

# Ark-Sprey Yöntemi ile Düşük Karbonlu Çelik Üzerine Kaplanan İncel-625 Alaşımının Sertlik ve Mikro Yapı İncelemesi

Şenol LİMAN<sup>1</sup> , Bünyamin ÇİÇEK<sup>2</sup> , Tuna AYDOĞMUŞ<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Prokon Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş., Ankara, Türkiye  
<sup>2</sup>Hitit Üniversitesi, Çorum, Türkiye

**Başvuru:** 06/12/2022    **Kabul:** 12/12/2022    **Çevrimiçi Basım:** 18/12/2022

## Öz

Bu çalışmada endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan SA210 kalite bir düşük karbonlu bir çelik alaşımının yüzey kaplama süreci incelenmiştir. Kaplama yöntemi olarak hava basınçlı ark-sprey yöntemi kullanılmıştır. Kaplama malzemesi olarak ise yüksek Ni içeren Inconel 625 alaşımı uygulanmıştır. Kaplama sırasında kumlama yapılmış bir alt yüzey ve 8 bar hava basıncı kullanılmıştır. Uygulama sonrasında numunelerde taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile yan yüzeyden kaplanma durumu incelenmiştir. Ayrıca ana alt malzeme ve kaplama sertliği mikro sertlik yöntemi ile ölçülmüştür. Sonuç olarak kaplama-malzeme ara yüzeyinde bağlanma durumları izlenmiştir. Sertlik ise yaklaşık 1,7 kat kadar artış göstermiştir. Böylece düşük karbonlu bir çeliğin yüzey kaplaması ile geliştirilebilirliği temel olarak incelenmiştir.

## Anahtar Kelimeler

*Kaplama, SA210, Inconel-625, sertlik.*

## Cladding on Low Carbon Steel by Arc-Spray Method Hardness and Microstructure Analysis in Inconel-625 Structure

### Abstract

In this study, the surface coating process of a low-carbon steel alloy of SA210 quality, which is frequently used in industrial applications, was investigated. The Air pressure arc-spray method was used as the coating method. High Ni-containing Inconel 625 alloy was used as the coating material. A sandblasted substrate and 8 bar air pressure were used during the coating. After the application, the side surface coating of the samples was examined by scanning electron microscope (SEM). In addition, the main substrate and coating hardness was measured by the microhardness method. As a result, the bonding conditions were observed at the coating-material interface. The hardness increased approximately 1.7 times. Thus, the developability of low-carbon steel by surface coating was basically investigated.

### Key Words

*Cladding, SA210, Inconel-625, Hardness.*

\*Sorumlu Yazar: Bünyamin ÇİÇEK  
[bunyamincicek@hitit.edu.tr](mailto:bunyamincicek@hitit.edu.tr)



**Bu makaleden alıntı yapmak için:** S. Liman ve ark., Ark-Sprey Yöntemi ile Düşük Karbonlu Çelik Üzerine Kaplanan İncel-625 Alaşımının Sertlik ve Mikro Yapı İncelemesi, Çelik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 3(2), 16-22.

## 1. Giriş

Düşük karbonlu çelikler ağırlıkça % 0,30 kadar karbon (C) içerebilmektedir. Alaşım elementi olarak bu çelikler C dışında Mn ve Si içerirken ağırlıkça % en fazla 0,035 oranda P ve S bulundurulur. Maliyet, ürün temini ve kaynak edilebilirlik başlıkları düşünüldüğünde bu çelikler uygulamalarda tercih sebebidir. Ancak aşınma, % uzama, sertlik vb. mekanik beklentiler sebebiyle bu çelikler yetersiz kalabilmektedir. Bu yüzden bu çelikler belirli yöntem ve uygulamalarla yüzey işlemine tabi tutularak kullanılabilir (Liu, Tan, Wei, Lim, & Lee, 2020; Shayanfar, Daneshmanesh, & Janghorban, 2020).

Kaplama yöntemleri sanayide gelişen ve aşama kaydeden bir son işlem olarak yerini almaktadır. Kaplama işlemi korozyon, aşınma vb. dış etkenlerden malzemeyi korumakta ve kullanım ömrünü uzatmaktadır. Bu yönüyle bir yüzey işlemi olarak kaplama farklı yöntemlerle uygulanabilmektedir. Boya, ark-sprey, galvaniz, çinko kaplama, nitrürleme vb. işlemler kaplamanın temel başlıklarıdır (Padmini, Bhosale, & Niranjan, 2021; Yugeswaran et al., 2021).

Kaplama işlemleri fiziksel bir değişim meydana getirirken bunun yanı sıra bazı kaplama türlerinde kimyasal tepkimelerde meydana gelmektedir. Malzemelerin uygulama bölgesine göre kaplama türü ve bileşimi değişiklik göstermektedir. Korozyondan korunma durumunda kalay ve çinko esaslı bir katman bulunurken aşınma direncini arttırma amacıyla Mn ve Ni esaslı yapılar kullanılmaktadır (Kumar, Singh, & Singh, 2013; Zhou et al., 2021).

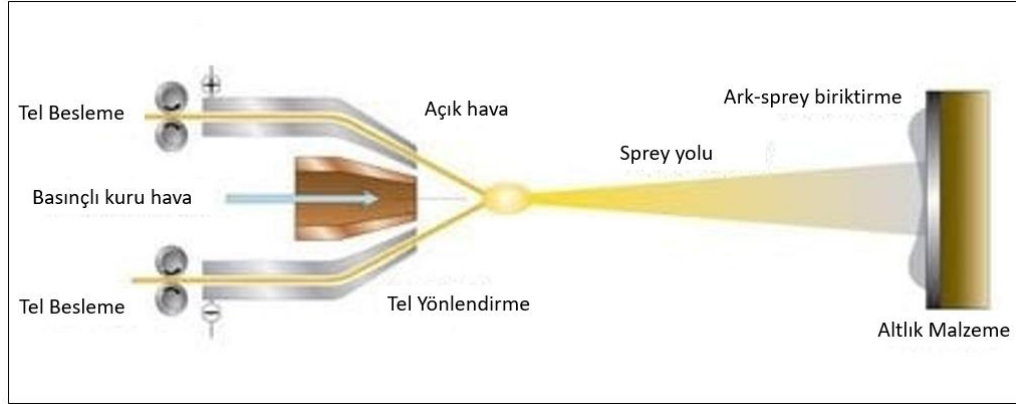
Düşük karbonlu çeliklerin zayıf aşınma dirençlerini arttırmak için kullanılan yüzey işlemlerinin başında ark sprej kaplama süreci gelmektedir. Ark-sprej yöntemi ile yüzeye kaplanan sert alaşım düşük karbonlu çeliğe yüksek aşınma direnci ve yüksek sertlik gibi yeni özellikler eklemektedir. Bu kaplama malzemelerinin başında Ni içeren Inconel alaşımları ve Mn içeren sert alaşımlar gelmektedir. Böylece maliyet, kaynak edilebilirlik ve ürün temini aşamalarına yüksek aşınma direnci özelliği de eklenmiş olmaktadır (Chen, Chou, Yung, Tsai, & Huang, 2016; Kumar et al., 2013).

Bu çalışmada düşük karbonlu çelik grubunda bulunan SA210 çelik boru malzemeler ark-sprej yöntemi ile kaplanmıştır. Ark-sprej yönteminde tel besleme metodu uygulanmıştır. Kaplama alaşımı olarak ise Inconel-625 alaşımı kullanılmıştır. Bağlama plakaları ile birbirine kaynaklanan boru malzemelerin kaplanma durumu incelenmiştir. Kaplama işlemi sonrasında numuneler taramalı elektron mikroskopunda (SEM) ve stereo yüksek çözünürlüklü kamerada incelenmiştir. Kaplama, ara bölge ve ana malzeme üzerinden alınan mikro sertlik (Vickers) ölçümleri ile yapı izlenmiştir. Böylece düşük karbonlu bir çeliğin yüksek alaşımli bir Ni yapısı ile kaplanabilmesi temel çerçevede irdelenmiştir.

## 2. Malzeme ve Metot

Bu çalışmada kaplama alt malzemesi olarak SA210 kalite bir çelik boru kullanılmıştır. Düşük karbonlu ve aşınma direnci zayıf bir malzeme olduğu için kaplamanın etkisini net olarak tespit edebilmek adına SA210 alaşımı kullanılmıştır. 60,3 mm çapta ve 5,6 mm kalınlıkta olan borular deneyler öncesinde aynı alaşıma sahip 5 mm plakalarla perde duvar haline getirilmiştir. Son ürün olarak kullanılan alt malzemeye öncelikle kimyasal analiz uygulanmıştır.

Ark-sprej süreci Resim 1’de verilen yöntem dahilinde uygulanmıştır. Kaplama anında ilave malzeme olarak Inconel-625 kalite 2.4 mm çapında tel kullanılmıştır. Kaplama anında 350 A akım kuvveti ve 8 bar hava basıncı kullanılmıştır. Kaplama işlemleri OSU ANTIKOR 300A/400A cihazı ile yapılmıştır. Sprey çıkış noktası ile malzeme arasında 400 mm mesafe bırakılmıştır. Kaplama işlemi öncesinde oksit, tufal vb. harici yapı temizliği için boru yüzeylerine ince kumlama işlemi uygulanmıştır. Kumlama işlemi ayrıca ark-sprej kaplamasının yapışma seviyesini arttırmaktadır (Fitriyana et al., 2020).



Resim 1. Ark-sprey uygulama prosesi çizimi (Chrome, 2022)

Kaplama sonrası mekanik yöntemlerle CNC freze ile kaplanan bölgeden numuneler çıkarılmıştır. Numuneler yan yüzeyinden kesilerek klasik metalografik işlemler sonrasında SEM ortamında incelenmiştir. Aynı zamanda EDX analizi uygulanmıştır. SEM görüntüleme ve EDX işlemleri Carl Zeiss Ultra Plus Gemini Fesem marka cihazda yapılmıştır. Ayrıca kaplamanın temel sürecini izlemek adına stereo kamera ile makro görüntüler alınmıştır. Makro görüntüleme işlemi Nikon ShuttlePix marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

Yan kesit olarak hazırlanan numuneler mikro sertlik ölçüm cihazında incelenmiştir. Vickers batıcı uç ile 10 sn. batma süresinde 1000 gr yük altında kaplama ve ana malzemenin sertlik haritası çıkarılmıştır. Sertlik ölçümleri için QNESS Q10 A+ Mikro sertlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Yaklaşık aynı bölgeden alınan 5 ölçümün ortalaması kullanılmıştır.

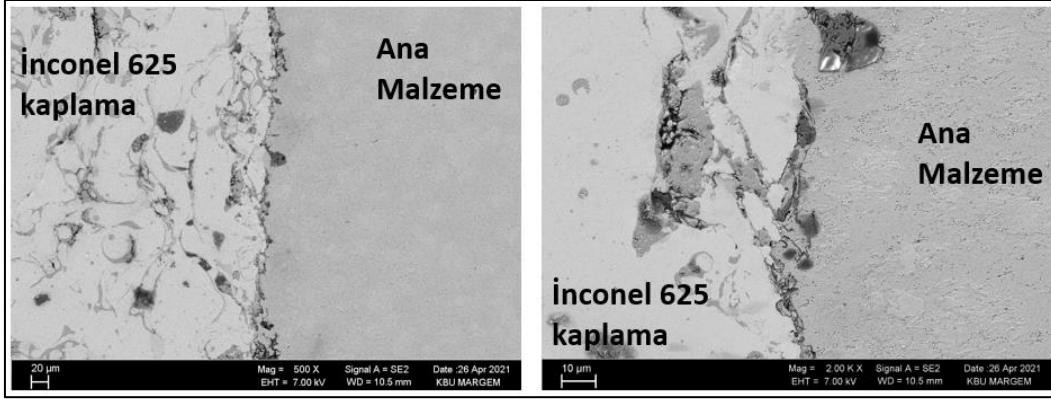
### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Deneyler öncesinde alt malzeme SA210 kalite çeliğin kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir. Tabloya göre alt malzeme SA210 alaşımı standart oranlarında bir sonuç vermektedir.

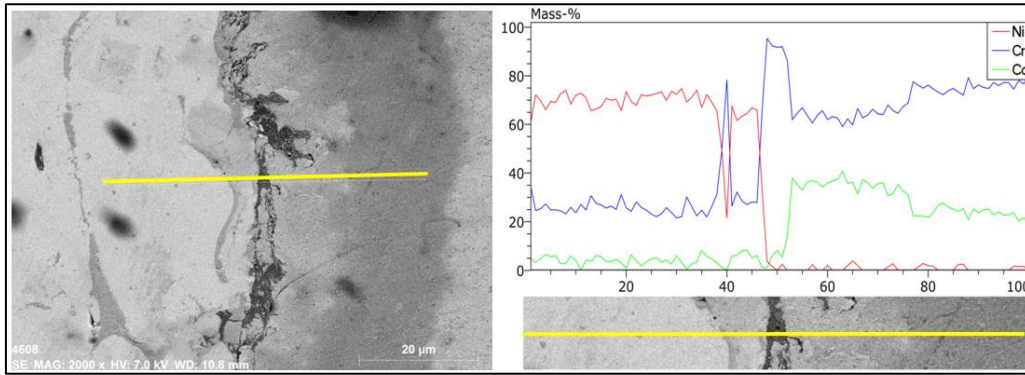
**Tablo 1.** SA210 malzemesi kimyasal analizi

Element	% ağırlıkça
Fe	Kalan
Mn	0,85
Si	0,09
C	0,33
P	0,030
S	0,032

Numunelerin mikro yapı detay görüntüleri Resim 2’de verilmiştir. Resimler incelendiğinde ana malzeme ile kaplama arasında bir geçiş bölgesinin olduğu izlenmektedir. SEM görüntüleri sırasında alınan EDX analizi sonuçları Resim 3’te görülmektedir. EDX analizinde temel alaşım elementlerinin varlığı izlenmektedir.



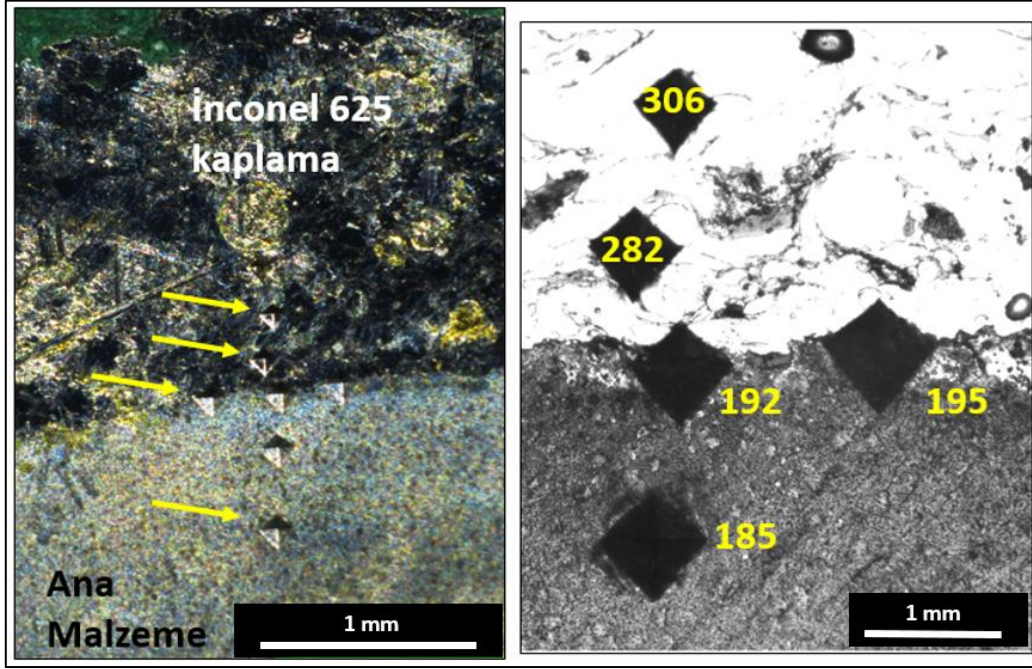
Resim 2. Kaplama ve ana malzeme SEM görüntüleri



Resim 3. EDX analiz bölgesi ve sonuçları

Resim 3 incelendiğinde ana malzeme ile kaplama arasında bir geçiş bölgesi izlenmektedir. EDX sonucu çizgi şeklinde analiz edildiğinde kaplama malzemesi içerisinde Ni elementi tespit edilirken geçiş bölgesi sonrasında element izlenmemiştir. Cr ve Co elementleri ise yüzeyde ana malzemeye difüze olmuştur. Yaklaşık 30 mikron derinlikte bu elementler tespit edilmiştir. Böylece kaplama haricinde difüzyon etkisi ile ayrıca bir yüzey sertleşmesi meydana gelmiştir.

Son olarak ana malzeme ile kaplama yapısından alınan sertlik sonuçları Resim 4’te verilmiştir. Sertlik batma ucu iz görüntülerine göre ana malzeme literatürle uyumlu sonuç vermektedir. Kaplama ise Ni ve Cr elementlerinin sebep olduğunun düşünüldüğü sertlik artışını göstermektedir.



Resim 4. Sertlik ölçüm bölgeleri, batma ucu iz görüntüleri ve sertlik testi sonuçları

Düşük karbonlu alt malzemeye ark-sprey yöntemi ile uygulanan kaplama sürecinde mikro yapı ve sertlik incelemesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yüzeyde kaplama bir bağlanma ile oluşmuştur. Yüzeyde oluşan ani ısı girdisi ile ergime noktaları oluşmuş ve kaplama-malzeme ara yüzeyi gelişmiştir. Literatürde bilinen ark-sprey uygulamalarında oluşan testere görüntüsü Resim 2’de izlenmektedir. Böylece kaplama-malzeme ara yüzeyi literatür ile tutarlılık göstermiştir (Kaur, Singh, & Prakash, 2008; Liu et al., 2020; Shayanfar et al., 2020).

Kaplama ve malzemenin sertlik dağılımı için alınan ölçümlerde ana malzeme SA210 kalite bir malzeme için gerekli seviyededir. Ortalama 185 HV olarak ölçülen sertlik değeri kaplama doğru gittikçe ara yüzeyde 195 HV olurken kaplamada ortalama 300 HV seviyelerine ulaşmıştır. Böylece malzemenin yüzey sertliği artış göstermiştir. Sertlik seviyesinin bu oranda artışı ile malzemenin temel mekanik özelliklerinde ciddi iyileşmeler meydana gelebilmektedir (Liu et al., 2020; Yugeswaran et al., 2021; Zhou et al., 2021).

Resim 3 incelendiğinde ana malzeme yüzeyinde yaklaşık 20-30 mikron kalınlığında bir difüzyon bölgesi oluşmuştur. Bu bölgeye Cr ve Co elementleri difüze olmuştur. Cr ve Co elementlerin düşük karbonlu bir çelikte küçük atom çapı sebebiyle difüzyon olması ark-sprey süreçlerinde oluşan bir süreçtir (Fantozzi, Matikainen, Uusitalo, Koivuluoto, & Vuoristo, 2017; Merino-Millan, Múnez, Garrido-Maneiro, & Poza, 2022). Böylelikle kaplama ile ana malzeme arasında daha düzenli bir sertlik geçiş eğilimi meydana gelmiştir.

#### 4. Genel Sonuçlar

Düşük alaşımlı bir çelik olan SA210 kalite bir malzemenin yüksek Ni içeren Inconel-625 alaşımı ile kaplanması bu çalışmada irdelenmiştir. Bu bağlamda aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Düşük karbonlu SA210 çeliği ark-sprey yöntemi ile kaplanmıştır.
2. Kaplama-malzeme arasında bir ara geçiş yüzeyi oluşmuştur.

3. Kaplama-malzeme ara yüzeyinde yapılan incelemede Cr ve Co elementlerinin ana malzemeye difüze olduğu izlenmiştir.
4. Ark-sprey kaplama sonrasında alt malzeme sertliğini kaybetmemiştir. Ayrıca yüzey sertliği ana malzemeye göre yaklaşık 1,7 kat kadar artış göstermiştir.

Sonuç olarak düşük kalitede ve sertlikte bir malzemenin yüksek alaşımlı bir yapı ile kaplanabilirliği adına temel bir inceleme gerçekleştirilmiştir.

## Referanslar

1. Chen, T.-C., Chou, C.-C., Yung, T.-Y., Tsai, K.-C., & Huang, J.-Y. (2016). Wear behavior of thermally sprayed Zn/15Al, Al and Inconel 625 coatings on carbon steel. *Surface and Coatings Technology*, 303, 78-85.
2. Chrome, H. H. (2022). Twin Wire Arc Spray. Retrieved from <https://hausnerinc.com/industrial-hard-chrome-plating-services/twas/>
3. Fantozzi, D., Matikainen, V., Uusitalo, M., Koivuluoto, H., & Vuoristo, P. (2017). Chlorine-induced high temperature corrosion of Inconel 625 sprayed coatings deposited with different thermal spray techniques. *Surface and Coatings Technology*, 318, 233-243.
4. Fitriyana, D., Caesarendra, W., Nugroho, S., Haryadi, G., Herawan, M., Rizal, M., & Ismail, R. (2020). The Effect of Compressed Air Pressure and Stand-off Distance on the Twin Wire Arc Spray (TWAS) Coating for Pump Impeller from AISI 304 Stainless Steel *NAC 2019* (pp. 119-130): Springer.
5. Kaur, M., Singh, H., & Prakash, S. (2008). A survey of the literature on the use of high velocity oxy-fuel spray technology for high temperature corrosion and erosion-corrosion resistant coatings. *Anti-Corrosion Methods and Materials*.
6. Kumar, M., Singh, H., & Singh, N. (2013). Study of Ni-20Cr coatings for high temperature applications-a review. *Archives of Metallurgy and Materials*, 58.
7. Liu, H., Tan, C. K. I., Wei, Y., Lim, S. H., & Lee, C. J. (2020). Laser-cladding and interface evolutions of inconel 625 alloy on low alloy steel substrate upon heat and chemical treatments. *Surface and Coatings Technology*, 404, 126607.
8. Merino-Millan, D., Múnez, C. J., Garrido-Maneiro, M. Á., & Poza, P. (2022). Alternative low-power plasma-sprayed inconel 625 coatings for thermal solar receivers: Effects of high temperature exposure on adhesion and solar absorptivity. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 245, 111839.
9. Padmini, B., Bhosale, D. G., & Niranjana, H. (2021). A study of T11 boiler steel protection by cold sprayed Inconel 738 coating against high temperature erosion. *Surfaces and Interfaces*, 23, 101002.
10. Shayanfar, P., Daneshmanesh, H., & Janghorban, K. (2020). Parameters optimization for laser cladding of inconel 625 on ASTM A592 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 8258-8265.

11. Yugeswaran, S., Amarnath, P., Ananthapadmanabhan, P., Pershin, L., Mostaghimi, J., Chandra, S., & Coyle, T. (2021). Thermal conductivity and oxidation behavior of porous Inconel 625 coating interface prepared by dual-injection plasma spraying. *Surface and Coatings Technology, 411*, 126990.
12. Zhou, S., Xu, T., Hu, C., Wu, H., Liu, H., & Ma, X. (2021). A comparative study of tungsten carbide and carbon nanotubes reinforced Inconel 625 composite coatings fabricated by laser cladding. *Optics & Laser Technology, 140*, 106967.