

## Mikro Ark Oksidasyon (MAO) Prosesinin, Eklemeli Üretim (AM) Metodu ile Uyumluluğunun Araştırılması

Mustafa Safa Yılmaz<sup>1, 2</sup>, Adam T.Clare<sup>2</sup>, Orhan Şahin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Gebze/Kocaeli, University of Nottingham (AcademicVisitor)/United Kingdom, msyilmaz@gtu.edu.tr

<sup>2</sup> University of Nottingham, United Kingdom, adam.clare@nottingham.ac.uk

<sup>3</sup> Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Gebze/Kocaeli, osahin@gtu.edu.tr

### Özet

Alüminyum ve alaşımları günümüzde birçok alanda kullanılmaktadır. Son yıllarda geliştirilen Eklemeli Üretim (Additive Manufacturing-AM) yöntemi ile de alüminyum ve alaşımlarının üretimi mümkün hale gelmiştir. Fakat bu yöntem malzemedeki bazı fiziksel ve mekanik zayıflıklarını geliştirmekte yeterli olamamıştır. Bu eksiklikleri gidermek için ikincil işlemlere başvurulmaktadır. Bu ikincil işlemlerden en çok tercih edilen ısıtma işlemleridir. İkincil işlemlere alternatif üretmek adına yüzey kaplama sistemleri araştırılmaktadır. Mikro Ark Oksidasyon (MAO), alüminyum ve alaşımları için çok verimli bir kaplama teknolojisidir. Malzeme yüzeyinde seramik oksit bir tabaka oluşturulan bu yöntemde birçok elektriksel parametre ile kaplama özellikleri kontrol edilebilmektedir. Bu çalışma kapsamında AM metodu ile üretilen numunelerin (AlSi10Mg), MAO sistemine uyumluluğu araştırılmıştır. Farklı elektriksel parametreler uygulanarak malzemenin kaplanabilirliği ve kaplama tabakasının özellikleri incelenmiştir. Kaplama kalınlıkları, yüzey pürüzlülükleri, kaplama sertliği, kesit SEM-EDS, XRD ve optik mikroskop incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Darbe vuruş süresi ve uygulanan voltaj farklılıklarının kaplama özelliklerinde farklılıklar oluşturması ile birlikte AM-MAO proseslerinin uyumluluğu temel seviyede olumlu sonuçlar vermiştir. Kaplama tabakalarının kırılma mekaniği, korozyon dayanımı ve aşınma direnci araştırmaları ileriki çalışmalara bırakılmıştır.

### Anahtar kelimeler

Mikro Ark Oksidasyon;  
Eklemeli Üretim;  
Kaplama;  
Karakterizasyon;  
AlSi10Mg.

## Applicability of Micro Arc Oxidation to Additive Manufactured Metals

### Abstract

Selective Laser Melting was used to create specimens from aluminium and its alloys. Aluminium has low wear strength and corrosion resistance. Micro Arc Oxidation (MAO) was studied to improve its surface properties. Bipolar pulse mode was used with MAO system. Typical experimental parameters are explored for enhancing the surface performance of additively manufactured part. The X-ray diffraction (XRD) technique, scanning electron microscope (SEM), surface roughness (Ra) and indentation tests were employed to investigate the phase distribution, microstructure, surface properties and hardness of the coatings respectively. In conclusion, the MAO system is applicable for the Additive Manufactured metals.

### Keywords

Micro Arc Oxidation;  
Additive Manufacturing;  
Coating;  
Characterization;  
AlSi10Mg.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

AM teknolojisi 1980 yıllarında keşfedilmiştir. Bu sistem ilk olarak polimerik esaslı malzemelere uygulanmıştır. Gelişen teknoloji ile metal esaslı malzemelere de uygulanmıştır. Metal alaşımlarının bu yöntem ile üretilmesi sanayide birçok ihtiyaca cevap vermiştir. AM teknolojisi medikal uygulamalardan uçak sanayisi uygulamalarına kadar çok geniş bir yelpazede kullanım alanı bulmuştur. AM metodu çevreye duyarlı olmasının

yanında %50 'ye varan ağırlık tasarrufu sağlamaktadır. Bu metod sayesinde üretim kayıplarının sifıra yakın olması da önemli bir avantajdır (Buchbinder et al. 2011, Zhang et al. 2012 ).

Hafif malzeme üretimi son yıllarda uçak ve otomotiv sanayisinin başta olmak üzere birçok endüstride tercih edilmektedir. Hafiflik ve üretilebilirlik konularında önemli avantajlar sağlayan AM metodu, malzeme üretim mantığının

“designformanufacturing” yapısından “designforperformance” yapısına dönüşmesini sağlamıştır (Buchbinder et al. 2011).

AM metodu, toz metallerin lazer yardımı ile ergitilmesi ile üretimini sağlamaktadır. Tabakalar halinde tabya üzerine serilen toz metallere, yüksek enerjili lazerin belirlenen koordinatlarda gezdirilmesi ile proses işlemektedir (Kempen et al. 2012).

AM ile üretim sonrası iç yapının iyileşmesi için yapılan ısıl işlemler, malzemede sertlik kayıpları meydana getirmektedir (Thijs et al. 2013, Louvis et al. 2011). Isıl işlem haricinde yüzey modifikasyonlarının AM teknolojisi ile uyumluluğu detaylı araştırılmamıştır. Bu çalışmanın amacı; bilinen bir yöntem olan Mikro Ark Oksidasyon (MAO) işleminin AM ile üretilmiş olan malzemelere uygulanabilirliğinin araştırılmasıdır.

AM metodu ile üretilmiş olan malzemelerin yüzey ve iç yapı özelliklerinin geliştirilmesi için MAO yönteminin potansiyeli çok yüksektir. MAO metodu ile alüminyum ve alaşımlarının yüzeyinde kalın, sert, aşınmaya dirençli, korozyon mukavemeti yüksek ve kısmen termal bariyer özelliğe sahip kaplamalar oluşturulmaktadır (Wei et al. 2005, Snizkho et al. 2007, Yerokhin et al. 2005, Yerokhin et al. 1999).

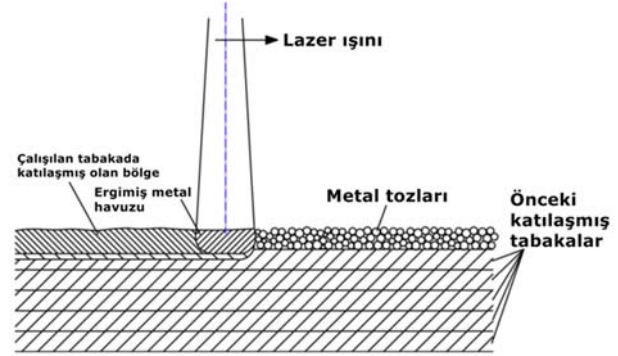
MAO uygulamalarında birçok parametrenin sonuçları etkilediği bilinmektedir [8]. En son araştırmalar, darbe vuruş süresinin de kaplama tabakası özelliklerine etki ettiğini göstermektedir (GebarowskiandPietrzyk 2013). MAO prosesinde kullanılan farklı darbe vuruş süresi ve farklı katodik voltaj denemeleri ile AM numunelerinin zayıf özellikleri geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada kullanılan MAO cihazı bipolar darbeli vuruşu kontrollüdür. Kullanılan farklı darbe vuruş süreleri ve katodik voltajları ile AM prosesinde üretilmiş numunelerin kaplamaları gerçekleştirilmiştir. Deneyler sabit anodik voltaj altında gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

AM teknolojileri kendi içerisinde birçok sınıfa ayrılmaktadır. Bu çalışmada numunelerin üretimi için en bilinen metot olan “SelectiveLaserMelting”

(SLM) olarak adlandırılan yöntem kullanılmıştır. RealizerGmbH SLM-50 model AM cihazı kullanılarak AlSi10Mg alaşımları üretilmiştir. Üretimde kullanılan AM cihazının çalışma prensibini şematik olarak anlatan resim Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. AM cihazı çalışma prensibinin şematik resmi (Brandl 2010).

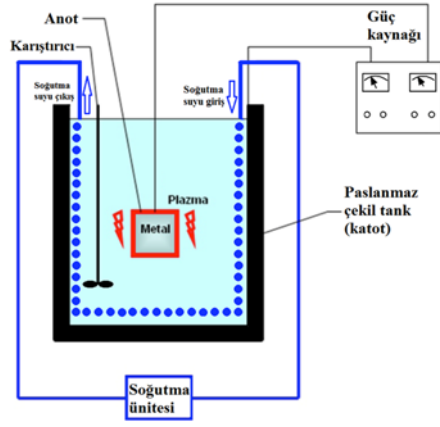
Metal tozları ince tabaka halinde tabya üzerine dökülür. Daha sonra bilgisayar yazılımı desteği ile katılaşması istenen koordinatlardaki tozların üzerine yüksek enerjili lazer ışını uygulanarak tozların erimesi ve birbirine yapışması sağlanır. Her tabakada aynı döngü tekrar edilerek istenen formdaki parça elde edilir ve kontrollü soğutma ile malzeme cihazdan çıkartılır.

AM üretiminde kullanılan bazı parametreler Tablo 1’de verilmiştir. Çalışmalar argon gazı kontrollü atmosferde gerçekleştirilmiştir. Numuneler 3 cm çapında disk şeklinde üretilmiştir.

Tablo 1. AM proses parametreleri ve değerleri.

Parametre	Değer
Lazer gücü (W)	200
Lazer boyutu (Spot size)	70 µm
Tarama hızı (scan speed)	570 µm/saniye
Tabakalar arası boşluk (hatch spacing)	80 µm
Tabaka kalınlığı	25µm
Toz metal havuzu sıcaklığı	80°C
Metal tozları boyutu	10-100 µm

AlSi10Mg alaşımlı numuneler üretildikten sonra kaplama prosesine geçilmiştir. MAO sistemi alternatif akımlı 12,5 kW ‘lük iki adet güç kaynağı ile çalışmaktadır. Cihazının şematik olarak gösterimi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. MAO cihazı şematik görüntüsü.

Güç kaynağının katot ucuna paslanmaz çelik tank anot ucuna da AM yöntemi ile üretilmiş malzeme bağlanmıştır. İletken elektrolitik sıvı içerisindeki malzemeye elektrik akımları kontrollü bir şekilde gönderilmekte ve metal yüzeyinde arklar oluşturularak kaplamalar elde edilmektedir. MAO ünitesine bağlı bir şekilde çalışan Tektronix-TDS 2024C model osiloskop yardımı ile darbe vuruş süreleri ve uygulanan akım değerleri kontrol edilmektedir. Elektrolitik sıvının kimyasal dağılımını havuz içerisinde homojenleştirmek ve havuzun sıcaklığını kontrol edebilmek için karıştırıcı ve soğutma sistemi kullanılmaktadır.

Çalışmada AM-MAO uyumunu araştırmak için MAO prosesinde birçok parametre sabit tutulmuştur. Bu parametreler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. AM proses parametreleri ve değerleri.

Parametre	Değer
Anot voltajı ( $V_a$ )	500 V
Katod voltajı ( $V_k$ )	300 V, 400 V, 500 V
Ölü zaman (Dutycycle)	8%
İki darbe arası bekleme süresi	500 $\mu$ s
Kaplama süresi	20 dakika
Elektrolit sıcaklığı	25°C $\pm$ 5
Elektrolit kompozisyonu	KOH, Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> .5H <sub>2</sub> O

Saf alüminyum malzeme üzerinde yapılan ön çalışmalarda kaplama kalitesinde farklılık oluşturan darbe vuruş süreleri ve katod voltajları tespit edilmiştir (Yılmaz and Şahin 2015). Bu parametrelerin bir kısmı AM numuneleri üzerinde denenmiştir. Araştırmalar boyunca kullanılan darbe vuruş süreleri ve katod voltaj değerleri

kombinasyonları Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. MAO prosesinde kullanılan darbe vuruş süreleri ve uygulanan katodik voltaj değerleri.

Katod darbe vuruş süresi ( $\mu$ s)	300	300	300	1000	1000	1000
Anod darbe vuruş süresi ( $\mu$ s)	400	400	400	1300	1300	1300
Katodik voltaj ( $V_k$ )	300	400	500	300	400	500
Numune kodu	A1	A2	A3	B1	B2	B3

AM numunelerinin enerji dağılımlı x ışınları analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Altlık malzeme analizi sonuçları (%ağırlık).

	Al	Si	Mg
%	91.17	8.27	0.56

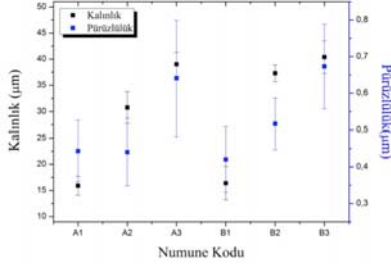
Kaplamaların yüzey pürüzlülük analizlerinde ALICONA InfiniteFocus G5 model profilometre kullanılmıştır. Pürüzlülükler ISO4287 ve ISO4288 standartları ile ölçülmüştür. Kaplama kalınlıkları Fisher-Dualscope MP40E-S model cihaz ile ölçülmüştür. XRD analizlerinde Brukers D8 (40kW, 40mA) model difraktometre kullanılmıştır. XRD analizleri Cu K $\alpha$  karakteristik ışınları ile 25° - 85° arasında 0.02°'lik artışlarla yapılmıştır. Kesit analizlerinde Philips XL30 model SEM cihazı kullanılmıştır. SEM cihazına bağlı olan EDAX dedektörü ile kesitten elemental analizler gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların sertlik analizleri 10 gr'lık yük altında Boehler mikro sertlik cihazı ile yapılmıştır.

### 3. Bulgular

Numunelerin kaplama kalınlıkları ile yüzey pürüzlülükleri deneyleri sonuçları Şekil 3' te verilmiştir.

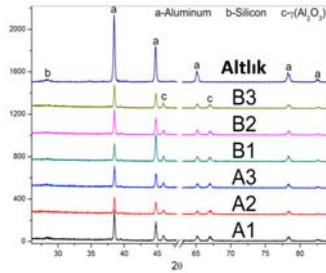
Kaplama kalınlıkları 15  $\mu$ m ile 45  $\mu$ m arasında değişmektedir. Kalınlık değerleri artan katodik voltaj değeri ile (A1-A2-A3 sırası ile voltaj arttırılmıştır) artış göstermiştir. Darbe vuruş süresindeki artış (A serisinden B serisine doğru arttırılmıştır) ile kaplama kalınlıklarında az miktarda artış tespit edilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi kaplama tabakasını kalınlık değişiminde voltajın etkisi darbe vuruş süresinin etkisinden daha yüksektir. Kaplamaların pürüzlülüklerindeki değişim kalınlık değerlerindeki değişim ile benzer bir eğilim

göstermiştir. Bu eğilim, MAO proseslerinde beklenen bir durumdur. Artan kaplama kalınlığı ile malzeme yüzeyindeki mikro arkların şiddeti artmaktadır ve bu değişim kaplamaların yüzey pürüzlülük değerlerini yükseltmektedir. Kısaca; kaplama kalınlığındaki artış, pürüzlülük değerini de arttırmaktadır (JavidiandFadaee 2013).



Şekil 3. Kaplamaların kalınlık ve pürüzlülük değerleri.

Kaplanmış AM numunelerinin yüzeyine yapılan XRD deneylerinin sonuçları Şekil 4' te verilmiştir. grafiklerdeki alüminyum ve silisyum pikleri altlık malzemeden gelmektedir.



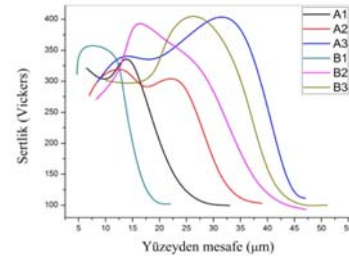
Şekil 4. XRD deneyleri sonuçları.

Alüminyum ve alaşımlarına uygulanan MAO proseslerinde kaplama tabakasının alüminyum oksitlerden oluşması beklenir.  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazları alüminyumun en yaygın görünen oksitleridir. MAO sisteminin doğası gereği bu fazlar sıralı ile ve tabakalı olarak malzeme yüzeyinde oluşturulmaktadır. Oluşan tabakalarda  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazı istenmektedir. Çünkü bu faz malzemeye sertlik, aşınma direnci ve korozyon direnci sağlamaktadır (Snizko et al. 2007, Yerokhin et al. 2005, Yerokhin et al. 1999).

MAO prosesinde malzeme yüzeyinde öncelikle  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazı oluşmaktadır. Kaplama kalınlığının artışı ile altlık malzemeye yakın bölgelerde (yani kaplamanın iç kısımlarında)  $\gamma$   $\rightarrow$   $\alpha$  faz dönüşümü meydana gelmektedir. Bu dönüşüm için yavaş

soğumalar ve yüksek sıcaklıklar gerekmektedir. Bu dönüşüm şartları kaplamanın altlık ile arayüzey bölgelerine yakın kısımlarında sağlanabildiği için  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazı kaplamanın iç kısımlarında yoğun olarak bulunmaktadır. Kaplama prosesinin devam etmesi durumunda  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazı kaplamanın her zaman dış bölgelerinde mevcut olmaktadır. Bu dış tabaka, iç bölgelere göre kısmen daha yumuşak, gözenekli ve kolay dökülebilen bir yapıya sahiptir (Wang et al. 2014).

Numunelerin enine kesitlerinden yapılan sertlik deneyleri sonuçları Şekil 5' te verilmiştir.



Şekil 5. Enine kesit sertlik değerleri.

MAO sistemlerinde  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazı ihtiva eden kaplamalar oluşturulmakta ve bu kaplamaların sertlik değerlerinin 2000 Vickers' e kadar çıkmaktadır (Krishna et al. 2003). Bu çalışmada üretilen kaplamalarda bu fazın var olmayışı ve kaplama tabakası içerisinde silisyum elementinin yoğun olarak bulunuşu sertlik değerinin beklenen seviyelerden çok düşük noktalarda kalmasına sebep olmuştur (Guleç et al. 2015). Bu olumsuzluklara rağmen malzeme yüzeyinin sertlik değerinin 4 katına kadar çıktığı görülmektedir.

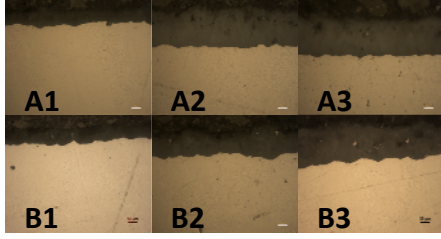
Sertlik grafikleri yüzeyden mesafeye göre çizilmiş ve kaplama tabakası boyunca sertlik değerlerinin belirli bir rejimde olmadığı görülmüştür. Tüm numunelerde, kaplama tabakası boyunca sertlik değerleri 200 ile 450 Vickers arasında değişmektedir. Kaplamaların bittiği yerden itibaren sertlik değeri ani bir düşüş göstermiştir.

Proses süresinin arttırılması ve daha kalın kaplama tabakası üretilmesi ile  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazının oluşturulabileceği ve sertlik değerlerinin daha yüksek seviyelere çıkabileceği düşünülmektedir.

Kaplamaların enine kesitlerinden alınan görüntüler Şekil 6' da verilmiştir. Yapılan inceleme ile kaplama tabakası-altlık malzeme arayüzey bölgelerinde



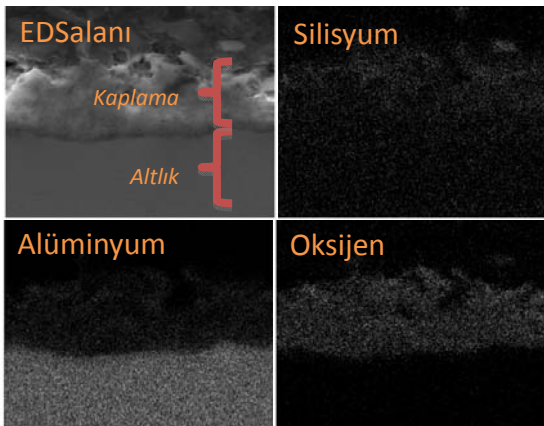
herhangi bir boşluk veya kopmanın olmadığı görülmüştür. Kaplama büyümesinin verimli bir şekilde ilerlediği düşünülmektedir. Prosesin daha uzun süreler için de uygulanabilir olduğu öngörülmektedir.



Şekil 6. Numunelerin enine kesit görüntüleri.

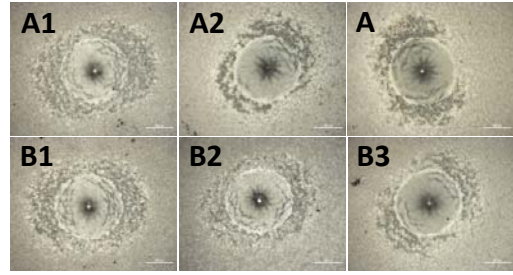
Enine kesit görüntülerinde katod voltajının düşük olduğu çalışmalarda arayüzey bölgeleri düzensiz bir geçiş yapısı sergilemiştir. Katodik voltajın artması ile geçiş bölgesindeki bu düzensiz yapı daha belirgin hale gelmiştir. Düşük darbe vuruş süreli ve yüksek katodik voltajlı numunede (B3) arayüzey geçiş bölgesinde dalgalanmış bir yapı tespit edilmiştir. Yüksek katodik voltajlı ve düşük darbe vuruş süreli numunede ise (A3) arayüzey bölgesi ise daha düzgün bir yapıdadır. Daha uzun süresi kaplama proseslerinde, bu dalgalı geçiş bölgelerinin kaplama kalınlığını olumsuz etkileyeceği düşünülmektedir.

A1 kodlu numuneye yapılan EDS çalışmaları görüntüsü Şekil 7' de verilmiştir. Kaplama tabakasında alüminyumoksit haricinde silisyum elementleri de tespit edilmiştir. Kaplama tabakası içerisinde silisyum elementi hem altlık malzemedan hem de elektrolitik sıvıdan gelmiştir. Kaplama tabakası boyunca hakim olan fazın  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 7. A1 numunesi EDS alanı analiz resimleri.

MAO kaplamalarının çok iyi yapışma mukavemetine sahip olduğu bilinmektedir [8]. Bu çalışmada kaplamaların yapışma mukavemetleri karşılaştırmalı bir yöntem olan Rockwell-C indentasyon metodu ile test edilmiştir (Heinke et al. 1995). İncelemelerde kullanılan izlerin görüntüsü Şekil 8' de verilmiştir. İndentasyon izlerinin etrafında meydana gelen kopma ve dökülmelerin miktarına göre kaplama tabakalarının yapışma mukavemetleri kıyaslaması yapılmıştır.



Şekil 8. Rockwell-C indentasyon izleri görüntüleri.

İndentasyon izlerinin incelemeleri neticesinde artan katodik voltaj ile kaplama tabakasını yapışma mukavemetinin arttığı tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

AM ürünlerine MAO uygulamalarını uygun olduğu düşünülmektedir. Al-Si alaşımlarının MAO prosesinde kaplamalarının zorlukları ile bu çalışmada da karşılaşılmıştır. Kaplama tabakasının istenen faz ile üretilmesinde zorluk yaşanmıştır.

Uygulanan voltaj etkisinin, darbe vuruş süresinin etkisinden çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Katodik voltajın 300 voltan 500 volta çıkması ile kaplama kalınlığında iki kat artış elde edilmiştir.

Kaplama tabakası çoğunlukla  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazından oluşmuştur. Proses süresinin arttırılması ile faz yapısında değişimler meydana geleceği düşünülmektedir.

Kaplama tabakası sertliklerinde, değişen parametreler ile herhangi bir farklılık meydana gelmemiştir.

Kaplamanın büyüme mekanizmasında altlık malzeme-kaplama tabakası geçiş bölgesinin yapısı önemlidir. Çalışılan parametrelerdeki en verimli sonuçların alınacağı aralıklar öngörülebilmektedir.

Kaplamaların çok iyi yapışma sergilemediği görülmüştür.

AlSi10Mg alaşımlarının korozyon direnci olduğu bilinmektedir (Xue et al. 2007). Yapı içerisinde oluşturulacak  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazı, arayüzey bölgesindeki yapı vasıtası ile aşınma ve korozyon direnci. AM-MAO proseslerinin birlikte kullanılması ile malzemeye korozyon direnci konusunda yüksek kalite sağlanacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma sonucunda ileriki süreçte araştırılacak bazı konular tespit edilmiştir;

- Daha verimli parametreler araştırılmalıdır.
- Aşınma ve korozyon deneyleri yapılmalıdır.
- Kırılma dayanımı araştırılmalıdır.

### Teşekkür

Bu çalışmada "TÜBİTAK 2211-C Öncelikli Alanlara Yönelik Yurt İçi Doktora Burs Programı" ve "TÜBİTAK 2214-A Yurt Dışı Araştırma Burs Programı" destekleri alınmıştır.

### Kaynaklar

Buchbinder, D., Schleifenbaum, H., Heidrich, S., Meiners, W., Bultmann, J., 2011. High Power Selective Laser Melting (HP SLM) of Aluminum Parts, Physcs Proc, 12, 271-278.

Brandl, E., 2010. Microstructural and Mechanical Properties of Additive Manufactured Titanium (Ti-6Al-4V) Using Wire: Evaluation with Respect to Additive Processes Using Powder and Aerospace Material Specifications.

Gebarowski, W. and Pietrzyk, S., 2013. Influence of the Cathodic Pulse on the Formation and Morphology of Oxide Coatings on Aluminium Produced by Plasma Electrolytic Oxidation, Arch Metall Mater, 58, 241-245.

Güleç, A.E., Gencer, Y., Tarakçı, M., 2015. The characterization of oxide based ceramic coating synthesized on Al-Si binary alloys by microarc oxidation, Surf Coat Tech, 269, 100-107.

Heinke, W., Leyland, A., Matthews, A., Berg, G., Friedrich, C., Broszeit, E., 1995. Evaluation of PVD nitride coatings, using impact, scratch and Rockwell-C adhesion tests, Thin Solid Films, 270, 431-438.

Javidi, M., Fadaee, H., 2013. Plasma electrolytic oxidation of 2024-T3 aluminum alloy and investigation on microstructure and wear behavior, Appl Surf Sci, 286, 212-219.

Kempen, K., Thijs, L., Humbeeck, J. V., Kruth, J.P., 2012. Mechanical properties of AlSi10Mg produced by Selective Laser Melting, Laser Assisted Net Shape Engineering 7 (Lane 2012), 39, 439-446.

Krishna, L.R., Somaraju, K.R.C., Sundararajan, G., 2003. The tribological performance of ultra-hard ceramic composite coatings obtained through microarc oxidation, Surf Coat Tech, 163, 484-490.

Louis, E., Fox, P., Sutcliffe, C.J., 2011. Selective laser melting of aluminium components, J Mater Process Tech, 211, 275-284.

Snizhko, L.O., Yerokhin, A.L., Gurevina, N.L., Patalakha, V.A., Matthews, A., 2007. Excessive oxygen evolution during plasma electrolytic oxidation of aluminium, Thin Solid Films, 516, 460-464.

Thijs, L., Kempen, K., Kruth, J.P., Humbeeck, J. V., 2013. Fine-structured aluminium products with controllable texture by selective laser melting of pre-alloyed AlSi10Mg powder, Acta Mater, 61, 1809-1819.

Wei, T.B., Yan, F.Y., Tian, J., 2005. Characterization and wear and corrosion resistance of microarc oxidation ceramic coatings on aluminum alloy, J Alloy Compd, 389, 169-176.

Wang, J.H., Du, M.H., Han, F.Z., Yang, J., 2014. Effects of the ratio of anodic and cathodic currents on the characteristics of micro-arc oxidation ceramic coatings on Al alloys, Appl Surf Sci, 292, 658-664.

Xue, W.B., Shi, X.L., Hua, M., Li, Y.L., 2007. Preparation of anti-corrosion films by microarc oxidation on an Al-Si alloy, Appl Surf Sci, 253, 6118-6124.

Yerokhin, A.L., Nie, X., Leyland, A., Matthews, A., Doney, S.J., 1999. Plasma electrolysis for surface engineering, Surf Coat Tech, 122, 73-93.

Yerokhin, A.L., Shatrov, A., Samsonov, V., Shashkov, P., Pilkington, A., Leyland, A., Matthews, A., 2005. Oxide ceramic coatings on aluminium alloys produced by a pulsed bipolar plasma electrolytic oxidation process, Surf Coat Tech, 199, 150-157.

Yılmaz, M. S., Şahin, O., 2015. Effects of Pulse Duration on Structure and Surface Characteristics of Micro-Arc Oxidation Coatings Formed on Aluminum Alloy, in: 5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress, Antalya,.

Zhang, B.C., Liao, H.L., Coddet, C., 2012. Effects of processing parameters on properties of selective laser melting Mg-9%Al powder mixture, Mater Design, 34, 753-758.