



Kahramanmaraş Sütçü İmam University

Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 28.07.2023
Kabul Tarihi : 08.12.2023

Received Date : 28.07.2023
Accepted Date : 08.12.2023

TIG KAYNAK YÖNTEMİYLE ALAŞIMLANDIRILAN Fe MATRİSLİ KARBÜR TABAKALARIN MİKROYAPI VE SERTLİK İNCELEMESİ

MICROSTRUCTURE AND HARDNESS INVESTIGATION OF Fe MATRIX CARBIDE LAYERS ALLOYED BY TIG WELDING METHOD

Serkan ÖZEL^{1*} (ORCID: 0000-0003-0700-1295)

¹ Bitlis Eren Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Serkan ÖZEL, sozel@beu.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, Fe tozu içerisine farklı oranlarda (% 5 ve 10) ilave edilen Cr_3C_2 toz karışımları, TIG (Tungsten Inert Gaz) yöntemiyle Ç1020 çelik malzeme yüzeyine alaşımlandırılmıştır. TIG yöntemiyle gerçekleştirilecek olan alaşımlamada üç farklı akım (110, 120 ve 130 Amper) şiddeti kullanılmıştır. Yüzey alaşımlama sonrası alaşım tabakasından kesitler alınarak sertlik ve mikro yapı karakterizasyonu yapılmıştır. Mikro yapılar incelenirken optik mikroskop, SEM+EDS analizleri kullanıldı. Sonuç olarak alaşım tabakalarında dendritik bir mikroyapı oluşmuştur. XRD analizinde Cr_3C_2 ve Cr_7C_3 bileşiklerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Alaşımlanmış numune yüzeylerinden alınmış mikrosertlik testleri sonucunda akım şiddetinin artmasıyla numunelerin genelinde sertlik değerinde artış olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca ilave edilen Cr_3C_2 tozunun, ilave oranının artmasıyla da sertlik artmıştır. Yüzeyi alaşımlanmış numunelerde en yüksek mikrosertlik değeri 130 A akım şiddetinde %10 Cr_3C_2 ilave edilen numunede 485 HV olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yüzey alaşımlama, Cr_3C_2 , mikroyapı, mikrosertlik

ABSTRACT

In this study, Cr_3C_2 powder mixtures added to Fe powder at different rates (5 and 10%) were alloyed to the surface of Ç1020 steel material by TIG (Tungsten Inert Gas) method. Three different current (110, 120 and 130 Ampere) intensities were used in the alloying to be carried out by the TIG method. After surface alloying, sections were taken from the alloy layer, and hardness and microstructure characterization were made. Optical microscopy and SEM+EDS analyzes were used while examining the microstructures. A dendritic microstructure was formed in the alloy layers. In XRD analysis, it was determined that Cr_3C_2 and Cr_7C_3 compounds were formed. As a result of the hardness tests taken from the alloyed sample surfaces, it was determined that the hardness value increased throughout the samples with the increase of the current intensity. In addition, the hardness increased with the increase in the addition rate of Cr_3C_2 powder. In the surface alloyed samples, the highest microhardness value was measured as 485 HV in the sample with 10% Cr_3C_2 added at 130 A current intensity.

Keywords: Surface alloying, Cr_3C_2 , microstructure, microhardness

GİRİŞ

Yüzey teknolojisi, alt tabaka yüzeyinde sert malzeme tabakası oluşturarak aşınma direnci, mikrosertlik, oksidasyon ve korozyon direnci özelliklerinin iyileştirilmesini hedefleyen bir teknolojidir. Malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek için Lazer, TIG, MIG/MAG, Toz altı, plazma transferli ark ve elektron ışını yöntemleri gibi çeşitli yüzey teknikleri kullanılmaktadır (Liu vd., 2023; Zhao vd., Diken, 2020; Akın, 2020; 2019; Özel vd., 2008; Özel, 2004). Bu yüzey teknikleri arasında tungsten inert gaz (TIG) yöntemi, alt tabaka üzerinde kalın bir tabaka geliştirmek için pahalı olmayan bir yöntem olarak kabul edilmiştir (Kumar & Das, 2022). Bu yöntem, kaplama malzemesi ile altlık malzemesi arasında mükemmel metalurjik bağ sergiler ve yüzey alaşımlama için çok yaygın bir yöntemdir. Kaplama ve altlık malzemesi arasında iyi metalurjik aderans göstermesi, kolay çalışması nedeniyle kaplama işleminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tel besleme tekniği, toz enjeksiyon tekniği ve önceden yerleştirilmiş toz tekniği gibi alt tabakanın yüzeyine kaplama malzemesi yerleştirmenin üç farklı yolu vardır. Önceden yerleştirilmiş toz tekniği, basit ve kolay çalıştırıldığı için TIG kaplama işleminde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Das, 2022).

Sermet kaplamalar, üstün oksidasyon ve aşınma direnci, daha yüksek refrakterlik ve mekanik özellikler gibi avantajlı özelliklere sahiptir. Bu nedenle genellikle şekillendirme ve kesme uygulamaları, yataklar, aşındırıcı bulamaç için nozullar ve korozyona erozyona dirençli kaplamalar için kullanılır. Krom ve tungsten karbür kaplamalar normalde hem kayma aşınmasını, aşındırıcı ve sıcak korozyon direncini arttırmak hem de eşleşen makine bileşenlerinin sürtünme katsayısını azaltmak için kullanılır (Alam & Das, 2022). Krom karbürün mükemmel oksidasyon direncine sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle CrC bazlı kompozitler, aşınmaya ve korozyon-oksidasyon karşısında dirençli olmalarından dolayı sıcaklığın fazla olduğu uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle krom karbür, termal püskürtme uygulamalarında nikel ile birleştirilir. Yukarıda belirtilen özelliklerden dolayı, oluşturulan alaşım tabakası ile yüksek sıcaklıktaki aşınma uygulamalarında kullanılabilir (Bendikiene vd., 2020).

TIG yöntemi ile çeşitli yüzey alaşımlandırma işlemleri gerçekleştirilerek farklı türde alaşım tabakaları elde edilmektedir. Yüzeyde aşınma ve korozyon direncini arttırmaya yönelik Al_3Ti , TiB , TiB_2 , TiC , SiC ve WC bileşikleriyle güçlendirilmiş kompozit alaşım tabakaları oluşturulabilmektedir. (Singh vd., 2020; Kumar vd., 2021; Sahami-Nejad vd., 2019; Tavoosi & Arjmand, 2017; An vd., 2017; Saroj vd., 2017).

Debta ve Masanta yapmış oldukları çalışmalarında (Debta & Masanta, 2023), $Ti-6Al-4V$ alaşımının mekanik performansını iyileştirmek için, $TiC-Co-nY_2O_3$ kaplama tabakasını $Ti-6Al-4V$ alaşımlı levha üzerinde TIG kaplama yolu ile oluşturmuşlardır. Farklı ağırlık yüzdelerinde (n) Nano- Y_2O_3 tozu, $TiC-Co$ toz harmanı ile karıştırılarak farklı toz karışımları elde etmişlerdir. Kaplama tabakalarının incelenmesinde Nano- Y_2O_3 'ün eklenmesiyle, TiC parçacıklarını tamamen eriten ve katılaşma sırasında uzun dendrite dönüştüren bir yapının oluştuğunu tespit etmişlerdir. Nano- Y_2O_3 ilavesi ile aşınma ve sürtünme katsayısında (COF) önemli azalma ile birlikte ortalama mikro sertlikte bir iyileşme gözlemlenmiştir. $TiC-Co-2\%Y_2O_3$ kaplamada, $TiC-Co$ kaplamaya kıyasla neredeyse dört kat daha az aşınma tespit etmişlerdir.

TIG kaynak yöntemi ile Co-Cr esaslı WC takviyeli tozların St52 çeliğinin yüzeyi üzerine kaplanması ile yapılan çalışmada (Kırık vd., 2019), kaplamaların mikroyapı ve fazların analizleri, SEM, EDS ve X-Ray incelemeleri ile gerçekleştirilmiştir. X-Ray incelemesinde, kaplama tabakalarında ötektik yapıların, dentritik fazların, WC ve W_2C ile CrC ve Cr_3C_2 karbürlerinin oluştuğunu tespit etmişlerdir.

TIG kaynak yöntemi ile sert dolgu gerçekleştirilerek oluşan artık gerilme ve deformasyonların modellenmesinin gerçekleştirildiği çalışmada (Savaş, 2021), oluşacak gerilme ve deformasyonların en düşük seviyeye indirilmesinde kaynak dikişlerini sayısal olarak incelemiştir. TIG kaynak yöntemiyle sert dolgu kaynak dikişlerinin seyrek bir şekilde plaka üzerine uygulanmasını gerçekleştirmiştir. ANSYS sonlu elemanlar yazılımını kullanarak model oluşturulmuş ve deneysel sonuçlar ile doğruluğunu kontrol etmiştir. Dikdörtgenimsi plakaların enlemesine gerçekleştirilen kaynak dikişlerinde, daha az deformasyon ve artık gerilmelerin oluştuğunu tespit etmiştir.

Can ve arkadaşları çalışmalarında (Can vd., 2022), GTAW kaynak yöntemi ile gerçekleştirdikleri yüzey kaplama tabakalarında kaplama kalitesi ve verimliliği arttırmak için PLC kontrollü yarı-otomatik kaynak makinesinin tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Tasarladıkları bu kaynak makinesi ile çeşitli deneyler gerçekleştirmişlerdir. Mikroyapıyı optik ve elektron mikroskobu ile incelemiştir. Mikrosertlik ölçümleri almışlardır. $FeCrC + FeTi + Ni$ toz karışımları ile AISI 1040 çelik malzeme yüzeyi kaplanmıştır. Kaplama tabakasında $377,5 HV_{0,2}$ mikro sertlik

değeri tespit edilmiştir. PLC kontrollü yarı-otomatik GTAW kaynak makinesinin yüzeylerin kaplanması ve değişik kaynak uygulamalarında optimum şartlarında tespitinde etkin bir yöntem olabileceği tespit edilmiştir.

Çömez ve arkadaşları (Çömez vd., 2021), Fe-Cr-C alaşımı içerisinde krom, molibden ve vanadyum ilave ederek St-37 çeliği yüzeyine kaplamalar gerçekleştirmişlerdir. Ferro alaşımı olarak ilave edilen elementlerle oluşturulan kaplama tabakalarında M_7C_3 (M: Fe, Cr) ve M_2C (M: Mo, Fe, Cr) karbürleri birinci karbür oluşumu olarak tespit edilmiştir. En yüksek makrosertlik ve en düşük aşınma kaybını % 4 ferro-molibden + % 10 ferro-vanadyum ilave edilerek oluşturulan kaplama tabakalarında tespit etmişlerdir.

Sıcak iş takım çeliğinin yüzeyi üzerine, TIG kaynak yöntemi kullanılarak özel elektrod ile kaplama gerçekleştirilen çalışmada (Gençalp İrizalp vd., 2018), numunelerin sertlik, mikroyapı, SEM, EDS, XRD, aşınma test analizleri gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar programı yardımıyla akma gerilmesinin ve genleşme katsayısının tespiti yapılmıştır. Aşınma deneyi sonrasında aşınma direncinin arttığını tespit etmişlerdir. Dolgu malzemesi olarak kullanılan elektrotta mevcut krom ve vanadyum elementlerinin karbür yapıcı etkisiyle sertlik miktarı da artmıştır.

Yitria stabilizeli zirkonya (%5-25 ağırlık) takviyeli Inconel 625 kompozit kaplamaların TIG kaynak yöntemi kullanılarak geliştirildiği çalışmada (Kamboj & Thakur, 2023), optimum TIG kaynak işlemi parametrelerini, Box-Behnken tasarımına (BBD) dayalı tepki yüzey metodolojisi (RSM) aracılığıyla tahmin etmişlerdir. Kaplamalar optik mikroskop, SEM, EDS ve XRD analiz teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Kaplamaların 650 °C'deki kayma aşınma davranışı, yüksek sıcaklıktaki pin-on-disk tribometre ile değerlendirilmiştir. YSZ-Inconel 625 kompozit kaplamalarda, γ -Ni, Cr_2O_3 ve ZrO_2 gibi kararlı fazların oluştuğunu tespit etmişlerdir. Kaplamalar yüksek sıcaklıkta esas olarak yapışkan tipte bir aşınma sergilemiştir. Optimize edilmiş bir ayarla geliştirilen kaplamadaki kompakt katı oksit katmanların, diğer kaplamalara kıyasla üstün aşınma direnci sağladığını tespit etmişlerdir.

Padhee ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında (2020), AZ91 Mg alaşımının yüzey özelliklerini geliştirmek amacıyla TIG yöntemini ısı kaynağı olarak kullanarak Al ve TiC karışımının yüzey alaşımlamışlar ve yüzey özelliklerini incelemişlerdir. AZ91 alaşımı üzerindeki alaşımlı katmanın mikroyapısal incelemesinde, SEM ve XRD tekniğini kullanmışlardır. Aşınma ve mikrosertlik incelemelerinde de bulunmuşlardır. Yüzeyde oluşturulan alaşım tabakası, 305 HV_{0.25}'e kadar sertlik değeri ve teslim alınan AZ91 alaşımlı alt tabaka ile karşılaştırıldığında neredeyse ihmal edilebilir düzeyde aşınma sergilediğini tespit etmişlerdir.

Fesharaki ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmalarında (Fesharaki vd., 2018), lazer kaplama ve TIG kaplama olmak üzere iki işlemle Inconel 738 altlık malzeme üzerine Ni bazlı Inconel 625 kaplama tabakaları oluşturmuşlardır. Lazer kaplama yönteminde lazer gücü, lazer tarama hızı ve toz besleme hızı değişken olarak, TIG yönteminde ise akım ve türü değişken olarak kullanmışlardır. Mikroyapısal, elementel ve faz karakterizasyonu için EDS ve XRD ile donatılmış alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) kullanmışlardır. Sonuçta, mikroyapının sütunlu ve hücreli yapı dendritlerinden oluştuğunu ve lazer kaplamanın, daha yüksek soğutma hızı nedeniyle daha ince bir mikro yapıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca her iki kaplamada da östenit, karbür ve Laves fazları tespit etmişlerdir.

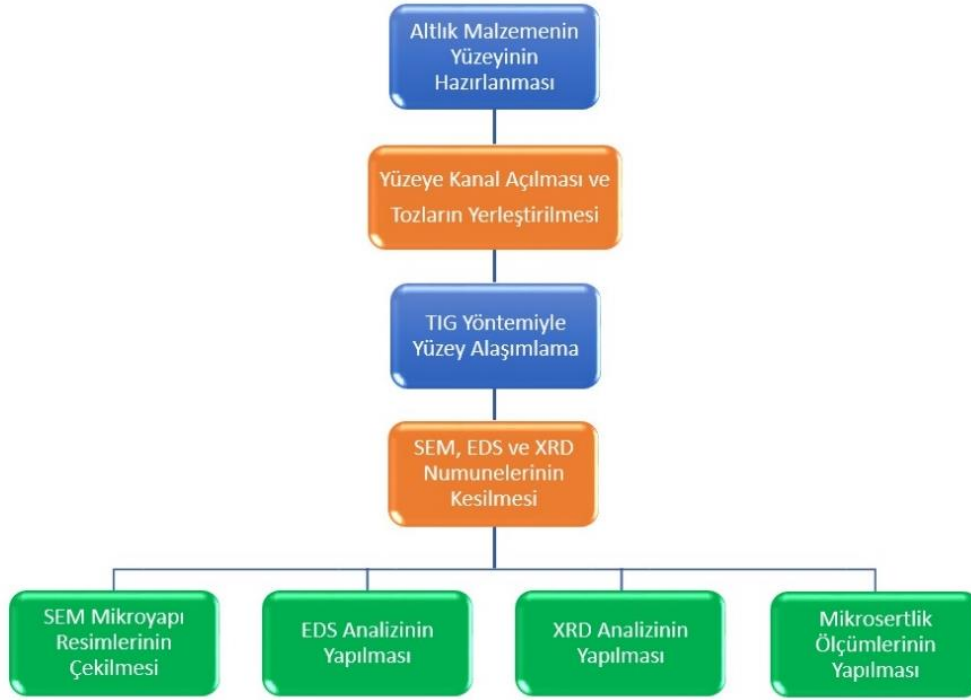
Cr_3C_2 tozu termal püskürtme kaplama yöntemlerinden bir tanesi olan HVOF (yüksek hızlı oksit yakıt) yöntemiyle kaplama işlemi yapılan bir tozdur (Liu, 2023; He, 2022; Şap, 2020). HVOF yöntemine ait kaplama ünitesinin maliyetinin yüksek oluşu, yüzeye uygulanacak kaplama maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yüzeyde ergitme işlemi için ısı kaynağı olarak kullanılan TIG kaynak yönteminde üretim maliyeti oldukça düşük seviyelere çekilmektedir. Ayrıca TIG kaynak yönteminde, yüzey tabakasının kalınlığının da yüksek olması sağlanarak yeni bir teknoloji olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada, Fe esaslı toz karışımı içerisinde %5 ve %10 oranlarında ilave edilen Cr_3C_2 toz karışımları altlık malzeme yüzeyine önceden yerleştirilmiş toz tekniği kullanılarak yerleştirilmiş ve TIG yöntemiyle Ç1020 çelik malzemenin yüzeyi üzerine alaşımlanmıştır. Alaşımlama esnasında 110 A, 120 A ve 130 A akım şiddetleri kullanılmıştır. Bu işlem esnasında kullanılan farklı akım şiddeti ve ilave oranlarının, mikroyapı ve sertlik üzerine etkisi araştırılmıştır.

MATERYAL METOD

Kullanılan Malzemeler

Ç 1020 çelik malzeme yüzeyi TIG yöntemiyle alaşımlandırılmış ve oluşturulan tabakaların mikroyapı ve sertlik incelemesi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin hazırlanmasından analizlerin yapılmasına kadar olan işlemlere ait akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Yüzey alaşımlamanın yapılarak Altlık olarak kullanılan düşük karbonlu çelik malzemesinin kimyasal bileşiminin içeriği Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Yüzey Alaşımlama İşlemine Ait Akış Şeması

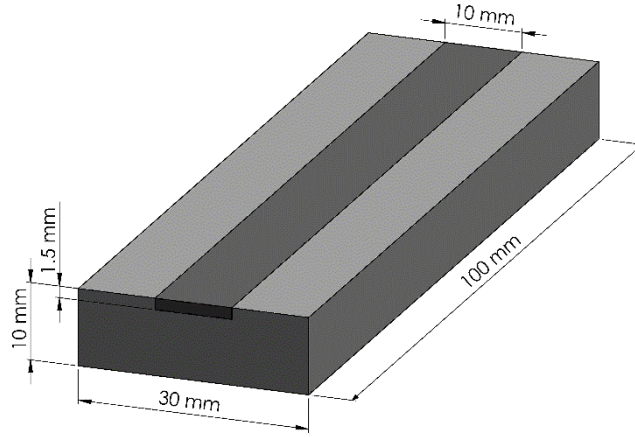
Tablo 1. Altlık Malzemede Kullanılan Ç1020 Çeliğinin Kimyasal İçerik Değerleri (%Ağırlık)

Malzeme/Element	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
Ç1020	0,20	0,04	0,5	0,065	0,022	0,07	0,08	0,08	Kalan

TIG yöntemi ile yüzey alaşımlandırılırken, alt malzeme için kullanılan numune 100x30x10 mm boyutlarında az miktarda karbona sahip Ç1020 çelik malzemeler ve alaşım malzemesi olarak da Fe esaslı toz içerisinde kimyasal bileşim içeriği Tablo 2’de verilmiş olan farklı oranlarda (% 5 ve % 10) Cr₃C₂ tozları ilave edilerek karışımlar elde edilmiştir. Bu toz karışımları Şekil 2’deki gösterildiği gibi, 1,5 mm derinlik ve 10 mm genişlik ölçüsünde hazırlanan kanallar içerisinde tozları sabitleyerek tutunmasını sağlamak amacıyla sodyum silikat ile karıştırılarak yerleştirilmiştir.

Tablo 2. Yüzey Alaşımlamada Kullanılan Cr₃C₂ Tozunun Kimyasal İçeriği (% ağırlık)

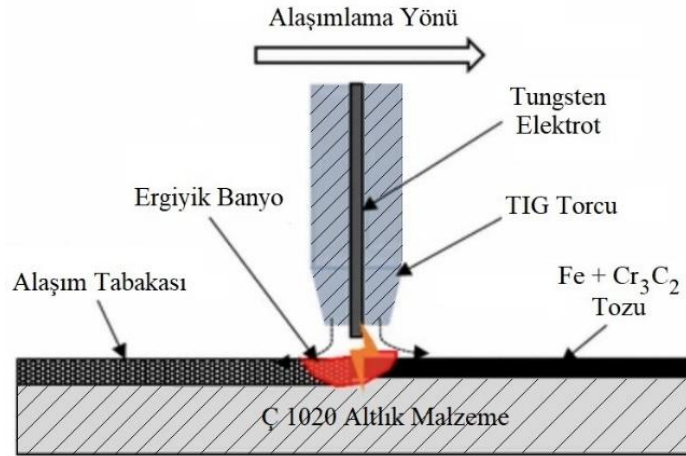
Alaşım elementi	% Oranı
C	12-14
Si	0.3
Cr	84-87
Fe	0.5



Şekil 2. Yüzey Alaşımında Kullanılan Numunenin Şematik Resmi

Yüzey Alaşım Yöntemi

Yüzey alaşımlandırma işlemi esnasında değişik akım şiddetleriyle denemeler yapılarak, kararlı ark ve parçayı deforme etmeden optimum akım değerlerinin 110A, 120A ve 130A'lık akım şiddeti değerleri olduğu belirlenmiştir. Ç1020 çelik malzemenin yüzeyi üzerine TIG yöntemi kullanılarak Fe esaslı toz karışımı içerisine farklı oranlarda (% 5 ve % 10) ilave edilen Cr_3C_2 tozları, daha önce belirlenen akım şiddetleri ile alaşımlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de TIG yöntemiyle numunenin kanalı içerisine yerleştirilen tozlarla gerçekleştirilen alaşımlandırma işlemi verilmiştir.



Şekil 3. TIG Yöntemiyle Yüzeyi Alaşımlandırmanın Şematik Gösterilişi (Sahoo & Masanta; 2018)

Tablo 3'te TIG yöntemiyle yüzeyi alaşımlandırmada kullanılmış işlem parametreleri verilmiştir. TIG torcunun içerisindeki elektrot ile alt malzeme arasında meydana gelen ark ile yüzeye yerleştirilen toz karışımı ergitilerek Ç1020 alt malzeme yüzeyinde alaşım tabakası oluşturulmuştur. Şekil 4-a'da yüzey alaşımlama sonrasında altlık malzeme ve alaşım tabakasının, Şekil 4-b'de ise mikroyapı analizi için kesit alınarak çıkarılan numunenin makro resimleri verilmiştir.



Şekil 4. a) Yüzey Alaşımlama Sonrası Numunenin, b) Mikroyapı İncelemesi İçin Kesit Numunenin Makro Resimleri

Tablo 3. Numunelerin Kodları ve Parametreleri

Numune	Cr ₃ C ₂ tozu karışım oranı (%)	Akım Şiddeti (A)
M1	5	110
M2		120
M3		130
M4	10	110
M5		120
M6		130

Metalografik Muayene ve Sertlik Ölçümü

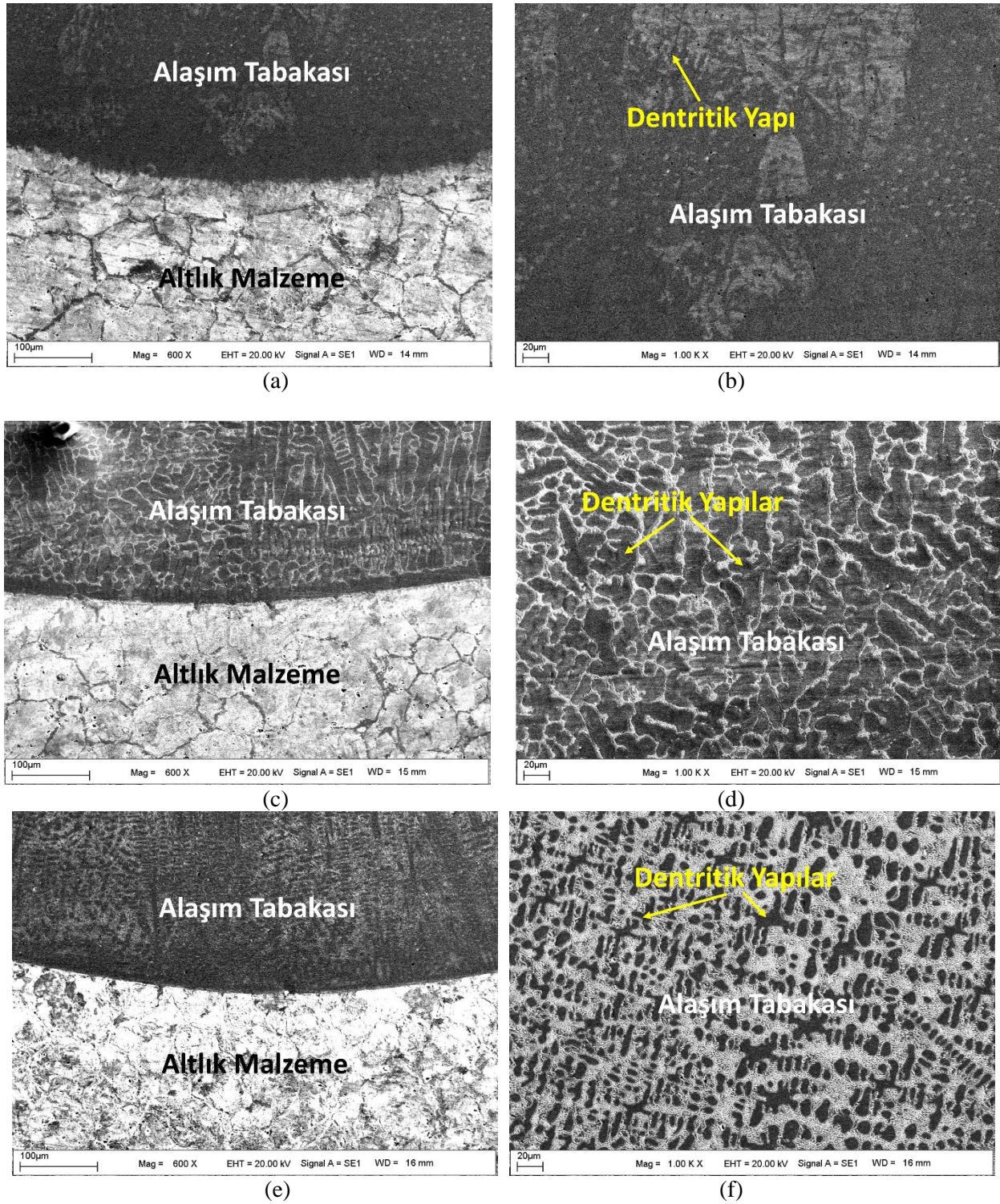
Yüzey alaşımlama sonrası kaynak ilerleme yönüne dik pozisyonda yüzeyden kesit alınıp numune çıkartılmıştır. Numunelerin kesiti alınan yüzeyler sırasıyla 300, 600, 800 ve 1200 mesh'lik zımparalar ile zımparalama işlemi sonrası 3 mikron elmas pasta ve çuha ile yüzeyler parlatılmıştır. Parlatılan yüzeyler 5 s sürede 1 gr FeCl₃+10 ml HCl+100 ml H₂O çözeltisiyle dağlanmıştır. Dağlama sonrası numunelerin SEM fotoğrafları alınmış ve EDS analizi ile elementel analizi gerçekleştirilmiştir. Yüzeyle alaşımlandırılan tabaka içerisinde oluşan muhtemel bileşikler tespit için yüzeyden XRD analizi alınmıştır. Tüm numunelerin alaşımlanan tabakalarından mikrosertlik ölçümleri, Qness marka QM-10 model mikrosertlik cihazı (Şekil 5) ile Vickers cinsinden ölçülmüştür. Alaşımlanan tabakanın 5 farklı noktasından ölçümler alınarak aritmetik ortalamaları hesaplanmıştır.

**Şekil 5.** Mikrosertlik Ölçüm Cihazı

BULGULAR

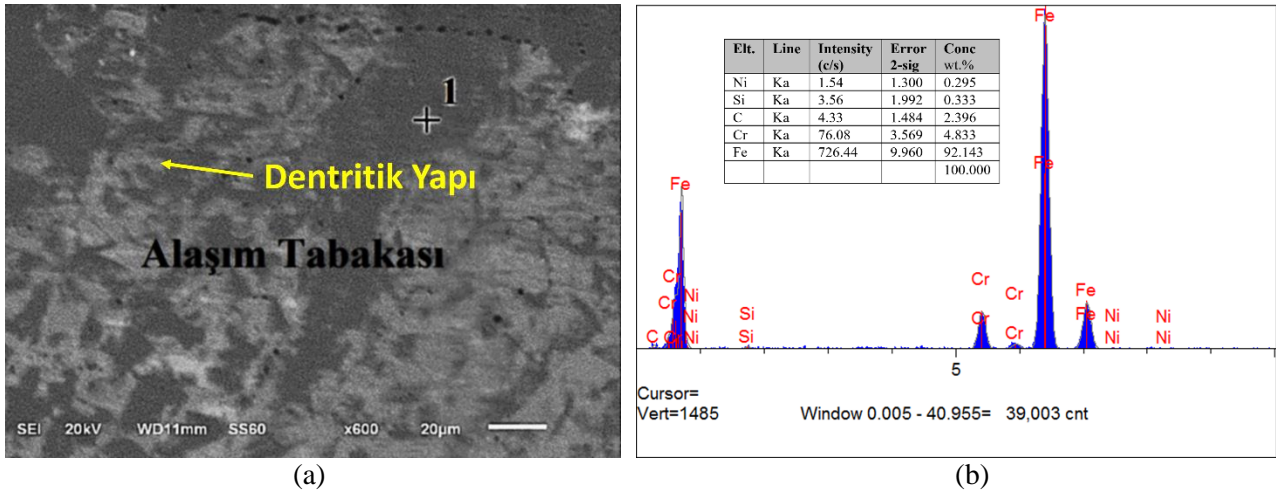
Mikroyapı İncelemesi

Düşük karbonlu çelik malzemesi yüzeyine, Fe esaslı toz içerisinde farklı oranlarda (% 5 ve % 10) Cr₃C₂ tozları karıştırılmış ve TIG kaynak yöntemiyle yüzeyde alaşımlandırılmıştır. Şekil 6'da M1, M2 ve M3 numunelerinin yüzeyde oluşturulan alaşım tabakalarından alınan SEM fotoğrafları görülmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde, üst yüzeyden altlık malzemeye doğru yönelmiş mikroyapının oluştuğu görülmektedir. Oluşan mikroyapı katılaşma hızına bağlı olarak farklılık gösteren dendritik yapıdadır. M3 nolu numunede dendritik yapının, akım şiddetinin artmasıyla daha belirgin olarak oluştuğu görülmektedir. Akım şiddetinin artmasıyla ısı girdisindeki artış, dendritik yapının kısmen daha iri tanelerden meydana gelmesine neden olmuştur. Isı girdisi arttıkça dendrit kolları genişler ve gerilir (Şenol, 2021). Isı girdisinin değişmesiyle altlık malzemenin erime miktarının değişmesi ve dolayısıyla alaşım tabakasının kimyasal bileşiminin değişmesi söz konusudur (Gürgeç & Özel 2017). Yüksek ısı girdisi, dendritik yapıda meydana gelen karbür bileşiklerinin erime sonucu homojen olarak mikroyapıda oluşmasına neden olarak mekanik performansta olumlu etki yapmaktadır (Gür vd., 2018). Yüzey alaşımlama esnasında, alaşımlanacak toz malzemelerinden ve alt tabakadan gelen erimiş demir akışı, kaplanacak tozun taneler arası boşluğuna tamamen yayılır ve alaşım tabakasının optimum şekilde oluşmasını sağlar. Fe tozunun ağırlıkça fazla olması, üretilen alaşım tabakasında geçiş bölgesinde arayüz boşluğu oluşmamasına ve bu da üstün bağlanmanın oluşmasına neden olmaktadır (Kumar & Das, 2022).



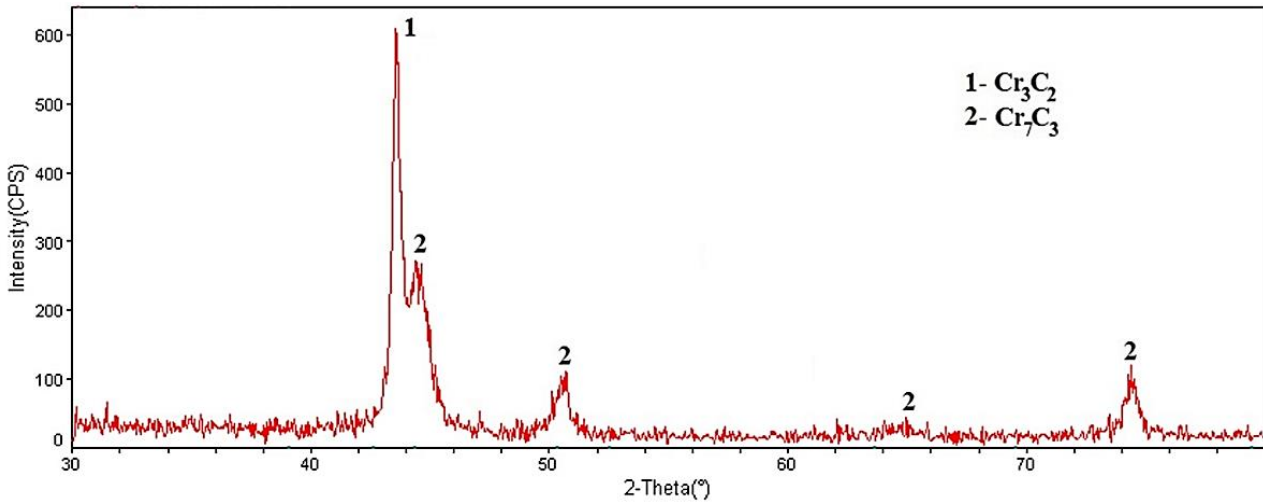
Şekil 6. (a) ve (b) M1 Numunesi, (c) ve (d) M2 Numunesi, (e) ve (f) M3 Numunesine Ait SEM Görüntüleri

M1 numunesinin alaşımlandırılan tabakasından alınan EDS analizi Şekil 7’de verilmiştir. 1 nolu noktadan alınan EDS analizinde, Fe element yüzdesinin yüksekliği ile birlikte % 4.833 değeriyle Cr elementinin ve % 2.396 değeriyle C elementinin varlığı tespit edilmiştir. 1 nolu noktada, Cr ve C elementleri ile yüzey üzerine alaşımlandırılmak üzere yerleştirilen Cr_3C_2 bileşiğinin oluştuğu düşünülmektedir. Ayrıca M1 numunesinin alaşım tabakasında, EDS analizindeki değerlere bağlı olarak Cr_xC_y tipi karbürlerden de bahsedebiliriz.



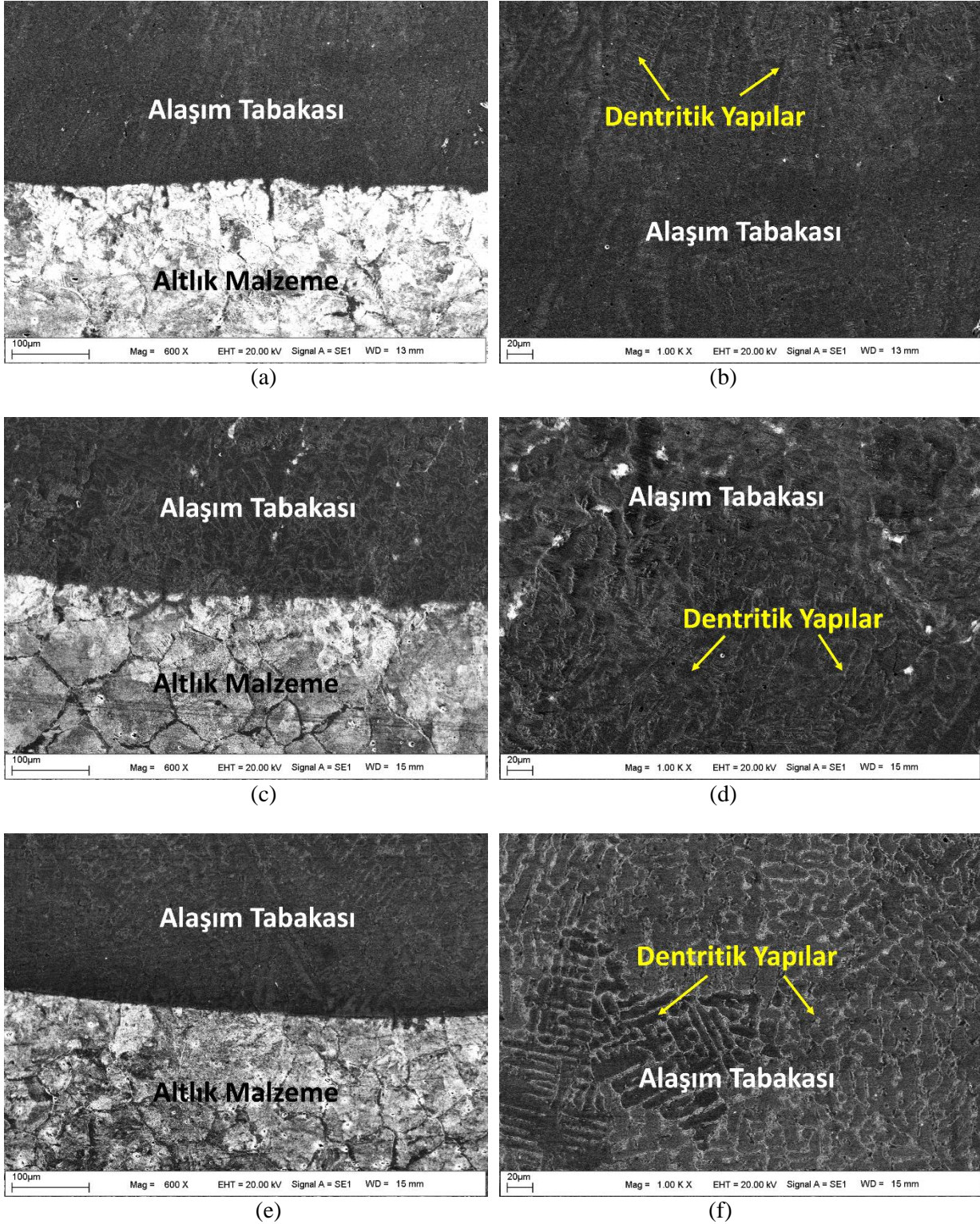
Şekil 7. M1 Numunesinin Alaşım Tabakasından Alınmış SEM Resmi ve EDS Analizi

M1 numunesinin alaşım tabakası üzerinden alınan XRD analizine ait grafik Şekil 8’de verilmiştir. Analiz sonucu incelendiğinde, M1 numunesinin alaşım tabakasında Cr_3C_2 ve Cr_7C_3 bileşiklerinin oluştuğu görülmektedir. Bu sonuçlar EDS analizinde verilen değerleri doğrulamaktadır. $Cr_{23}C_6$, Cr_7C_3 ve Cr_3C_2 ’nin krom karbür malzemelerin üç kararlı kristalografik fazı olduğu ve Cr_3C_2 ’nin en kararlı faz olduğu yaygın olarak bilinmektedir. Cr_7C_3 ve Cr_3C_2 ortorombik kristalografik yapıya sahiptir. Cr_3C_2 , üç krom karbür arasında en yüksek erime noktasına sahiptir (Ganguly, 2019; Hirota vd., 2005). Cr_3C_2 oluşumunun stokiyometrik olarak $3Cr + 2C = Cr_3C_2$ şeklindeki reaksiyon ile oluştuğu düşünülmektedir. (Myshlyayev, 2011) Ayrıca Cr_3C_2 bileşiğinden Cr_7C_3 bileşiğine de $7Cr_3C_2 \rightarrow 3 Cr_7C_3 + 5C$ reaksiyonu ile dönüşüm olmaktadır (Kevin vd., 2020)



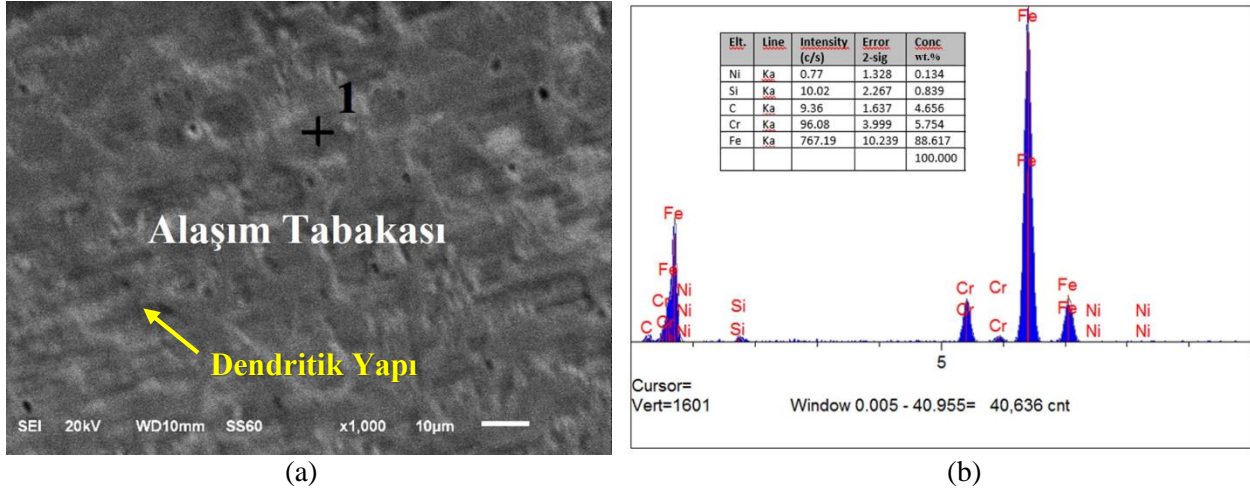
Şekil 8. M1 Numunesine Ait XRD Grafiği

Şekil 9’de yüzeyde oluşturulan alaşım tabakalarının SEM fotoğrafı görülmektedir. % 10 Cr_3C_2 ilave edilen numunelerde de fotoğraflarda üst yüzeyden altlık malzemeye doğru yönelmiş mikroyapının oluştuğu görülmektedir. Oluşan mikroyapı katılaşma hızına bağlı olarak farklılık gösteren dendritik yapıdadır. Akım şiddetinin artmasına bağlı olarak dendritlerin M6 numunesinde M4 numunesine göre daha belirgin ve irileştiği söylenebilmektedir.



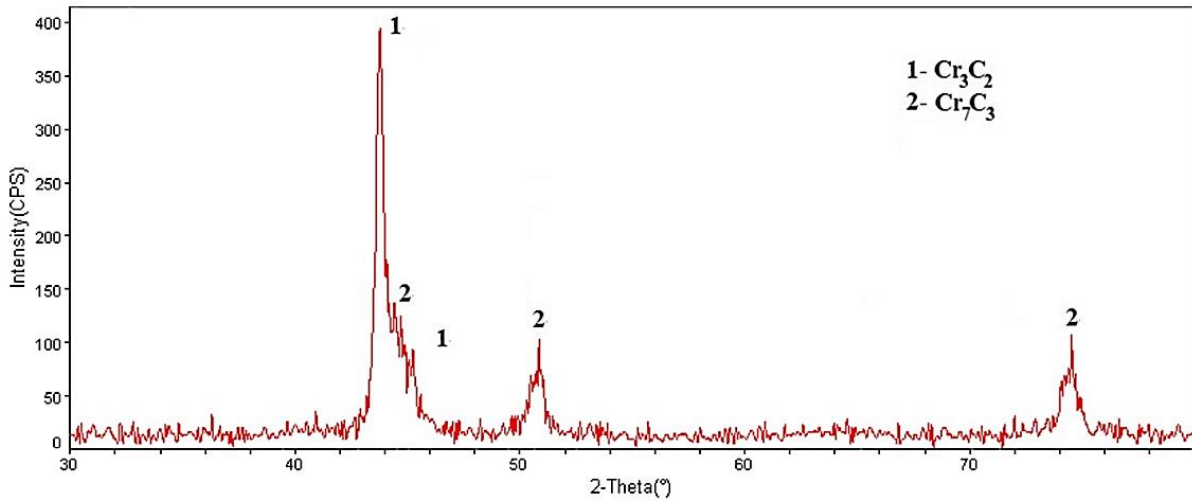
Şekil 9. (a) ve (b) M4 Numunesi, (c) ve (d) M5 Numunesi, (e) ve (f) M6 Numunesine Ait SEM Görüntüleri

Şekil 10.a'da verilen ve alaişım tabakasının 1 nolu noktadan alınan EDS analizi Şekil 10.b'de görölmektedir. 1 nolu EDS analizde, Fe element yüzdesinin yüksekliği ile birlikte % 5.754 değeriyle Cr elementinin ve % 4.656 değeriyle C elementinin varlığı tespit edilmiştir. 1 nolu noktada, Cr ve C elementleri ile yüzey üzerine alaişimlandırılmak üzere yerleştirilen Cr_3C_2 bileşiğinin oluştuğu düşünölmektedir. Ayrıca M4 numunesinin alaişım tabakasında, EDS analizindeki değerlere bağlı olarak Cr_xC_y tipi karbürlerden de bahsedebiliriz.



Şekil 10. M4 Numunesinin Alaşım Tabakasından Alınmış SEM Resmi Ve EDS Analizi

Şekil 11’de verilen XRD analizi sonucu incelendiğinde, M4 numunesinin alaşım tabakasında Cr_3C_2 ve Cr_7C_3 bileşiklerinin olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar EDS analizinde verilen değerleri doğrulamaktadır.

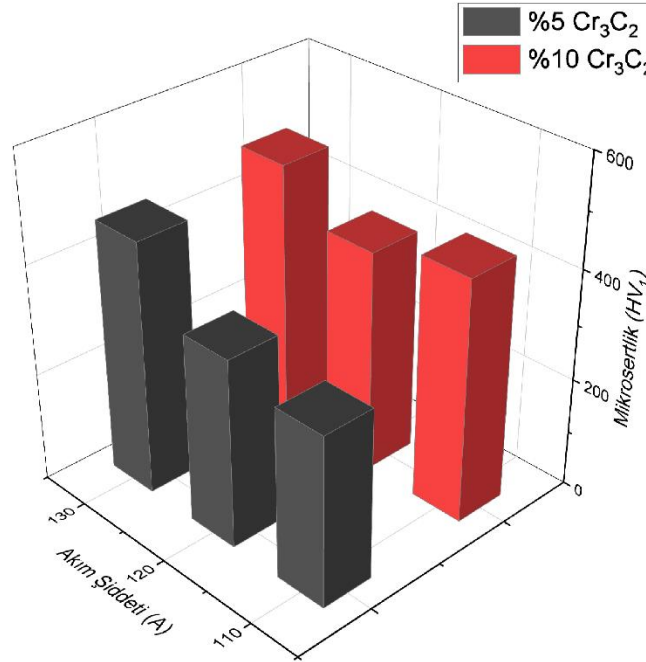


Şekil 11. M4 Numunesine Ait XRD Grafiği

%5 Cr_3C_2 ilaveli numunelerin (M1, M2 ve M3) toz karışımında Fe tozunun karışım oranı, %10 Cr_3C_2 ilave edilen numunelere (M4, M5 ve M6) göre daha yüksektir. Akım şiddetinin artmasıyla ısı girdisi artmış ve altlık malzemeden ergiyerek gelen demir miktarı daha fazla olmuştur. Demir içeriğindeki bu artışla alaşım tabakası, Cr_xC_y açısından daha seyrelmiş olmaktadır (Kumar & Das, 2022).

Mikrosertlik İncelemesi

Şekil 12’de yüzeyde oluşturulan alaşım tabakalarından alınan mikrosertlik değerlerine ait grafik görülmektedir. Fe tozu içerisine %10 Cr_3C_2 ilave edilerek elde edilen ve 130 A akım şiddetinde alaşımlandırılan M6 numunesinde 485 HV ile en yüksek sertlik değeri tespit edilmiştir. Yüzey meydana getirilen alaşım tabakalarında Cr_3C_2 dağılımı mikroyapı resimlerinde de görülmüştür. Akım şiddetinin artmasıyla sıcaklık artmış ve Fe ile Cr_3C_2 tozlarının eriyerek homojen bir dağılım ile ergiyiği oluşturduğu mikroyapı resimlerine dayanılarak söylenebilmiştir. Cr_3C_2 bileşiğinin ergime derecesinin yüksek oluşundan (≈ 1895 °C) dolayı katılaşma öncelikle Cr_3C_2 bileşiğinin olduğu bölgelerle başlamıştır (Gür vd., 2018). Bu nedenle akım şiddetinin artışıyla öncelikli katılaşan Cr_3C_2 etkisiyle sertlik miktarında artış meydana geldiği düşünülmektedir. M1 nolu numuneden M3 nolu numuneye gidildikçe sertlikte artış görülmüştür. %10 değerinde Cr_3C_2 bileşiğinin ilavesi, alaşım tabakasında sertliğin yüksek çıkmasına neden olmuştur. Maksimum mikrosertlik miktarı en yüksek akım şiddetinde alaşımlama gerçekleştirilen M6 numunesinin alaşım tabakasında 485 HV değeriyle, minimum mikrosertlik miktarı ise M1 numunesinin alaşım tabakasında 311 HV değeriyle tespit edilmiştir.



Şekil 12. Mikrosertlik Değerleri Grafiği

SONUÇLAR

TIG kaynak yöntemi kullanılarak Fe tozu içerisine farklı oranlarda (% 5 ve 10) ilave edilen Cr₃C₂ toz karışımları, Ç1020 çelik malzeme yüzeyine alaşımlandırılabilmiştir. Yüzey alaşımlama sonrasında yapılan incelemelerde, yüzeyde oluşturulan alaşım tabakalarında dendritik bir mikroyapının oluştuğu ve tüm numunelerde dendrit yapı oluşumunun altlık malzemeye doğru yönelerek ilerlediği tespit edilmiştir. Alaşımlandırma işleminde kullanılan akım değerlerinin artmasıyla dendritik yapının irileştiği görülmüştür. Alaşım tabakalarından alınan XRD analizlerinde, alaşım tabakasında Cr₃C₂ ve Cr₇C₃ bileşiklerinin oluştuğu tespit edilmiştir. Cr₃C₂ tozunun ilavesi ile alaşım tabakasının sertlik miktarının arttığı ve en yüksek mikrosertlik değerinin %10 Cr₃C₂ tozu ilave edilerek 130 A akım şiddeti kullanılan M6 numunesinde 485 HV olarak tespit edilmiştir.

Yüzey alaşımlama işlemiyle Cr₃C₂ tozunun ilavesi ile yüzeyde oluşturulan tabakalar, kırıncıların yüzeylerinde daha mukavemetli bir yüzey elde edilmesini sağlayabilecektir. Taş, Pomza vb. kayaçların kırıncı yüzeylerinde endüstriyel olarak uygulanabilecek tabakaların oluşturulduğu düşünülmektedir. 130 A akım şiddeti ve %10 Cr₃C₂ tozunun ilavesi parametreleri ile bu çalışmada en iyi performanslı tabakalar elde edilebilmiştir.

TEŞEKKÜR

BEBAP 2019.03 numaralı proje ile verdiği destekten dolayı Bitlis Eren Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (BEBAP) Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

Akın, B. (2020). Toz Altı Kaynak Yöntemiyle Çelik Yüzeyine Alaşımlandırılan Karbür Tabakaların Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Bitlis 75s

Alam, M.S., & Das, A.K. (2022). Advancement in cermet based coating on steel substrate: A review. *Materials Today: Proceedings*, 56(2), 805-810. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.260>

- An, Q., Huang, L., Jiang, S., Li, X., Gao, Y., Liu, Y. & Geng, L. (2017). Microstructure evolution and mechanical properties of TIG cladded TiB reinforced composite coating on Ti-6Al-4V alloy. *Vacuum*, 145, 312-319. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2017.09.019>
- Bendikiene, R., Ciuplys, A., Sertvytis, R., Surzhenkov, A., Tkachivskyi, D., Viljus, M., Traksmas, R., Antonov, M., & Kulu, P. (2020). Wear behaviour of Cr₃C₂-Ni cermet reinforced hardfacings. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(4), 7068-7078. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.05.042>
- Can, K. , Dalmış, F. & Dalmış, İ. (2022). Design and Implementation of PLC Based Special Purpose Machine for Surface Coating . *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (33) , 338-343. DOI: 10.31590/ejosat.1019912
- Çömez, N. , Gül, C. & Durmuş, H. (2021). Molibden ve Vanadyum İlavesinin Fe-Cr-C Sert Dolgu Alaşımlarının Aşınma Direncine Etkisi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36 (3), 691-700. DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1005460
- Das, A.K. (2022). Recent developments in TIG torch assisted coating on austenitic stainless steel: A critical review. *Materials Today: Proceedings*, 57(4), 1846-1851. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.077>.
- Debta, M.K., & Masanta, M. (2023). Effect of nano-Y₂O₃ on the microstructure and wear behaviour of TIG cladded TiC-Co-nY₂O₃ coating. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 111, 106078. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2022.106078>
- Diken, R. (2020). MAG Yöntemi Kullanılarak Özlü Elektrot ile Çelik Yüzeyine Alaşımlandırılan Tabakaların Mikro Yapı ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bitlis 69s
- Fesharaki, M.N., Shoja-Razavi, R., Mansouri, H.A., & Jamali, H. (2018). Microstructure investigation of Inconel 625 coating obtained by laser cladding and TIG cladding methods. *Surface and Coatings Technology*, 353, 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.061>
- Ganguly, A. (2019). Theoretical Investigations Of Surface Interactions On Chromium Carbide And Fe-Substituted Chromium Carbide Surfaces. Master Thesis. College Of Health And Human Sciences Charles Darwin University Northern Territory, Australia 470p
- Gençalp İrizalp, S. , Saklakoğlu, N. , İldaş, G. & Demirok, S. (2018). 1.2714 Çeliği Üzerine Sert Dolgu Kaynağı ile Kaplanmış Fe-Cr-V Esaslı Alaşımın Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (1) , 35-46. DOI: 10.21605/cukurovaumfd.420400
- Gür, A. K. , Cengiz, M. H. , Yıldız, T. & Taşkaya, S. (2018). Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Hardox 400 Çelik Malzemenin Yüzeyinin Farklı Oranlardaki FeCrC Tozuyla Alaşımlandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30 (1) , 233-242. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd/issue/35837/400490>
- Gürgeç, T. & Özel, C. (2017). Effect of Heat Input on Microstructure, Friction and Wear Properties of Fe-Cr-B-C Coating on AISI 1020 Surface Coated by PTA Method. *Turkish Journal of Science and Technology*, 12 (2), 43-52. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjst/issue/31261/340395>
- He, B., Zhang, L., Yun, X., Wang, J., Zhou, G., Chen, Z., Yuan, X. (2022). Comparative Study of HVOF Cr₃C₂-NiCr Coating with Different Bonding Layer on the Interactive Behavior of Fatigue and Corrosion. *Coatings*, 12, 307. <https://doi.org/10.3390/coatings12030307>
- Hirota, K., Mitani, K., Yoshinaka, M., Yamaguchi, O. (2005). Simultaneous synthesis and consolidation of chromium carbides (Cr₃C₂, Cr₇C₃ and Cr₂₃C₆) by pulsed electric-current pressure sintering. *Materials Science and Engineering: A*, 399(1-2), 154-160. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.02.062>.
- Kamboj, N., & Thakur, L. (2023). Experimental investigation of the high temperature sliding wear behaviour of RSM optimized YSZ-Inconel 625 TIG weld cladding. *Tribology International*, 187, 108741. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108741>.
- Kevin, P.S., Tiwari, A., Seman, S., Mohamed S.A.B. & Jayaganthan, R. (2020). Erosion-Corrosion Protection Due to Cr₃C₂-NiCr Cermet Coating on Stainless Steel, *Coatings*, 10 (1042), 1-17. <https://doi.org/10.3390/coatings10111042>

- Kırık, İ. , Balalan, Z. , Andan, Y. & Yaz, M. (2019). St52 Çeliğinin TIG Kaynak Yöntemi ile WC Takviyeli Tozla Kaplanması. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 3 (1) , 22-26. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijiea/issue/48178/587454>
- Kumar, A., Batham, H., & Das, A.K. (2021). Microhardness of Fe-TiB₂ composite coating on AISI 304 stainless steel by TIG coating technique. *Materials Today: Proceedings*, 39(4), 1291-1295. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.365>
- Kumar, S., & Das, A.K. (2022). Wear resistance and hardness properties of TiB₂- Fe coating developed on AISI 1020 steel by tungsten inert gas (TIG) cladding. *Ceramics International*, 48(20), 30052-30065. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2022.06.274>
- Liu, S., Wu, H., Xie, S., Yu, Z., Luo, H., Yazdi, M.A.P., Planche, M.P., Moliere, M., & Liao, H. (2023). Effect of stoichiometry conditions on the erosion and sliding wear behaviors of Cr₃C₂-NiCr coatings deposited by a novel ethanol-fueled HVOF process. *Surface and Coatings Technology*, 454, 129084. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.129084>.
- Liu, Y., Rogachev, A.V., Tan, X., Rogachev, A.A., Jiang, X., Pyzh, A.E., Yarmolenko, V.A., Yarmolenko, M.A., & Rudenkov, A.S. (2023). Low-energy electron beam deposition of metal-containing organic-inorganic coatings with selective activity against microorganisms. *Vacuum*, 209, 111803. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111803>
- Myshlyaev, L.P. (2011). Newsletter Of Mining And Metallurgical Section, Thermodynamic Analysis Of The Processes Of Plasma Synthesis Of Chrome Carbide, Siberian State Industrial University" Russian Academy of Natural Sciences, Vol. 28, Moscow 95 pp.
- Özel, S. (2004). Cu, Sn, Zn, Al Bronz Alaşımı Yüzeyine Ferromangan Kaplamasının Aşınma Direncine Etkisinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ 96s
- Özel, S., Kurt, B., Somunkiran, İ., Orhan, N. (2008). Microstructural characteristic of NiTi coating on stainless steel by plasma transferred arc process. *Surface and Coatings Technology*, 202(15), 3633-3637. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.01.006>
- Padhee, C.K., Masanta, M., & Mondal, A.K. (2020). Feasibility of Al-TiC coating on AZ91 magnesium alloy by TIG alloying method for tribological application. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 30(6), 1550-1559. [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(20\)65318-3](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(20)65318-3)
- Sahami-Nejad, M., Lashgari, H.R., Zangeneh, Sh., & Kong, C. (2019). Determination of residual stress on TIG-treated surface via nanoindentation technique in Co-Cr-Mo-C alloy. *Surface and Coatings Technology*, 380, 125020. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125020>
- Sahoo, C.K., & Masanta, M. (2018). Microstructure and wear characteristic of hard and wear resistance TiC coating deposited on aluminium by tungsten inert gas (TIG) cladding process. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(247), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1178-5>
- Saroj, S., Sahoo, C.K., & Masanta, M. (2017). Microstructure and mechanical performance of TiC-Inconel 825 composite coating deposited on AISI 304 steel by TIG cladding process. *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 490-501. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.06.042>
- Savaş, A. (2021). TIG Kaynağı İle Gerçekleştirilen Sert Dolgu Sırasında Oluşan Artık Gerilme Ve Deformasyonların Modellenmesi. *Mühendis ve Makina*, 62 (704), 620-636. DOI: 10.46399/muhendismakina.937623
- Singh, J., Thakur, L., & Angra, S. (2020). Abrasive wear behavior of WC-10Co-4Cr cladding deposited by TIG welding process. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 88, 105198. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2020.105198>
- Şap, S., Hazar, H. & Şap, E. (2020). Investigation of the Effect of Cr₃C₂ Coating by Plasma Spray Process on Exhaust Pipe of a Diesel Engine. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10 (1), 499-508. DOI: 10.21597/jist.553118
- Şenol, M. (2021). Gaz Metal Ark Kaynaklı AISI 430 Ferritik Paslanmaz Çelik Levhaların İyapı Ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İskenderun Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Hatay 46s

Tavoosi, M., & Arjmand, S. (2017). In situ formation of Al/Al₃Ti composite coating on pure Ti surface by TIG surfacing process. *Surfaces and Interfaces*, 8, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2017.04.002>

Zhao, J., Gao, Q., Wang, H., Shu, F., Zhao, H., He, W., & Yu, Z. (2019). Microstructure and mechanical properties of Co-based alloy coatings fabricated by laser cladding and plasma arc spray welding. *Journal of Alloys and Compounds*, 785, 846-854. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.01.056>