








Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

WC-Co-TiC Sermetlerinin Elektrik Akımı Destekli Sinterleme Yöntemi ile Üretimi ve Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi

 Nuri ERGİN^{a*},  Caner KOCABAŞ^a,  Özkan ÖZDEMİR^a,  Necati KOÇAK^a,  Mehmet UYSAL^b

¹*Metaller ve Malzeme Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE*

²⁵*Metaller ve Malzeme Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: nergin@subu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.954179

ÖZ

Bu çalışma kapsamında, Elektrik Akımı Destekli Sinterleme (ECAS) yöntemi kullanılarak 600-4500A akım aralığında yaklaşık 6 dakika gibi bir sürede WC-Co ve ağırlıkça %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC katkı WC-Co malzemelerinin üretimleri gerçekleştirilmiş ve katkı miktarına bağlı olarak TiC' ün özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. SEM incelemelerinden katkısız WC-Co numunesinin uniform bir yapıya sahip olduğu, ilave edilen TiC partiküllerinin matris ile uyumlu bir birleşme gösterip, yapı içerisinde üniform dağıldığı görülmüştür. XRD paternlerinden katkısız numunede WC, Co pikleri ve TiC ilave edilen numunelerde ise WC, Co piklerinin yanı sıra TiC piki de tespit edilmiştir. Katkısız WC-Co ve ağırlıkça %5, %7,5, %10 TiC katkı numunelerin nispi yoğunlukları sırasıyla %98.77, %96.42, %95.91 ve %95.33 olarak hesaplanırken, mikrosertlik değerleri 1299 HV0.5, 1402 HV0.5, 1581 HV0.5 ve 1768 HV0.5 olarak belirlenmiştir. Elektrokimyasal korozyon çalışmaları Ağırlıkça %3.5 NaCl çözeltisi içerisinde gerçekleştirilmiş olup numunelerinin korozyon hızları sırasıyla 96.25 mpy, 89.13 mpy, 87.64 mpy ve 72.41 mpy olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda TiC miktarının artmasıyla nispi yoğunluklarda azalma gözlenirken sertlik değerlerinin arttığı ve korozyon özelliklerinin iyileştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: WC-Co-TiC, Sermetler, Elektrik Akımı Destekli Sinterleme, Elektrokimyasal Korozyon

Production of WC-Co-TiC Cermets by Electric Current Assisted Sintering Method and Investigation of Electrochemical Properties

ABSTRACT

Within the scope of this study, using the Electric Current Assisted Sintering (ECAS) method, the production of WC-Co and WC-Co materials with TiC additives in the ratios of 5%, 7.5% and 10% by weight were carried out in about 6 minutes in the 600-4500A current range and the effect of TiC on properties was investigated depending on the amount. From the SEM examinations, it was observed that the undoped WC-Co sample had a uniform structure, the added TiC particles had a harmonious union with the matrix and were uniformly distributed within the structure. WC, Co peaks and TiC were added to samples without additives based on XRD patterns, and WC, Co peaks as well as TiC peaks were also detected. The relative densities of the undoped WC-Co and the samples with 5%, 7.5%, 10% TiC by weight were calculated as 98.77%, 96.42%, 95.91% and 95.33%, respectively, microhardness values were determined as 1299 HV0.5, 1402 HV0.5, 1581 HV0.5 and 1768 HV0.5. Electrochemical corrosion studies were carried out in 3.5% NaCl solution by weight and the corrosion rates of the samples were determined as 96.25 mpy, 89.13 mpy, 87.64 mpy and 72.41 mpy, respectively. As a result of the studies carried out, it was determined that the relative densities decreased with the increase in the amount of TiC, while the hardness values increased and the corrosion properties improved.

I. GİRİŞ

Sermetler, seramik (ser) ve metalik (met) malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşan, seramiklerin yüksek sıcaklık özellikleri ve yüksek sertlik değerleri ile metallerin iyi plastik deformasyon özelliklerinin optimal birleştirilmesiyle meydana gelen kompozit malzemelerdir. Yüksek aşınma ve korozyon dirençleri ile ön plana çıkan bu malzemeler, seramikleri islatabilirlikleri ve ergime dereceleri yüksek olan Ni, Co veya Mo gibi metallerin meydana getirdiği matris ve matris içerisinde dağılım gösteren karbür, borür, nitrür veya oksit formundaki seramiklerin oluşturduğu yapılardır. Sermet kompozitler içerisinde en çok bilinen ve en yaygın kullanılan Tungsten Karbür Kobalt, 1920'li yıllarda kesici takım olarak geliştirilen, 1970lerde yüzey sertleştirme uygulamalarında kullanılan, genellikle geleneksel sinterleme yöntemleriyle üretilen, 600°C'ye kadar kararlılığını koruyabilen, yüksek aşınma ve korozyon direnci ile bilinen bir sermettir. Bu malzemeler, yüksek sertlik ve tokluk özelliğini bir arada bulduğundan kesici takım, delici uç, tel çekme kalıpları, makine parçaları için conta halkaları gibi endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmakta ve deniz suyu madenciliği gibi mükemmel mekanik ve korozyon direncinin eş zamanlı olarak istendiği uygulamalarda aday malzemeler olarak düşünülmektedir [1], [2], [3].

WC-Co grubu malzemelerin üretimleri genel olarak geleneksel toz metalurjisi teknikleri ile yapılmaktadır. Ancak günümüzde daha yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesi amacıyla farklı toz metalurjisi teknikleri, kompleks üretim prosesleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada üretim prosesi olarak Elektrik Akımı Destekli Sinterleme (ECAS) tekniği kullanılmıştır. ECAS tekniği yüksek sıcaklıkta uzun bekleme süresi gerektiren, geleneksel toz metalurjisi teknikleri ile kolay elde edilmeyen malzemelerin daha kısa sürede, daha az işlem adımıyla, daha hızlı bir şekilde uniform olarak sentezlenmesine olanak sağlayan alternatif bir toz metalurjisi (TM) tekniğidir. Bu yeni sentezleme prosesi, ön şekillendirme işlemine gerek duyulmadan kalıp içerisine yerleştirilen tozların belirlenen basınç ve istenilen zaman aralığında, malzemenin iletkenlik derecesine bağlı olarak kalıp veya toz partiküller üzerinden elektrik akımı geçirilmek suretiyle oluşan Joule etkisi sayesinde ürün eldesi prensibine dayanmaktadır. Üretilen malzemelerin element içeriğine, elementler arasındaki ekzotermik reaksiyonlara ve akım türü, akım yoğunluğu gibi proses işlem parametrelerine bağlı olarak Darbeli Elektrik Akım Sinterlemesi (PECS), Kıvılcım Akım Sinterlemesi (SPS), Plazma Aktivasyon Sinterlemesi (PAS) gibi farklı isimlerle de bilinmektedir. ECAS tekniği, yüksek ısıtma hızı ve buna bağlı olarak kısa işlem süresi ile ön plana çıkan, koruyucu atmosfer ve ön şekillendirme işleminin opsiyonel olması ile minimum düzeyde yardımcı ekipmana gereksinim duyulması sayesinde geleneksel TM metotlarına göre düşük maliyetli ekonomik bir yöntemdir [4]-[5].

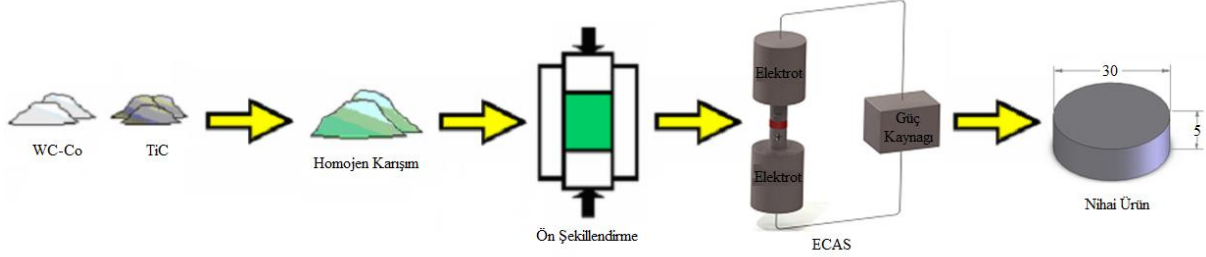
Bu çalışmada, katkısız ve ağ. %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilaveli WC-Co malzemelerinin ECAS tekniği ile 600-4500A akım aralığında 6 dakikada üretimleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen malzemelerin Archimed prensibiyle yoğunlukları, mikrosertlik testleri yardımıyla sertlik değerleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapıları, x-ışın paternleri ve kantitatif noktasal EDS analizleri ile faz yapıları ve elektro-kimyasal korozyon çalışmaları ile korozyon özellikleri belirlenmiştir.

II. MATERYAL VE METOT

A. MALZEME ÜRETİMİ

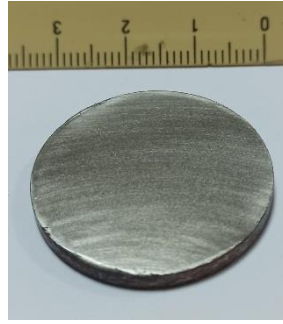
Katkısız ve TiC ilaveli WC-Co numunelerinin üretiminde Goodfellow Cambridge (İngiltere) Ltd. temin edilen WC-Co tozu ve Guangzhou Jiechuang Co. (Çin) Ltd. temin edilen TiC tozu başlangıç malzemesi olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan WC-Co ve TiC tozlarının boyut ve safiyetleri sırasıyla 44 µm, %99.95 safiyet ve 5-15 µm, %99.99 saflıkta olup, sertlik değerleri WC-Co için 1250-1350 Hv, TiC ise 3200 Hv'dir. Şekil 1'de WC-Co ve TiC sermetlerinin şematik olarak üretim süreci gösterilmiştir.

Katkılı ve katkısız WC-Co-TiC malzemeleri uygun bileşim oranlarında hazırlanarak homojen karışımın sağlanması amacıyla 1:30 toz:bilye oranında olacak şekilde gezegensel değirmende kuru ortamda 600 rpm karıştırma hızıyla 25 dakika sürede karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi gerçekleştirilen tozlar, bor nitür ile yağlanmış yüksek yüzey kalitesine sahip kalıplar içerisinde yerleştirilerek 300 MPa basınç altında şekillendirilmiştir.



Şekil 1. Üretim sürecinin şematik görünümü.

Şekillendirme işlemi takiben numune üretimleri 6 dakikada 600-4500 Amper akım aralığında gerçekleştirilmiş ve kalıplar içerisinde alınarak açık atmosferde soğutulmuştur. Üretim prosesi sonunda 30 mm çap ve 5 mm yüksekliğe sahip numuneler elde edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen numunelerin makro görüntüleri Şekil 2’de verilmiştir.



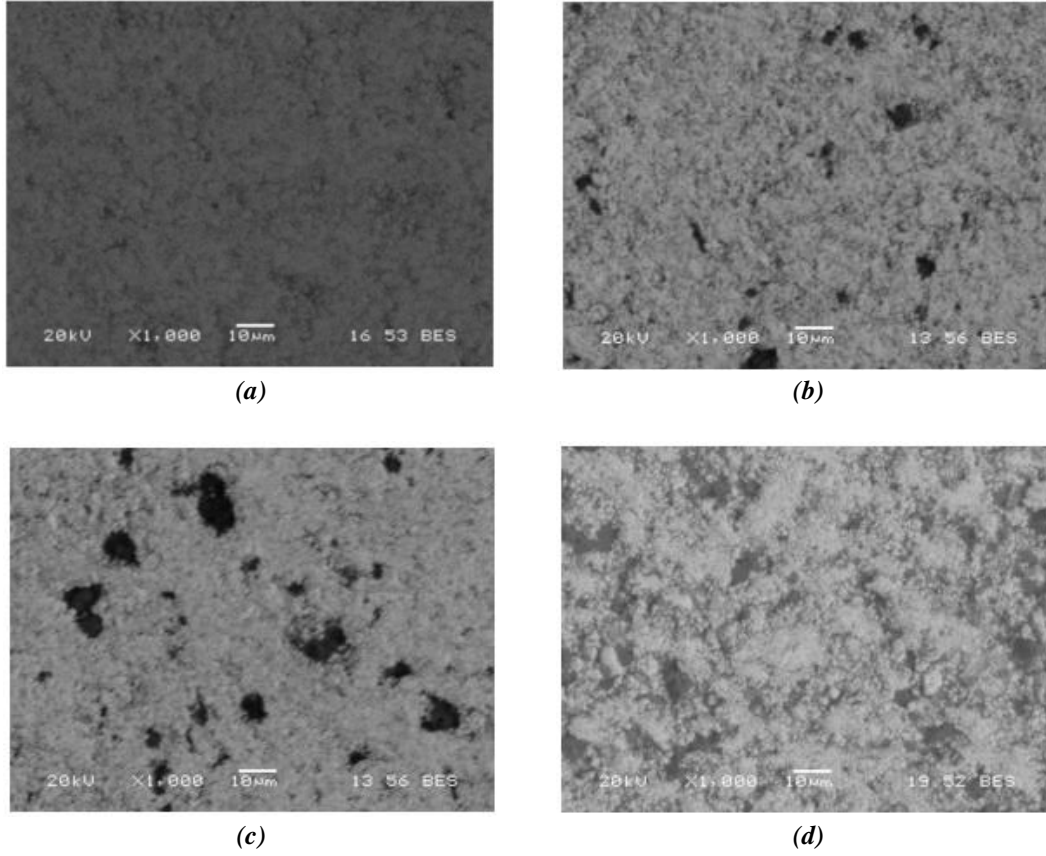
Şekil 2. Üretimi gerçekleştirilen numunenin makro görüntüsü.

B. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

Karakterizasyon çalışmalarını için üretimi gerçekleştirilen numuneler standart numune hazırlama teknikleri esas alınarak 60 mesh zımpara kademesinden 1200 meshe kadar SiC zımpara ile zımparalanmış ve sonrasında 0,1 µm’lık elmas pasta ile parlatılmıştır. Numunelerin yoğunlukları suyun kaldırma kuvveti esasına göre Archimed prensibiyle hesaplanmış ve nispi yoğunlukları tespit edilmiştir. Mikrosertlik ölçümleri, Vickers sertlik ucu kullanılarak 10 saniye bekleme süresi ve 500 gr yük altında gerçekleştirilmiş, 6 ayrı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiştir. Mikroyapı ve faz analizi, X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) ile karakterize edilmiştir. Elektrokimyasal korozyon deneyleri oda sıcaklığında, ağı.%3,5 NaCl çözeltisi içerisinde, Gamry marka bilgisayar kontrollü potansiyostat/galvanostat test cihazında potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Üç elektrot tekniği ile yapılan korozyon testlerinde referans elektrot olarak doymuş Ag/AgCl ve yardımcı elektrot olarak da grafit kullanılmıştır. Korozyon testleri sonrasında korozyon akımı (I_{corr}), korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon hızı değerleri belirlenmiştir.

III. BULGULAR

WC-Co ve TiC katkıli WC-Co numunelerinin üretimleri gezegensel değirmende 600 rpm karıştırma hızında 25 dakika karıştırma işlemi sonunda 600-4500A akım aralığında 1350°C sıcaklıkta 6 dakikada gerçekleştirilmiştir. Numunelerin SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 1(a-d) de verilmiştir.

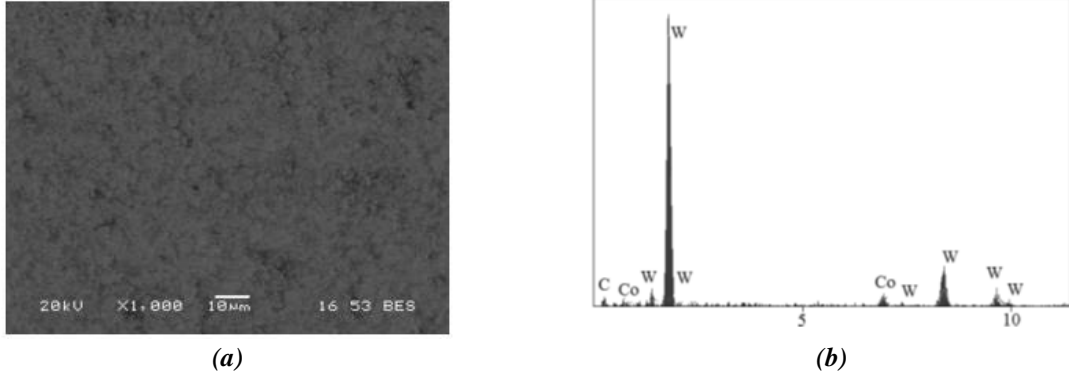


Şekil 3. (a) WC-Co (b) WC-Co+%5TiC (c) WC-Co+%7,5TiC (d) WC-Co+%10TiC .

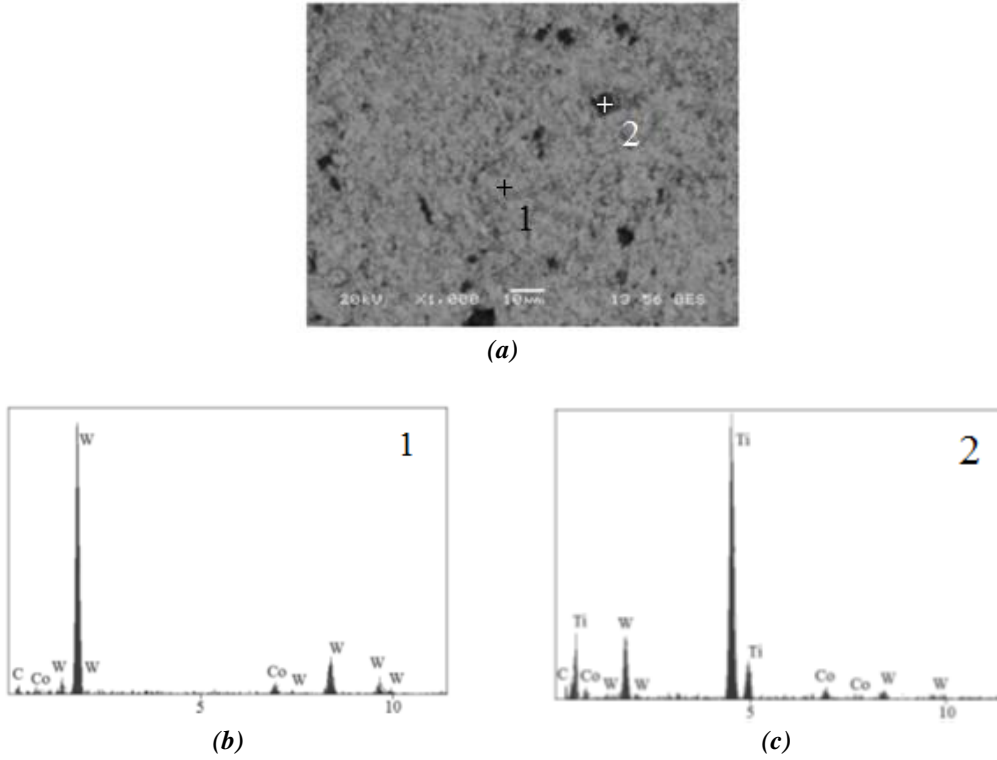
SEM incelemelerinden WC-Co numunesinin üniform bir yapıda olduğu, TiC katkıli numunelerde ise TiC partiküllerinin matrise göre daha koyu renkte olduğu, matris ile uyumlu bir birleşme meydana getirdiği görülmekte, ayrıca TiC miktarının artmasıyla yapıdaki ikinci fazın varlığının da arttığı gözlemlenmektedir. Özüdoğru [6] benzer bir çalışmada WC-Co sermetini 50 MPa basınçla şekillendirip, sıcak presleme (HP) ve spark plazma sinterleme (SPS) olmak üzere 2 farklı üretim tekniğiyle üretmişlerdir. Yapılan SEM çalışmalarından 1350°C ve 1425°C’de HP yöntemiyle elde edilen numunelerin, çok sayıda ve büyük poroziteler içerdiğini, bunun yanı sıra Co fazının matris görevini yerine getiremediğini bildirmişlerdir. 1300°C ve 1375°C’de 2 dakikada SPS tekniğiyle elde ettikleri numunelerin mikroyapılarından kobaltın sıvı faza geçerek katılaştığını, WC tanelerini sardığını ve SPS yöntemi ile başarılı sonuçlar aldıklarını vurgulamışlardır. Laptev ve arkadaşları [7], WC-16Co sermetini sıcak presleme yöntemiyle farklı sıcaklıklarda üretmişler, yapıdaki porozite değişikliklerini mikroyapısal olarak incelemişlerdir. Sinterleme sıcaklığının artması ile kobaltın sıvı faza geçmesi sayesinde, porozite boyutunda ve miktarında azalma olduğu, buna bağlı olarak yoğun bir mikroyapı elde edildiğini bildirmişlerdir. Bhaumik ve arkadaşları [8], WC-Co sermetine TiC ilavesi yaparak özelliklerini incelemişlerdir. TiC’ün mikroyapıda heterojen bir dağılım gösterdiğini belirtmişler, mikroyapısal heterojenliği ortadan kaldırmak için sisteme Ni ve Mo₂C ilave etmişlerdir.

Üretimi gerçekleştirilen malzemelerde oluşan fazlar hakkında detaylı bilgi edinebilmek için SEM noktasal elementel analiz incelemesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından (Şekil 2.1-2.4) katkısız WC-Co

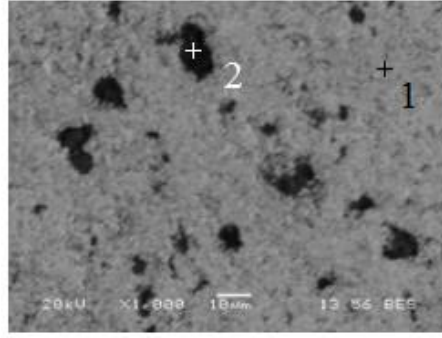
numunesinin istenen stokiometride olduğu belirlenmiştir. TiC takviyeli numunelerde ise açık renkli kısım WC-Co bölgesini, koyu renkli kısım TiC'ce zengin bölgeyi ifade etmektedir.



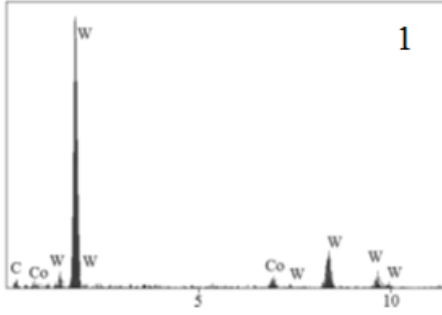
Şekil 4. (a) WC-Co (b) noktasal EDS analizi.



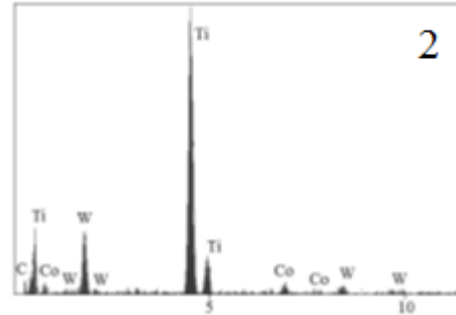
Şekil 5. (a) WC-Co + %5TiC (b) 1 için noktasal EDS analizi (c) 2 için noktasal EDS analizi.



(a)

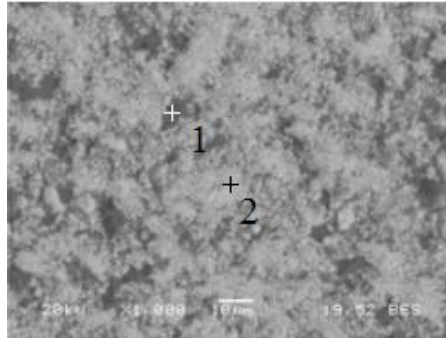


(b)

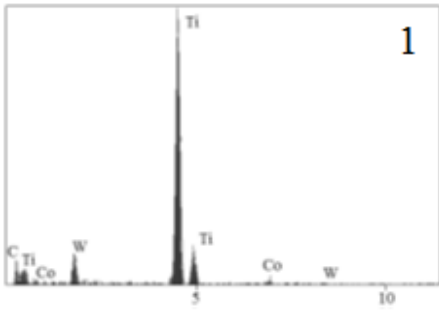


(c)

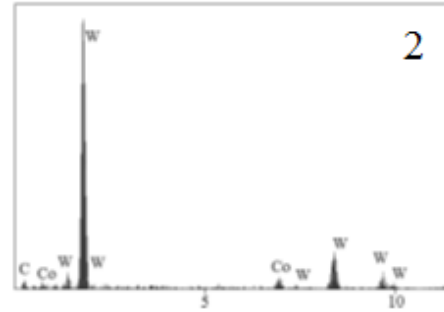
Şekil 6. (a) WC-Co + %7,5TiC (b) 1 için noktasal EDS analizi (c) 2 için noktasal EDS analizi.



(a)



(b)

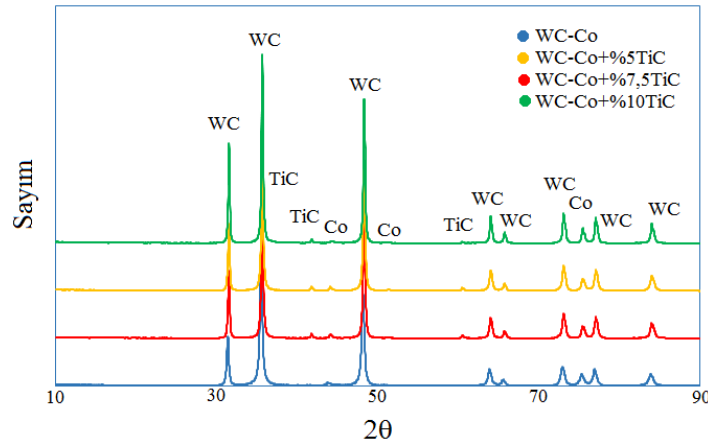


(c)

Şekil 7. (a) WC-Co + %10TiC (b) 1 için noktasal EDS analizi (c) 2 için noktasal EDS analizi.

ECAS yöntemi kullanılarak üretimi gerçekleştirilen numunelerinin faz yapılarını tespit etmek için x-ışınları difraksiyon analizi yapılmış ve sonuçlar Şekil 8'de gösterilmiştir. Şekil 8'de görüldüğü gibi

katkısız WC-Co numunesinde WC ve Co pikleri tespit edilirken, TiC katkısı yapılan numunelerde WC, Co piklerinin yanı sıra TiC piki de net olarak görülmüştür. WC pikleri 2 θ yaklaşık 32, 35 ve 48 derecelerde tespit edilirken, Co piki ise 75 derecede tespit edilmiştir. TiC takviyeli numunelerdeki TiC pikleri ise yaklaşık 20 43 ve 65 derecelerde belirlenmiştir. TiC yüzdesinin artması ile pik şiddetlerinde artmalar meydana gelirken, numunelerde WC, TiC ve Co dışında herhangi bir faza rastlanmamıştır. Jeong-Han ve arkadaşları [9], PCAS tekniği ile ürettikleri WC ve WC-Co malzemelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklerine ısı işlemin etkisi üzerine yaptıkları çalışmalarında WC-10Co numunesinde WC ve Co piklerini tespit etmişlerdir. Benzer verileri Jianfeng ve arkadaşları da [10], kobaltın partikül boyutu ve miktarı açısından farklılık gösteren WC-Co bileşimlerini mikrodalga sinterlemesi ile üretimlerini gerçekleştirmiş ve benzer faz analizleri elde etmiştir. Li Yajiang ve arkadaşları [11], YT758 ticari ismi ile bilinen WC-TiC-Co alaşımı üzerine yaptığı çalışmada elde ettikleri XRD paternlerinden WC, TiC ve α -Co piklerini tespit ettiklerini bildirmişlerdir.



Şekil 8. Numunelerin XRD paternleri.

Numunelerin yoğunlukları suyun kaldırma kuvveti Archimed prensibi esasına göre kuru ağırlıkları ve saf suyun içinde ağırlıkları ölçülerek hesaplanmıştır. Ölçülen yoğunluklar Tablo 1’de verilmiştir. Üretilen numunelerin nispi yoğunluklarının %95’in üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sun ve arkadaşları [12], WC-11Co alaşımına VC ve Cr₃C₂ ilave ederek SPS tekniği ile üretimlerini gerçekleştirmişlerdir. Numuneler 900 ile 1200°C sıcaklık aralığında 40 MPa basınçta 5 dakika sürede vakum altında sinterlenmiştir. Nispi yoğunlukların sinterleme sıcaklığı ve numunelerin bileşim oranına bağlı olarak %97 ile %100 aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Jian ve arkadaşları [13], WC-20Co numunelerini lazer melting yöntemiyle üretmişler ve nispi yoğunluk olarak %96 mertebelerine ulaşmışlardır.

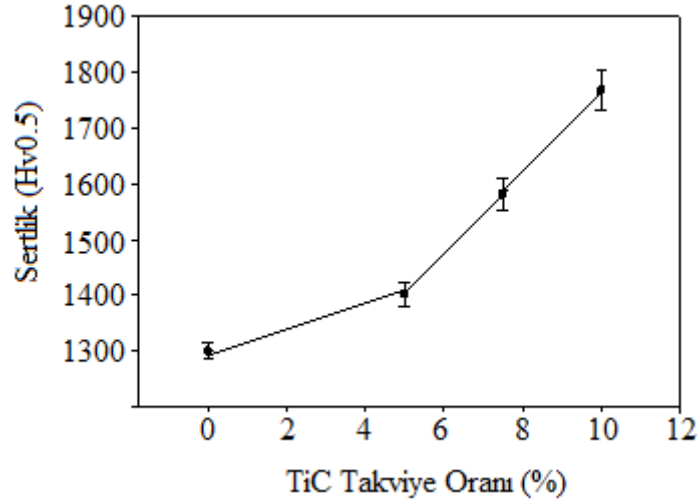
Tablo 1. Tüm numunelerin deneysel olarak tespit edilen nispi yoğunlukları.

Malzeme	Nispi Yoğunluk (%)
WC-Co	98.77
WC-Co+%5TiC	96.42
WC-Co+%7,5TiC	95.91
WC-Co+%10TiC	95.33

Numunelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi vermesi açısından önem teşkil eden sertlik değerleri Vickers sertlik ucu kullanılarak belirlenmiştir. Sertlikler, metalografik olarak hazırlanmış numunelerden 500 gr yük altında 6 farklı ölçümün ortalaması alınarak tespit edilmiş ve Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca Şekil 9’da TiC takviye oranına bağlı olarak sertlik davranışını göstermek amacıyla grafik olarak da sunulmuştur.

Tablo 2. Üretilen numunelerin sertlik değerleri.

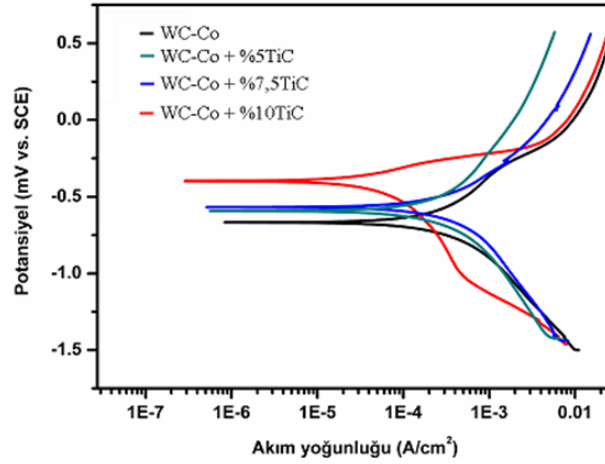
Malzeme	Üretim Sonrası (HV0.5)
WC-Co	1299
WC-Co+%5TiC	1402
WC-Co+%7,5TiC	1581
WC-Co+%10TiC	1768



Şekil 9. TiC takviye oranına bağlı olarak sertlik değişimi.

Özüdoğru [6] sıcak presleme yöntemi kullanarak 50 MPa basınç altında 30 dakikada üretimini gerçekleştirdikleri numunelerin, ihtiva ettiği Co miktarı ve sinterleme sıcaklığına bağlı olarak sertlik değişimlerini incelemişler ve sertlik değerlerinin 900 ile 1300 Hv aralığında olduğunu bildirmişlerdir. Peştreli ve arkadaşları [14], mekanik alaşımlamanın WC-%6Co sermetinin sinterleme davranışı üzerine etkisi alanında yaptığı çalışmada üretilen numunelerin mekanik alaşımlama şartlarına bağlı olarak sertliklerinin 1680-1770 Hv aralığında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Kyong ve arkadaşları [15], sıcak izostatik presleme yöntemi ile üretilen WC-TiC-Co sermetinin WC-TiC tane boyutuna bağlı olarak mekanik ve mikroyapı özelliklerini incelemişler, katkısız WC-Co alaşımlamanın sertliği 1400 Hv olarak tespit ederken, tane boyutu ve TiC içeriğine bağlı olarak WC-TiC-Co numunelerin 1500 ile 2200 Hv aralığında değişim gösterdiğini bildirmişlerdir.

Ayrıca bu çalışmada numunelerin elektrokimyasal olarak Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon özellikleri belirlenmiştir. Korozyon testleri ağırlık %3.5 NaCl çözelti ortamında üç elektrot tekniği kullanılarak, -1V ve +1V aralığında 0,5 mV/sn tarama hızıyla Tafel eğrileri (Şekil 4) elde edilerek yapılmıştır. Icorr, Ecorr ve korozyon hızları belirlenmiştir. Tafel yaklaşımı kullanılarak elde edilen korozyon değerleri Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 10. Üretilen numunelerin %3.5 NaCl çözeltisindeki Tafel eğrileri.

Tablo 3. Numunelerin %3.5 NaCl çözeltisi içindeki korozyon değerleri.

Malzeme	E _{corr} (mV)	I _{corr} (mA/cm ²)	Korozyon Hızı (mpy)
WC-Co	-0,724	127,9	96,25
WC-Co + %5TiC	-0,501	54,38	89,13
WC-Co + %7,5TiC	-0,609	96,7	87,64
WC-Co + %10TiC	-0,631	109,12	72,41

Korozyon direncinin en iyiden en kötüye doğru sıralaması yapıldığında WC-Co+%10TiC, WC-Co+%7,5TiC, WC-Co+%5TiC ve katkısız WC-Co şeklindedir.

Myalska ve arkadaşları [16], WC-17Co sermetinin yüzeyini termal sprey yöntemi ile nano boyutlu TiC tozları ile kaplamış ve %1, 3, 5 ve 7 oranında TiC içeriğine bağlı olarak korozyon özelliklerini incelemiştir. TiC içeriğinin artmasıyla paralel olarak korozyon direncinin arttığını ve katkısız WC-Co numunesinin ise korozyon direncinin bu seride en düşük seviyede olduğunu belirtmişlerdir. Nan Lin ve arkadaşları [17], alkali çözeltisi içerisinde benzer bir çalışma gerçekleştirmiş, %5, 10 ve 20 oranlarında TiC ilave ederek korozyon davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada Tafel eğrilerinden TiC miktarının artması ile korozyon direncinin önemli ölçüde arttığını bildirmişlerdir. TiC içeriğine sahip alaşımların yüzeyinde TiO₂ bileşiği oluşarak alkali çözeltiliye maruz kalan alanı azaltmak suretiyle korozyon işlemi önlediğini vurgulamışlardır.

IV. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son yıllarda WC-Co sermetlerinin özellikleri, farklı oranlarda alaşım elementi ilavesi veya farklı tür ve miktarda seramik katkıları ile günümüz gereksinimlerini karşılayacak düzeyde geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalar TiC ilavesinin hem mekanik hem de korozyon özelliklerini önemli ölçüde geliştirdiğini belirtmektedir. Bu çalışmada, korozif ortamlar için yüksek aşınma direncinin ön plana çıktığı uygulamalarda aday malzemeler olarak düşünülen WC-Co malzemesine, ağırlıkça %5, %7,5 ve %10 oranlarında TiC ilave edilerek toz metalürjisine alternatif bir yaklaşım olan ECAS tekniği ile 600-4500A akım aralığında 6 dakika sürede üretilmiştir. SEM incelemelerinden WC-Co numunesinin homojen dağılıma sahip üniform bir yapıda olduğu, TiC katkıları numunelerde TiC partiküllerinin yapı içerisinde üniforma yakın olarak dağıldığı ve matris ile uyumlu bir birleşimde olduğu gözlenmiştir. XRD analizlerinden katkısız WC-Co numunesinde WC ve Co pikleri belirlenirken, TiC katkısı yapılan numunelerde WC, Co piklerinin yanı sıra TiC piki de tespit edilmiştir. WC-Co, WC-Co+%5TiC, WC-Co+%7,5TiC ve WC-Co+%10TiC numunelerinin nispi yoğunlukları sırasıyla %98.77, %96.42, %95.91 ve %95.33 olarak hesaplanırken, mikrosertlik değerleri sırasıyla 1299 HV0.5, 1402 HV0.5, 1581 HV0.5 ve 1768 HV0.5 olarak belirlenmiştir. Ağ.%3.5 NaCl çözeltisi içerisinde

gerçekleştirilen elektrokimyasal korozyon sonrası WC-Co, WC-Co+%5TiC, WC-Co+%7,5TiC ve WC-Co+%10TiC numunelerinin korozyon hızları sırasıyla 96.25 mpy, 89.13 mpy, 87.64 mpy ve 72.41 mpy olarak tespit edilmiştir. Genel olarak numunelerin korozyon, yoğunluk, mikroyapı ve sertlik özellikleri değerlendirildiğinde elde edilen sonuçlar literatürle benzer nitelikte olup, TiC ilavesinin artmasıyla sertlik değerlerinin arttığı, korozyon özelliklerinin iyileştiği ancak nispi yoğunlukların azaldığı belirlenmiştir.

TEŞEKKÜR: Yazarlar bu çalışmaya maddi ve manevi olanak sağlayan Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyon Başkanlığına (2019-50-01-026) ve Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Malzeme ve Üretim Teknolojileri Uygulama ve Üretim Merkezine katkılarından dolayı teşekkürlerini sunarlar.

V. KAYNAKLAR

- [1] S. Zhang, "Titanium carbonitride-based cermets: processes and properties," *Materials Science and Engineering A*, vol. 163, pp.141-148, 1993.
- [2] A. Can, "AISI 5140 çeliğinin Sermet PVD ile TiAlN – CVD ile TiN kaplanmış kesici uçlarla tornalanmasında kesme değişkenleri, kaplama cinsi ve takım aşınmasının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin deneysel incelenmesi," Yüksek Lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2003.
- [3] A. Özer, Y.K. Tür, "Tetragonal Zirkonya Katkılı Cr₃C₂-NiCr Sermet Kompozitlerin karakterizasyonu ve mekanik özellikleri," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 14, ss. 375-380, 2013.
- [4] R. Orru, R. Licheri, A.M. Locci, A. Cincotti, G. Cao, "Consolidation/Synthesis of materials by electric current activated/assisted sintering," *Materials Science and Engineering*, vol. 63, pp. 127-287, 2009.
- [5] S. Grasso, Y. Sakka, G. Maizza, "Electric current activated/assisted sintering (ecas): a review of patents 1906-2008," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 10, pp. 1-24, 2009.
- [6] R. E. Özüdoğru, WC-Co "Semente karbürlerin üretimi ve karakterizasyonu," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [7] A. V. Laptev, Ponomarev, S. S. and L. F. Ochkas, "Structural features and properties of alloy 84% wc – 16% co, obtained by hot pressing in the solid and liquid phases 1: effect of the temperature at which the specimens are prepared on their density and structure," *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, vol. 39, pp. 607-617, 2000.
- [8] S. K. Bhaumik, Upadhyaya, G. S. and M. L. Vaidya, "Properties and microstructure of WC-TiC-Co and WC-TiC-Mo₂C-Co(Ni) Cemented Carbides," *Materials Science and Technology*, vol. 7, pp. 723-728, 1991.
- [9] L. Jeong-Han, O. Ik-Hyun, J. Jun-Ho, H. Sung-Kil, P. Hyun-Kuk, "Mechanical properties and microstructural evolution of WC-binderless and WC-Co hard materials by the heat treatment process," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 786, pp.1-10, 2019.
- [10] L. Jianfeng, C. Jigui, C. Pengqi, C. Wenchao, W. Chenlong, "Fabrication of WC-Co cemented carbides with gradient distribution of WC grain size and Co composition by lamination pressing and microwave sintering," *Ceramics International*, vol. 44, pp. 11225-11232, 2018.

- [11] L. Yajiang, Z. Zengda, H. Xiao, W. Juan, "Microstructure and XRD analysis in the brazing zone of a new WC–TiC–Co hard alloy," *Materials Research Bulletin*, vol. 37, pp. 941-948, 2002.
- [12] L. Sun, C. Lin, C. Jia, X. Jia, M. Xian, "Change in relative density of WCCo cemented carbides in spark plasma sintering process," *Rare Metals*, vol. 27, pp. 74-77, 2008.
- [13] C. Jian, H. Miaojun, Z. Zak, K. Mark, L. Wei, D. Xin, Z. Zhe, C. Shaohua, W. Shanghua, L. Jianye, Q. Wenjun, W. Zhongping, "Microstructure analysis of high density WC-Co composite prepared by one step selective laser melting," *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 84, pp. 104980- 104986, 2019.
- [14] D. Peştreli, "Mekanik Alaşım Yönteminin WC-Co Sert Metal Sisteminin Sinterleme Davranışı Üzerine Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2019.
- [15] H. L. Kyong, I. C. Seung, K. K. Byung, H. H. Soon, "Effect of WC/TiC grain size ratio on microstructure and mechanical properties of WC–TiC–Co cemented carbides," *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, vol. 24, pp. 109–114, 2006.
- [16] H. Myalska, J.K. Michalska, G. Moskal, K. Szymański. "Effect of nano-sized TiC powder on microstructure and the corrosion resistance of WC-Co thermal spray coatings," *Surface & Coatings Technology*, vol. 318, pp.270–278, 2017.
- [17] L. Nan, H. Yuehui, W. Chonghu, L. Shaofeng, X. Xiaohua, J. Yao, "Influence of TiC additions on the corrosion behaviour of WC–Co hardmetals in alkaline solution," *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, vol. 46, pp. 52–57, 2014.