

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**SiC VE WC TAKVİYELİ KOMPOZİT KAPLAMALARIN Nd:YAG
LAZERİYLE GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

Samet ŞEN

**Danışman
Doç. Dr. Hülya DURMUŞ**



MANİSA-2019

**Samet
ŞEN**

**SİC VE WC TAKYİVELİ KOMPOZİT KAPLAMALARIN Nd:YAG LAZERİYLE
GELİŞTİRİLMESİ VE KARAKTERİZASYONU**

2019

TEZ ONAYI

Samet ŞEN tarafından hazırlanan "SiC ve WC Takviyeli Kompozit Kaplamaların Nd:Yag Lazeriyle Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu" adlı tez çalışması 03/01/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Doç. Dr. Hülya DURMUŞ
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Osman ÇULHA
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa EROL
Dokuz Eylül Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Samet ŞEN



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	III
TABLO DİZİNİ.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ÖZET	VII
ABSTRACT	VIII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1.Lazer Kaplama	4
2.2. Lazer Üretimi	5
2.2.1. Aktif Ortam	8
2.2.2. Uyarma Mekanizması	9
2.2.3. Geri Besleme Mekanizması	10
2.2.4. Çıkış Bağdaştırıcısı	10
2.3. Lazer Çeşitleri	11
2.3.1. Gaz Hal Lazerleri CO ₂	11
2.3.2. Katı Hal Lazerleri Nd:YAG.....	12
2.4. Lazer Kaplama Uygulamaları	13
2.5. Lazer Kaplama Avantajları	14
2.6. Triboloji.....	15
2.7. Aşınmanın Önemi.....	15
2.8. Sürtünme	16
2.9. Aşınma Mekanizması ve Aşınma Türleri	17
2.9.1. Adhezif Aşınma	18
2.9.2. Abrasiv Aşınma	19
2.9.3. Yorulma Aşınması	20
2.9.4. Korozyon Aşınması	21
2.9.5. Darbe Aşınması	22
2.9.6. Yüksek Sıcaklık Aşınması	22
2.9.7. Eroziv Aşınma	23
2.10. Literatür Taraması	24
3. DENEYSEL KISIM.....	27
3.1. Kompozit Kaplamaların Üretimi.....	27
3.2. Deneysel Çalışmalar	30
3.2.1. Metalografik İnceleme	30
3.2.2. Mikrosertlik.....	31
3.2.3. Aşınma Testi	32
3.2.4. SEM-EDS Analizi	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	34
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	52
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Nd	Neodimyum
SiC	Silisyum Karbür
YAG	İtriyum Alüminyum Garnet
WC	Tungsten Karbür



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kendiliğinden emisyonun başlangıcı	5
Şekil 2.2. Foton yayımı	6
Şekil 2.3. Yutma ile lazer oluşumu.....	7
Şekil 2.4. Tahrik edilmiş emisyon	7
Şekil 2.5. Lazer üretim sistemi şematik görünümü	8
Şekil 2.6. Nüfus terslemesi.....	10
Şekil 2.7. CO ₂ lazeri.....	12
Şekil 2.8. Nd:YAG lazeri	13
Şekil 2.9. Lazer kaplama yapılmış örnek uygulamalar	14
Şekil 2.10. Lazer kaplama yapılmış örnek uygulamalar	14
Şekil 2.11. Statik ve dinamik sürtünme kuvvetleri.....	16
Şekil 2.12. Adhezif aşınma	18
Şekil 2.13. Abrasiv aşınma.....	19
Şekil 2.14. Yorulma aşınması.....	21
Şekil 2.15. Korozyon aşınması.....	21
Şekil 2.16. Darbe aşınması	22
Şekil 2.17. Yüksek sıcaklık aşınması.....	23
Şekil 2.18. Eroziyon aşınma	23
Şekil 3.1. Kaplamanın şematik gösterimi	28
Şekil 3.2. Kaplama işleminin yapılışı	28
Şekil 3.3. %1 Nano-WC kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü.....	29
Şekil 3.4. %1 Nano-SiC kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü	29
Şekil 3.5. Takviyesiz kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü.....	29
Şekil 3.6. Kimyasal dağlama işlemi.....	30
Şekil 3.7. Kullanılan optik mikroskop ve stereo mikroskop	31
Şekil 3.8. Mikrosertlik test cihazı	31
Şekil 3.9. Lazer yöntemi ile üretilen kompozit kaplamaların Pin-on-disk aşınma testi cihazı.....	32
Şekil 3.10. Pin on disk şematik gösterimi	32
Şekil 3.11. Profilometre cihazı	33
Şekil 3.12. SEM cihazı.....	33
Şekil 4.1. %1,5 Nano-WC geçiş (optik mikroskop)	34
Şekil 4.2. %1,5 Nano-SiC geçiş (optik mikroskop).....	34
Şekil 4.3. Takviyesiz kaplamada lazer kaynak dikiş izleri (optik mikroskop) ..	35
Şekil 4.4. %1 Nano-SiC takviyeli kaplamanın aşınma izi profilometre ölçüm grafiği.....	35
Şekil 4.5. Nano-WC takviyeli kaplamanın aşınma mesafesine bağlı olarak hacimsel aşınma miktarı grafiği	36
Şekil 4.6. Nano-SiC takviyeli kaplamanın aşınma mesafesine bağlı olarak hacimsel aşınma miktarı grafiği	36
Şekil 4.7. Nano-WC ve Nano-SiC takviyeli kaplamaların aşınma miktarlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 4.8. Nano-WC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyi ve aşınma izi sertlikleri	38
Şekil 4.9. Nano-SiC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyi ve aşınma izi sertlikleri	39

Şekil 4.10. Nano-WC ve Nano-SiC takviyeli kaplamaların takviye oranlarına göre sertliklerinin karşılaştırılması	40
Şekil 4.11. Nano-WC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyinden altlık malzeme merkezine doğru sertlik değerlerinin değişimleri...	41
Şekil 4.12. Nano-SiC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyinden altlık malzeme merkezine doğru sertlik değerlerinin değişimleri...	41
Şekil 4.13. %5 Nano-WC, %5 Nano-SiC ve takviyesiz kaplamaya ait sertlik dağılımı	42
Şekil 4.14. %1 Nano-WC elemental haritalama (EDS)	43
Şekil 4.15. %1 Nano-WC kaplanmış numunede W metali için elemental haritalama (EDS).	43
Şekil 4.16. %1 Nano-SiC elemental haritalama (EDS)	44
Şekil 4.17. %1 Nano-SiC kaplanmış numunede Si metali için elemental haritalama (EDS)	44
Şekil 4.18. Takviyesiz kaplanmış numuneye ait elemental haritalama (EDS) ..	45
Şekil 4.19. %1 Nano-WC kaplama kesiti elemental haritalama (EDS).....	46
Şekil 4.20. %1 Nano-SiC kaplama kesiti elemental haritalama (EDS)	46
Şekil 4.21. Takviyesiz kaplama kesiti elemental haritalama (EDS).....	47
Şekil 4.22. %1,5 Nano-SiC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD).....	48
Şekil 4.23. %2 Nano-WC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD).....	48
Şekil 4.24. %2 Nano-SiC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD).....	49
Şekil 4.25. %5 Nano-WC takviyeli numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (BSED).....	50
Şekil 4.26. %5 Nano-SiC takviyeli numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (BSED).....	50
Şekil 4.27. %5 Nano-SiC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD).....	51

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Lazer çıkış güçleri	11
Tablo 3.1. Kompozit lazer kaplama oluşumunda kullanılan takviye nano toz miktarları	27



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca tüm zorlu aşamalarda maddi manevi her yönden yardımcı olan, desteğini hiç esirgemeyen ve onunla çalışmaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hülya Durmuş' a, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm aşamalarında yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum sevgili hocam Sayın Doç. Dr. Osman ÇULHA' ya, lisans ve yüksek lisans eğitimim sırasında desteğini hiç esirgemeyen Arş. Gör. Sayın Dr. Nilay ÇÖMEZ' e, çalışmalarım sırasında manevi desteğini her zaman hissettiğim değerli arkadaşım Makine Mühendisi Tayfun ÇAPAR'a ve Gökhan DURAK'a, öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Samet ŞEN
Manisa, 2019

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SiC ve WC Takviyeli Kompozit Kaplamaların Nd:YAG Lazeriyle Geliştirilmesi Ve Karakterizasyonu

Samet ŞEN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Hülya Durmuş

Günümüzde sanayide en çok karşılaşılan sorunlardan birisi aşınmadır. Aşınma malzeme yüzeyinden parçacıkların kopması anlamına gelir ve sürtünmenin olduğu her yerde aşınma vardır. Aşınma en çok dişli çarklarda, kazıcı aletlerin tırnak uçlarında, tarım makinelerinde, aşındırıcı sıvı ya da gaz geçen boruların iç yüzeylerinde ve sürtünme kuvvetinin yüksek olduğu birçok yerde görülen bir durumdur. Aşınma ile kullanılamaz hale gelen makine parçalarını yenisi ile değiştirmek genelde pahalı bir yöntem olduğu için sert dolgu kaynağı teknolojisi gelişmiştir. Sert dolgu kaynağında hem aşınan yüzeyler takviye malzemelerle doldurulabilir, hem de aşınma önleyici sert takviye malzemeleri kullanılarak aşınmanın önüne geçilebilir.

Bu çalışma ile Nano-WC ve Nano-SiC takviyesi ile, lazer kaynak yöntemi kullanılarak düşük karbonlu çelik altlık malzeme üzerine kaplama üretilmiştir. Üretilen kaplamaların mikroyapı incelemeleri, aşınma ve sertlik testleri, SEM EDS analizleri yapılmış, ve Nano-WC ve Nano-SiC takviyesinin, lazer kaynak yöntemi ile üretilen kaplamalara olan etkisi incelenmek istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nano-WC, Nano-SiC, Nd:YAG, Nano kaplama

2019, 57 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

The Development And Characterization of SiC And WC Reinforced Composite Coatings With Nd:YAG Laser

Samet ŞEN

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Materials Engineering**

Supervisor: Doc. Dr. Hülya DURMUŞ

One of the most common problems in the industry today is “wear”. Wear means the reapture of particles from material surface and where is friction, there is wear too. Wear is most often seee in gears, nail tips of backhoe tools, agricultural machinery, internal surfaces of corrosive liquit or gas passing pipes and many places where the friction force high. Because of the fact that is often an expensive method to replace the machine parts that become usable with wear, coating technology is developed. With coating both wearable surfaces can be filled with reinforcing materials and wear can be avoided by using wear resistant hard reinforcement materials.

In this study, coating on low carbon steel plate has been produced with Nano-WC and Nano-SiC supplemenet and by using laser welding method. The review of microstructure investigations of produced coating, wear and microhardness tests and SEM-EDS analysis have been performed. In this study the effect of Nano- WC and Nano- SiC supplement on coatings that had been produced with laser welding method has been examined.

Keywords: Nano-WC, Nano-SiC, Nd:YAG, Nano coating

2019, 57 pages

1. GİRİŞ

Hareket eden ve birbiri ile temas halinde bulunan iki elemanın temas yüzeyleri arasında sürtünme denen olay meydana gelir. Sürtünme aşınma olayının ortaya çıkmasına neden olur ve aşınma çalışan iş parçalarının çalışma ömürlerini kısaltan bir etkidir. Yapılan araştırmalara göre kullanılamaz hale gelen makine parçalarının %70'i aşınma yüzünden kullanılamaz hale gelmektedir. Bununla birlikte sürtünme de enerji kayıplarına yol açar ve bu durum işletmeler için ekonomik sorunları doğurur. Tüm bu nedenler günümüzde aşınma ve sürtünme konusunda araştırmalar yapılmasını sağlamış, sürtünme ve aşınmayı azaltmak ve kontrol altında tutmak için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Aşınma ve sürtünmenin azaltılması, malzeme kaybı ve enerji sarfiyatını düşüreceği için, ekonomik açıdan da oldukça önemlidir [1].

Kullanılan parçaların kırılması veya aşınması uzun süre kullanılamaz hale gelmesine neden olabilir. Bu parçanın değiştirilmesi, hem ekonomik açıdan hem de zamanın optimum kullanılması açısından değerlendirildiğinde, istenmeyen bir tablo ile karşılaşılır. Bu nedenle parçalar çok fazla aşınıp hasara uğrayacak düzeye gelmeden aşınan yüzey, koruma amaçlı olarak uygun kaynak yöntemiyle doldurulabilir. Bu durum hem daha önceden aşınan yüzeyleri dolduracak ve daha fazla aşınmasını önleyecek, hem de daha sert bir yüzey elde edildiği için gelecekteki aşınmanın minimum düzeyde tutulmasını sağlayacaktır. Bu tamir etme ve koruma çalışması maliyetleri düşürecek ve zaman konusunda avantaj sağlayacaktır [2].

En çok bilinen ve kullanılan kaplama yöntemleri;

- Sert yüzey kaplama
- Takviye kaplama
- Dolgu kaplama
- Giydirme kaplama
- Koruyucu kaplama
- Kademeli kaplama

olarak sıralanabilir. Bu yöntemler tek başlarına kullanıldığı gibi genellikle bir çok yöntem birlikte kullanılarak kaplama yapılır [3].

Tarihte lazerle ilgili ilk çalışmalar 1950'li yıllarda başlamıştır. Çok hızlı gelişen lazer teknolojisi yeni teknolojilerin ve uygulamaların gelişmesine yol açmış ve günümüzde de yeni teknolojilerin geliştirilmesine yardımcı olmaya devam etmektedir. Lazer konusunda ilk olarak Dicke, nüfus terslemesini(uyarılmış atom sayısını arttırmak) oluşturmak için kısa süreli darbe kullanma fikrini 1954 yılında ortaya atmıştır. Nufs terslemesi kendiliğinden emisyon ile şiddetli bir patlama üretmektedir [4]. Lazeri oluşturan Fabri-Perrot boşluğu ise 1957'de Gould tarafından tasarlanmış ve Gould lazerle alakalı ilk makalesini 1959 yılında yayınlamıştır [5]. Schawlow ve Townes da yaptıkları çalışmaları 1958 yılında makale olarak yayınlamışlardır.

1960 yılında Maiman yakut lazerini keşfetmiş ve bu buluştan sonra Sorakin ve Stevenson flaş pompalı çubuk tasarımına başlamışlardır [5]. Yaptıkları bu çalışma ile katkılı kalsiyum florür kullanan lazerle günümüzdeki lazerlerin ilk versiyonları niteliğini taşımıştır [4].

1960'lı yılların başında Neon-Helyum gaz karışımdan lazer elde etme çalışmaları yapılmıştır [5]. 1964'te büyük hız kazanan lazer teknolojisindeki gelişmeler; Patel'in karbondioksit lazeri, Geusic'in Nd:YAG lazeri ve Bridges'in Argon-iyon lazeri icat etmeleri olarak sıralanabilir. Günümüzde ise lazerler katı sıvı gaz ve plazma halindeki materyallerle her dalga boyunda retilenmektedir.

Keşfedildiği yıllardan günümüze kadar lazerler birçok teknoloji ve uygulamada kullanılmıştır. 50 yılı aşkın tarihi olan lazerler gün geçtikçe gelişmekte ve yeni teknolojilerin doğmasına yardımcı olmaktadır. Günümüzde lazerler tıp, elektronik, makine sanayi, metalurji, meteoroloji, savunma sanayi gibi bir çok alanda oldukça fazla kullanılır. Uluslararası lm cihazlarında, askeri uygulamalarda yer ve mesafe tayininde, uçak gemi ve füzelerin belirli yerlere yönlendirilmesinde, tıp alanında ameliyatlarda, makine ve metalurjide kaynak, kesme, şekil verme gibi uygulamalarda ve birçok uygulamada lazer başvurulan bir teknolojidir [4].

Bu çalışmada; birinci bölümde aşınma, kaplama ve lazer konularına giriş yapılmış ve genel bilgilere yer verilmiştir.

İkinci Bölümde lazer konusu detaylandırılmış, lazerin tarihsel gelişimine değinilmiştir. Aynı zamanda günümüzde her yerde rastladığımız lazer teknolojilerine ait güncel uygulamalardan bahsedilmiştir. Çalışan makine parçaları için çok önemli bir konu olan tribolojiden bahsedilmiştir. Aşınma ve sürtünmenin tanımı yapıp aşınma türleri anlatılmıştır. Aynı benzer çalışmalara yer verilen literatür taraması kısmıdır. Bu bölümde tarihte lazer ve kaplamalarla, WC ve SiC ile yapılan çalışmalardan, örnek makalelerden sonuçlar sunulmuştur. Üçüncü bölüm tez projesi kapsamında yapılan numune üretimleri ve testlerden bahsedilen bölümdür. Kullanılan malzemeler, yöntem ve parametreler bu bölümde detaylandırılmıştır. Dördüncü bölümde yapılan testlerin neticelerine yer verilmiş ve bu neticeler yorumlanmıştır. Beşinci bölüm tüm çalışmanın sonucunun irdelendiği, tüm testlerin değerlendirilip yeni çözüm önerilerinin sunulduğu bölümdür.

Bu tez projesinin amacı, farklı oranlarda nano boyutta tozlar kullanılarak yapılmış lazer kaplamaların aşınma direnci, mekanik özellikleri ve mikroyapıları hakkında fikir edinmek, yeni yöntem ve malzemeler geliştirmektir. Geliştirilen yeni teknolojiler hem ülke ekonomisine katkı sağlayacak hem de yeni bilimsel çalışmalara katkıda bulunacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Lazer Kaplama

'LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation', ışınmanın uyarılmış yayınımları ile ışığın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir. Kaynak işlemi için gerekli olan enerji lazer ışınıyla, bu ışın demeti de radyasyondaki yayılmanın uyarılmasıyla elde edilir [6].

Lazer prensipleri ilk defa 1917 yılında Einstein tarafından ortaya atılmıştır. Ancak lazer teknolojisi ile ilgili çalışmalar 1950'li yıllarda hız kazanmıştır. 1951 yılında Charles H. Townes ışınmanın uyarılmış yayınımları ile mikrodalga yükseltilmesi üzerine çalışmış ve çalışmalarında başarılı olmuştur. Uyarılmış emisyon teknolojisi bir uygulama ile ilk olarak 1964 yılında Nobel ödülüne layık görülmüştür [6]. 1957 yılında Fabri-Perrot boşluğunu tasarlayan Gould bu çalışmalarını 1959 yılında yayınlamıştır [4]. 1958 yılında Townes ve Schawlow "Infrared and Optical Masers" isimli çalışmalarını yayınlamışlardır [5]. Bu iki bilim adamı yaptıkları çalışmaları teknolojik gelişmeler haline getirmiş ve 1960 yılında ürettikleri teknolojinin patentini almışlardır. 1960'lı yıllarda bu çalışmalar giderek hız kazanmıştır. Yine 1960 yılında Dr. T. Maiman ilk Ruby lazerini Hughes Araştırma laboratuvarında icat etmiştir. Yine aynı laboratuvarında 1964 yılında J.E. Geusic ve Marcos L.G. Van Uteik ilk Nd:YAG lazerinin üretmişlerdir. Aynı laboratuvarında çalışmalarına devam eden Kuma Patel yine 1964 yılında CO₂ lazerini bulmuştur. W. Bridges Hughes argon lazerini araştırma laboratuvarında icat etmiştir [6].

Lazer teknolojisi 1960'lı yıllarda başlamış, 1960'larda gelişme göstermiş ve günümüzde de aktif olarak kullanılmaktadır. Lazer kaynağı ticari kaynak yöntemleri arasında kontrol edilebilirlik açısından daha hassas bir teknolojidir [6].

Lazer ile kaplama işlemi, ilave malzemenin yüksek güçlü lazer ışınmasıyla ergitilerek iş parçalarının yüzeylerine biriktirilmesi esasına dayanan verimliliği yüksek bir yöntemdir [7,8,9]. Aşınmaya dayanıklı yeni bir yüzey oluşturulmasında veya aşınmış yüzeylerin onarılmasında yüksek yüzey kalitesi, düşük distorsiyon ve seyrelme meydana getiren lazer kaplama yöntemi oldukça uygundur [7,8]. Bu yöntem, türbin kanatları, gaz türbini ve içten yanmalı motor parçaları gibi yüksek

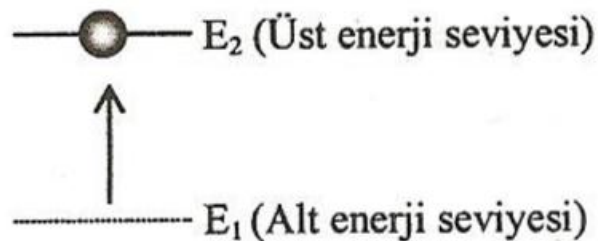
değerli bileşenlerin onarımının yanı sıra özellikle kalıp yüzeylerinin kaplanmasında tercih edilmektedir [8,10]. Kalıpların hasarı, servis ömrünü ciddi biçimde etkileyen yüzey aşınmasından kaynaklanmaktadır. Aşınmış kalıbın yenisiyle değiştirilmesi kaynak israfına neden olmaktadır. Sert dolgu kaplamaların lazer ile uygulanması diğer yöntemlere göre çeşitli avantajlara sahiptir. Kaplamaları lazer ile yüzeye uygulamak diğer yöntemlerden farklı olarak altlık malzemesine daha az ısı geçişi ve dolayısıyla daha sert ve dayanımı yüksek bir kaplama eldesini sağlar [11].

Lazer kaynağının uygulamadaki avantajları ve kaynak etkisi altında kalan bölgenin küçüklüğü bu konudaki gelişmelerin ilerlemesinde büyük rol oynamıştır. Düşük enerji ve kaynak bölgesi üzerinde olumsuz etkisinin az olması en büyük tercih sebeplerindedir. Bunun nedeni üretilen lazer ışınlarının düz, yoğun ve aynı fazlı paralel dalgalar halinde uygulanıyor olmasıdır [6].

Lazer kaynağı sanayide en çok Nd:YAG ve CO₂ lazeri olarak yer almaktadır. Lazer kaynağının; hızlı kaynak yapılabilme, düşük ısı girişi ile malzeme üzerinde daha düşük çarpılma miktarı ve buna karşın yüksek nüfuziyet özellikleri, sanayide kullanma oranını çok yükseltmiştir. Bu avantajların temel nedeni lazer ışınının yüksek enerji yoğunluğuna sahip olmasıdır [6].

2.2. Lazer Üretimi

Atom bir çekirdek ve bunu çevreleyen bir elektron bulutundan oluşmaktadır. Her atomun belirli bir iç enerjisi vardır. Minimum enerji prensibine göre atom bunu en düşük enerji konumunda tutma eğilimindedir. Bu minimum enerjili olduğu duruma o atomun 'taban enerji seviyesi' denmektedir (E_1 enerji seviyesi).



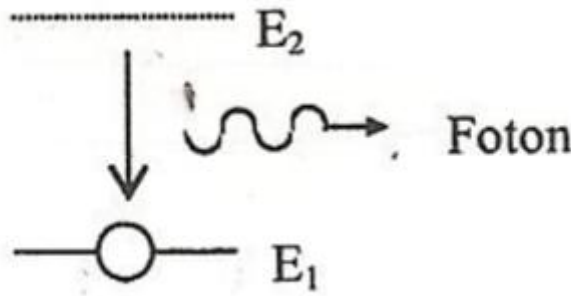
Şekil 2.1. Kendiliğinden emisyonun başlangıcı [5]

Atomun bu konumdan daha yüksek enerjili olduğu konumlarda olabilir. Bu konumlardaki atoma ‘uyarılmış atom’ adı verilir. (E_2 enerji seviyesi) Aslında burada atomun elektronları bir alt enerji seviyesinden (bir alt yörüngeden) bir üst enerji seviyesine (bir üst yörüngeye) çıkarlar ve atomun enerji seviyesi bu şekilde yükselir.

Bu durumun gerçekleşmesi için bazı şartlar gerekmektedir. Bunlar ;

- Isıtma
- Basınç uygulama
- Elektron bombardımanı
- Parçacık bombardımanı
- Işın demetine maruz bırakma

Olarak tanımlanabilir.

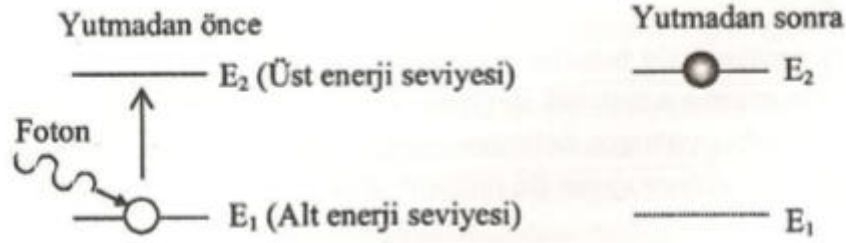


Şekil 2.2. Foton yayını [5]

Atomdaki bir üst enerji seviyesine geçen elektronlar (atom aldığı enerjiyi geri verdiği) tekrar alt enerji seviyelerine dönerler ve atom, E_2 enerji seviyesinden E_1 enerji seviyesine geçer, bu geçiş sırasında sahip olduğu enerji farkını ortama elektromagnetik dalga yani foton olarak bırakacaktır (Şekil 2.2). Bu fotonlar (enerji yüklü ışın parçacıkları) ışınları (örneğin lazer ışını) oluşturur [12,13].

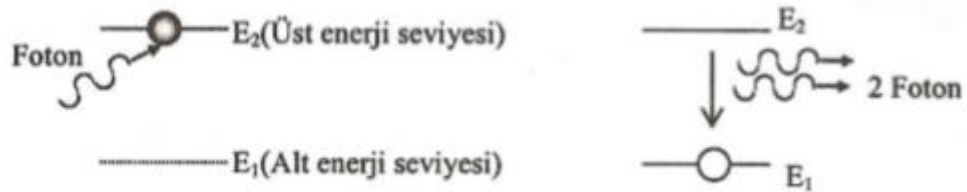
Lazer oluşumunun başka bir şekli de yutmadır. Başlangıçta taban enerji seviyesinde (E_1 enerji seviyesi) olan bir atoma bir foton çarpması sonucu fotonun sahip olduğu enerji elektron tarafından yutulur. Bu olay sonrasında atom uyarılmış

atom (E_2 enerji seviyesi) konumuna geçer [5]. Bu olaya yutma denir ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Atoma çarpan dalğanın enerjisi E_2-E_1 enerji farkına dönüşecektir.



Şekil 2.3. Yutma ile lazer oluşumu [5]

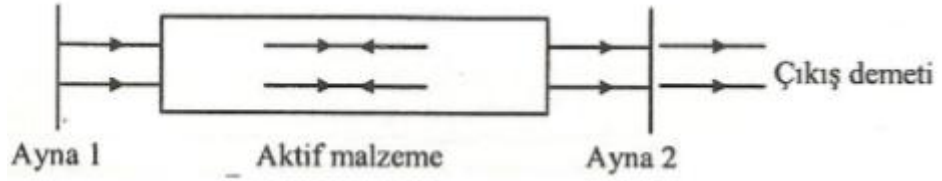
Lazer ışını üretmenin diğer bir yolu da tahrik edilmiş(uyarılmış) emisyonudur. Bu olayda E_2 enerji seviyesindeki atoma bir foton çarpar ve enerji E_1 enerji seviyesine düşer. Çarpan elektromanyetik dalğanın enerjisine ilave olan E_2-E_1 enerji farkı bu çarpmadan yayılan enerjidir. Bu olaya uyarılmış emisyon denir. Uyarılmış emisyonda giren her fotona karşılık iki foton bırakılır [4].



Şekil 2.4. Tahrik edilmiş emisyon [5]

Lazer üretimi için bir sistemde sağlanması gereken şartlar;

- Taban enerji seviyesinden daha fazla uyarılmış atom bulunmalıdır
- Sistem uyarılmış durumda iken yarı kararlı bir eğilim göstermelidir. Bu ışımının kontrolü için gereklidir. Aksi takdirde uyarılmış ışımaya üretmek mümkün olmayacaktır.
- Sistem içinde yayılan fotonlar, sistem içinde diğer elektronları uyaracak süre boyunca bulunmalıdır. Sistemin ucuna yerleştirilen yansıtıcı ve yarı geçirgen ayna ile bu durum sağlanır.



Şekil 2.5. Lazer Üretim Sistemi Şematik Görünümü [5]

Lazer üretimi için sistemde bulunması gereken elemanlarsa;

- Aktif ortam
- Uyarma mekanizması
- Geri besleme mekanizması
- Çıkış bağdaştırıcısıdır.

2.2.1. Aktif Ortam

Aktif ortam lazer üretimi için uygun koşulların sağlanması açısından ilk önemli eleman olarak düşünülebilir. Aktif ortam alt enerji E_1 seviyesinde olan atomların sayısından, uyarılmış E_2 seviyesindeki atomların sayısının daha fazla olmasını sağlar. Uyarılmış atom sayısının artması, emisyon sayısının artması demektir. Aktif ortamda gerçekleşen olaylar sırasıyla;

- Atomlar foton yayabilmeleri için kendiliğinden emisyon yapmış durumda bulunmalıdır.
- Uyarılmış atom sayısı foton yayarak taban enerji seviyesine geçmiş atomlarının sayısından fazla olmalıdır. Bu durumda elektronlar uyarılmış seviyeye pompalanır.

Aktif ortam olarak kullanılacak malzemelerin nüfus terslemesine uğrayabiliyor olması gereklidir. Lazer üretim sürecinde ışın demeti aktif ortamın bir ucundan girer ve yoğunlaştırılmış şekilde yarı geçirgen taraftan çıkar. Lazerlerde optik kazanç aktif ortamı ile sağlanır [4].

Aktif ortam;

- Gaz,
- Sıvı,
- Katı – hal,
- Yarı iletken

materyallerden herhangi biri olabilir. Yakut kristali, katı aktif ortam materyaline örnektir. Sıvı aktif ortam olarak boya lazerleri kullanılır. Gaz aktif ortamlarına örnek olarak helyum ve neon gazlarının karıştırılması veya CO₂ gazı gösterilebilir. Yarı iletken aktif ortama örnek olarak, galyum arsenit verilebilir [5].

2.2.2. Uyarma Mekanizması

Uyarma mekanizmasının amacı; en alt enerji seviyesinde bulunan elektronların, uyarılmış durumda bulunan yüksek enerjili atomlardan sayıca fazla olmasını sağlamaktır. Düşük enerji seviyesindeki elektronlar enerji kaynağı ile pompalanır.

Uyarma işlemi yarı iletken ve gaz lazerlerde aktif ortamdan elektrik akımı geçirilerek sağlanırken, katı ve sıvı lazerlerde optik pompalama işlemi ile sağlanır. Pompalama lazere dışarıdan enerji verilmesi ile nüfus terslemesi işlemidir [5].

Lazer üretiminde kullanılan pompalama yöntemleri şunlardır;

- Optik pompalama
- Elektron çarpmasıyla pompalama
- Atom çarpmasıyla pompalama [4].

Optik pompalama :

Aktif ortamın katı ya da gaz malzemelerden oluştuğu lazerlerde aktif ortama ışık kaynağı tarafından ışıklandırma sağlanır. Uyarılan atomlar foton bırakmaya hazır hale gelmiş olurlar [5].

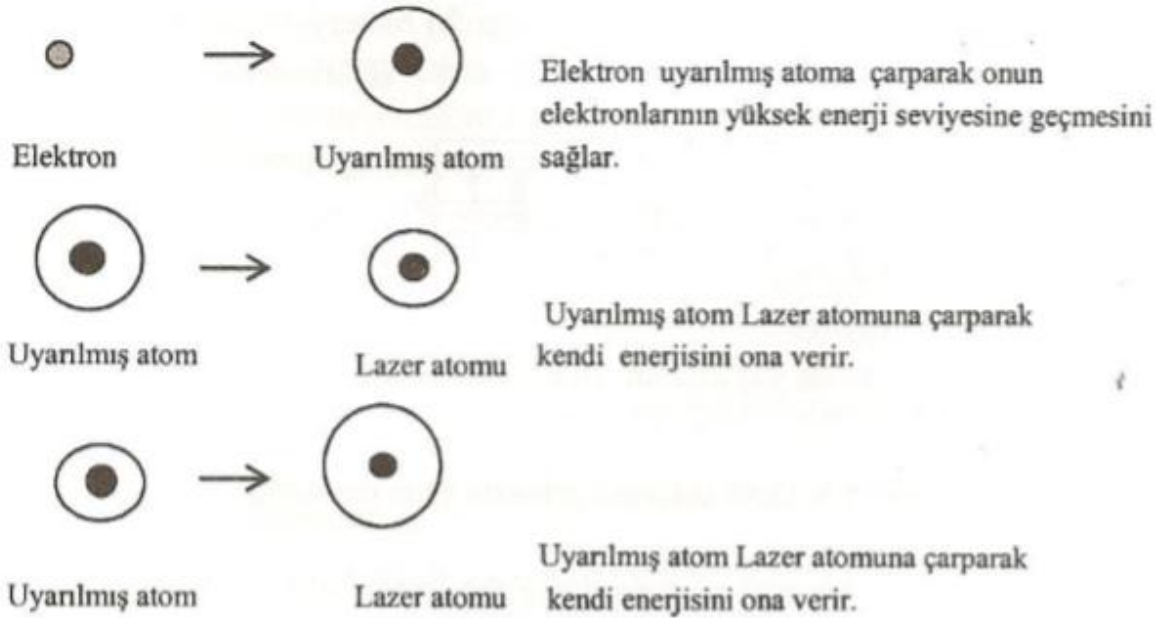
Elektron çarpmasıyla pompalama :

Elektron çarpmasıyla pompalama gerçekleştirmek için bir elektron tabancası aktif ortam içerisine odaklanmalıdır. Ortam içinde elektron çarpmasına maruz bırakılan elektron ve atomlar kendilerine çarpan elektronların yeterli enerjiye sahip

olması durumunda elektronun enerjisi ile düşük enerji seviyesinden uyarılmış hale gelir [4]. Yeteri kadar uyarılmış atom bulunması halinde nüfus terslemesi meydana gelir. En çok gaz lazerlerde kullanılan bir yöntemdir [5].

Atom çarpmasıyla pompalama :

Bu pompalama türü iki atomun çarpışmasına dayanır. Uyarılmış atom ya da moleküller kullanılır. Öncelikle elektrik boşalmasından sonra ortaya çıkan elektron atoma çarpar ve çarptığı atomu uyarılmış hale getirir. Bu atom lazer ortamında başka bir atoma çarparak enerjisini verir. Çarpan atom nötrlenirken çarpılan atom uyarılmış vaziyete geçer. Yeteri kadar uyarılmış atom bulunması halinde nüfus terslemesi meydana gelir [4].



Şekil 2.6. Nüfus terslemesi [5]

2.2.3. Geri Besleme Mekanizması

Geri besleme mekanizması üretilen ışının bir kısmını aktif ortama geri kazandırmak için kullanılır. Aynalar çıkan ışınları dik gelecek şekilde yerleştirilir. Aktif ortamın bir ucunda tam ayna diğer ucunda yarı geçirgen ayna yer alır [5].

2.2.4. Çıkış Bağdaştırıcısı

Çıkış bağdaştırıcısı üretilen ışının geri besleme makinasıyla güçlendirilmesinden sonra ışının dışarı çıkmasına izin veren bölümdür. Aktif ortamın

iki tarafında bulunan aynalardan geçirgen olan ayna bu işlemi yapan elemandır. Dışarıya çıkan ışın miktarının oranı lazer cinsine göre değişmektedir [4].

2.3. Lazer Çeşitleri

Lazerler sanayide birçok farklı türde kullanılmaktadır. Farklı lazerler için çıkış güçleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

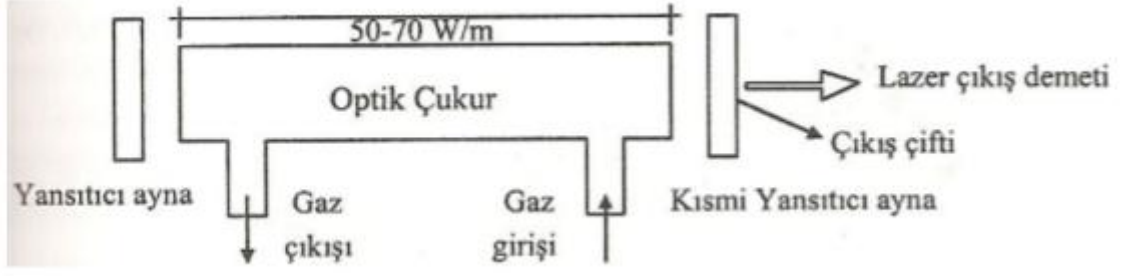
Tablo 2.1. Lazer çıkış güçleri [4]

Lazer Tipi	Dalga Boyu, λ (nm)	Çıkış Gücü (W)
He-Ne	632,8	$0,1 - 1 \times 10^{-3}$
Argon	488	0,3 – 50
He-Cd	441,6	0,01 – 0,2
Bakır (CVL)	510,5	10 – 100
CO ₂	10600	$0,2 - 45 \times 10^3$
Excimer	248	40 – 120
Boya (Rh6G)	577	10 -100
Yarı iletken	800	1 – 40
Nd:YAG	1064,1	6×10^3
Nd:Cam	1062,3	850

2.3.1. Gaz Hal Lazerleri CO₂

Gaz lazerlerinin içinde en çok bilineni ve kullanılanı CO₂ lazerlerdir. Patel tarafından 1964 yılında icat edilen CO₂ lazeri sanayide bir çok alanda kullanılmaktadır. Yansıtıcı ve yarı yansıtıcı ayna arasında bulunan aktif ortamda CO₂ gazı akışkan halde bulunur. Gazın akış şiddeti aynı zamanda lazerin çıkış gücünü belirler [4].

CO₂ lazerinin temel çalışma prensibine ve şematik gösterimi Şekil 2.7’de yer almaktadır [4].



Şekil 2.7. CO₂ lazeri [4].

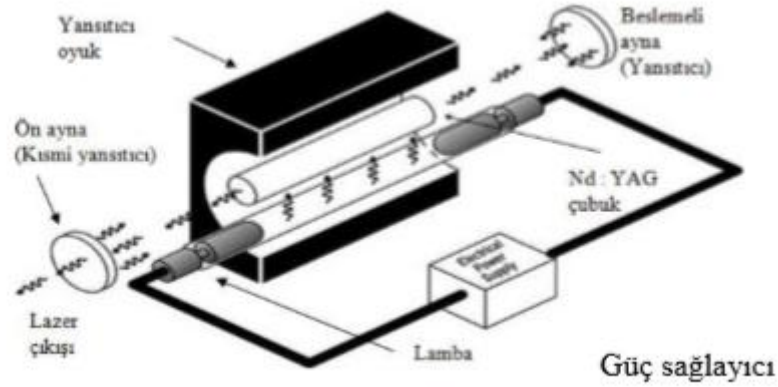
2.3.2. Katı Hal Lazerleri Nd:YAG

Nd:YAG lazerleri sanayide büyük bir kullanım alanına sahiptir. Nd: YAG lazeri yüksek çıkış gücü üretmeye elverişli bir lazer türüdür [14].

Nd:YAG lazerleri ışık üretmek için alüminyum garnetten oluşmuş kristalin içine difuze edilmiş neodymium kullanılır. YAG kristali yüksek ısıl iletkenliğe sahiptir ve uyarıcı Neodimyum YAG içindeki İtriyum'un %1'lik kısmının yerini alarak ışımaya yapmasına neden olur. Nd:YAG lazerlerinin dalga boyları 1064nm dir ve bu kızılötesine yakın bir değerdir. Bu lazerler CO₂ lazerlerden yaklaşık 10 kat daha küçüktür. Küçük dalga boyları sayesinde daha çok metallerde kullanılırken, cam, plastik gibi malzemelerde absorbe edilemediği için kullanılamaz [14].

Isıl iletkenlik çok yüksektir ve bu yüzden sürekli modda yüksek çıkış gücü ile çalışırlar. Atımlı kaynak uygulamaları için kullanılan mevcut Nd:YAG lazerlerinin ortalama çıkış güçleri 0,3-3 kW aralığındadır, fakat lazer teknolojisindeki son gelişmelerle elde edilebilir maksimum güç 4 kW'a kadar çıkmaktadır [14].

Fiber optik teknolojisi ile birlikte Nd:YAG lazerlerinde 6kw ya kadar çıkış gücü elde etmek mümkün hale gelmiştir [15].



Şekil 2.8. Nd:YAG lazeri [15].

Nd:YAG lazerinin çalışma prensibi ve genel görüntüsü Şekil 2.8’de verilmiştir. Yansıtıcı ve kısmi yansıtıcı(%98) aynalar arasında güçlendirilen lazer ışını daha sonra kısmi yansıtıcı ayna tarafından çıkarak ortama geçer [15].

2.4. Lazer Kaplama Uygulamaları

Lazer kaynağı ve lazer kaplama yönteminin gelişmesinin ve gelişmeye açık olmasının en büyük nedeni, diğer kaynak yöntemlerine göre oldukça kuvvetli ve düşük geometrik toleranslı kaynak dikişlerine sahip olmasıdır.

Kompleks yapıda parçaların hem birbirine kaynaklanmasın hem de kaplama yapılmasında kullanılabilen lazer kaynağı; elektronik, havacılık, otomotiv endüstrüsünde oldukça sık kullanılmaktadır.

Sanayide kaynakla birleştirme ya da dolgu kaynağı ile üretilen tüm parça ve ekipmanlar lazer kaynağı ile üretilmeye elverişlidir. Ancak kaynak parametreleri belirlenirken üretilen ürünlerin geometrileri ve malzeme içerikleri oldukça önemlidir. Örneğin alüminyum alaşımlarında genellikle CO₂ lazeri kullanılarak kaynak ve kaplama işlemi yapılır. Kaynağın başarılı olması için sadece lazer türü değil lazerin çıkış gücü, kaynak hızı gibi parametrelerde oldukça önemlidir [6].



Şekil 2.9. Lazer kaplama yapılmış örnek uygulamalar [16].



Şekil 2.10. Lazer kaplama yapılmış örnek uygulamalar [17].

2.5. Lazer Kaplama Avantajları

Lazer kaynağı klasik kaynak yöntemlerine göre büyük avantajlara sahiptir. Bunun en büyük nedeni yüksek ısı yoğunluğu ve düşük odaklama çapına sahip olmasıdır. Bu çerçevede lazerin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Yüksek hızlarda kaynak yapılabilir.
- Yüksek nüfuziyete sahiptir.
- Çarpılma miktarı diğer kaynak yöntemlerine göre düşüktür .
- Odak noktası küçük olduğu için ITAB çok dardır.
- Otomasyona uygundur.
- Diğer kaynak yöntemlerinden daha hızlıdır.
- Hassasiyeti daha yüksektir [5].

2.6. Triboloji

Tribolojik sistemlerde yaygın olarak meydana gelen sorunlar aşınma, yorulma ve sürtünmedir. Genellikle birbiri ile temas halinde çalışan iş parçalarının çalışma yüzeyinde meydana gelen kütle kaybı aşınmadır. Aşınmanın birçok tanımı yapılabilir ancak genel tarafından kabul göreni DIN 50320'ye göre; "cisimlerin mekanik etkenlerle mikro taneciklerin koparak ayrılması nedeni ile istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir" şeklinde ifade edilebilir [1].

Temas halinde bulunan iş parçalarında meydana gelen aşınma genellikle yüzeyde meydana gelen fiziksel ayrılmalar, kimyasal çözünme ve bölgesel ayrılmalar olarak gözlemlenir [3].

Aşınma bir çok defa diğer tahribat türleri ile karıştırılabilir. Bir iş parçası ya da malzeme üzerinde meydana gelen tahribatın aşınma sayılması için gerekli olan şartlar;

- Mekanik bir etki olması
- Sürtünme
- Devamlılık
- Malzeme yüzeyinde meydana gelmesi
- İsteğimiz dışında oluşması

olarak sıralanabilir [1].

2.7. Aşınmanın Önemi

Aşınma makine parçaları üzerinde oldukça yüksek etkilere sahiptir. Öyle ki yapılan araştırmalara ve istatistiklere göre hurdaya ayrılan makine parçalarının çoğu aşınmaya maruz kaldığı için çalıştırılmaz hale gelmişlerdir [18].

Yüzey sertleştirme işlemleri makine parçalarının ömrünü uzatmak için kullanılan nispeten ucuz yöntemler olarak sınıflandırılabilir [19].

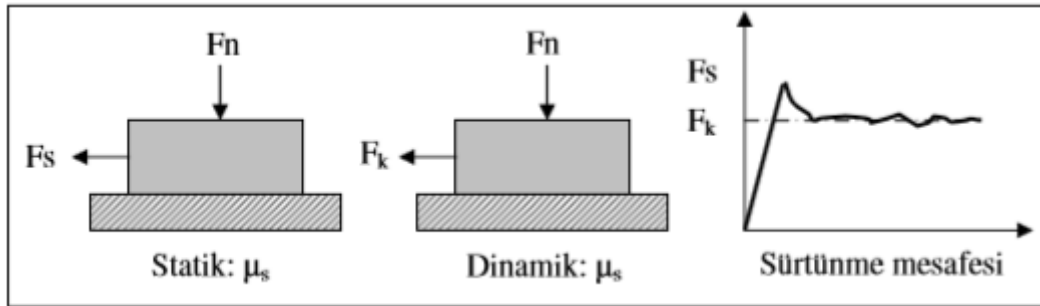
Aşınma birlikte çalışan iş parçalarında çok önemli bir durumdur. İşleyen bir mekanik sistemde aşınma ile kullanılamaz hale gelen malzemeler yenileri ile değiştirilir ya da tekrar kullanılabilir hale getirilmek için tamir edilir. Sanayide bu durum ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Bu durum aşınmaya maruz kalan iş parçaları ve

malzemeler için yüzey sertleştirme, sert dolgu gibi işlemlerin ne kadar önemli olduğunu kanıtlar niteliktedir [3].

2.8. Sürtünme

Kristal kafes ve atomik düzeyde her katı malzeme denge durumundadır. Sürtünme bu kafes yapısındaki hareket ya da hareket ihtimaline karşı gösterilen direnç olarak tanımlanır. Sürtünmenin asıl nedeni kafes sistemindeki yüzeyler arası harekettir. Hareket halindeki bir yüzey diğer yüzeyin üzerinde mekanik kuvvetler etkisiyle kayma eğilimine girer. Bu kayma ile meydana gelen hareket sürtünmeyi doğurur. Kaymanın yeteri kadar artması ile malzeme önce kararsız duruma gelir sonra denge durumuna geri döner [1].

Malzemelerin hareketleri arasında oluşan sürtünme kuvveti, uygulanan kuvvete dik yönde meydana gelir. Şekil 2.11'de sürtünme esnasındaki kuvvetler gösterilmiştir [1].



Şekil 2.11. Statik ve dinamik sürtünme kuvvetleri [1].

Malzemelerin statik ve dinamik sürtünme davranışları farklıdır. Kaymanın başlaması ile sürtünme kuvveti azalmaya başlar. Statik sürtünme hız=0 ken ki sürtünme kuvvetidir. Dinamik sürtünme ise hızın 0 dan farklı olduğu değerlerdeki sürtünme olarak adlandırılır. Hız arttıkça sürtünme katsayısı düşer. Aynı zamanda basınç ve sıcaklıkta sürtünmeyi etkileyen faktörlerdir [1].

Aşınma esnasında meydana gelen sıcaklık artışı ve enerji kaybının nedeni de sürtünmedir. Sürtünme bazı uygulamalarda bilinçli olarak istenilen bir durumdur. Buna örnek olarak fren diskleri verilebilir. Ancak bir çok uygulamada sürtünme

miktarı aşınmayı artıracığı için istenmeyen bir durumdur ve sürtünmeyi minimum düzeyde tutmak önemlidir [1].

2.9. Aşınma Mekanizması ve Aşınma Türleri

Aşınma için gerekli şartların başında sürtünme gelir. Sürtünen yüzeyler arasındaki etkileşim alanı aşınma olayı için oldukça önemlidir [1].

Aşınma olayı için gereken ilk şart sürtünmedir. Sürtünen iki yüzey arasındaki temas alanı etkileşim alanı olarak adlandırılır. Alanın büyüklüğü aşınma ile direkt olarak ilgilidir. Gerçek temas alanı malzeme yüzeyindeki pürüzlerden dolayı görünen yüzeyden daha küçüktür. Pürüzler çok hassas işlenen makine parçalarında bile bulunur. Yüzeyler arasındaki etkileşim bu alanlarda görülür ancak pürüzler arası girintilerde etkileşim yoktur. İki eleman arasındaki yükün şekli ve büyüklüğü temas alanını etkileyeceği için aynı zamanda sürtünme ve aşınma ile de orantılıdır. Aradaki yükün büyüklüğü arttıkça gerçek temas alanı da artar. İki cismin arasındaki yükü meydana getiren hareket(çarpma, kayma, yuvarlanma) ve sıcaklık ta aşınma için önemli parametrelerdir [1]. Aşınma her türlü temastan sonra görülür. Endüstride sık karşılan bu sorun malzeme kaybına bağlı olarak gelişen kullanılamaz parçaların oluşmasına yol açar ve bu durum ekonomik açıdan maddi kayıplara neden olur. Aşınmayı önlemek için oksit filmler ve yağlayıcı malzemelerden yararlanılabilir. Ancak oksit film tabakasında yük altında çatlama ve bozulmalar meydana gelebilir. Bu durum aşınma miktarının artmasına neden olur. Aynı şekilde kullanılan yağlayıcıların da zamanla absorpsiyonları zayıflayabilir ve bu da sistemdeki aşınma miktarının artmasına nedenlerinden birisidir [1].

Bir sistemde aşınmayı meydana getiren faktörlerin hepsi göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Bir sistemde aşınmayı meydana getiren faktörlerin sadece bir ya da birkaç tanesini incelemek bulunan sonuçların yanıltıcı olmasına neden olacaktır [1].

Bir aşınma sisteminde;

- Ana malzeme
- Karşı malzeme

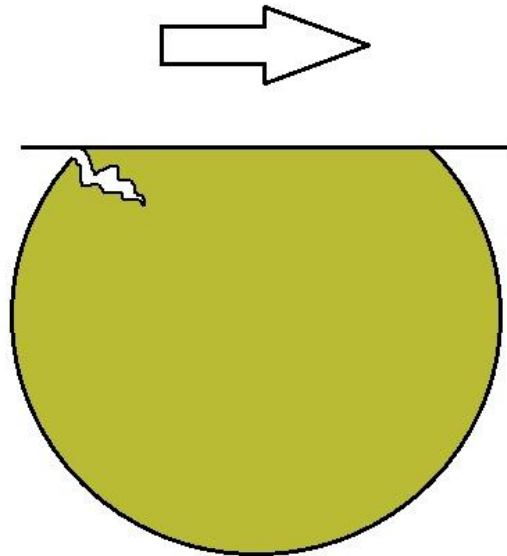
- Ara malzeme
- Yük
- Hareket

Aşınma mekanizmasının temelini oluşturur. Literatürde bu mekanizma tribolojik sistem olarak tanımlanır [3].

2.9.1. Adhezif Aşınma

Yapışma aşınması olarak ta tanımlanan adhezif aşınma; karşılıklı çalışan iş parçalarında ve bu iş parçalarının temas yüzeylerinde meydana gelen ve bir iş parçasından kopup diğerk iş parçası yüzeyine malzeme yapışması sonucu malzeme taşınması olarak tanımlanabilir [3].

Adhezif aşınmada karşılıklı çalışan iki parçanın malzemesi çok önemlidir. Sertlik değerkleri arasında fark olan malzemelerde daha sert olan malzeme daha yumuşak olan malzemeyi aşındıracağından malzeme seçiminde sertlik değerkleri birbirine daha yakın malzemeler seçmek adhezif aşınmayı azaltıcı etki gösterecektir. En çok rulman yüzeylerinde, silindir yataklarında, merdaneler vb. meydana gelir [20].



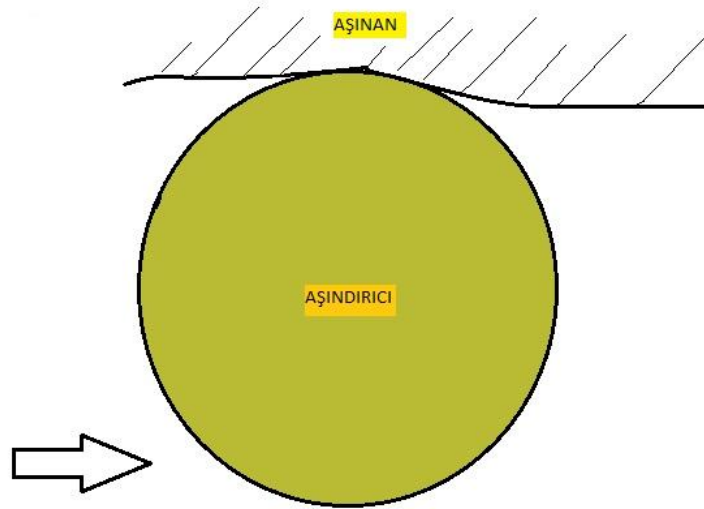
Şekil 2.12. Adhezif aşınma.

Adhezif aşınmanın azaltılmasını sağlama yöntemlerinin başlıcaları;

- Yeterli yağlama
- Birbirileri ile etkileşime geçip çözünmeyen malzemeler kullanmak
- Pürüzsüz yüzeyler kullanmak
- Metal-metal temasını minimum düzeyde tutmak olarak sıralanabilir.

2.9.2. Abrasiv Aşınma

Genel olarak sert olan parçanın daha yumuşak olan malzeme üzerinden parçalar koparması olarak tanımlanır. Abrasif aşınma çalışan iş parçalarının arasındaki mekanik kuvvetlerin büyüklükleriyle oldukça alakalıdır. Bu yüzden abrasif aşınmayı azaltmak için iş parçaları arasındaki basıncın minimum düzeye getirilmesi gerekir [3].



Şekil 2.13. Abrasiv aşınma.

Abrasiv aşınma 3 grupta incelenebilir;

Düşük gerilimli aşındırıcı abrozyon: Aşındırıcı parçanın geometrisiyle alakalı abrozyon türünde keskin kenarlar aşınmaya neden olur. Daha çok tarım aletlerinde ve eleklerde meydana gelir.

Yüksek Gerilimli Öğütme Abrazyonu: Düşük gerilimli abrazyona göre daha yüksek kuvvetler ile meydana gelen abrazyon türüdür. Öğütme ve benzeri işleri yapan iş parçalarında çalışma yüzeyleri arasındaki küçük ve sert parçaların malzeme yüzeyine etkisi ile meydana gelir. Merdaneler, öğütücüler, karıştırıcılar, zincir dişlileri vb bu tür aşınmanın sık görüldüğü yerlerdir.

Oyma Abrazyonu: Düşük ve yüksek gerilimli abrazyona ek olarak aşındırıcıların kütlelerinin de aşınmaya etki etmesi durumu olarak tanımlanabilir. Kırıcılar, ekskavatör kovaları ve kazıcı uçlarında oldukça sık görülür [20].

Abrasiv aşınma başta olmak üzere bir sistemde aşınmayı meydana getiren faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Sürtünme elemanlarına bağlı faktörler;

Malzemenin cinsi

Kimyasal kompozisyonu

Mikroyapı

Sertlik

Elastiklik modülü

Akma

Yüzeyin pürüzlülüğü

Geometrik şekil ve boyut

Soğuk şekillendirme

Isıl işlem

- Karşı elemana bağlı faktörler;

Aşındırıcı tane büyüklüğü

Tane şekli Tane dağılımı

- Ortama bağlı faktörler;

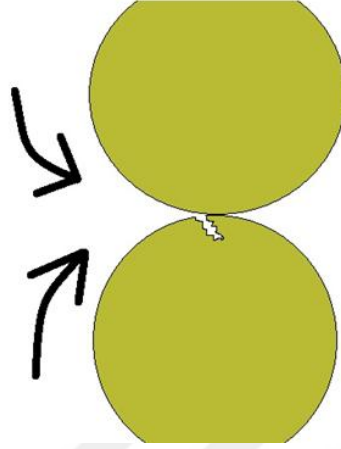
Nem

Sıcaklık [1].

2.9.3. Yorulma Aşınması

Dislokasyonlar ve plastik deformasyonun olduğu bölgelerde meydana mikro çatlaklar zamanla büyür ve yüzeyde çukurlar meydana gelir. Değişken tekrarlı yükler

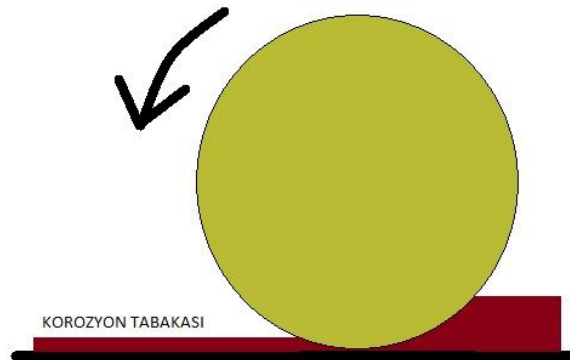
ile meydana gelen bu olay malzemeler üzerinde yorulma ve yorulma aşınması meydana getirir [3].



Şekil 2.14. Yorulma aşınması.

2.9.4. Korozyon Aşınması

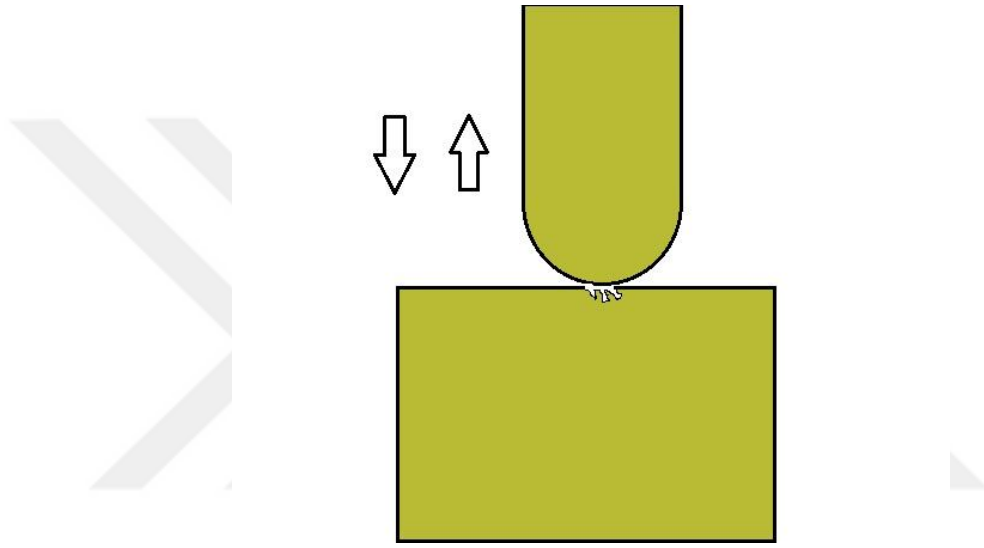
Malzemelerin dış yüzeylerinde hava ile temastan ya da başka bir kimyasal ortamdan dolayı oksit tabakası oluşur. Bu oksit tabakasının ağır yükler ile kırılması sonucu temas yüzeyleri arasında parçacıklar meydana gelir. Bu parçacıklar bir aşınma olayı yaratırlar ve bu tür aşınmaya korozyon aşınması denir [20].



Şekil 2.15. Korozyon aşınması.

2.9.5. Darbe Aşınması

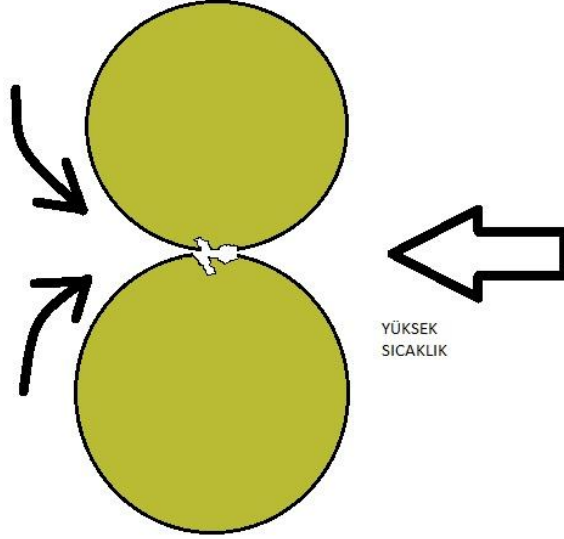
Yüksek darbe kuvvetleri ile çalışan iş parçalarında zamanla plastik deformasyon meydana gelir. Ancak malzemelerin çok gevrek olduğu durumlarda malzeme üzerinde çatlaklar oluşur ve bu çatlaklardan kopan parçalar bir aşınma ortamı yaratabilir. Bu tür aşınma yüksek mekanik kuvvetler etkisi altında gözlemlenebildiği gibi daha düşük ancak sürekli uygulanan mekanik kuvvetler etkisinde de oluşması görülebilir. Bu tür aşınma daha çok demiryolu makas parçaları ve raylar, kırıcılar ve çekiçlerde gözlemlenir [20].



Şekil 2.16. Darbe aşınması.

2.9.6. Yüksek Sıcaklık Aşınması

Yüksek sıcaklıkta çalışan metallerin mikroyapıları zamanla bozulur ve bu durum malzemenin yüzeyinde de deformasyon ve çatlaklar oluşmasına neden olur. Ayrıca sıcaklığın sürekli artması ve azalması sonucu zamana bağlı olarak malzeme de meydana gelen yorulmada malzeme üzerinde çatlaklar meydana getirir. Sıcaklığa bağlı olarak malzeme genleşme gösterir ve tekrar eski hacmine dönerken gelişen bu durum en çok merdanelerde, sıcak dövme kalıplarında v.b yerlerde gözlemlenir.



Şekil 2.17. Yüksek sıcaklık aşınması.

2.9.7. Eroziyon Aşınma

Aşındırıcı malzemenin hava ya da sıvı ile taşınarak malzeme yüzeyine etki ederek aşındırması olarak tanımlanabilir. Aşındırıcı parçacıkların cinsine ve taşıyıcı sıvı ya da gazın kimyasal bileşenine göre aşınma miktarı da değişiklik gösterebilir.



Şekil 2.18. Eroziyon aşınma.

2.10. Literatür Taraması

Kai ve arkadaşları (2016), buhar türbini yüzeyine “Inconel 625” ticari isimli ve krom-nikel içerikli dolgu malzemesi elektrik ark ve lazer kaynak yöntemiyle kaplamışlardır. Yüksek sıcaklıkta çalışan bu türbinlerin yüksek sıcaklık altındaki sertlik, aşınma ve korozyon dirençlerinin değişimini inceleyerek, lazer ile kaplanmış numunelerin sertlik değerlerinin daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Yapılan EDS analizi ile kaplama ve altlık malzeme içindeki kompozisyon değişiminin incelenmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Kai ve arkadaşlarının yaptığı tüm testler göstermiştir ki yüzey sertlikleri elektrik ark yöntemi ve lazer yöntemiyle yapılan numunelerde büyük değişkenlik göstermese de lazer kaynağı ile yapılan kaplamada ısı tesiri altında kalmış olan bölgede sertlik değerleri daha yüksektir. Bunun nedeni olarak sertlik oluşturması beklenen kaplama malzemesi içindeki sertlik artırıcı elementler altlık malzemeye daha fazla nüfus etmiştir sonucunu bulmuşlardır [21].

Anandkumar ve arkadaşları (2007), Al-Si alaşımı SiC takviyeli kaplamanın mikroyapı ve aşınma dayanımlarına etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada; Nd:YAG lazeri kullanarak toz halindeki SiC'ü Al7Si alaşımına kaplamışlardır. İki farklı enerji ile yapılan kaplamalarda yüksek enerji ile yapılan kaplamalarda sertlik değerlerinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. (58mj/m² enerji ile yapılan kaplamada 250-300 HV 0.1) Aynı zamanda yüksek lazer enerjisi ile üretilen numunelerde kaplama yüzeyinden malzeme merkezine doğru alınan sertlik ölçümleri, düşük enerji ile yapılan kaplamadakine göre daha az düşüş göstermiştir [22].

Majumdar ve arkadaşları altlık malzeme olarak paslanmaz çelik kullanarak lazer yöntemiyle SiC kaplama üretmişler ve SiC ilavesinin tribolojik sonuçlarını gözlemlemek istemişlerdir. 25-40 mikron aralığında tozlar kullanılarak %5 ve %20 SiC takviye edilmiş kaplamalarla birlikte kaplama yapılmamış numunenin sertlik değerlerini incelemişler ve SiC takviyesinin sertlik artışına önemli derecede etkisi olduğunu bulmuşlardır. SiC takviyesinin aşınma direncini arttırdığını da yapılan aşınma testi ile gözlemlemişleridir [23].

Wang Kai Ming ve arkadaşları (2017) yaptıkları bir çalışmada, lazer kaplama metodu kullanarak NiCrBSi tozunu 42CrMo çeliğine farklı lazer çıkış güçleriyle kaplamışlardır. 45-105 mikron boyutundaki tozlar 1500-3500W lazer çıkış gücü aralığında kaplanmıştır. 1500 ve 2000W lazer çıkış gücüyle kaplanmış numunelerin sertlik değerlerinin ve aşınma dirençlerinin daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir [24].

Kaya ve arkadaşları(2017), AISI 8620 çeliğini farklı türdeki ticari kaplama tozları kullanarak plazma püskürtme yöntemiyle kaplamışlardır. Kullandıkları 4 farklı tozun temel bileşenleri Ni, Co, W ve Cr dur. Yapılan sertlik testlerinde en yüksek sertlik değerlerinin W temel bileşenli 72F-NS ticari isimli toz ile yapılan kaplamada olduğu sonucunu bulmuşlardır [25].

Shengfeng ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları bir çalışmada A3 çeliği altlık malzemeye %20WC ve %80Ni60A tozlarını karıştırarak farklı hızlarda lazer kaplama yapmışlar ve üretilen kaplamayı mikroyapı, mikrosertlik ve çeşitli mekanik özellikler açısından incelemişlerdir. Bu çalışmada lazer gücü ve hızının artmasıyla birlikte kırılma hassasiyetinin de arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Lazer kaynak hızı arttıkça sertlikte ve kırılma dayanımında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun nedeni, daha hızlı yapılan kaynakta malzeme içerisinde iç gerilmelerin daha az olması olarak düşünülebilir [26].

Xie ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada(2010), plazma yöntemiyle W-Ni(W-Ni%12) esaslı tozlar kullanarak yapılmış kaplamaların mikroyapı ve triboloji özelliklerini incelemek istemişlerdir. Kütlece %5, %10 ve % 15 oranında tozlarla yapılan kaplamalarda W-Ni toz oranı arttıkça sertlik değerlerinin arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışmada korozyon açısından tüm numunelerin yüksek performans gösterdiğini göstermişlerdir [27].

Da ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada(2016), W takviye edilmiş Ni kaplamaları mikroyapı ve mekanik özellikler açısından incelenmiştir. Yaptıkları çalışmada W tozlarının kaplama bölgesinin alt bölgelerinde toplandığını gözlemlemişler, bunun nedeni olarak W tozlarının yüksek yoğunlukta olmasını öne

sürmüşlerdir. Ancak yinede kaplama yüzeyinden alınan sertlik değerleri, altlık malzeme sertlik değerlerinden yaklaşık 5 kat daha yüksek çıkmıştır [28].



3. DENEYSEL KISIM

3.1. Kompozit Kaplamaların Üretimi

Bu tez çalışmasında altlık malzeme olarak düşük karbonlu çelik kullanılmıştır. 10 mm çapta ve 5 mm yükseklikte 9 adet altlık malzeme kesme cihazında kesilerek hazır hale getirilmiştir. Daha sonra kaplama yapılacak yüzeyler 100 grit zımpara ile zımparalanarak eş pürüzlülük değerlerine getirilmiştir.

Kaplama yapılacak tozlar Nanografi Nano Teknoloji Bilişim İmalat ve Danışmanlık LTD'den alınmıştır. Kullanılan nano tozlar; Nano-WC(<65nm ve % 99,9 saflıkta) ve Nano-SiC(<70nm ve % 99,5 saflıkta) için belirlenen hacimsel oranlarda kütle hesabı yapılmış ve kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir. 2 mm kaplama kalınlığı oluşacak şekilde yapılan hesaplar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kompozit lazer kaplama oluşumunda kullanılan takviye nano toz miktarları

Oran %	WC(g)	SiC(g)
1,00	0,0981	0,02
1,50	0,1472	0,03
2,00	0,1963	0,04
5,00	0,4908	0,1

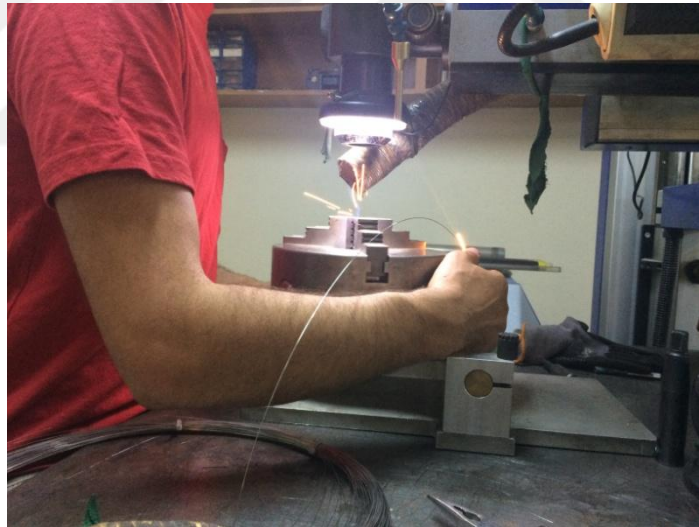
Tozların hazırlanmasının ardından lazerle kaplama işlemi yapılmıştır. Lazerle kaplama işlemi 0,2 kW gücünde Nd:YAG lazer cihazı kullanılarak yapılmıştır. Manuel yapılan lazer kaplama işlemi sırasıyla;

- Altlık malzeme yüzeyinde tozların dağılmaması için 2mm yüksekliğinde masif tel ile havuz yapılması,
- Önceden hazırlanmış tozların bu havuzun içine serilmesi,

- Masif tel ile üzeri tozla kaplanan altlık malzeme yüzeyine 2 mm kalınlığında masif tel ile karıştırarak kaplama yapılması işlemlerini kapsamaktadır.

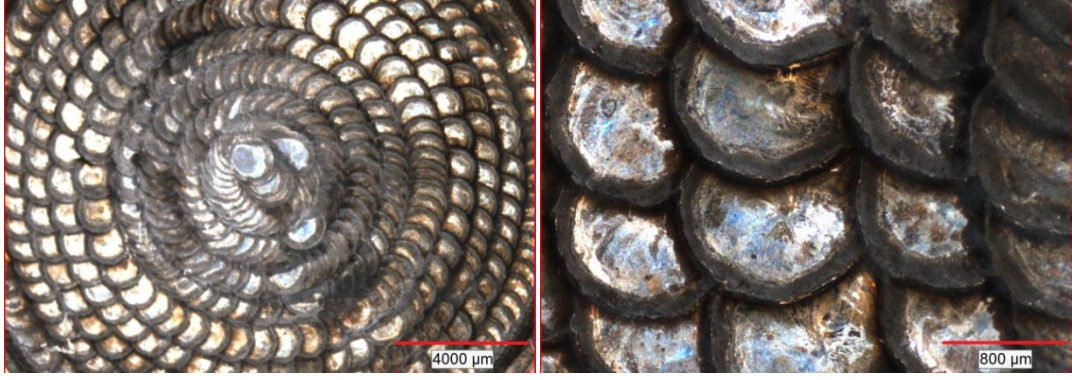


Şekil 3.1. Kaplamanın şematik gösterimi

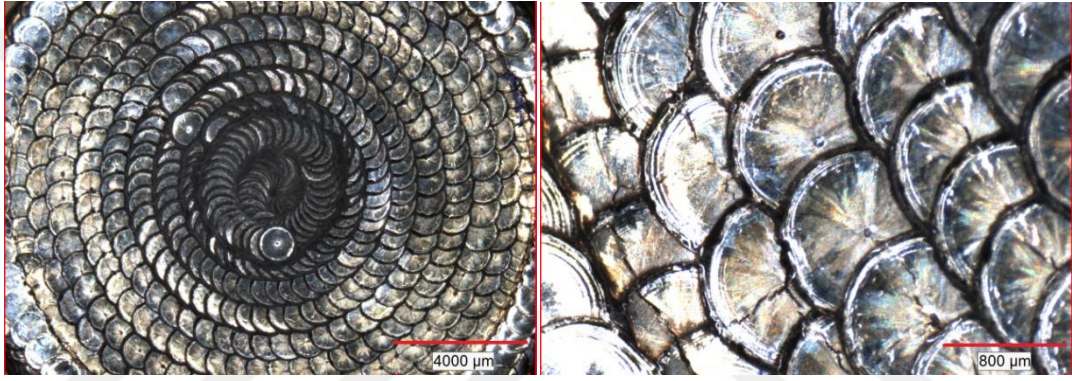


Şekil 3.2. Kaplama işleminin yapılışı

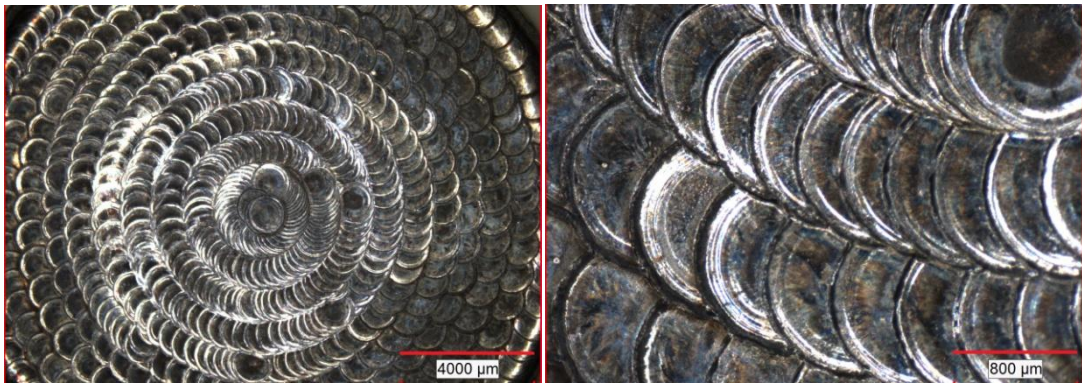
Hazırlanan numunelerin kaplama yüzeyleri Şekil 3.3-3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. %1 Nano-WC kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 3.4. %1 Nano-SiC kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü



Şekil 3.5. Takviyesiz kaplama yüzeyinin stereo mikroskop görüntüsü

3.2. Deneysel Çalışmalar

3.2.1. Metalografik İnceleme

Bu çalışmada masif telin Ni alaşımlı olmasından dolayı, dağlama işlemi için çözelti Yasemin ve arkadaşlarının çalışmasından alınmıştır. HCl-Ferricchloride-Metanol solüsyonu, %20 si %37 derişiklikte HCl'den oluşmuş HCl-Metanol çözeltisine 2 g Ferricloride eklenerek oluşturulmuştur [29]. Numuneler bu sıvı içine konularak 70°C'ye ayarlanmış manyetik karıştırıcılı ısıtıcılarda dağlama işlemi 30 dk boyunca bekletilerek yapılmıştır. Daha sonra numuneler yıkanıp mikroskop incelemesi için hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kimyasal dağlama işlemi

Nikon marka Eclipse Lvision model mikroskop ile Clemex yazılımı kullanılarak mikroyapı incelemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Kullanılan optik mikroskop ve stereo mikroskop

3.2.2. Mikrosertlik

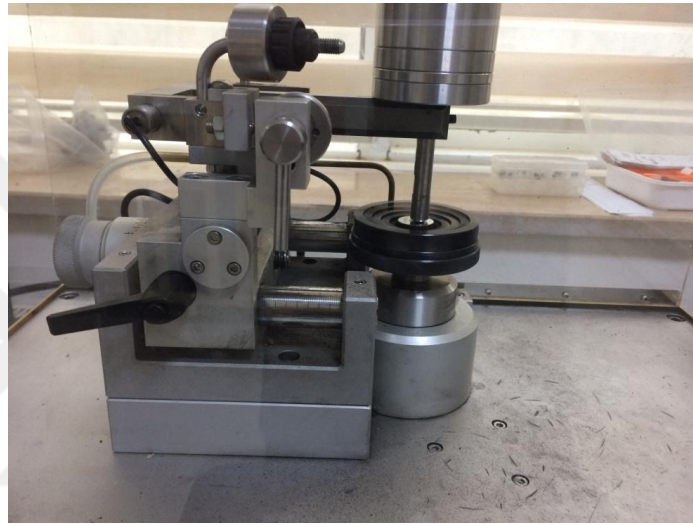
Sertlik testleri Future Tech marka FM 700 model mikrosertlik cihazı kullanılarak yapılmıştır. Vickers mikrosertlik yöntemiyle yapılan mikrosertlik testlerinde konik uçla 300 g yükleme 10 sn iz oluşumu sağlanmış ve böylece mikrosertlik ölçümleri yapılmıştır. Hem kaplama yüzeyinden sertlikler alınmış hem de numuneler kesilerek kesitten kaplama yüzeyi, geçiş bölgesi, altlık malzeme geçiş sertliğini görmek için bir hat boyunca ölçümler alınmıştır (Şekil 3.8.).



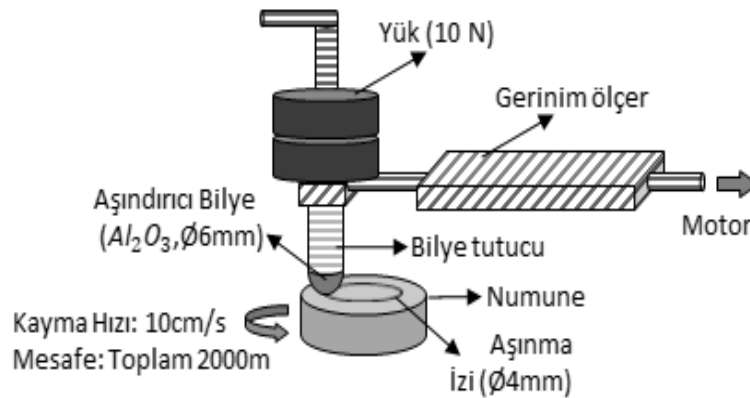
Şekil 3.8. Mikrosertlik test cihazı

3.2.3. Aşınma Testi

Tribometer marka aşınma cihazı kullanılarak yapılan aşınma testi pin on disk metoduyla, karşı eleman olarak alümina bilya kullanılarak yapılmıştır. 6 mm çapında alümina bilya kullanılmıştır. 10 N yük uygulanmış ve aşınma iz çapı 4 mm olarak belirlenmiştir. Toplam 2000 m yol aşındırma işlemi yapılmış, 500m ve 2000m aşınma yolu kat edildikten sonu 2 boyutlu profilometre cihazı ile aşınma miktarı hesaplanmıştır. Profilometre testi ile elde edilen iz-derinlik grafiklerinden elde edilen değerler iz yoluyla çarpılarak hacimsel kayıplar hesaplanmıştır.



Şekil 3.9. Lazer yöntemiyle üretilen kompozit kaplamaların Pin-on-disk aşınma testi cihazı



Şekil 3.10. Pin On Disk şematik gösterimi



Şekil 3.11. Profilometre cihazı

3.2.4. SEM-EDS Analizi

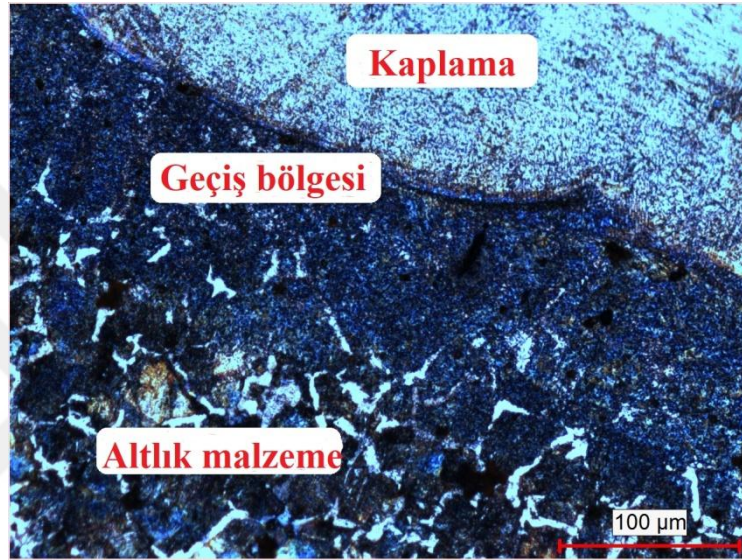
Aşınma testinden sonra numuneler İzmir Yüksek Teknoloji Üniversitesi'nde bulunan SEM cihazında SEM EDS taramalarına tabi tutulmuş, aşınma izi, kaplama yüzeyi ve altlık malzemedan elemental analiz ve haritalama işlemleri yapılmıştır. Ayrıca aşınma izi ve kaplama yüzeyinden topografik görüntüler alınmıştır. (Şekil 3.12)



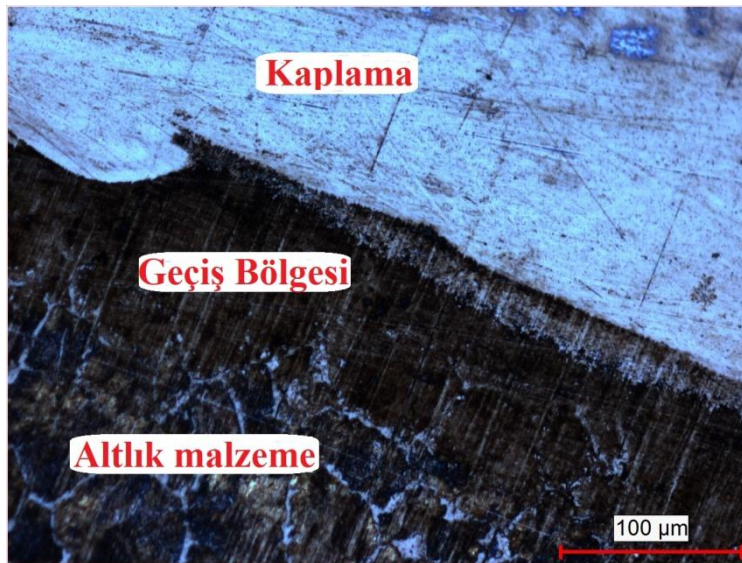
Şekil 3.12. SEM cihazı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

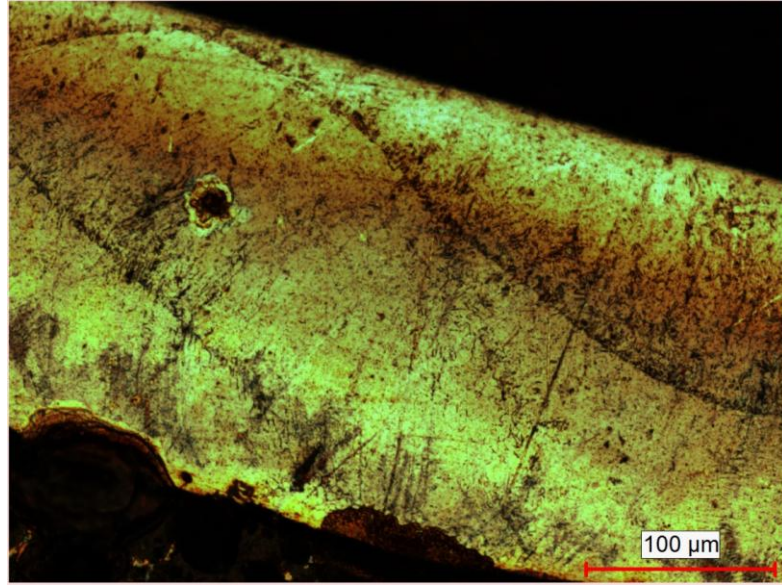
Dağlama işlemine tabii tutulan numunelerin optik mikroskop ile tane sınırları ve geçiş bölgeleri incelenmiştir. %1,5 WC ve %1,5 SiC kaplanmış numunelere ait optik mikroskop görüntüleri Şekil 4.1 ve 4.2’de yer almaktadır. Takviyesiz numuneye ait optik mikroskop görüntüsü ise Şekil 4.3’de yer almaktadır. Buna ek olarak kaynak dikiş izleri de Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. %1,5 Nano-WC Geçiş (optik mikroskop)

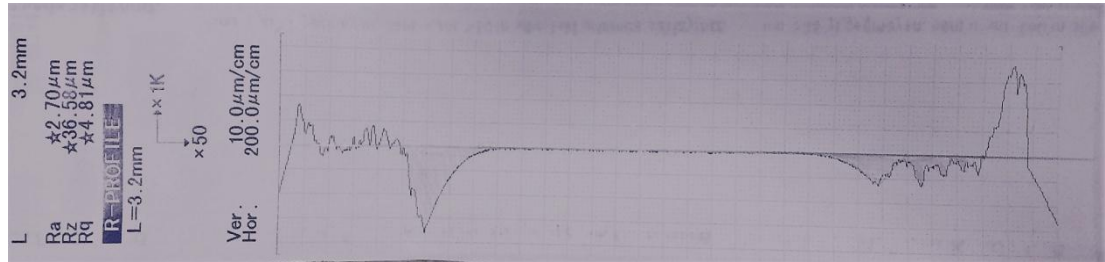


Şekil 4.2. %1,5 Nano-SiC Geçiş (optik mikroskop)

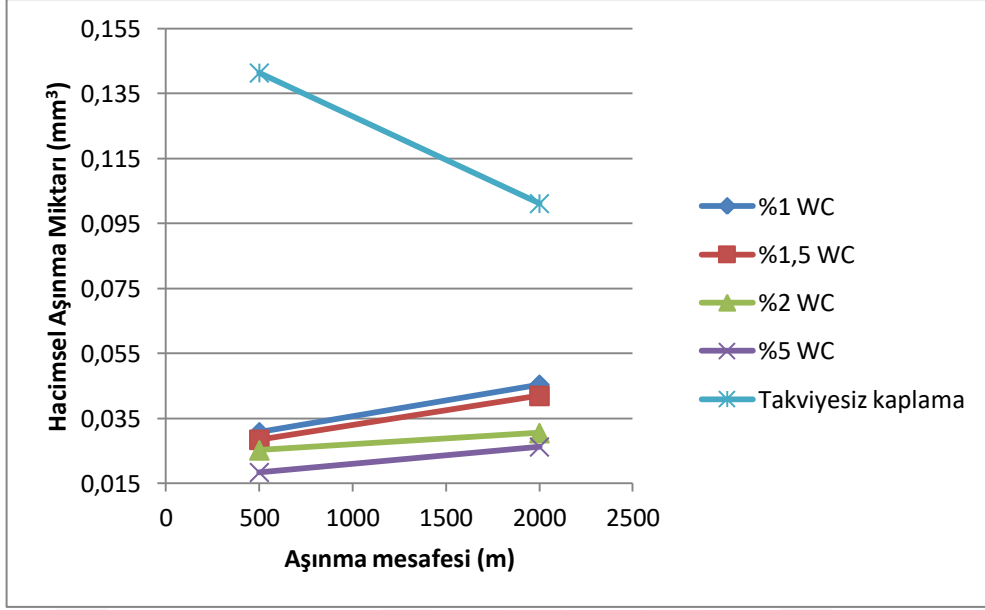


Şekil 4.3. Takviyesiz kaplamada lazer kaynak dikiş izleri (optik mikroskop)

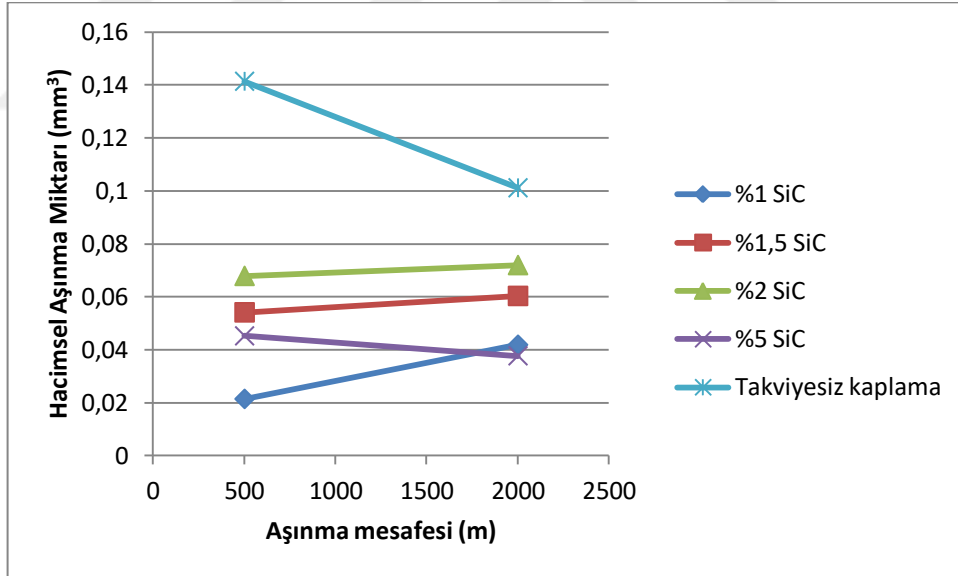
Aşınma testinde 500 m ve 2000 m yapılan aşınma izi profilometre ölçümlerinden elde edilen grafiklerle iz alanı hesabı yapılmış ve çıkan sonuçlar aşınma iz uzunluğu ile çarpılarak hacimsel kayıp hesaplanmıştır. %1 Nano-SiC takviye edilmiş kaplamaya ait profilometre cihazından alınmış aşınma izi derinlik grafiği Şekil 4.4'te verilmiştir. Elde edilen hacim kaybı-aşınma mesafesi grafikleri Şekil 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. %1 Nano-SiC takviyeli kaplamanın aşınma izi profilometre ölçümü grafiği



Şekil 4.5. Nano-WC takviyeli kaplamaların aşınma mesafesine bağlı olarak hacimsel aşınma miktarı grafiği



Şekil 4.6. Nano-SiC takviyeli kaplamaların aşınma mesafesine bağlı olarak hacimsel aşınma miktarı grafiği

Aşınma testi sonuçlarına göre en yüksek aşınma miktarı 0.101mm^3 olarak takviyesiz numunede gözlenmiştir.

WC kaplanmış numuneler göz önüne alındığında en düşük aşınma miktarı %5 Nano-WC takviye edilmiş kaplama da 500m'de gözlenmiştir. Bu numune için maksimum aşınma miktarı 2000m'de $0,026\text{mm}^3$ olarak ölçülmüştür. Tüm aşınma testlerinin 2000m sonuçları göz önünde bulundurulduğunda en düşük aşınma miktarına sahip numune %5 nano WC takviyesi yapılmış numunede gözlenmiştir.

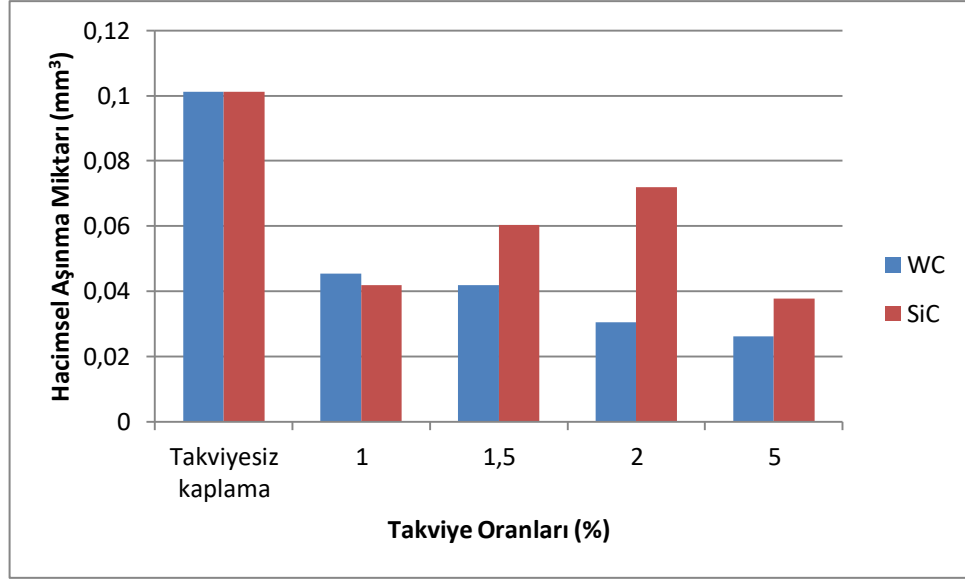
Nano SiC kaplanmış numunelerde ise en düşük aşınma miktarı 500m'de %1 SiC içeren eden numunede $0,021\text{mm}^3$ olarak ölçülmüş aynı numunenin en yüksek aşınma miktarı ise 2000m'de $0,042$ olarak ölçülmüştür.

Nano WC kaplanmış numunelerde takviye oranı arttıkça aşınma miktarları düşüş göstermektedir. Bu durum Şekil 4.8'de verilen sertlik sonuçları ile değerlendirildiğinde sertlik artışının aşınma miktarını düşürdüğü söylenebilir. Ancak Şekil 4.6 ve 4.7'de görüldüğü üzere nano SiC kaplanmış numunelerde %1,5 ve %2 takviye oranlarında aşınma miktarları beklenenden fazla çıkmıştır.

%1,5 ve %2 nano SiC kaplanmış numunelerde hacim kayıplarının fazla olmasının nedeni malzeme yüzeyinden kopmalar olabileceği üzerinde durulmalıdır. Çünkü numunelere ait Şekil 4.22 ve Şekil 4.24'de verilen SEM görüntülerinde kopmalar görülmektedir.

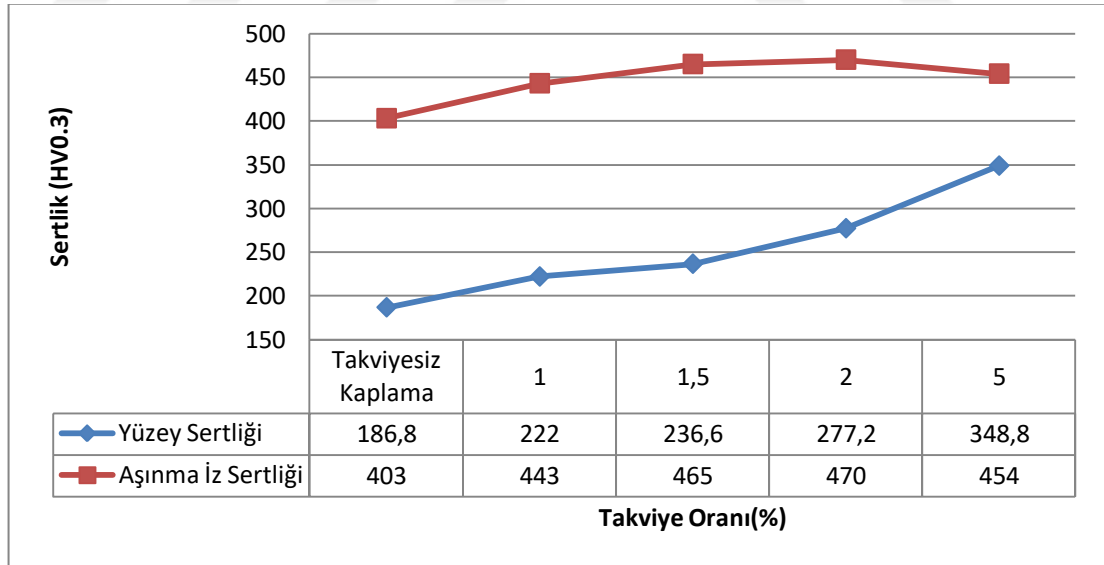
%5 nano SiC takviye edilmiş numunede aşınma miktarının düşmesi, aşınan parçacıkların tekrar yüzeye yapışması ile açıklanmaktadır. Bu durum Şekil 4.27'de ki SEM görüntülerinde gözlenmektedir.

Tüm numunelerin 2000m sonunda aşınma miktarlarını veren grafik Şekil 4.7'de yer almaktadır. Nano-WC takviyeli kaplamaların aşınma miktarlarının Nano-SiC'e göre daha az olduğu tespit edilmiştir.

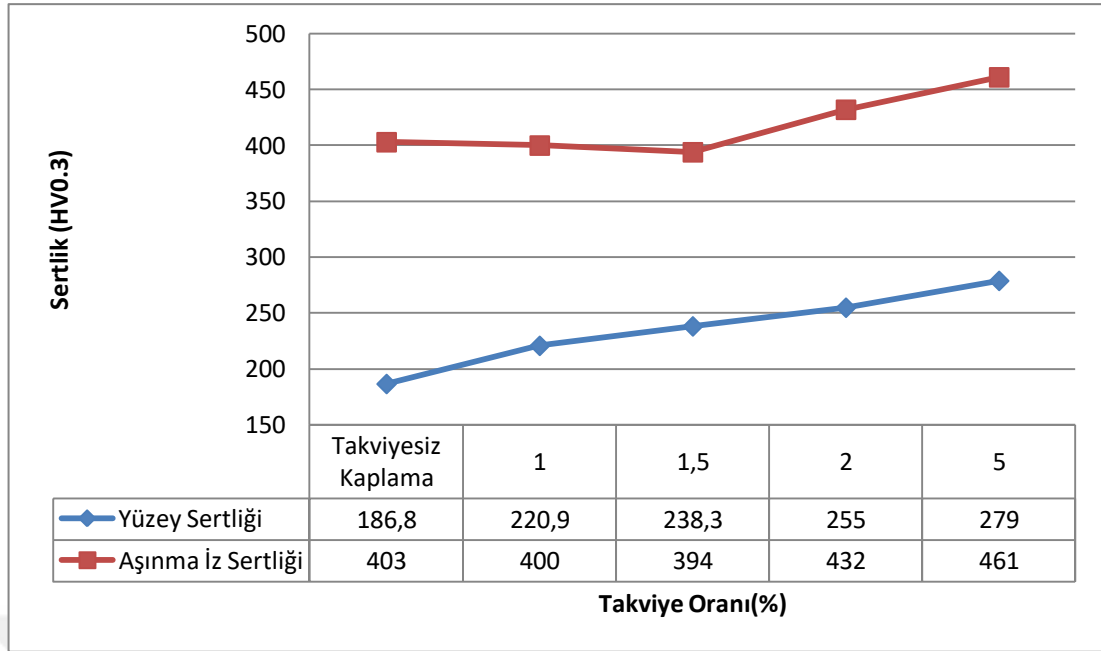


Şekil 4.7. Nano-WC ve nano SiC takviyeli kaplamaların aşınma miktarlarının karşılaştırılması

Sertlik testleri 3 farklı şekilde yapılmıştır. Kaplama yüzeyi ve aşınma izi sertlikleri Şekil 4.8 ve 4.9 da yer almaktadır.



Şekil 4.8. Nano WC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyi ve aşınma izi sertlikleri

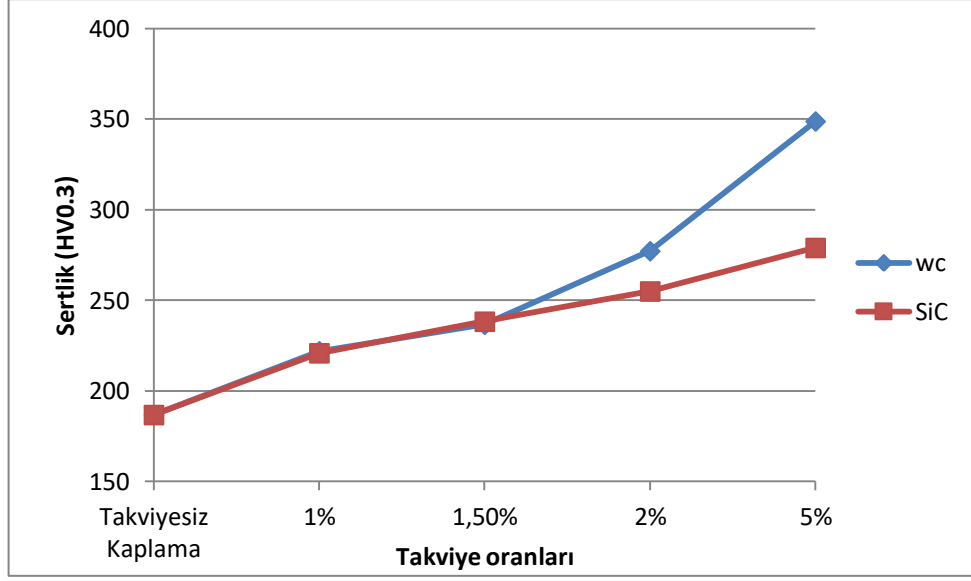


Şekil 4.9. Nano SiC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyi ve aşınma izi sertlikleri

Yüzey sertlikleri göz önünde bulundurulduğunda en yüksek sertlik değeri % 5 Nano-WC içeren numunede 348,8 HV0.3 olarak ölçülmüştür. En yüksek yüzey sertliğine sahip SiC kaplamalı numune ise 279 HV0.3 ile %5 SiC ihtiva eden numunedir. En düşük kaplama yüzeyi sertliği ise 186,8 ile takviyesiz kaplamalı numunede gözlenmiştir.

Şekil 4.9’da görüldüğü üzere %2 Nano-WC takviye oranına kadar aşınma izi sertliği artarken %5 WC takviyeli numunede çok az bir düşme gözlenmiştir. Bunun nedeni sertlik testinin alındığı bölgenin görece olarak Nano-WC yönünden daha az bölgeden alınması olabilir. Aynı durum %1.5 SiC takviye edilmiş numunede de gözlenmiştir (Şekil 4.10). Aşınma nedeninin fazla olmasına neden olan malzeme yüzeyinden kopmalar aynı zamanda aşınma iz sertliğinin düşmesine neden olmuştur diye açıklanabilir İleriki bölümlerdeki SEM-EDS analizleri bu durumu desteklemektedir.

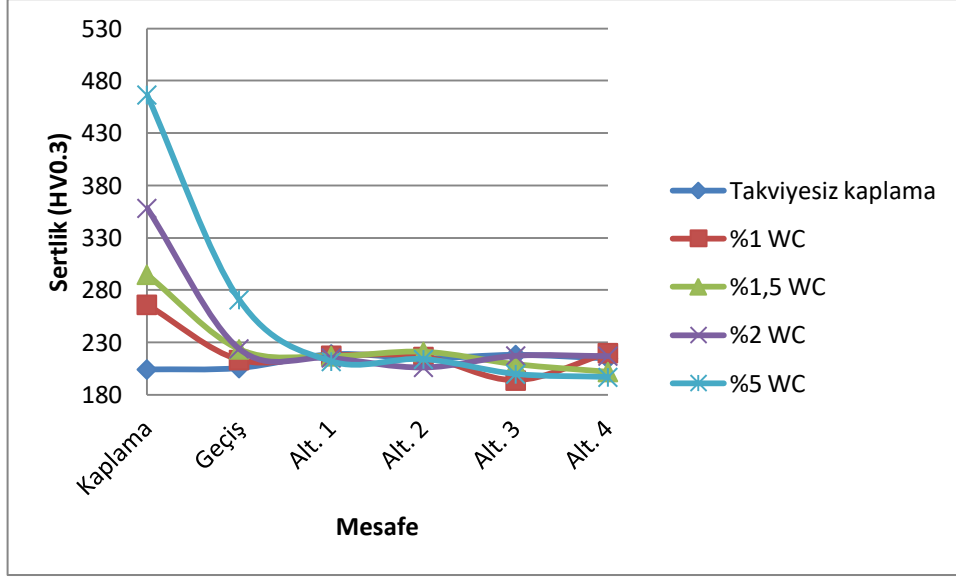
Nano-WC ve Nano-SiC içeren kompozit kaplamaların sadece yüzey sertliklerinin değerlendirildiği grafik ise Şekil 4.10’da yer almaktadır.



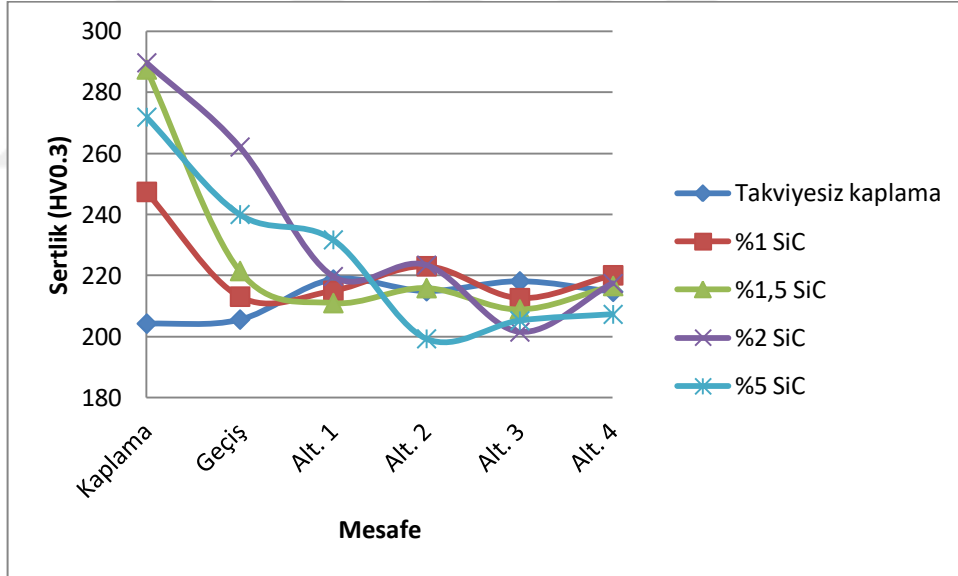
Şekil 4.10. Nano-WC ve Nano SiC takviyeli kaplamaların takviye oranlarına göre sertliklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.10’da oldukça net görülmektedir ki % 1.5 takviye oranına kadar nano WC ve nano SiC takviyesi yapılmış kaplamalarda sertlik değerleri birbirine çok yakındır. Nano WC takviyesinin %2 ve % 5 oranlarında ilavesiyle sertlikte önemli artışlar görülmüştür. Aynı sertlik değerlerini nano SiC ile elde edebilmek için hacimce oranların daha fazla olması gerektiği düşünülmektedir.

Numunelerin kesitten alınan sertlik ölçümü sonuçları Şekil 4.11 ve 4.12’de görülmektedir.

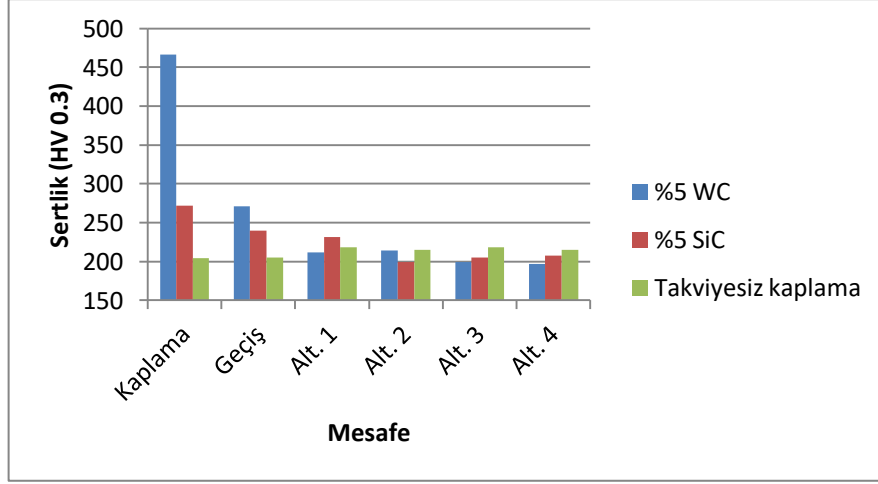


Şekil 4.11. Nano-WC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyinden altlık malzeme merkezine doğru sertlik değerlerinin değişimleri



Şekil 4.12. Nano-SiC takviyeli ve takviyesiz kaplama numunelerinin kaplama yüzeyinden altlık malzeme merkezine doğru sertlik değerlerinin değişimleri

Sonuçları daha iyi değerlendirmek için %5 Nano-SiC ve Nano-WC içeren numunelerle, takviyesiz kaplama yapılmış numuneye ait sertlik dağılım grafiği Şekil 4.13'de yer almaktadır.

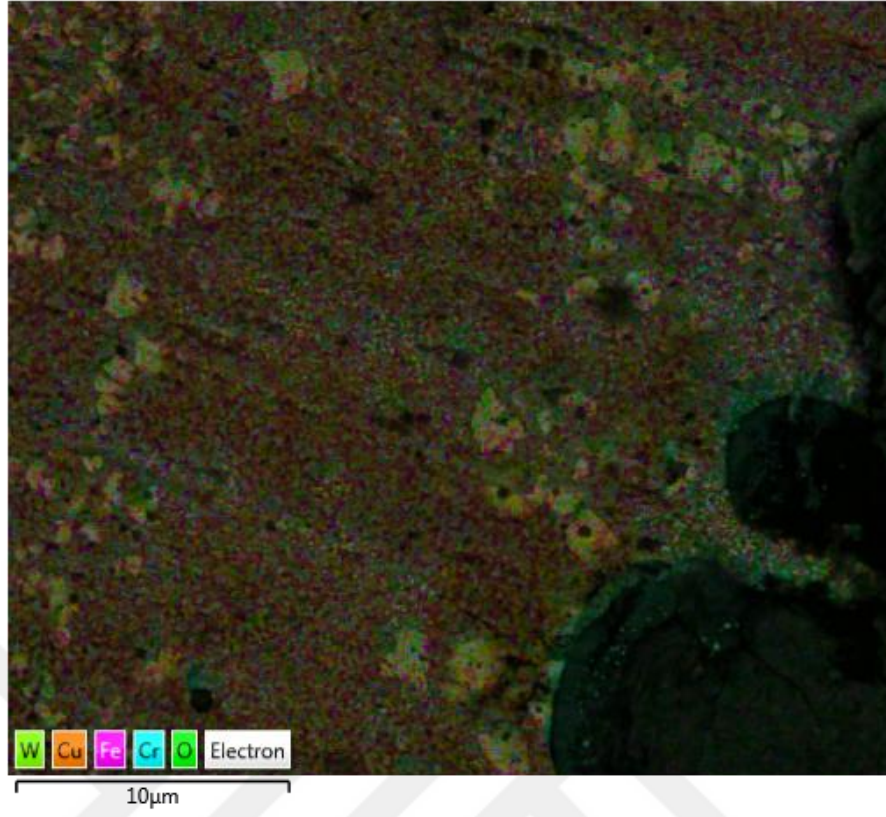


Şekil 4.13. %5 Nano-WC, %5 Nano-SiC ve takviyesiz kaplamaya ait sertlik dağılımı

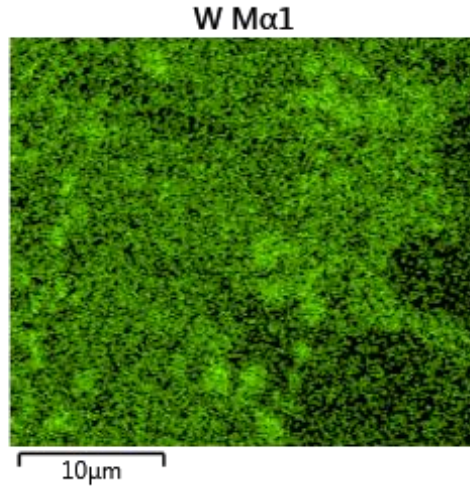
Şekil 4.13’de görüldüğü üzere lazer kaynak yöntemiyle %5 Nano-WC takviyeli kaplamanın yüzey sertliği takviyesiz numunenin yüzey sertlik değerine göre %87, %5 Nano-SiC takviyeli numunenin yüzey sertlik değerine göre ise % 25 daha yüksektir. Tüm numunelerde altlık malzemeye doğru sertlik değerleri düşerken takviyesiz kaplama yapılmış numune de önemli değişiklikler gözlenmemiştir. Geçiş bölgesinde de Nano-WC takviyeli kaplanmış numunenin sertliği daha yüksekken Alt.1 bölgesinden Nano-SiC takviyeli kaplamalı numunenin sertliği daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni Nano-SiC takviyesinin altlık malzemeye daha fazla nüfuz etmesi olduğu düşünülmektedir. Yapılan SEM-EDS analizleri sonuçları bu olasılığı desteklemektedir.

EDS analizi ile %1 Nano-WC, %1 Nano-SiC ve toz ilavesiz yapılan kaplamalara ait elemental haritalamalar Şekil 4.14-4.18’de yer almaktadır.

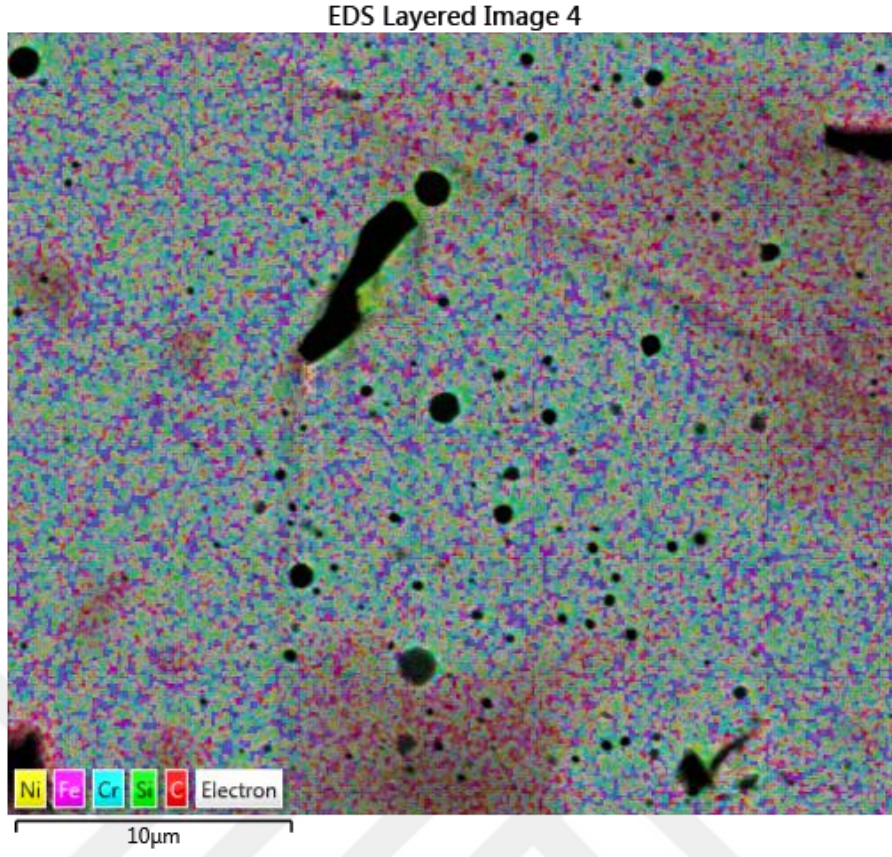
EDS Layered Image 3



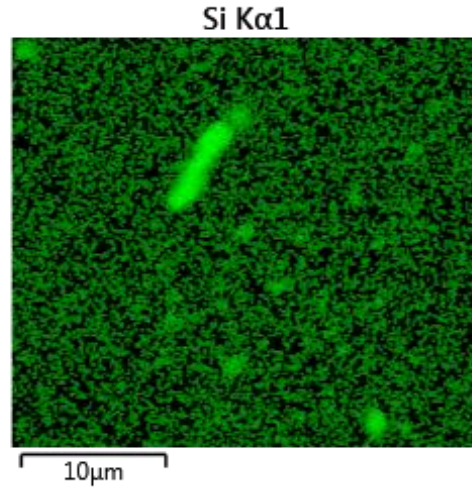
Şekil 4.14. %1 Nano-WC elemental haritalama (EDS)



Şekil 4.15. %1 Nano-WC kaplanmış numunede W metali için elemental haritalama (EDS)

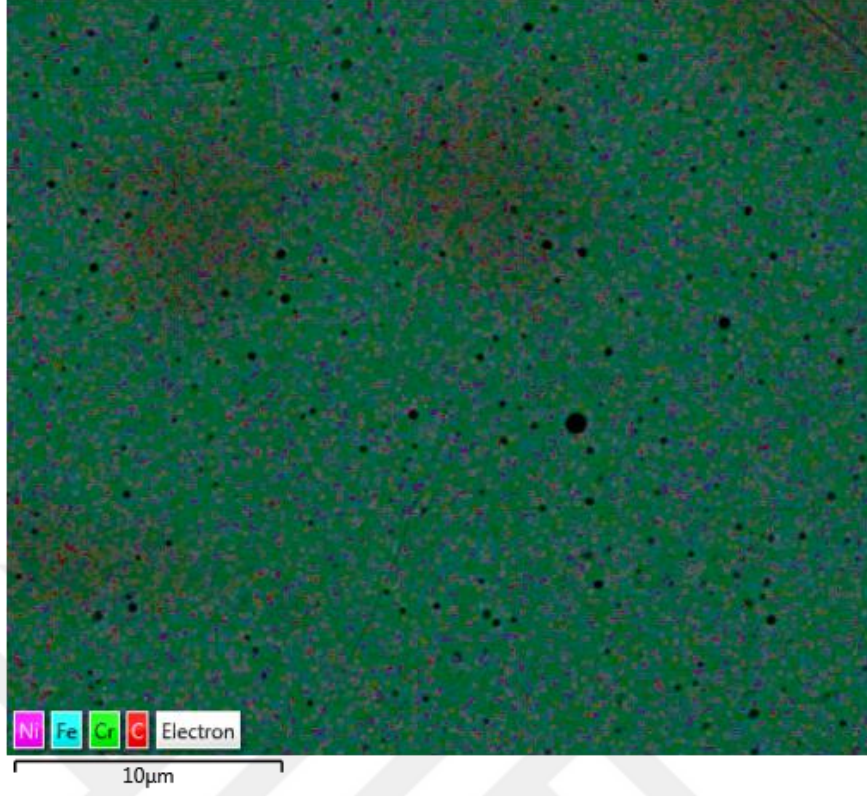


Şekil 4.16. %1 Nano-SiC elemental haritalama (EDS)



Şekil 4.17. %1 Nano-SiC kaplanmış numunede Si metali için elemental haritalama (EDS)

EDS Layered Image 5



Şekil 4.18. Takviyesiz kaplanmış numuneye ait elemental haritalama (EDS)

Şekil 4.14 ile Şekil 4.18 arasındaki SEM-EDS analizleri göstermektedir ki kaplama yapılan numunelerde kullanılan takviye tozları malzeme yüzeyinde lazer kaplama işlemi esnasında tel ile dağılmışlardır. Toz kullanılmayan numunede (Şekil 4.21) Ni elementi kullanılan masif telin içeriğinde olduğu için ön plana çıkmaktadır.

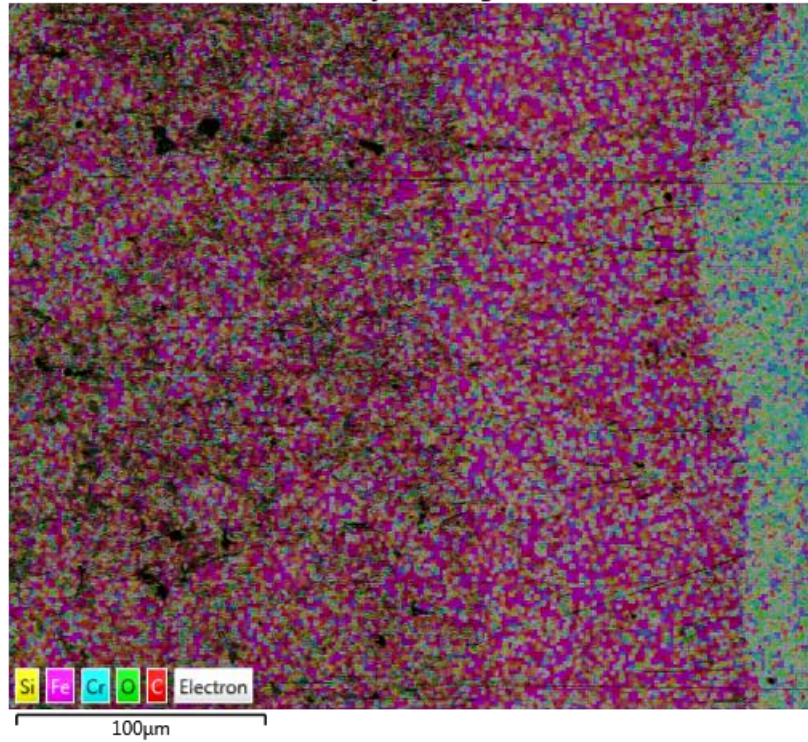
Aynı numunelere ait kaplama kesiti EDS elemental haritalandırılmasına da Şekil 4.19-4.21’de yer verilmiştir.

EDS Layered Image 6



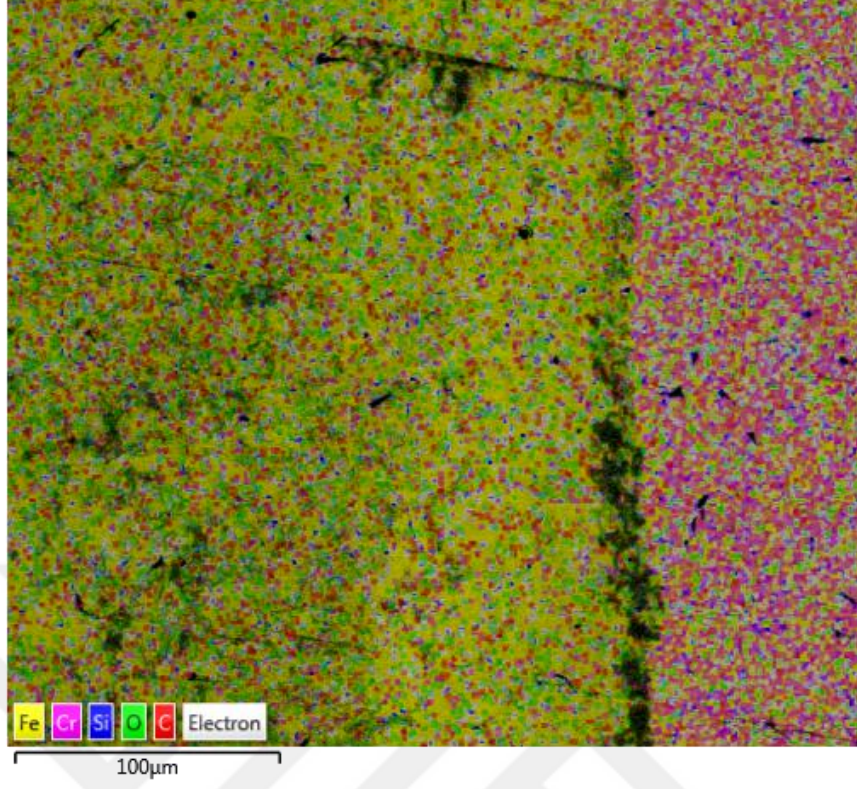
Şekil 4.19. % 1 Nano-WC kaplama kesiti elemental haritalama (EDS)

EDS Layered Image 7



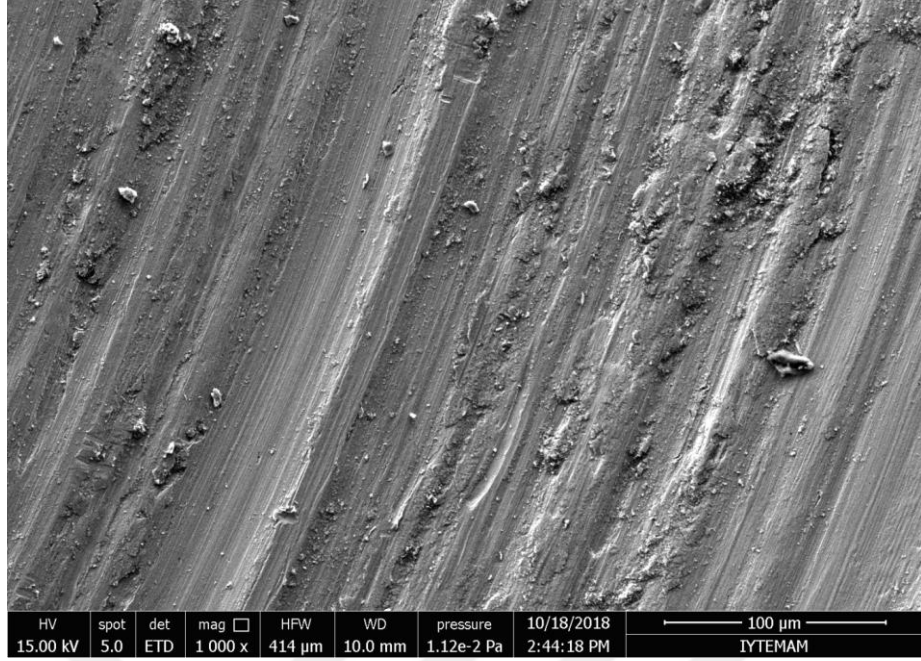
Şekil 4.20. % 1 Nano-SiC kaplama kesiti elemental haritalama (EDS)

EDS Layered Image 8



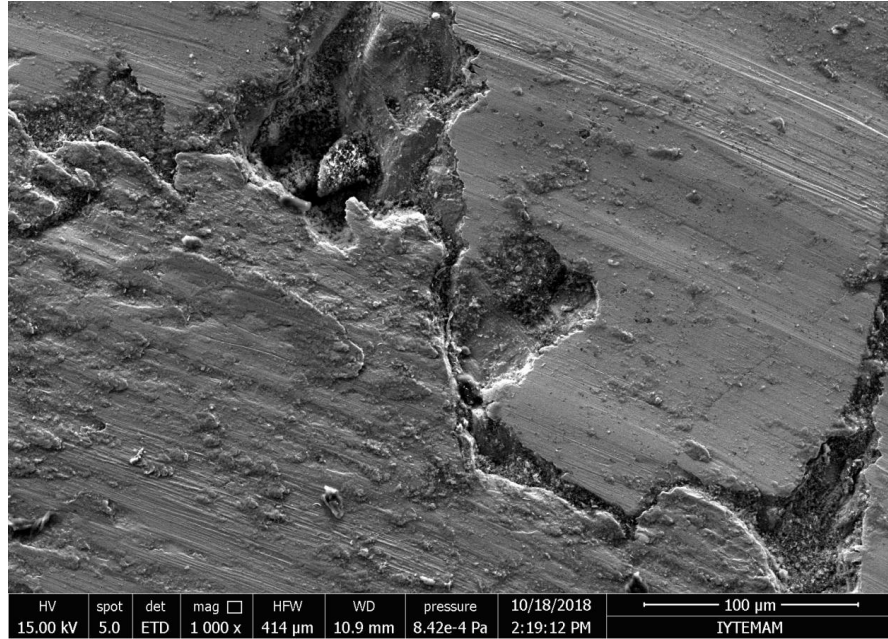
Şekil 4.21. Takviyesiz kaplama kesiti elemental haritalama (EDS)

Şekil 4.19 ve 4.20’da görüldüğü gibi kaplamada kullanılan takviye tozları altlık malzemeye de nüfuz etmiştir. Ayrıca Şekil 4.21’de ki EDS analizinde kullanılan masif telin içeriğinde bulunan Cr elementi altlık malzemeye nüfuz ettiği de görülmektedir.

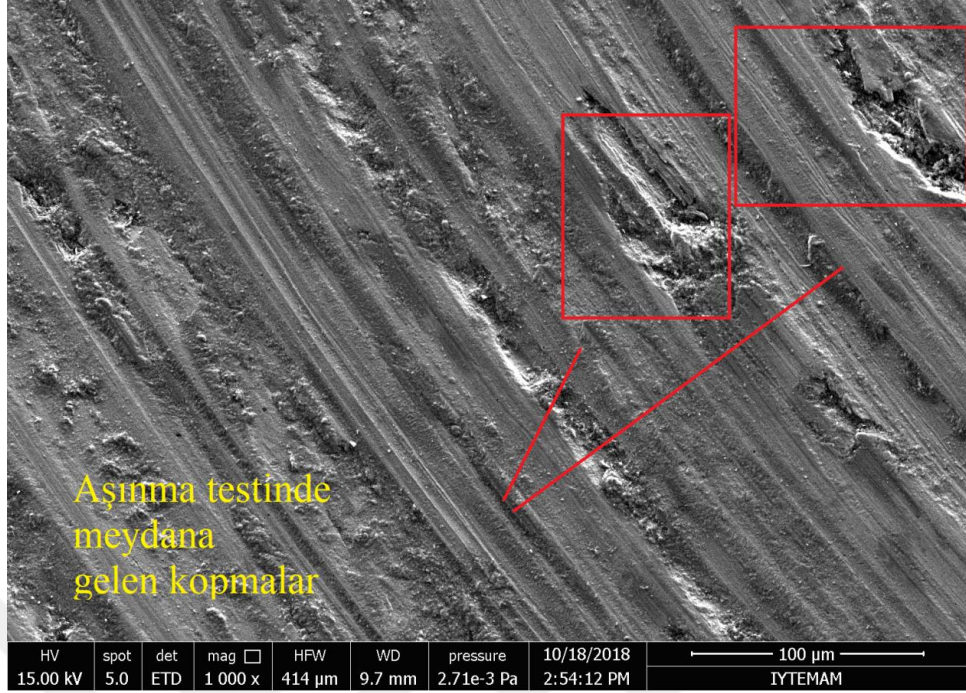


Şekil 4.22. % 1,5 Nano-SiC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD)

%2 Nano-WC ve % 2 Nano-SiC takviye edilmiş kaplamalarda oluşan aşınma izine ait topografik görüntüler Şekil 4.23 ve 4.24’de yer almaktadır.



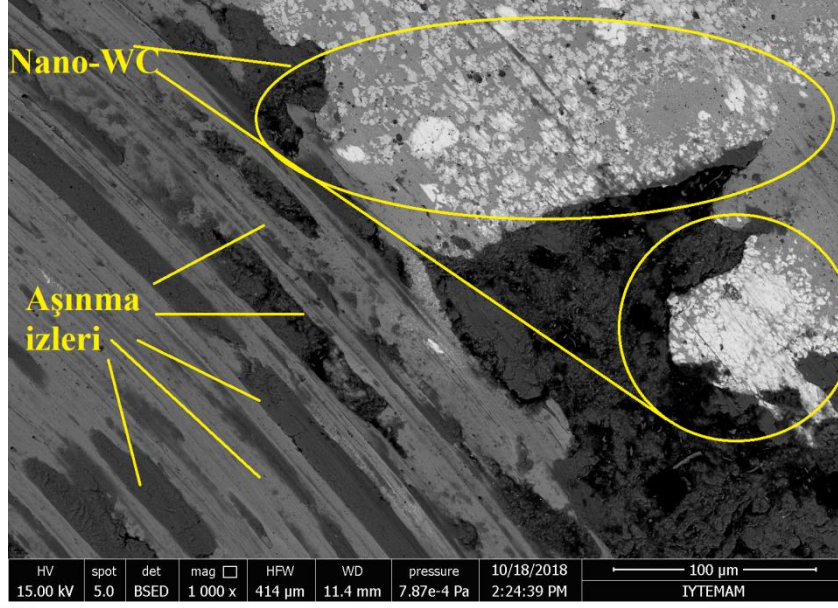
Şekil 4.23. %2 Nano-WC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD)



Şekil 4.24. %2 Nano-SiC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD)

%2 Nano-SiC takviyesi yapılmış numuneye ait aşınma izi topografik görüntüsü göstermektedir ki aşınma yüzeyinden kopmalar meydana gelmiştir. Bu durum Şekil 4.6-4.7’de verilen aşınma hacim kayıpları grafikleri ile birlikte değerlendirildiklerinde, aşınma hacim kaybının fazla olmasının nedeni olarak sunulan “malzeme yüzeyinden kopmalar” önem kazanmaktadır. Bunu açıklaması açısından %1.5 ve % 5 SiC takviye edilmiş kaplamalı numunelere ait aşınma izi SEM topografik görüntülerine ise Şekil 4.22 ve 4.27’de yer verilmiştir. Şekil 4.22’de tıpkı % 2 SiC içeren kaplamada olduğu gibi aşınma sürecinde kopmaların yaşandığı görülmektedir. Ancak % 5 Nano-SiC içeren numunenin aşınma yüzeyinde test esnasında kopan parçalar aşınma testi sonrasında tekrar yüzeye yapışmıştır (Şekil 4.27).

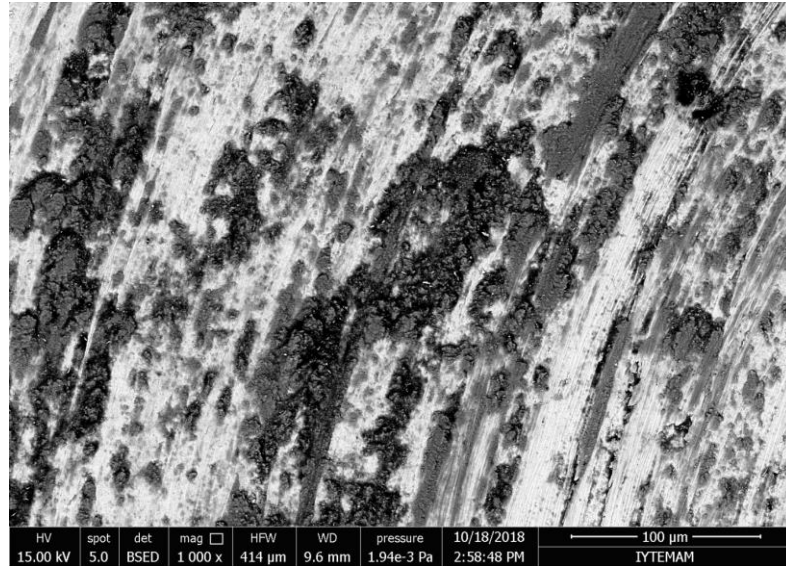
Aşınma yüzeylerinin SEM görüntülerinde, kullanılan takviye tozların aşınma yüzeylerinde de biriktiği gözlenmiştir. %5 Nano-WC takviye ile kaplanmış numuneye ait SEM görüntüsü Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.25. %5 Nano-WC takviyeli numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (BSED)

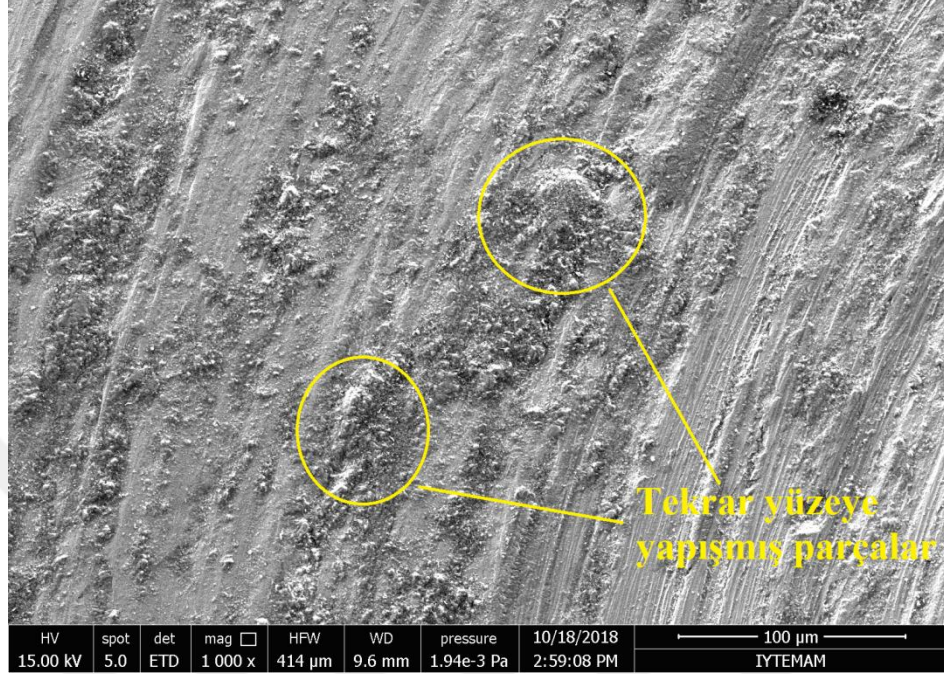
Şekil 4.25’de aşınma izi üzerindeki beyaz bölgeler Nano-WC parçacıklarının toplandığı bölgeleri göstermektedir.

%5 Nano SiC takviye numuneye ait aşınma izinin SEM görüntüsü Şekil 4.26’da verilmiştir.



Şekil 4.26. %5 Nano- SiC takviyeli numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (BSED)

Şekil 4.26’da aşınma izi üzerindeki siyah bölgeler Nano-SiC parçacıklarının toplandığı bölgelerdir. Aşınma sırasında kopan Nano-SiC partiküller ve deformasyon sertleşmesi olan bölgeler yine matris içine yerleşerek aşınma devam etmiştir.



Şekil 4.27. %5 Nano-SiC takviye ile kaplanmış numunenin aşınma izi SEM görüntüsü (ETD)

Bölüm 2.10’da bahsedildiği gibi; Shenfeng ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada WC takviyesinin sertlik değerini arttırdığı, aşınma miktarını düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır. Bu çalışma ile de Nano-WC takviyesi aşınma miktarını düşürmüştür [26].

Majumdar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, SiC takviyesinin kaplamanın sertlik değerlerini arttırdığı, aşınma miktarını düşürdüğü sonucuna ulaşmışlardır. Bu tez çalışmasında da Nano-SiC takviyeli kaplamalarda sertlik değerleri artmış ve pin-on-disk aşınma testi sonucunda hacimsel aşınma miktarı azalmıştır [23].

Bu tez çalışması ile; Nano-WC ve Nano-SiC takviyesi kullanılarak ve Nd:YAG lazeriyle üretilen kompozit kaplamaların tribolojik davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar mevcut literatür bilgileri ile desteklenmiştir. Bu çalışmanın da ileride nano teknoloji ve lazer kaynak endüstrisinde yeni çalışmalara literatür kaynağı olacağı düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Nano-WC ve Nano-SiC tozları lazer kaynak yöntemiyle farklı oranlarda düşük karbonlu çelik altlık malzemesine uygulanmış ve üretilen nano takviyeli kaplamaların tribolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Yapılan tüm testlerin sonuçları değerlendirildiğinde Nano-WC ve Nano-SiC takviyesi ile Nd:YAG lazer kaynak makinası kullanılarak kaplama üretiminin mümkün olduğu görülmüştür. Yapılan mikroyapı incelemeleri ile oluşan kaplama bölgesi, geçiş bölgesi ve kaplamayı oluşturan kaynak dikişleri gözlenmiştir.

Nano-WC takviyesi ile lazer kaynak yöntemi uygulanarak üretilen numunelerin sertlik testi sonuçlarına göre en yüksek sertlik oranına sahip numune 348,8 HV0.3 ile %5 Nano-WC takviye edilmiş numune iken aynı numune tüm çalışmada en yüksek sertlik değerine sahip numune olmuştur.

%1 Nano-WC takviyesi kullanılarak lazer kaynak yöntemiyle üretilmiş numunenin sertlik değeri ise 222 HV0.3 olarak ölçülmüş ve sertliği 186,8 HV0.3 olan takviyesiz numunenin yüzey sertliğinden daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmüştür.. Bu da göstermektedir ki düşük oranlarda bile Nano-WC takviyesi sertliğin artmasına neden olmuştur.

%1 Nano-SiC takviyesi ile lazer kaynak metoduyla üretilmiş numunenin sertlik değeri ise 220,9 HV0.3 olarak ölçülmüş ve sertliği 186,8 HV0.3 olan takviyesiz numunenin sertliğinden daha yüksek bir değere sahiptir. Bu da göstermektedir ki düşük oranlarda bile Nano-SiC takviyesi sertliğin artmasına neden olmuştur.

Nano-WC takviyesi arttıkça sertlik değerleri artmıştır. Aynı durum Nano-SiC takviyesi ile üretilen kaplamalarda da görülmüştür. %1,5 takviye oranına kadar her iki nano toz ilavesinin sertlik sonuçlarına etkisi birbirine yakın çıkarken, %2 ve %5 takviye oranında Nano-WC eklenmiş numunelerin sertliklerinin daha yüksek çıktığı gözlenmiştir.

Nano-WC takviye oranı arttıkça aşınma miktarlarının düştüğü gözlenmiştir. Yapılan aşınma testi sonuçlarına ve SEM görüntülerine göre tüm çalışma kapsamında en düşük aşınma miktarına sahip olan numune %5 Nano-WC takviyeli numunedir.

Nano-WC takviyesi ile üretilen numunelerde takviye oranının artması ile sertlik değerleri artmış ve yüksek sertliğe sahip olan numunelerde de aşınma miktarında azalma görülmüştür. Yani yapılan aşınma testi sonuçlarına sertlik artışının aşınma hacim kaybı miktarını düşürdüğü görülmüştür.

Nano-SiC takviyesi ile üretilen numunelerde de takviye oranının artması ile sertlik değerleri artmış, ancak yüksek sertliğe sahip her numunede aşınma miktarında azalma gözlenmemiştir. Bunun nedeni aşınma esnasında meydana gelen abrasiv aşınmadır. Aşınma ile malzeme yüzeyinden kopan parçalar aşınma hacim kaybının daha yüksek olmasına neden olmuştur. %5 Nano-SiC takviyesi ile üretilen kaplamada ise kopan parçaların tekrar yüzeye yapışması aşınma hacim kaybını düşürmüştür.

En çok aşınan numunenin takviyesiz kaplama ile üretilen numune olduğu tespit edilmiştir. Nano-WC ve Nano-SiC takviyesinin kullanılmasıyla lazer kaynak yöntemi ile kaplamalar oluşturularak aşınmaya karşı dirençli yerlerde kullanılırsa, aşınma hacim kaybını düşürdüğü sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Hıdıroğlu, M. Aşınan Makine Parçalarına Uygulanan Sert Dolgu Kaynağının Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Karabük, 2012, 1 s.(Yüksek Lisans Tezi).
- [2] Apay, S. Tozaltı Sert Dolgu Kaynağında Bor Tozu İlavesinin Aşınma Özellikleri Üzerine Etkisi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2007 s 1-25. (Yüksek Lisans Tezi).
- [3] Arabacı, U. Supap Yüzeylerinin Tig Kaynak Yöntemi ile Kaplanması ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, 2009 s 1-25. (Yüksek Lisans Tezi).
- [4] Tarakçioğlu, N., Özcan, M., Lazerler ve materyal işleme uygulamaları, Atlas Yayın, İstanbul, Türkiye, 2004, 3-128 s.
- [5] Uzun, R. Lazerle Kaynak İşleminde Kaynak Parametrelerinin Kaynak Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2010, s 1-19. (Yüksek Lisans Tezi).
- [6] Tokdemir, M. Lazer Kaynağı İle Birleştirilmiş Demir Esaslı T/M Malzemelerin Kaynak Bölgesinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2007, s 1-34. (Doktora Tezi).
- [7] Birger, E. M., Moskvitin, G. V., Polyakov, A. N., & Arkhipov, V. E. Industrial Laser Cladding: Current State And Future. *Welding International*, 2011, 25(03), 234-243.
- [8] Torims, T. The Application of Laser Cladding to Mechanical Component Repair, Renovation and Regeneration, Chapter 32 in DAAAM International Scientific Book, Ed: B. Katalinic & Z. Tekic, DAAAM International, Viyana, Avusturya, 2013, 32.
- [9] Chandrasekar, M., Shivalingappa, D., Channankaiah. D. Recent Developments in Cladding Process – A Review. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2016, 2(10), 310-315.
- [10] Dai, S., Zuo, D. W., Fang, C., Zhu, L., Cheng, H., Gao, Y. X., & Li, W. W. Characteration of Laser Cladded Fe-Mn-Cr Alloy Coatings Modified by Plasma Nitriding. *Materials Transactions*, 2016, 57(4), 539-543.
- [11] Chen, J.M., Chun, G., & Zhou J.S. Microstructure and Tribological Properties of Laser Cladding Fe-Based Coating on Pure Ti Substrate. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 2012, 22(9), 2171–2178.

- [12] Loudon, R., The quantum theory of light. Clarendon Press, Oxford İngiltere, 1973, 43-55 s.
- [13] Yariv, A., Quantum Electronics. John Wiley and Sons, New York, Amerika, 1989, 5678 s.
- [14] Babur, S. Milisaniye Nd:Yag Lazerle Metal Tozların Metal Yüzeyleme Kaplanması. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Kocaeli, 2010, s 1-31. (Yüksek Lisans Tezi).
- [15] Güneş C. Benzinli Enjektörlerin Lazer Kaynağı ve Lazer Kaynak Parametreleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2012, s 18-22.
- [16] <https://www.whitfieldwelding.com/weld-repair-and-refurbish/micro-laser-welding/> 24.12.2018
- [17] <https://www.oerlikon.com/metco/en/products-services/coating-services/coating-services-laser-cladding/component-manufacturing-and-repair/> 24.12.2018
- [18] Yüksel, E., Eker, B. Tarımsal Sulamada Kullanılan Santrifüj Pompa Çarkında Olabilecek Aşınmanın Belirlenmesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 2009, 6(2), 203-214.
- [19] Çelik, O., Akbayır, O., Gaşan, H., Er, Ümit., Aydınbeyli, N. Borlanmış A1S1 1030 Çeliğinin Abrazif Aşınma Özellikleri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 2008, 11(1) 72-85.
- [20] Yılmaz, S. Sert Dolgu Kaynağında Elektrot Kimyasal Bileşiminin Ve Kaynak Yönteminin Sertleşme Kabiliyetine Etkisi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2018, s 19-26.
- [21] Feng, K., Chen, Y., Deng, P., Li, Y., Zhao, H., Lu, F., Li, R., Huang, J., Li, Z. Improved High-Temperature Hardness and Wear Resistance of Inconel 625 Coatings Fabricated by Laser Cladding. Journal of Materials Processing Technology, 2017, 243, 82-91.
- [22] Anandkumar, R., Almedia, A., Colaço, R., Vilar, R., Ocelik, V., Hosson, J. Microstructure and wear Studies of Laser Clad Al-Si/SiC Composite Coatings. Surface and Coatings Technology, 2007, 201, 9497-9505.
- [23] Majumdar, J., Kumar, A., Li, L. Direct Laser Cladding Of SiC Dispersed AISI 316L Stainless Steel. Tribology International, 2009, 42, 750-753.
- [24] Wang, K., Fu, G., Li, Long., Lei, P., Wei, Z., Su, Q. Effect of Power on Microstructure and Properties of Laser Cladding NiCrBSi Composite Coating. Surface Engineering and Coatings, 2017, DOI:10.1080/00202967.2017.1355640.

- [25] Kaya, Y., Aktürkoğlu, F., Kahraman, N. AISI 8620 elik Malzemelerin Plazma Puskürtme Yöntemiyle Kaplanması ve Kaplamaların Karakterizasyonu. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2017, DOI:<https://doi.or./10.17341/gazimmfd.416410>.
- [26] Zhou, S., Zeng, X., Hu, Q., Huang, Y. Analysis of Crack Behavior For Ni-Based WC Composite Coatings By Laser Cladding And Crack-Free Realization. Applied Surface Science, 2008, 255, 1646-1653.
- [27] Xie, G., Song, X., Zhang, D., Wu, Y., Lin, P. Microstructure And Corrosion Properties Of Thick WC Composite Coating Formed By Plasma Cladding. Applied Surface Science, 2010, 256, 6354-6358.
- [28] Shu, D., Li, Z., Zhang, K., Yao, C., Li, D., Dai, Z. In-Situ Synthesized High Volume Fraction WC Reinforced Ni-Based Coating By Laser Cladding. Materials Letters, 2017 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2017.02.076>.
- [29] Aras, Y., Gürsu, S. Kıymetsiz Alaşımlara Uygulanan Kimyasal Dağlama (Etching) İşleminin Değişik Sürelerdeki Etkisinin SEM’de İncelenmesi. İ.Ü. Diş Hekimliği Fakültesi Dergisi, 1992, 26 (2), 60-63.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Samet ŞEN

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1992

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : samet.sen@icloud.com

Eğitim Durumu

Lise : Karşıyaka Lisesi, 2011

Lisans : Celal Bayar Üniversitesi, Malzeme Müh. Bölümü, 2015.

Mesleki Deneyim

Gür-An Nakliyat 2012-2013

Rapsodi Sanat 2016-2017