

TIG YÖNTEMİYLE YÜZEYİ SERTLEŞTİRİLEN AISI 4340 ÇELİĞİNİN MİKROYAPISININ İNCELENMESİ

Soner BUYTOZ¹, Mustafa ULUTAN², M. Mustafa Yıldırım¹

ÖZET : Bu çalışmada, AISI 4340 çeliğinin yüzeyi gaz tungsten ark (TIG veya GTA) tekniği kullanılarak WC tozu ile modifiye edildi. Kaplanan malzemelerin mikroyapılarında üretim parametrelerine bağlı olarak, farklı biçim ve oranlarda WC, W₂C fazlarıyla birlikte, ötektik katılaşma ürünü tespit edildi. Sertlik değerleri yapıdaki mevcut faz ve karbürlerin varlığından dolayı önemli ölçüde yükseldi. Mikrosertlik değerleri üst tabaka kalınlığı boyunca 1000-1200 HV arasında değişim gösterirken ara yüzeye doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir azalma (650-800 HV) görüldü. En yüksek sertlik (1184 HV) 1.209 mm/s üretim hızında 0.5 g/s toz yedirme değerinde ve 13.9 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen kaplama malzemesinden elde edildi.

ANAHTAR KELİMELELER : TIG yöntemi, yüzey modifikasyonu, dendrit, M₇C₃.

MICROSTRUCTURAL INVESTIGATION OF AISI 4340 STEEL HARDFACED BY TIG PROCESS

ABSTRACT : In this study, AISI 4340 steel surface was modified with WC alloying powder by using a gas tungsten arc (TIG or GTA) process. The results obtained from microstructural investigations indicate that the dendritic solidification resulting from eutectic reaction was observed in the modified layers together with the formation of WC and W₂C carbides at different shapes and rates. Hardness values of the coating increased because of existing phase and carbides in the microstructure. While the hardness values of materials with surface modification done by WC coatings changed between 1000-1200 HV, it decreased down to values between 650-800 HV in interface regions. The maximum hardness measured 1184 HV the coating which was produced at high heat input and low powder content 13.9 kJ/cm, and 0.5 g/s, respectively.

KEYWORDS : TIG method, surface modification, dendrite, M₇C₃.

¹Firat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Elazığ

²Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, BatıMeşelik Kampüsü, 26480 Eskişehir

I. GİRİŞ

Yüzey mühendisliği, malzemenin yüzey özelliklerini geliştirmek için yapılan yüzey işlemleri ve sert kaplama yöntemlerini kapsar [1]. Farklı alt tabakalar üzerine yapılan kaplama malzemeleri son zamanlarda otomotiv, petrokimya ve uzay teknolojisi alanlarında yaygınlaşmıştır [2]. Kaplamalarda mikro çatlak oluşum riski ve düşük plastik deformasyon kabiliyeti, başlıca problemleri oluşturmaktadır [2,3]. Sünnek malzeme yüzeyine saf toz, tel ya da bunların alaşımları kullanılarak yapılacak kaplama ile ana matrisin çatlama riskini azaltmak mümkündür [4]. Sert ve aşınmaya dirençli bir tabaka elde etmek için uygulanan kaplama yöntemleri olarak borlama, karbürleme, karbonitrüleme, nitrüleme [5], plazma esaslı fiziksel buhar depolama (PVD) ve kimyasal buhar depolamayla (CVD) birlikte, yarı ergitme yöntemlerinden lazerle [6-8], plazmayla [9-11], toz püskürtme [12] ve tungsten asal gaz (TIG veya GTA) yöntemleriyle yapılmaktadır [13,14].

Tungsten karbür (WC), genellikle üstün mekanik özellikler göstermesi nedeniyle teknoloji yönünden tercih edilen bir malzemedir [15]. WC kaplamalar lazer, plazma sprey, PVD ve CVD gibi farklı yöntemlerle yapılabilmektedir. WC ve WC-Co kaplamalarında hegzagonal stökiyometrik WC, hegzagonal α -WC, kübik alt stökiyometrik β -WC ve amorf WC fazları gibi farklı yapılar görülebilmektedir. Bu kaplamalar nispeten düşük sürtünme katsayısına sahip olmakla birlikte, gevrektiler [16]. WC diğer karbürlerle karşılaştırıldığında yüksek sertlik, belirli oranda plastik şekil değişimine elverişlilik ve sıvı metallerle iyi ıslatılabilirlik gibi üstün özelliklere sahip olduğu görülür [17]. Kaplama için kullanılan toz boyutunun küçük olması durumunda toz sıvı metal içinde kolayca ergir ve W oranına bağlı olarak M_6C karbür oranı da artar [18]. Kolayca ergiyen bir alaşım elementi sayesinde, kaplama/alt tabaka ara yüzeyinde güçlü bir bağ oluşur ve kaplamanın mekanik özellikleri iyileşir [19, 20].

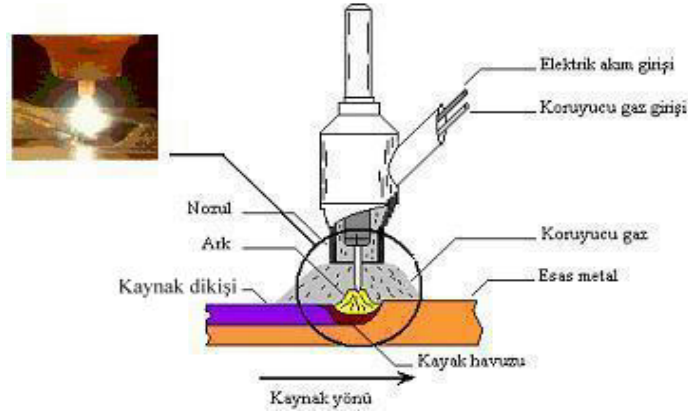
Yüzey modifikasyonu olarak ifade edilen TIG ile alaşımlama yöntemi prensip olarak uygun bileşime sahip alaşım toz veya tozlarının alt tabaka malzemesinin yüzeyinde ergitilmesi esasına dayanır. Ergime, her iki malzemede de aynı anda gerçekleşir ve hızla katılarak modifikasyon yapılan kaplama malzemesi ile esas metal metalurjik olarak

birbirlerine bağlanır [2,14,21]. Hızla katılaştan ince taneli mikro yapılar sert karbür fazlarını içerirler [22].

Mevcut çalışmada, AISI 4340 çeliğinin yüzeyine bir gaz tungsten ark (TIG) torcu kullanılarak farklı üretim parametrelerinde tungsten karbür tozları modifiye edilmiştir. Üretim parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilecek kaplama tabakalarının mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri sonucunda, tungsten karbür tozları için uygun üretim parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

II. DENEYSEL YÖNTEM

Deneylerde, TIG yöntemiyle 100x20x10 mm boyutlarındaki AISI 4340 çeliğine farklı toz yedirme değerlerinde WC alaşım tozları yüzeye geçirilmiştir. Deneylerde kullanılan malzeme ve tozun kimyasal analizleri Tablo 1' de ve deney şartları ise Tablo 2' de verilmiştir. TIG yönteminin prensip şeması, Şekil 1' de görülmektedir.

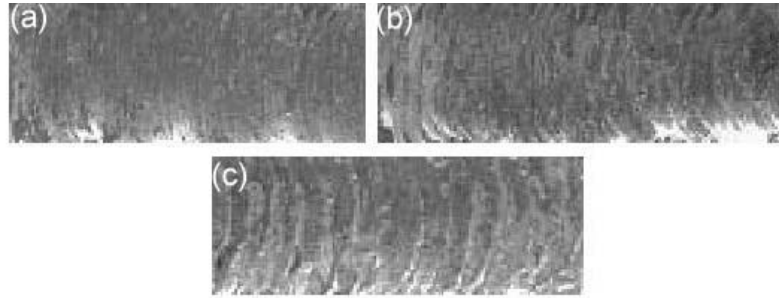


Şekil 1. Gaz tungsten ark (TIG) yönteminin prensip şeması

Modifikasyon öncesi numunelerin yüzeyleri oksitlerden mekanik yöntemlerle arındırılarak, aseton banyosunda temizlenip kurutulmuştur. Ark sırasında argon koruyucu gazının debisinden dolayı toz ve toz karışımlarının numune yüzeyinden uzaklaşmaması için küçük bir miktar bağlayıcı ile yüzeyde tutularak 50°C'lik ortamda 30 dak. süreyle kurutulmuştur. Benzer bir yaklaşımla, araştırmacılar da yüzeye toz partiküllerini yapıştırma tekniğini kullanmışlardır [5,14]. Ark, 2.4 mm çapına sahip %2 toryumlu tungsten elektrod ile, 11 l/dak debili argon gaz atmosferi altında 11.1-13.9 kJ/cm enerji girdisi ile üretilerek, malzeme yüzeyinde 1-3.5 mm derinliğinde bir modifikasyon katmanı elde edilmiştir (Şekil 2).

Tablo 1. Yüzey alaşımlama için kullanılan WC ve AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşimleri

Alaşım elementi (% ağırlık)							
AISI 4340	Cr	Si	C	Mo	Mn	Ni	Fe
	0.930	0.267	0.415	0.237	0.656	1.75	95.54
WC (% 99 saflıkta)	WC		Cr ₂ O ₃	FeO		TiO ₂	
	99.435		0.015	0.38		0.17	



(a) V=1.209 mm/s WC (b) V= 1.38 mm/s WC (c) V= 1.510 mm/s WC

Şekil 2. Farklı üretim hızlarında TIG yöntemiyle yüzey modifikasyonu yapılan AISI 4340 çeliğinin makro üst yüzey görüntüleri

Tablo 2. Üretim parametreleri

Akım/ Volt	120 A/ 20 V
Hız	1.209- 1.510 mm/s
Koruyucu gaz	% 99.9 saflıkta Ar
Koruyucu gaz debisi	11 l/dk
Elektrod	%2 toryumlu tungsten elektrod
Elektrod çapı	2.4 mm

Metalografi incelemeleri için numuneler modifikasyon yüzeyine dik bir şekilde kaplama bölgelerinden alınmıştır. Elde edilen metalografik numuneler 80-1200 meshlik zımparalara tutularak yüzeyleri temizlenmiştir ve daha sonra 1 ve 6 μm ' lik elmas pasta ve inceltici yardımıyla yan kesit yüzeyleri parlatılmıştır. Mikroyapı incelemeleri için mekanik parlatma işlemi sonrası modifikasyonlu numuneler ortalama 10 saniye süreyle 5 g FeCl_3 +15 ml HCl +100 ml H_2O çözeltisinde dağlanmışlardır. Modifiye olan yüzeyde mikroyapı ve element analizi için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dispersiv spektroskopi (EDS), X-ışını difraksiyonu (XRD) ve spektral analizlerden faydalanılmıştır. XRD analizleri, X-ışını difraktometresinde 30 kV ve 15 mA' de $\text{Cu-K}\alpha$ radyasyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri, bir çizgi boyunca kaplanan yüzeye 40 g yük uygulanarak yapılmıştır. Farklı üretim parametreleri için kaplama mikrosertlik sonuçları Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Kaplama tabakalarının ölçüm sonuçları

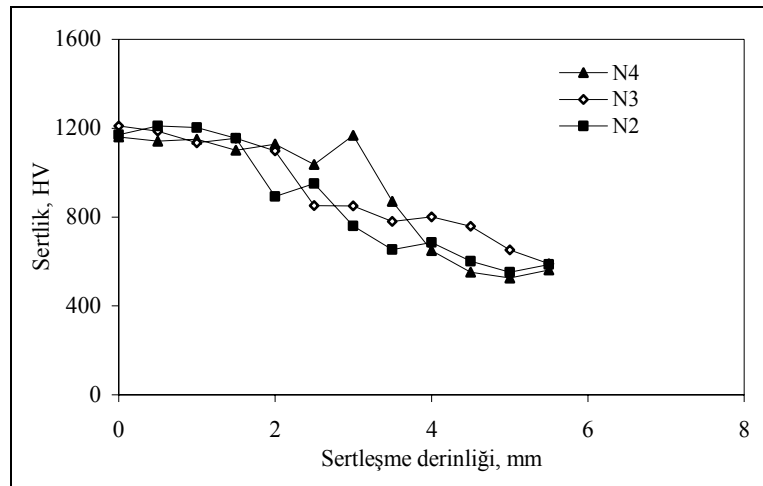
Üretim parametreleri				Kaplama ölçüleri (μm)				Sertlik (HV)
Numune	Üretim hızı (mm/s)	Toz yedirme oranı (g/s)	Enerji girdisi (kJ/cm ²)	dc	hc	tc	wc	
N1	İşlemsiz numune							224
N2	1.209	0.5	13.9	18 10	85 0	23 60	96 50	1184
N3	1.38	0.5	12.2	14 50	87 0	23 20	79 80	1156
N4	1.510	0.3	11.1	17 30	55 0	25 80	80 10	965

d_c = orijinal alt tabaka yüzeyi altında maks. derinlik, h_c = orijinal alt tabaka yüzeyi üstünde maks. yükseklik, t_c = maks. toplam kalınlık ($=d_c + h_c$), w_c = max genişlik, Enerji girişi $Q = \eta \cdot U \cdot I \cdot 60 / (V \cdot 1000)$ formülü ile hesaplanmıştır.

III. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

III.1. MİKROSERTLİK

WC tozlarıyla yüzey modifikasyonu yapılan N₂-N₄ numunelerinin yüzeylerinden 0.5 mm derinlikten başlanarak alt tabakaya doğru belirli mesafelerde alınan sertlik değerleri Şekil 3' de verilmiştir. Yüzeyi modifiye edilen numunelerin sertliği homojen olarak bir dağılım sergilemekle birlikte, ara yüzey bölgelerinin sertlik değerlerinde bir düşüş görülmüştür. Üst tabakanın sertliğinin 1000-1200 HV değerleri arasında değiştiği gözlenmiştir. WC toz oranının artmasıyla sertlikte bir artış meydana gelmiştir. Ancak modifiye edilen tabakanın kalınlığı sertlik değişimiyle de belirlenebilmekte ve buna göre maksimum kalınlık üretim parametrelerine bağlı olarak N₂ numunesinde gerçekleşmiştir.



Şekil 3. WC kaplanan numunelerin sertliğinin derinliğe göre değişimi

III.2. MİKROYAPI

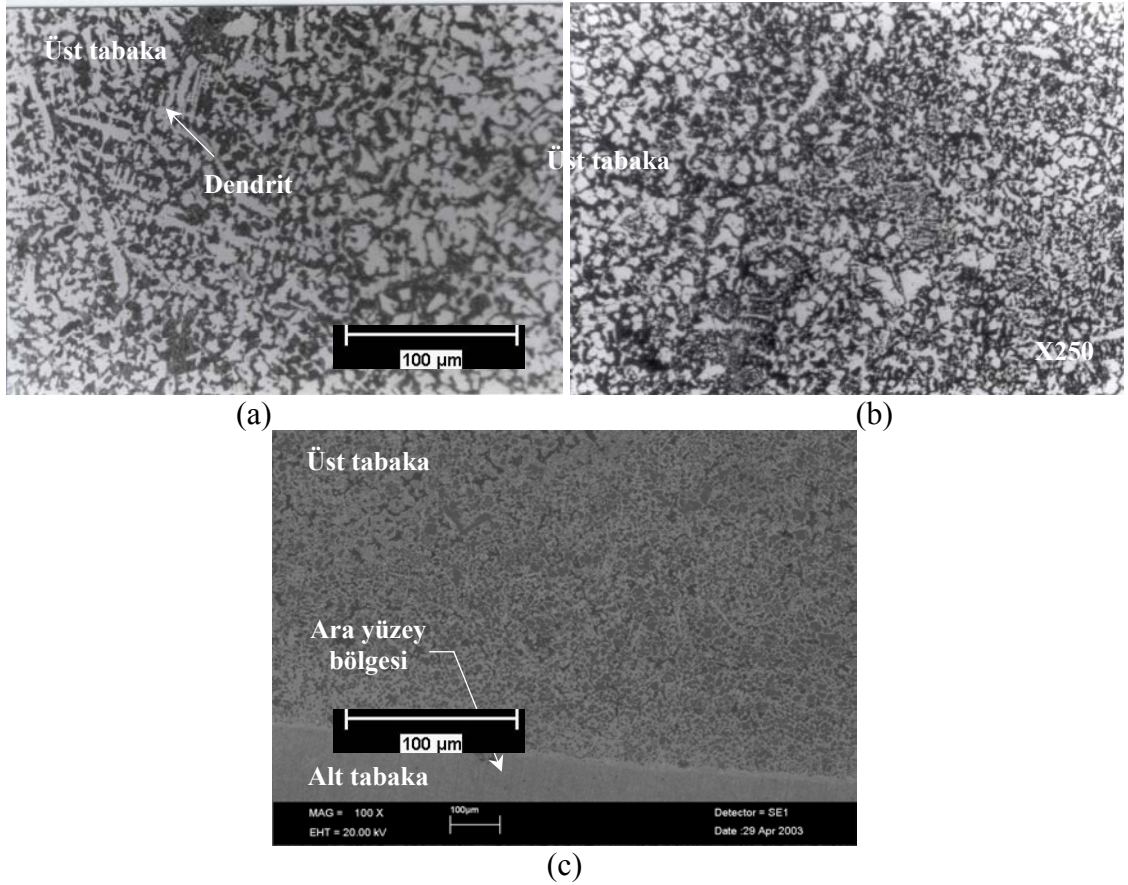
TIG yöntemi kullanılarak modifiye edilen WC içerikli katmanlarının mikroyapıları incelendiğinde, üretim parametrelerine bağlı olarak farklı bileşim ve oranlarda karbür ve faz içerdiği görülmüştür. Yüzey modifikasyonu sonrası WC içeren katmanların yüzeylerinden 0.5 mm derinlikteki bölgeden alınan spektral analiz verileri Tablo 4’ de, EDX analizleri ise Tablo 5’ de gösterilmiştir.

Tablo 4. WC kaplanan numunelerin yüzeylerinden alınan spektral analiz sonuçları

Numune no	% Alaşım Elementi miktarı						
	C	Mn	Cr	Ni	Si	W	Fe
N ₂	1.05	0.09	1.35	1.40	0.53	19.2	Kalanı
	6	7		9	2	0	
N ₃	0.67	0.09	1.07	0.98	0.75	15.2	Kalanı
	5	5		0	6	5	
N ₄	0.75	0.10	1.86	1.33	0.75	11.7	Kalanı
	0	4		5	0	8	

Enerji girdisi, toz yedirme oranı ve üretim hızı gibi modifikasyon şartlarının değişmesiyle kompozit üst tabakanın kimyasal bileşiminin de değiştiği görülmüştür (Tablo 4 ve Tablo 5). Toz miktarı, enerji girdisi ve üretim hızının değişmesi, malzemenin mikroyapı ve mekanik davranışlarını önemli ölçüde değiştirir [23]. Tablo 4’ de de görüldüğü gibi, malzeme yüzeyine yedirilen toz miktarının artmasıyla W, C, Cr ve Fe elementlerinin yüzde oranları, işlemsiz AISI 4340 çeliğinin kimyasal bileşimine göre (Tablo 1) artmıştır. Aynı toz oranları kullanılarak farklı üretim hızlarında modifiye edilen N₂ ve N₃ numunelerinde, üretim hızlarının değişmesiyle (Tablo 3), mikroyapıdaki çözülmüş element oranının da değiştiği görülmüştür (Tablo 5). Bunun nedeni, üretim hızlarının ve modifiye edilen katmana verilen enerji girdilerinin değişmesiyle ergiyen alt tabaka ve yüzeye geçirilen toz miktarının değişmesidir. Bu değerlerin değişmesiyle alt tabakadan gelen alaşım elementleri ve yüzeye geçirilen toz farklı yapı ve bileşimde yeni bir kompozit tabakalı bölge oluşturmuştur. N₂ ve N₃ numuneleri ele alındığında, aynı toz yedirme oranında farklı üretim hızları sonucu farklı bileşimlerin elde edilmesinin katılma hızlarının farklılaşmasından kaynaklandığı düşünülebilir.

Şekil 4’ de 1.209 mm/s üretim hızında 0.5 g/s toz yedirme değerinde 13.9 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen N₂ numunesinin WC tozuyla üretilen modifikasyon tabakasının mikroyapısı verilmiştir. Modifikasyon yapılan üst tabakada karbürlü bir yapı görünmekle birlikte, dendritlerin küçük bir bölgede yoğun olduğu tespit edilmiştir. Karbürler arası bölgelerde W elementince zengin ötektik üstü bir yapı hakimken, karbürler W, Fe ve Cr içeriği yönünden zengin bir şekilde oluşmuştur (Tablo 5).

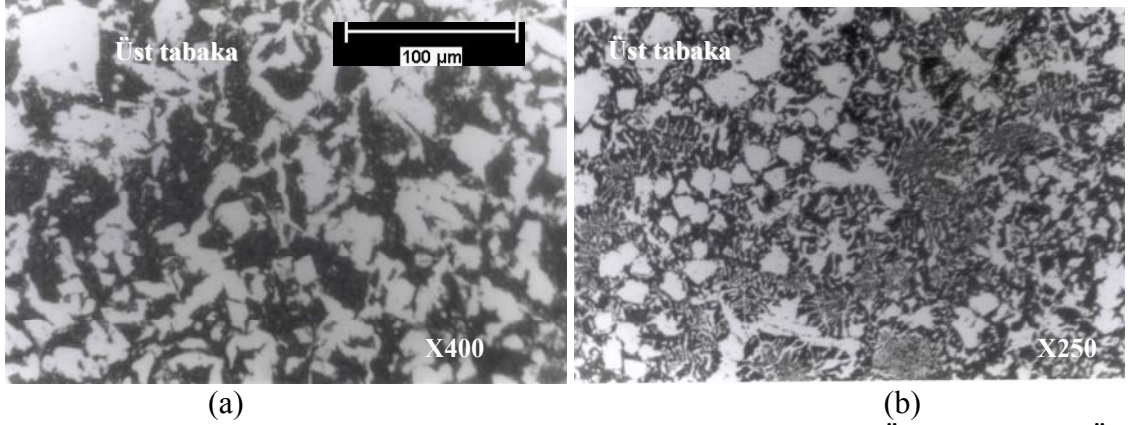


Şekil 4. TIG yöntemi ile üretilen N₂ numunesinin mikroyapısı (a) Üst tabaka, (b) Üst tabaka, (c) Üst tabaka/ara yüzey/alt tabaka bölgesinin SEM görünüşü

Tablo 5. WC ile yüzey modifikasyonu yapılan numunelerin EDX analiz sonuçları

Numune no		% Alaşım Elementi miktarı			
		C	Cr	W	Fe
N ₂	Matris	5.84	3.75	85.15	5.260
	Karbür	3.75	7.60	38.25	50.40
N ₃	Matris	2.55	4.65	62.85	29.95
	Karbür	1.98	3.82	31.10	63.10
N ₄	Matris	4.39	8.30	68.43	18.88
	Dendrit	1.23	5.45	9.82	83.50

Karbürler, üst tabaka boyunca homojen bir şekilde dağılmıştır. Fe, Cr ve W' ce zengin karbürlerin oluşumu, modifikasyon yapılan bölgede enerji girdisinin yüksek ve üretim hızının da düşük olmasına bağlı olarak, alt tabakanın ergime miktarının arttığı ve dolayısıyla Fe oranının yükseldiği EDX sonuçlarından görülmektedir. Literatürde de üretim hızının düşük olmasıyla alt tabakanın daha fazla ergidiği ve katılarak kaplama tabakası oluşturduğuna ilişkin benzer çalışmalar mevcuttur [7]. W-Fe-C faz diyagramına göre [24], mikroyapıda WC+ α -Fe+ η (Fe₃W₃C) fazları oluşabilir. Şekil 7a' daki XRD sonuçları yüksek enerji girdisi ve düşük üretim hızında elde edilen modifikasyonlu katmanda WC, Fe₃W₃C, M₂C, M₇C₃ ve γ -FeCrNiW karbür ve fazlar oluştuğunu göstermiştir. Lazer yöntemi kullanılarak yapılan kaplamalarda WC, W₂C, M₆C (M= Fe,W,Cr), M₇C₃ ve M₂₃C₆ kompleks metal karbürlerine rastlanılmıştır [25]. Matrisin kimyasal bileşimi WC tanelerinin çözünmesine ve kompozit tabakada oluşabilecek reaksiyonlar nedeniyle önemlidir. Bu tür kaplamada WC çözünmesi ve mevcut malzemelerde W₂C ve M₆C fazlarının oluşmasına Fe, W, Cr ve Co elementlerinin etkisi çok fazla olmakla birlikte, en düşük etkiyi C ve en büyük etkiyi ise molibden göstermektedir [17]. Matrise molibden katıldığında mikroyapıda M₂C ve M₇C₃ karbürleri oluşmakla birlikte sertleşme yeteneği artmaktadır [26]. 12.2 kJ/cm enerji girdisi, 0.5 g/s gibi sabit toz yedirme oranı (N₂ numunesi ile aynı) ve 1.38 mm/s üretim hızında WC tozları ile üretilen N₃ numunesinin mikroyapısı Şekil 5' de verilmiştir. Oluşan kaplama malzemesi, üretim parametrelerine bağlı olarak katılma sonrası farklı bir mikroyapı sergilemiştir. Tablo 5' e göre karbürler, % 1.98 C, % 3.82 Cr, % 31.25 W ve % 63.10 Fe içeriğine sahipken; matriste % 2.55 C, % 4.65 Cr, % 62.85 W ve % 29.95 Fe konsantrasyonuna sahip ötektik altı katılma gerçekleştirmiştir.

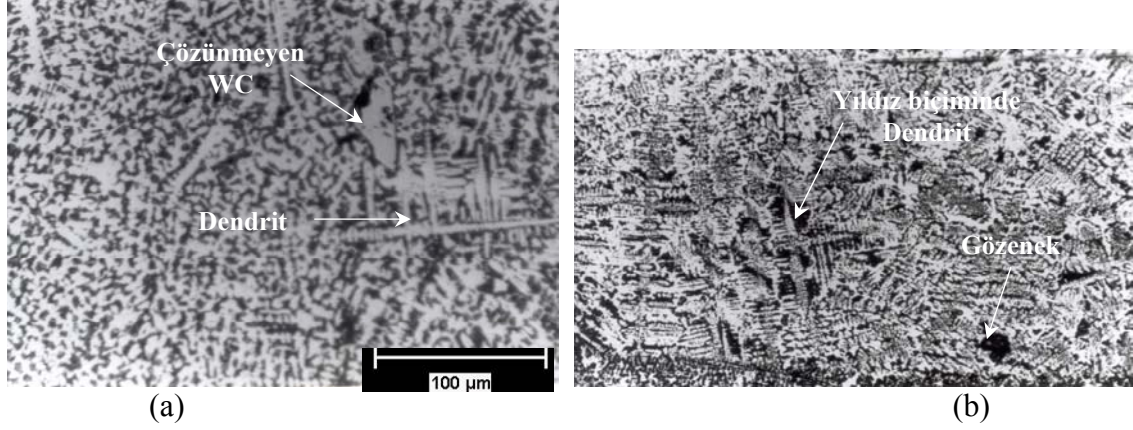


Şekil 5. TIG yöntemi ile üretilen N₃ numunesinin mikroyapısı (a) Üst tabaka, (b) Üst tabaka mikroyapısı

N₂ ve N₃ numuneleri kendi aralarında karşılaştırıldığında, geçirilen toz miktarının aynı, enerji girdisinin nispeten az fakat üretim hızının yüksek olması sonucu oluşan N₃ ötektik altı mikroyapı, karbür tanelerinin büyüdüğü görülür (Şekil 5b). WC tanelerinin çoğu üretim sırasında büyümmez. Ergiyen tozlar, sıvı sıcaklığı etkisinde çözülerek yeniden katılaşabilirler. Üniform olmayan sıcaklıktaki tungsten karbürün dağılımı, kaplama tabakasında farklı mikroyapıların oluşumuna yol açabilir. Tane boyutunun artması ve tek fazlı kaplamanın hazırlanması da arzu edilen bir yapı değildir [27].

Şekil 6' da, 1.510 mm/s üretim hızında, 0.3 g/s toz yedirme değerinde 11.1 kJ/cm enerji girdisiyle üretilen N₄ numunesinin mikroyapısı verilmiştir. Modifikasyona uğramış kompozit tabakası, N₂ ve N₃ numunelere göre çok farklı bir mikroyapı sergilemiştir. Enerji girdisinin düşük ve üretim hızının yüksek olması sonucunda, alt tabakanın ergimesi kısmen gerçekleşmiş ve küçük WC taneleri tamamen ergiyerek alt tabakayla karışmıştır. Daha büyük boyuttaki WC taneleri ise kısmen ergimiş ve heterojen bir çekirdeklenmeyi başlatarak katılaşmanın dendritik olarak meydana gelmesine neden olmuştur. Ayrıca, üretim hızının yüksek olmasından dolayı WC tanelerinin bir kısmı ergiyik banyoda çözünmeden kalmıştır (Şekil 6a). Tablo 5' e göre, % 1.23 C, % 5.45 Cr, % 9.82 W ve % 83.50 Fe içeriğine sahip dendritlerle birlikte, % 4.39 C, % 8.30 Cr, % 68.43 W ve % 18.88 Fe bileşimli matristen oluşmuştur. Dendritlerdeki W oranlarındaki artışın az olduğu gözlenmiştir. Katılaşma dendritler şeklinde başlamış ve sıvı metal içinde fazla olan W yalnızca ötektik bölgelerde katılaşmıştır. WC miktarının artmasıyla dendrit oranı da artar [7]. İlave edilen WC tozları normal olarak ergir, ergiyik

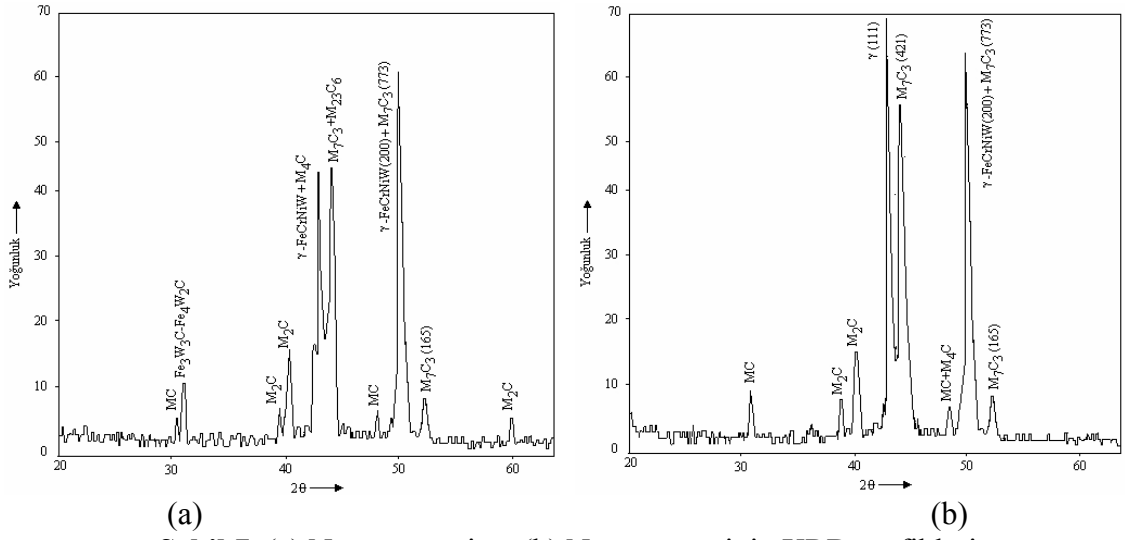
havuz içinde yeniden çözünür ve katılaşma sonucu yeni mikroyapılar elde edilir. WC sayısının çokluğu veya üretim hızının yüksek olması nedeniyle, yapıda ergimeyen WC veya karışık karbürler şeklinde çökebilir [17]. Bu nedenle, modifikasyon yapılan bölgede verilen enerji girdisi ve üretim hızının WC tanelerinin kaynak banyosunda ergiyip yeniden katılaşmasına izin verecek kadar yeterli zamana sahip olmadığı sonucuna varılabilir.



Şekil 6. TIG yöntemiyle üretilen N₄ numunesinin mikroyapısı (a) Üst tabaka, (b) Üst tabakada meydana gelen yıldız biçimindeki dendrit katılaşması

Şekil 7b' de, 12.2 kJ/cm enerji girdisi, 0.5 g/s toz yedirme oranı ve 1.38 mm/s üretim hızında WC tozlarının modifikasyonu yapılan N₃ numunesinin XRD grafiği verilmiştir. Yüzey modifikasyonu yapılan malzemenin mikroyapısında ostenitik ötektik altı yapıyla birlikte, çoğunlukta M₇C₃ (M= W, Fe) karbürleri olmak üzere, WC ve W₂C tipi karbürlere rastlanılmıştır. Mevcut sonuçlar, kaplamayla elde edilen diğer çalışmalarla uyum içindedir [17,25,26].

Matrisin kimyasal bileşimi WC partiküllerinin çözünmesine ve kompozit tabakada oluşabilecek reaksiyonlar nedeniyle önemlidir. Sonuç olarak, TIG yöntemiyle yüzey modifikasyonunda üretim şartlarına bağlı olarak farklı katılaşma karakteristikleri sergilediği Şekil. 4- Şekil. 6' dan da açıkça görülmektedir.



Şekil 7. (a) N₂ numunesi ve (b) N₃ numunesinin XRD grafikleri

IV. GENEL SONUÇLAR

TIG yöntemi kullanılarak yapılan WC ile yüzey modifikasyonunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Farklı üretim parametrelerinde WC tozlarıyla modifiye edilen malzemenin mikroyapısında farklı biçim ve oranlarda faz ve karbürlere rastlanılmıştır. Bunlar, üretim hızının düşük ve enerji girdisinin yüksek olması durumunda düzenli bir şekilde dağılmış M₇C₃, M₂₃C₆, W₂C ve Fe₃W₃C karbürleriyle birlikte γ-FeCrNiW fazlarıdır. Bunlardan başka, üretim hızının değişmesiyle modifikasyon katmanının mikroyapısında WC, W₂C, M₇C₃ karbürleriyle birlikte ötektik altı yapı oluşmuştur. Ancak üretim hızının çok yüksek ve toz miktarının düşük olması durumunda W konsantrasyonu yönünden fakir dendrit ve dendritler arası ötektik meydana gelmiştir.

Üretim hızının nispeten yüksek olması nedeniyle modifikasyon katmanının düzenli katılma göstermemesi ve yapıda çözünmeden kalan WC partiküllerinin bulunması nedeniyle N₃ ve N₄ numunelerinin sertlik değerleri artmıştır.

Bu tür kaplama veya yüzey sertleştirme yöntemlerinde yapılacak olan ısıl işlemin (gerek normalizasyon gerekse gerilme giderme işlemleri) mikroyapıya ve dolayısıyla mekanik

özelliklere olan etkileri incelemeye değerdir. Ayrıca, modifikasyon için kullanılan WC tozlarının tane büyüklüğünün katılma karakteristiğine olan etkileri araştırılabilir.

V. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın deneysel kısmı Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (FÜBAP-Proje No: 733) tarafından desteklenmiştir.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Selvan, J.S., Subramanian, K., Nath, A.K., “Effect of laser surface hardening on EN18 (AISI 5135) steel”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.91, pp.29-36, 1999.
- [2] Hidouci, A., Pelletier, J.M., Ducoin, F., Dezert, D., Guerjouma, R., “Microstructural and mechanical characteristics of laser coatings”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.123, pp.17-23, 2000.
- [3] Wulin, S., Beidi, Z., Changsheng, X., Wie, H., Kun, C., “Cracking susceptibility of a laser-clad layer as related to the melting properties of the cladding alloy”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.115, pp.270-272, 1999.
- [4] Tusek, J., Suban, M., “High-productivity multiple submerged-arc welding and cladding with metal-powder addition”, *Journal of Materials Processing Technology*, pp.207-213, 2003.
- [5] Modenesi, J.P., Apolinário, R.E., Pereira, M.I., “TIG welding with single-component fluxes”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.99, pp. 260-265, 2000.

- [6] Molinari, A., Tesi, B., Bacci, T., Marcu, T., “Plasma nitriding and nitrocarburising of sintered Fe-Cr-Mo and Fe-Cr-Mo-C alloys”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.140, pp. 251-255, 2001.
- [7] Zhong, M., Liu, W., Yao, K., Goussain, K., Cecile Mayer, J.C., AhimBecker C., “Microstructural evolution in high power laser cladding of Stellite 6-WC layers”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.157, pp.128–137, 2002.
- [8] Lu, X.D., Wang, H.M., “Microstructure and dry sliding wear properties of laser clad $\text{Mo}_2\text{Ni}_3\text{Si}/\text{NiSi}$ metal silicide composite coatings”, *Journal of Alloys and Compounds*, basımda, 2003.
- [9] Berns, H., Fischer, A., “Microstructure of Fe-Cr-C hardfacing alloys with alloys with additions of Nb, Ti, B”, *Materials Characterization*, Vol.39, pp.499-527, 1997.
- [10] Deuis R. L., Yellup, J. M., Subramanian, C., “Metal-matrix composite coatings by PTA surfacing”, *Composites Science and Technology*, Vol.58, pp.299-309, 1998.
- [11] Kim, H. J., Yoon, B. H., Lee, C. H., “Wear performance of the Fe-based alloy coatings produced by plasma transferred arc weld- surfacing process”, *Wear*, Vol. 249, pp. 846-852, 2002.
- [12] Prchlik, L., Sampath, S., Gutleber, J., Bancke, G., Ruff, A. W., “Friction and wear properties of WC-Co and Mo-Mo₂C based functionally graded materials”, *Wear*, Vol. 249, pp.1103–1115, 2001.
- [13] Kathuria, Y.P., “Some aspects of laser surface cladding in the turbine industry”, *Surface Coatings and Technology*, Vol.132, pp. 262-269, 2000.
- [14] Korkut, M.H., Yılmaz, O., Buytoz, S., “Effect of aging on the microstructure and toughness of the interface zone of a gas tungsten arc (GTA) synthesized Fe–Cr–Si–Mo–C coated low carbon steel”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.157, pp.5–13, 2002.
- [15] Esteve, J., Zambrano, U, G., Rincon, C., Martinez, E., Galindo, H., Prieto, P., “Mechanical and tribological properties of tungsten carbide sputtered coatings”, *Thin Solid Films*, Vol.373, pp.282-286, 2000.
- [16] Rincon, C., Romero, J., Esteve, J., Martinez, E., Lousa, A., “Effects of carbon incorporation in tungsten carbide films deposited by r.f. magnetron sputtering: single layers and multilayers”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.163–164, pp.386–391, 2003.

- [17] Lou D., Hellman, J., Luhulima, D., Liimatainen, J., Lindroos, V.K, “Interactions between tungsten carbide (WC) particulates and metal matrix in WC-reinforced composites”, *Materials Science and Engineering* , Vol.A340, pp.155-162, 2003.
- [18] Yang, Y., Man, U. H. C., “Microstructure evolution of laser clad layers of WC-Co alloy powders”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.132, pp.130-136, 2000.
- [19] Mateos, J., Cuetos, J. M., Fernandez, E., Vijande, R., “Tribological behaviour of plasma-sprayed WC coatings with and without laser remelting”, *Wear*, Vol.239, pp.274–281, 2000.
- [20] Wu, P., Zhou, C. Z., Tang, X. N., “Microstructural characterization and wear behavior of laser clad nickel-based and tungsten carbide composite coatings”, *Surface and Coatings Technology*, Vol.166, pp.84–88, 2003.
- [21] Khedkar, J., Khanna, A.S., Gupt, K.M., “Tribological behaviour of plasma and laser coated steels”, *Wear*, Vol.205, pp.220-227, 1997.
- [22] Mridha S., Ong H.S., Poh L.S., Cheang P., “Intermetallic coating produced by TIG surface melting”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.113, pp.516-520, 2001.
- [23] Pujar, M. G., Dayal, R. K., Gill, T. P. S., Malhotra, S. N., “Microstructural evaluation of molybdenum-containing stainless steel weld metals by a potentiostatic etching technique”, *Journal of Materials Science*, Vol.33, pp.2691-2700, 1998.
- [24] Raynor, G.V., Rivlin, V.G., “Phase equilibria in iron ternary alloys”, *The Institute of Metals*, 1988.
- [25] Zhou, R., Jiang, D., Lu, D., “The effect of volume fraction of WC particles on erosion resistance of WC reinforced iron matrix surface composites”, *Wear*, Vol.255, pp.134–138, 2003.
- [26] Oh, H., Lee, S., Jung, J.Y., Ahn, S., “Correlation of microstructure with the wear resistance and fracture toughness of duocast materials composed of high- chromium white cast iron and low- chromium steel”, *Metallurgical and Materials Transactions*, Vol.32A, No.3, pp.515-523, 2001.
- [27] Zhua, Y.C., Ding, C.X., Yukimurac, K., Xiao, D., Strutt, P.R., “Deposition and characterization of nanostructured WC–Co coating”, *Ceramics International*, Vol.27, pp.669–674, 2001.