

AISI 1020 Çeliğinin Yüzeyinde Ferro Bor- (1, 2.5 ve 5) Silisyum Karbür Metal Matrisli Kompozitlerin TIG Yüzey Alaşımlama Yöntemi ile Oluşturulması ve Özelliklerinin İncelenmesi

Serdar Pazarlıoğlu¹

Yasemin Geyin²

Hasan Gökçe³

Özet

Bu çalışmada, AISI 1020 çeliği yüzeyine 100, 110 ve 120 Amper akımda 20 Volt ve 0.1 mm/s hızda TIG yüzey alaşımlama yöntemi kullanılarak ferro bor-(1, 2.5 ve 5)silisyum karbür metal matrisli kompozitleri oluşturulmuş ve özellikleri incelenmiştir. En iyi sertlik 1076 ± 342 HV ile 110 amper ve FeB-1SiC' e aittir. Aşınma deneylerinden artan yük ile sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma miktarı artmıştır.

Giriş

Malzeme mühendisliği uygulamalarında, düşük karbonlu çelikler, iyi kaynaklanabilirlikleri, süneklikleri ve nispeten düşük maliyetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak düşük sertlikleri ve zayıf aşınma özellikleri uygulamalarını kısıtlamaktadır. Bu nedenle, bitmek tükenmek bilmeyen talebi karşılamak için bu malzemelerin yüzey sertliğini ve aşınma özelliklerini geliştirmeye ilgi duyulmuştur [1]. Bünyesine borür, karbür ve silisit gibi sert fazların oluşuma imkan sağlayan malzemelerin eklenerek oluşturulan metal matrisli kompozitlerle (MMK), düşük karbonlu çeliklerden birisi olan AISI 1020 çeliğinin yüzey özelliklerinin iyileştirilebilmesi mümkündür [2]. Bu amaçla elektro deşarj kaplama (EDC), termo-reaktif difüzyon (TRD),

1 Dr. Öğr. Üyesi, Marmara Üniversitesi, spazarlioglu@marmara.edu.tr, 0000-0002-7870-8418

2 Öğrenci, Marmara Üniversitesi, mail adresi, 0009-0002-7793-4672

3 Dr, İstanbul Teknik Üniversitesi, gokceh@itu.edu.tr, 0000-0001-7892-5642

kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve plazma buhar biriktirme (PVD) gibi yöntemler kullanılmaktadır [3]. Bu uygulamaların dışında plazma transfer ark (PTA), lazer, tozaltı, elektroslag ve tungsten inert gaz (TIG) gibi kaynak esaslı alaşımlama yöntemleri ile de mümkündür. TIG yüzey alaşımlama uygun maliyetli bir yöntem olup, arzu edilen bir bileşime sahip bir alaşım tozunun ve alt tabaka malzemesinin aynı anda eritildiği ve daha sonra metalürjik olarak bağlı yoğun bir kaplama oluşturmak üzere hızla katılaştırıldığı bir işlemdir. Bu işlemle yapılan alaşımlama işleminde katılma oranı çok yüksektir. Ayrıca, TIG tekniği ile elde edilen alaşımlanmış yüzey, çeşitli geleneksel altlık malzemeleri üzerinde sentezlenmek üzere yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip, hızla katılmış ince mikro yapılar üretme potansiyeline sahiptir [4]. AISI 1020 çeliğinin yüzey özelliklerinin borlama ile geliştirilmesi mümkündür ve genellikle 850-1050°C sıcaklıklarda ve 1-12 saat süreyle gerçekleştirilir. Borlama işlemi difüzyon mekanizmasına bağlı bir işlem olduğu için sıcaklıkla beraber yüzeyde oluşan borür fazları büyümektedir. Borlama neticesinde yüzeyde bor içeren tabaka meydana gelir. Ortaya çıkan bu tabaka içinde ya Fe_2B ya da Fe_2B+FeB fazları birlikte bulunabilir. Ancak, yapıda FeB fazı gevrek ve iç gerilmelere sebep olduğu için istenmemektedir. FeB ve Fe_2B fazları basma ve çekme gerilmeleri uyguladığı için malzeme yüzeyinde çatlaklara sebep olmaktadır. Bu nedenle tek faz Fe_2B yapısı istenmektedir [5]. Bir MMK oluşturmak için erimiş metal yüzeye seramik parçacıklarının eklenmesi, sünek ve tok matris ile seramik parçacıkların yüksek sertliği ve basınç dayanımının birleşik bir avantajına sahiptir. MMK'lerde partikül takviyesi olarak çeşitli sert seramik malzemeler etkili bir şekilde kullanılmasına rağmen, SiC , yüksek sertliği, yüksek erime sıcaklığı, yüksek ısıl iletkenliği, yüksek sıcaklıkta kararlılığı ve metalik karşılığına karşı düşük sürtünme katsayısı nedeniyle önde gelen seçeneklerden biridir. SiC ilavesi ile TIG alaşımlama bölgesinde karbür ve silisit gibi sert fazların oluşturulması da mümkündür [6].

Bu çalışmada ferro bor tozlarına ağırlıkça %1, %2,5 ve %5 silisyum karbür ile oluşan farklı bileşimlerde toz karışımları hazırlanarak AISI 1020 çeliği yüzeyine TIG kaynağı ile 100A,110A ve 120A, 20V ve 1 mm/s' lik ilerleme hızlarında olmak üzere yüzey alaşımlama işlemi uygulanmıştır. TIG yüzey alaşımlama işlemi sonrası optik mikroskop incelemeleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri, X-ışınları faz analizleri (XRD), sertlik ölçümleri, ball-on-disc aşınma cihazı kullanılarak aşınma özellikleri incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma testleri Zirkonya aşındırıcı bilye kullanılarak 5N, 10N, 15N yüklerde 250 metre mesafede 0.1 m/s hızda gerçekleştirilmiştir. Zirkonya bilye ve altlık malzemesi olarak kullanılan 1020 çeliğinin aşınma izleri optik mikroskop ile incelenmiş, aşınma davranışları ise spesifik aşınma oranlarının bulunması ile belirlenmiştir.

2. Deneysel İşlemler

Bu çalışmada AISI 1020 çeliği altlık malzemesinin yüzeyine ferrobör (FeB) ve ortalama tane boyutları 5 mikron olan silisyum karbür (SiC) tozları kullanılarak farklı bileşimlerde olmak üzere hazırlanmış tozlar kullanılarak, TIG kaynağı ile yüzey alaşımına işlemi gerçekleştirilmiştir. Altlık malzemesi olarak kullanılan 1020 çeliğinin kimyasal bileşimi **Tablo 1**'de görüldüğü üzere olup, 60x30x5 mm boyutlarında olacak şekilde hazırlanmıştır. Yüzey alaşımına işlemleri öncesi 1020 çeliğinin yüzeyi mekanik ve ultrasonik olarak temizlenmiştir.

Tablo 1 Altlık malzemesi olarak kullanılan 1020 çeliğinin kimyasal bileşimi

Altlık Malzeme	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
AISI 1020	0,11	0,03	0,56	0,007	0,005	0,07	0,03	Kalan

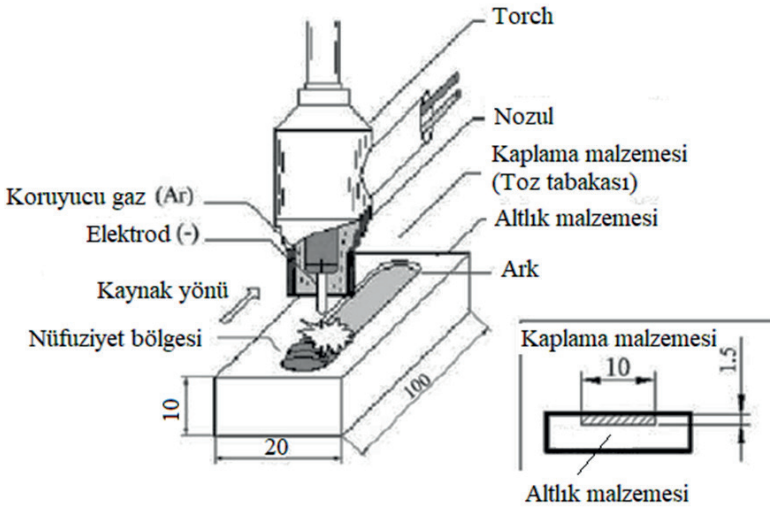
Ferrobör Aveks İç ve Dış Tic. Anonim Şti. (İmes, Ümraniye) firmasından küçük kayaçlar halinde satın alınmış olup, Herzog marka bilyalı değirmende toz haline getirilmiş ve ortalama tane boyutu 90 μm 'nin altında olacak şekilde Restch marka paslanmaz çelikten imal edilen elek ile öğütülmüştür. SiC tozları 5 μm 'luk ortalama tane boyutunda olmak üzere Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. Öğütme işlemleri sona erdikten sonra, **Tablo 2**'de görülen kimyasal bileşim oranlarına bağlı olarak TIG yüzey alaşımında kullanılan toz karışımları hazırlanmıştır.

Tablo 2 TIG yüzey alaşımında kullanılan karışımlar ve kimyasal bileşimleri

GRUP	FeB (%ağrlıkça)	SiC (%ağrlıkça)
Karışım 1	99	1
Karışım 2	97,5	2,5
Karışım 3	95	5

TIG yüzey alaşımına işlemleri **Tablo 3**'de belirtilen parametrelere ve **Şekil 1**'de görüldüğü üzere gerçekleştirilmiştir.

Parametre	Değer		
Elektrot	W-2 pct ThO ₂		
Elektrot çapı	2 mm		
Kaynak açısı	70°		
Voltaj	20 V		
Akım	100 A	110 A	120 A
Isı girdisi	1.20 kJ/mm	1.32 kJ/mm	1.44 kJ/mm
Koruyucu gaz	Ar (%99.9 saflıkta)		
Koruyucu gaz akış debisi	3 l/dakika		
Kaynak hızı	60 mm/dak.		



Şekil 1 Alaşım işlemi şematik gösterimi

TİG yüzey alaşımlama işleminde ısı girdisi Formül 1'e göre hesaplanmıştır.

$$Q = \frac{\eta \times U \times I}{V \times 1000} \quad (1)$$

Burada; Q: Isı girdisi (kJ/mm), η : katsayısı (0.6), U : Voltaj (V), I : Akım (A), V : Kaynak hızı (mm/dakika)

TİG yüzey alaşımlama işlemleri sonrası oluşturulan karışımlara bağlı olarak altlık malzemesi ile alaşımlama tabakası arasındaki ara yüzey bölgesi, altlık malzemesi ve alaşımlama tabakasında meydana gelen mikroyapısal değişimlerin belirlenmesinde optik mikroskop ve FEI Sirion XL30

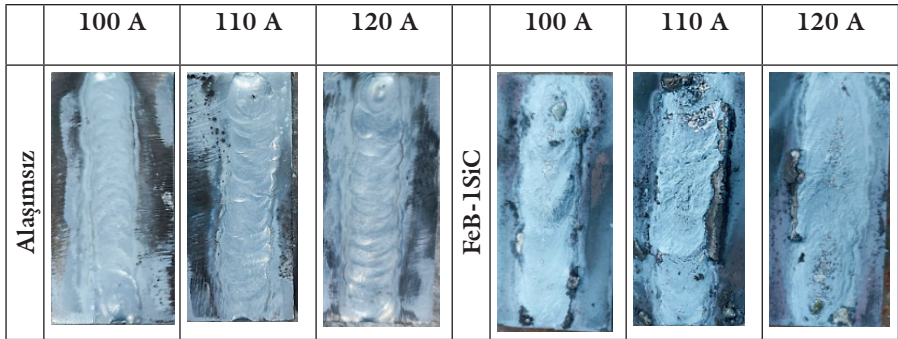
marka SEM cihazı, alaşımlama bölgesinde hazırlanan karışım oranlarına bağlı olarak meydana gelen fazların türü 10-90° lik 2θ aralığında Philips X'Pert marka XRD cihazında 0.02° lik ilerleme hızı ile belirlenmiştir. TİG alaşımlama işlemleri sonrası farklı toz karışım oranlarının altlık malzemesinin yüzey özelliklerine etkilerini anlayabilmek için sertlik ve aşınma testleri gerçekleştirilmiştir. Sertlik testleri gösterilen Future Tech FM-300 marka mikrosertlik cihazında gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri yalnızca alaşımlama bölgesinden ve alaşımlama bölgesinden altlık malzemesine olacak şekilde 200 gram yük altında 10 saniye süre ile alındı. Aşınma testleri ASTM C99-3 standartına göre üretilmiş aşınma test cihazında ball-on disk yöntemi kullanılarak zirkonya (ZrO₂) aşındırıcı bilye ile 5N, 10N, 15N yüklerde 250 metre mesafede 0.1 m/s hızda gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyi sonuçları TİG kaynağı ile alaşımlandırılmış AISI 1020 eliğinde meydana gelen spesifik aşınma oranları **Formül 2** hesaplanması ile tespit edildi. Spesifik aşınma oranının bulunmasında aşınan hacim oranı Deniz Harp Okulu' nda bulunan optik profilometre ile ölçüldü.

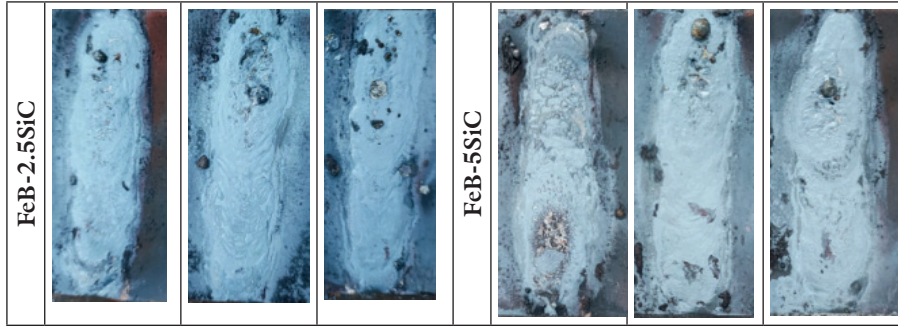
$$W = V/FxD \quad (2)$$

W: Spesifik aşınma miktarı (mm³/Nm), V: Aşınan hacim (mm³), F: Uygulanan yük (N), D: Yol (m).

3. Sonuçlar ve Tartışma

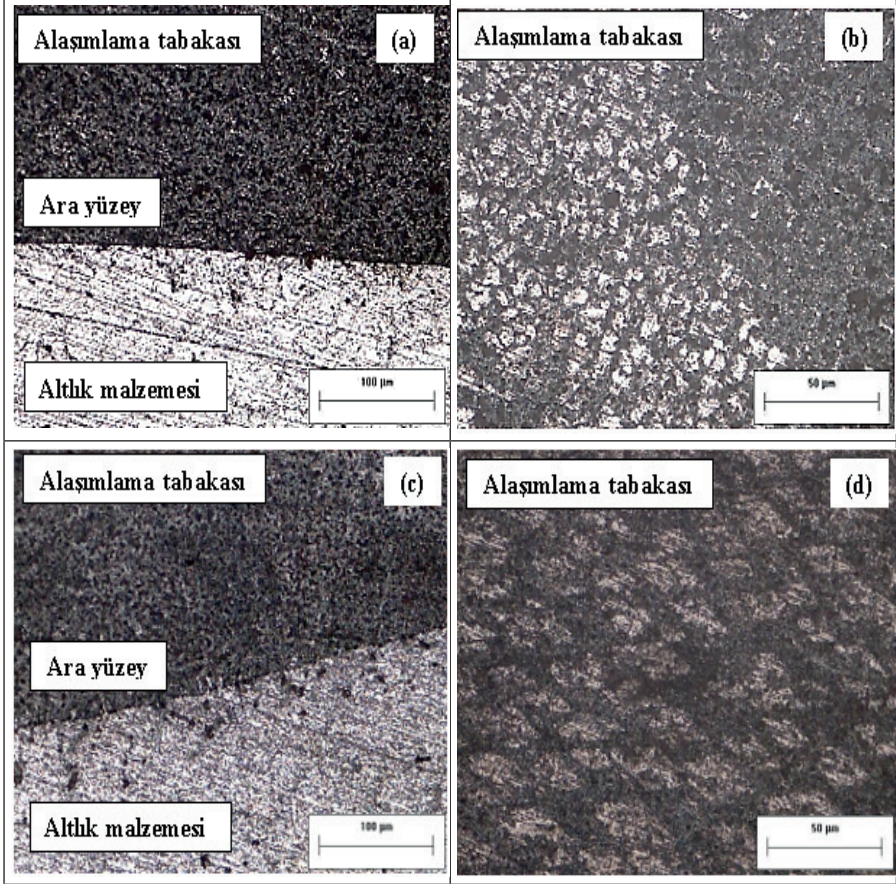
şekil 2' de alaşımsız ve FeB-SiC ile alaşımlandırılmış AISI 1020 eliğinin alaşımlama işlemleri sonrası makro görüntüleri görülmektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere çatlak ve/veya gözeneksiz olmak üzere alaşımlama tabakalarının elde edilmiştir.

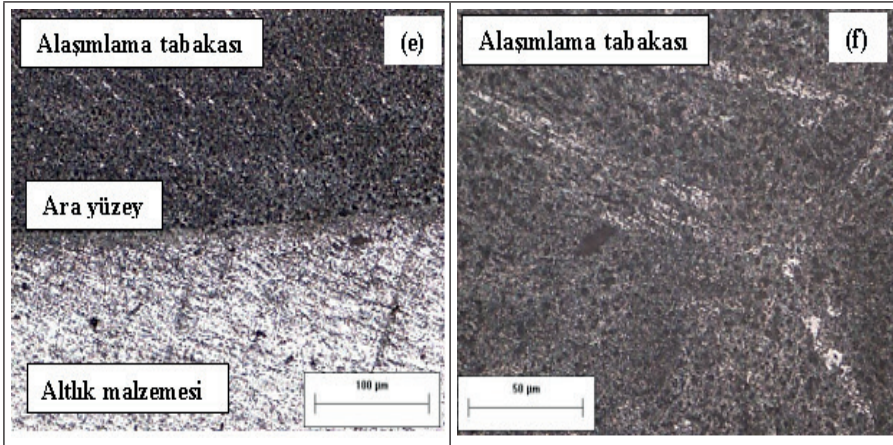




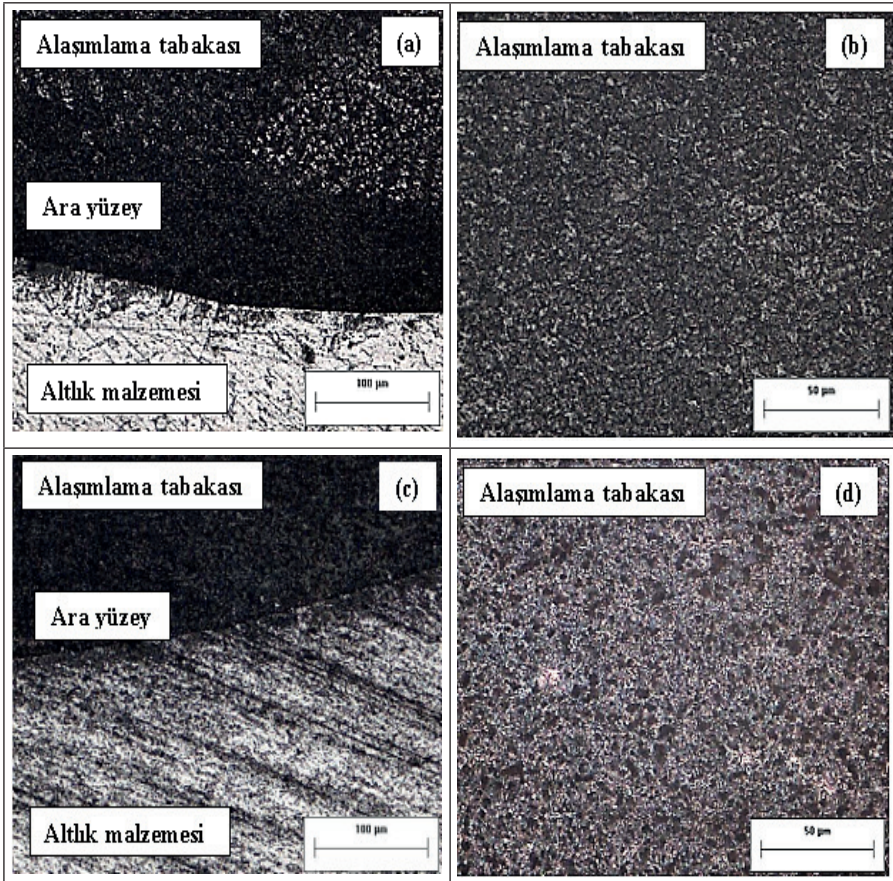
Şekil 3-5’ de sırasıyla ağırlıkça %1, 2.5 ve 5 oranlarında olmak üzere SiC ilaveleri ile oluşturulmuş ve 100, 110 ve 120A’ lik akımlarda gerçekleştirilmiş olan FeB-SiC karışımlarına ait alaşımlama tabakaları ve ara yüzey bölgelerine ait optik mikroyapı resimleri görülmektedir. Isı girdisi ve ilerleme hızı ve alaşımlamada kullanılan toz bileşimine bağlı olarak alaşımlama bölgesinin mikroyapısı ve mekanik özellikleri değişir. Bunun iki nedeni vardır: Birincisi; yüzeyde biriktirmeye çalışılan bileşenler ve ısı girdisindeki değişimden dolayı alaşımlama tabakasında farklı fazların meydana gelmesidir. İkincisi ise; farklı üretim hızları ve alaşımlamada kullanılan bileşenlerin farklı ergime sıcaklıklarına sahip olması sonucu katılaşma hızlarının farklılaşmasına neden olmasıdır [7]. FeB-SiC kompozitlerinde artan SiC oranı ve ısı girdisi ile birlikte alaşımlama bölgesinin daha kaba taneli ve/veya iğnemişi forma dönüştüğü, ara yüzey bölgesinin ise daraldığı belirlendi. Buytoz ve Ulutan yapmış oldukları çalışmada altlık malzemesi olarak kullandıkları AISI 304 paslanmaz çeliğindeki Fe ile alaşımlamada kullandıkları SiC’ ün ergime sıcaklıkları arasındaki farkın yüksek olması nedeniyle alaşımlama tabakasındaki katılaşmanın dendritik şekilli olduğunu bildirmişlerdir [8]. Bu çalışmada kullanılan FeB’ un Fe’ ye oranla daha yüksek ergime sıcaklığına sahip olması nedeniyle alaşımlama bölgesinde dendritik katılaşma gözlemlenmemiştir. Yüksek ısı girdisi, altlık malzemesinde bulunan demirin aşırı seyrelmesine ve SiC’ ün bir kısmının süblimleşmesine yol açtığından dolayı [9]. Şekil 6’ da görüldüğü üzere alaşımlama tabakası içerisinde α -Fe’ in baskın faz olmasına neden olmuştur. SiC partiküllerinin süblimleşme davranışı Ulutan ve diğerlerinin AISI 4140 çeliğinin SiC ile alaşımlandırılması için kullanmış oldukları 2.91 kJ/mm’ lik ısı girdisi içinde doğrulanmıştır [10]. Kılıç ve diğerleri ise artan ısı girdisi nedeniyle SiC’ ün süblimleşmemiş kısmının Si ve C elementlerine çözülmüş ve C elementinin bileşik oluşturmadan alaşımlama tabakası içerisinde yer yer grafit olarak hapsediğini bildirmiştir [11]. Ancak bu çalışmada Şekil 6 (a)’ da görüldüğü üzere; diğer çalışmalara göre daha

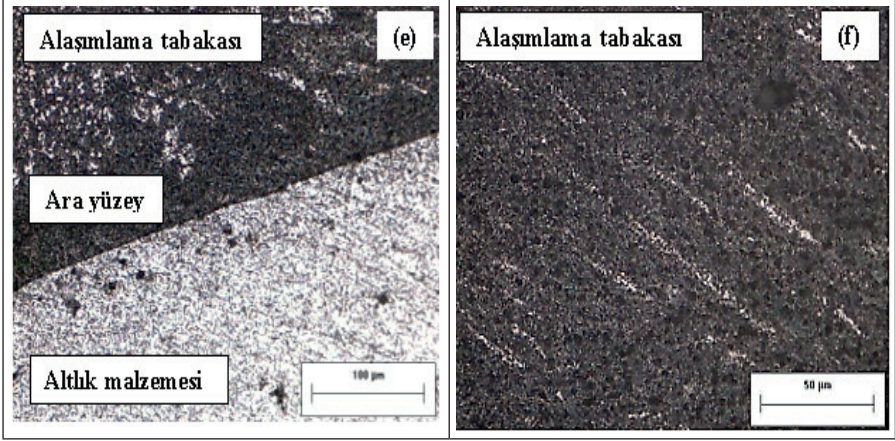
düşük ısı girdisi değerlerinde çalışılmış olan 100 Amperlik akımda SiC partiküllerinin süblimleşmesi esnasında Fe_2Si fazının oluşumuna neden olduğu belirlendi. Ancak **Şekil 4.6 (b)**' de görüleceği üzere artan ısı girdisi alaşımlama bölgesinde yer yer çatlak ve 120 Amperlik akımda alaşımlama bölgesi içerisinde $FeB-5SiC$ alaşımlama tabakasında $FeSi_2$ ile Fe_3C fazlarının oluşumuna neden olmuştur. Bu da SiC' ün süblimleşmesi esnasında ayrılan Si ve C' nin FeB veya altlık malzemesi içerisinde bulunan Fe ile reaksiyona girmelerinden dolayı olabileceği kanaatine varılmıştır.



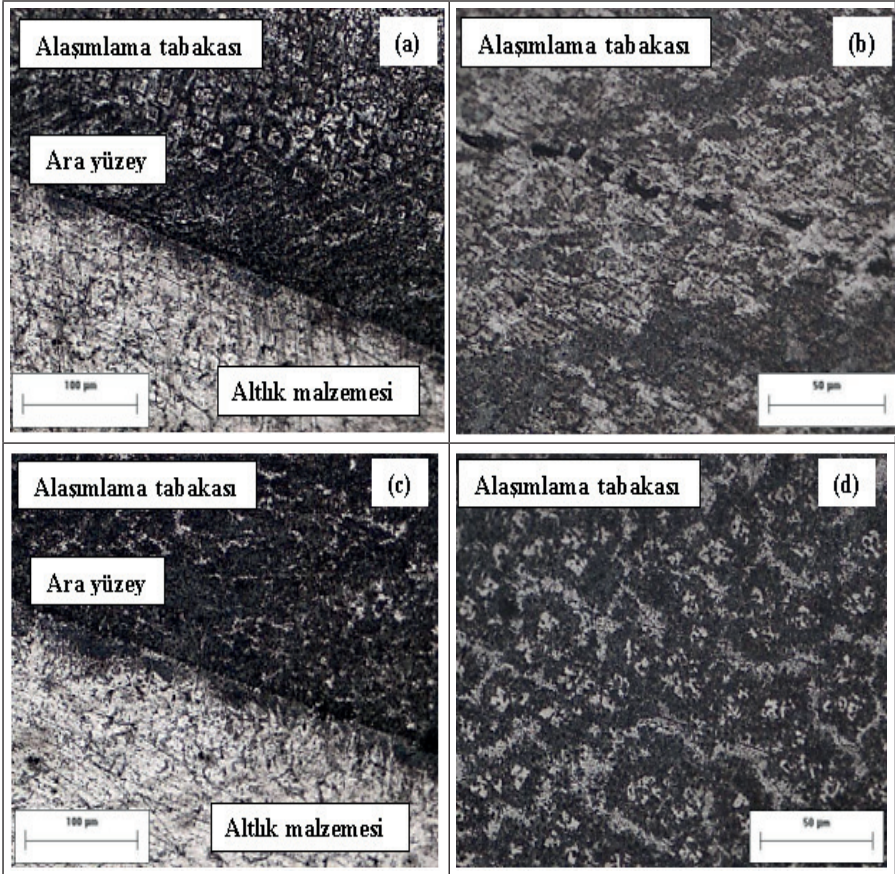


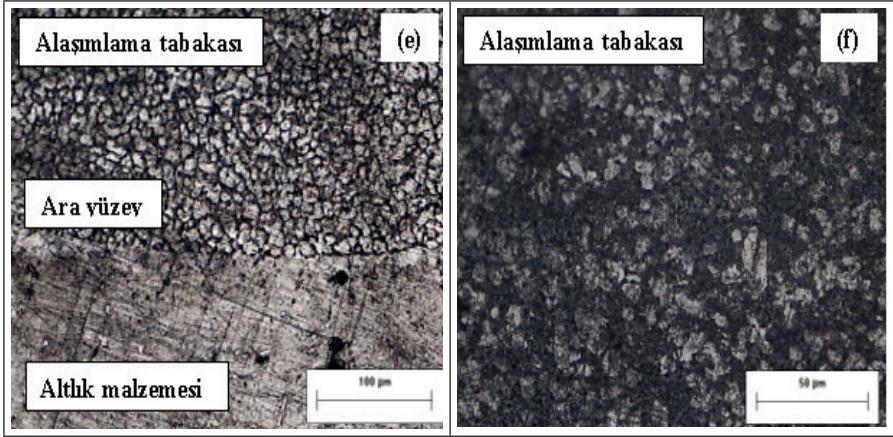
Şekil 3(a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-1SiC alaşımının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altlık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-1SiC alaşımının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüleri



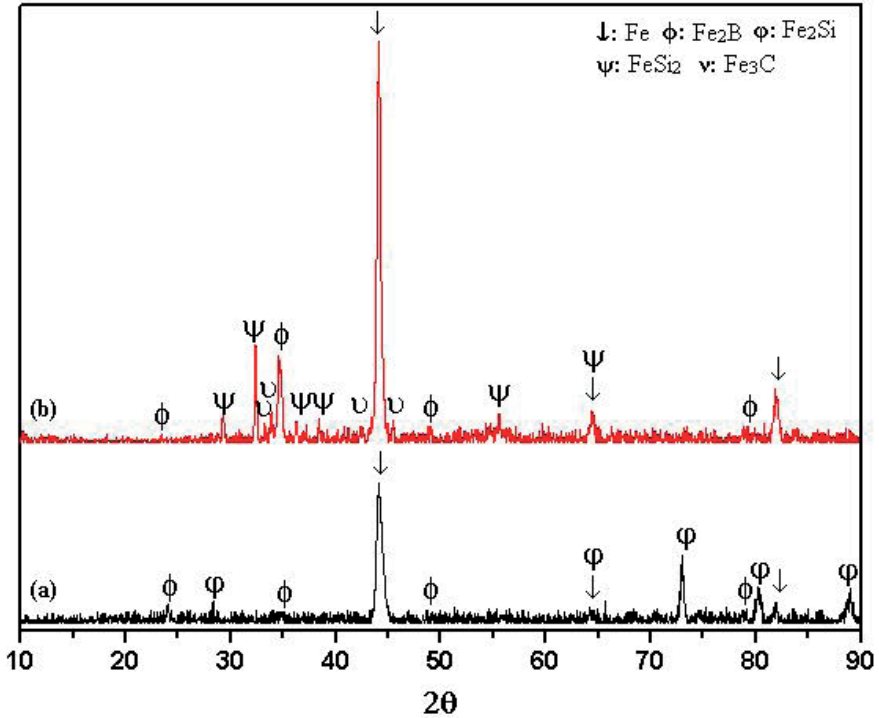


Şekil 4 (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-2.5SiC alaşımının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-2.5SiC alaşımının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüleri



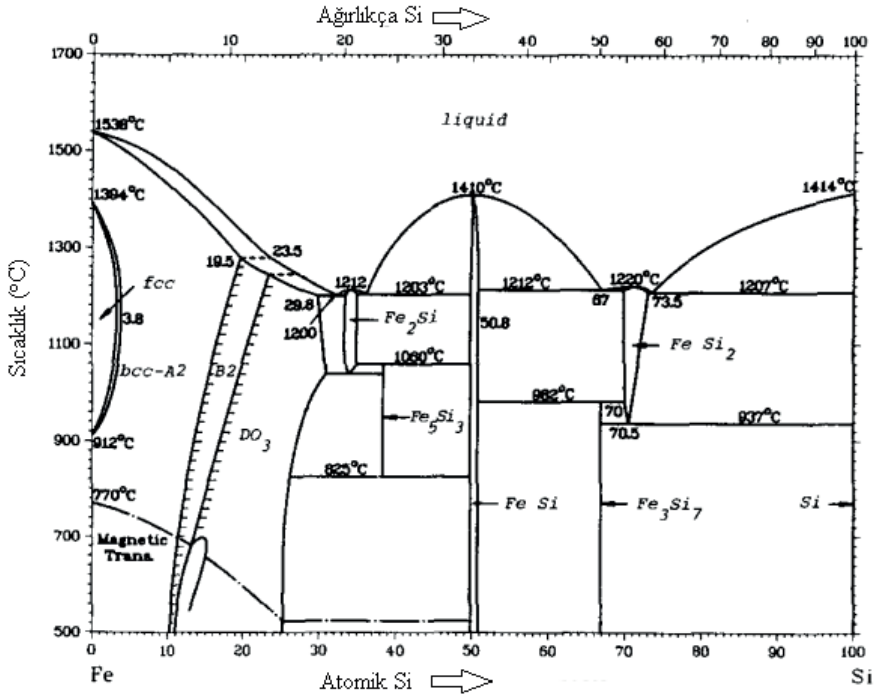


Şekil 5 (a) 100A, (c) 110A ve (e) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-5SiC alaşımının alaşımlama tabakası-ara yüzey-altık malzemesi bölgelerine, (b) 100 A, (d) 110A ve (f) 120A' de alaşımlandırılmış FeB-5SiC alaşımının alaşımlama tabakasına ait optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 6 (a) 110 amperde gerçekleştirilen FeB-1SiC (b) 120 amperde gerçekleştirilen FeB-1SiC alaşımlama tabakalarına ait XRD analizleri

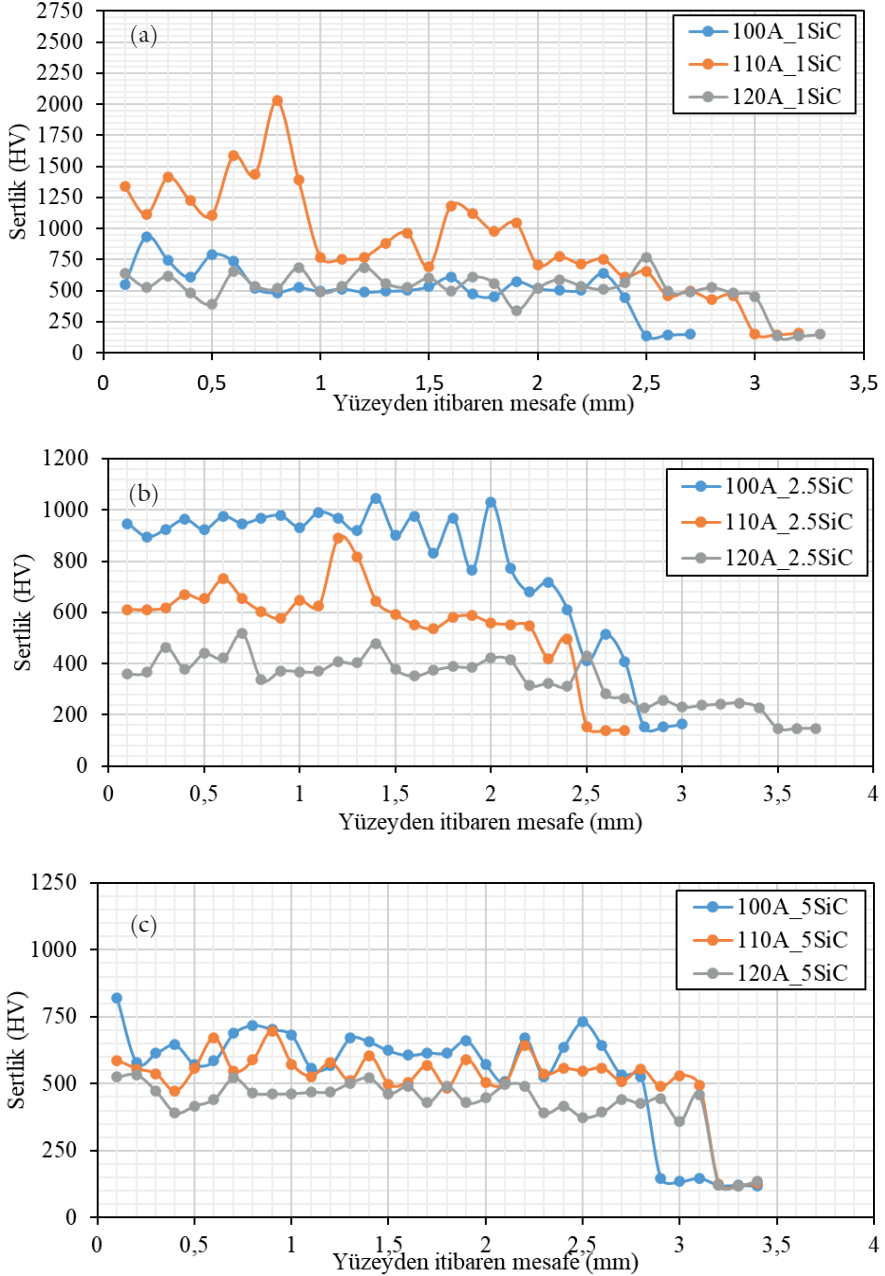
Şekil 6 FeB-SiC alaşımlama tabakasında en yüksek (1076 ± 342 HV) ve en düşük (454 ± 45 HV) sertlik değerinin elde edildiği (a) 110 amperde gerçekleştirilen FeB-1SiC ve (b) 120 amperde gerçekleştirilen FeB-5SiC alaşımlama tabakalarına ait XRD analizlerini göstermektedir. **Şekil 6 (a)**' da görüleceği üzere; 110 amperde gerçekleştirilen FeB-1SiC alaşımlama tabakası α -Fe, Fe_2B ve Fe_2Si fazlarından ve **Şekil 6 (b)**' de görüldüğü üzere 120 amperde gerçekleştirilen FeB-5SiC alaşımlama tabakası α -Fe, Fe_2B , $FeSi_2$ ve Fe_3C fazlarından oluşmaktadır. **Şekil 7**' de görüldüğü üzere; Fe-Si ikili sistemi üç düzensiz çözeltili fazı, sıvı, α (A2) ve γ (A1), iki sıralı bcc fazı, α' FeSi (B2) ve $\alpha''Fe_3Si$ (D03) ve Fe_2Si , Fe_5Si_3 , $FeSi$, $FeSi_2$ ve Fe_3Si_7 olmak üzere 5 farklı demir silisit fazı meydana gelmektedir [12]. Fe_2Si , $FeSi$ ve $FeSi_2$ uyumlu bir şekilde erir ve küçük bir homojenlik aralığı sunar. Fe_3Si_7 fazı $FeSi$ ve $FeSi_2$ fazlarından ötektoid dönüşüm sonucu meydana gelmektedir ve Fe_2Si fazı $1212^\circ C$ ' de, $FeSi_2$ fazı ise sıvı faz içerisinde $1220^\circ C$ ' de katılaşmaktadır [13]. Fe_2B fazı, Fe-Si-B üçlü sisteminde meydana gelmekte olan metastabil fazlardan birisidir ve $1166^\circ C$ sıcaklıkta sıvı fazın BCC Fe ve Fe_2B fazlarına dönüşmüş olduğu ötektik reaksiyon sonucu meydana gelmektedir ve Fe_2B fazındaki Fe içerisinde B' nin çözünürlük oranı $0.176'$ dir [14]. SiC ve Fe-Si eriyiği arasındaki faz ilişkisi Chipman ve diğerleri tarafından açıklanmış olup hem SiC hem de grafit ile dengede olan sıvı bileşimin $1200^\circ C$ ' de Fe-33.2 mol% Si olduğu ve sıcaklığın $1690^\circ C$ ' ye yükselmesi durumunda Si içeriğinin Fe-37.7 mol% Si' ye yükseldiği belirtilmiştir [15]. FeB-5SiC alaşım tabakası içerisinde tespit edilen Fe_3C fazı, Han, K., ve diğerlerinin tıpkı T/M yöntemi ile incelemiş oldukları $1690^\circ C$ sıcaklıktaki gibi, TIG kaynak banyosunun $1670^\circ C$ olması nedeniyle grafit formundaki C' nin Fe ile reaksiyona girmesi sonucu oluştuğu kanaatine varılmıştır [16].



Şekil 7 Fe-Si ikili sistemine ait faz diyagramı

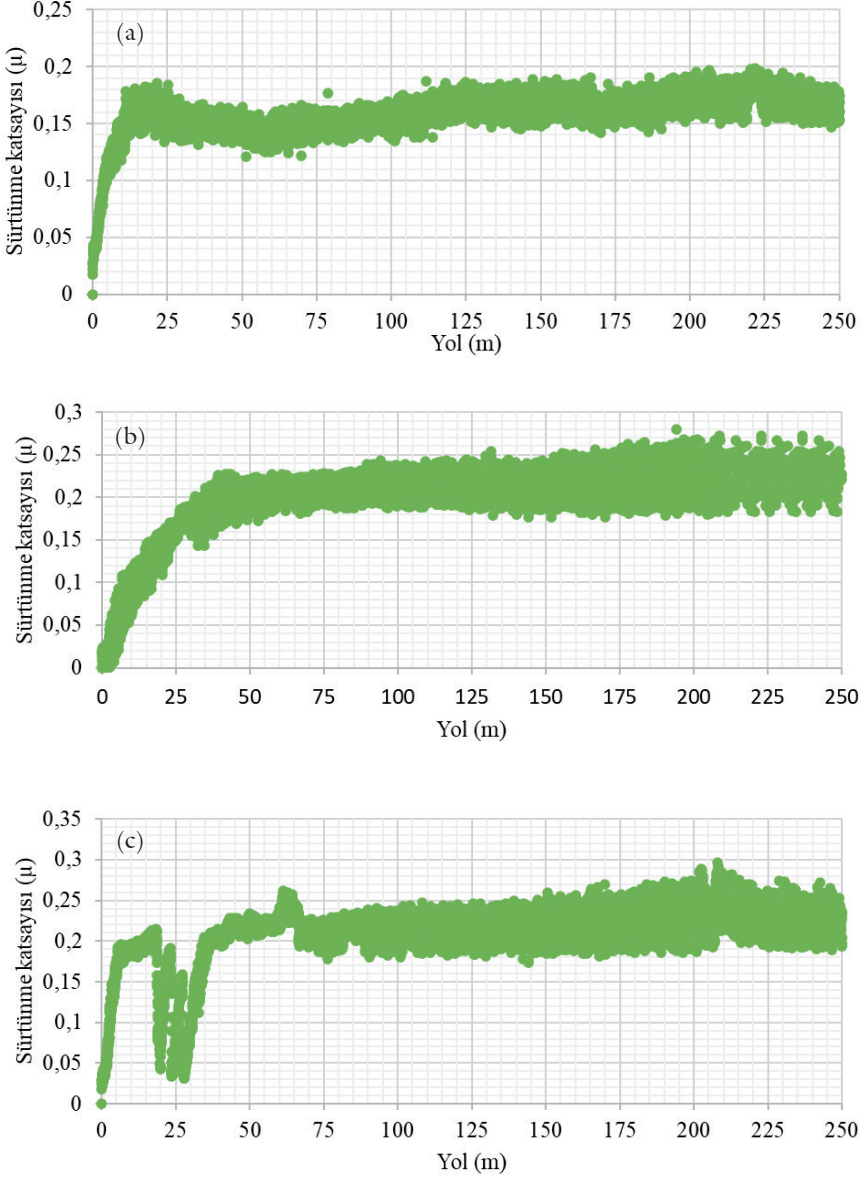
Oluşan kaplama katlarının derinliklerinin farklı oluşu ve ara bölgede metallerarası bileşiklerin oluşup oluşmama durumuna göre mikrosertlik değerleri birbirinden az çok farklı değerler vermektedir. Sert yüzey kaplamalarının sertliği büyük ölçüde birincil sert fazların oranına ve mikroyapıya bağlı olup, karbür/borür içerikli fazların varlığı alaşımlama tabakasının sertliğinin artmasına katkıda bulunmaktadır [17]. Altlık malzemesi olarak kullanılan AISI 1020 çeliğinin sertliği 174 ± 8 HV' dir. [18]. Şekil 8' de görüldüğü üzere FeB-SiC kompozit sistemlerinde en yüksek ortalama sertlik değerinin elde edilmesinde Fe₂Si fazının en düşük ortalama sertlik değerinin elde edilmesinde ise FeSi₂ ve Fe₃C fazlarının oluşmasının etkili olduğu belirlenmiştir. Tek taneli olarak üretilen Fe₂Si 1489 HV [19], FeSi₂ ise 571 HV' lık sertliğe sahiptir [20]. Ancak, Fe-Si esaslı alaşımlarda kullanılan imalat yöntemlerine ve soğuma hızlarındaki hızlanma nedeniyle gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde bu değerlere oluşmadıkları belirtilmiştir. Örneğin, Baker ve diğerlerinin belirttiği üzere orta karbonlu çelik altlık malzemesi yüzeyine gerçekleştirilen lazer kaynağı ile SiC kullanılarak alaşımlama işlemi esnasında SiC' ün ayrıştığı ve alaşımlama tabakasına çökelen Fe₂Si fazının 190HV' den 600HV' ye yükselmesinde

de görülmüştür [21]. Fe_3C fazının Fe-C-B [22] ve Fe-Si-C [23] üçlü sistemlerinde meydana geldiği belirtilmiş olan bir intermetalik bileşiktir ve 920 HV'lik sertlik değerine sahiptir.

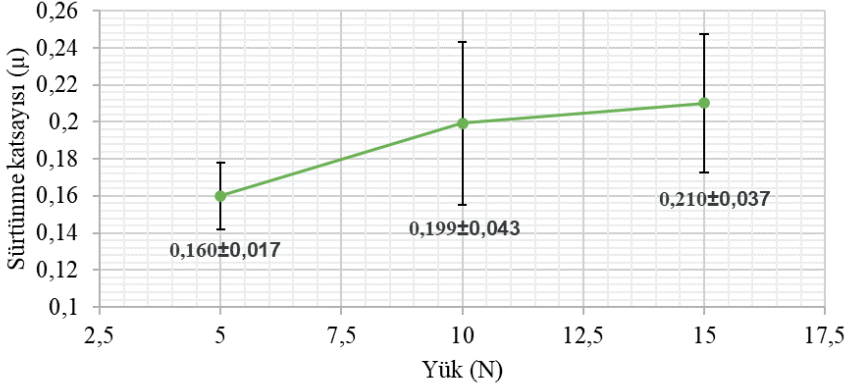


Şekil 8 (a) $Fe-B-1SiC$ (b) $Fe-B-2.5SiC$ ve (c) $Fe-B-5SiC$ alaşımlama tabakalarının 100, 110 ve 120 A ya göre sertlik dağılımları

Şekil 9 250 metre mesafe boyunca 5N, 10 N ve 15 N yük altında 0.1 m/s hız ile gerçekleştirilen aşınma deneyinde ölçülmüş sürtünme katsayısı grafiklerini ve **Şekil 10** sürtünme katsayısı değerlerinin yüke bağlı olarak değişimlerini göstermektedir.

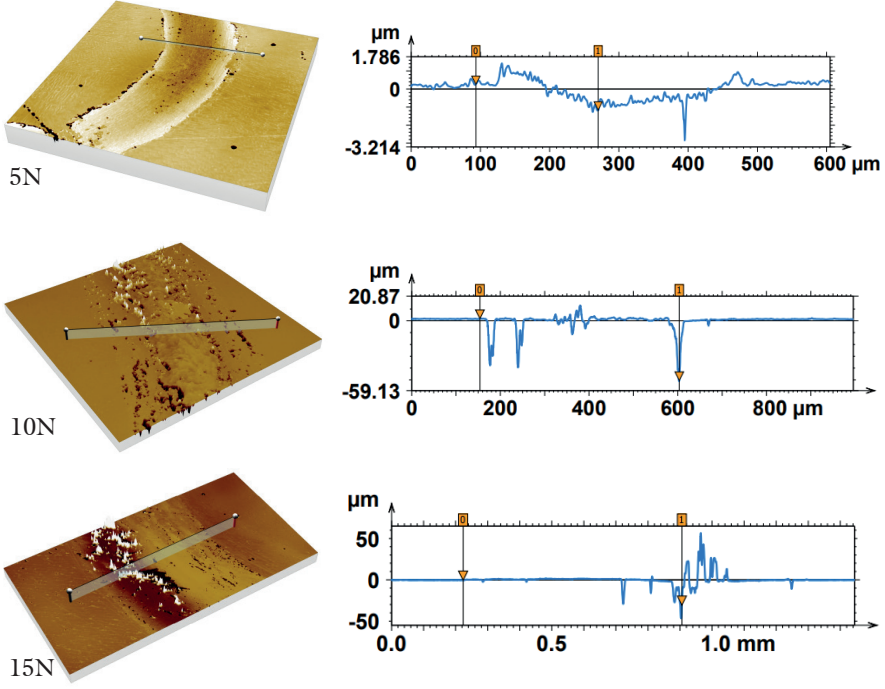


Şekil 9 FeB-SiC alaşımlama tabakası (a) 5N, (b) 10 N ve (c) 15 N yük altındaki sürtünme katsayısı-yol grafikleri

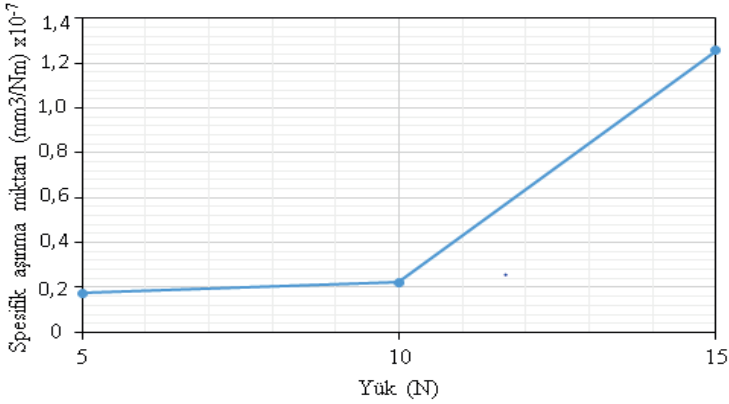


Şekil 10 FeB-SiC alaşımlama tabakası (a) 5N, (b) 10 N ve (c) 15 N yük altındaki sürtünme katsayısı değerlerinin uygulanan yüke bağlı olarak değişimi

Şekil 10' da görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değerleri artan yük ile artış göstermiştir. Rai ve diğerleri tarafından da belirtildiği üzere, yükteki artış ile sürtünme katsayısı artış göstermektedir [24]. Bu çalışmada maksimum $0.210 \pm 0.037 \mu'$ luk sürtünme katsayısı değeri ölçülmüştür. Ancak, yüzeyi TIG yüzey alaşımlama yöntemi ile Fe-Nb-B [25], Fe-TiB₂ [26] ve TiB₂-TiO₂ [27] ile alaşımlandırılmış AISI 1020 çeliği için sırasıyla 0.8μ , 0.78μ ve $0.65\mu'$ luk sürtünme katsayısı değerlerinin elde edildiği belirtilmiştir. Şekil 11' de optik profilometre ile aşınan hacimlere ait görüntüleri görülmektedir. Artan yük ile alaşımlama tabakasından aşınan hacimsel kayıplar sırasıyla $1594433 \mu^3$, $484288 \mu^3$ ve $777649 \mu^3$ olarak hesaplanmıştır. Belirtilen bu değerlerden görüleceği üzere, aşınan hacim değerleri artan yük ile artmıştır. Şekil 12' de spesifik aşınma miktarının yola bağlı olarak değişimi görülmektedir. 5N yükte spesifik aşınma miktarı 1.738×10^{-7} , 10N yükte 2.235×10^{-7} ve 15N yükte ise 1.254×10^{-6} ya çıkmıştır. 5N yükten %100 artış spesifik aşınma miktarında %128 artışa neden olurken; yükteki %300' lük artış için spesifik aşınma miktarı %721 olarak hesaplanmıştır.



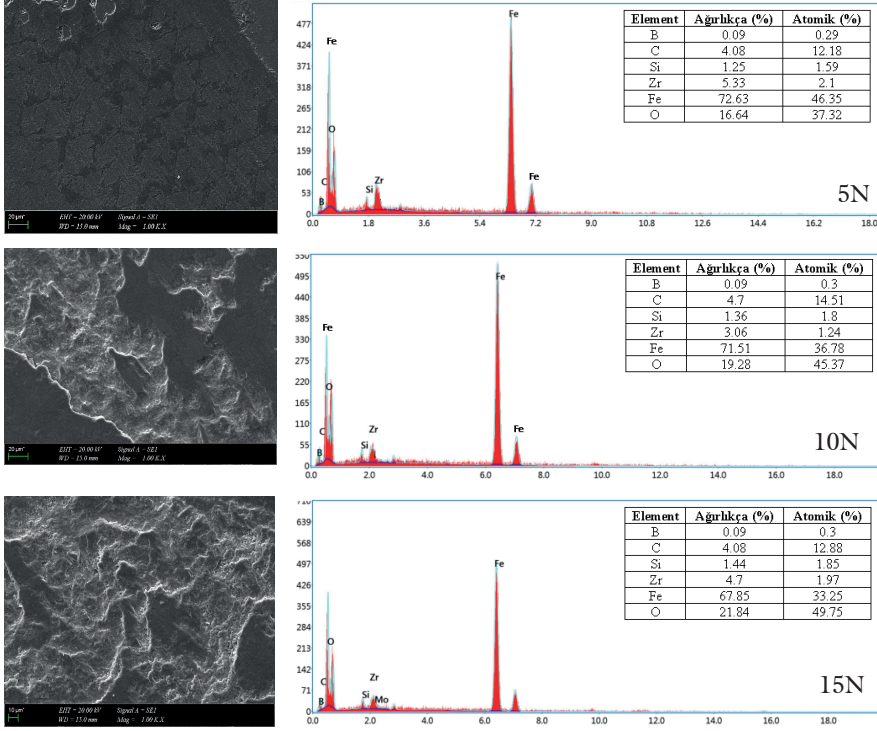
Şekil 11 Optik profilometre ile belirlenmiş olan aşınma hacimlerine ait görüntüler



Şekil 12 Spesifik aşınma miktarının yüke bağlı olarak değişimi

Şekil 13'de aşınma izlerinden alınmış SEM ve EDS analizleri görülmektedir. Alaşım tabakasının aşınmış yüzeyinde adhezif aşınmanın baskın olduğu ancak az miktarda abrazyif aşınmanın da olduğu görülmektedir. EDS analizi sonucunda aşınmış yüzeyde oksitlerin varlığı tespit edilmiştir. Fe-B sert yüzey alایشımının aşınmış yüzeyinde, ana aşınma mekanizması

adeziv ve oksidatif aşınmadır. Ayrıca küçük bir abrasif aşınma olduğu da söylenebilir.



Şekil 13 Aşınma izlerinden alınmış SEM ve EDS analizleri

Sonuçlar

Bu çalışma neticesinde, metal matrisli seramik takviyeli FeB-SiC karışımlarının TIG yüzey aşınma yöntemi ile AISI 1020 çeliği yüzeyinde çatlaksız ve/veya gözeneksiz olarak oluşturulabildiği belirlenmiştir. Aşınma tabakasında kullanılan SiC takviye malzemesine bağlı olarak farklı α -Fe, Fe₂Si, Fe₂B, FeSi₂ ve Fe₃C fazlarının meydana geldiği belirlendi. Oluşturulan MMK aşınma tabakalarında en yüksek ortalama sertlik değeri 1076 ± 342 HV ile 110 amper ve FeB-1SiC' de ulaşıldı. Bulunan bu değerın altlık malzemesi olarak kullanılan AISI 1020 çeliğinden yaklaşık 9 kat daha fazla olduğu tespit edildi. Artan yük ile sürtünme katsayısı ve spesifik aşınma miktarlarının artış gösterdiği tespit edildi.

Kaynakça

- [1] Muvvala Gopinath, Pavan Thota, Ashish Kumar Nath, Role of molten pool thermo cycle in laser surface alloying of AISI 1020 steel with in-situ synthesized TiN, *Surface and Coatings Technology*, 362(25), 2019, 150-166.
- [2] Hipólito Carvajal Fals, Luciano Augusto Lourençato, Mario Sánchez Orozco, Maria Julia Xavier Belém, Carlos Roberto Camello Lima, Slurry erosion resistance of thermally sprayed Nb₂O₅ and Nb₂O₅ + WC₁₂Co composite coatings deposited on AISI 1020 carbon steel, *Ceramics International*, 46, 2020, 27670-27678.
- [3] P.D. Machkale, B.M. Dabade, Experimental investigation of tungsten and copper carbide coating on AISI1020 steel using electro discharge coating process, *Materials Today: Proceedings*, 26, 2020, 2915-2920.
- [4] Tanju Teker, Selçuk Karata, S. Osman Yılmaz, Microstructure and Wear Properties of AISI 1020 Steel Surface Modified by HARDOX 450 and FeB Powder Mixture, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 50(1), 2014, 94-103.
- [5] Bünyamin Yamanel, Osman Bican, S. Uğur Bayça, Investigation of Microstructure and Hardness Behaviors of AISI 1020 Steel Surface Hardened with Local Boronizing Agent, *International Journal of Engineering Research and Development*, 15(1), 2023, 164-171.
- [6] Wear characteristic of TiC coated AISI1020 mild steel fabricated by TIG cladding method, *Materials Today: Proceedings*, 26, 2020, 3288-3291.
- [7] Mustafa Ulutan, M. Mustafa Yıldırım, Soner Buytoz, TIG Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen AISI 4140 Çeliğinin Mikroyapı İncelemesi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1), 2009, 95-107.
- [8] Soner Buytoz, Mustafa Ulutan, Insitu synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI304 stainless steel by TIG surface alloying, *Surface & Coatings Technology*, 200, 2006, 3698-3704.
- [9] Soner Buytoz, Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel, *Surface & Coatings Technology*, 200, 2006, 3734-3742.
- [10] Mustafa Ulutan, M. Mustafa Yıldırım, Soner Buytoz, Osman N. Çelik, Microstructure and Wear Behavior of TIG Surface-Alloyed AISI 4140 Steel, *Tribology Transactions*, 54, 2011, 67-79.
- [11] Musa Kilic, Anil Imak, and Ihsan Kirik, Surface Modification of AISI 304 Stainless Steel with NiBSi-SiC Composite by TIG Method, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 30, 2021, 1411-1419.
- [12] Ikuo Ohnuma, Shinya ABE, Shota Shimenouchi, Toshihiro Omori, Ryosuke Kainuma, Kiyohito Ishida, Experimental and Thermodynamic Studies of the Fe-Si Binary System, *ISIJ International*, 52(4), 2012, 540-548.

- [13] Jacques Lacaze and Bo Sundman, An Assessment of the Fe-C-Si System, *Metallurgical Transactions A*, 22, 1991, 2211-2223.
- [14] Marco G. Poletti, Livio Battezzati, Assessment of the ternary Fe-Si-B phase diagram, *Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry*, 43, 2013, 40-47.
- [15] T Yoshikawa, S Kawanishi and T Tanaka, Fundamental study for solvent growth of silicon carbide utilizing Fe-Si melt, *Journal of Physics: Conference Series*, 165, 2009, 012022.
- [16] K. Han, M. Saito, J. Xia, I. Ohnuma, R. Kainuma, Experimental determination of phase diagram involving silicides in the Fe-Si binary system, *Journal of Alloys and Compounds*, 919, 2022, 165810.
- [17] Bülent Kılınc, Engin Kocaman, Şaduman Şen, Uğur Şen, Effect of vanadium content on the microstructure and wear behavior of $\text{Fe}_{(13-x)}\text{V}_x\text{B}_7$ ($x=0-5$) based hard surface alloy layers, *Materials Characterization*, 179, 2021, 111324.
- [18] Diana Maritza Marulanda Cardona, Jitraporn Wongsangam, Hernando Jimenez, Terence G. Langdon, Effects on hardness and microstructure of AISI 1020 low-carbon steel processed by high-pressure torsion, *Journal of Materials Research and Technology*, 6(4), 2017, 355-360.
- [19] Samuel Humphry-Baker, Jessica Marshall, Structure and Properties of High-Hardness Silicide Coatings on Cemented Carbides for High Temperature Applications, *Coatings*, 8, 2018, 247.
- [20] V. Milekhine, M.I. Onsøien, J.K. Solberga, T. Skaland, Mechanical properties of FeSi , FeSi_2 and Mg_2Si , *Intermetallics*, 10, 2002, 743-750.
- [21] P. Muñoz-Escalona, S. Mridha and T.N. Baker, Effect of Silicon Carbide Particle Size on Microstructure and Properties of a Coating Layer on Steel Produced by TIG Technique, *Advances in Materials and Processing Technologies*, 2(4), 2016, 451-460.
- [22] Jonathan Lentz, Arne Röttger, Werner Theisen, Hardness and modulus of Fe_2B , $\text{Fe}_3(\text{C},\text{B})$, and $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$ borides and carboborides in the Fe-C-B system, *Materials Characterization*, 135, 2018, 192-202.
- [23] G. Morard, D. Antonangeli, M.A. Baron, A. Pakhomova, A.N. Clark, M. Mezou, G. Fiqu, The Fe-Si-C system at extreme P-T conditions: A possible core crystallization pathway for reduced planets, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 322(1), 2022, 129-142.
- [24] V.K Rai, R. Srivastava, S.K Nath, S Ray, Wear in cast titanium carbide reinforced ferrous composites under dry sliding, *Wear*, 123(2), 1999, 265-271.
- [25] B. Kilinc, M. Durmaz, E. Abakay, U. Sen, S. Sen, Wear Behavior of The Surface Alloyed AISI 1020 Steel with Fe-Nb-B by TIG Welding Technique, *AIP Conference Proceedings* 1653, 2015, 020058.

- [26] Sujeet Kumar, Anil Kumar Das, Wear resistance and hardness properties of TiB_2 -Fe coating developed on AISI 1020 steel by tungsten inert gas (TIG) cladding, *Ceramics International*, 48, 2022, 30052-30065.
- [27] Sujeet Kumar and Anil Kumar Das, Evaluation of mechanical properties of TiB_2 - TiO_2 ceramic composite coating on AISI 1020 mild steel by TIG cladding, *Eng. Res. Express*, 4, 2022, 015034.