



The effects of alkali, alkali-acid and sandblasting surface treatments applied before Tantalum-Oxide coating with magnetron sputtering on the wear behavior of 7075 Aluminum alloys

Canser Gül^{1*}, Sevda Albayrak², Hanifi Çinici², İrem Burcu Algan Şimşek²

¹Department of Metallurgy and Materials Engineering, Manisa Celal Bayar University, Engineering Faculty, 45100, Manisa, Türkiye

²Department of Metallurgy and Materials Engineering, Gazi University, Technology Faculty, 06560, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

Highlights:

- The effect of different treated surfaces on the coating characteristics was investigated.
- Crack-free, void-free and homogeneous coating layers were obtained on all surfaces.
- The wear resistance of the different pre-treated and coated samples were determined.

Keywords:

- Aluminum alloys
- AA7075
- Tantalum-oxide
- RF sputtering method
- Surface treatment
- Wear

Article Info:

Research Article

Received: 16.11.2021

Accepted: 07.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1024352

Correspondence:

Author: Canser Gül

e-mail: canser.gul@cbu.edu.tr

phone: +90 553 371 8535

Graphical/Tabular Abstract

Aluminum alloys are alloys that are widely used in many sectors due to their high specific strength and are constantly being developed to adapt to today's developing technology. Among these alloy groups, the use of 2XXX and 7XXX series alloys, which are alloy groups that can be hardened by precipitation hardening, is even more common. In this study, an amorphous tantalum-oxide layer was coated by RF sputtering method in order to improve the wear resistance of 7075 aluminum alloys. It was applied to the sample groups after polished, sandblasted, alkali, and alkali acid treatments, and the effect of the surface treatments applied before coating on the wear performances after coating was investigated. The wear profiles of the samples are shown in Figure A.

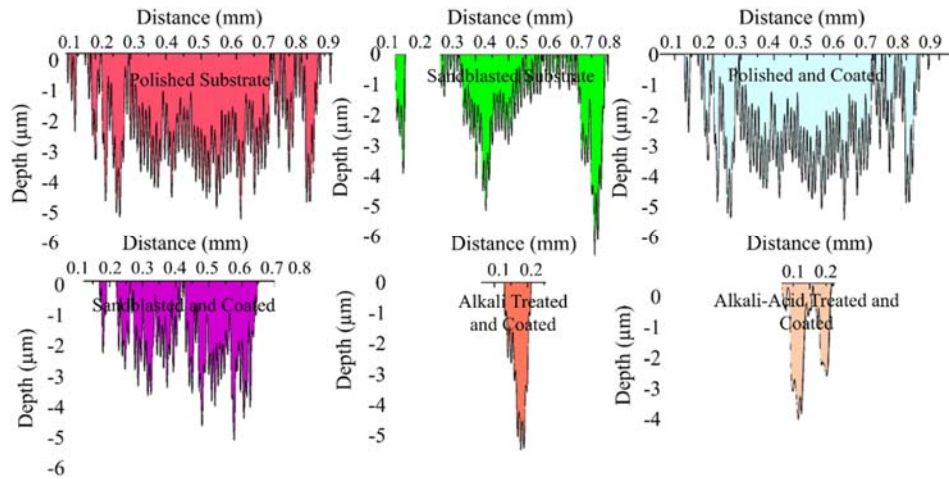


Figure A. Wear profiles of samples

Purpose: The main purpose of the study is to examine the effects of the pre-treatments applied to the surface before the coating on the morphology and wear resistance after the coating, and to determine the most appropriate treatment that can be applied before the coating.

Theory and Methods: The amorphous tantalum-oxide layer was obtained on substrates by using PVD RF/DC sputter at the power of 200 W. The effect of the surface morphologies on coated samples were investigated using scanning electron microscopy with energy dispersion spectroscopy (SEM), and their structural analysis was investigated by the X-ray diffraction method. The wear behavior of the samples was determined by the ball-on disc wear test performed at room temperature under dry sliding conditions and by SEM examinations, wear track profile measurements, average volume loss calculations and friction coefficient evaluations performed after wear.

Results: After the coating process, Tantalum-oxide was obtained in an amorphous structure without cracks, voids, and heterogeneity. Coating thicknesses were measured as $\cong 2.5\text{-}5\mu\text{m}$.

Conclusion: The highest wear resistance among all samples was observed in the samples coated after alkali and alkali acid treatments, and it was observed that the volume losses after wear decreased by 69-77% compared to the polished and untreated sample.



Magnetron sıçratma ile Tantal-Oksit kaplama öncesi uygulanan alkali, alkali-asit ve kumlama yüzey işlemlerinin 7075 Alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarına etkileri

Canser Gül^{1*}, Sevda Albayrak², Hanifi Çinicı², İrem Burcu Algan Şimşek²

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 45100 Yunussemre Manisa, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 06560, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Tantal oksit kaplama uygulanan alüminyum alaşımları
- Farklı yüzey işlemlerinin kaplama morfolojisine etkisi
- Aşınma dayanımlarının yüzey pürüzlülüğüne bağlı değişimi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.11.2021

Kabul: 07.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1024352

Anahtar Kelimeler:

Alüminyum alaşımı,
AA7075,
tantal-oksit,
magnetron sıçratma yöntemi,
yüzey işlemi,
aşınma

ÖZ

Alüminyum alaşımları yüksek özgül dayanımları nedeni ile birçok sektörde yaygın kullanım alanı olan ve günümüzün gelişen teknolojisine uyum sağlayabilmek için sürekli geliştirilmeye devam eden alaşımlardır. Bu alaşım grupları içinde çökeltme sertleşmesi ile sertleştirilebilen alaşım gruplarından olan 2XXX ve 7XXX serisi alaşımlarının kullanımı daha da yaygındır. Bu çalışma kapsamında 7075 alüminyum alaşımlarının aşınma dayanımlarının geliştirilmesi amacı ile magnetron sıçratma yöntemi ile amorf tantal-oksit tabakası kaplanmıştır. Kaplama tabakası; parlak, kumlanmış, alkali ve alkali asit işlemleri sonrasında numune gruplarına uygulanmış olup, kaplama öncesi uygulanan yüzey işlemlerinin kaplama sonrası aşınma performanslarına etkisi incelenmiştir. Kaplama sonrası yüzey morfolojilerine olan etki, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım spektroskopisi (EDS) kullanılarak, yapısal analizleri X-ışını difraksiyonu (XRD) yöntemi ile incelenmiştir. Numunelerin aşınma davranışı oda sıcaklığında kuru kayma koşullarında gerçekleştirilen ball-on disk aşınma testi ile ve aşınma sonrasında gerçekleştirilen SEM incelemeleri, aşınma izi profil ölçümleri, ortalama hacim kaybı hesapları ve sürtünme katsayısı değerlendirmeleri ile gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında, çatlak, boşluk ve heterojenlik içermeyen amorf yapıda Ta₂O₅ kaplama eldesi sağlanmıştır. Kaplama kalınlıkları $\approx 2.5-5\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Tüm numuneler arasında en yüksek aşınma dayanımı alkali ve alkali asit işlemleri sonrasında kaplanmış olan numunelerde gözlemlenmiş olup, parlatılmış ve işlem görmemiş numune ile kıyaslandığında aşınma sonrası hacim kayıplarının %69-77 oranında azaldığı gözlemlenmiştir.

The effects of alkali, alkali-acid and sandblasting surface treatments applied before Tantalum-Oxide coating with magnetron sputtering on the wear behavior of 7075 Aluminum alloys

H I G H L I G H T S

- Aluminum alloys with tantalum oxide coating
- Effect of different surface treatments on coating morphology
- Variation of wear resistance depending on surface roughness

Article Info

Research Article

Received: 16.11.2021

Accepted: 07.04.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1024352

Keywords:

Aluminum alloys,
AA7075, tantalum-oxide,
magnetron sputtering method,
surface treatment,
wear

ABSTRACT

Aluminum alloys are alloys that are widely used in many sectors due to their high specific strength and are constantly being developed to adapt to today's developing technology. Among these alloy groups, the use of 2XXX and 7XXX series alloys, which are alloy groups that can be hardened by precipitation hardening, is even more common. In this study, an amorphous tantalum-oxide layer was coated by magnetron sputtering method in order to improve the wear resistance of 7075 aluminum alloys. It was applied to the sample groups after polished, sandblasted, alkali, and alkali acid treatments, and the effect of the surface treatments applied before coating on the wear performances after coating was investigated. The effect on the surface morphologies after coating was investigated using scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersion spectroscopy (EDS), and their structural analysis was investigated by the X-ray diffraction (XRD) method. The wear behavior of the samples was determined by the ball-on disc wear test performed at room temperature under dry sliding conditions and by SEM examinations, wear track profile measurements, average volume loss calculations and friction coefficient evaluations performed after wear. After the coating process, Ta₂O₅ coating was obtained in an amorphous structure without cracks, voids, and heterogeneity. Coating thicknesses were measured as $\approx 2.5-5\mu\text{m}$. The highest wear resistance among all samples was observed in the samples coated after alkali and alkali acid treatments, and it was observed that the volume losses after wear decreased by 69-77% compared to the polished and untreated sample.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *canser.gul@cbu.edu.tr, sevdatas@gazi.edu.tr, hcinicı@gazi.edu.tr, irembalgan@gazi.edu.tr / Tel: +90 553 371 8535

1. Giriş (Introduction)

Alüminyum alaşımları mükemmel dökülebilirliğe, işlenebilirliğe, yüksek özgül dayanıma, yüksek ısı iletkenliğe, korozyon ve aşınma dayanımına sahip hafif metal malzeme ihtiyacı nedeni ile özellikle uzay ve otomobil sanayinde tercih edilirlen en düşük üretim maliyetli alaşımlardır [1-3]. Artan teknolojik gelişmeler ve hem hafif olup hem de mukavemetli olan malzemeye ulaşma isteği, alüminyum ve alaşımları üzerine yapılan çalışmalarını yoğunlaştırmıştır [4-6]. Çeşitli alüminyum alaşım grupları arasında 7XXX serisi alaşımlar, bünyelerinde Al, Zn, Mg ve Cu elementlerini büyük oranda içeren alaşımlardır. Bu alaşımlar, diğer alüminyum alaşım grupları ile kıyaslandığında daha yüksek özgül mukavemete sahiptir [7-9].

AA7075 alaşımları Al matrisi ve Al_7Cu_2Fe ve Mg_2Si gibi bazı intermetalikleri ve GP bölgeleri, kararlı η ve yarı kararlı η' ($MgZn_2$) çöktillerinden oluşmaktadır [4, 10]. Yüksek süneklik ve tokluk, yüksek mukavemet gibi özellikleri nedeni ile havacılık alanında yapısal ve gövde parçalarında kullanılan ve bilinen en güçlü alüminyum alaşımı olan 7075 serisine özellikle aşınma ve korozyondan korunmak amacı ile takviyelendirme [4-6, 11-13] ve elektro kaplama, akımsız kaplama, fiziksel buhar biriktirme (PVD), magnetron sıçratma, kimyasal buhar biriktirme (CVD) gibi çeşitli kaplama yöntemleri sıkça kullanılmaktadır [3, 14-16].

PVD kaplama prosesi yüksek saflıkta ve kalitede kaplama üretimine imkan sağlayan, kullanılan farklı güç kaynakları sayesinde oksitli ve metalik hedef kullanılarak veya dışarıdan uygulanan gazlar ile sitokiyometrik oranların ayarlanabildiği bir kaplama yöntemidir [17, 18]. Günümüzde ince film kaplama uygulamalarında [19], kesici ve delici takımların aşınmaya dayanıklı bölgelerinin nitrür içerikli bileşenler ile kaplanmasında [17, 20], aşınma ve korozyon dayanımının geliştirildiği farklı uygulamalarda [21-23] kullanımı mevcuttur. Kullanılan güce göre, ortam basıncına ve kullanılan hedef malzeme boyutuna göre, malzeme ile hedef arasındaki mesafeye ve diğer parametrelere bağlı olarak kaplama kalınlıkları değişmekte ve genellikle homojen bir kaplama sağlanabilmektedir. Kullanılan güç kaynağına göre rafyo frekans (RF) sıçratma veya doğru akım (DC) sıçratma şeklinde kullanılanlar mevcuttur. RF sıçratma genelde oksit bileşik şeklinde bulunan hedef malzemeler için tercih edilirken DC sıçratma genelde metalik hedef malzemeler için tercih edilmektedir. Ayrıca yöntemin, basit cihaz kurulumu, kolay kontrol edilebilme avantajı, geniş kaplama yüzey sağlayabilmesi ve kaplama ile altlık arasında kurulan bağın kuvvetli olması gibi avantajları mevcuttur. Fakat bazen uzun zamanlar sürebilmekte ve maliyetleri artabilmektedir [24].

Kaplama öncesi yüzeye, mekanik olarak pürüzlendirme veya kimyasal veya fiziksel olarak anodizasyon gibi ön işlemler uygulanmakta ve bu işlemler ile kaplama ve altlık arasındaki bağlanmanın kuvvetlenmesi sağlanmaktadır. Farklı kaplama yöntemleri öncesi uygulanan ön işlemlere yönelik literatürde farklı çalışmalar mevcuttur fakat PVD kaplama işlemi öncesi yüzey hazırlığının kaplama kalitesine ve kaplama sonrası aşınma dayanımına etkileri ise sınırlı sayıda çalışmada araştırılmıştır [25, 26].

Tantal (Ta) elementi yüzeyinde oluşturduğu oksit tabakası sayesinde yüksek kararlılığa sahip olabilen ve dolayısıyla yüzeyleri çetin korozyon şartlarında ve geniş bir pH aralığında koruyabilen, mükemmel kırılma tokluğuna sahip bir elementtir [27, 28]. Tantal-oksit (Ta_2O_5) 400°C sıcaklığa kadar amorf yapıya sahip olup, 700-1300°C arasında tamamen yarı-kararlı β - Ta_2O_5 formundadır. 1300°C üzerinde ise α - Ta_2O_5 formundadır [27, 29]. Farklı termal sprey kaplamalar kullanılarak yüzey işlemlerinin etkileri araştırılmıştır. Ye vd. [30], yaptıkları çalışmada kumlama kum boyutu, kumlama

basıncı, kumlama mesafesi, kumlama süresi ve kumlama açısı parametrelerini kullanarak alümina kaplamalar gerçekleştirmiştir. İstatistiksel ve deneysel olarak kumlama işlemi sonrası çelik altlıklar üzerine atmosferik plazma sprey kaplamalarda kumlama işleminin korozyon dayanımı üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak kumlama işleminin kaplamanın tutunabilirliğini arttırdığı ve korozyon dayanımlarının kaplama öncesi uygulanan işlemde etkilediğini vurgulamıştır. Altlık yüzeyine uygulanan ön işlem durumu sadece arayüz yapışma mukavemetini değil, aynı zamanda kaplamanın mekanik özelliklerini ve aynı zamanda hizmet ömrünü doğrudan etkilemektedir [31, 32]. Asit ve alkali ortamlarda bekletme işlemleri ise yüzeyde bazı yüksek enerjili faz bölgelerinin çözünmesini sağladığı ve altlık yüzeyinde hidroksil ve hidrokarbon bağlanma durumlarını değiştirdiği için altlığın hidrofobik/hidrofilik yapısında farklılaşmalara neden olmaktadır. Bu farklılaşma aynı zamanda yüzey pürüzlülük değerlerini de değiştirdiği için, yüzeye püskürtülen toz, ergiyik veya yarı ergiyik kaplamalarda tutunabilirliği ve arayüzey bağlanmasını doğrudan etkilemektedir [33, 34]. Liu vd. [34], yaptıkları çalışmada farklı bekletme sürelerinde alüminyum alaşımlarını hidroklorik asit çözeltisi içinde bekletmiş ve bekletme süresinin artması ile hidrofilik özelliğin arttığını vurgulamıştır. Bu şekilde kaplama tabakasının daha iyi bir tutunma sağladığını ve arayüzey bağlanmasının da daha kuvvetli olarak elde edildiği tespit edilmiştir. Termal sprey kaplamalar malzemelerin aşınma dayanımını [35, 36], biyomedikal performansını [37] ve korozyon dayanımlarını [31, 32, 37] arttırmak amaçlarıyla yüzeylere kaplanmaktadır. Yapılan literatür taramasında alüminyum ve alaşımlarına metal, seramik, polimerik ve kompozit birçok termal sprey kaplama uygulaması mevcuttur [31, 32, 34-36]. Fakat alüminyum ve alaşımlarına RF sıçratma yöntemi ile Ta içerikli yapılan kaplamalar ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. RF sıçratma yönteminde kaplama öncesi farklı yüzey işlemlerinin kaplama morfolojisini ve numunelerin aşınma dayanımlarını nasıl etkilediği bu çalışma kapsamında tartışılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmanın amacı, literatürde yüzey özelliklerini, pürüzlülüğü, arayüzey bağlanmasını, korozyon ve mekanik özellikleri önemli ölçüde etkileyen yüzey işlemlerini alüminyum alaşımlarına uygulamak, ve uygulanan farklı yüzey işlemlerinin RF sıçratma yöntemi ile uygulanan kaplamalarda aşınma dayanımlarına etkilerini araştırmaktır. Bu amaçla AA7075 alaşımı, dört farklı yüzey işlemi (parlatma, kumlama, alkali ve alkali-asit ile yüzey işlemi) sonrasında RF sıçratma tekniği ile amorf Ta_2O_5 kaplanmıştır. Aşınma dayanımının geliştirilmesi hedeflenen bu çalışmada, kaplanan yüzeylere oda sıcaklığında kuru ortam koşullarında ball-on disk aşınma testi yapılmıştır. Kontrol grubu olarak parlatılmış ve kumlanmış yüzeylere kaplama öncesinde de aşınma testi yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Malzeme ve Metot (Materials and Methods)

Kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilen AA7075 alüminyum alaşımı numuneler 3 mm kalınlığında ve 10×24 mm² yüzey alanına sahip olacak şekilde hassas kesme cihazı kullanılarak kesilmiştir. Numune yüzeyleri SiC zımparalar kullanılarak 2500 gride kadar zımparalanmış ve 6, 3, 1 ve 0,3 μ m parlatma solüsyonları ile parlatılmıştır. Ultrasonik temizleyici kullanılarak 20 dakika etanolde temizlenmiş ve yüzeyler oda sıcaklığında basınçlı hava ile kurutulmuştur. Sonrasında numuneye uygulanan işlemler ve numune isimlendirilmesi Tablo 2'de verilmiştir.

Kumlama işlemlerinde 400 ± 50 μ m Al_2O_3 kumlama kumu kullanılmış, kumlama işlemleri 20 mm mesafeden 0,6 MPa basınçta laboratuvar tipi kumlama cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında farklı tipte yüzey işlemleri yapıldıktan sonra tüm

numunelere aynı koşullarda kaplama işlemleri uygulanmıştır. Numune üretim aşamaları şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Ta₂O₅ kaplama, Fiziksel Buhar Biriktirme Radyo Frekanslı Püskürtme Sistemi (PVD-RF Püskürtme) ve %99,99 saf Ta₂O₅ hedefi kullanılarak yüzeyde biriktirilmiştir. Kaplama işleminden önce sıçratma tankı içi, altlık, hedef tutucu ve kapaklar aseton ile temizlenmiştir. Hedef ile numune arasındaki mesafe 100 mm olacak şekilde ayarlanmış ve hazne kapatılmıştır. $0,7 \times 10^{-3}$ Pa taban basıncı tanka pompalanmıştır. Ardından hazneye 3,3 SCCM ile inert Ar gazı gönderilmiş ve RF güç kaynağı 200 W olacak şekilde ayarlanmıştır. Püskürtme işlemi başlatıldığında basınç $1 \pm 0,2 \times 10^{-3}$ Pa olarak gözlemlenmiş ve kaplama kalınlıklarının homojen olması için, altlık tutucu kaplama süresi boyunca 2 m/dk'lık sabit bir hızda döndürülmüştür.

Kaplanmış numunelerin ve aşınma izlerinin yüzey morfolojileri, Gazi Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan Jeol JSM 6060LV Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak 5 kV ve 10 kV voltaj aralığında 100X ve 1000X büyütmelemlerde alınmıştır. Kesitlerde kaplama kalınlığı ölçümleri ve hat EDS analizleri taramalı elektron mikroskobu ve cihaza bağlı elektron dağılım spektroskopisi (EDS) ile yapılmıştır. EDS taramaları

yapılırken ivme gerilimi 10 kV olarak belirlenmiş ve analizler 2000X büyütmede gerçekleştirilmiştir. Aşınma testi sonrasında gerçekleştirilen SEM analizleri ise 100X büyütmede ve 10 kV hızlandırma gerilimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin faz analizi, 10-90° 2θ tarama aralığında CuKα (α=1,5418) radyasyonu ile çalışan Bruker D8 Advance model x-ışını kırınımı (XRD) cihazı kullanılarak yapılmıştır. Ölçümler, 0,01 °/s'lik bir adım boyutu ile 40 mA akım ve 40 V gerilim kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

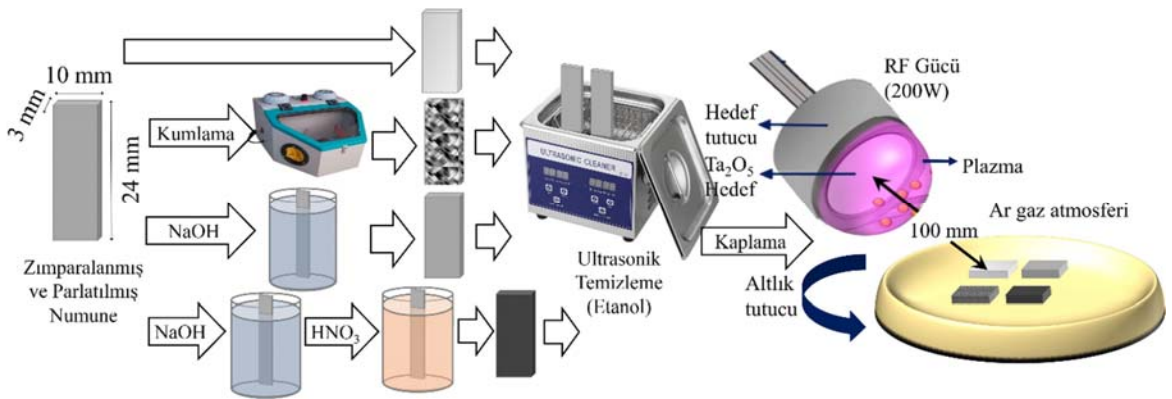
Aşınma testleri Manisa Celal Bayar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde CSM Instruments disk üzerinde bilye aşınma test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında kuru kayma koşullarında karşı eleman olarak 6 mm çapında Al₂O₃ bilye kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde RF sıçratma yöntemi ile uygulanan TaN kaplamalarda 2 N yük, 6 mm çapında bilye kullanılarak 3 mm yarıçaplı 200 m kayma mesafesinde uygulanmıştır [38]. TamO_n kaplamalar yapılan başka bir çalışmada ise 6 mm aşındırıcı bilye kullanılarak 180 m mesafede ball-on disk aşınma testleri gerçekleştirilmiştir [39]. Literatürdeki çalışmalar incelenerek, yapılan deneylerde kayma hızı 10 cm/s olarak

Tablo 1. AA7075 altlıklara ait kimyasal bileşim (Chemical composition of AA7075 substrates)

Element	Zn	Mg	Cu	Mn	Fe	Si	Al
Ağırlıkça %	5,6	2,5	1,5	0,04	0,3	0,08	Kalan

Tablo 2. Numune isimlendirilmesi ve numunelere uygulanan işlemler (Sample nomenclature and procedures applied to samples)

Numune Kodu	Numuneye uygulanan işlem
P	Kaplanmamış sadece parlatılmış
K	Kaplanmamış sadece kumlanmış
N	50°C'de %5 NaOH çözeltisinde 3 dakika bekletilmiş
NH	50°C'de %5 NaOH çözeltisinde 3 dakika bekletilmiş, yıkandıktan sonra %50 HNO ₃ çözeltisinde oda sıcaklığında 1 dakika bekletilmiş
PK	Parlatılmış ve kaplanmış
KK	Kumlanmış ve kaplanmış
NK	50°C'de %5 NaOH çözeltisinde 3 dakika bekletilmiş ve kaplanmış (Alkali işlem görmüş numune)
NHK	50°C'de %5 NaOH çözeltisinde 3 dakika bekletilmiş, yıkandıktan sonra %50 HNO ₃ çözeltisinde oda sıcaklığında 1 dakika bekletilmiş ve sonrasında kaplanmış (Alkali-Asit işlemi görmüş numune)

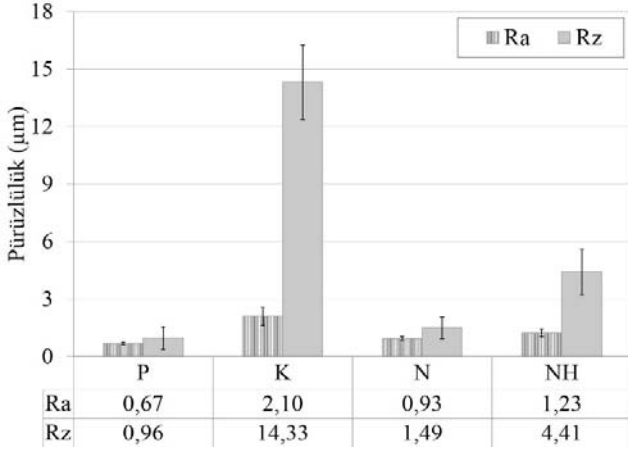


Şekil 1. Numune üretim aşamalarının şematik gösterimi (Schematic representation of sample production steps)

belirlenmiş, 2 N yük altında 2,5 mm yarıçaplı 100 metre kayma mesafesi ayarlanmıştır. Aşınmış yüzeyler taramalı elektron mikroskobu yardımı ile incelenmiştir. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan SurfTest SJ 410 yüzey profilometresi kullanılarak aşınma iz genişlikleri ölçülmüş ve hacim kayıpları hesaplanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Yapılan çalışmada parlatılmış, kumlanmış, alkali ve alkali-asit işlemleri uygulanmış numune yüzeyleri amorf Ta₂O₅ tabakaları ile kaplanmış ve kaplama sonrası aşınma davranışlarındaki değişim incelenmiştir. Kaplama işlemi uygulanmadan önce numunelerin yüzey pürüzlülükleri ölçülerek, numune pürüzlülük değerlerinin aşınma dayanımına etkisi de tartışılmıştır. Ölçülen Ra ve Rz pürüzlülük değerleri ve standart sapma değerleri Şekil 2’de verilmiştir. Değerler incelendiğinde K numunesi, diğer numunelere göre en yüksek pürüzlülüğe sahip numunedir. NH numunesi ise K numunesinden sonra en fazla pürüzlülüğe sahip numunedir. Alkali ve asit işlemlerinin yüzeyde oluşturduğu poroziteler nedeni ile numune yüzeyindeki pürüzlülük artmıştır. P ve N numuneleri pürüzlülükleri birbirine yakın değerlerde olup, N numunesinin pürüzlülüğü bir miktar daha fazla ölçülmüştür. Asit kullanılarak yüzey pürüzlendirme işlemi gerçekleştirilen Yurddaşkal ve Durmuş’un [33] çalışmalarında da uygulanan asit işleminin enerjisi yüksek ikincil fazları çözdüğü ve poroz bir yüzey eldesinin sağlandığı vurgulanmıştır. Benzer durum 7075 alüminyum alaşımlarının asit ile etkileşiminde de gözlemlenmiş olup asit etkisi ile pürüzlülük artmıştır.



Şekil 2. Kaplama öncesi numune pürüzlülükleri (Sample roughnesses before coating)

Aşınma testleri öncesi yüzey morfolojisinin incelenmesi için Şekil 3’te SEM görüntüleri ve Tablo 3’te Şekil 3’teki yüzeylerden alınan genel EDS analizleri sonuçları verilmiştir. Yüzeyden alınan bu görüntülerde, parlatılmış alüminyum alaşımı üzerinde bazı porozitelerin ve kirliliklerin mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Benzer şekilde kumlanmış K numunesi yüzeyinde de bazı noktalarda poroziteler mevcuttur. K numunesinde ayrıca kumlama işlemi etkisi ile yüzeyde bazı çatlakların söz konusu olduğu görülmüştür. Kumlama işlemleri kaplama işlemleri öncesi yüzeyi pürüzlendirmek ve özellikle termal sprey kaplamalarda kaplamaların yüzeye tutunabilirliğini arttırmak ve arayüzeyler ile kaplama tabakaları arasındaki temasın daha kuvvetli olması amacıyla gerçekleştirilmektedir [40]. Kaplama işleminin sonrasında alınan Şekil 3c-Şekil 3f görsellerinde ise PK, KK, NK ve NHK yüzeylere ait görüntüler mevcuttur. Kaplanmış yüzeylerin tamamında genel bir homojenlik sağlandığı söylenebilir. PK numunesinde P numunesine benzer şekilde kaplama sonrası da yüzeyde mevcut olan bazı

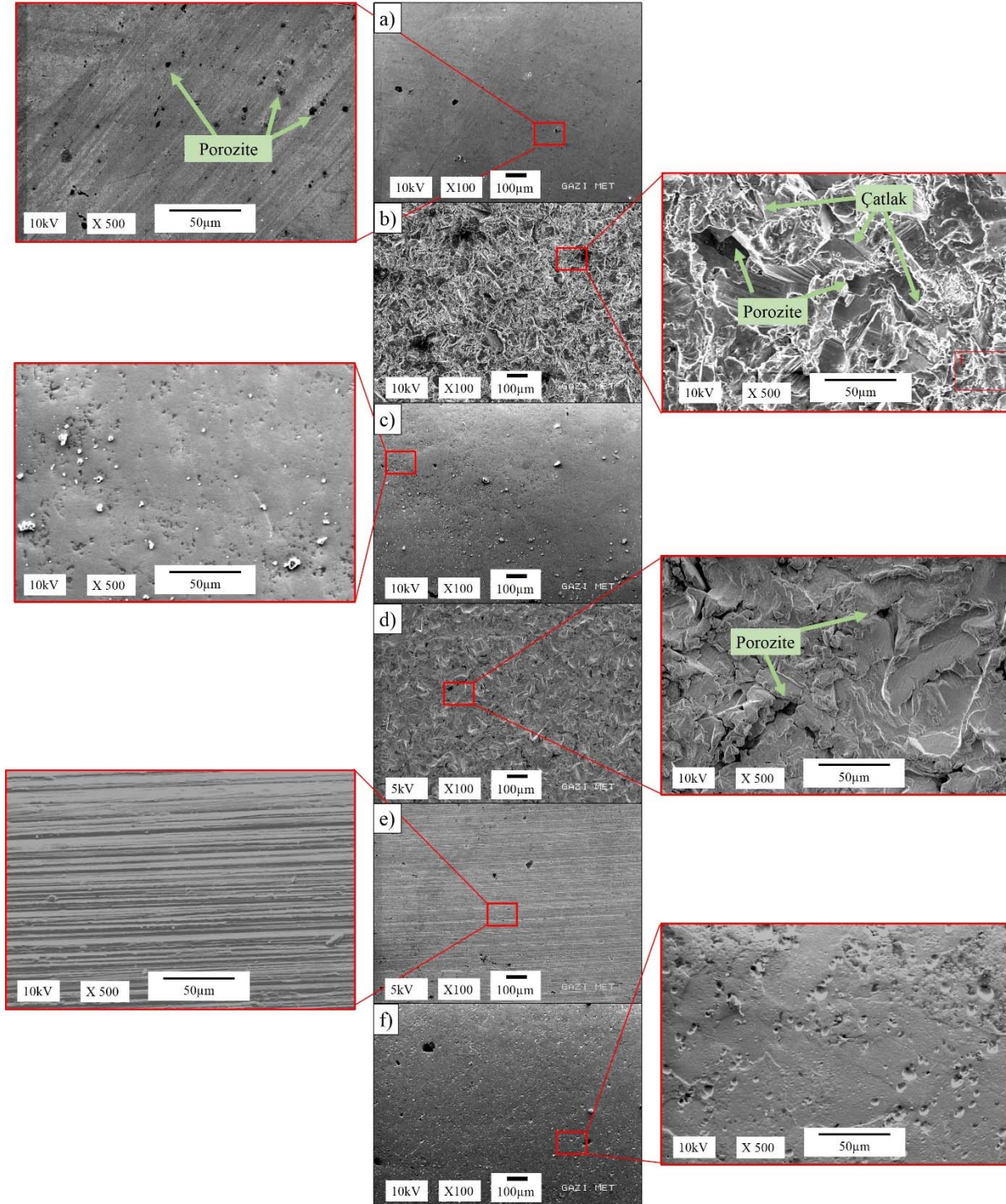
porozitelerden bahsedilebilir. Fakat bu porozitelerin büyük bir çoğunluğu uygulanan kaplama işlemi sonrası kapanmıştır. Benzer durum KK numunesi ve K numunesi arasında da mevcuttur. NK numunesi yüzeydeki oksit tabakasının kırılması için alkali işlem uygulanan numune olup, parlatma sonrası oluşan ve homojen bir şekilde tüm numune yüzeyine dağılmış çizgili bu çizgili yapının sebebi numune yüzeyine etki eden alkali işlemidir. Oluşan bu yapı çentikli yapı olarak da adlandırılmakta olup alkali ön işlem sonrası farklı çalışmalarda gözlemlenmiştir. Abouarkoub vd. [41], AA6111 alaşımlarına alkali işlem uygulanmış ve işlem sonrası yapıdaki çökeltilerin uzaklaşması nedeni ile boşlukların oluştuğu ve bu çentikli yapıların meydana geldiğini vurgulamıştır. AA6111 alaşımında ana ikinci fazlar α -Al(Fe, Mn, Cu, Cr)_xSiY intermetalik parçacıklar ve Q-(Al-Mg-Si-Cu) yaşlanma çökeltileri ailesidir. Sodyum hidroksit çözeltisinde alüminyum alaşımlarındaki çeşitli intermetalik parçacıkların çözünme hızları üzerine yapılan çalışmalara göre [42-44], silisyum içeren, α -intermetalik parçacıkların ve Q-yaşlanma çökeltilerinin çözünme hızı alaşım matrisi ile karşılaştırıldığında düşüktür. Ayrıca, magnezyum içeren çökeltilerin, sodyum hidroksit çözeltilerinde çözünme hızı, magnezyum hidroksit "Mg(OH)₂"nin alkali ortamlardaki çözünürlüğünün daha düşük olması nedeniyle daha da düşürülebilir. Al₂CuMg "S" ve Mg₂Si "β" fazları gibi magnezyum içeren yaşlanma fazları ise sodyum hidroksit çözeltilerinde stabildir. Benzer durum Hu vd.’nin [45] alüminyum alaşımları üzerinde yaptıkları alkali ön işleminde de rapor edilmiştir. Literatürde de rastlanan bu durumun temel sebebi olarak fazların farklı çözünme hızları ve bu hızların farklılaşması nedeni ile yapıda çentikli görünüm oluşması ile açıklanabilir.

NHK numunesi ise NK numunesine uygulanan alkali işlem sonrasında asit ile dağlama işlemine tabi tutulmuştur. Bu durum yüzeyde meydana gelen reaksiyonlar neticesinde alüminyum bünyesinde bulunan intermetalikleri ve fazları ortaya çıkartmıştır. NHK numunesinde uygulanan asit işlemi neticesinde kaplama sonrası daha fazla porozite gözlemlenmiştir. EDS analiz sonuçları incelendiğinde, kaplanmamış yüzeylerde altlık alaşıma ait elementler gözlemlenirken, kaplanmış tüm yüzeylerde tantal ve oksijen element pikleri gözlemlenmiştir. Kaplanmış yüzeylerde altlık malzemeye ait element piklerinin gözlemlenmemesi yüzeyin kaplama tabakası ile tamamen örtüldüğünün bir göstergesidir.

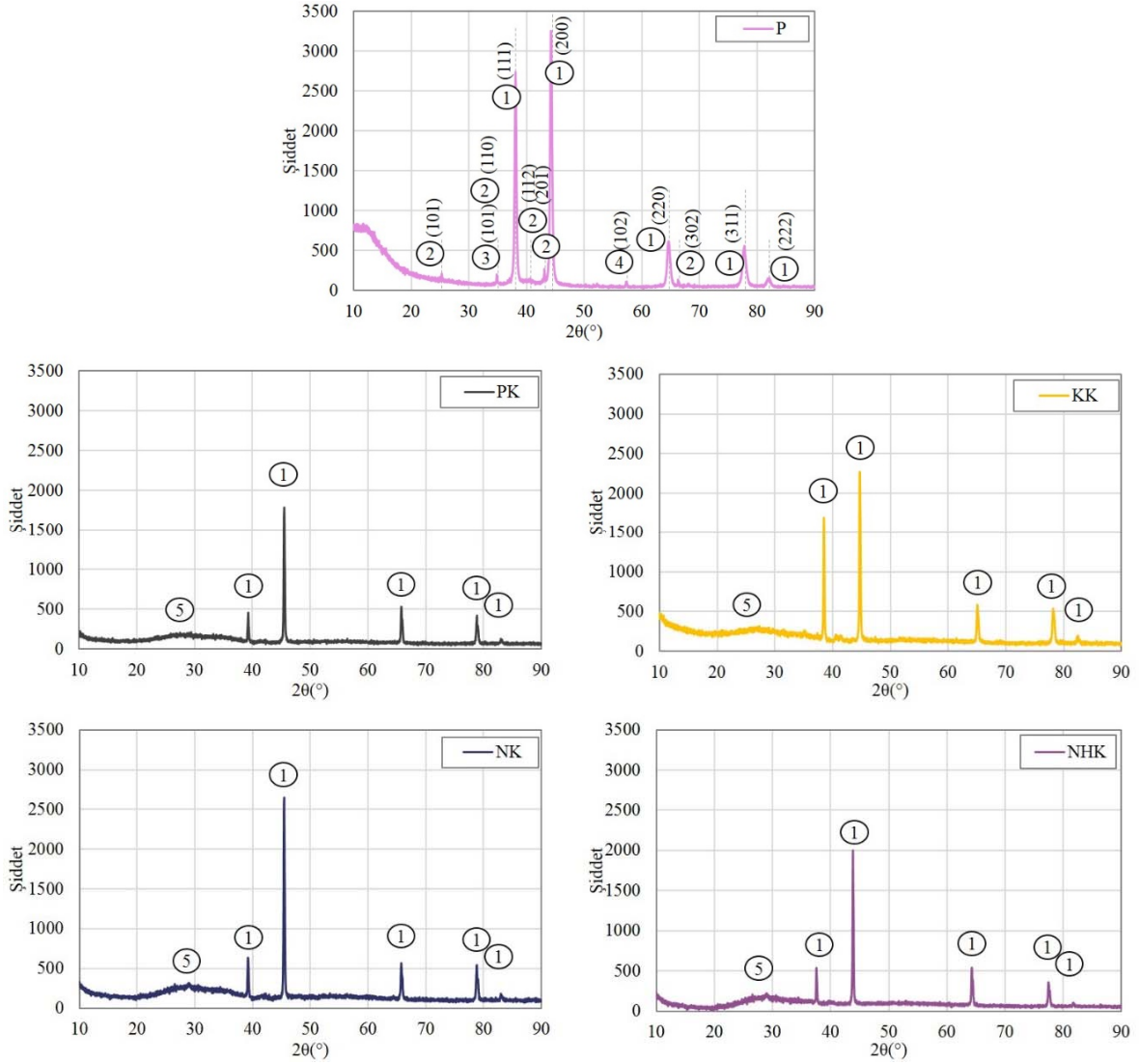
XRD analizleri sonrası çizilen grafikler Şekil 4’te verilmiştir. 1, 2, 3 ve 4 numaralı pikler, sırası ile Al, MgZn₂, ZnO, Al₇Cu₂Fe pikleri ile eşleşmekte olup, Soares vd. [46], Bayazid vd. [47] ve Wang vd.’nin [48] çalışmalarında da gözlemlenen AA7075 alaşımları ile örtülen piklerdir. Ta₂O₅’in, 400°C sıcaklığın altında amorf yapıya sahip olup tamamen kristalize olduğu sıcaklık 700°C’dir [29]. Kaplama işlemi sırasında altlık üzerinde oluşan sıcaklık bu faz dönüşümü için yeterli değildir. Düşük sıcaklık nedeni ile kaplama tabakasını oluşturan atomların hareket hızları da düşüktür ve bu nedenle kristal yapıyı düzenleyemezler [49, 50]. Çalışmada altlık ısıtılmadığı veya tavlama yapılmadığı için amorf Ta₂O₅ elde edildiği görülmüştür. Elde edilen amorf yapı karakteristiği 5 numara ile grafiklerde gösterilmiş olup 20°-40° arası 2θ değerinde gözlemlenen kambur yapısı amorf kaplama tabakasına aittir. Chen vd. [49], RF sıçratma yöntemi ile farklı püskürtme güçleri kullanarak yüzeyde biriktirdikleri Ta₂O₅ katmanlarını analiz etmiş ve XRD analizinde 90, 110 ve 130 W pikleri karşılaştırmıştır. Güç artışı ile hafif bir değişim olduğunu ve piklerin kristale yaklaştığını ancak tüm piklerin amorf bir şekilde gözlemlendiğini vurgulamıştır. Kaplamanın kristal durumu genellikle sıcaklık, voltaj ve akım gibi biriktirme parametreleriyle ilgilidir. Bright vd. [51] ise magnetron sıçratma ile hazırlanan Ta₂O₅ kaplamanın yaklaşık 800°C’de ısıtıldığında kristalleştiğini bildirmiştir. Jimmy Wu vd. [52], 230W güç kullanarak RF sıçratma ile kaplanmış Ta₂O₅ tabakalarının biriktirme ve tavlama işlemlerinden sonra kristal yapılarını araştırmışlardır.

Tablo 3. Şekil 3'te verilen numune yüzeylerinden alınan genel EDS analiz sonuçları
(General EDS analysis results from the sample surfaces given in Figure 3)

	a (P)	b (K)	c(PK)	d (KK)	e (NK)	f (NHK)
Al	99,88	96,27	0,01	0,03	0,00	0,00
O	0,12	3,73	2,08	6,08	0,03	0,03
Ta	0,00	0,00	97,91	93,89	99,97	99,97



Şekil 3. Numune yüzeylerinden alınan SEM görüntüleri a) P, b)K, c) PK, d) KK, e)NK, f) NHK
(SEM images taken from sample surfaces a) P, b)K, c) PK, d)KK, e)NK, f) NHK)

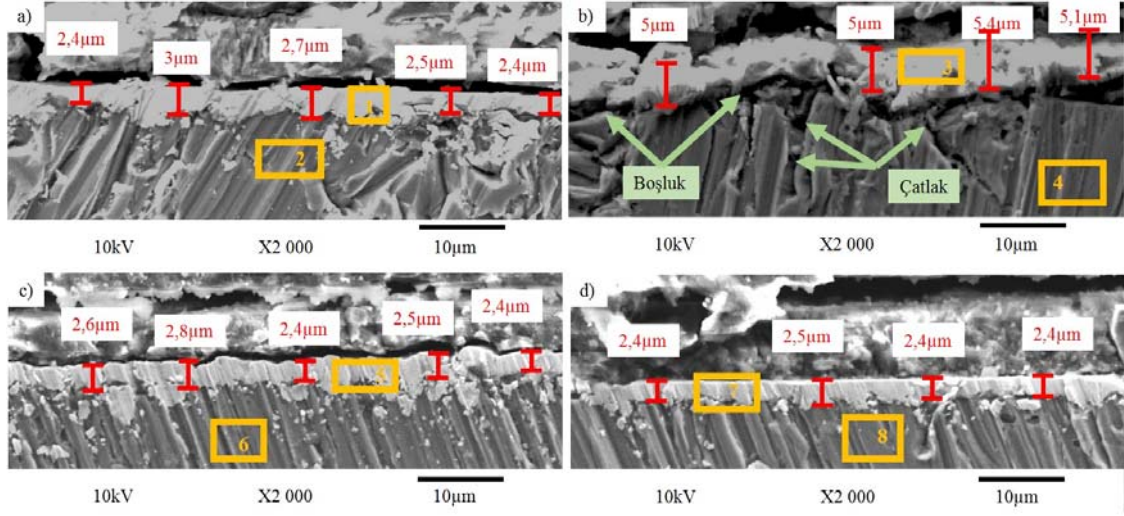


Şekil 4. Numunelerin XRD grafikleri (1:Al, 2:MgZn₂, 3:ZnO, 4:Al₇Cu₂Fe, 5:Ta₂O₅)
XRD plots of samples (1:Al, 2:MgZn₂, 3:ZnO, 4:Al₇Cu₂Fe, 5:Ta₂O₅)

Biriktirmeden sonra amorf halde elde edilen yapının 700°C'den sonra kristal yapıya dönmeye başladığını ve 800°C'den sonra tamamen kristal bir yapıya (ICDD kart no: 25-0922) sahip olduklarını belirtmiştir. Dolayısıyla kaplama sonrası herhangi bir işlem uygulanmayan kaplama tabakalarında ortaya çıkan amorf yapı beklenen bir yapıdır. Numunelerin kesit görüntüleri Şekil 5'te verilmiş olup kaplama kalınlıkları numuneler enine kesilerek kesitlerden ölçülmüştür. Kumlanmış (KK) numune yüzeyindeki kaplama kalınlığı $\cong 5\mu\text{m}$ iken PK, NK ve NHK numunelerinde kaplama kalınlıkları $\cong 2,5\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Kumlama işleminin yüzeyi pürüzlü fakat homojen hale getirmesi sonucu altlık-arayüzey bağlanmasını teşvik ederek homojen bir kaplama sağladığı farklı çalışmalarda da rapor edilmiştir [53-55]. Altlıkla kaplama tabakası arasındaki bağlanmaya da bağlı olarak kaplama kalınlıkları farklılık göstermiş olabilir. Kaplama kalınlıkları farklı olsa da PK, NK ve NHK numunelerin kesit görüntüleri için kaplamaların çatlaksız, boşluksuz ve homojen bir şekilde elde edildiği söylenebilir. KK numunesi ise kumlanmanın etkisi ile yüzeyinde çatlamlar oluşan numunede, çatlakların dikey bir şekilde mevcut olduğu ve çatlaklı bu yapıların ara yüzeyde de bir miktar boşluğa neden olduğu gözlemlenmiştir. Kaplama kalınlıkları tüm yüzeyde neredeyse aynı olup ara yüzey ile

kaplama tabakası arasında boşluk tespit edilmemiştir. Tablo 4, Şekil 5 üzerinde alınan bölgesel EDS analiz sonuçlarını göstermektedir. Tablodan okunan değerlerden de anlaşılacağı gibi, 1, 3 ve 5 numaralı noktalar kaplama tabakasını gösterirken, 2, 4 ve 6 numaralı noktalar altlık alaşımına aittir. Numunelerin aşınma profillerini gösteren aşınma izi grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Grafikler iki farklı noktadan alınan ölçümler ile oluşturulmuş ve toplam ortalama hacim kayıplarının hesaplanmasında 4 farklı noktadan yapılan ölçümlerin ortalaması kullanılmıştır. Genel profiller değerlendirildiğinde P ve PK numunelerinde hem derin hem de geniş bir aşınma profili mevcuttur. K numunesinde ise bazı noktalarda derinleşen, P numunesine göre daha sığ bir profil gözlemlenmektedir. Kaplama sonrası K numunesi için derin izlerin azaldığı ve aşınmanın daha homojen gerçekleştiği söylenebilir. KK, NK ve NHK numuneleri aşınmanın en az derinlik ve mesafeye yayıldığı numunelerdir. NK numunesinde dar bir aşınma izi ve bir alanda yoğunlaşmış bir aşınma gözlemlenmiştir.

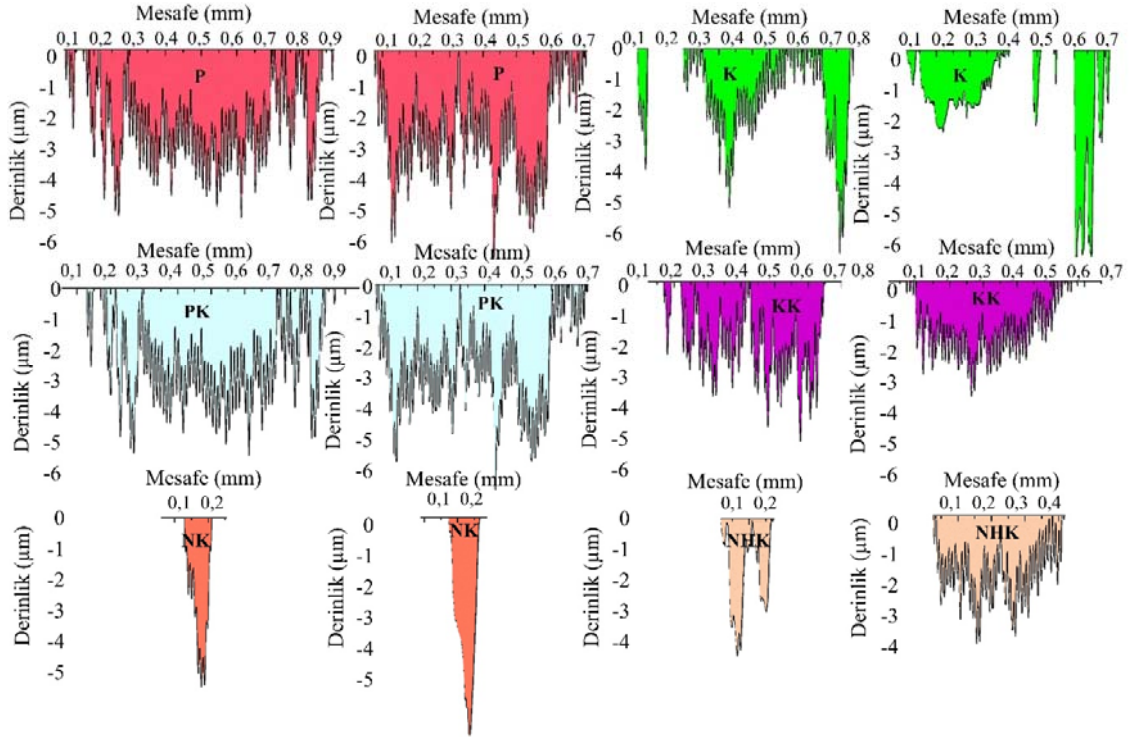
Aşınma izlerinin daha iyi gözlemlenebilmesi ve morfolojik incelemelerle desteklenmesi için Şekil 7'deki SEM görüntüleri verilmiştir. Aşınma izlerinde de görüldüğü gibi kaplanmamış P ve K numunelerinde aşınma birikintilerinin tekrar yapılaşması ve aşınması



Şekil 5. Dikey kesitten alınan SEM görüntüleri ve kaplama kalınlıkları a) PK, b)KK, c)NK, d) NHK (SEM images taken from the cross-section and coating thicknesses a) PK, b)KK, c)NK, d) NHK)

Tablo 4. Numunelerin kaplama ve altlık bölgelerinden alınan EDS analiz sonuçları (EDS analysis results from the coating and substrate regions of the samples)

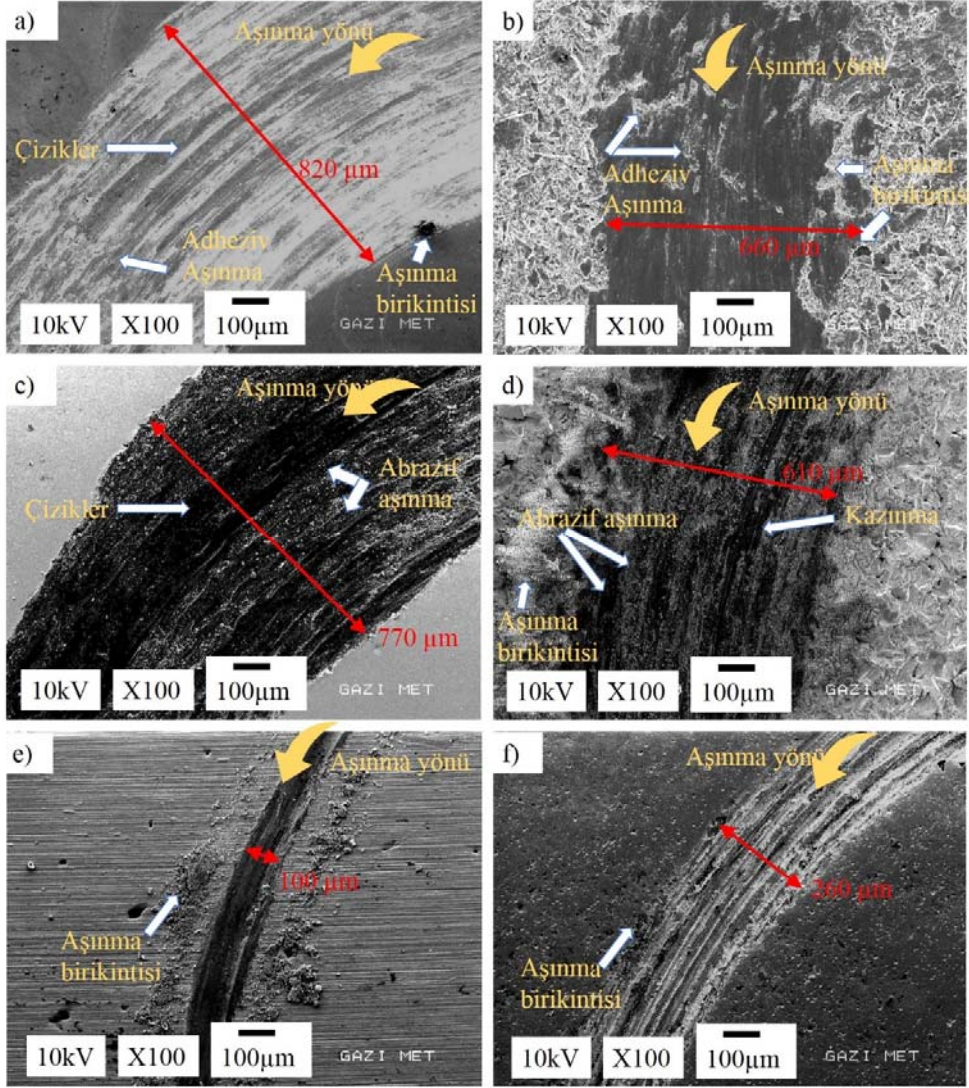
	1	2	3	4	5	6	7	8
Al	0,00	99,44	0,00	98,25	0,00	97,71	0,00	96,78
O	0,04	0,55	1,27	0,00	0,03	0,00	0,02	1,88
Mg	0,00	0,01	0,00	1,75	0,00	2,29	0,00	1,34
Ta	99,96	0,00	98,73	0,00	99,97	0,00	99,98	0,00



Şekil 6. Aşınma izi grafikleri (Wear track graphics)

şeklinde gözlemlenen adehezif aşınma karakteristiğine ait belirtiler mevcuttur. PK ve KK numunelerinde ise çizik ve kazımlar ön

planda olup etrafa yayılan aşınma birikintileri abrasif bir aşınma gözlemlendiğinin bir göstergesidir. Bu durum oksitli Ta₂O₅

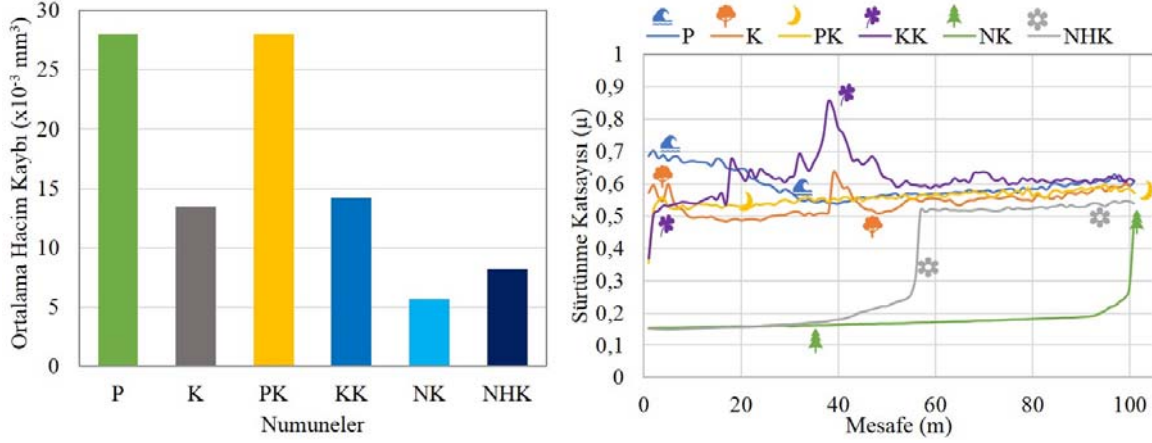


Şekil 7. Aşınma sonrası yüzeylerin SEM görüntüleri a) P, b) K, c) PK, d) KK, e) NK, f) NHK (SEM images of post-wear surfaces a) P, b) K, c) PK, d) KK, e) NK, f) NHK)

tabakasının abrazif karakteristiği nedeni ile ortaya çıkmaktadır. Seramik yapıdaki malzemelerin oda sıcaklığında metal esaslı malzemelere göre adheziv eğiliminin daha düşük olduğu bilinmektedir [56]. Yang vd. [38], çelik yüzeyler üzerine RF sıçratma yöntemi ile farklı güç uygulanarak kaplanan TaN tabakalarının aşınma dayanımı incelenmiştir. Çalışma sonucunda benzer parametreler uygulanarak gerçekleştirilen aşınma testleri sonrası iz genişlikleri 830 µm-170 µm ölçülmüştür. Gerçekleştirilen çalışmada ise aşınma iz genişlikleri P ve K numunesinde sırasıyla 820 µm ve 660 µm olarak gözlemlenirken PK ve KK numunelerinde 770 µm ve 610 µm şeklinde gözlemlenmiştir. Kaplamanın etkisi ile aşınma dayanımının arttığı ve yüzey işlemlerinin aşınma dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiştir. En büyük etki NK ve NHK numunelerinde gözlemlenmiştir. NK numunesinde aşınma izi 100 µm ve NHK numunesinde ise 260 µm olarak ölçülmüştür. Aşınmanın ise yine abrazif karakterde olduğu söylenebilir.

Kaplanmış ve kaplanmamış numunelerin hacim kayıpları arasındaki farklılık diğer numuneler ile karşılaştırıldığında daha az miktarda olduğu görülmüştür. Bunun sebebi şu şekilde açıklanabilir; adheziv aşınma karakteristiğine sahip numune, kaplama sonrası abrazif

aşınma karakteristiği sergilemektedir ve bu nedenle parçaların yüzeyden kopmasına ve yerlerinde boşluk bırakmasına neden olmuştur. Bu da ortalama hacim kaybı grafiğinde parlatılmış ve kumlanmış numune de ya değerinde değişim olmaması ya da hacim kaybında küçük bir artış şeklinde gözlemlenmiştir. Bu durumda kumlama işleminin termal spre yöntemlerinin aksine RF sıçratma yönteminde ara yüzey yapışmasını azaltması ve aşınma dayanımını yeteri kadar arttırmaması sebepleri ile yeteri kadar etkili bir yüzey işlemi olmadığı söylenebilir. Bu konuda literatürde mevcut çalışmalar oldukça çelişkilidir. Zhao vd. [57], kumlama işleminin RF sıçratma yöntemi öncesi uygulanması durumunda bağlanma mukavemetini arttırdığını vurgulamıştır. Fakat bu konuda kumlamanın rolünün önemsiz olduğunu [58] ve hatta fazla pürüzlü yüzeyler için biriktirme verimi üzerinde olumsuz etkisinin olduğunu vurgulayan çalışmalar da mevcuttur [59]. Ding vd. [39], yaptıkları çalışmada Ti6Al4V alaşımları üzerine RF sıçratma yöntemi ile Ta_mO_n kaplamalar gerçekleştirmiş ve aşınma dayanımlarını incelemiştir. Aşınma testleri sonucunda 52x10⁻³ mm³ hacim kaybına sahip titanyum alaşım yüzeyleri kaplama uygulamasından sonra 8 x10⁻³ mm³ ve hatta 4 x10⁻³ mm³ değerine kadar hacim kaybı düşürülerek geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda tek oksitli katman uygulamak yerine metal içeriği



Şekil 8. Ortalama hacim kaybı ve sürtünme katsayısı grafikleri
(Average volume loss and coefficient of friction graphs)

yüksek bir ara katmanla birlikte kaplama tabakasının uygulanmasının arayüz uyumunu arttırdığı ve aşınma dayanımı üzerinde olumlu etkisinin olduğunu vurgulamıştır. Alkali ve alkali-asit işlemleri incelendiğinde, parlatılmış yüzeylerin kaplama sonrası aşınma dayanımlarının artırılmasında büyük bir faydasının olduğu ve ortalama hacim kayıplarının %69-77 oranında azaldığı görülmüştür. Asit ve alkali-asit işlemlerinin yüzeyin kimyasal yapısını değiştirmesi ve yüzeydeki porozite miktarının artmasını sağlaması sebepleri ile kaplama tabakalarının altlığı tutunabilirliğini arttırdığı ve arayüzey bağlanmasını kuvvetlendirebildiği bilinmektedir [34]. Benzer sonuç RF sıçratma yöntemi uygulanarak ZnO kaplama öncesi asit ile pürüzlendirme işlemi yapılan Li vd.'nin [60] çalışmalarında da tespit edilmiştir. RF sıçratma öncesi asit ve alkali işlemleri yüzeyi kimyasal ve fiziksel olarak hazırlamakta ve altlık-kaplama arasındaki etkileşimi kuvvetlendirmektedir [34, 60]. Buna paralel olacak şekilde sürtünme katsayısı grafikleri incelendiğinde (Şekil 8), P, K ve PK numunelerinin sürtünme katsayısı (μ), 0,5-0,7 aralığında seyredirken KK numunesinde abrazyonun etkisi ile değer yaklaşık 0,9'a kadar artmış ve sonra kaplama tabakasının aşınmasının ardından azalarak normal seyrine dönmüştür. Aşınma sonrası hacim kaybının minimum gözlemlendiği NK ve NHK numunelerinde ise, 40 metre aşınma mesafesi boyunca sürtünme katsayısının 0,15 değerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki numune arasında aşınma kaybının daha fazla olduğu NHK numunesinde 40 metre kayma mesafesinden sonra artmaya başlayan sürtünme katsayısının 55 metre mesafe sonrasında 0,5 değerine geldiği ve burada sabit kaldığı gözlemlenmiştir. NK numunesinde ise 90 metre aşınma mesafesine kadar sürtünme katsayısı değeri 0,1-0,2 aralığında seyretmiş ve deneylerin sonlandırıldığı aşınma mesafesi sonunda bile diğer numunelerden daha aşağıda bir değer sergilemiştir. Dolayısıyla Şekil 8'de verilen aşınma deneylerine ait grafikler incelendiğinde en az aşınmanın gözlemlendiği ve minimum sürtünme katsayısının elde edildiği numunenin NK numunesi olduğu söylenebilir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Yapılan çalışmada, parlatılmış, kumlanmış, alkali ve alkali-asit işlemleri uygulanmış numune yüzeyleri amorf Ta₂O₅ tabakaları ile RF sıçratma yöntemi kullanılarak kaplanmış ve kaplama sonrası aşınma davranışlarındaki değişim incelenmiştir.

Kaplama işlemleri sonrası yüzeylerde homojen boşluksuz ve çatlaksız kaplama tabakaları elde edilmiş ve kaplama kalınlıkları $\approx 2,5\text{-}5\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Elde edilen kaplama tabakası amorf yapıya

sahiptir ve kristal oluşumu henüz gerçekleşmemiştir. Numunelerin aşınma davranışları incelendiğinde elde edilen bulgular ise şu şekildedir:

- Parlatma ve kumlama işlemleri sonrasında kaplanmış numuneler, kaplama işlemi öncesi adhezif aşınma davranışlarından farklı olarak abrazyon karakteristik bir aşınma sergilemiştir.
- Alkali ve alkali-asit işlemleri sonrasında kaplanan numunelerde yapılan taramalı elektron mikroskop incelemeleri aşınma karakteristiklerini ve morfolojileri doğrulamış, aşınma sonrası hacim kayıpları, genel aşınma iz profilleri ve sürtünme katsayısı grafikleri değerlendirildiğinde, aşınma dayanımlarının artmış ve ortalama hacim kayıplarının %69-77 oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir.
- En az ortalama hacim kaybı ve en kısa aşınma iz derinliği alkali ve alkali-asit işlemi sonrasında kaplanmış numunelerde gerçekleşmiş olup, sürtünme katsayısı da bu numunelerde minimum değerlerde gözlemlenmiştir. Asit ve alkali asit işlemlerinin RF sıçratma yöntemi öncesi uygulanması durumunda aşınma dayanımına olumlu etkileri mevcuttur.

Kaynaklar (References)

1. Yağcı T., Cöcen Ü., Çulha O., Korkmaz A., Alüminyum Döküm Alaşımına Dair Son Yıllardaki Akademik Ve Endüstriyel Gelişmelere Genel Bakış Ve Değerlendirme, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26 (3), 1191-1210, 2021.
2. Pul M., Özerkan H.B., The effect of cutting depth and cutting tool geometry on surface roughness and tool wear behavior in the machining of Al 6061 alloy, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37 (4), 2013-2024, 2022.
3. Nguyen C.L., Preston A., Tran A.T.T., Dickinson M., Metson J.B., Adhesion enhancement of titanium nitride coating on aluminum casting alloy by intrinsic microstructures, Applied Surface Science, 377, 174-179, 2016.
4. Durmuş H., Gül C., Çömez N., Uzun R.O., From Metal Chips to Composite: Effect of age-hardening on mechanical and wear properties of Al₂O₃ reinforced AA7075 composites, Science of Sintering, 52, 177-186, 2020.
5. Dwivedi P., Siddiquee A.N., Maheshwari S., Issues and Requirements for Aluminum Alloys Used in Aircraft Components: State of the Art, Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 62, 212-225, 2021.
6. Chandradass J., Thiruganasambandham T., Jawahar P., Kannan T.T.M., Effect of silicon carbide and silicon carbide/alumina reinforced aluminum alloy (AA6061) metal matrix composite, Materials Today: Proceedings, 45 (7), 7147-7150, 2021.

7. Abolhasani A., Zarei-Hanzaki A., Abedi H.R., Rokni M.R., The room temperature mechanical properties of hot rolled 7075 aluminum alloy, *Materials and Design*, 34, 631-636, 2012.
8. Kılıç S., Kacar İ., Öztürk F., New trend in aerospace industry: Al-Li based alloys, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 275-296, 2019.
9. Hekimoğlu A.P., Turan Y.E., İsmailoğlu İ.İ., Akyol M.E., Şen E., Effect of grain refinement with boron on the microstructure and mechanical properties of Al-30Zn alloy, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 34 (1), 523-534, 2019.
10. Demirel M.Y., Karaağaç İ., 7075-T6 Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Tavlama İşleminin Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 2 3(2), 283-289, 2020.
11. Dobrzański L.A., Włodarczyk A., Adamiak M., Structure, properties and corrosion resistance of PM composite materials based on EN AW-2124 aluminum alloy reinforced with the Al₂O₃ ceramic particles, *Journal of Materials Processing Technology*, 162-163, 27-32, 2005.
12. Karacı K., Hardness and corrosion properties of functionally graded AA5083/Al₂O₃ composites produced by powder metallurgy method, *International Journal of Materials Research*, 111 (9), 719-725, 2020.
13. Uzun A., Asikuzun E., Gokmen U., Cincin H., Vickers Microhardness Studies on B4C Reinforced/Unreinforced Foamable Aluminium Composites, *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 71, 327-337, 2018.
14. Shanbhag V.V., Yalamoori N.N., Karthikeyan S., Ramanujam R., Venkatesan K., Fabrication, surface morphology and corrosion investigation of Al 7075-Al₂O₃ matrix composite in sea water and industrial environment, *Procedia Engineering*, 97, 607-613, 2014.
15. Devaneyan S.P., Pushpanathan D.P., Senthilvelan T., Ganesh R., Enhanced corrosion and wear behavior of nano titanium carbide reinforced polyurethane PMC coating on aluminium 7075, *Materials Today: Proceedings*, 5 (5), Part 2, 11491-11497, 2018.
16. Zhang Z.H., Liu S.F., Sun Z.M., Yan X.D., Evaluation on Microstructure of Aluminum Alloys Dedicated to Plasma Etcher, *Materials Science Forum*, 689, 343-349, 2011.
17. Kehal A., Saoula N., Abaidia S.E.-H., Nouveau C., Effect of Ar/N₂ flow ratio on the microstructure and mechanical properties of Ti-Cr-N coatings deposited by DC magnetron sputtering on AISI D2 tool steels, *Surface and Coatings Technology*, 421, 127444, 2021.
18. Poolcharuansin P., Chingsungnoen A., Passaja N., Horprathum M., Bradley J.W., Measurement of negative ion fluxes during DC reactive magnetron sputtering of Ti in Ar/O₂ atmosphere using a magnetic-filtering probe, *Vacuum*, 194, 110549, 2021.
19. Al-Kuhaili M.F., Co-sputtered tantalum-doped tin oxide thin films for transparent conducting applications, *Materials Chemistry and Physics*, 257, 123749, 2021.
20. Zhou D., Huang L., Yuan J., Li C., Influences of different sputtering current on the microstructure and electrical properties of silicon nitride thin films deposited on cemented carbide tools, *Ceramics International*, 47(22), 32160-32167, 2021.
21. Mu J., Wang H., Qin B., Zhang Y., Chen L., Zeng C., Improved wear and corrosion resistance of biological compatible TiZrNb films on biomedical Ti6Al4V substrates by optimizing sputtering power, *Surface and Coatings Technology*, 428, 127866, 2021.
22. Wei B.-J., Cheng Y.-L., Liu Y.-Y., Zhu Z.-D., Cheng Y.-L., Corrosion and wear resistance of AZ31 Mg alloy treated by duplex process of magnetron sputtering and plasma electrolytic oxidation, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 31 (8), 2287-2306, 2021.
23. Sheng L., Xiao Y., Jiao C., Du B., Li Y., Wu Z., Shao L., Influence of layer number on microstructure, mechanical properties and wear behavior of the TiN/Ti multilayer coatings fabricated by high-power magnetron sputtering deposition, *Journal of Manufacturing Processes*, 70, 529-542, 2021.
24. Ma Y., Li L., Qian J., Qu W., Luo R., Wu F., Chen R., Materials and structure engineering by magnetron sputtering for advanced lithium batteries, *Energy Storage Materials*, 39, 203-224, 2021.
25. Zlamal T., Mrkvica I., Szotkowski T., Malotova S., The Influence of Surface Treatment of PVD Coating on Its Quality and Wear Resistant, *Coatings*, 9 (7), 439, 2019.
26. Fernández-Abia A.I., Barreiro J., López de Lacalle L.N., González-Madruga D., Effect of mechanical pre-treatments in the behaviour of nanostructured PVD-coated tools in turning, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73 (5-8), 1119-1132, 2014.
27. Gül C., Albayrak S., Çimici H., Characterization of Tantalum Oxide Sol-Gel-coated AZ91 Mg Alloys, *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 73, 1249-1256, 2020.
28. Wang X., Zeng X., Wu G., Yao S., Lai Y., Effects of tantalum ion implantation on the corrosion behavior of AZ31 magnesium alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 437 (1-2), 87-92, 2007.
29. Bansal N. P., Low-temperature synthesis, pyrolysis and crystallization of tantalum oxide gels, *Journal of Material Science*, 29, 5065-5070, 1994.
30. Ye D., Xu Z., Pan J., Yin C., Hu D., Wu Y., Li R., Li Z., Prediction and Analysis of the Grit Blasting Process on the Corrosion Resistance of Thermal Spray Coatings Using a Hybrid Artificial Neural Network, *Coatings*, 11, 1274, 2021.
31. Sen D., Chavan N.M., Rao D.S., Sundararajan G., Influence of grit blasting on the roughness and the bond strength of detonation sprayed coating, *Journal of Thermal Spray Technology*, 19, 805-815, 2010.
32. Multigner M., Ferreira-Barragans S., Frutos E., Jaafar M., Ibanez J., Marin P., Perez-Prado M.T., Gonzalez-Doncel G., Asenjo A., Gonzalez-Carrasco J.L., Superficial severe plastic deformation of 316 LVM stainless steel through grit blasting: Effects on its microstructure and subsurface mechanical properties, *Surface and Coatings Technology*, 205, 1830-1837, 2010.
33. Yurddaşkal M., Durmuş H., The Effects of Acid Concentration, Etching Temperature and Time on The Surface Morphologies of Ti6Al4V, *European Journal of Technique*, 10 (2), 388-394, 2020.
34. Liu W., Sun L., Luo Y., Wu R., Jiang H., Chen Y., Zeng G., Liu Y., Facile transition from hydrophilicity to superhydrophilicity and superhydrophobicity on aluminum alloy surface by simple acid etching and polymer coating, *Applied Surface Science*, 280, 193-200, 2013.
35. Di C., Yan X., Yang Y., Ye W., Zhao M., Li D., Wear behaviors and high-temperature oxidation resistance properties of tantalum carbide layer, *Ceramics International*, 47 (23), 32766-32774, 2021.
36. Durmuş H., Türkmen M., Çalgülü U., Wear Resistances of X6Cr17 Ferritic Stainless-Steel Surfaces Coated with Al₂O₃ Powders Using Thermal Spray Method, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3), 1167-1173, 2020.
37. Huang H.L., Chang Y.Y., Chen H.J., Chou Y. K., Lai C.H., Chen M.Y.C., Antibacterial properties and cytocompatibility of tantalum oxide coatings with different silver content, *Journal of Vacuum Science & Technology*, A32, 02B117, 2014.
38. Yang Y.H., Chen D.J., Wu F.B., Microstructure, hardness, and wear resistance of sputtering TaN coating by controlling RF input power, *Surface and Coatings Technology*, 303, 32-40, 2016.
39. Ding Z., Tang Y., Liu L., Ding Z., Tan Y., He Q., Improving the adhesive, mechanical, tribological properties and corrosion resistance of reactive sputtered tantalum oxide coating on Ti6Al4V alloy via introducing multiple interlayers, *Ceramics International*, 48 (5), 5983-5994, 2022.
40. Krainer S., Hirn U., Contact angle measurement on porous substrates: Effect of liquid absorption and drop size, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 619, 126503, 2021.
41. Abouarkoub A., Thompson G., Zhou X., Scamans G., The influence of heat treatment on the caustic etching behaviour of the automotive AA6111 alloy, *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 4, 64, 2016.
42. Koroleva E., Thompson G., Hollrigl G., Bloeck M., Surface Morphological Changes of Aluminium Alloys in Alkaline Solution: Effect of Second Phase Material, *Corrosion Science*, 41, 1475-1495, 1999.
43. Guminsky R., Sheasby P., Lamb H., Reaction Rates of Second Phase Constituents in Aluminium during Etching, Brightening and Oxalic Acid Anodizing. *Transaction of the Institute of Metal Finishing*, 46, 44-48, 1968.
44. Short E., Sheasby P., Reaction of Second Phase Constituents in Aluminium during Etching in Sodium Hydroxide Based Solutions. *Transactions of the Institute of Metal Finishing*, 47, 27-30, 1969.
45. Hu Y., Yuan B., Cheng F., Hu X., NaOH etching and resin pre-coating treatments for stronger adhesive bonding between CFRP and aluminium alloy, *Composites Part B: Engineering*, 178, 107478, 2019.
46. Soares E., Bouchonneau N., Alves A., Alves K., Filho O.A., Mesguich D., Chevallier G., Laurent C., Estournes C., Microstructure and

- mechanical properties of AA7075 aluminum alloy fabricated by spark plasma sintering (SPS), *Materials*, 14 (2), 488-493, 2021.
47. Bayazid S.M., Farhangi H., Asgharzadeh H., Radan L., Ghahramani A., Mirhaji A., Effect of cyclic solution treatment on microstructure and mechanical properties of friction stir welded 7075 Al alloy, *Materials Science & Engineering A*, 649, 293-300, 2016.
 48. Wang Z., Georgarakis K., Nakayama K.S., Li Y., Tsarkov A.A., Xie G., Dudina D., Louzguine-Luzgin D.V., Yavari A.R., Microstructure and mechanical behavior of metallic glass fiber reinforced Al alloy matrix composites, *Scientific Reports*, 6, 24384, 2016.
 49. Chen X, Bai R, Huang M., Optical properties of amorphous Ta₂O₅ thin films deposited by RF magnetron sputtering, *Optical Materials*, 97, 109404, 2019.
 50. Grilli M.L., Yilmaz M., Aydogan S., Çırak B. B., Room temperature deposition of XRD-amorphous TiO₂ thin films: investigation of device performance as a function of temperature, *Ceramic International*, 44, 11582–11590, 2018.
 51. Bright T.J., Watjen J.L., Zhang Z.M., Muratore, C., Voevodin, A.A., Koukis, D.I., Tanner, D.B., Arenas, D.J., Infrared optical properties of amorphous and nanocrystalline Ta₂O₅ thin films, *Journal of Applied Physics*, 114, 083515, 2013.
 52. Jimmy Wu S.-J., Houng B., Huang B.-S., Effect of growth and annealing temperatures on crystallization of tantalum pentoxide thin film prepared by RF magnetron sputtering method, *Journal of Alloys and Compounds*, 475, 488–493, 2009.
 53. Kern M., Thompson V.P., Effects of sandblasting and silica-coating procedures on pure titanium, *Journal of Dentistry*, 22 (5), 300-306, 1994.
 54. Schwankl M., Kellner R., Singer R.F., Körner C., The influence of sandblasting on the morphology of electroless deposited zinclayers on aluminum sheets, *Applied Surface Science*, 283, 202-208, 2013.
 55. Wang H.-Y., Zhu R.-F., Lu Y.-P., Xiao G.-Y., Zhao X.-C., He K., Yuan Y.F., Li Y., Ma X.-N., Preparation and properties of plasma electrolytic oxidation coating on sandblasted pure titanium by a combination treatment, *Materials Science and Engineering: C*, 42, 657-664, 2014.
 56. Hutchings I.M., *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials* Edward Arnold, London (1992).
 57. Zhao Y., Zhang Z., Dai Q., Lin D., Li S., Microstructure and bond strength of HA (+ ZrO₂+ Y₂O₃)/Ti6Al4V composite coatings fabricated by RF magnetron sputtering, *Surface and Coatings Technology*, 200, 5354-5363, 2006.
 58. Ding S.J., Ju C.P., Lin J.H.C., Characterization of hydroxyapatite and titanium coatings sputtered on Ti-6Al-4V substrate, *Journal of Materials Research*, 44, 266-279, 1999.
 59. Kelemen M., Schwarz-Selinger T., Mutzke A., Balden M., Vassallo E., Pedroni M., Dellasega D., Passoni M., Romeo F., Hakola A., Pelicon P., Zaplotnik R., Markelj S., Influence of surface roughness on the sputter yield of Mo under keV D ion irradiation, *Journal of Nuclear Materials*, 555, 153135, 2021.
 60. Li C.P., Yang B.H., Wang X.C., Wang F., Li M.J., Su L., Li X.M., Influence of sputter-etching of substrate on the microstructural and optical properties of ZnO films deposited by RF magnetron sputtering, *Applied Surface Science*, 257 (14), 5998-6003, 2011.