

Makalenin Geliş Tarihi : 30.12.2008
Makalenin Kabul Tarihi : 01.02.2009

TIG YÖNTEMİYLE YÜZEYİ SERTLEŞTİRİLEN AISI 4140 ÇELİĞİNİN MİKROYAPI İNCELEMESİ

Mustafa ULUTAN¹, M. Mustafa YILDIRIM², Soner BUYTOZ³

ÖZET: Bu çalışmada, AISI 4140 çeliğinin yüzeyi gaz tungsten ark (TIG veya GTA) tekniği kullanılarak SiC ve C tozları ile modifiye edilmiştir. Kaplanan malzemelerin mikroyapılarında işlem şartlarının değiştirilmesiyle, ara yüzeye doğru kalınlıkları değişen yönlenmiş dendritlerle birlikte, farklı Fe, C, Cr, Mo ve Si içerikli M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_2C , M_3C , Fe_3C , Fe_2C karbürleri elde edilmiştir. Aynı zamanda mikroyapılarda farklı grafit taneciklerine de rastlanılmıştır. Sertlik değerleri yapıdaki mevcut faz ve karbürlerin varlığından dolayı önemli ölçüde artmıştır. Mikrosertlik değerleri üst tabaka kalınlığı boyunca 800-1400 HV arasında değişim gösterirken, ara yüzeye doğru gidildikçe sertlik değerlerinde bir azalma görülmüştür. En yüksek sertlik (1386 HV); 0,55 cm/s üretim hızında, 1-0,2 g/s SiC/C toz yedirme değerinde ve 28,6 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen kaplama tabakasından elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler : TIG yöntemi, karbür, dendrit.

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE OF HARDFACED AISI 4140 STEEL BY TIG WELDING PROCESS

ABSTRACT: In this study, a AISI 4140 steel surface was modified with SiC and C alloying powders by using of a gas tungsten arc (TIG or GTA) welding 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 M_7C_3 , $M_{23}C_6$, M_2C , M_3C , Fe_3C , Fe_2C carbides at different shapes and rates. Additionally, different graphite precipitates were found in the microstructures of specimens. Hardness values of the coating layers increased because of existing phase and carbides in the microstructure. Hardness values of materials changed between 800-1400 HV along the modified layer then it decreased in interface regions. The highest hardness on coated layers measured as (1386 HV) which was produced at 0,55 cm/s production speed, 28,6 kJ/cm energy input and 1-0,2 g/s SiC/C powder content, respectively.

Keywords: TIG method, carbide, dendrite.

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ESKİŞEHİR

² Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, KÜTAHYA

³ Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, ELAZIĞ

I. GİRİŞ

TIG yöntemi, malzemenin yüzey özelliklerini geliştirmek için yapılan yüzey işlemlerinden olup, sert kaplama yöntemlerinden biridir [1].Günümüzde TIG yöntemi, yüksek yoğunluklu lazer ve termal spreyci yöntemleriyle orijinal kaplamalar ve malzeme üretiminde önemli gelişmeler sağlanmıştır [2-5]. TIG kaynak yöntemiyle yapılan kaplamaların kolay uygulanması ve ucuz olması benzer yöntemlere göre üstünlüğünü ortaya koymaktadır [6]. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesiyle elde edilen mikroyapıların korozyon ve aşınma dirençleri, alışlagelmiş yüzey işlem teknikleriyle elde edilenlere göre çok daha iyi olmaktadır [7, 8]. Bir tür alaşımlama tekniği olan TIG yöntemi; ilke olarak, uygun bileşime sahip alaşım toz veya toz karışımlarının alt tabaka malzemesinin yüzeyinde ark ısı etkisiyle eritilerek, kaplama katı oluşturulan bir yöntemdir. Ergime, hem ana malzemede ve hem de ilave metal ya da bileşik kaplama malzemesinde aynı anda gerçekleşir ve hızla katılarak, işlem bölgesinde kaplama malzemesi ile esas metal farklı bileşim ve özelliklerde katı eriyik ya da bileşik oluşturarak birbirlerine bağlanır [9-11]. Hızla katılan ince taneli mikro yapıların sert karbür fazlarını içerdiği bilinmektedir [12].

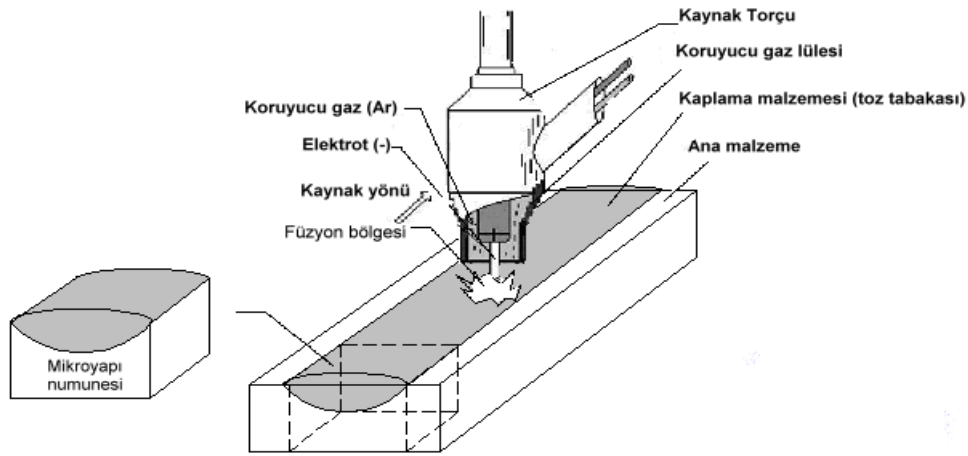
Guo ve arkadaşları [13], düşük karbonlu Q235 çeliğine SiC partiküllerini plazma eritme enjeksiyonu yöntemiyle geçiştirerek sertlik ve aşınma direncinde önemli gelişmeler elde etmişlerdir. Woldan ve arkadaşları [14], sade karbonlu bir çeliği lazer kullanarak SiC tozu ile alaşımlandırarak mikroyapıda kalıntı ostenit ve martenzit elde etmişlerdir. Thawari ve arkadaşları [15], lazerle yüzey alaşımlandırma tekniğini kullanarak SiC partikülleri ile orta karbonlu bir çeliğin yüzey özelliklerini geliştirip 1100–1200 HV sertlik değerleri elde etmiş ve yüzeyin aşınma direncini arttırmışlardır. Cheng ve arkadaşları [16], paslanmaz çelik yüzeyinde altı farklı seramik tozuyla çalışmışlardır. Bunların arasında yer alan SiC ile de kaviteyonlu erozyon direncinde artış elde etmişlerdir. Farklı malzemeler ve tozlarla benzer yöntemler olan TIG, lazer ve plazma transferli ark (PTA) yöntemleri kullanılarak yapılmış çalışmalarda elde edilen mikroyapıların sertlik, aşınma direnci ve korozyon özelliklerini geliştirdiği ayrıca çeşitli uygulama alanları olduğu da belirtilmektedir [17-21].

Mevcut çalışmada, AISI 4140 çeliğinin yüzeyi bir gaz tungsten ark (TIG) torcu kullanılarak farklı üretim parametrelerinde silisyum karbür ve grafit tozları ile modifiye edilmiştir. Üretim

parametrelerinin değiştirilmesiyle elde edilecek kaplama tabakalarının mikroyapı ve mikrosertlik incelemeleri sonucunda uygun üretim parametrelerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

II. DENEYSEL YÖNTEM

Deneylerde, TIG yöntemiyle 100x20x10 mm boyutlarındaki AISI 4140 çeliğine farklı toz yedirme değerlerinde SiC/C alaşım tozları yüzeysel geçirilmiştir. Deneylerde kullanılan malzeme ve tozun kimyasal analizleri Çizelge 1’ de ve üretim parametreleri ise Çizelge 2’ de verilmiştir. TIG yönteminin prensip şeması ve mikroyapı için numune alınması, Şekil 1’ de görülmektedir.

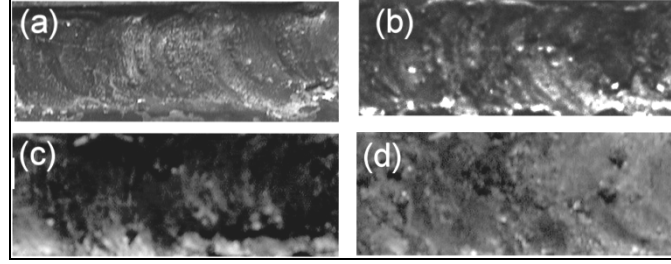


Şekil 1. Gaz tungsten ark (TIG) yönteminin uygulanışı ve mikroyapı numunesi üretimi.

İşlem 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 [22, 23]. Ark; 2,4 mm çapa sahip % 2 toryumlu tungsten elektrot ile, 11 l/dak debili argon gaz atmosferi altında 26,9-37,3 kJ/cm enerji girdisi ile üretilerek, malzeme yüzeyinde 1,9-3,6 mm derinliğinde bir modifikasyon katmanı elde edilmiştir (Şekil 2).

Çizelge 1. Yüzey alaşımlama için kullanılan SiC ve AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimleri

| Alaşım elementi (% ağırlık) | | | | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Cr | Si | C | Mo | Mn | Fe |
| AISI 4140 | 0.915 | 0.211 | 0.391 | 0.184 | 0.938 | 96.89 |
| Alaşım tozları | SiC (% 99 saflıkta) | | | | | |
| | C-Grafit tozu (% 99.5 saflıkta) | | | | | |

**(a)** $V=0.0581$ cm/s **(b)** $V=0.0545$ cm/s **(c)** $V=0.045$ cm/s **(d)** $V=0.0419$ cm/s**Şekil 2.** Farklı üretim hızlarında TIG yöntemiyle yüzey modifikasyonu yapılan

AISI 4140 çeliğinin makro üst yüzey görüntüleri.

Çizelge 2. Üretim parametreleri

| Numune No | Akım Şiddeti I (A) | Üretim Hızı V (cm/sn) | Kaynak Dikiş Boyu / İşlem Süresi (cm/sn) | *Enerji girdisi (kJ/cm) | Katılan (SiC, C) Toz Ağırlığı (gr) |
|-----------|--------------------|-----------------------|--|-------------------------|------------------------------------|
| TIG1 | 120 | 0.0581 | 9/155 | 26,9 | 0.5/0.2 |
| TIG2 | | 0.0545 | 9/165 | 28,6 | 1/0.2 |
| TIG3 | | 0.0450 | 9/200 | 34,7 | 1.5/0.2 |
| TIG4 | | 0.0419 | 9/215 | 37,3 | 2/0.2 |

*Enerji girdisi $Q = \eta \cdot U \cdot I / (V \cdot 1000)$ (kJ/cm); U: gerilim(V), I: akım (A), V: üretim hızı (cm/sn), η : verimlilik katsayısı (TIG yöntemi için = 0.65).

Metalografik incelemeler için numunelerin kaplama veya işlem yönlerine dik bölgelerinden kesitler alınmıştır (Şekil 1). Bu numunelerin 400-1200 gritlik zımparalar kullanılarak yüzeyleri temizlenip, zımparalanarak parlatılmıştır. Bu işlem sonrasında parça kesit yüzeyleri 3 ve 1 μm 'lik elmas pasta ve inceltici yardımıyla parlatılmıştır. Numunelere; 25 gr FeCl_3 + 25 ml HCl

+ 100 ml H₂O ve 15 gr FeCl₃+ 30 ml HCl + 100 ml H₂O bileşimine sahip çözeltiler kullanılarak, dağlama işlemleri yapılmıştır. Dağlama işleminden önce ve sonra numuneler saf alkolle silinerek temizlenmiştir. Tüm numuneler Nikon-Eclipse L150 marka görüntü alma sisteminde optik mikroskopla incelenmiştir. TIG alaşımlı numunelerin mikroyapı ve element analizleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM- ZEISS SUPRATM 50 VP), elektron dağılımlı spektroskopisi (EDS), elektron dağılımlı x-ray (EDX-Leo Evo 40VP Taramalı Elektron Mikroskobu ve Röntec Xflash dedektöre sahip Quantax Mikroanaliz sistemi), x-ışını kırınımı (XRD) ve spektral analizle gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri, Rigaku MiniFlex marka bakır x ışını tüpüne sahip bir cihazda 1,544 Å dalga boyunda Cu-K x-ışınları ile 30 kV ve 15 mA'de gerçekleştirilmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri Future-tech FM-700 marka mikrosertlik cihazında Vickers tekniğiyle elmas uç kullanılarak 50 gram yük altında 10 saniye sürede gerçekleştirilmiştir. Tüm numunelerde yüzeyden ana malzemeye doğru bir çizgi boyunca sertlik ölçümü yapılmıştır. Numunelerin yüzeylerine paralel yönde ölçümler de alınmıştır.

III. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

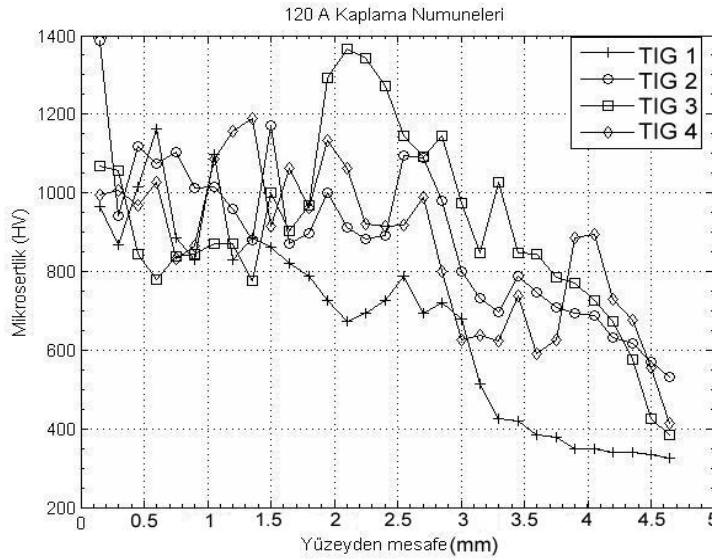
III.1. Mikrosertlik

Çizelge 3. Yüzeysel alaşımlandırma yapılmış numunelerin sertlik değerleri

| Numune No | Sertlik (HV) | Maks. Sertlik (HV) | Kaplama Ölçüleri | | |
|--|--------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------|
| | | | A ₁ * (mm) | A ₂ * (mm) | Nüfuziyet* |
| İşlemsiz | 215±11 | 226 | | | |
| TIG1 | 903±125 | 1163 | 1,91 | 1,01 | 0,65 |
| TIG2 | 990±161 | 1386 | 2,51 | 1,32 | 0,66 |
| TIG3 | 1015±181 | 1366 | 3,44 | 1,42 | 0,71 |
| TIG4 | 965±165 | 1199 | 3,59 | 1,33 | 0,73 |
| A ₁ : Yayınan kısım (mm), A ₂ : Kaplama üstü (mm), Nüfuziyet = A ₁ / (A ₁ + A ₂) | | | | | |

SiC/C tozlarıyla yüzey alaşımlandırma yapılan TIG 1-4 numunelerinin yüzeylerinden alınan sertlik değerlerinin değişimi Çizelge 3'de verilmiştir. Aynı numunelerin yüzeyden 0.1 mm derinlikten başlanarak alt tabakaya doğru belirli mesafelerde alınan sertlik değerleri ise Şekil 3' de verilmiştir. 120 A akım şiddetinde dört farklı toz yedirme miktarında TIG kaplama yapılan

numunelerin mikrosertlik dağılımları 800-1400 HV arasında değişme göstermektedir. TIG 2 numunesinde, başlangıçta 1400 HV olarak elde edilen yüksek mikrosertlik değeri, ölçüm esnasında ölçüm yapılan noktanın sert M_7C_3 karbürüne denk gelmesi nedeniyle olmuştur. TIG 3 numunesinin geçiş bölgesinde, oluşan karbürlerin yoğunlaşması ve ölçümlerin yine bu sert karbür fazlarından alınarak yapılmış olması nedenleriyle, ara bölgedeki sertlik değeri diğer numunelerden daha fazla ve yaklaşık 1400 HV dolaylarına kadar yükselmiş; daha sonra diğer numunelerde olduğu gibi mikrosertlik değeri ani düşüş göstermiştir. Özellikle M_3C karbürlerinin sitokiyometrilerinin çok çeşitlilik göstermesi sertlik değerlerinin de değişmesine neden olmaktadır. Bu yapıların sertlikleri krom içeriğine bağlı olarak 1060-1240 HV arasında değişim gösterebilmektedir [24]. Oluşan kaplama katlarının derinliklerinin farklı oluşu ve ara bölgede metallerarası bileşiklerin oluşup oluşmama durumuna göre mikrosertlik değerleri birbirinden az çok farklı değerler vermiştir.



Şekil 3. SiC/C kaplanan numunelerin sertliğinin derinliğe göre değişimi.

III.2. Mikroyapı

TIG yöntemi kullanılarak modifiye edilen SiC/C içerikli katmanların mikroyapıları incelendiğinde, üretim parametrelerine bağlı olarak farklı bileşim ve oranlarda karbür ve faz içerdiği görülmüştür. Yüzey modifikasyonu sonrası SiC/C içeren katmanların yüzeylerinden 0.5 mm derinlikteki bölgeden alınan spektral analiz verileri Çizelge 4' de verilmiştir.

Çizelge 4. Si/C kaplanan numunelerin yüzeylerinden alınan spektral analiz sonuçları

| Numune Numarası | Alaşım elementi miktarı (%) | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | Cr | Mo | Fe |
| TIG1 | 1,494 | 2,965 | 0,765 | 0,913 | 0,181 | Kalan |
| TIG2 | 3,033 | 3,459 | 0,604 | 0,748 | 0,117 | Kalan |
| TIG3 | 2,532 | 3,895 | 0,786 | 0,884 | 0,122 | Kalan |
| TIG4 | 2,163 | 3,967 | 0,808 | 0,897 | 0,118 | Kalan |

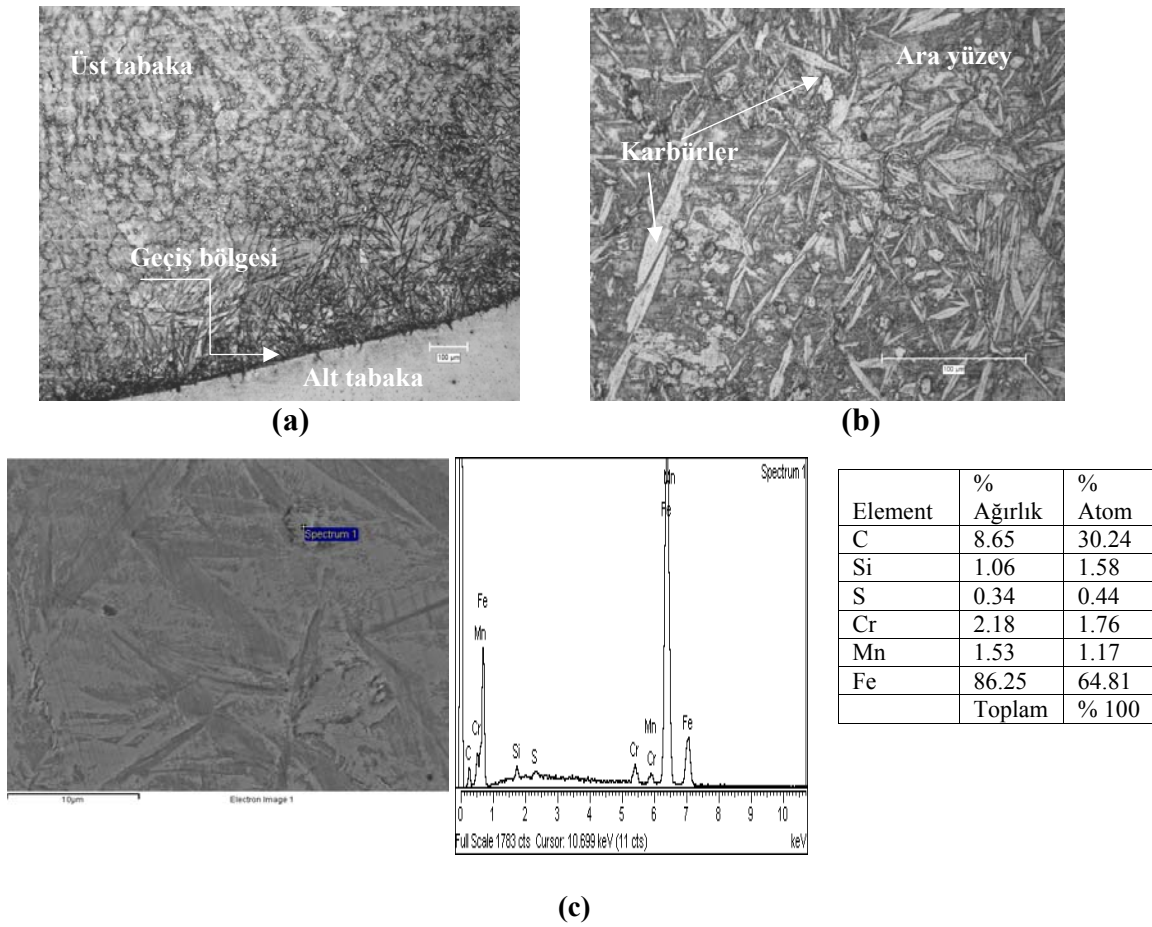
Enerji girdisi, toz yedirme oranı ve üretim hızı gibi üretim parametrelerinin değişmesiyle kompozit üst tabakanın kimyasal bileşiminin de değiştiği görülmüştür (Çizelge 4). Toz miktarı, enerji girdisi ve üretim hızının değişmesi, malzemenin mikroyapı ve mekanik davranışlarını değiştirdiği daha önceki çalışmalarda tespit edilmiştir. Bu sonuçlar farklı çalışmalarda da doğrulanmıştır [11, 25, 26]. Çizelge 4' de de görüldüğü gibi, malzeme yüzeyine yedirilen toz miktarının artmasıyla Si ve C elementlerinin yüzde oranları, işlemsiz AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimine göre (Çizelge 1) artmıştır. Üretim hızlarının ve modifiye edilen katmana verilen enerji girdilerinin değişmesiyle ergiyen alt tabaka ve yüzeye geçirilen toz miktarının değişmesi sonucunda farklı değerler elde edilmiştir. Bu değerlerin değişmesiyle alt tabakadan gelen alaşım elementleri ve yüzeye geçirilen toz farklı yapı ve bileşimde yeni bir kompozit bölge oluşturmuştur. Farklı üretim hızları sonucu farklı bileşimlerin elde edilmesinin katılma hızlarının farklılaşmasından kaynaklandığı da söylenebilir.

Şekil 4' de 0,0581 cm/s üretim hızında 0,5/0,2 g/s toz yedirme değerinde 26,9 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen TIG1 numunesinin silisyum karbür ve karbon tozlarıyla üretilen modifikasyon tabakasının mikroyapısı verilmiştir.

Optik mikroskop tarafından çekilen resimlerde ve yine EDS mikroyapı resimlerinde yuvarlak olarak görülen tanelerin noktasal analizleri, bu tanelerin esas itibarı ile Fe_2C ve M_3C ($M = Fe, Cr, Mn$) karbürlerinden oluştuğunu ve kaplama tabakası içerisinde bu tanelerin dengeli bir şekilde dağıldığı belirlenmiştir. Aynı bölgede yer alan çubuk şekilli yapının da yine Fe_2C karbürleri olduğu; krom, manganez ve molibden elementlerinin bu karbür bileşiği içerisinde çözüldükleri, bunlardan karbür oluşumuna yatkın olan krom ve molibden elementlerinin kendi karbürlerini oluşturmadan ara bölgede eriyerek çözüldükleri sonucuna ulaşılmıştır.

Doğrudan kaplama katı üzerinden alınan EDX analizinden; yüzeydeki kaplama katının tamamına yakınının Fe_3C ve az bir kısmının da SiC karbürlerinden oluştuğu, yüzeyin oluşan metal karbürlerin sertleşme etkisiyle martenzit sertliğine ulaştığı ve hatta kısmen bu sertlik değerinin daha da üstüne çıktığı belirlenmiştir. Bunun da yüksek üretim hızı ve az toz yedirme

oranında hızla katılaşma ve soğuma etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Alınan analiz ölçümleri, az oranda silisyumun kaplama katından matrise geçtiğini, bu az orandaki silisyum geçişmesine de, kaplama esnasında enerji girdisinin SiC oranının bu işlemde azlığı ile açıklanabilir. Ayrıca incelenen matris bölgesinde yer yer M_7C_3 karbürlerinin de oluştuğu ve bu karbürlerin içerisinde silisyum elementinin çözündüğü görülmüştür. Optik mikroskop altında çekilen resimlerden, kaplama katında bulunan karbon ve silisyum elementlerinin matrise doğru, az oranda olsa da yayındığı; bu bölgenin ara sınırındaki matris/kaplama katı arasındaki bağı güçlendirdiği; ancak ara geçiş bölgesinin dar olması nedeniyle, bağı çok kuvvetli olmadığı, darbe etkilerine karşı iyi bir dayanım göstermeyeceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ara tabakaya yakın bölgelerde çita şekilli martenzitik yapının oluşması da, kaplamada darbe dayanımını düşüren önemli bir etken olmaktadır.

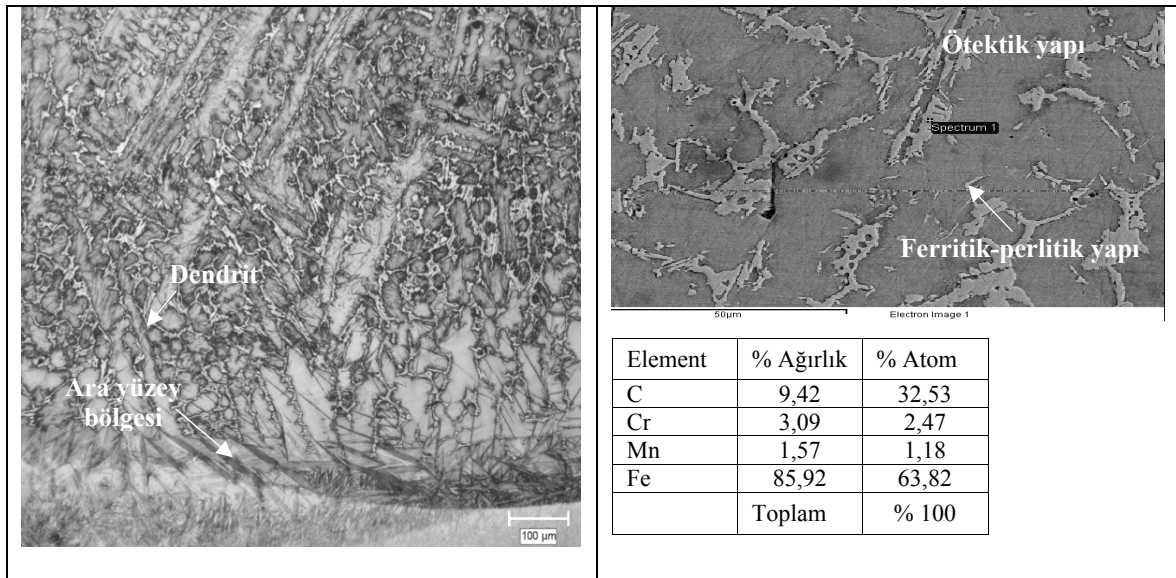


Şekil 4. TIG1 numunesinin mikroyapısı

(a) Üst tabaka, (b) Ara yüzey, (c) SEM görüntüsü ve EDS analizi.

Şekil 5.'de 0,55 mm/s üretim hızında ve 1/0,2 gr. SiC/C toz yedirme değerinde, 28,6 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen 2 nolu numunenin modifikasyon sonrasında oluşan mikroyapısı verilmiştir.

Mikroyapı yönünden 2 nolu numune, diğer numunelere göre farklı bir mikroyapı sergilemiştir. Kaplanan malzemenin optik mikroskop ve EDX analizlerinin ve mikroyapı fotoğraflarının incelenmesinde; kaplama yüzeyine doğru yönelmiş dendritlerin olduğu, ara bölgede ötektik oluşumlu ikincil fazların bulunduğu, kaplama ara bölgesinde ferritin hakim olduğu ferritik-perlitik faz yapılarının yer aldığı görülmüştür. Ötektik oluşumlu yapı, dendritik oluşumlu kaplama üst katı ile kaplanan ferritik-perlitik oluşumlu alt tabakayı sınırlayan iki tabaka arasında, geniş bir alanda görülmektedir. Bu bölgede SiC ve C tozlarının tamamen çözüldükleri ve katılarak ötektik oluşumlu bölgeyi meydana getirdikleri görülmektedir. Kaplama katı-ana metal arasındaki geçiş bölgesinden alınan EDS analizinden; ara bölgede oluşan yapının içerdiği demirin bir kısmının sementit (Fe_3C) şeklinde bağlı olduğu, sementitin bünyesinde az miktarda silisyumu çözüldüğü ve bir kısım demirin de ferrit olarak bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır.



(a)

(b)

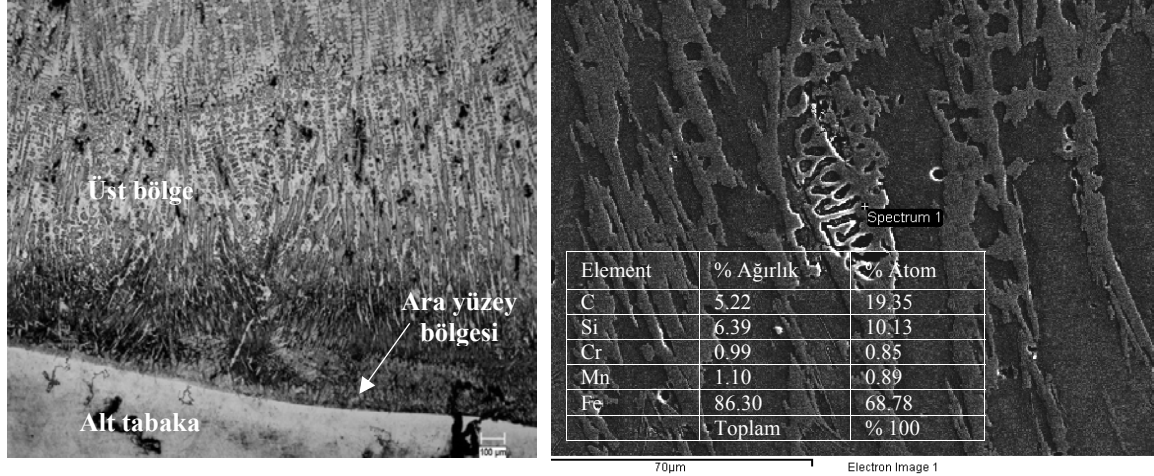
Şekil 5. TIG 2 numunesinin mikroyapısı (a) Üst tabaka, (b) SEM görüntüsü ve EDS analizi

Ötektik oluşumlu bölgenin EDS analizine göre; yine bu bölgede de sementit oluşmuş, sementit bünyesinde daha yüksek oranda silisyum eritmiş; demir içeriğinin azalması ile bölgede ferrit oluşumu azalmıştır. Diğer yandan ötektik oluşumlu bölgenin miktarca daha çok olan kısmını silisyumca zengin M_3C fazı oluştururken; bu fazla birlikte aynı bölgede, bünyesinde az oranda krom ve manganez çözüdüren M_7C_3 karbür fazı oluşmuştur. EDX analizi ile de tüm bu oluşumlar doğrulanmıştır.

Şekil 6.'da 0,45 mm/s üretim hızında ve 1,5/0,2 gr. SiC/C toz yedirme değerinde 34,7 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen 3 nolu numunenin modifikasyon sonrasında oluşan mikroyapısı verilmiştir. Enerji girdisi ve toz yedirme miktarı artırılarak yapılan bu kaplama işleminde; ara geçiş bölgesine kadar olan tüm kaplanan yüzeyde içten dışa doğru yönelmiş dendritlerin oluştuğu ve bu dendritlerin kaplamanın üst yüzey bölgesinde iyice sıklaştığı ve yoğunlaştığı, alt bölgede ise seyrekleştiği ve tanelerin irileştiği görülmüştür. Kaplama tabakasının ana malzemeye birleştiği bölümde, dendritik oluşum hemen hemen tamamen kaybolmakta ve dendritlerin son bulduğu noktadan itibaren ana kütleyle yakın oluşumda bir yapı meydana gelmektedir. Kaplama bölgesinin bazı noktalarında dendritler arasına yerleşmiş ve henüz çözünmemiş, az oranda metal karbür bulduran demir, krom ve silisyum içeren grafit tanelerinin varlığı dikkat çekmektedir (Atomsal olarak % 81,9 C, % 15,8 Fe, % 1 Si, % 1,07 Cr). Enerji girdisinin artışıyla; bu numunenin üst kaplama bölge yapısının görüldüğü alan büyümüş ve hızlı soğutmaya bağlı dendrit oluşumu, düzlemsel görünüme sahip olan bir ara bölgeye kadar uzanmıştır. Mikroyapıda geniş dendritik, dar ana kütleyle andıran bölge ve kaplanan malzemenin orijinal yapısına sahip bölge olmak üzere üç farklı bölge yer almaktadır. Keskin bir sınırla ayrılmış düzlemsel yapıdaki kaplama sınırı, buradan yüzeye yönelmiş dendritler ve en üstte ise ince C ve Si içeriği fazla olan ayrı bir tabaka görülmektedir. Matris Fe, Si ve C yönünden zengin bir ötektik yapı gösterirken, dendritlerde ise C ve Si miktarı düşük çıkmıştır. Yapıda ayrıca dendrit sınırlarında Fe_3C gözükmemektedir.

Bu numunede dendrit üzerinden alınan sertlik değerleri incelendiğinde; arada yer alan dendrit geçiş bölgesinin sertliğinin hem kaplanan ana malzemedeki ve hem de dış yüzey sertliğinden de yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Dendritlerin dallandığı iç kısımda, dendritik yapıyı oluşturan fazın esas itibarı ile demir-silisyum-karbon içerdiği; dendritler arasında kalan bölgenin ise, demir-krom-silisyum dışında yüksek oranda vanadyum ve molibden bulundurduğu; tüm bu

elementlerin öncelikle M_3C karbürünü oluşturduğu, dendritler arasındaki bölgede de M_3C karbürü dışında muhtemelen sertliği daha da artırıcı V_4C_3 , MoC ve Mo_2C sert karbürlerinin de meydana geldiği ve bunun da sertliği daha da artırdığı düşünülmektedir.



(a)

(b)

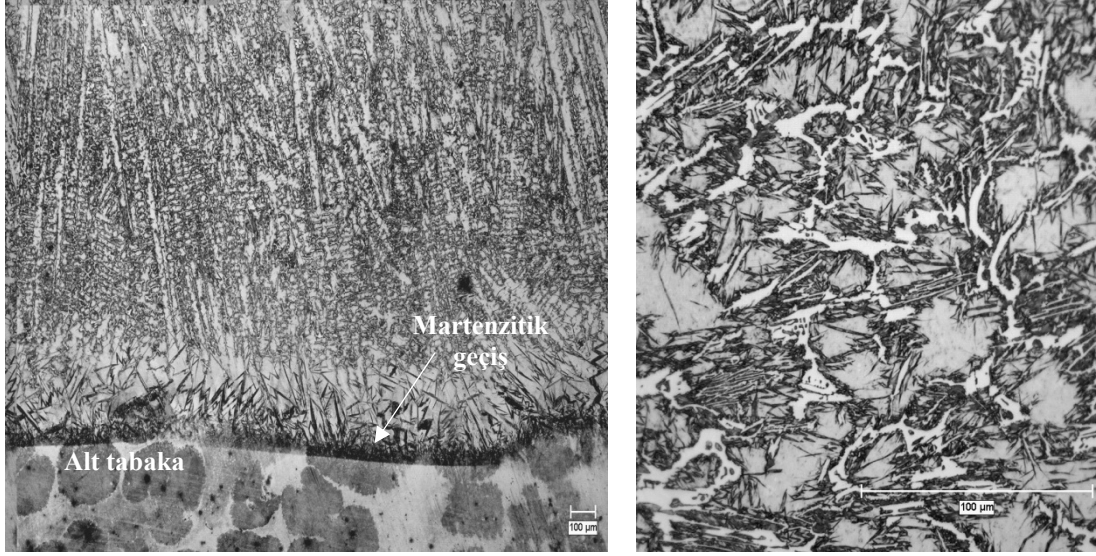
Şekil 6. TIG yöntemiyle üretilen TIG3 numunesinin mikroyapısı

(a) Üst tabaka, (b) Üst tabakada oluşan ötektik karbür.

Şekil 7.'de 0,42 mm/s üretim hızında ve 2/0,2 gr. SiC/C toz yedirme değerinde, 37,3 kJ/cm enerji girdisi ile üretilen 4 nolu numunenin modifikasyonu sonrasında oluşan mikroyapı verilmiştir. SiC miktarının ve enerji girdisinin artırıldığı bu bölgede de yine farklı yapı oluşumuna sahip 3 bölge yer almaktadır. Kaplama tabakasının 1000 μm kalınlığındaki üst yüzey bölgesinde uzun oluşumlu az dallanmış dendritler, kaplama tabakasının 1800 μm kalınlığındaki orta bölgesinde çok dallı dendritlerin oluşturduğu bölge ve kaplama alt tabakasında ~ 750 μm kalınlığında sert martenzitik geçiş bölgesi bulunmaktadır. Dendritik oluşumun görüldüğü bölgede, kollar arası kısmen çözünmeden kalan grafitin varlığı söz konusudur. Buradan da, toz yedirme miktarının artması, verilen enerji girdisinin oran itibarı ile azaldığını göstermektedir. Orta bölge yer yer ötektik oluşum gösteren dendritlerden ve alt tabaka ise martenzitik katılmış kısmen kolonlu tanelerden oluşmaktadır. Bu oluşuma; üretim hızının nispeten küçük olması, bu bölgede ısı akış yoğunluğunun fazla olması ve buna bağlı hızlı katılma neden olmuştur. TIG 4

numunesinde mikroyapılar XRD analiziyle desteklenmiştir (Şekil 8.). Benzer yapıların varlığı diğer numunelerde de görülmüştür.

Toz yedirme miktarı ve enerji girdisinin yüksek olduğu 4 nolu numunede, ayrıca diğer numunelerden farklı olarak kaplama tabakasından kaplanan ana malzemeye doğru silisyum ve karbon elementlerinin yayındıkları ve ara bölge sınırında birikerek burada görünür bir etki ve yapısal değişikliğe yol açtıkları dikkat çekmektedir.

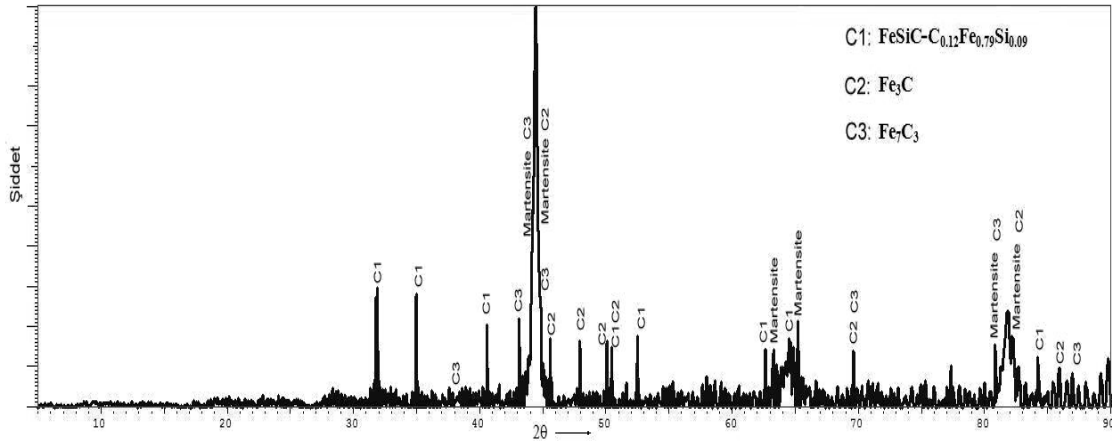


(a)

(b)

Şekil 7. TIG yöntemiyle üretilen 4 numunesinin mikroyapısı

(a) Üst tabaka, (b) Üst tabakada meydana gelen ötektik karbürler.



Şekil 8. TIG 4 numunesinin XRD grafiği.

IV. GENEL SONUÇLAR

AISI 4140 çeliğinin SiC/C tozları kullanılarak yapılan yüzeysel işleme sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Farklı üretim parametrelerinde SiC/C tozlarıyla modifiye edilen malzemenin mikroyapısında farklı biçim ve oranlarda faz ve karbürlere rastlanılmıştır. Bunlar, üretim hızına ve buna bağlı olarak enerji girdisinin değişimine göre mikroyapı içinde oluşmuş Fe_3C , M_3C , Fe_2C , Fe_7C_3 , M_7C_3 , karbürleriyle birlikte ferrit, perlit ve martenzit fazlarıdır.
2. Tüm numunelerde yüzeysel sertliği ana malzemeye göre büyük oranda artmıştır. En yüksek sertlik değeri, 28,6 kJ/cm enerji girdisi ve 1/0,2 gr. SiC/C toz yedirme değerlerinde işlem yapılan TIG14 numunesinde 1386 HV olarak elde edilmiştir.
3. Matris içerisinde çözünen silisyum bu bölgedeki sertliği büyük oranda arttırmıştır.
4. Bu tür kaplama veya yüzeysel sertleştirme yöntemlerinde mikroyapı-aşınma ilişkisi incelemeye değer bulunmuştur.

VI. KAYNAKLAR

- [1] ASM Handbook committee, *ASM handbook Volume 4 Heat treating*, ASM International, pdf version, 2002.
- [2] S. Buytoz, M. Ulutan, M. M. Yildirim, "Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings", *Applied Surface Science*, Vol. 252, Iss. 5, pp. 1313-1323, 2005.
- [3] S. Buytoz and M. Ulutan, "In situ synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 200, No. 12-13, pp. 3698-3704, 2006.
- [4] Q. Li, G.M. Song, Y.Z. Zhang, T.C. Lei, W.Z. Chen, "Microstructure and dry sliding wear behavior of laser clad Ni-based alloy coating with the addition of SiC", *Wear*, Vol. 254, pp. 222-229, 2003.

- [5] E. Gemelli, A. Gallerie, F. C. T. Kopp, N. H. A. Camargo, "Improved surface properties of D2 steel by laser surface alloying", *Journal of Materials Science*, Vol. 40, pp.5649–5653, 2005.
- [6] I.R. Pashby, S. Barnes, B.G. Bryden, "Surface hardening of steel using a high power diode laser", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 139, pp. 585–588, 2003.
- [7] M. M. Yildirim, S. Buytoz, M. Ulutan, "Microstructural Changes to SiC Coated Metallic Surfaces Produced by the TIG Welding Process on a 45Mn5 Steel", *Prakt. Metallogr.*, Vol. 44 (2), 59-69, 2007.
- [8] X. Wu and G. Chen, "Nonequilibrium microstructures and their evolution in a Fe–Cr–W–Ni–C laser clad coating", *Materials Science and Engineering*, A270, pp. 183–189, (1999)
- [9] J. Khedkar, A.S. Khanna, K.M. Gupt, "Tribological behaviour of plasma and laser coated steels", *Wear*, Vol.205, pp.220-227, 1997.
- [10] A. Hidouci, J.M. Pelletier, F. Ducoin, D. Dezert, R. Guerjouma, "Microstructural and mechanical characteristics of laser coatings", *Surface and Coatings Technology*, Vol.123, pp.17-23, 2000.
- [11] M.H. Korkut, O. Yilmaz, S. Buytoz, "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.
- [12] S. Mridha, H.S. Ong, L.S. Poh, P. Cheang, "Intermetallic coating produced by TIG surface melting", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.113, pp.516-520, 2001.
- [13] M. Guo, A. Liu, M. Zhao, H. Hu, Z. Wang, "Microstructure and wear resistance of low carbon steel surface strengthened by plasma melt injection of SiC particles", *Surface & Coatings Technology*, Vol. 202, pp. 4041–4046, 2008.
- [14] A. Woldan, J.Kusinski, E. Tasak, "The microstructure of plain carbon steel laser-alloyed with silicon carbide", *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 81, pp. 507–509, 2003.
- [15] G. Thawari, G. Sundararajan, S.V. Joshi, "Laser surface alloying of medium carbon steel with SiC_p", *Thin Solid Films*, Vol. 423, pp. 41–53, 2003.
- [16] F.T. Cheng, C.T. Kwok, H.C. Man, "Laser surfacing of S31603 stainless steel with engineering ceramics for cavitation erosion resistance", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 139, pp. 14-24, 2001.

- [17] Y.C. Lin , S.W. Wang, Wear behavior of ceramic powder cladding on an S50C steel surface”, *Tribology International*, Vol. 36, pp. 1–9, 2003.
- [18] L. Bourithis, G. Papadimitriou, “Boriding a plain carbon steel with the plasma transferred arc process using boron and chromium diboride powders: microstructure and wear properties”, *Materials Letters*, Vol. 57, pp. 1835– 1839, 2003.
- [19] X. Wu, “Rapidly solidified nonequilibrium microstructure and phase transformation of laser-synthesized iron-based alloy coating”, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 115, pp. 153–162, 1999.
- [20] J.R. Weng, J.T. Chang, K.C. Chen, J.L. He, “Solid/liquid erosion behavior of gas tungsten arc welded TiNi overlay”, *Wear*, 255, pp. 219–224, 2003.
- [21] M. Eroglu and S. Onalp, “Tungsten inert gas surface modification of SAE 4140 steel”, *Materials Science and Technology*, Vol. 18, pp. 1544-1550, 2002.
- [22] M. Eroglu and N. Ozdemir, “Tungsten-inert gas surface alloying of a low carbon steel”, *Surface and Coatings Technology*, Vol. 154, pp. 209–217, 2002.
- [23] J. D. Majumdar, B. R. Chandra, A. K. Nath and I. Manna, “Laser composite surfacing of stainless steel with SiC”, *Phys. Stat. Sol. (a)*, pp. 1–6, 2006.
- [24] J. A. Pero-Sanz, D. Plaza, J. I. Verdeja and J. Asensio, “Metallographic Characterization of Hypoeutectic Martensitic White Cast Irons: Fe-C-Cr System”, *Materials Characterization*, Vol. 43, pp. 33–39, 1999.
- [25] S. Buytoz, “Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel”, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 200, pp. 3734– 3742, 2006.
- [26] M. Ulutan, “AISI 4140 çeliğinin yüzeği sertleştirme işlemleri ve kaplama yöntemleri sonrası mekanik davranışlarının araştırılması”, Doktora tezi, , Eskişehir Osmangazi Üniv. FBE., 2007.