



## Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

### AZ91 Mg Alaşımı Üzerine Soğuk Sprey Kaplama Yöntemi ile Al Kaplamaların Büyütülmesi

**Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU**

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 29100,  
Gümüşhane, Türkiye

Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU, ORCID No: [0000-0001-8638-5471](https://orcid.org/0000-0001-8638-5471)

Sorumlu yazar e-posta: [eesukuroglu@gumushane.edu.tr](mailto:eesukuroglu@gumushane.edu.tr)

#### Makale Bilgileri

Geliş: 19.04.2023  
Kabul: 16.06.2023  
Online Aralık 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1285509](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1285509)

#### Anahtar Kelimeler

Al kaplama,  
AZ91 Mg alaşımı,  
Soğuk spre y yöntemi (SS)

**Öz:** Hafif metalik mühendislik malzemelerinden biri olan AZ91 magnezyum alaşımı; sahip olduğu düşük yoğunluk ve yüksek özgül mukavemet özelliklerinden dolayı endüstrinin birçok alanında yapı malzemesi olarak tercih edilmektedir. Ancak AZ91 alaşımının sahip olduğu güçlü yapısal özelliklerine rağmen yüzey özelliklerinin sınırlı olması, saldırgan ortamlarda ve aşırı yük altında düşük dayanıma sahip olmasına dolayısıyla bu alaşımların kullanımlarının sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Bu alaşımların zayıf yüzey özelliklerini geliştirmek ve endüstrinin farklı alanlarında kullanımlarını artırılabilmesi için yüzey kaplama işlemleri uygulanabilmektedir. Bu çalışmada; AZ91 magnezyum alaşımının yüzey özelliklerini iyileştirilebilmesi amacıyla soğuk spre y (SS) yöntemi ile Al kaplamaların büyütülmesi amaçlanmıştır. Büyütülen kaplamaların yapısal morfolojik analizleri kaplamaların XRD ve SEM analizleri ile sertlik değerleri ise mikro sertlik ölçme yöntemiyle tespit edilmiştir.

### Deposition of Al Coatings by Cold Spray Method on AZ91 Mg Alloy

#### Article Info

Received: 19.04.2023  
Accepted: 16.06.2023  
Online December 2023

DOI:[10.53433/yyufbed.1285509](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1285509)

#### Keywords

Al coating,  
AZ91 Mg alloy,  
Cold spray method (SS)

**Abstract:** AZ91 magnesium alloy, one of the lightweight metallic engineering materials; is preferred as a building material in many areas of industry due to its low density and high specific strength properties. However, despite the strong structural properties of the AZ91 alloy, the limited surface properties cause low strength in aggressive environments and under extreme loads, thus limiting the use of these alloys. Surface coating processes can be applied to improve the weak surface properties of these alloys and to increase their use in different areas of industry. In this study; to improve the surface properties of AZ91 magnesium alloy, it is aimed to enlarge Al coatings by cold spray (SS) method. Structural and morphological analyses of the coatings were determined by XRD and SEM, and hardness values were determined by the microhardness measurement method.

## 1. Giriş

Magnezyum ve alaşımları; hafiflik, yüksek dayanım ve yüksek mukavemet-ağırlık oranına sahip olması, çok iyi sönümlenme ve geri dönüşüm yeteneği göstermesi, elektriksel iletkenlik ve güçlü elektromanyetik koruma sergilemesi, toksik olmamaları, biyoyoumluluk ve biyolojik bozunabilirlik gibi olağanüstü özelliklere sahip olmalarından dolayı başta savunma, uzay ve havacılık sanayisi olmak üzere elektronik, biyomalzeme, medikal, otomotiv ve imalat sanayisi, gibi birçok endüstriyel uygulamada yapı

malzemesi olarak tercih edilmektedir (Lua ve ark., 2020; Molaei ve ark., 2020; Ma ve ark., 2022). Özellikle havacılık ve uzay sanayisi başta olmak üzere savunma, otomotiv ve makine endüstrisinde kullanılan parçaların hafif olma gereksinimlerine ilave olarak bu parçaların daha dayanıklı olması ihtiyacı da ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılayabilmek adına teknolojik gelişmelerin de etkisiyle yeni alaşım sistemleri oluşturulmaktadır. Magnezyum ve alaşımlarının sahip olduğu üstün özelliklerinin yanında düşük korozyon direncine sahip olmaları, zayıf aşınma direnci sergilemeleri, yanıcı olması, korozif olmayan ortamlarda bile üretim sırasındaki düşük döküm sıcaklıklarından kaynaklı olarak meydana gelen makro segregasyonlar ve sahip oldukları yüksek elektronegatif potansiyel değerlerinden kaynaklı alaşımlarının yüzeylerinde oluşan oksit-karbonat filminin kararsız olmasından dolayı oksijensiz ortamlarda bile korozyona karşı yeterli koruma sağlayamaması gibi dezavantajları da bulunmaktadır (Wendt & Weiß, 2004; Song & StJohn, 2005; Esmaily ve ark., 2017; Zhang ve ark., 2018; Lua ve ark., 2020).

Bu dezavantajları giderebilmek için magnezyum alaşımlarının yüzeylerine koruyucu kaplama işlemleri uygulanarak gerekli uygun iyileştirilmeler sağlanabilmektedir (Atrens ve ark., 2015; Siddique ve ark., 2020; Ma ve ark., 2022). Metalik malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek için uygulanan kaplama teknikleri temelde gaz fazı sistemleri, sıvı faz sistemleri ve ergimiş veya yarı ergimiş faz sistemleri olmak üzere üç grup altında toplanmaktadır (Öztürk, 2003). Ergimiş veya yarı ergimiş faz sistemleri içerisinde değerlendirilen termal sprej kaplama sistemi ile magnezyum ve alaşımlarının yüzeyinde etkili bir film tabaka oluşturularak taban malzemenin aşındırıcı ortamdan izole edilmesi sağlanabilmektedir. Bu kaplama yönteminin herhangi bir çözeltili gerektirmeden gerçekleşmesi ise en önemli avantajlarından biridir (Liu ve ark., 2020; Lua ve ark., 2020). Termal sprej sistemlerinden biri olan soğuk sprej (SS) kaplama yöntemi ise mikron boyutundaki partiküllerin nispeten daha düşük sıcaklıklarda taban malzeme yüzeyinde biriktirilmesi prensibine dayanan yeni bir kaplama yöntemidir (Tekin ve ark., 2021). Bu partiküller bir gaz jeti yardımıyla yüksek hızlara çıkarılıp taban malzemeye püskürtülerek malzeme yüzeyinde plastik deformasyon oluşturulmakta ve böylece partiküllerin yüzeyde birikmesini sağlamaktadır (Atrens ve ark., 2015; Assadi ve ark., 2016; Rokni ve ark., 2017; Liu ve ark., 2020; Lua ve ark., 2020). Bu yöntemde partikül olarak genelde alüminyum (Al) ve alüminyum içerikli alaşım tozları kullanılmaktadır. Al yoğunluğunun, Bakır (Cu), Çinko (Zn), Nikel (Ni) gibi diğer metallere göre daha düşük olması ve buna bağlı olarak AZ91 alaşımlarının yüzeyinde biriktirilen Al kaplamaların taban malzemede çok az bir ağırlık artışına sebep olması püskürtülen partikül olarak Al ve Al içerikli alaşım tozlarının tercih edilmesini sağlamaktadır. Soğuk sprej (SS) yönteminin temel amacı, yüzeyde etkili bir film oluşturularak taban malzemeyi aşındırıcı ortamdan izole etmektir. Bunun yanında, partiküllerin soğuk püskürtülmesinden kaynaklı kümülatif çökelme sergilemesi, partiküllerin yetersiz deformasyon sağlamasına neden olmaktadır. Bu durum ise özellikle kaplamanın üst yüzeyinde gözenekli bir tabaka iç yapısında ise gözeneklerin oluşmasına neden olmaktadır (Rokni ve ark., 2017).

Bu çalışmada, AZ91 magnezyum alaşımının endüstrinin farklı alanlarında kullanımını artırmak amacıyla yüzey özelliklerinin iyileştirilmesine odaklanılmıştır. AZ91 taban malzemeler yüzeyine SS yöntemi ile Al kaplaması büyütülerek alaşım sisteminin yüzey özellikleri ile sertlik değerleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

Taban malzemesi olarak 25x25x2 mm boyutlarında, kimyasal bileşimi Çizelge 1’ de verilen AZ91 magnezyum alaşımı kullanılmıştır. Her bir örneğin yüzeyi sırasıyla 600, 800, 1000 ve 1200 tane boyutuna sahip SiC zımparalar yardımıyla  $Ra \approx 0.15-0,20 \mu m$  pürüzlülük değerine ulaşıncaya kadar parlatılmıştır.

Çizelge 1. Taban Malzemenin (AZ91 Mg Alaşımı) Kimyasal Bileşimleri (% ağırlık)

Al	Zn	Mn	Fe	Ti	Cu	Mg
9.1	0.85	0.28	0.018	<0.002	<20	Kalan

SS yöntemi ile AZ91 magnezyum alaşımı üzerine Al kaplamalar büyütülmüştür. Kaplamanın yapısı ve mekanik özelliklerine etki eden sıcaklık (°C) ve basınç (MPa) sistemin sabit parametreleri olarak belirlenmiştir. Nozul (püskürtme) mesafesi (mm) parametresi ise değişken parametre olup 15-25 mm olmak üzere iki farklı değerde kaplamalar büyütülmüştür. SS yöntemi ile kaplama işlemi; özellikleri Çizelge 3’ de belirtilmiş olan DYMET firmasına ait K-10-01 ticari kodlu Al toz partiküllerin sıkıştırılmış hava gazı kullanılarak örneklerin yüzeyine püskürtülmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 2. SS yöntemi parametreleri

Sıcaklık (°C)	Basınç (MPa)	Nozul Mesafesi (mm)
400	0,5	10 25

Çizelge 3. SS yönteminde kullanılan toz karışımı özellikleri (Szala ve ark., 2020)

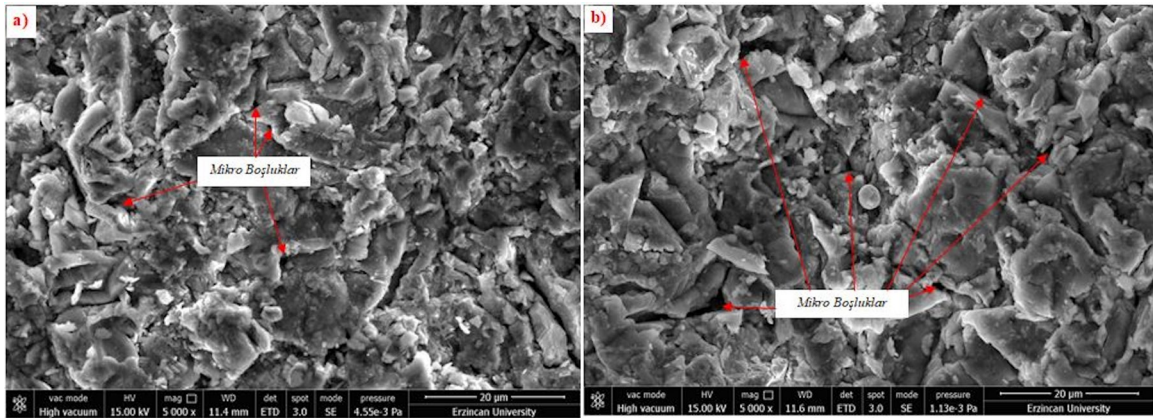
Ticari Toz Adı	Safılık (%)	Al (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Partikül Boyutu (µm)
K-10-01	99,6	40	60	50 ±10

Kaplanan ve kaplanmayan örneklerin yapısal ve morfolojik analizleri sırasıyla Cu-K $\alpha$  kaynaklı X-Ray Difraktometresi (XRD) ve FEI marka QUANTA FEG 250 Taramalı Elektron Mikroskobuyla (SEM) gerçekleştirilmiştir. Kaplamaların yüzey sertlik değerleri Buehler Micromet 2001 mikrosertlik cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Sertlik ölçümleri, kaplama yüzeyine mikro sertlik ölçüm cihazıyla 136° Vickers elma kare piramit batıcı ucun 5 farklı noktada 15 sn boyunca 10 gf’ lik yük uygulaması sonucu kaplama yüzeyinde oluşan izlerin ortalama değerlerinin belirlenmesi ile gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular

Soğuk sprej (SS) yöntemiyle AZ91 magnezyum alaşımı yüzeyine büyütülen Al kaplamaların yüzey SEM görüntüleri Şekil 1’ de gösterilmiştir. SS yöntemi; bir gaz jeti yardımıyla yüksek hızlara çıkartılan metalik toz partiküllerin taban malzeme yüzeyine çarptırılarak, partiküllerin deformasyon yeteneğine göre malzeme yüzeyinde biriktirilmesi prensibine dayanan kaplama yöntemidir (Steenkiste ve ark., 1999; Zhao ve ark., 2006; Altuncu & Üstel, 2010). Toz partiküllerin püskürtme işlemi sırasında yüksek hızlara çıkartılması, ilk olarak gazların ısıtılması ve daha sonra basınç altında hızlandırılarak nozuldan çıkışı ile meydana gelmektedir (Davis, 2004; Altuncu & Üstel, 2010). Bu sayede taban malzeme yüzeyinde büyütülen kaplamaların yoğun ve yüksek adezyona sahip olduğu söylenebilmektedir (Zhao ve ark., 2006). Şekil 1’ de gösterilen SEM görüntüleri incelendiğinde farklı parametrelerde gerçekleştirilen tüm deney şartlarında taban malzeme yüzeyinde büyütülen kaplamalarda toz partiküllerin yüzeye çarpma esnasında oluşan kesme kuvvetinin etkisiyle plastik deformasyona uğrayıp şekil değiştirdiği belirlenmiştir. Plastik deformasyona uğrayan toz partiküllerin yüzeyde adezyon sağlayabilmesi için toz partiküllerin taban malzeme yüzeyinde %50’ sinden daha fazlasının çarpması ve püskürtme hızının kritik çarpma hızına ulaşması gerekmektedir (Altuncu & Üstel, 2010; Maledia ve ark., 2017). Bu şartlar sağlandığı zaman toz partiküller ile taban malzeme yüzeyinde temas noktaları artmakta ve böylelikle adezyon kuvveti sağlanabilmektedir. Bu temas noktaları Şekil 1’ deki SEM görüntülerinde gösterilmektedir. Literatürde yüksek kinetik enerjinin toz partiküller arası çekme gerilmesinin oluşumuna sebep olduğu ve bu durumun toz partiküllerin taban malzeme

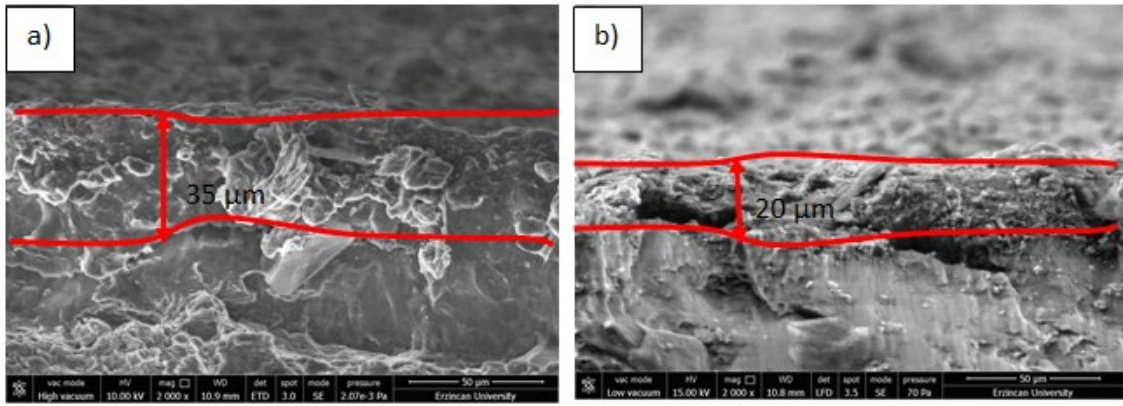
yüzeyindeki temas noktalarında erozyona neden olabileceği belirtilmiştir (Dykhuisen ve ark., 1999; Assadi ve ark., 2003; Ghelichi & Guagliano, 2009; Altuncu & Üstel, 2010). Kaplama parametresi olarak seçilen gaz sıcaklığı SS yöntemi için en etkin parametrelerden biridir (Tekin ve ark., 2021; Siddique ve ark., 2020; Poza & Garrido-Maneiro, 2022). Gaz sıcaklığının artması hem püskürtülen toz partiküllerin yüzeyde birikme veriminin artmasına hem de büyütülen kaplamaların mikro yapısında soğuk sprej yönteminin doğasından kaynaklanan gözenekli yapının ve bu yapıdaki gözeneklerin boyutlarının azalmasına neden olmaktadır (Zahiri ve ark., 2006; Tekin ve ark., 2021). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde kaplama parametresi olarak en etkin değerler belirlenmiştir. Bu bağlamda seçilen sıcaklık parametresinde SS yöntemi ile kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Gaz sıcaklığının artışı, püskürtülen toz partiküllerin deformasyon yeteneğini arttırmakta ve buna bağlı olarak kaplama yüzeyindeki gözenekli yapı ve gözeneklerin boyutlarının da azalmasını sağlamaktadır (Zahiri ve ark., 2006; Siddique ve ark., 2020). SS yönteminde kaplamaların karakterizasyonuna etki eden parametre ise basınçtır. Püskürtme işlemi sırasında uygulanan basınç değerinin düşük olması, büyütülen kaplamaların mikro yapısında bulunan gözenekli yapıların artmasına ve gözenek boyutlarının büyümesine neden olmaktadır (Siddique ve ark., 2020). Bu durumun nedeni olarak ise düşük basınç değerlerinde parçacıkların ivmelenme hızlarının düşük olması ve buna bağlı olarak kinetik enerjilerinin de düşük seviyede olmasıdır. Böylelikle parçacıkların plastik deformasyon yeteneği azalmakta ve büyütülen kaplamaların gözenek boyutlarında artışlar meydana gelmektedir (Lee ve ark., 2007; Maledi ve ark., 2017; Cortes ve ark., 2020; Poza & Garrido-Maneiro, 2022). Literatürdeki çalışmalar ışığında bir diğer kaplama parametresi olarak basınç değeri seçilmiş ve sabit parametre olarak belirlenmiştir. SS yönteminde, kaplamaların verimliliğine etki eden bir diğer parametre ise püskürtme mesafesidir (Pattison ve ark., 2008; Li ve ark., 2008; Goral ve ark., 2019). Literatürdeki çalışmalar ışığında püskürtme mesafesi, püskürtülen partiküllerin yüzeye çarpma hızını etkilediği belirlenmiştir. Çarpma hızı ise biriktirme verimliliğini etkilemektedir (Li ve ark., 2008; Goral ve ark., 2019). Püskürtme mesafesinin artması taban malzeme yüzeyindeki kaplamaların biriktirme veriminin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 1' deki görüntüler incelendiğinde püskürtme mesafesinin fazla olduğu kaplama şartlarında gözenek miktarlarının da fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 1. SS yöntemiyle AZ91 alaşımı üzerine büyütülen Al kaplamaların yüzey görüntüleri a) 10mm püskürtme mesafesi ve b) 25mm püskürtme mesafesi.

Şekil 2' de ise AZ91 magnezyum alaşımı yüzeyine büyütülen Al kaplamaların kesit SEM görüntüleri gösterilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde püskürtme mesafesinin fazla olduğu kaplama şartlarında kaplama kalınlığında azalma olduğu belirlenmiştir. Kaplama işlemi sırasında püskürtülen toz partiküllerin uzun bir mesafe boyunca hareket etmesinden kaynaklı olarak enerjilerini kaybetmesi ve buna bağlı olarak birikme veriminin azalması, kaplama kalınlığındaki azalmanın nedeni olarak düşünülmektedir (Li ve ark., 2008; Maledi ve ark., 2017). Ayrıca püskürtme mesafesinin, kaplamanın

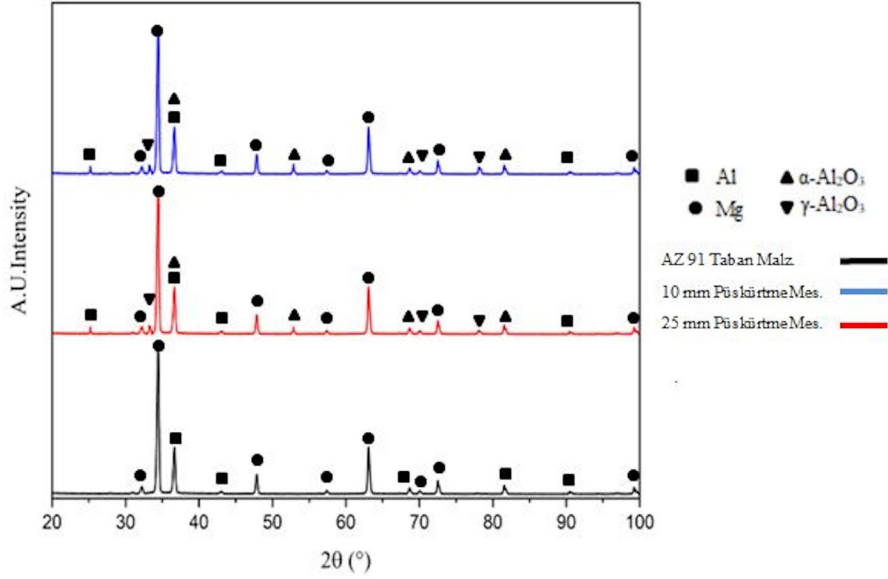
mikro gözenekliliğine de etkisi bulunmaktadır. Henao ve ark. (2014) çalışmalarında; kısa püskürtme mesafesinde yoğun ve küçük gözeneklere sahip kaplamalar, uzun püskürtme mesafesinde ise çok daha büyük gözenekli ve daha az yoğun kaplamalar elde ettiklerini belirtmişlerdir (Henao ve ark., 2014). Şekil 2' deki kesit SEM görüntüleri incelendiğinde benzer sonuçların olduğu gözlenmektedir. Bununla birlikte Şekil 1' de gösterilen yüzey SEM görüntülerindeki farklı püskürtme mesafelerinde büyütülen SS kaplamaların, kaplama yapısında çok belirgin bir farklılık gözlenmemiştir. Literatürde bu durumun sebebi olarak püskürtme mesafesinin kritik hızlardan daha düşük olduğu şartlarda meydana gelen şok dalgalarının oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Cetin ve ark., 2016). Bu durum ise mikro yapıda gözle görünen bir farka sebep olmayıp ara yüzeylerde farklılıklara sebep olabilmektedir. AZ91 alaşımı yüzeyinde meydana gelen şok dalgaları parçacık hızının azalmasına sebep olabilmektedir (Cetin ve ark., 2016). Şekil 2' de gösterilen kesit SEM görüntüleri incelendiğinde kısa püskürtme mesafesine sahip kaplama şartında büyütülen kaplamaların düşük gözenekli yapıya ve daha yoğun ara yüzeye sahip olduğu gösterilmiştir.



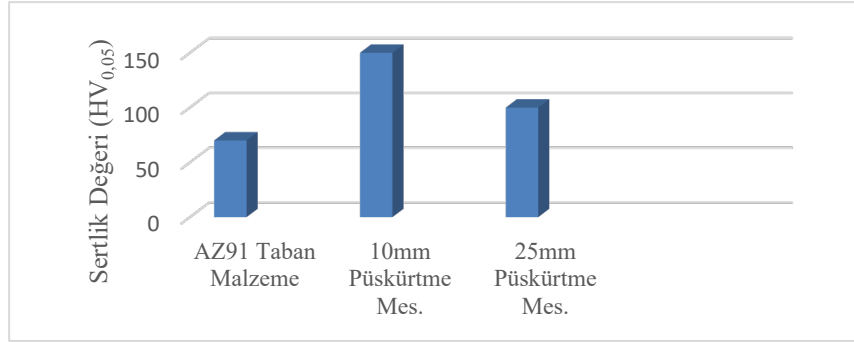
Şekil 2. AZ 91 alaşımı üzerine SS yöntemiyle büyütülen Al kaplamaların kesit görüntüleri görüntüleri a) 10mm püskürtme mesafesi ve b) 25mm püskürtme mesafesi.

Şekil 3'de AZ91 alaşımı taban malzeme üzerine SS yöntemiyle büyütülen Al kaplamalara ait XRD analizlerinin sonuçları gösterilmiştir. XRD grafikleri incelendiğinde kaplamaların ana yapısında Al,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının olduğu gözlemlenmiştir. Püskürtme mesafesinin SS kaplamaların gözenekliliğine etki ettiği bilinmektedir (Goral ve ark., 2019; Poza & Garrido-Maneiro, 2022). Püskürtme mesafesinin en düşük olduğu, kaplama şartında büyütülen kaplamanın kalınlığının fazla, yüzeydeki gözenek sayısının az ve gözenek boyutlarının ise küçük olması bu şartta büyütülen örneklerde kararlı  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının daha baskın olmasına sebep olmaktadır. Bu durum ise uygulanan püskürtme mesafesinin kaplama yapısı üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 4' de mikrosertlik ölçüm cihazıyla tespit edilen AZ91 alaşımı taban malzemeler ve bu taban malzemeler üzerine SS yöntemi ile büyütülen kaplamaların sertlik değerleri gösterilmiştir. Şekil 4' de verilen sertlik değerleri incelendiğinde, işlem görmemiş AZ 91 taban malzemenin mikrosertlik değeri yaklaşık 60 HV, 25 mm püskürtme mesafesinde elde edilen kaplamaların mikrosertliği yaklaşık 100 Hv ve 10 mm püskürtme mesafesinde elde edilen kaplamaların mikrosertliği ise yaklaşık 150 HV olarak ölçülmüştür. Buna bağlı olarak püskürtme mesafesinin düşük olduğu deney şartlarında ölçülen sertlik değerlerinin daha yüksek değerler aldığı gözlenmiştir. Bunun yanında düşük püskürtme mesafesi büyütülen kaplamaların yüzeyinde oluşan gözeneklerin azalmasına ve yoğun bir kaplama yapısı oluşmasına neden olmaktadır.



Şekil 3. AZ91 alaşımı üzerine SS yöntemiyle büyütülen Al kaplamaların XRD grafikleri.



Şekil 4. AZ91 alaşımı ve SS yöntemi ile büyütülen kaplamalara ait sertlik değerleri.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, SS yönteminin temeli taban malzemeye çarpan partiküllerin plastik deformasyonuna dayanmaktadır (Garrido ve ark., 2017; Tortuero ve ark., 2020). Böylelikle SS yöntemi sırasında plastik olarak deforme olan kaplamalar gelişmektedir. Bu yüzden taban malzemeye nazaran büyütülen kaplamaların sertliğinde bir artış beklenmektedir. Soğuk sprej yöntemi ile püskürtülen partiküllerde indüklenen yüksek plastik deformasyon, kaplamalarda yüksek dislokasyon yoğunluğu oluşmasına neden olmaktadır. Dislokasyon yoğunluklarındaki artış ise kaplamaların sertliklerini artırmaktadır (Luo ve ark., 2014; Jeandin ve ark., 2015). Ayrıca kaplamanın yüzeyde birikmesi, kaplama parametrelerine de bağlı olduğu için kaplamanın sertliği üzerinde etkileri bulunmaktadır (Jeandin ve ark., 2015). Püskürtme mesafesinin kaplama sertliği üzerinde doğrudan bir etkisi olmadığı literatürde belirtilmiştir (Li & Yang, 2013). Fakat buna rağmen püskürtme mesafesi kaplama verimliliğini etkilediği için dolaylı olarak sertliği artırdığı söylenebilmektedir. Şekil 4 incelendiğinde en yüksek sertlik değeri düşük püskürtme mesafesine sahip kaplama şartında elde edilmiştir. Bu şartta büyütülen kaplamaların yoğunluğu ve kalınlığının fazla, gözenekli yapıların ise diğer kaplama şartında büyütülen örneklerle göre çok daha az olduğu tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, AZ91 magnezyum alaşımının endüstrinin farklı alanlarında kullanımlarını artırmak amacıyla yüzey özelliklerinin iyileştirilmesine odaklanılmıştır. AZ91 taban malzemeler

yüzeyine SS yöntemi ile Al kaplaması büyütülerek alaşım sisteminin yüzey özellikleri ile sertlik değerleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

- Taban malzeme yüzeyinde büyütülen kaplamalarda toz partiküllerin yüzeye çarpma esnasında oluşan kesme kuvvetinin etkisiyle plastik deformasyona uğrayıp şekil değiştirdiği belirlenmiştir.
- Püskürtme mesafesi, püskürtülen partiküllerin yüzeye çarpma hızını etkilediği belirlenmiştir. Çarpma hızı ise biriktirme verimliliğini etkilemektedir.
- Püskürtme mesafesinin artması taban malzeme yüzeyindeki kaplamaların biriktirme veriminin azalmasına neden olmaktadır.
- Püskürtme mesafesinin fazla olduğu kaplama şartlarında kaplama kalınlığında azalma olduğu belirlenmiştir.
- Yüzey SEM görüntülerindeki farklı püskürtme mesafelerinde büyütülen SS kaplamaların, kaplama yapısında çok belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.
- XRD grafikleri incelendiğinde kaplamaların ana yapısında Al,  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının olduğu gözlemlenmiştir.
- Püskürtme mesafesinin 10 mm olduğu deney şartlarında ölçülen mikrosertlik değerlerinin (150 HV) püskürtme mesafesinin 25 mm olduğu deney şartlarında ölçülen mikrosertlik değerine göre (100 HV) %50, işlem görmemiş AZ 91 taban malzemenin mikrosertlik değerine göre ise (60 HV) %150 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

## Kaynakça

- Altuncu, E., & Üstel, F. (2010). Soğuk sprej (cold spray) teknolojisi ve uygulama alanları. *Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi*, 157, 29- 40.
- Assadi, H., Gartner, F., Stoltenhoff, T., & Kreye, H. (2003). Bonding mechanism in cold gas spraying. *Acta Materialia*, 51, 4379–4394. doi:10.1016/S1359-6454(03)00274-X
- Assadi, H., Kreye, H., Gärtner, F., & Klassen, T. (2016). Cold spraying – A materials perspective. *Acta Materialia*, 116, 382–407. doi:10.1016/j.actamat.2016.06.034
- Atrens, A., Song, G. L., Liu, M., Shi, Z., Cao, F., & Dargusch, M. S. (2015). Review of recent developments in the field of magnesium corrosion. *Advanced Engineering Materials*, 17, 400–453. doi:10.1002/adem.201400434
- Cetin, O., Tazegul, O., & Kayali, E. S. (2016). *Effect of parameters to the coating formation during cold spray process*. Proceedings of the 2nd World Congress on Mechanical, Chemical and Material Engineering (MCM 16), Paper no MMME 140, Budapest, Hungary. doi:10.11159/mmmel6.140
- Cortes, R., Garrido, M. A., Rico, A., Munez, C. J., Poza, P., Martos, A. M., Dosta, S., & Cano, I. G. (2020). Effect of processing conditions on the mechanical performance of stainless steel cold sprayed coatings. *Surface and Coatings Technology*, 394, 125874. doi:10.1016/j.surfcoat.2020.125874
- Davis, J. R. (2004). Davis, J.R. (Eds.) *Cold Spray Process, Handbook of Thermal Spray Technology* (pp. 77-84, 211-212). OH, 06994G, USA: ASM International: Materials Park.
- Dykhuisen, R. C., Smith, M. F., Gilmore, D. L., Neiser, R. A., Jiang, X., & Sampath, S. (1999). Impact of high velocity cold spray particles. *Journal of Thermal Spray Technology*, 8, 559-564. doi:10.1361/105996399770350250
- Esmaily, M., Svensson, J.E., Fajardo, S., Birbilis, N., Frankel, G.S., Virtanen, S., Arrabal, R., Thomas, S., & Johansson, L.G. (2017). Fundamentals and advances in magnesium alloy corrosion. *Progress in Materials Science*, 89, 92-193. doi:10.1016/j.pmatsci.2017.04.011
- Garrido, M. A., Sirvent, P., & Poza, P. (2017). Evaluation of mechanical properties of Ti6Al4V cold sprayed coatings. *Surface Engineering*, 34, 399-405. doi:10.1080/02670844.2017.1398442
- Goral, A., Żorawski, W., & Makrenk, M. (2019). The effect of the standoff distance on the microstructure and mechanical properties of cold sprayed Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-25(Ni<sub>20</sub>Cr) coatings. *Surface and Coatings Technology*, 361, 9-18. doi:10.1016/j.surfcoat.2019.01.006
- Ghelichi, R., & Guagliano, M., (2009). Coating by the cold spray process: a state of the art. *Frattura ed Integrità Strutturale*, 8, 30-44. doi:10.3221/IGF-ESIS.08.03

- Henao, J., Concustell, A., Cano, I. G., Cinca, N., Dosta, S., & Guilemany, J. M. (2014). Influence of cold gas spray process conditions on the microstructure of Fe-based amorphous coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, 622, 995-999. doi:10.1016/j.jallcom.2014.11.037
- Jeandin, M., Koivuluoto, H., & Vezzu, S. (2015). Coating Properties. Villafuerte, J. (Eds.), *Modern Cold Spray* (pp: 107-204). Springer International Publishing Switzerland, Springer Cham
- Lee, J. H., Shin, S. M., Kim, H. J., & Lee, C. (2007). Effect of gas temperature on critical velocity and deposition characteristic in kinetic spraying. *Applied Surface Science*, 253, 3512-3520. doi:10.1016/j.apsusc.2006.07.061
- Li, W. Y., Zhang, C, Guo, X. P., Zhang, G., Liao, H. L., Li, C. J., & Coddet, C. (2008). Effect of standoff distance on coating deposition characteristics in cold spraying. *Materials & Design*, 29, 297-304. doi:10.1016/j.matdes.2007.02.005
- Li, C. J., & Yang, G. J. (2013). Relationships between feedstock structure, particle parameter, coating deposition, microstructure and properties for thermally sprayed conventional and nanostructured WC-Co. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 39, 2–17. doi:10.1016/j.ijrmhm.2012.03.014
- Liu, Y., Li, C. X., Huang, X. F., Ma, K., Luo, X. T., & Li, C. J. (2020). Effect of water environment on particle deposition of underwater cold spray. *Applied Surface Science*, 506, 144542. doi:10.1016/j.apsusc.2019.144542
- Lua, F., Maa, K., Lia C, Yasirb, M., Luoa, X., & Lia, C. (2020). Enhanced corrosion resistance of cold-sprayed and shot-peened aluminum coatings on LA43M magnesium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 394, 125865. doi:10.1016/j.surfcoat.2020.125865
- Luo, X. T., Li, C. X., Shang, F. L., Yang, G. J., Wang, Y., & Li. C. J. (2014). High velocity impact induced microstructure evolution during deposition of cold spray coatings: A review. *Surface and Coatings Technology*, 254, 11–20. doi:10.1016/j.surfcoat.2014.06.006
- Ma, X., Jin, S., Wu, R., Zhang, S., Hou, L., Krit, B., Betsofen, S., & Liu, B. (2022). Influence of combined B4C/C particles on the properties of microarc oxidation coatings on Mg-Li alloy. *Surface and Coatings Technology*, 438, 128399. doi:10.1016/j.surfcoat.2022.128399
- Maledi, N. B., Oladijo, O. P., Botef, I., Ntsoane, T. P., Madiseng, A. & Moloisane, L. (2017). Influence of cold spray parameters on the microstructures and residual stress of Zn coatings sprayed on mild steel. *Surface and Coatings Technology*, 318, 106-113. doi:10.1016/j.surfcoat.2017.03.062
- Molaei, M., Babaei, K., & Fattah-alhosseini, A. (2020). Improving the wear resistance of plasma electrolytic oxidation (PEO) coatings applied on Mg and its alloys under the addition of nano- and micro-sized additives into the electrolytes: A review. *Journal of Magnesium and Alloys*, 9, 4, 1164-1186. doi:10.1016/j.jma.2020.11.016
- Öztürk, A. (2003). *Manyetik sıçratma tekniği ile üretilmiş Mo2N ve nanokompozit Mo-N-Cu kaplamaların kazımalı aşınma davranışlarının karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Pattison, J., Celotto, S., Khan, A., & O'Neill, W. (2008). Standoff distance and bow shock phenomena in the cold spray process. *Surface and Coatings Technology*, 202, 8, 1443-1454. doi:10.1016/j.surfcoat.2007.06.065
- Poza, P., & Garrido-Maneiro, M. A. (2022). Cold-sprayed coatings: microstructure, mechanical properties, and wear behaviour. *Progress in Materials Science*, 123, 100839. doi:10.1016/j.pmatsci.2021.100839
- Rokni, M. R., Nutt, S. R., Widener, C. A., Champagne, V. K., & Hrabe, R. H. (2017). Review of relationship between particle deformation, coating microstructure, and properties in high-pressure cold spray. *Journal of Thermal Spray Technology*, 26, 1308–1355. doi:10.1007/s11666-017-0575-0
- Siddique, S., Bernussi, A.A., Husain, W.S., & Muhammad, M. (2020). Enhancing structural integrity, corrosion resistance and wear properties of Mg alloy by heat treated cold sprayed Al coating. *Surface and Coatings Technology*, 394, 125882. doi:10.1016/j.surfcoat.2020.125882
- Song, G., & StJohn ,D.H. (2005). Corrosion of magnesium alloys in commercial engine coolants. *Materials and Corrosion*, 56, 1, 15-23. doi:10.1002/maco.200403803
- Steenkiste T. H. V., Smith, J. R., Teets, R. E., Moleski, J. J., Gorkiewicz, D. W., Tison, R. P., Marantz, D. R., Kowalsky, K. A., Riggs, W. L., Zajchowski, P. H., Pilsner, B., Mccune, R. C., & Barnett,



- K. J. (1999). Kinetic spray coatings. *Surface and Coatings Technology*, 111 (1), 10, 62-71. doi:10.1016/S0257-8972(98)00709-9
- Szala, M., Latka, L., Walczak, M., & Winnicki, M. (2020). Comparative study on the cavitation erosion and sliding wear of cold-sprayed al/al<sub>2</sub>o<sub>3</sub> and cu/al<sub>2</sub>o<sub>3</sub> coatings, and stainless steel, aluminium alloy, copper and brass. *Metals*, 10, 7, 856. doi:10.3390/met10070856
- Tortuero, S., Garrido, M. A., Poza, P. & Rodriguez, J. (2020). Evaluating the erosion resistance of Ti6Al4V coatings deposited by cold spray. *Wear*, 454–455, 203337. doi:10.1016/j.wear.2020.203337
- Tekin, E., Uyum, S., Karahan, B., Tekin, K.C., & Malayoğlu, U. (2021). Soğuk püskürtme teknolojisi ve uygulamaları. *Mühendis ve Makine*, 62, 702, 106-150. doi:10.46399/muhendismakina.798947
- Wendt, A., & Weiß, K. (2004, Kasım). *Gießsimulation für Magnesium-Leichtbauteile in der Flugzeugindustrie*. Journal Of Virtual Materials Processing, Bayreuth, Germany.
- Zahiri, S. H., Fraser, D., Gulizia, S. & Jahedi, M. (2006). Effect of processing conditions on porosity formation in cold gas dynamic spraying of copper. *Journal of Thermal Spray Technology*, 15(3), 422- 430. doi:10.1361/105996306X124437
- Zhang, D., Ge, Y., Liu, G., Gao, F., & Li, P. (2018). Investigation of tribological properties of micro-arc oxidation ceramic coating on Mg alloy under dry sliding condition. *Ceramics International*, 44, 14, 16164-16172. doi:10.1016/j.ceramint.2018.05.137
- Zhao, Z.B., Gillispie, B.A., & Smith, J. R. (2006). Coating deposition by the kinetic spray process. *Surface and Coatings Technology*, 200, 4746-4754. doi:10.1016/j.surfcoat.2005.04.033