

# ARMOX 500 ZIRH ÇELİĞİNİN TUZ BANYOSUNDA TRD YÖNTEMİYLE VC KAPLANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

## INVESTIGATION OF VC COATING OF ARMOX 500 ARMOR STEEL IN SALT BATH BY TRD METHOD

Murat BAŞAR<sup>a</sup>, Bülent KURT<sup>b</sup>, Cemal ÇARBOĞA<sup>c</sup>, Yusuf KARACA<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik/Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  
[muratbasar50@gmail.com](mailto:muratbasar50@gmail.com)

<sup>b</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik/Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  
[bkurt@nevsehir.edu.tr](mailto:bkurt@nevsehir.edu.tr)

<sup>c</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik/Mimarlık Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği  
[ccarboğa@nevsehir.edu.tr](mailto:ccarboğa@nevsehir.edu.tr)

<sup>d</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, BC Teknoloji Danışmanlık İmalat LTD.ŞTİ.  
[yusufkaraca50@gmail.com](mailto:yusufkaraca50@gmail.com)

**Özet-** Bu çalışmada, Armox 500 zırh çeliği tuz banyosu TRD yöntemi kullanılarak VC kaplanmıştır. Bu amaçla, borax, Al ve ferro V karşımı tuz banyosunda 1000 °C sıcaklık ve 2, 4, 6 saat sürelerde kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrasında optik ve SEM mikroyapı çalışmalarıyla birlikte kaplama tabakası ve ara yüzeyden EDS analizleri alınarak % element oranları belirlenmiştir. Kaplama tabakasının faz yapısının tespiti amacıyla XRD analizi ve kaplama tabakasının sertliği belirlenmesi için mikrosertlik analizleri yapılmıştır.

**Anahtar Kelime—** Armox 500 Zırh Çeliği, Termo Reaktif Difüzyon(TRD), Tuz Banyosu, VC Kaplama

**Abstract—** In this study, ARMOX 500 armor steel was VC coated using the TRD method of salt bath. For this purpose, the coating process was carried out at a temperature of 1000 °C and a period of 2, 4, 6 hours in the salt bath of borax, Al and ferro V. After the coating process, the % element ratios were determined by taking EDS insights from the coating layer and interface together with optical and SEM microstructure studies. In order to determine the phase structure of the coating layer, XRD analysis and microsertness analysis were performed to determine the hardness of the coating layer.

**Keywords—** Armox 500 Armor Steel, Thermo Reactive Diffusion (TRD), Salt Bath, VC Coating

### 1. GIRIS

Yüzey mühendisliği, metallerin aşınma ve korozyona çözüm üretmek için yüzey kaplama yöntemleri teknikleri kullanarak azaltılabilir. Yüzey kaplama yöntemleri ile korozyona karşı direnci artırmak, aşınmayı azaltılarak mekanik özellikleri geliştirmek uzay, otomotiv, nükleer, optik ve genel mühendislik problemlerinde çözüm olarak kullanılmaktadır[1].

Numune yüzeyinde oluşturulan sert kaplamalar elde edilmesinde, genellikle fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve termal reaktif difüzyon (TRD) yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler endüstride korozyon ve aşınma karşı dirençleri artırmada güzel sonuç veren yöntemlerdir[2,3,4].

PVD ve CVD yöntemleri ile kaplama üretmek, yüksek vakum ortamında pahalı ekipmanlar gerektirir. Bu neden dolayı TRD yöntemi prosesi hazırlamak daha uygun maliyetli ve endüstriyel kullanım olarak daha uygundur [5,6].

TRD yöntemi kullanarak numune yüzeyleri üzerinde VC, NbC ve CrC içeren 1-15 µm kalınlığında karbür kaplamalar elde edilmiştir. Bu kaplamaların yüzeyinde sertlik, aşınma değerleri incelenerek diğer kaplamalara göre karşılaştırıldığında dikkat çekici sonuçlar çıkmıştır. TRD yöntemi ile elde edilen yüzey kaplamaları yüksek sertliğe ve tok bir özellik göstermektedir [6,7]. TRD işleminden sonra oluşan kaplamada yüksek sertlik, düşük sürtünme katsayısı, yüksek aşınma dayanımı, korozyona karşı direnci kaplamanın ana özelliklerindedir [8].

### 2. DENEY ÇALIŞMALAR

Tuz banyosu TRD yöntemi ile kaplanan Armox 500 zırh çeliğinin % ağırlıkça kimyasal bileşeni tablo 1 de verilmiştir. Tuz banyosunda TRD yöntemi ile kaplamada kullanılacak karbür yapıcı element Ferro-V tozu, tuz banyosu için boraks kullanılmış ve indirgeyici olarak Al kullanılmıştır. Ferro-V tozunun % ağırlıkça kimsayal bileşeni tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 1. Armox 500 Zırh Çeliğinin Kimyasal Bileşeni

Kimyasal Bileşen(%)									
Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B
Armox 500 Zırh Çeliği	0,32	0,4	1,2	0,010	0,003	1,01	1,81	0,70	0,005

Tablo 2 Ferro-V Tozunun Kimyasal Bileşeni

Kimyasal Bileşen(%)					
Element	%V	%C	%Al	%P	%S
Fe-V	82	0,25	1,5	0,03	0,03

Numuneler öncelikli olarak hassas kesme cihazında 15\*20\*30 mm ölçülerinde kesilmiştir. Kesilen numunelerin parlatılması amacıyla 240, 800 ve 1200 mesh zımparalama işleminden geçirilerek yüzeyler alkol ile temizlenmiştir. Numunelerin yüzey kaplaması için tuz banyosu hazırlanmıştır. Tuz banyosu için paslanmaz pota içerisine boraks, Fe-V ve Al kullanılmıştır. Boraks 850 °C ısıtma fırınında eritilmiş, erimiş boraks içerisine Fe-V ve Al eklenerek dışarda homojen şekilde karıştırılarak 1000 °C'de ısıtma fırınına konularak bekletilmiş sonra numuneler kaplama işlemi için eriyiğin içerisine yerleştirilmiştir. 1000 °C'de 2,4 ve 6 saat diliminde bekletilerek çıkarılmıştır. Kaplama işleminden sonra numuneler yağ ortamında soğutulmuş ve kumlama ile yüzeylerindeki tuz kalıntıları temizlenmiştir.

Kaplanan 15\*20\*30 mm boyutundaki numuneler metalografik incelenmesi için dikdörtgen yüzey kesitinden kesilerek bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numuneler yüzey kesitinden parlatma cihazı ile 240, 320, 600, 800, 1200 ve 2500 mesh zımpara işleminden geçirdikten sonra çuha ile birlikte parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi için 2 mikron alümina süspansiyonla 3 dk yüzey aşındırılarak parlatılıp 2 dk yağlayıcı işleminden sonra kaplama yüzeyini metalografik inceleme için dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesit alanı yüzeyindeki kaplama ve mikro yapı için görüntülenmesi için %3'lük nital dağlama yapılmıştır. Daha sonra numunelerin optik görüntüleri, sem görüntüleri, EDS analizi, sertlik değerleri ve XRD analizi ile kaplama tabakası yapısı tespit edilmiştir.

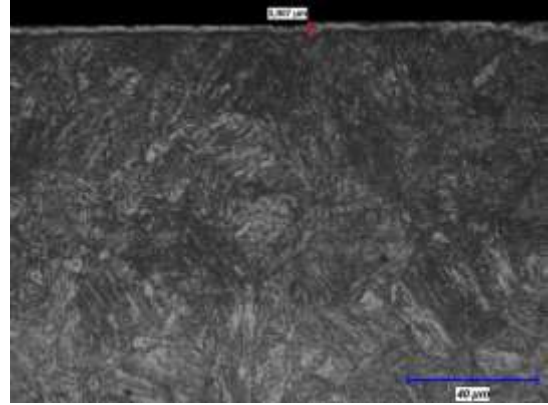
### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Kaplama Yüzeyinin Optik Mikro Yapı Analizi

Armox 500 zırh çeliğinin tuz banyosunda TRD yöntemi kullanarak VC kaplama işlemi 1000 °C'de 2,4 ve 6 saat sürelerde gerçekleşen kaplama kalınlıkları optik mikro yapı görüntüleri şekil1-3'de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1000 °C'de 2 Saat Süre ile Gerçekleştirilen VC Kaplama Morfolojisi



Şekil 2. 1000 °C'de 4 Saat Süre ile Gerçekleştirilen VC Kaplama Morfolojisi

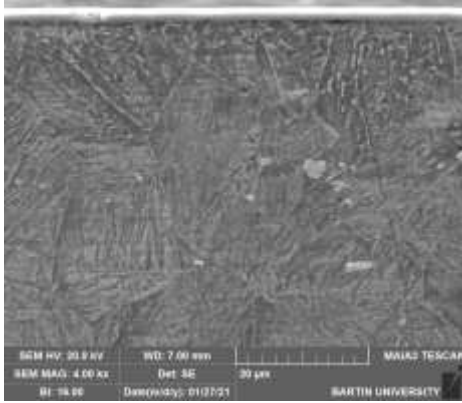


Şekil 3. 1000 °C'de 6 Saat Süre ile Gerçekleştirilen VC Kaplama Morfolojisi

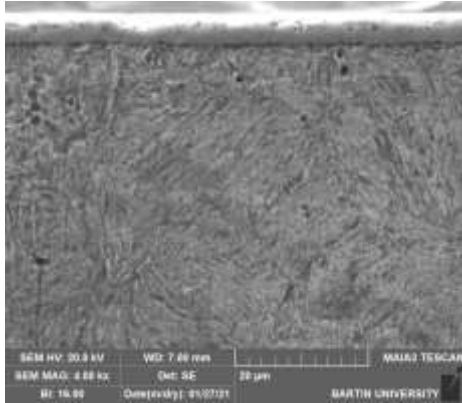
1000 °C'de 2,4 ve 6 saat sürelerde sırası ile 2,62-5,00-5,53 µm kaplama kalınlığı tespit edilmiştir. Kaplama kalınlığı yüzey boyunca homojen ve artan kaplama süresiyle birlikte arttığı tespit edilmiştir. Ana malzeme mikroyapısının ise soğuma hızına bağlı olarak beynit ve martenzitte meydana geldiği görülmektedir.

### 3.2 Kaplama Yüzeyinin SEM ve EDS Analizi

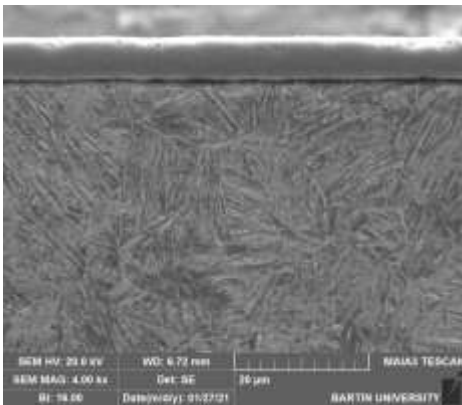
1000 °C'de gerçekleşen VC kaplamanın 2, 4, 6 saatlik SEM görüntüsünde tespit edilen kaplama kalınları yaklaşık 2,70 µm ile 5,70 µm'dir. Şekil 4-6'da SEM görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 4. 1000 °C 2 Saatte Gerçekleşen VC Kaplamanın SEM Görüntüsü



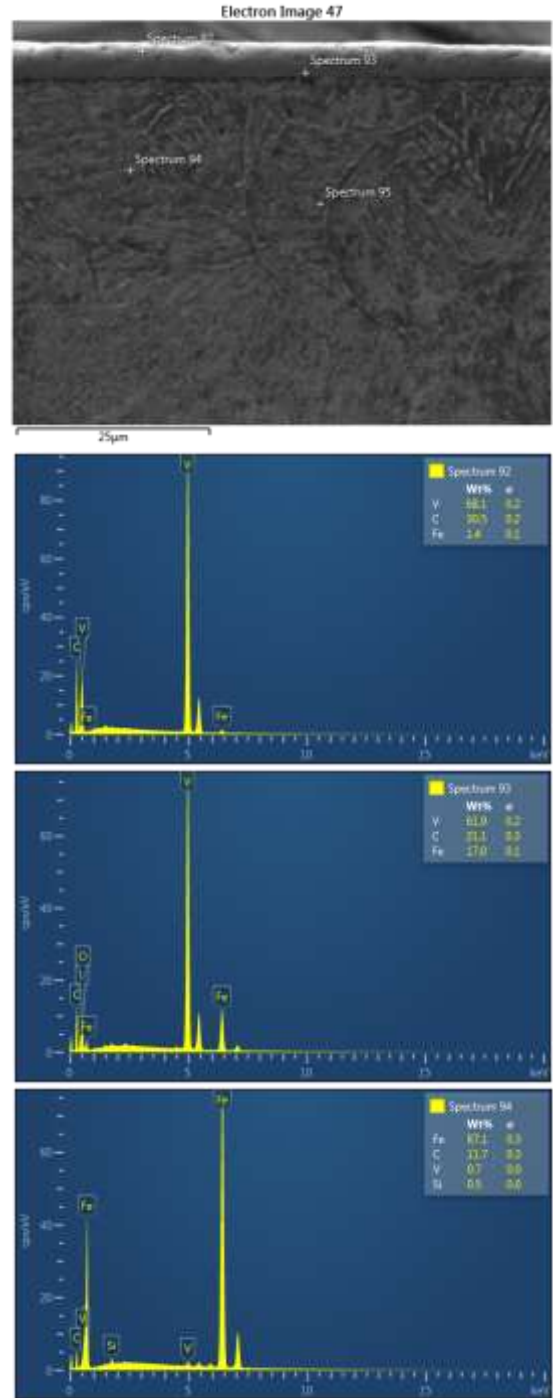
Şekil 5. 1000 °C 4 Saatte Gerçekleşen VC Kaplamanın SEM Görüntüsü



Şekil 6. 1000 °C 6 Saatte Gerçekleşen VC Kaplamanın SEM Görüntüsü

1000 °C'de yapılan VC kaplamanın SEM görüntüleri incelendiğinde kaplamanın yüzey homejen olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda kaplama tabakasının ana malzeme arasında uyum açıkça görülmektedir.

1000 °C'de yapılan VC kaplamanın EDS analiz sonuçları şekil 7'da gösterilmektedir.

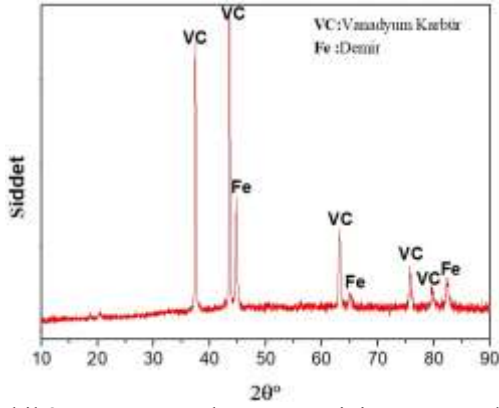


Şekil 7. 1000 °C Kaplanan Numunenin EDS Analiz Sonuçları

EDS analizini incelediğinde kaplama bölgesinde bulunan spektrum 92 ve 93 noktalarında V ve C oranları yüksek çıkmıştır.

## 3.3 Kaplama Yüzeyinin XRD Analizi

1000 °C’de gerçekleşen kaplamanın XRD analiz sonucu şekil 8 de gösterilmektedir.

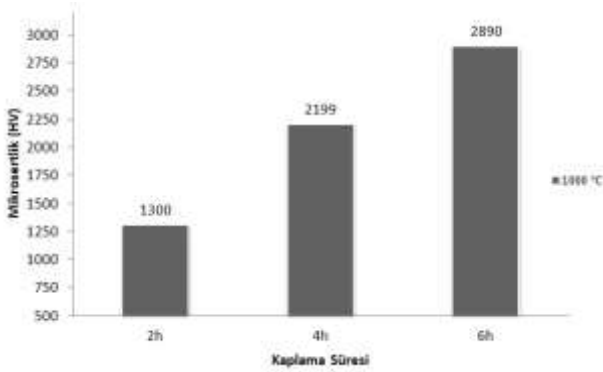


Şekil 8. 1000 °C Kaplama Yüzeyinin XRD Analizi

Kaplama yüzeyindeki XRD analizi sonucu incelediğinde VC ve Fe fazları tespit edilmiştir. XRD analizinden anlaşıldığı gibi kaplamanın VC olduğu tespit edilmiştir.

## 3.3 Kaplama Yüzeyinin Sertlik Değeri

Kaplama yüzeyinden farklı noktalardan alınan mikro sertlik sonuçlarının ortalamaları şekil 9’de gösterilmektedir.



Şekil 9. 1000 °C Mikrosertlik Analiz Sonuçları

## 4. SONUÇLAR

Armox 500 zırh çeliğinin 1000 °C’de tuz banyosunda TRD yöntemi kullanarak VC kaplama oluşturulmuştur.

Tuz banyosunda TRD yöntemi kullanılarak tuz banyosu olarak boraks, karbür yapıcı olarak Fe-V tozu ve indirgeyici olarak Al kullanılmıştır.

1000 °C sıcaklıkta zamana bağlı olarak kaplamanın homojen olarak oluştuğu, bekleme zamanının artması ile kaplama kalınlığının arttığı tespit edilmiştir.

Optik mikro yapı ve SEM görüntüleri incelendiğinde 2,70 µm ile 5,70 µm arası kaplama kalınlığı tespit edilmiştir.

EDS analizi incelendiğinde kaplama bölgesinden alınan spekturum noktalarında %V 60-68, %C 21-30 oralarında tespit edilmiş ve kaplamanın VC olduğu değerlendirilmiştir.

XRD analizi sonucu elde edilen kaplamanın VC fazı olduğu tespit edilmiştir. Mikrosertlik analiz sonucunda kaplama yüzeyinde bekleme süresinin artması ile mikrosertliğin arttığı, 1300-2890 HV mikrosertlik değeri elde edilmiştir.

Bu çalışmalarım sırasında ABAP20F8 nolu Projemizde yardımcı olan Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Koordinasyon Birimine teşekkürlerimi sunarım.

## KAYNAKLAR

- [1] Bhushan B. and Gupta B.K. Materials, Coatings and Surface Treatments, Handbook Of Tribology, Materials & Manufacturing Processes, 8(1), 103-106 (1993).
- [2] Andersson, M. Högstöm, J., Urbonaitė, S., Furlan, A., Nyholm, L., & Jansson, U (2012). Deposition and characterization of magnetron sputtered amorphous Cr-C films. Vacuum, 86(9), 1408-1416.
- [3] Arai, T. (2015). Thermochemical Surface Engineering of Steels. , M. A. J. Woodhead Publishing, 703-705.
- [4] Chatha, S., Sidhu, H., Sidhu, B., Miner, J. (2012). Characterisation and Corrosion Erosion Behaviour of Carbide based Thermal Spray Coatings, Materials Characterization and Engineering, 11, 569.
- [5] S.L. Zhao, J. Zhang, Z. Zhang, S.H. Wang, and Z.G. Zhang, Microstructure and mechanical properties of (Ti,Al,Zr)N/(Ti,Al,Zr,Cr)N films on cemented carbide substrates, Int. J. Miner. Metall. Mater., 21(2014), No. 1, p. 77.
- [6] B. Kurt, Y. Küçük, and M.S. Gök, Microabrasion wear behavior of VC and CrC coatings deposited by thermo-reactive diffusion technique, Tribol. Trans., 57(2014), No. 2, p. 345.
- [7] Arai, T., Harper, S. (1991), Thermochemical Surface Engineering of Steels, ASM Handbook, 4, ASM International, 1000-1013.
- [8] Plumb, S. (1985). Toyota diffusion process shows advantages. Metallurgia, 52(2), 59.