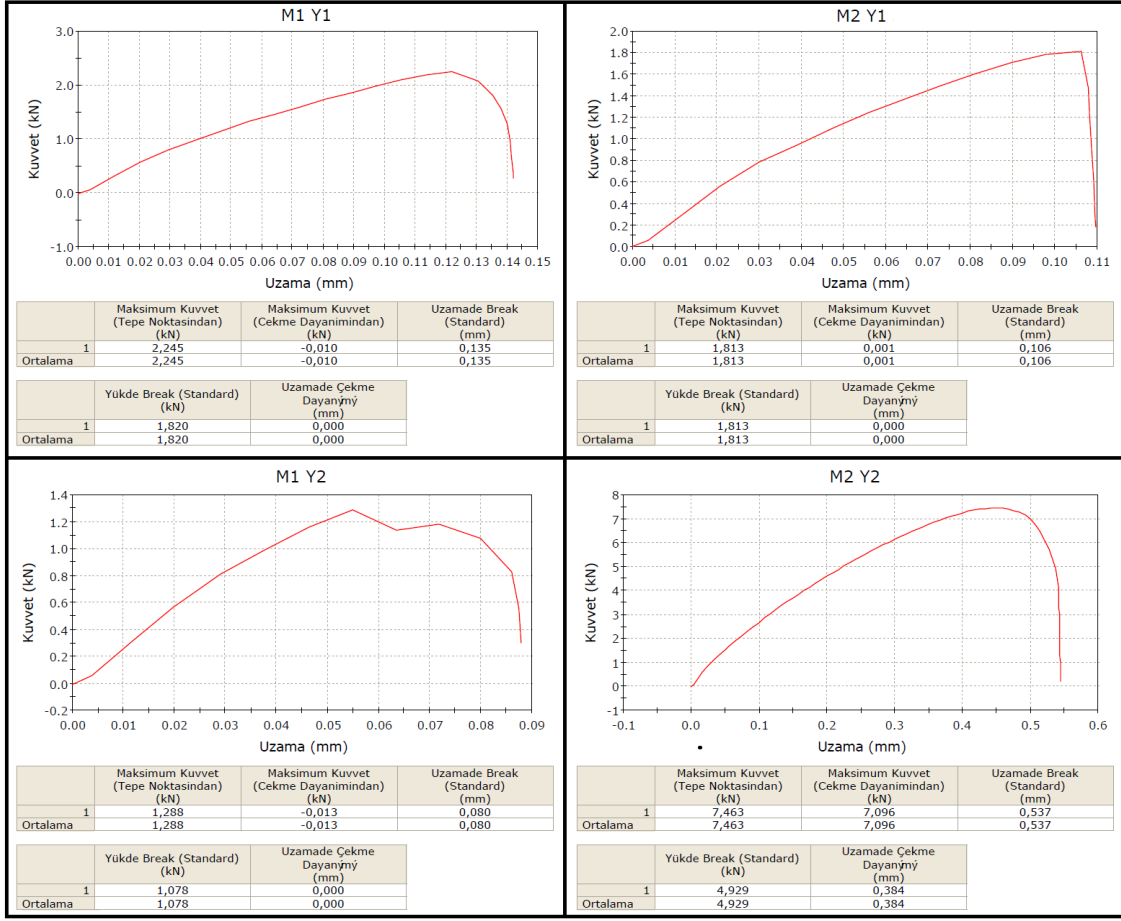
Tablo 2. M1 ve M2 malzemelerinin plazma işlemi öncesi ve sonrasındaki yapışma dayanımlarına ilişkin örnek değerler

Numune Tanımı	Yapışma Dayanımı (N/mm ²)
M1 Y1 plazmasız numune 1	1,352
M1 Y1 plazmalı numune 1	3,592
M2 Y1 plazmasız numune 1	2,242
M2 Y1 plazmalı numune 1	2,901
M1 Y2 plazmasız numune 1	1,122
M1 Y2 plazmalı numune 1	2,061
M2 Y2 plazmasız numune 1	2,782
M2 Y2 plazmalı numune 1	11,941

Şekil 8 ve Şekil 9’da ise plazma işlemi öncesi ve sonrası numunelere uygulanmış çekme testi sonuçlarının bir bölümü verilmiştir.

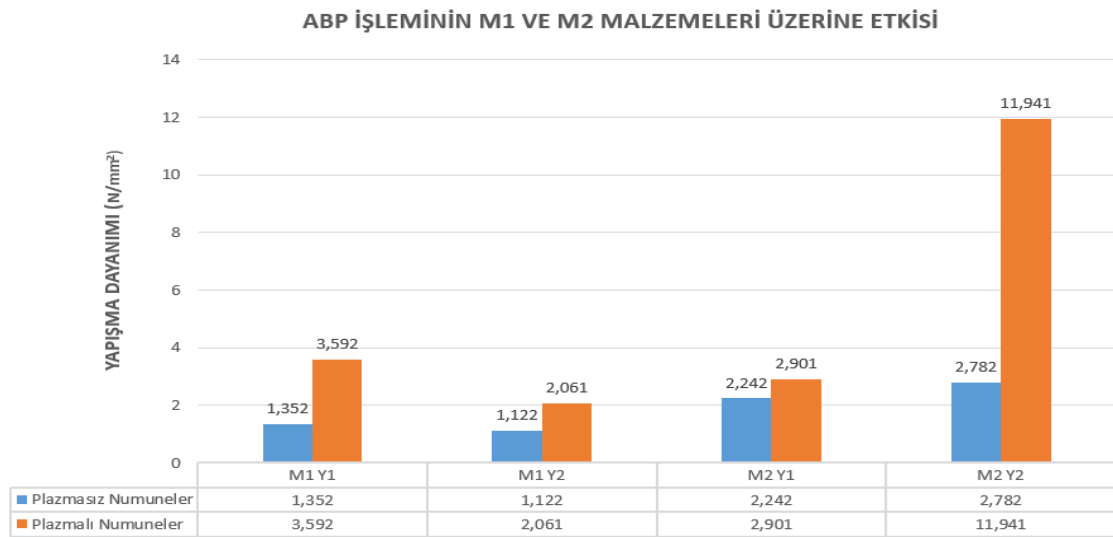


Şekil 8. ABP uygulanmamış numunelere ait örnek çekme deney sonuçları



Şekil 9. ABP uygulanmış numunelere ait örnek çekme deney sonuçları

Şekil 10'da plazma uygulanmış ve uygulanmamış numunelere ait yapışma dayanım sonuçlarını karşılaştırmalı olarak gösteren grafik görülmektedir



Şekil 10. Plazma işlemi öncesi ve sonrasında elde edilen yapışma dayanım sonuçları

4. Sonuç / Conclusion

Bu çalışmada, atmosferik basınçlı plazma işlemi öncesi ve sonrasında galvaniz kaplamalı ve kaplamasız çelik malzemelerin yapışma dayanımları araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların ardından şu sonuçlara varılmıştır:

- Atmosferik basınçlı plazma işleminin yüzey ıslanabilirliği üzerinde etkili olduğu kanıtlanmıştır. Plazma işlemi sonrası ortalama su temas açısı değeri, galvaniz kaplamalı malzemede 56,5°'den 35°'ye gerileyerek yüzey ıslanabilirliği için yaklaşık %38'lik bir iyileşme sağlanırken kaplamasız çelik malzemede ise 68,5°'den 45°'ye gerileyerek yaklaşık %34'lük bir iyileşme sağlanmıştır.
- Atmosferik basınçlı plazma işlemi sonrası yapıştırma bağlarının dayanımının önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Plazma işlemi, her iki malzeme ve yüzeye uygulanan her iki yapıştırıcı için de yapışma dayanımının geliştirilmesinde etkili olmuştur.
- Deney sonuçları incelendiğinde, atmosferik basınçlı plazma işlemi sonrası yapışma dayanımı en çok, kaplamasız çelik malzemeye Erde G-Force marka yapıştırıcı uygulandığında (M2 Y2) artış göstermiştir. Bu deney grubunda yapışma dayanımı 4,29 katına çıkmıştır. Ayrıca en yüksek yapışma dayanımı da yine bu grupta elde edilmiştir. Plazma işlemi sonrası en az artış ise kaplamasız çelik malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulandığında (M2 Y1) tespit edilmiştir. Bu grupta yapışma dayanımı 1,29 katına çıkmıştır.
- Deney sonuçları incelendiğinde, atmosferik basınçlı plazma işlemi sonrası galvaniz kaplamalı malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulandığında (M1 Y1) yapışma dayanımı 2,65 katına çıkarırken, Erde G-Force marka yapıştırıcı kullanıldığında (M1 Y2) yapışma dayanımı 1,83 katına çıkmıştır. Kaplamasız çelik malzemenin yer aldığı deney grubunda ise Marocol 18576 marka yapıştırıcı (M2 Y1), yapışma dayanımı 1,29 katına çıkarırken Erde G-Force marka yapıştırıcı (M2 Y2) ise yapışma dayanımı 4,29 katına çıkarmıştır. Bu sonuçlar ele alındığında, Marocol 18576 marka yapıştırıcının galvaniz kaplamalı malzeme ile, Erde G-Force marka yapıştırıcının ise kaplamasız çelik malzeme ile çok daha yüksek yapışma dayanımı sağladığı görülmektedir.
- Deney sonuçları incelendiğinde, aynı şartlar altında uygulanan atmosferik basınçlı plazma işleminin yapışma dayanımında yarattığı artışın, her iki malzeme ve her iki yapıştırıcı için farklı oranlarda olduğu görülmüştür.
- Sonuçlarda, atmosferik basınçlı plazma işlemi sonrasında her iki malzeme için de su temas açılarının azalarak yüzey ıslanabilirliğinin arttığı ve bu bağlamda yüzeye uygulanan iki farklı yapıştırıcıda da çekme deneyi sonrası yapışma dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Çalışmaların devamında soğuk atmosferik plazma uygulaması etkisinin, uygulama hızı ve mesafesi ile değişimi üzerine deneylere devam edilmektedir. Ayrıca yüksek uygulama hızı istenen uygulamalarda da sıcak atmosferik plazmanın yapışma davranışına etkisi de araştırılabilir.

Finansal Destek

Bu çalışma için herhangi bir finansal destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu makale ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Yazar Katkısı

Öyküm Kanbir ve Kadir Çavdar'ın çalışmanın her aşamasında eşit katkısı vardır. Emel Taşyakan'ın çekme testlerinin gerçekleştirilmesinde katkısı olmuştur.

Teşekkür

Malzeme numunelerini sağlayan Borçelik AŞ, yapıştırıcı malzeme destekleri için ERBAB Otomotiv Ltd. Şti., çekme testlerinin gerçekleştirilmesindeki destekleri için Destek Otomotiv Yan Sanayi ve Tic. A.Ş. ve plazma uygulama cihazları ve özel mürekkep testleri için de FCB Ar-Ge Ltd. Şti. firmalarına teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar / References

Acero, M.A.C., Lopez, L.C. (2017). Effect of plasma treatment in Aluminum and composites bonding joints: Shear load tests results, *Procedia Manufacturing* 13, 183–189.

Adamson, A.W. (1990). *Physical Chemistry of Surfaces* 5th Edition; Wiley Interscience; New York, 777.

Aydar, A.Y. (2012). Determination of Contact Angle of Olive oil and Canola Oil on a PTFE surface at Elevated Temperatures. Master of Science Thesis, NCSU.

Bonitz, M. (2016). *Contribution to Plasma Physics*, WILEY-VCH Verlag GmbH and Co. KGaA, 56:2, 47-53, Weinheim.

Boudou, J.P., Paredes, J.I., Cuesta, A., Martinez-Alonso, A., Tascon, J.M.D. (2003). Oxygen plasma modification of pitch-based isotropic carbon fibres, *Carbon* 41, 41-56.

Brzhozovskii, B., Brovkova, M., Gots, I., Zinina, H., Martynov, V. (2019). Study of the low-temperature plasma treatment effect on the structure, physical and chemical surface characteristics of 40X13 steel, *Heliyon* 5, e02388.

Dallı, E. (2013). *Atmosferik Basınç Soğuk Plazma Jetler*. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

Erde G-Force. (2021, 18 Ağustos). Erişim adresi: <http://erdesi.com.tr/wp-content/uploads/2017/11/erde-g-force-TDS.pdf>

Kim, J.-S., Kim, Y.-E., Lee, K.-H. (2004). Effects of atmospheric plasma treatment on the interfacial characteristics of ethylene–vinyl acetate/polyurethane composites, *Journal of Colloid and Interface Science*, 271(1), 187-191.

Kim, M.C., Song, D.K., Shin, H.S., Baeg, S.-H., Kim, G.S., Boo, J.-H., Han, J.G., Yang, S.H. (2003). Surface modification for hydrophilic property of stainless steel treated by atmospheric-pressure plasma jet, *Surface and Coatings Technology* 171, 312–316.

Ku, J.H., Jung, I.H., Rhee, K.Y., Park, S.J. (2013). Atmospheric pressure plasma treatment of polypropylene to improve the bonding strength of polypropylene/aluminum composites, *Composites: Part B* 45, 1282–1287.

Küçük, D., Ercan, U. K., Köseoğlu, S. (2018). The fourth state of matter: Plasma and applications of atmospheric pressure cold plasmas in dentistry. *Yeditepe Dental Journal*, 14(3), 125–136.

Latifi, A., Imani, M., Khorasani, M.T., Joupari, M.D. (2014). Plasma surface oxidation of 316L stainless steel for improving adhesion strength of silicone rubber coating to metal substrate, *Applied Surface Science* 320, 471–481.

Lin, J.-W., Chang, H.-C. (2011). Surface modification of SUS304 stainless steel by atmospheric pressure Ar/N₂/O₂ plasma, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 269, 1801–1808.

Lynch, J.B., Spence, P.D., Baker, D.E., Postlethwaite, T.A. (1999). Atmospheric pressure plasma treatment of polyethylene via a pulse dielectric barrier discharge: Comparison using various gas compositions versus corona discharge in air, *Journal of Applied Polymer Science* 71, 319-331.

Marocol. (2021, 18 Ağustos). Erişim adresi: <https://www.bostik.com/uk/en/catalog/product/construction/emea/uk/product-marocol-18576/>

Maroofi, A., Safa, N.N., Ghomi, H. (2020). Atmospheric air plasma jet for improvement of paint adhesion to aluminium surface in industrial applications, *Internacional Journal of Adhesion & Adhesives* 98, 102554.

Mirsasaani, S.S., Manjili, H.M., Baheiraei, N. (2011). Dental Nanocomposites, *Advances in Diverse Industrial Applications of Nanocomposites Eds.*; Boreddy Reddy: InTech, Chapter 19.

Mui, T.S.M., Silva, L.L.G., Prysiashnyi, V., Kostov, K.G. (2017). Surface modification of aluminium alloys by atmospheric pressure plasma treatments for enhancement of their adhesion properties, *Surface & Coatings Technology* 312, 32–36.

Øiseth, S.K., Krozer, A., Kasemo, B., Lausmaa, J. (2002). Surface modification of spin-coated high-density polyethylene films by argon and oxygen glow discharge plasma treatments, *Applied Surface Science* 202, 92-103.

Park, S.-J., Kim, B.-J. (2004). Influence of oxygen plasma treatment on hydrogen chloride removal of activated carbon fibers, *Journal of Colloid and Interface Science*, 275(2), 590-595.

Polini, W., Sorrentino, L. (2003). Improving the wettability of 2024 aluminium alloy by means of cold plasma treatment, *Applied Surface Science* 21 232–242.

Preedy, E.C., Brousseau, E., Evans, S.L., Perni, S., Prokopovich, P. (2014). Adhesive forces and surface properties of cold gas plasma treated UHMWPE, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 460, 83–89.

Prysiaznyi, V., Svoboda, T., Dvorak, M., Klima, M. (2012). Aluminum surface treatment by the RF plasma pencil, *Surface & Coatings Technology* 206, 4140–4145.

Shenton, M.J., Stevens, G.C., Wright, N.P., Duan, X. J. (2002). Chemical-surface modification of polymers using atmospheric pressure nonequilibrium plasmas and comparisons with vacuum plasmas, *Journal of Polymer Science Part A Polymer Chemistry* 40, 95-109.

Tang, S., Lu, N., Myung, S.-W., Choi, H.-S. (2006). Enhancement of adhesion strength between two AISI 316 L stainless steel plates through atmospheric pressure plasma treatment, *Surface & Coatings Technology* 200, 5220 – 5228.

Williams, D.F., Kellar, E.J.C., Jesson, D.A., Watts, J.F. (2017). Surface analysis of 316 stainless steel treated with cold atmospheric plasma, *Applied Surface Science* 403, 240–247.