Technological Applied Sciences Status : Research Article
ISSN: 1308 7258 Received: 14.03.2026
Article ID: 2A0216 Accepted: 25.07.2026

İhsan Kırık
Bingöl University, alihsankirik@gmail.com, Bingöl-Türkiye
Anıl İmak
Bingöl University, aimak@bingol.edu.tr, Bingöl-Türkiye
Musa Kılıç
Batman University, musa.kilic@batman.edu.tr, Batman-Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2026.21.3.2A0216		
ORCID ID	0000-0002-8361-319X	0000-0001-6091-1584	0000-0001-5808-6917
Corresponding Author	Anıl İmak		

GRAFİT VE TiC İLE KAPLANAN PASLANMAZ ÇELİK İLE ORTA KARBONLU ÇELİKLERİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZ

Bu çalışmada, grafit ve titanyum karbür (TiC) toz kaplamalarının paslanmaz çelik ve orta karbonlu çelik altlıklar üzerindeki mikroyapısal ve mekanik etkileri incelenmiştir. Kaplama işlemleri sonrasında numunelerin mikroyapıları optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile analiz edilmiş, sertlik dirençleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, TiC kaplamalarının her iki çelik türünde de yüzey sertliğini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir ve aynı zamanda yüzey özelliklerini iyileştirmiştir. SEM ve optik mikroskop analizleri sonucunda, grafit ve TiC kaplı tüm numunelerde yoğun dendritik çekirdeklenme ile iç bölgelerde ötektik faz oluşumları belirlenmiştir. Dendrit-ötektik morfolojisinin kaplama tabakası boyunca süreklilik gösterdiği ve özellikle TiC kaplı numunelerde daha ince ve sık dendrit kollarının geliştiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz Çelik, Orta Karbonlu Çelik, TiC Kaplama, Grafit Kaplama, Mikroyapı

COMPARISON OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STAINLESS STEELS AND MEDIUM-CARBON STEELS COATED WITH GRAPHITE AND TiC

ABSTRACT

In this study, the microstructural and mechanical effects of graphite and titanium carbide (TiC) powder coatings on stainless steel and medium-carbon steel substrates were investigated. Following the coating processes, the microstructures of the samples were analyzed using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM), and their hardness values were determined. The results indicated that TiC coatings significantly increased the surface hardness of both steel types and improved their surface properties. SEM and optical microscopy analyses revealed dense dendritic nucleation and the formation of eutectic phases in the interior regions of all graphite- and TiC-coated samples. It was observed that the dendrite-eutectic morphology remained continuous throughout the coating layer and that finer, more closely spaced dendrite arms developed, particularly in the TiC-coated samples.

Keywords: Stainless Steel, Medium-Carbon Steel, TiC Coating, Graphite Coating, Microstructure

How to Cite:
Kırık, İ., İmak, A., ve Kılıç, M., (2026). Grafit ve TiC ile kaplanan paslanmaz çelik ile orta karbonlu çeliklerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması. Technological Applied Sciences, 21(3):40-, DOI: 10.12739/NWSA.2026.21.3.2A0216.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zorlu mekanik ve tribolojik koşullara dayanabilen mühendislik bileşenlerine yönelik artan talep, yapısal malzemelerin iç özelliklerini değiştirmeden yüzey performansını iyileştirebilen ileri yüzey mühendisliği teknolojilerine duyulan ihtiyacı tetiklemiştir. Standart ticari alaşımlar arasında, AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ve AISI 1040 orta karbonlu çelik; mekanik dayanım, korozyon direnci, kaynaklanabilirlik ve maliyet etkinliği açısından sundukları elverişli denge sayesinde otomotiv, havacılık, petrokimya ve imalat sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, nispeten düşük yüzey sertlikleri ve aşınma dirençleri; sürekli sürtünme, aşındırıcı etki ve yüksek temas gerilmeleri içeren uygulamalarda kullanım ömürlerini sınırlamaktadır. Sonuç olarak, önemli araştırmalar, bu çeliklerin kendine has mekanik özelliklerini korurken tribolojik davranışlarını iyileştiren yüzey modifikasyon stratejileri geliştirmeye odaklanmıştır. Bu bağlamda, seramik takviyeler ve katı yağlayıcılar, çok işlevli yüzey kaplamaları için umut verici seçenekler olarak öne çıkmıştır.

TiC olağanüstü sertliği, yüksek erime noktası, mükemmel kimyasal kararlılığı ve üstün aşınma performansı sayesinde yük taşıma kapasitesini ve aşınma direncini artırmada etkili bir takviye malzemesi olarak kabul edilmektedir. Öte yandan grafit, kuru kayma koşullarında sürtünmeyi ve yapışmalı aşınmayı önemli ölçüde azaltan lameller kristal yapısı sayesinde üstün katı yağlama özellikleri sergiler. Bu nedenle, TiC ve grafitin birleştirilmesinin; sertliği artıran, sürtünmeyi azaltan ve aşınma direncini iyileştiren kompozit kaplamalar sağlaması beklenmektedir.

Kılıç [1] çalışmasında kaplama mikroyapısı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla, alaşımlı bir çelik yüzeyi farklı sıcaklıklarda (900, 1000 ve 1100°C) ve sürelerde (1, 2 ve 3 saat) TiC tozu ile termal difüzyon yöntemiyle kaplanmıştır. TiC'nin altlık yüzeyine difüzyonu sonucunda, son derece sert ve koruyucu bir katman oluşumunu gözlemlemiştir. Buytoz vd. [2] Tungsten İnert Gaz (TIG) yöntemi kullanılarak Ni esaslı bir matrise TiC ilavesiyle metal matrisli bir kompozit üretmek ve bunun aşınma performansını ölçmektir. NiCrBSi alaşım tozlarına TiC tozu ilave edilmiştir. Yapıdaki sert karbür ve borürlerin, kaplama tabakalarının sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değerlerinde genel bir azalmaya yol açtığını belirtmişlerdir. Kılıç vd. [3] AISI 304 çeliği üzerine farklı oranlarda SiC takviyeli NiBSi ve NiBSi/SiC-X metal matrisli TIG kaplamalarının özelliklerini ve SiC takviye oranının kaplama tabakasının mikroyapısı, mikrosertliği ve aşınma özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır.

İmak [4] çalışmasında orta karbonlu AISI 1050 çeliğinin yüzeyinin, ark eritme yöntemi kullanılarak Ni-esaslı ve B_4C takviyeli tozlarla kaplanması incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde kaplama tabakasının AISI 1050 çeliğinin yüzey özelliklerini iyileştirdiği belirtilmiştir. TiC veya grafit tabanlı yüzey modifikasyonlarını ayrı ayrı inceleyen çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, bunların AISI 304 ve AISI 1040 çeliklerinin yüzey özellikleri üzerindeki birleşik etkisini değerlendiren kapsamlı araştırmalar sınırlı kalmıştır. Bu çalışma, AISI 304 ve AISI 1040 çelik altlıklar üzerine grafit ve TiC tozları kaplayıp ortaya çıkan mikroyapısal değişimi ve yüzey performansını sistematik olarak analiz ederek bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Nihayetinde bu çalışma, yüksek performanslı mühendislik uygulamalarına yönelik çok işlevli kompozit kaplamaların geliştirilmesine dair daha derinlemesine bilgiler sunmayı ve yaygın olarak kullanılan bu çeliklerin dayanıklılığını ve güvenilirliğini artırmaya yönelik süregelen çabaları desteklemeyi hedeflemektedir.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışma, grafit ve TiC toz kaplamaların farklı çelik altlıkların yüzey özellikleri ve mikroyapısal gelişimi üzerindeki etkilerini ortaya koyması açısından önem taşımaktadır. Özellikle TiC kaplamaların yüzey sertliğini belirgin biçimde artırması, bu kaplamaların aşınma direnci ve yüzey dayanımının iyileştirilmesine yönelik potansiyelini göstermektedir. Bununla birlikte, kaplama tabakalarında gözlenen dendritik çekirdeklenme ve ötektik faz oluşumlarının incelenmesi, kaplama sırasında gerçekleşen katılaşma mekanizmalarının ve mikroyapı–mekanik özellik ilişkisinin anlaşılmasına katkı sağlamaktadır. TiC kaplı numunelerde daha ince ve sık dendrit kollarının oluşması, mikroyapının kontrol edilmesi yoluyla yüzey özelliklerinin geliştirilebileceğine işaret etmektedir. Bu yönleriyle çalışma, çelik yüzeylerin mekanik performansının artırılmasına yönelik toz kaplama uygulamalarının geliştirilmesi ve farklı endüstriyel kullanım alanlarında daha dayanıklı yüzeylerin elde edilmesi açısından literatüre katkı sunmaktadır.

Önemli Noktalar (Highlights):

- TiC kaplamaların hem paslanmaz çelik hem de orta karbonlu çelik altlıkların yüzey sertliğini önemli ölçüde artırması, yüzey dayanımının geliştirilmesi açısından önemlidir.
- TiC kaplı numunelerde daha ince ve sık dendrit kollarının oluşması, kaplama tabakasının mikroyapısal özelliklerinin kontrol edilebildiğini ve bunun mekanik özelliklere olumlu katkı sağlayabileceğini göstermektedir.
- Dendritik–ötektik yapıların kaplama boyunca süreklilik göstermesi, grafit ve TiC kaplamaların çelik yüzeylerde bütünleşik ve dayanıklı bir mikroyapı oluşturabildiğini ortaya koymakta; bu durum özellikle aşınma ve yüzey dayanımının önemli olduğu mühendislik uygulamaları açısından önem taşımaktadır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL METHOD-PROCESS)

3.1. Altlık Malzemesi (AISI 1040 ve AISI 304) ve Numune Hazırlığı (Substrate Material (AISI 1040 and AISI 304) and Specimen Preparation)

Bu çalışmada altlık malzemesi olarak orta karbonlu çelik sınıfında yer alan AISI 1040 çeliği ve AISI 304 çeliği kullanılmıştır. Deney numuneleri 100mm × 20mm × 12mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Numunelerin yüzeyleri kaplama öncesinde dikey freze tezgâhında işlenerek temizlenmiş ve yüzey pürüzlülüğünün azaltılması sağlanmıştır. Kaplama malzemesinin yerleştirilebilmesi amacıyla numune yüzeylerine 8 mm genişliğinde ve 1 mm derinliğinde kanallar açılmıştır. Kanal açma işleminin ardından yüzeylerde oluşabilecek talaş, kir ve diğer kalıntıların uzaklaştırılması için numuneler temizlenmiş ve kaplama işlemine hazır hale getirilmiştir.

3.2. Kaplama Tozları (Coating Powders)

Kaplama işleminde ana seramik faz olarak ortalama 43µm partikül boyutuna sahip (TiC) tozu kullanılmıştır. TiC tozu ticari olarak temin edilmiş olup yüksek sertliği ve aşınma direnci nedeniyle tercih edilmiştir. Karbon katkısı amacıyla ise 325 mesh boyutunda grafit (C) tozu kullanılmıştır (Tablo 1). Kaplama karışımları, ana takviye fazı olarak kullanılan TiC tozuna farklı oranlarda grafit ilave edilmesiyle hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında saf TiC içeren referans kaplamanın yanı sıra, TiC matrisine ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında grafit ilave edilerek farklı bileşimlere sahip kompozit kaplamalar üretilmiştir. Karbon ilavesinin kaplama tabakasının katılaşma davranışı, mikroyapısal morfolojisi ve sertlik özellikleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amacıyla altı farklı kompozisyon deneysel olarak

değerlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan ve Tablo 2'de kimyasal bileşenleri verilen AISI 1040 ve AISI 304 çeliklerinin ve TiC ile karbon tozlarının karakteristik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 1. TiC ve Grafit tozlarının saflık ve partikül boyutu
(Table 1. Purity and particle size of TiC and graphite powders)

Toz	Saflık (%)	Ortalama Partikül Boyutu
TiC	≥99	43 µm
Grafit	≥99	325 mesh (≈44 µm altı)

Tablo 2. AISI 304 ve AISI 1040 çeliklerinin kimyasal bileşenleri
(Table 2. Chemical compositions of AISI 304 and AISI 1040 steels)

Malzeme	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
AISI 1040	0.37–0.44	0.60–0.90	0.15–0.35	–	–	≤0.04	≤0.05
AISI 304	≤0.08	≤2.00	≤1.00	18.0–20.0	8.0–10.5	≤0.045	≤0.03

Tablo 3. TiC ve Grafit tozları ile AISI 1040 ve AISI 304 çeliklerinin özellikleri
(Table 3. Properties of AISI 1040 and AISI 304 steels with TiC and graphite powders)

Özellik	TiC (Titanyum Karbür)	Grafit (Gr)	AISI 1040 Çeliği	AISI 304 Paslanmaz Çelik
Kimyasal Formül	TiC	C	Fe–0.40%C	Fe–18Cr–8Ni
Yoğunluk(g/cm³)	4.90–4.95	2.20–2.30	7.85	7.90–8.00
Erime Noktası(°C)	≈3160	≈3650 (süblimleşme)	1420–1460	1400–1450
Sertlik	2800–3200 HV	1–2 Mohs	170–220 HV	150–220 HV
Başlıca Kullanım Alanı	Sert Kaplamalar, Kesici Takımlar	Katı Yağlayıcı, Elektrot	Makine Parçaları, Miller	Kimya, Gıda, Medikal Ekipmanlar

3.3. Kaplama İşlemi (Coating Process)

Kaplama işleminde kullanılacak TiC ve TiC-Gr toz karışımları, homojen bir karışım elde edilmesi amacıyla etil alkol ile karıştırılarak bulamaç formuna getirilmiştir. Hazırlanan karışımlar, AISI 1040 çeliği yüzeyinde önceden oluşturulan kanallara yerleştirilmiştir. TIG kaplama işlemi sırasında koruyucu gaz akışının neden olabileceği toz kayıplarını önlemek ve tozların altlık yüzeye tutunmasını sağlamak amacıyla numuneler 40°C sıcaklıkta 1 saat süreyle kurutulmuştur. Kaplama işlemleri, Magmaweld Powered ID300TW marka AC/DC kaynak güç ünitesi kullanılarak TIG yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. İşlem sırasında 2.4mm çapında ve %2 toryum oksit (ThO_2) katkılı ergimeyen tungsten elektrot kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak 12L/dk debide argon gazı uygulanmıştır. Kaplama karışımlarında yer alan TiC ve grafit miktarları ağırlıkça yüzde (% ağ.) esasına göre hazırlanmıştır.

3.4. Metalografik Hazırlık ve Mikroyapısal Karakterizasyon (Metallographic Preparation and Microstructural Characterization)

Kaplama işlemi tamamlanan numuneler, mikroyapısal incelemeler için hassas kesme cihazı yardımıyla kaplama tabakasına dik doğrultuda kesilerek enine kesitler elde edilmiştir. Kesilen numuneler standart metalografik hazırlama prosedürüne uygun olarak sırasıyla 120, 240, 400, 600, 800 ve 1200 mesh SiC zımparalar kullanılarak zımparalanmıştır. Zımparalama işleminin ardından yüzeyler, 3µm ve 1µm tane boyutuna sahip elmas süspansiyonlar kullanılarak parlatılmış ve mikroyapısal incelemeler için uygun yüzey kalitesi elde edilmiştir. Parlatılan numuneler, mikroyapının ortaya çıkarılması amacıyla %3 Nital çözeltisi ile 5 saniye süreyle dağlanmıştır. Hazırlanan kesitlerin mikroyapısal

karakterizasyonu optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.5. Mikrosertlik Ölçümleri (Microhardness Measurements)

Kaplama tabakalarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla mikrosertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde AOB Marka Vickers mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Testler 50gf yük altında ve 10s bekletme süresi uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçlarının güvenilirliğini artırmak amacıyla her numunenin farklı bölgelerinden birden fazla ölçüm gerçekleştirilmiş ve elde edilen ölçüm değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır.

3.6. Mikroyapı ve Faz Oluşumu Açısından Beklentiler (Expectations Regarding Microstructure and Phase Formation)

Kaplama işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklık gradyenti ve hızlı katılaşma koşulları nedeniyle kaplama tabakalarında dendritik ve interdendritik bölgelerden oluşan karakteristik bir mikroyapının gelişmesi beklenmektedir. TiC partiküllerinin ergiyik havuz içerisinde çözünmesi ve yeniden çökelmesi sonucunda sert karbür fazlarının oluştuğu, grafit ilavesinin ise katılaşma davranışını etkileyerek ötektik yapı oluşumunu teşvik ettiği düşünülmektedir. Bu nedenle kaplama tabakalarında yoğun dendritik ve ötektik morfolojilerin oluşması beklenmekte olup, söz konusu yapıların sertlik ve aşınma direnci üzerinde belirleyici rol oynadığı değerlendirilmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

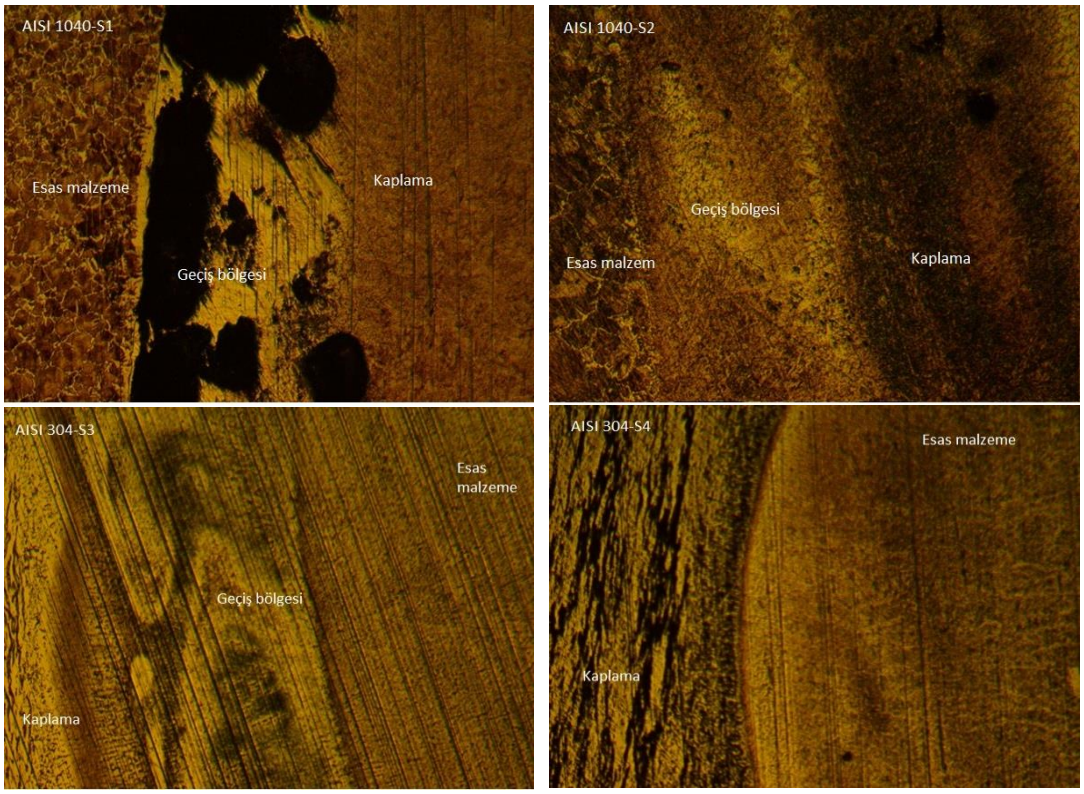
4.1. Optik Mikroskop Analizi (Optical Microscope Analysis)

Şekil 1'de TIG ergitme yöntemi kullanılarak grafit ve TiC tozları ile yüzey alaşımlandırması gerçekleştirilen AISI 1040 ve AISI 304 çeliklerinin optik mikroyapısı görülmektedir. Mikroyapı incelendiğinde ana metal, ısıdan etkilenen bölge (HAZ) ve ergime bölgesi olmak üzere üç karakteristik bölgenin oluştuğu açıkça gözlenmektedir. Ana metal bölgesi, AISI 1040 çeliğine özgü ferrit-perlit mikroyapısını korumaktadır. Bu bölgede açık tonlu ferrit fazları ile koyu tonlu perlit kolonileri birlikte bulunmakta olup, işlem öncesi malzemenin karakteristik yapısını temsil etmektedir. TIG işlemi sırasında uygulanan yüksek sıcaklığın etkisi, ana metalden kaplama tabakasına doğru ilerledikçe mikroyapıda belirgin değişimlere neden olmuştur. Ana metal ile kaplama tabakası arasında yer alan ısıdan etkilenen bölgede, malzeme tam olarak ergimemiş olmakla birlikte yüksek sıcaklık çevrimine maruz kalmıştır. Bu nedenle bölgede yeniden kristalleşme, faz dönüşümleri ve tane morfolojisinde değişimler meydana gelmiştir. Isıdan etkilenen bölge, mikroyapının kademeli olarak değiştiği bir geçiş zonu oluşturarak altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında metalurjik sürekliliğin sağlandığını göstermektedir. Ergitme bölgesi incelendiğinde, grafit ve TiC katkılarının mikroyapı üzerinde önemli bir rafine edici etkiye sahip olduğu görülmektedir. TIG arkı altında oluşan ergiyik havuzunda grafit tozlarından gelen karbonun matrise difüze olması sonucu karbonca zenginleşmiş bölgeler meydana gelmiştir. Bu durum, katılaşma sonrasında daha sert mikroyapısal bileşenlerin oluşumuna katkıda bulunmuştur. TiC parçacıkları ise yüksek termal kararlılıkları sayesinde katılaşma sırasında heterojen çekirdeklenme merkezleri olarak görev yapmış ve tane büyümesini sınırlandırmıştır. Bunun sonucunda kaplama bölgesinde ana metale kıyasla daha ince, daha homojen ve daha kompakt bir mikroyapı oluşmuştur.

Kaplama bölgesi boyunca gözlenen koyu renkli alanların, tam olarak çözünmeyen grafit kümeleri veya karbon bakımından zengin lokal bölgeler olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte TiC parçacıklarının çevresinde meydana gelen dağlama farklılıkları da bu kontrastın oluşmasına katkı

sağlamış olabilir. Mikroyapıda belirgin çatlakların görülmemesi ve ergime sınırının süreklilik göstermesi, uygulanan TIG parametrelerinin uygun seçildiğini ve kaplama tabakasının altlık malzemeye başarılı bir şekilde bağlandığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, grafit ve TiC takviyeli TIG yüzey alaşımlandırma işlemi sonucunda elde edilen ince taneli ve homojen mikroyapının, yüzey sertliği ve aşınma direncinde önemli iyileşmeler sağlayacağı öngörülmektedir. Özellikle TiC'nin tane inceltici etkisi ile grafitin karbon zenginleştirici rolünün birlikte çalışması, yüzey performansını artıran sinerjik bir mekanizma oluşturmuştur [5, 6 ve 7].



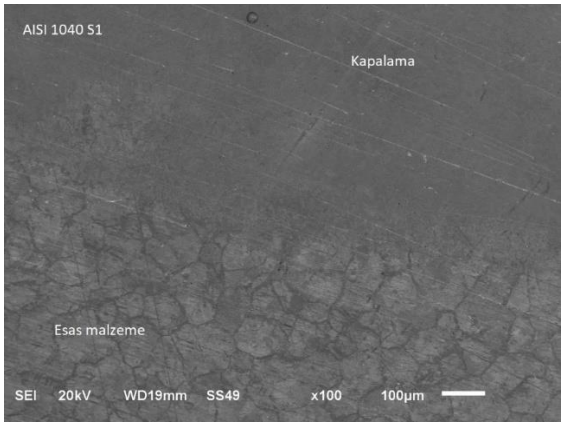
Şekil 1. AISI 1040 ve AISI 304 çeliklerinin optik görüntüleri
(Figure 1. Optical images of AISI 1040 and AISI 304 steels)

4.2. SEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi (Evaluation of SEM Images)

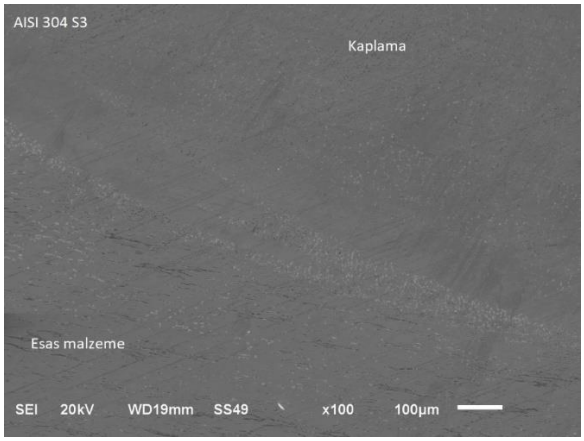
Şekil 2'de TIG yöntemiyle yüzey alaşımlandırılmış AISI 1040 S1 numunesine ait SEM görüntüsü verilmiştir. Görüntüde üst kısımda kaplama bölgesi, alt kısımda ise esas malzeme bölgesi görülmektedir. Kaplama ile esas malzeme arasında belirgin bir geçiş bölgesinin oluştuğu ve arayüz boyunca sürekliliğin büyük ölçüde korunduğu görülmektedir. Kaplama bölgesi esas malzemeye kıyasla daha homojen ve daha ince kontrast değişimleri gösteren bir morfoloji sergilemektedir. Arayüz çevresinde belirgin bir ayrılma, süreksizlik veya makro ölçekte gözenek oluşumu gözlenmemesi, kaplama tabakası ile AISI 1040 altlık arasında iyi bir metalurjik birleşmenin gerçekleştiğine işaret etmektedir.

AISI 1040 numunesinin esas malzeme bölgesinde ise daha iri ve düzensiz morfolojik bölgeler dikkat çekmektedir. TIG işlemi sırasında oluşan yüksek sıcaklık ve ardından gerçekleşen hızlı soğuma nedeniyle, kaplama bölgesinde esas malzemeye göre farklı bir katılaşma morfolojisinin geliştiği düşünülmektedir. Şekil 3'te AISI 304 S3 numunesine ait SEM görüntüsü incelendiğinde de kaplama ve esas malzeme bölgelerinin birbirinden morfolojik olarak ayrıldığı görülmektedir. AISI

1040 numunesine kıyasla AISI 304 tarafındaki geçiş bölgesinin daha geniş ve daha kademeli bir kontrast değişimi sergilediği dikkat çekmektedir. Kaplama bölgesinde ince ve dağınık parlak kontrastlı bölgelerin yanı sıra, arayüz yakınında yönlenmiş/akış benzeri mikroyapısal izler görülmektedir. Bu morfolojinin, TIG işlemi sırasında oluşan ergiyik havuzunun hareketi ve katılaşma yönüyle ilişkili olması mümkündür. AISI 304 numunesinde kaplama–altlık arayüzünün genel olarak süreklilik göstermesi ve belirgin bir boşluk veya makro çatlak içermemesi, kaplama işlemi sırasında yüzey ile altlık arasında yeterli ergime ve metalurjik bağlanma sağlandığını göstermektedir. Bununla birlikte, AISI 304'ün yüksek Cr ve Ni içeriği nedeniyle katılaşma davranışı AISI 1040'tan farklı olduğundan, iki altlık malzemesi arasında gözlenen morfolojik farklılıkların yalnızca kaplama tozlarına değil, altlık malzemesinin kimyasal bileşimine ve katılaşma karakteristiğine de bağlı olması beklenmektedir. AISI 1040 ve AISI 304'ün SEM açısından iki görüntü birlikte değerlendirildiğinde, her iki numunede de kaplama–esas malzeme arayüzünün süreklilik gösterdiği görülmektedir. Bununla birlikte, AISI 1040 numunesinde arayüz daha belirgin ve keskin bir geçiş şeklinde görülürken, AISI 304 numunesinde geçiş bölgesinin daha kademeli bir morfoloji sergilediği söylenebilir. Ayrıca AISI 304 kaplama bölgesinde daha belirgin lokal kontrast farklılıkları gözlenmektedir. Bu farklılıkların; altlık malzemelerinin kimyasal bileşimleri, ısıl iletkenlikleri, ergime davranışları, ergiyik havuzundaki element difüzyonu ve katılaşma koşulları ile ilişkili olabileceği değerlendirilmektedir [8, 9, 10 ve 11].



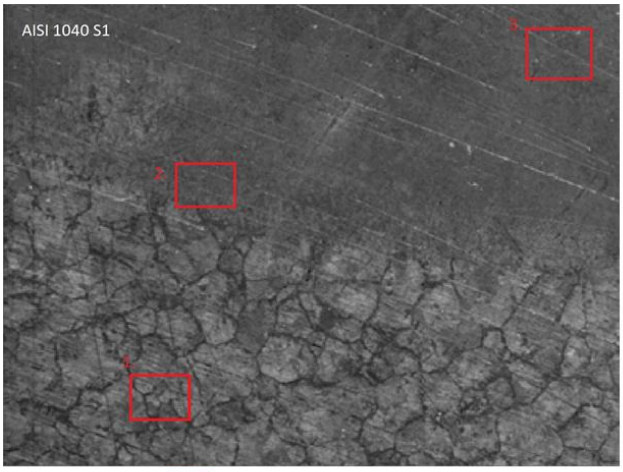
Şekil 2. AISI 1040 S1 numunesine ait SEM görüntüsü
(Figure 2. SEM image of the AISI 1040 S1 specimen)



Şekil 3. AISI 304 S3 numunesine ait SEM görüntüsü
(Figure 3. Figure 3. SEM image of the AISI 304 S3 specimen)

4.3. EDS Analizleri (EDS Analyses)

AISI 1040-S1 nolu numunenin EDS sonuçları Şekil 4'te verilmiştir. Fe esaslı bir yapı göstermekte ve düşük miktarlarda Cr ve Ni içermektedir. Bununla birlikte Ti, Mn ve özellikle W konsantrasyonlarında ölçüm noktaları arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Üçüncü ölçüm noktasında W konsantrasyonunun %6.215'e ulaşması, bu bölgenin kimyasal olarak heterojen olduğunu veya W içeren lokal bir faz/partikül bulunduğunu düşündürmektedir. Şekil 5'te EDS sonuçları verilen AISI 304-S3 analizlerinde ise Cr ve Ni'nin belirgin şekilde bulunması paslanmaz çelik karakteriyle uyumludur. Bununla birlikte ölçülen C ve W konsantrasyonları standart AISI 304 kompozisyonuyla doğrudan uyumlu değildir. Özellikle yüksek C değerleri EDS'nin hafif element analizindeki sınırlamalar ve/veya yüzey kontaminasyonu açısından değerlendirilir [12, 13 ve 14].



1

Elt.	Line	Conc	Units	
C	Ka	0.296	wt.%	
Ti	Ka	0.111	wt.%	
Cr	Ka	0.097	wt.%	
Mn	Ka	0.603	wt.%	
Fe	Ka	96.684	wt.%	
Ni	Ka	0.210	wt.%	
W	La	1.998	wt.%	
		100.000	wt.%	Total

2

Elt.	Line	Conc	Units	
C	Ka	0.000	wt.%	
Ti	Ka	0.695	wt.%	
Cr	Ka	0.202	wt.%	
Mn	Ka	0.696	wt.%	
Fe	Ka	95.165	wt.%	
Ni	Ka	0.231	wt.%	
W	La	3.012	wt.%	
		100.000	wt.%	Total

3

Elt.	Line	Conc	Units	
C	Ka	0.000	wt.%	
Ti	Ka	1.163	wt.%	
Cr	Ka	0.208	wt.%	
Mn	Ka	1.332	wt.%	
Fe	Ka	90.863	wt.%	
Ni	Ka	0.219	wt.%	
W	La	6.215	wt.%	
		100.000	wt.%	Total

Şekil 4. AISI 1040-S1 nolu numunenin EDS sonuçları
(Figure 4. EDS results for the sample designated as AISI 1040-S1)



1

Elt.	Line	Conc	Units	
C	Ka	1.739	wt.%	
Ti	Ka	0.114	wt.%	
Cr	Ka	17.832	wt.%	
Mn	Ka	0.645	wt.%	
Fe	Ka	71.228	wt.%	
Ni	Ka	7.519	wt.%	
W	La	0.922	wt.%	
		100.000	wt.%	Total

2

Elt.	Line	Conc	Units	
C	Ka	0.633	wt.%	
Ti	Ka	0.208	wt.%	
Cr	Ka	13.931	wt.%	
Mn	Ka	1.221	wt.%	
Fe	Ka	75.308	wt.%	
Ni	Ka	5.830	wt.%	
W	La	2.869	wt.%	
		100.000	wt.%	Total

3

Elt.	Line	Conc	Units	
C	Ka	3.155	wt.%	
Ti	Ka	0.147	wt.%	
Cr	Ka	14.860	wt.%	
Mn	Ka	1.146	wt.%	
Fe	Ka	72.159	wt.%	
Ni	Ka	6.473	wt.%	
W	La	2.060	wt.%	
		100.000	wt.%	Total

Şekil 5. AISI 304-S3 nolu numunenün EDS sonuçları
(Figure 5. EDS results for the sample designated as AISI 304-S3)

4.4. Sertlik Sonuçları (Hardness Results)

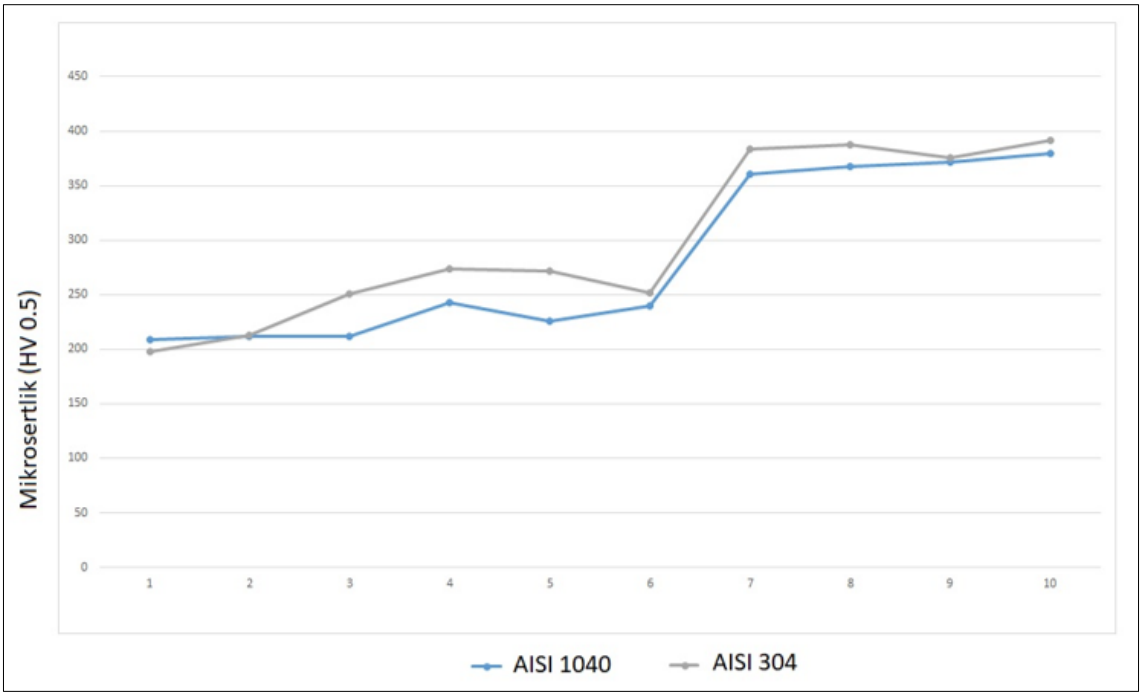
AISI 1040 ve AISI 304 numunelerinin mikrosertlik değerleri HV0.5 yük koşulunda 10 farklı noktadan ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Ölçüm sonuçları incelendiğinde, her iki malzemenin mikrosertlik değerlerinin ölçüm noktalarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği görülmektedir. AISI 1040 numunesinde mikrosertlik değerleri ilk üç ölçüm noktasında yaklaşık 210 HV0.5 seviyesinde iken, dördüncü noktada yaklaşık 240 HV0.5 değerine yükselmiştir. Beşinci noktada yaklaşık 225 HV0.5 seviyesine düşen sertlik, altıncı noktada yeniden yaklaşık 240 HV0.5 değerine ulaşmıştır. Yedinci ölçüm noktasında ise belirgin bir artış meydana gelerek sertlik yaklaşık 360 HV0.5 seviyesine yükselmiştir. Sekizinci, dokuzuncu ve onuncu noktalarda sırasıyla yaklaşık 370, 375 ve 380 HV0.5 değerleri elde edilmiştir. Buna göre AISI 1040 numunesinde özellikle yedinci ölçüm noktasından itibaren belirgin bir sertlik artışı meydana geldiği görülmektedir.

AISI 304 numunesinde ise ilk ölçüm noktasında yaklaşık 195 HV0.5 olan mikrosertlik değeri ikinci noktada yaklaşık 210 HV0.5, üçüncü noktada 250 HV0.5 ve dördüncü-beşinci noktalarda yaklaşık 270 HV0.5 seviyesine ulaşmıştır. Altıncı noktada yaklaşık 250 HV0.5 değerine gerileyen sertlik, yedinci noktada yaklaşık 385 HV0.5 seviyesine yükselmiştir. Sekizinci noktada yaklaşık 390 HV0.5 ile maksimum seviyeye ulaşan sertlik, dokuzuncu noktada yaklaşık 375 HV0.5 değerine düşmüş ve onuncu noktada tekrar yaklaşık 390 HV0.5 seviyesine yükselmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, AISI 304 numunesinin mikrosertlik değerleri ölçüm noktalarının büyük bölümünde AISI 1040 numunesinden daha yüksek bulunmuştur. Özellikle 3–5 ve 7–10 numaralı ölçüm noktalarında bu fark daha belirgin hale gelmiştir. Grafik üzerinden hesaplanan yaklaşık ortalama değerler AISI 1040 için 282 HV0.5, AISI 304

için ise 298.5 HV0.5 olarak belirlenmektedir. Bununla birlikte, özellikle 7. noktadan sonra her iki malzemede de sertlik değerlerinin yaklaşık 360–390 HV0.5 aralığına yükselmesi, ölçüm yapılan bölgelerde malzemenin mikroyapısal veya mekanik olarak farklı bir karakter gösterdiğini düşündürmektedir.

Bu sonuçlar daha önce verdiğiniz EDS analizleriyle birlikte değerlendirildiğinde, sertlikteki bölgesel değişimlerin yalnızca malzemenin nominal kimyasal bileşimiyle açıklanamayacağı görülmektedir. Özellikle AISI 1040-S1 numunesinde EDS analizlerinde Ti, Mn ve özellikle W miktarlarının ölçüm noktalarına göre önemli ölçüde değişmesi, mikrosertlikte gözlenen bölgesel farklılıklarla birlikte değerlendirilebilir. Benzer şekilde AISI 304-S3 numunesinde Cr ve Ni içeriğinin belirgin olması paslanmaz çelik matrisiyle uyumludur [15, 16, 17, 18, 19 ve 20].



Şekil 6. AISI 1040 ve AISI 304 çeliklerinin sertlik grafiği
(Figure 6. Hardness chart for AISI 1040 and AISI 304 steels)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada, TiC ve grafit katkılı TIG yüzey alaşımlandırma işleminin AISI 1040 ve AISI 304 çeliklerinin mikroyapı ve mikrosertlik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- TIG yüzey alaşımlandırma sonrasında her iki çelikte de ana metal, HAZ ve kaplama bölgesi oluşmuş; kaplama bölgesinde hızlı katılaşmaya bağlı dendritik ve ötektik karakterli mikroyapılar gözlenmiştir.
- SEM incelemelerinde kaplama-altlık arayüzlerinin genel olarak sürekli ve metalurjik olarak bağlı olduğu, belirgin makro çatlak ve boşlukların oluşmadığı belirlenmiştir.
- EDS analizlerinde AISI 1040 bölgesinin Fe esaslı, AISI 304 bölgesinin ise belirgin Cr ve Ni içeren bir yapı gösterdiği belirlenmiştir. Ti, W ve diğer elementlerdeki lokal farklılıklar kaplama bölgesindeki kimyasal heterojenliği ortaya koymuştur.

- Mikrosertlik değerleri AISI 1040 için yaklaşık 210–380 HV, AISI 304 için 195–390 HV aralığında değişmiştir. Her iki malzemede de kaplama bölgesine doğru belirgin bir sertlik artışı gözlenmiştir.
- Genel olarak, TiC ve grafit katkılı TIG yüzey alaşımlandırmanın, çelik yüzeylerinde mikroyapısal değişim ve mikrosertlik artışı sağladığı belirlenmiştir. Bu etkinin TiC partikülleri, karbon katkısı ve hızlı katılaşma koşullarının ortak etkisinden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

YAZAR BEYANI (AUTHOR DECLARATION)

Yazarlar, bu çalışmanın yapay zekâ tarafından üretilmediğini, bilimsel içeriğinin ve fikrî sorumluluğunun bütünüyle kendilerine ait olduğunu ve çalışmadan doğabilecek tüm bilimsel, etik, maddi, manevi ve hukuki sonuçlara ilişkin sorumluluğu kabul ettiklerini beyan ederler.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar, herhangi bir kişi, kurum veya kuruluş ile çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Bu çalışma kapsamında herhangi bir kurum veya kuruluş tarafından finansal destek alınmamıştır.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Yazarlar, bu makalenin hazırlanması sürecinde bilimsel araştırma ve yayın etiği kurallarına uyulduğunu beyan etmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Kilic, M., (2020). TiC coatings on an alloyed steel produced by thermal diffusion. Materials Testing, 62(9):909-912.
[2] Buytoz, S., Kilic, M., and Carboga, C., (2022). Microstructure and wear behaviour of Ni-based/TiC composite coating. International Journal of Surface Science and Engineering, 16(1):71-90.
[3] Kilic, M., Imak, A., and Kirik, I., (2021). Surface modification of AISI 304 stainless steel with NiBSi-SiC composite by TIG method. Journal of Materials Engineering and Performance, 30(2):1411-1419.
[4] Imak, A., (2025). Coating of AISI 1050 steel with Ni-based B4C powders by arc melting method. Sādhanā, 50(2):105.
[5] Kılıç, M., Gök, S. ve Adıyaman, O., (2024). TiC-C ile kaplanan AISI 1040 çelik yüzeyinin aşınma özelliklerinin incelenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 29(1):275-291.
[6] Buytoz, S. and Ulutan, M., (2006). In situ synthesis of SiC reinforced MMC surface on AISI 304 stainless steel by TIG surface alloying. Surface and Coatings Technology, 200(12-13):3698-3704.
[7] Kirik, I., (2015). Effect of temperature on microstructure and mechanical behavior of diffusion bonded Armor 500 and AISI 1040 steels. Materials Testing, 57(4):296-300.
[8] Demiroren, H. and Buytoz, S., (2022). Electrochemical Synthesis of High Chromium Fe-Based TiC Composite Coating. Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces, 58(1):109-118.
[9] Ozdemir, N., (2005). Investigation of the mechanical properties of friction-welded joints between AISI 304L and AISI 4340 steel as a function rotational speed. Materials letters, 59(19-20):2504-2509.

[10] Samiuddin, M., Li, J., Chandio, A.D., Muzamil, M., Siddiqui, S.U., and Xiong,J., (2021). Diffusion welding of CoCrNi medium entropy alloy (MEA) and SUS 304 stainless steel at different bonding temperaturesi Welding World, 65:2193–2206.
[11] Kirik, İ., Özdemir, N., and Sarsilmaz, F., (2012). Microstructure and mechanical behaviour of friction welded AISI 2205/AISI 1040 steel joints. Materials Testing, 54(10):683-687.
[12] Hasçalik, A., Ünal, E., and Özdemir, N., (2006). Fatigue behaviour of AISI 304 steel to AISI 4340 steel welded by friction welding. Journal of materials science, 41(11):3233-3239.
[13] Buytoz, S., (2020). Microstructural changes of Fe-Cr-C/M(Nb,Ti)C composite coating produced by TIG method," G.U.J. Sci. Part C, 8(1):51–63.
[14] Batı, S., Kılıç, M., and Kırık, I., (2016). Friction welding of dissimilar AISI 304 and AISI 8640 steels. European Journal of Technique (EJT), 6(2):79-86.
[15] Buytoz, S., Demirören, H., and Kaya, E., (2023). Effect of high-chromium ferrous-based TiC composite coating on microstructural and corrosion properties of steels. Transactions of the Indian Institute of Metals, 76(8):2201-2210.
[16] Ozdemir, N., Sarsilmaz, F., and Hascalik, A., (2007). Effect of rotational speed on the interface properties of friction-welded AISI 304L to 4340 steel. Materials & design, 28(1):301-307.
[17] Men, X., Tao, F., Gan, L., Li, Y., and Liu, Z., (2019). Erosion and wear resistance of Cr3C2-NiCr composite ceramic coating for gun barrel," IOP. Conf. Ser.:Mater. Sci. Eng., 678(1):012075.
[18] Buytoz, S. and Yilmaz, B., (2019). Investigation of microstructural properties of TiC coating obtained by thermoactive diffusion method on AISI 4140 steel surface," Firat University J. Sci. Eng., 31(2):473–480.
[19] Buytoz, S., Ulutan, M., and Yildirim, M.M., (2005). Dry sliding wear behavior of TIG welding clad WC composite coatings, Appl. Surf. Sci., 252(5):1313–1323.
[20] Imak, A., Kirik, I., and Kilic, M., (2022). Comparison of microstructure and wear behaviors of PTA coated AISI 304 with alumina, boron and ekaboron III powder. Materials Testing, 64(4):541-549.