



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AISI 4140 ÇELİK YÜZEYİNİN GRAFİT TAKVİYELİ
VANADYUM KARBÜR TOZLARI İLE
KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
İbrahim Halil KÖSEN

Danışman
Doç. Dr. Musa KILIÇ

Mayıs-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır



T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AISI 4140 ÇELİK YÜZEYİNİN GRAFİT TAKVİYELİ
VANADYUM KARBÜR TOZLARI İLE
KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
İbrahim Halil KÖSEN

Danışman
Doç. Dr. Musa KILIÇ

Mayıs-2023
BATMAN
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İbrahim Halil KÖSEN tarafından hazırlanan “**AISI 4140 Çelik Yüzeyinin Grafit Takviyeli Vanadyum Karbür Tozları ile Kaplanabilirliğinin İncelenmesi** ” adlı tez çalışması 26/05/2023 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

Doç.Dr. İhsan KIRIK

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdür V.

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
İbrahim Halil KÖSEN
Tarih: 26/05/2023

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AISI 4140 ÇELİK YÜZEYİNİN GRAFİT TAKVİYELİ VANADYUM KARBÜR TOZLARI İLE KAPLANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

İbrahim Halil KÖSEN

BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MALZEME
VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Musa KILIÇ

2023, 106 Sayfa

Jüri

Danışman Doç.Dr. Musa KILIÇ

Üye. Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK

Üye. Doç.Dr. İhsan KIRIK

Bu çalışmada, alt tabaka olarak tercih edilen AISI 4140 çelik yüzeyine GTA (Gaz Tungsten Ark) kaynak yöntemi kullanılarak VC (Vanadyum Karbür) ve VC tozuna farklı oranlarda (ağ. %1,2,3,4,5 C) ilave edilen grafit tozu (VC-C) ile kaplama işlemi yapılarak yüzeyi özellikleri geliştirilmiştir. Kaplama işlemi sonrası numunelerin mikroyapıları optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Kaplama bölgesindeki element analizleri enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) ile analiz edilmiştir. Kaplama bölgesinde oluşan faz yapısının tespiti için X-Işını kırınımı (XRD) analizinden faydalanılmıştır. Numunelerin mikrosertlik değerlerinin tespiti için kaplama yüzeyinden alt tabakaya doğru ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaplanmış numunelere aşınma testleri yapılarak kaplanmış yüzeylerin sürtünme katsayıları ve aşınma oranları tespit edilmiştir. Kaplama bölgesinden elde edilmiş olan mikroyapı görüntülerinde yoğun ötektik ve dendritik yapıların olduğu görülmüştür. Dendritik yapılar hücresel, yuvarlak ve çita benzeri formlarda oluşmuştur. EDS sonuçlarında özellikle koyu gri çakıl benzeri yapıların V ve C yoğun elementler iken ötektik bölgede ise V, C ve Fe yoğun bir yapıdadır. XRD analiz sonuçlarında ise V ve C elementince zengin karbür fazlar birincil dendritik bölge ile dendritler arası bölgelerde VC, α -Fe, FeV, Fe₇C₃, Fe₃C fazları olduğu belirlendi. Mikro sertlik ölçüm sonuçlarına göre ilave edilen C oranına bağlı olarak kaplama bölgesindeki mikrosertlik değerlerinde artış tespit edilmiştir.

Elde edilen ölçüm sonuçlarında en düşük sertlik değeri alt tabaka bölgesinde N2 (%1 C takviyeli) 318 HV_{0.5} numunesinde iken en yüksek sertlik değeri ise N6 (%5 C- takviyeli) 1295 HV_{0.5} olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlar ile kaplama tabakasının sertliği alt tabaka sertliğinden yaklaşık 3-4 kat arttığı tespit edilmiştir. Tüm veriler ışığında VC-C kaplamada artan C oranının kaplama sertliğinin artmasına önemli katkı sağladığı söylenebilir. Enerji girdisine bağlı kaplama kalınlık sonuçlarında 720 J/mm enerji girdisine sahip N3 numunesinde 932 μ m kaplama kalınlığı elde edilirken, 1296 J/mm enerji girdisine sahip N6 numunesinde ise 2000 μ m kaplama kalınlığı elde edilmiştir. Kaplama kalınlık sonuçlarına bağlı olarak enerji girdisinin kaplama kalınlığında önemli etkiye sahip olduğu düşünülmektedir. Aşınma sonrası 150 m en düşük sürtünme katsayısı 0,2 ile N6 numunesi olurken en yüksek 0,6 ile N1 numunesinde belirlenmiştir. 300 m ilerleme de ise sürütünme katsayıları N1 numunesinde 0,5 iken N6 numunesinde ise 0,15 olarak tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar ışığında aşınma hacminin C oranına bağı olarak azaldığı belirlenmiştir. Aşınmış yüzeylerden alınmış SEM sonuçlarında ise aşınma yüzeylerinde mikro çizik, döküntü ve oyuklanmaların olduğu gözlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında C ilavesi ile kaplamaların mikrosertliklerin arttığı bunun paralelinde aşınma direncide artmıştır. Kaplama yüzeyleri metalurjik olarak düzgün bir yapı sergilemiş herhangi bir gözenek oluşumu gözlenmemiştir.

Anahtar Kelimeler: EDS, Grafit, GTA, Mikroyapı, SEM, VC, XRD, 4140

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF COATING SURFACE OF AISI 4140 STEEL WITH GRAPHITE REINFORCED VANADIUM CARBIDE POWDERS

İbrahim Halil KÖSEN

**BATMAN UNIVERSITY GRADUATE EDUCATION INSTITUTE MATERIALS
AND MANUFACTURING ENGINEERING DEPARTMENT**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Musa KILIÇ

2023, 106 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Musa KILIÇ
Prof. Dr. Yahya Hışman ÇELİK
Assoc. Prof. Dr. İhsan KIRIK**

In this study, graphite powder added to VC (Vanadium Carbide) and VC powder at different (1,2,3,4,5% wt% C) ratios using TIG (Tungsten Inert Gaz) welding method on the AISI 4140 steel surface, which is preferred as the substrate, was used. The surface properties were improved by coating with VC-C). Elemental analyzes in the coating region were analyzed by energy dispersive spectroscopy (EDS). X-Ray diffraction (XRD) analysis was used to determine the phase structures formed in the coating region. In order to determine the microhardness values of the samples, measurements were made from the coating surface to the substrate. In addition, the friction coefficients and wear rates of the coated surfaces were determined by performing abrasion tests on the coated samples. Intense eutectic and dendritic structures were observed in the microstructure images obtained from the coating region. Dendritic structures were formed in cellular, round and lath-like forms. In the EDS results, especially dark gray pebble-like structures V and C are dense elements, while in the eutectic region V, C and Fe are dense. In XRD analysis results, it was determined that VC, α -Fe, FeV, Fe₇C₃, Fe₃C phases were formed in the V and C element-rich carbide phases in the primary dendritic region and the interdendritic regions. According to the microhardness measurement results, an increase in the microhardness values in the coating region was determined depending on the added C ratio.

In the measurement results obtained, the lowest hardness value was measured as N2 (1% C-reinforced) 318 HV0.5 sample in the substrate region, while the highest hardness value was measured as N6 (5% C-reinforced) 1295 HV0.5. With these results, it was determined that the hardness of the coating layer increased approximately 3-4 times than the hardness of the substrate. In the light of all the data, it can be said that increasing C ratio in VC-C coating contributes significantly to the increase of coating hardness. In the coating thickness results depending on the energy input, 932 μ m coating thickness was obtained in the N3 sample with an energy input of 720 J/mm, while a coating thickness of 2000 μ m was obtained in the N6 sample with an energy input of 1296 J/mm. Depending on the coating thickness results, it is thought that the energy input has a significant effect on the coating thickness. The lowest friction coefficient of 150 m after abrasion was found in the N6 sample with 0.2, while the highest was determined in the N1 sample with 0.6. At 300 m, the friction coefficients were found to be 0.5 in the N1 sample and 0.15 in the N6 sample.

In the light of these results, it was determined that the wear volume decreased depending on the C ratio. In the SEM results taken from the worn surfaces, it was observed that micro scratches, debris and cavities were formed on the wear surfaces. In the light of the data obtained, the microhardness of the coatings increased with the addition of C, and accordingly, the wear resistance increased. The coating surfaces exhibited a metallurgically smooth structure and no pore formation was observed.

Keywords: EDS, Graphite, Microstructure, SEM, TIG, VC, XRD, 4140

ÖNSÖZ

Sanayinin gelişmesi ile yüzey kaplama yöntemi önem kazanmıştır. Bu yöntemler ile Endüstriyel ve mühendislik çalışmalarında malzemenin maruz kaldığı korozyon, aşınma vb. olumsuz durumlarda, yüksek değişim maliyeti ile zaman kayıplarını minimize ederek, zarar gören bölgeyi yüzey özelliğini geliştirerek malzeme ömrünü uzatıla bilinmektedir. Yüzey kaplama yöntemlerinden GTA yöntemi diğer yöntemlere göre kolay ulaşılabilirliği maliyet bakımından ekonomik olması nedeniyle diğer kaplama yöntemlerine göre daha fazla tercih edilmektedir. Grafit takviyeli ferro VC 4140 çeliğin GTA ergitme yöntemi kullanılarak kaplanabilirliğinin araştırılması adlı tez çalışması 6 bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde tezin amacı ve kapsamından bahsedilmiştir. İkinci bölümde Literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde genel bilgiler başlığı altında yüzey kaplama, Tırbiloji ve çelikler hakkında genel bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde ise 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 günün 24 saati her zaman ulaşılabilir olan ve çok sabırlı Danışman hocam Doç. Dr. Musa KILIÇ'a, ve tez çalışmamızda bilgi tecrübesini bizle paylaşan Dr. Öğrt. Üyesi Oktay ADIYAMAN ile Doç Dr. Soner BUYTOZ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Bu çalışmada desteklerini benden esirgemeyen mesai arkadaşlarım Uzm. Kilinik Psikolog Semra DERİNDAG ile Psikolog Tuğçe Tuba TOY'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca hayatımın tüm aşamalarında, iş ve eğitim hayatımda zaman ayıramadığım ve her zaman yanımda olan manevi desteklerini esirgemeyen canım eşim ve çocuklarıma şükranlarımı sunarım.

İbrahim Halil KÖSEN

BATMAN-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT.....	vii
ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	x
ŞEKİLLER TABLOSU	xiii
TABLoların LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı	2
2.LİTERATÜR TARAMASI.....	3
3.GENEL BİLGİLER.....	6
3.1. Yüzey Kaplama.....	6
3.1.1. Yüzey kaplama yöntemleri	6
3.1.1.1. Buhar fazı yöntemleri.....	7
3.1.1.2. Sol - Jel yöntemi	7
3.1.1.3. Kaplama ve anotlama yöntemleri (Elektrolitik kaplama).....	8
3.1.1.4. Ergitme esaslı kaplama yöntemleri	8
3.1.1.4.1. Lazer kaynak yöntemi	8
3.1.1.4.2. Plazma transferli ark (PTA).....	9
3.1.1.4.3. Tozaltı kaynak yöntemi	10
3.1.1.4.4. Gaz tungsten ark kaynak yöntemi	11
3.1.1.4.4.1. GTA kaynak uygulama alanları	12
3.1.1.4.4.2. GTA kaynağında arkın oluşturulması.....	12
3.1.1.4.4.3. GTA kaynağında etki eden parametreler	13
3.1.1.4.4.3.1. Kaynak öncesi saptanan parametreler.....	14
3.1.1.4.4.3.2. Birinci derecede ayarlanabilir parametreler.....	16
3.1.1.4.4.3.3. İkinci derecede ayarlanabilir parametreler.....	17
3.1.1.4.4.4. GTA kaynağında kullanılan torclar	18
3.1.1.4.4.5. GTA kaynağında kullanılan gazlar	19
3.1.1.4.4.4.1. Argon	20
3.1.1.4.4.5.2. Helyum.....	20
3.1.1.4.4.5.3. Argon-Helyum karışımı	21
3.1.1.4.4.5.4. Argon-Hidrojen karışımı.....	21
3.1.1.4.4.5.5. Azot.....	21
3.1.1.4.4.6. GTA kaynağında kullanılan elektrotlar	21
3.1.1.4.4.6.1. Saf tungsten elektrotlar	22
3.1.1.4.4.6.2. %2 Seryum alaşımlı elektrotlar	22
3.1.1.4.4.6.3. %2 Lantan alaşımlı elektrotlar	22
3.1.1.4.4.6.4. %2 Toryum alaşımlı elektrotlar	23
3.1.1.4.4.6.5. Zirkonyum alaşımlı elektrotlar	23
3.2. Triboloji	24

3.2.1. Sürtünme	24
3.2.2. Aşınma	24
3.2.2.1. Aşınma zaman ilişkisi	26
3.2.2.2. Aşınma mekanizmaları	27
3.2.2.2.1. Adheziv aşınma	27
3.2.2.2.2. Abrazif aşınma	28
3.2.2.2.3. Eroziv aşınma	29
3.2.2.2.4. Korozif aşınma	30
3.2.2.2.5. Yorulma aşınması	31
3.3. Çelik	31
3.3.1. Çeliğin tanımı, yapısı ve özellikleri	31
3.3.2. Çeliklerin sınıflandırılması	32
3.3.2.1. Alaşımsız çelikler	32
3.3.2.1.1. Düşük karbonlu çelikler	33
3.3.2.1.2. Orta karbonlu çelikler	33
3.3.2.1.3. Yüksek karbonlu çelikler	33
3.3.2.2. Alaşımli çelikler	34
3.3.2.2.1. Alaşım elementlerinin çeliğe etkisi	34
3.3.2.2.1.1. Karbon ve grafit	36
3.3.2.2.1.2. Silisyum (Si)	37
3.3.2.2.1.3. Mangan (Mn)	37
3.3.2.2.1.4. Krom (Cr)	37
3.3.2.2.1.5. Nikel (Ni)	37
3.3.2.2.1.6. Alüminyum (Al)	38
3.3.2.2.1.7. Vanadyum (V)	38
3.3.2.2.1.8. Kobalt (Co)	38
3.3.2.2.1.9. Molibden (Mo)	38
3.3.2.2.1.10. Kükürt (S)	39
3.3.2.2.1.11. Fosfor (P)	39
3.3.2.2.1.12. Azot	39
3.3.2.2.1.13. Oksijen (O)	40
3.3.3. AISI 4140 çeliklerin özellikleri	40
4. MATERYAL VE YÖNTEM	41
4.1. Tercih Edilen Malzemeler	41
4.2. Numunelerin Hazırlanması	42
4.3. Kaplamada kullanılan GTA yöntemiyle önemli parametrelerin tespiti ile yüzey modifikasyonu	47
4.4. Metalografik İnceleme	50
4.4.1. XRD testleri	52
4.4.2. Mikrosertlik testi	53
4.4.3. Aşınma testi	53
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	54
5.1. Optik ve SEM/EDS Sonuçları	54
5.1.1. SEM/EDS sonuçları	61
5.1.2. Mikroyapı sonuçlarının değerlendirilmesi	77
5.2. XRD Sonuçları	78

5.3. Mikrosertlik Analiz Sonuçları	79
5.4. Enerji Girdisine bağlı olarak Kaplama Kalınlığına Etkisi	82
5.5. Aşınma Sonuçları.....	85
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	95
6.1. Sonuçlar	95
6.2. Öneriler	96
KAYNAKLAR	97

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yüzey kaplama yöntemleri	7
Şekil 3.2. Lazer kaynağı işleminin şematik olarak gösterilişi	9
Şekil 3.3. PTA kaynağı ile alaşımlama yönteminin şematik resmi	10
Şekil 3.4. Toz altı kaynak yönteminin şematik gösterimi	10
Şekil 3.5. GTA kaynak donanım şeması	11
Şekil 3.6. Gaz tungsten ark (GTA) yönteminin prensip şeması	12
Şekil 3.7. Ark oluşumu	13
Şekil 3.8. GTA kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi	15
Şekil 3.9. Parça kalınlığına ve gaz memesinin çapma bağlı olarak argon tüketimi	16
Şekil 3.10. GTA kaynak elektrotlarının taşlanması (Doğru akımda)	17
Şekil 3.11. Elektrot çapına göre elektrot uçları (Alternatif akımda)	18
Şekil 3.12. GTA kaynağında kullanılan Torc	18
Şekil 3.13. Yeşil renkli (Al vb. metaller için) tungsten elektrot bileme ölçüsü	22
Şekil 3.14. Kırmızı renkli (Toryum alaşımlı) tungsten elektrot bileme ölçüsü	23
Şekil 3.15. Sürtünme kuvvetinin oluşumunu gösterir	24
Şekil 3.16. Aşınma izleri; (a) mil, (b) yatak, (c) piston, (d) dişli çark	25
Şekil 3.17. Aşınma terimleri ve temas tipleri	25
Şekil 3.18. Aşınmayı oluşturan temel unsurlar.....	26
Şekil 3.19. Aşınmanın zamana bağlı değişimi	27
Şekil 3.20. Adhesiv aşınma	28
Şekil 3.21. a) İki cisimli abrazif aşınma b) Üç cisimli abrazif aşınma	29
Şekil 3.22. Erozyon aşınması türleri	30
Şekil 3.23. Korozyon aşınma	30
Şekil 3.24. Yorulma aşınmasının şematik gösterilişi. a) Kuvvet ile hareketin aynı yönde olduğu hal, b) Kuvvetin yüzeye dik olduğu hal	31
Şekil 4.1. Alt Tabaka Malzemesi.....	42
Şekil 4.2. Şerit Testere Makinesi ile numunelerin kesimi ve 95x20x12 mm boyutta kesilen numune	42
Şekil 4.3. Kesimleri tamamlanan numuneler.....	43
Şekil 4.4. OPEM phoebus freze tezgahı numunelere kanal açılması	43
Şekil 4.5. Freze işlemi tamamlanan numuneler.....	44
Şekil 4.6. Freze işlemi tamamlanan numunelerin yüzey temizleme işlemi.....	44
Şekil 4.7. Kaplama yapılacak numune son hali.....	44
Şekil 4.8. Hassas terazide tozların ölçümü	45

Şekil 4.9. Karışım makinesi ve karışım potası	46
Şekil 4.10. Yüzey modifikasyonu yapılacak numunelerin hazırlanma aşamaları	47
Şekil 4.11. Kullanılan GTA kaynak makinesi	47
Şekil 4.12. Kaplama işlemine hazırlık aşaması	48
Şekil 4.13. GTA yöntemi kaplama işlemi	48
Şekil 4.14. GTA yöntemi ile yüzey modifikasyonu uygulamasının aşamalarının şematik gösterimi.	49
Şekil 4.15. GTA kaplama yapılan tozların makroskopik görünüşü	50
Şekil 4.16. Bakalit cihazı(kalıba alma makinesi)	51
Şekil 4.17. Yarı mamul zımparalama ve parlatma cihazı.....	51
Şekil 4.18. Optik mikroskop ve görüntüleme sistemi	51
Şekil 4.19. SEM / EDS cihazı.....	52
Şekil 4.20. XRD cihazı	52
Şekil 4.21. Vickers sertlik cihazı.....	53
Şekil 4.22. Aşınma cihazı ve aşınma işleminin şematik gösterimi	53
Şekil 5.1. N1'e ait optik mikroyapı	55
Şekil 5.2. N2'e ait optik mikroyapı	56
Şekil 5.3. N3'e ait optik mikroyapı	57
Şekil 5.4. N4'e ait optik mikroyapı	58
Şekil 5.5. N5'e ait optik mikroyapı	59
Şekil 5.6. N6'e ait optik mikroyapı	60
Şekil 5.7. N1'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, EDS Grafikleri.....	63
Şekil 5.8. N2'ye ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri ve EDS Grafikleri	66
Şekil 5.9. N3'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi resimleri, EDS sonuçları ve EDS Grafikleri	69
Şekil 5.10. N4'te ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri, EDS sonuçları ve EDS Grafikleri	71
Şekil 5.11. N5'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (c) Kaplama bölgesi resimleri, EDS sonuçları ve EDS Grafikleri.....	74
Şekil 5.12. N6' ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri, EDS sonuçları ve EDS grafikleri	77
Şekil 5.13. VC-C kaplanan tüm numunelere ait XRD analiz sonucu.....	79
Şekil 5.14. Kaplama tabakaları için elde edilen mikrosertlik değerleri.....	80
Şekil 5.15. Kaplama sürelerine bağlı ortalama mikrosertlik değerleri	81

Şekil 5.16. Kaplama Kalınlığına ait Optik Görüntüler	83
Şekil 5.17. Enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı değişim grafiği	85
Şekil 5.18. Sürtünme katsayısına bağlı olarak meydana gelen aşınma hacminin oran grafiği (150m-300 mesafede).....	86
Şekil 5.19. Ortalama mikrosertliğe bağlı olarak sürtünme katsayısı grafiği(300m mesafe)	87
Şekil 5.20. N1 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu.....	88
Şekil 5.21. N2 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu.....	89
Şekil 5.22. N3 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu.....	90
Şekil 5.23. N4 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu.....	91
Şekil 5.24. N5 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu.....	92
Şekil 5.25. N6 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu.....	93

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo 3.1. Malzeme özeliğine göre GTA kaynağında kullanılan gazlar	20
Tablo 3.2. Aşınmayı etkileyen faktörler	26
Tablo 3.3. Ham demir ve çeliğin kimyasal bileşimleri	32
Tablo 3.4. Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerebilecekleri element miktarlarının alt sınır değerleri	34
Tablo 3.5. Çelikler üzerinde alaşım elementlerinin etkisi	36
Tablo 3.6. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu	40
Tablo 4.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu	42
Tablo 4.2. Ferrovanadyum tozunun kimyasal analizi	42
Tablo 4.3. Karışım formül	45
Tablo 4.4. Toz karışım oranlarının gram cinsinden dağılım ağırlıkları	45
Tablo 4.5. Kaplama toz karışım oranları (% ağı.)	46
Tablo 4.6. İlk kaplamanın yapıldığı TIG kaynak parametreleri.....	48
Tablo 4.7. GTA ile kaplamada ortaya çıkan kaynak parametreleri	48
Tablo 5.1. Sertlik değerleri.....	79
Tablo 5.2. Enerji Girdisi, İlerleme Hızı ve Kaplama Kalınlık Sonuçları.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

<u>Simgeler</u>	<u>Acıklama</u>
TIG	: Tungsten Inert Gaz
GTA	: Gaz Tungsten Ark
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
MMK	: Metal Matrisli Kompozit

1. GİRİŞ

Her yıl dünyada genel anlamda aşınma ve korozyondan ötürü ciddi miktarlarda malzeme kayıpları meydana geldiği göz ardı edilmeyecek kadar fazla olduğu yapılan çalışmalarda tespitlerde görülmektedir (Daldal, 2002). Özellikle Endüstriyel sektörde aşınmaya ve korozyona bağlı olarak oluşan bir takım sorunlar ve buna bağlı olarak malzeme kayıplarından dolayı, yüzey mühendisliği (yüzey modifikasyonu) uygulamaları bu amaca yönelik hizmet etmek ve çözüm sağlamak için alternatif fikir olarak ortaya çıkmıştır. Yüzey işlemleri; malzemenin sertlik, süneklik gibi mekanik özellikleri yanında sürtünme ve aşınma, oksidasyon ve korozyon özelliklerini de geliştirmeyi amaçlamaktadır. Sürtünerek çalışan makine elemanlarında belirli bir süre sonra meydana gelen aşınma problemlerini gidermek ya da minimize etmek için birçok yüzey iyileştirme teknikleri uygulanmaktadır. Bu tekniklerin uygulanma amacı işlemi mevcut sorunu minimize etmek için metal-matris kompozit kaplamayla güçlendirilmiştir. MMK (Metal matrisli kompozit) kaplamalar, karbür sertliği yanında metalin tokluk avantajından faydalanmak için geliştirilmiştir. Bu teknikler son zamanlarda, Metal matrisli kompozit kaplamaları üretmek için LA (lazer kaplama), termal spreyci yöntemiyle kaplamalar, GTA (Gaz Tungsten Ark) kaplama ve PTA (plazma transfer ark) vb. kaplama gibi yüzey geliştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Plazma, lazer ve elektron ışını yöntemleri ile yapılan sert ve aşınmaya dayanıklı MMK kaplamaların üretim maliyeti GTA yöntemine göre yüksek olması nedeniyle, endüstrideki kullanım alanlarını sınırlamaktadır (Buytoz, 2020).

Gaz tungsten ark (GTA) kaplama, yüksek erime sıcaklıklı seramik tozların metalik olan ana parçanın üzerine biriktirmenin alternatif bir yoludur. Bu teknolojik yöntem ile alt tabaka yüzeyine önceden yerleştirilmiş ihtiyaç duyulan özelliğe göre hazırlanmış toz veya toz karışımının eritilmesiyle geliştirilmiş bir yüzey tabakası elde edilir. GTA yönteminde kullanılan tungsten elektrot ile yüzey arasında oluşan arkın oluşması sırasında ortaya çıkacak yüksek ısıyla birlikte iş parçası yüzeyine önceden yerleştirilmiş tozun erimesi sonucu alt tabaka ile kaplama malzemesi arasında metalurjik bir bağlanma meydana gelmesidir. Hızlı katılma ile birlikte ince taneli mikroyapılar oluşturularak yüzey özellikleri iyileştirilmiş yüksek kaliteli kaplama tabakası üretilebilir (Sahoo ve ark., 2016).

Bu çalışmada, alt tabaka olarak tercih edilen AISI 4140 çelik yüzeyine GTA kaynak yöntemi kullanılarak VC (Vanadyum Karbür) ve VC tozuna farklı (ağ.%1,2,3,4,5

C) oranlarda ilave edilen grafit tozu (VC-C) ile kaplama işlemi yapılarak AISI 4140 çelik yüzeyinin özellikleri geliştirilmiştir.

1.1. Tezin Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında, AISI 4140 çeliğinin yüzeyine farklı oranlarda VC/Grafit tozu ilave edilerek GTA kaynak tekniği ile yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Vanadyum Karbür (VC) ve Grafit (C) tozu ile kaplanan bu yüzeylerin, geniş bir spektrumda yüzey özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, kaplama tabakalarının yapısı metalografik olarak incelenmiş, sertlik ve aşınma gibi mekanik özellikleri araştırılmıştır. Kaplama yüzeyinin mikroyapısı optik mikroskop (OM), SEM-EDS analizi ile tespit edilmiş olup, kaplama tabakasını oluşturan fazlar ise XRD yöntemi ile belirlenmiştir. Ayrıca kaplama tabakasının mekanik özelliklerinin belirlenmesi için mikrosertlik ve aşınma cihazları kullanılmıştır. Aşınma sonuçları mikroyapı ile karakterize edilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte artan ihtiyaçlara bağlı olarak gelişen teknolojinin de hızlı bir şekilde ilerlemesi sınırlı olan hammaddenin tükenmesine yol açmaktadır. Makine-İmalat endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılan çelik malzemelerin hammaddesi olan demirin doğada sınırlı olması ve aynı zamanda korozyon ve aşınma gibi sorunlar kullanım ömürlerinin düşmesine ve yeni maliyetlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır.

AISI 4140 çeliği otomotiv, inşaat, ziraat makine parçaları, takım tezgâhları, uçak parçaları, akslar, krank milleri, dişliler, petrol ve gaz endüstrilerinde yaygın bir şekilde kullanılan orta karbonlu (ağ. 0,4C) düşük alaşımlı bir çeliktir (Çarboğa ve ark., 20216; Lv ve ark., 2017).

Bu çelikler iyi sertleşebilirlik, mukavemet ve tokluk özelliklerine sahip olmaları yanında zayıf tribolojik özellikler sergilemelerinden dolayı bu çeliklerin yüzey aşınma dirençlerini arttırmak için farklı yüzey kaplama teknikleri uygulanmıştır (B-Arguello ve ark.,2021; Arslan ve ark., 2021).

HVOF püskürtme, Plazma püskürtme, Elektron bombardıman, Kimyasal buhar biriktirme (CVD), Fiziksel buhar biriktirme (PVD), lazer gibi yöntemler ile farklı altlık malzeme yüzeylerini korozyon ve aşınmaya karşı daha dirençli hale getirmek amacıyla yüzey kaplama çalışmaları yapılmıştır (Bolelli ve ark., 2019; Şimşek ve ark., 2019).

Bununla birlikte, bu yöntemlerin operasyonel olarak kontrol edilmesinin zor olması, karmaşık ve maliyetli ekipman gerektirmesi gibi dezavantajları vardır (Kılıç, 2020).

GTA yöntemi; diğer yöntemlere göre daha ucuz ve kullanımı daha basit olması yanında kaplamanın kalınlığı, kimyasal bileşimi ve mekanik özelliklerinin kontrolü daha kolay bir yöntemdir (Kılıç ve ark., 2021). Yöntem; tungsten elektrot ve iş parçası arasında meydana gelen ark'ın başlamasıyla birlikte oluşan yüksek sıcaklık sayesinde, altlık yüzeyine serilmiş karışım tozlar ve alt tabakanın birlikte erimesini içerir. Erimiş kaplama tabakası ve altlık torcun ilerlemesiyle birlikte hızlı bir şekilde katılaşır. Hızlı katılaşma birlikte yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip sert karbür fazlar içeren ince mikroyapıların oluşmasına katkı sunar (Kılıç ve ark., 2021; Buytoz, 2006).

Kısa işlem süresi, yüksek hassasiyet ve maliyet, enerji ve malzeme tüketiminde tasarruf, bu yöntemin yüzey mühendisliğindeki temel avantajlarıdır (Sahoo ve ark., 2017).

GTA yöntemini kullanarak düşük alaşımlı çelik yüzeyinde TiC kompozit kaplamalar üretilmiştir. Alt tabakanın ön ısıtılması, TiC partiküllerinin çözünmesi ve ardından kompozit tabakanın derinliği ve sertliği üzerindeki etkisi analiz edildi. Düşük alaşımlı çeliğin kompozit katmanı maksimum 800 HV'den fazla sertlik geliştirmiş olduğu görüldü. Yüksek sertliğin erime derinliğine bağlı olarak değişti belirtilmiştir (Mridha ve ark., 2015).

Karbon çelik yüzeyini Fe49Cr18Mo7B16C4Nb6 kaplamak için GTA yöntemini kullandı. Çalışmada kaynak katmanlarının sayısı ve kaynak ısı girdisine bağlı olarak oluşan sert borür (Mo_2FeB_2) ve karbür (NbC) fazları sayesinde kaplama tabakasının mikrosertlik değerinin 1000 HV'ye ulaştığını ve aynı şekilde aşınma direncide yüksek olmuştur (Abed ve ark., 2018).

MMK kaplamalar bileşen ömrüne yönelik artan talebi karşılamak için endüstrinin büyük ilgisini çekmiştir (Wang ve ark., 2006).MMK kaplamalar geleneksel metallere kıyasla daha iyi termo-mekanik özellik, yüksek sertlik, yüksek yorulma mukavemeti, olağanüstü aşınma direnci ve korozyon dirençlerinin sağlamış olduğu avantajlardan dolayı yüzey kaplamalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rachidi ve ark., 2017; Wang ve ark., 2007).

Yüksek sertlik, iyi aşınma direnci ve fiyat avantajlarından dolayı SiC, WC, TiC, VC, NbC ve B4C gibi sert parçacıklı MMK karbürler Fe esaslı farklı alt tabakaların yüzeylerini kaplamak için birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Zhao ve ark., 2018; Zhang ve ark., 2018).

VC, yüksek erime noktası, yüksek sıcaklıklarda mükemmel aşınma direnci, yüksek sertlik (2460–3150 HV0.05), iyi termal kararlılık ve demir esaslı malzemelerle küçük temas açısı (28°) gibi olumlu özelliklerinden dolayı takviye görevi görür (Zeng ve ark., 2022).

Dökme demirin aşınma direncini arttırmak için iki aşamalı yerinde katı faz difüzyon işlemleriyle bir dökme demir matris kompakt vanadyum karbür tabakası üretildi. Üretim sonrası yapılan aşınma test sonuçlarında, kaplama vanadyum karbür tabakasının aşınma direncinin matrisinkinden 11.67 kat daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Zhong ve ark., 2020).

Lazer yöntemini kullanarak orta karbonlu çelik yüzeyini mikro ve alt mikro/nano TiC-VC karbürlerle güçlendirilmiş Fe bazlı kaplama katmanları oluşturmuşlardır.

Kaplama tabakasının sertliğinin biraz arttığını, ancak korozyon direncinin ise önemli ölçüde arttığını dile getirmişlerdir (Zhang ve ark., 2018).

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Yüzey Kaplama

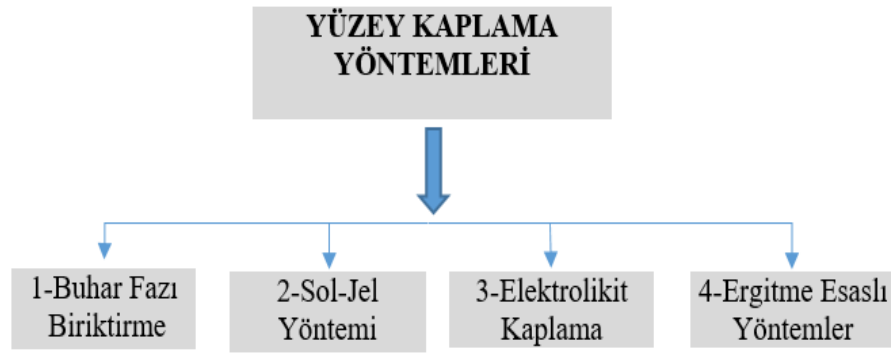
Yüzey kaplama çalışmaları milattan önce başlayan bir süreç olup ilkin süs eşyalarının kaplanması ile başlamıştır. Kıymetli madenlerden gümüş ve altın bulunması ile süs eşyaları kaplanmasıyla devam eden bu süreç Kalay'ın kaplanması ile devam etmiştir. Kaplamanın ihtiyaç duyulma nedeni kullanılan asıl malzemenin yüzeyinde oluşan deformasyon, bulunduğu ortamın etkileri, dayanıklılığın azalması, sürtünme, aşınma vb. olumsuzluklar yanında insan sağlığına etkileyen durumlar ile karşılaşılması nedeniyle sanayi devrimi ile birlikte bilim insanları yüzeyin kaplanması ile ilgili önemli çalışmalar yapmıştır (Gür ve ark., 2018; İnternet, Yüzey Kaplama Teknolojisi, 2023).

Yüzey kaplaması, malzemenin kimyasal yapısı bilinen ve uygulanacak yöntemler ile asıl malzeme yüzeyine farklı özellikteki malzemeler kaplanarak oluşan yeni bir katmana verilen ad olarak tanımlanır (Köseli, 2008; Apay, 2013).

Üretilen bir iş parçası yüzeyi, dış ortamdan kaynaklı ve bulunduğu her türlü koşulda ki maruziyete karşı daha uzun ömürlü olması önemlidir. Kaplama işlemi, malzeme yüzeyinde istenmeyen tüm olumsuz etkiler ile sürtünme aşınma gibi iş parçasının ömrünü azaltan durumlardan korumak amacıyla malzeme yüzeyinde sistemli yapılan çalışmalar ile iş parçasının yüzeyindeki kimyasal ve fiziksel değişimi olarak tanımlanır. Bu değişimler malzemeye üstün yapısal özellikler katmaktadır. Bu özellikler malzeme için çok önemli olan ve malzemenin daha uzun ömürlü olmasını sağlayan ve üstün kimyasal ve fiziksel özellikler katan sertlik, mukavemet, aşınma ve korozyona karşı direnç gibi özellikler yanında görünüm açısından da istenen şekil sağlanabilmektedir (Gür, 2009).

3.1.1. Yüzey kaplama yöntemleri

Yüzey kaplama ya da modifikasyon işlemi, malzeme yüzeyinin ortamdan kaynaklı olumsuz etkilerden korumak ve ihtiyaç duyulan özelliği kazandırmak için yüzeyin kimyasal ve fiziksel değişimi olarak tanımlanır. Yüzey kaplama işleminin amacı malzeme yüzeyinin maruz kaldığı olumsuz etkileri azaltarak, yüzeyin özelliğini geliştirip tüm malzeme değiştirilmeden ihtiyaç duyulan yapının geliştirilmesidir. Kaplama yöntemi sonucunda malzemenin fiziksel ve kimyasal maruziyete karşı sürtünme, aşınma, sertlik ve korozyon direnci artırılması gibi üstün yüzey mühendislik özellikleri kazandırılmaktadır. Bu kaplama yöntemleri Şekil 3.1'de sınıflandırılmıştır (Ulutan, 2007; Can, 2020).



Şekil 3.1. Yüzey kaplama yöntemleri (Ulutan, 2007)

3.1.1.1. Buhar fazı yöntemleri

Buhar Fazı yöntemi, iş parçasının yüzeyinde sert bir tabaka elde etmek için kullanılan bir kaplama yöntemidir. Bu yöntemi kullanarak buhar fazını iş parçası yüzeyine biriktirilmesi ile sert yüzey kaplama elde edilir. Bu işlemler iki temel yöntem kullanılmaktadır.

Buhar fazı yöntemleri aşağıda belirtildiği şekilde sınıflandırılmıştır.

- 1- Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi (PVD)
- 2- Kimyasal Buhar Biriktirme Yöntemi (CVD)

Buhar biriktirme yöntemleri PVD ve CVD kullanılarak çok geniş malzeme grubu olan metaller, alaşımlar ve refrakter bileşik malzemelerin kaplanması mümkündür. Bu yöntemlerle aşınma direncini artırmak için yapılan sert kaplama malzemeleri içinde en yaygın uygulanan malzemeler titanyum nitrür(TiN), sert amorf karbon (DLC) ve titanyum karbürdür.

3.1.1.1. Sol - Jel yöntemi

Bu kaplama teknolojisi daha önce hazırlanmış bir tabakanın hidrolizinin oluşmasıyla kısmen hidrolizenmiş ürünlerin bir oksit ağıyla birlikte yoğunlaşmasına dayanan iki ana kimyasal reaksiyon içermesidir. Bu sol-jel teknolojisinde çalışma yöntemi genelde sıvı fazdan, katı faza geçme işlemidir (Gök, 2008; Akçan, 2016).

Bu yöntemle cam, plastik, seramik ve metal gibi malzemelerin kaplanması ile yüzey özelliklerini geliştirerek optik, kimyasal, elektronik ve mekanik gibi yeni teknolojik özellikler kazandırmak amacıyla yapılan bir kaplama yöntemidir (Akçan, 2016).

Sol-jel tekniği ile farklı geometrideki malzemelerin kaplanması daha kolay olması ile maliyetin az olması ve çalışma sıcaklığı düşük olması gibi avantajlara sahiptir (Gök, 2008).

3.1.1.2. Kaplama ve anotlama yöntemleri (Elektrolitik kaplama)

Kaplama ve anotlama teknikleri metal yüzeyini koruyan bir metal film veya katman oluşturan bir kaplama metodudur (Apay, 2013). Bu yöntem, bir anot, bir katot, bir elektrolit ve uygun bir kaplama kabından meydana gelmektedir.

Bu kaplama yöntemi takım malzemelerinin aşınma direncinin ve kullanım süresinin arttırılmasında kullanılmaktadır (Çay, 2009).

3.1.1.4. Ergitme esaslı kaplama yöntemleri

Bir iş parçasının yapısal olarak dış katmanının sert, iç yapısının da sünek olması tercih edilir. Bu şekilde dış katmanın korozyon ve aşınma gibi dış etkenlere karşı dayanıklılığı artmakta ve iç yapısına gelen etkilere karşı dirençli olmaktadır. Malzeme yüzeyinde bu şekilde bir katmanın elde edilmesi amacıyla birçok teknik geliştirilmiştir. Ergitme tekniğinde ısı kaynağı, kaplama malzemesi ve bu malzemelerin türü önemli bir etkindir.

Bu sebeple birçok kaplama tekniğinde alışılmış teknikler esas alınmış ve iş parçalarının yüzey tabakaları ilave metal ve metal alaşım kullanılarak kaplanmaktadır. Bu tekniklerle temel malzeme yüzeyine ilave metal kullanılarak sert katmanlar oluşturularak, katmanın yüzey özellikleri geliştirilmekte ve aşınmış olan malzemelerin bölgesel olarak onarılması sağlanmaktadır. İlave malzemeler kullanılarak oluşturulan bu katmanlar alışılmış olan elektrik ark, toz altı ve kaynak tekniklerinin yanı sıra diğer ergitme teknikleriyle oluşmaktadır (Özcan, 2014).

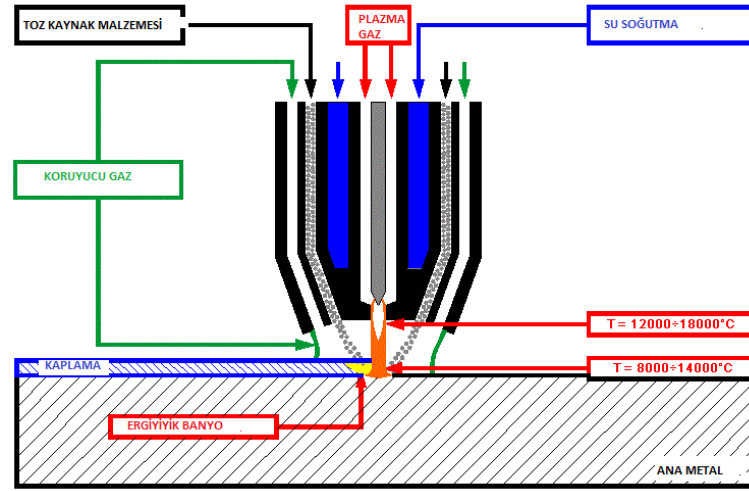
Ergitme Esaslı Kaplama Yöntemleri

- 1- Lazer Kaynak Yöntemi
- 2- Plazma Transferli Ark Yöntemi
- 3- Toz Altı Kaynak Yöntemi
- 4- Gaz Tungsten Ark Kaynak Yöntemi

3.1.1.4.1. Lazer kaynak yöntemi

Isı kaynağı olarak lazer kullanan bu teknik, kaplanacak malzemenin yüzeyine ilave bir metalin ince bir tabaka şeklinde eklenmesiyle oluşmaktadır. Lazer tekniğine,

metalik kaplama tekniklerinin eklenmesi, yapım ve prototip üretiminde büyük bir yenilik olmuştur. Şekil 3.2’de lazer kaplama tekniği şematik olarak gösterilmiştir (Ulutan, 2007).

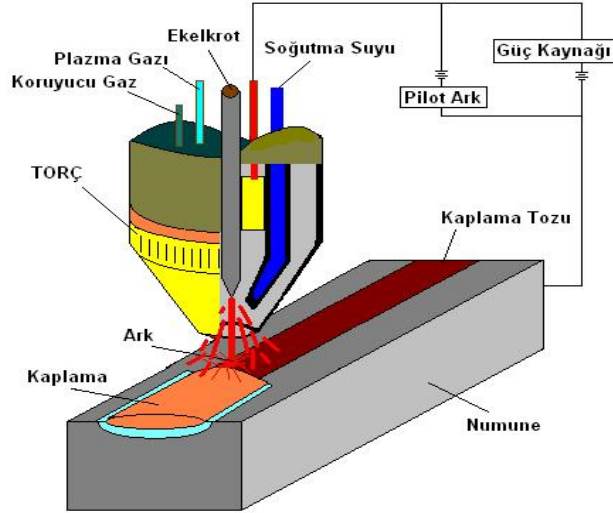


Şekil 3.1. Lazer kaynağı işleminin şematik olarak gösterilişi (Metal ve kaynak teknolojisi, 2021)

3.1.1.4.2. Plazma transferli ark (PTA)

PTA tekniği ile yapılan kaplamada metal tozları yüzeyde biriktirilir, tungsten elektrot ile lüle arasında oluşturulan torç içerisinde elde edilen plazmayla olur. Yüksek enerji düzeyine sahip olan plazmanın içine metal tozu yönlendirilerek, derin kaplamalar meydana gelmektedir. Bu işlem sırasında oluşan yüksek sıcaklıklar 20000–30000 °C civarındadır.

Bu teknikle, birçok metal tozu kullanılabilse de yüksek sıcaklıklarda kullanılan iş parçalarının Ni ve Co yoğunluklu alaşımlar ile kaplanması sonucunda aşınma ve korozyona karşı dayanımı artar. Bu tekniğin yoğun olarak kullanıldığı alanlar; kimya, otomotiv, petrokimya alanı, plastik ekstrüzyon kalıpları, seramik ve cam kalıplarıdır. Bu kaplamalar tümüyle otomatik tezgahlar kullanılarak yapılmaktadır. Şekil 3.3’te PTA yönteminin kullanılışı şematik olarak gösterilmiştir (Ulutan, 2007).



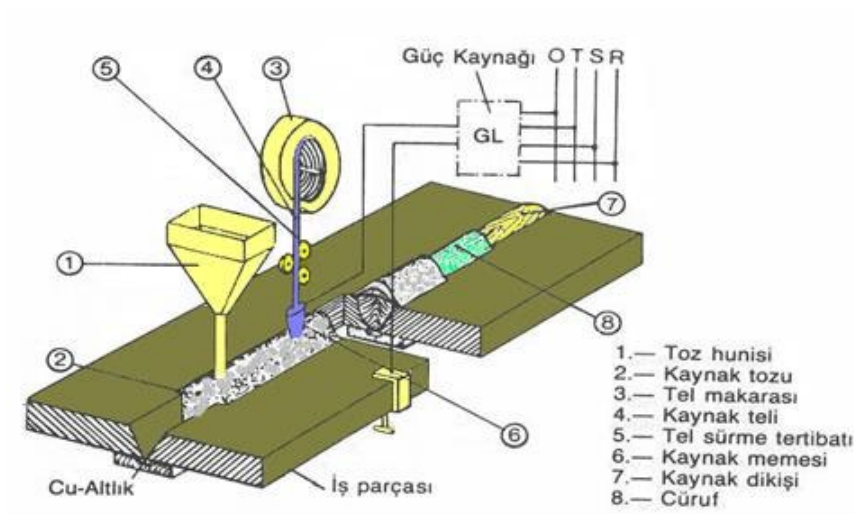
Şekil 3.2. PTA kaynağı ile alaşımlama yönteminin şematik resmi (Gür ve ark., 2006)

3.1.1.4.3. Tozaltı kaynak yöntemi

Bu yöntemde oluşan ark, iş malzemesiyle bir mekanizmadan gelen tel elektrotun arasında meydana gelir. Ark bölgesinin havanın zararlı etkilerinden korunması amacıyla farklı bir kanaldan gelen Şekil 3.4'te görüldüğü gibi özel hazırlanan toz kaynak bölgesine aktarılmaktadır.

Bu yöntemin sahip olduğu birçok özellik sebebiyle sert yüzey kaplamalarında toz altı kaynağı oldukça rağbet görmektedir. Tozaltı kaplama yöntemiyle en az taşlamayla temizlenen, gözenekli ve pürüzsüz tabakalar elde edilir.

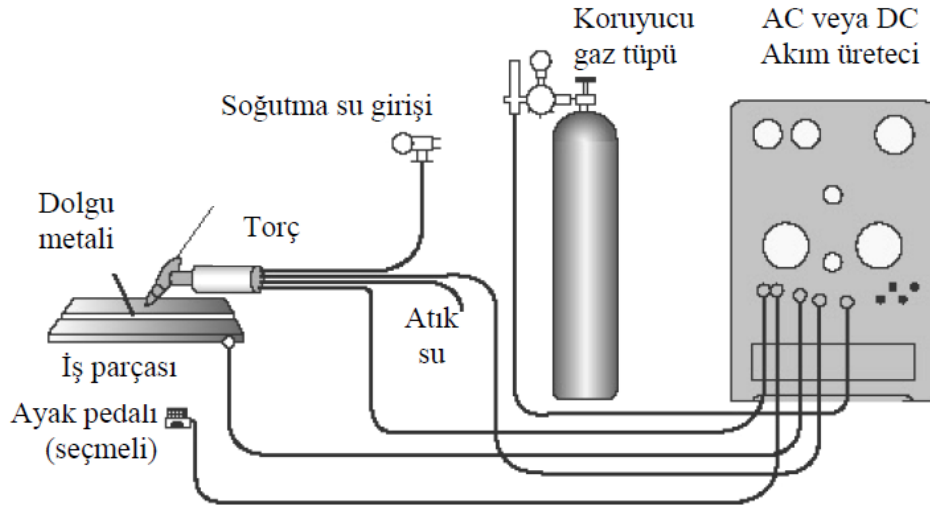
Bu yöntemin önemli dezavantajları; silindirik ve yassı iş malzemelerinin sert yüzey kaplamalarının sınırlı olması ve küçük iş parçalarının yüzey sertleştirilmesine imkan vermemesidir (Kılınç, 2018).



Şekil 3.3. Toz altı kaynak yönteminin şematik gösterimi (İnternet, Mühendis, 2021)

3.1.1.4.4. Gaz tungsten ark kaynak yöntemi

GTA yönteminde ergimeyen tungsten elektrot ile iş malzemesi arasında ark oluşur, ark bölgesini havanın zararlı etkilerinden koruyan helyum ve argon gazları kullanılır. Bu teknik ile ark, iş parçasını ertir ve gerekiyorsa ilave telde kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımlarında alternatif akım ve demir alaşımlarında doğru akım kullanılır. Bu işlemler elle ya da hazırlanan bir mekanizma sistemi ile yapılabilmektedir. Bu yöntem aynı zamanda düşük akımla yapılan mikro plazma yöntemine benzemektedir. Gaz tungsten ark ile hassas malzemelerin kaynakları yapılmaktadır (Özcan, 2014).

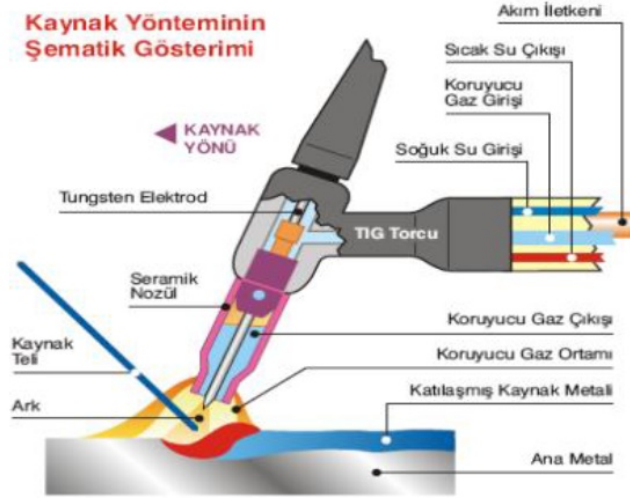


Şekil 3.4. GTA kaynak donanım şeması (Gözütok, 2009)

Şekil 3.5’de görüldüğü üzere bu donanım; akım üreticisi, koruyucu gaz tüpü, gaz basınç ayar sistemi, soğutma su sistemi, kontrol paneli ve torçtan meydana gelmektedir (Gözütok, 2009).

Gaz tungsten ark kaplamasıyla aşınan yüzeyler yeniden oluşturulur ve bu yüzeyler ilave malzemeler kullanılarak daha mukavemetli hale getirilebilir. Uygulama yapılmadan önce yüzeylerin uygun hale getirilmesi ve kaplama yapılacak yüzeye ön ısıtma yapılması gerekebilir. Yöntem basit aynı zamanda yüksek kaliteye sahip bir yöntemdir ve dar yüzeylerde de iyi sonuçlar elde edilmektedir. Aynı zamanda çeşitli ilave malzemeler kullanılarak birçok malzeme grubuna kaplama yapılabilmektedir. Bu yöntemin dezavantajları; yapılan işlemin yavaş ilerlemesi, geniş alanların kaplanmasında yetersiz kalması, cihazların maliyetli olması ve çalışması için koruyucu gazların kullanılmasıdır

(Ulutan, 2007). Şekil 3.6’da kaynak işlemi esnasında torçun görevi ve işlem esnasında diğer aparatların görevleri görülmektedir.



Şekil 3.5. Gaz tungsten ark (GTA) yönteminin prensip şeması (İnternet, Güvengaz, 2021)

3.1.1.4.4.1. GTA kaynak uygulama alanları

Bu teknik genellikle hafif metalleri birleştirmek amacıyla kullanılır. Farklı büyüklükteki torçlarla kalınlığı 15 mm’ye varan iş parçalarını birleştirmek mümkündür. Bu teknik, yukarıdan aşağıya dikey ve tavan bölgesi kaynak uygulamalarını mümkün kılmaktadır.

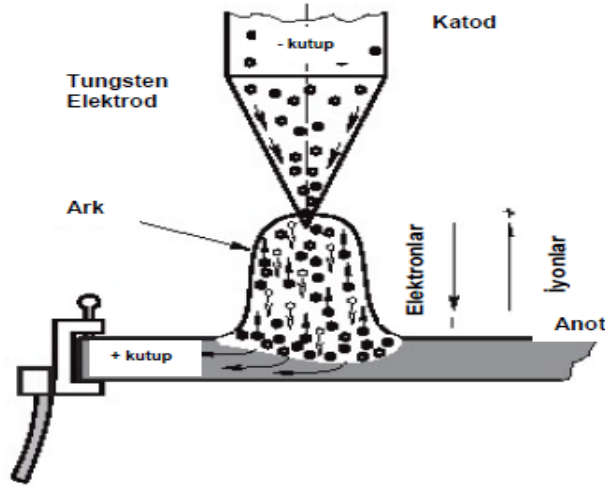
GTA yöntemi çeşitli alüminyum konstrüksiyonlar, paslanmaz çelikler, mutfak takımları, uçak motorları, buhar türbinleri, kimya endüstrisinde, boru tesisatında, tanklar, gemi ve uçak imalatında, ince saçların yapımı ve birçok alanda kullanılan bir yöntemdir (Güneş, 2020).

3.1.1.4.4.2. GTA kaynağında arkın oluşturulması

GTA kaynak yönteminde elektrik akımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu elektrik akımı, bir elektrik ortamı içinde elektrik yüklü parçacıklar bulunuyorsa hareket eder, bu hareketlilikle akım oluşmaktadır. Serbest elektronlar iletken içerisinde elektrik yüklü parçacıklardır ve elektrik alanına uygulandığında yükü negatif olan elektron alçak potansiyelden daha yüksek potansiyele doğru akmaktadır. Hareketleri serbest olan elektronlar birbiriyle veya gaz molekülleriyle sürekli çarpışırlar.

Arkı oluşturan elektrotlardan, elektronların gaza geçtiği negatif elektrot katot, pozitif elektrotta anot olarak bilinmektedir. Anot ve katot gerilim düşümleri anot ve katot yüzeylerinden çok kısa mesafede meydana gelmektedir. Arkı oluşturan fiziksel olay

bakımından, üç bölgeye ayrılır: Katot bölgesi, anot bölgesi ve ark kolunu Şekil 3.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.6. Ark oluşumu (İnternet, GTA kaynak uygulaması, 2021)

GTA kaynağında ark, biri tungsten elektrot, diğeri ise iş parçası arasında meydana gelir. Kullanılan Tungsten elektrot ergime sıcaklığı 3379°C 'dir. Tungsten elektrot (argon, helyum) gibi asal gazlarla çevrilerek havadaki oksijenle teması önlenmeye çalışarak kaynak bölgesini korur.

GTA kaynak tekniğinde ark iki şekilde başlatılmaktadır. Birincisi kullanılan elektrotun iş parçasına yaklaştırılarak temasın gerçekleştirilmesiyle kısa devre oluşur bu kısa devreden doğan yüksek ısı ile birlikte iyonizasyon başlar, ikincisi iyonizasyonu başlatacak miktarda büyük bir elektrik alanı sisteme uygulanması ile birlikte deşarj başlatılır. Deşarjı başlatacak elektrik alanının meydana gelmesi için yüksek gerilimlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gerilim insan hayatı açısından tehlike yaratmaması için de devrede kalma zamanını sınırlanması gerekmektedir (Elöve, 2023).

3.1.1.4.4.3. GTA kaynağında etki eden parametreler

Kaynak parametreleri

- 1- Kaynağa başlamadan öncesi belirlenen ve kaynak süresince değiştirilemeyen parametreler,
- 2- Birinci derecede ayarlanabilir parametreler,
- 3- İkinci derecede ayarlanabilir parametreler olmak üzere üç grupta sınıflandırılmıştır.

3.1.1.4.3.1. Kaynak öncesi saptanan parametreler

a) Elektrotun türü

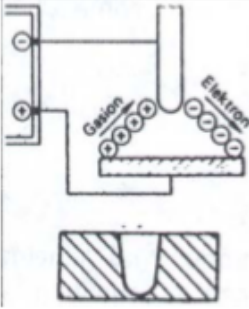
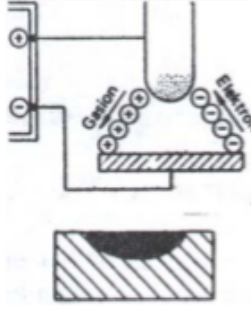
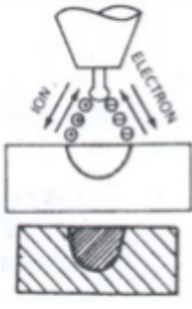
GTA kaynak tekniğinde erimeyen elektrotun türü kaynaklanacak metalin türü ile ilgili olarak tercih edilir. Saf tungsten elektrotlar, akım taşımada düşük kapasiteli ve işlem esnasında kirlenme ile kaynak dikişinde kalıntı bırakma olasılığı fazla olmasından dolayı, riski daha az olan işlerde maliyetlerinin düşük olması sebebiyle tercih edilirler. Toryum alaşımlı elektrot türü, yüksek akım taşıyabilmesinden, uzun süreli kullanım ömrüne sahip olmasından, kirlenmeye yönelik dirençli olmasından, ark oluşumunun kolay olması ve bu arkın stabilizesinden dolayı uygulamalarda en çok tercih edilen elektrottur. Zirkonyum alaşımlı elektrot türü ise alternatif akımda kullanıldığında daha nitelikli özelliklere sahiptir. Alüminyum ve magnezyum malzemelerinin kaynağında tungsten elektrot kalıntısı daha azdır (Ertürk, 2023).

b) Elektrot çapı

GTA yönteminde kullanılan erimeyen elektrotun çapını belirlenmesinde kullanılan akımın şiddeti etkilidir. Bu tip kaynak yöntemlerinde ergimeyen elektrot ile kaynak işlemi uygulamasında elektrot çapı akımın yüklenmesinde en önemli faktör olduğundan kalın iş parçalarına kalın çaplı elektrot, ince iş parçasına da küçük çaplı elektrot ile kaynak işlemi yapılmaktadır (Ertürk, 2023).

c) Akım türü ve kutuplaşmanın etkisi

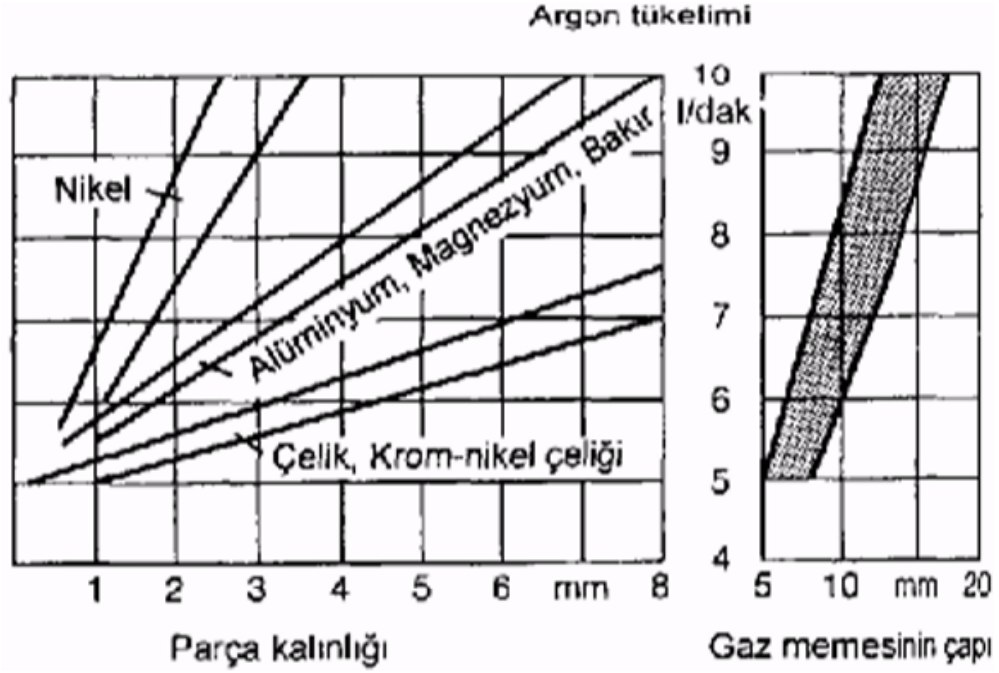
Kaynak yönteminde akımın türü ile kutuplar her şeyden önce kaynak nüfuziyetini etkilemektedir (Anık ve ark.,2023). Akım türü seçimi, kaynatılacak iş parçasının türüne bağlıdır. Şekil 3.8'de çeşitli metal ve alaşımlar için önerilen akım türleri ve kutuplama belirtilmiştir (Ertürk, 2023).

Akım Türü ve Kutuplama	D.A.E.N.	D.A.E.P.	A.A.
Elektronların ve iyonların akış yönü			
Dikişin nufuziyet biçimi			
Oksit temizleme etkisi	Yok	Var Kuvvetli	% 50 İş parçası % 50 Elektrod ucu
Nufuziyet	Derin ve dar	Az ve geniş	Orta
Elektrod Akım Kapasitesi	Fevkalade 3,2 mm çapta 400 A	Kötü 6,4 mm çapta 120 A	İyi 3,2 mm çapta 225 A
Isı Dağılımı	% 70 İş parçasına %30 Elektrod ucuna	% 30 İş parçasına % 70 Elektrod ucuna	% 50 İş parçasına % 50 Elektrod ucuna

Şekil 3.7. GTA kaynak yönteminde akım türünün kaynak özelliklerine etkisi (Ertürk, 2023)

ç) Koruyucu Gaz Akış Debisi

Kaynak esnasında koruyucu gazın tüketimi ve gaz debisinin ayarlanması malzemenin kalınlığı, iş parçasının özelliği, elektrot çapı ve ilave tel çapından etkilenmektedir. Bu değerlere, kaynak banyo büyüklüğü, ısıнын etkisi altındaki bölge, kaynağın hızı, torç hareketleri, kaynak ağzının şekli ve ortamda bulunan hava hareketi nedeniyle sapmalar meydana gelebilir. İşlem sırasında koruyucu gazın tüketimini, akış miktarının bağlı olduğu gaz memesinin çapı etkilemektedir. Şekil 3.9'da argon tüketimi kullanılan iş parça kalınlığı ile gaz memesinin çapı arasındaki ilişki verilmiştir (Gözütok, 2009; Anık ve ark.,2023).



Şekil 3.8. Parça kalınlığına ve gaz memesinin çapına bağlı olarak argon tüketimi (Anık ve ark., 2023)

3.1.1.4.4.3.2. Birinci derecede ayarlanabilir parametreler

a) Kaynak akım şiddeti

Daha önceden ayarlanmış parametrelerden sonra kaynak dikiş yapısını ve erime miktarını etkileyen faktörlerden en önemlisi akım şiddetidir. Akım şiddetinin ayarlanması kaynak makinasının üzerinde bulunan ayar düğmesi ile rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Ayrıca bazı otomatik olarak çalışan makinalarda bu ayar kaynak programı tarafından ayarlanır. Kaynak edilen iş parçasının kalınlığına uygun olacak şekilde akım şiddeti ayarlanmalıdır (Anık ve ark., 2023; Ertürk, 2023).

b) Ark gerilimi (ark boyu)

GTA kaynağının işlemi sırasındaki ark geriliminin düşük olması için arkın gaz örtüsüyle bütünüyle korunmasına yetecek kadar kısa olması önemlidir. Bu sebeple dikiş şekline etki eden bir etken değildir. Arkın geriliminin artırılması yani ark boyunda yapılan artış ile dikiş genişliğinde artma meydana gelir ve alaşım yanması sorunları azalır (Anık ve ark., 2023).

c) Kaynak hızı

Kaynak hızı, diğer ark kaynağındaki yöntemler kadar dikiş şekline etki eden bir etken değildir. Kaynak esnasındaki şartlara göre belirlenir ve eş değerde tutulur. Bu işlem sayesinde asıl metal yeterli oranda erimekte ve katılaşma esnasında aynı ölçüde bir dikiş meydana gelmektedir. Kaynak hızını yükseltmek birleşme hatalarına, bu hızın azaltılması

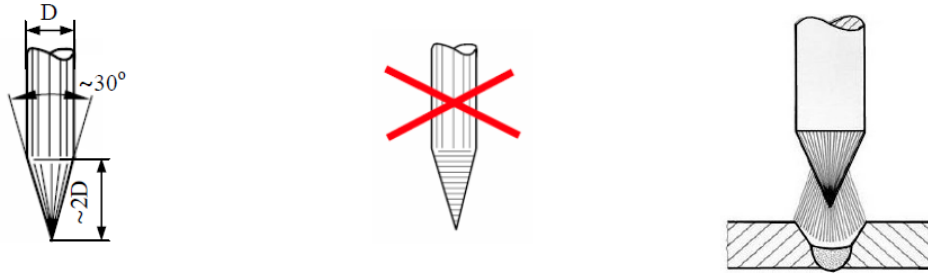
ise dikişte genişlemeye ve istenmeyen yüksek oranda enerji girdisine sebep olmaktadır (Anık ve ark., 2023).

3.1.1.4.4.3.3. İkinci derecede ayarlanabilir parametreler

a) Elektrot açıları

Kaynak dikişinin şekline etki eden etmenlerden biri de elektrot ile iş malzemesi arasında yaptığı açıdır. Otomatik GTA kaynak işlemi esnasında kaynak açısı 0° iken, elle yapılan kaynak işleminde açı yaklaşık olarak 20° - 30° olarak ayarlanmaktadır (Şekil 3.10.). Açı 0° ye yaklaştığında kaynak şeklinin etki alanı azalır ve doldurma kaynak işlemi esnasında açının artması da kaynak dikişindeki yüksekliğin artmasına sebep olmaktadır.

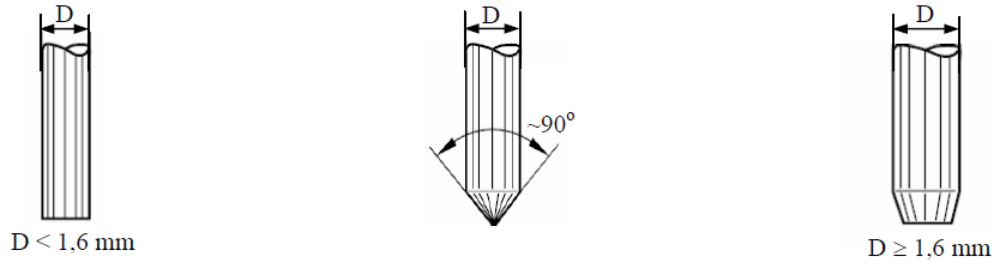
Hareket açısı oranının negatif oranda olması durumunda kaynak dikişindeki etki alanı azalmakta ve hareket açısındaki genişlik oranı artmaktadır. Hareket açısı oranı sadece otomatik kaynak tekniğinde negatif olarak tercih edilebilir. El tekniğiyle yapılan uygulamalarda elektrot açısı uygulama yapan kişiden kişiye kısmen farklılık gösterebilir (Ertürk, 2023).



Şekil 3.9. GTA kaynak elektrotlarının taşlanması (Doğru akımda)(Gözütok, 2009)

b) Elektrot serbest uç uzunluğu

Elektrot serbest uç uzunluğu, erimeyen elektrotun torç dışında kalan kısmın uzunluğuna denilmektedir. Genelde bu uzunluk elektrot çapının 1 veya 2 katı olacak şekilde ayarlanır. Elektrot ucunun uzunluğu arttırıldığı zaman bazı sorunlar ile karşılaşılır. Bu sorunlar kaynak banyosu ilave edilen kaynak metali nedeniyle kirlenme riski ile karşılaşır ve kaynak banyosunu havanın zararlı etkilerinden koruyan koruyucu gazın yeterli düzeyde koruyamama riskini arttırır. Elektrot serbest ucun kısa tutulması durumunda torctan yansıyan ışınlar nedeniyle elektrotta ısınmalar meydana gelir (Ertürk, 2023).



Şekil 3.10. Elektrot çapına göre elektrot uçları (Alternatif akımda) (Gözütok, 2009)

Kaynak uygulama esnasında elektrot uçlarını uzun süre koruyabilmek için akım gücünün doğru ayarlandığı elektrotun ucunun almış olduğu şekilden rahatlıkla anlaşılabilir. Şekil 3.11’de alternatif akımda elektrot çaplarına göre elektrot uç formları görülmektedir (Gözütok, 2009).

3.1.1.4.4.4. GTA kaynağında kullanılan torçlar

GTA kaynak tekniğinde kullanılan torçun temel görevi, işlem sırasında kaynak arkı ile koruyucu gazın kaynak bölgesine aktarılmasını sağlamaktır. Bu teknik ile yapılan işlemlerde çeşitli torçlar kullanılmaktadır. Bu torçar yapısal özellikleri genelde hortum tertibatına takılarak çalışan, hava soğutmalı ve su soğutmalıdır. Yüksek amperde ve yüksek üretimde kullanılan torçlar su soğutmalıyken düşük amperde ve düşük üretim kapasiteli işler sırasında hava soğutmalı torçlar tercih edilmektedir (Beriş, 2012).



Şekil 3.11. GTA kaynağında kullanılan Torç (Vikipedi, GTA Kaynağı, 2021)

Torç; pens, pens gövdesi, gaz merceği ve nozullardan meydana gelir (Şekil 3.12). Pens gövdesi torç gövdesine yerleştirilir. Pensler çeşitli boyutlarda tungsten elektrot tutabilen değiştirilebilen malzemelerdir. Bu pens parçaları bakır ve bakır alaşımından

yapılmaktadır. Pens ve tungsten elektrotlar arasında iyi elektrik teması ile birlikte iyi akım geçişi gereklidir. Gaz merceği ise normal pens gövdesinin yerini gecen torç gövdesine takılan türbülansı azaltmak ve koruyucu gazın daha uzun kesintisiz akış sağlamasında kullanılır.

Gaz nozulları farklı tip çap, şekil ve uzunluktan oluşan ısıya dayanıklı malzemelerden üretilen parçalardır. Nozullar torç kafasına monte edilir. Nozullar seramik, metal, cam veya diğer malzemelerden yapılmaktadır. En çok kullanılan seramik malzemeden olanıdır ancak kolay kırılmakta ve sık sık değiştirilmektedir (Beriş, 2012).

3.1.1.4.4.5. GTA kaynağında kullanılan gazlar

GTA tekniğinde kullanılan Inert gaz, kaynak esnasında, ısıdan etkisi altında bulunan bölgeyi ve diğer temel malzemeyi, atmosferde bulunan havanın zararlı etkilerinden korumak için kullanılır. GTA kaynağında koruyucu gaz olarak asal olan iki temel gaz kullanılır, bunlar helyum ve argon gazlarıdır. Argon gazının yoğunluğu daha yüksektir, helyum ise daha düşüktür. Bu neden ile helyum akış hızı argona göre iki ile üç katı ayarlanmalıdır. Kaynak esnasında kullanılan koruyucu gazın saflığı önemli olup bu saflık %99,995 seviyesinde olmalıdır (Beriş, 2012). Kaynak işlemi sırasında kullanılan koruyucu gazlar kaynak bölgesine bir ısı katkısında bulunmazlar ama ısı girdisinde ise bir derece etkilerler.

Bu yöntemde kullanılan koruyucu olarak asal gazlar ve bunların karışımı, kaynak esnasında ısı etkisi altında bulunan tungsten elektrot ve kaynak banyosu ile herhangi bir reaksiyon oluşturmaz ve iş parçasının kalitesine etki edecek bir olumsuzlukta bulunmamakta, kaynak hızına ve kaynak dikiş kalitesine önemli etkide bulunmaktadır (Gözütok, 2009). Tablo 3.1’de GTA kaynağında malzemenin cinsine göre kullanılan gazlar gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Malzeme özeliğine göre GTA kaynağında kullanılan gazlar (İnternet, TGS, 2012)

Karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin kaynağı için tavsiye edilen koruyucu gaz		Demir dışı metallerin kaynağı için tavsiye edilen gaz karışımları		Kök koruma için tavsiye edilen koruyucu gazlar		Paslanmaz çeliklerin (östenitik) kaynağı için tavsiye edilen koruyucu gazlar	
Kompozisyon	HABAŞ Gazı	Kompozisyon	HABAŞ Gazı	Kompozisyon	HABAŞ Gazı	Kompozisyon	HABAŞ Gazı
Ar	Saf Argon	Ar + He	ARK-25 ARK-50 ARK-75	N ₂ + H ₂	NH-5 NH-10 NH-18	Ar + H ₂	ARGOHİD-2 ARGOHİD-5 ARGOHİD-10 ARGOHİD-15
						Argon	Saf Argon
						Ar + He	ARK-25

3.1.1.4.4.1. Argon

Gazaltı yöntemiyle yapılan kaynaklarda kullanılan argon gazı tek atomlu renksiz, tatsız, kokusuz ve zehirli olmayan bir asal gazdır. Argon gazı atmosferde % 0,934 oranda bulunmasına karşın ekonomik bir gaz olup atmosferden temin edilmektedir. Havadan % 38 daha ağır olup kaynak banyosunu ve arkın kararlı olmasını sağlamaktadır. Özellikle yatay pozisyonundaki kaynak esnasında kaynak banyosu üzerinde etkili bir örtü oluşturarak kaynak iyi bir koruma görevi yapmaktadır. Düşük iyonizasyon enerjisine sahip olan argon gazının atmosferi altında ark tutuşması daha basit ve güvenilir olmaktadır.

Argon gazının en önemli avantajı akış hızının yüksek ve buna bağlı olarak arkın kararlı tutuşması ile ark voltajının düşük seviyede olmasıdır. Düşük voltaj sayesinde ince saçların birleştirilmesi esnasında yanık oluşmamaktadır. Argon gazı paslanmaz çelik kaynaklarında en çok tercih edilen bir gazdır (Tehçi, 2011).

3.1.1.4.4.5.2. Helyum

Helyum gazı havadan hafif ve gazların ayrıştırılmasıyla elde edilmektedir. Helyum gazı piyasaya doldurulmuş basınçlı tüplerle bulunur. Havadan hafif olmasından dolayı kaynak bölgesinden fazla tutunamayıp hızlı bir şekilde ayrılır. Bu nedenle gaz akış hızı yüksek olmalıdır. Helyum gazının dezavantajlarından biri de az bulunması ve argon gazına göre daha yüksek maliyete sahiptir.

Bu dezavantajına rağmen helyum gazı argona karşı avantajları ısıdan etkilendiği bölge daha küçüktür, yüksek Ark voltajına sahiptir, Bu sebeple daha kalın malzemelerin kaynağı için uygundur, hızlı kaynak yapmaya elverişlidir. Tavan kaynağı ile dik pozisyonundaki kaynak işlemi esnasında kaynak bölgesinde iyi koruma sağlar, dar alanların

kaynağında yüksek ısı girişi sağladığından derin bir nüfuziyete etkilemektedir (Güneş, 2020).

3.1.1.4.4.5.3. Argon-Helyum karışımı

Argon-Helyum karışımı genelde otomatik GTA kaynağı tekniği için kullanılır. Burada argon gazının dikiş kontrolü daha iyi sağlama özelliğinden, helyum gazının ise daha derin bir nüfuziyet etkisi nedeniyle kullanılmaktadır. Bir çok karışım oranları kullanılabilen bunlardan en çok kullanılan karışım oranlar %75 Helyum + %25 Argon veya %80 Helyum + %20 Argon'dur (Güneş, 2020).

3.1.1.4.4.5.4. Argon-Hidrojen karışımı

Argon gazının termal özelliğini geliştirmek için hidrojen gazı eklenmektedir. Argon gazına hidrojen eklenmesiyle kaynak hızı ve nüfuziyet artmaktadır. Bu özelliklerin yanında temiz ve kaliteli dikişler oluşmaktadır. Mekanize kaynak işlerinde, yüksek kaynak hızı istendiğinde Ar+H₂ karışımlı gazlar önerilmektedir. Ark sorunları en az olması için başlangıçta en fazla % 5 ila 15 hidrojen katılmaktadır. Bu karışım kullanma alanları bazı paslanmaz çelikler, nikel ve nikel alaşımlarını birleştirilmesinde kullanılır (Eşme, 2006; Tehçi, 2011).

3.1.1.4.4.5.5. Azot

Azot gazı genelde kullanılmayan nadir olarak tercih edilen koruyucu gazdır. İşlem sırasında ark voltajı ve amperi yükseltici özeliği vardır. Kaynak alanındaki ısı transferi diğer koruyucu gazlar olan helyum ve argona karşın daha yüksektir. Argonun bu özelliklerinden dolayı bakır ve alaşımlarının kaynağında tercih edilmektedir. İşlem sırasında ark kararlılığı azalır elektrot çabuk kirlenmekte nedeni ise azot gazı asal gaz grubunda değildir. Ancak toryumlu tungsten elektrotlarda bu sorun azaltılabilmektedir (Güneş, 2020).

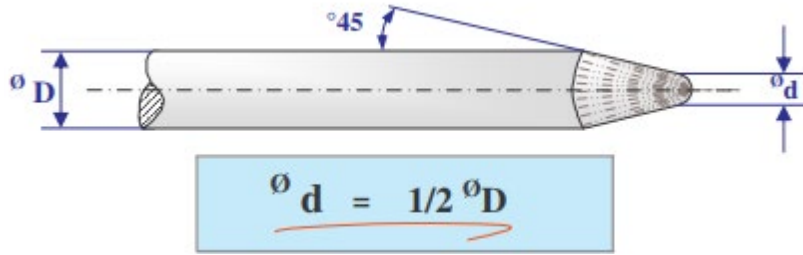
3.1.1.4.4.6. GTA kaynağında kullanılan elektrotlar

GTA kaynak tekniğinde elektrot seçimi, elektrotun yapısal özeliğine, çapına, taşlama açısına ve uç çapına özelliklerine bağlı olarak tercih edilmektedir. Elektrot yapısı ve geometrik şekli daha kısa ve daha uzun elektrot ömrünü, daha kolay ve daha zor ark başlangıcını, daha derin ve daha sığ kaynak yapısını, daha geniş ve daha dar ark

oluşumunu ve kaynak dikişini etkilemektedir. Bu GTA yönteminde tungsten elektrot kullanılmaktadır. Saf tungsten elektrot yüksek ısı direncine sahip olup füzyon noktası yaklaşık 3380°C'dir. Elektrotlar saf tungstenden yapılmakta veya seryum, lantan, toryum veya zirkonyum oksit ile alaşımlı elektrotlardır (Beriş, 2012).

3.1.1.4.4.6.1. Saf tungsten elektrotlar

Saf tungsten elektrot içerisinde en az %99,5 tungsten içermekte ve maliyetleri alaşımlı türlerine göre daha ucuzdur. AC akımda yapılan kaynaklarda, ısındığı vakit yuvarlak uç verecek şekilde iyi ark kararlılığı oluşmaktadır. Alüminyum ve magnezyum alaşımlarının AC akımda kaynaklarında iyi ark stabilizasyonu sağlamaktadır. Bu elektrotlar tipi diğer elektrotlar da olduğu gibi sivriltilmeyip çapına göre uçların yuvarlak şekil verilebilir. Şekil 3.13'te saf tungsten elektrotun taşlama ölçüsü verilmiştir (Uyguntürk, 2020).



Şekil 3.12. Yeşil renkli (Al vb. metaller için) tungsten elektrot bileme ölçüsü (Uyguntürk, 2020)

3.1.1.4.4.6.2. %2 Seryum alaşımlı elektrotlar

Seryum alaşımlı elektrotlar kaynak sırasında ark başlangıcı çok iyi olması nedeni ile seryum alaşımlı tungsten elektrotların kullanım alanları; çelik ve paslanmaz çelik, nikel alaşımları, titanyum parçalar, boru ve ince sac parçaların kaynatılmasında tercih edilmektedir. Bu elektrot DC akımda en iyi performans göstermekte aynı zamanda da AC akımda da kullanılabilirler. İçerisinde en az %97,30 tungsten ve %1,8 – 2.2 arası Se içermektedir (Uyguntürk, 2020).

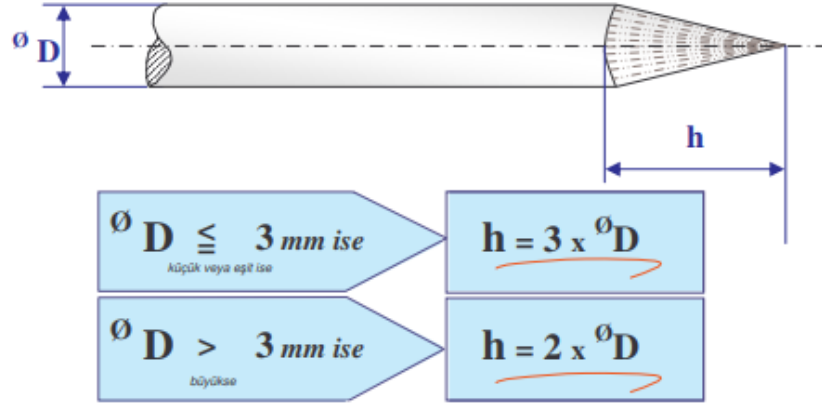
3.1.1.4.4.6.3. %2 Lantan alaşımlı elektrotlar

Yapısında % 1,5 ve % 2 lantan oranında bulunan alaşımlı bu elektrotlar, düşük akım da bile çok iyi bir ark başlangıcı oluşmaktadır. Bu elektrotlar önemli yerlerde tercih edilmekte olup örneğin havacılık sanayi alanlar, %2 Lantan alaşımlı elektrot, %2 toryum alaşımlı tungsten elektrotların yerine de kullanılabilir. Her iki elektrot da çelik ve

paslanmaz çelik, Nikel, Titanyum ve Alüminyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılabilir (Uyguntürk, 2020).

3.1.1.4.4.6.4. %2 Toryum alaşımlı elektrotlar

Yapısında %2 toryum bulunan alaşımlı bu elektrotlar etkili bir ark başlangıcı ve yüksek akım yüklenme kapasitesi oluşmaktadır. Elektrotlar yapısında en az %97,3 tungsten ve %1,7-%2,2 arası toryum bulunduran bu elektrotlar, düşük tüketim oranı kaynak metali kirlenmesini engellemektedir. Bu elektrotların dezavantajı radyoaktif yayması ile birlikte insan sağlığı açısından zararlı olmasıdır. %2 toryum alaşımlı elektrotlar, saf tungsten elektrotların aksine çaplarına göre farklı açılarda ve boylamasına bilinmektedir. Şekil 3.14'te %2 toryum alaşımlı elektrotun bileme ölçüsü verilmiştir (Uyguntürk, 2020).



Şekil 3.13. Kırmızı renkli (Toryum alaşımlı) tungsten elektrot bileme ölçüsü (Uyguntürk, 2020)

3.1.1.4.4.6.5. Zirkonyum alaşımlı elektrotlar

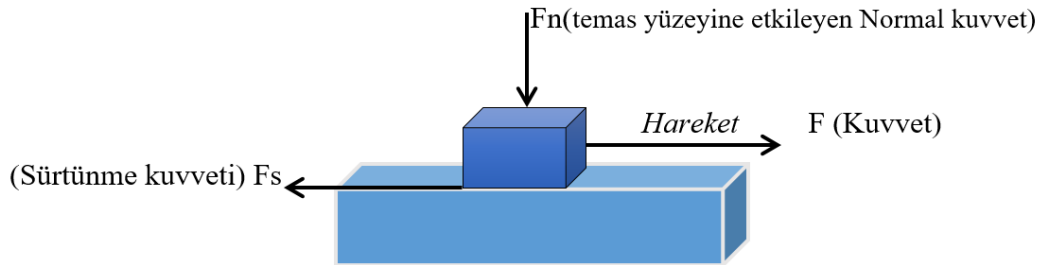
Zirkonyum alaşımlı elektrotlar genellikle Alüminyum ve Magnezyum alaşımlarının birleştirilmesinde kullanılmaktadır. Yapısında %98,6 tungsten ve %0,7-0,9 Zi içeren bu elektrotlar, AC (alternatif akım) da basit bir şekilde yuvarlak uç oluşmaktadır. Zirkonyum alaşımlı tungsten elektrotlar diğer elektrotlar ile karşılaştırıldığında, kırılmadan en yüksek akım yüklenme kapasitesine sahiptir. Bu nedenle kaynak metaline çok az tungsten geçişini bu elektrotlar yapmaktadır. Aynı zamanda bu elektrotlar ark kararlılıkları iyi ve güvenli bir ark başlangıcı sağlamaktadır (Uyguntürk, 2020).

3.2. Triboloji

Birbirine temas halinde olan malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen etkileşimleri ve yüzey özelliklerini inceleyen ve bu yüzeylerin geliştirilmesini araştıran bilim ve teknolojiye dalına triboloji denir. Aynı zamanda Malzeme ve Makine Mühendislikleri gibi iki bilimi bir araya getirmek ve birbiri içine alan bir bilimdir. Bu bilimin amacı yüzey teması sonucu yüzeyde meydana gelen sürtünme ve aşınmayı azaltmaktır. Bazı durumlarda sürtünme istenilirken örneğin fren balatasında yüksek sürtünme, aşınmanın ise az olması istenilir, ters durumlarda istenildiği gibi her iki durumun istendiği silginin kullanımı gibi durumlarda vardır (Kaya, 2016).

3.2.1. Sürtünme

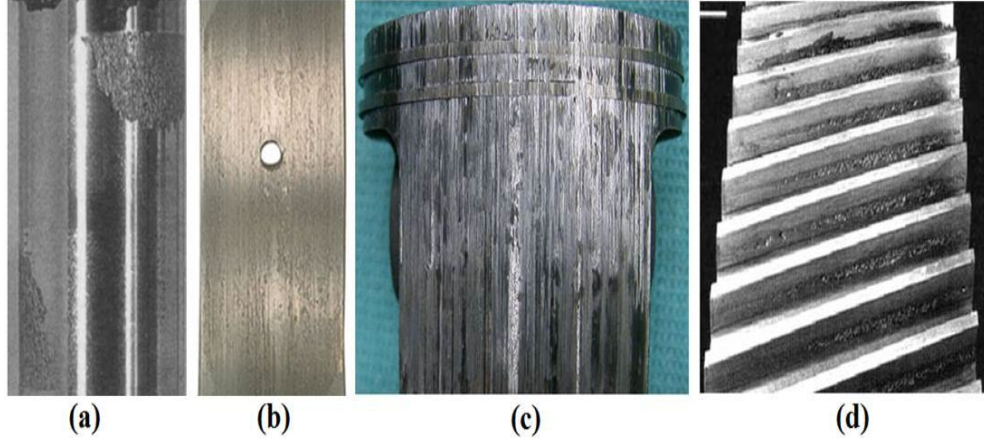
Birbirine temas halinde olan malzemelerin birinin diğer malzeme üzerinde yuvarlanma veya kayma hareketleri sonucu karşı malzemenin göstermiş olduğu dirence sürtünme denilmektedir (Tomris, 2018). Birbirlerine temas eden şekil 3.15'teki gibi iki malzemedan birinin F kuvveti yardımı ile kaydırma hareketi uygulayarak hareket ettirilmesi esnasında temas yüzeyinde sürtünme kuvveti direnci oluşmakta olduğunu gösterir (Şekil 3.15) (Şerbetçi, 2019).



Şekil 3.15. Sürtünme kuvvetinin oluşumunu gösterir (Tomris, 2018)

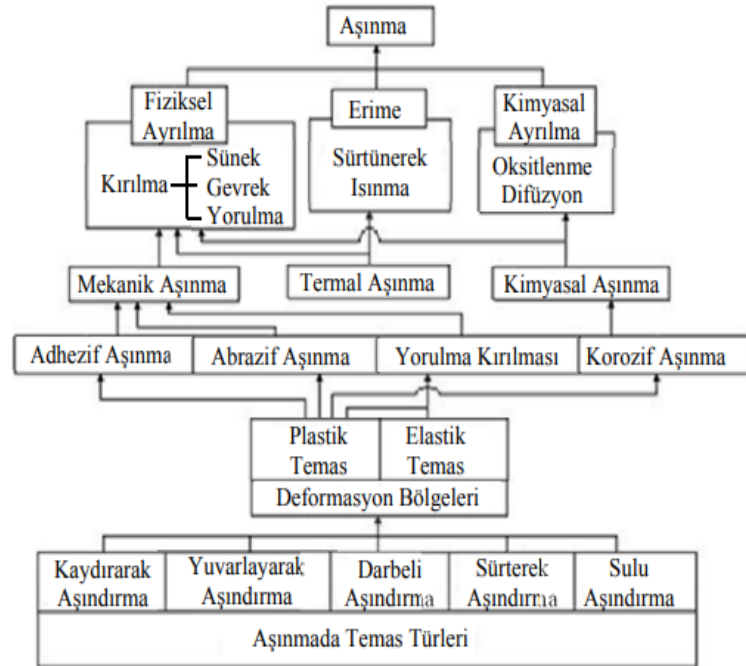
3.2.2. Aşınma

Temas halinde bulunan malzemelerin temas yüzeyleri arasında mekanik etkileşim sonucu artarak devam eden malzeme kayıplarına aşınma denilmektedir. Bu kayıplar yüzeyde meydana geldiğinden aşınma sonucu parçacıkların oluşmasına, malzemeler arası geçişlere veya yüzeyde yorulma hasarına neden olmaktadır (Koç, 2017). Şekil 3.16'da malzeme yüzeyinde oluşan hasarlar görülmektedir.



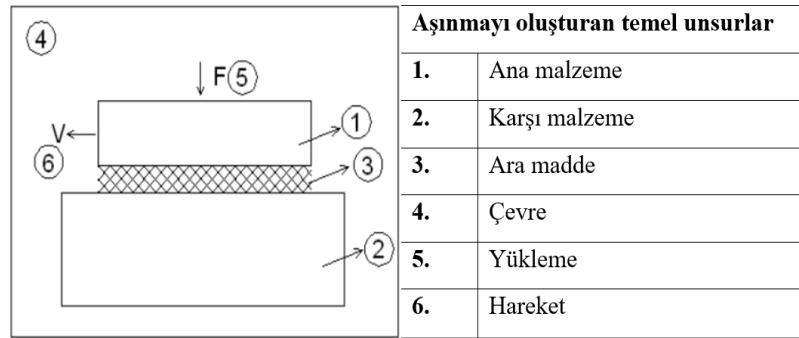
Şekil 3.16. Aşınma izleri; (a) mil, (b) yatak, (c) piston, (d) dişli çark (Varol, 2016)

Malzemenin katı yüzey temas bölgelerinde, malzeme kayıpları üç farklı şekilde meydana gelmektedir (Şekil 3.17). Kimyasal çözülme, temas bölgesinde erimeler ve yüzeyde meydana gelen fiziksel kopmalar ya da ayrılmalar olarak sınıflandırılabilir (Büyükfırat, 2019).



Şekil 3.17. Aşınma terimleri ve temas tipleri (Büyükfırat, 2019)

Şekil 3.18’de aşınmayı oluşturan temel unsurların ana malzeme, karşı malzeme, ara malzeme, çevre, yükleme ve hareketten meydana geldiği görülmektedir. Aşınmayı etkileyen faktörler Tablo 3.2’de belirtilen tercihler etkilemektedir.



Şekil 3.18. Aşınmayı oluşturan temel unsurlar (Şerbetçi, 2019)

Tablo 3.2. Aşınmayı etkileyen faktörler (Şerbetçi, 2019)

Aşınmayı Etkileyen Faktörler	
1.	Malzeme seçimi
2.	Sürtünme
3.	Yüzeye uygulanan yük
4.	Sürtünme mesafesi
5.	Yüzey sertliği
6.	Yüzey pürüzlülüğü
7.	Yağlama

3.2.2.1. Aşınma zaman ilişkisi

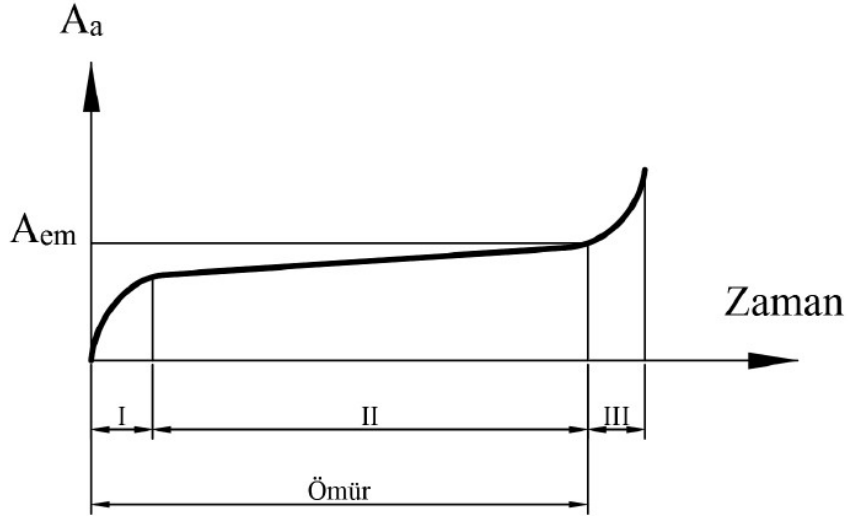
Aşınmanın zaman ile bağlantısı Şekil 3.19’da görüldüğü gibi üç aşamadan ibarettir;

I. bölge makinenin ilk çalıştırılma safhasıdır. Bu esnada parçalar birbiri ile temasa geçer. Bu etkileşim sonucunda şiddetli bir aşınma meydana gelir. Rodaj adı verilen bu aşamada parçalar birbirine alıştırılır. Bu aşamada meydana gelen aşınma parçaların bir sonraki aşınma sürecini etkileyeceğinden rodaj işlemi iyi yapıp sürenin ise kısa tutulması önemlidir.

II. bölgede makinenin çalışması devam etmekte ve parçalar arası temas alanında aşınma meydana gelmektedir. Bu aşınma parça ömürlerinin tespiti için önemlidir. Bu bölge aşınma doğal seyrinde devam etmektedir.

III. bölgede olan aşınma artışı oldukça hızlıdır ve parçalar kullanılamaz duruma gelir.

Bu aşama şiddetli aşınma olarak tanımlanmaktadır (Budak, 2016).



Şekil 3.19. Aşınmanın zamana bağlı değişimi (İnternet, İnsapedia,2023)

3.2.2.2. Aşınma mekanizmaları

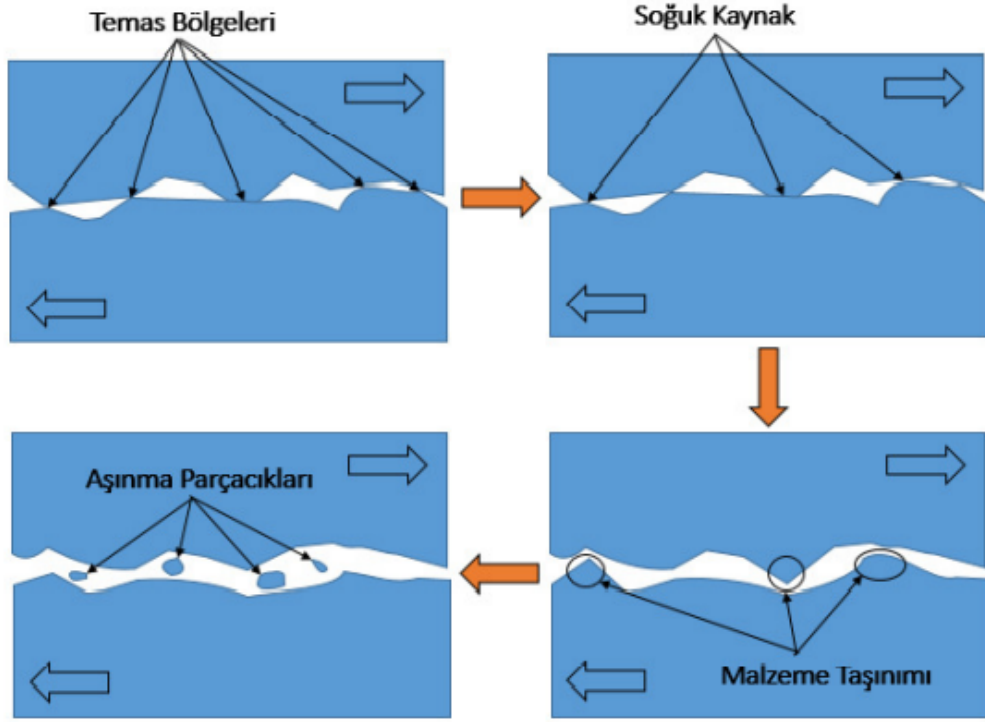
Aşınma mekanizmaları birbirine temas eden iki cisimin temas süresince, yüzey özelliklerinin birbirlerini nasıl etkileyeceğini belirler. Bu aşınma mekanizmaları fiziksel, kimyasal ve mekanik etkileşim sonucu oluşur (Akkaya, 2019).

En çok karşılaşılan 5 farklı aşınma şekli aşağıda verilmiştir. sınıflandırılmıştır.

1. Adheziv Aşınma
2. Abrazif Aşınma
3. Eroziv Aşınma
4. Koroziv Aşınma
5. Yorulma Aşınma

3.2.2.2.1. Adheziv aşınma

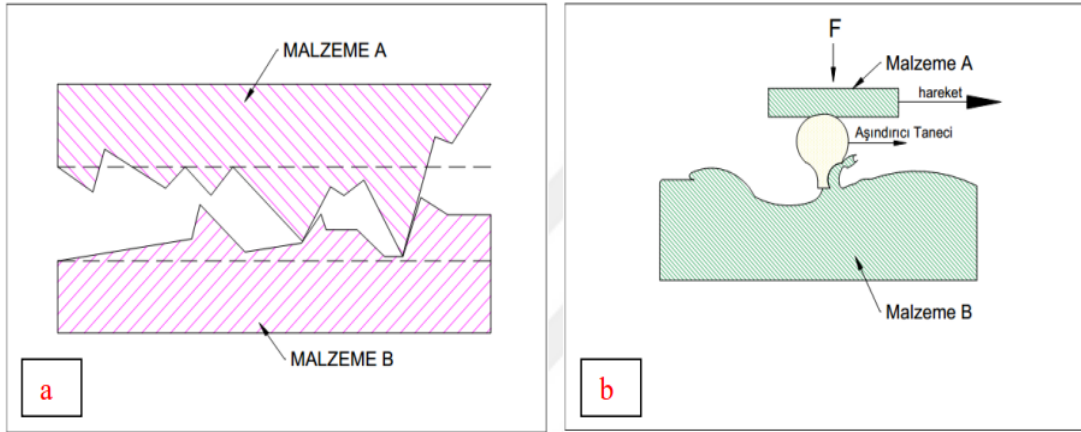
Adhezif aşınma, parçaların birbiriyle kayma sürtünmesi yaptığı, metalin metal ile teması sonucu ortaya çıkan bir aşınma türüdür (Şekil 3.20). Basınç etkisi altında bir araya getirilen malzeme yüzeyleri karşılıklı pürüzler, sürtünme ile meydana gelen ısı ve soğuk kaynaklaşma etkisi sonucu birbirlerine bağ yaparlar. Yüzeylerin birbirlerine bağımlı olarak teğetsel hareketi, bağ kuvvetinin en zayıf olan noktadan kopmalara neden olmaktadır (Uçurum, 2020).



Şekil 3.20. Adhesiv aşınma (Akkaya, 2019).

3.2.2.2.2. Abrasif aşınma

Abrasif aşınma; birbiri ile temas halinde ve eş hareket eden iki farklı malzemenin yapısında hızlı ve büyük çapta hasar meydana gelme ihtimali bulunan önemli bir aşınma türüdür. Bu aşınma türüne çizilme veya yırtılma aşınması da denmektedir. Abrasif aşınma mekanizması genelde malzeme yüzeyinde kendisinden sertliği daha fazla olan parçacıklarla yüksek basın altında etkileşmesi sonucu malzeme yüzeyinde parçacık kaldırması ile sonuçlanmaktadır (Akkaya, 2019). İki tür malzeme arasında geçen sürtünen vb. şekillerdeki malzemelerin, direkt olarak karşılıklı temasları sonucunda meydana gelen abrasif aşınmaya iki elemanlı abrasiv aşınma denir (Şekil 3.21a). İki malzeme arasında ara yüzeyinde malzemeyi çizerek tahrip eden sert taneciklerde bulunuyorsa bu tip aşınmaya üç elemanlı abrasif aşınma denir (Şekil 3.21b) (Budak, 2016).

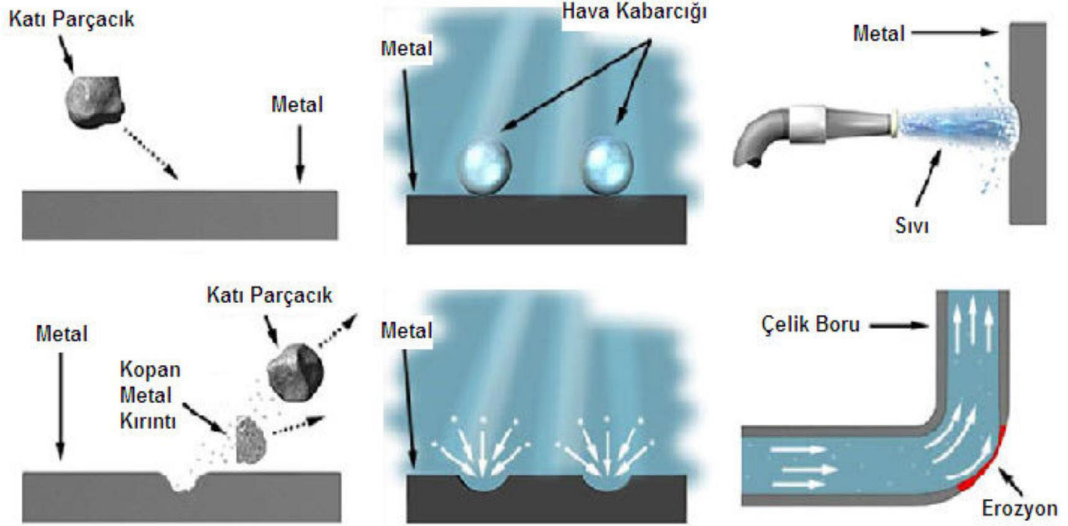


Şekil 3.21. a) İki cisimli abrazif aşınma b) Üç cisimli abrazif aşınma (Uçurum, 2020).

Endüstriyel makinelerdeki üzerinde en önemli aşınma tipi olan abrasif aşınma genel olarak cevher ve öğütme tesislerinde, eleklerde, değirmenlerde, ziraat aletleri, greyder iş makinelerinin bıçak ve tırnak kısımlarında görülmektedir (İnternet, Silo Tıps, 2023).

3.2.2.2.3. Erozif aşınma

Bir akışkan da bulunan aşındırıcı partiküllerin yüksek hızla hareket etmekte olan sıvı damlacıkları veya gaz kabarcıkları ile bir cismin yüzeyine çarpması sonucu meydana gelen aşınma erozif aşınma olarak tanımlanır (Şekil 3.22). Sıvılar ve gazlar akış sırasında temas halinde oldukları malzemenin sınır yüzeylerine çarparak yüzeyden parçacıklar koparıp hareketlerine devam ederler. Bu esnada aşınma meydana gelir. Ancak akış hareketi esnasında girdaplı yapı oluşursa aşınma daha hızlı olur. Bu aşınma türüne en çok pompalar, pervaneler, fanlar, nozullar, boru ve tüplerin dirsek kısmında rastlanılmaktadır (Varol, 2016).



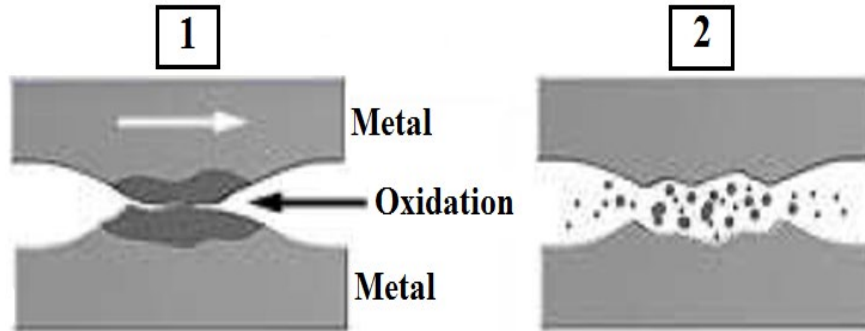
Şekil 3.22. Erozyon aşınması türleri (Aykan, 2018)

Erozif aşınmayı etkileyen faktörler;

1. Parçacıkların şekli
2. Parçacık boyutu ve sertliği
3. Hız
4. Sıcaklıktır (Uyar, 2019).

3.2.2.2.4. Koroziif aşınma

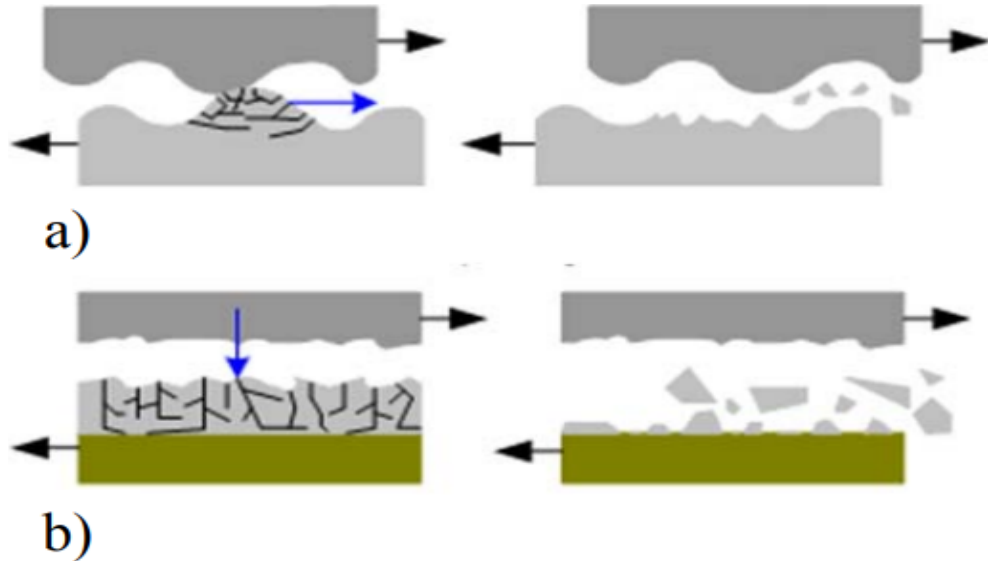
Koroziif aşınma; çalışma ortamından kaynaklı malzeme yüzeyi ile yaptığı etkileşim sonucu ortaya çıkan aşınma türüne denir (Şekil 3.23). Bu aşınmada ortamdan kaynaklı nem, su, hava ve yağlayıcı etkenlerden dolayı malzeme yüzeyinde korozyon ortaya çıkar. Bu korozyon ara yüzeyde olması ve uzaklaştırılmaması sonucu abraziif etkilere bağlı aşınmalar oluşur. Malzeme yüzeyindeki koroziif etkilere korumak için ortamdan kaynaklı ve yüzeyde kimyasal etkilere neden olacak su ve yağ etkenleri uzak tutulmalıdır. Koroziif aşınmayı önlemek için yağlayıcı olarak oksidasyonu engelleyici özelliği olan molibden disülfid gibi yağlayıcılar kullanılmalıdır (Özkaya, 2019).



Şekil 3.23. Koroziif aşınma (Varol, 2016)

3.2.2.2.5. Yorulma aşınması

Yorulma aşınması; belirli bir sayıdaki titreşimin tekrarlanması sonucu meydana gelmektedir. Yorulma aşınması sürtünme sırasında ortaya çıkan gerilimler sonucunda meydana gelen kırılmalar ile oluşur. Tribolojik olaylar genel olarak malzeme yüzeyinde görülen, boyutu zamana ve konuma göre farklılık gösteren mekanik gerilmeler neticesi meydana geldiğinden dolayı yorulma aşınması pek çok aşınma prosesinde görülür. Bu aşınma sonucunda, malzeme yüzeyinde mikro çatlaklar meydana gelir. Deformasyona sebep olan bu etkinin sonucunda malzemenin temas yüzeyinde aşınma parçacıklarının kopmasına, çukur ve oyukların oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 3.24) (Uçurum, 2020).



Şekil 3.24. Yorulma aşınmasının şematik gösterilişi. a) Kuvvet ile hareketin aynı yönde olduğu hal, b) Kuvvetin yüzeye dik olduğu hal (Büyükfırat, 2019)

3.3. Çelik

3.3.1. Çeliğin tanımı, yapısı ve özellikleri

Demir ve karbon alaşımından meydana gelen ve içerisinde %0,2 ile %2,1 değişik miktarlarda karbon bulunduran demir karbon birleşimine çelik denir (K. Kara, 2014). Çelik ile demir elementi arasında çok az miktarda bir fark vardır. Saf demirin özelliği bir bakır kadar yumuşak olmasıdır. Bu nedenle içerisine yaklaşık olarak yüzde 2'ye kadar karbon katılmasıyla yüksek bir mukavemet, sertlik ve mekanik özellikler elde edilir. Demirin bol miktarda olması, kolay ve uygun maliyetle elde edilmesi çeliğin kullanımını çok yaygınlaştırmıştır (Dokuzlar, 2018).

Son gelişen teknoloji ile birlikte birçok alanda yeni malzeme üretilmesine karşın Dünya’da en yaygın kullanım alanı bulunan mühendislik malzemesi halen çeliktir. Nedeni ise dayanımı, darbe dayanımı ve tokluğunun yüksek olması gibi özellikleridir. Binaların taşıma sistemlerinde, gemi inşasında, otomobil parçalarında, makine üretiminde, sanayi sektörünün birçok alanında çelik malzemeler tercih edilmektedir (Taşlıyan, 2020).

Çeliğin birçok alanda tercih edilmesi nedenleri ise kimyasal yapısından dolayı kaynak prosesleri için uygun bir malzeme olmasıdır. Demire kıyasla daha hafif ve serttir. Isıl işlem ile birlikte fiziksel, mekanik ve elektriksel özellikler kazandırılabilir. Çelik malzemesinin yüksek sıcaklıklarda sertliği artırılabilir gibi dayanımı da artırılabilir bilinmektedir. Çeliğe ısıl işlem altında presleme, dövme ve haddeleme teknikleri uygulanarak istenilen şekle getirilmektedir (Köksal, 2021).

Demir elementi içinde %3-%5 oranında karbon ve malzemenin özelliğini olumsuz olarak etkileyecek oranda mangan, silisyum, fosfor ve kükürt gibi elementler bulunmaktadır (Tablo 3.3). Malzemenin içinde yüksek miktarlarda karbon ve diğer elementlerin bulunması malzemeyi dayanıksız ve kırılgan bir yapıya dönüştürür. Bu tip malzemelerde bazı durumlarda kırılma meydana geldiğinden şekillendirmeye elverişli değildir. Demir elementinin olumsuz özelliklerini iyileştirmek için içerisinde zararlı etkene sahip elementlerin kimyasal olarak ayrıştırılması gerekmektedir (Kesti, 2009).

Tablo 3.3. Ham demir ve çeliğin kimyasal bileşimleri (Kesti, 2009)

Elementler	%C	%Si	%Mn	%P	%S
Ham Demir	3,60	0,40	0,60	1,90	0,05
Çelik	0,17	0,20	0,20	0,03	0,03

3.3.2. Çeliklerin sınıflandırılması

Çeliklerin birçok türü bulunmaktadır bu türleri içinde birkaç sınıflandırma yapılabilir, ancak çeliklerin sınıflandırmasında kesin bir sınır bulunmamaktadır. Çelik kimyasal bileşimine göre alaşımlı ve alaşımsız olarak üzere ikiye ayrılır (Karabayrak, 2017).

3.3.2.1. Alaşımsız çelikler

Alaşımsız çelikler, kimyasal bileşiminde karbon elementine ilaveten sınırlı miktarları geçmeyen elementler dışında element bulundurmeyen çeliklerdir. Alaşımsız

Çeliklerin yapısında bulunan elementlerin st sınırları %0,5 silisyum, %0,8 mangan, %0,1 alüminyum, %0,25 bakır, %0,09 fosfor ve %0,06 kükürttür.

Alaşımsız elikler yapısındaki karbon miktarına göre e ayrılırlar;

1. Düşük Karbonlu elikler %0,05 C – 0,3 C
2. Orta Karbonlu elikler %0,3 C- 0,8 C
3. Yüksek Karbonlu elikler %0,8 C- 1,7 C içermektedir (Taşlıyan, 2020).

3.3.2.1.1. Düşük karbonlu elikler

Yapısında %0,05 C – 0,3 C arasında karbon bulunduran düşük karbonlu çeliklerdir. Bu elik sınıfı gğunluğunu sac veya şerit gibi düz haddelenmiş malzemelerden oluşturmaktadır. Kimyasal yapısında az miktarda karbon içerdiklerinden şekillenmesi kolaydır. Diğerk elik türlerine göre geniş kullanım alanına sahip en gök tercih edilen düşük karbonlu bu çelikler biraz yumuşak ve düşük dayanımı yanında yüksek süneklik ve tokluk özeliğine sahiplerdir. Aynı zamanda talaşlı üretim ve kaynak işlemlerinde olumlu özellikler sergilenmektedirler. Diğerk tür çeliklere nazaran daha düşük maliyetlerde üretilmektedir. Sanayii alanında otomotiv üretiminde ve gşitli mühendislik yapıların üretilmesinde kullanılmaktadır (Karabayrak, 2017; Taşlıyan, 2020).

3.3.2.1.2. Orta karbonlu elikler

Yapısında %0,3 C – 0,8 C arasında karbon bulunduran orta karbonlu çeliklerdir. Bu eliklerin yapısındaki karbon oranı arttığından, düşük karbonlu çeliklere nispeten daha serttirler. Bu çeliklere sınıfına ısıl işlem uygulanarak mekanik özellikleri geliştirmek mümkündür. şaftlar, akslar, dişliler, krank mili gibi malzemelerin imalatında orta karbonlu çelikler tercih edilmektedir (Karabayrak, 2017; Taşlıyan, 2020).

3.3.2.1.3. Yüksek karbonlu elikler

Yapısında %0,8 C – 1,7 C arasında karbon bulunduran yüksek karbonlu çeliklerdir. Bu eliklerin yapısında karbon miktarı artıkça sertliğı artmaktadır. Alaşımsız elikler arasında dayanıklılığı yüksek ve düşük sünekliğe sahiptir. Kullanım alanları bazı el aletleri, yay ve yüksek mukavemete sahip olması gereken teller gibi malzemelerin imalatında kullanılmaktadır (Karabayrak, 2017; Taşlıyan, 2020).

3.3.2.2. Alaşımlı çelikler

Sade karbonlu çeliklere alaşım elementlerin ilave edilmesi ile elde edilen yeni malzemelere alaşımlı çelikler denir. Bu çeliğin üretilmesiyle alaşımsız sade karbonlu çeliklerin bir kısım dezavantajlarını azaltarak çeliğin yapısal özelliğine olumlu katkı sağladığından kullanım alanı genişlemiştir. Çeliklere alaşım elementleri eklenmesiyle sade karbonlu çelikler ile elde edilmeyen yüksek mukavemet ve sertliğin bir arada olduğu malzemeler üretilmektedir. Bu nedenlerden dolayı sade karbonlu veya alaşımsız çeliklere nikel, krom, molibden, mangan, silisyum, volfram, vanadyum ve bazı durumlarda kobalt, bakır ve kurşun elementleri eklenerek alaşımlı çelikler üretilmektedir (Kesti, 2009).

Alaşımlı çelikler az alaşımlı ve yüksek alaşımlı olmak üzere iki grupta sınıflandırılır. Yapılarında bulunan alaşım miktarına göre ayrışır, alaşım element miktarı %5'den düşük az alaşımlı, alaşım elementi miktarı %5 ve daha yüksek olan çeliklere de yüksek alaşımlı çelikler olarak tanımlanır (Taşlıyan, 2020).

3.3.2.2.1. Alaşım elementlerinin çeliğe etkisi

Çeliğin yapısal özelliğini iyileştirmek amacıyla çeliğin imalatı esnasında çeliğe belli oranlarda bilinçli olarak eklenen elementlere alaşım elementleri denilmektedir (Tablo 3.4) (Taşlıyan, 2020).

Tablo 3.4. Çeliklerin alaşımlı sayılabilmesi için içerebilecekleri element miktarlarının alt sınır değerleri (Dokuzlar, 2018).

Element	Alt Sınır (% Ağırlık)	Element	Alt Sınır (% Ağırlık)
Alüminyum	0.10	Mangan	1.60
Bakır	0.40	Molibden	0.08
Bor	0.0008	Nikel	0.30
Bizmut	0.10	Niyobyum	0.05
Kobalt	0.10	Selenyum	0.10
Krom	0.30	Silisyum	0.10
Kurşun	0.40	Tellür	0.10
Lantanitler	0.05	Titanyum	0.05
Vanadyum	0.10	Volfram	0.10

Zirkonyum	0.05		Diğerleri (Karbon, fosfor, kükürt, azot ve oksijen dışında)	0.05
-----------	------	--	---	------

Çeliğe Tablo 3.5’te belirtilen alaşım elamanı eklenmesiyle önemli özellikler kazandırılmaktadır. Bunlar;

1-Kalın parçalarda derinlemesine sertleştirme yapılabilmekte, alaşımsız çeliklerde tüm yüzey boyunca martenzitik bir yapının oluşması için çeliğin hızlı soğutma yapılmalıdır.

2-Bu durumda malzemenin çarpılma ve çatlama riski artmaktadır. Bu sorun alaşımlı çeliklerde yaşanmamakta olup martenzitik yapının oluşması için havada ve yağda bile soğutulması yeterlidir.

3- Alaşımlama işlemiyle bir kısım çeliklerin darbeye karşı dayanımı önemli ölçüde artmaktadır.

4- Alaşımsız çeliklerin korozyon dirençleri zayıftır. Yüksek sıcaklıklarda oksitlenir ve korozyona maruz kalmaktadırlar, alaşımlama ile korozyon dirençleri artırılabilir.

5- Alaşımlı çelikler düşük ve yüksek sıcaklığa maruziyetlerinde mekanik özelliklerini korurlar.

6- Bazı alaşım elementlerin katkısıyla alaşımlı çelikler abrasif aşınma ve yorulma dayanımları artırılabilir.

Bu özellikler yanında çeliğe alaşım eklenerek manyetik geçirgenliği veya manyetik gücü yükseltmek mümkündür (Ulutan, 2007).

Tablo 3.5. Çelikler üzerinde alaşım elementlerinin etkisi (Karabayrak, 2017).

Alaşım elementi	Sertlik	Mukavemet	Akma noktası	Yüzde uzama	Kesit daralması	Darbe direnci	Elastisite	Yüksek sıcaklık dayanımı	Soğutma 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			

3.3.2.2.1.1. Karbon ve grafit

Çelik yapısının asıl elementi karbondur, karbon çeliğin imalatı sırasında yapı içerisinde bulunur, karbon malzemenin mekanik özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Bu element, çeliğin akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı, şekil verilme özeliği ve kaynak kabiliyetini azaltmaktadır (Ayvacı, 2019). Demirin kimyasal yapısında Fe_3C halinde bulunur. Malzemenin ihtiyaç duyduğu özelliklerine göre alaşımlandırma oranı değişmektedir. Bir malzemede yüksek dayanım özeliğine ihtiyaç duyulduğunda bileşimdeki karbon oranı artırılır, işlenme özeliğine ihtiyaç duyulduğunda karbondan oranı düşük olması istenilir (Toptop, 2011). Grafit ya da grafitik karbon, dökme demir veya çelikte serbest karbondur. Karbon şekilsiz ve belli bir formu yoktur (K.Kara, 2014).

Grafit en yumuşak malzemelerden biri olarak bilinmektedir. Karbonun farklı bir oluşumu olup ve özellikle yağlama amacıyla kullanılmaktadır. Grafit doğal bir yapıda doğada bulunmaktadır. Grafit, ısı iletkenlik ile elektriksel özelliği iyi olan bir malzemedir (Köksal, 2021).

3.3.2.2.1.2. Silisyum (Si)

Alaşım sız çeliklerin çoğunda silisyum miktarı %0,05-0,3 arasındadır. Silisyum elementi çelikte sünekliliği fazla düşürmeden mukavemeti artırmaktadır. Aynı zaman da silisyum dioksit (SiO_2) oluşturarak sıvı çelikte bulunan oksijeni büyük oranda alır. Çeliğin kalitesi artar. Çeliğin yapısındaki silisyum miktarının artması ile çeliğin tane büyüklüğü artar (Taşlıyan, 2020).

3.3.2.2.1.3. Mangan (Mn)

Mangan elementi çeliğin sünekliliğini azaltarak, aşınma direncini artırır. Mangan çeliğin dövülebilme özelliğine katkı sağladığı gibi kaynak kabiliyetini de olumsuz yönde etkilememektedir. Manganın olumlu yöndeki etkisi karbon miktarının artmasıyla birlikte artış gösterir. Mangan elementi tüm ticari karbon çeliklerinde %0,03 ile %1,00 miktarları arasında bulunarak kükürdün giderilmesinde olumlu etki gösterir ve ergimiş çelikte deoksidan olarak görev yapar (Karabayrak, 2017).

3.3.2.2.1.4. Krom (Cr)

Krom elementin katkısı ile çelikte sertleşme derinliğini ciddi oranda etkilemektedir. Krom'un kuvvetli karbür yapıcı özeliğinden dolayı, çeliğin sertliğini ve aşınma dayanımı gibi özelliklerine olumlu yönde katkı yapmaktadır. Bu özelliklerin yanında en bilinen çeliğe katkısı paslanmaya karşı dayanımı artırmaktadır. Bu tip çeliklere paslanmaz çelik olarak tabir edilmektedir (Ayvacı, 2019).

3.3.2.2.1.5. Nikel (Ni)

Nikel genelde krom ile birlikte kullanılmakta, çeliğe olumlu olarak paslanma, korozyon, kimyasal maddeler, yüksek sıcak, darbelere karşı direnç ve elastikiyet kazandırmaktadır. Aynı zamanda nikel katkılı yapı çelikleri, yüksek sertleşe bilirlilik ve yüksek yorulma direnci gösterir (Karabayrak, 2017). Soğuk iş takım çeliklerinde parlata-

bilirliği arttırmak amacıyla nikel ilavesi yapılmaktadır. Nikel katkısı mekanik olarak tokluk ve tavlı çeliklerde dayanımı artırıcı etki sergilemektedir (Toptop, 2011).

3.3.2.2.1.6. Alüminyum (Al)

elik imalatında deoksidasyon işlemi ortamdan kaynaklı oksijeni uzaklaştırma işlemidir. Alüminyum elementinin kuvvetli bir deoksidan özeliği bulunmakta ve uygulamalarda bu özeliği kullanılmaktadır. mikromekanik özellikler saf alüminyumda düşük olup çinko, magnezyum, bakır, mangan, silisyum elementlerin ilavesiyle bu özelliğine olumlu katkı sağlamaktadır. eliklerde alüminyum alaşımları yüksek dayanım ve düşük ağırlık istendiği durumlarda tercih edilmektedir. Ağırlık ve dayanımın önemli olduğu uzay ve uçak araçların imalatında tercih edilmektedir (Ayvacı, 2019).

3.3.2.2.1.7. Vanadyum (V)

Vanadyum elementinin katkısı ile oluşan alaşımlı çelikte sıcağa karşı direnci artmaktadır (Ayvacı, 2019). Vanadyum katkısı ile çeliğin sertleşmesi artar. Ayrıca tane küçültme etkisine sahip olup darbeye karşı direnci yüksektir (Karabayrak, 2017). Çeliğin yapısında VN, VC ve VC (N) çökeltilerini oluşturur, bu çökeltiler östenit yapı içerisinde çözünmeleri Fe_3C 'den daha zordur. Bu etki nedeniyle, sertleştirme sıcaklığı $1250\text{ }^{\circ}C$ 'dir. Vanadyum katkılı elik yaklaşık $600\text{ }^{\circ}C$ sıcaklığa kadar ki tavlamalara karşı dayanıklıdır. Menevişleme tavlaması sırasında sertliğin çok düşmesine Fe_3C 'nin ayrışması sebep olur (Ayvacı 2019). Vanadyum kuvvetli karbür yapıcı özeliği olduğundan, sıcağa ve aşınmaya karşı dayanımı arttırmak için takım çeliklerinde vanadyuma ek olarak volfram, sıcağa dirençli çelikler için vanadyuma ek olarak krom ile birlikte daha iyi sonuç vermektedir (Karabayrak 2017).

3.3.2.2.1.8. Kobalt (Co)

Kobalt, alaşımlı takım çelikleri gibi malzemelerde kullanılan bir elementtir. Takım eliklerinin ısı karşısında sertliğini muhafaza etmesi sağlar. Genel de yüksek hız takım çeliklerinde, krom elementinin bu özelliğinden yararlanılmaktadır (Toptop, 2011).

3.3.2.2.1.9. Molibden (Mo)

Molibden elementi genelde krom ile birlikte kullanılmakta, çeliğin yüksek ısıya karşı direncini, çekme dayanımı ve sertleşebilirliğini artırmaktadır. Molibden katkısı ile

alaşımli çeliğin kaynak kabiliyetine olumlu katkı sağlarken dövülebilirlik özeliği azaltmaktadır (Karabayrak, 2017). Çeliklerin sürünme direnci ile ısıl iletkenliğini yükseltmesi sebebiyle sıcak iş takım çeliklerinde genelde kullanılan bir elementtir. Molibden paslanmaz çeliklerde kullanımında özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon dayanımını önemli derecede artırır (Toptop, 2011).

3.3.2.2.1.10. Kükürt (S)

Kükürt çelik yapısında genelde %0,05'in altında tutulmaktadır. Demir sülfür (FeS) kükürt ile demirin birleşimi ile oluşur. FeS bileşiği de demir ile birlikte ergime derecesi düşük olan bir ötektik alaşım meydana getirmektedir. Bu alaşım çeliğin tane sınırlarında daha çok toplanır. Kükürt içeren çelikler sıcak dövme sırasında veya haddeleme işleminde tane sınırındaki ötektik alaşım ergir. Bu ergimeyle taneler arasındaki bağlar kopar ve çelikte çatlama oluşmasına neden olur. Meydana gelen bu olaya sıcak yırtılma veya sıcak gevreklik denir. Çeliğe eklenen kükürt miktarının artırılması talaşlı işlemleri kolaylaştırmakta ve takımın aşınmasını engellemektedir. Kükürtün çelik üzerindeki olumsuz etkileri darbe dayanımını azaltır ve kaynaklana bilirliğini düşürür (Taşlayan, 2020).

3.3.2.2.1.11. Fosfor (P)

Çeliklerde bulunan fosfor miktarı genelde %0,04 değerini geçmemektedir. Düşük oranlardaki fosfor elementinin ferrit içerisinde çözünmesiyle çeliğin sertlik ve mukavemet özelliğini bir miktar iyileştirir. Ancak yüksek miktarlardaki fosfor, yapı içindeki sert ve gevrek demir fosfür (Fe₃P) bileşiğini oluşmasına neden olmaktadır. Bu bileşik çelikteki sünekliği azaltarak soğuk şekillendirme işlemleri sırasında çatlama veya kırılmaya sebep olmaktadır. Bu olaya ise soğuk yırtılma veya soğuk gevreklik denilmektedir (Taşlayan, 2020).

3.3.2.2.1.12. Azot

Azot, çeliği kırılgan yaptığından ve ergimeyi zorlaştırdığından istenmeyen bir elementtir. Çok küçük atom çapına sahip olması nedeniyle yapıdan uzaklaştırılması çok zordur (Toptop, 2011). Azot akma mukavemetini yükseltir ama uzama ve çentik darbe dayanımını çok düşürmektedir. Azotun en faydalı özeliği, malzeme yüzeyde nitrür oluşturarak yüzeyin çok sert olmasını sağlamaktadır (Karabayrak, 2017).

3.3.2.2.1.13. Oksijen (O)

Çelik imalatı esnasında çeliğe geçen oksijen, sıcak kırılmalığa neden olduğundan çeliğin yapısında % 0,07'den fazlası istenmemektedir (Karabayrak, 2017).

3.3.3. AISI 4140 çeliklerin özellikleri

AISI 4140 çeliği, Krom – Molibden çeliği olarak bilinir, alaşımı düşük olan Cr-Mo'li ıslah çeliklerin en çok kullanım alanına sahiptir. AISI 4140 çelikler, düşük alaşımli yapı çelikleri, orta karbonlu çelik, dövme kalite çelikler ve alaşımli çelik olarak adlandırılır. AISI 4140 çeliği aynı grupta bulunan çeliklerle nazaran orta derecede sertleşebilir ama onlara kıyasla dayanım ve tokluk özelliği daha iyidir. AISI 4140 çeliği yedek parça olarak otomobil imalatı, uçak yapımı, krank mili, aks mili ve kovani, yivli mil gibi sünekliği yüksek parçalar ile dişli çark ve bandaj benzeri parçaların imalatında kullanılmaktadır (Kesti, 2009). Tablo 3.6'da AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi gösterilmiştir.

Tablo 3.6. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Kesti, 2009)

Element	% Ağırlık
C	0.38-0.45
Mn	0.75-1.00
P	0.035 (max)
S	0.04 (max)
Si	0.15-0.30
Cr	0.80-1.10
Mo	0.15-0.25

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, düşük alaşımlı orta karbonlu AISI 4140 çeliği yüzeyine GTA yöntemi yardımı ile grafit takviyeli VC tozlar kullanılarak yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen numunelerin kaplama bölgeleri incelenmiştir. Numunelerin mikroyapıları optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri analizi ile elde edilmiştir. Kaplama bölgesinde oluşan elementlerin tespiti için enerji dağılımlı spektrometri (EDX) analizi ve faz bileşenlerini belirlemek için de X-ışını difraktogramı (XRD) analizi yapılmıştır. Bu işlemler ile birlikte kaplama bölgesinin mekanik özellikleri ise Vickers mikrosertlik yöntemi ile yapılmış olup aşınma direncinin belirlenmesi için aşınma testi yapılmıştır. Hedef yüzeyde alaşımlama yapılarak oluşturulan kaplama tabakasının mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Çalışmada, AISI 4140 çelik numunelerin yüzeyi saf VC ve %1, %2, %3, %4, %5 grafit takviyeli VC-C karışımı toz kullanılarak, GTA kaynak yöntemi ile yüzey kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama yüzeyinin analizleri sonrasında elde edilen sonuçlara bağlı olarak optimum kaplama kalınlığı, aşınma direnci ve en yüksek sertlik sonucu için uygun parametreler tespit edilmiştir.

AISI 4140 çelik malzemesinin, yüzeyi kaplanacak malzeme olarak seçilmesinin sebebi, ucuz ve kolay bulunuyor olması, farklı endüstri kollarında ve imalat sanayinde geniş kullanım alanına sahip olmalarıdır. Yine yüzey alaşımlamada GTA yönteminin kullanılmasının nedeni ise diğer yüzey alaşımlama teknikleriyle kıyaslandığında, uygulanabilirliğinin kolay olması, her yerde kolayca bulunması, ekonomik olmasıdır.

4.1. Tercih Edilen Malzemeler

Yapılan bu tez çalışmasından, temin edilen AISI 4140 çelikten 92x20x12 mm boyutlarında numuneler hazırlanmış, deney boyunca ön denemeler için kullanılan numuneler hariç parametrelere bağlı olarak toplam 6 adet numune üretilmiştir. Alt tabaka olarak kullanılan AISI 4140 çeliğinin kimyasal bileşimi Tablo 4.1’de verilmiştir. Kaplama tabakası matris malzemesi olarak 43 mikron altı Ferro VC tercih edilmiştir. Takviye elemanı Grafit tozu (C) ise -325 mesh ve %99,8 saflıkta Alfa Aesar firmasından temin edilmiştir. Ferro Vanadyum tozunun kimyasal içeriği Tablo 4.2’de paylaşılmıştır.

Tablo 4.1. AISI 4140 çeliğinin kimyasal kompozisyonu (Kılıç, 2020)

Alaşım	% C	% Si	% Mn	% P _{max}	% S _{max}	% Cr	% Mo	% Al	% Cu	% Sn	% Ni	% Fe
AISI 4140	0.43	0.23	0.86	0.012	0.027	0.96	0.20	0.026	0.25	0.14	0.12	Kalan

Tablo 4.2. Ferrovanadyum tozunun kimyasal analizi (Çelik ve ark.,2015)

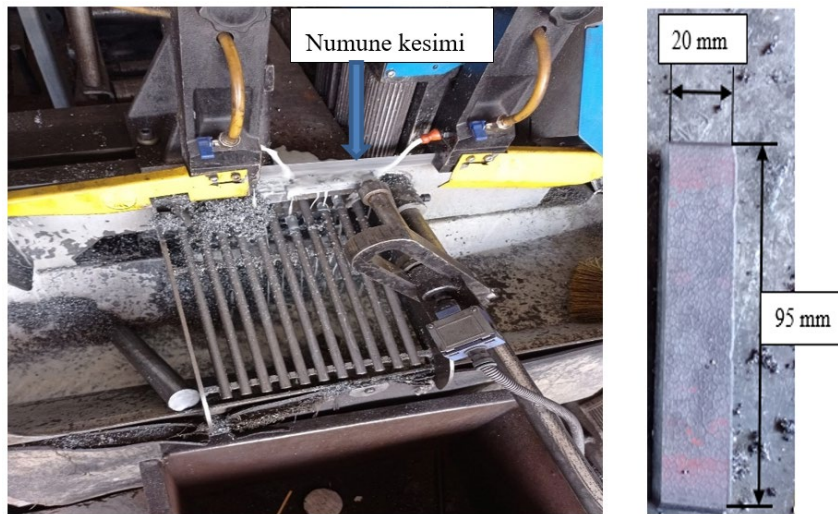
Kimyasal İçeriği (%)							
Alaşım	V	C	Si	S	P	Al	Fe
Ferro Vanadyum	79.39	0.20	0.58	0.02	0.02	0.95	17.13

4.2. Numunelerin Hazırlanması

Yüzey kaplama işlemlerinde alt tabaka olarak kullanılmak üzere AISI 4140 çelik 720x95x12 mm boyutlarında Sağlam Metal firmasından temin edilmiştir (Şekil 4.1).

**Şekil 4.1.** Alt Tabaka Malzemesi

Alt tabaka malzemesi olarak kullanılacak olan AISI 4140 çeliği şerit testere ile 20 mm aralıklar ile kesilmiştir (Şekil 4.2). Kesilen numuneler 95x20x12 mm boyutlarına getirilmiştir (Şekil 4.2).

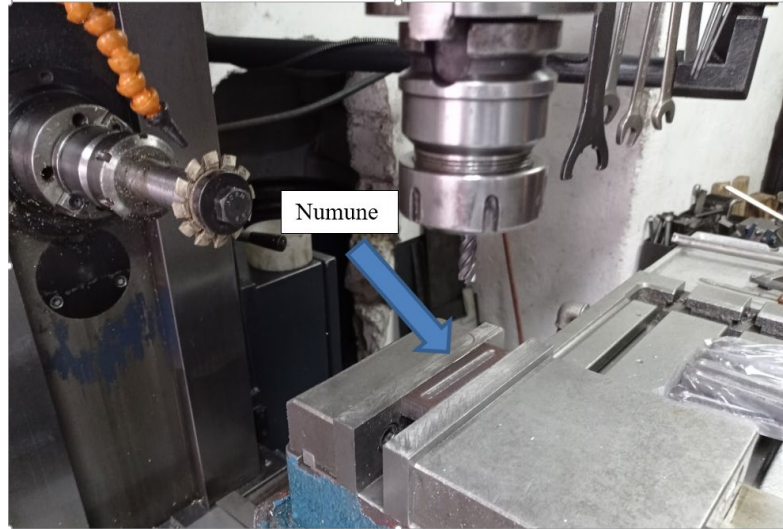
**Şekil 4.2.** Şerit Testere Makinesi ile numunelerin kesimi ve 95x20x12 mm boyutta kesilen numune

Şerit testere ile kesimleri tamamlanan numuneler Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Kesimleri tamamlanan numuneler

Kesme işlemi tamamlanan Şekil 4.3'teki numuneler gerekli talaş temizliği sonrasında freze tezgahında 8 mm çapındaki parmak freze çakısıyla 1,25 mm derinliğinde kanal açma işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.4). Kanal cidarının iş parçası cidarı ile mesafesi 6 mm olacak şekilde eşit olması sağlanmıştır.



Şekil 4.4. OPEM phoebus freze tezgahı numunelere kanal açılması

Kanal işlemleri tamamlanan numuneler Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Freze işlemi tamamlanan numuneler

Kaplama işlemi öncesi numuneler üzerinde tortu ve çapak vb. durumları ortadan kaldırmak için Şekil 4.6'da gösterildiği gibi eğeleme ve zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6. Freze işlemi tamamlanan numunelerin yüzey temizleme işlemi

Yüzey parlatma ve çapak alma işlemi ardından kaplama bölgesine ve kaplama tozuna empüritelerin girmemesi için numuneler alkol ile temizlenmiştir. Tüm işlemler sonrası numune Şekil 4.7'de gösterildiği gibi kaplama işlemine hazırlanmıştır.



Şekil 4.7. Kaplama yapılacak numune son hali

Kaplama işleminde alt tabakada açılan kanala yerleştirilecek grafit takviyeli VC ve VC tozları takviye miktarına göre formülle hesaplama sonucunda tozların miktarları Batman Üniversitesi Laboratuvarında bulunan hassas terazide Şekil 4.8’de gösterildiği gibi tartılmıştır. Tozların karışım işlemleri Batman Üniversitesi Laboratuvarında bulunan karışım cihazıyla 2 saat metal bilyeler kullanılarak metal karışım potaları içinde kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.9).

Tablo 4.3. Karışım formül (Bati, 2017)

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

Hazırlanan karışım Tablo 4.3’teki formül kullanarak VC – C tozlarının gram cinsinden hesaplama işlemi yapılmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen veriler Tablo 4.4’te gösterilmiştir. Tezimizde kullanılan takviye malzemesi Grafit olup burada öncelikle ana malzeme olan VC tozlarına %1, %2, %3, %4, %5 Grafit takviyesi eklenmesi için hesaplamalar yapılmıştır. Tozların yüzde ağırlıkları ise Tablo 4.4’te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Toz karışım oranlarının gram cinsinden dağılım ağırlıkları

Grafit Takviyesi (%)	VC (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 4.8. Hassas terazide tozların ölçümü

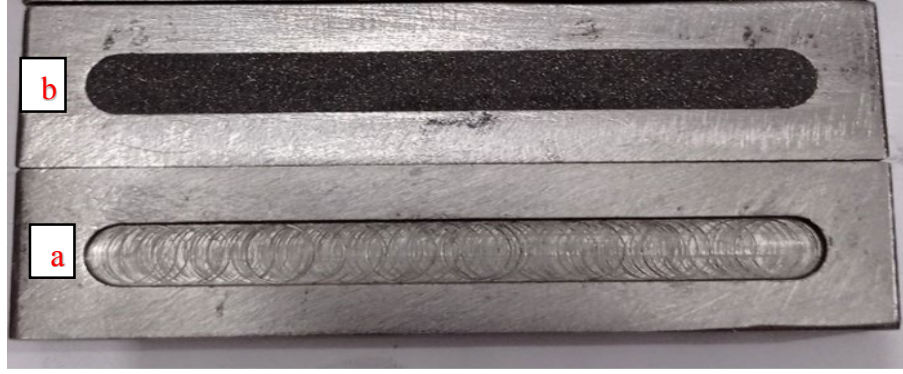


Şekil 4.9. Karışım makinesi ve karışım potası

Kanal açma işleminden sonra yüzeyi kaplanacak malzemeler etilalkol yardımı ile temizlenerek kurutulmuştur (Şekil 4.10a). Bundan sonra kompozit şeklinde ve belli oranlarda hazırlanan tozlar(Tablo 4.5), ark sırasında koruyucu argon gazının debisinden dolayı toz karışımlarının malzeme yüzeyinde uçuşunu engellemek için VC-C tozunun alkol ile karıştırılarak bir jel şeklinde yüzeyi kaplanacak malzemenin kanallarına doldurulmuş 50 °C’lik ortamda 1 saat süreyle kurutma işlemi yapılmıştır (Şekil 4.10b).

Tablo 4.5. Kaplama toz karışım oranları (% ağı.)

Toz Karışımı	VC	Grafit (C)
1	100	--
2	99	1
3	98	2
4	97	3
5	96	4
6	95	5



Şekil 4.10. Yüzey modifikasyonu yapılacak numunelerin hazırlanma aşamaları

4.3. Kaplamada kullanılan GTA yöntemiyle önemli parametrelerin tespiti ile yüzey modifikasyonu

VC-C tozlarının karışımından hazırlanan katkı tozlarının malzeme yüzeyine kaplanması için dışarıdan verilen enerji girdisi su soğutmalı ‘MagmaWeld powered Lorch ID300TW AC/DC’ GTA kaynak makinesi ile sağlanmıştır (Şekil 4.11). Kaplama işlemi Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Metalurji ve Malzeme Müh. laboratuvarında Şekil 4.13’te gösterilen ortamda gerçekleştirilmiştir. Elektrot olarak ön denemelerde %2 toryumlu tungsten elektrot kullanılmıştır. Yapılan kaplama işlemlerinin sonrasında elektrotta oluşan topaklanma sebebiyle arkın etkinliği azalmış ve bu neden ile her numune için elektrot taşlanmıştır. Ön denemelerde 0,41-0,56 mm/s arası değişen kaynak hızı, gaz akış hızı 12 Lt/dk, DC akım da ve akım değeri ise 100 A ile sabit olarak seçilen parametre ile işlem yapılmıştır (Tablo 4.6). Denemeler neticesinde çalışmalara Tablo 4.7’de verilen kaplama işlem parametreleri üzerinden devam edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11. Kullanılan GTA kaynak makinesi



Şekil 4.12. Kaplama işlemine hazırlık aşaması



Şekil 4.13. GTA yöntemi kaplama işlemi

Tablo 4.6. İlk kaplamanın yapıldığı GTA kaynak parametreleri

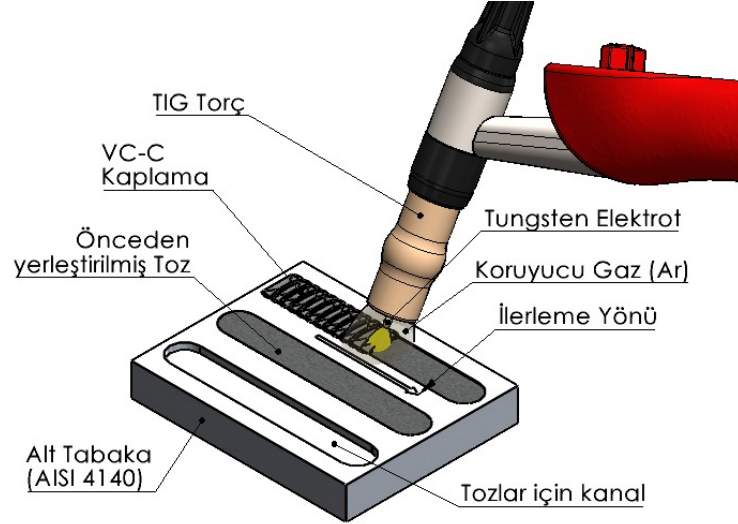
Elektrot	Elektrot Çap(mm)	Akım (A)	Koruyucu Gaz	Akım Türü	Gaz Debisi (lt/dk)
%2 toryumlu tungsten elektrot	2.4	100	Argon % 99.9 saf argon	DC	12

Tablo 4.7. GTA ile kaplamada ortaya çıkan kaynak parametreleri

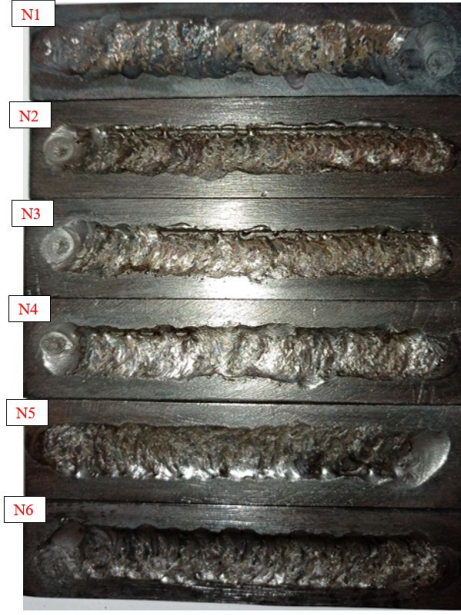
Numune Sayısı	Toz oranları	Uygulanan Akım (A)	İlerleme Hızı (mm/s)	Isı girdisi (J/mm)
N1	VC - saf	100	0.53	857
N2	VC -%1 ağ. C		0.56	980
N3	VC -%2 ağ. C		0.53	720
N4	VC -%3 ağ. C		0.41	1036
N5	VC -%4 ağ. C		0.41	1134
N6	VC -%5 ağ. C		0.43	1296

Isıl Girdi Formülü $Q = \eta \cdot Q = (\eta \cdot U \cdot I \cdot 60 / V \cdot 1000) \text{ KJ}$ (Buytoz, 2020).

Şekil 4.14'te GTA kaynak yöntemiyle yapılan yüzey kaplama işleminin şematik resmi verilmiştir. GTA kaynak yöntemiyle alt yüzeye yapıştırılan farklı oranlarda hazırlanmış tozlar, ergimeyen tungsten elektrot ile kaynak bölgesine ark oluşturularak AISI 4140 çelik alt tabakasına ergiyik halde bulunan toz karışımının kaynak bölgesinde hapsedilmesine özen gösterilerek nüfuziyet sağlanmıştır. Numuneler üzerinde yapılan kaplama işleminde ilerleme hızı 0,41-0,56 mm/s aralıklar ile Isı girdisi 857-1296 J/mm arası parametreler elde edilmiştir (Tablo 4.7). Farklı üretim parametreleri ve farklı toz alaşımlarıyla modifiye olan AISI 4140 malzemenin kaplama bölgesinde görünüşünün makroyapı incelenmesinde, herhangi bir çatlak ve kalıntıya rastlanılmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.15).



Şekil 4.14. GTA yöntemi ile yüzey modifikasyonu uygulamasının aşamalarının şematik gösterimi.



Şekil 4.15. GTA kaplama yapılan tozların makroskopik görünüşü

4.4. Metalografik İnceleme

GTA yöntemi kullanarak VC-C ile kaplanmış AISI 4140 çelik numuneler metalografik işlemler için hassas kesme cihazında uygun boyutlarda kaplanmış bölgelerden kesimi yapılarak Şekil 4.16’da gösterilen Metkon Ecopress 50 marka sıcak bakalite alma cihazı ile kaplanmıştır. Bu bakalite alma işlemi sonrası, numuneler Şekil 4.17’de gösterilen yarı otomatik zımparalama ve parlatma cihazı olan Mikrotest marka cihazı ile 400–1200 mesh aralığındaki SiC zımpara kullanılarak parlatma işlemi yapılmıştır. Bunun için Micro Thin 60, 15 ve 3 mikronluk sulu zımparalama yöntemi tercih edilmiştir. Zımparalama işlemi sonrası kaba parlatma işlemi tamamlanmış numuneler Aka Ramda çuha ile 0,25 mikron elmas solisyon ile parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma ve Zımparalaması işlemlerinden geçirilen 6 adet kaplanmış numuneler mikroyapı incelemeler öncesi dağlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dağlayıcı maddesi olarak % 3’lük Nital çözelti kullanılmıştır. Dağlama işlemi ardından numunelerin kaplanmış bölge yüzeyi, kaplama kalınlık tabakası ve kesitini görüntülemek için yapılacak Şekil 4.18’de gösterilen optik mikroskopik ve Şekil 4.19’da gösterilen SEM/EDS cihazları ile yapılacak incelemeler gerçekleştirilmiştir. Optik mikroskop inlemeleri için Nikon MA 100 markalı metal mikroskop kullanılmış ve görüntüleme için Clemex sistemi tercih edilmiştir.



Şekil 4.16. Bakalit cihazı(kalıba alma makinesi)



Şekil 4.17. Yarı mamul zımparalama ve parlatma cihazı



Şekil 4.18. Optik mikroskop ve görüntüleme sistemi



Şekil 4.19. SEM / EDS cihazı

4.4.1. XRD analizi

GTA yöntemi ile AISI 4140 çelik alt tabakası üzerinde kaplama yapılan ve zımparalama, parlatma işlemleri gören numunelerin son olarak kaplama yüzeyi kısımlarında meydana gelen karbür faz ve diğer fazların tespiti için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. Bartın Üniversitesi Merkezi Araştırma laboratuvarında bulunan RIGAKU SMARTLAB marka XRD cihaz ile kaplama faz bileşenleri tespit çalışması yapılmıştır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. XRD cihazı

4.4.2. Mikrosertlik testi

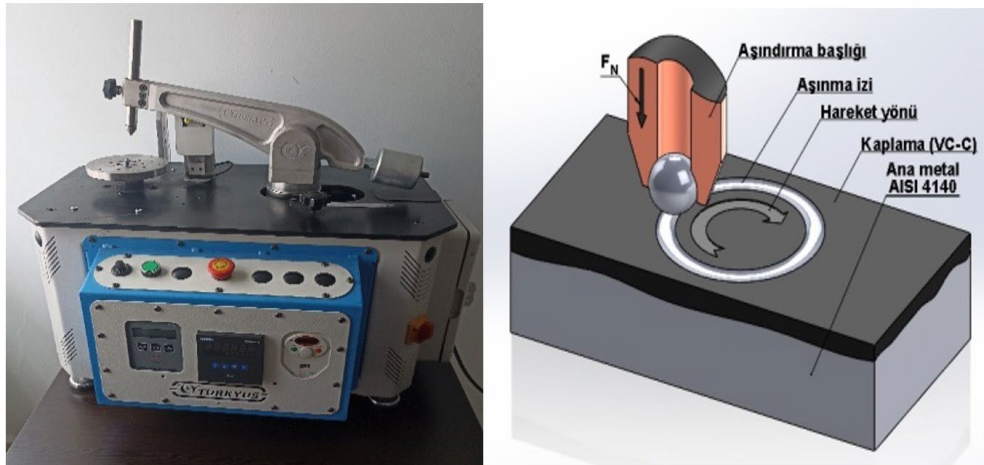
GTA yöntemi ile kaplanan 6 adet numunenin Mikrosertlik analizleri Vickers tekniği ile yapılmıştır. Vickers sertlik analizi için Şekil 4.21’de gösterilen Future Tech FM-700 makinesi kullanılmıştır.



Şekil 4.21. Vickers sertlik cihazı

4.4.3. Aşınma testi

GTA yöntemi ile kaplanmış 6 adet numunelerin aşınma testi Batman Üniversitesi Laboratuvarında bulunan Şekil 4.22’de gösterilen TURKYUS PODWT marka aşınma testi cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Aşınma cihazı ve aşınma işleminin şematik resmi Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



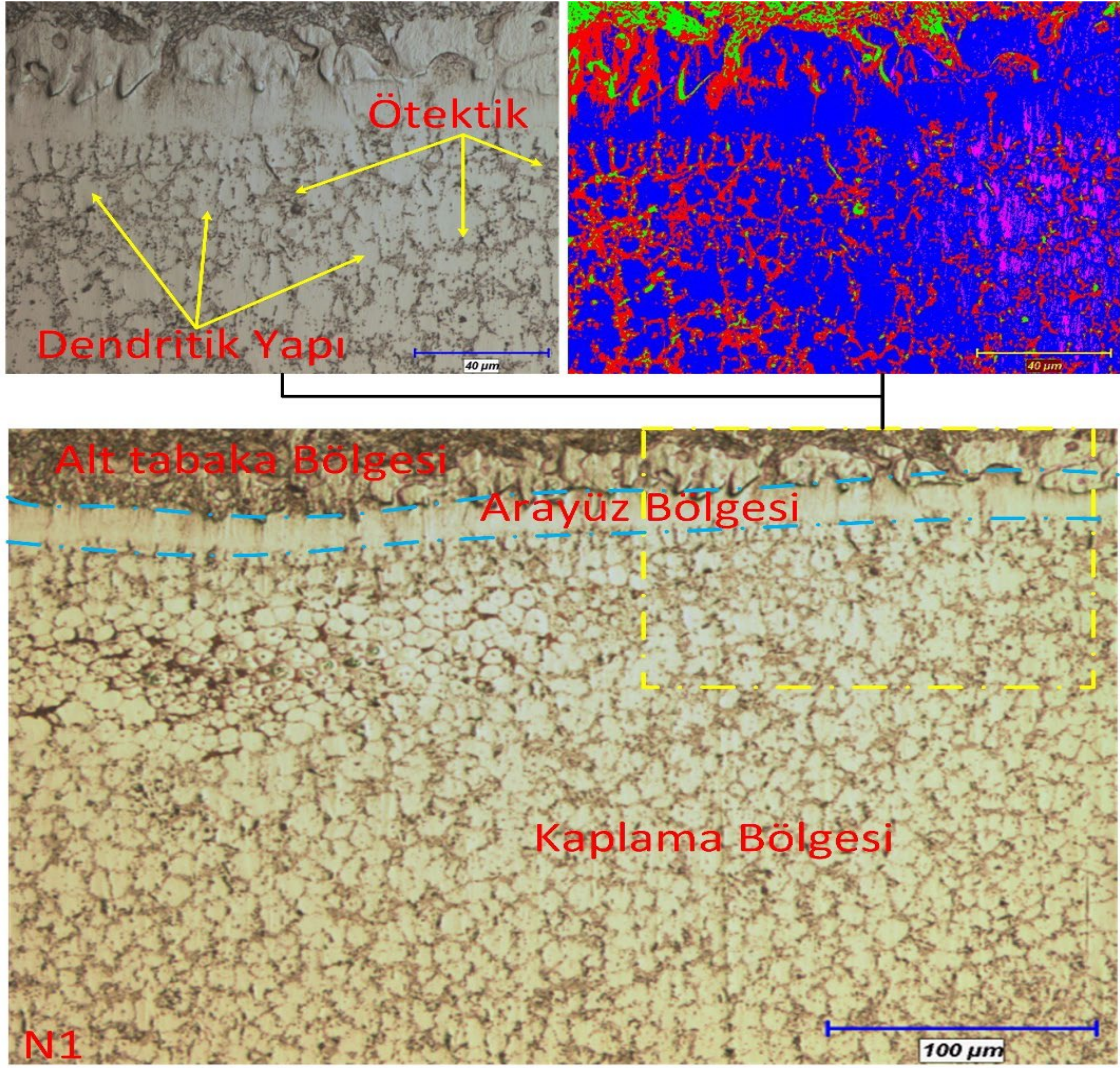
Şekil 4.22. Aşınma cihazı ve aşınma işleminin şematik gösterimi

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

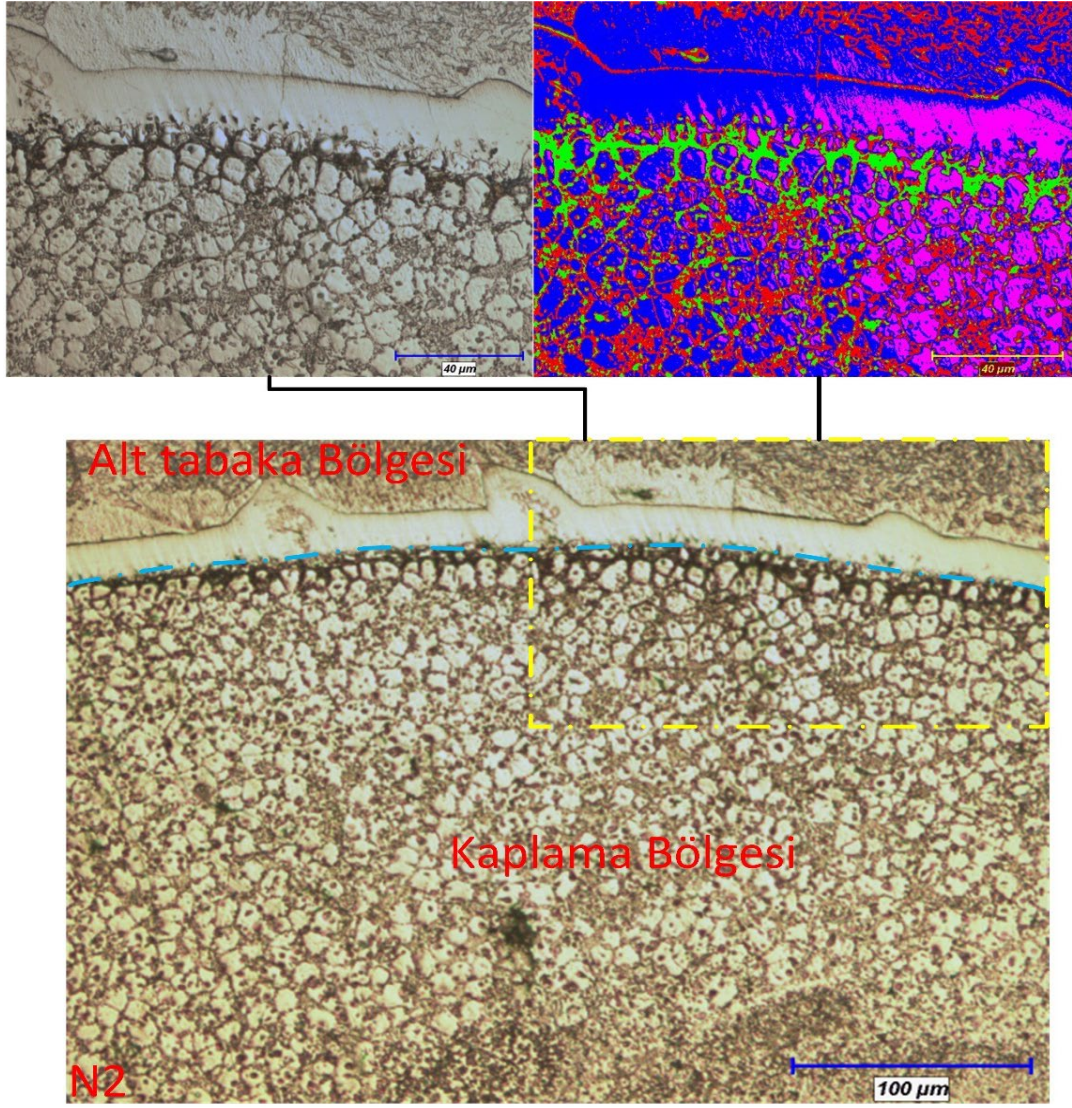
Bu tez çalışmasında, GTA kaynak yöntemi ile kaplanan AISI 4140 çelik yüzeyi, VC, %1-5 C takviyeli (VC-C) VC toz karışımı ile kaplanmıştır. Kaynak işlemi sonrası yüzey kaplama işlemi tamamlanan numuneler farklı analiz ve mekanik testler ile irdelenmiştir. Elde edilen kaplama tabakalarının mikroyapısı optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağılım spektrometresinden (EDS), faz bileşenleri ise X-ışın difraktogramı (XRD) analizleri ile tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerin tespiti için mikrosertlik ve aşınma testleri uygulanmıştır. Analizler sonrasında irdelemeler yapılarak optimum kaplama tabakası ve özellikleri için uygun parametreler belirlenmeye çalışılmıştır.

5.1. Optik ve SEM/EDS Sonuçları

GTA yöntemi AISI 4140 çelik yüzeyi farklı C oranlarında VC-C ve saf VC ile kaplanmıştır. Kaplama işlemi sonrasında oluşturulan kaplama tabakasının optik ve SEM incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakaları takviye oranına bağlı olarak incelenerek yorumlanmıştır. Şekil 5.1–Şekil 5.6’da optik mikroyapılar yer alırken, Şekil 5.7- Şekil 5.12’de ise SEM/EDS, EDS ve EDS grafikleri ile %1, 3 ve 5 C takviyeli numunelere ait mapping sonuçlarına yer verilmiştir.



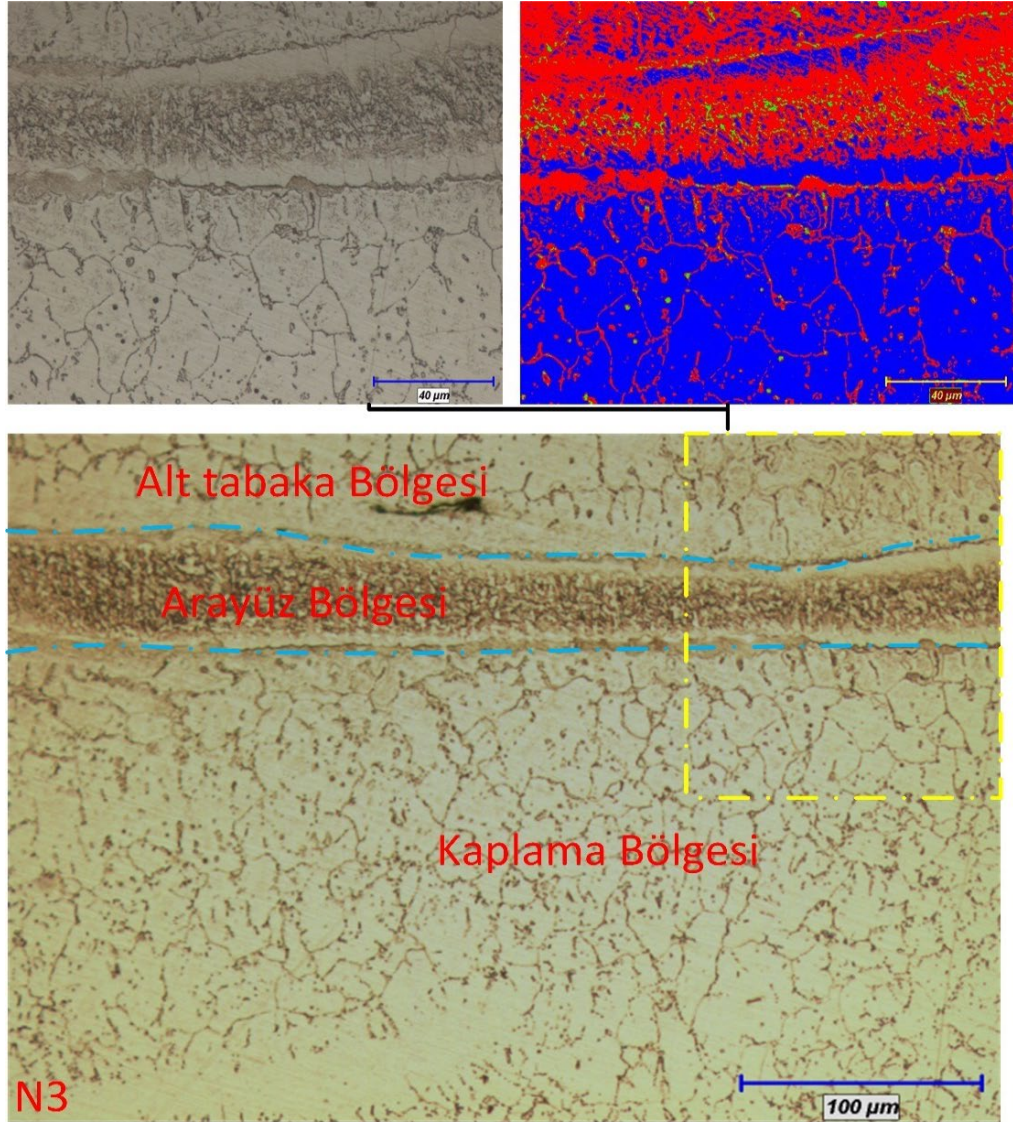
Şekil 5.1. N1'e ait optik mikroyapı



Şekil 5.2. N2'e ait optik mikroyapı

VC esaslı N1 ve N2 kaplamalarına ait yan kesit kaplama yüzeyine ait optik mikroyapı resmine Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de yer verilmiştir. Kaplama tabakası yüzeyi düzgün ve gözeneksiz bir şekilde üretildiği görülmektedir. Kaplama tabakası ve ara tabaka arasında bir geçiş bölgesi olduğu bu geçiş bölgenin düzgün ve iyi bir metalurjik bağ ile bağlandığı gözlenmiştir. Kaplama tabakası ve alt tabaka arasında herhangi bir süreksizliğe (çatlağa) rastlanılmamıştır. Kaplama tabakası genel olarak N1 numunesine ait bölgede hücrel ve yuvarlak şekilleri dendritik yapılar gözlenirken, N2 numunesinde ise daha çok embriyo ya benzer hücrel dendritik bir mikroyapı hakimdir. Kaplama ara yüzeyinde görüldüğü üzere katılma alt tabakadan kaplama tabakası üst yüzeyine doğru düzenli bir dendritik katılma şeklinde meydana gelmiştir. Lazer ışını, elektron ışını, GTA vb. yöntemlerle yapılan kaplama çalışmalarında dendritik yapıların oluşması ve

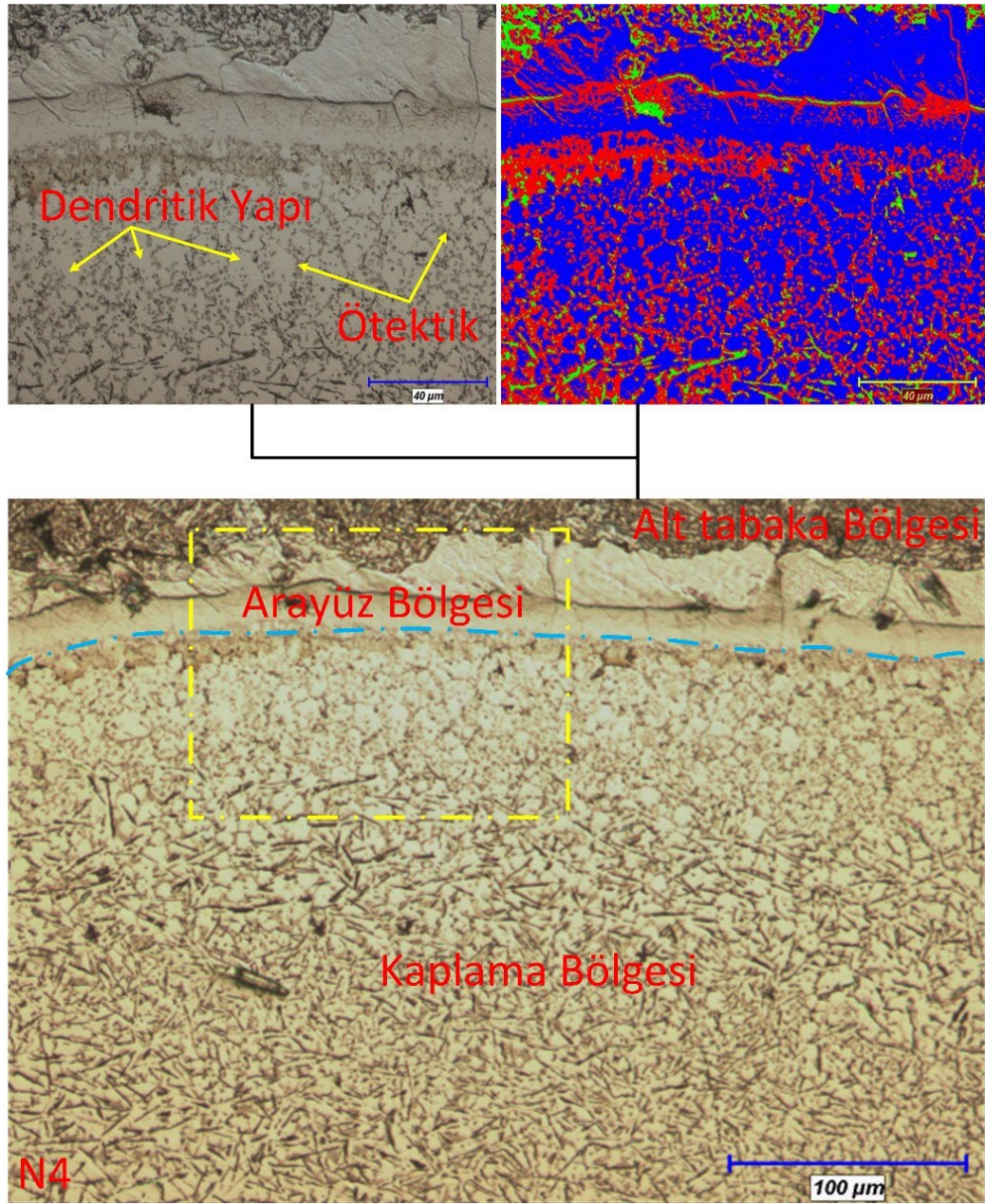
dendritlerin boyutları arkın başlatılması ve akabinde oluşan sıvı havuzunun hızlı bir şekilde katılaşmasına bağlı olarak gelişir (Zabihi ve ark., 2018).



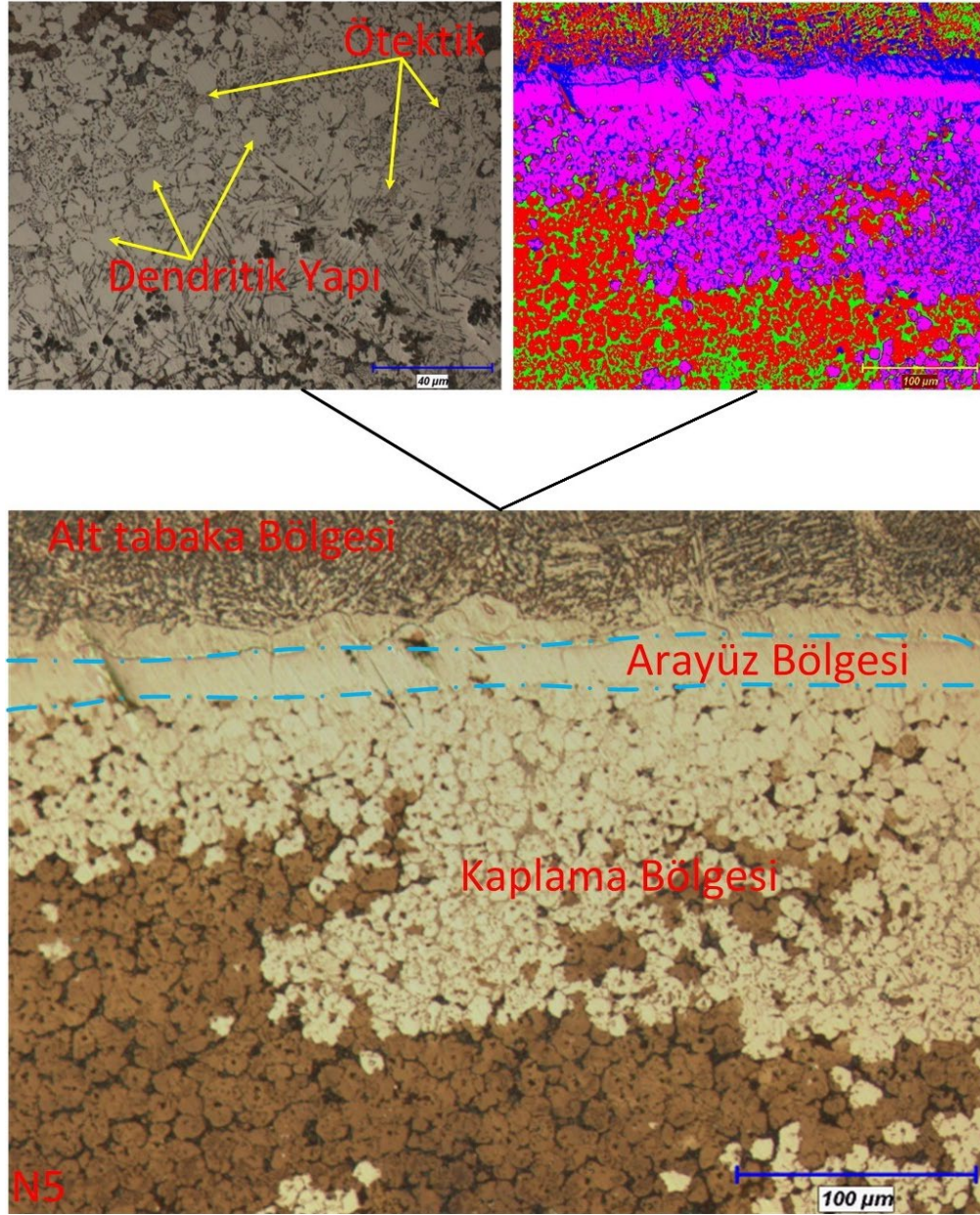
Şekil 5.3. N3'e ait optik mikroyapı

VC esaslı N3 ve N4 numunelerinin yan kesit kaplama yüzeyi optik mikroyapı resmine Şekil 5.3 ve 5.4'te yer verilmiştir. N3 ve N4 numunesine ait optik resimlerinde görüldüğü üzere kaplama tabakası yüzeyleri düzgün ve gözeneksiz bir şekilde üretilmiştir. N3 numunesine ait kaplama ve alt tabaka arayüzeyinin düzgün ve iyi bir metalurjik bağ ile bağlandığı görülmektedir. N4 numunesine ait kaplama ve alt tabakası ara yüzeyi metalurjik olarak iyi bağlanmakla birlikte küçük çatlakların olduğu görülmektedir. İki kaplamaya ait kaplama bölgesi farklı formlarda dendritik yapılardan oluşmuştur. Özellikle N4 numunesinde martenzitik çıtalara benzeyen çıta şekilli dendritik yapıların

daha yoğun olduğu görülmektedir. Çıta martensit, düşük karbon içerir ve iyi mukavemet ve tokluğa sahiptir (Wang ve ark., 2006).

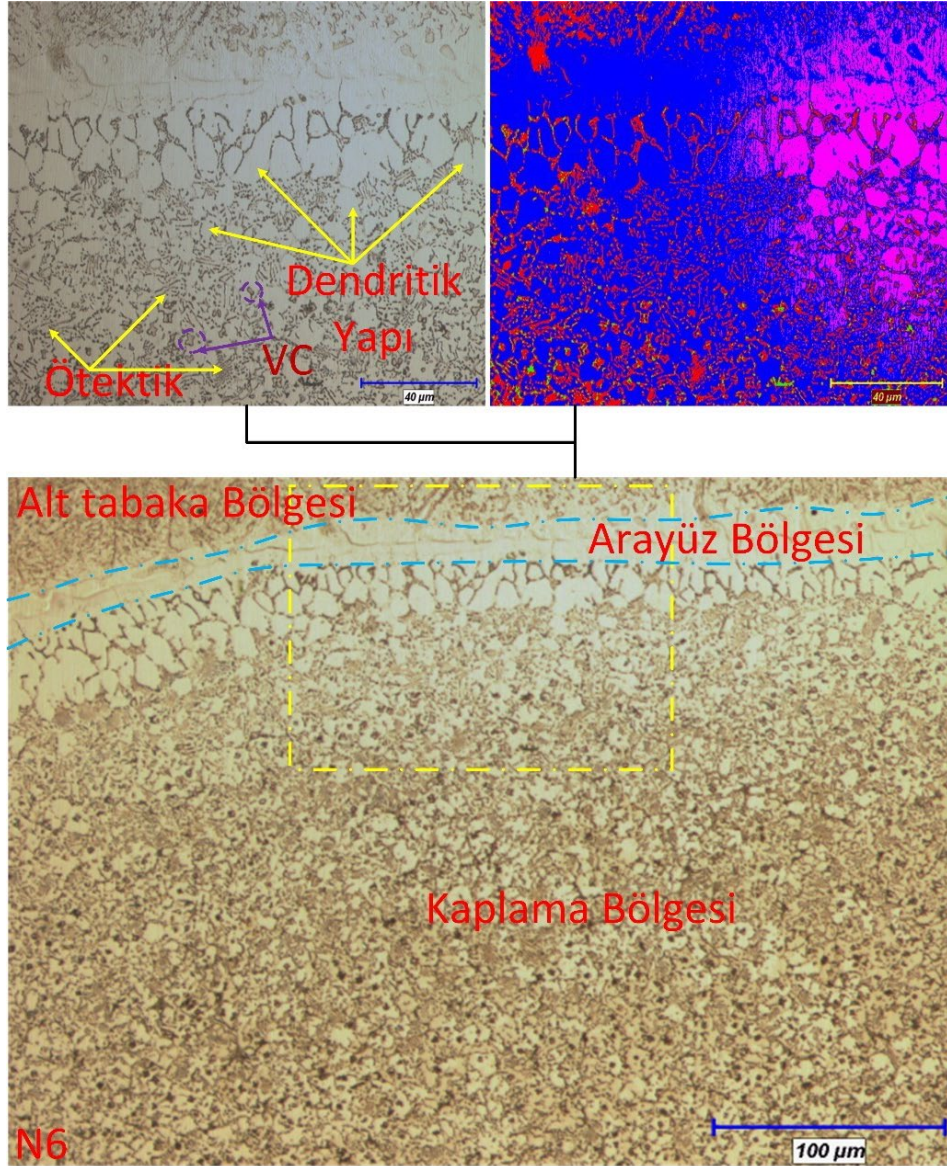


Şekil 5.4. N4'e ait optik mikroyapı



Şekil 5.5. N5'e ait optik mikroyapı

VC esaslı N5 ve N6 numunelerinin yan kesit kaplama yüzeyi optik mikroyapı resmine Şekil 5.5 ve 5.6'da yer verilmiştir. N5 ve N6 numunesine ait optik resimlerinde görüldüğü üzere kaplama tabakası yüzeyleri düzgün ve gözeneksiz bir şekilde üretilmiştir. N5 ve N6 numunelerine ait resimlerden de görüldüğü üzere kaplama ve alt tabaka arayüzlerinin düzgün ve iyi bir metalurjik bağ ile bağlandığı görülmektedir. N5 numunesine ait kaplama yüzeyi daha çok yuvarlak hücrel dendrit ve farklı formlarda dendritik yapılardan oluşmuştur. N6 numunesine ait kaplama bölgesi ise hücrel ve balık kılçığını andıran şekillerde dendritik yapılar meydana gelmiştir.



Şekil 5.6. N6'e ait optik mikroyapı

Şekil 5.1-Şekil 5.6'da yer alan optik mikroskop sonuçlarına bakıldığında tüm numunelerin yüzeylerinde kaplama tabakasının oluştuğu, oluşan kaplama tabakasının gözeneksiz olduğu ve ara yüzeylerinin düzgün aynı zamanda metalurjik olarak iyi bir bağ ile bağlandığı gözlenmiştir.

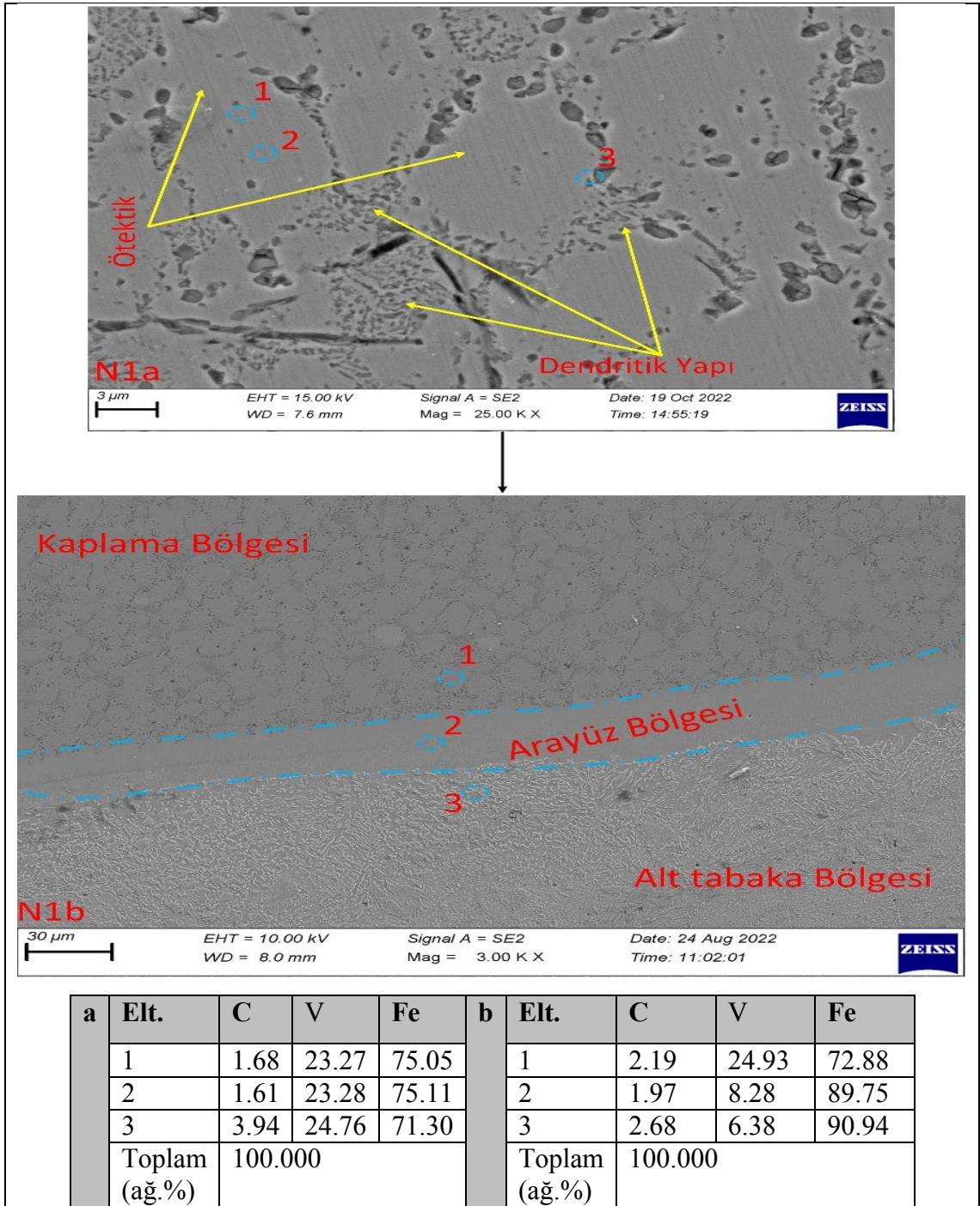
Bununla birlikte N1, N2, N5 ve N6 numunelerine ait kaplama bölgelerinde daha çok hücresel dendritik yapı yoğunken, N3'te farklı formlarda dendritik yapının oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte N4'te ise daha çok martezitik çıtalara benzeyen dendritlerin oluştuğu görülmektedir. Kaplamaların FeNi₃, VC, V₈C₇ ve Cr₂₃C₆ fazlarından oluştuğunu ve dahili VC bileşiklerinin yuvarlak ve petal şekillerde olduğunu gösterdi (Zeng ve ark., 2022). Çalışma sonrası kaplama yüzeylerinde oluşan dendritik yapıların literatür ile benzer yapılarda olduğu belirlenmiştir. Genel olarak tüm

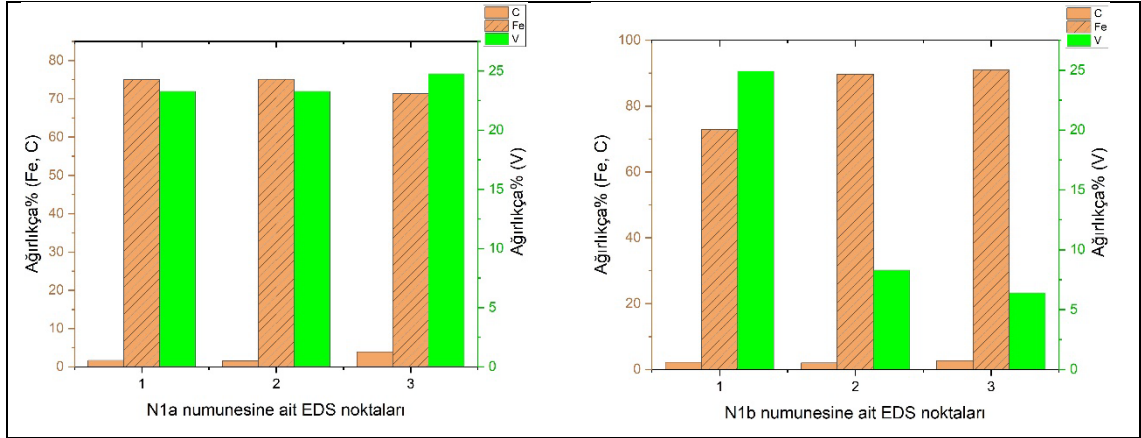
numunelerde kaplama ile alt tabaka arasında metalurjik bağlanmanın iyi olduğu, kaplama ve alt tabaka arasında düzgün geçişli bir arayüzeyin oluştuğu görülmüştür.

5.1.1. SEM/EDS sonuçları

AISI 4140 çeliği VC ve %1-5 C takviyeli VC kaplamalar GTA kaynak yöntemi ile VC ve VC-C tozları ile kaplanmış ve kaplama tabakalarına ait yan kesit SEM – EDS analiz sonuçları takviye oranına bağlı olarak tartışılmıştır. Bu amaçla, Şekil 5.7’de N1a-b’de saf VC ile kaplanmış numunenin SEM – EDS analiz grafiklerine yer verilmiştir. Saf VC ile kaplanmış numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşumu sergilemiştir. Numunelerin EDS analizlerinde (1. 2 ve 3 yüzey noktaları) görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe V ve C elementlerinin azaldığı, ancak kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğundur. N1a SEM resminde görüldüğü üzere yapı dendritik ve ötektik yapılardan meydana gelmiş, çatlaksız ve gözeneksiz bir kaplama tabakası elde edilmiştir. Şekil 5.7’de yer verilmiş olan EDS sonuçlarına göre V ve C elementlerinin kaplama tabakasındaki ötektik bölgede, dendritik yapılarda, ötektik ve dendritik yapıların sınırında mevcut olduğu tespit edilmiştir. N1a numunesi analiz sonuçlarında C elementinin 1. noktada %1.68, 2. noktada 1.61 ve 3. nokta ise 3.94 olarak elde edilmiştir. V elementi 1. noktada %23.27, 2. noktada 23.28 ve 3. nokta ise 24.76 iken Fe elementi ise V ve C’ye göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Dendritik yapıların sınırında yer alan gri renkteki küçük çakıl taşı benzeri yapıların C oranının daha yüksek olduğu EDS sonucunda görülmektedir. Fe elementinin yüksek çıkmasının temel nedeni olarak tozların ferroalaşımı olması, içeriğinde demir elementini içermesi ve aynı zamanda kaplama ile alt tabakanın birlikte ergimesi sonucunda alt tabakada bulunan Fe elementinin de kaplama yüzeyine yakın bölgelerde katılmış olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.7’de N1b numunesine ait SEM resmine yer verilmiştir. Resimde kaplama tabakası, arayüzey bölgesi ve alt tabaka olmak üzere 3 bölgeden oluşmuştur. Kaplama bölgesinin temel yapısı ötektik ve dendritik yapılardan meydana gelmiştir. Kaplama tabakası ve arayüzey bölgesinde çatlak ve gözeneğe rastlanılmamıştır. Düzgün bir arayüzey ile katılma geçişi sergilediği görülmektedir. Kaplama tabakası arayüzey ve alt tabakadan alınan EDS sonuçlarına 5.7’de görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında, C elementi 1. noktada %2.19, 2. noktada 1.97 ve 3. nokta ise 2.68 olarak elde edilmiştir. V elementinin ise 1. noktada %24.93, 2. noktada 8.28 ve 3. nokta ise 6.38 iken Fe elementi ise kaplama tabakasındaki sonuçlarda olduğu gibi V ve C’ye göre daha yüksek çıkmıştır. Elde edilen sonuçlara göre V ve C

elementlerinin alt tabakaya doğru Fe'nin ise kaplama tabakasına doğru difüzyonu gerçekleşmiştir.

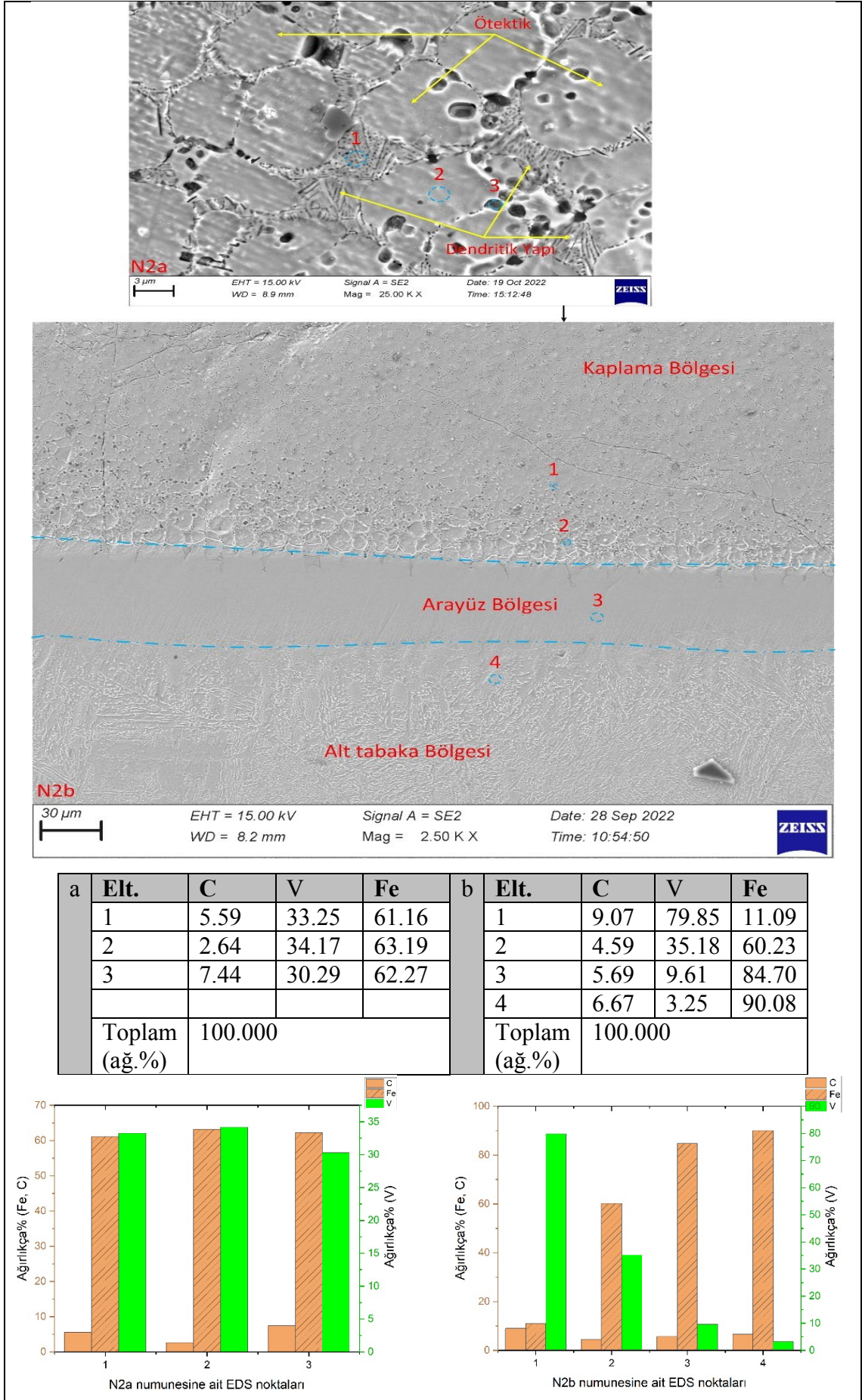


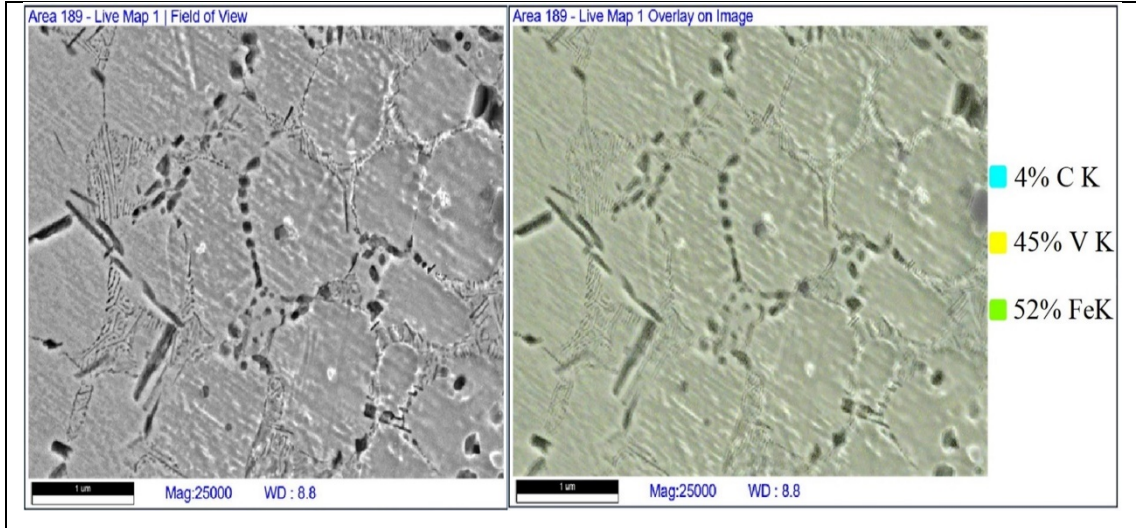


Şekil 5.7. N1'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, EDS Grafikleri

%1 C takviyeli VC-C ile kaplanmış numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşmuştur. Numunelerin EDS analizlerinde (1. 2. ve 3. yüzey noktaları) görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe V ve C elementlerinin azaldığı, ancak bu elementlerin kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir. N2a SEM resiminde görüldüğü üzere yapı dendritik ve ötektik yapılardan meydana gelmiş, çatlaksız ve gözeneksiz bir kaplama tabakası oluşmuştur. EDS sonuçlarına göre V ve C elementlerinin ötektik ve dendritik yapıların sınırında mevcut olduğu tespit edilmiştir. SEM resminde N2a kaplama bölgesinin hexagonal şekle sahip ötektik yapılar ile birlikte dendritik yapılardan oluştuğu görülmektedir. Yapı içerisinde hem ötektik hemde dendritik bölgelerde katılaşma esnasında çökelti içerisinde hapsolmuş gri ve siyah renklerde partiküller olduğu tespit edilmiştir. N2a EDS analiz sonuçlarında C elementi 1. noktada %5.59, 2. noktada 2.64 ve 3. nokta ise 7.44 olarak elde edilmişken, V elementinin ise 1. noktada %33.25, 2. noktada 34.17 ve 3. nokta ise 30.19 elde edilmiştir. Bu noktalardaki Fe elementi ise V ve C elementlerine göre daha yüksek belirlenmiştir. Dendritik yapıların sınırında yer alan gri renkteki küçük çakıl taşı benzeri yapıların C ve V oranının yüksek olduğu EDS grafik ve tablosunda (Şekil 5.8) görülmektedir. Dendritler ve dendritikler arası bölge (ötektik) arasındaki fark, farklı katılaşma koşullarına atfedilir. Dendritler birincil olarak katılaşır ve dendritikler arası bölgeler (ötektik) arkadan katılaşır (Shen ve ark., 2020). Fe elementinin yüksek çıkmasının temel nedeni olarak kaplama ile alt tabakanın birlikte ergimesi sonucunda alt tabakada bulunan Fe elementinin de kaplama yüzeyinde doğru difüze olduğu ve yüzeye yakın bölgelerde katılaşmış olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.8'de N2b numunesine ait SEM resmine yer verilmiştir. Resimde kaplama tabakası, arayüzey bölgesi ve alt tabaka olmak üzere 3 bölge vardır. Kaplama bölgesinin temel yapısı ötektik ve dendritik

yapılardan meydana gelmiştir. Kaplama tabakası ve arayüzey bölgesinde gözeneğe rastlanılmamış, ancak bölgesel ve uzun çatlakların olduğu görülmüştür. Kaplama ile alt tabaka arasında düzgün bir arayüzey ile katılma geçişi sergilediği görülmektedir. Kaplama tabakası arayüzey ve alt tabakadan alınan EDS sonuçlarına Şekil 5.8’de yer verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında C element 1. noktada %9.07, 2. noktada 4.59, 3. nokta 5.69 ve 4. noktada ise 6.67 olarak elde edilmiştir. V elementinin ise 1. noktada %79.85, 2. noktada 35.18, 3. nokta 9.61 ve 4. noktada ise 3.25 iken Fe elementi ise kaplama tabakasındaki sonuçlarında olduğu gibi V ve C’ye göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, arayüzde bir gradyan geçiş bölgesi gözlemlendi. Bu geçiş bölgesi, VC ve Fe matrisi arasındaki element difüzyonunu gösterdi. Sonuç olarak, bu bölgede metalurjik bağ oluşmuştur (Zhang ve ark., 2017). Mapping resminde element dağılımı incelendiğinde en yüksek yine Fe ve V elementinin olduğu, C elementinin ise Fe ve V’ye göre daha düşük değerde ölçülmüştür. Yine N2a EDS grafiklerinde görüldüğü üzere V elementinin kaplama tabakasında Fe ile birlikte artış sergilediği, N2b’de ise kaplamadan alt tabakaya doğru V elementinin azaldığı Fe elementi ise artış sergilediği görülmüştür. Bu sonuçlara göre V ve C elementlerinin alt tabakaya doğru ve Fe elementinin ise kaplama tabakasına doğru difüzyonu gerçekleşmiştir.



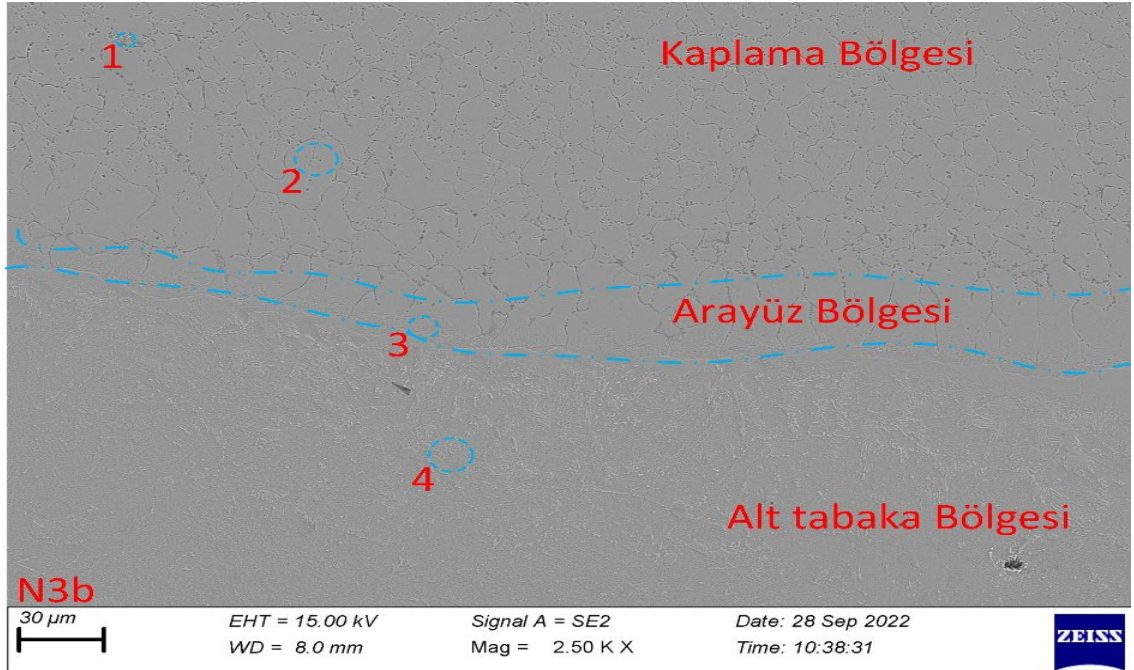
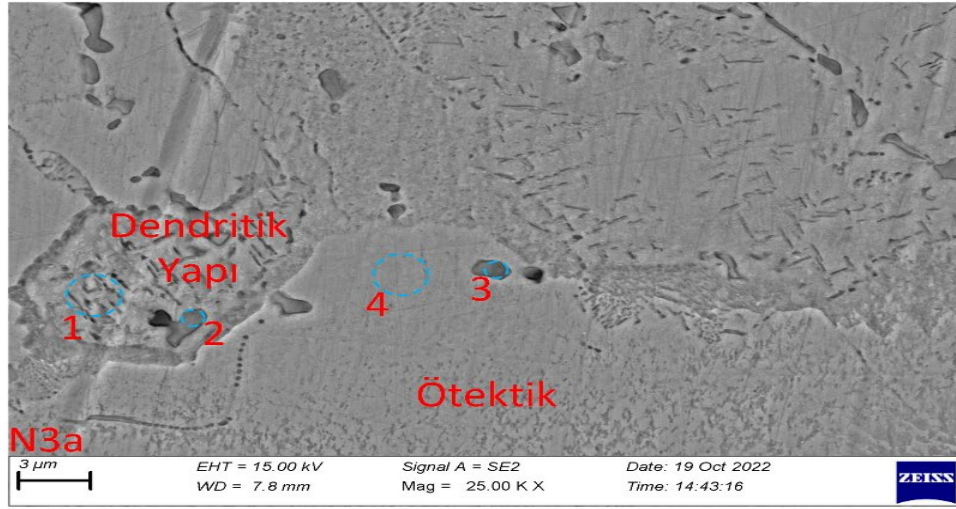


Şekil 5.8. N2'ye ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri ve EDS Grafikleri

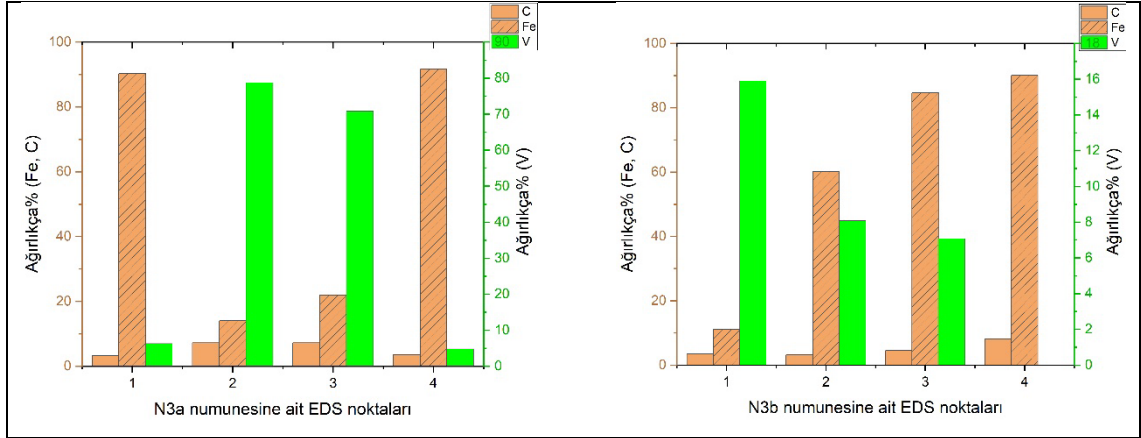
%2 C takviyeli VC-C ile kaplanmış numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşmuştur. Numunelerin EDS analizlerinde (1. 2. 3. ve 4. yüzey noktaları) görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe V ve C elementlerinin azaldığı, ancak bu elementlerin kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir. N3a ve N3b SEM resimlerinde görüldüğü üzere yapı dendritik ve ötektik yapılardan meydana gelmiş, çatlaksız ve gözeneksiz bir kaplama tabakası oluşmuştur. N3a EDS sonuçlarına göre (Şekil 5.9) V ve C elementlerinin kaplama tabakasındaki ötektik bölge ve dendritik yapıların sınırında mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kaplama bölgesi büyütülmüş N3a resmi hem ötektik hemde dendritik bölgelerde katılma esnasında çökelti içerisinde hapsolmuş gri ve siyah renklerde partiküller olduğu tespit edilmiştir. Bu partiküllerin EDS sonuçları değerlendirildiğinde, VC partikülleri olduğu düşünülmektedir. N3a EDS analiz sonuçlarında C elementi 1. noktada %3.32, 2. noktada 7.24, 3. nokta 7.20 ve 4. noktada ise 3.63 olarak elde edilmiştir. V elementi 1. noktada %6.30, 2. noktada 78.78, 3. nokta 70.85 ve 4. noktada ise 4.80 iken Fe elementi 1. noktada %90.37, 2. noktada 13.99, 3. nokta 21.95 ve 4. noktada ise 91.57 olarak ölçülmüştür.

Vanadyum konsantrasyonunun kaplama yüzey bölgesinde çok yüksek olduğu ve yüzey tabakasının hemen altındaki difüzyon bölgesinde keskin bir şekilde düştüğü gözlemlenebilir. Ayrıca V'nin alt tabakaya doğru difüzyonuna dair kanıtlar da vardır (Aghaie-Khafri ve ark., 2008). Dendritik yapıların sınırında yer alan gri renkteki küçük çakıl taşı benzeri yapıların C ve V oranının yüksek olduğu EDS sonucunda görülmektedir. Bu değerlerden yola çıkarak bu yapıların VC elementi olduğu düşünülmektedir. Fe elementinin ise daha çok dendritik yapıda ve ötektik yapı içerisinde

yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunun temel nedeni olarak kaplama ile alt tabakanın birlikte ergimesi sonucunda alt tabakada bulunan Fe elementinin de kaplama yüzeyinde doğru difüze olduğu ve yüzeye yakın bölgelerde katılmış olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.9'da N3b numunesine ait SEM resmine yer verilmiştir. Resimde kaplama tabakası, arayüzey bölgesi ve alt tabaka olmak üzere 3 bölgeden oluşmuştur. Kaplama bölgesinin temel yapısı ötektik ve dendritik yapılardan meydana gelmiştir. Kaplama tabakası ve arayüzey bölgesinde hiçbir çatlak ve gözeneğe rastlanılmamıştır. Kaplama ile alt tabaka arasında düzgün bir arayüzey ile katılma geçişi sergilediği görülmektedir. Kaplama tabakası arayüzey ve alt tabakadan alınan EDS sonuçlarına N3b'de yer verilmiştir (Şekil 5.9). Sonuçlara bakıldığında C elementi 1. noktada %3.42, 2. noktada 3.18, 3. nokta 4.52 ve 4. noktada ise 8.07 olarak elde edilmiştir. V elementi 1. noktada %15.91, 2. noktada 8.08, 3. nokta 7.07 ve 4. noktada ise 0 elde edilmiştir. Bu noktadaki Fe elementinin ise 1. noktada %80.67, 2. noktada 88.23, 3. nokta 84.70 ve 4. noktada ise 90.08 kaplama tabakasından alt tabakaya doğru artış sergilemiştir. Yine N3a EDS grafiklerinde görüldüğü üzere V elementinin azaldığı ve Fe elementinin artış sergilediği görülmüştür. N3b'de ise kaplamadan alt tabakaya doğru V elementi azalırken Fe elementi artış sergilemiştir. Bu sonuçlara göre V ve C elementlerinin alt tabakaya doğru ve Fe elementinin ise kaplama tabakasına doğru difüzyonu gerçekleşmiştir.



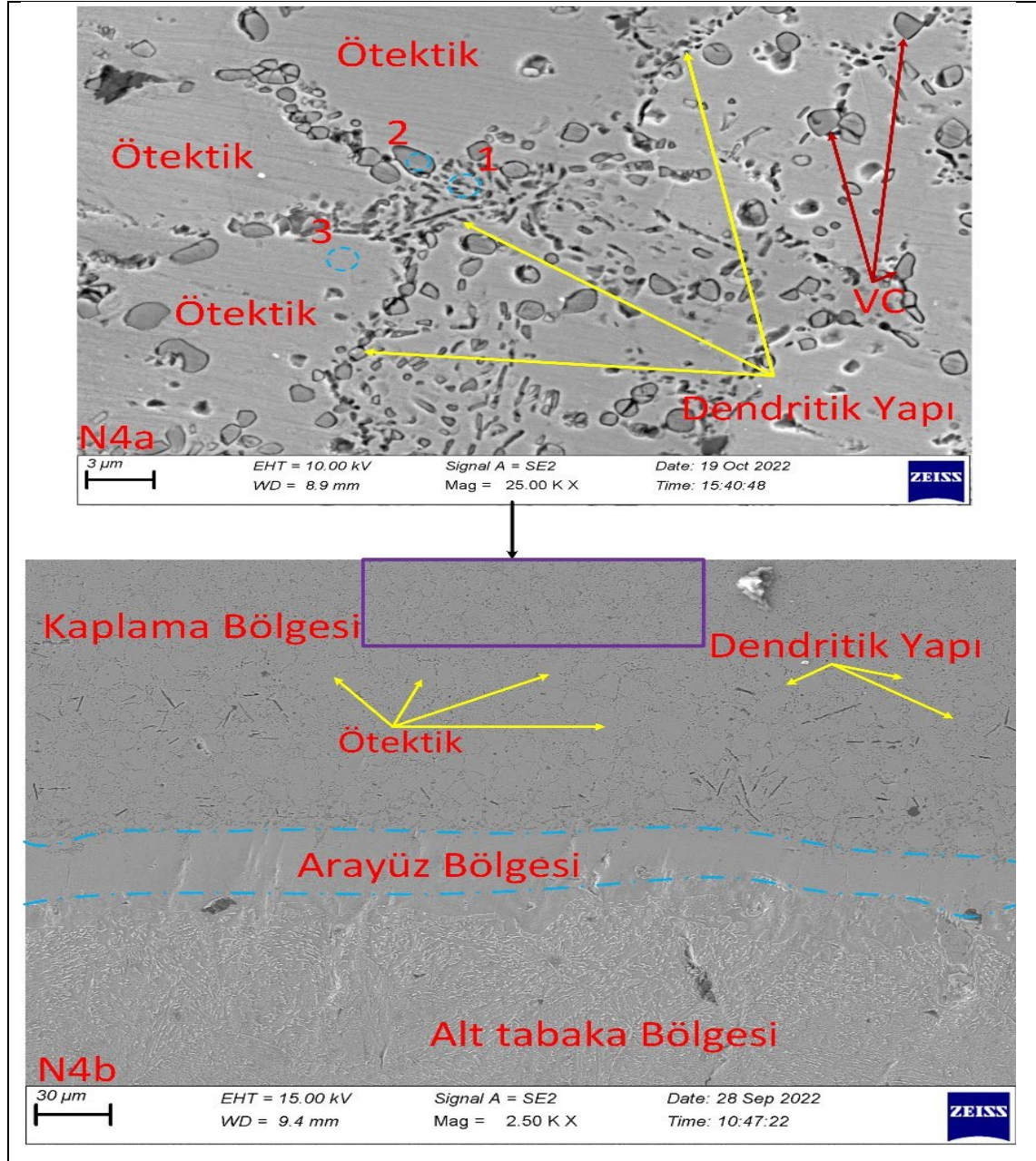
a	Elt.	C	V	Fe	b	Elt.	C	V	Fe
	1	3.32	6.30	90.37		1	3.42	15.91	80.67
	2	7.24	78.78	13.99		2	3.18	8.08	88.23
	3	7.20	70.85	21.95		3	4.52	7.07	84.70
	4	3.63	4.80	91.57		4	8.07	-	90.08
	Toplam (ağ.%)	100.000				Toplam (ağ.%)	100.000		

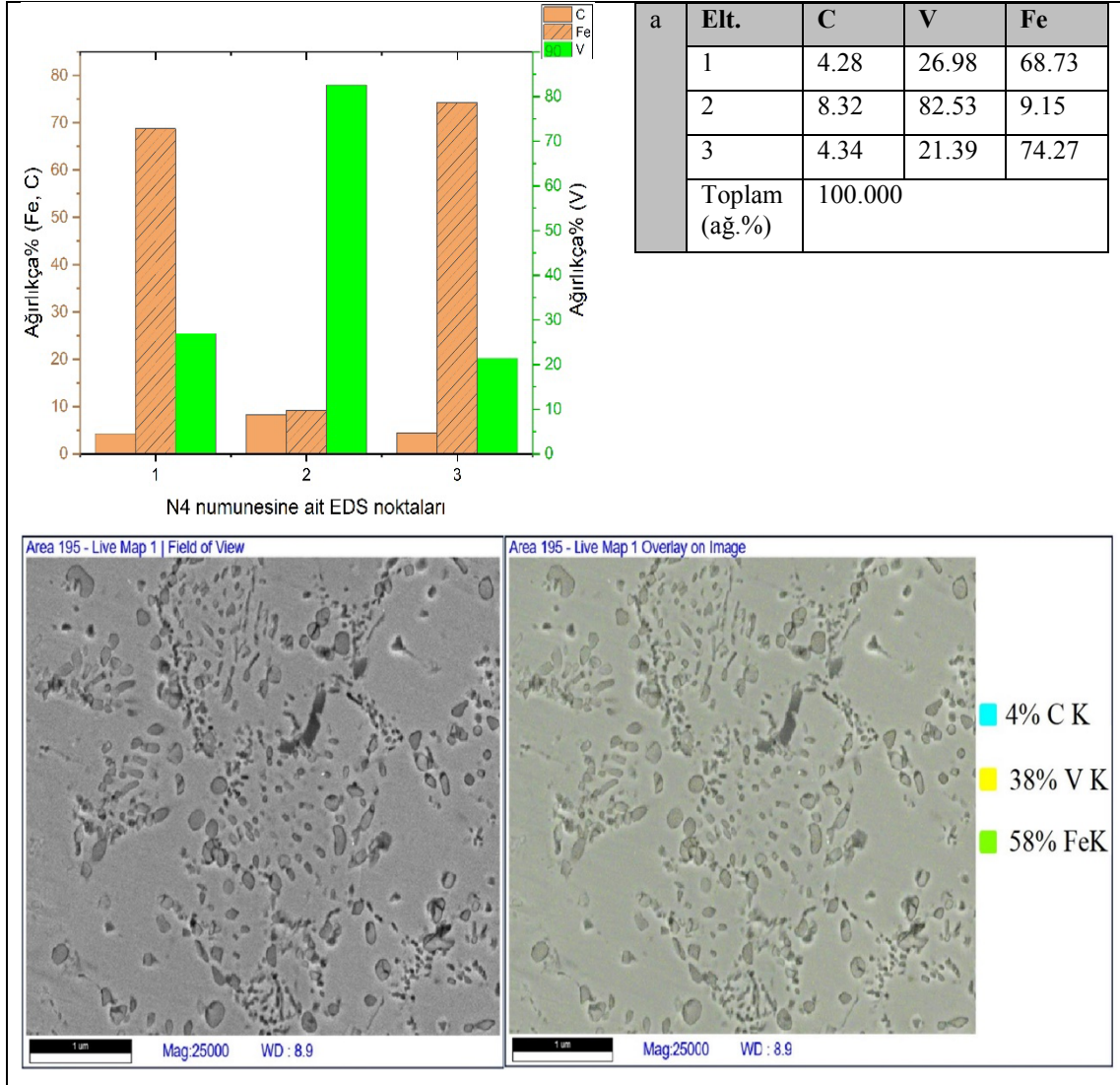


Şekil 5.9. N3'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi resimleri, EDS sonuçları ve EDS Grafikleri

%3 C takviyeli VC-C ile kaplanmış numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşmuştur. Numunelerin EDS analizlerinde (1. 2. ve 3. yüzey noktaları) görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe V ve C elementlerinin azaldığı, ancak bu elementlerin kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir. N4a ve N4b SEM resimlerinde görüldüğü üzere yapı dendrit ve ötektik yapılardan meydana gelmiş, çatlaksız ve gözeneksiz bir kaplama tabakası oluşmuştur. N4a'da yer verilmiş olan EDS sonuçlarına göre V ve C elementlerinin kaplama tabakasının, ötektik ve dendritik yapıların sınırında mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kaplama bölgesi büyütülmüş N4a SEM resminde hem ötektik hemde dendritik bölgelerde katılaşma esnasında çökelti içerisinde hapsolmuş gri renkte partiküller olduğu ve diğer numunelere göre daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Bu partiküllerin EDS sonuçları değerlendirildiğinde, VC partikülleri olduğu düşünülmektedir. N4a EDS analiz sonuçlarında C elementinin 1. noktada %4.28, 2. noktada 8.32 ve 3. noktada ise 4.34 olarak elde edilmişken, V elementi 1. noktada %26.98, 2. noktada 82.53 ve 3. noktada ise 21.39 elde edilmiştir. Bu noktadaki Fe elementi 1. noktada %68.73, 2. noktada 9.15 ve 3. noktada ise 74.27 olarak ölçülmüştür. Dendritik yapıların sınırında yer alan gri renkteki küçük çakıl taşı benzeri yapıların C ve V oranının yüksek olduğu EDS sonucunda görülmektedir. Niyobyum, titanyum, vanadyum ve zirkonyum gibi bazı güçlü karbür oluşturan elementler, karbonla birleşerek taneli karbürler oluşturabilir ve karbon içeriğini azaltabilir (Wang ve ark., 2006). Bu değerlerden yola çıkarak bu yapıların VC elementi olduğu düşünülmektedir. Fe elementinin ise daha çok dendritik yapıda ve ötektik yapı içerisinde yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunun temel nedeni olarak kaplama ile alt tabakanın birlikte ergimesi sonucunda alt tabakada bulunan Fe elementinin de kaplama yüzeyine doğru difüze olduğu ve yüzeye yakın bölgelerde katılaşmış olabileceği

düşünülmektedir. Şekil 5.10'da N4b numunesine ait SEM resmine yer verilmiştir. Resimde kaplama tabakası, arayüzey bölgesi ve alt tabaka olmak üzere 3 bölge vardır. Kplama bölgesinin temel yapısı ötektik ve dendritik yapılardan meydana gelmiştir. Kplama tabakası ve arayüzey bölgesinde hiçbir çatlak ve gözeneye rastlanılmamıştır. Kplama ile alt tabaka arasında düzgün bir arayüzey ile katılma geçişi sergilediği görülmektedir. Bu sonuçlara göre V ve C elementlerinin alt tabakaya doğru Fe elementinin ise kaplama tabakasına doğru difüzyonu gerçekleşmiştir.



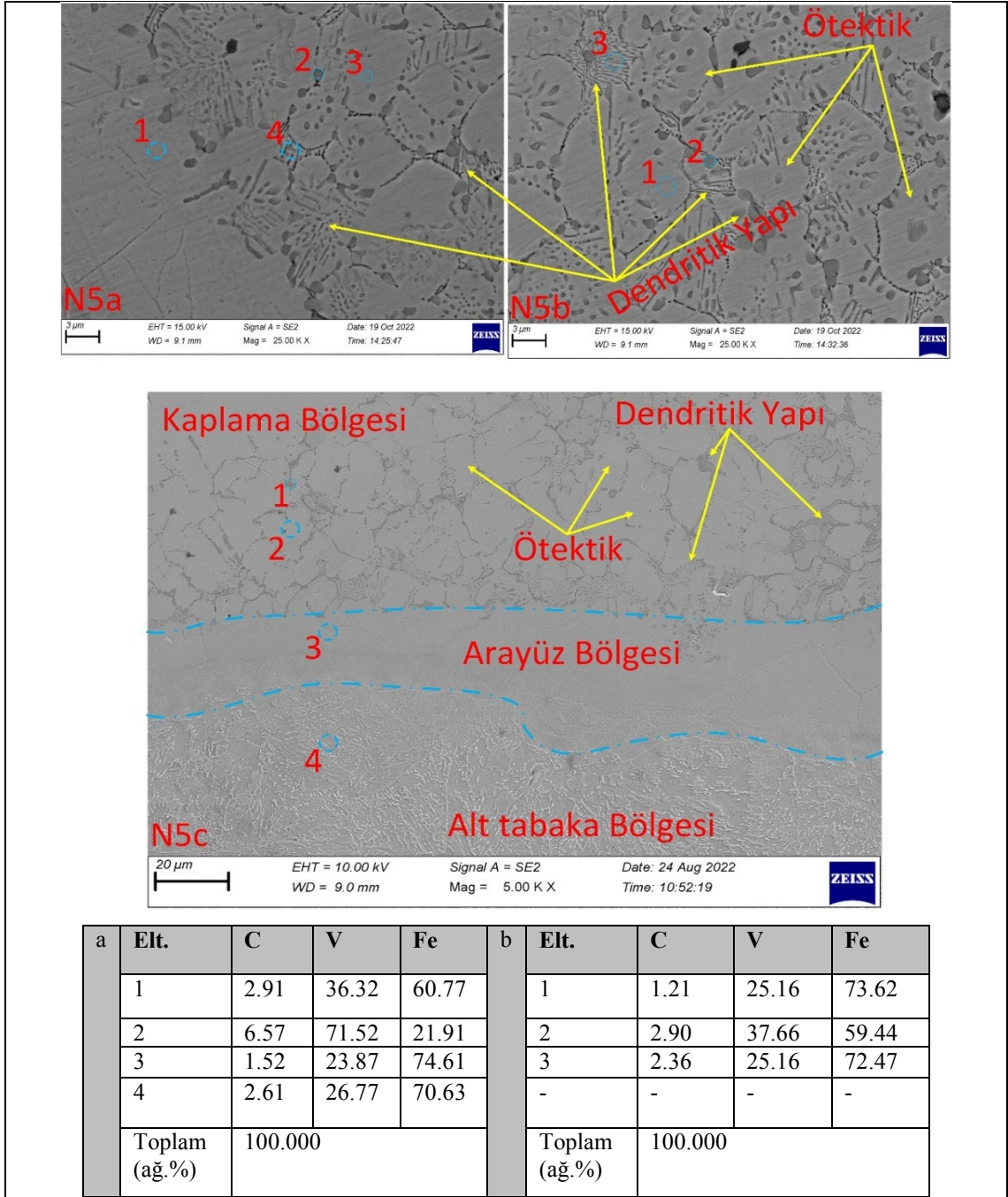


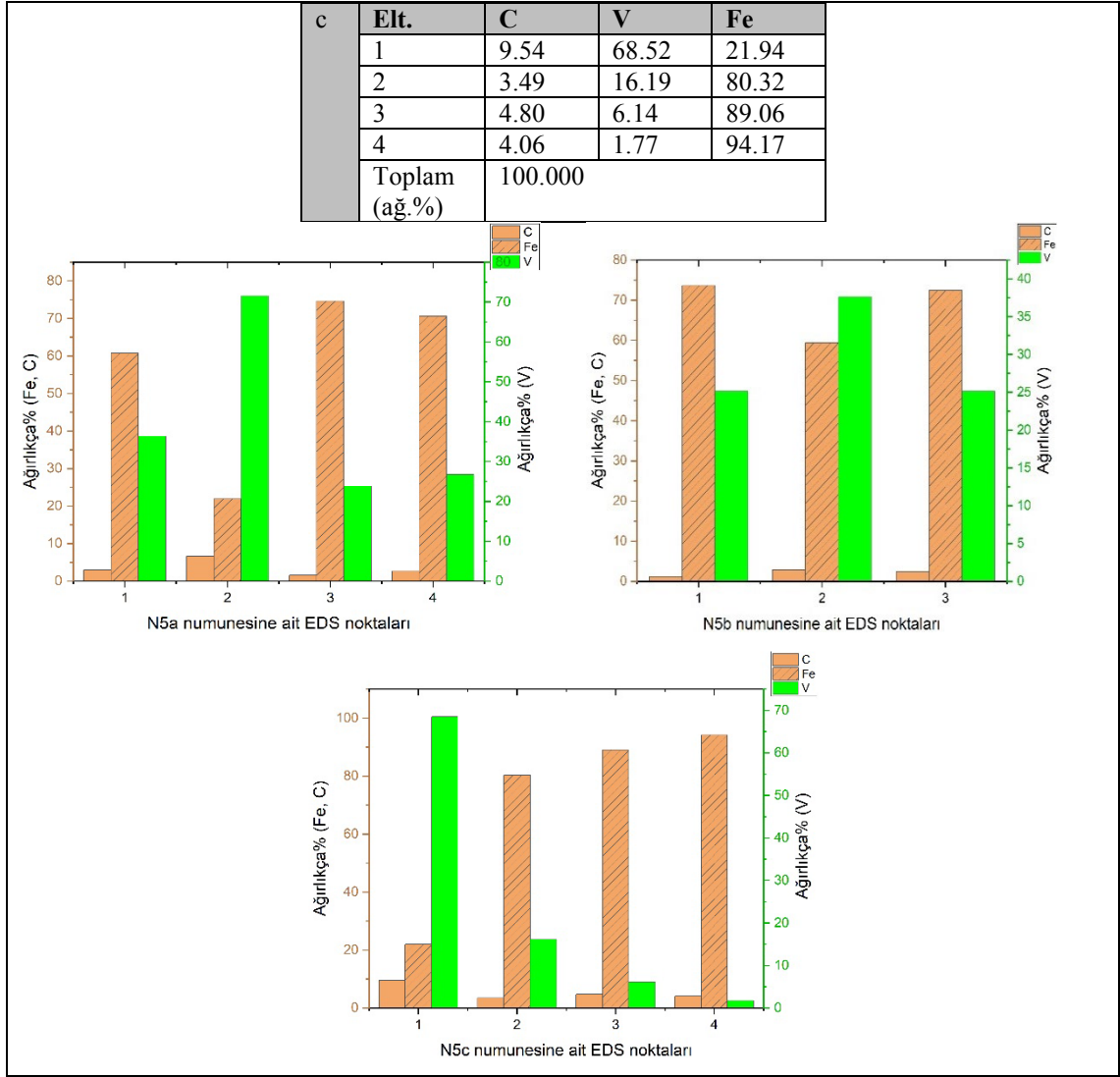
Şekil 5.10. N4'te ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi, Kaplama bölgesine ait Map resimleri, EDS sonuçları ve EDS Grafikleri

%4 C takviyeli VC-C ile kaplanmış numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşmuştur. Numunelerin EDS analizlerinde (1. 2. 3 ve 4 yüzey noktaları) görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe V ve C elementlerinin azaldığı, ancak bu elementlerin kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir. N5a ve N5b SEM resimlerinde görüldüğü üzere yapı dendritik ve ötektik yapılardan meydana gelmiş, çatlaksız ve gözeneksiz bir kaplama tabakası oluşmuştur. Şekil 5.11a'da yer verilmiş olan EDS sonuçlarına göre V ve C elementlerinin kaplama tabakasında ötektik ve dendritik yapıların sınırında mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kaplama bölgesi büyütülmüş N3a resmi hem ötektik hemde dendritik bölgelerde katılama esnasında çökelti içerisinde hapsolmuş gri ve siyah renklerde partiküller olduğu tespit edilmiştir. Bu partiküllerin EDS sonuçları değerlendirildiğinde, VC partikülleri olduğu düşünülmektedir. N5a EDS analiz sonuçlarında C elementi 1.

noktada %2.91, 2. noktada 6.57, 3. nokta 1.52 ve 4. noktada ise 2.61 olarak elde edilmişken. V elementi 1. noktada %36.32, 2. noktada 71.52, 3. nokta 23.87 ve 4. noktada ise 26.77 elde edilmiştir. Bu noktalardaki Fe elementi 1. noktada %60.77, 2. noktada 21.91, 3. nokta 74.61 ve 4. noktada ise 70.63 olarak ölçülmüştür. Dendritik yapıların sınırında yer alan gri renkteki küçük çakıl taşı benzeri yapıların C ve V oranının yüksek olduğu EDS sonucunda görülmektedir. Bu değerlerden yola çıkarak bu yapıların VC elementi olduğu düşünülmektedir. Fe elementinin ise daha çok dendritik yapıda ve ötektik yapı içerisinde yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunun temel nedeni olarak kaplama ile alt tabakanın birlikte ergimesi sonucunda alt tabakada bulunan Fe elementinin de kaplama yüzeyinde doğru difüze olduğu ve yüzeye yakın bölgelerde katılmış olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.11'de N5b numunesine ait SEM resmine yer verilmiştir. Resimde kaplama tabakası, arayüzey bölgesi ve alt tabaka olmak üzere 3 bölge vardır. Kaplama bölgesinin temel yapısı ötektik ve dendritik yapılardan meydana gelmiştir. Kaplama tabakası ve arayüzey bölgesinde hiçbir çatlak ve gözeneğe rastlanılmamıştır. Kaplama ile alt tabaka arasında düzgün bir arayüzey ile katılma geçişi sergilediği görülmektedir. Kaplama tabakası arayüzey ve alt tabakadan alınan EDS sonuçlarına N5b'de yer verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında C elementi 1. noktada %1.21, 2. noktada 2.90 ve 3. noktada ise 2.36 olarak elde edilmişken, V elementi 1. noktada %25.16, 2. noktada 37.66, 3. noktada ise iken Fe elementinin ise 1. noktada %73.62, 2. noktada 59.44 ve 3. noktada ise 72.47 olduğu tespit edilmiştir. N5c EDS analiz sonuçlarında bakıldığında ise C elementi 1. noktada %9.54, 2. noktada 3.49, 3. nokta 4.80 ve 4. noktada ise 4.06 olarak elde edilmişken, V elementi 1. noktada %68.52, 2. noktada 16.19, 3. nokta 6.14 ve 4. noktada ise 1.77 iken Fe elementi 1. noktada %21.94, 2. noktada 80.32, 3. nokta 89.06 ve 4. noktada ise 94.17 olarak ölçülmüştür. Yine N5a ve 5b kaplama tabakasından alınmış olan EDS sonuçlarında görüldüğü üzere V elementinin Fe ile birlikte artış sergilediği, özellikle N5a'nın 2. Noktasında yüksek V değeri elde edilirken diğer bölgelerinde ise bir birine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. N5c'de tüm kaplama ve alt tabakaya birlikte yer verilmiş olan SEM resmine bakıldığında diğer numunelerde olduğu gibi kaplama, arayüz ve alt tabaka olmak üzere üç bölgeden oluşmuştur. N5c EDS sonucunda ise kaplamadan alt tabakaya doğru V elementi azalırken Fe elementi artış sergilemiştir. Bu sonuçlara göre V ve C elementlerinin alt tabakaya doğru Fe elementinin ise kaplama tabakasına doğru difüzyonun gerçekleştirmişti. VC partiküllerinin oluşum mekanizması şu şekilde tarif edilebilir; başlangıçta, erimiş çelikte çözünen vanadyumun karbon ile reaksiyonu yoluyla katılma sırasında vanadyum

karbür fazı oluşur. Bu, yapıdaki kaba birincil VC parçacıklarının bol miktarda çökmesine yol açar (Moghaddam ve ark., 2013). XRD analiz sonuçları da bunu desteklemektedir.

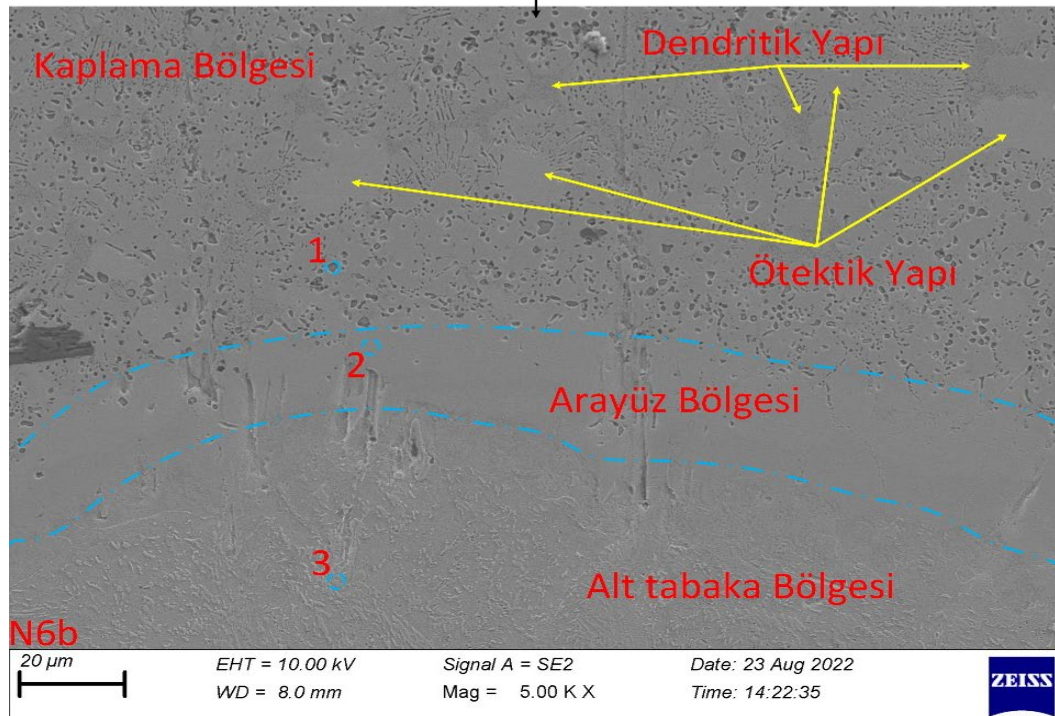
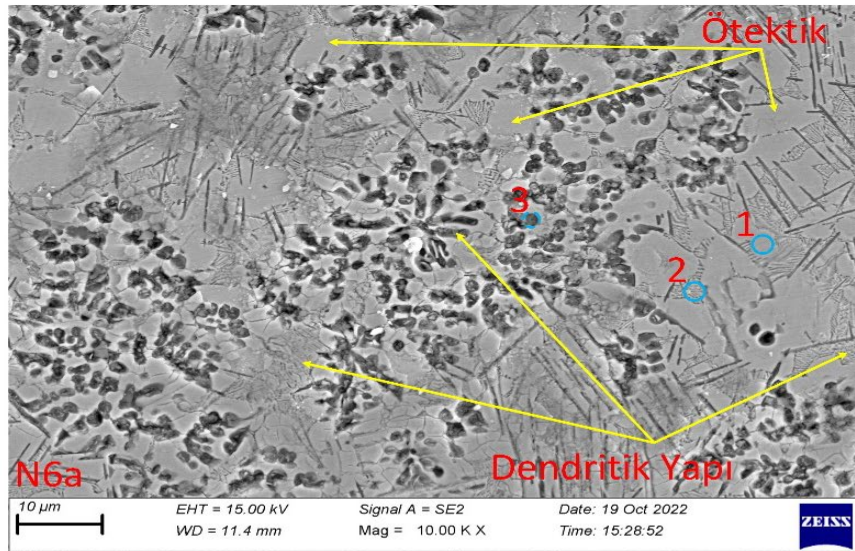




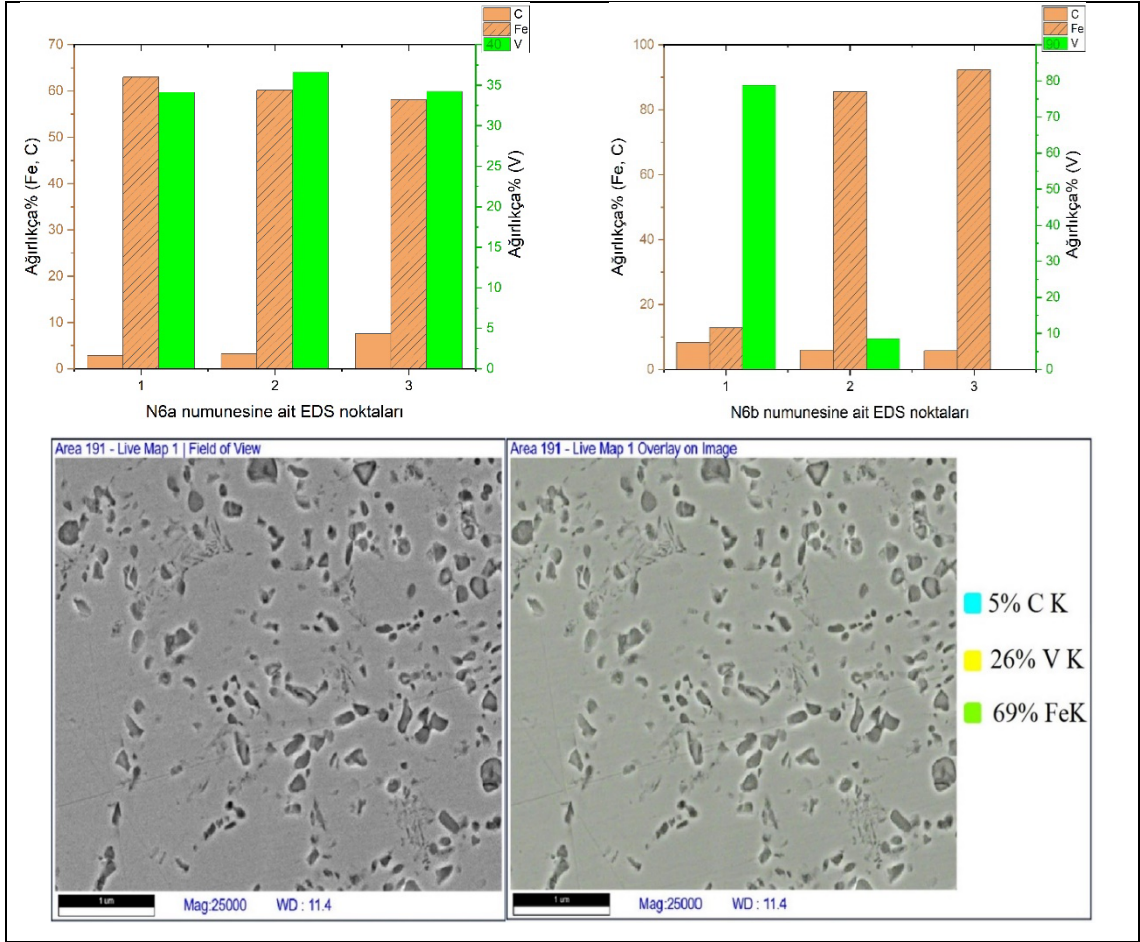
Şekil 5.11. N5'e ait SEM resimleri (a) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (b) Kaplama bölgesi büyütülmüş kesit, (c) Kaplama bölgesi resimleri, EDS sonuçları ve EDS Grafikleri

%5 C takviyeli VC-C ile kaplanmış numunede tüm numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşmuştur. Numunelerin EDS analizlerinde (1. 2. ve 3 yüzey noktaları) görülmektedir ki kaplama tabakasından matrise doğru gidildikçe V ve C elementlerinin azaldığı, ancak bu elementlerin kaplama tabakası ve ara bölgede ise yoğun olduğu görülmektedir. SEM resminde N6a ve N6b kaplama bölgelerinin, yapı dendritik ve ötektik yapılardan meydana gelmiş, çatlaksız ve gözeneksiz bir kaplama tabakası oluşmuştur. N6a'da yer verilmiş olan EDS sonuçlarına göre V ve C elementlerinin kaplama tabakasındaki ötektik bölge, dendritik yapılar, ötektik ve dendritik yapıların sınırında mevcut olduğu tespit edilmiştir. Kaplama bölgesi büyütülmüş N3a resmi hem ötektik hemde dendritik bölgelerde katılaşma esnasında çökelti içerisinde hapsolmuş gri ve siyah renklerde partiküller olduğu tespit edilmiştir. Bu partiküllerin EDS sonuçları değerlendirildiğinde, VC partikülleri olduğu düşünülmektedir. N6a EDS analiz

sonuçlarında C elementi 1. noktada %2.84, 2. noktada 3.20 ve 3. noktada ise 1.52 olarak elde edilmişken, V elementi ise 1. noktada %34.11, 2. noktada 36.61 ve 3. noktada ise 23.87 elde edilmiştir. Bu noktadaki Fe elementi 1. noktada %63.05, 2. noktada 60.19 ve 3. noktada ise 58.19 olarak ölçülmüştür. Dendritik yapıların sınırında yer alan gri renkteki küçük çakıl taşı benzeri yapıların C ve V oranının yüksek olduğu EDS sonucunda görülmektedir. Bu değerlerden yola çıkarak bu yapıların VC elementi olduğu düşünülmektedir. Fe elementinin ise daha çok dendritik yapıda ve ötektik yapı içerisinde yüksek değerlere ulaşmıştır. Bunun temel nedeni olarak kaplama ile alt tabakanın birlikte ergimesi sonucunda alt tabakada bulunan Fe elementinin de kaplama yüzeyinde doğru difüze olduğu ve yüzeye yakın bölgelerde katılmış olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.12’de N6b numunesine ait SEM resmine yer verilmiştir. Resimde kaplama tabakası, arayüzey bölgesi ve alt tabaka olmak üzere 3 bölgeden oluşmuştur. Kaplama bölgesinin temel yapısı ötektik ve dendritik yapılardan meydana gelmiştir. Kaplama tabakası ve arayüzey bölgesinde hiçbir çatlak ve gözeneğe rastlanılmamıştır. Kaplama ile alt tabaka arasında düzgün bir arayüzey ile katılma geçişi sergilediği görülmektedir. Kaplama tabakası arayüzey ve alt tabakadan alınan EDS sonuçlarına N6b’de yer verilmiştir. Sonuçlara bakıldığında C elementi 1. noktada %8.32, 2. noktada 5.99 ve 3. noktada ise 5.76 olarak elde edilmişken, V elementi 1. noktada %78.79, 2. noktada 8.48, 3. noktada ise 0 elde edilmiştir. Bu noktadaki Fe elementinin ise 1. noktada %12.89, 2. noktada 89.53 ve 3. noktada ise 92.24 olduğu tespit edilmiştir. V ve C elementleri iki tür takviye açısından zengindi ve aynı zamanda takviyelerin vanadyum karbürler olduğunu gösteren siyah noktalarda zengindi. Ayrıca V elementi Fe bazlı matriste de dağıldığı görülmektedir (Zhang ve ark., 2018). Yine N6a’da kaplama tabakasından alınmış olan EDS sonuçlarında görüldüğü üzere V elementi, Fe elementi ile birlikte artış sergilediği, özellikle N6b’nin 1. noktasında V elementi yüksek değerlerde olduğu tespit edilmiştir. N6b’de tüm kaplama ve alt tabakaya birlikte yer verilmiş olan SEM resmine bakıldığında diğer numunelerde olduğu gibi üç bölgenin kaplama, arayüz ve alt tabaka bölgelerinin bulunmaktadır. EDS sonucunda ise kaplamadan alt tabakaya doğru V elementi azalırken Fe elementi artış sergilediği görülmüştür. Bu sonuçlara göre V ve C elementlerinin alt tabakaya doğru Fe elementinin ise kaplama tabakasına doğru difüzyonu gerçekleşmiştir.



a	Elt.	C	V	Fe	b	Elt.	C	V	Fe
	1	2.84	34.11	63.05		1	8.32	78.79	12.89
	2	3.20	36.61	60.19		2	5.99	8.48	85.53
	3	7.57	34.24	58.19		3	5.76	-	92.24
	Toplam (ağ.%)	100.000				Toplam (ağ.%)	100.000		



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

5.1.2. Mikroyapı sonuçlarının değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, GTA kaynak yöntemi ile kaplanan AISI 4140 çelik yüzeyi, VC, %1-5 C takviyeli (VC-C) VC toz karışımı ile kaplanmıştır. Kaplama tabakaları takviye oranına bağlı olarak incelenerek yorumlanmıştır. Şekil 5.1– Şekil 5.6’da optik mikroyapılar yer alırken, Şekil 5.7-Şekil 5.12’de ise SEM/EDS, EDS grafik ve %1, %3 ve %5 C takviyeli numunelere ait mapping sonuçlarına yer verilmiştir.

Tüm kaplamaların kaplama tabakası yüzeyi düzgün ve gözeneksiz bir şekilde üretildiği görülmektedir. Kaplama tabakası ve ara tabaka arasında bir geçiş bölgesi olduğu, bu geçiş bölgesinin düzgün ve iyi bir metalurjik bağ ile bağlandığı gözlenmiştir. Kaplama tabakası ve alt tabaka arasında herhangi bir süreksizliğe (çatlağa) rastlanılmamıştır. Tüm kaplamalarda kaplama bölgesi, arayüzey bölgesi ve alt tabaka bölgesi olmak üzere 3 bölgeden oluşmuştur. Bununla birlikte kaplama bölgesi ise dendritik yapılar, dendritikler arası ötektik yapılar, parçacıklı yapılardan oluşmuştur. Kaplamaların arayüzeyinde katılma alt tabakadan, kaplama tabakası üst yüzeyine doğru

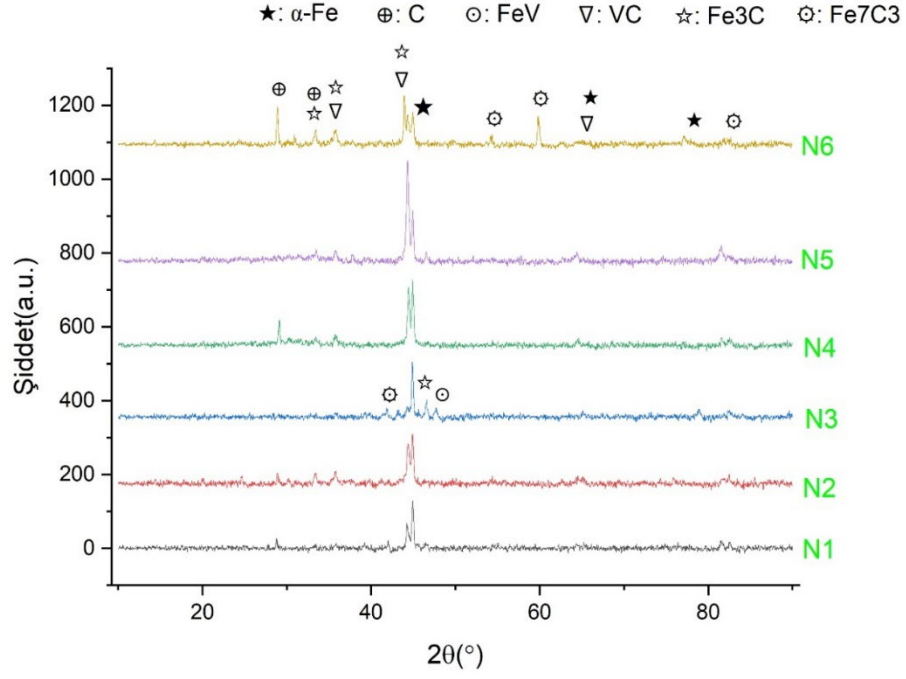
düzenli bir dendritik katılaşma şeklinde meydana gelmiştir. Dendritik yapılar hücresel, sütunsal, çiçek şeklinde ve balık kılçığı şekillerini andırmaktadır. Bu sonuçlar bağlamında kaplama işlemi, alt tabakadan kaplama yüzeyine difüzyonların başarılı bir şekilde gerçekleştiği düşünülmektedir.

5.2. XRD Sonuçları

Kaplama işlemi sonrası kaplama bölgesinde meydana gelen faz bileşikleri XRD analizi sonucunda tespit edildi. Şekil 5.13'te yer verilmiş olan XRD patternleri kompozit kaplamaların gaz tungsten ark kaplamayla başarılı bir şekilde elde edilebileceğini gösterdi. VC-C metal matris kompozit malzeme içerisinde yer alan elementler ile AISI 4140 çelik alt tabaka içerisinde yer alan elementler ergiyik havuzunda ayrılmaya başlar. Torcun ilerlemesiyle birlikte geride kalan kısımda ise katılaşma süreci başlar. Katılaşmanın başlaması sonucunda ergiyik havuzunda yer alan EDX sonuçlarında da tespit edilmiş olan V, Fe ve C elementleri difüzyon yoluyla birleşerek bileşik fazlar oluştururlar.

İlk çekirdeklenme aşamasında VC bileşikleri bulunabilir. Artan enerjiyle, sıvı fazdaki atomlar, daha büyük takviyeli faz parçacıkları oluşturmak için birbirleriyle temas edene kadar kristal çekirdeğin büyümesini destekleyen, büyümüş VC kristal çekirdeğinin yüzeyine sürekli olarak göç eder. Parçacıklar, uniform olmayan çekirdeklenme şeklinde kademeli olarak difüze edilir, böylece kaplamadaki sert fazın oranı artar (Zeng ve ark., 2022). Ayrıca ergiyik havuzunda yer alan C atomu tane sınırlarındaki difüzyon hızı, tane içindeki atomlardan çok daha yüksek olup bulundukları konumdan başka bir konuma geçerek Fe ve V atomlarıyla birleşerek kaplama bölgesinde sert karbür fazlar oluşturmaları muhtemeldir.

Kaplama bölgesinde XRD analiz sonuçlarıyla tespit edilen VC, α -Fe, FeV, Fe₇C₃, Fe₃C piklerinin bu çözünmelerin sonucu olduğu düşünülmektedir. Kaplamalar V ve C elementlerince zengin karbür fazlar birincil dentritik faz ile birlikte ve dentritler arası bölgelerde VC, α -Fe, FeV, Fe₇C₃, Fe₃C fazları olduğu belirlendi. XRD sonucunda tespit edilen fazlar yapılan literatür araştırmaları ile uyumludur (Zhang ve ark., 2015; Wang ve ark., 2006; Aghaie-Khafri ve ark., 2008; Ren ve ark., 2022).



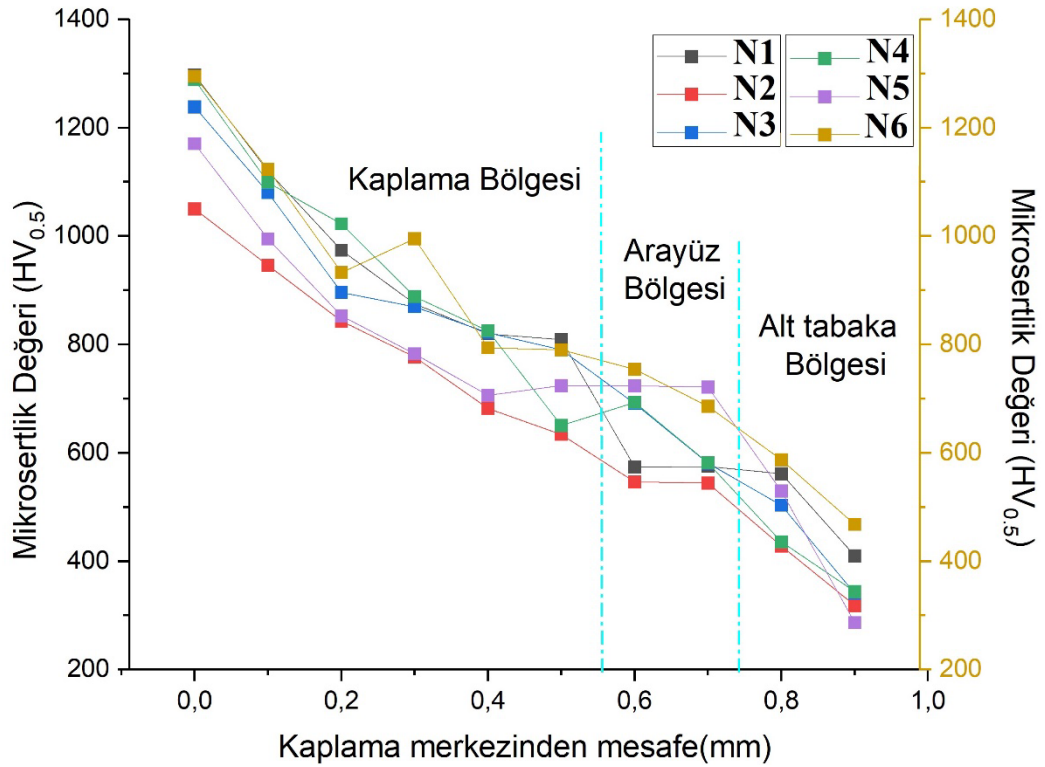
Şekil 5.13. VC-C kaplanan tüm numunelere ait XRD analiz sonucu

5.3. Mikrosertlik Analiz Sonuçları

Farklı oranlarda C takviyeli VC-C kaplanmış olan N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 kaplamalarının kaplama tabaka yüzeyinden alt tabakaya doğru farklı noktalarından gerçekleştirilen vickers sertlik analiz sonuçları Tablo 5.1’de ve Şekil 5.14’te ise tüm numunelere ait sertlik değerlerini gösteren çizgi grafiğe ve ortalama mikrosertlik değerlerini içeren çubuk grafiğe yer verilmiştir.

Tablo 5.1. Sertlik değerleri

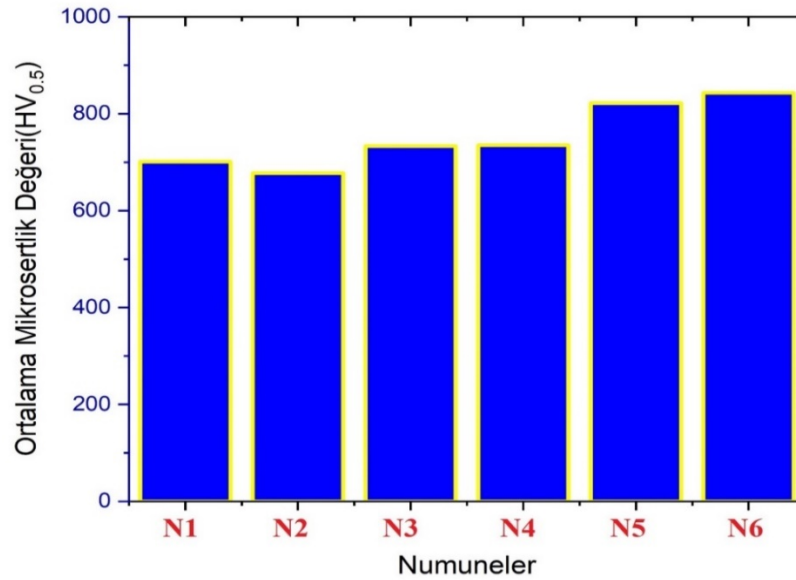
N1	N2	N3	N4	N5	N6
440	318	329	332	340	468
541	428	478	416	593	587
550	544	549	550	793	686
549	546	650	652	795	754
706	634	741	613	796	790
713	682	770	773	777	794
750	777	814	831	857	995
816	843	838	954	930	933
913	946	1007	1024	1078	1123
1032	1050	1152	1198	1261	1295



Şekil 5.14. Kaplama tabakaları için elde edilen mikrosertlik değerleri

Sertlik ölçümleri kaplama tabakasının merkezinden alt tabakaya Şekil 5.14'da verilmiş olan sertlik ölçüm sonuçlarının yer aldığı grafikte görüldüğü üzere doğru kaplama bölgesi, arayüz bölgesi ve alt tabaka olmak üzere toplam 10 noktadan ölçülmüştür. Sertlik analiz sonuçlarını gösteren Tablo 5.1'de Saf VC ile kaplanmış N1 numunesinde en yüksek sertlik değeri 1032 HV_{0.5} ile kaplama bölgesi iken en düşük sertlik değeri ise 440 HV_{0.5} olarak alt tabaka bölgesinden ölçülmüştür. Bununla birlikte C ilavesine bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı, özellikle %5 C takviyeli N6 numunesinde elde edilen sertlik değeri 1295 HV_{0.5} ile en yüksek değer olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlardan artan grafit içeriğine bağlı olarak sertliğin hızla arttığı görülmektedir (Wang ve ark., 2006). SEM-EDS analizlerinde görüldüğü üzere artan V-C elementlerinin eriyik havuzunun katılaşmasıyla birlikte V esaslı ve Fe esaslı sert karbür fazlarının oluşmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Vanadyum, yüksek enerji yoğunluğu girişinin neden olduğu erimiş havuzun yerinde sentez ve konveksiyon etkisi için uygun ısı girişi altında lazerin yüksek sıcaklıktaki katı-sıvı reaksiyonu yoluyla karbürleri çökeltmek için karbona difüze edilir. Uzun ömürlü erimiş havuzda, VC, kaplama işleminde büyük miktarda çekirdeklenme büyümesine sahiptir. Kaplamanın sertliğini artırmak için daha sert takviyeli fazlar üretilir (Zeng ve ark., 2022). Kompozit

kaplamadaki mükemmel sertlik, demir matrisinde daha yüksek oranda VC partikülleri ile kaplamadaki çok ince yapıya bağlanabilir (Shah ve ark., 2002). Yapılan çalışmada kaplamaların sertliğinin birincil karbürlerin hacim fraksiyonuna ve mikro yapıya bağlı olduğunu bildirmiştir (Çömez, 2023). Benzer görüş Lazerle kaplama işlemi sonrası bölgedeki önemli sertlik artışının nedeni, eklenen sert VC parçacıklarının ve mikroyapısal değişikliklerin birleşik etkisinden kaynaklanmaktadır (El-Labban ve ark., 2015). C takviyeli N2, N3, N4 ve N5 numunelerinin kaplama tabakasından elde edilen en yüksek sertlik ölçüm değerleri sırasıyla; 1050 HV_{0.5}, 1152 HV_{0.5}, 1198 HV_{0.5} ve 1261 HV_{0.5} ile sonuçlanmıştır. En düşük değerler ise; 318 HV_{0.5}, 329 HV_{0.5}, 332 HV_{0.5}, 340 HV_{0.5} ve 468 HV_{0.5} olarak ölçülmüştür. Nitekim SS 316 paslanmaz çelik kaplama çalışmasında, kaplama bileşimindeki VC içeriğinin artmasıyla birlikte kaplamaların mikrosertliğinin arttığını rapor etmiş ve %100 VC içeriğine sahip kaplama için maksimum değer olarak 1023 HV_{0.5} olduğunu belirtmişlerdir (Singh ve ark., 2022). Daha yüksek VC yüzdesine sahip numunelerin, kaplama matrisinde daha sert malzemenin (VC) bulunması nedeniyle daha yüksek mikrosertliğe sahip olduğunu göstermişlerdir. Mikrosertlik sırasının kaplama A (1083 HV9.81) > kaplama B (956 HV9.81) > kaplama C (780 HV9.81) > kaplama D (558 HV9.81) > kaplama E (408 HV9.81 N) > SS316 çelik (176 HV9.81 N) olarak sıralamışlardır (Singh ve ark., 2022).



Şekil 5.15. Kaplama sürelerine bağlı ortalama mikrosertlik değerleri

Şekil 5.15'te ise tüm numunelere ait ortalama mikrosertlik sonuçları görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere N5 ve N6 dışında kalan numunelerin sertlik ortalamaları arasındaki fark çok yüksek değildir. Bununla birlikte N5 ve N6 numunelerin grafik

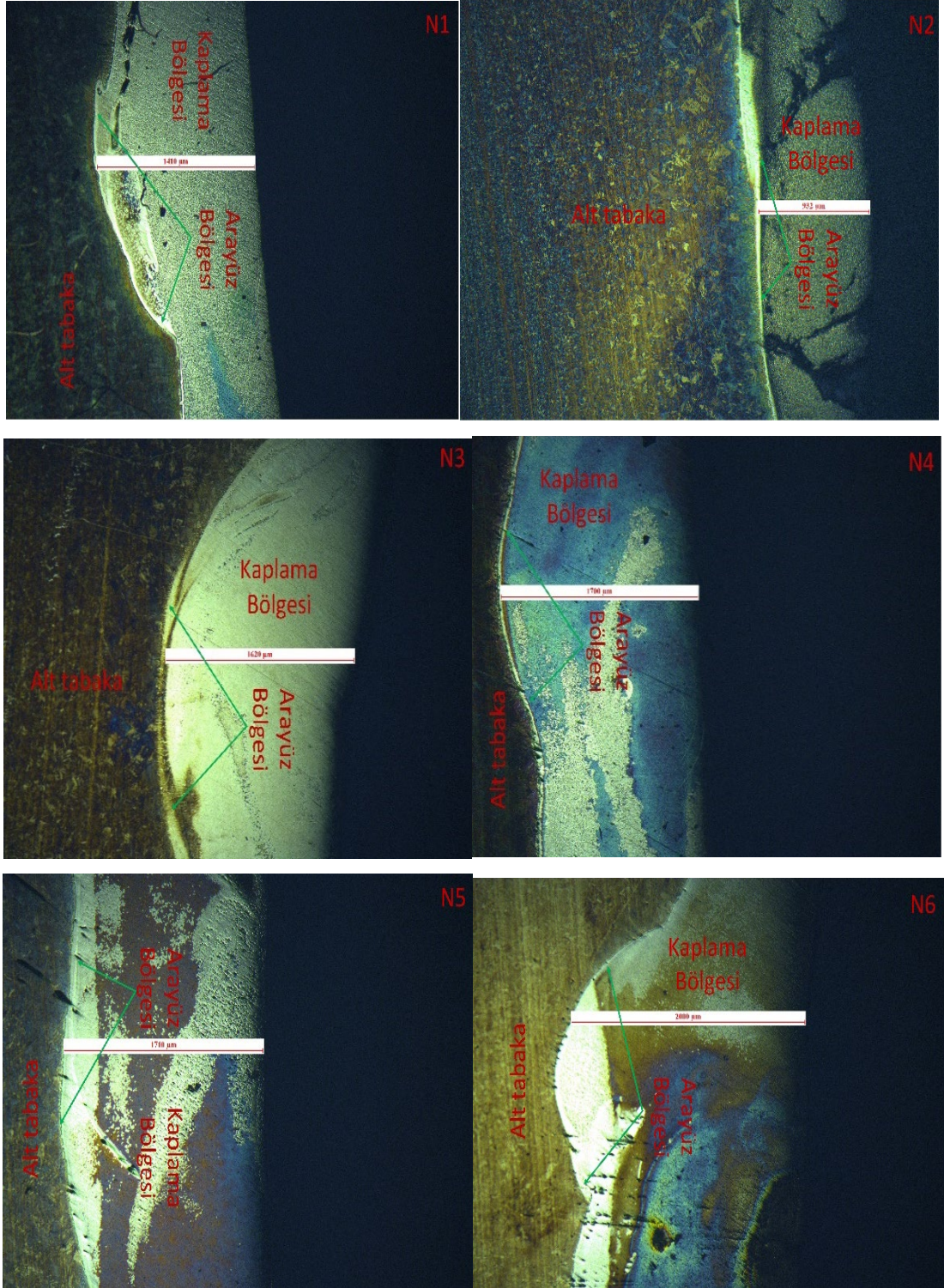
sonucuna bakıldığında diğer numunelere göre gözle görülür bir artış gözlenmiştir. Bu artışın temel nedeninin artan C oranı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca sertlik sonuçlarının yüksek çıkmasındaki diğer bir etken olarak yapıda oluşmuş olan sert yapıli fazlarında etkisi olabileceği düşünülmektedir. Nitekim XRD grafik sonuçlarında yapıda Fe₇C₃, VC ve Fe₃C gibi sert fazların oluştuğı belirlenmiştir. Ortalama sertlik sonuçlarının değerleri sırasıyla; 701 HV_{0.5}, 676.8 HV_{0.5}, 732.8 HV_{0.5}, 822 HV_{0.5} ve 842.5 HV_{0.5} olarak ölçülmüştür. Sonuçlara bakıldığında alt tabakaya ait en düşük değerin N2 numunesinde alınan ölçümde elde edilmiştir. Sonuçlara bağılı olarak, artan C takviye oranıyla kaplama tabakası sertliğı alt tabaka sertliğine göre yaklaşık 3 – 3.5 kat arttığı elde edilen ölçüm sonuçlarından tespit edilmiştir. Elde etmiş olduğumuz sonuçlar literatür ile uyumlu olduğu yapılan araştırmalarda belirlenmiştir. Nitekim farklı araştırmacılar tarafından yapılmış olan VC kaplama çalışmalarında kaplama sertliğinin alt tabaka sertliğine göre 3 veya 4 katı arttığını tespit etmişlerdir(Ren ve ark., 2022; Zhong ve ark., 2020).

5.4. Enerji Girdisine bağılı olarak Kaplama Kalınlığına Etkisi

VC-C kaplamasına ait Şekil 5.16'da kaplama kalınlığı, optik mikroyapı görüntülerinde kaplı bölgesi, arayüz bölgesi ve alt tabaka olmak üzere 3 bölgeden oluşmaktadır. Enine kesit resminde görüldüğü üzere arayüz çizgisi kristal iç bükey bir şekil alarak ilerlemiştir. Arayüz çizgisinden kaplama tabakası merkezine doğru iç bükey kristal yerini dendritik ve dendritler arası ötektik yapıya bırakmıştır. Kaplama derinliğı ölçümleri Şekil 5.16'da ve Şekil 5.17'de ile Tablo 5.2'de yer alan enerji değerine bağılı olarak analiz edilerek karşılaştırılmıştır. Şekil 16'da 100 A akım değeri uygulanarak yapılan VC-C kaplamalara ait optik mikroyapı görüntüleri yer alırken, Şekil 5.17'de ise 100 A akım değeri uygulanarak yapılan numunelere ait enerji girdisine bağılı olarak oluşan kaplama kalınlığını gösteren grafiğe yer verilmiştir. Görüntülerde alt tabaka üzerinde yoğun ve kalın bir kaplama tabakası oluştuğı görülmüştür. Kaplamaların düzgün bir arayüz ile birlikte dendritler ve dendritler arası ötektik yapılardan oluşmuştur. Bu yapı optik mikroyapı ve SEM mikroyapı analiz görüntülerinde daha net görülmektedir. Hiçbir kaplamada gözenek ve benzeri süreksizliklerin oluşmadığı, temiz bir arayüzey oluşmuştur.

GTA kaplama işlemi sırasında arkın ilerlemesine bağılı olarak ergiyik havuzunda hızlı bir şekilde katılma meydana gelmiştir. Bu katılmanın sonucunda yüzeyde dentritik yapılar ile birlikte oluşan ince parçacıklı yoğun yapılar malzemenin dayanım ve

sertliğine katkı sunar (Zabihi ve ark., 2018). Bu durum da kaplama tabakası ile alt tabaka arasında iyi bir metalurjik bağ olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.16. Kaplama Kalınlığına ait Optik Görüntüler

Şekil 5.16'da ve Şekil 5.17'de ile Tablo 5.2'de yer alan kaplama derinliklerine bakıldığında en düşük değerin 720 j/mm enerji girdisine sahip N3 numunesine ait olduğu ve kaplama kalınlığı 932 μm olduğu görülmektedir. Bununla birlikte en yüksek 1296

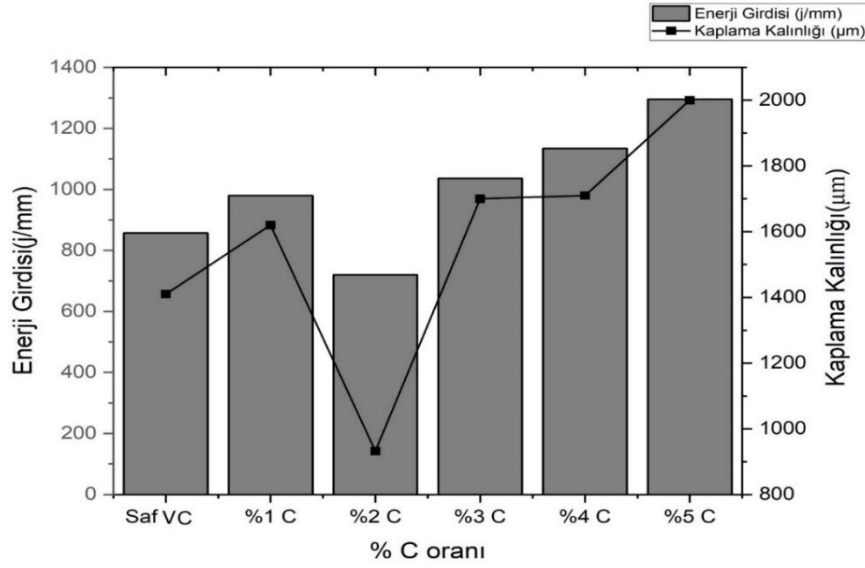
j/mm enerji girdisine sahip N6 numunesinin ise kaplama kalınlığı 2000 μm olarak ölçülmüştür. Tüm numunelere enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı değişimine ait değerlere bakıldığında en düşük değerden başlayarak sıralamanın N3, N1, N2, N4, N5 ve N6 olduğunu görmekteyiz. Buna göre oluşan kaplama kalınlıkları ise 932 μm , 1420 μm , 1620 μm , 1700 μm , 1710 μm olarak sıralanmıştır. Kaplama derinlik verilerine bakıldığında kaplam derinliğinin enerji girdisi ile birlikte ilerleme(besleme) hızının belirleyici faktör olduğu düşünülmektedir. Arkın biriktirilmiş kaplama tabakası ile düşük tarama hızının yüksek etkileşimi sonucu; kaplama tabakasının altlık yüzeyi ile karışımının desteklendiği ve kaplamanın toplam kalınlığının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Daha düşük tarama hızı, arkın önceden biriktirilmiş kaplama tabakası ile daha yüksek etkileşim süresinin bir sonucu olarak, kaplama tabakasının altlık yüzeyi ile karışımını desteklemekte ve kaplamanın toplam kalınlığını arttırmaktadır. Aynı zamanda ark boyunun da enerji girdisi üzerindeki etkisi, çalışma esnasında görülmüştür. Bunun aksine, daha yüksek tarama hızında, daha düşük etkileşim süresi nedeniyle, indüklenen ısı, alt tabaka yüzeyini daha küçük bir derinliğe eritir ve kaplama tabakasının kalınlığını sınırlar (Buytoz ve ark., 2022; Tijo ve ark., 2018).

İlerleme hızının yavaş olması kaplama bölgesinde ısının artmasına, bu doğrultuda ergimenin daha derin olmasına neden olmuştur. Tablo 5.2’de yer alan değerlere bakıldığında en düşük kaplama derinliğine sahip N1, N2 ve N3 numunelerinin ilerleme hızının sırasıyla 0,53 mm/s, 0,56 mm/s ve 0,53 mm/s olduğu görülmektedir.

Uygulanan parametrelerin kaplama tabakasının kalınlığı ve morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Li ve ark, 2018).

Tablo 5.2. Enerji Girdisi, İlerleme Hızı ve Kaplama Kalınlık Sonuçları

Numune	Enerji Girdisi (j/mm)	İlerleme Hızı(mm/s)	Kaplama Kalınlığı(μm)
N1	857	0,53	1410
N2	980	0,56	1620
N3	720	0,53	932
N4	1036	0,41	1700
N5	1134	0,41	1710
N6	1296	0,43	2000



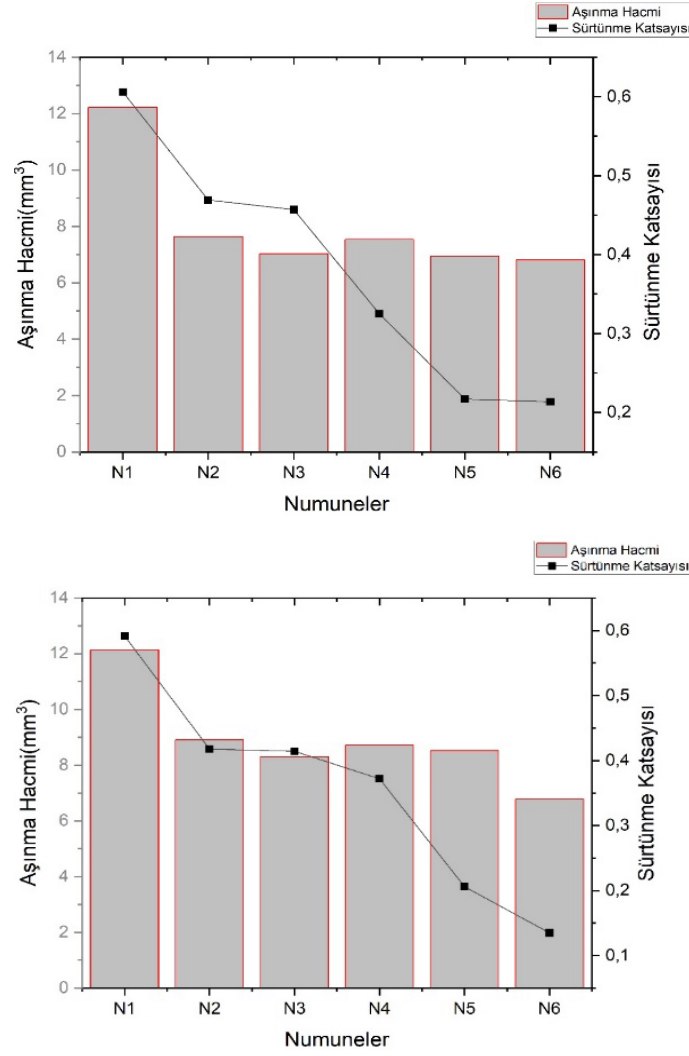
Şekil 5.17. Enerji girdisine bağlı olarak kaplama kalınlığı değişim grafiği

5.5. Aşınma Sonuçları

Takviye tipi, takviye oranı, uygulanan yük ve kayma mesafesi, metal matrisli kompozit malzemelerin sürtünme katsayısı ve aşınma direnci üzerinde önemli parametrelerdir (Demir ve ark., 2022).

Aşınma testleri 5N yük ve 150-300m ilerleme hızında VC, ağ.% 1,2,3,4 ve 5 C takviyeli N1, N2, N3, N4, N5 ve N6 numuneler VC, VC-C kaplamalar ASTM G99 standartlarında pin-on disk ile aşınma performansları incelenmiştir. Aşınma işlemi TURKYUS PODWT aşınma cihazında 300 dev/dak hızında 7,5 mm iz çapında 300 rpm hızda dönen disk üzerinde, 6 mm çapında çelik bilye kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yapılan aşınma test sonuçlarına ait SEM- EDS'ler Şekil 16-21, 300 m mesafede sürtünme katsayısına bağlı olarak meydana gelen aşınma hacminin oran grafiği Şekil 5.18'de, ortalama mikrosertliğe bağlı olarak sürtünme katsayısı grafiği Şekil 5.18'de yer verilmiştir.

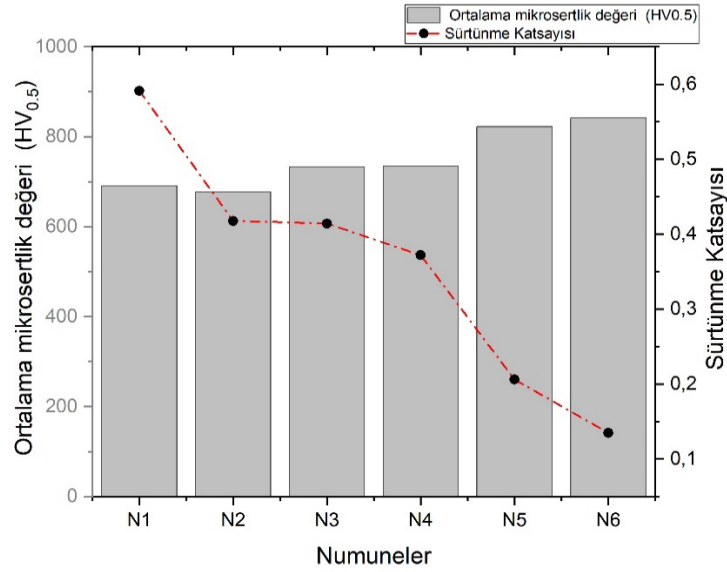


Şekil 5.18. Sürtünme katsayısına bağlı olarak meydana gelen aşınma hacminin oran grafiği (150m-300 mesafede)

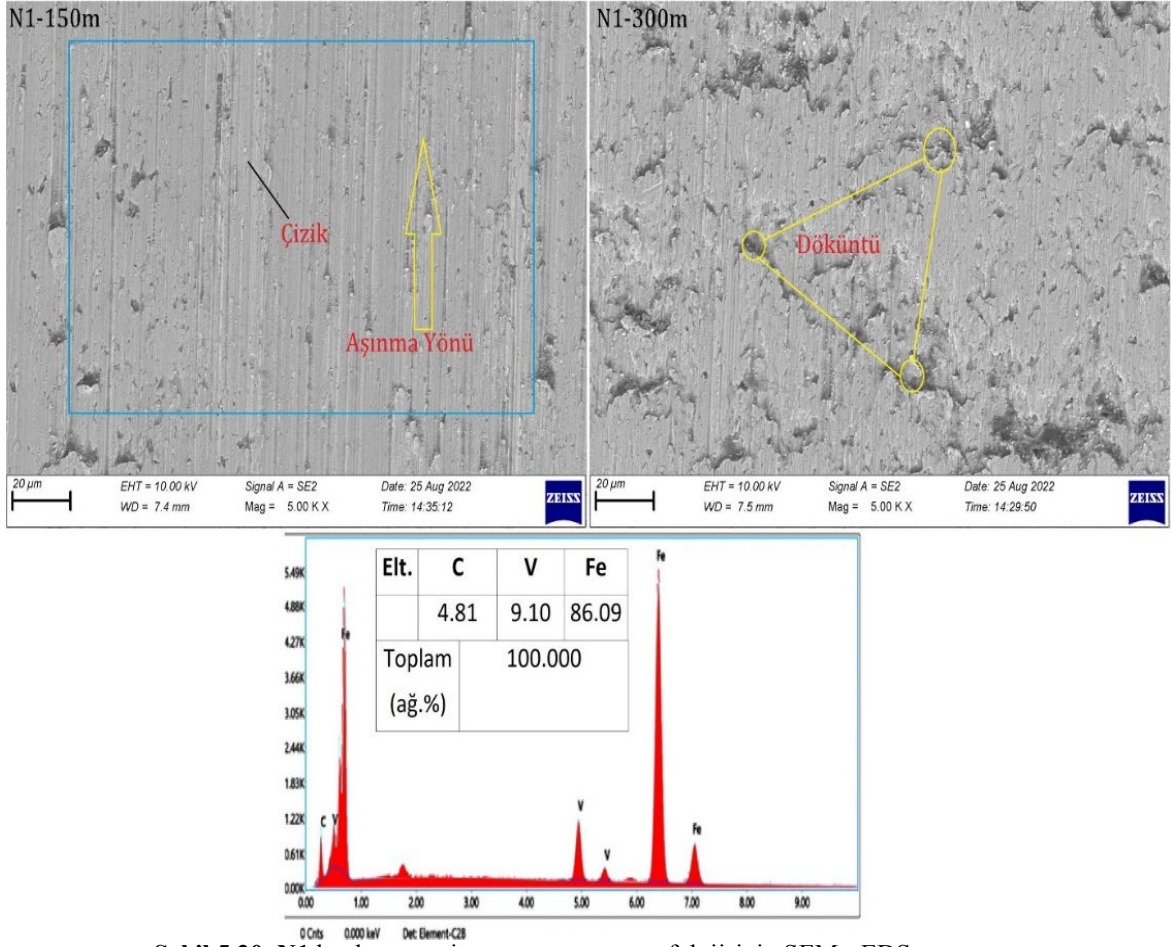
Aşınma işleminde elde edilen aşınma hacim kayıpları Şekil 5.18’de verilmektedir. Grafikte görüldüğü gibi en yüksek ağırlık kayıpları 150 m ilerleme mesafesinde N1 ve N4 iken; 300 m ilerleme mesafesinde ise N1 ve N2’de daha fazla ağırlık kaybı gerçekleşmiştir. Özellikle 300 m ilerleme mesafesinde ağırlık kayıplarının azaldığı görülmektedir. Bu düşüşün temel nedeni, ilave edilen C oranı ile numune ve çelik bilye arasında oluşan sürtünme sonucu meydana gelen ısının etkileşimidir. Bu etkileşim sonucu oluşan oksit tabakasının triboyüzey oluşturmuş olabileceği düşünülmektedir. Şekil 5.18’de görüldüğü üzere, C oranına bağlı olarak sürtünme katsayısının da düştüğü görülmektedir. Daha yüksek grafit hibrit kompozitlerle karışık düz tabaka oluşumu, aşınma direncini artırır ve sürtünme katsayısını azaltır (Rajkumar ve ark., 2011). Sürtünme katsayısının düşmesi, aşınma direncini artırmıştır. Şekil 5.19’da ortalama mikrosertlik ve sürtünme katsayısı grafiğinde artan mikrosertlik değerine bağlı olarak sürtünme katsayısı düşmüştür. Aşınma direnci ve mikrosertlik arasında doğru orantı

olduğu görülmektedir. Vanadyum ilave miktarının artmasıyla birlikte, ağırlıkça yüzey kaplama alaşımının önce sertliğinin arttığını, aynı şekilde aşınma direncinin de sürekli bir artış eğilimi gösterir. Bununla birlikte, değişim eğiliminin, yükleme ve kuvvetteki değişikliklerden etkilenmediğini belirtmişlerdir. Son olarak Vanadyum içeriği ağırlıkça %13.78 olduğunda, yüzey kaplama alaşımı en iyi aşınma direncini gösterdiğini ifade etmişlerdir (Minghui ve ark.,2022).

Elde edilen veriler ışığında değerlendirildiğinde mikrosertliğin artmasıyla birlikte aşınma direncinin arttığı Şekil 5.18’de verilmiş olan 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 5.19’da 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.

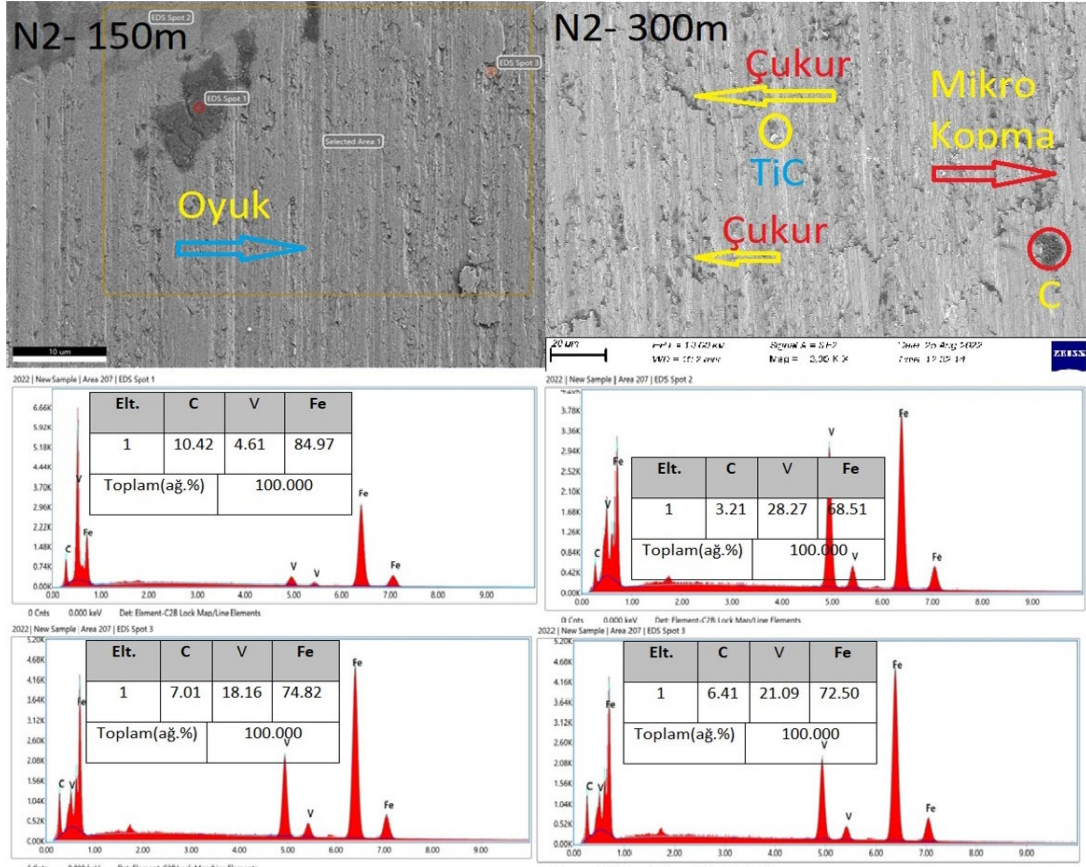


Şekil 5.19. Ortalama mikrosertliğe bağlı olarak sürtünme katsayısı grafiği(300m mesafe)



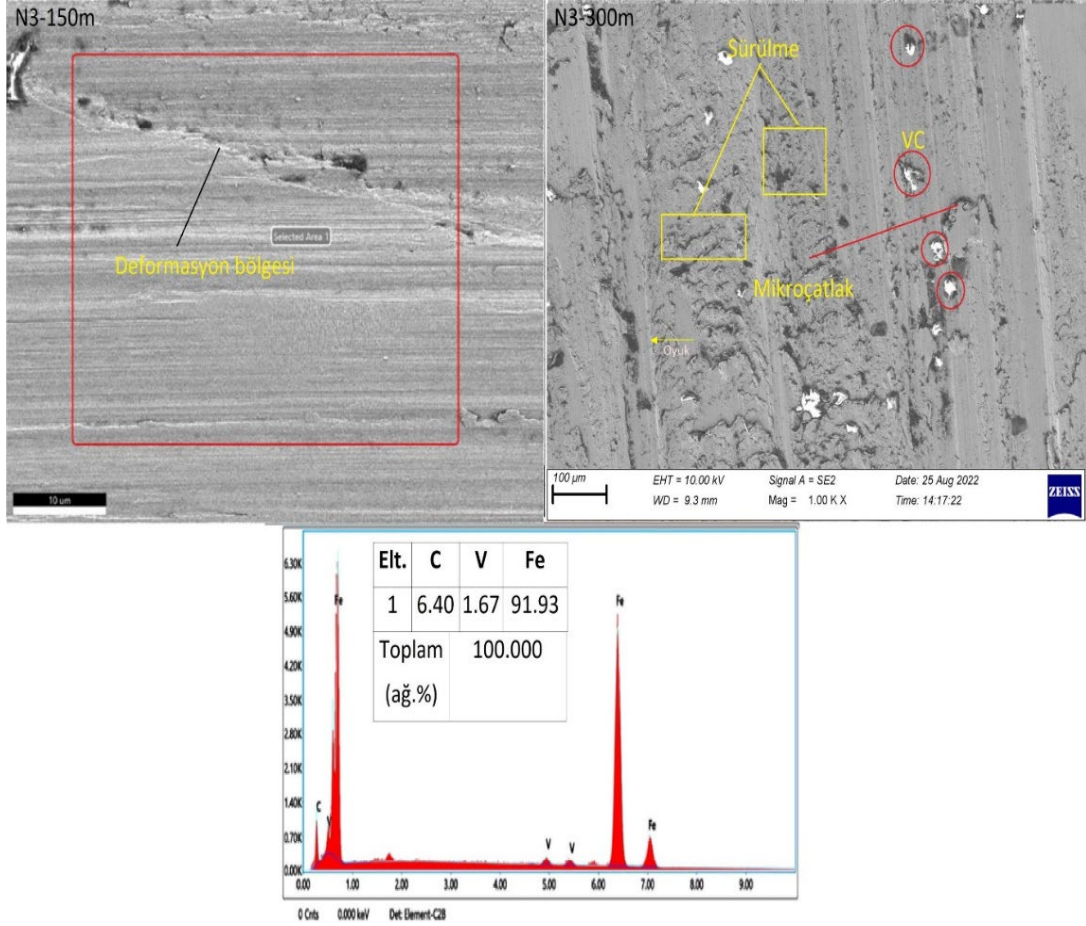
Şekil 5.20. N1 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu

Saf VC (N1) metal matris kompozit kaplama ait SEM resimleri ve EDS sonuçları Şekil 5.20’de verilmiştir. Saf VC ait SEM resimlerinde aşınma ile birlikte çizik, çukurlar, döküntüler oluşmuştur. Oluşan bu çukurların ve döküntülerin muhtemelen ilk yüklemenden sonra kaplama tabakasında kopmaların meydana gelmesi sonucu oluşmuştur. Aşınma bölgesinin tümünü kapsayan EDS tablosunda da V, C ve Fe yoğun olduğu görülmektedir.



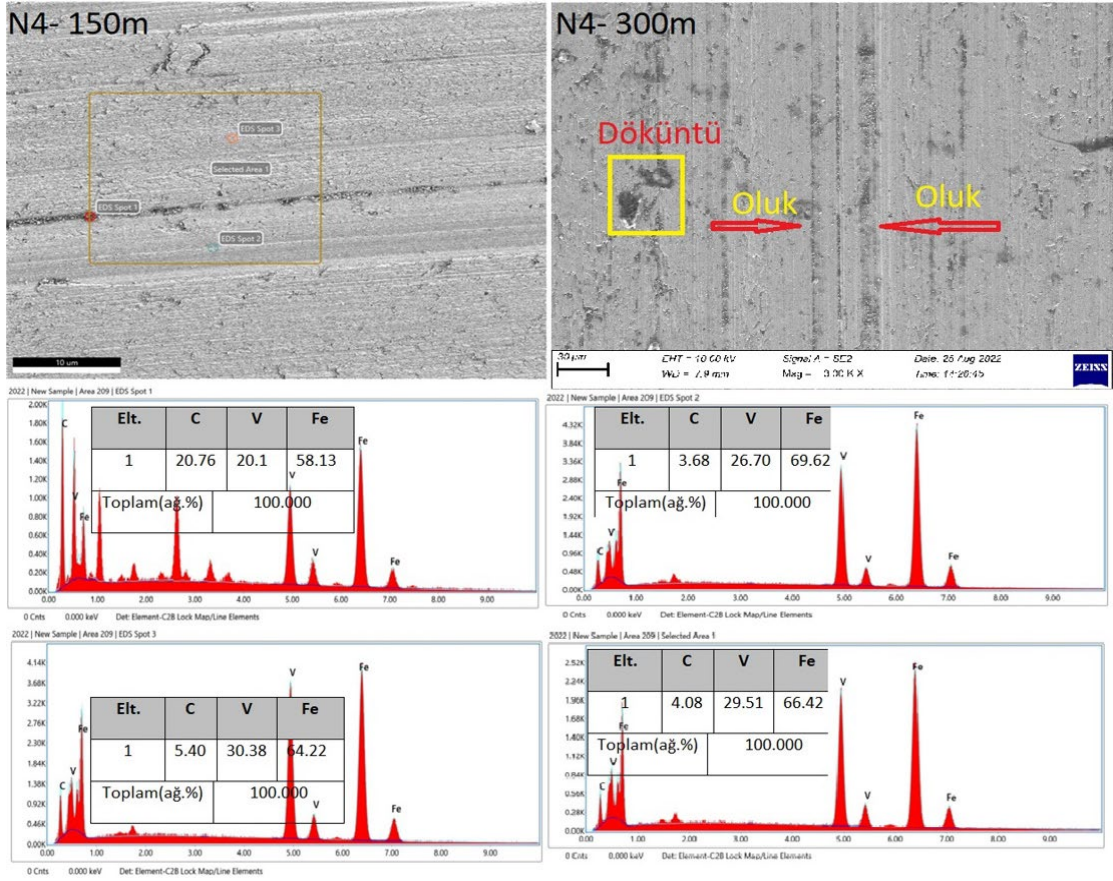
Şekil 5.21. N2 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu

%1C takviyeli VC-C (N2) metal matris kompozit kaplama ait SEM resimleri ve EDS sonuçları Şekil 5.21’de verilmiştir. N2 numunesine ait SEM resimlerinde aşınma ile birlikte çizik, çukurlar, oyuk ve mikrokopmalar meydana gelmiştir. Oluşan bu çukur, oyuk ve mikrokopmaların temel sebebi olarak muhtemelen ilk yüklemeden sonra kaplama tabakasında kopmaların meydana gelmesi sonucu oluşmuştur. Aşınma bölgesinin farklı yerlerinden alınmış olan EDS tablosunda en yüksek Fe elementi değeri olmak üzere V ve C elementleride yoğun olduğu görülmektedir. Kaplama bölgesinde V ve C elementinin yüksek değerlerde olması sert karbür fazlarının oluştuğunu göstermektedir. Nitekim XRD sonucu da bunu doğrulamaktadır. Aşınma direncinin mikrosertlikle yakından ilişkili olduğu ve malzemenin VC içeriği ne kadar yüksekse, mikrosertliğin o kadar yüksek olduğu ve aşınma direncinin o kadar iyi olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Shi ve ark., 2022).



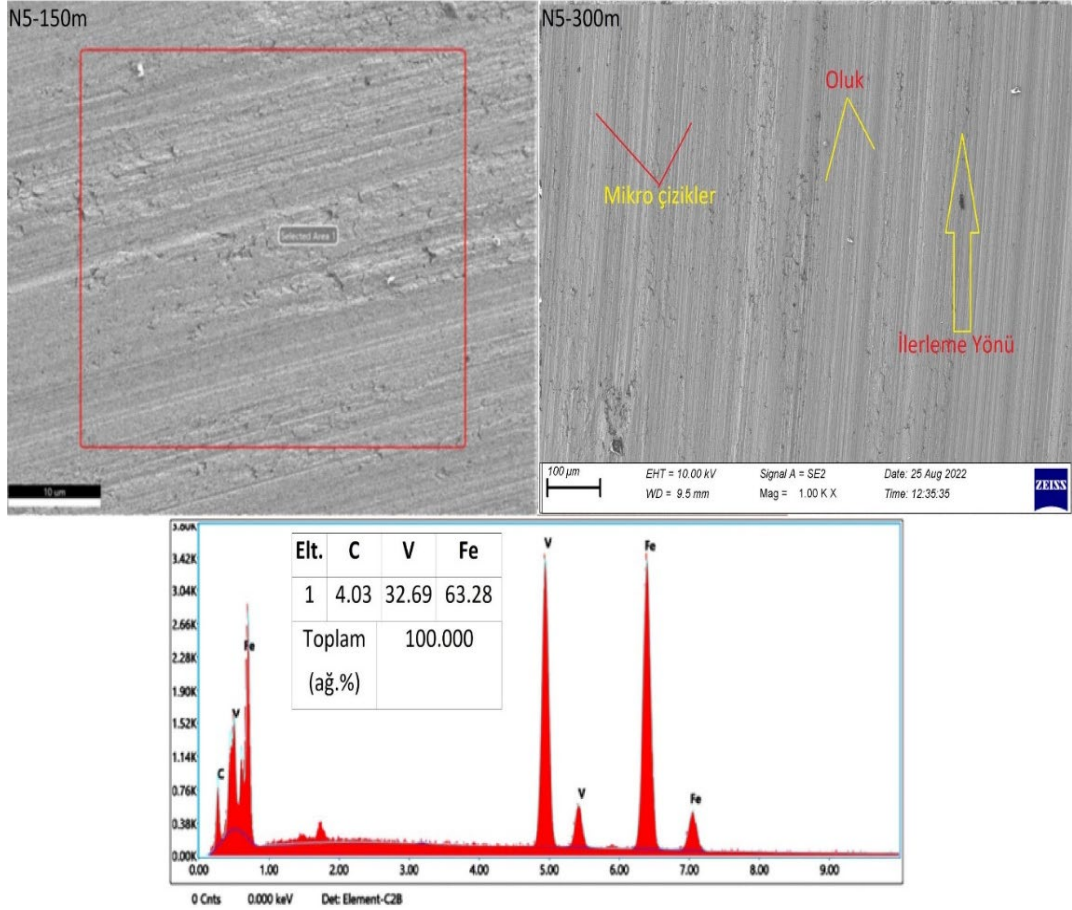
Şekil 5.22. N3 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu

%2 C takviyeli VC-C (N3) metal matris kompozit kaplama ait SEM resimleri ve EDS sonuçları Şekil 5.22’de verilmiştir. N3’e ait SEM resimlerinde aşınma ile birlikte çizik, çukurlar, sürülmeler ve deformasyon oluşmuştur. Oluşan bu çizik, çukurlar, sürülmeler ve deformasyon muhtemelen ilk yüklemeden sonra kaplama tabakasında kopmaların meydana gelmesi sonucu oluşmuştur. Aşınma bölgesinin tümünü kapsayan EDS tablosunda da V, C ve Fe yoğun olduğu görülmektedir.



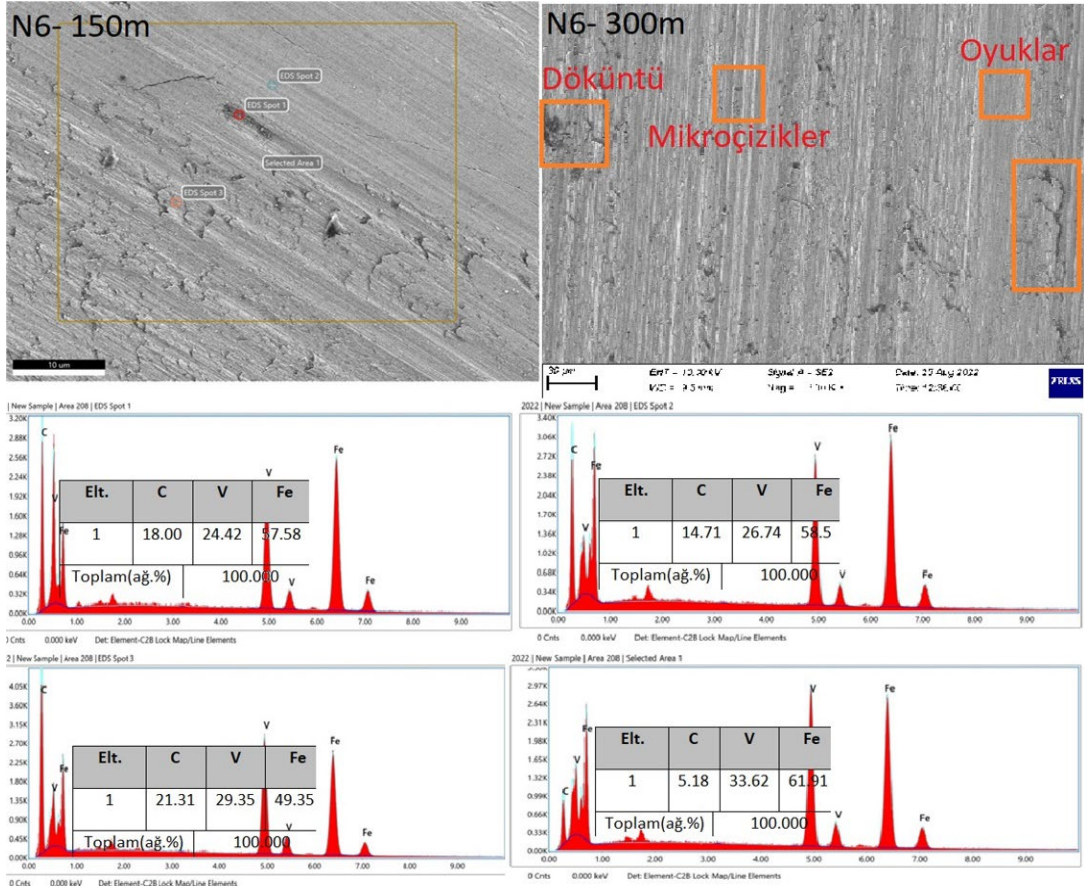
Şekil 5.23. N4 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu

%3C takviyeli VC-C (N3) metal matris kompozit kaplama ait SEM resimleri ve EDS sonuçları Şekil 5.23'te verilmiştir. N2 numunesine ait SEM resimlerinde aşınma ile birlikte çizik, çukurlar, oyuk ve mikrokopmalar meydana gelmiştir. Oluşan bu çukur, oluk ve döküntünün temel sebebi olarak muhtemelen ilk yüklemeden sonra kaplama tabakasında kopmaların meydana gelmesi sonucu oluşmuştur. Aşınma bölgesinin farklı yerlerinden alınmış olan EDS tablosunda en yüksek Fe elementi değeri olmak üzere V ve C elementleri de yoğun olduğu görülmektedir. Ayrıca yüzey morfolojisinden de görüldüğü üzere ilk üç numuneye göre daha dirençli bir yüzey olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.24. N5 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu

%4 C takviyeli VC-C (N5) metal matris kompozit kaplama ait SEM resimleri ve EDS sonuçları Şekil 5.24'te verilmiştir. N5'e ait SEM resimlerinde aşınma ile birlikte mikroçizik ve oluklar oluşmuştur. Aşınma testi sırasında daha yumuşak bir matris kolayca deforme olabilir ve kaplamanın aşınma direncini artıran bir gerinim sertleştirme etkisi oluşturabilir (Çömez, 2023). 150 m ilerleme mesafesinde aşınma daha yoğun olduğu görülürken, 300 m ilerleme mesafesinde ise daha az olmuştur. Bunun temel sebebi olarak ilk ilerleme ile birlikte çelik bıya ve kaplama tabakası arasında oluşan sürtünme sonucunda oluşan sıcaklık kaplama yüzeyinde sert bir oksit tabakası oluşturmuş olabileceği düşünülmektedir. Aşınma bölgesinin tümünü kapsayan EDS tablosunda da V, C ve Fe elementleri yoğun olduğu görülmektedir.



Şekil 5.25. N6 kaplamaya ait yüzey aşınma morfolojisinin SEM - EDS sonucu

%5C takviyeli VC-C (N6) metal matris kompozit kaplama ait SEM resimleri ve EDS sonuçları Şekil 5.25'te verilmiştir. N6 numunesine ait SEM resimlerinde aşınma ile birlikte mikroçizik, çukurlar, oyuk ve döküntüler meydana gelmiştir. Oluşan bu çukur, oyuk ve döküntünün temel sebebi olarak muhtemelen ilk yüklemeden sonra kaplama tabakasında kopmaların meydana gelmesi sonucu oluşmuştur. N5 numunesinde olduğu gibi diğer numunelere oranla yüzeyde daha az aşınma meydana gelmiştir. Aşınma bölgesinin farklı yerlerinden alınmış olan EDS tablosunda en yüksek Fe olmak üzere V ve C yoğun olduğu görülmektedir. Daha önce ifade etmiş olduğumuz gibi V ve C karbür'ün yüksek çıkması VC gibi karbürlerin aşınma bölgesinde oluştuğunu göstermektedir. VC içeriğindeki artışla birlikte, kaplama tabakasındaki aşınma kaybının ağırlığında belirgin bir düşüş eğilimi vardır. Bu, VC içeriği ne kadar yüksekse, aşınma direncinin o kadar iyi olduğu anlamına gelir (Shi ve ark., 2022).

Tüm kaplamalarda C oranının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısının düştüğü görülmektedir. Bunun güçlü karbür faz bileşiklerinden olan $M_7C_3(Fe_7C_3)$, $M_3C(Fe_3C)$ ve VC olduğu düşünülmektedir. VC içeriği arttıkça karbür içeriği de artar ve aşınma mekanizması kademeli olarak abrazif aşınmaya dönüşür. Karbürlerin homojen

dağılımının, yüklere etkili bir şekilde dayanabildiği ve altlık yüzeyinin daha fazla soyulmasını önleyerek plastik deformasyonu önleyebildiği sonucuna varmak mantıklıdır (Shi ve ark., 2022).

Kaplamalarda kullanılan sert partiküllerin aşınma testi uygulanırken aşınma yüzeyi ve aşındırıcı arasında meydana gelen kaymanın sürtünme temas alanını etkilemesinden dolayı kayma aşınmasını azaltacağını belirtmişlerdir (Çelik ve ark., 2017). Tüm sonuçlar gözönüne alınarak değerlendirildiğinde metal matrisli kompozitlerde takviye elemanı oranının sertlik ve aşınma direncinde belirleyici bir etken olduğu düşünülebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, GTA kaynak yöntemi ile AISI 4140 çelik yüzeyine VC-C kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Kaplama işlemi 6 adet AISI 4140 çelik numunesi yüzeyine saf VC ile farklı oranlarda (%ağ. 1,2,3,4 ve 5 C) grafit takviye edilerek kaplama işlemi yapılmıştır. Kaplama yüzeyleri mikroyapı incelemeleri, mikrosertlik ve aşınma testi gibi mekanik testlere tabi tutulmuştur. Yapılan analiz ve testler sonrasında elde edilen sonuçlar ve çalışma sonrası tespit edilen öneriler sektörel ve akademik çalışmalara katkı sağlayacağı düşüncesiyle aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

6.1. Sonuçlar

1. AISI 4140 VC ile VC-C tozları kullanılarak GTA kaynak yöntemi ile başarılı bir şekilde kaplanabileceği görülmüştür.
2. Tüm numunelerde kaplanmış numune yüzeyi boyunca homojen bir kaplama tabakası oluşumu sergilemiştir. Kaplama tabakası ve arayüzey bölgesinde hiçbir çatlak ve gözeneğe rastlanılmamıştır.
3. Tüm numunelerin optik mikroskop ve SEM-EDS analizleri ile elde edilen mikroyapı sonuçları incelendiğinde kaplama tabakaları dendritik hücresel, sütunsal, çiçek ve balık kılçığı şekillerini andırdığı gözlenmiştir. Alt tabaka ve kaplama ara bölgesi geçişlerinin düzgün olduğu metalurjik olarak iyi bir bağ yapısının oluştuğu gözlenmiştir.
4. Kaplama bölgesinde XRD analiz sonuçlarıyla tespit edilen VC, α -Fe, FeV, Fe₇C₃, Fe₃C piklerinin bu çözünmelerin sonucu oluştuğu düşünülmek ile birlikte Kaplamalar V ve C elementince zengin karbür fazlar birincil dendritik faz ile birlikte ve dentritler arası bölgelerde VC, α -Fe, FeV, Fe₇C₃, Fe₃C fazları oluştuğu belirlenmiştir.
5. Mikrosertlik analiz sonuçlarına göre C oranının artışına bağlı olarak kaplama bölgesindeki mikrosertlik değerinde de artış tespit gözlenmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçlarında sertliğin en düşük olduğu ölçüm N2 (%1 C takviyeli - VC) 318 HV0.5 ile alt tabaka bölgesinde iken en yüksek sertlik değerinin ise N6 (%5 C- takviyeli VC) 1295 HV0.5 olarak kaplama bölgesinde ölçülmüştür. Kaplama tabakası sertliğinin alt tabaka sertliğinden 3-4 kat fazla olduğu belirlenmiştir. Tüm veriler ışığında VC-C kaplamada artan C oranının kaplama sertliğinin artmasına önemli katkı sağladığıdır.
6. Kaplama derinliklerinde bakıldığında en düşük değer 720 j/mm enerji girdisine sahip N3 numunesine ait olduğu ve kaplama kalınlığı 932 μ m'dir. Bununla birlikte en yüksek 1296 j/mm enerji girdisine sahip N6 numunesinde ise kaplama kalınlığının 2000

um olarak tespit edilmiştir. Tüm numuneler üzerinde yapılan incelemelerde kaplama kalınlıklarının artışıyla ark boyu ile ilerleme hızının enerji girdisi üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kaplama derinliğini en çok etkileyen enerji girdisinin olduğu tespit edilmiştir.

7. Aşınma ölçümleri sonucu elde edilen verilerde artan C oranı ile mikrosertliğin ve aşınma direncinin artış gösterdiği, ağırlık kaybın da azalma görülmüştür. Bu veriler ışığında C miktarındaki artışların alt tabaka yüzeyinin sertliğini etkilediği ve aşınma direncinin gelişmesinde önemli rol oynadığı anlaşılmıştır. Numunelerdeki veriler ile artan mikrosertlik ile birlikte sürtünme katsayısında düşüşler görülmektedir.

8. Aşınma sonrası 150 m en düşük sürtünme katsayısı 0.2 ile N6 numunesi olurken en yüksek 0.6 ile N1 numunesinde belirlenmiştir. 300 m ilerleme de ise sürtünme katsayıları N1 numunesinde 0.5 iken N6 numunesinde ise 0.15 olarak tespit edilmiştir.

6.2. Öneriler

- VC'a farklı karbür ve borürler eklenerek aşınma ve mikrosertlik değişimleri araştırılabilir.
- VC-C kaplama çalışmasının korozyon direnci araştırılabilir.
- VC-C tozunun da farklı alt tabaka çalışmaları araştırılabilir.
- C oranı arttırılarak bağlı olarak mekanik özellikleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aykan, E., 2018, "Az91 Magnezyum Alaşımının Aşınma Davranışının Farklı Malzemelerle Deneysel Karşılaştırılması Ve Üzerine Yapılan Ark Pvd Kaplamaların Korozyon Dayanımına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Anık, S., Vural, M., "Gazaltı Ark Kaynağı" *Gedik Eğitim Vakfı*, Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü Yayın No:3. 1.03.2023 [Gazaltı ark kaynağı TIG MIG MAG.doc \(gedikegitimvakfi.org.tr\)](#)
- Akçan, E., 2016, "Alüminyum Yüzeyine Polimer Kaplamaların Uygulanması Ve Özelliklerinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Abed, H., Ghaini, F. M., Shahverdi, H.R., 2018, Characterization of Fe49Cr18Mo7B16C4Nb6 high-entropy hardfacing layers produced by gas tungsten arc welding (GTAW) process, *Surface & Coatings Technology* 352 (2018) 360–369, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.019>.
- Akkaya, T., 2019, "Grafen Katkılı Alüminyum Matrisli Kompozitlerin Kuru Sürtünmeli Aşınma Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aghaie-Khafri, M., Fazlalipour, F., 2008, Kinetics of V (N, C) coating produced by a duplex surface treatment. *Surface and coatings technology*, 202(17), 4107-4113.
- Apay, S., 2013, "Farklı Yöntemler İle Stellite Kaplanan Yapı Çeliğinin Mikroyapı Ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi" Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Arslan, D., Kayral, S.A., 2021, Mechanical characterization of pack-boronized AISI 4140 and AISI H13 steels, *International Advanced Researches and Engineering Journal* 05(01): 061-071, 2021, DOI: 10.35860/iarej.817274.
- Ayvacı, B., 2019, "Toz Metalürjisi İle Üretilen Çeliklerde Presleme Tekniğinin Mikroyapı Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Batı, S., 2017, "Bor Tozu İlavesinin Shs Yöntemi İle Üretilen Nial Ve Ni3al Alaşımlarına Etkilerinin Araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Beriş, B., 2012, "effects of gas shielding flow rate on weld quality Of tıg welding in tı6al4v alloy," *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Büyükfırat M.Ü., 2019 "Sıfır Altı Isıl İşlem ile Ekstrüzyon Kalıplarının Isıl İşlem Süreçlerinin Kısaltılması ve PVD Kaplama ile Kalıp Ömrünün Uzatılması",

Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Budak, S., 2016, “Alüminyum Silisyum Alaşımı Bir Yatak Malzemesinin Aşınma Performansına Kolemanit İlavesinin Etkisinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Buytoz, S., 2006, Microstructural properties of SiC based hardfacing on low alloy steel, *Surface & Coatings Technology* 200 (2006) 3734– 3742, doi:10.1016/j.surfcoat.2005.01.106.
- Buytoz, S., Kılıç, M., Carboga, C., 2022, Microstructure and wear behaviour of Ni-based/TiC composite coating. *International Journal of Surface Science and Engineering*, 16(1), 71-90.
- B-Arguello ,A., R-Reyna , F.O., R-Castro , G.A., M-Amador, A., F-Vald’es ,D., R-Carcaño,O., 2021, Experimental and numerical evaluation of the contact fatigue resistance of AlCrN, FeN and AlCrN/FeN coatings on AISI 4140 steel, *Surface & Coatings Technology* 423 (2021) 127620, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127620>.
- Bolelli, G., Colella, A., Lusvarghi, L., Puddu, P., Rigond, R., Sassatelli, P., Testa, V., 2019, Properties of HVOF-sprayed TiC-FeCrAl coatings, *Wear* 418–419 (2019) 36–51, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.11.002>.
- Can K., 2020, “GTA Yöntemi ile Kültivatör Uç Demirinin FeCrC, FeTi ve Ni Tozları ile Yüzey Modifikasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Canakci, A., Arpacı, K.A., Celebi, M., Ozkaya, S., Calıgulu, U., Erdemir, F., 2017, The Investigation of Wear Performance of Fe/B4C/Graphene Hybrid Nanocomposites, *8TH International Advanced Technologies Symposium*(2017) 19-22 Oct., Elazığ Turkey.
- Çelik, Y.H., Ertem, M., Gür, A.K., Kurt, B., Calıgulu, U., Özay, Ç., Yıldız, T., 2021, Hardox 400 steel by trd method and evaluation of wear behavior by taguchi method, *Surface Review and Letters* VOL. 28, NO. 12, <https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/S0218625X21501158>.
- Çay V. V., 2009, “ Sade Karbonlu Çeliklerin Tıg Ve Plazma İle Yüzey Kaplamasında Koruyucu Gaz Ve Tozların Yüzey Modifikasyonuna Etkilerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Çömez, N., 2023, *Effect of Vanadium on Wear and Corrosion Resistance of Fe-C-Cr Hardfacing Coatings*, JMEPEG, <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07201-9>. 25.04.2023
- Çelik, Y. H., Seçilmiş, K., 2017, Investigation of wear behaviours of Al matrix composites reinforced with different B4C rate produced by powder metallurgy method,

- Advanced Powder Technology* 28 (2017) 2218–2224, <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.06.002>.
- Çelik A.A., Şen Ş., Şen U., 2015, TIG kaynağı ile yüzeyi sertleştirilen AISI1020 ve AISI 316 çeliğinin mikroyapı incelemeleri, *SAÜ Fen Bil Der* 19. Cilt, 3. Sayı, s. 237-244.
- Çarboğa, C., Kurt, B., Dal, S., 2016, Islah Çeliklerinden 4140 Çeliğine (42CrMo4) Değişik Oranlarda Bor İlave Edilerek Uygulanan Isıl İşlem Metotlarının Etkisi, *Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi* Cilt 5(2) 117-123 2016 DOI: 10.17100/nevbittek.284735.
- Dokuzlar Ö., 2018 “36CrB4 ve 42CrMo4 Çeliklerde Isıl İşlemin Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- Demir, M. E., Çelik, Y. H., Kalkanlı, A. 2022, The Effect of Rolling and Aging on Mechanical and Tribological Properties in B4C Particle Reinforced Al7075 Matrix Composites. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(12), 16187-16208.
- Dewan, M. W., Liang, J., Wahab, M.A., Okeil, A.M., 2014, Effect of post-weld heat treatment and electrolytic plasma processing on tungsten inert gas welded AISI 4140 alloy steel, *Materials and Design* 54 (2014) 6–13, <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.035>.
- Durmuş, H., Türkmen, M. ve Çalığülü, U., 2020, Farklı Altlık Malzemelerine Uygulanan WC Kaplamaların Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 15(2):23-28, DOI:10.12739/NWSA.2020.15.2.2A0181.
- Daniel,J., Souček, P., Zábranský,L., Buršíková,V., Stupavská,M., Vašina,P., 2017, On the effect of the substrate to target position on the properties of titanium carbide/carbon coatings, *Surface & Coatings Technology* 328 (2017) 462–468, <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.06.076>.
- Deniz, G., 2004., Termoreaktif Difüzyon Tekniği İle AISI 1010 ve AISI M2 Çeliklerinin Titanyumnitrür Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, *SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, Sakarya, 128 s.
- Daldal, S., 2002, "Niobyum karbür kaplamaların özellikleri", *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, S.1-40.
- Elöve. D., “Tıg Kaynak Yönteminde Elektrik Arkının Ve Elektrik Devresinin Davranışları” Elk. isl.Y.Muh. /İSTANBUL notları. (Microsoft Word - TIG kaynak y\366nteminde elektrik ark\375n\375n ve elektrik devresinin davran\375\376lar\375) (magma.weld.com.tr) 10.01.2023.
- Ertürk, Ş., 2010, Termokimyasal Yöntemle Kaplanmış Farklı Kesici Takım Malzemelerin Talaşlı İşlem Kabiliyetinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Sakarya, 102 s.

- Eşme, U., 2006, “effect of pool geometry on the quality of Tıg welded joints,” *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Adana.
- El-Labban, H. F., Mahmoud , E. R.I., Al-Wadai, H., 2015, Formation of VC-composite surface layer on high C–Cr bearing tool steel by laser surface cladding, *Journal of Manufacturing Processes* 20 (2015) 190–197, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.08.04>.
- Ertürk, İ. Gaz Altı kaynak yöntemleri Notu. GAZALTI KAYNAK YÖNTEMLERİ - PDF Free Download (docplayer.biz.tr). 15.01.2023.
- 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.
- Gür, A. K., 2009, “Plazma (Pta) Yöntemiyle Düşük Karbonlu Çeliğin Yüzey Modifikasyonuna Koruyucu Gazların Etkisi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Gözütok, E., 2009, “Paslanmaz Çeliklerin Tıg Kaynağında Argon-Hidrojen Gaz karışımının Birleştirmelerin Mekanik Ve Mikroyapı Özelliklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Güneş, A., 2020, “AISI 304/DUROSTAT 500 Çeliğinin Tıg Çift Taraflı Ark Kaynak Yöntemiyle Birleştirilmesi Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adıyaman.
- Gök, M.S., 2008, “Düşük Ve Orta Karbonlu Çeliklerin Yüzeyine Tıg Kaynak Metoduyla Kaplanan Ostenitik Paslanmaz Çelik Tozunun Aşınma Direncine Karbür İçeriğinin Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- İnternet: Metalve kaynak teknolojisi, 16.05.2021. <https://www.metaluzmani.com/plazma-arki-ile-sert-yuzey-kaplama-sematik>.
- İnternet: Mühendis, 15.05.2021, <https://muyendis.com/tozalti-kaynagi-nedir>.
- İnternet: Güvengaz, 16.05.2021, <https://www.guvengaz.com/blog-tig-kaynagi-sematik-gosterim-ve-ozet-bilgi>.
- İnternet: Tig Kaynak metot uygulaması, 17.05.2021, <https://docplayer.biz.tr/712514-Tig-kaynagi-metod-ve-uygulama.html>.
- İnternet: Vikipedi, TigKaynağı, 30.05.2021, https://tr.wikipedia.org/wiki/TIG_Kayna%C4%9F_%C4%B1#/media/Dosya:TIG_torch-ccs.jpg.
- İnternet: TGS, 30.05.2021, <http://www.tgsgaz.com/hizmet-tig-kaynaGi-67.html>.
- İnternet: İnsapedia, 03.04.2023, <https://insapedia.com/asinma-nedir-asinma-cesitleri-ve->

etki-ed-en-faktorler.

İnternet: Sılo. Tıps 03.04.2023, <https://silo.tips/download/metal-k-malzemelerde-a-inma>.

İnternet: Yüzey Kaplama Teknolojisi ve Tarihi 10.01.2023,- EMİN METAL (eminmetal.com)

Junsheng, M., Zesheng, J., 2018, Microstructure and Formation Mechanism of in-Situ TiN-TiB₂/Ni Coating by Argon Arc Cladding, Rare Metal Materials and Engineering, 2018, 47(1): 0013-0019.

Keawhan, C., Wongpanya, P., W-Anun, N., Songsirintthigul, P., 2012, Corrosion Behavior of AISI 4140 Steel Surface Coated by Physical Vapor Deposition, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.22 No.1 pp. 69 - 76 , 2012.

Kılıç, M., 2020, TiC coatings on an alloyed steel produced by thermal diffusion, *Materials Testing* 62 (2020) 9, pages 909-912, DOI 10.3139/120.111564.

Kılıç, M., Imak, A., Kirik,I., 2021, Surface Modification of AISI 304 Stainless Steelwith NiBSi-SiC Composite by TIG Method, JMEPEG (2021) 30:1411–1419, <https://doi.org/10.1007/s11665-020-05378-5>.

Köseli B., 2008, “Bor İçerikli Elektrotlarla Düşük Karbonlu Çelik Yüzeylerinin Kaplanması Ve Aşınma Direncinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.

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.

Kılınç, Ü., 2020, “İnşaat Asansörleri İstikamet Makaralarında Kullanılan Farklı Çelik Malzemelerin Aşınmalarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.

Kon, Ö., (2006) Termoreaktif Difüzyon (TRD) Yöntemi İle TBCN Kaplanmış WC-Co Kesici Takımların ve Çeliklerin Aşınma Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı*, Sakarya, 164 s.

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.

Karabayrak, B., 2017, “Düşük Alaşımlı Çeliklerin Yorulma Davranışlarına çelik temizliğinin etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

K. Kara, M., 2014, “Sürekli Tavlama Yöntemi İle Yeni Kalite Bir Emaye Çeliği Üretimi ”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Koç, D., 2017, “Plazma Transferli Ark (PTA) Tekniği ile 30MnVS6 Mikro Alaşımlı Çeliği Üzerine Farklı Alaşım Kaplamalarının Yapılması ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Kaya, E., 2016, “Kriyojenik (Buzul) İşlem Uygulanmış Mikro Alaşımlı Çeliklerin Tribolojik ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- 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.
- Li, G.L., Li, Y.L., Dong, T.S., Wang, H.D., Zheng, X.D., Zhou, X.K., 2018, Microstructure and Wear Resistance of TIG Remelted NiCrBSi Thick Coatings, *Hindawi Advances in Materials Science and Engineering Volume 2018*, Article ID 8979678, 10 pages <https://doi.org/10.1155/2018/8979678>.
- Lv,L., Fu, L., Ahmad,S., Shan,A.,2017, Effect of heavy warm rolling on microstructures and mechanical properties of AISI 4140 steel, *Materials Science & Engineering A* 704 (2017) 469–479.
- Minghui, Z., Xiaoxia, L., Zhen, M., Xin, X., Shidan, Y., Hongbo, L.,2022, Effect of vanadium alloying on microstructure and wear behavior of two-body abrasive particles of Fe–5.5 wt% B surfacing alloy. *Materials Today Communications*, 33, 104696.
- Mao,J., Ding,S., Li,Y., Li, S., Liu, F., Zeng, X., Cheng,X., 2019, Preparation and investigation of MoSi₂/SiC coating with high infrared emissivity at high temperature, *Surface & Coatings Technology* 358 (2019) 873–878, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.12.036>.
- Moghaddam, E. G., Karimzadeh, N., Varahram, N., & Davami, P. 2013, Impact–abrasion wear characteristics of in-situ VC-reinforced austenitic steel matrix composite. *Materials Science and Engineering: A*, 585, 422-429.
- Mridha, S., Baker, T.N., 2015, Overlapping tracks processed by TIG melting TiC preplaced powder on low alloy steel surfaces, *Materials Science and Technology*, 31:3,337-343, <https://doi.org/10.1179/1743284714Y.0000000530>.
- Özcan, M. E., 2014, “Mikro Ark Oksidasyon Yöntemi İle Kaplanmış Alüminyum Alaşımının Aşınma Davranışının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Özkaya, O., 2019, “ZA27 ve CuSn10 Alaşımlarının Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi”, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Peng, H., Liu,C., Guo ,H., Yuan,Y., Gong,S., Xu,H.,2016, Fabrication of WCp/NiBSi metal matrix composite by electron beam melting,

- Materials Science & Engineering A 666 (2016) 320–323, <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2016.04.079>.
- Ren, Y., Li, L., Zhou, Y., & Wang, S., 2022, In situ synthesized VC reinforced Fe-based coating by using extreme high-speed laser cladding. *Materials Letters*, 315, 131962. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131962>.
- Rachidi, R., El Kihel, B., Delaunois, F., Vitry, V., Deschuyteneer, D., 2017, Wear Performance of Thermally Sprayed NiCrBSi and NiCrBSi-WC Coatings Under Two Different Wear Modes, *J. Mater. Environ. Sci.*, 2017 Volume 8, Issue 12, Page 4550-4559.
- Rajkumar, K., Aravindan, S. 2011, Tribological performance of microwave sintered copper–TiC–graphite hybrid composites. *Tribology international*, 44(4), 347-358.
- Sahoo, C.K., Masanta, M., 2017, Microstructure and tribological behaviour of TiC-Ni-CaF₂ composite coating produced by TIG cladding process, *Journal of Materials Processing Technology* 243 (2017) 229–245, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.12.028>.
- Shi, K., Zhou, W., Sun, Y., Su, K., Du, X., Wang, Z., 2022, Effect of Vanadium Carbide Reinforced Particles on Wear Resistance of Laser Cladding Fe-Co Duplex Coating. *Journal of Thermal Spray Technology*, 1-11.
- Shah, S., Dahotre, N. B., 2002, Microstructural and tribological characterization of laser surface engineered VC coating on tool/die steel, *Materials and Manufacturing Processes*, 17:1, 1-12, <https://doi.org/10.1081/AMP-120002792>.
- Shen, F., Tao, W., Li, L., Zhou, Y., Wang, W., & Wang, S., 2020, Effect of microstructure on the corrosion resistance of coatings by extreme high speed laser cladding. *Applied Surface Science*, 517, 146085.
- Singh, V., Singh, I., Bansal, A., Omer, A., Singla, A.K., Rampal, Goyal, D.K., 2022, Cavitation erosion behavior of high velocity oxy fuel (HVOF) sprayed (VC + CuNi-Cr) based novel coatings on SS316 steel, *Surface & Coatings Technology* 432 (2022) 128052, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.128052>.
- Singh, V., Singla, A.K., Bansal, A., 2022, Impact of HVOF sprayed Vanadium Carbide (VC) based novel coatings on slurry erosion behaviour of hydro-machinery SS316 steel, *Tribology International* 176 (2022) 107874, <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2022.107874>.
- Şimşek, T., Akkurt, A., 2019, Investigation of the Wear and Machinability Properties of Laser Coated AA7075 Aluminum Alloy Materials, *GU J Sci, Part C*, 7(2): 263-278 (2019), DOI: 10.29109/gujsc.514550.

- Şerbetçi, R., 2019, “Değişik Metal Oksit Katkılı Zirkonya Seramiklerin Sürtünme Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Şanlıurfa.
- Taşlayan, M. F., 2020, “Toz Metalurjisi İle Üretilen Mangan Çeliğine Tic, Tin Ve Tien İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özelliklere Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Tomris, S., 2018, “Farklı Kaplama Tozları ile Yüzeyi Alaşımlandırılmış 90 MnCrV8 Çeliğinin Mikroyapı ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Tehçi, T., 2011, “AISI 316 Serisi Ostenitik Paslanmaz Çeliklerde Kaynak Parametrelerinin Nufuziyete ve Mekanik Özelliklere Etkisi ” Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Toptop, G.O., 2011, “Yüksek Hız Takım Çeliklerinde Uygulanan Isıl İşlemler Ve Elde Edilen Özellikler Arasındaki İlişkilerin Fiziksel Metalurjik Yönden İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Tijo, D., Masanta, M., Das, A.K., 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 (2018) 541–552, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.03.082>.
- Uyguntürk, E., 2020, “Titanyum Boruların Tıg Ve Lazer Kaynak Yöntemleri İle Birleştirilebilirliğinin Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Ulutan, M., 2007, “AISI 4140 Çeliğinin Yüzey Sertleştirme İşlemleri Ve Kaplama Yöntemleri Sonrası Mekanik Davranışlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.
- Uyar, M., 2019, “Borlanmış 430f Ferritik Paslanmaz Çeliğin Aşınma Davranışı Üzerine Bir Çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon.
- Uçurum, M., 2020, “316LVM Paslanmaz Çelik Malzemesinin Talaşlı İmalat Süreci Sonrasında Yüzey Bütünlüğü ve Aşınma Direncinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Varol, T., 2016, Aşınma Deneyi , *Karadeniz Teknik Üniversitesi Metalurji Ve Malzeme Mühendisliği Bölümü Laboratuvar föyü*, Trabzon.
- Wang, X. H., Zou, Z. D., & Qu, S. Y., 2006, Microstructure of Fe-based alloy hardfacing coating reinforced by TiC-VC particles. *Journal of Iron and Steel Research International*, 13(4), 51-55.
- Wang, X.H., Song, S.L., Qu, S.Y., Zou, Z.D., 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 (2007) 5899–5905, doi:10.1016/j.surfcoat.2006.10.042.
- Wang, X.H., Song, S.L., Zou, Z.D., Qu, S.Y., 2006, Fabricating TiC particles reinforced Fe-based composite coatings produced by GTAW multi-layers melting process, *Materials Science and Engineering A* 441 (2006) 60–67, doi:10.1016/j.msea.2006.06.015.
- Yılmaz, E., 2008, Termoreaktif Difüzyon Yöntemiyle Çeliklerin Demir Alüminid Kaplanması. Yüksek Lisans Tezi, *SA.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, Sakarya, 2008, 129 s.
- Zeng, J., Lian, G., Zhang, Y., Zhang, H., Feng, M., Huang, L., 2022, Study on coating morphology, property, and characteristics of in situ synthesis VC-reinforced Ni-based coatings by laser cladding, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2022) 122:1599–1615, <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09977-5>.
- Zhang, Z., Yu, T., & Kovacevic, R., 2017, Erosion and corrosion resistance of laser cladded AISI 420 stainless steel reinforced with VC. *Applied Surface Science*, 410, 225-240.
- Zhang, H., Chong, K., Xiao, G., Sun, Z., & Zhao, W., 2018, TIG cladding in-situ nano vanadium carbide reinforced Fe-based ultra-fine grain layers under water cooling condition. *Surface and Coatings Technology*, 352, 222-230.
- Zhang, H., Zou, Y., Zou, Z., & Zhao, W., 2015, Comparative study on continuous and pulsed wave fiber laser cladding in-situ titanium–vanadium carbides reinforced Fe-based composite layer. *Materials Letters*, 139, 255-257.
- Zhong, L., Zhang, S., Wang, X., Bai, H., Zhu, J., Lu, Z., Xu, Y., 2020, The investigation on friction and wear properties of cast iron matrix surface compact vanadium carbide layer, *Vacuum* 178 (2020) 109467, <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109467>.
- Zhang, H., Chong, K., Zhao, W., Sun, Z., 2018, Laser cladding in-situ micro and sub-micro/nano Ti-V carbides reinforced Fe-based layers by optimizing initial alloy powders size, *Materials Letters* 220 (2018) 44-46, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.02.130>.
- Zeng, J., Lian, G., Zhang, Y., Zhang, H., Feng, M., Huang, L., 2022, Study on coating morphology, property, and characteristics of in situ synthesis VC-reinforced Ni-based coatings by laser cladding, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (2022) 122:1599–1615, <https://doi.org/10.1007/s00170-022-09977-5>.
- Zhao, C., Zhou, Y., Xing, X., Liu, S., Ren, X., Yang, Q., 2018, Precipitation stability and micro-property of (Nb, Ti)C carbides in MMC coating, *Journal of Alloys and Compounds* 763 (2018) 670-678, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.05.318>.

- Zhuang, L., Fu, O.G., Ma, W.H., Zhang, Y.Y., Yan, N.N., Song, Q., Zhang, Q., 2018, Oxidation protection of C/C composites: Coating development with thermally stable SiC@PyC nanowires and an interlocking TaB₂-SiC structure, *Corrosion Science* 148 (2019) 307–316, <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.12.024>.
- Zabihi, A., Soltani, R., 2018 ‘Tribological properties of B₄C reinforced aluminum composite coating produced by TIG re-melting of flame sprayed Al-Mg-B₄C powder’, *Surf. Coatings Technol.*, May, Vol. 349, pp.707–718, DOI: 10.1016/j.surfcoat.2018.06.040.