



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**TIG ERGİTME YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 1040 ORTA KARBONLU
ÇELİK YÜZEYİNİN GRAFİT TAKVİYELİ FERRO Tİ İLE
KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Malzeme ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**HAZIRLAYAN
Serkan GÖK**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Musa KILIÇ**

**Mayıs-2023
BATMAN**



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TIG ERGİTME YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 1040 ORTA KARBONLU
ÇELİK YÜZEYİNİN GRAFİT TAKVİYELİ FERRO Tİ İLE
KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Malzeme ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZIRLAYAN
Serkan GÖK

DANIŞMAN
Doç. Dr. Musa KILIÇ

Mayıs-2023
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Serkan GÖK tarafından hazırlanan “**TIG Ergitme Yöntemi Kullanılarak AISI 1040 Orta Karbonlu Çelik Yüzeyinin Grafit Takviyeli Ferro Ti ile Kaplanabilirliğinin İncelenmesi**” adlı tez çalışması 11/05/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

.....

Danışman

Doç. Dr. Musa KILIÇ

.....

Üye

Dr.Öğr.Üyesi Tayfun ÇETİN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

Bu tez çalışması Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BTÜBAP-2022-YL-03 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Serkan GÖK

Tarih:11.05.2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TIG ERGİTME YÖNTEMİ KULLANILARAK AISI 1040 ORTA KARBONLU ÇELİK YÜZEYİNİN GRAFİT TAKVİYELİ FERRO Tİ İLE KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Serkan GÖK

**Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Malzeme ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı**

DANIŞMAN: Doç. Dr. Musa KILIÇ

2023, 94 Sayfa

Jüri

Danışman Doç. Dr. Musa KILIÇ

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Tayfun ÇETİN

Yüzey modifikasyonu olarak ifade edilen Tungsten Inert Gas (TIG) ile kaplama yönteminde, arzu edilen bileşim ve oranlarda, yüzeyde ince bir tabaka oluşturmak için, esas malzemeye metalurjik olarak bağlanmış kaplama malzemesinin hızlı katılaştırılması işlemine dayanmaktadır. Gaz tungsten ark yöntemiyle yapılan kaplama teknolojisi yeni bir yöntem değildir. Fakat yapılan işlem bakımından, üretimin aynı şartlarda daha kalın bir tabaka elde etmenin ve istenilen bileşim ve oranlarda bir kaplama tabakası oluşturmanın çok daha kolay uygulanması ve ucuz olması bakımından benzer yöntemlere göre daha avantajlıdır. Bu tez çalışmasında, alt tabakası 1040 paslanmaz çelik yüzeyine farklı oranlarda grafit takviyeli TiC/Grafit tozu TIG kaynak yöntemi kullanılarak yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama işlemi sonrası numuneler kaplama kalınlıkları ve mikroyapı morfolojisi optik mikroskop ile incelenmiştir. Ayrıca numunelerin taramalı elektron mikroskobu (SEM), Enerji dağılımlı spektrometresi (EDS), X-Işını kırınımı (XRD) cihazları ile mikroyapı, elementel dağılım ve faz bileşenleri analiz edilmiştir. Ayrıca kaplama tabakasının mekanik özelliklerini belirlemek için mikrosertlik ve aşınma cihazları kullanılıp sertlik değerleri ölçülmüş olup aşınma sonuçları mikroyapı ile karakterize edilmiştir. SEM ve EDS analiz sonuçlarından daha düzgün ve homojen kaplamaların oluştuğu ve yoğun dendritik yapıların olduğu gözlenmiştir. Kaplama ve alt tabaka arasında iyi bir metalurjik bağın oluştuğu optik mikroyapı ve SEM sonuçlarından tespit edilmiştir. EDS sonuçlarından görüldüğü üzere kaplama tabakasından alt tabakaya doğru gidildikçe Ti, C elementinin azaldığı gözlemlenmiştir. C elementinin ise kaplama tabakası ile birlikte arayüzün alt kısımlarına doğru gidildikçe artışı devam ettirdiği bunun temel nedeni olarak da alt tabakada yer alan C elementinin yüzeye doğru çıkmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

XRD analiz sonucunda tüm numunelerde baskın fazın TiC fazı ile birlikte Fe_7C_3 , Fe_3C , martenzit fazlarının olduğu, düşük pik değerlerinde $\alpha - Fe$ ve $\delta - Fe$ fazlarının da olduğu tespit edilmiştir. Optik mikroskop yardımı ile ölçülen kaplama kalınlıklarında ise 1144 j/mm enerji girdisine sahip N2 numunesinde kaplama kalınlığı 2270 μm iken, 899 j/mm enerji girdisine sahip N4 numunesinde ise 580 μm olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ile TIG yöntemi ile kaplama çalışmasında kaplama kalınlığında enerji girdisinin önemli bir faktör olduğu düşünülmektedir. Kplama yüzeylerinden alınan mikrosertlik ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde %5C takviyeli numunenin 857 HV_{0,1} değeri ile en yüksek ortalama mikrosertlik değerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. En düşük sertlik değeri ise %1 C takviyeli numuneden ise 756 HV_{0,1} ortalama mikrosertlik değeri elde edilmiştir. Takviyesiz olarak ölçüm yapıldığında ise 715 HV_{0,1} ortalama mikrosertlik değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak C miktarı arttıkça sertliğin de buna bağlı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek değerlerin ana kaynağının ergime akabinde katılma sonrası kaplama bölgesinde oluşan karbür fazlarının etkisi olduğu düşünülmektedir. C ilavesiyle birlikte mikrosertliğin en yüksek %5 C kaplama numunesinden elde edilmiştir. Aşınma sonuçları değerlendirildiğinde C ilavesine bağlı olarak sürtünme katsayısının düştüğü ve aşınma direncinin arttığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en düşük sürtünme katsayısının N6 nolu numunede 0,2 elde edilirken en düşük sürtünme katsayısının ise N1 nolu numunede 0,6 olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ışığında aşınma ve mikrosertlik değeri düşük olan AISI 1040 çeliğinin TiC/C ile kaplanması sonucunda mikrosertlik değerlerinin yükseldiği ve aşınma direncinin arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: AISI 1040, Grafit, EDS, Mikroyapı, SEM, TiC, TIG, XRD

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF COATING SURFACE OF AISI 1040 MEDIUM CARBON STEEL WITH GRAPHITE REINFORCED FERRO TI USING TIG MELTING METHOD

Serkan GÖK

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF BATMAN
UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL
ENGINEERING**

Advisor: Associate Prof. Dr. Musa KILIÇ

2023, 94 Pages

Jury

Advisor Associate Prof. Dr. Musa KILIÇ

Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Dr. Öğrt. Üyesi Tayfun ÇETİN

In the TIG coating method, which is expressed as surface modification, it is based on the rapid solidification of the coating material metallurgically bonded to the base material in order to form a thin layer on the surface in desired composition and proportions. The coating technology made by the gas tungsten arc method is not a new method. However, in terms of the process, it is more advantageous than similar methods in that it is much easier and cheaper to produce a thicker layer under the same conditions and to create a coating layer with the desired composition and proportions. In this thesis, surface coating was performed on the substrate of 1040 stainless steel substrate by using pure TiC and graphite reinforced TiC/Graphite powder TIG welding method at different ratios (1,2,3,4,5, wt%). After the coating process, the coating thicknesses and microstructure morphology of the samples were examined with an optical microscope (OM), scanning electron microscope (SEM), Energy dispersive spektrometry (EDS), X-Ray diffraction (XRD) devices and microstructure, elemental distribution and phase components. In addition, microhardness and wear devices were used to determine the mechanical properties of the coating layer and the hardness values were measured and the wear results were characterized by microstructure. From the SEM and EDS analysis results, it was observed that more uniform and homogeneous coatings were formed and dense dendritic structures were observed. It was determined from the optical microstructure and SEM results that a good metallurgical bond was formed between the coating and the substrate. As can be seen from the EDS results, it was observed that Ti, C elements decreased as one went from the coating layer to the lower layer. On the other hand, it is thought that the element C continues to increase towards the lower parts of the interface together with the coating layer, and the main reason for this is that the

element C in the lower layer rises towards the surface. As a result of XRD analysis, it was determined that the dominant phase was Fe_7C_3 , Fe_3C and martensite phases along with the TiC phase in all samples, and $\alpha\text{-Fe}$ and $\delta\text{-Fe}$ phases were also formed at low peak values. In the coating thicknesses measured with the help of an optical microscope, the coating thickness was 2270 μm in the N2 sample with an energy input of 1144 J/mm , while it was measured as 580 μm in the N4 sample with an energy input of 899 J/mm . With the results obtained, it is thought that the energy input in the coating thickness is an important factor in the coating work with the TIG method. When the microhardness measurement results taken from the coating surfaces were evaluated, it was observed that the 5% C reinforced sample had the highest average microhardness value with 857 $\text{HV}_{0.1}$. The lowest hardness value. The average microhardness value of 756 $\text{HV}_{0.1}$ was obtained from the 1% C reinforced sample. When the measurement was made without reinforcement, an average microhardness value of 715 $\text{HV}_{0.1}$ was obtained. As a result, it was observed that as the amount of C increased, the hardness increased accordingly. It is thought that the main source of the high values is the effect of carbide phases formed in the coating region after solidification after melting. With the addition of C, the highest microhardness was obtained from the 5% C coating sample. When the wear results were evaluated, it was determined that the friction coefficient decreased and the wear resistance increased depending on the addition of C. According to the results obtained, the lowest friction coefficient was found to be 0.2 in the N6 sample, while the lowest friction coefficient was 0.6 in the N1 sample. In the light of these results, it was determined that the microhardness values increased and the wear resistance increased as a result of coating AISI 1040 steel, which has low wear and microhardness values, with TiC/C .

Keywords: AISI 1040, Graphite, EDS, Microstructure, SEM, TiC , TIG, XRD

ÖNSÖZ

Endüstriyel ve mühendislik sektörlerinde kullanılan malzemelerin zamanla korozyona uğraması, aşınması gibi sorunlar nedeniyle malzemenin deforme olduğu ve servis ömrünün azaldığı görülmüştür. Bu durumda hem zaman hem de maliyet gerektiren sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sebeplerden dolayı yüzey kaplama işlemlerine olan ilgi artmış ve aynı zamanda üzerinde çalışmalar yapılarak geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam edilmektedir. Yüzey kaplama işlemleri sayesinde malzemenin ömrünün uzaması gibi birçok önemli problemin aşılmasını sağlamıştır. Yapılan çalışmalar ile zaman içinde pek çok kaplama yöntemi geliştirilmiştir. TIG kaynak yönteminin diğer yöntemlerine göre daha fazla tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden biri yöntemin uygulanabilirliğinin kolay olması ve maliyet bakımından diğer yöntemlerden daha ucuz olmasıdır. 1040 çeliğinin TIG yöntemi kullanılarak ferro TiC kaplanabilirliğinin araştırılması adlı tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin amacı ve kapsamından bahsedilmiştir. İkinci bölümde kaynak araştırılması yapılmıştır. Üçüncü bölümde çelikler hakkında genel bilgiler ile birlikte kaplama yöntemleri ve aşınma hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde meteryal ve yöntemlere yer verilmiştir. Beşinci bölümde numunelerin metalografik muayeneleri, Optik Mikroskop, SEM-EDS, XRD ve mikrosertlik analizlerinin sonuçları, Enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı ve aşınma test sonuçları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Son bölüm olan altıncı bölümde ise sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

Tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen, ilgi, alaka, bilgi ve tecrübeleriyle her zaman destekçim olan bir arkadaş abi şefkatinde yaklaşan sayın Doç. Dr. Musa KILIÇ'a, çizimlerde ve aşınma numunelerinin hazırlanmasında bilgi ve tecrübesini bizimle paylaşan sayın Dr. Öğr. Üyesi Oktay ADIYAMAN ve Arş. Gör. Dr. Serkan BATI'ya, yüksek lisans yapmamda öncülük yapan sayın Doç. Dr. Hanife ALACA ve Doç. Dr. Tekin İDEM'e teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca beni yetitştiren, emeklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen canım annem ve babama, hayatımın tüm aşamalarında her zaman yanımda olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen bana en çok inanan ve güvenen canım olan biricik karıma ve candan öte olan Aslan oğluma şükranlarımı sunarım.

Serkan GÖK
BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
ÖNSÖZ	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
TABLolar LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsam.....	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
3. GENEL BİLGİLER.....	8
3.1. Çelikler.....	8
3.1.1. Çeliklerin Sınıflandırılması.....	9
3.1.1.1. Alaşım-sız Çelikler.....	9
3.1.1.1.1. Düşük Karbonlu Çelikler.....	9
3.1.1.1.2. Orta Karbonlu Çelikler.....	9
3.1.1.1.3. Yüksek Karbonlu Çelikler.....	10
3.1.1.2. Alaşım-lı Çelikler.....	10
3.1.1.2.1. Alaşım-lı Çeliklerin Kullanım Alanları.....	11
3.2. Kaplama Yöntemleri.....	12
3.2.1. İnce Film Kaplamalar.....	13
3.2.1.1. PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme).....	14
3.2.1.2. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme).....	16
3.2.1.3. TRD (Termo Reaktif Difüzyon).....	17
3.2.2. Püskürtme Yöntemleri.....	18
3.2.2.1. Plazma Püskürtme.....	18
3.2.2.2. HVOF (Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme Yöntemi).....	19
3.2.2.3. Elektrik Ark Püskürtme.....	20
3.2.2.4. Alev Püskürtme.....	21
3.2.3. Kaynak Yöntemleri ile Kaplama İşlemi.....	22
3.2.3.1. Lazer Kaynak Yöntemi.....	23
3.2.3.2. Plazma Ark Yöntemi.....	24
3.2.3.3. Tozaltı Kaynak Yöntemi.....	25
3.2.3.4. TIG Kaynak Yöntemi.....	27
3.3. Kaplama İşleminde Kullanılan Tozlar.....	28
3.3.1. Ferro Titanyum.....	28
3.3.2. Grafit.....	30
3.3.3. Titanyum Karbür (TiC).....	31

3.4. Aşınma.....	31
3.4.1. Aşınma Türleri.....	31
3.4.1.1. Abrasif Aşınma.....	32
3.4.1.2. Adezif Aşınma.....	33
3.4.1.3. Yorulma Aşınması.....	33
3.4.1.4. Korozyon Aşınması.....	33
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	35
4.1. Tercih Edilen Malzemeler.....	35
4.2. Numune Hazırlama.....	37
4.3. TIG Kaplama.....	42
4.4. Metalografik İnceleme.....	44
4.5. XRD Testleri.....	47
4.6. Mikrosertlik Testi.....	47
4.7. Aşınma Testi.....	48
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	49
5.1. Optik ve SEM/EDS Sonuçları.....	49
5.2.1. SEM/EDS Sonuçları.....	54
5.2.2. Mikroyapı Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	67
5.2. XRD Sonuçları.....	68
5.3. Mikrosertlik Analiz Sonuçları.....	69
5.4. Enerji Girdisine bağlı olarak Kaplama Kalınlığına Etkisi.....	72
5.5. Aşınma Sonuçları.....	74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	83
6.1. Sonuçlar.....	83
6.2. Öneriler.....	84
KAYNAKLAR.....	85

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Demir-Karbon Denge Diyagramı

Şekil 3.2. Yüzey Kaplama Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Şekil 3.3. İnce Film Üretim Teknikleri

Şekil 3.4. Katodik Ark PVD Sistemi

Şekil 3.5. CVD Kaplama Sisteminin Şematik Görünümü

Şekil 3.6. Plazma Püskürtme Tekniğinin Şematik Gösterimi

Şekil 3.7. HVOF Püskürtme Yönteminin Şematik Gösterimi

Şekil 3.8. Elektrik Ark Püskürtme Bileşenleri

Şekil 3.9. Alev ile Püskürtme Tekniğinin Şematik Gösterimi

Şekil 3.10. Lazer Kaplama İşleminin Şematik Gösterimi

Şekil 3.11. (a) PTA Kaynağı ve Kaplama İşlemi Şematik Resmi (b) Kaplama, (c) Kaplama İşlemi Yapılmış Numune

Şekil 3.12. Tozaltı Kaynak Yönteminin Şematik Gösterimi

Şekil 3.13. TIG Kaynak Yönteminin Çalışma Prensiplerinin Şematik Gösterimi

Şekil 3.14. Ferro Titanyum

Şekil 3.15. Abrasif Aşınma (a) Bir yüzeyle birleşmiş abrasif partiküllü aşınma (b) Serbest abrasif partiküllü üç cisimli abrasif aşınma

Şekil 4.1. Deneyde Kullanılan Alt Tabaka Malzemesi (AISI 1040)

Şekil 4.2. Şerit Testere

Şekil 4.3. Kesilen Numuneler

Şekil 4.4. Freze Tezgahı ve Kanalı Açılan Numuneler

Şekil 4.5. Kaplama Yapılacak Numuneler

Şekil 4.6. Hassas Terazî

Şekil 4.7. (a) Karışım Makinesi (b) Karışım Potası

Şekil 4.8. TIG Kaynak Makinesi ve Kaplaması Yapılan Numune

Şekil 4.9. TIG Yöntemi ile yüzey modifikasyonu uygulamasının aşamalarının şematik gösterimi ve Kaplaması Yapılan Numuneler

Şekil 4.10. Bakalite Cihazı

Şekil 4.11. Yarı Mamul Zımparalama ve Parlatma Cihazı

Şekil 4.12. Optik Mikroskop ve Görüntüleme Sistemi

Şekil 4.13. SEM/EDS Cihazı

Şekil 4.14.XRD Cihazı

Şekil 4.15.Vickers Sertlik Cihazı

Şekil 4.16.Aşınma Cihazı ve Aşınma İşleminin Şematik Gösterimi

Şekil 5.1. N1'e ait Mikroyapı

Şekil 5.2. N2'e ait Mikroyapı

Şekil 5.3. N3'e ait Mikroyapı

Şekil 5.4. N4'e ait Mikroyapı

Şekil 5.5. N5'e ait Mikroyapı

Şekil 5.6. N6'a ait Mikroyapı

Şekil 5.7. N1'e ait SEM resimleri, EDS Sonuçları ve Grafikleri

Şekil 5.8. N2'e ait SEM resimleri (a) Kaplama Bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama Bölgesi, Kaplama Bölgesine ait MAP resimleri, EDS Sonuçları ve Grafikleri

Şekil 5.9. N3'e ait SEM resimleri (a) Kaplama Bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama Bölgesi, Kaplama Bölgesine ait MAP resimleri, EDS Sonuçları ve Grafikleri

Şekil 5.10. N4'e ait SEM resimleri (a) Kaplama Bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama Bölgesi, Kaplama Bölgesine ait MAP resimleri, EDS Sonuçları ve Grafikleri

Şekil 5.11. N5'e ait SEM resimleri (a) Kaplama Bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama Bölgesi, Kaplama Bölgesine ait MAP resimleri, EDS Sonuçları ve Grafikleri

Şekil 5.12. N6'a ait SEM resimleri (a) Kaplama Bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama Bölgesi, Kaplama Bölgesine ait MAP resimleri, EDS Sonuçları ve Grafikleri

Şekil 5.13. Numunelere ait XRD Grafiği

Şekil 5.14. Kaplama Tabakasından Ana Malzemeye Doğru Mikro Sertlik Değerinin Değişimi

Şekil 5.15. Ortalama Mikrosertlik Değerleri

Şekil 5.16. Kaplama kalınlığına ait Optik Görüntüler

Şekil 5.17. Enerji Girdisine Bağlı olarak Kaplama Kalınlığının değişim Grafiği

Şekil 5.18. Zamana bağlı olarak Sürtünme Katsayısı Grafiği

Şekil 5.19. Sürtünme Katsayısına bağlı olarak meydana gelen Aşınma Hacminin Oran Grafiği (200m-400m)

Şekil 5.20. Ortalama Mikrosertliğe bağlı olarak Sürtünme Katsayısı Grafiği (200m Mesafe)

Şekil 5.21. N1 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzeymorfolojisinin SEM-EDS Sonuçları

Şekil 5.22. N2 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzeymorfolojisinin SEM-EDS Sonuçları

Şekil 5.23. N3 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzeymorfolojisinin SEM-EDS Sonuçları

Şekil 5.24. N4 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzeymorfolojisinin SEM-EDS Sonuçları

Şekil 5.25. N5 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzey morfolojisinin SEM-EDS Sonuçları

Şekil 5.26. N6 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzey morfolojisinin SEM-EDS Sonuçları

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi

Tablo 4.1. AISI 1040 Çeliğin Kimyasal Bileşimi

Tablo 4.2. Titanyum Karbürün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

Tablo 4.3. Grafit Takviyeli Toz Karışım Oranlarının Gram Ağırlıkları

Tablo 4.4. Kaplama Toz Karışım Oranlarının Yüzdelik Ağırlıkları

Tablo 4.5. İlk kaplamanın yapıldığı TIG Kaynak Parametreleri

Tablo 4.6. TIG ile Kynak Parametreleri

Tablo 5.1. Sertlik Değerleri

Tablo 5.2. Enerji Girdisi ve Kaplama Kalınlığı Sonuçları

Tablo 5.3. Aşınma Hacmi Formülü

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TIG	: Tungsten Inert Gaz
HVOF	: Yüksek Hızlı Oksi Yakıt
MIG	: Metal Inert Gaz
MAG	: Metal Aktif Gaz
CVD	: Kimyasal Buhar Biriktirme
TRD	: Termo Reaktif Difizyon
PVD	: Fiziksel Buhar Biriktirme
FBB	: Fiziksel Buhar Biriktirme
Ar	: Argon
He	: Helyum
V	: Vanadyum
Mn	: Mangan
Mo	: Molibden
C	: Karbon
H	: Hidrojen
N	: Azot
Cr	: Krom
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	: Enerji Dağılımlı Spektrometresi
XRD	: X-Işını Kırınımı

1. GİRİŞ

Günümüzde özellikle otomotiv, petrokimya ve uzay alanındaki çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılan yüzey mühendisliği diğer bir ismiyle yüzey modifikasyonu, malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için farklı alt tabakalara yapılan sert kaplama yöntemlerini kapsamaktadır (Selvan ve ark., 1999; A. Hidouci ve ark., 2000).

Yüzey modifikasyon uygulamalarında farklılıklar olsa da uygulamadaki istenilen temel amacın, kaplanan yüzeyinin özelliklerinin düzeltilmesi ve geliştirilmesi olmasıdır. Mühendislik alanında tercih edilen malzemelerin istenilen dayanıma (mukavemet) sahip olması ve maruz kalan yüklere karşı dayanması arzu edilmektedir. Yüzey mühendisliğinde temel amaç; malzemenin süneklik, sertlik ve yorulma gibi istenilen mekanik özelliklerinin elde edilmesi ve bunun yanında aşınma olsun oksidasyon olsun korozyon olsun ve sürtünme olsun bütün bunların geliştirilmesini sağlamaktır. Özellikle imalat sanayinde sürtünerek çalışan makine elemanlarında sürtünmeden kaynaklı meydana gelen aşınma sonucu malzeme kaybı problemlerini gidermek ve bu mümkün değilse de en azından minimuma indirmek için uygulanmaya çalışılmaktadır (Arabacı, 2009; Deniz, 2004).

Metal esaslı malzemeler kullanımları sırasında malzeme yüzeylerindeki çalışma şartlarından dolayı meydana gelen aşınma ve korozyon hasarları önemli sorunlarından olup malzemelerin servis ömrünün (kullanım süresinin) azalmasına neden olduğu sıkça görülmektedir. Metal malzeme yüzeylerinin daha mukavemetli yani dayanımı daha yüksek hale getirmek ve servis ömrünü uzatmak amacıyla farklı yüzey kaplama yöntemleri tercih edilmektedir (Kılıç, 2020). Örnek vermek gerekirse eğer yüzey mühendisliği alanında; lazer kaynağı (Praveen ve ark., 2015), gaz tungsten ark kaynağı (Tiio ve ark., 2018), plazma ark kaynak (Weng ve ark., 2014) gibi kalın biriktirme yöntemleriyle birlikte; Yüksek Hızlı Oksi yakıt (HVOF) (Tan ve ark., 2003), Plazma Sprey gibi termal püskürtme teknikleri ve TRD (Fan ve ark., 2012), CVD (Apay, 2013), PVD (Sönmezoğlu ve ark., 2020) gibi ince film tabaka biriktirme yöntemleri kullanılarak metal yüzeyler üzerinde sert karbür, borür, sert oksitler ve bunların kompozitleri kullanılarak dirençli kaplamalar elde etmek için birçok araştırmacı tarafından uygulanmış ve geliştirilmeye çalışıldığı görülmektedir (Kılıç ve ark., 2021).

Kaplama yöntemlerinin pek çok avantajı yanında bazı dezavantajlarını da göz ardı etmememiz gerekmektedir. Örnek verecek olursak eğer; lazer ve termal püskürtme yöntemlerinin uygulanmalarında görüldüğü gibi, lazer yöntemiyle yapılan kaplama işlemlerinde sistemin vakum odası ihtiyacı ve yüksek ekipman maliyetleri kullanımlarını sınırlamıştır.

Termal püskürtme yöntemlerinde ise işlem sonrası meydana gelen çatlak ve gözenekler gibi metalurjik olarak zayıf ve kalitesiz kaplamaların oluşmasına yol açtığı yapılan çalışma örneklerinde araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (Praveen ve ark., 2015). Sonuç olarak, mühendislik çalışmalarında en önemli amaçları; maliyeti düşürmek, optimum performansı elde etmek ve servis ömrünün maksimuma çıkarmaktır (Tosun, 2011). TIG kaynak yöntemi ile yüzey modifikasyon işlemi günümüzde en çok karşımıza çıkan uygulamaların başında gelmektedir. TIG kaynak yönteminin diğer yöntemlerine göre tercih edilmesinin en önemli sebeplerinden biri yöntemin uygulanabilirliğinin kolay olması ve maliyet bakımından diğer yöntemlerden daha ucuz olmasıdır. Yüzey işlemleri olarak da bilinen TIG ile alaşımlama yönteminde, istenilen oranda malzeme yüzeyinde çok ince bir tabaka oluşturmak için, ana malzemeye bağlanmış olan kaplama malzemesinin çok hızlı bir şekilde katılaştırılması olayından ibarettir (Yılmaz ve ark., 2002).

TIG kaynak uygulaması ile yapılan kaplama işlemi teknolojisi eski bir yönteme dayanmaktadır. Ancak yapılan işlemin uygulaması bakımından, üretim şartlarında benzerlik olmasından dolayı daha kalın bir tabakanın oluşması ve ayrıca arzu edilen oranlarda kaplama tabakası elde etmenin çok daha basit hale gelmesi ve bununla birlikte uygulanmasının kolay ve ucuz olması bakımından benzer yöntemlere göre daha avantajlıdır (Buytoz ve ark., 2005; Pashby ve ark., 2003). Gaz tungsten ark yönteminde alt tabaka ve toza verilen kısa ara reaksiyon zamanında yüksek enerji yoğunluğuyla hem toz partikülleri hem de alt tabaka yüzeyi ertilir ve enerji yoğunluğuna bağlı olarak, farklı soğuma hızlarında katılıp daha ince taneli mikroyapılar elde edilir (Nagarathnam ve ark., 1995). Bu yöntemdeki çalışma ile elde edilen mikroyapılar incelendiğinde görüldüğü gibi ötektik yapının oluştuğu ve bu yapının içinde yüksek oranlarda sertlik değerlerine sahip M_7C_3 karbürleri, malzemeye olağanüstü ve arzu edilen bir dayanım (mukavemet) verirler (Buytoz, 2005).

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Günümüz teknolojisinde malzemelerin dış etkenlerden korunması amacıyla özellikle bu dış etkenlerden kasıt aşınma, sürünme ve yorulma olaylarını gidermek veya en aza indirmek için çeşitli yüzey işlemlerine gereksinim vardır (Khedkar ve ark., 1997; Holmberg ve ark., 2002; Korkut ve ark., 2002). Malzemenin yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı olması bunun yanında alt tabaka malzemesinin sünek ve istenilen dayanıma sahip olması arzu edildiğinde lazerle yüzey sertleştirme, plazma nitrürleme, fiziksel buhar biriktirme, kimyasal buhar biriktirme bunların yanında nitrürleme ve karbürleme gibi uygulamalar kullanılarak sert yüzey ve aşınma dayanımı yüksek yüzeylerin elde edilmesine katkı sunmaktadır (Korkut ve ark., 2002 ; Yılmaz ve ark., 2002 ; Gemma ve ark., 2002).

Bu tez çalışmasında, alt tabakası AISI 1040 çelik yüzeyine farklı oranlarda grafit takviyeli TiC/Grafit tozu TIG kaynak yöntemi kullanılarak yüzey kaplama işlemi yapılmıştır. Çalışma sonucunda düşük sertlik ve aşınma oranlarına sahip AISI 1040 çelik yüzeyi kaplama katmanı sonrasında yüzeyde oluşacak sert karbürler ile yüksek sertlik ve aşınma direncinin elde edilmesi hedeflenmektedir. Bu hedefe ulaşp ulaşılmadığı ise yapılacak bir dizi analizler sonucunda tespit edilecektir. Kaplama yüzeyinin mikroyapısı optik mikroskop (OM), SEM, mikroyapıda bulunan element dağılımları EDS ve EDS–Mapping ile belirlenecektir. Kaplama bölgesinde oluşan sert karbür fazların ve diğer faz bileşenlerinin tespitinde XRD kullanılacaktır. Ayrıca kaplama tabakasının mekanik özelliklerini belirlemek için mikrosertlik ve aşınma cihazları kullanılacaktır. Aşınma sonuçları mikroyapı ile karakterize edilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Gelişmiş toplumlarda maksimum demir ve çelik stoklarının kişi başına yaklaşık 10 ton olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte 2050 yılına kadar son 100 yılda üretilenden daha fazla metal üretilmesi gerekecek ve bu da sürdürülebilirlik ve arz koşulları hakkında soruları gündeme getirmektedir. Kaynak ihtiyacının sosyal, ekonomik, çevresel, jeolojik, teknolojik, yasal ve jeopolitik etkilerini ele almak için yeni yaklaşımlar ve dinamik modeller geliştirmek için büyük çaba gerekecektir (Olivier ve ark., 2017).

Sanayinin gelişmesine bağlı olarak ar-ge ve inovasyonun gelişmesi özellikle metalik malzemelere talebin artmasına yol açmıştır. Bu taleple birlikte dünyadaki hammadde stoklarının sınırlı olması mevcut malzemeleri daha ergonomik bir şekilde kullanılmasını zorunlu bir hale getirmiştir. Karbonlu çelikler ucuz aynı zamanda kolay üretilen otomotiv sanayinde, makine imalatı sanayinde, kimyasal ve petrokimya tesislerinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu çeliklerin korozyon, aşınma dirençleri ve mikrosertlik değerleri düşük malzemelerdir (Hosseini ve ark., 2020; Shahroozi ve ark., 2018; Mithun ve ark., 2018; Ongun ve ark., 2017).

Birçok araştırmacı metallerin kullanım ömrünün azalmasına yol açan aşınma, korozyon ve yorulma mukavemeti gibi sorunların çözüm yollarını bulmak için çalışmalar yapmaktadır (Buytoz, 2020; Wang ve ark., 2007). Kompozit kaplama imalatı; yüksek sertlik, korozyon direnci, ısı direnci vb. bir dizi benzersiz özelliklere sahip yeni malzeme geliştirmenin yollarından biridir (T.A. Krylova ve ark., 2020).

Son yıllarda farklı endüstrilerde metal yüzeylerinin performansını arttırmak için metal matris kompozitlere takviye malzemesi ekleyerek çözüm yoluna gitmiştir (Amirhoseini ve ark., 2018). Metal matrisli kompozit (MMK) kaplamalar yüksek sertlik, olağanüstü aşınma direnci (Jining ve ark., 2020), korozyon direnci ile birlikte iyi elastiklik modülleri ve düşük yoğunluklarına bağlı olarak büyük ilgi görmüştür (Tijo ve ark., 2018).

MMK'lar yüksek erime noktası, yüksek sertlikleri ve iyi aşınma dirençlerinden dolayı TiC, WC, TiB₂, SiC, NbC ve Cr₃C₂ gibi sert takviye fazlarının Fe, Co veya Ni gibi bir metal matris içinde dağıtıldığı bir kompozit türüdür (Rachida ve ark., 2019; Ali Emamian ve ark., 2011). Diğer kompozitlerle kıyaslandığında TiC yüksek sertliği, yüksek ısıl iletkenliği, yüksek erime sıcaklığı, yüksek yorulma mukavemeti ve üstün aşınma dirençlerinin sağlamış olduğu iyi tribolojik özelliklerinin sağladığı avantajlardan dolayı yüzey özelliklerinin geliştirmek için birçok araştırmacı tarafından kullanılmaktadır (Shahroozi ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2022; Jenicki ve ark., 2018).

Xiao ve ark. yüksek hızlı hava yakıtı (HVOF) ile TiC-Fe kompozit kaplama çalıştılar. TiC ilavesinin TiC-Fe sermet kaplamanın mikroyapısı, mekanik özellikleri ve aşınma davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. TiC ilavesinin aşınma direncini ve mikrosertliği önemli ölçüde arttırdığını gözlemlemişlerdir (Xiao ve ark., 2021).

Cai ve ark. plazma sprej yöntemi ile hazırlanan TiC takviyeli Ni/TiC kaplamanın mikroyapı ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. TiC takviye oranının % 30 artırılması ile sürtünme katsayısı ve aşınma oranı en düşük değere ulaşmıştır (Cai ve ark., 2013).

Rasool ve ark. AISI 303 paslanmaz yüzeyini TiC ile kaplamışlardır. Kaplanmış ve kaplanmamış paslanmaz çeliğin kuru kayma koşullarında aşınma direncini incelemiştir. Kaplanmamış çelik zayıf aşınma direnci gösterirken, TiC kaplanmış alt tabakanın aşınma direncinin önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir (G. Rasool ve ark., 2014).

Saba ve ark. mekanik alaşımlama yöntemini kullanarak D2 yüzeyinde TiC biriktirmişlerdir. İşlem sonrası optimize edilmiş parametrelerle üretilmiş kaplama için en yüksek sertlik ve aşınma direnci elde etmişlerdir (Saba ve ark., 2016).

Hem sert seramik faz (TiC) partikülleri hem de katı yağlama partikülleri (grafit) ile güçlendirilmiş kompozit malzemeleri iyi tribolojik özellikler sergilediği bilinmektedir (Bin CAI ve ark., 2011).

Emamian ve ark. lazer yöntemini kullanarak orta karbonlu çelik yüzeyini Fe-Ti-C ile kaplamışlardır. Kaplama işleminde iki önemli parametre; kaplama sıcaklığı ve kimyasal bileşimi kaplama mikroyapısına etki etmiştir. Bu iki parametre ile matris içerisinde TiC parçacıklarının düzgün bir şekilde dağılmasına bağlı olarak karbürlerin arttığını bunun sonucunda yüksek sonuçlandığını göstermiştir (Emamian ve ark., 2011). Grafit gibi kendi kendini yağlayan takviye katmanlı yapısı mükemmel yağlama özellikleri nedeniyle sürtünme önleyici özellikleri geliştirir (Rajkumar ve ark., 2010).

Cai ve ark. TiC partikülleri ile güçlendirilmiş Ni bazlı alaşım kaplamaların sürtünme katsayılarını azaltmak ve aşınma önleyici özelliklerini daha da iyileştirmek için 45 karbon çeliğinin yüzeyine grafit/TiC/Ni bazlı alaşım (GTN) kaplamalar hazırlamışlardır. Grafit içeriğinin GTN kaplamaların mikroyapısı ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Sonuçlar, GTN kaplamalara grafit ilavesinin sürtünme katsayılarını büyük ölçüde azaltabileceğini ve aşınma direncini iyileştirebileceğini göstermektedir. 6.56GTN ve 12.71GTN kaplamalar, sırasıyla düşük ve yüksek yükler altında mükemmel entegre sürtünme önleyici ve aşınma direnci özellikler sergilediği belirtilmiştir (Cai ve ark., 2011).

Demir esaslı TiC kaplamalar; plazma püskürtme, alev püskürtme, HVOF, SHS, TRD, lazer, PTA, TIG yöntemleri kullanılarak üretilmişlerdir (Yu-duo Ma. ve ark., 2020; Krelling ve ark., 2018; Mahmoodion ve ark., 2014; Kurt ve ark., 2014; M.C. OH ve ark., 2015; Jung ve ark., 2017; Buytoz, 2006). Bu yöntemlerden püskürtme yöntemlerinde kaplama katmanında zayıf yapışma, yetersiz erime ve gözenek problemelerinin olduğu bilinmektedir. Ayrıca tüm bu teknikler aynı zamanda pahalı kurulum ve sistemin hassas kontrolünden dolayı kullanımlarını sınırlandırmıştır. TIG kaplama işlemi ise, düşük maliyetli olması, atmosfer ortamında kullanımının çok daha kolay olması ve kaplamanın kalınlığını, kimyasal bileşimini ve özelliklerini kontrol etmek diğer işlemlere göre daha kolaydır (Rao ve ark., 2018; Chen ve ark., 2019; Lailatula ve ark., 2017).

TIG kaplama/alaşımlama yöntemi, metal altlıkların yüzeyinde çok yüksek erime sıcaklığına sahip seramikleri, altlık yüzeyine önceden yerleştirilmiş toz veya toz karışımlarının eritilmesiyle geliştirilen yüzey katmanı ile kaplamanın alternatif bir yoludur (Kılıç, 2021). Yöntem; Ark ısısı yardımıyla alt tabakaya ve alt tabaka üzerine biriktirilen tozun birlikte eritilmesine dayanır. Eriyik ile oluşan sıvı banyosu hızla katılaşır. Sıvı banyosunun hızlı katılaşması sonucunda oluşan sert karbürlü ince tabaka yapısından dolayı, aşınma ve korozyona daha dirençli kaplama yüzeyleri elde edilir (Ulutan ve ark., 2009).

Islak ve ark. TIG yöntemini kullanarak farklı oranlarda SiC takviyeli FeW esaslı metal matriks kompozit kaplamalar hazırladı ve ağırlıkça FeW-25 % SiC takviyeli kaplama sertlik ve aşınma performansı açısından en uygun kombinasyondur. Yüksek sertlik ve iyi aşınma direnci arkasındaki sebep Fe₂C, Cr₇C₃, W₂C karbür ve Fe₂Si, CrSi₂ silika fazlarının yoğun olarak mikroyapıda mevcut olmasıdır (Islak ve ark., 2011).

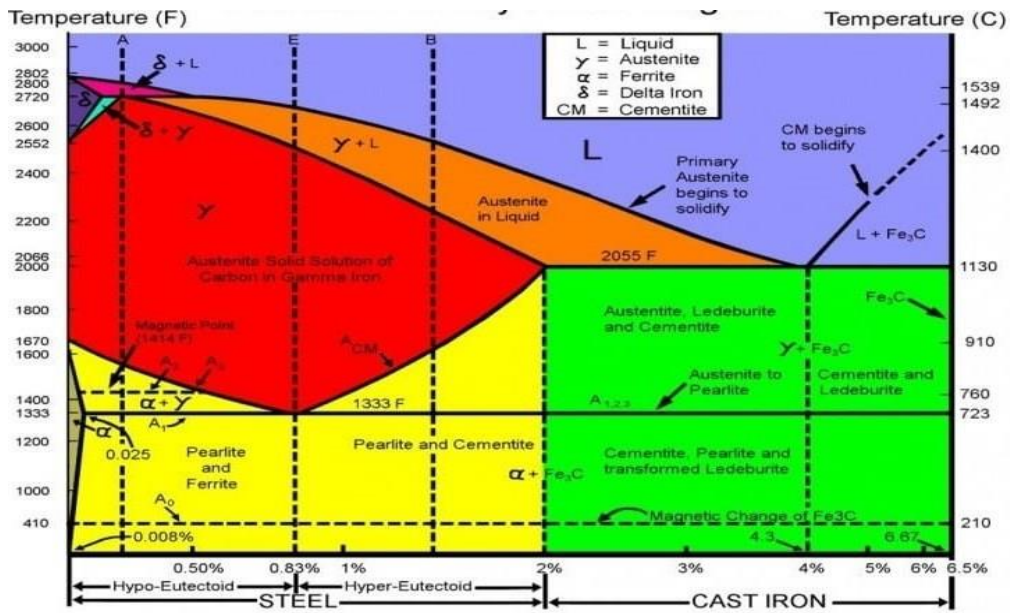
Adeleke vd. TIG yöntemi ile alt tabakanın aşınmaya karşı direncini arttırmak için 97Fe₂C₁Si, 94Fe₄C₂Si ve 91Fe₆C₃Si nominal bileşime sahip üç farklı toz karışımı ticari saflıktaki titanyum (CP-Ti) üzerine Fe esaslı alaşımların çökelttilmesini araştırmak için bir girişimde bulunulmuştur. Çalışma sonucunda eriyik mikroyapıları, farklı TiC çökeltiilerinden oluşuyordu. Hem mikro sertlik hem de aşınma direnci, özellikle 94Fe₄C₂Si ile TIG kaplamadan sonra önemli bir gelişme göstermiştir (Adeleke ve ark., 2015).

Heidarshenas vd. TIG (tungsten atıl gaz) işlemi kullanarak 304 paslanmaz çelik üzerinde bir kompozit kaplama yapmışlardır. Kaplama malzemesi olarak grafit tozu ile kaplanmış Ti tel kullanmışlardır. Optimum özelliklere sahip bir kaplama (yani sertlik ve aşınma direnci) elde etmek için proses parametrelerinin etkilerini analiz etmişlerdir. Kompozit katmanlara sahip kaplanmış numunelerin, ana malzemedan veya altlık malzemedan daha sert olduğunu ve 304 paslanmaz çeliğin sertliğinden neredeyse 4,5 kat daha yüksek olan 1100 HV'ye kadar değişebildiğini belirtmişlerdir. Benzer şekilde, kaplamanın aşınma direncinin, ana malzeme veya altlık malzemesinden 4,5 kat daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir (Heidarshenas ve ark., 2017).

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Çelikler

Çelik, genel tanımıyla açıklamak gerekirse eğer, demir karbon alaşımı olup dünyada en yaygın alanda kullanılan mühendislik malzemelerinin kuşkusuz en başında gelmektedir (Ayvaci, 2019; Taşlayan, 2020). Çelik alaşımındaki karbonun yüzdelik oranı çeliğin sınıflandırılmasında en önemli etkenlerdendir. Karbon ve diğer elementlerin çeliğin içerisindeki asıl amacı, demir atomundaki kristal kafeslerin kayma yaparak birbirini geçmesini engellemesi sonucu sertleşmesini sağlamaktır. Çeliklerin karbon miktarının fazla olması demirden daha sert ve güçlü olmasını sağlar fakat buna karşın daha az sünek yani gevrek yapıda olup kırılgan bir yapının oluşmasına neden olmaktadır ve buda mühendislikte istenmeyen bir durumdur. Metalin yapısında bol miktarda karbon elementinin olması malzemeyi kırılgan yani gevrek bir yapı oluşmasına sebep olur. Bu malzemelerin kaynak kabiliyeti düşük, soğuk şekillendirmeye elverişsiz, bükme, dövme, eğme, çekme gibi şekillendirmeye elverişsiz olmasına nednen olur. Bu gibi istenmeyen sorunları giderip ortadan kaldırmak amacıyla demire bir takım özellikler kazandırmak için, yapısında bulunan ve istenmeyen elementler ayrıştırılıp atılır. Böylelikle istenilen özelliklere sahip çelik malzemesi elde edilmiş olur (Kesti, 2009). Şekil 3.1'deki Demir-karbon denge diyagramındaki en sol baştaki saf demir (ferrit) bileşeni, sağ uçtaki ise sementit bileşenini ifade eder. Karbon oranı % 0-2 olduğu bölge çelik olarak adlandırılırken, % 2-6,67 olduğu bölge ise, dökme demir olarak tanımlanmaktadır (Callister, 2016).



Şekil 3.1. Demir – Karbon Denge Diyagramı (Callister, 2016)

3.1.1. Çeliklerin sınıflandırılması

Çelikler genellikle iki farklı şekilde sınıflandırılırlar. Bunlardan birincisi karbon miktarına göre isimlendirilip sınıflandırılırlar. Karbonlu-alaşımli çelikler ve karbonlu-alaşımsız çeliklerdir ve yapısında %0,02 ile %2 oranda karbon bulundurulur. Çelikler, karbon oranlarına göre üç bölümden oluşur. Bunlar;

- %0,25'e kadar karbon içerenlere düşük karbonlu çelikler,
- %0,25-0,55 arasında karbon içerenlere orta karbonlu çelikler,
- %0,55-2 arasında karbon içerenlere yüksek karbonlu çeliklerdir.

Demir-Karbon denge diyagramında %0,8 karbon içeren çeliklere ötektoid çelik denir. Sebebi, östenit fazısının yavaşça ötektoid sıcaklığın altına soğutulması halinde tamamı α ferrit ve sementitten oluşan bir yapının meydana gelmesidir. Çeliğin %0,8'den az karbon içerdiğinde ötektoid altı çelik; %0,8'den fazla karbonl içermesi durumunda da ötektoid üstü çelik olarak isimlendirilmektedir (Kınıkoğlu, 2001).

Demir esaslı metaller; demir-karbon alaşımları ve alaşımlı çelikler olmak üzere iki ayrılır. Demir-karbon alaşımlarının yapısında yalnızca demir ve karbon elementi bulunur iken, alaşımlı çeliklerde ise demir ve karbonun yanında alüminyum, nikel, kobalt, mangan, molibden, krom ve silisyum gibi pek çok ilave elementler bulundurulur (Onaran, 2006).

3.1.1.1. Alaşımsız çelikler

3.1.1.1.1. Düşük karbonlu çelikler

Bu çelikler, %0,25 oranına kadar karbon (C) bulunduran ve içerisinde az oranda kükürt, mangan ve silisyum bulunduran çeliklere denir. Yüksek mukavemetin istenmediği durumlarda maliyetinden dolayı tercih edildiği görülmektedir. Kaynak edilebilirliğe, soğuk şekillendirme işlemine elverişli olmasına rağmen su verilip sertleştirme işlemine karbon oranı yeterli olmadığından uygun değildir. Bu çeliklerin mukavemet artışı sadece soğuk şekillendirmeye sağlanmaktadır ve su verilip sertleştirme işlemi yapılmaz (Eker, 2008).

Kullanım Alanları: Sanayide çok fazla kullanılan somun, civata, ıslah edilebilir makine parçaları imalatı, yapı ve inşaat sektörü gibi pek çok yerde kullanılır (Güventürk, 1990).

3.1.1.1.2. Orta karbonlu çelikler

Bu çelikler, %0,25 ila %0,55 arası karbon içermektedirler. Karbon miktarı arttıkça soğuk şekillendirme işlemi ve kaynak edilebilme kabiliyetinde bir miktar azalma görülmesine rağmen su verilme işlemiyle sertleştirme özelliği artmıştır. Bu sebepten dolayı orta karbonlu çeliklerin yapısı ve özellikleri ısıt işlem uygulanarak değiştirilebilmesi mümkündür.

Örnek olarak genel dövme çelikleri % 0,3-0,4, mil çelikleri %0,4-0,5 ve aşınma dayanımı yüksek olan çelikler ise %0,5-0,6 aralığında karbon içerdiği bilinmektedir (Eker, 2008).

Kullanım Alanları: Aşınmaya dayanımı yüksek olması istenen somun, civata, manivela kolu, dingil, uskur mili, ray, dişli çark, gemi şaftı, mil, yük kancası, kazma, kürek vs. gibi pek çok yerde kullanılır (Güventürk, 1990).

3.1.1.1.3. Yüksek karbonlu çelikler

Bu çelikler, %0,55-2 karbon içeren çeliklerdir. Daha çok aşınma, yüksek mukavemet gibi yerlerde tercih edilir. Bunlar genellikle üretim sonrası sertleştirilerek ve menevişlenerek kullanılırlar (Eker, 2008).

Kullanım Alanları : Aşınma dayanımı yüksek olan mil, makaslar, şaft, civata, zımba, somun, spiral, kesici basit takımlar, yaprak yaylar, kepçe dişlisi, yüksek mukavemetli makine parçaları, eğe, keser, greyder bıçağı, ağaç testeresi gibi malzemelerin imalatında kullanılır (Güventürk, 1990).

3.1.1.2. Alaşımli çelikler

Kullanılacak yere uygun olarak yüksek dayanım, yüksek korozyon direnci gibi gereksinimlerin olduğu durumlarda alaşım elementleri oldukça önemli bir yere sahiptir. Örnek verecek olursak eğer; Cr, Mo, V, Mn, gibi alaşım elementleri korozyon dayanımını arttırılmasında oldukça fazla etkilidirler. Bu çeliklerin korozyona karşı dayanımı azdır. Oysa, alaşım elementleri ile bu sorun giderilmiştir. Alaşımsız çeliklerin sertleşme özellikleri azdır ve bu çeliklerden yapılan parçaların dayanımını arzu edilen seviyeye çıkaramayabiliriz. Ayrıca bu çeliklere su verilerek kafes yapılarının bozulmasına ve yüksek iç gerilmelerden dolayı gevrek hale gelmesine neden olunmaktadır. Bu durum ise istenmeyen bir olaydır. Bir çok alaşım elementleri katılarak çeliğe bazı ek ilave özellikler kazandırılabilir. Gözle görünür şekilde alaşım elementleri mekanik özelliklere katkı sağlar. Alaşım elementlerinin çeliğe katılmasındaki amaç; öncelikle sertleşme kabiliyeti ve sertleşme derinliğini arttırarak sertlik ve mukavemet kazandırmak bunun yanında tokluğu arttırmak, yüksek sıcaklıklarda sertliği korumayı sağlamak, düşük ve yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyileştirmek ve geliştirmek, korozyon direncini arttırmak olarak sıralayabiliriz. Daha doğrusu kullanılacak yere göre bu özellikler değişim göstermektedir (Eker, 2008; Erişir, 2012). Tablo 3.1'de görüldüğü gibi alaşım elementlerinin çeliğe ne tür bir etki ettiği gösterilmiştir (Karabayrak, 2017).

Tablo 3.1. Alaşım Elementlerinin Çeliğe Etkisi (Karabayrak, 2017)

Alaşım elementi	Sertlik	Mukavemet	Akma noktası	Yüzde uzama	Kesit daralması	Darbe direnci	Elastisite	Yüksek sıcaklık dayanımı	Sogutma hızı	Karbür oluşumu	Aşınma direnci	Dövülebilirlik	İşlenebilirlik	Oksitlenme eğilimi	Korozyon direnci
Si	↑	↑	↑↑	↓	~	↓	↑↑↑	↑	↓	↓	↓↓↓	↓	↓	↓	-
Mn*	↑	↑	↑	~	~	~	↑	-	↓	~	↓↓	↑	↓	~	-
Mn**	↓↓↓	↑	↓	↑↑↑	~	-	-	-	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	-
Cr	↑↑	↑↑	↑↑	↓	↓	↓	↑	↑	↓↓↓	↑↑	↑	↓	-	↓↓↓	↑↑↑
Ni*	↑	↑	↑	~	~	~	-	↑	↓↓	-	↓↓	↓	↓	↓	-
Ni**	↓↓	↑	↓	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑↑	↓↓	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑
Al	-	-	-	-	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓	-	↓↓	-
W	↑	↑	↑	↓	↓	-	-	↑↑↑	↓↓	↑↑	↑↑↑	↓↓	↓↓	↓↓	-
V	↑	↑	↑	~	~	↑	↑	↑↑	↓	↑↑↑↑	↑↑	↑	-	↓	↑
Co	↑	↑	↑	↓	↓	↓	-	↑↑	↑↑	-	↑↑↑	↓	~	↓	-
Mo	↑	↑	↑	↓	↓	↑	-	↑↑	↓↓	↑↑↑	↑↑	↓	↓	↑↑	-
S	-	-	-	↓	↓	↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↑↑↑	-	↓
P	↑	↑	↑	↓	↓	↓↓↓	-	-	-	-	-	↓↓↓	↓↓↓	↓↓	↑↑
* Perlitik çeliklerde					↑		↓		-			~			
** Östenitik çeliklerde					Artırır		Azaltır		Değişmez			Önemsiz ya da bilinmiyor			

3.1.1.2.1. Alaşımli çeliklerin kullanım alanları

Günlük hayatımızda karşılaştığımız alaşımli çelikler inşaat, sağlık, yapı, otomotiv, araç ve gereçler gibi pek çok alanda kullanılan önemli bir alaşımdır. Örneklerle açıklayacak olursak eğer; günümüzde her evde bulunan renkli televizyon tüpleri, iletişim araç gereçleri, küçük ev aletleri, beyaz eşyalar, endüstriyel mutfaklar, kağıt ve sabun sanayi, otomotiv sektörü, havacılık endüstrisi, buhar kazanları, deri, kimya ve petrol endüstrisi, dekoratif borular, nükleer mühendislik, ısıya dayanıklı parçalar ve konteynır, egzoz üretimi gibi ürünlerin üretiminde çelik malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca insan vücudunda ve kullandığı gıdalarda kimyasal olarak değişikliğe neden olmayan paslanmaz çelik; kalçalar, protezler, diz kapakları, vidalar, iğneler ve neşter gibi biyomedikal gibi sağlık sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaptığımız yemeklerin rengini ve kokusunu bozmayan paslanmaz çelikler; tabaklar, çatal-bıçak, yiyecek ve içecekler için üretilen saklama kapları, kaplanmış tencereler, fırın kalıpları için kullanılmaktadır (Köksal, 2021).

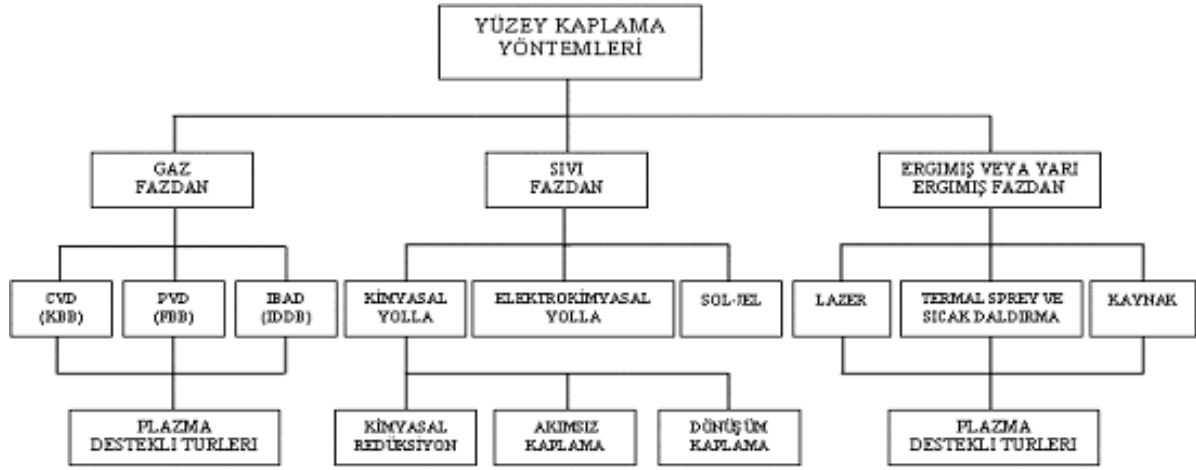
3.2. Kaplama Yöntemleri

Yüzey mühendisliğindeki çalışmalar, insanlığın malzemeleri kullanmaya başlamasına kadar çok eskiye dayanır. Bundan sonraki yüzyılda ise bilim adamları yüzey mühendisliğini bir kavram olarak tanımlamalararak bu konularda pek çok önemli çalışmalar yapmışlardır. Malzeme yüzeylerinin dış etkenlerin zararlarından (maruz kaldığı sürtünme, korozyon, yorulma ve aşınmalar) korunması için ortadan kaldırılmasına ve ya minimize indirmek amacıyla pek çok yüzey işlemlerine ihtiyaç duyulmuştur (Gür ve ark., 2018).

Özellikle endüstri sanayisinde yaygın kullanım alanına sahip malzemelerin birçoğu çalışma ortamındaki zor şartlar sebebiyle mekanik ve dinamik kuvvetlerin etkisiyle aşınmaya ve sürtünmeye maruz kalırken, bazen de korozyonlu çalışma ortamlarından dolayı korozyona maruz kalarak servis ömrünü tamamlaması sonucu kullanılmayacak duruma gelerek hurdaya çıktığı görülmüş olup bu durum hiç de istenmeyen sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Sonuç olarak hurdaya ayrılan malzemenin yerini yenisiyle doldurulması gerekmektedir. Bunun sonucunda ekonomik kayıplar ortaya çıkması ve zaman açısından mutlak kaçınılmaz bir durumdur. Ayrıca teknolojinin gelişmesine paralel hammadde sıkıntısı giderek artmaktadır. Bu sebepten dolayı malzeme yüzeyinde meydana gelen aşınma ve korozyonun önlenmesi sonucunda mevcut malzemelerin kullanım ömrünü arttırmasına büyük katkı sağlayacaktır. Genellikle malzemenin yüzeyinin sert ve aşınmaya dayanıklı olması ve alt tabakanın da sünek ve mukavemetli olması gerektiğinden dolayı yüzey modifikasyon yöntemleri yapılmıştır (Yıldırım, 2018).

Yüzey mühendisliği ikiye ayrılır;

- I. **Yüzey işlemleri:** Malzemenin yüzeyine bir başka malzemeyi difüzyon ile yüzeyde bir bileşik tabakasının meydana gelmesi işlemlerine denir (nitürleme, karbürleme, borlama, vb).
- II. **Yüzey kaplamaları:** Malzemenin yüzeyine bir başka malzeme eklenmesi işlemlerine denir (metal-alaşım bileşik-seramik kaplama, boya-cam- beton-emaye kaplama vb). Şekil 3.2’de görüldüğü gibi yüzey kaplama yöntemlerini şematik olarak gösterilmiştir (Evcin, 2006).



Şekil 3.2. Yüzey Kaplama Yöntemlerinin Sınıflandırılması (Evcin, 2006)

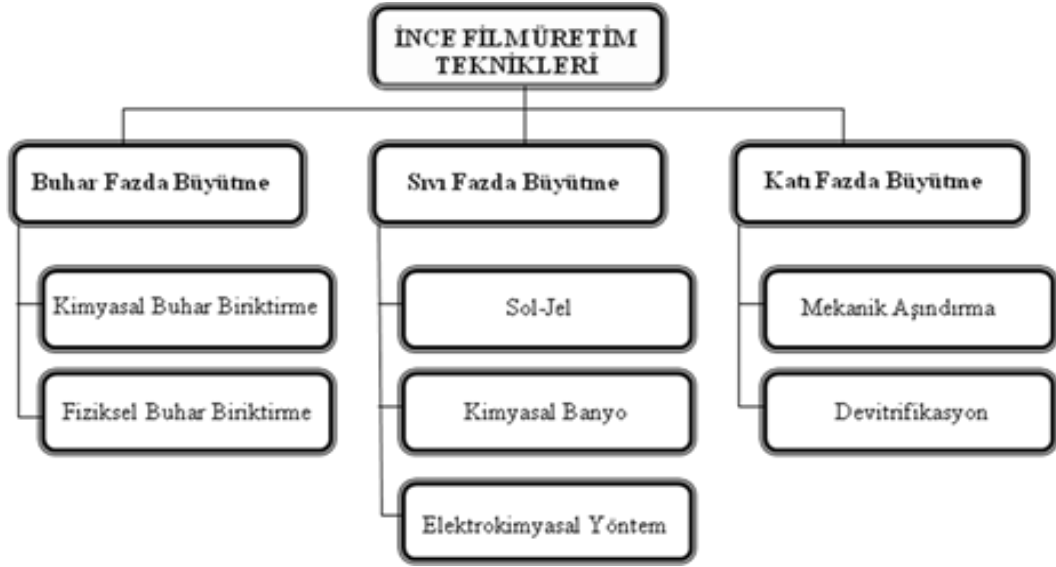
Kaplama işlemleri sonrasında elde edilen tabakaların kalınlığı 100 μm ve daha fazla ise bu işlem kalın kaplama olarak isimlendirilir.

Kalın kaplama tabakasının ince kaplama tabakasına göre avantajları;

- Isı depolama hacmine daha fazla olması,
- Korozyona karşı uzun ömürlü olması (Evcin, 2006).

3.2.1. İnce film kaplamalar

Bilimsel çalışmalarda oldukça önemli bir yere sahip olan ince film kaplamalar, ilk etapta, cam ve seramikler üzerinde dekorasyon amaçlı kullanılmaya başlanmış olup zamanla ihtiyaçlar göz önüne alınarak gümüş tuzları kullanılmaya başlanmış ve cam yüzeyler üzerinde gümüş filmleri elde edildiği görülmüştür. 19. yüzyıldan itibaren yapılan çalışmaların sonucunda, yeni ince film kaplama yöntemleri geliştirilmiştir. İlk ince film kaplamalar, 1838’de “elektroliz” yöntemi ile yapılmış olup sonrasında ise 1852’de Bunsen “kimyasal reaksiyon” yöntemiyle, Faraday “asal gaz içerisinde buharlaştırma” tekniğiyle, Nahrwold ve Kundt “Joule ısıtması” tekniği ile ince film elde edilmiş olup Şekil 3.3’de ince film üretim yöntemleri gösterilmiştir (Sönmezoğlu ve ark., 2020).

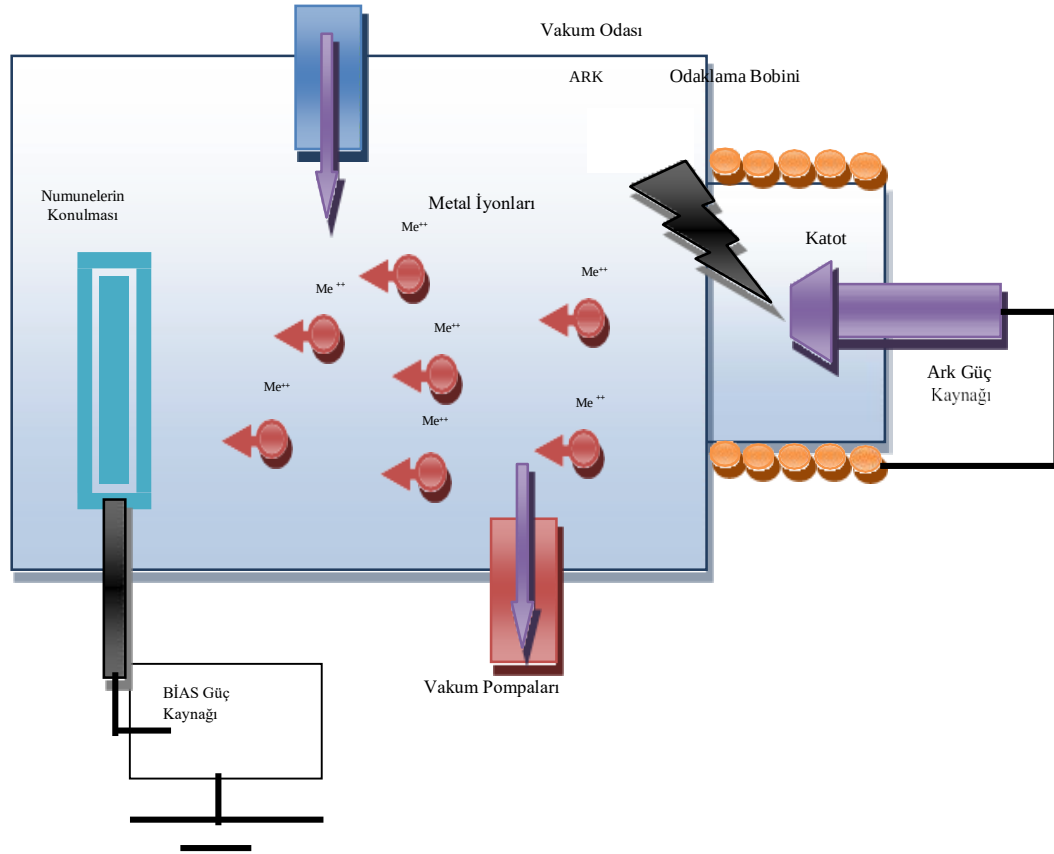


Şekil 3.3. İnce Film Üretim Teknikleri (Sönmezoğlu ve ark., 2020)

Vakum cihazlarının gelişiminden itibaren daha modern yöntemlerle elde edilen ince film kaplamaların gerek kristal yapıları gerekse elektriksel ve optik özellikleri araştırılmaya başlanmış olup temel anlamda ince film üretim yöntemleri, malzemenin bulunduğu fiziksel durumlarına göre sınıflara ayrılmaktadır (Sönmezoğlu ve ark., 2020).

3.2.1.1. PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme)

İlk olarak FBB-PVD (Physical Vapor Deposition) kaplama çalışması Faraday'ın 1857 yılında metal bir tel malzemeyi vakum içinde buharlaştırma ile yaptığı kaplama işlemi ile literatürdeki ilk çalışma olarak bilinir. Daha sonra 1800'lü yıllarda Kuntz tarafından bu teknik ile ince filmler ve optik özellikler adı altında incelenmiştir. 1960'lardan sonra ise kesici takım yüzeylerine aşınmayı öteleme amacıyla kullanılmaya başlanmış olup zaman içerisinde geliştirilip yaygınlaştırılmıştır. Bu tektikte Şekil 3.4'de gösterildiği gibi katı haldeki hammaddenin yüksek enerji ile plazma haline getirilmesi sonucu kontrol altında tutularak kaplanacak malzemenin üzerine yapıştırılıp kaplanması işlemi olarak tanımlanmaktadır (Sönmezoğlu ve ark., 2020).



Şekil 3.4. Katodik Ark PVD Sistemi (Gündüz ve ark., 2005)

PVD kaplamalarının avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

PVD Kaplamaların Avantajları:

- Yüksek Sertlik (Yaklaşık olarak 80-90 HRC)
- Malzemenin her bölgesinde homojen kaplama kalınlığı sağlar
- Kimyasal ortamlara karşı dayanıklılık gösterir
- Yüksek aşınma direncine sahip olur
- Yüksek yüzey kayganlığı sayesinde düşük sürtünme katsayısı elde edilir
- Isıl iletkenliğin düşük olması sebebiyle ısınmayı minimize eder
- İşlenen parçaların yüzey kalitesi artar
- Her bölgede homojen kaplama kalınlığı elde edilir.
- Parça ve malzemenin kalıba yapışmasını engellemesi gibi çok pek çok avantajı sağlamaktadır.

PVD Kaplamaların Dezavantajları:

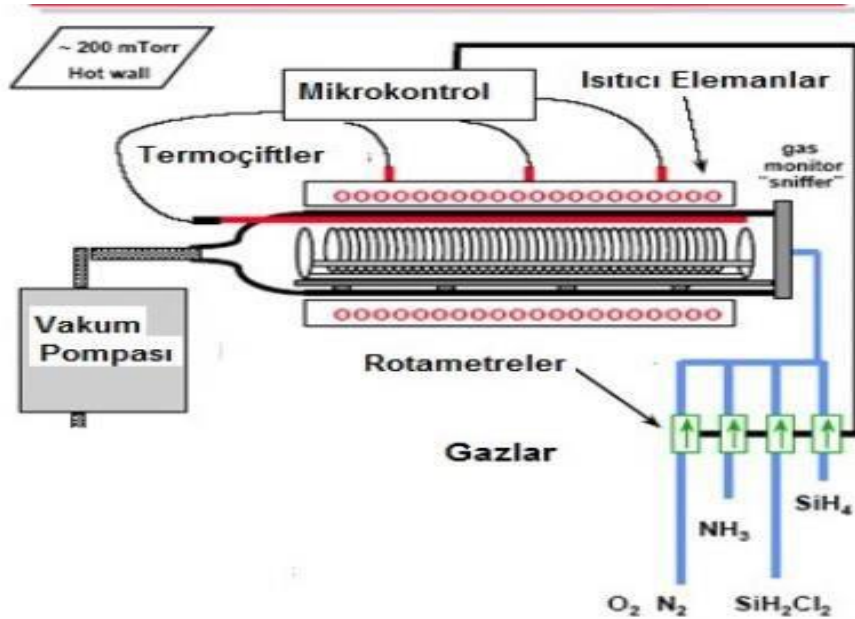
- Kaplama ortamının oluşturulması yüksek maliyet gerektirir
- Kaplama ortamı için yüksek sıcaklık ve düşük basınç oluşturulması gerekir

- Kaplama işlemi yapacak kişinin kendisi için risk taşıyan yüksesıcaklık ve yüksek basınçtan korunması gerekmektedir (Mattox, 1989).

3.2.1.2. CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme)

CVD tekniği, çevreyle reaksiyondaki gazların kimyasal reaksiyona girmesi ve ayrışması mantığına dayanmaktadır. Heterojen kimyasal reaksiyonlar ise filmlerin ya da tozların karışımına yol açan ısı verilmiş yüzeyin çevresine yakın ortamlarda oluşmaktadır. Ayrıca kimyasal buhar biriktirme (CVD) ayrışmış olan tozların imalatında da kullanıldığı bilinmektedir (Antonius, 2003). CVD işlemleri prensip olarak Şekil 3.5’de de gösterildiği gibi kolay bir şekilde buharlaşma özelliğine sahip kaplama numunesi ile bir gaz, termal ya da başka tekniklerle malzemenin yanında reaksiyona girer. Çıkan buhar, katı olarak sıcak ana malzeme üzerinde istiflenir (Apay, 2013).

Genel olarak CVD çok yönlü bir biriktirme tekniği yanında çalışmalarının geniş bir yelpazede kullanımına yönelik bu kaplama yöntemleri, tek ve çok kristalli ince filmler, amorf yapılarda biriktirme metotlarından ibarettir (Antonius, 2003).



Şekil 3.5. CVD Kaplama Sisteminin Şematik Görünümü (Uslu, 2013)

PVD işlemlerinde kaplama buharı; kaplama malzemesinin ısıtılması işlemi ile yapılan buharlaştırma ya da kaplama malzemesinin yüksek enerjili partiküllerle bombardımanı etkisiyle malzemeden kopan partiküllerle sağlanan iyon söktürme işlemidir (Apay, 2013). PVD (Fiziksel) ve CVD (Kimyasal) kaplama yöntemleri; metaller, refrakter bileşikler, alaşımlar olmak üzere pek çok geniş yelpazedeki malzeme gruplarına farklı kaplamaların

yapılması mümkündür. Buhar biriktirme yöntemi ile aşınma direncini artırmak amacıyla yapılan sert kaplamalar içinde en çok tercih edilen titanyum nitrür, sert amorf karbon (DLC) ve titanyum karbürdür olarak bilinir (Apay, 2013). Sonuç olarak CVD kaplamalarının avantajları ve dezavantajları aşağıda belirtilmiş olup bunlar;

CVD Kaplamaların Avantajları:

CVD kaplamalar genellikle çelik malzemelerin kaplamalarında kullanılmak şartıyla torna ve freze işlemlerinde kesici takıma uygulanmaktadır. Burada amaç kesici takımların verimliliği arttırmaktır. Kesici takıma sağladığı avantajlar ise;

- Yapışmaya karşı dayanıklılık sağlar
- Tokluk özelliği sağlar
- Aşınma direnci sağlar
- Verimliliği artırır
- Kullanım ömrünü uzatır
- Çok yüksek vakum seviyeleri gerektirmez

CVD Kaplamaların Dezavantajları:

CVD kaplamanın en önemli sayılabilecek dezavantajlarından biri yüksek sıcaklıklara maruz kalmasıdır. Kaplama işleminden sonra yavaş soğutmadan dolayı tavlanan işlem görmüş takımın tekrar sertleştirilmesi gerekmektedir. Bundan dolayı malzemede birtakım bölgesel olarak çarpılma, boyutsal olarak da değişime sebep olur (Rockett, 2008).

3.2.1.3. TRD (Termo Reaktif Difüzyon)

Termo reaktif difüzyon (TRD) tekniği 1968 yılında Toyota firması ve T. Arai tarafından geliştirilmiş olup bu teknik, Toyota difüzyon kaplama tekniği (TD) ve termal difüzyon tekniği isimleri olarak da kullanılmaktadır. Termo reaktif çökelme / difüzyon (TRD) işlemi, çelik malzemelerde sert, aşınmaya dirençli karbürler, nitrürler veya karbonitrit kaplamaları hazırlamak için kullanılan bir yöntemdir (Fan ve ark., 2012).

TRD kaplama yöntemi genel olarak termokimyasal işleme benzerdir. Fakat geleneksel termokimyasal uygulamalardan biraz farklılıklar göstermektedir.

Geleneksel uygulamaların tersine oluşan kaplama tabakası altlık yüzeyinde gelişir. Altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında belirgin bir sınır oluşur. Fakat, işlem yüksek sıcaklıkta yapıldığı için karbür oluşturu elementlerin ana metal içine difüzyonu gerçekleşir. Bu durum metalurjik bir yapı oluşturmaktadır (Chaliampalias ve ark., 2009). Termoreaktif difüzyon işleminin gerçekleşme şartı ise; çelik esaslı malzemenin karbon (C) içeriğinin %0,3'den az olmaması gerekmektedir (Oliveria ve ark., 2006).

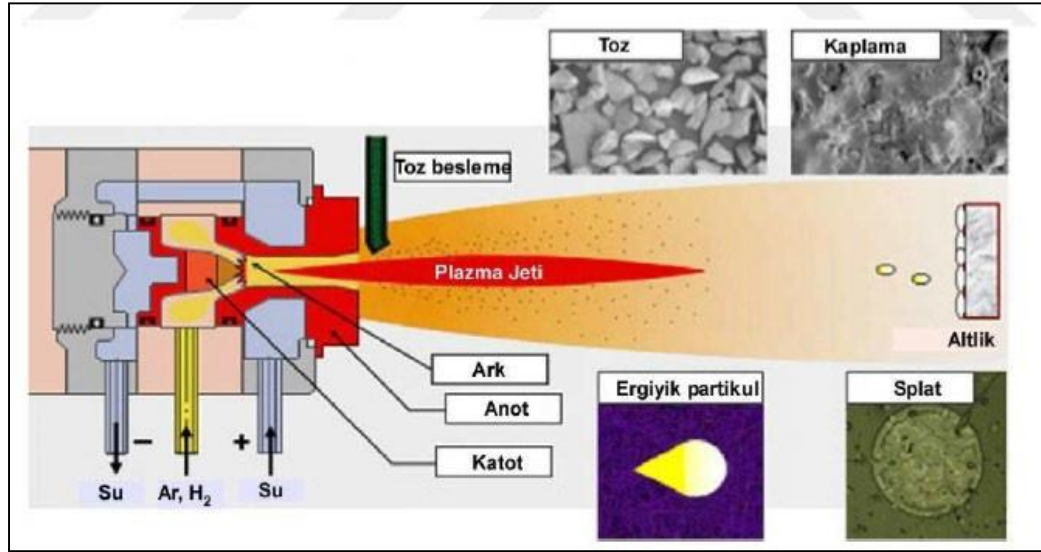
3.2.2. Püskürtme yöntemleri

3.2.2.1. Plazma püskürtme

En fazla tercih edilen ve kullanılan püskürtme yöntemidir. Özellikle endüstride büyük bir kullanım alanına sahip bir yöntemdir. Plazma püskürtme yönteminde temel mantık, metal ve alaşım yüzeyinde ince yapı elde edip aşınma dayanımı yüksek bir kaplama tabakası oluşturmaktır. Böylelikle yeni elde edilen kaplanmış olan malzeme aşınma, tokluk, şekillendirilebilme, yüksek sıcaklık dayanımı, korozyon gibi üstün özellikleri bir arada taşıyacaktır. Sonuç olarak birden fazla malzemeden istenen özellikleri Plazma püskürtme yöntemi ile elde edilen malzemede bulmamız mümkün olacaktır (Weng ve ark., 2014).

Plazma püskürtme yönteminin çalışma prensibi, plazma ışınının elde edilmesi katot ve anot arasındaki ark ile başlamış olup, elektrik arkı plazma torcu içerisinde üretilir. Üreticinin (+) kutbunun bağlandığı iletken anot, (-) kutbunun bağlandığı iletken katot adı verilir. Tungsten katot ve su ile soğutulması sağlanan bakır (Cu) anot arasında bir elektrik arkı oluşur. Bu oluşan ark ile, genellikle plazma gazı olarak kullanılan gazın iyonize olması için gerekli olan enerji elde edilir. Gazlar ise elektrik ark vasıtasıyla iyonize olur. Plazma gazının bu şekilde iyonize olması ile “plazma” meydana gelir (Bolelli ve ark., 2006).

Plazma püskürtme yönteminin şematik resmi Şekil 3.6'da gösterildiği gibi uygulanması esnasında pek çok gazlar kullanılmaktadır. Başlıca kullanılan gazlar He, Ar, N₂ ve H₂ ile birlikte az miktarda da hava mevcuttur. Bu gazların kullanım amacı plazmayı oluşturmaktır. Plazma gazları tek ve çift atomlu olarak iki gruba ayrılır. İlk grupta argon ve helyum gazları varken ikinci grupta ise azot ve hidrojen gazları bulunur. Plazma ışınının hızını arttırmak için farklı miktarlarda gaz karışımları kullanılır. Örnek verecek olursak eğer, püskürtülmüş malzemenin ve ışının kinetik enerjisini arttırmak amacıyla argon ve azot gaz karışımının kullanılmasıdır (Kahraman, 2001).



Şekil 3.6. Plazma Püskürtme Tekniğinin Şematik Gösterimi (Plazma Sprey, 2017)

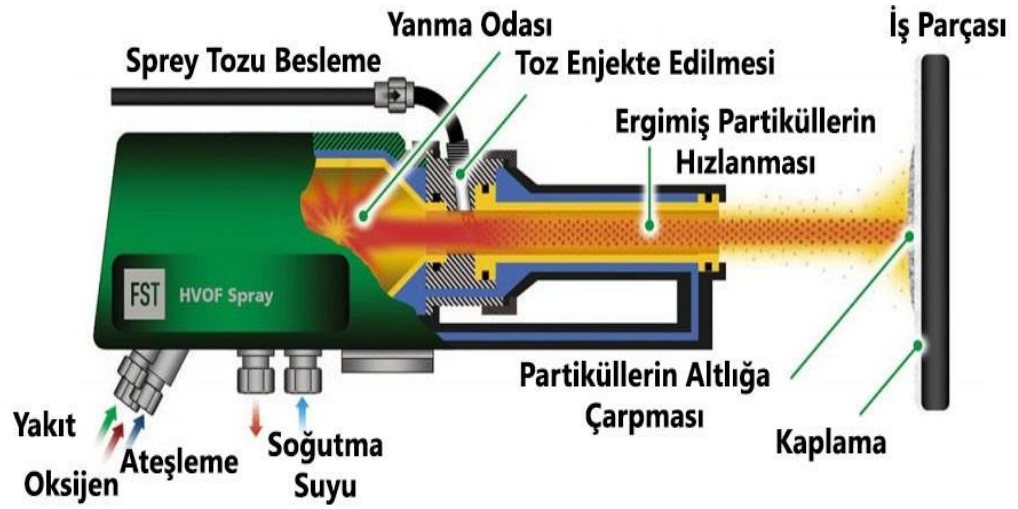
3.2.2.2. HVOF (Yüksek Hızlı Oksi Yakıt Püskürtme Yöntemi)

Yüksek hızlı oksji-yakıt püskürtme (HVOF) tekniğı, istenilen mekanik özelliğıe sahip kaplamalar elde etmek amacıyla kullanılan ve tercih edilen bir tekniktir. Püskürtme tekniğinde olduğı gibi yüksek kinetik enerji ve oldukça düşük sıcaklıklarda, döküm parçası ile diğeri başka parçayı birbirine dayanımlı bir şekilde bağlamada kullanılır. Korozyon ve aşınmanın etkisinde kalan ortamlarda malzemeler için oldukça önem arz etmektedir (Tan ve ark., 2003).

Termal püskürtme parametreleri deneysel uygulama ve bağlantılarla bulunup ortaya çıkarılarak günümüze kadar optimize edilmiştir. Termal püskürtme işlemi; hız, sıcaklık, katılaşmanın derecesi, alt tabaka malzemesi ve alt tabakanın sıcaklığı gibi çok geniş ve önem arz eden parametrelere sahiptir (Özel, 2013).

HVOF tekniğı, termal sprej kaplama yöntemlerinin en yeni yöntemlerdendir. Oksijen ve yakıt gazı yüksek basınçlarda uygulanır ve kullanılan gazlar propan, propilen ve hidrojenlerdir. Yanan gaz karışımı süpersonik hızlara ulaşır ve kaplama tozu aleve beslenir. HVOF, termal enerji girişini en aza indirirken, kinetik enerjiyi de max. derecelere çıkarır. Böylelikle yüksek mukavemetli, porozitesi az ve yoğun kaplamalar meydana gelir. Özellikle Jet motoru parçalarında aşınma dayanımı için tercih edilir (Teslab Sakarya, 2021).

Havacılık ve uzay sektöründe, petrol, petro-kimya, kâğıt sektörü gibi sektörlerde sert krom kaplama HVOF ile yapılabildiğı için PVD, CVD ve nitrürleme gibi kaplama yöntemlerine de tercih edilir. Şekil 3,7'de görüldüğü gibi HVOF tabancasının şematik gösterimi verilmiştir (Teslab Sakarya, 2021).



Şekil 3.7. HVOF Püskürtme Yönteminin Şematik Gösterimi (Teslab Sakarya, 2021)

3.2.2.3. Elektrik ark püskürtme

Elektrik ark püskürtme yöntemi prensip olarak, zıt elektrik yüklü iki telin birbirine temas ettiği yerde ark oluşturması ve oluşan ark ile bu tellerden eriyen malzemeyi basınçlı hava ile altlık malzeme yüzeyine püskürtme işleminden ibarettir (Tucker, 1997).

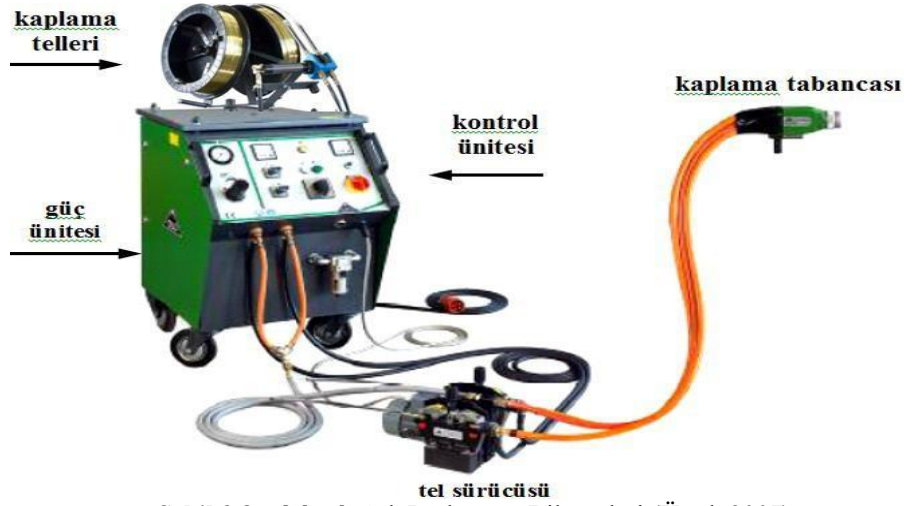
Elektrik ark püskürtme yöntemi ile 5500°C'ye kadar yüksek sıcaklıklara çıkması mümkündür. Elde edilen mikroyapı ile alevle püskürtmede oluşan mikroyapıda benzerlikler mevcuttur. Porozite ve oksit içeriği fazladır. Yüksek sıcaklık ile 69 MPa gibi yüksek bağ mukavemeti elde edilebilir (Kushner ve ark., 1990; Tucker, 1996; Clare ve ark., 1978).

Bu yöntemde, zıt kutuplu iki telin beraber beslenmesi yapılırken iki farklı elektriksel kutup desteği ile arkın meydana gelmesi ve kaplama numunesinin ortaya çıkan enerjisi ile eritmesine dayanmasıdır. Telin birbirini kesmesi ile kontrollü bir şekilde arklar oluşur. Bu teknikteki çalışma sıcaklıkları 4000-5000°C, partikül hızları ise 40-50 m/s aralıklarında değişmektedir (Kushner ve ark., 1990).

Elektrik ark kaplama malzemesi olarak elektrik iletimi olan ve tel olarak imalatı olan malzemenin uygulandığı kaplama olarak bilinir. Bu uygulamalarda kullanılan teller genel anlamda saf ya da alaşımlı metal malzeme veya seramik esaslı parçalar bulunduran öz tellerdir. EAS'ler diğer termal püskürtmelere oranla pekçok avantajı vardır.

Başlıca avantajları, verimliliği yüksek, püskürtme değeri yüksek ve kontrol parametresinin düşük olmasına bağlı kalınarak kullanımı kolay, maliyeti düşük, elektrotlarda soğutma suyuna ihtiyaç duyulmaması, boyut olarak kullanımının basit olması, kalitesi çok yüksek kaplamaların olmasından ibarettir. Bunun yanında kolay ve taşınabilir kullanılmasından dolayı endüstri alanında oldukça yaygın kullanım alanı bulur (Kushner ve ark., 1990).

Elektrik ark kaplama tekniğinin, düşük maliyet olmasından dolayı, geniş yelpazede uygulama alanı bulur. Yapılan kaplama işlemleri, aşınmaya uğramış malzemenin tekrardan aktif olarak uygulamalarda kullanılması için, korozyona dirençli bir malzeme elde edebilmek için kullanılmış olup Şekil 3.8’de bileşenleri gösterilmiştir (Üstel, 2007).



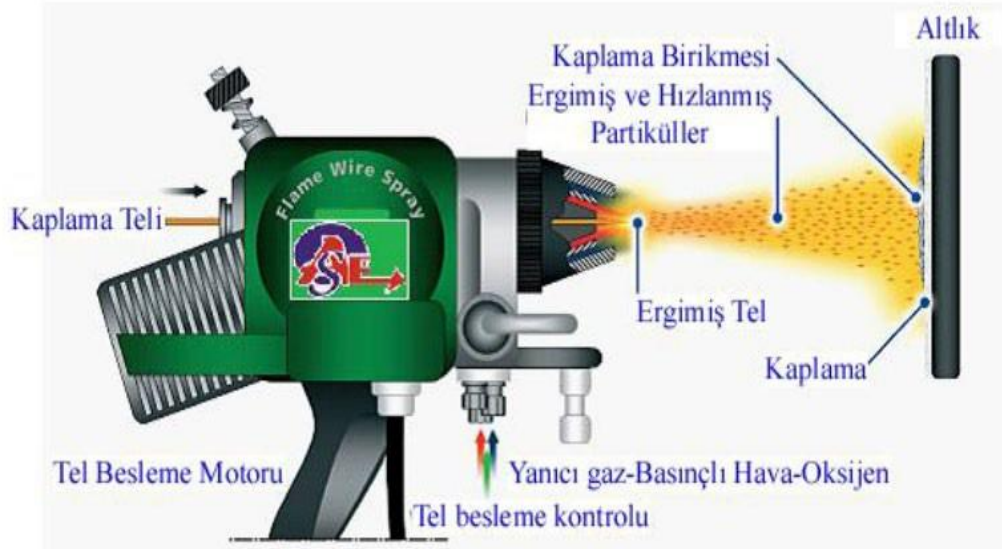
Şekil 3.8. Elektrik Ark Püskürtme Bileşenleri (Üstel, 2007)

Elektrik ark püskürtme yönteminin avantajlarını sıralayacak olursak eğer önceliklerin başında; üretim maliyeti düşük, seri üretim yapabilme, alev veya plazma kullanılmadığı için altlık malzemeye az ısı verme özelliği gelmektedir. Bunun yanında bu tekniğin en bariz dezavantajlarının başında kaplanacak malzemenin elektriksel olarak iletken olması zorunluluğudur (Clare ve ark.; 1978).

3.2.2.4. Alev Püskürtme

Alev Püskürtme tekniği ilk termal sprey tekniğidir. İlk önce düşük ergitme sıcaklıklarına sahip metal malzemelerin kaplanma işlemlerinde kullanılmış olup ve teknolojinin gelişimi ile birlikte ergitme noktası yüksek refrakter metaller ve seramik kaplama imalatında kullanılmaya başlanmıştır.

Püskürtme olarak kullanılan malzemeler, Şekil 3.9’da şematik olarak gösterildiği gibi tabancanın iç kısmından geçirilmektedir. Organik yakıtların yanmalarının neticesinde meydana gelen yüksek sıcaklık değerinde ergitme işlemi yapılmaktadır (Clare ve ark., 1978).



Şekil 3.9. Alev ile Püskürtme Tekniğinin Şematik Gösterimi (İnternet, Alloy Spray Engineering , 2020)

Bazı yakıt gazlar, oksijen ile birlikte kullanılan yakıtlar, bu teknikte çok fazla kullanılır. Ergitilmiş parçalar, altlık malzemelere çarpacak şekilde hızlandırılan basınçlı hava ile altlık malzemelerin yüzeylerine gönderimi sağlanır. Sıcaklığı 2480 °C’nin altındaki ergitmeye sahip olan malzeme çeşitleri bu teknik ile çok kolay kaplanabilmektedir (Clare ve ark., 1978). Bu teknikte 1-3 mm aralığında kaplama kalınlıkları elde edilir. Silindir ve yüzeyi geniş malzemelerin kaplamalarında özellikle yaygın olarak tercih edilir. Diğer yöntemlere göre düşük proses sıcaklıklarında ve düşük püskürtme hızına sahip olup alev sprej tabancaları, hafif, kompakt ve ucuz olduğu bilinir (Clare ve ark., 1978).

3.2.3. Kaynak yöntemleri ile kaplama işlemi

Kaynak yöntemi kaplamalarında en önemli etkenlerin başında ısı kaynağı ve kaplama numunesi gelmektedir. Kaplama işlemlerinde kullanılan ısı kaynağının ve kaplama malzemesi cinsi öneme sahiptir. Bu sebepten dolayı kaplama işlemlerinin pekçoğu bilinen geleneksel kaynak yöntemleri ile malzemelerin yüzeyleri ilave metal ve alaşımları ile kaplaması yapılmıştır. Bu teknikle ana malzeme yüzeyine ilave metal kullanılarak sert tabakalar elde edilmekte, mevcut yüzeyin özellikleri iyileştirilip geliştirilmekte ve aşınmış herhangi bir bölgenin tamiri yapılırken daha da güçlendirilmesi sağlanmaktadır. Malzeme yüzeyinde bu şekilde ilaveler yapılması adına bilinen kaynak yöntemlerinden olan gaz altı kaynak, elektrik ark, tozaltı yöntemleri tercih edilmektedir.

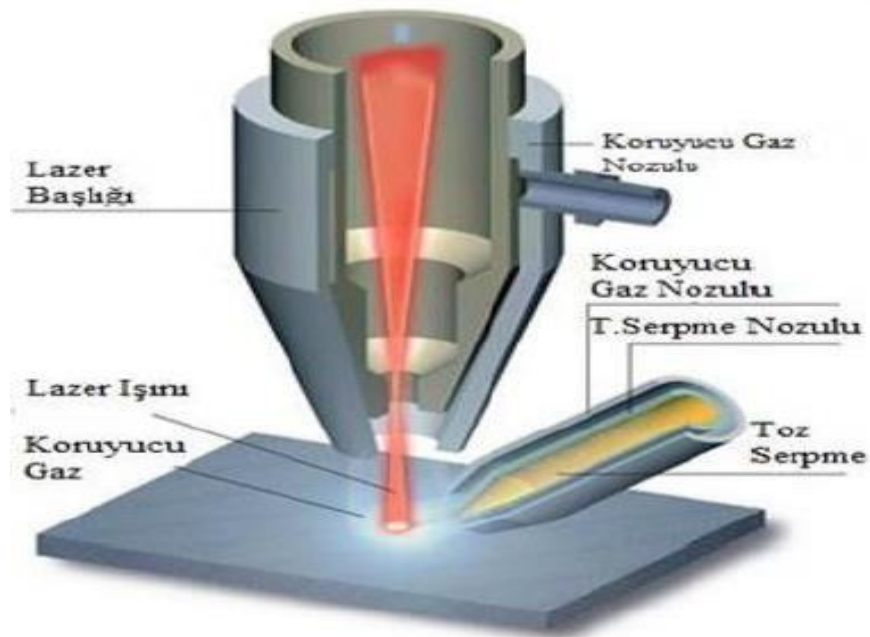
Maliyetleri ve uygulamalarının daha pahalı olmasına rağmen, elektron ışını ve lazer ışını ile kaynak yöntemleri de kaplama uygulamalarında sıklıkla tercih edilmektedirler. Bu tekniklerle uygulanan kaplama işlemlerinde genel olarak malzemede görünüş olarak bozulma ve çarpılmalarından dolayı bunları gidermek amacıyla ikinci bir işlem olan talaşlı imalat ihtiyacının oluşması gibi dezavantajlar vardır. Bu yöntemler diğer ergitme yöntemlerine göre korozyon, daha yüksek aşınma dayanımı ve erozyon direnci gösteren tabakası oluşturulabilmektedir (Özcan, 2014).

Ergitme yöntemi olarak da bilinen kaynak yöntemi ile kaplama işlemleri ile birçok çalışma yapılmış olup başlıcaları şunlardır;

- Lazer Kaynak Yöntemi
- Plazma Ark Yöntemi
- Tozaltı Kaynak Yöntemi
- TIG Kaynak Yöntemi

3.2.3.1. Lazer kaynak yöntemi

Lazer kaynağı ile yapılan işlemlerdeki (yüzey eritme alaşımlama ,kaplama) amaç birçok metal türünün yüzey özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmektir. Şekil 3.10'da şematik gösterimi verilen lazerle kaplamada, hazırlanan kaplamalar alt tabaka ile güçlü metalurjik bağ ortaya koymaktadır (Weng ve ark., 2014).



Şekil 3.10. Lazer Kaplama İşleminin Şematik Gösterimi (Lazer kaynağı, 2021)

Lazer kaynak tekniği, bilgisayar destekli tasarım ve imalat (CAD/CAM), robotlar, sensörler ve kontrol ile toz metalurjisi gibi bir çok konuyu bir araya getiren yeni kaplama tekniğinden ibaret olup bu kaplama yönteminde lazer bir ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Hareketli alt tabaka üzerine istenen ilave metal ince bir tabaka halinde yüzeye geçirilir. Yüzeye geçişecek metal; alt tabaka üzerinde önceden hazırlanmış tozun enjeksiyonu, yüzeye toz püskürtülmesi ya da tel besleme yolu ile kaplanacak malzeme yüzeyine aktarılır ve bunların arasında en etkili yöntemin, toz enjeksiyonu yöntemi olduğu düşünülür (Ulutan, 2007).

3.2.3.2. Plazma ark yöntemi (PTA)

PTA yöntemi, yüzey modifikasyonunda kullanılan bir kaplama işlemidir. Prensip olarak yüksek bir sıcaklıkta yüzeyde esas metalden farklı bir tabaka elde edilebilmesine dayanır (Özel ve ark., 2007).

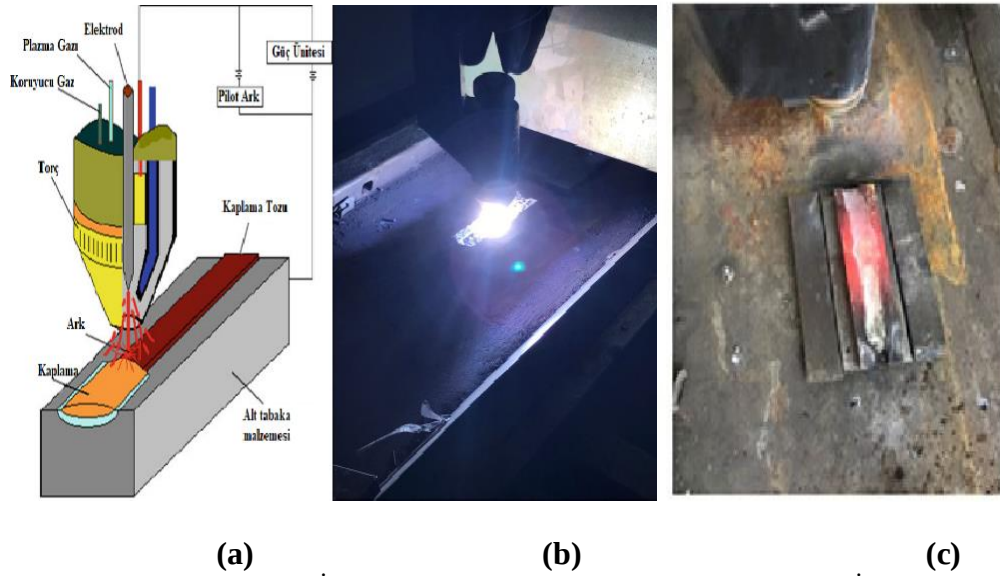
PTA kaynak yöntemi ile kaplama işlemi diğer ergitme kaynak yöntemleriyle karşılaştırıldığında yüksek sıcaklık (20000-30000 °C), yüksek enerji girdisi, düşük termal girdi ve düşük üretim maliyeti gibi pek çok avantajı vardır (Gürgeç ve ark., 2016).

PTA yönteminin diğer yöntemlere göre kaynak hızının yüksek olması, nüfuziyet derinliğinin fazla olması ve ark kararlılığının da iyi olması, aşınma-korozyon dirençleri birlikte yorulma dayanımını geliştirmesinden dolayı son yıllarda araştırmacıların artan ilgisini çekmiştir. Özellikle, Bu yöntemde malzeme yelpazesinin geniş olması yanında, kaplanan yüzeylerinde oluşan sert dolgu tabakası ve alt-tabaka malzemesi arasında düşük seyrelti ve bozulma ile malzeme yüzeylerinin performansı büyük ölçüde iyileştirilebilir. Plazma ile aktarılan ark tekniği, kaplama ve alt tabaka arasında oluşan güçlü metalurjik bağ, düşük gözeneklilik, yüksek enerji dönüşüm verimliliği, yüksek çökelme oranı, düşük ısı girdisi sağlar (Apay ve ark., 2013).

Plazma transferli ark kaplamalarında malzemeler ergidiğinden dolayı ana malzeme ile kaplama tabakası oluşturulacak metalin ergime sıcaklığı yaklaşık aynı ve ya ana metalden daha düşük olması gerekir. Aksi halde plazma arkı yüksek sıcaklıklarda ana metali eritirken kaplanacak malzemeyi eritemez veya kısmen eritir. Bu durumda iyi difüzyon gerçekleşmeyeceğinden kaplama tabakası tam anlamıyla oluşmaz (Yıldız ve ark., 2011).

Yeni yüzey kaplama yöntemlerinde incelenen ısı girdisi miktarı PTA yönteminde önemli bir özelliktir (Liu ve ark., 2006). PTA yönteminde iki bağımsız arkın (pilot ark ve ana plazma arkı) olması, yüksek derecede üretebilirlik, derin nüfuziyet vermesi, enerjiyi bir noktada toplayabilme, gelişmiş ark kararlılığı, içerdiği ısı miktarının ve kaynak hızının yüksek

olması özellikleri ile SMAW, GMAW VE GTAW gibi diğer yüzey kaplama yöntemlerinden daha üstün bir özelliğe sahip olduğu görülür (Kim ve ark., 2002). PTA tekniğinin diğer kaplama yöntemlerine oldukça iyi bir alternatif olduğu bilinmekte olup bu sebepten dolayı pek çok çalışma yapıldığı bilinmektedir (Liu ve ark., 2006). Şekil 3.11’de şematik olarak gösterildiği gibi bu teknikte, metal tozlarının yüzeye alaşımlandırılması, öncelikle tungsten elektrot ile nozul arasında pilot arkın meydana gelmesi ve sonrasında iş parçası ve elektrot arasında meydana gelen ana plazma arkı ile oluşur (Özel ve ark., 2005). Meydana gelen ark ile alt malzeme ve sertleştirilmiş tabaka arasında metalurjik bir birleşme oluşmakta ve malzemede yüksek kaynak hızından dolayı çok küçük çarpılmalar ve bozulmalar görülmektedir. Bu durumun az olması PTA yönteminin en önemli avantajlarından başında gelmektedir (Hou ve ark., 2005).

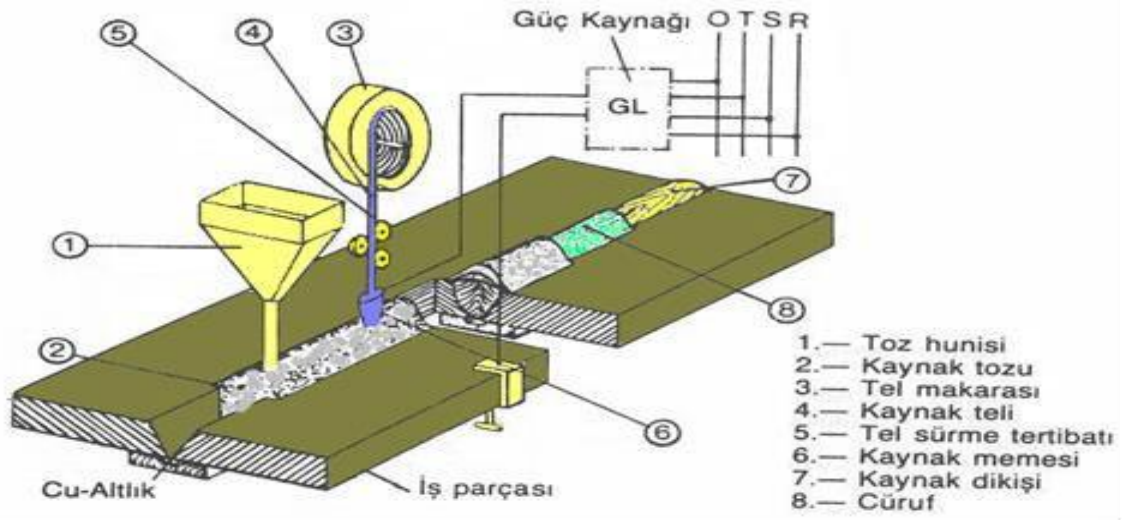


Şekil 3.11. (a) PTA Kaynağı ve Kaplama İşlemi Şematik Resmi, (b) Kaplama, (c) Kaplama İşlemi Yapılmış Numune (Yıldız ve ark., 2011)

3.2.3.3. Tozaltı kaynak yöntemi

Tozaltı kaynak tekniğinde; Şekil 3.12’de şematik olarak gösterildiği gibi sürekli beslenen çıplak bir tel elektrot var ve birleşmenin üzerine ayrıca ek olark ilave edilen toz halinde bir koruyucu ile ark bu toz tabakasıyla tamamen kapalı olduğundan yüksek akım değerleri çevresel ortamdan etkilenmeden rahatlıkla kullanılabilir. Bu yüksek akımlar sayesinde kaynak havuzu ana malzemeye çok derin olarak yayılabilmekte ve kalın kesitler herhangi bir kaynak ağzı hazırlanmadan rahatlıkla kaynak edilebilirliği mümkün olur. Uygulanacak işlemlere göre parametreler basit bir şekilde ayarlanabilmesi mümkündür.

İşlem esnasında ark gözükmediği için güvenli bir tekniktir. Alternatif akım ve doğru akım kullanılarak birden çok tel ile işlem yapmayı sağlamaktadır. Doğru akım derin nüfuziyet sağlarken, alternatif akım ve ilave teller, yüksek kaynak metali birikmesine imkân sağlar. İşlem akımları 1000 Amper değerlerine kadar çıkabilmesi mümkündür. Tozaltı kaynağında genellikle 400 Amper değerlerinde çalışılmaktadır. Çeliklerin birleştirilmesinde kullanılan koruyucu tozların özelliklerine dikkat edilmeli ve işlem bittikten sonra yüzeyde oluşan yapıların taşlanarak giderilmesi gerekir. Tozların akışkan hale getirilmesinde genellikle asit karakterli malzemeler tercih edilir. Bu şekilde kaynakla birleştirilen çeliklerin; kırılma tokluğu, aşırı sertleşme ve hidrojen gevrekliğinden ileri gelebilecek çatlamalara karşı işlem sonrası kontrol edilmesi gereken hususların başında gelir (Ulutan, 2007).



Şekil 3.12. Tozaltı Kaynak Yönteminin Şematik Gösterimi (Tozaltı Kaynağı, 2021)

Tozaltı kaynağının en başta gelen dezavantajları; genellikle silindirik ya da yassı iş parçalarının sert yüzey kaplanmasının sınırlılığı ve küçük parçaların yüzey sertleştirilmesine uygun olmamasıdır. Yatay uygulama dışındaki diğer sert kaplama uygulamalarında özel aparatlar gerekmektedir. Kullanılan tozaltı kaynak üniteleri oldukça büyük olmalarından dolayı saha uygulamaları için kullanımlarını kısıtlamasına neden olmaktadır. Aparatların kullanımdan önce kuru olarak saklanması zorunludur aksi takdirde depolama bir problem haline gelebilir. Seyrelme nispeten yüksektir ve ana metal ile alaşım oluşturma %30 seviyesine yaklaşabilir veya kısmen geçebilir. Bu sebeple, maksimum aşınma dayanımı için iki veya daha fazla tabaka kaynak metaline gereksinim duyulabilir (Kılınç, 2018).

TIG kaynak yönteminin pek çok avantajı ve aynı zamanda dezavantajları da bulunmaktadır.

Avantajları;

- Bütün metal ve alaşımları kaynak yapılabilir.
- Mukavemet ve kalite olarak çok iyi kaynak dikişi elde edilir.
- Dekapana ihtiyaç yoktur.
- Kaynak dikişleri için ikinci bir işleme gerek kalmadan direk kullanılır.
- Küçük alan ısıtıldığından dolayı çarpılmalar diğer yöntemlere göre daha azdır.
- Tungsten elektrot sayesinde kaynak dikişinde çok az bir karbür ayrışması meydana gelir.
- Yatay, tavan, dikey pozisyonlarında kaplama (kaynak) işlemi yapılabilir.
- Kaynak torcu hafif olduğundan dolayı kaynak operatörü için oldukça ergonomiktir.
- Kaynak dikişi üzerinde cüruf yoktur (Gözütok, 2007).

Dezavantajları;

- Metal yığılma hızı, diğer ark kaynak yöntemlerine göre oldukça düşüktür.
- Kalın kesitli malzemelerin kaplaması için maliyetlidir.
- İlave olarak Argon ve Helyum gibi koruyucu gaz gereksinim vardır.
- Kaynak havuzundaki kirliliği önlemek için yüzey temizliği gerekir.
- Kapalı alanda uygulanır ve açık havada oldukça güçtür.
- Kimyasal yapısı düzeltilemez (Gözütok, 2007).

3.3. Kaplama İşleminde Kullanılan Tozlar

3.3.1. Ferro Titanyum

Ferro titanyum yeryüzünde yaklaşık olarak %0,6 oranla demir, alüminyum, ve magnezyumdan sonra en çok bulunan metallerin başınma gelmiş olup Şekil 3.14’de görsel olarak yer verilmiştir. Titanyum ilk olarak 1791 yılında William Gregor tarafından İngiltere’de oksit formunda keşfedilerek ortaya çıkmış ve daha sonra ise 1795’te Alman kimyacı Klaproth, Macaristan’da titanyum dioksidin analizini yaparak Gregor’un da kaydettiği yeni bir elementin oksidini tespit etmiştir. Bu elementin ismi ise Klaproth tarafından bu elemente Yunan mitolojisinde üstün güç ve dayanıklılıklarıyla anılan güçlü Titanlardan esinlenerek titanyum adını vermiştir (Hill, 2001; Lütjering ve ark., 2003).

Ferro titanyumun endüstride hızla yaygınlaşmasının en önemli nedenlerinin başında korozyona karşı dayanıklı, düşük yoğunluk ve yüksek dayanımlı bir yapıya sahip olması gelmektedir (ASM, 1992). Özellikle düşük yoğunluk ve ağırlıkça önem arz eden uçak konstrüksiyonlarında ve implant uygulamalarında tercih edilmektedir (Yue ve ark., 1984; Cook ve ark., 1984). Korozyon direnci, düşük yoğunluk ve yüksek mukavemetin yanında rijit yapısı, yüksek sıcaklıklara dayanımı sayesinde özellikle uzay, havacılık sektörü, askeri alanlar gibi geniş uygulama alanı bulmaktadır (Günyüz, 2007). Ayrıca titanyum alaşımlarının mükemmel mekanik özellikleri ile biyouyumlulukları sayesinde medikal uygulamalarında önemli artışlar gözlemlenmektedir (Gökdemir, 2005). Titanyum malzemesinin kullanımına ilk örnek verecek olursak eğer 1952 yılında DC-7 tipi bir uçağın motorundaki yanma odası ve uçağın kanatlarındaki motor bağlantı yerlerinde kullanılmasıdır (ASM, 1992). 1952 yılıyla birlikte titanyumun sanayi ve endüstri alanlarında uygulamaları artmış olup yeni bir malzeme olarak anılmaya başlanmıştır (Froes ve ark., 1985; Erdoğan, 2001).

Titanyum metalinin dezavantajı ise, yüksek maliyetli olmasıdır. Fiyatının oldukça yüksek olmasının sebebi titanyumun oksijenle reaksiyona girme eğiliminde olmasıdır. Titanyumun oksijene olan ilgisi titanyum alaşımlarının maksimum kullanım sıcaklığını yaklaşık 600 °C ile sınırlandırmaktadır. Bu sıcaklıkların üzerinde oksijenin difüzyonunu hızlandırmakta ve yüzeydeki oksit tabakasının kalınlaşarak gevrek yani sert yapının oluşmasına sebep olmaktadır (Lütjering ve ark., 2003).



Şekil 3.14. Ferro Titanyum (Froes, 2015)

3.3.2. Grafit

Grafit, yüksek sıcaklıklara karşı yüksek mukavemet göstermesi, düşük yoğunluğu, yüksek buharlaşma sıcaklığı ve termal şoka karşı dirençli olması sebebiyle ileri teknoloji uygulamalarında kullanılan temel malzemeler arasında yerini aldığı görülmektedir (Geçkinli, 1992).

Doğal grafit tek başına kullanılabilir veya diğer bazı elementlerle karıştırılarak da çok geniş alanlarda kullanıma elverişli hale gelmesi mümkündür. Elektrik sanayide, döküm alanında, boyacılıkta, izole tesislerinde, elektronik malzeme yapımında, kurşun kalem ve özellikle uçak endüstrisinde, belirli jet motoru parçaları ve uçak parçalarında, ağırlık azaltılması için grafit flamanla kuvvetlendirilmiş kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Grafit, atom reaktörlerinde, ilaç üretiminde, metalurji sanayinin çeşitli dallarında çok yönlü olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir. Demir çelik imalatında kullanılan grafit çok saf olmalıdır. Fakat diğer metal üretiminde ise bu kadar saf olmasına gerek yoktur. Grafitin saflığı, boyut dağılımı, tane boyutu ve nem durumu gibi faktörlerin değişimine bağlı olarak; aşınma ve sürtünmesi istenilen düzeyde, kendinden yağlı yataklar imal edilebilir. Bu sahada kullanılan grafitin türü ve saflığı konusunda bir sınırlama söz konusu değildir (Yersel, 1978).

3.3.3. Titanyum karbür (TiC)

Titanyum karbür, periyodik cetvelde 4. grupta yer alan titanyum elementinin karbon ile reaksiyonu sonucu oluşan önemli karbürlerden başında gelmektedir. Refrakter karbürler arasında yer almaktadır. Titanyum karbürün tercih edilmesinin en önemli nedenleri yüksek ergime noktası olması, düşük yoğunluğu, sert ve rijit olması, iyi termal ve elektrik iletkenliği gibi fiziksel özelliklerinin çok iyi kombinasyonudur (Pierson, 1996).

Titanyum karbür, sert metallerde ve aşınma dayanımına karşı yüksek kaplama işlemlerinde çok geniş yelpazede kullanım alanı bulmaktadır (Strzeciwiłk ve ark., 2003). Bunun yanı sıra yüksek sıcaklıklara ve korozyif atmosferlere karşı dayanımı yüksek olmasından dolayı Titanyum karbürü ergimiş malzemelerin taşınmasında kullanılan tankların kullanımında tercih edilmesini sağlamıştır (Weimer, 1997).

3.4. Aşınma

Aşınma; sürtünmeden dolayı malzemelerin birbirlerine temas etmesi sonucu yüzeylerindeki malzemelerin kopmasına denir (Ludema, 1996). Teknik anlamda ise aşınma; cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenler sonucu mikro taneciklerin kopup ayrılması sonucu malzemede meydana gelen değişiklik olarak tanımlanmaktadır (Gediktaş, 1970).

Yüzey talaş kaldırma işlemi, aşınma olayı olarak nitelendirilmez ve bunun sebebi ise uygulamanın istenilerek ve kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesidir. Kimyasal, termal elektriksel ve fiziksel nedenlerle deforme, yüzeyden parçaların kopması aşınma olarak değerlendirilmez. Mühendislikte malzemelerin aşınma olarak sayılması için bazı şartların yerine getirmesi gerekir. Bu şartlar;

- Mekanik etkenler
- Hareketin sürekli olması
- Malzeme yüzeyinde meydana gelen değişiklik
- Sürtünmenin olmasıdır (Akkurt, 1986).

3.4.1. Aşınma türleri

Aşınma, mekanik etkiler, kimyasal çözünme veya temas yüzeylerinde ergimeyle oluşan mikro çatlakların neden olduğu fiziksel bir malzeme kaybıdır. Başlıca aşınma türleri;

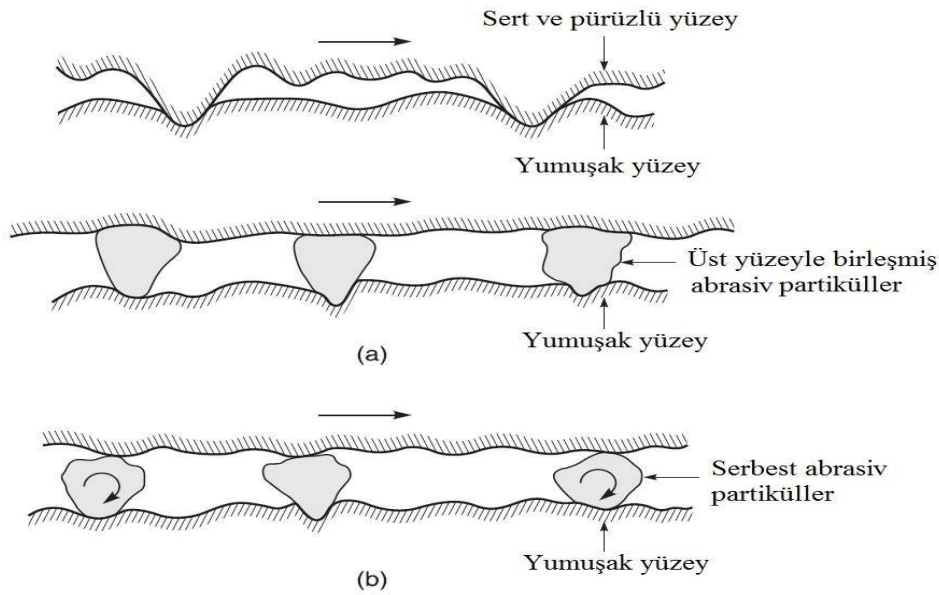
- Abrasif Aşınma,
- Adezif Aşınma,
- Yorulma Aşınması,
- Korozyon Aşınmasıdır.

Tribolojik sistemlerde aşınma sadece bir aşınma mekanizması ile gerçekleşmez ve bundan dolayı farklı aşınma mekanizmalarının bilinmesine gerek vardır (Bhushan, 2000). Bir makine elemanında birden fazla aşınma türleri görülebilmektedir. Aşınma belirli bir aşınma mekanizması ile ortaya çıkabilir ancak diğer mekanizmaları ile gelişebilir. Bu durum oluşan aşınmanın tespitini güçleştirir. Aşınmış makine elemanlarında genellikle en son hangi mekanizma sebep olduğu malzeme kayıplarını belirlemek için incelenmektedir. Hasar analizlerinde ise mikroskop ve çeşitli yüzey analiz yöntemleri tercih edilir (Bhushan, 2013).

3.4.1.1. Abrasif aşınma

Abrasif aşınma sert bir yüzeyin pürüzleri daha yumuşak olan diğer yüzey pürüzleri ile temas ettiğinde oluşmakta ve plastik deformasyona sebebiyet vermektedir. Metallerin pürüzleri düşük yüklerde dahi plastik deformasyona uğraması mümkündür. Sert ve aşındırıcı yüzey sürtünen yumuşak yüzeye hasar verir. Üç cisimli abrasif aşınmada sert yüzeyler ara bölgede hareketli küçük aşınma parçacıklarıdır. Bu partiküller genellikle temastaki cisimlerden adrasif aşınma ile koparak oluşurlar (Bhushan, 2013).

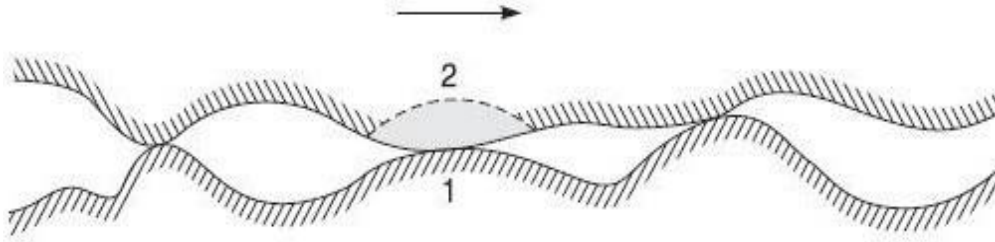
Abrasif aşınma, Şekil 3.15’de gösterildiği gibi malzemelerin yüzey sertliklerinin farklı değerlerde olduğu tribolojik sistemlerde gerçekleşir. Sertliği yüksek olan malzeme yüzeyin sert partikülleri yumuşak malzemenin yüzeye saplanır. Hareket ve aşınmanın sonucunda yüzeyde aşınma kanalları ve çizikler oluşur. Şiddetli abrazyon etkisiyle yüzeyden malzemeler kopabilir (Kılıçay, 2017).



Şekil 3.15. Abrasif Aşınma, a) Bir yüzeyle birleşmiş abrasif partiküllü aşınma, b) Serbest abrasif partiküllü üç cisimli abrasif aşınma (Kılıçay, 2017)

3.4.1.2. Adezif aşınma

Adezif, temas halindeki malzemeler arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Yüksek basınç altında iki katı yüzeyin temas ettirildiğinde yüzeyler arasında atomik bağlanmalar meydana gelir. Tribolojik temas kesildiğinde, malzeme bir yüzeyden ayrılır ve diğer yüzeye bağlanır. Tribo-kimyasal reaksiyonun oluşması için gerekli enerji, yüksek basınçlar ve sürtünme ısısı ile sağlanmış olup Şekil 3.16'da şematik olarak gösterilmiştir (Kılıçay, 2017).



Şekil 3.16. Adezif Aşınmanın şematik gösterilişi (Bhushan, 2013)

3.4.1.3. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması, tribolojik temas sırasında yüzeyde meydana gelen tekrarlı yük ve sürtünme ile oluşmaktadır. Malzemeye etki eden bu tekrarlı yükleme çevrimleri, yüzey altında veya yüzey üzerinde mikro çatlaklar oluşmasına sebebiyet verir. Bu durum ise yüzeyin parçalanması ve büyük çukurların oluşmasına nedne olur. Bu kritik noktadan önce milyonlarca yük çevrimi olabilir ve yorulma aşınmasından önce adezif veya abrasif aşınma mekanizmalarının neden olduğu şiddetli aşınmalar meydana gelebilir. Bu nedenle, yorulma aşınması ile meydana gelen malzeme kayıpları yok sayılır. Yorulma aşınması oluşmadan önce parametrelerin (çevrim sayısı, süresi) belirlenmesi gerekmektedir (Bhushan, 2013).

3.4.1.4. Korozyon aşınması

Korozyon aşınma, korozif bir ortamda tribolojik temas gerçekleştirildiğinde meydana gelir. Atmosfere açık ortamda en baskın korozif etkiyi oksijen yapar ve bu sebeple açık atmosferde gerçekleştirilen aşınmaya oksidatif aşınma denir. Metalik çiftlerin yağlamasız ortamda teması sırasında yüzey pürüzlerin temas ettiği noktalarda meydana gelen yüksek sıcaklıklar, yaklaşık 1 µm mikron kalınlığında oksit tabakaları oluşturur.

Tribo- kimyasal reaksiyon ile oluşan oksidasyon, yağ filmi kalınlığının yzey pürüzlülüğünden daha küçük olduğu sınır yağlama durumlarında da meydana gelebilir. Oksidatif aşınmada, oksit tabakalarında ayrılan partiküller aşınma kalıntısı oluşturabilmesi mümkündür. Düşük ortam sıcaklıklarında, yzey pürüzlerin temas bölgelerinde sürtünmenin neden olduğu oksidasyon oluşur. Daha yüksek ortam sıcaklıklarında ise, temas yzeylerinin tamamında genel oksidasyonu oluşur ve bu aşınmayı etkiler (Bhushan, 2013).

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, AISI 1040 orta karbonlu çelik yüzeyine TIG (Tungsten Inert Gas) yöntemi kullanılarak grafit takviyeli Ferro TiC tozlarının kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrası mikroyapı analizleri için Optik mikroskop (OM) ve tarama elektron mikroskobu (SEM) analizleri yapılmıştır. Yüzey kaplaması sırasında oluşan elementleri belirlemek için enerji dağılımlı spektrometri (EDX) analizi yapılmış ve meydana gelen faz bileşiklerini belirlemek için de X-ışını difraktogramı (XRD) analizine tabi tutulmuştur. Daha sonra ise kaplama bölgesinin sertlik ölçümleri Vickers mikrosertlik yöntemi ile yapılırken aşınma direncinin belirlenmesi için aşınma testi gerçekleştirilmiştir.

AISI 1040 orta karbonlu çeliğin yüzeyine farklı yüzdelerde (Saf, %1, %2, %3, %4, %5) grafit takviyeli Ferro TiC karışımı yapılarak çeliğin analizler sonrası çıkan sonuçlara bağlı olarak optimum kaplama kalınlığı, aşınma direnci ve en yüksek sertlik sonucu için uygun parametreler tespit edilmeye çalışılmıştır. AISI 1040 orta karbonlu çelik kullanılmasının amacı, piyasa şartlarında kolay bulunabilir olması, maliyet bakımından uygun olması ve ayrıca imalat sektöründe oldukça yaygın kullanım alanı bulunması gibi pek çok sebeplerden dolayı tercih edilmiştir.

4.1. Tercih Edilen Malzemeler

Bu tez çalışmasında, AISI 1040 orta karbonlu çeliği, 120 mm x 20 mm x 10 mm boyutlarında numuneler tercih edilmiş olup toplam 6 adet numune üzerinde çalışılmıştır. AISI 1040 çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 4.1’de gösterilmiştir. Kaplama işlemi sırasında kullanılan Ferro titanyum tozu BC Teknoloji Danışmanlık firmasından 43 mikron boyutunda, Grafit tozu (C) ise 325 mesh olarak Alfa Aesar firması aracılığı ile temin edilmiş olup karışımda kullanılan Grafit takviyeli TiC’nin kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 4.2’de belirtilmiştir.

Tablo 4.1. AISI 1040 Çeliğinin Kimyasal Bileşimi

Alaşım elementi (%)							
Alaşım	C	Si	Mn	Pmax	Smax	Cr	Fe
AISI 1040	0.40-0.50	0.25-0.35	0.60-0.90	0.04	0.05	-	Kalan

Tablo 4.2. Titanyum Karbürün Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri

TiC'ün Kimyasal Özellikleri

%Ti	%C	%Al	%Si	%S
70-73	0,5 max	4 max	0,25 max	0,02 max

TiC'ün Fiziksel Özellikleri

Şekil	Görünüş	Yoğunluk	Ergitme Aralığı
Katı	Metalik Gri	5,4 g/cm ³	1070-1335 °C

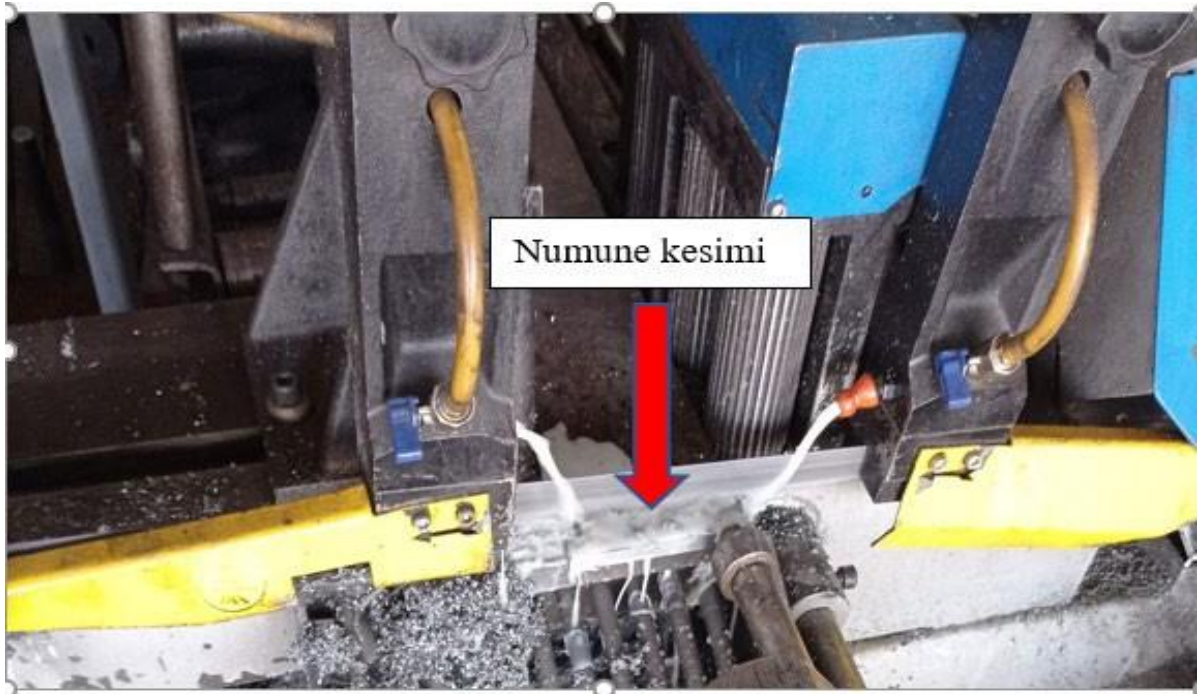
4.2. Numune Hazırlama

Yüzey kaplama işlemi sırasında alt tabaka olarak kullanılan AISI 1040 orta karbonlu çeliği 1000 mm x 120 mm x 10 mm boyutlarında malzemedan tercih edilmiştir. Kullanılan malzeme Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deneyde Kullanılan Alt Tabaka Malzemesi (AISI 1040)

Alt tabaka olarak kullanılacak olan malzemenin kesim işlemleri Şekil 4.2’de gösterilen şerit testerede kesilmiş olup kesilen numuneler Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

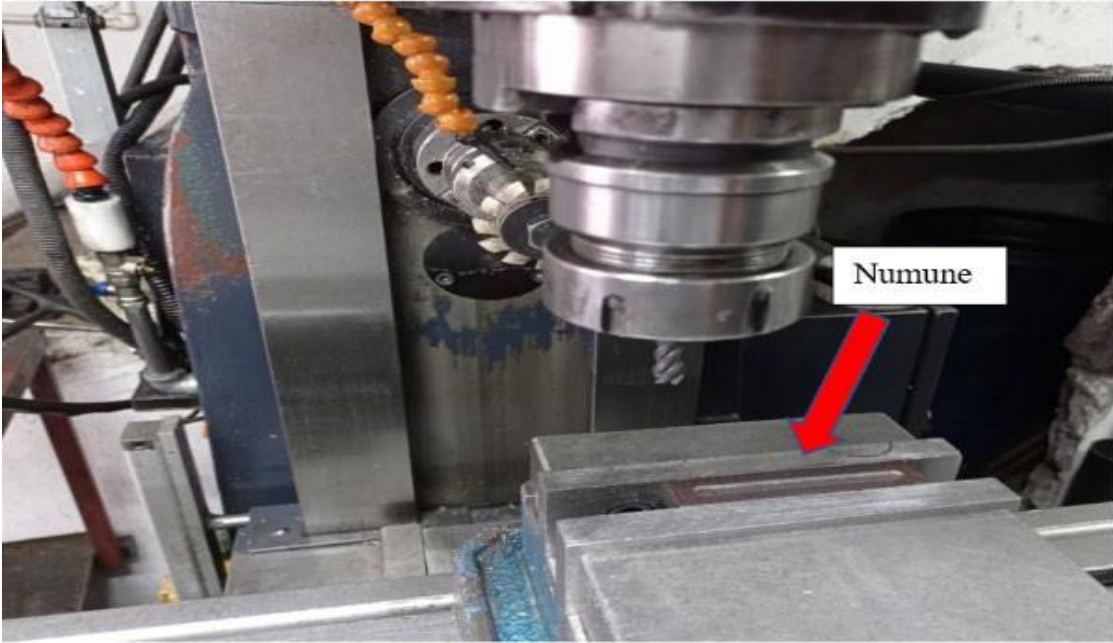


Şekil 4.2. Şerit Testere



Şekil 4.3. Kesilen Numuneler

Şerit testere ile kesimi yapılan numunelere daha sonra Şekil 4.4’de gösterilen Freze tezgahı ile 8 mm genişliğinde ve 1,25 mm derinliğinde kanal açma işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.4. Freze Tezgahı ve Kanalı Açılan Numuneler

Kanal açma işleminden sonra yüzeyi kaplanacak malzemeler kanal içi etil alkol yardımı ile temizlenerek kurutulmuştur. Bundaki amaç ise kaplama öncesi yüzeyin temiz olmasıdır. Etil alkol ile temizlenen numuneler Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kaplama Yapılacak Numuneler

Kaplama esnasında kullanılacak olan tozlar toplam 20 gr. olacak şekilde ayarlanmış olup Arş. Grv. Serkan BATI’nın yapmış olduğu çalışmalarından alınan aşağıdaki formülle hesaplama sonucunda tozların miktarları Batman Üniversitesi Laboratuvarında bulunan hassas terazide Şekil 4.6’da gösterildiği gibi yapılmıştır. Tozların karışımı ise Batman Üniversitesi Laboratuvarında bulunan Karışım cihazında 2 saat olacak şekilde metal bilyeler kullanılarak metal karışım potaları içinde karışım işlemi kontrollü şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7).

$$\text{Wt \%x} = (\text{At \%x}) \cdot (\text{At. Wt. x}) / (\text{At \%x}) \cdot (\text{At. Wt. x}) + (\text{At. Wt. y}) + (\text{At. Wt. z})$$

Yukarıda belirtilen formülü kullanarak Ferro TiC – Grafit tozlarının gram cinsinden miktarları hesaplanmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 4.3’ de gösterilmiştir. Toplam karışım 20 g. olup buna göre dağılım işlemi hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Burada öncelikle %1, %2, %3, %4, %5 Grafit takviyesi için hesaplamalar yapılmıştır. Tezimizde kullandığımız takviye malzemesi Grafittir. Ana malzeme ise TiC olarak belirlenmiştir. Tozların yüzde ağırlıkları ise Tablo 4.4’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Grafit Takviyeli Toz Karışım Oranlarının Gram Ağırlıkları

Grafit Takviyesi (%)	TiC (g)	Grafit (g)
%1	19,8	0,2
%2	19,6	0,4
%3	19,4	0,6
%4	19,2	0,8
%5	19	1

**Şekil 4.6.** Hassas Terazi



Şekil 4.7. a) Karışım Makinesi

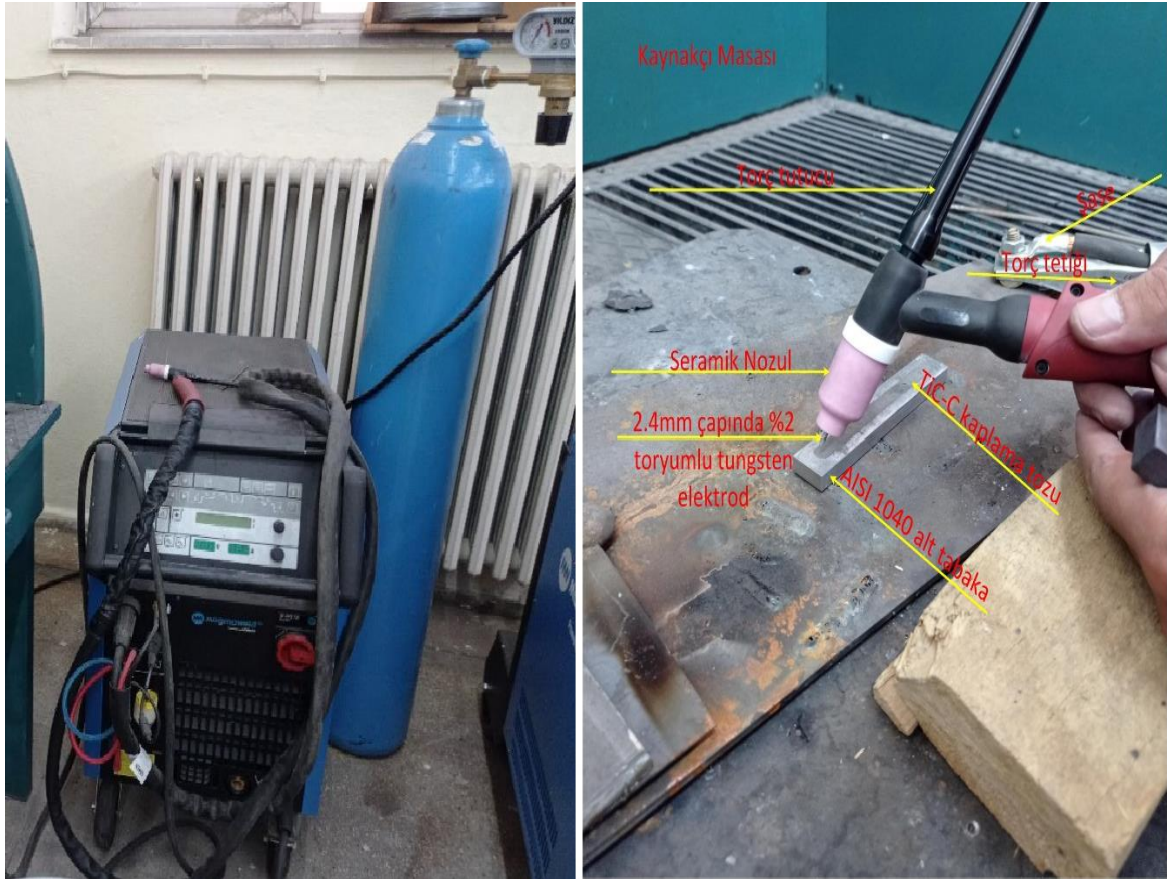
b) Karışım Potası

Tablo 4.4. Kaplama Toz Karışım Oranlarının Yüzdelik Ağırlıkları

Toz Karışımı	% TiC	% Grafit
1	100 (Saf)	----
2	99	1
3	98	2
4	97	3
5	96	4
6	95	5

4.3. TIG Kaplama

Argon gazının debisinden dolayı Ferro TiC-C tozunun alkol ile karıştırılarak bir jel şeklinde yüzeye kaplanarak malzemenin kanallarına doldurulmuş olup 50 °C’lik ortamda 1 saat süreyle kurutulması beklenmiştir. Buradaki jelin kullanım amacı, koruyucu argon gazının toz partüküllerinin kaplama esnasında dağılımlarını önlemek ve homojen şekilde bir arada durmalarını sağlamaktır. Kaplama işlemi Şekil 4,8’de gösterildiği gibi su soğutmalı ‘Magmaweld Powered Lorch ID300TW AC/DC’ TIG kaynak makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Elektrot olarak ön denemelerde %2 toryumlu tungsten elektrot tercih edilmiştir. Yapılan kaplama işlemlerinin sonrasında elektrotta oluşan topaklanma (birikme) sebebiyle arkın etkinliği azalmış ve bu neden ile her numune için elektrot taşlanmıştır. Ön denemelerde 0,39-0,47 mm/s arası değişen kaynak hızı, gaz akış hızı 12 l/dk, DC akım da ve akım değeri ise 100 A ile sabit olarak seçilen parametreler ile işlem yapılmıştır (Tablo 4.5). Denemeler neticesinde çalışmalara Tablo 4.6’da verilen kaplama işlem parametreleri üzerinden devam edilmiştir. Kaplaması yapılan numunede kullanılan TIG kaynak makinesi ile kaplaması yapılan numune Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. TIG Kaynak Makinesi ve Kaplaması yapılan Numune

Tablo 4.5. İlk kaplamanın Yapıldığı TIG Kaynak Parametreleri

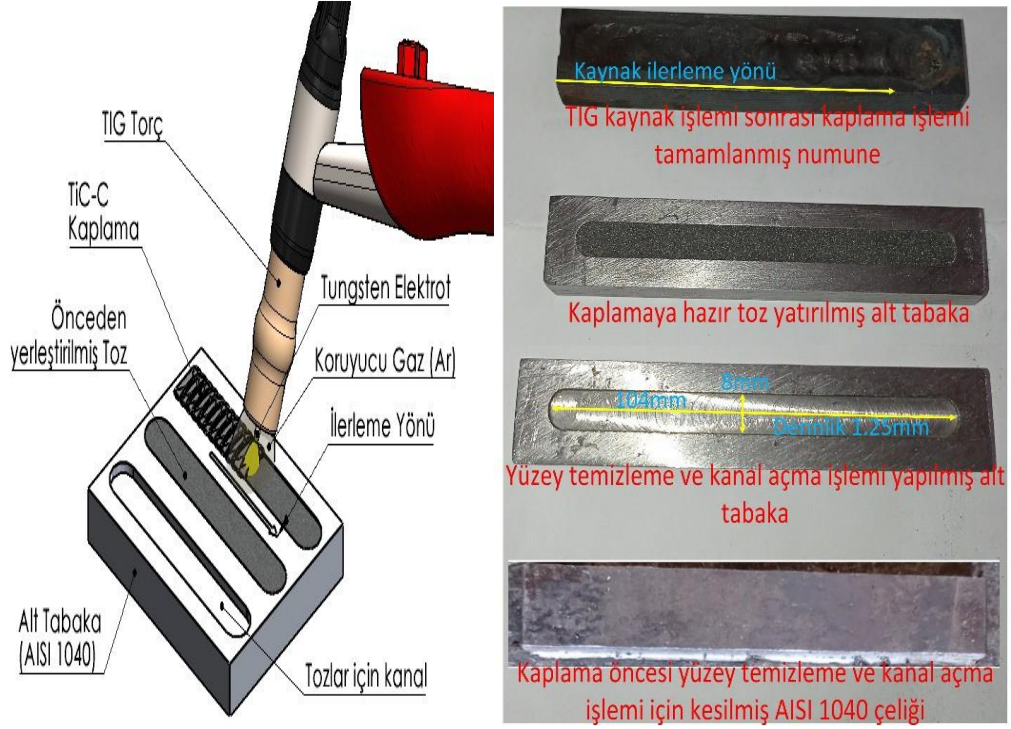
Elektrot	Elektrot Çap(m)	Akım (A)	Koruyucu Gaz	Akım Türü	Gaz Debisi (l/dk)
%2 toryumlu tungsten elektrot	2,4	100	Argon % 99,9 saf argon	DC	12

Tablo 4.6. TIG ile Kaynak Parametreleri

Numune Sayısı	Toz oranları	Uygulanan Akım (A)	İlerleme Hızı (mm/s)	Isı girdisi (J/m)
N1	TiC - saf	100	0,45	9,06
N2	TiC -%1 ağ. C		0,39	11,44
N3	TiC -%2 ağ. C		0,39	10,95
N4	TiC -%3 ağ. C		0,47	8,99
N5	TiC -%4 ağ. C		0,43	10,27
N6	TiC -%5 ağ. C		0,42	10,17

Isıl Girdi $Q = \eta \cdot Q = (\eta \cdot U \cdot I \cdot 60 / V \cdot 1000)$ KJ formülü ile hesaplanmıştır.

Alt yüzeye yapıştırılan farklı oranlarda hazırlanmış olan tozların, ergimeyen tungsten elektrot ile kaynak bölgesine ark oluşturularak AISI 1040 orta karbonlu çelik alt tabakasına ergiyik halde bulunan toz karışımının kaynak bölgesinde hapsedilmesine özen gösterilerek nüfuziyet sağlanmıştır. Numuneler üzerinde yapılan kaplama işleminde ilerleme hızı 0,39-0,47 mm/s ile Isı girdisi 8,99-11,44J/m arası parametreler elde edilmiştir (Tablo 4.6). Farklı üretim parametreleri ve farklı toz alaşımlarıyla modifiye olan AISI 4140 malzemenin kaplama bölgesinde görünüşünün makroyapı incelenmesinde, herhangi bir çatlak ve kalıntıya rastlanılmadığı gözlemlenmiştir. TIG kaynak yöntemiyle yüzey kaplama işleminin şematik resmi ile kaplaması yapılmış numuneler Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. TIG Yöntemi ile Yüzey Modifikasyonu Uygulamasının Aşamalarının Şematik Gösterimi ve Kaplaması yapılan Numuneler

4.4. Metalografik İnceleme

TIG yöntemi ile kaplanmış AISI 1040 orta karbonlu çelik öncelikli olarak Şekil 4.10'da gösterilen Metkon Ecopress 50 marka sıcak bakalite alınmıştır. Bakalite alma işlemi sonrasında, numuneler Şekil 4.11'de gösterilen yarı otomatik zımparalama makinesi olan Mikrotest marka makine ile 400–1200 mesh aralığındaki SiC zımparalar kullanılarak parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bunun için Micro Thin 60, 15 ve 3 mikronluk sulu zımparalama yöntemi tercih edilmiştir.

Zımparalama işlemleri bittikten sonra kaba parlatma işlemi tamamlanan numuneler Aka Ramda çuha eşliğinde 0,25 mikron elmas solisyon ile parlatılmıştır. Zımparalaması ve parlatma gerçekleştirilen 6 adet kaplanmış numuneler metalografik inceleme yapabilmek için dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlayıcı olarak % 3'lük Nital çözelti tercih edilmiştir. Dağlama işlemin sonra kaplanmış numunenin yüzeyi, kaplama kalınlık tabaka ve kesitini görüntülemek için yapılacak Şekil 4.12'de gösterilen optik mikroskobik ve Şekil 4.13'de gösterilen SEM/EDS cihazları ile incelemelerine hazır hale getirilmiştir. Optik mikroskobu olarak Nikon MA 100 markalı metal mikroskop kullanılmış olup, görüntüleme için Clemex sistemi tercih edilmiştir.



Şekil 4.10. Bakalite Cihazı



Şekil 4.11. Yarı Mamul Zımparalama ve Parlatma Cihazı



Şekil 4.12. Optik Mikroskop ve Görüntüleme Sistemi



Şekil 4.13. SEM / EDS Cihazı

4.5. XRD Testleri

TIG yöntemi ile kaplanmış AISI 1040 orta karbonlu çeliklerin zımparalama, parlatma ve bakalite işlemlerinden sonra numunenin yüzey kısımlarında meydana gelen karbür faz ve diğer fazların tespiti için Şekil 4.14’de gösterilen XRD cihazı ile analizi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.14. XRD Cihazı

4.6. Mikrosertlik Testi

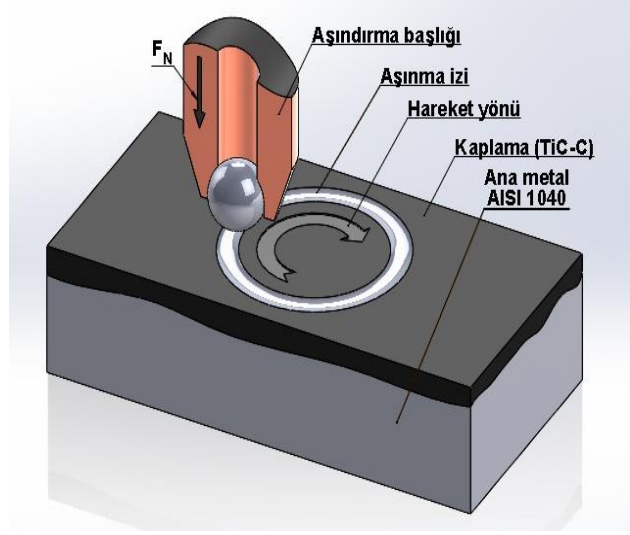
TIG yöntemi ile kaplanmış 6 adet numunelerin sertlik analizleri Vickers tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Vickers sertlik analizinde Şekil 4.15’de gösterilen Future Tech FM-700 makinesi kullanılmıştır. Sertlik testi, 50 gf yük altında, 10 s süre ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.15. Vickers Sertlik Cihazı

4.7. Aşınma Testi

TIG yöntemi ile kaplanmış 6 adet numunelerin aşınma testi Batman Üniversitesi Laboratuvarında bulunan Şekil 4.16’da gösterilen TURKYUS PODWT marka aşınma testi cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma cihazı ve aşınma işleminin şematik resmi Şekil 4.16’da gösterilmiştir.



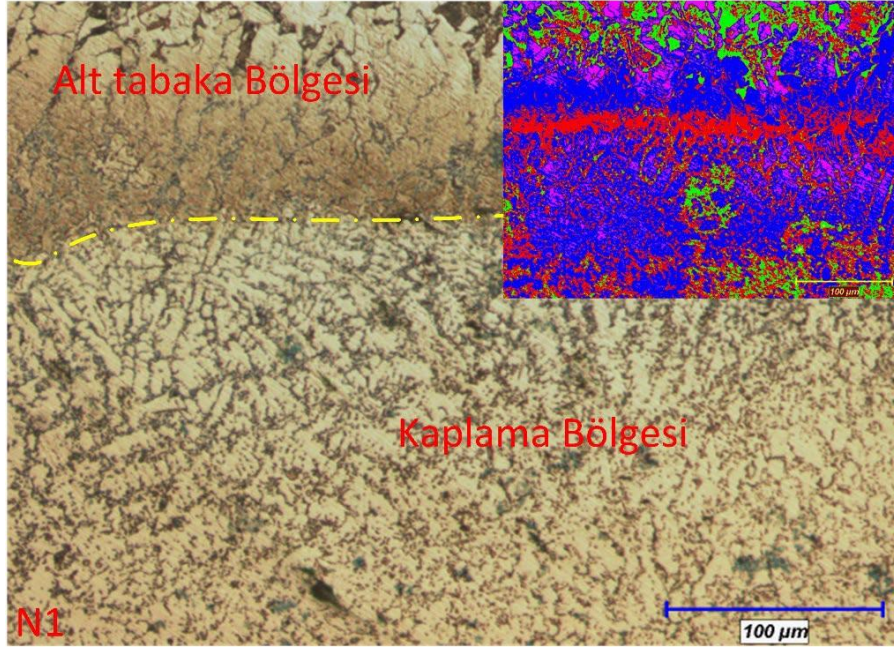
Şekil 4.16. Aşınma Cihazı ve Aşınma işleminin Şematik Gösterimi

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

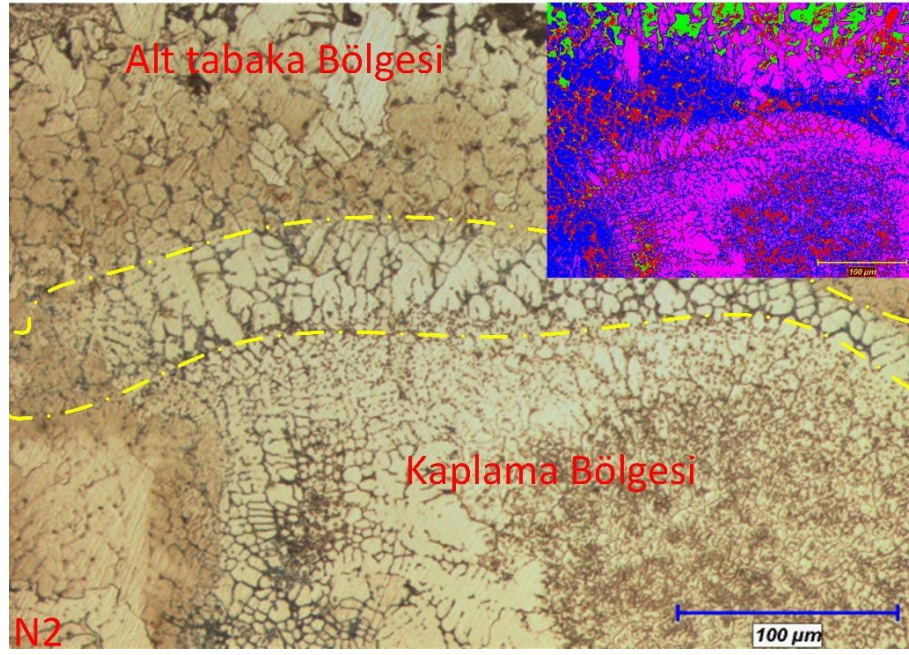
Bu tez çalışmasında, AISI 1040 çelik yüzeyi TIG yöntemi kullanılarak TiC-C toz karışımı ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında kaplama tabakası ve yüzeyi, optik mikroskop (OM) ve tarama elektron mikroskobu (SEM) ile mikroyapı analizi, enerji dağılımlı spektrometri (EDS) ile elementel analiz ve X-ışını difraktogramı (XRD) ile faz bileşen analizi yapılmıştır. Ayrıca kaplama bölgesinin sertlik ölçümleri Vickers mikrosertlik yöntemi ile yapılırken aşınma direncinin belirlenmesi için aşınma testi gerçekleştirilmiştir. Mikrosertlik ve aşınma test sonuçları mikroyapı ile karakterize edilmiştir. Analizler sonrası çıkan sonuçlara bağlı olarak optimum kaplama kalınlığı, aşınma direnci ve en yüksek sertlik sonucu için uygun parametreler tespit edilmeye çalışılmıştır.

5.1. Optik ve SEM/EDS Sonuçları

TIG ergitme yöntemiyle üretilen kaplamaların yan kesit yüzey mikroyapıları Şekil 5.1-Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.1'de N1 numunesi saf TiC, Şekil 5.2'de ise N2 numunesi TiC-%1C tozuyla yapılan kaplama tabakasının mikroyapıları görülmektedir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de altlık, geçiş bölgesi ve kaplama tabakası olmak üzere 3 farklı bölge meydana gelmiştir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de görüldüğü üzere kaplama tabakaları dentritik ve ötektik yapılardan oluşmuştur. Dentritik yapılar N1 numunesinde daha yoğun iken N2 numunesinde ise daha çok hücresel ve ötektik yoğun bir yapıda oluşmuştur. N1 kaplama numunesi optik resminde dendritler arasında görülen partiküllerin Şekil 5.7'de SEM-EDS analizlerinden de görüldüğü üzere Ti ve C yoğun olduğu doğrulanmaktadır. N2 numunesi Şekil 5.8'de SEM-EDS analiz sonucunda kaplama bölgesinin özellikle dentritik yapı aralarında görülen yapıların Ti ve C yoğunlukta olduğu görülmektedir. İki kaplamanın ara bölgesi geçişlerinin düzgün olduğu, herhangi bir kusurun olmadığı görülmektedir. Bunun sonucunda alt tabaka ve kaplama arasında metalurjik olarak iyi bir şekilde bağ oluştuğu düşünülebilir.

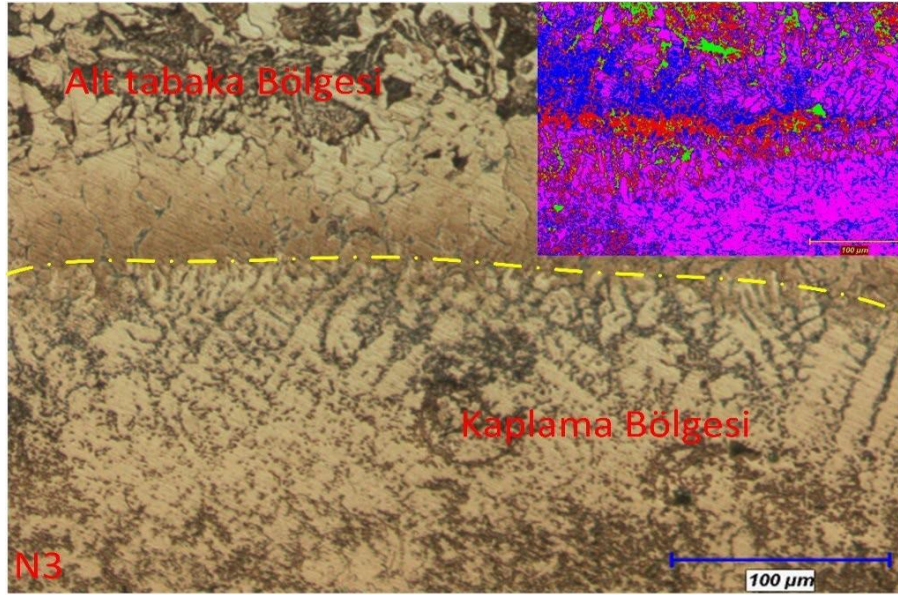


Şekil 5.1. N1'e ait mikroyapı

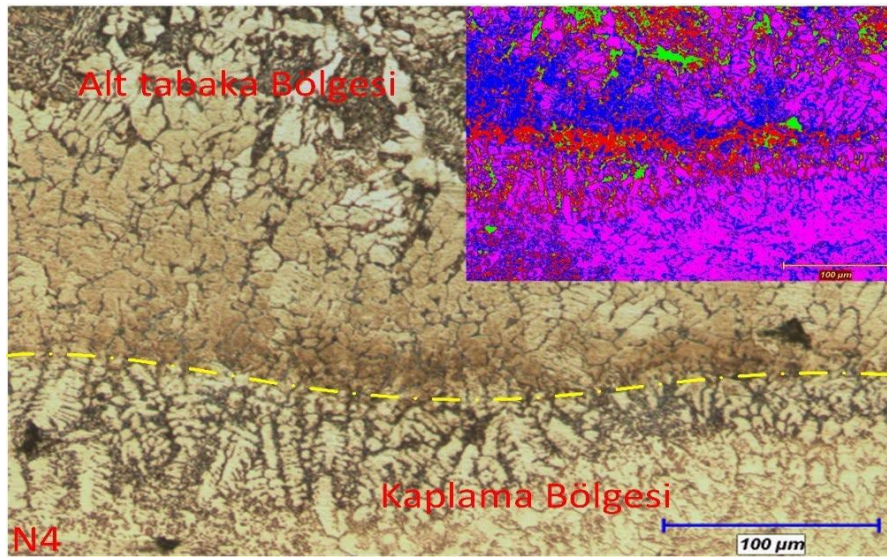


Şekil 5.2. N2'ye ait mikroyapı

TIG ergitme yöntemiyle üretilen kaplamaların N3 ve N4 numunelerinin yan kesit yüzey mikroyapıları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir. Şekil 5.3'te N3 numunesi, Şekil 5.4'te ise N4 numunesine ait kaplama tabakasının mikroyapıları görülmektedir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te altlık, geçiş bölgesi ve kaplama tabakası olmak üzere 3 farklı bölge meydana gelmiştir. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te görüldüğü üzere kaplama tabakaları dentritik ve ötektik yapılardan oluşmuştur. Dentritik yapılar N3 numunesinde sütunlu ve çiçek benzeri yapılarda daha yoğun iken N4 numunesinde ise daha çok sütun şekilli ve ötektik yoğun bir yapıda oluşmuştur. N3 kaplama numunesi optik resminde Ti elementinin dentritik yapılar arasında ve çökelti halinde kaplama alt tabakasına doğru çökeldiği görülmektedir. Şekil 5.9'daki N3 ait SEM-EDS analiz sonucunda kaplama bölgesindeki dentritik yapılar ve kaplama alt kısmında görülen çökelti parçacıklarının Ti ve C yoğunlukta olduğu bu sonuca bağlı olarak TiC fazına işaret ettiğini göstermektedir. Şekil 5.10'da yer verilmiş olan N4 SEM-EDS analiz sonucunda kaplama bölgesinin özellikle partikül yapıların Ti ve C yoğunlukta olduğu görülmektedir. Dentritik ve ötektik yapılarda ise Ti ve C elementi ile birlikte Fe elementinin varlığı tespit edilmiştir. TIG kaynak işlemi esnasında ark ısısının başlamasıyla birlikte alt tabakanın kaplama tozlarıyla birlikte ergimesi ve hızlı bir şekilde katılaşması sonucunda Fe elementi kaplama tabaka yüzeyinde hapsolması sonucunda yer aldığı düşünülmektedir.



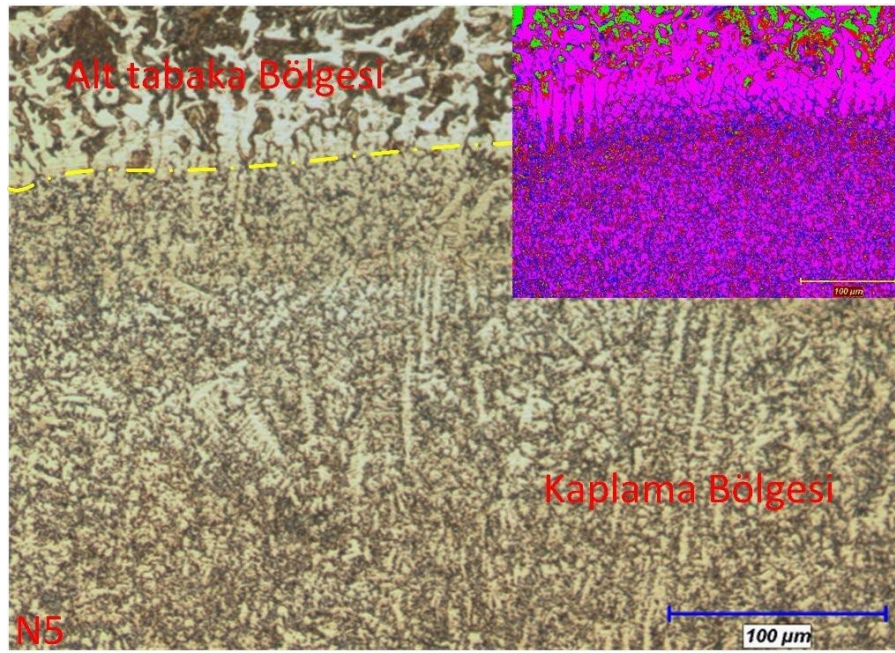
Şekil 5.3. N3'e ait mikroyapı



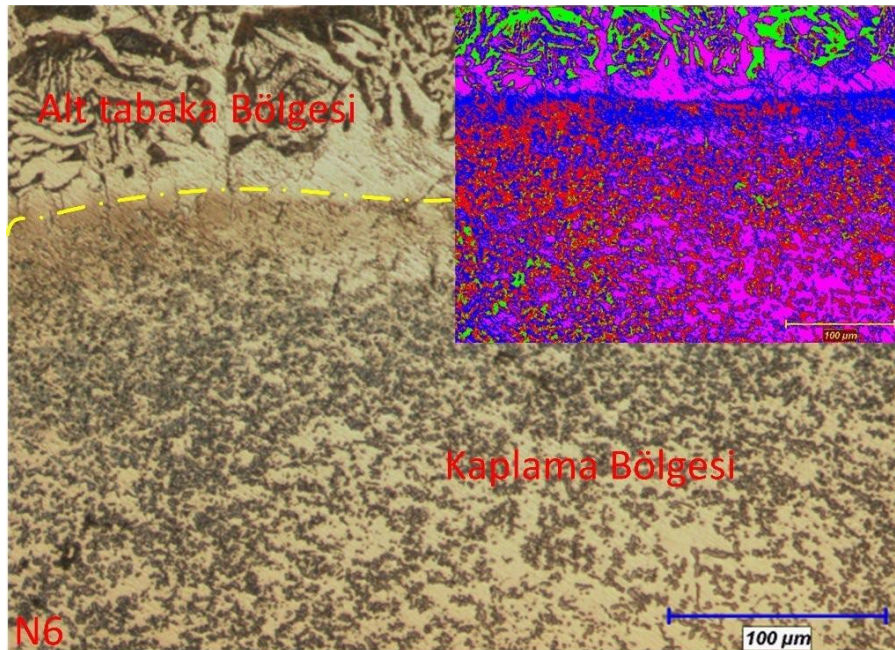
Şekil 5.4. N4'e ait mikroyapı

TIG ergitme yöntemiyle üretilen kaplamaların N5 ve N6 numunelerinin yan kesit yüzey mikroyapılarına Şekil 5.5 ve 5.6'da yer verilmiştir. Şekil 5.5'te N5 numunesi, Şekil 5.6'da ise N6 numunesine ait kaplama tabakasının mikroyapıları görülmektedir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da olduğu gibi altlık, geçiş bölgesi ve kaplama tabakası olmak üzere 3 farklı bölge meydana gelmiştir. Bu kaplama ve alt tabaka arasında iyi bir metalurjik bağ oluştuğunu göstermektedir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da görüldüğü üzere kaplama tabakaları dendritik, taneseli ve ötektik yapılardan oluşmuştur. N5 numunesinde sütunlu dendritik yapılar daha yoğun iken N6 numunesinde ise daha çok küçük yaprak ve çiçek şekilli dendritikler ve ötektik yapılar yoğun olmuştur. Metal yada alaşım elementlerinde birincil ve ikincil kollar şeklinde meydana gelen dendritler, katılmış metallerde ve diğer malzemelerde en sık gözlenen mikroyapıdır.

Hızlı soğutma ince dendritler üretirken, yavaş soğutma büyük ve kaba dendritlerin oluşmasını sağlayarak malzemelerin özelliğini etkilerler (Kılıç, 2020). Şekil 5.11'deki N5'e ait kaplama numunesi optik resminde dentritik yapılar ötektik bölgede siyah partiküllerin yoğun olduğu bu siyah partiküllerin daha önceki yorumlarda da dile getirildiği gibi Ti ve C elementine işaret ettiği, elementlerin ağırlıkça oranı gözönüne alındığında TiC fazına atfedilebilir. Şekil 5.12'de yer verilmiş olan N6'ya ait SEM-EDS analiz sonucunda kaplama bölgesinin özellikle partikül yapıların Ti ve C yoğunlukta olduğu görülmektedir.



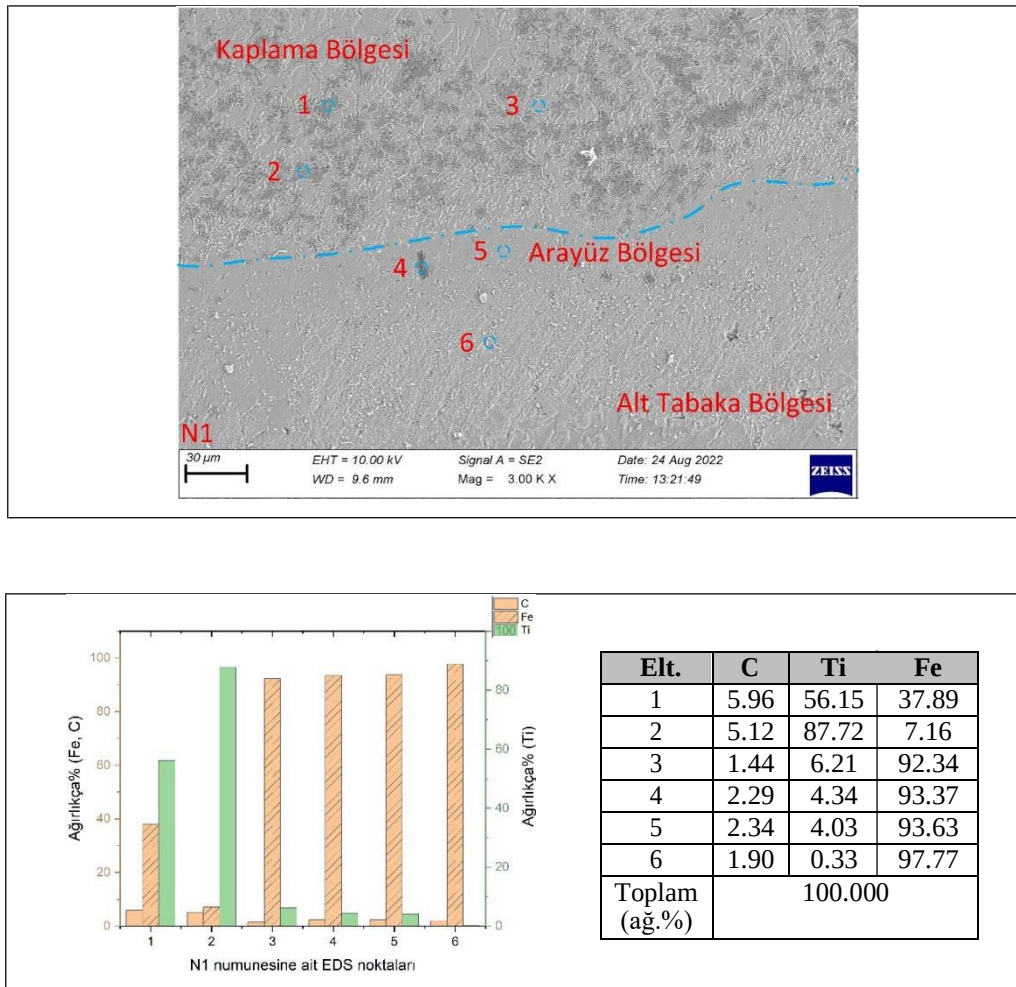
Şekil 5.5. N5'e ait mikroyapı



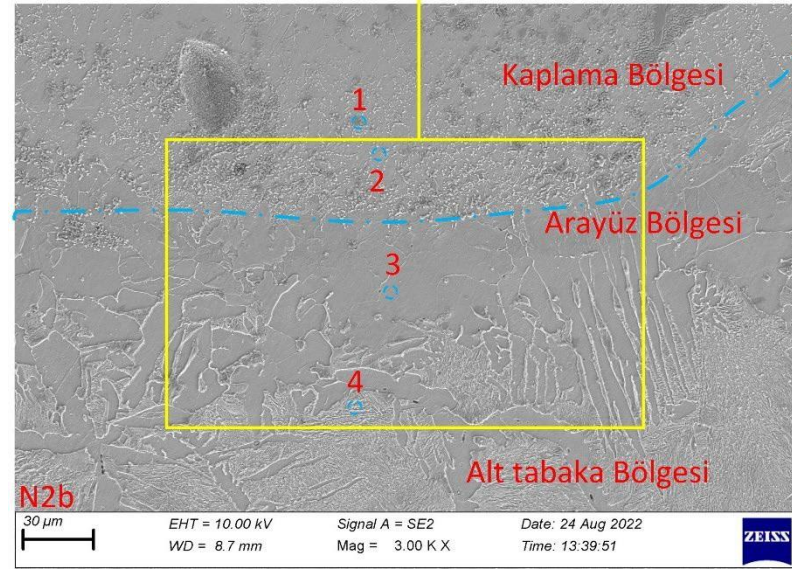
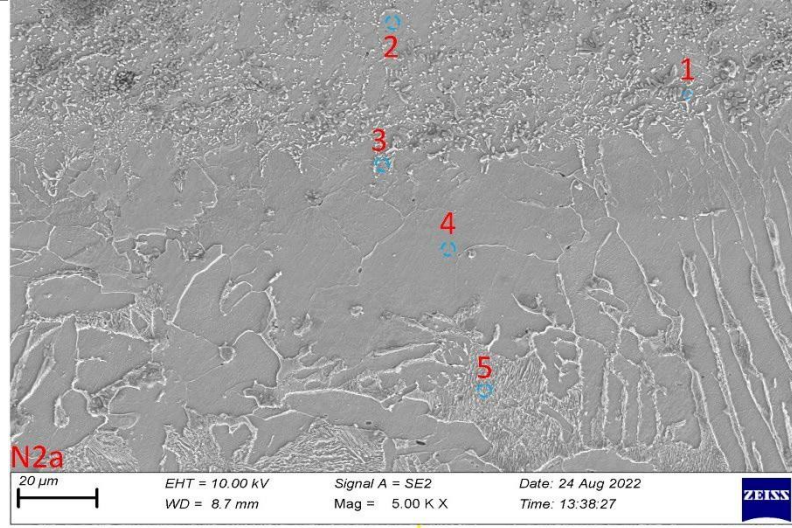
Şekil 5.6. N6'ya ait mikroyapı

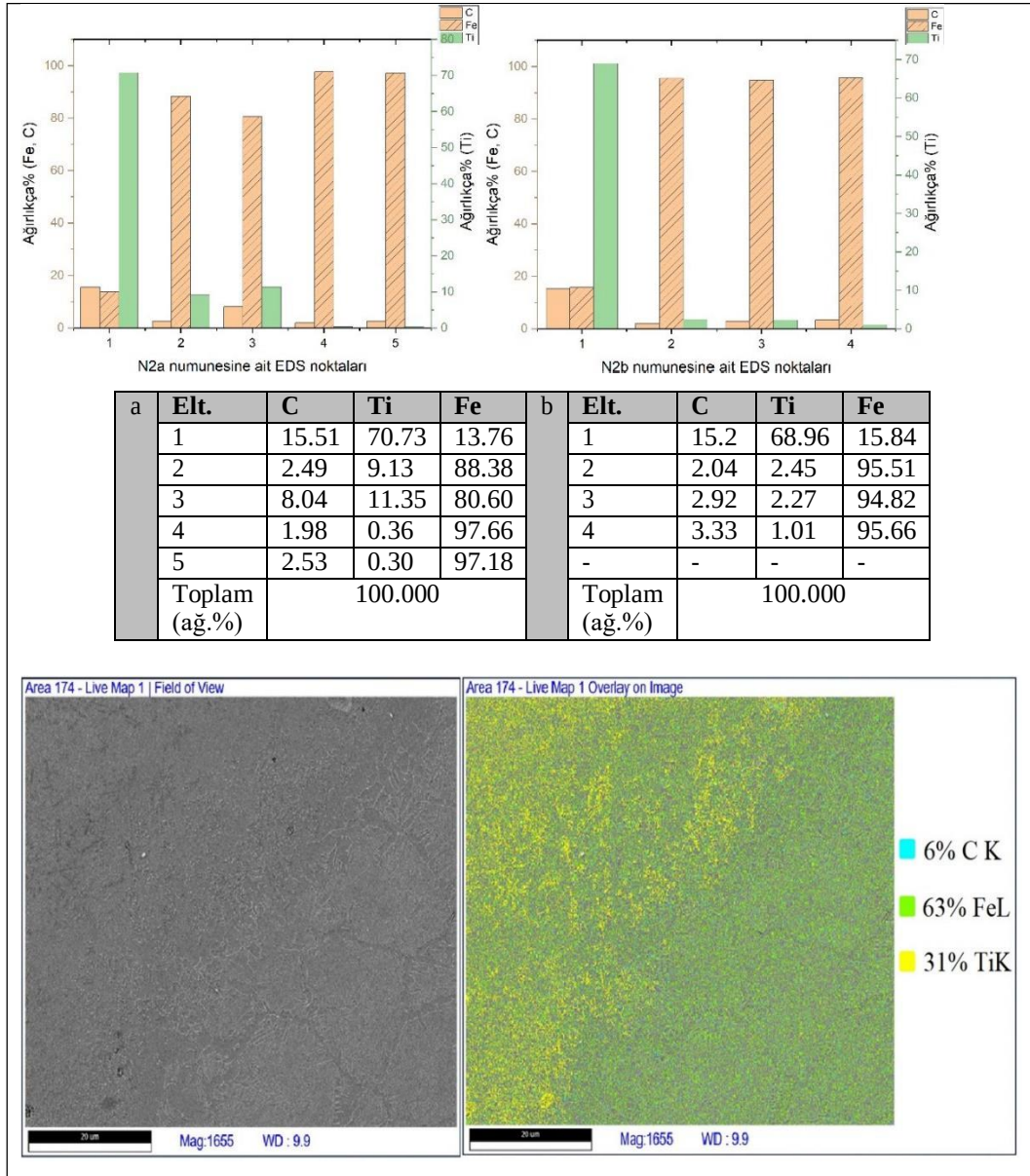
5.2.1. SEM/EDS Sonuçları

Yüzey kaplama işlemi sonrası oluşan kaplama tabakasının mikroyapı içeriği sertlik ve aşınma üzerine önemli etkiye sahiptir. Kplama tabakasının optik mikroskop, SEM ve EDS analizleri yardımıyla detaylı mikroyapı olarak incelenmesi, aşınma ve mikrosertlik özelliklerinin sonuçlarının yorumlanmasında önemli katkı sunar (Saroj ve ark., 2017). AISI 1040 orta karbonlu çelik yüzeyinde TIG kaplama işlemi SEM ve EDS element kompozisyonları ve kaplama bölgesine ait map'lar ise Şekil 5.7 – Şekil 5.12'de verilmiştir. Tüm kaplama tabakalarında genel olarak dendritik ve dendritler arası ötektik bir mikroyapı hakimdir.



Şekil 5.7. N1'e ait SEM resimleri, EDS sonuçları ve Grafikleri



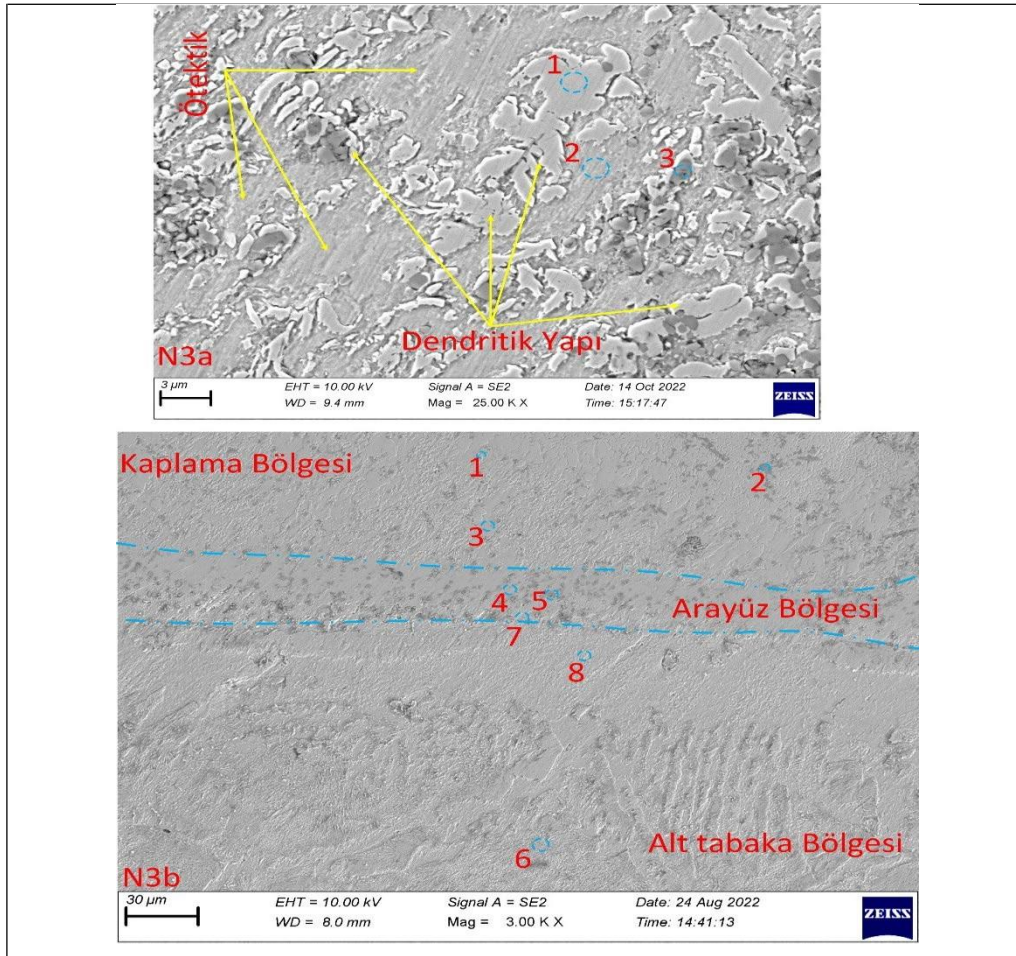


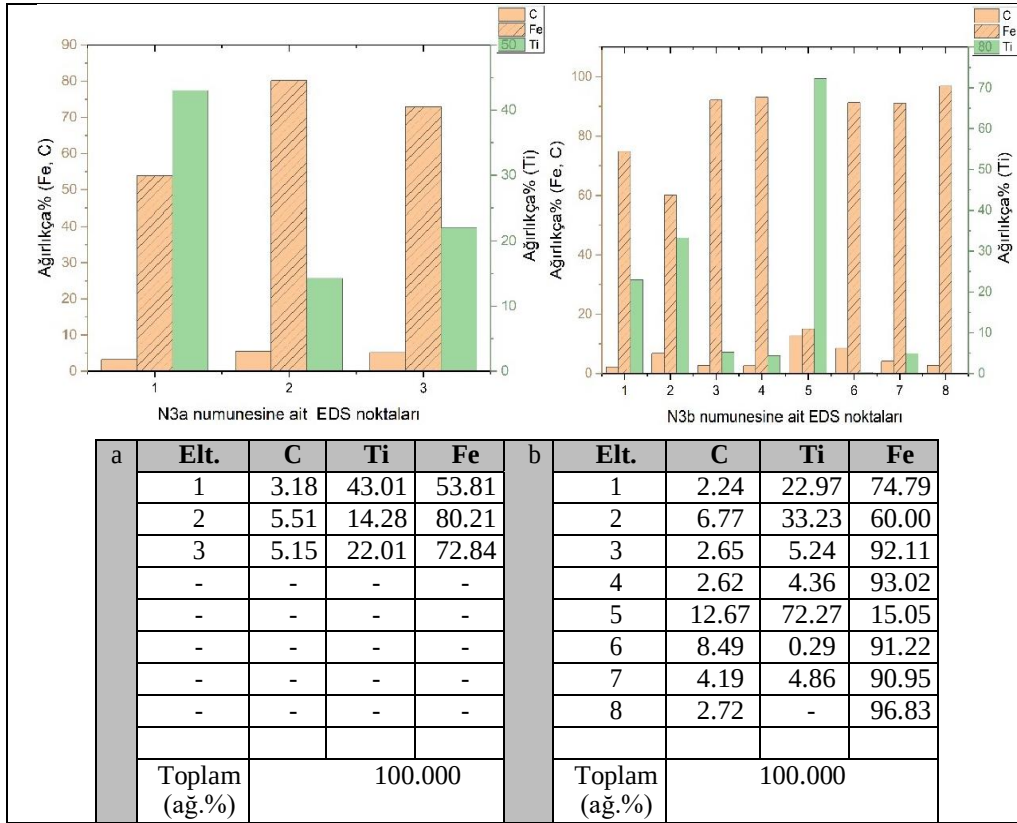
Şekil 5.8. N2'ye ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri, EDS sonuçları ve Grafikleri

TiC ve TiC-C tozları kullanılarak TIG yöntemiyle üretilen kaplamalara ait SEM ve EDS'lere ait Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de, kaplama/alt tabaka geçiş arayüzey bölgesinde bant görünümünde bir çizgi meydana gelmiştir. Bu da TIG torcunun yeterli enerji girdisini sağladığını, yüzeye önceden yerleştirilen tozların yeterince ergidiğini ve kaplama tabakalarının alt tabakaya nüfuz ettiğini göstermektedir. Kaplama kaynak havuzunun daha kolay ve akıcı olmasını sağlayarak kaynak/kaplama çizgilerinin oluşmasını daha da kolaylaştırmıştır. Şekil 5.7'de N1 numunesine ait EDS analiz sonuçlarında tüm numunelerde Fe elementinin kaplama tabakasına doğru difüze olduğu açıktır. Bununla birlikte Fe elementi ara bölgeden alt tabakaya doğru artış göstermiştir. EDS analizinde gösterildiği gibi ark sıcaklığı sonucunda meydana

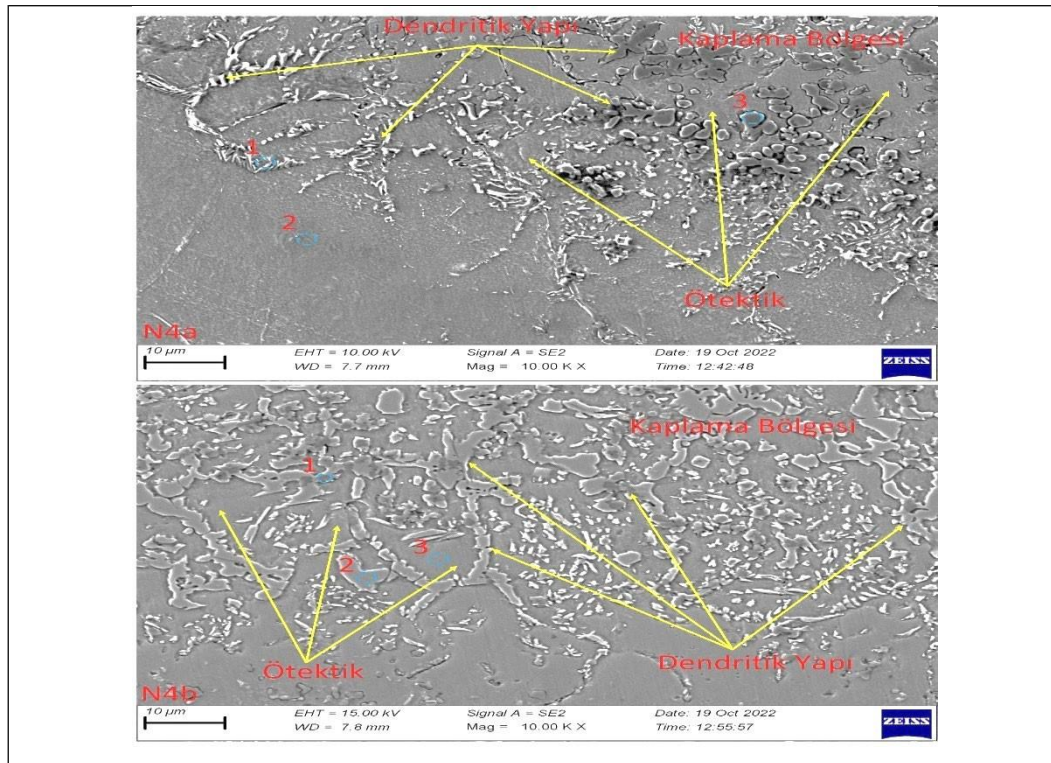
gelen yüksek sıcaklık ile birlikte kaplama tabakasından alt tabakadan ve esas alt tabakadan da kaplama tabakasına doğru difüzyon geçişleri meydana gelmiştir. N1 numunesine ait EDS sonuçlarında koyu gri çiçek benzeri dentritik yapı bölgesinde alınan 1 nolu noktanın analiz sonucu sırasıyla ağırlıkça %56.15Ti, %5.96C ve %37.89Fe'dir. 2 nolu koyu gri çiçek benzeri dentritik yapı noktanın EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %87.72Ti, %5.12C ve %7.16 Fe olduğu tespit edilmiştir. 3 nolu gri ötektik bölge EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %6.71Ti, %1.44C ve %92.34Fe olduğu tespit edilmiştir. 4 ve 5 nolu ara bölgenin EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %4.34Ti, %2.29C ve %93.37Fe ve %4.03Ti, %2.34C ve %93.63Fe olduğu tespit edilmiştir. Son olarak alt tabakadan elde edilen EDS sonucunda ise %0.33Ti, %1.90C ve %97.77Fe olarak belirlenmiştir. Koyu gri bölgelerin EDS sonuçlarında görüldüğü gibi Ti, C ve Fe elementlerinin özellikle eriyik havuzunun üst ve orta kısmında daha yoğun bir şekilde katılmıştır. Kaplamadan alt tabakaya gittikçe Ti elementinin azaldığı görülmektedir. Elde edilen veriler ışığında Fe elementinin kaplama tabakasına doğru, Ti ve C elementinin ise alt tabakaya doğru difüze olduğu düşünülebilir. Şekil 5.8'de N2'ye ait SEM resimleri, EDS tablosu ve EDS grafiği ve mapping görüntüleri yer almaktadır. N2a numunesine ait EDS sonuçlarında koyu gri çiçek benzeri dentritik yapı bölgesinde alınan 1 nolu noktanın analiz sonucu sırasıyla ağırlıkça %70.73 Ti, %15.51 C ve %13.76 Fe'dir. 2 nolu ötektik yapı bölgesi EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %9.13 Ti, %2.49 C ve %88.38 Fe olduğu tespit edilmiştir. Ara bölge ve kaplama bölgesi sınırında yer alan 3 nolu EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %11.35 Ti, %8.04 C ve % 80.60 Fe olduğu tespit edilmiştir. 4 ara bölgenin EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %0.36 Ti, %1.98 C ve %97.66 Fe olduğu tespit edilmiştir. Son olarak alt tabakadan elde edilen EDS sonucunda ise ve %0.30 Ti, %2.53 C ve %97.18 Fe olarak belirlenmiştir. EDS sonuçlarında görüldüğü gibi dendritik yapıları temsil eden noktaların Ti, C elementleri yoğunken ötektik bölgelerin ise Ti, C ve Fe yoğun elementlerin olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.8'de N2 numunesine ait N2b SEM-EDS analiz sonucu yer almaktadır. SEM resminde kaplama tabakası diğer numunelerde olduğu gibi ötektik ve dendritik yapıdan oluşmuştur. EDS sonucu ise sırasıyla ağırlıkça koyu gri dendritik yapıdan alınmış olan 1 nolu nokta %68.96Ti, %15.2 C ve %15.84 Fe'dir. 2 nolu ötektik yapı bölgesi EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %2.45 Ti, %2.04 C ve %95.51 Fe olduğu tespit edilmiştir. Ara bölgede yer alan 3 nolu EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %2.27 Ti, 2.92 %C ve %94.82 Fe olduğu tespit edilmiştir. Son olarak alt tabakadan elde edilen EDS sonucunda ise %1.01 Ti, %3.33 C ve % 95.66 Fe olarak belirlenmiştir. EDS sonuçlarında görüldüğü gibi koyu gri dentritik yapıların heriki numuneye ait EDS sonuçlarında Ti, C elementleri yoğunken gri bölgelerin ise ötektik bölgelerin ise Ti, C ve Fe yoğun elementlerde olduğu gözlenmiştir. Şekil 5.7'de yer

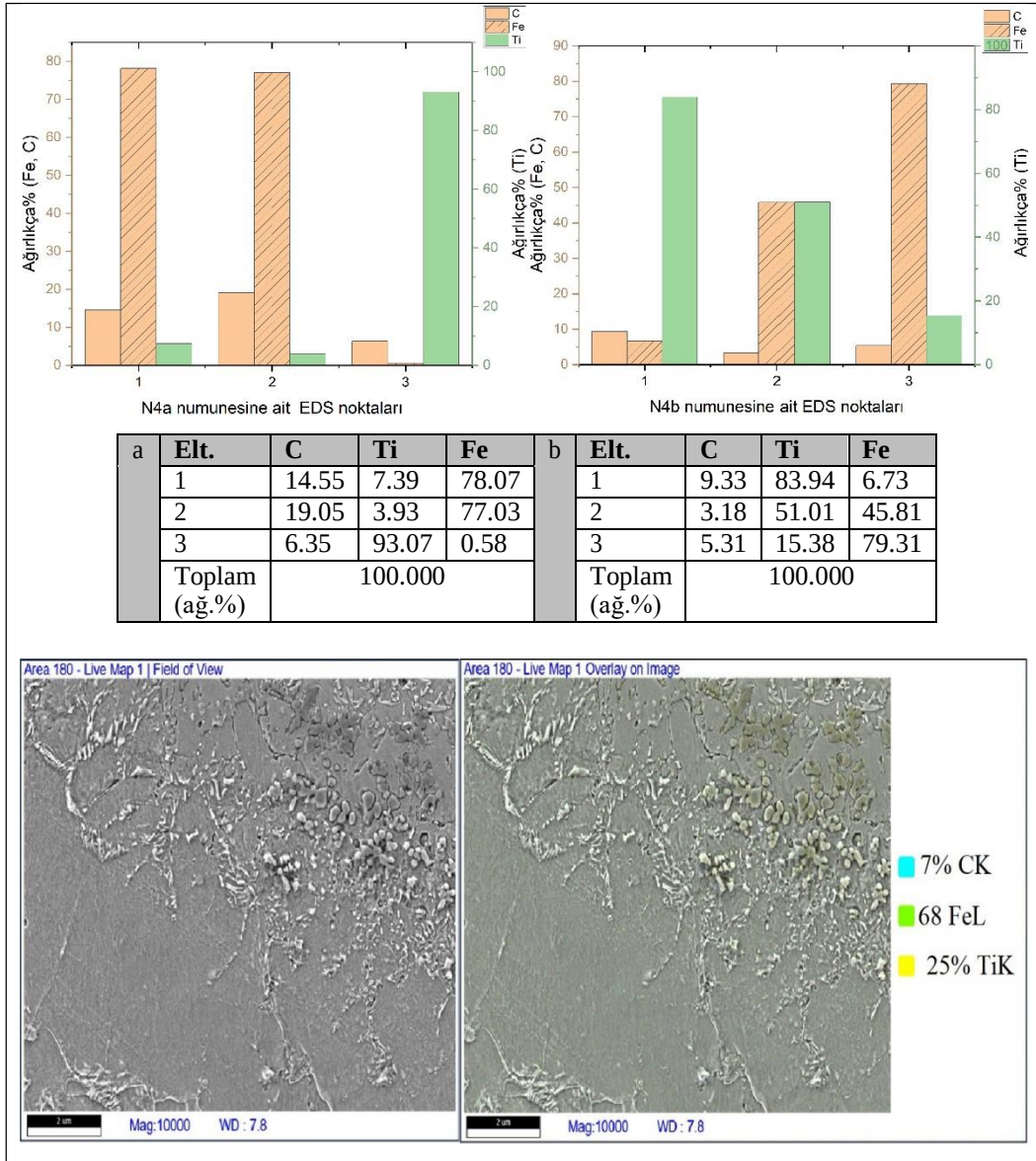
alan N1 numunesi SEM-EDS sonuçlarında yer alan kaplamadan alt tabakaya doğru Ti-C elementlerin oranındaki düşüş eğilimi Şekil 5.8 N2 numunesinde görülmüştür. Şekil 5.8’de N2 numunesine ait mapping resmi görülmektedir. Kaplama ve alt tabakanın birlikte tarandığı ve bu tarama sonucunda %31Ti, 6%C ve %63Fe olduğu tespit edilmiştir. Mapping resminde görüldüğü üzere Fe kaplama bölgesine geçiş yaparken, Ti ve C elementi ise alt tabakaya doğru difüze olduğunu göstermektedir. Elde edilen veriler ışığında kaplama işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiği söylenebilir. Ancak Ti-C elementlerin ara geçiş bölgesinde ve alt tabakada az oranda da görülmüş olması bu elementlerin ergime havuzunun alt kısmına çöktüğünü ve katılaşma ile birlikte bu bölgelerde çökelti halinde kaldığı düşünülmektedir. Ergiyik havuzunun hareketi sonucu Ti-C elementi alt tabaka elementlerinden EDS yer verilmemiş olan Cr ve EDS’de yer alan Fe gibi elementler ile katılaşma sonrası birleşerek sert karbür fazların oluşmasına katkı sunmuş olabileceği düşünülmektedir. Nitekim Şekil 5.13’de yer alan XRD sonucu bunu destekler niteliktedir. Kaplama bölgesinde meydana gelen bu karbürler mikrosertlik ve aşınma direnci gibi malzeme özelliklerini önemli bir şekilde etkilediği daha önce yapılmış olan çalışmalarda belirtilmiştir (Kılıç ve ark., 2021).





Şekil 5.9. N3'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi resimleri, EDS sonuçları ve Grafikleri



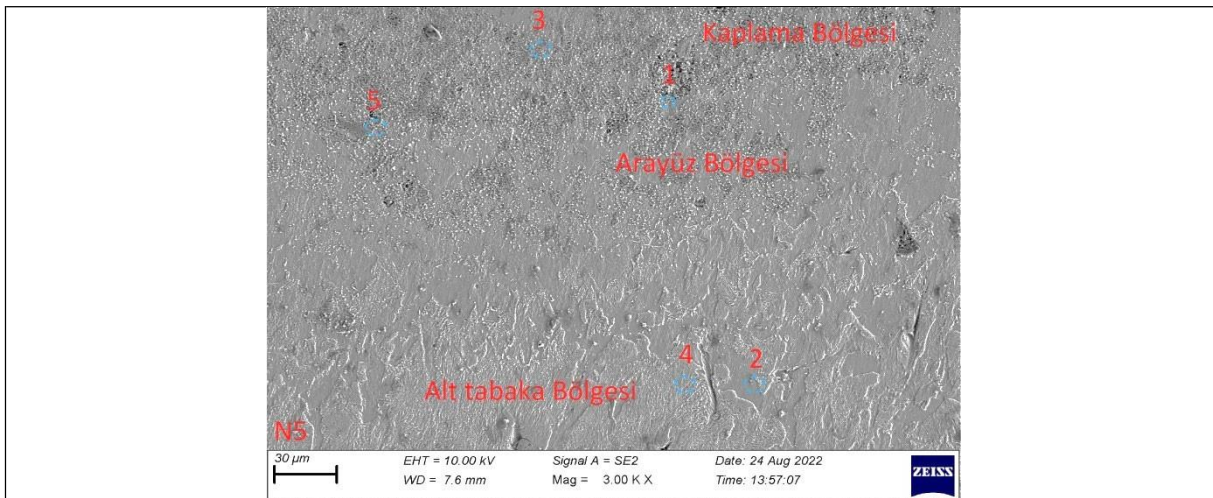


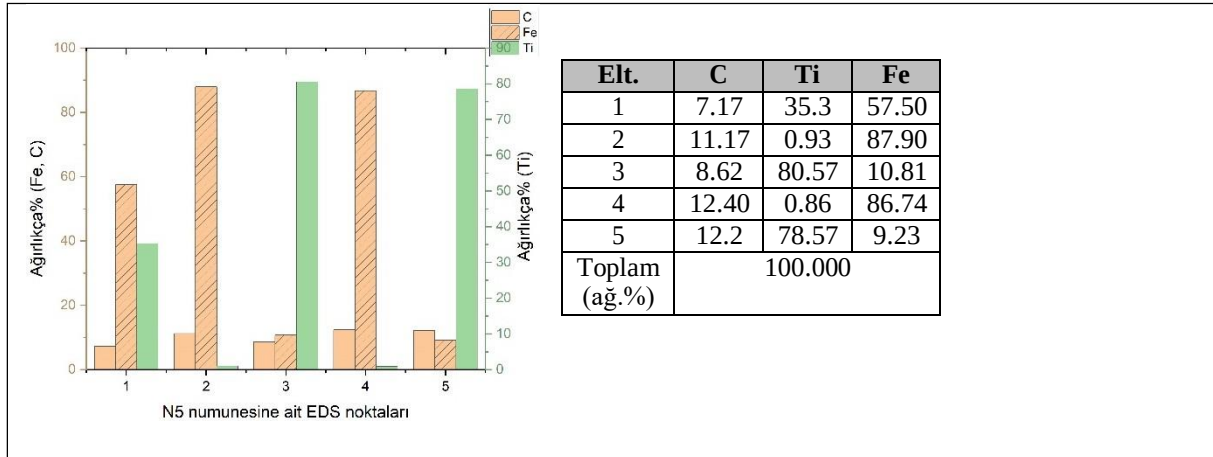
Şekil 5.10. N4'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri, EDS sonuçları ve Grafikleri

Şekil 5.9'da N3 numunesine ait enine kesit SEM, mapping ve EDS tablosuna yer verilmiştir. N3a büyütülmüş SEM resminde yapının yaprak benzeri, hücrel ve sütun benzeri dendritlerden oluştuğu görülmektedir. Lazer ışını, elektron ışını, TIG vb. yöntemlerle yapılan kaplama çalışmalarında dendritik yapıların oluşması ve dendritlerin boyutları arkın başlatılması ve akabinde oluşan sıvı havuzunun hızlı bir şekilde katılaşmasına bağlı olarak gelişir (Zabihi ve ark., 2018). Kaplama bölgesi ötektik bölge (gri), dendritik yapı (açık gri), dendritler üzerinde ise hücrel yapılardan (koyu gri yapılar) oluşmuştur. Koyu gri eş eksenli TiC fazlarının çoğunlukla açık gri çökelmiş fazlar üzerinde dağıldığı, gri matrisin kaplamanın ortası ile tutarlı olduğu füzyon (kaynaşma) bölgesinin üst kısmındaki mikro yapıyı göstermektedir.

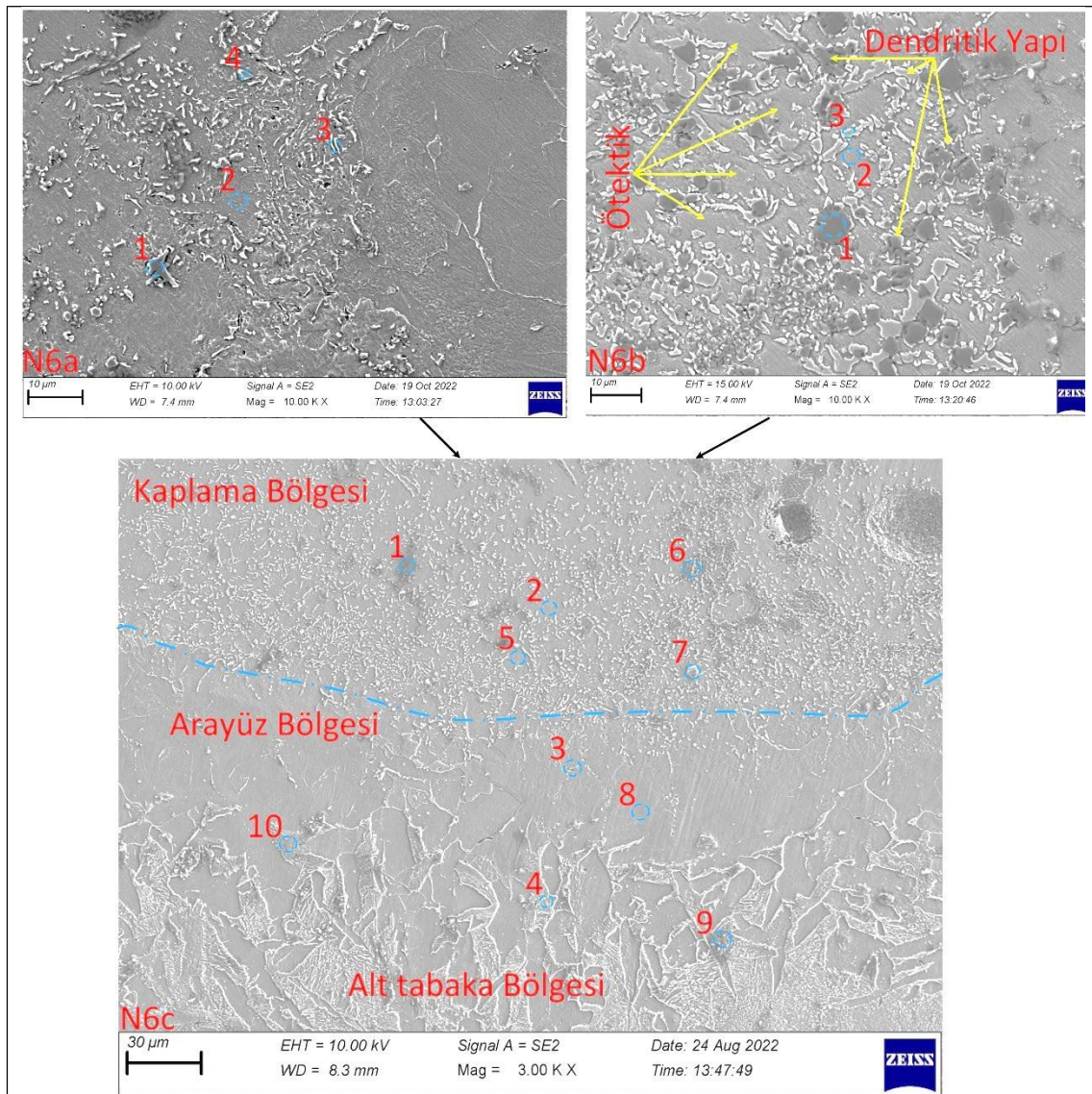
N3a SEM resminde kaplama tabakası diğer numunelerde olduğu gibi ötektik ve dentritik yapıdan oluşmuştur (Şekil 5.9). N3a EDS sonucu ise sırasıyla ağırlıkça açık gri dendritik yapıdan alınmış olan 1 nolu nokta %43.01Ti, %3.81C ve %53.81Fe'dir. 2 nolu gri ötektik yapı bölgesi EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %14.28Ti, %5.51C ve %80.21Fe son olarak dendritik üstünde yer alan koyu gri bölgelerden alınan EDS sonucunda ise %22.01Ti, %5.15C ve %72.84Fe olduğu tespit edilmiştir. Kaplama tabakası EDS sonuçları Ti ve C ile birlikte Fe elementinin varlığını göstermektedir. N3 numunesine ait genel SEM görüntüsüne N3b'de verilmiştir (Şekil 5.9). SEM resminde 3 bölgenin varlığı söz konusudur. Bu bölgeler; kaplama tabakası, arayüz bölgesi ve alt tabakadan oluşmuştur. Kaplamanın üst bölgesi dentritik ve ötektik yapılardan meydana gelmiştir. Arayüz bölgesinin ise koyu gri partikül yoğunluğu olduğu ve bu partiküllerin alt tabakaya doğru yöneldiği gözlenmiştir. Ayrıca arayüz bölgesinin düzgün bir yapı sergilediği ve hat boyunca herhangi bir gözenek ve çatlak formunun olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuca bağlı olarak kaplama ve alt tabaka arasında metalurjik bağın iyi oluştuğunun göstergesidir. N3b EDS tablo ve grafiklerinin analiz sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça açık gri ötektik yapıdan alınmış olan 1 nolu nokta %22.97Ti, %2.24C ve %74.79Fe'dir. 2 nolu koyu gri dendritik yapı bölgesi EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %33.23Ti, %6.77C ve %60.00Fe, dendritler arası ötektik yapıdan alınan 3 nolu EDS sonucunda ise %5.24Ti, %2.65C ve %92.11Fe, arayüz bölgesini temsil eden 4 nolu bölgede %4.36Ti, %2.62C ve %93.02Fe, arayüz bölgesinde yer alan koyu gri partiküllerin EDS sonucunu temsil 5 nolu bölge ise %72.27Ti, %12.67C ve %15.05Fe, alt tabaka (altlık) bölgesini temsil eden 6 nolu EDS noktasında %0.29Ti, %8.49C ve %91.22Fe, arayüz ve alt tabaka sınırından alınmış 7 nolu noktanın %4.86Ti, %4.19C ve %90.95Fe, alt tabakanın arayüze yakın bölgesinde alınmış olan 8 nolu EDS sonucu olarak %2.72Ti, %0C ve %96.83Fe olduğu tespit edilmiştir. EDS verilerinden Ti ve C alt tabakaya difüze olduğu aynı şekilde alt tabakadan da Fe kaplama tabakasına difüze olduğunu göstermektedir. Kaplamaya %2C partikülünün eklenmesi, kaplamadaki C atomlarının konsantrasyonunda artışa ve böylece karbür çökelme içeriğinin artmasını sağladı. İşlem sırasında, ergiyik havuzda çözünen C atomları katılaşma esnasında Ti ile birleşerek ilk önce TiC'yi oluşturmuştur (Zhou ve ark., 2020). Enerji girdisinin değişmesiyle malzemenin katılaşma hızı da değişmektedir. Eşit olmayan sıcaklık gradyanından ve soğutma hızına bağlı olarak katılaşma hızının değişimi kaplama tabakasının sertlik, mikroyapı ve aşınma direncini etkilemektedir (Zhou ve ark., 2020; Ulutan, 2007). %3C takviyeli TiC-C kaplama numunesine ait yan kesit SEM-EDS resmine, EDS tablo ve grafiğine ve mapping resmine Şekil 5.10'da yer verilmiştir. N4a-b SEM resminde kaplama bölgesi ve arayüz bölgesini göstermektedir. Her iki bölge ötektik ve dentritik yoğun bölgelerden meydana gelmiştir. N4a- b resminde dendritik yapıların kaplama tabakasının üst bölgesinde yoğunlaştığı, kaplamanın mikroyapısını esas olarak oluşturan

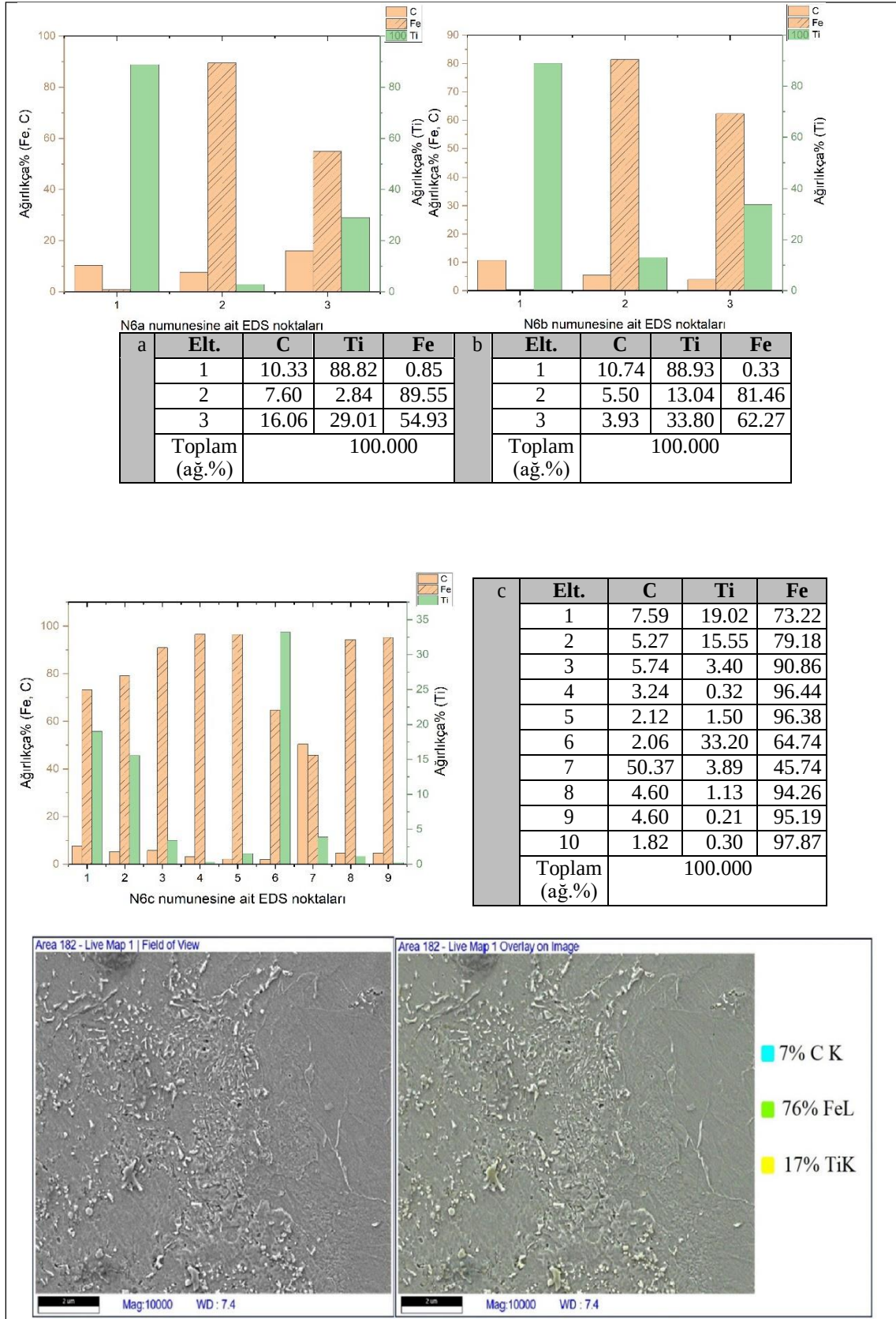
dendritler dışı doğru bir doğrultuda katılaştığı gözlenmiştir. N4a resminde koyu gri çiçeksi dendritler, tane sınırlarına çökelmiş koyu gri partikül taneleri, arayüz bölgesine yakın kısımda ise daha çok balık kılçığı formunda dendritik yapılar meydana gelmiştir. N4b’de ise sütunlu ve hücrel dendritlerin kaplama bölgesinin üst kısmında yoğun olduğu, arayüz bölgesine yakın kısımda ise balık kılçığı şekline dönüşmüştür. Ayrıca dendritler arası ötektik yapının varlığı da sözkonusudur. Kaplama bölgelerinde bu tür farklı yapıların oluşmasının temel nedeni olarak; sıcaklığın yüzeyden aşağıya doğru düşmesi ve katılma hızının farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. N4 numunesine ait N4a EDS tablo ve grafiklerinin analiz sonucunda. SEM resminde kaplama tabakası diğer numunelerde olduğu gibi ötektik ve dendritik yapıdan oluşmuştur. EDS sonucu ise sırasıyla ağırlıkça açık gri balık kılçığı yapıdan alınmış olan 1 nolu nokta %7.39Ti, %14.55C ve %78.07Fe’dir. 2 nolu arayüz bölgesi EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %3.93Ti, %19.05C ve %77.07Fe son olarak koyu gri çiçeksi dendritik üstünde yer alan bölgeden alınan EDS sonucunda ise %93.07Ti, %6.35C ve %0.58Fe olduğu tespit edilmiştir. N4b numunesine ait SEM analiz sonucunda, diğer numunelerde olduğu gibi kaplama tabakası ötektik ve dendritik yapıdan oluşmuştur. EDS sonucu ise sırasıyla ağırlıkça dendritik yapı üzerinde bulunan koyu gri yapıdan alınmış olan 1 nolu nokta %83.94Ti, %9.33C ve %6.73Fe’dir. 2 nolu açık gri dendritik yapının EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %51.01Ti, %3.18C ve %45.81Fe, son olarak ötektik bölgeden alınmış EDS sonucunda ise %15.38Ti, %5.31C ve %79.31Fe olduğu tespit edilmiştir. %4C takviyeli N4 numunesine ait mapping sonucunda ise %25Ti, %7C ve %68Fe olarak tespit edilmiştir. Bu veriler ışığında Ti ve C kaplama elementlerinin alt tabakaya difüze olduğunu göstermektedir.





Şekil 5.11. N5'e ait SEM resimleri, EDS sonuç ve Grafiği





Şekil 5.12. N6'ya ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri, EDS sonuçları ve Grafikleri

N5 ve N6 numunelerine ait kaplama katmanları çatlak ve gözenek olmaksızın bir katılma gerçekleştiği hem Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de SEM görüntülerinde hem de Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de optik mikroskop görüntülerinde görüldüğü üzere açıktır. N5’e ait SEM resminde görüldüğü üzere kaplama bölgesi, arayüzey bölgesi ve alt tabaka bölgesi olmak üzere 3 bölgenin varlığı söz konusudur (Şekil 5.11). Bununla birlikte diğer numunelerde olduğu gibi arayüzey bölgesi çok belirgin olmadığı gözlenmiştir. Kaplama yüzeyi dendritik yapı, ötektik yapı ve parçacıklı yapılardan oluşmuştur. Ayrıca kaplama tozunun bazı bölgelerde çöktürelere yolaçtığı düşünülmektedir. Bu durumda, TiC çöktülerinin oluşumu, Ti’ nin grafitte yayılmasıyla meydana gelebilir. Erimiş parçacıklar alt tabaka üzerinde biriktiğinde, hızla katılır. Hızlı katılma işlemi sırasında, sıcaklığın azalmasına bağlı olarak çözünürlükteki azalma nedeniyle sıvıdan bazı katı TiC çekirdekleri oluşabilir (He ve ark., 2020). Şekil 5.11’de EDS sonuçlarında Ti ve C elementlerinin yüksek değerlerde sonuçlanması bu çöktüleri ispatlamaktadır. Ayrıca Şekil 5.13’te verilmiş olan XRD faz bileşen sonucunda ana fazın TiC olduğu belirlenmiştir. N5 numunesine ait EDS sonucu ise Şekil 5.11’de yer verilmiştir. Buna göre sırasıyla ağırlıkça ötektik yapıdan alınmış olan 1 nolu nokta %35.3Ti, %7.17C ve %57.50Fe’dir. 2 nolu alt tabaka bölgesi EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %0.53Ti, %11.17C ve %87.90Fe, 3 nolu dendritik bölgede sırasıyla ağırlıkça %80.57Ti, %8.62C ve %10.81Fe, 4 nolu alt tabak bölgesinde sırasıyla ağırlıkça %0.86Ti, %12.40C ve %86.74Fe, son olarak dendritik, ötektik ve parçacıklı yapıyı temsil eden 5 nolu bölgede ise sırasıyla ağırlıkça %78.57Ti, %12.2C ve %9.23Fe olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.11’de verilmiş olan EDS sonuçlarında kaplama tabakasında özellikle Ti ve C yoğunken alt tabaka bölgesinde ise Fe ve C elementlerinin daha yoğun olduğu elde edilen veriler ışığında tespit edilmiştir. Bununla birlikte Ti elementinin alt tabaka bölgesinde az miktarda da olsa görülmesi alt tabakaya difüze olduğu söylenebilir. Fe’nin kaplama tabakasında yoğun olmasının temel sebebi olarak, TIG yönteminde ark ısıyla oluşan yüksek sıcaklıklar hem alt tabakayı hem de kaplama tabakasını birlikte ergitmesine bağlanabilir. Ayrıca ergimeyle birlikte oluşan ergiyik sıvısı içerisinde yer alan alt tabaka elementleri kaplama bölgesine doğru hareket etmesi sonucunda Fe elementinin yoğunluğunun kaplama tabakasında artmasına neden olabilir. Şekil 5.12’de N6a-b-c SEM resimlerine yer verilmiştir. N6 numunesinin SEM görüntülerinde, dendritler ve dendrit arası ötektiklerin mikro yapıyı oluşturduğunu göstermektedir. Dendritlerin kaplamanın arayüzünden üst alana (kaplama tabakasına) doğru yoğunlaştığı gözlenmiştir. Bunun temel sebebi olarak ısıyı kaplamanın alt kısmının emmesi ve bunun sonucunda üst kısmın hızlı bir şekilde soğuyarak katılmasına bağlanabilir.

Arayüz bölgesine ait N6a SEM resminde, düzensiz şekilli dendiritikler, partiküll parçacıkları ve ötektiklerden meydana gelmiştir. Kaplama üst bölgesinden alınmış 6b'de SEM resminde ise daha çok çiçek ve yaprak şekilli ile hücrel ve ötektik yapıların mevcut olduğu görülmektedir. Açık gri dendritler üzerinde dikdörtgen ve yuvarlak formlarda koyu gri yapıların olduğu bu yapıların daha önceki EDS sonuçları gözönüne alındığında TiC fazına işaret etmektedir. N6 numunesine ait genel SEM resmi N6c yer verilmiştir. Kaplama tabakası, arayüz bölgesi ve alt tabaka olmak üzere üç bölgenin olduğu görülmektedir. Bununla birlikte arayüz bölgesinde çatlak ve gözenek gibi kusurlar oluşmamıştır. Bu kaplama tabakası ile alt tabaka arasında iyi bir metalurjik bağ olduğunu göstermektedir. N6 numunesine ait N6a SEM resminin EDS sonucuna göre sırasıyla ağırlıkça koyu gri dendiritten alınmış olan 1 nolu nokta %88.82Ti, 10.33%C ve %0.85Fe'dir. 2 nolu ötektik bölge EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %2.84Ti, %7.64C ve %89.55Fe, 3 nolu açık gri balık kılçığına benzer dendiritik yapıda ise sırasıyla ağırlıkça %29.01Ti, %16.06C ve %54.93Fe olduğu tespit edilmiştir. N6b'de ise sırasıyla ağırlıkça yuvarlak koyu gri dendiritten alınmış olan EDS'nin 1 nolu noktada %88.93Ti, 10.74%C ve %0.33Fe'dir. 2 nolu ötektik bölge EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %13.04Ti, %5.50C ve %81.46Fe, 3 nolu açık gri balık kılçığına benzer dendiritik yapıda ise sırasıyla ağırlıkça %33.80Ti, %3.93C ve %62.27Fe olduğu tespit edilmiştir. N6c'de ise tüm noktaların değerleri yerine kaplama bölgesindeki ötektik, dendiritik yapılar ile birlikte arayüzey ve alt tabakanın EDS sonuçlarına yer verilecektir. Buna göre sırasıyla ağırlıkça yuvarlak koyu gri dendirit yapıyı temsil eden 1 nolu noktada %19.02Ti, 7.59%C ve %73.22Fe'dir. 2 nolu ötektik bölge EDS sonucunda ise sırasıyla ağırlıkça %15.55Ti, %5.27C ve %79.18Fe, 6 nolu koyu gri dendiritik yapıda ise sırasıyla ağırlıkça %33.20Ti, %2.06C ve %64.74Fe, 7 nolu gri partikül yapıda ise sırasıyla ağırlıkça %3.89Ti, %50.37C ve %45.74Fe, 8 nolu ara yüzey bölgesinde ise sırasıyla ağırlıkça %1.33Ti, %4.60C ve %94.26Fe, son olarak 9 nolu alt tabaka bölgesinde ise sırasıyla ağırlıkça %0.30Ti, %1.82C ve %97.87Fe olduğu tespit edilmiştir. Kaplama bölgesinde, çözünmemiş TiC parçacıklarının dendritler ve ötektik bir karışımdan oluşan matriste dağıldığını gösterir (Sun U ve ark., 2000). Bununla birlikte dendrit üzerinde alınmış Şekil 5.12'de 6c 7 nolu noktanın EDS analiz sonucunda C oranı % ağ. 50.37 gibi yüksek çıkmıştır. C oranının TiC erimiş havuz içerisinde seyreltmesinin artması sonucunda ayrıştığını gösterir. Bununla birlikte C elementinin yüksek çıkması hem TiC ayrışması hem de alt tabakada yer alan C elementinin kaplama tabakası yüzeyine doğru çıkması sonucuna bağlanabilir. Saf Fe, Ti ve C' nin (veya grafitin) erime noktaları sırasıyla 1538, 1668 ve 3400 °C' dir. Saf tozların nispi erime sıcaklıkları göz önüne alındığında, Fe eriyerek sıvı oluşturur.

Bu sıvı Ti ve C'ü çevreler bunun sonucunda Ti ve C'ün Fe bakımından zengin sıvı fazda önemli bir çözünürlüğe sahip olduğu, sıcaklığın artmasıyla birlikte çözünürlüğün arttığı açıktır. Bu nedenle, Fe'nin Ti ve C ile alaşımlanması, aslında Ti ve grafit tozlarının kademeli olarak çözünmesi yoluyla üçlü bir sıvı oluşturabileceği daha önceki çalışmalarda araştırmacılar tarafından dile getirilmiştir (Emamian ve ark., 2011). Kaplama katmanı eldesinde önemli bir faktör olan TIG enerji girdisinin yeterince yüksek olması, TiC tozuna ilave edilen C tozlarını ergitmede yeterli olduğu ve katılaşmayla yeni faz ve karbürlerin oluştuğu sonucuna varılabilir.

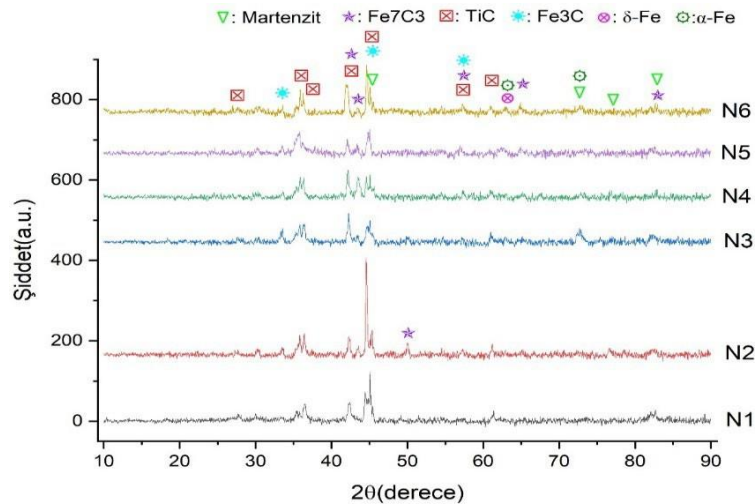
5.2.2. Mikroyapı Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 5.1 ile Şekil 5.6'da yer alan optik mikroskop sonuçları ve Şekil 5.7-Şekil 5.12'de yer verilmiş olan SEM- EDS analiz sonuçlarından tüm kaplamalarda kaplama tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Tüm kaplamalarda görülen düzlemsel yapı alt tabaka ve kaplama tabakası arasında metalurjik olarak güçlü bir şekilde bağ olduğunu doğrulamaktadır. Arayüz bölgesinde düzlemsel bir kristalleşmenin oluşması kaplama ile ana metal (altlık) arasında metalurjik bağ oluşumunun başarılı bir şekilde gerçekleştiği anlamına geldiği belirtilmiştir (Idriss ve ark., 2015). Tüm kaplamalarda kaplama bölgesi, arayüzey bölgesi ve alt tabaka bölgesi olmak üzere 3 bölgenin varlığı söz konusudur. Bununla birlikte kaplama bölgesi ise dentritik yapılar, dendiritikler arası ötektik yapılar, parçacıklı yapılardan oluşmuştur. Dendiritler bazı kaplamalarda benzer olsa da genel manada farklı formlarda dendiritik oluşumlarda gözlenmiştir. Bu şekillerin çiçek, hücresel, balıkkılçığı, yaprak şekilli dentiritlerden oluştuğu gözlenmiştir. Metal ya da alaşım elementlerinde birincil ve ikincil kollar şeklinde meydana gelen dendritler, katılaşmış metallerde ve diğer malzemelerde en sık gözlenen mikroyapıdır. Hızlı soğutma ince dendritler üretirken, yavaş soğutma büyük ve kaba dendritlerin oluşmasını sağlayarak malzemelerin özelliğini etkilerler (Kılıç, 2020). TiC tozuna karıştırılan C toz miktarının artmasıyla dentritik yapı (Şekil 5.9,10 ve Şekil 5.12), yerini Fe, Ti ve C elementlerince zengin ötektik bir yapıya bırakmıştır. Ayrıca kaplama katmanı eldesinde önemli bir faktör olan TIG enerji girdisinin yeterince yüksek olması, TiC tozuna ilave edilen C tozlarını ergitmede yeterli olduğu ve katılaşmayla yeni faz ve karbürlerin oluştuğu sonucuna varılabilir. TiC ergiyik halde yüksek enerji girdisiyle Si ve C elementlerine ayrıştığı ve katılaşma sırasında C elementi bileşik yapmadan yer yer grafit halinde yapı içerisinde hapsolmuştur. EDS analiz sonuçlarında da görüldüğü üzere (Şekil 5.7- Şekil 5.12) artan C oranına bağlı olarak C'nin yapı içerisinde artış gösterdiği gözlenmiştir. Enerji girdisinin değişmesiyle malzemenin katılaşma hızı da değişmektedir.

Eşit olmayan sıcaklık gradyanından ve soğutma hızına bağlı olarak katılaşma hızının değişimi kaplama tabakasının sertlik, mikroyapı ve aşınma direncini etkilemektedir (Zhou ve ark., 2021; Ulutan, 2007). Bu artışa bağlı olarak Şekil 5.13’de XRD analizinde yer verilmiş olan sert karbür fazların oluşmasına temel oluşturduğu düşünülmektedir. %1-3-5 C oranına bağlı numunelerin mapping sonuçlarında kaplama tozları Ti ve C dışında alt tabakadan kaplamaya geçiş yapan Fe yoğunluktadır. Bu sonuçlara bağlı olarak kaplamada istenilen kaplamadan alt tabakaya, alt tabakadan kaplamaya difüzyonların başarılı bir şekilde gerçekleştiği düşünülmektedir.

5.2. XRD Sonuçları

Şekil 5.13’de AISI 1040 çelik üzerine TIG yöntemi ile üretilmiş ve farklı oranlarındaki C ilave edilmiş TiC-C kaplama tabakasına ait XRD analiz sonuç grafiğine gösterilmektedir. Kaplama bileşen fazlarının tespiti için XRD analizi yapılmıştır. Grafikte görüldüğü üzere tüm numunelerin yüzeyinde oluşan baskın fazın TiC fazı ile birlikte Fe_7C_3 , Fe_3C ve martenzit fazlarının olduğu, düşük pik değerlerinde α -Fe ve δ -Fe fazlarının da oluştuğu tespit edilmiştir. Fe bazlı kaplamada aynı anda birden fazla karbür üretildiğinde, karbon için en yüksek afiniteye sahip karbür elementi tercihen oluşturulur. TiC, metal (Fe, Cr) karbürlerden daha yüksek bir erime noktasına sahip olduğundan, Gibbs serbest enerjisi daha düşüktür (130.348 J/mol, 3400 K) ve Ti ile C elementleri arasındaki afinite yüksektir; bu nedenle, TiC taneleri tercihen metal sıvıdan çöktürülür (Yue ve ark., 2022). Numuneye C eklendiğinde XRD modellerinde önemli bir farklılık gözlenmedi ve TiC içerik yüzdesindeki farklılıktan dolayı yalnızca tepe yoğunluklarında bir fark olmuştur (Zhang ve ark., 2022). Nitekim benzer fazlar farklı araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir (Buytoz 2020; Khalili ve ark., 2019; Moghaddam ve ark., 2019).



Şekil 5.13. Numunelere ait XRD Grafiği

5.3. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

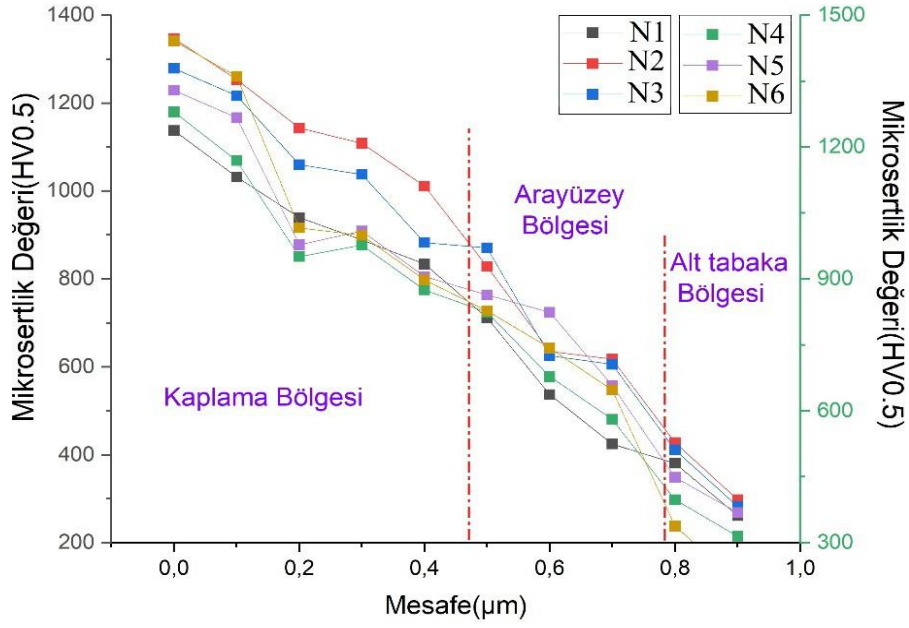
Metal malzemelerde yüzey kalitesini arttırmak için yapılan kaplamaların mikroyapı özellikleri kaplamaların mekanik özellikleri (mikrosertlik ve aşınma dayanımı) üzerinde önemli etkisi olabilir. Bu bölümde yukarıda açıklanan farklı mikroyapı özelliklerine sahip kaplamalara ait mikrosertlik ölçüm sonuçlarının grafiklerine ve açıklamalarına yer verilmiştir.

Tablo 5.1. Sertlik Değerleri

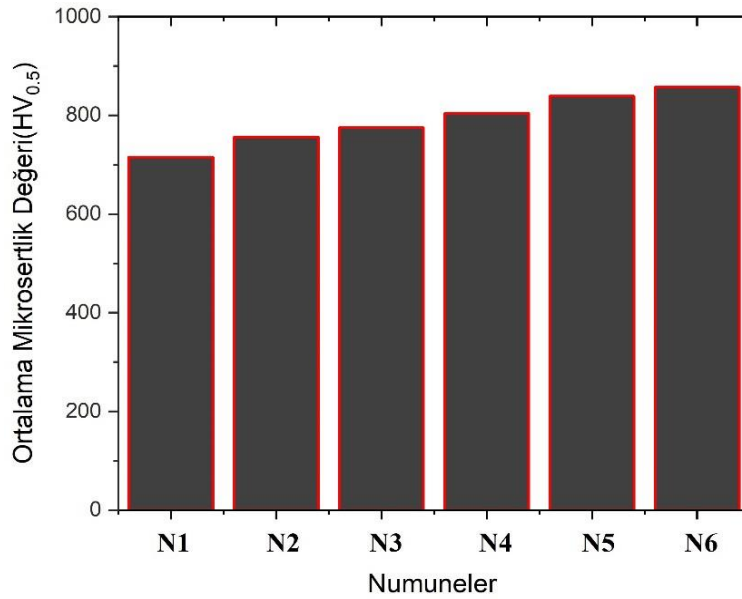
N1	N2	N3	N4	N5	N6
262	282	276	315	322	326
381	390	394	398	405	432
425	548	572	581	623	690
537	563	590	678	796	769
712	724	815	824	837	840
834	876	826	875	881	898
889	957	968	977	989	983
940	986	988	951	956	997
1032	1078	1132	1169	1257	1284
1138	1156	1189	1280	1322	1351

C oranındaki artışa bağlı olarak kaplamaların mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Takviye fazının içeriğinin artmasına bağlı olarak kaplamanın mikrosertliğini de iyileştirdiği bilinmektedir (Yu Zhao ve ark., 2020). Kaplama enine kesit numunesinde kaplama merkezinden başlayarak alt tabakaya doğru olmak üzere; kaplama bölgesi, arayüzey bölgesi ve ana malzeme olmak üzere 3 farklı bölgeden sertlik değerleri ölçülmüştür. Tablo 5.1’de mikrosertlik ölçüm sonuçları yer alırken Şekil 5.14’de kaplama merkezinden uzaklığa bağlı olarak sertlik değişimine ait çizgi grafiği yer almaktadır. Şekil 5.15’de ise kaplamalara ait ortalama mikrosertlik değerine ait sütun grafiğe yer verilmiştir. Mikro sertlik değerinin kaplama üzerindeki dağılımı öncelikle kaplama profiline ve güçlendirilmiş sert parçacıkların kaplama üzerindeki şekline, konsantrasyonuna ve dağılımına bağlıdır (Tijo ve ark., 2018). TiC-C matristeki sert TiC parçacıklarının varlığı, metal matrisli kompozitin daha yüksek sertliğine yol açarken, daha az TiC fraksiyonlu katmanlar ise daha düşük sertlik değeri sergilemiştir (Rezapoore ve ark., 2018). Şekil 5.14’de kaplama merkezinden uzaklığa bağlı olarak alınan sertlik değeri ölçümlerinde kaplama tabakasının mikroyapısındaki ve kimyasal bileşimdeki farklılıklar nedeniyle, kaplama tabakasında alt tabakaya doğru keskin bir azalış meydana

gelmiştir (Shahroozi, ve ark., 2018). Bu farkın temel sebebi olarak yazarların ifade ettiği gibi katılaşma ile birlikte kaplama tabakasında oluşan ve Şekil 5.13’de yer verilmiş olan XRD grafiğinden de görüldüğü üzere yapıda oluşmuş olan Martenzit, Fe_7C_3 , TiC ve Fe_3C gibi sert fazların büyük etkisinin olduğu düşünülmektedir. Buna göre en yüksek sertlik ölçümü $1351 HV_{0.5}$ ile N6 nolu numunede tespit edilmiştir. En düşük değer ise $262 HV_{0.5}$ ölçüm değeriyle N1 numunesinin alt tabakasından elde edilmiştir. Diğer değerlere bakıldığında C takviyesiz N1 nolu numunede alt tabakada en yüksek $381 HV_{0.5}$ değer elde edilirken kaplama tabakasında ise yaklaşık 4 katı bir değer ile $1138 HV_{0.5}$ ile sonuçlandığı görülmüştür. Bununla birlikte C takviyeli N2, N3, N4, N5, N6 numunelerin sertlik değerleri sırasıyla alt tabaka olarak en yüksek $390 HV_{0.5}$, $394 HV_{0.5}$, $398 HV_{0.5}$, $405 HV_{0.5}$, $432 HV_{0.5}$ elde edilirken kaplama tabakasında ise sırasıyla $1156 HV_{0.5}$, $1189 HV_{0.5}$, $1280 HV_{0.5}$, $1322 HV_{0.5}$, $1351 HV_{0.5}$ olarak ölçülmüştür. Ti-grafit ilavesi ile kompozit kaplamaların sertliği daha yüksek dalgalanmalarla artmaktadır. Artan sertlik, esas olarak TiC sert fazının oluşumundan kaynaklandığı daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir (Jining He ve ark., 2020). Daha önce yapılmış olan kaplama çalışmalarında da mikrosertlik değerinin artan TiC oranına bağlı olarak arttığı yazarlar tarafından ifade edilmiştir (Tijo ve ark., 2018; Yu Zhao ve ark., 2020). Shahroozi vd. TIG yöntemiyle 1045 üzerine stellite 6 ve Stellite 6/TiC kaplamamışlardır. İşlem sonunda TiC miktarı arttıkça, kaplamanın sertliğinin arttığı ve Stellite 6’daki $400Hv$ ’den ortalama sertlik değerinin, Stellite 6 + %40 TiC’deki ortalama $700 Hv$ ’ye yükseldiği ifade etmişlerdir (Shahroozi ve ark., 2018). Ara bölgeden alınan sertlik ölçüm değerleri incelendiğinde Şekil 5.14’de sonuçların kaplama tabakasına göre düşük alt tabakaya göre ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 numunelerinin arayüz bölgesinde elde edilen en yüksek sertlik ölçüm değerleri sırasıyla; $537 HV_{0.5}$, $563 HV_{0.5}$, $590 HV_{0.5}$, $678 HV_{0.5}$, $796 HV_{0.5}$ ve $769 HV_{0.5}$ olarak ölçülmüştür. Fe elementinin alt tabakadan difüzyonu nedeniyle arayüz bölgesindeki sertlik, kaplama tabakasına göre yarı yarıya düşmüştür (Rachidi ve ark., 2019). Alt tabaka, N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 numunelerine ait ortalama sertlik değerleri sırasıyla; $715 HV_{0.5}$, $756 HV_{0.5}$, $775 HV_{0.5}$, $804,8 HV_{0.5}$, $838,8 HV_{0.5}$, $857 HV_{0.5}$ olarak ölçülmüş ve sonuçlara Şekil 5.14’teki grafikte yer verilmiştir.



Şekil 5.14. Kaplama Tabakasından Ana Malzemeye Doğru Mikrosertlik Değerinin Değişimi



Şekil 5.15. Ortalama Mikrosertlik Değerleri

Ortalama sertlik değerlerine ait grafikte Şekil 5.14’de görüldüğü üzere C artışıyla birlikte sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik ölçüm değerleri sırasıyla N1, N2, N3, N4, N5 ve N6’da elde edilirken en düşük değer alt tabakadan elde edilmiştir. (Ghadami ve ark., 2014). Bu artışın sonucu yapıda TiC ile birlikte farklı sert karbür fazlarına bağlanabilir. Nitekim daha önce yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Ghadami ve ark., 2014; Saba ve ark., 2016). Tüm sonuçlar ışığında TiC-C kaplamada artan C oranının kaplama

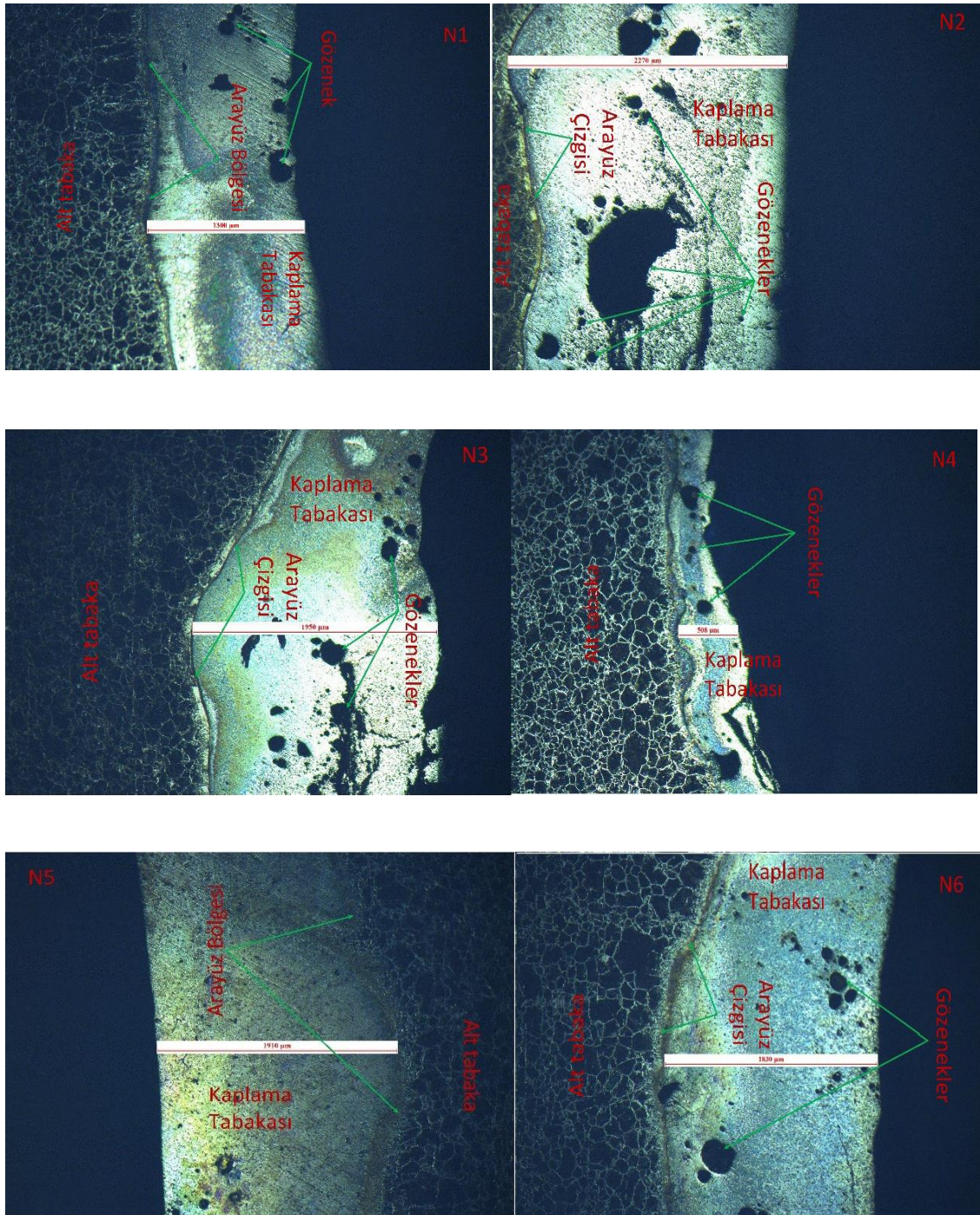
sertliğinin artmasına önemli katkı sağlamıştır. Saba vd. Mevcut çalışmalarında, mekanik olarak alaşımlanmış Ti ve grafitten TiC'nin çelik alt tabaka üzerinde kaplanmasını çalışmışlardır. Uygulanan parametreler sonucunda üretilen kaplama için en yüksek sertlik ve aşınma gücü elde edildiğini göstermişlerdir (Akkaş ve ark., 2019). Tüm sonuçlar ışığında TiC-C kaplamada artan C oranının kaplama sertliğinin artmasına önemli katkı sağladığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçların literatür ile benzer olduğu yapılan araştırmalar sonucunda belirlenmiştir.

5.4. Enerji Girdisine bağlı olarak Kaplama Kalınlığına Etkisi

Tablo 5.2. Enerji Girdisi ve Kaplama Kalınlığı Sonuçları

Numune No	Enerji Girdisi (j/mm)	Kaplama Kalınlığı (μm)	İlerleme Hızı (mm/sn)
Saf TiC	906	1300	0,45
%1 C	1144	2270	0,39
%2 C	1095	1950	0,39
%3 C	899	508	0,47
%4 C	1027	1910	0,43
%5 C	1017	1830	0,42

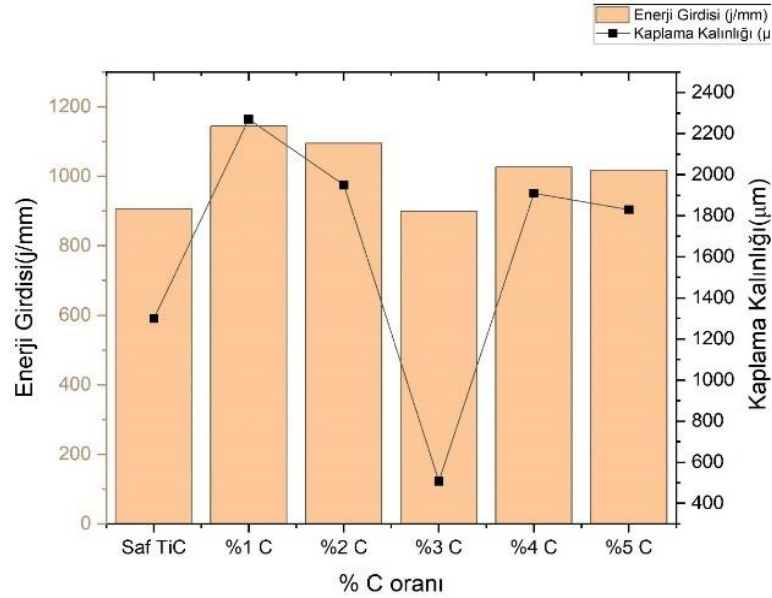
Tablo 5.2’de Enerji Girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı sonuçları verilmiş olup aynı zamanda da ilerleme hızları belirtilmiştir. Şekil 5.16’da kaplama kalınlığına ait Optik görüntüler yer verilmiş olup Şekil 5.17’de ise enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı değişim grafiği görülmektedir. Şekil 5.16’da görüldüğü üzere açık gri bölge TiC-C kaplama bölgesi, yay şekilde uzamış ara yüz bölgesi ve taneli yapılardan oluşmuş alt tabaka bölgesi olmak üzere üç bölgeden oluştuğu görülmektedir. Kesit görüntüsünde görüldüğü gibi arayüz çizgisi içbükey bir şekil alarak tüm hat boyunca ilerlediği görülmektedir. Kaplama tabakasının metalurjik olarak alt tabaka ile iyi bağlandığı görülmektedir. Bununla birlikte kaplama tabakasında oluşan gözeneklerin temel nedeni olarak TIG kaynağı esnasında argon gaz üflemesi sonucunda tozların bölgeden uçmasının neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, Musa vd. kaplama derinliğinde ve kaplama tabakasında gözenek oluşumunda uygulanan akım değeri ve besleme hızı belirleyici etken olduğunu ifade etmişlerdir (Musa ve ark., 2022).



Şekil 5.16. Kaplama Kalınlığına ait Optik Görüntüler

Kaplama kalınlık ölçümleri enerji girdisine göre değerlendirildiğinde artan enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığını artırmıştır (Şekil 5.17). %3 C örneğinin kaplama derinliği 580 μm iken, %5 C içeriğine sahip numunenin kaplama kalınlığı ise 1830 μm olarak elde edilmiştir. Kaplama kalınlıkları arasındaki farkın temel nedeni olarak düşük ilerleme hızına bağlı olarak meydana gelen yüksek enerji girdisidir.

Kaplama tabakasının genişliği ve derinliği dikkate alındığında, derinlik açısından numuneyi en çok etkileyen besleme hızının olduğu tespit edilmiştir. Tablo 5.2’de Enerji girdisi ve kaplama kalınlığı sonuçları verilmiştir ve buna bağlı olarak Şekil 5.16’da Enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı grafiği elde edilmiştir. Tüm numunelere ait Tablo 5.2’de saf TiC, %1, 2, 3, 4, 5 C içeriğine sahip numunelerin kaplama kalınlığı ise sırasıyla; 1300 μm , 2270 μm , 1950 μm , 508 μm , 1910 μm ve 1830 μm olarak optik mikroskop yardımı ile tespit edilmiştir. Kaplama tabakasının genişliği ve derinliği dikkate alındığında, numuneyi derinlik açısından en çok etkileyenin ilerleme hızı sırasında meydana gelen ısı girişine bağlı olduğu tespit edilmiştir (Musa ve ark., 2022; Sahoo ve ark., 2016). Şekil 5.17’deki grafikte görüldüğü üzere artan tarama hızı ile kaplama derinliğinin azaldığını da ortaya koydu.



Şekil 5.17. Enerji Girdisine bağlı olarak Kaplama Kalınlığı Değişim Grafiği

5.5. Aşınma Sonuçları

Malzemelerin aşınmasında uygulanan yük, kayma mesafesi, kayma zamanı yağlama durumu, malzeme çifti ve kaplama yöntemleri gibi yapılan diğer işlemler oldukça önemli parametrelerdir. Bu parametrelerin bazıları malzeme üretilirken ve bazıları üretilen malzemeye kaplama gibi yeni işlem yaparken önem taşımaktadır. Geri kalanlarına ise aşınma deney cihazında müdahale edilebilmektedir. Deney esnasında ise bu parametreler bir bütün olarak düşünüldüğünde, önemli olan sürtünme esnasında açığa çıkan ısı, tribo yüzeyin oluşup oluşmadığı, sürtünme katsayısı değeri ve kütle kaybı veya şekil değişimidir (Kılıç, 2020).

TiC-C kaplamanın aşınma özellikleri pin on disk abrasiv aşınma testi uygulanarak belirlenmiştir. Aşınma deneyi esnasında aşınma parametrelerine ve mikrosertlik değerine bağlı olarak sürtünme katsayısı grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.18- Şekil 5.19- Şekil 5.20). Şekil 5.18’de kayma süresine bağlı olarak sürtünme katsayısında dalgalanmalar olduğu görülmektedir. Düşük uygulama yüklerinde bu dalgalanmalar daha az olurken, artan yükler dalgalanmaları artırır. Ayrıca dalgalanmaların aşındırıcılığın kaplama yüzeyindeki sert karbür ile temasından ve artan C oranına bağlı olduğu düşünülmüştür (Kılıç, 2022). Ayrıca, dalgalanmaların saplı zımparanın kaplama yüzeyindeki sert karbür fazlarına temasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Aşınma deneyi için 6 mm çapında çelik bilye kullanılmıştır. Deneyler TURKYUS PODWT aşınma cihazında 300 dev/dak hızında 6 mm iz çapında sırasıyla 200 ve 400 m mesafelerde 5N yük altında ASTM G99 standardına uygun olacak şekilde yapılmış ve Tablo 5.3.’de gösterilen Aşınma Hacmi eşitlik (5.3) ile hesaplanır.

Tablo 5.3. Aşınma Hacmi Formülü

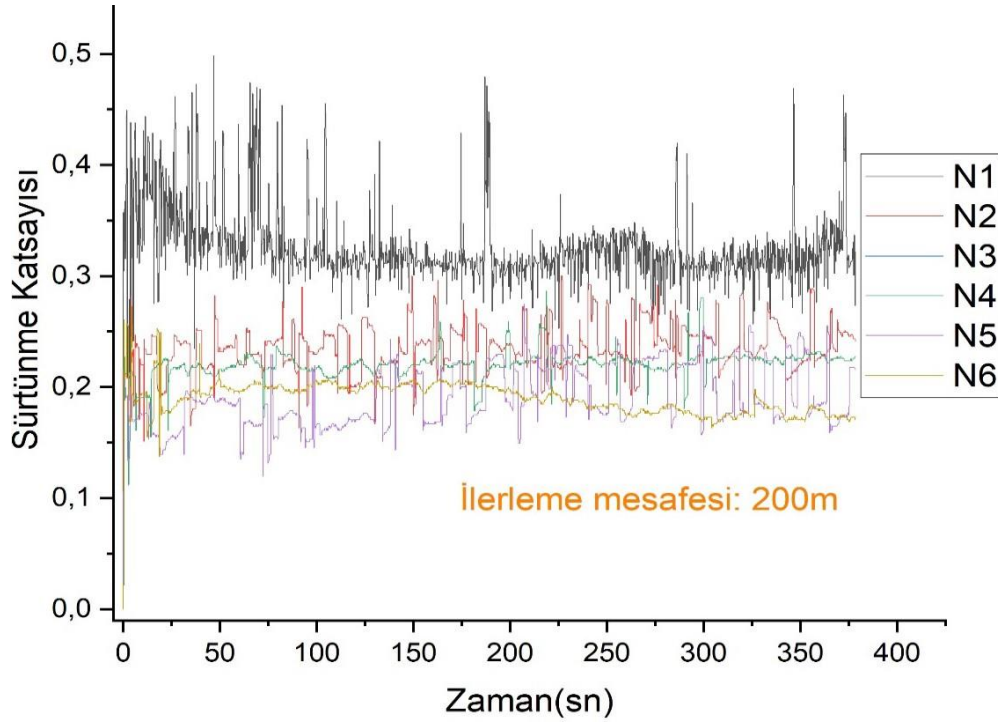
$$V, mm^3 = 2\pi R \left[r^2 \sin^{-1} \left(\frac{d}{2r} \right) - \left(\frac{d}{4} \right) \sqrt{4r^2 - d^2} \right]$$

Burada:

V: aşınma hacmi

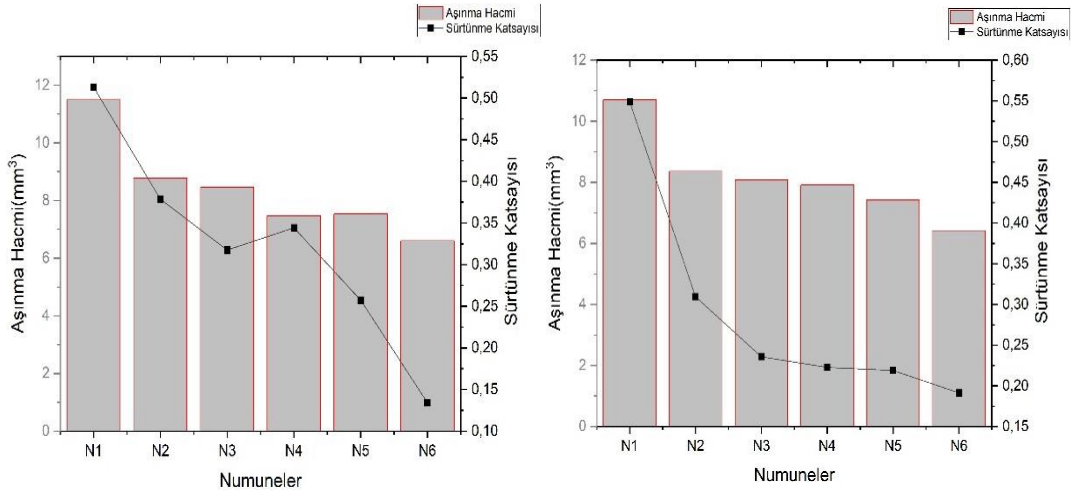
R: aşınma izi yarıçapı ve

d: aşınma iz genişliğidir.



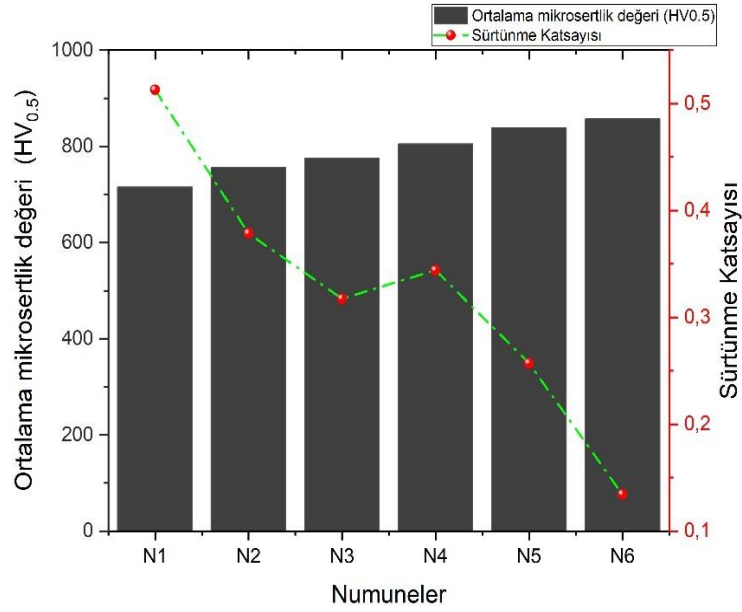
Şekil 5.18. Zamana bağlı olarak Sürtünme katsayı Grafiği

Şekil 5.19’da aşınma parametrelerine bağlı aşınma hacim miktarı incelendiğinde sürtünme katsayısının aşınma hacim miktarı ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni ise malzemenin sertliği plastik deformasyonu engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak tüm uygulama yükleri birlikte incelendiğinde takviye oranına bağlı olarak sürtünme katsayısı grafiğinin stabil olmadığı görülmektedir. Tüm normal yükler için hibrit kompozitlerin sergilediği aşınma oranı daha düşüktür. TiC ve grafitin hacim oranındaki artışla aşınma oranında gözlenen azalma, TiC ve grafit takviyelerin birleşik etkisinin sunduğu aşınma direncinden kaynaklanmaktadır. Hacimce %5 grafit hibrit kompozitler, tüm normal yük aralıkları için hacimce %10 grafit hibrit kompozitle karşılaştırıldığında daha yüksek aşınma oranı sergiledi. TiC ve grafit hacim fraksiyonundaki artışla aşınma oranında daha yüksek azalma gerçekleşir (Rajkumar ve ark., 2011). Bu durum Şekil 5.21- Şekil 5.26’da aşınmış numunelerin SEM morfolojilerine ait görüntüleri incelendiğinde, aşınma bölgesinde meydana gelen oluk, pullanma, kopma ve döküntü gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

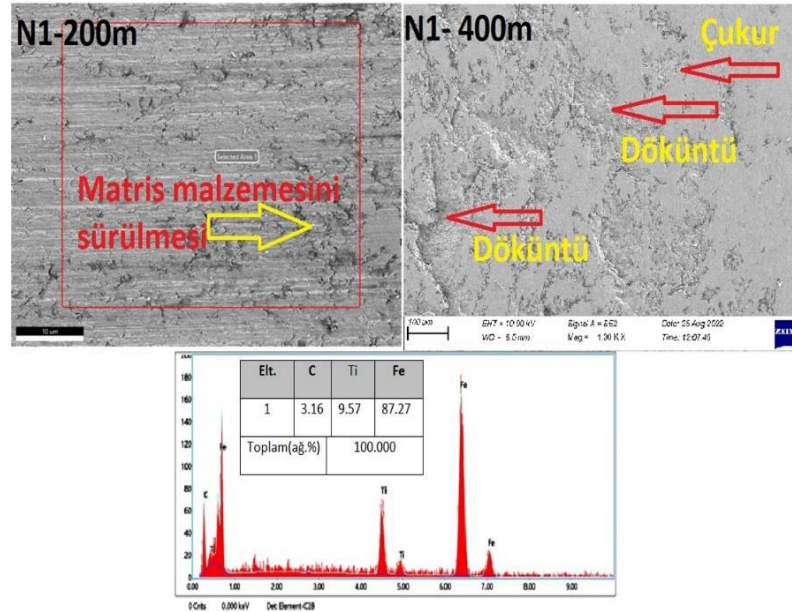


Şekil 5.19. Sürtünme katsayısına bağlı olarak meydana gelen Aşınma Hacminin Oran Grafiği
(200m-400 mesafede)

Şekil 5.20’de görüldüğü üzere ortalama mikrosertlik ve sürtünme katsayısı grafiğinde, artan mikrosertlik değerine bağlı olarak sürtünme katsayısı düşmüştür. Aşındırıcı parça ile kayma yüzeyi arasında oluşan tribo yüzey, sürtünme katsayısını düşürmektedir. Diğer bir değişle yük arttığında, pim ile karşı yüzey arasındaki nominal temas alanı artar, dolayısıyla temas sıcaklığındaki artış yüzeydeki yumuşamaya yol açar ve böylece temas yüzeyleri arasında daha fazla kayma hareketi meydana gelir ve böylece sürtünme katsayısını azaltır (Çelik ve ark., 2017). Aşınma direnci ve mikrosertlik arasında bir doğru orantı olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler ışığında değerlendirildiğinde mikrosertliğin artmasıyla birlikte aşınma direncinin arttığı Şekil 5.19’da verilmiş olan aşınma hacim kayıplardan tespit edilmiştir. Ancak aşınma direnci ile mikrosertlik arasında doğru orantı olsa da, sürtünme katsayısı ile ters orantıya sahiptir. Artan mikrosertliğe bağlı olarak sürtünme katsayısının düştüğü Şekil 5.20’de grafikten tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısı düşük aynı zamanda sertliği yüksek olan kaplamaların aşınma direnci de yüksek olmaktadır. Bu sonuçla aşınma testinin sürtünme katsayısı ve mikrosertlik değerlerinin aşınma direncinin belirlenmesinde önemli etkenler olduğu düşünülmektedir.

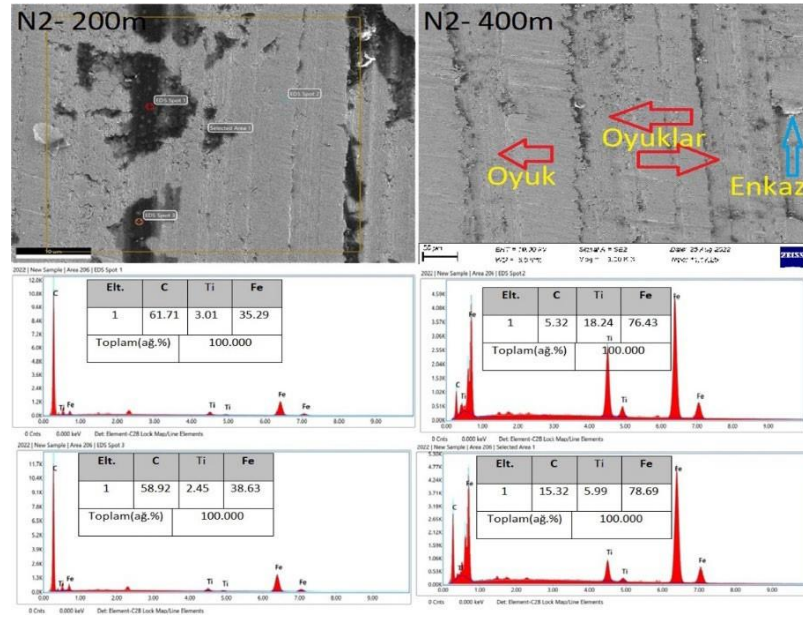


Şekil 5.20. Ortalama mikrosertliğe bağlı olarak sürtünme katsayısı grafiği (200m mesafe)



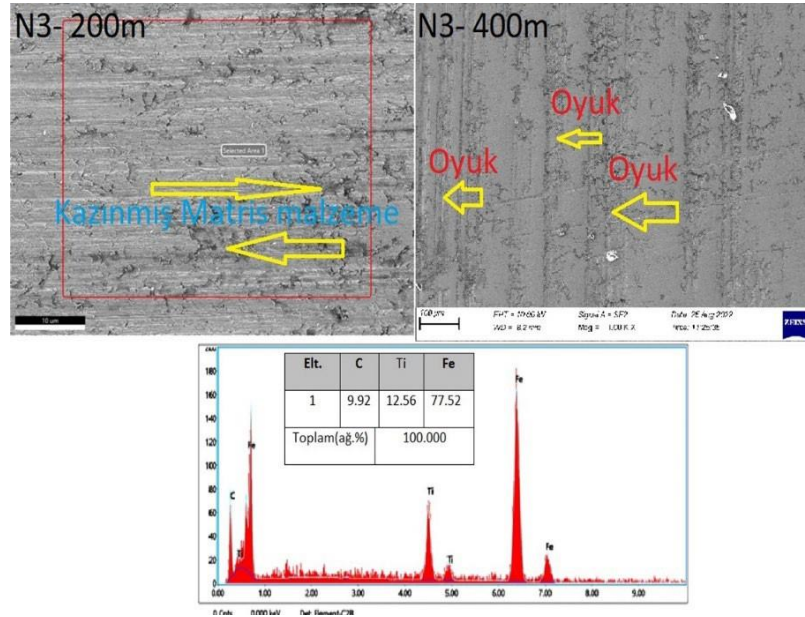
Şekil 5.21. N1 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzey morfolojisinin SEM - EDS Sonuçları

N1(TiC) numunesine ait yüzey aşınmasına ait morfoloji görülmektedir (Şekil 5.21). 200 m ilerleme mesafesinde matris malzemesinin süpürülmüş gibi bir görüntüye bürünmüştür. 400 m ilerleme mesafesinde ise döküntü ve çukurlar oluşmuştur. N1 numunesine ait EDS sonuçları sırasıyla %3.16 C, %9.57 Ti ve geri kalan demir şeklinde tespit edilmiştir.



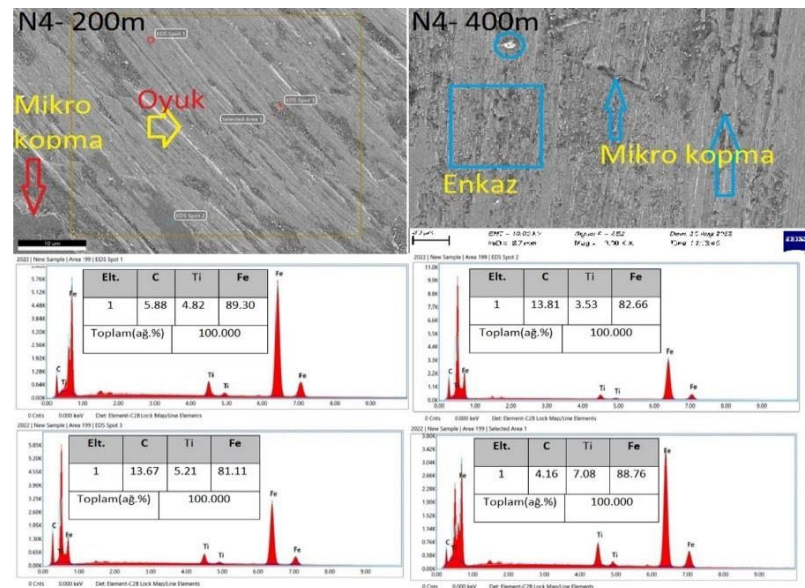
Şekil 5.22. N2 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzey morfolojisinin SEM - EDS Sonuçları

N2(TiC-C) numunesine ait yüzey morfolojisine Şekil 5.22’de yer verilmiştir. Bu numuneden meydana gelen aşınma mekanizması N1 göre daha az olmakla birlikte oyuk ve enkazların oluştuğu belirlenmiştir. Düşük oranda ilave edilen güçlendiricinin yüzey morfolojisine çok fazla etkisi olmamakla birlikte COF ve ağırlık kaybı (Şekil 5.18 ve Şekil 5.19) oranlarına etki etmiştir. N1 numunesine ait EDS sonuçları sırasıyla karşılaştırıldığında özellikle karbon ve Ti oranlarında artış olduğu gözlenmiştir. C oranının diğer numunelere kıyasla yüksek çıkmasının temel nedeni olarak alt tabakadan element transferi veya çözünmemiş C tozlarının varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu artış ile birlikte N1 numunesine göre daha dirençli olmasına katkı sunduğu düşünülmektedir.



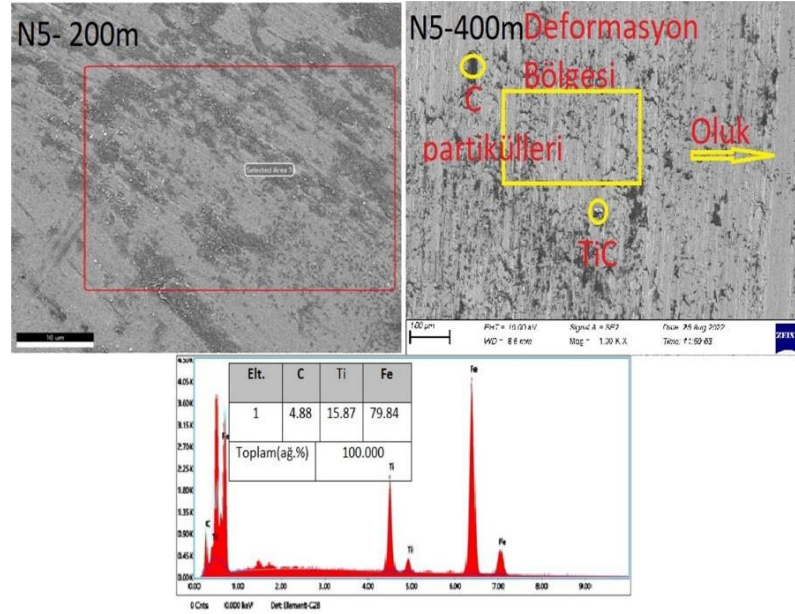
Şekil 5.23. N3 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzeymorfolojisinin SEM - EDS Sonuçları

N3 numunesi yüzey SEM resiminden görüldüğü üzere Şekil 5.23’de TiC oranının artması yüzey morfolojisinin N1 ve N2 numunesine göre daha düzgün bir yüzey oluşmasını sağlamıştır (Şekil 5.18). Ayrıca görüntülerde özellikle 400 m ilerleme mesafesinde olukların dar olduğu ve derin olmadığı açıkça görülmektedir. Kayma mesafesinin artması deformasyon bölgesinin daha büyük olmasına neden olacaktır. Ancak aşınma oranı, aşınma hacminin kayma mesafesine oranı olarak formüle edildiğinden, artan kayma mesafesi ile aşınma oranı azalmıştır (Demir ve ark., 2022). N3 numunesine ait EDS sonuçları sırasıyla %9.96 C, %12.56 Ti ve geri kalan demir şeklinde tespit edilmiştir.



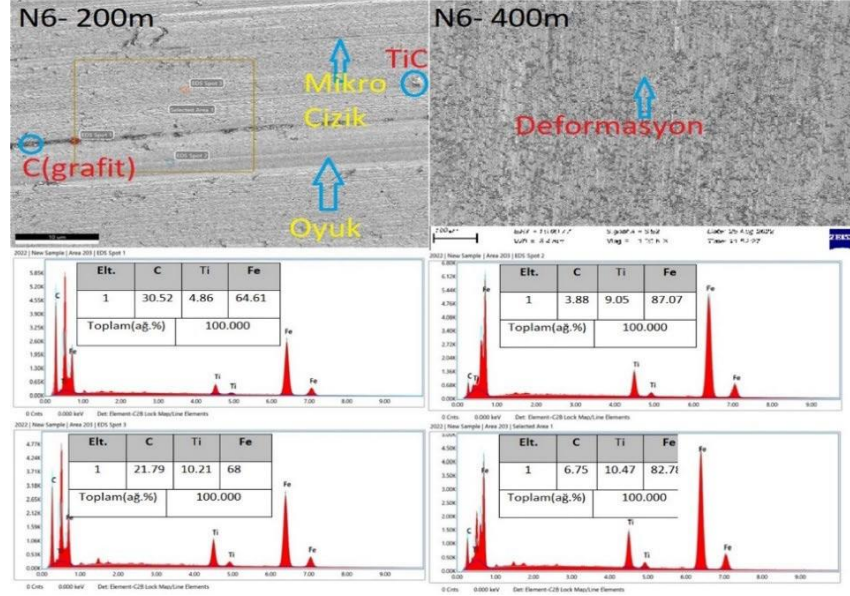
Şekil 5.24. N4 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzeymorfolojisinin SEM - EDS Sonucu

N4 numunesi yüzey SEM resiminden görüldüğü üzere Şekil 5.24’de TiC oranının artması yüzey morfolojisinin diğer göre daha düzgün bir yüzey oluşmasını sağlamıştır (Şekil 5.18). Ayrıca görüntülerde oyukların dar olduğu ve derin olmadığı, mikro kopmaların meydana geldiği açıkça görülmektedir. N3 numunesine ait EDS sonuçlarında C, Ti ve Fe elementlerinin varlığı sözkonusudur.



Şekil 5.25. N5 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzey morfolojisinin SEM - EDS Sonuçları

N5 numunesi yüzey SEM resiminden görüldüğü üzere Şekil 5.25’de TiC oranının artması yüzey morfolojisinin diğerlerine göre daha düzgün bir yüzey oluşmasını sağlamıştır (Şekil 5.18). Matristeki donatı oranı arttıkça iz genişliğinin daraldığı, aşınma bölgesindeki boşluk ve çatlakların azaldığı, matristen kopan tanelerin hacminin azaldığı gözlemlenmiştir. B₄C partiküllerinin aşındırıcı karşı yüzey ile teması sonucunda matris malzemesi ile karşı yüzey arasında bariyer görevi görerek aşınma direncini arttırdığı söylenebilir (Demir ve ark., 2022). N5 numunesine ait EDS sonuçları sırasıyla %4.88 C, %15.87 Ti ve geri kalan demir şeklinde tespit edilmiştir. TiC-C içeriğinin artmasıyla çiziklerin derinliğinin azalması matristeki daha büyük miktarlardaki sert fazlardan kaynaklandığı ve ayrıca düzenli dağılımlarından dolayı sert fazların çıkarılmasını engellediği böylece bileşenin aşınma direncini arttırdığı görülmektedir. Ti-grafit eklendikten sonra aşınma hacminin azalması, esas olarak kaplama aşınma direncini artıran TiC sert fazının oluşumundan kaynaklanmaktadır (He ve ark., 2020).



Şekil 5.26. N6 Aşınma Analizi sonrası Kaplama Yüzeymorfolojisinin SEM - EDS Sonuçları

N6 numunesinin yüzey SEM görüntüsünden görüldüğü gibi, artan TiC oranı diğer numunelerine kıyasla yüzey morfolojisinde daha pürüzsüz bir yüzeye neden olmuştur. Rajkumar ve ark., grafitin hacim oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalır. Sürtünme katsayısında gözlenen azalma, kayma sırasında pim yüzeyinden grafit parçacıklarının bulaşmasından kaynaklanmaktadır. %5 TiC ve %5 grafit kompozit için, 12 N'de sürtünme katsayısının 0.35 olduğunu tespit etmişlerdir (Rajkumar ve ark., 2011). Ayrıca olukların dar ve derin olmadığı, döküntülerin ve malzeme transferinin fazla olmadığı görsellerde net bir şekilde görülmektedir. Artan TiC içeriği ile çizik derinliği azalmıştır. Bunun, matriste daha büyük miktarlarda sert fazların varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar bağlı olarak artan C oranı ile mikrosertliğin ve aşınma direncinin arttığı, ağırlık kaybının ise azaldığı belirlenmiştir. Dış kuvvetlere maruz kaldığında, matris, güçlendirme aşaması için daha iyi bir destek çerçevesi sağlayabilir ve kaplamanın deformasyona karşı direncini iyileştirebilir. Aynı zamanda, takviye fazının içeriğinin artması, kaplamanın mikrosertliğini de iyileştirir (Zhao ve ark., 2020). Bu sonuçlar ışığında artan C oranının alt tabaka yüzeyinin sertliği ve aşınma direncinin gelişmesinde önemli rol oynadığı söylenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, TIG kaynak yöntemi ile AISI 1040 çeliğin yüzeyi TiC-C ile kaplanmıştır. Kaplanmış malzemelerin mikroyapısal, mekanik ve aşınma gibi testleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Ayrıca sektörel ve akademik çalışmalara ışık tutması için bazı öneriler paylaşılmıştır.

6.1. Sonuçlar

1. TIG kaynak yöntemiyle yapılan kaplama çalışmasında kaplama tabakasının düzgün ve metalurjik olarak iyi bir bağ olduğu tüm numunelerin Optik mikroyapı ve SEM resimlerinden gözlenmiştir.
2. Tüm kaplamalarda dendrit ve ötektik yoğun bir yapı sergilemiştir. Dendritler dal, çiçek ve hücrel şekillerdeki formlarda oluşmuştur.
3. Ti ve C elementlerinin özellikle dendritler üzerinde yoğun olduğu, bununla birlikte ötektik yapıda ise Ti ve C ile birlikte Fe elementinin yoğunluğunun arttığı EDS analiz sonuçlarından tespit edilmiştir. Fe elementinin ötektik bölgelerde yoğun olmasının temel nedeni olarak ergiyik havuzunda alt tabakada ayrıışan Fe elementinin kaplama tabakası içerisinde katılma esnasında hapsolmesinden kaynaklanmıştır.
4. Kaplama bölgesinde yapılan XRD analiz sonucunda tüm numunelerin yüzeyinde oluşan baskın fazın TiC fazı ile birlikte Fe_7C_3 , Fe_3C ve martenzit fazlarının olduğu, düşük pik değerlerinde $\alpha - Fe$ ve $\delta - Fe$ fazlarının da olduğu tespit edilmiştir.
5. Vickers sertlik analiz sonuçlarına göre C oranındaki artışa bağlı olarak kaplamaların mikrosertlik değerinde artış tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak kaplama tabakasında en düşük sertlik değerinin N1 (TiC) 1156 HV_{0.5} iken en yüksek sertlik değeri ise N6 (TiC-%5C) 1351 HV_{0.5} olarak ölçülmüştür.
6. Enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı ölçümleri değerlendirildiğinde enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığını arttığı görülmektedir. En düşük kaplama derinliği 580 μm ile ölçülen %3 C numunesi iken, en yüksek kaplama derinliği ise 1830 μm ile ölçülen %5 C içeriğine sahip numune olarak tespit edilmiştir. Kaplama kalınlıkları arasındaki farkın temel nedeni olarak düşük ilerleme hızına bağlı olarak meydana gelen yüksek enerji girdisi olduğu düşünülebilir. Kaplama tabakasının genişliği ve derinliği dikkate alındığında, derinlik açısından numuneyi en çok etkileyen besleme hızının olduğu tespit edilmiştir.

7. Aşınma test analiz sonuçlarında artan C oranı ile mikrosertliğin ve aşınma direncinin arttığı, ağırlık kaybının ise azaldığı elde edilen sonuçlardan belirlenmiştir. En düşük aşınma direnci N1 numunesi iken en yüksek aşınma direnci ise N6 numunesi olarak tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarında N1 numunesinde sürtünme katsayısı 0,6 iken N6 numunesinde ise 0,2 olarak elde edilmiştir. Aşınmış numunelerin SEM morfolojilerine ait görüntüleri incelendiğinde, aşınma bölgesinde meydana gelen oluk, pullanma, kopma ve döküntü gibi etkenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.2. Öneriler

- TiC-C kaplamalarının korozyon özellikleri araştırılabilir.
- TIG yöntemi ile farklı akım ve voltaj değerleri kullanılarak kaplama kalınlığı araştırılabilir.
- Farklı karbür ve borürler kullanılarak aşınma dirençleri karşılaştırılabilir.
- TiC-C tozları ile farklı yöntem ve farklı alt tabakalar kaplama özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- A. Hidouci, J.M. Pelletier, F. Ducoin, D. Dezert, R. Guerjouma., 2000, Microstructural and Mechanical Characteristics of Laser Coatings, *Surface and Coatings Technology* 123 17-23.
- A.Shahroozi, A. Afsari, B. Khakan, A.R, Khalifeh, 2018 Microstructure and mechanical properties investigation of stellite 6 and Stellite 6/TiC coating on ASTM A105 steel produced by TIG welding process, *Surface & Coatings Technology* 350 (2018) 648–658, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.07.044>.
- Akkurt M., 1986 ,”*Makine Elemanları ve Konstrüksiyonu Kürsüsü*”, Cilt 2, İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Ali Emamian, Stephen F. Corbin, Amir Khajepour, 2011, The influence of combined laser parameters on in-situ formed TiC morphology during laser cladding, *Surface & Coatings Technology* 206 124–131, doi:10.1016/j.surfcoat.2011.06.062.
- Ali Emamian, Stephen F. Corbin, Amir Khajepour, In-Situ Formation of TiC Using Laser Cladding, <https://www.researchgate.net/publication/221913578>.
- Amirhosein Zabihi, Reza Soltani, 2018, Tribological properties of B4C reinforced aluminum composite coating produced by TIG re-melting of flame sprayed Al-Mg-B4C powder, *Surface & Coatings Technology* 349 707–718, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.06.040>.
- Anael Preman Krelling, Matheus Machado de Souza, Cesar Edil da Costa, Julio César Giubilei Milan, 2018, HVOF-sprayed Coating Over AISI 4140 Steel for Hard Chromium Replacement, *Materials Research*. 21(4): e20180138, <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2018-0138>.
- Antonius M.B., 2003, van Mol., Chemical vapour deposition of tin oxide thin films. PhD. Thesis, Eindhoven University, Germany.
- Apay S., 2013, “Farklı Yöntemler İle Stellite Kaplanan Yapı Çeliğinin Mikroyapı Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi” *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- ASM Metals Handbook, 1992, Properties and Selection: Stainless Steels, Tool Materials and Species-Purpose *Metals Titanium and Titanium Alloys*, 9. Ed., 3, p.352.
- Arabacı, U., 2009, Supap Yüzeylerinin TIG Kaynak Yöntemi İle Kaplanması ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 48-63.

- Ayvacı B., 2019, “Toz Metalürjisi İle Üretilen Çeliklerde Presleme Tekniğinin Mikroyapı Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Behzad Heidarshenas, Ghulam Hussain, Mohammed. Bsher. A. Asmael, 2017, Development of a TiC/Cr23C6 Composite Coating on a 304 Stainless Steel Substrate through a Tungsten Inert Gas Process, *MDPI-Coating*, 7, 80; doi:10.3390/coatings7060080.
- Bhushan, B., 2000, *Modern Tribology Handbook Volume One Principles of Tribology*, CRC Press, s.1690.
- Bhushan, B., 2013, *Principles and Applications of Tribology A John Wiley & Sons, Ltd.*, s. 980.
- Bin CAI, Ye-fa TAN, Long HE, Hua TAN, Li GAO, 2013, Tribological properties of TiC particles reinforced Ni-based alloy composite coatings, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 231681_1688, [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(13\)62648-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62648-5).
- Bolelli G., Cannillo V., Lusvarghi L., Manfredini T. 2006, Glass-alumina Composite Coatings by Plasma Spraying. Part I: Microstructural and mechanical characterization, *Surface & Coatings Technology*, 201: 458–473.
- Buytoz S., 2020, Microstructural changes of Fe-Cr-C/M (Nb,Ti) C composite coating produced by TIG method, *GU J Sci, Part C*, 8(1): 51-63, DOI: 10.29109/gujsc.637815.
- Buytoz S., 2006, Microstructural properties of M7C3 eutectic carbides in a Fe–Cr–C alloy, *Materials Letters* 60 605–608, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.09.046>.
- Buytoz S., Ulutan M., Yıldırım M., 2005, Tıg Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen AISI 4340 Çeliğinin Mikroyapısının İncelenmesi, *Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi* C.XVIII, S.1.
- Cai Bin, Tan Ye-fa, Tu Yi-Qiang, Wang Xiao-long, Tan Hua, 2011, Tribological properties of Ni-base alloy composite coating modified by both graphite and TiC particles, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 21, 2426_2432, [https://doi.org/10.1016/S1003-6326\(11\)61031-5](https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61031-5).
- Callister, 2016, *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*.
- Chaliampalias D., Vourlias G., Pavlidou E., Skolianos S., Chrissafis K., Stergioudis G., 2009, Comparative examination of the microstructure and high temperature oxidation performance of NiCrBSi flame sprayed and pack cementation coatings. *Appl Surf Sci*; 255(6): 3605-3612.
- Clare J. H., Crawmer D. E., 1978, “Thermal spray coatings” in *ASM Handbook V:5, Surface Cleaning, Finishing and Coating*, ninth edition, William G. Wood, (coordinator.); William H. Cubberly, (Direfctor of Publications) *American Society for Metals* , 532-547.

- Cook, F G., Skinner, M. and Haddad, R., 1984, *Fatigue properties of carbon and porous Ti-6Al-4V alloy*, J Biomed Mater Res, 18, pp. 497–512.,
- D. Tijo, Manoj Masanta, Alok Kumar Das, 2018, In-situ TiC-TiB₂ coating on Ti-6Al-4V alloy by tungsten inert gas (TIG) cladding method: Part-I. *Microstructure evolution, Surface & Coatings Technology* 344, 541–552. (2018 n-situ TiC-TiB₂ coating on Ti-6Al-4V alloy by tungsten inert gas (TIG) cladding method Part-I. Microstructure evolution).
- D Tijo, Dipak Tanaji Waghmare, Deekshith Kaladharan, Manoj Masanta, 2018, Effect of TiC content on Sliding Wear Behavior of TiC-Ti Metal Matrix Composite, *Materials Today: Proceedings* 5, 19848–19853.
- D. Yung, A. Zikin, I. Hussainova, H. Danninger, E. Badisch, A. Gavrilovic, 2017, Tribological performances of ZrC-Ni and TiC-Ni cermet reinforced PTA hardfacings at elevated temperatures, *Surface & Coatings Technology* 309 497–505, <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.11.099>.
- Damian Janicki, 2018, Microstructure and SlidingWear Behaviour of In-Situ TiC-Reinforced Composite Surface Layers Fabricated on Ductile Cast Iron by Laser Alloying, *Materials* 11, 75; doi:10.3390/ma11010075,
- Deniz, G., 2004, "Termo-reaktif difüzyon (TRD) tekniği ile AISI 1010 ve AISI M2 çeliklerinin Titanyum Nitrit (TiN) kaplanması", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, S.1-60, Sakarya.
- Eker A., 2008, 'Çeliğin Isıl İşlemi' *Celigin_isil_islemleri.pdf. Ders Notları* , İstanbul.
- Erdoğan M., 2001, Mühendislik Alaşımların Yapı ve Özellikleri, 2. Baskıdan Çeviri, Cilt 2, Ankara.
- Erişir, E., 2012, 'Çeliklerde Malzeme Bilimi ve Son Gelişmeler.' *Ders Notları*, Kocaeli.
- Evcin A., 2006, *Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Kaplama Teknikleri Ders Notları*.
- Fan X.S., Yang Z.G., Zhang C., Zhang Y.D., 2012, Thermo-reactive deposition processed vanadium carbide coating: growth kinetics model and diffusion mechanism, *Surface&Coatings Technology*, 208, 80—86.
- Farhad Saba, Elmira Kabiri, Jalil Vahdati Khaki, Mohsen Haddad Sabzevar, 2016, Fabrication of nanocrystalline TiC coating on AISI D2 steel substrate via high-energy mechanical alloying of Ti and C, *Powder Technology* 288 76–86, <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2015.10.030>.
- Froes, F.H. and Eylon, D., 1985, *Titanium, Science and Technology*, 1, Eds. G. Lutjering, U. Zwicker and W. Bunk, West Germany, p. 267.

- Froes F., 2015, "Titanyum physical metallurgy processing and applications," *Materials Park*, S.1-381.
- G. Rasool, M.M. Stack, 2014, Wear maps for TiC composite based coatings deposited on 303 stainless steel, *Tribology International* 74(2014)93–102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2014.02.002>.
- Geçkinli, E., 1992, *İleri Teknoloji Malzemeleri*, İ.T.Ü Matbaası, İstanbul.
- Gediktaş, M., 1970, "Sürtünme ve Aşınım"a , *İ.T.Ü. Dergisi*, 28, 27-30.
- Gemma, K., Ohtsuka, T., Fujiwara, T., Kawakami, M., 2002, "Normal and Anormal Microstructure of Plasma Nitrided Fe-Cr Alloys", *Journal of Materials Science*, 37, pp. 835-844.
- Gökdemir, Y., 2005, Saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımlarının yüksek sıcaklıkta oksidasyon davranışı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gözütok E., 2007, "Paslanmaz Çeliklerin TIG Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz Karışımının Birleştirmelerin Mekanik ve Mikro yapı Özelliklerine Etkisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Gündüz O., Oktar F., Salman S., 2005, 'Effect Of Pulse Bias Voltage On ZrN Coatings By Cathodic Vacuum Arc', *Journal Of Engineering And Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*.
- Günyüz M., 2007, Titanyum alaşımlarının mikroark oksidasyonu, *Y.Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gür A.K., Cengiz M.H., Yıldız T., Taşkaya S., 2018, Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Hardox 400 Çelik Malzemenin Yüzeyinin Farklı Oranlardaki FeCrC Tozuyla Alaşımlandırılması , *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(1), 233-242.
- Gürgeç T, Özel C., 2016, PTA Yöntemi kullanılarak FeCrC, FeB ve Alaşımlarıyla Kaplanan AISI 1020 Çeliğinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 28 (2), 221-232.
- Güventürk F., 1990, *Mak. Yük. Müh., Çelik El Kitabı*.
- Hao Zhang, Guofu Lian, Qiang Cao, Yingjun Pan, Yang Zhang, 2022, Microstructure and mechanical properties investigation of Ni35A–TiC composite coating deposited on AISI 1045 steel by laser cladding, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 118:1269–1282, <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08011-4>.
- Hill, S., 2001, *Titanium Revolution*. *New Scientist Magazine*, 170, no. 2297.
- Holmberg, K., Ronkainen, H., Matthewst, A., 2000, "Tribology of Thin Coating", *Ceramics International*, 26, pp. 787-795.

- Hossein Aghajani, Ebrahim Hadavand, Naeimeh-Sadat Peighambardoust, Shahin Khameneh-asl, 2020, Electro spark deposition of WC–TiC–Co–Ni cermet coatings on St52 steel, *Surfaces and Interfaces* 18, 100392, <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.100392>.
- Hou Q.Y., Gao J.S., Zhou F., 2005, Microstructure And Wear Characteristics Of Cobalt- Based Alloy Deposited By Plasma Transferred Arc Weld Surfacing, *Surface and Coat. Tech.* 194: 238– 243.
- Islak S., Eski Ö., Buytoz S., 2011, Microstructure and wear properties of FeW-Si based composite coating produced with Tungsten inert gas (TIG) surfacing method, *OAM-RC*, Vol. 5, No. 6, June 2011, p. 665 – 672.
- İnternet : “HVOF (High Velocity Oxygen Fuel)“ *Sakarya Üniversitesi* , 19.06.2021, <https://teslab.sakarya.edu.tr/tr/icerik/10716/42049/hvof>.
- İnternet :İnsapedia, 19.06.2021, <https://insapedia.com/lazer-kaynagi-ozellikleri-avantaj-ve-dezavantajlari>.
- İnternet: Sönmezoğlu ve ark., 2020, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(5):389-401 <http://makinatek.com.tr/uncategorized/117-fiziksel-buhar-biriktirme>.
- Jr Tucker, R.C., 1996, “Introduction to thermal spray coatings”, in Handbook of thin film process technology, David A. Glocker, S. Ismat Shah (ed.) Institute of Physics Publishing, *Bristol and Philadelphia*, A4.O:1-A4.5:8.
- Jr Tucker, R.C., 1997, “The use of thermal spray coatings for protection against wear and corrosion” in Protective coatings and thin films, Yves Pauleau, Péter B. Barna(ed.) Dordrecht: *Kluwer Academic Publishers*, 387-399.
- I.R. Pashby, S. Barnes, B.G. Bryden, 2003, “Surface hardening of steel using a high power diode laser”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 139, pp. 585–588.
- J.S. Selvan, K. Subramanian, A.K. Nath., 1999, Effect of Laser Surface Hardening on EN18 (AISI 5135) Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 91, 29-36.
- Jining He, Gaofeng Zheng, Fangfang Guo, Guanya Fu, Chao Li, Hongjian Zhao, Yanfang Qin, Yanfei Jiang, Fuxing Yin, 2020, Microstructure and tribological properties of in-situ synthesized TiC reinforced reactive plasma sprayed Co-based coatings, *Materials Chemistry and Physics* 248 122913, <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.122913>.
- K. Nagarathnam, K.Komvopoulos., 1995, *Metall. Mater. Trans A*26 2131-2139.

- K. Rajkumar, S. Aravindan, 2011, Tribological performance of microwave sintered copper–TiC– graphite hybrid composites, *Tribology International* 44 ,347–358, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2010.11.008>.
- K.V. Sreenivas Rao, Girisha K G, Jamuna K, Tejaswini G C, 2018, Erosion Behaviour of HVOF Sprayed SiC-WC-Cr₃C₂ Multilayer Coating on 304 Stainless Steel, *Materials Today: Proceedings* 5, 24685–24690, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.266>
- Kahraman N., 2001, Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 82s, Ankara.
- Karabayrak B., “Düşük Alaşımlı Çeliklerin Yorulma Davranışlarına çelik temizliğinin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*, Eskişehir 201.
- Kesti E., 2009, “Ç - 4140 Çeliğinin, Mikro Yapı Ve Mekanik Özelliklerine Su Verme Ortamının Etkilerinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Khedkar, J., Khanna, A.S., Gupt, K.M., 1997, "Tribological Behaviour of Plasma and Laser Coated Steels", *Wear*, 205, pp. 220-227.
- Kılıç M., 2021, Microstructural Characterization of Ni- Based B₄C Reinforced Composite Coating Produced by Tungsten Inert Gas Method, *Arch. Metall. Mater.*, 66 , 3, 917-924, DOI: 10.24425/amm.2021.136398.
- Kılıç M., Imak A, Kirik I., 2020, Surface Modification of AISI 304 Stainless Steel with NiBSi-SiC Composite by TIG Method, *JMEPEG* 30:1411–1419.
- Kılıçay K., 2017, Mikroalaşımlı 38MnVS6 Çeliğine Uygulanan Farklı Yüzey ve Isıl İşlemlerin Mekanik Özelliklere Etkilerinin Araştırılması *Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi*, 156 s.
- Kılınç B., 2018, “Fe-M-B Esaslı Sert Yüzey Alaşımların Çelik Yüzeyinde Tıg Kaynak Yöntemiyle Oluşturulması Ve Özelliklerinin İncelenmesi” *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Kınikoğlu, N.G., 2001, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği. *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, Mart Matbaacılık*, 65, 855s. İstanbul.
- Kim H-J., Yoon B-H., Lee C-H., 2002., Wear Performance of The Fe-Based Alloy Coatings Produced By Plasma Transferred Arc Weld-Surfacing Process, *Wear*, 249: 846–852.
- Kilic M., 2020, *TiC coatings on an alloyed steel produced by thermal diffusion*, *Materials Testing* 62,9, pages 909-912.

- Kilic M., Imak A., Kirik I., 2021, Surface Modification of AISI 304 Stainless Steel with NiBSi- SiC Composite by TIG Method, *Journal of Materials Engineering and Performance* Volume 30(2) February 2021—1413.
- Korkut M.H., Yılmaz O. , and Buytoz S., 2002, *Surface and Coating Technology*, 157 5- 13.
- Köksal Ü., 2021,“ Toz Metalurjisi İle Üretilen W-Nb-V İlave Edilen Ni-Mo Çeliğine Sinterleme Süresinin Mekanik Özelliklere Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Kurt B., Küçük Y., Gök M.S., 2014, Microabrasion Wear Behavior of VC and CrC Coatings Deposited by Thermoreactive Diffusion Technique, *Tribology Transactions*, 57:2, 345-352, <https://doi.org/10.1080/10402004.2014.880538>.
- Kushner B. A., Novinski E. R., 1990, “Thermal spray coatings” in ASM Handbook V:18 Friction,lubrication and wear technology, tenth edition Scot D Henry (ed.), ASM International The Materials Information Society, 829-833.
- Kushner B. A., Novinski E. R., 1990, “Thermal spray coatings” in ASM Handbook V:18 Friction,lubrication and wear technology, tenth edition Scot D Henry (ed.), ASM International The Materials Information Society, 829-833.
- Liang-Yu Chen, Tianxiang Xu, Haiyang Wang, Peng Sang, Sheng Lu , Ze-Xin Wang, Shujin Chen, Lai-Chang Zhang, 2019, Phase interaction induced texture in a plasma sprayed-remelted NiCrBSi coating during solidification: An electron backscatter diffraction study, *Surface & Coatings Technology* 358 (2019) 467–480, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.11.019>.
- Liu Y-F., Xia Z-Y, Han J-M, Zhang G-L, Yang S-Z., 2006, Microstructure and wear behavior of (Cr,Fe)7C3 Reinforced Composite Coating Produced by Plasma Transferred Arc Weld-Surfacing Process, *Surface and Coat. Tech.* 201: 863–867.
- Ludema, C.K., 1996, “ *Friction, Wear, Lubrication, Atextbook in Tribology*”, 107- 108.
- Lütjering, G. and Williams, C., 2003, *Titanium*, Springer-Verlag, Heidelberg.
- M.C. Oh, H. YEOM, Y. Jeon, B. AHN., 2015, Microstructural characterization of laser heat treated AISI 4140 steel with improved fatigue behavior, *Arch. Metall. Mater.*, Volume 60 2015 Issue 2. DOI: 10.1515/amm-2015-0125.
- Mattox D. M., 1989, Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing: Film Formation, Adhesion, Surface Preparation and Contamination Control.. Wetwood, N.J.:Noyes Publications.
- Meng Xiao, Yuanwei Zhang, Yaosha Wu, Zhaoguo Qiu, Cheng Zhou, Shiye Zhuo, Min Liu, Dechang Zeng, 2021, Preparation, mechanical properties and enhanced wear resistance of TiC-Fe composite cermet coating, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 101 105672, <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2021.105672>.

- Mithun C.M., R. Sellamuthu, R.Saravanan, 2018, Effect of surface modification on microstructure, hardness and wear rate of steels with 0.2%, 0.4% and 1.1 Wt%C by the addition of Titanium using Gas Tungsten Arc, *Materials Today: Proceedings* 5 7586–7594.
- Oliveira C.K.N., Benassi C.L., Casteletti L.C., 2006, Evaluation of hard coatings obtained on AISI D2 steel by thermo-reactive deposition treatment. *Surf Coat Technol* 201: 1880-1885.
- Onaran, K., 2006, *Malzeme Bilimi. Bilim Teknik Yayınevi*, Ulus Matbaası, 383s. İstanbul.
- Ongun A., Uzun İ., Turgut O.K., 2017 , Investigation of .mechanical. properties AISI. 1040 steel welding with electric arc and MIG, applied various heat treatments, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 23(1), 1-5, doi: 10.5505/pajes.2016.46034
- Özel S., 2013, Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 88-97.
- Özel S., Somunkıran İ., Kurt B., 2005, Düşük Karbonlu Çelik Yüzeyine FeCr+Mo Tozunun PTA Yöntemi İle Alaşımlandırılması, *11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu*, 329-332, *Pamukkale Üniversitesi*, Denizli.
- Özel S., Kurt B., Somunkıran İ., 2007, Plazma Transfer Ark Yöntemiyle FeCr/FeCr+C Tozunun Düşük Karbonlu Çelik Yüzeyine Alaşımlanması, *Journal of Technical-Online*, Volume 6, Number:1, 21-30.
- P.H. Lailatula, M.A. Maleque, 2017, Surface Modification of Duplex Stainless Steel with SiC Preplacement Using TIG Torch Cladding, *Procedia Engineering* 184, 737 – 742, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.151>.
- Pierson, H.O., 1996, Handbook of Refractory Carbides and Nitrides Propertie Characteristics, Processing and Applications, *Noyes Publications*, USA.
- Praveen A.S., Sarangan J., Suresh S., Subramanian J.S., 2015, Erosion wear behaviour of plasma sprayed NiCrSiB/Al₂O₃ composite coating , *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials* 52, 209–218.
- Rachida Rachidi, Bachir El Kihel, Fabienne Delaunois, 2019, Microstructure and mechanical characterization of NiCrBSi alloy and NiCrBSi-WC composite coatings produced by flame spraying, *Materials Science & Engineering B* 241 13–21, <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2019.02.002>
- Reza Mahmoodian, M.A. Hassan, M. Hamdi, R. Yahya, R.G. Rahbari, 2014, In situ TiC–Fe–Al₂O₃–TiAl/Ti₃Al composite coating processing using centrifugal assisted combustion synthesis, *Composites: Part B* 59, 279–284, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.12.016>.

- Rockett A., 2008, Chemical Vapor Deposition In: *The Materials Science of Semiconductors* Springer, Boston, MA.
- S.A. Adeleke, M.A. Maleque, 2015, TIG Melted Surface Modified Titanium Alloy for CylinderLiner, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, Vol. 4, Issue 3, pp. 130 – 138, 2015, ISSN 2146-9067.
- S. Buytoz, Yildirim M.M., Eren H., 2005, Microstructural and microhardness characteristics of gas tungsten are synthesized Fe-Cr-C coating on AISI 4340, *Materials Letters*, 59, 6, 607-614.
- S. Buytoz, 2005, Microstructural properties of M7C3 eutectic carbides in a Fe-Cr-C alloy, *Materials Letters* in press.
- Sönmezoğlu ve ark., 2020, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(5):389-401 <http://makinatek.com.tr/uncategorized/117-fiziksel-buhar-birikirme>. [Erişim tarihi: 03 Mayıs 2020].
- Strzeciwlk D., Wokulski Z., Tkacz P., 2003, Microstructure of TiC Crystals Obtained from High Temperature Nickel Solution. *Journal of Alloys and Compounds*, 350, pp. 256-263.
- T.A. Krylova, Yu.A. Chumakov, 2020, Fabrication of Cr-Ti-C composite coating by non-vacuum electron beam Cladding, *Materials Letters* 274 128022, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.128022>.
- Tan K.S., Wood R.J.K., K.R Stokes K.R., 2003, *The Slurry Erosion Behaviour of High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Sprayed Aluminium Bronze Coatings*, *Wear*, 255 (1–6):95–205.
- Taşlayan M. F., 2020, “Toz Metalurjisi İle Üretilen Mangan Çeliğine Tic, Tin Ve Ticn İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Tosun, G., 2011, TIG Yöntemi Kullanılarak AISI 1010 Çeliğinin Yüzeyinde Oluşturulan Ni/WC Kaplamanın Metalurjik Uyum Karakterizasyonunun İncelenmesi, *Mühendis ve Makine*, 52, 618,71-77.
- Turhan H., Çolak N., 2018, TIG Yöntemi ile Ostenitik Paslanmaz Çelik Yüzeyine Kaplanan Stellite 6+FeMo Tabakasının Mikroyapı ve Sertlik Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi Cilt(Sayı)*, 22-31.
- Ulutan M., 2007, “AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması”, *Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Ulutan M., Yıldırım M.M., Buytoz S., 2009, TIG Yöntemiyle Yüzeyi Sertleştirilen AISI 4140 Çeliğinin Mikroyapı İncelemesi, *Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University*, Vol: XXII, No:1.

- Uslu İ. 2013, *Yüzey işlemleri Ders Notları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüzey İşlemleri dersi.*
- Üstel, F., 2007, Termal Sprey Kaplama Teknolojileri ve Türkiye'deki Potansiyeli, Sunum, *World of Industry Fuarı* 2007.
- Vidal O, Rostom F., François C, Giraud G., 2017, Global Trends in Metal Consumption and Supply: The Raw Material–Energy Nexus, *ELEMENTS*, VOL.13, PP. 319–324. DOI: 10.2138/gselements.13, 5, 319.
- Weimer, A.W., 1997, Carbide, Nitride and Boride *Materials Synthesis and Processing*, p.333, Chapman and Hall, London.
- Weng F., Chen C., Yu H., 2014, Research status of laser cladding on titanium and its alloys: A review, *Materials and Design* 58, 412–425.
- X.H. Wang, S.L. Song, S.Y. Qu, Z.D. Zou, 2007, Characterization of in situ synthesized TiC particle reinforced Fe-based composite coatings produced by multi-pass overlapping GTAW melting process, *Surface & Coatings Technology* 201 5899–5905, doi:10.1016/j.surfcoat.2006.10.042.
- Yersel, G., 1978, *Grafit Yataklarının Jeolojisi Madenciliği ve Dünya Üretimi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 5, Sayfa 18, Ankara.
- Yıldırım M. ,2018, 2011 *AISI 304 austenitik paslanmaz çelik yüzeyinin feti+stellite 6 alaşımı kullanılarak yüzey modifikasyonunun incelenmesi* 1.2714.
- Yıldız T., Gür A.K., 2011,“PTA Yöntemiyle Üretilen AISI 1030 Çelik Yüzeyine FeMo Kaplamada N₂ Gazının Kaplama Mikroyapısına Etkisi" *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, sayfa: 92-98, Elazığ, Turkey.
- Yılmaz, O., Buytoz, S., Özel C., 2002, *2nd International Conference on Tribology*, 104-111, Kayseri/Turkey, 12-14 June.
- Yılmaz O., Buytoz, S., Özel, C., 2002, *2nd International Conference on Tribology*, 104-111, Kayseri/Turkey, 12-14 June.
- Yu-duo Ma, Xing-yu Wang, Xiao-long Wang, Yong Yang, Yu-hang Cui, 2020, Wen-wei Sun, In-situ TiC-Ti₅Si₃-SiC composite coatings prepared by plasma spraying, *Surface & Coatings Technology* 404, 126484, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126484>.
- Yue, R.P. and Weatherly, G., 1984, *The fatigue strength of porous coated Ti-6Al4V implant alloy*, *J Biomed Mater Res*, 18, pp. 1043–1058.