

Araştırma Makalesi

Ti6Al4V Alaşımının Plazma Püskürtme Yöntemi Kullanılarak ZrO₂-MgO ile Kaplanması ve Kaplama Özellikleri

Cihat Aydın ^{1,*} , Esra Oğuz ² 

Gönderim: 04.06.2025

Kabul: 21.08.2025

¹Sivil Havacılık Yüksekokulu, Uçak Bakım Onarım Programı, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye; caydin@firat.edu.tr

²Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye; esraoguz3133@gmail.com

*Sorumlu yazar

Özet: Bu çalışmada, altlık olarak Ti6Al4V malzemesi kullanıldı ve yüzeyi ZrO₂-ağ.%22 MgO tozları kullanılarak plazma sprej yöntemi ile kaplandı. Yüzey kaplama yapılırken akım değerleri 500 A, 600 A, 700 A olacak şekilde üç farklı sprej mesafesinde (100 mm, 150 mm, 200 mm) gerçekleştirildi. Kaplanmış numuneler daha 600 °C sıcaklıkta 2 saat süreyle sinterleme işlemine tabi tutuldu. Elde edilen yüzey tabakalarının karakterizasyonu SEM, EDS, Optik Mikroskop, XRD ile yapıldı. Aşınma deneyleri 1000 m kayma mesafesinde, 10 N yükte ve 122.5 mm/sn kayma hızında gerçekleştirildi. ZrO₂-ağ.%22 MgO tozlarıyla kaplanan ve sinter-lenen Ti6Al4V altlık malzeme yüzeyinde kaplanan tabakalarda ZrO₂ ve MgO tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: yüzey kaplama; plazma sprej; Ti6Al4V; aşınma, mikrosertlik

Research Article

Coating of Ti6Al4V Alloy with ZrO₂-MgO Using Plasma Spraying Method and Coating Properties

Abstract: In this study, Ti6Al4V material was used as a substrate and its surface was coated by plasma spray method using ZrO₂-22 wt% MgO powders. The surface coating was carried out at three different spray distances (100 mm, 150 mm, 200 mm) with current values of 500 A, 600 A, and 700 A. The coated samples were then subjected to sintering at 600 °C for 2 hours. Characterization of the obtained surface layers was performed by SEM, EDS, Optical Microscope, and XRD. Wear tests were carried out at a sliding distance of 1000 m, a load of 10 N, and a sliding speed of 122.5 mm/s. ZrO₂ and MgO were detected in the coated layers on the surface of the Ti6Al4V substrate coated and sintered with ZrO₂-22 wt% MgO powders.

Keywords: surface coating; plasma spray; Ti6Al4V; wear; microhardness

1. Giriş

Hafif metallerden olan Magnezyum, Alüminyum ve Titanyum 'un kullanımı, ekolojik ve ekonomik sebeplerden ötürü son yıllarda üretime bağlı sanayi dallarında giderek artmaktadır. Bu malzemeler her ne kadar yoğun bir şekilde kullanılsa da sahip oldukları bazı dezavantajlar vardır. Bunlar; sertliklerinin ve mukavemetlerinin düşük olmasına bağlı olarak düşük aşınma direncine sahip olmalarıdır. Titanyum

alaşımı yüzeyindeki geleneksel tek homojen yapı kaplamasının sertliği (aşınma direnci) ve tokluğu arasındaki "ters ilişki" sorununu hedefleyen, yüksek dayanıklılığa, yüksek tokluğa ve aşınmaya dayanıklı kaplamanın tasarımı ve geliştirilmesi, titanyum alaşım uygulamasını genişletmek için büyük önem taşımaktadır [1].

Titanyum elementinin birçok kullanım alanı vardır fakat mineral yataklarının dağınık olması ve ilerleyen teknoloji ile işlenmesi gerektiği için pahalıdır. Pahalı olduğu için tek başına kullanıldığı alanlar çok düşüktür, tek başına kullanıldığı alan genellikle silah ve uzay sanayisidir.

Hafif metal ve alaşımlarının giderek artan kullanımı, sahip oldukları hafifliği gidermek ve tribolojik özelliklerini artırmak adına birtakım endüstriyel iyileştirmeler yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Aşınma direnci istenen uygulamalarda malzeme seçimi yapılırken aşınmaya dayanıklı malzemeler tercih edilir. Fakat bu çoğu zaman üretim maliyetinin artmasına sebep olur. Bunun yerine, yumuşak ya da hafif bir malzemenin uygun bir kaplama ile kaplanması hem alt malzemenin dayanım ömrünü arttırır hemde maliyet açısından avantaj sağlar. Bir malzemenin, sertliği kendi sertliğinden fazla olan bir kaplama ile kaplanması ana malzemenin aşınmasını azaltır ve kullanım ömrünü uzatır. [2-3].

Yüzey kaplama işlemi, malzemenin kütsel özelliklerinin dışında yüzeyin bileşimini, morfolojisini ve yapısının değiştirme yöntemi ve malzemeyi dekore etme amacıyla klasik modern teknolojilere dayalı yüzey kaplamaları yapılır. Yüzey işlemleri ile malzeme yüzeyinin doku uyumluluğu ve malzemenin mekanik – kimyasal dayanımı yükseltilebilir. Yüzey kaplama işlemleri biyomalzemeler için çok önemlidir. Biyomalzeme araştırmalarında, malzeme yüzey özellikleri ile biyolojik tepkiler arasındaki ilişki kilit sorulardan biridir. Yüzey modifikasyonu, yapısal ve kimyasal yüzey özelliklerinin malzeme-biyosistem etkileşimlerini nasıl etkilediğini anlamayı amaçlayan çalışmalar için değerli bir araç haline gelmiştir Titanyum ve alaşımlarını aşınmaya karşı geliştirmek için yüzey sertliği gelişmiş olmalıdır. Malzemenin yüzey sertliği artarsa abrasif ve adhezif aşınma dirençleri de doğru orantılı olarak artar, Titanyum ve alaşımlarına sert kaplama, yüzeye iyon aşılama, termal oksidasyon ve termokimyasal gibi yüzey kaplama işlemleri uygulanabilir. Ucuz olarak sayılabilecek bir malzemenin yüzeyine yapılacak işlemlerle ortam-yüzey özelliklerine dayanan mühendislik özelliklerini istenebilen şekle getirebilmesi kaplama yönteminin en önemli avantajıdır [4-6].

Yüzey kaplama yöntemlerini malzemenin özelliklerine göre sınıflandırılır. Bu yöntemlerden bazıları; PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme), Sol- Jel, Yöntemi, Plazma Püskürtme Yöntemi, CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) Yöntemi şeklinde verilebilir. Bu yöntemlerden Plazma Püskürtme Yöntemi en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Plazma, maddenin dördüncü hali olarak tanımlanır. Bunun nedeni; bir malzeme eğer gaz halinden daha yüksek bir sıcaklığa çıkarılırsa iyonize olur. Enerji seviyesi yükseldiğinden klasik fizik ve termodinamik kanunlarına uymaz. Atomik olarak bakıldığında, yüksek sıcaklıktaki gazın iyonize olup elektriksel olarak iletken hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Plazma halindeki bir gaz yüzey bozulmasını minimize etmesi ve daha iyi ısı-kütle transferi sağlaması nedeniyle tercih edilir. Metal ya da seramik tozlarının plazma gazı yardımıyla yüksek partikül hızlarında malzeme yüzeyine püskürtülmesi yoluyla kaplanması işlemi "Plazma Sprey Prosesi" olarak bilinir [7-10].

Plazma sprej yöntemi yüksek ergime noktasına sahip metal ve alaşımlarının kaplanmasında kullanılabilirdiği için sanayide kullanımı oldukça yaygındır. Bu yöntem de kaplama tozu, kaplanacak malzeme, sıcaklık ya da ortam gazı gibi değiştirilebilir parametre sayısı fazla olduğundan dolayı, üretilen malzeme çeşitliliği de bir o kadar fazladır. Bu yüzden plazma püskürtme yöntemi ile elde edilen malzemelerin Savunma sanayi, Kimya endüstrisi, Tekstil, Demir-Çelik endüstrisi, Kâğıt sanayi ve Uçak sanayi gibi pek çok alanda kullanımı vardır [11-13].

Bu sebepten dolayı bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımı Plazma Püskürtme Yöntemi yardımıyla ZrO₂-MgO ile kaplanmıştır. Elde edilen bu kaplamaların çeşitli fiziksel, yapısal ve morfolojik özellikleri analiz edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, altlık malzeme olarak kullanılan ticari Ti6Al4V alaşımı 250x250x4 mm³ boyutlarında hazır olarak satın alınmıştır. Malzemenin bileşimi Tablo 1.' de verilmiştir. Temin edilen altlık malzeme daha sonra tel elektro erozyon yöntemi ile 15x15x4 mm³ boyutlarında kesilmiştir. Kesilen numuneler yüzeyindeki olası yağ ve kir kontaminasyonlarının temizlenmesi amacıyla, ultrasonik temizleyici

kullanılarak 15 dakika boyunca sırasıyla Etanol ve Saf su ile yıkanmıştır. Temizlenen yüzeylerin üzerindeki nem sıcak hava ile giderilmiştir.

Tablo 1. Altlık malzemesinin (Ti_6Al_4V) kimyasal içeriği.

Bileşim %	Al	V	Fe	N	O	C	Ti
Ti_6Al_4V	6	4	0.1	0.01	0.15	0.03	Bal.

Yüzey kaplama işleminden önce kaplama tabakasının numune yüzeylerine iyi tutunabilmesi için numune yüzeyleri 5 bar basınç altında Al_2O_3 kumu ile kumlanmış ve yüzey pürüzlü hale getirilmiştir. Kaplanacak yüzeyler GTV marka -45 ile +20 μm boyutunda ZrO_2 -ağ.%22 MgO tozları ile Tablo 2.'de verilen parametrelere göre Metser Kaplama Sanayi firmasında plazma sprey yöntemi kullanılarak kaplanmıştır. Kaplanan numuneler NÜVE MF 120 marka kül fırınında 600 $^{\circ}C$ ' de 2 saat boyunca sinterlenmiştir. Tüm numuneler Tablo 2.'deki gibi isimlendirilmiştir.

Kaplama yüzeylerine ait pürüzlülük değerleri profilometre cihazıyla (Mitutoyo SJ-201) 3 farklı noktadan ölçülmüş ve ölçülen değerlerin ortalaması alınarak yüzey pürüzlülük değerleri hesaplanmıştır. Mikro yapı incelemeleri için numuneler önce sıcak bakalite alındı. Bakalite alma işleminden sonra numunelerin yüzeyleri 80, 120, 240, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh zımpara kâğıtları (SiC) yardımıyla zımparalandı. Zımparalama işleminden sonra numunelerin yüzeyleri 1 μ' luk elmas pasta ve alkolle yıkanarak parlatıldı.

Parlatma ve ısıtılma işlemin ardından kaplamalar tabakaları optik mikroskop (Nikon Eclipse NA200) ile farklı büyütme oranlarında araştırıldı. Kaplama tabakasının yapısını oluşturan fazların yüzey morfolojileri SEM (ZEISS EVO-MA10) ile görüntülendi. Kaplamaların kimyasal bileşimi SEM cihazına bağlı EDS dedektörü (Bruker) yardımıyla analiz edildi. Kaplama tabakasında bulunan fazların analizi XRD (Zeiss Sigma 300) cihazı yardımıyla $Cu-K\alpha$ radyasyonu kullanılarak 1,5405 Å dalga boyunda $2\theta = 10^{\circ}$ - 90° aralığında tespit edildi. Kaplama işlemi gerçekleştirilen numunelerin kaplama yüzeylerinde meydana gelen sertlik değişimlerini belirlemek amacıyla mikrosertlik ölçümleri yapıldı. 100 g kuvvet yük 10 sn'lik yükleme hızı uygulanarak, numunelerin kaplama bölgelerine dik doğrultuda ölçümler yapılmıştır. Her bir numune için kaplama bölgesinden 3 farklı noktadan mikrosertlik değerleri ölçülmüş ve ölçülen değerlerin ortalaması alınarak mikrosertlikleri hesaplanmıştır.

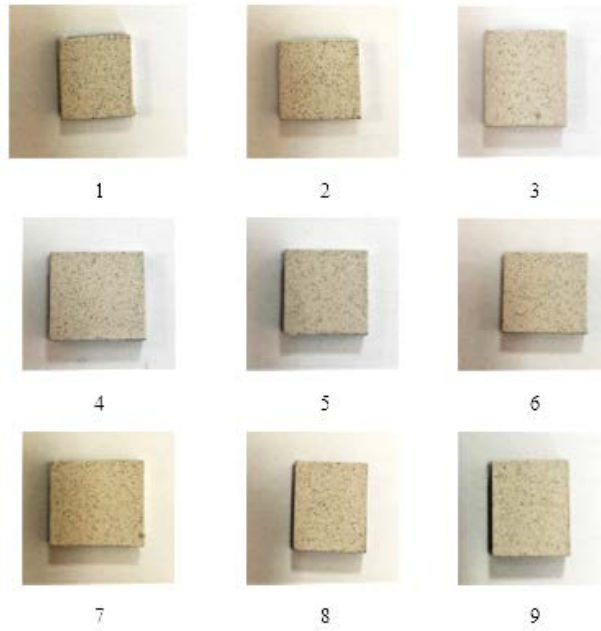
Tablo 2. Ti_6Al_4V ' un plazma sprey yöntemi ile kaplama parametreleri

No	Kod	Akım (A)	Sprey mesafesi (mm)	Toz besleme miktarı (g/dk)	Çalışma voltajı (V)	Plazma gazı akış hızı (l/dk)	Koruyucu gaz akış hızı (l/dk)	Sprey paso sayısı
1	70-10-S	700	100	50	150	15 (Hidrojen)	40 (Argon)	4
2	70-15-S	700	150					
3	70-20-S	700	200					
4	60-10-S	600	100					
5	60-15-S	600	150					
6	60-20-S	600	200					
7	50-10-S	500	100					
8	50-15-S	500	150					
9	50-20-S	500	200					

3. Bulgular ve Tartışma

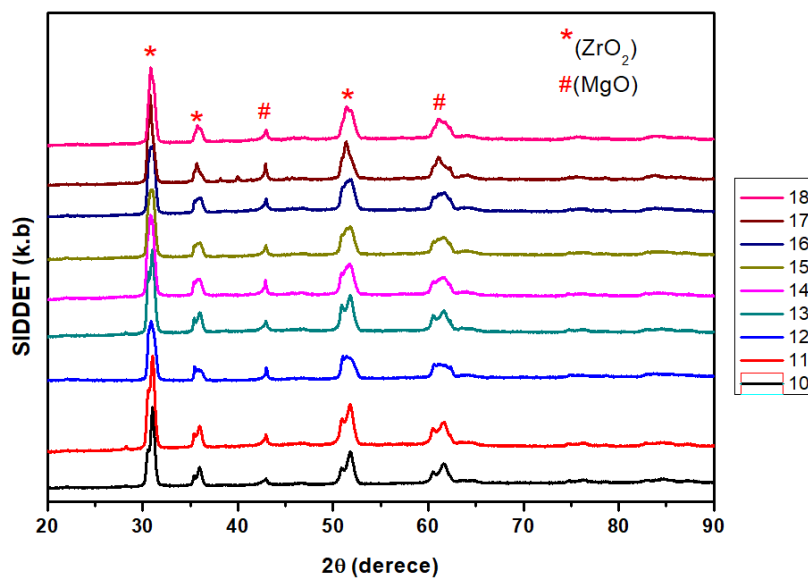
3.1. Makroyapı İnceleme Sonuçları

Şekil 1.' de plazma sprej kaplama yöntemi ile ZrO_2 -ağırlıkça %22 MgO kaplanmış numunelerin kaplama yüzeylerinin makro fotoğrafları verilmiştir. Kaplama işlemi gerçekleştirilen numunelerin makro fotoğraflarında görüldüğü üzere yüzey üzerinde gözle görülür çatlak veya porozite oluşmadığı ve kaplama tozlarının ergiyerek plazma sprej kaplama yöntemiyle yüzeyde iyi bir tutunma yüzeyi oluşturdıkları görülmektedir.



Şekil 1. Hazırlanan numunelerin makro fotoğrafları

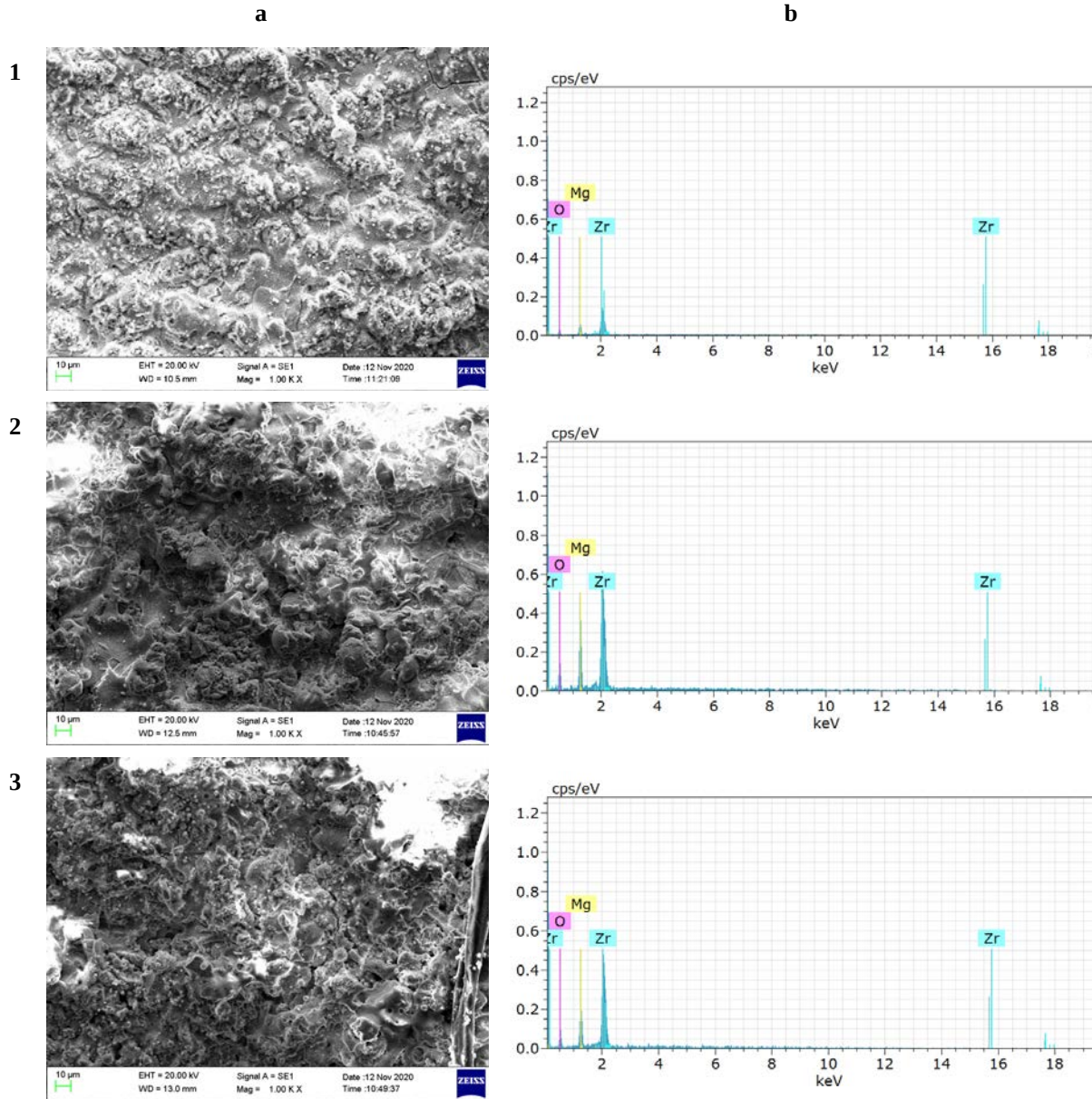
3.2. XRD Analiz Sonuçları



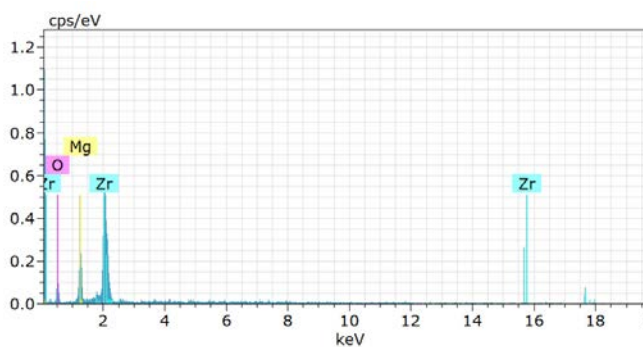
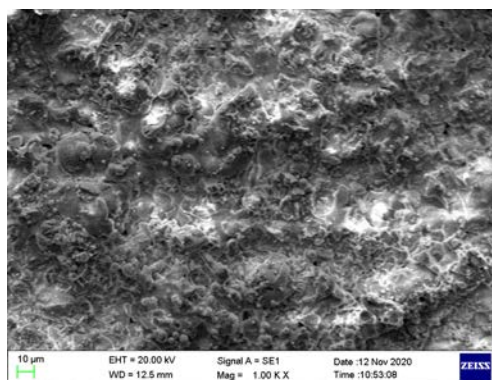
Şekil 2. Numunelerin XRD analiz sonuçları

ZrO₂-MgO kaplı numunelere ait XRD spektrumları Şekil 2’de gösterilmiştir. XRD grafikleri incelendiğinde kaplama yüzeylerinin ZrO₂ ve MgO fazlarından oluştuğu görülmektedir. Elde edilen sonuçların literatürle uyum içinde olduğu görülmektedir. ZrO₂-MgO kaplanmış numunelerde literatürle karşılaştırıldığında MgO oranı ağırlık %13.9 ’un üzerinde olduğunda, XRD grafiklerinde ZrO₂ ve MgO yansımaları yoğun olabilir. Tüm şekiller incelendiğinde ZrO₂ kırınım desenlerinin MgO kırınım desenlerinden daha yoğun olduğu görülmektedir.

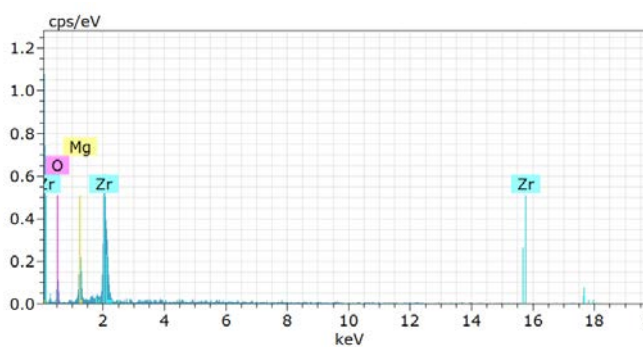
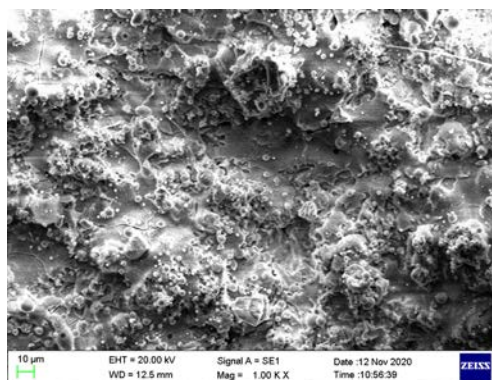
3.3. SEM Mikrografları



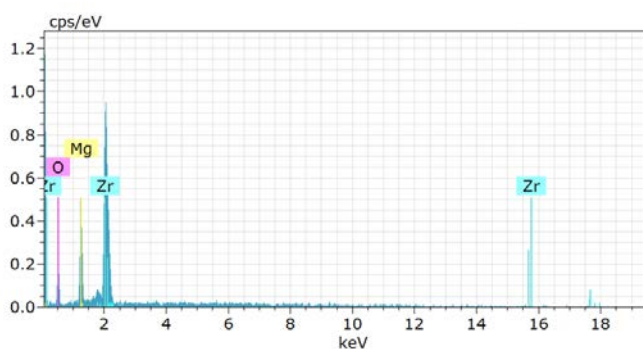
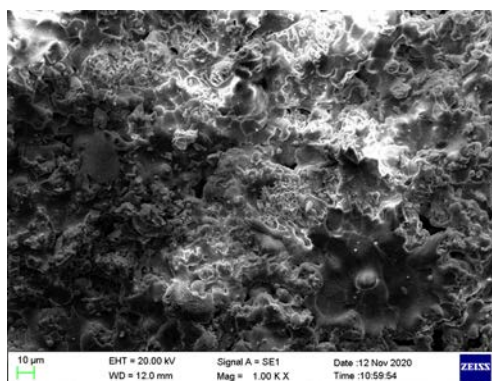
4



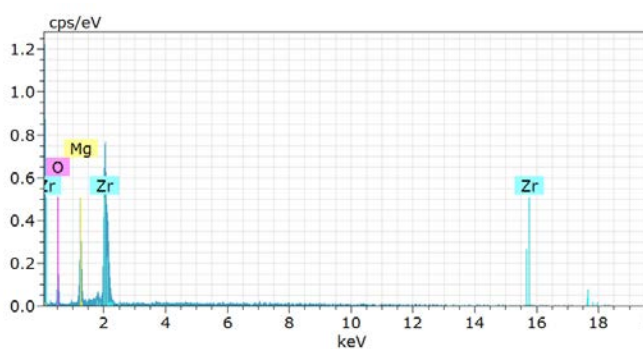
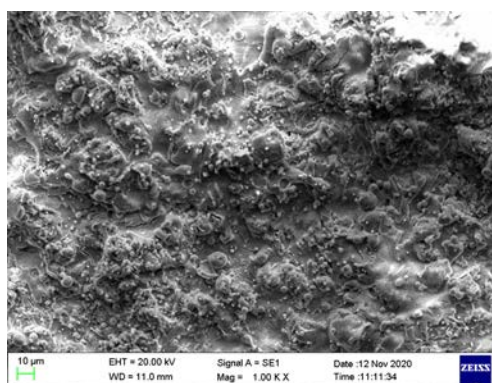
5

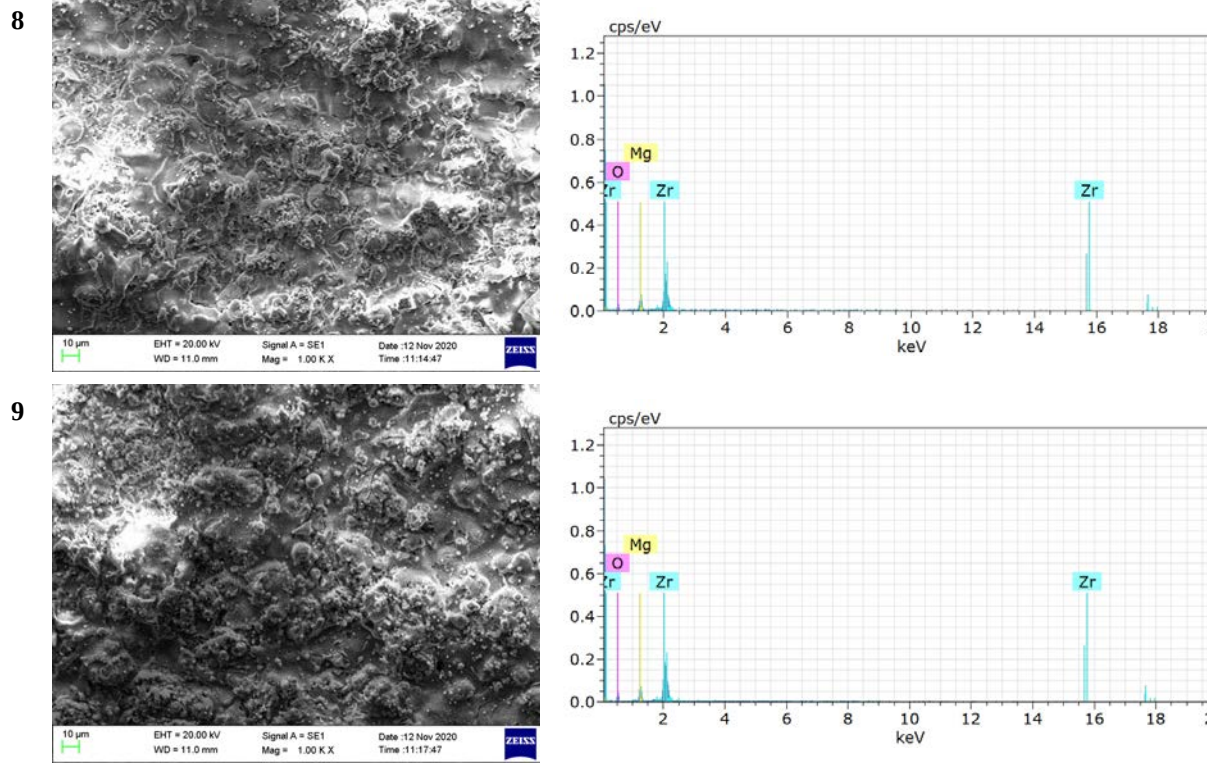


6



7





Şekil 3. ZrO₂-MgO kaplı numunelerin a) SEM görüntüsü ve b) EDS grafiği

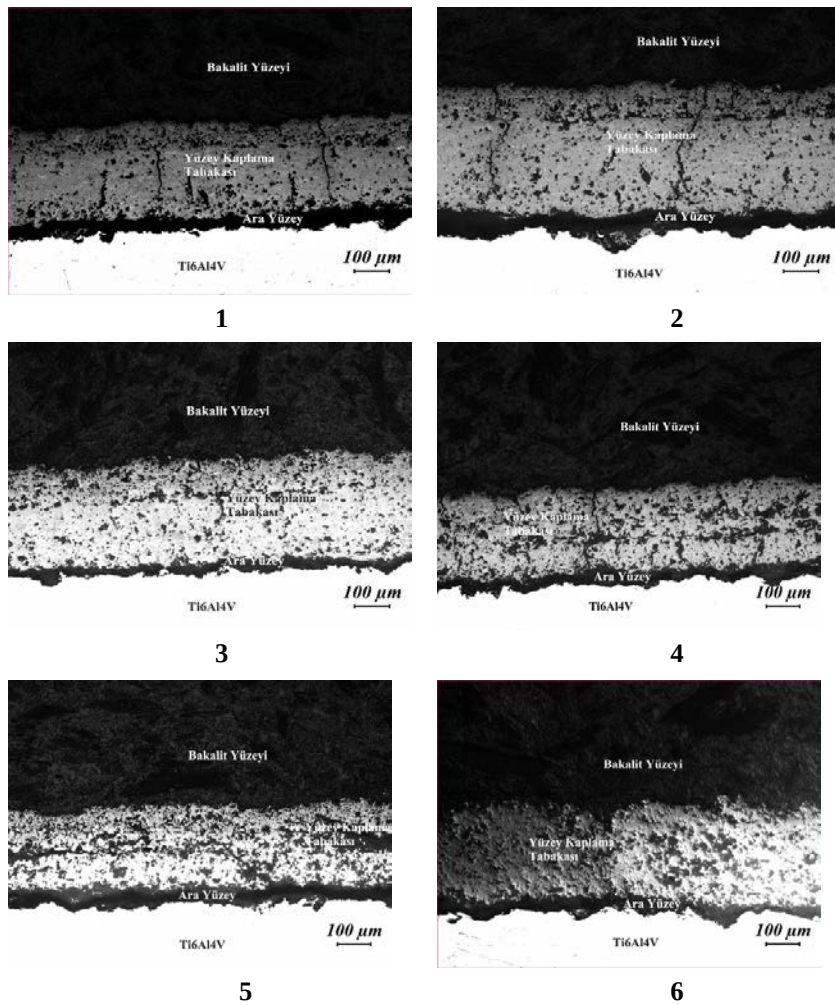
Plazma sprey kaplama yöntemi yardımıyla kaplanan numunelere ait SEM yüzey mikrografları Şekil 3 (1-9/a-b)'de gösterilmektedir. Numunelere ait yüzey mikrografları incelendiğinde, kaplama yüzeylerinin pürüzlü yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin, ergimiş parçacıkların üst üste binmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İlave olarak kaplama yüzeylerinde homojen olmamakla birlikte mikro gözenekler bulunduğu söylenebilir. Düşük sprey mesafelerinde kaplama tozlarının oluşan yüksek ısıdan dolayı daha fazla ergiyerek boyutlarının küçüldüğü görülmüştür. Yine düşük sprey mesafelerinde kaplanmış numunelerin yüzeylerinde daha ince taneli olarak kaplama tozları biriktirilmiştir. Sinterlenmiş numunelerde ise daha yoğun kaplama tabakaları görülmüştür ve ince taneli yapılar azalmıştır. Numune yüzeylerinden alınan EDS analiz sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

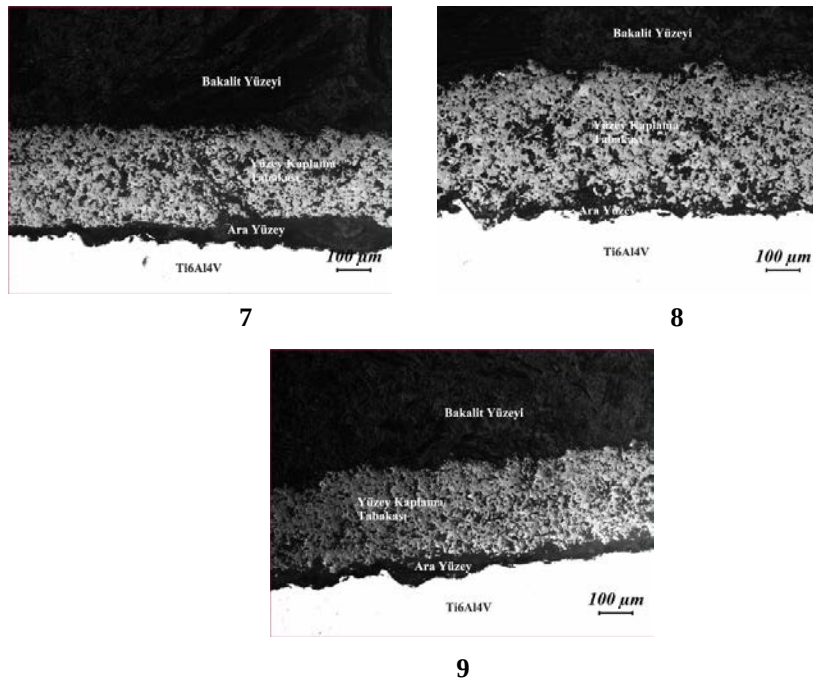
Tablo 3. EDS analiz Sonuçları

Numune Adı	% (Ağ.)		
	Zr	O	Mg
N1	65.09	22.42	12.49
N2	61.14	22.24	16.62
N3	66.43	20.56	13.01
N4	65.54	21.08	13.39
N5	66.07	20.96	12.97
N6	66.27	20.43	13.30
N7	65.57	21.90	12.53
N8	64.69	20.65	14.66
N9	61.59	24.97	13.45

3.4. Optik Mikroskop Arayüzey Görüntüleri

Şekil 4' de sırasıyla plazma sprej yöntemiyle ZrO₂-MgO kaplı numunelerin OM ara yüzey görüntüleri görülmektedir. Şekil 4. incelendiğinde optik mikroskop görüntülerinden görüleceği üzere kaplama olarak kullanılan tozların homojen olarak ergidiği, altlık malzeme yüzeyinde amacına uygun olarak biriktirildiği ve Ti6Al4V yüzeyine bağlandığı söylenebilir. Altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında ince bir çizgi şeklinde oksit tabakaları görülmüştür. Bunun sebebi olarak, yüzeyle ilk temas eden erimiş haldeki parçacıkların sahip olduğu yüksek ısıya ilaveten Mg 'un yüksek oksijen ilgisinden kaynaklanabileceği yorumuna varılmıştır. Aşırı yüksek sıcaklıklarda oksidasyonun arttığı bilimsel olarak bilinmektedir. Bu sebepten dolayı kaplama ve altlık arasında iyi bir tutunma yüzeyi oluştuğu ve yüzey kaplama tabakasında herhangi bir çatlak oluşmadığı görülmektedir. Optik mikroskop görüntüleri yardımıyla elde edilen görüntüler incelendiğinde, kaplama tabakalarının genellikle, lamel yapıdaki katmanlar, oksitler ve mikro gözenekler içerdiği söylenebilir. Kaplama tabakasının kalınlığı yaklaşık olarak 120 µm' dir. Optik mikroskop görüntüsünden görüleceği üzere; yüzey kaplama tabakasının plazma sprej kaplamalarda oluşan mikro gözeneklerden, oksitlerden ve katmanlı yapılardan oluştuğu görülmektedir. Plazma püskürtme kaplamalarının esasında, erimiş haldeki kaplama katmanlarının, yüzeye çarpması sonucu oluşan baskın sıçramaların birbiri üzerinde birikerek lamelli yapıyı oluşturması sonucu ortaya çıktığı yorumuna varılmıştır.

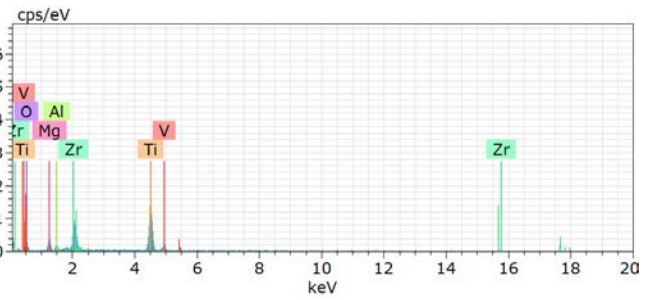
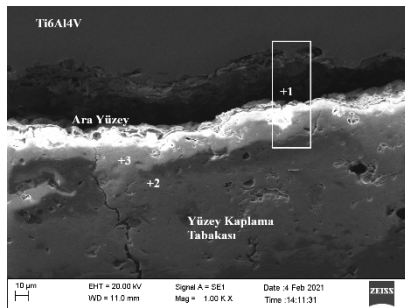




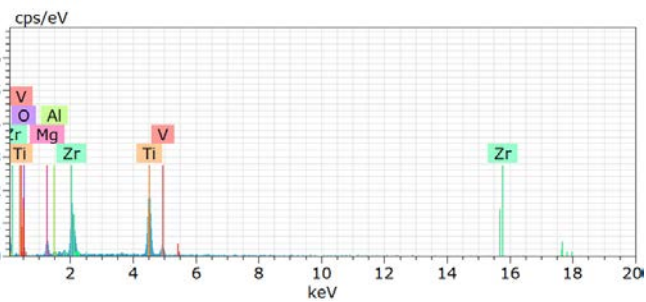
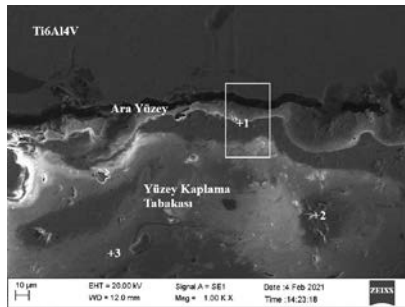
Şekil 4. Numunelerin optik mikroskop arayüzey görüntüleri

3.5. Numunelerin ara yüzey SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

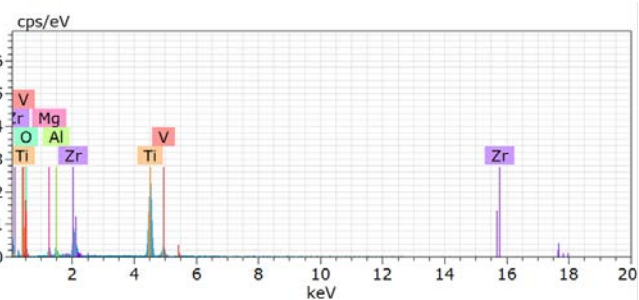
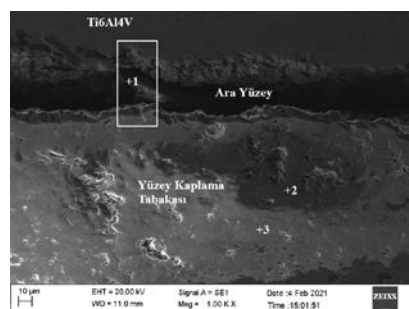
1



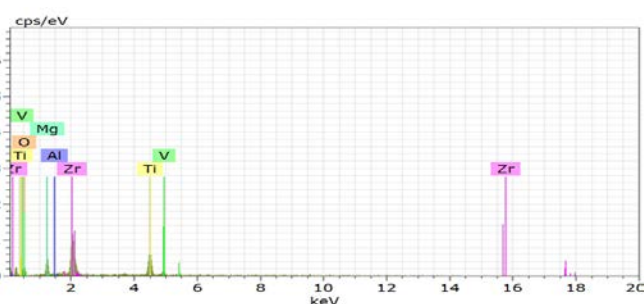
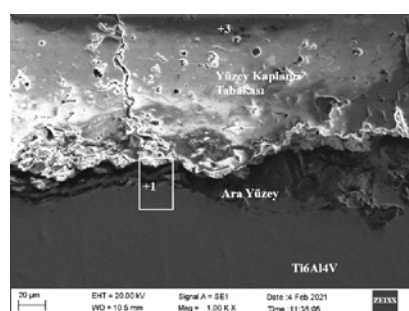
2



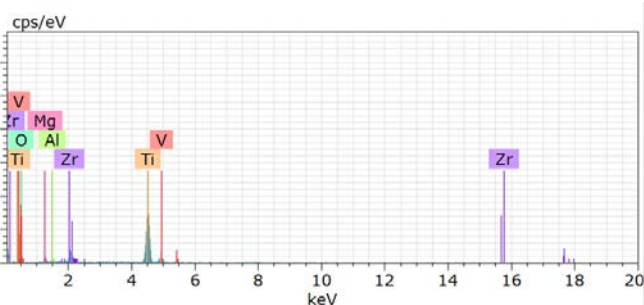
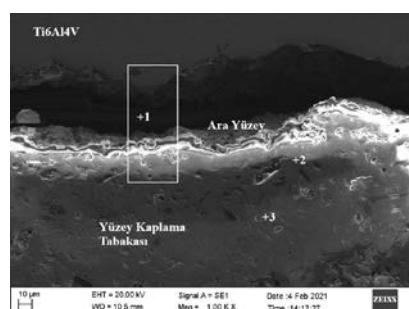
3



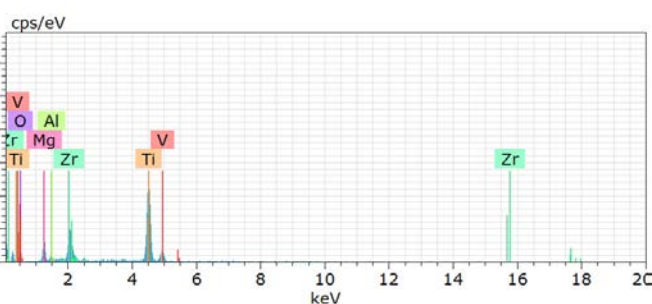
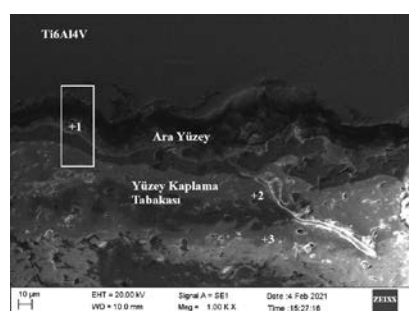
4



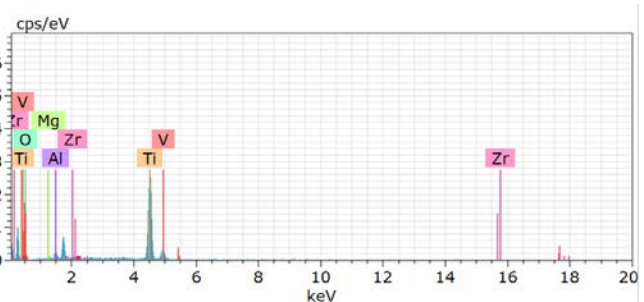
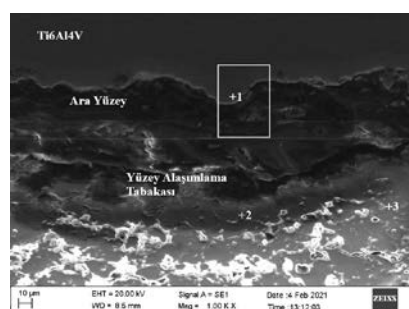
5

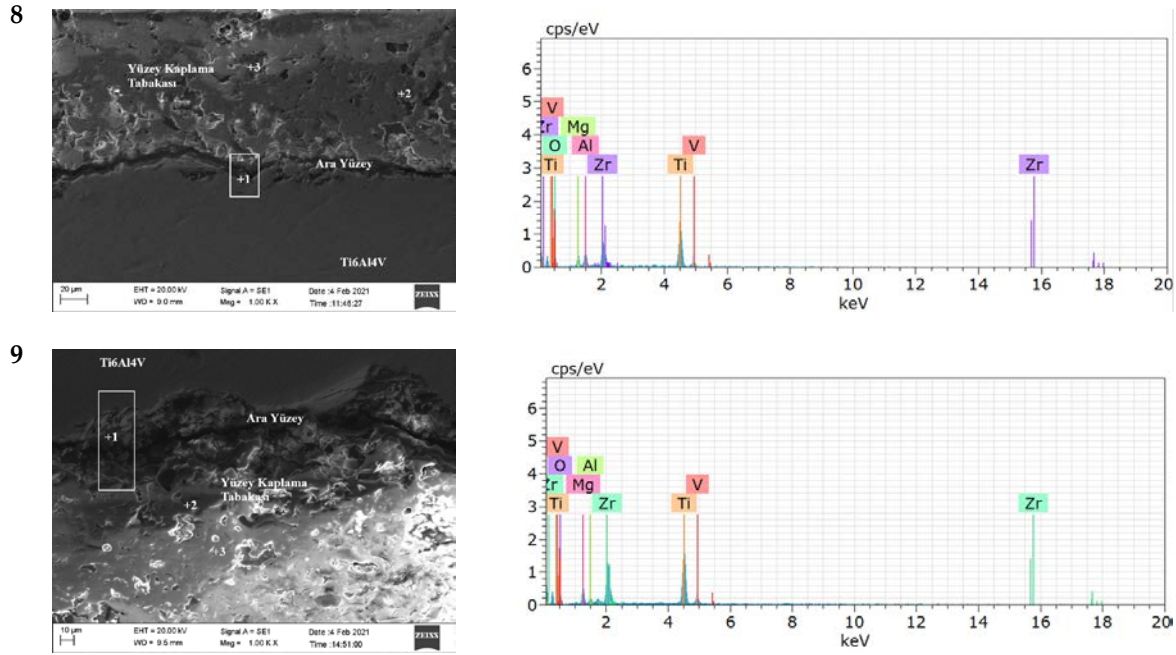


6



7





Şekil 5. Numunelerin ara yüzey SEM görüntüsü ve EDS spektrumları

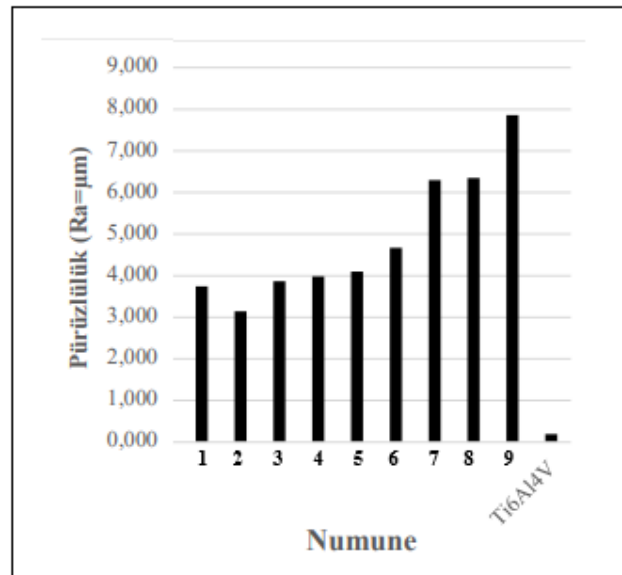
3.6. Mikrosertlik Sonuçları

Tablo 4. Kaplama işlemi gerçekleştirilen numunelerin mikrosertlik değerleri

Numune	HV(0.1)			Ortalama Değer
1	1650,8	1708,0	1790,4	1716,40
2	1848	1737,7	1864,6	1816,77
3	1722,7	1664,8	1623,3	1670,27
4	1639,8	1664,8	1659,9	1654,83
5	1650,8	1609,8	1623,3	1627,97
6	1557,5	1693,4	1623,3	1624,73
7	1583,3	1557,5	1623,3	1588,03
8	1570,3	1623,3	1570,3	1587,97
9	1544,8	1570,3	1544,8	1553,30

Kaplama tabakalarının ortalama sertlik değerleri incelendiğinde sertliklerin 1528-1816 HV0.1 aralığında değiştiği ve altlık olarak kullanılan malzemenin sahip olduğu sertlik değerinin (300 HV0.1) oldukça üstünde olduğu görülmektedir. Mikrosertlik değerinin değişkenlik göstermesinin sebeplerinin başında; sprej püskürtme mesafesinin, akım değerinin ve kullanılan toz çeşidinin değişkenlikleri gösterilebilir. Buna neden olarak; mikro gözenek miktarının değişkenliği, kaplama yapılan tozların sertlik değerlerinin birbirlerinden farklı oluşu ve partiküllerin ergime sıcaklıklarının birbirlerinden farklı olması verilebilir. Çünkü sertlik değerleri, akıma paralel olarak artmakta sprej mesafesinin artmasıyla ise ters orantılı olarak azalmaktadır. Sinterlenmiş numunelerin sertlik değerleri aynı akım ve sprej mesafesinde sinterlenmemiş numunelerden daha yüksektir. Bunun nedeni olarak bu numunelerde kaplama tabakasındaki boşlukların ve gözeneklerin azalmasıyla daha yoğun bir kaplama tabakasının elde edilmiş olması gösterilebilir. SEM analizleri de bu durumu doğrulamaktadır. En yüksek sertlik değerine sahip numunenin yüksek akım ve düşük sprej mesafesinde N2 numunesi, sertlik değeri en düşük olan numune ise düşük akım ve yüksek sprej mesafesinde kaplama işlemi gerçekleştirilen N9 numunesi olduğu söylenebilir. Kaplama işlemi gerçekleştirilen numunelerin mikrosertlik değerleri Tablo 4.'te verilmiştir.

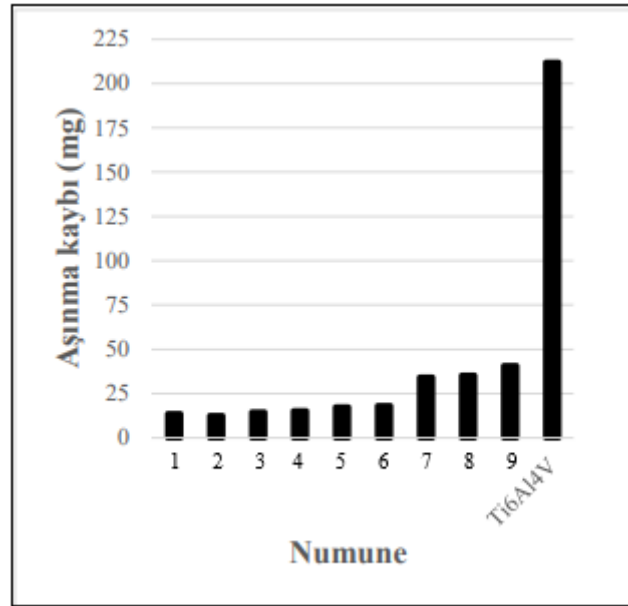
3.7. Yüzey pürüzlülük çalışmaları



Şekil 6. Altlık malzemenin ve kaplanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri.

Şekil 6'da altlık malzemenin ve kaplanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri verilmiştir. Kaplanmış numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri plazma sprej kaplamaların doğası gereği altlık malzeme den daha yüksektir [13-14]. Altlık malzemenin yüzey pürüzlülüğü 0.194 µm iken diğer numunelerin yüzey pürüzlülük değerleri 3.114-8.043 arasında değişmektedir. En düşük yüzey pürüzlülük değeri 700 amper akım ve 150 mm sprej mesafesinde kaplanan N2 numunesinde ölçülmüştür. Sinterlenmiş numunelerin yüzey pürüzlülükleri kaplanmış numunelere göre daha düşüktür. Ayrıca sprej mesafesinin artması ve akımın azalmasıyla genelde yüzey pürüzlülükleri daha düşük olmuştur.

3.8. Numunelerin aşınma kayıp değerleri



Şekil 7. Altlık malzemenin ve kaplanmış numunelerin aşınma kayıp değerleri.

Altlık malzemenin ve numunelerin aşınma kayıpları Şekil 7’de görülmektedir. Plazma sprej yöntemiyle ZrO_2 -ağ.%22 MgO kaplı numunelerin ve altlık malzemenin aşınma testleri; 1000 m kayma mesafesi, 10 N yük ve 122,5 mm/sn kayma hızında gerçekleştirilmiş olup ve aşındırıcı olarak AISI 52100 çeliği kullanılmıştır.

Tüm numunelerin aşınma kayıplarının altlık malzemeye göre oldukça düşük olduğu görülmüştür. Buna, numunelerin altlık malzemesine nazaran yüzey sertliklerinin göre daha yüksek olmasının sebep olduğu söylenebilir. Yüzeylerin sertlikleri arttıkça ve pürüzlülükleri düştükçe aşınma dirençleri de yükselmiştir. Sertlik artışının [13-15) ve yüzey pürüzlülüğündeki düşüşün aşınma direnci üzerinde olumlu etkileri vardır [16-18]. Sinterlenmiş numunelerin aşınma kayıpları sinterlenmemiş numunelere göre daha düşüktür. Bunun nedeni olarak kaplamalardaki boşlukların azalması ve böylelikle sertliklerin artması gösterilebilir. Aşınma direnci değeri en yüksek olan 700 amper akım ve 150 mm sprej mesafesinde kaplanan N2 numunesidir. Akımın azalması ve sprej mesafesinin artmasıyla genelde aşınma dirençleri düşmüştür.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Ti_6Al_4V alaşımının plazma sprej kaplama yöntemiyle değişen sprej mesafeleri ve farklı akım değerlerinde $MgO-ZrO_2$ tozları ile yüzey kaplamaları yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında yapılan incelemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Ti_6Al_4V alaşımının yüzeyi plazma sprej yöntemi kullanılarak $MgO-ZrO_2$ tozları ile iyi bir şekilde kaplanabileceği görülmüştür.
- Kaplama yüzeylerinde gözle görülür ve makro boyutta herhangi bir poroziteye ve çatlığa rastlanmadığı kaplamanın mukavim bir tabaka oluştuğu gözlemlenmiştir.
- Bu çalışmada genel olarak kaplama tabakaları MgO , ZrO_2 ve $Mg_2Zr_5O_{12}$ fazlarından oluşmaktadır.
- En yüksek mikro sertlik değeri düşük sprej püskürtme mesafesinin yanı sıra yüksek ısı girdisi ile kaplanan 2 numaralı numunedir.

- Kaplanan numunelerin sertlikleri sprey mesafesinin artışına zıt yönlü olarak ısı girdisinin azalması sonucu düşmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, *International Journal of Pure and Applied Sciences* dergisinin hakemlerine ve dergi kurullarına teşekkür eder. Bu çalışma Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: 2020-1- TP2- 4017). Yazarlar Mersin Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederler. Bu makale Esra Oğuz'un Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlamış olduğu " Titanyum Alaşımının Plazma Püskürtme Yöntemi Kullanılarak ZrO₂-Mgo İle Kaplanması ve Kaplama Özelliklerinin Araştırılması" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazar(lar) bu çalışmada çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir. Çalışma, tüm yazarların katkılarıyla yazılmıştır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazar(lar), çalışmanın tüm süreçlerinde *International Journal of Pure and Applied Sciences* dergisinin bilimsel, etik ve atıf kurallarına uyduklarını beyan etmişlerdir.

References

- [1]H. Bai, L. Zhong, L. Kang, J. Liu, W. Zhuang, Z. Lv, Y. Xu, “ Journal Pre-proof A review on wear-resistant coating with high hardness and high toughness on the surface of titanium alloy A review on wear-resistant coating with high hardness and high toughness on the surface of titanium alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, Volume 882, 15 November 2021, 160645, 2021, doi: 10.1016/j.jallcom.2021.160645
- [2]G. Lütjering, “Introduction,” in *Titanium*. Springer, 2007, pp. 1–14, doi: 10.1007/978-3-540-73036-1_1
- [3]A. N. Banerjee, “Nanotechnology, Science and Applications Dovepress The design, fabrication, and photocatalytic utility of nanostructured semiconductors: focus on TiO₂-based nanostructures”, *Nanotechnology, Science and Applications*, 4–35, 2011, doi:10.2147/NSA.S9040
- [4]D. M. Brunette, P.Tengvall, M. Textor, P. Thomsen, “Titanium in Medicine: Material Science, Surface Science, Engineering, Biological Responses and Medical Applications”, *Springer Science & Business Media*. 2012, doi: 10.1007/s10006-002-0383-6
- [5]M. O. Oji, J. V. Wood, S. Downes, “Effects of surface-treated cpTi and Ti6Al4V alloy on the initial attachment of human osteoblast cells”. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 10, 12, 869–872. 1999, doi: 10.1023/A:1008933318756
- [6]S.Nishiguchi, T. Nakamura, M. Kobayashi, H.-M. Kim, F. Miyaji, T. Kokubo,”The effect of heat treatment on bone-bonding ability of alkali-treated titanium”, *Biomaterials*, Vol. 20, No. 5, 491-500, 1999. Doi: 10.1016/S0142-9612(98)90203-4
- [7]R. Thull and D. Grant, “Physical and chemical vapor deposition and plasma-assisted techniques for coating titanium,” *Titanium in Medicine*, Springer, 2001, pp. 283–341, doi: 10.1007/978-3-642-56486-4_10.
- [8]M. I. Jones, I. R. McColl, D. M. Grant, K. G. Parker, T. L. Parker, “Haemocompatibility of DLC and TiC–TiN interlayers on titanium”, *Diamond and Related Materials*, 8, 2–5, 457–462. 1999. doi: 10.1016/S0925-9635(98)00426-9
- [9]N. J. Archer, “The plasma-assisted chemical vapour deposition of TiC, TiN and TiCxN1– x”. *Thin Solid Films*, 80, 1–3, 221–225,1981. doi: 10.1016/0040-6090(81)90225-X

- [10]C. Jiang, T. Goto, T. Hirai, “Morphology and preferred orientation of titanium nitride plates prepared by chemical vapour deposition.”, *Journal of Materials Science*, 29, 3, 669–675, 1994, doi: 10.1007/BF00445977
- [11]A. G. Rakoch, V. V. Khokhlov, V. A. Bautin, N. A. Lebedeva, Y. V. Magurova, I. V. Bardin, “Model concepts on the mechanism of microarc oxidation of metal materials and the control over this process”. *Protection of Metals*, 42(2), 158-169. 2006, doi: 10.1134/S003317320602010X
- [12]H. J. Choe, S.-H. Kwon, J.-J. Lee, “Tribological properties and thermal stability of TiAlCN coatings deposited by ICP-assisted sputtering”. *Surface and Coatings Technology*, 228, 282–285, 2013, doi: 10.1016/j.surfcoat.2013.04.041
- [13]H. Ballikaya, “Microstructure and wear behaviour of Al/SiC composite coating on AlZn5.5MgCu alloy substrate at different sintering temperatures”. *Sādhanā* 49, 270 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12046-024-02584-y>
- [14]H. Ballikaya,, (2023). “Experimental and numerical examination of the wear behaviors of AA 7075 alloy coated with Al–SiC by using hot press sintering method”. *Surface Review and Letters*, 30(6), 1-12., (SCI Expanded), <https://doi.org/10.1142/S0218625X23500373>
- [15]H. Ballikaya, "Effect of particle volume fraction on wear behavior in Al–SiC MMC coated on DIN AlZnMgCu1.5 alloy" *Materials Testing*, vol. 66, no. 4, 2024, pp. 553-566. <https://doi.org/10.1515/mt-2023-0286>
- [16]A. Zirek, “Plazma püskürtme yöntemi ile seramik esaslı tozlarla kaplanan magnezyum alaşımasının yüzey kaplama özelliklerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi Fırat Üniversitesi. 2019
- [17]İ. Çelik, “Structure and surface properties of Al₂O₃–TiO₂ ceramic coated AZ31 magnesium alloy”, *Ceramics International*, 42(12), 13659–13663, 2016, doi: 10.1016/j.ceramint.2016.05.162
- [18]E. P. Song, J. Ahn, S. Lee, N. J. Kim.” Effects of critical plasma spray parameter and spray distance on wear resistance of Al₂O₃–8 wt. % TiO₂ coating”, *Surface and Coatings Technology*, Volume 202, Issue 15, 25 April 2008, Pages 3625-3632, doi: 10.1016/j.surfcoat.2008.01.002