

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PLAZMA PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN ZİRKONYUM OKSİT
KAPLAMALARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE
SON YÜZEY İŞLEMLERİN ETKİSİ**

Görkem DEĞİRMENCİ

Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Serkan ISLAK
Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ
Dr.Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ

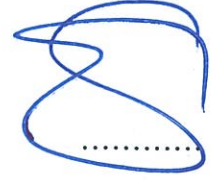
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Görkem DEĞİRMENCİ tarafından hazırlanan "Plazma Püskürtme Yöntemi ile Üretilen Zirkonyum Oksit Kaplamaların Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri Üzerine Son Yüzey İşlemlerin Etkisi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Doç. Dr. Serkan ISLAK Kastamonu Üniversitesi
Jüri Üyesi	Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ Fırat Üniversitesi
Jüri Üyesi	Dr.Öğr. Üyesi Mehmet AKKAŞ Kastamonu Üniversitesi



02/05/2019

Enstitü Müdürü Prof. Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

Görkem DEĞİRMENCİ



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLAZMA PÜSKÜRTME YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN ZİRKONYUM OKSİT KAPLAMALARIN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE SON YÜZEY İŞLEMLERİN ETKİSİ

Görkem DEĞİRMENÇİ
Kastamonu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serkan ISLAK

Atmosferik plazma sprey (APS) yöntemi ile üretilen kaplamalarda yüksek gözeneklilik ve kaplama tabakası ile alt malzeme arasında zayıf bağlanma gibi kusurlar oluşmaktadır. Meydana gelen gözeneklilik sadece kaplamanın mekanik özelliklerini azaltmamakta, aynı zamanda korozyon direncini de düşürmektedir. Bu, kaplama/alt malzeme ara yüzeyinde oluşan mikro kanallarda korozyon ortamının hareket etmesiyle oluşmaktadır.

Bu çalışmada, APS yöntemi ile AISI 316L üzerinde üretilmiş ZrO_2 - %8 Y_2O_3 kaplamaların mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisi araştırılmıştır. Seramik kaplamalar, 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Kaplama tabakalarının faz bileşimi ve mikroyapısı X-ışını difraktogramı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplamaların aşınma özellikleri ASTM G133 test standartları referans alınarak aşınma test cihazında ball on disk yöntemi ile test edilmiştir.

SEM çalışmalarına göre, en fazla gözenek oluşumu ısıtma işlemsiz numunede görülürken, ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça gözenek miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Fakat ısıtma işleminin arayüzey bağlanmasına olumsuz etki ettiği de kaçınılmaz bir sonuç olarak elde edilmiştir. Kaplama mikroyapısında t- ZrO_2 ve c- ZrO_2 fazlarının olduğu XRD analizlerinden belirlenmiştir. Sertlik sonuçlarına göre, işlemsiz kaplamanın sertliği, 912 $HV_{0.2}$ iken en yüksek sertliğin 1100 °C'de 1045 $HV_{0.2}$ olarak ölçülmüştür. Aşınma testi sonuçlarına göre, sürtünme katsayısı ve aşınma oranları ısıtma işlem sıcaklığının artmasıyla düşmüştür. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğraflarından da ısıtma işlemsiz numunenin en fazla kayba uğradığı, ısıtma işlem sıcaklığının artmasıyla kayıpların azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: plazma sprey, ZrO_2 , son yüzey işlemi, yüzey kaplama

2019, 52 sayfa

Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

EFFECT OF POST TREATMENTS ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF ZIRCONIUM OXIDE COATINGS PRODUCED BY PLASMA SPRAYING METHOD

Görkem DEĞİRMENÇİ

Kastamonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan ISLAK

Abstract: In the coatings produced by the atmospheric plasma spray (APS) method, high porosity and poor bonding between the coating layer and the substrate occur. The porosity from the pavement not only reduces the mechanical properties of the coating but also lowers the corrosion resistance. This is caused by the movement of the corrosion medium in the micro channels formed at the coating/substrate interface.

In this study, the effects of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of $ZrO_2 - 8\% Y_2O_3$ coatings produced on AISI 316L by APS method were investigated. Ceramic coatings were heat-treated at 900 °C, 1000 °C and 1100 °C. Microstructure and phase composition of coatings were investigated by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffractogram (XRD), energy dispersive spectroscopy (EDS). The wear characteristics of the coatings were tested with the ball on disk method in the wear tester with reference to ASTM G133 test standards.

According to SEM studies, the maximum pore formation is seen in the non-heat-treated sample, and the pore quantity is decreased as the heat treatment temperature increases. However, it is an inevitable result that the heat treatment negatively affects the interfacial bonding. It was determined from the XRD analysis that t- ZrO_2 and c- ZrO_2 phases were formed in the coating microstructure. According to the hardness results, the hardness of the untreated coating was 912HV_{0.2}, while the highest hardness was 1045 HV_{0.2} at 1100°C. According to the wear results, the coefficient of friction and wear rates decreased with increasing heat treatment temperature. It has been determined that the heat loss of the exposed surfaces is the most lost by the SEM photographs and the losses are decreased with the increase of the heat treatment temperature.

Key Words: plasma spray, ZrO_2 , post treatment, surface coating

2019, 52 pages

Science Code: 91

TEŐEKKÖR

Bu tez çalıŐmasının hazırlanması esnasında, bana her tÖrlÖ yardım ve desteklerini esirgemeyen; baŐta danışman hocam Kastamonu Öniversitesi, MÖhendislik ve Mimarlık FakÖltesi, Makine MÖhendisliği BÖlÖmÖ ÖĞretim Üyesi DoÇ.Dr. Serkan ISLAK'a çok teŐekkÖr ederim. Özellikle bu tezin meydana gelmesinde KÖBAP-03/2017-7 nolu proje ile maddi imkân sağlayan Kastamonu Öniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (KÖBAP) Koordinasyon Birimi ve çalıŐanlarına teŐekkÖr etmeyi bir borç bilirim.

Akademik hayatıma özveri ile katkı sağlayan ve her zaman yanımda olan aileme Őukranlarımı sunarım.

GÖrkem DEĞİRMENCİ
Kastamonu, Mayıs, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	i
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xi
GRAFİKLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. PASLANMAZ ÇELİKLER.....	3
2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler.....	3
2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler.....	4
2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler.....	4
2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler.....	5
2.5. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler.....	5
3. ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ.....	7
3.1. Alevle Püskürtme Yöntemi.....	7
3.2. Patlamalı Püskürtme (D-Gun) Yöntemi.....	8
3.3. Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi.....	8
3.4. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme Yöntemi.....	9
3.5. Plazma Püskürtme Kaplama Yöntemi.....	9
4. UYGULANAN SON İŞLEMLER (İKİNCİL İŞLEMLER).....	13
4.1. Isıl İşlem.....	14
4.2. Lazer Yüzey Ergitme.....	17
4.3. TIG Yüzey Ergitme.....	20
5. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI.....	23
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	32

6.1. Deneysel Yöntem.....	32
6.2. Numunelerin Hazırlanması	32
6.3. Mikroyapı İncelemesi	35
6.4. Sertlik Deneyi	36
6.5. Aşınma Deneyi	37
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
7.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	40
7.2 XRD Analizi Sonuçları	43
7.3. Sertlik Deneyi Sonuçları	43
7.4. Aşınma Deneyi Sonuçları	44
8. SONUÇLAR	47
9. ÖNERİLER	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	52

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

HVOF	Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt
İnc	İnç
MPa	Megapaskal
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
N	Newton
sn	Saniye
dk	Dakika
APS	Atmosferik Plazma Püskürtme
VPS	Vakum Plazma Püskürtme
IPS	İnert Plazma Püskürtme
SPS	Su Altında Plazma Püskürtme
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X- ışını difraktogramı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1. NiCrAlY-Mo-Ag kompozit kaplamanın geri saçılmış elektron mikroyapıları;(a)püskürtülmüş, (b)500°C'de ısıtılmış, (c)600°C'de ısıtılmış işlem.	14
Şekil 4.2. Farklı nitrojen akış oranında üretilen Ti6Al4V kaplamanın ısıtılmış işlem görmüş ve görmemiş hallerinin enine kesit SEM mikroyapıları	15
Şekil 4.2. Devam	16
Şekil 4.3. Farklı lazer hızlarında oluşan lazer izleri.....	18
Şekil 4.4. Lazer hızlarına göre derinlik karşılaştırması	19
Şekil 4.5. Lazer hızına göre giren lazer enerjisi.....	19
Şekil 4.6. Lazer iz boyutlarının optik mikroskop görüntüsü.....	20
Şekil 4.7. (a) Poroziteli ve lamelar yapıya sahip püskürtülmüş kaplamanın geri saçılmış elektron mikrofotografisi (b)Yüzey ergitilmiş WC-Co kaplamaların homojen ve dendritik mikrofotografisi.....	21
Şekil 4.8. Kaplama / altlık malzeme arayüzeyi (a) püskürtme işlemi sonrası, (b) ergitme işlemi sonrası.....	22
Şekil 4.9. Kaplama / altlık malzeme arayüzeyi geri saçılmış elektronların mikrofotografisi, (a) püskürtme işlemi , (b) ergitme işlemi	22
Şekil 6.1. Kaplamada kullanılan ZrO ₂ -% 8 Y ₂ O ₃ tozunun SEM fotoğrafı	33
Şekil 6.3. Plazma püskürtme kaplama işleminin prensip şeması.....	34
Şekil 6.4. Isıtılmış işlem fırını.....	34
Şekil 6.5. Metalografik numune hazırlama cihazları	35
Şekil 6.6. (a) Olympus GX41 ters metal mikroskobu, (b) FEI QUANTA 250 FEG marka SEM cihazı ve (c) Bruker D8 Advance marka XRD cihazı..	36
Şekil 6.7. Shimadzu HVM-2 model mikrosertlik cihazı.....	37
Şekil 6.8. Aşınma cihazı (UTS 10/20 Tribometer)	38
Şekil 6.9. Yüzey profilometre cihazı.....	39
Şekil 7.1. Isıtılmış işlemsiz kaplamanın EDS analizi	42

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 7.1. Isıl işlem uygulanmamış ZrO_2 -%8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı (a)Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b)Kaplama tabakası.....	41
Fotoğraf 7.2. 900°C’de ısıl işlem uygulanmış ZrO_2 -%8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı: (a) Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b)Kaplama tabakası.....	41
Fotoğraf 7.3. 1000°C’de ısıl işlem uygulanmış ZrO_2 -%8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı:(a) Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b) Kaplama tabakası.....	41
Fotoğraf 7.4. 1100°C’de ısıl işlem uygulanmış ZrO_2 -%8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı:(a) Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b) Kaplama tabakası.....	42
Fotoğraf 7.5. Numunelerin aşınma yüzeylerinin SEM fotoğrafları: (a) Isıl işlemsiz, (b) 900°C Isıl işlemlili kaplama, (c)1000°C Isıl işlemlili kaplama ve (d) 1100°C Isıl işlemlili kaplama.....	46

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 7.1. Isıl işlemlili ve ısıll işlemlisiz ZrO ₂ -% 8 Y ₂ O ₃ kaplamaların XRD analizi	43
Grafik 7.2. Kaplamaların mikrosertlik değlerleri (0: İşlemlisiz, 1 - 900 °C'de tavlannmış, 2 - 1000 °C'de tavlannmış ve 3 - 1100 °C'de tavlannmış) ...	44
Grafik 7.3. Kaplamaların aşınma oranları	45



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Plazma pÜskürtme kaplama pÜskürtme parametreleri	12
Tablo 4.1. Lazer işlem sırasında kullanılan parametreler	17
Tablo 4.2. Lazer hızlarına göre numune adlandırması	18
Tablo 4.3. Yüzey ergitme parametreleri	20
Tablo 7.1. Kaplama tabakalarının sürtünme katsayıları	44



1. GİRİŞ

Malzemelerin kullanım ömrünü uzatmak, korozyon, aşınma ve oksitlenme vb. olumsuz çevre koşullarına karşı korumak ve malzemeye güzel bir görünüm vermek amacıyla malzeme yüzeyine çeşitli yöntemlerle kaplamalar uygulanır. Malzemenin cinsine, kullanım yerine, kullanım amacına, kullanım şekline bağlı olarak yapılacak kaplama ve kaplama yöntemi belirlenir. Çok sayıda kaplama yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler kaplama malzemesine ve altlık malzemeye göre çeşitlilik gösterir. Kaplama yöntemlerinden biri olan termal sprej, metalik veya metalik olmayan kaplamaların uygulanabildiği kaplama teknolojilerinin genel adıdır. Genel olarak tel ya da toz olan kaplama malzemesi bir enerji kaynağı ile ısıtılır, ergiyik haline getirilir, ardından gaz jetiyle hızlandırılarak altlık malzeme üzerine püskürtülür ve yassı tanecikler halini alarak altlık malzeme ile bağlanırlar. Termal sprej kaplamanın avantajları, kaplama malzemesinin hemen hemen tamamını eritebilmesi, altlık malzemeyi gereğinden fazla ısıtmadan kullanılabilmesidir.

Beş temel termal sprej yönteminden biri olan plazma sprej kaplama yönteminde enerji kaynağı olarak elektrik kullanılır. Bir püskürtme tabancasında elektrik ark oluşturulur, bu ark içinden gaz geçirilerek iyonize edilir. Ortaya yüksek ısı ve basınç çıkar; bu ısı ve basınç yardımıyla toz halinde bulunan kaplama malzemesi eritilir ve yüksek bir hızla altlık malzeme yüzeyine püskürtme gerçekleştirilerek kaplama yapılır.

Plazma püskürtme kaplama ile altlık malzemeye çeşitli özellikler kazandırılır, ancak doğası gereği kaplama yüzeyinde gözeneklilik oluşacaktır. Bu durum altlık malzemeye kazandırılan özelliklerin kalitesindeki düşüklüğün hatta kaplama ve dolayısıyla altlık malzemenin korozyona karşı yeteri direnci gösterememesine sebep olacaktır. Bu ve bunun gibi dezavantajları giderebilmek, malzeme yüzey özelliklerini iyileştirebilmek ve geliştirebilmek adına püskürtme kaplama sonrası bir takım son işlemler uygulanır. Literatürde genel olarak, uygulanan bu son işlemler sonrası kaplama yüzeyinde iyileşmeler ve gelişmeler olduğu gözlemlenmiştir. Kaplama sonrası son işlemler olarak; ısıl işlem, TIG (tungsten inert gaz) yüzey ertirme ve lazer yüzey ertirme gibi yöntemler kullanılmıştır. Bu işlemler, farklı endüstriyel

uygulamalar için ısı puskurtme kaplamalarının özelliklerinin geliştirilmesi için umut vaadeden tekniklerdir

Bu çalışmada 316 L paslanmaz çelik numuneler üzerine plazma puskurtme yöntemi ile ZrO_2 kaplaması yapılmış ardından kaplama sonrası uygulanan ısı işlem son yüzey işlemlerinin kaplamaya ve yüzey özelliklerine etkileri incelenmiştir.



2. PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çelikler demir alaşımı olup içeriğinde minimum %10 Cr ve maksimum %1,2 C elementi bulundurlar. Alaşımda yer alan krom elementi, çeliğin yüzeyinde Cr_2O_3 tabakası oluşturur. Bu tabaka da çeliğin paslanmazlık özelliğine sahip olmasını sağlamaktadır. Herhangi bir sebeple paslanmaz çelik üzerinde oluşan bu tabaka zedelendiğinde çok kısa bir süre içerisinde oksijenli ortamda tabaka kendini yeniler. Böylece paslanmazlık özelliği uzun süre kendini korur.

Paslanmaz çelikler, sahip oldukları özellikler ve bileşimleri açısından beş temel gruba ayrılırlar.

1. Martenzitik paslanmaz çelikler
2. Ferritik paslanmaz çelikler
3. Östenitik paslanmaz çelikler
4. Dupleks (çift fazlı) paslanmaz çelikler
5. Çökelme sertleşmeli paslanmaz çelikler

2.1. Martenzitik Paslanmaz Çelikler

Martenzitik paslanmaz çelikler yaklaşık olarak %12-%17 Cr içerirler. Martenzitik paslanmaz çelikler ferromanyetiklerdir.

Bu çeliklerin temel karakteri sertleşebilme kabiliyetleridir. Östenitik yapıya sahip olacak kadar ısıtılıp yeterli hızda soğutulduklarında, östenit yapı karbon miktarına bağlı olarak ulaşabileceği sertliğe gelecek şekilde, martenzitik yapıya dönüşmektedir. Bu açıdan bu çelikler ticari karbon çelikleri gibi işlem görebilirler. Benzer görüşle menevişlemeyle yumuşatılabilir ve süneklikleri artırılabilir. Bu şekilde kullanılacağı yere ve ihtiyaca göre istenen mekanik özellikler sağlanabilmektedir.

Martenzitik paslanmaz çeliklerin genel özellikleri;

- Su verme ve temperleme sonrası mekanik özellikleri karbon miktarına bağlıdır.
- Elde edilen sertlik ve mukavemet değerleri karbon artışıyla beraber artar.
- Aşınma dayanımları yüksektir.
- Korozyon dayanımları orta düzeydedir.
- Sürünme ve yorulma dayanımları yüksektir.
- Manyetik özellik gösterirler.
- 650 °C' ye kadar uygulamalarda tercih edilirler.
- Kafes yapısı hacim merkez tetragonal'dir (Özdemir C., 2010).

2.2. Ferritik Paslanmaz Çelikler

Yüksek korozyon direnci göstermeleri en belirgin özellikleridir. Ferritik paslanmaz çelikler %12'den az C elementi ve %12-30 Cr elementi içeren, AISI standartlarında AISI400 olarak adlandırılan çeliklerdir.

Ferritik paslanmaz çeliklerin genel özellikleri;

- Üstün korozyon direncine sahiptirler.
- Orta derecede şekillenebilme kabiliyetleri vardır.
- Deformasyon sertleşmesiyle mukavemetleri artırılır.
- Nikel içermediklerinden nispeten ucuzdurlar.
- Manyetik özellik gösterirler.
- Düşük tokluğa sahiplerdir.
- Gevrekleşme hassasiyetleri yüksektir.
- Kafes yapısı hacim merkez kübiktir (Özdemir, 2010).

2.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler

Östenitik paslanmaz çelikler AISI'da 200 ve 300 serisi olarak isimlendirilmektedirler. İçeriklerinde %16 ile yaklaşık olarak %26 Cr, %10 ile 24 arasında Ni ve maksimum

%0.4 C elementi bulundurmaktadırlar. Bu elementlerin yanı sıra düşük miktarlarda alaşım elementleri de içerebilirler. Genel olarak östenitik paslanmaz çelikler Fe-Ni-Cr üçlü alaşımlarıdır. Bu üçlü alaşımda Ni elementi östenit alanını genişletici etkiyi üstlenir ve oda sıcaklığında östeniti kararlı kılar. Östenitik paslanmaz çeliklerin genel özellikleri;

- Üstün süneklığe ve şekil değiştirme kabiliyetine sahiptirler.
- Düşük sıcaklıklarda darbe dirençleri yüksektir.
- Östenitik yapıdan dolayı manyetik özellik göstermezler.
- Kaynaklanabilirlikleri iyidir.
- Korozyon dirençleri yüksektir.
- Östenitik yapısının kararlılığından dolayı su verme yerine plastik deformasyonla sertleştirilebilmektedirler.
- Düşük termal iletkenliğe ve yüksek termal genleşme katsayısına sahiptirler.
- Kristal kafes yapısı yüzey merkez kübiktir.

2.4. Dupleks Paslanmaz Çelikler

Çift fazlı olarak adlandırılan bu çeliklerde ferritik ve östenitik fazlar bir arada bulunurlar ve bu sayede tek fazlı çeliklerden daha üstün özelliklere sahiptirler. Östenitik çeliklere kıyasla daha yüksek korozyon dayanımı gösterirler. Bunun yanında toklukları ve süneklilikleri de ferritiklerden yüksektir. Akma dayanımları da 550 MPa ile 690 MPa arasındadır. Mevcut ticari kaliteler %22-26 krom, %4-7 nikel, en fazla %4,5 molibden, yaklaşık %0,7 bakır ve volfram ile %0,08-0,35 azot içermektedirler. Dupleks paslanmaz çeliklere doğru uygulama yapıldığında kaynak kabiliyetleri iyidir.

2.5. Çökeltme Sertleşmeli Paslanmaz Çelikler

Çökeltme sertleşmeli paslanmaz çelikler, paslanmaz çeliklerin korozyon dayanımını korurken aynı zamanda yüksek tokluk ve mukavemet sağlamaları amacıyla geliştirilmişlerdir. Çökeltme yolu ile sertleşen paslanmaz çelikler; östenitik paslanmaz

elik içerisine alüminyum, bakır, niyobyum veya tantal ilave edilmesi ile elde edilir. Böylece bu alaşım elementleri ile okelme sertleşmesi gerçekleştirilir. Bu elikler, östenitleme, su verme ve yaşlandırma kademeleri ile üretilirler. Yaşlandırma ile martenzitik yapıda Ni_3Al ve diğer metallerarası bileşiklerin okelmesi sağlanır. okelme yoluyla sertleştirilen paslanmaz çelikler iyi süneklik ve tokluk değerlerinin yanında orta ile iyi arasında korozyon dayanımına da sahiptirler. 1700 MPa değerine kadar çıkan akma dayanımı gösterirler. Ancak düşük karbon içerdiklerinden aşınma dayanımları zayıftır (zdemir, 2010).



3. ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİ

Isıl püskürtme yöntemleri, yüzey kaplama teknolojilerinin önemli ve hızla büyüyen bir dalıdır. Yüzeylerde aşınma ve korozyon gibi çeşitli olumsuz etkilere maruz kalan malzeme yüzeylerinin bu etkilerin önlenmesi için kullanılan ısıl püskürtme kaplama, endüstride geniş bir kullanıma sahiptir. Aşınmış veya hatalı işlenmiş parçalar, duruma göre ihtiyaç duyulan tozlar püskürtülerek bu yöntem ile ihtiyaç duyulan ölçülere getirilebilir (Özel, 2009).

Isıl püskürtme kaplama yöntemleri, geniş kullanım alanına sahip ve çok yönlü yöntemlerden biri olan plazma spreyin de içinde bulunduğu işlemler grubunu temsil eder (Sure vd., 2012).

Isıl püskürtme işlemi; metal, seramik veya sermet esaslı toz veya tel formundaki kaplama malzemesinin bir püskürtme tabancası aracılığıyla eritilmesi ve yüksek hızlarda daha önce yüzeyi hazırlanan bir altlık malzeme üzerine püskürtülmesi ve orada hızla katılaştırılması esasına dayanan bir kaplama yöntemidir. Farklı amaçlarla geliştirilen çok değişik püskürtme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar;

1. Alevle püskürtme
2. Detonasyon (patlamalı) püskürtme
3. Elektrik ark tel püskürtme
4. Yüksek hızlı alevle püskürtme (HVOF)
5. Elektrik ark plazma püskürtme

3.1.Alevle Püskürtme Yöntemi

Alevle püskürtme yöntemi, püskürtme tabancasının nozul sistemi içine sevk edilen tel veya toz formundaki malzemenin oksiasetilen aleviyle eritilip kaplanacak

malzeme yüzeyine püskürtülmesine esasına dayanır. Sistemin kullanımı kolaydır ve elle rahatlıkla uygulanabilir fakat diğer uygulamalara göre düşük basınç ve düşük akış oranı nedeniyle alev püskürtme yöntemi ile üretilen kaplamalar daha çok gözenekli ve bağ kuvveti düşüktür. Püskürtme için kullanılacak toz veya tel, oksisasetilen gazı ile meme ucunda ergitilir ve sıkıştırılmış hava ile hızlandırılarak alt malzemeye yönlendirilir (Kahraman, 2000).

3.2. Patlamalı Püskürtme (D-Gun) Yöntemi

Patlamalı püskürtme yönteminde esas olarak bir ucu kapalı bir tüp içerisinde asetilen veya oksijen-hidrojen gaz karışımı ve kaplama için kullanılacak toz bulunur. Bu tüp içerisinde seri patlamalar olur ve kaplama tozu ergitilir, patlamanın etkisi ile oluşan dalga ile (yaklaşık 2 MPa) hızlanan partiküller alt malzeme yüzeyine yönelir. 2.000 m/s parçacık hızları elde edilir. Patlama parametrelerini kontrol etmek için ayrıca azot gazı da ortama gönderilir. Patlama saniyede yaklaşık 4 kez tekrarlanır. Partikül hızının yüksek olması sebebiyle yüksek bağlanma kuvvetine sahip kaplamalar elde edilir (Fauchais, 2014).

3.3. Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi

Elektrik ark püskürtme yöntemi alt malzemenin sadece metalik kaplanması uygulamasında kullanılmaktadır ve püskürtme tabancasında metalik malzemeleri eritmek için gerekli ısı elektrik ark yardımı ile üretilir. Bu kaplama tekniğinde ek bir ısı kaynağı yoktur. Püskürtme tabancası içerisine eş zamanlı olarak gönderilen anot ve katot yüklerine sahip iki metalik telin birbirine teması ile oluşan de-ark ile tellerin ergitilmesi ve kompresör ile hızlandırılan ergimiş damlacıkların alt malzeme yüzeyine gönderilmesi ile kaplama yapılır. Burada ergiyen taneler kompresör havası ile atomize olur. Tel besleme ünitesi ile telin tabancaya girişi hızı ve dolayısıyla kaplama biriktirme oranı kontrol edilir. Tellerin tabanca içerisinde temasında yaklaşık 8000°C sıcaklıklara çıkmaktadır.

3.4. Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt (HVOF) Püskürtme Yöntemi

Yüksek hızlı oksî-yakıt püskürtme yönteminde propan, hidrojen vb. yakma gazları ile yüksek basınçlarda yüksek bir gaz hızı üretmek için patlatılır ve alt malzemeye doğru hareket ederek kaplama üretilmiş olur. Bu yöntem patlamalı püskürtme yöntemine alternatif olarak geliştirilmiştir. Püskürtme anında alt malzemenin yüzeyinin 100 °C'yi aşmaması HVOF yönteminin en önemli özelliğidir. Bu özellik ile alt malzemede distorsiyon meydana gelmez (Aytaç, 2014). Yüksek alev hızı, düşük alev sıcaklığı ve bekleme süresi ile birlikte yüksek sertlik, düşük porozite ile oksitlenme ve yüksek bağ kuvveti özellikleri bu yöntemi çekici kılmaktadır (Hong vd., 2016).

3.5. Plazma Püskürtme Kaplama Yöntemi

Bir tür yüzey işleme tekniği olan plazma püskürtme seramik kaplama işlemi, son yıllarda seramik kaplamanın mekanik özellik ve maliyet verimliliği açısından iyi bir kombinasyon sergilemesi nedeniyle yaygın olarak uygulanmaktadır (Guowei vd., 2016). Bu kaplama yöntemi; bir püskürtme tabancası içinde oluşturulan elektrik arkı içinden geçirilen gaz karışımlarının iyonizasyonu sonucu meydana gelen yüksek basıncın ve ısının etkisiyle toz şeklinde sisteme beslenen kaplama malzemesinin ergitilmesi ve aynı anda yüksek hızda kaplanacak altlık bir malzeme yüzeyine püskürtülmesi şeklindedir. Bu yöntemle, altlık yüzey üzerinde 50 µm'den 20 mm kalınlığa kadar kaplama tabakası oluşturmak mümkündür. Plazmanın yüksek sıcaklığı sayesinde; buharlaşmaya plastik maddeler, metaller, seramikler başarılı bir şekilde kaplama malzemesi olarak kullanılabilirler.

Plazma püskürtme ile kaplama yöntemleri aşağıdaki gibidir.

1. Atmosferik plazma püskürtme (APS) yöntemi,
2. Vakum plazma püskürtme (VPS) yöntemi,
3. İnert plazma püskürtme (IPS) yöntemi,

4. Su altında plazma püskürtme (SPS) yöntemi olarak 4'e ayrılır.

Atmosferik plazma püskürtme yöntemi endüstriyel alanda en çok kullanılan yöntemdir.

Plazma püskürtme işlemi uygulandığı ortama göre isimlendiriliyor denilebilir. Atmosfer ortam ya da basınçta gerçekleşiyorsa atmosferik plazma püskürtme (APS); vakum altında ya da düşük basınçlı gaz altında gerçekleşiyorsa vakum plazma püskürtme (VPS); inert ya da koruyucu gaz altında gerçekleşiyorsa inert plazma püskürtme (IPS); son olarak su altında gerçekleşiyorsa su altında plazma püskürtme yöntemi (SPS) adını alır.

En fazla kullanılan plazma püskürtme yöntemi ile kaplama teknikleri sırasıyla; atmosferik plazma püskürtme (APS), vakum altında plazma püskürtme (VPS) ve inert veya koruyucu gaz altında plazma püskürtme (IPS) yöntemleridir (Ersöz, 2011).

APS (atmosferik plazma püskürtme) plazmanın ulaştığı yüksek sıcaklığa bağlı olarak malzemelerin özellikleriyle daha iyi bir uyum içinde olan tekniklerden biridir (Ghadami vd., 2015).

Plazma püskürtme yöntemi metal yüzey değişikliği için en yaygın ve uygun tekniklerden biridir. Ancak, plazma püskürtme ile ilgili hala önemli sorunlar vardır. Örneğin, kaplama gözenekler ve mikroçatlaklar içeren mikrohatalar ve lamelli yapılar sergiler. Ayrıca, kaplama ve altlık malzeme yetersiz bir mekanik mukavemet ile bağlanır. Bu sorunlar sertliği, aşınma ve korozyon performansını azaltabilir ve ağır yük altında kaplamanın altlık malzemedan sıyrılmasına neden olabilir (Ge vd., 2013). Plazma püskürtme kaplamaların koruyucu özellikleri, mikroyapısal hatalar, özellikle yüksek porozite, partiküller arası zayıf bağ ve önemli derecede kimyasal homojenliğin yoksunluğuyla sınırlıdır. Özellikle gözeneklilik, korozyona karşı belirgin bir şekilde direnci azaltabilir, çünkü gözenekler saldırgan ortamın altlık malzemeye ulaşması şeklinde nüfuz etme kanalı sağlarlar (Mateos vd., 1999)

Plazma sprej kaplama yöntemi, özellikle metallerin çeşitli tozlarla kaplanarak korozyon, oksitlenme, ısı ve aşınma gibi olumsuz koşullara karşı malzemeyi

dayanıklı hale getirmede yaygın olarak kullanılan bir termal püskürtme kaplama yöntemidir. Bu yöntem vasıtasıyla gerçekleştirilen ince kaplama sayesinde belirtilen özellikler elde edildiği gibi ana malzemenin üstün özelliklerinden olan tokluk, kolay şekillendirilme gibi özellikler de korunmaktadır. Bu sayede plazma sprej kaplama ile altlık malzeme ve kaplama malzemenin üstün özelliklerine sahip yapı elde etmek mümkündür. Bir tür yüzey işleme tekniği olan plazma püskürtme seramik kaplama işlemi, son yıllarda seramik kaplamanın mekanik özellik ve maliyet verimliliği açısından iyi bir kombinasyon sergilemesi nedeniyle yaygın olarak uygulanmıştır (Guowei vd., 2016).

Kaplamanın doğası gereği poroziteler oluşmaktadır. Bu poroziteler korozyon için yetersiz bir kaplama olduğunun göstergesidir. Viskozitesi yüksek tozlar ve güçlü plazma üniteleri kullanılarak daha yoğun, dolayısıyla düşük poroziteli kaplamalar elde edilebilir. WC-Co gibi gevrek ve sert tozlardan elde edilen kaplamalar yüksek porozite oranlarına sahiptirler. Uygun toz granülitesi ve sprej parametreleri seçilerek sert tozlardan bile yoğun kaplama elde etmek mümkün olmaktadır. Sertlik, plazma sprej kaplamaların bir diğer önemli özelliğidir. Kullanılan tozlara bağlı olarak 200-1500 HV arası değişir. Kaplama tabakasının kalınlığı; porozite, heterojen yapı ve uygulanan yük değerine bağlıdır.

Kaplama öncesinde kaplama yapılacak altlık malzeme yüzeyi kirden yağdan arındırılır, temizlenir. Ardından kaplama malzemeye göre kumlama ile yüzey pürüzlendirme işlemi yapılabilir (Guowei vd., 2016).

Bir çalışmada Ghadami ve arkadaşları yumuşak çelik malzeme üzerine hava plazma püskürtme yöntemiyle WC-Co kaplama yapılmıştır (Ghadami vd., 2015). Atmosfer plazma püskürtme (Plasma Technic, İsviçre) donanımı ile 200 µm kalınlığında, ağırlıkça WC- %12 Co kaplama yapmak için kullanılmıştır (Ghadami vd., 2015). Tablo3.1.'de WC-Co kaplama için kullanılan püskürtme parametreleri listelenmiştir. Söz konusu çelik altlık malzemeye kaplama öncesinde $Ra \approx 6 \mu m$ ile yüzey ve kaplama arasındaki arayüzey temas yüzeyini artırmak amacıyla 500 µm'lik alümina toz kullanılarak elle kumlama makinesiyle kumlama yapılmıştır ve daha sonra da su

ve izopropil alkol içerisinde bir ultrasonik banyo içerisinde 15 dk boyunca yıkanmıştır (Ghadami vd., 2015).

Tablo 3.1. *Plazma püskürtme kaplama püskürtme parametreleri*

Nozul çapı (mm)	6
Plazma gaz debisi Ar (l/dk)	65
İkincil gaz debisi H ₂ (l/dk)	3
Koruyucu Ar gazı (l/dk)	2
Ark Akımı (A)	700
Ark voltajı (V)	58
Püskürtme açısı	90
Geçiş sayısı	8
Toz besleme oranı (g/dk)	36
Emniyet mesafesi (mm)	140

Başka bir çalışmada ise AISI 321 paslanmaz çelik malzeme altlık malzeme olarak seçilmiş, yüzey yine plazma püskürtme yöntemiyle WC-Co ile kaplanmıştır (Afzal vd., 2015). Altlık malzemeler bir yatay döner tabla üzerine yerleştirilerek püskürtme işlemi sırasında döndürülmüştür, böylece parça yüzeylerinde homojen şekilde dağılmış kaplama elde edilmiştir (Ghadami vd., 2015; Afzal vd., 2015). Püskürtme mesafesi önemli bir parametredir. Yapılan literatür çalışmalarında 130 mm püskürtme mesafesinden yapılan kaplamaların daha gözenekli olduğu sonucunu ulaşılmıştır.

Yukarıda bahsi geçen hava plazma püskürtme yöntemi dışında vakum plazma püskürtme yöntemiyle de uygulamalar yapılmıştır. Başka bir çalışmada Ti6Al4V alaşım altlık malzeme üzerine hidroksil-apatit malzeme vakum plazma püskürtme yöntemiyle kaplanmıştır (Cigada ve ark.,1994). Bu teknik hava plazma püskürtme sistemiyle karşılaştırıldığında daha yüksek kalite ve istenen kristalinite aralığında etkili şekilde kontrol edilme olanağı sunmuştur (Cigada ve ark., 1994).

4. UYGULANAN SON İŞLEMLER (İKİNCİL İŞLEMLER)

Plazma püskürtme ile kaplama yapılan malzemenin getirdiği kaplama özelliklerinde iyileştirmeler, geliştirmeler ve kaplamanın eksiklerini tamamlamak adına kaplama sonrası birtakım işlemler yapılması gerekebilir. Bu işlemler ile kaplama yeniden ergitilerek yapının homojenliğini sağlamak, kaplama yönteminden kaynaklanan porozite sorunlarını gidermek, mikroyapı kusurlarını gidermek amaçlanır. TIG (tungsten inert gaz) ergitme, ısıl işlem, lazer işlem kaplama sonrası uygulanan işlemlerdendir.

Termal püskürtme; örneğin plazma, ark püskürtme ve alev püskürtme ile üretilen kaplamalar, gözeneklilik, çatlaklar ve yapısal hatalar gibi tipik hatalar içerir. Titanyum ya da tantal gibi pahalı malzemelerin kullanımı en yüksek derecede kaplama kalitesi gerektirir. Ortaya çıkan hatalar işlem sırasında termal (elektron ışını, lazer ışını, HIP) ve mekanik (bilyalı sertleştirme) son işlem yöntemleriyle neredeyse tamamen yapıdan uzaklaştırılabilir (Steffens vd., 1990).

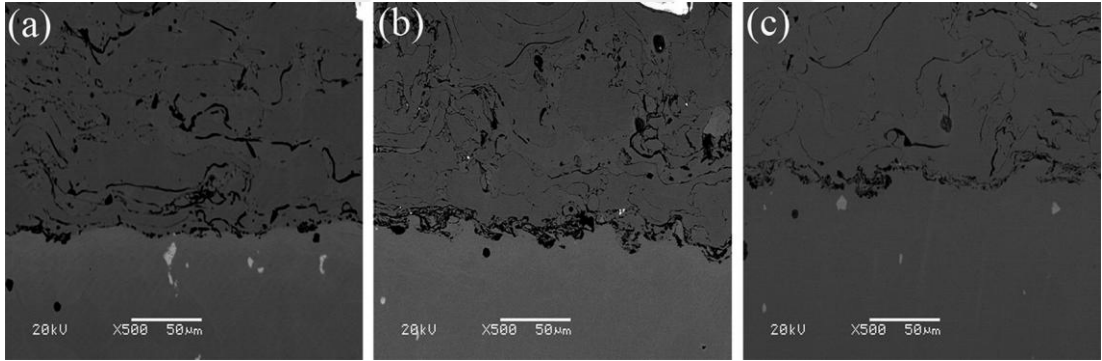
Uygulanan son işlemler, farklı endüstriyel uygulamalar için ısıl püskürtme kaplamalarının özelliklerinin geliştirilmesi için umut vadeden tekniklerdir (Sure vd., 2012).

Örneğin, farklı son işlem uygulamaları; yoğunlaştırma ve kaplama/alt malzeme arayüzey modifikasyonu ile birlikte kaplanmış tabakanın değişmiş fazları ve yeni oluşan fazları ile WC-Co kaplamaların kalitesini artırmak için önerilir (Ghadami vd., 2015). Lazer veya ark kullanılarak yapılan yüzey ergitme işlemleri seramik/sermet temelli termal spreycaplamaların kalitesini artırmak için nispeten etkili yöntemlerdir. Bu yöntemlerin amacı yapı içerisindeki düşük poroziteyle daha homojen hale gelen yeni katılaşmış malzeme olan kaplama tabakasını tamamen ya da kısmen ergitmektir (Ghadami vd., 2015).

4.1. Isıl İşlem

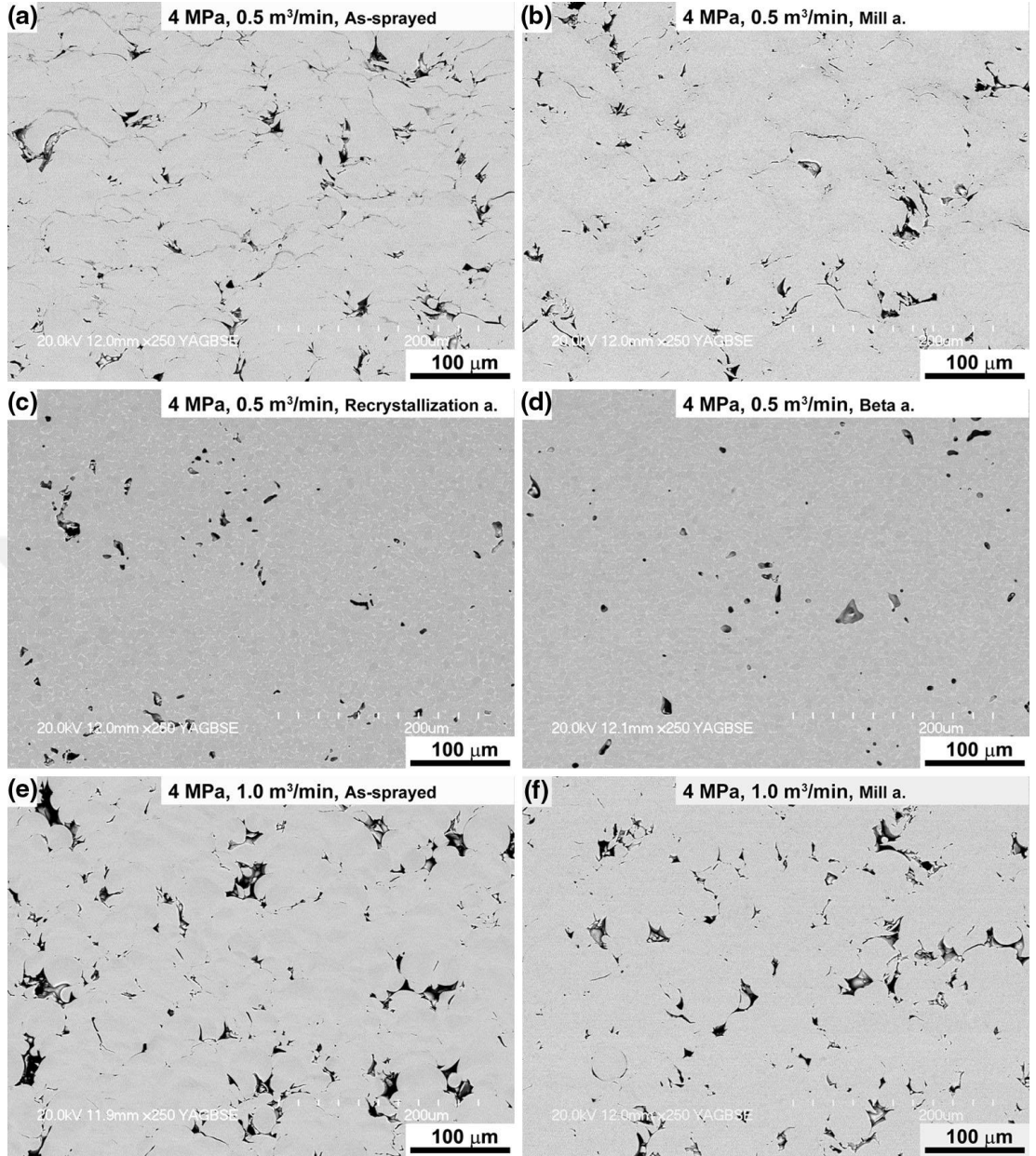
Kaplanmış yüzeyin iyileştirilmesine yönelik yapılan son işlemlerden biri de ısıl işlem uygulamalarıdır. Yapılan deneylere göre ısıl işlem türleri, sıcaklıkları ve tutma süreleri farklılık göstermektedir.

Yapılan bir çalışmada (Li vd., 2016) kaplamaların ısıl işlemleri yaklaşık 10^{-1} Pa dinamik vakumda bir vakum fırını içerisinde gerçekleştirilmiştir. Isıl işlem sıcaklıkları 400°C, 500°C ve 600°C olarak seçilmiştir. Sıcaklık hedef sıcaklığa ulaşana kadar 10°C /dk ile artırılmış ve 1 saat tutulmuştur daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur (Li vd., 2016). Şekil 4.1. de görüldüğü gibi kaplama/ altlık malzeme ara yüzeyindeki yapışma ısıl işlem ile gelişmiştir. Kaplama daha homojen ve sert bir yapıya dönüşmüştür.



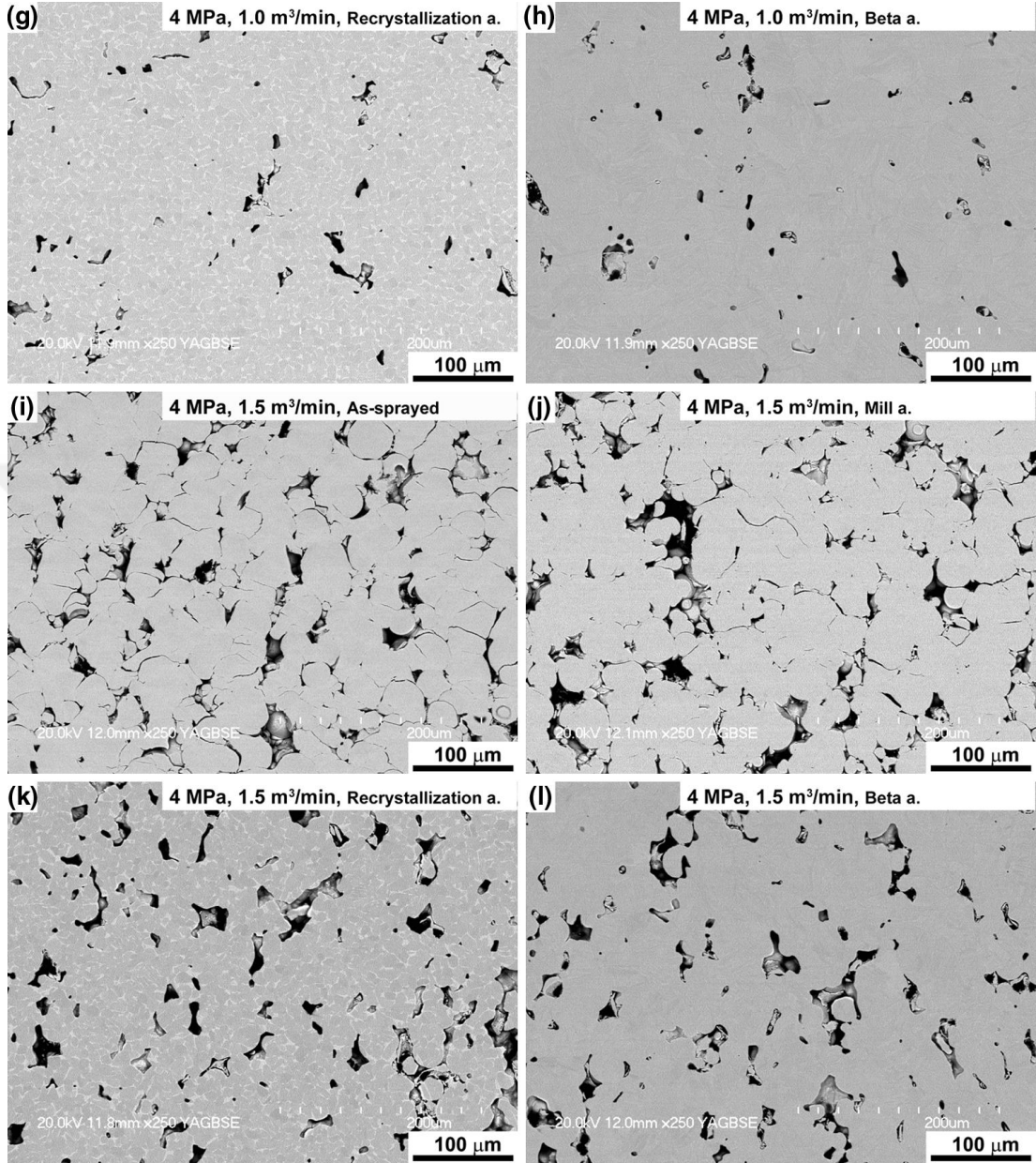
Şekil 4.1 NiCrAlY-Mo-Ag kompozit kaplamanın geri saçılmış elektron mikroyapıları; (a)püskürtülmüş, (b) 500°C'de ısıl işlem, (c)600°C'de ısıl işlem.

Bir başka çalışmada (Molak vd., 2016), 3 farklı nitrojen akış oranında Ti6Al4V kaplama üzerine ısıl işlem uygulamaları yapılmıştır. Ana sonuç, azot akım oranlarının ve parçacık sıcaklıklarının bir fonksiyonu olarak oksijen içeriği ve porozite arasında dengeli bir ilişki olduğudur. Yapılan deneyler sonucunda ısıl işlem ile porozite miktarında azalış söz konusudur. Yeniden kristalleştirme ve beta tavlama sonrasında, ısıl püskürtme kaplamalar young modülü'nün gelişmesiyle sonuçlanan biriken parçacıklar arasındaki metalik bağların miktarında önemli bir artış olduğunu göstermiştir.



Şekil 4.2. Farklı nitrojen akış oranında üretilen Ti6Al4V kaplamanın ısıtılmış ve görmemiş hallerinin enine kesit SEM mikroyapıları

Şekil 4.2.'nin devamı



4.2. Lazer Yüzey Ergitme

Kaplama sonrası yüzeyde porozite oluşumunu gidermek için yapılan işlemlerden biri de lazer yüzey ergitmedir. Ayrıca yüzeylerin aşınma direnç özelliklerini artırmak adına kullanılan önemli bir araştırma alanıdır (Afzal vd., 2015). Amaç kaplamalardaki poroziteleri tamamen yok etmek, ergime ve katılaştırma işlemleri ile homojen bir kaplama yapısı sağlamaktır (Afzal vd., 2015).

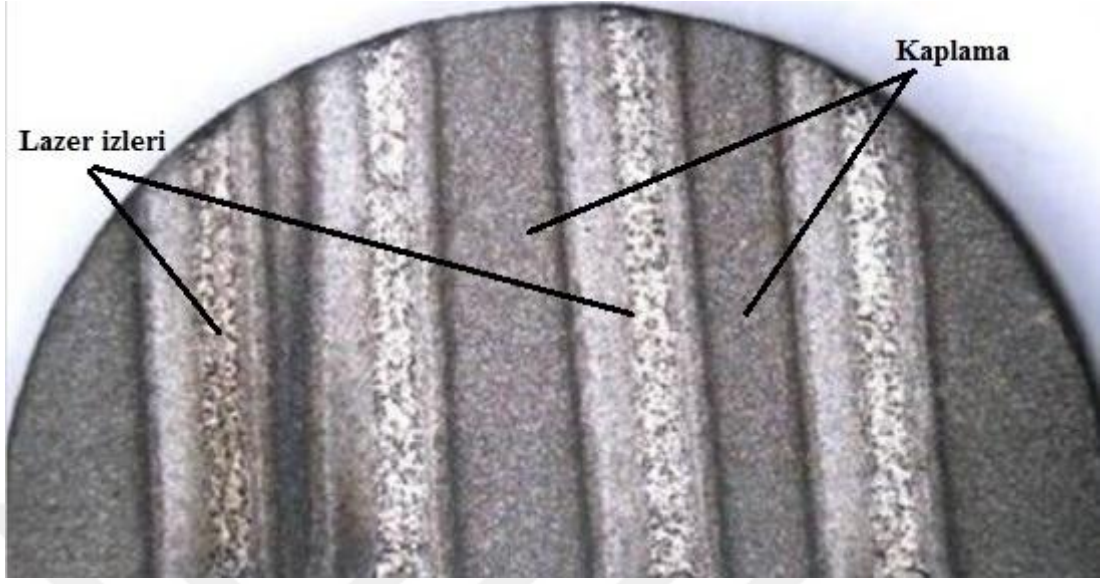
Yapılan bir çalışmada (Sure vd., 2012) lazer ergitilmiş örneklerin kaplama hatalarının giderilmesi nedeniyle, yüzey pürüzlülüğünde belirgin bir azalma vardır.

Literatür çalışmalarında lazer ergitme sonrası kaplamanın aşınma direncinde artışlar gözlemlenmiştir (Ghadami vd., 2015). Yüzeye lazer uygulandığında çok küçük noktalara çok yüksek enerjiler uygulanarak daha etkin bir yüzey ergitme gerçekleştirilir.

Belirli lazer parametreleri kullanılarak işlem sonrası kaplama özelliklerindeki değişimler kontrol edilebilirler. Yapılan bir çalışmada (Afzal vd., 2015) WC-%12Co plazma püskürtme kaplama yüzeyi CO₂ lazer kaynağı ile ergitilmiştir. Lazer ışını altında numune hareketi CNC tablası kullanılarak kontrol edilmiştir. Erimiş yüzey üzerinde oksitlerin oluşumunu önlemek için koruyucu gaz olarak azot (N) kullanılmıştır. Tablo 4.1'de gösterildiği gibi lazer eritme işlemi sabit bir lazer gücü yoğunluğu ve spot büyüklüğü kullanılarak farklı hızlarda gerçekleştirilmiştir. Tüm lazer izleri tek geçişte üretilmiştir. Kaplanmış yüzey üzerindeki lazer ergitme izlerinin oluşumları Şekil 4.3 'de gösterilmiştir. Kullanılan terminoloji de Tablo 4.2'den temin edilmiştir (Afzal vd., 2015).

Tablo 4.1. Lazer işlem sırasında kullanılan parametreler

Lazer gücü (watt)	700
Spot büyüklüğü (mm)	2,5
Lensin odak uzaklığı (mm)	120
Çalışma hızı (mm/dk)	100,150,200,250
Koruyucu gaz, Nitrojen Akış hızı (l/dk)	10
Koruyucu gaz, Nitrojen Basıncı (kPa)	50

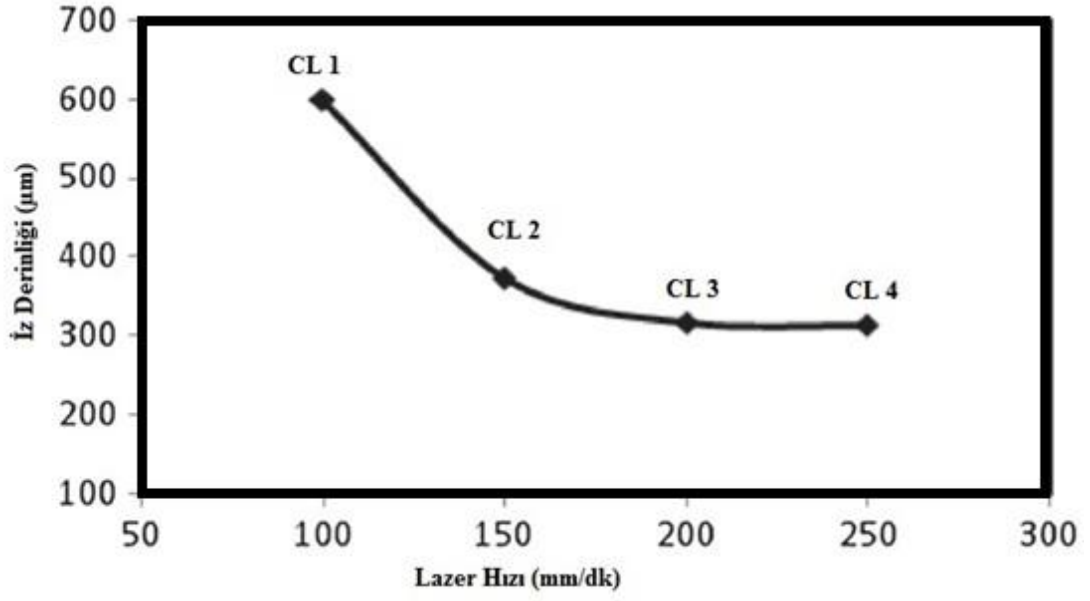


Şekil 4.3. Farklı lazer hızlarında oluşan lazer izleri

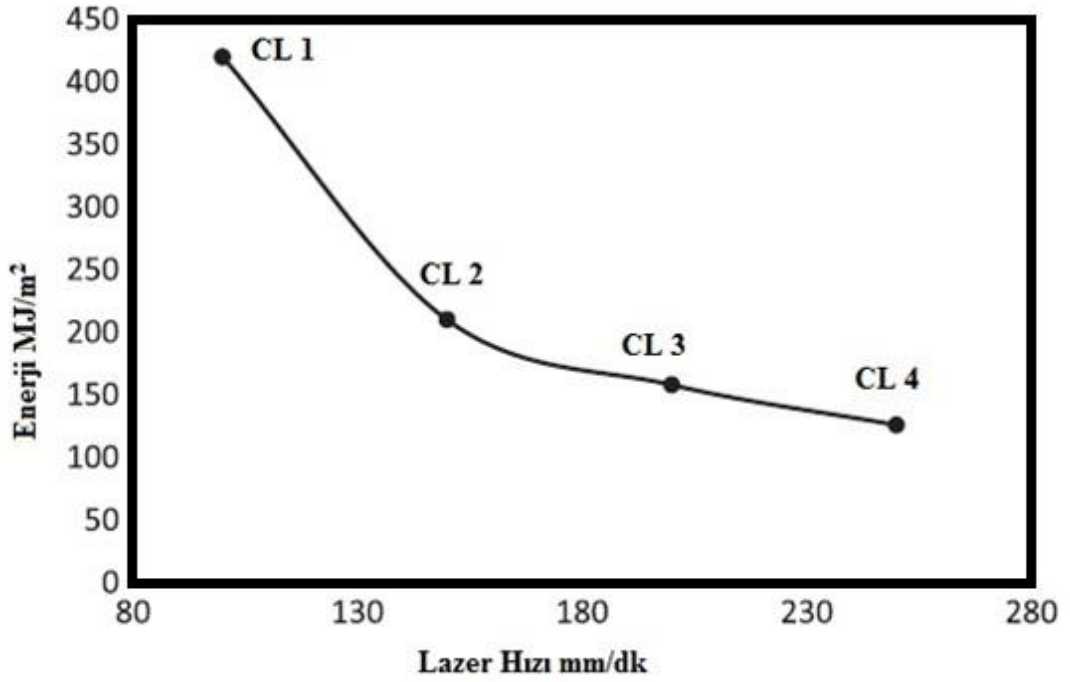
Tablo 4.2. Lazer hızlarına göre numune adlandırması

Adlandırma	Lazer hızı (mm/dk)
CL1	100
CL2	150
CL3	200
CL4	250

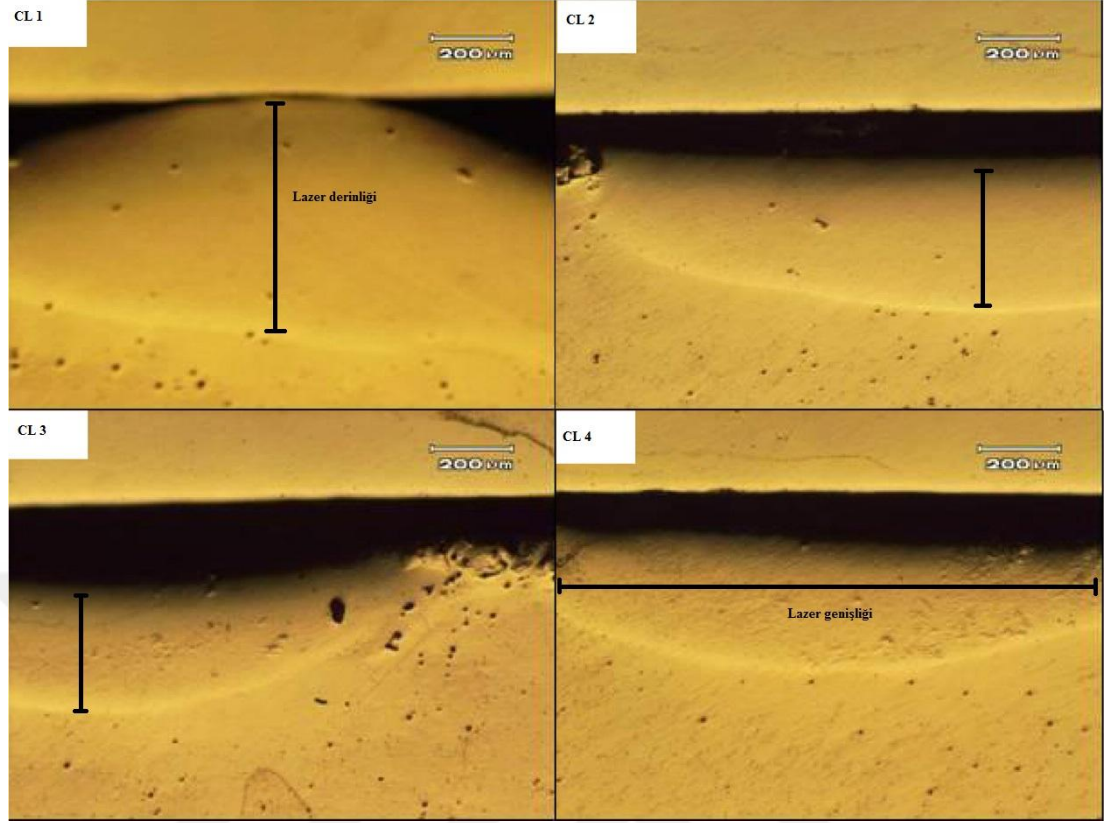
Ergitme esnasında kullanılan lazer hızı derinliği etkiler (Şekil 4.4) (Afzal vd. 2015). Lazer hızı, lazer giriş enerjisi ile doğrudan ilişkilidir, Şekil 4.5 'te gösterildiği gibi lazer hızı arttığında lazer giriş enerjisi azalır. Bu gösteriyor ki lazer ergitme hızı arttıkça derinlik yavaş yavaş azalmıştır (Afzal vd., 2015). Her bir tanenin optik mikro görüntüsü Şekil 4.6 'da verilmiştir (Afzal vd., 2015).



Şekil 4.4. Lazer hızlarına göre derinlik karşılaştırması



Şekil 4.5. Lazer hızına göre giren lazer enerjisi



Şekil 4.6. Lazer iz boyutlarının optik mikroskop görüntüsü

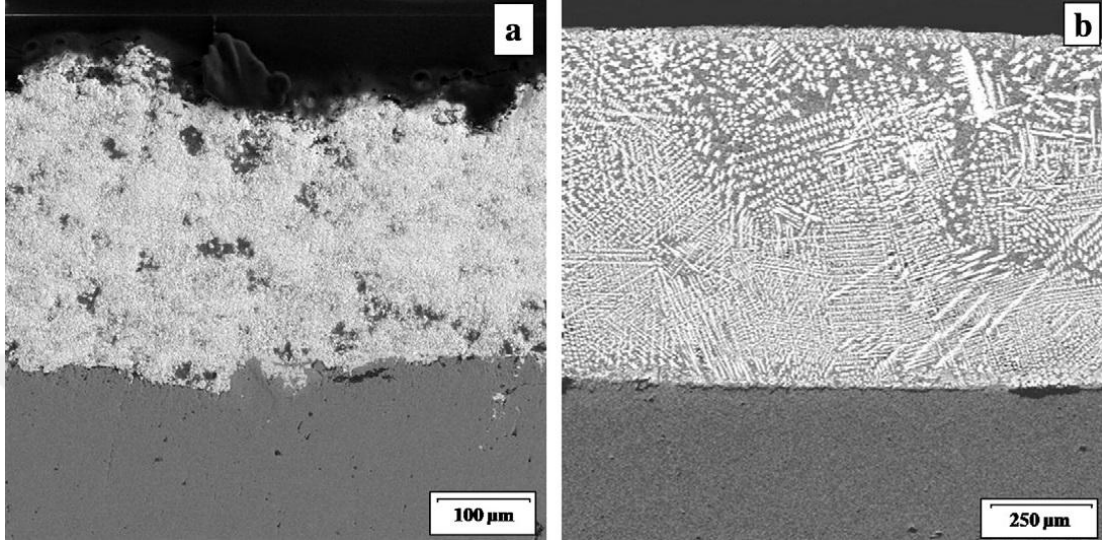
4.3. TIG Yüzey Ergitme

WC-Co kaplanmış numuneler üzerinde yüzey ergitme işlemi Tungsten inert gaz (TIG) ark metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Ghadami vd., 2015). Tablo 4.3 'te TIG ark yüzey ergitme parametreleri özetlenmiştir (Ghadami vd., 2015).

Tablo 4.3. Yüzey ergitme parametreleri

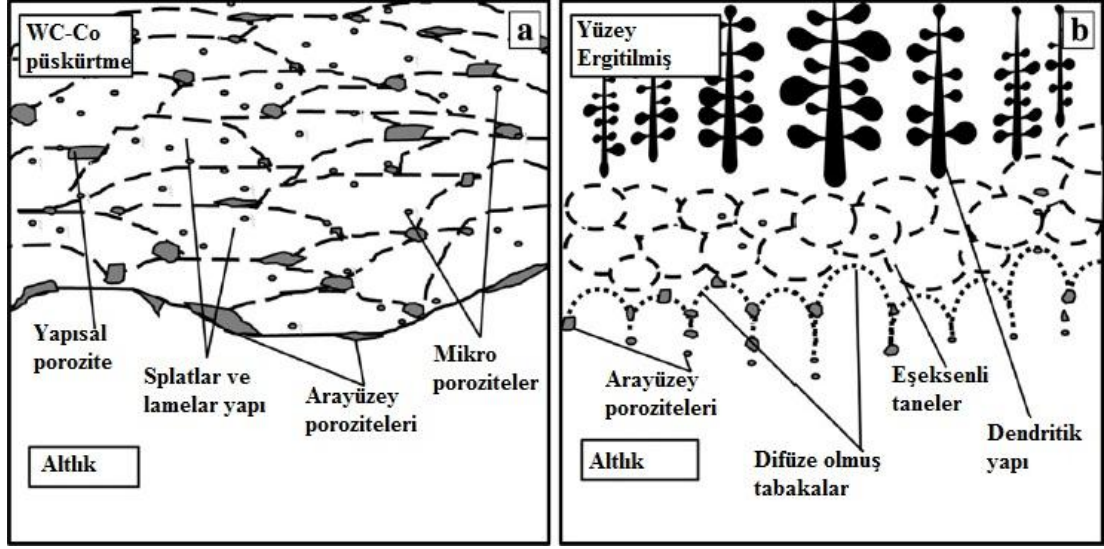
Doğru akım (A)	6
Voltaj	65
Tabanca Hızı (cm/dk)	30
Yüzeyden uzaklık (mm)	3
Tungsten elektrot çapı (mm)	2,4
Argon saflık (%)	99,999

Şekil 4.7.(a) ve 4.7.(b)' de WC-Co püskürtülmüş ve TIG yüzey ergitilmiş numunelerin mikro yapısal kesitleri gösterilmiştir (Ghadami vd., 2015).

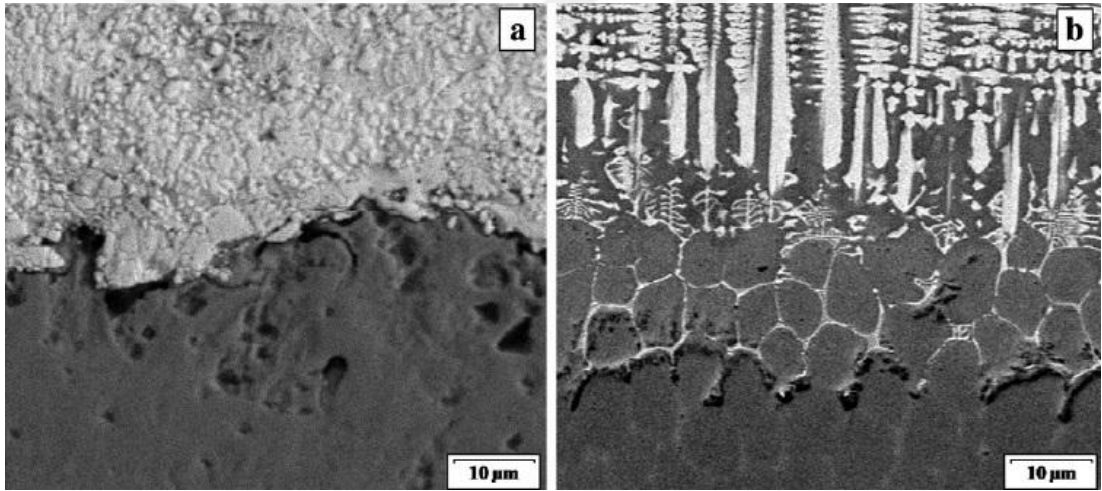


Şekil 4.7. (a) poroziteli ve lamelar yapılı püskürtülmüş kaplamanın geri saçılmış elektron mikrofrafisi (b) Yüzey ergitilmiş WC-Co kaplamaların homojen ve dendritik mikrofrafisi

Şekil 4.8.(a) ve 4. 8.(b) 'de kaplama/altlık malzeme arayüzeyindeki yüzey ergitme öncesi ve sonrası WC-Co püskürtülmüş kaplamanın yapısal şeması gösterilmiştir. Bu model plazma püskürtülmüş (Şekil 4.9.(a)) ve TIG yüzey ergitilmiş numuneler (Şekil 4.9.(b)) için arayüzey bölgelerinin geri saçılmış elektron görüntüleri ile doğrulanabilir (Ghadami vd., 2015). TIG yüzey ergitme sonrası kaplama tabakası tamamen erimiş ve altlık malzeme ile karışmıştır, yeniden katılaştıran tabaka daha homojen bir yapıya sahip olmuştur. Bunun yanı sıra, dağılmış mikro gözenekler, TIG ergitme esnasında gaz paketlerinin oluşumundan kaynaklı olarak ortaya çıkmışlardır (Ghadami vd., 2015).



Şekil 4.8. Kaplama / altlık malzeme arayüzeyi (a) püskürtme işlemi sonrası, (b) ergitme işlemi sonrası



Şekil 4.9. Kaplama / altlık malzeme ara yüzeyi geri saçılmış elektronların mikrografisi, (a) püskürtme işlemi, (b) ergitme işlemi

5. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Bu kısımda konuyla ilgili daha önceden yapılan çalışmalar incelenmiştir.

(Ghadami vd. 2015) atmosferik plazma püskürtme yöntemi kullanarak düşük karbon içeren çelik substat malzeme yüzeyine WC-Co tozu içeren kaplama uygulamışlardır. Daha sonra APS yöntemi ile kapladıkları bu numunelerin yüzeylerini TIG kaynağı ile yeniden ergitmişlerdir. APS ve yeniden ergitme işlemleri sonrasında numunelerin mikro yapılarını, mikro sertliklerini, kaplama özelliklerini, faz değişikliklerini incelemişlerdir. Ergimiş numune yüzeyinde kalın bir tabaka halinde W yoğunluklu dendritler beraberinde W_6Co_6C ve Fe_6Co_6C karbürlerinin gözlendiğini bildirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda APS yöntemi ile WC-Co kaplanmış numunelerin yüzeyinin TIG yöntemi ile yeniden ergitilmiş numune yüzeyleri ile kıyaslandığı zaman daha yüksek aşınma oranı gözlendiğini ortaya koymuşlardır.

Guowei ve arkadaşları (2016) plazma püskürtme yöntemi kullanarak Q235 çelik plakalar üzerine (%0.14 - 0.22 C içeren düşük karbon çeliği) yüksek saflıktaki Al_2O_3 - %13 Ti kaplama uygulamışlardır. Ancak plazma püskürtme kaplama uygulamadan önce altlık malzemeler kir ve yağdan arındırılmış ve geleneksel yöntemlere göre kum püskürtme ile kaplamaya hazırlanmışlardır. Daha sonra plazma püskürtme ile kaplanan numuneler ısıtma işlemine tabii tutulmuşlardır.

Wang ve arkadaşları 400 ° C ve 600 ° C sıcaklık aralığında ısıtma işlemi uygulamışlardır. Çünkü daha önceki çalışmalarda Alümina-Titanyum13 (Al_2O_3 - %13 Ti) kaplamanın bu sıcaklık aralığında tavlendiğinde malzemeye daha iyi yapışma kuvveti gösterdiği görülmüştür. Son yüzey işlemi olarak Wang ve arkadaşları 40'ar °C aralıklarla 400 °C-600 °C aralığında 6 farklı ısıtma sıcaklığında değerlendirmişlerdir. Isıtma hızı ve tutma süresi sırasıyla 15°C/dakika ve 6 saat olarak belirlenmiştir. Numuneler 200 °C' de 2 saat ilk soğutmaya tabii tutulmuşlar ve daha sonra hızlı soğutmanın sebep olacağı ısıtma gerilmeleri önlemek için fırında tekrar soğutulmuşlardır. Numunelerin bağlanma kuvveti adezyon test standardına göre test edilmiştir. Isıtma işlemlerinden önce ve sonra plazma püskürtme ile kaplanan numunelerin kesitsel morfolojileri SEM taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Yüzeyin elementel dağılımı da EDS

analizi ile analiz edilmiştir. Aynı şekilde ısıtıl işlemden önce ve sonra kaplamamın gözenekliliği görüntü analiz sistemi kullanılarak kesit morfolojisi analiz yöntemi ile ölçülmüştür. Buna ek olarak XRD ile faz analizi yapılmıştır. Wang ve arkadaşları yaptıkları bu çalışmalardan farklı sıcaklıklarda ısıtıl işlem gören kaplamaların benzer özellikler sergilediği sonucuna varmışlardır. 560°C 'nin altında ısıtıl işlem uygulandığında malzemenin mikroyapısı ve yapışma kuvveti özellikleri; kristalizasyon, yoğunluk sinterlenmesi, element difüzyon reaksiyonu ve geniş geçiş tabakasının basınçlı gerilimlerinin etkisiyle gelişmiştir. Bu özellikler artan ısıtıl sıcaklığı ile artar ancak 560 ° C'nin üzerine çıkıldığında geniş geçiş tabakasının basınçlı gerilimleri ve aşırı oksitlenmeden dolayı oluşan ürünler dolayısıyla zayıflamıştır.

Cigada ve arkadaşları (1994), Ti6Al4V alaşımı üzerine vakum plazma püskürtme yöntemi kullanarak düşük ve yüksek kristallikteki hidroksiapatit kaplama uygulayarak kaplama sonrası ısıtıl işlemin etkilerini değerlendirmişlerdir. Çökeltme parametrelerinin değişimi ile arzu edilen kristaliniteyi elde etmişlerdir. Kaplamaların ve kaplama ile altlık malzemenin bağlanmalarının mekanik özelliklerinin analizini kayma mukavemeti testi ile yapmışlardır. Ayrıca X ışın difraksiyonu analizi kullanarak ısıtıl işlem ve çökeltme işlemleri sırasında hidroksiapatit ayrışması olan bölgelerde kimyasal bileşikleri ve yapıyı tespit etmeyi hedeflemişlerdir. Elde edilen veriler ısıtıl işlemin hidroksiapatitin kristalinitesini artırdığını ancak aynı zamanda kaplamamın mekanik bozunmasına sebep olduğunu göstermiştir. Isıtıl işlemlerden sonra büyük miktarda tetra kalsiyum fosfat oluşumu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Cigada ve arkadaşları (1994), ısıtıl işlemlerin tamamen kullanışlı olduğunu düşünmemektedirler. bu çalışmaya göre; hem yüksek hem de düşük kristaliniteye sahip kaplamalar için, işlem görmemiş VPS kaplamaların adhezyonu her zaman kaplanmış ve ısıtıl işlem görmüş kaplamalarınkinden daha iyidir. Yüksek kristaliniteli kaplamaların ısıtıl işlemleri sadece istenmeyen yeni kimyasal bileşikleri tanıtmıştır ve hiçbir değeri yoktur. Isıtıl işlem sadece yüksek kristaliniteli kaplamaları üretmenin mümkün olmadığı durumda (APS tekniği) yararlı olabilir: Bu durumda yüksek kristaliniteli kaplamalar elde edilebilir ancak mekanik özelliklerde azalma olur ve tetra kalsiyum fosfatın beklenmedik oluşumu gözlemlenir.

Başka bir çalışmada (Li vd 2016), %7 Y_2O_3 içeren ZrO_2 plazma püskürtme kaplamaya uygulanan 50'şer saatlik 1000 ° C, 1200 ° C ve 1400 ° C deki ısı işlemlerin etkisi araştırılmıştır. Altlık malzeme olarak 1018 çelik kullanılmıştır. Faz stabilitesi ve mikroyapılardaki değişimler sırasıyla X ışın difraksiyonu ve TEM kullanılarak araştırılmıştır. Isıl işlemler esnasında meydana gelen ısı iletkenlik değişimleri mikroyapısal değişimler açısından yorumlanmıştır. Kaplamada metastabil tetragonal zirkonya fazı, denge dışı Y_2O_3 stabilizatörü baskın faz olarak görülmüştür. 50 saat süre ile 1000°C' ye kadar ısıtma yapıldığında tetragonal zirkonyada bulunan Y_2O_3 konsantrasyonu, $ZrO_2 - Y_2O_3$ faz diyagramı ile tahmin edildiği gibi azalmaya başlamıştır. 1200° C' deki 50 saatlik ısı işlem sonrasında ilk gözlemlenen faz c- ZrO_2 ' dir; 1400°C' deki 50 saatlik ısı işlem sonrasında monoklinik zirkonyum gözlemlenmiştir. TEM analizi, 50 saatlik 1000° C' deki ısı işlem uygulaması sonrasında lamellerarası mikroçatlakların kapandığını ortaya çıkarmıştır; bununla birlikte lamelar morfoloji muhafaza edilmiştir. 50 saatlik 1200°C' deki ısı işlem sonrasında lamellerarası gözeneklerde belirgin bir değişiklik gözlemlenmiştir; uzamış eş eksenli taneler, sütunsu taneler ve bazı kalıntı lameller halen gözlemlenmiştir. 1400°C deki 50 saatlik ısı işleminden sonra lamelli yapı gözlemlenmemiştir. Daha doğrusu monoklinik zirkonya bölgelerinde geniş taneler görülüyorken enine ya da üstten kesitte gözlemlendiğinde mikroyapılar eşdeğerdir. Isıl iletkenlik her ısı işleminden sonra artmıştır. Lamellerarası mikro çatlaklar ve/veya lamellerarası gözeneklerdeki değişikliklerin 1000°C ve 1200°C' deki ısı işlemlerden sonra oluşan ısı iletkenlik artışının sorumlusu olduğuna inanılmaktadır. 1400 °C 50 saatlik ısı işlem sonrasında oluşan ısı iletkenlik artışı tetragonal ya da kübik zirkonyadan daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olan monoklinik zirkonya m- ZrO_2 oluşumuna bağlı olduğu ileri sürülmüştür. Ağırlıkça % 7'lik $Y_2O_3-ZrO_2$ (YSZ)' nin plazma püskürtülmüş kaplaması üzerinde 1000°C 1200 °C ve 1400 °C' de 50 şer saatlik ısı işlemlerin etkisi x ışını difraktometresi ve TEM kullanılarak araştırılmıştır. Kaplamalar başlangıçta denge dışı itriya stabilizatörüyle metastabil zirkonya fazının birleşimiyle oluşmuştur. Isıtma sonrası faz diyagramından tahmin edildiği gibi yitriyanın metastabil zirkonya fazından dışarı doğru difüzyonu sonucu stabilizatörün (yaklaşık ağırlıkça %4 Y_2O_3) denge konsantrasyonu ile tetragonal zirkonya oluşur. Fazla itriya, 1200 °C ve 1400 °C de 50 saatlik tutma sonucu c- ZrO_2 ' nin tane büyümesi ve tane çekirdeklenmesi için kullanılır. 1400 °C 'de 50 saat tutma

sonrasında ilk ortaya çıkan monoklinik zirkonyumdur. TEM, 50 saatlik 1000°C' de ısıtım işlem sonrası lameller arası mikro çatlakların kapanmasını ortaya çıkarmıştır; ancak lamelli yapı muhafaza edilmiştir. 1200 °C' de 50 saatlik ısıtım işleminden sonra, lameller arası gözeneklerde bir azalma gözlenmiş, uzun sütunsu taneler eşeksenli tanelerle değişmiş ve sadece lamelli morfolojinin küçük bir fraksiyonu saklanmıştır. Sadece büyük eş eksenli taneler, lamelli bir yapıda olmadan 1400 °C 50 saatlik ısıtım işlem sonrası gözlenmiştir. Isıtım işleme bağlı olarak oluşan ısıtım iletkenlikteki değişim sırasıyla X-ışını difraksiyonu ve TEM ile gözlenen yapısal ve mikro yapısal değişikliklerle ilgili olarak yorumlanmıştır. Kaplamanın ısıtım iletkenliğindeki artışa neden olan çeşitli sıcaklıklara bağlı mekanizmaların etkili olduğu ileri sürülmüştür. 1000 °C' deki 50 saatlik işlem sonrasında k 'daki artış muhtemelen lamellerarası mikroçatlakların kapanmasına bağlıdır. 1200 °C' deki 50 saatlik ısıtım işlem sonucu k'daki artış lamellerarası gözeneklerin sinterlenmesine bağlı olduğu kabul edilmiştir. 50 saatlik 1400 °C' deki ısıtım işlem sonrası k'daki artışın, kaplamadaki m-ZrO₂' nin yüksek iletkenliğinin artan hacim fraksiyonunun sonucu olduğuna inanılmaktadır.

Ghadami ve arkadaşlarının bir diğer çalışmasında (Ghadami vd. 2015). WC-%12Co ve NiCr hammadde tozları kullanılarak atmosferik plazma püskürtme yöntemiyle çelik altlık malzeme üzerine ikili tabaka halinde NiCr/WC-Co kaplamalar ve geleneksel WC-Co püskürtme işlemi yapılmıştır. NiCr bağlayıcı astarıyla ya da o olmadan püskürtmelerin mikroyapısı analiz edilmiştir ve amorf faz ve WC, W₂C fazlarının oluşumu bulunmuştur. Geleneksel WC-Co kaplama örnekleri de 1 saat süreyle 650 °C, 900 °C ve 1150°C 'de ısıtım işlem görmüştür. Tüm sıcaklıklarda incelenmiş ısıtım işlem WxCoyC, η-karbürlerin oluşumuyla kaplama tabakasındaki faz değişimleriyle sonuçlanmıştır. Püskürtülmüş ve ısıtım işlem görmüş kaplamaların adhesif mukavemeti de ayrıca araştırılmıştır. Sonuçlar adhesif mukavemetin kaplanan WC-Co kaplama püskürtmesinden önce uygulanan bağlayıcı astar ile geliştirildiğini göstermiştir. Ayrıca sonuçlar 900 °C 'den 1150 °C 'ye sıcaklık artışıyla yapılan ısıtım işlemler ile adhesif mukavemetin de arttığını göstermiştir. Bu durumda, 1150 °C ' deki son ısıtım işlem veya uygulanan NiCr bağlayıcı astar, kaplama- altlık malzeme arayüzeyindeki kısmen metalurjik bağ oluşumu ve arayüzey gözenek kontrolüne bağlı olarak daha yüksek adhesif mukavemet vermiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre;

Püskürtülmüş WC-Co kaplamalar WC, W₂C ve kobalt, tungsten ve karbon içeren amorf bir fazdan oluşur.

900°C üzerinde inert atmosferde son ısıl işlem gören %12Co içeren WC-Co kaplamalar amorf fazdan η-karbürlerin oluşumunu teşvik etmiştir.

NiCr bağlayıcı astar uygulayarak NiCr/WC-Co nun adhezif kuvveti bağlayıcı astar/altlık malzeme ve bağlayıcı astar/kaplama arayüzey bölgelerinden iyi yapışma sağlamayı teşvik eden arayüzeySEL gözeneklerin azalması ile artmıştır.

900 °C ve 1150 °C de ısıl işlemler %12Co içeren WC-Co kaplama tabakasının adhezif kuvvetini artırmıştır, ki bu altlık malzeme ve kaplama arasındaki kısmen metalurjik bağların oluşumuna bağlı olabilir.

Afzal ve arkadaşlarının çalışmasında, AISI 321 paslanmaz çelik altlık malzeme üzerine atmosferik plazma püskürtme tekniği ile WC-12Co kaplanmıştır. Kaplama 130 mm dikine mesafede üretilmiştir. Kaplanmış numuneler bir inert gaz örtüsüyle CO₂ lazer kullanılarak eritilmiştir. 100 mm/dk 'dan 250 mm/dk'ya dört farklı lazer hızı kaplamaları eritmek için kullanılmıştır. Lazer ergitme işlemi sonrasında yüzeyler karakterize edilmiş ve kaplama yapılmış yüzeylerle karşılaştırılmıştır. Lazer ergitme işleminin hatasız yüzeyler ürettiği gözlemlenmiştir. Sonuçlar, lazer hızının bir fonksiyonu olarak erimiş yüzey kalınlıklarının ve aşınma dirençlerinin farklılaştığını göstermiştir. Bu çalışma, hava plazma püskürtme ile yapılan yüzey kaplamaların lazer ergitme işlemi ile geliştirilebileceğini göstermektedir. Yüzey sertliğinin lazer tabancasının optimizasyonu ile kontrol edilebilir olduğu görülmüştür. Erime ve katılma işlemleri APS kaplamaların doğasında var olan hataları azaltmıştır. 100 mm/dk hızda lazer eritme gerçekleştirildiğinde kaplamanın aşınma direnci önemli ölçüde geliştirilir ancak hız 250 mm/dk ya çıkarıldığında aşınma direnci düşmüştür.

Chraska ve arkadaşlarının (2014), çalışmasında; serbest kaplama üretmek için bir suyla stabilize edilmiş plazma torç kullanarak alümina-zirkonya seramik malzeme plazma püskürtmesi yapmışlardır. Püskürtülmüş kaplamalar çok düşük porozite içerir ve genellikle amorfudur. Amorf malzeme 900 °C üzeri sıcaklıklarda kristalize olur. Bir kıvılcım plazma sinterleme cihazı kristalleşmeye yol açmak için 900 °C

üzeri sıcaklığa kadar kaplanmış numuneleri ısıtmak için kullanılırken aynı anda 80MPa'lık bir eşeksenli basınç numune yüzeyine uygulanmıştır. Son işlemler sonrasında, seramik örnekler kristalize olur ve çok az sayıda açık poroziteye sahip olur. Son işlem görmüş malzemeler yüksek sertlik ve önemli ölçüde artış gösteren eğilme mukavemeti sergiler. Son işleme tabi tutulan numunelerin mikroyapıları en iyi şekilde, amorf matrikse gömülü nanokompozit olarak tanımlanan çok küçük kristallerin meydana gelmesi şeklinde açıklanır. Bu çalışma sonucunda; Kıvılcım plazma sinterleme ile plazma püskürtülmüş malzemenin son işlemi kontrollü kristallendirme ve püskürtülmüş çökeltinin daha iyi sıkıştırılması için uygun bir tekniktir. Püskürtülmüş amorf çökeltieler hemen hemen tamamen yoğun kristal malzeme ile gözardı edilebilir açık gözeneklere sahip bir yapıya dönüşmüştür. 1150 °C' de basit sinterlenmiş iki ana faz olan gama alümina ve tetragonal zirkonya sırasıyla ortalama 5.2 ile 21 nm boyutlarında nanokristal şekilde bulunmaktadır. Aynı malzemenin iki diski arasındaki arayüzeyin kırılmada önemli bir rol oynamadığı için son işlem görmüş malzeme çok iyi sinterlenmiştir. Benzer sinterleme, splatlar arasında önemli ölçüde daha iyi uyum elde ederek püskürtülmüş malzemenin geri kalanında meydana gelmiştir. Bu nedenle, son işlem görmüş numunede splatlar arasındaki kırıklar ve arayüzeyler, püskürtülmüş çökeltilerdeki arayüzeylerden farklı mekanik yük altında kırınım yayılması için uygun bir yol teşkil etmezler. Geliştirilmiş splat kohezyonu, son işlem görmüş numunelerdeki eğilme mukavemetinin 3 kattan fazla artmasına neden olmuştur. Son işlem görmüş numunedeki 1075 HVI sertlik değeri, püskürtülmüş malzemedeki 830 HVI değeriyle karşılaştırıldığında %30 oranında artmıştır. 1300 °C' de sinterlenen numuneler tamamen kristaldir, nanokristal şekilde mullit fazın yaklaşık 2/3 değerini içerir ve tüm son işlem görmüş numunelerin eğilme mukavemetinin yüksek değerlerini sergiler.

Yine Ghadami ve arkadaşları bir başka çalışmasında (Ghadami vd. 2013) WC-Co kaplamaların yapısal ve oksidasyon davranışlarını 500 °C ve 1100 °C arasında atmosferik ısıtma sırasında analiz etmişlerdir. Farklı partikül boyutlu ve morfolojili 2 tip olan WC-Co kaplamalar hava plazma püskürtme kullanılarak çelik altlık malzeme üzerinde biriktirilmiştir. Kaplanmış numuneler 500°C ve 1100 °C arası farklı sıcaklıklardaki atmosferde ısıtma tabi tutulmuştur. Isıtma işlemi öncesi

ve sonrası mikroyapı değerlendirmesi, X-ışın difraksiyonu ve mikrosertlik testleri ile yapılmıştır. Sonuçlar, uygulanan sıcaklık artışına bağlı olarak kaplama örneklerinin sertlik artışına ilişkin kaplamaların 500 °C'ye kadar özelliklerini koruduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, 1100 °C'ye kadar ısıl işlem sıcaklığının artırılması ile kaplama tabakasındaki oksidasyon süreci hızlanmıştır ve kaplama-altlık malzeme arayüzeyinden kaplama sökölmesine sebep olmuştur. Ayrıca Ghadami arkadaşlarının (Ghadami vd. 2013) bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlar şöyle listelenmiştir;

Çelik altlık malzeme üzerine WC-Co atmosferik plazma püskürtme kaplamalar amorf ve kobaltça zengin matriks faz içindeki WC ve W₂C karbürlerinden oluşur. Bu karbürler daha sonra ısıl işlem esnasında birleşik W₆Co₆C, W₃Co₃C η-karbürlerine dekarbürize olur.

İnce toz ile kaplamanın ortalama mikrosertlik değeri, düşük porozite ve daha yoğun yapı sebebiyle iri taneli yapıdan daha yüksektir.

Kaplamanın atmosferik ısıl işlemi karbürleri WO₃ ve CoWO₄ den oluşan ikili ve üçlü fazlara dönüştürür.

Kaplamaların daha yüksek ısıl işlem sıcaklıklarında kaba toz boyutlu kaplamalarda oksit fazlarının kolon şeklinde büyümesi ile sonuçlanırken, ince toz boyutlu kaplamalarda iğne yapılı oksit fazlarıyla ince kristallerin oluşumu ile sonuçlanır.

Isıl işlem sıcaklığının 900 °C'ye artmasıyla, kaplama-substrat oksidasyonu hızlanır ve kaplamanın yüzeyden kopmasına neden olur.

Mateos ve arkadaşları (1999) çalışmalarında WC plazma sprey kaplamaların CO₂ lazer ergitme öncesi ve sonrası tribolojik özellikleri incelenmiştir. Kaplamalar çelik altlık malzeme üzerine biriktirilmiştir. Lazer işlemi porozite, mikrosertlik, kuru ve yağlanmış bağlantılarda kaplama/altlık malzeme yapışma ve aşınma direncinde değişikliklere neden olmuştur. Sonuçlar WC-Co plazma püskürtme kaplamaların lazer ergitmesinin mikroyapılarını iyileştirdiğini ve kaplama/altlık malzeme yapışmasını ve mikrosertliğini artırdığını kanıtlamaktadır. Lazer işlenmiş ve işlenmemiş her iki malzeme, Czichos'un modeliyle tatmin edici şekilde eşleşen kuru

kayma aşınma davranışını temsil eder ve sürtünme katsayısı her iki malzeme için çok benzerdir; ancak yeniden ergitilmiş kaplamalar kuru temas koşulları altında aşınmaya daha fazla dayanıklıdır. Elde ettikleri sonuçlar,

1. Lazer ergitme, porozitenin ortadan kaldırılmasına ve mikroyapının homojenizasyonunun yanı sıra WC plazma püskürtülmüş kaplamanın kalitesinin artırılmasına olanak sağlar.

2. Lazer işlemi kaplamaların mikrosertliğinde %85'e kadar önemli bir artış üretmektedir. Ayrıca, muhtemelen temel kaplama içine işleyen Fe difüzyonunun işlemine bağlı lazer radyasyonu ile çeliğin etkilendiği zaman gerçekleşen bir süreçte yapışma da artar.

3. Plazma püskürtme kaplama ve lazer yeniden ergitme kaplamanın her ikisi de Czishos'un modeli ile tatmin edici bir şekilde eşleşen kuru bir kayma aşınma davranışı sergiler. İki malzeme için sürtünme katsayısı oldukça benzerdir, buna karşın mikrosertlikleri oldukça farklıdır.

4. Lazer işlem görmüş WC plazma püskürtülmüşten önemli ölçüde daha fazla kuru aşınma direncine sahiptir; iki kaplamanın hacim kaybı arasındaki ilişki bazı testlerde sekiz benzer değere ulaşmıştır. Yağlanmış bağlantılar, işlem görmemiş kaplamalarda daha iyi aşınma davranışına sahiptir; bu durum muhtemelen porozitelerinin yağ emmelerine izin vermesinden, bunun yağlanma etkinliğinin geliştirici özelliğinden kaynaklanır.

5. İşlem görmüş ya da görmemiş seramik kaplamalar çelikten daha üstün aşınma direncine sahiptir. İki kaplama tipinin sahip olduğu kanıtlar çelik üzerinde daha agresif olduğu görülmemiştir; bazı testlerde işlem görmüş kaplamalarla daha büyük aşınma dirençleri eşleşirken, diğer testlerde bunun tam tersi görülmüştür.

Wang ve arkadaşları (2013) bu çalışmada AZ31B magnezyum alaşımı üzerine %1 nano Si_3N_4 içeren Al-Si plazma püskürtme kaplamanın lazer yüzey eğitmesi üzerinde çalışmışlardır. Ağırlıkça %1 nano yapılı Si_3N_4 ve Al-Si bazlı mikroyapılı plazma püskürtülmüş kaplama, süpersonik bir atmosfer plazma püskürtme sistemi

kullanılarak AZ31B magnezyum alaşımı üzerine başarıyla yapılmıştır ve daha sonra püskürtülmüş kaplama devamlı CO₂ lazer dalgaları kullanılarak ergitilmiştir. Yeniden ergiyen kaplama optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu, enerji-dispersif spektroskop, X-ışın difraktometresi ve Vickers mikrosertlik testleri kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar lazerle yeniden ergitilmiş kaplamanın alt tabakayla muhteşem bir metalurjik bağ kurduğunu göstermiştir. Lazer ergitmeden sonra bir ince dendritik yapı sergilenmiştir. Kaplamadaki nano Si₃N₄ tamamen parçalanmıştır ve yeniden ergitilmiş kaplama esas olarak Al, AlN, Al₉Si, Al_{3.21}Si_{0.47} ve Mg₂Si 'den oluşmaktadır. Dahası, yeniden ergitilmiş kaplamanın mikrosertliği altlık malzemeninkinden çok daha yüksek olarak (50 HV_{0.05}) 200-514 HV_{0.05} ye artmıştır. Çalışmalarından elde ettikleri sonuçları şu şekilde listelemişlerdir;

(1) AZ31B magnezyum alaşımı üzerindeki Al-Si/%1 nano Si₃N₄ plazma püskürtülmüş kaplamanın lazer yüzey ergitmesi ile hata içermeyen bir kompozit kaplama oluşmuştur.

(2) Lazer yeniden ergitilmiş kaplama altlık malzeme üzerinde mükemmel bir metalurjik bağa sahiptir.

(3) Alttan üste yeniden ergitilmiş kaplamanın mikroyapısı sırasıyla tabaka kristal, sütunsal kristal, dendritik yapı ve ince dendritik yapıdır. Ve ayrıca kaplamada özel bazı yapılarda mevcuttur.

(4) Tozların Al, Si ve N elementleri altlık malzemeye difüze olmuştur, bu sırada, altlık malzemedeki Mg elementi ergiyik havuzuna çözünmüştür. Nano Si₃N₄ uygun içeriğin eklenmesi ile nano Si₃N₄ kaplama içinde tamamen parçalanmıştır, yeniden ergitilmiş kaplama esas olarak Al, AlN, Al₉Si, Al_{3.21}Si_{0.47} den oluşmuştur. Si püskürtülmüş kaplamada mevcuttu ancak yeniden ergitilmiş kaplamada hiç yoktu ve Mg₂Si ise tam tersi şekildeydi.

(5) Yeniden ergitilmiş kaplamanın mikrosertliği altlık malzemenin sertlik değerine göre (yaklaşık 50 HV_{0.05}) çok daha yüksek bir değer olan 200-514 HV_{0.05} aralık değerine yükselmiştir.

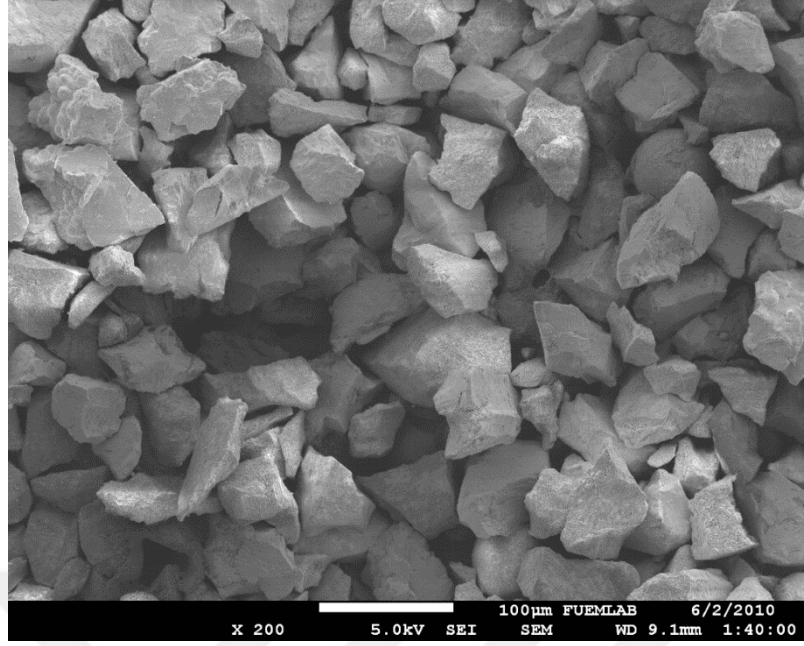
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Deneysel Yöntem

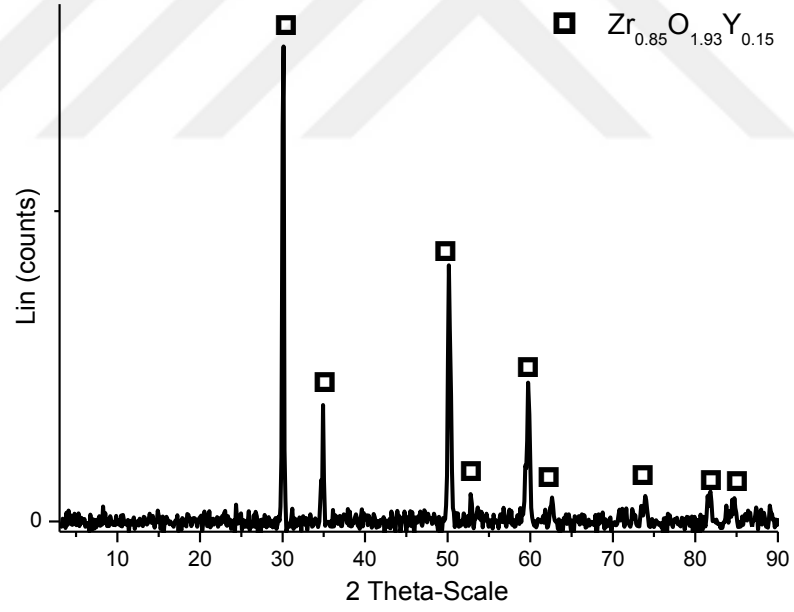
AISI 316L paslanmaz çeliği yüzeyine ZrO_2 esaslı toz plazma püskürtme işlemi sonrası yapılan son yüzey işlemlerin bazı özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır. Son yüzey işlemi olarak farklı sıcaklıklarda yapılan ısıtma işlemi tercih edilmiştir. Bu şekilde kaplama tabakasının mikroyapı, sertlik ve aşınma özellikleri geliştirilmeye çalışılmıştır.

6.2. Numunelerin Hazırlanması

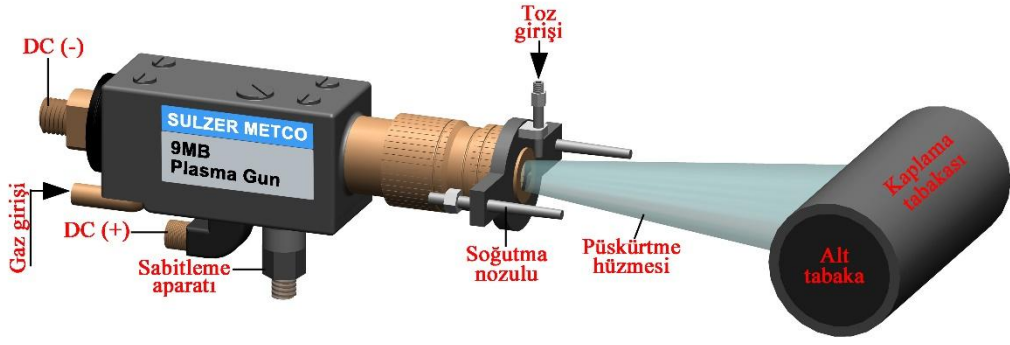
Alt malzeme olarak 20 mm x 80 mm x 10 mm ölçüsünde AISI 316L paslanmaz çelik kullanılmıştır. Plazma püskürtme yöntemi kullanılarak $-90+30 \mu\text{m}$ tane boyutuna sahip ZrO_2 -% 8 Y_2O_3 tozu alt malzeme üzerine kaplanmıştır. Kaplamada kullanılan tozun SEM fotoğrafı Şekil 6.1'de, XRD analizi ise Şekil 6.2'de görülmektedir. Şekil 6.1'de de görüleceği gibi tozlar düzensiz keskin köşeli olmakla birlikte, tane boyutlarında ise farklılıklar vardır. Metalik alt malzeme ile oksit kaplama arasında daha iyi bir bağlanma oluşturmak için alt malzeme 24-35 mesh arasındaki tane boyutuna sahip Al_2O_3 kumu ile kumlama işlemine tabi tutulmuştur. Kumlama işleminden sonra yaklaşık 250 μm kalınlığa sahip kaplama tabakası plazma püskürtme tabancası ile alt tabaka üzerinde üretilmiştir. Oksit kaplama tabakasının üretilmesinde 80 kVA gücüne sahip Sulzer Metco 9MB plazma püskürtme kaplama sistemi kullanılmıştır. Plazma püskürtme kaplama işleminin prensip şeması Şekil 6.3'de görülmektedir. Tüm kaplamalarda plazma huzmesinin üretilmesinde kullanılan argon gazının akış oranı 35 l/dak. olarak ayarlanmıştır. Plazma püskürtme tabancası, püskürtme mesafesi 75 mm olacak şekilde sabitlenmiştir. Kaplama tozları tabancaya dıştan enjekte edilmiştir. Enjekte edilen tozlar plazma akışına paralel olacak şekilde yönlendirilmiştir. Kaplama tozu besleme oranı 45 gr/dak, H_2 gazı akış oranı 9-11 l/dak ve taşıyıcı gaz oranı 3 l/dak olarak ayarlanmıştır.



Şekil 6.1. Kaplamada kullanılan ZrO_2 -% 8 Y_2O_3 tozunun SEM fotoğrafı



Şekil 6.2. Kaplama tozunun XRD grafiği



Şekil 6.3. Plazma püskürtme kaplama işleminin prensip şeması

Kaplama işlemi tamamlandıktan sonra koruyucu gaz kontrollü Proterm marka tüp fırında (Şekil 6.4) 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C sıcaklıklarda kaplama numunelerine 2 saat süre bekleme zamanında ısıl işlem yapılmıştır. Isıl işlemde ısıtma ve soğutma periyotlarında 10 °C/dakika oranı kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Isıl işlem fırını

6.3. Mikroyapı İncelemesi

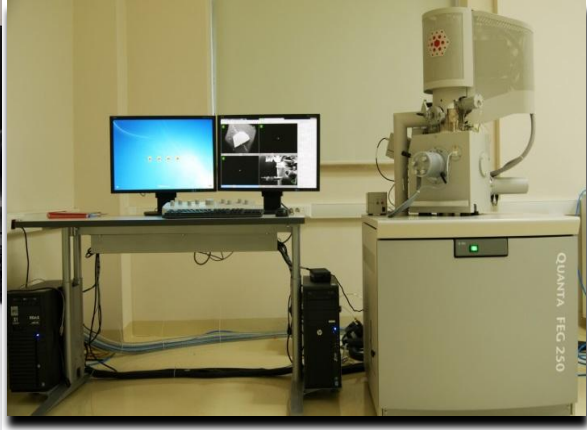
Metalografi incelemeleri için, numuneler kaplama yönüne dik bir şekildeki kesit bölgeden alınmıştır. Elde edilen metalografi numuneleri 80-1200 mesh'lik zımpara kâğıdına tutularak yüzeyleri temizlenmiştir (Şekil 6.5). Daha sonra 1 ve 6 mm'lik elmas pasta ve inceltici yardımıyla yan kesit yüzeyleri parlatılmıştır. Mikroyapısal incelemeler için numuneler HNO_3 ve alkol karışımı çözeltide elektrolitik olarak dağlanmıştır. Her bir kaplamada, mikroyapı ve faz analizi için optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) analizlerden faydalanılmıştır (Şekil 6.6). SEM analizleri için ise FEI QUANTA 250 FEG marka SEM cihazı kullanılmıştır. SEM ile birlikte, kaplama tabakası ve ara bölgesinde oluşması muhtemel fazlar için EDS analizleri de yapılmıştır. Kaplama tabakasında oluşan fazları tespit etmek amacıyla X-ışını analizi yapılmıştır. X-ışını analizleri, Bruker D8 Advance XRD marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



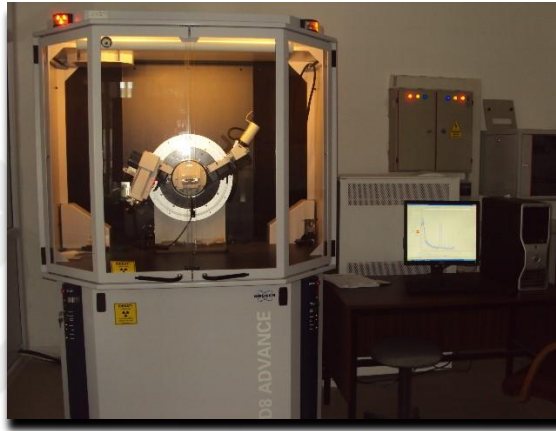
Şekil 6.5. Metalgrafik numune hazırlama cihazları



(a)



(b)

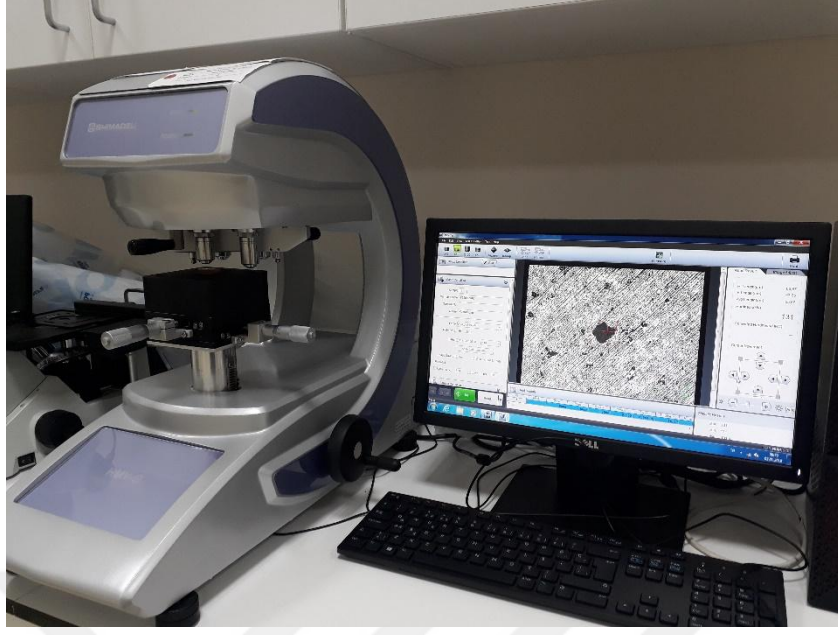


(c)

Şekil 6.6. (a) Olympus GX41 ters metal mikroskobu, (b) FEI QUANTA 250 FEG marka SEM cihazı ve (c) Bruker D8 Advance marka XRD cihazı

6.4. Sertlik Deneyi

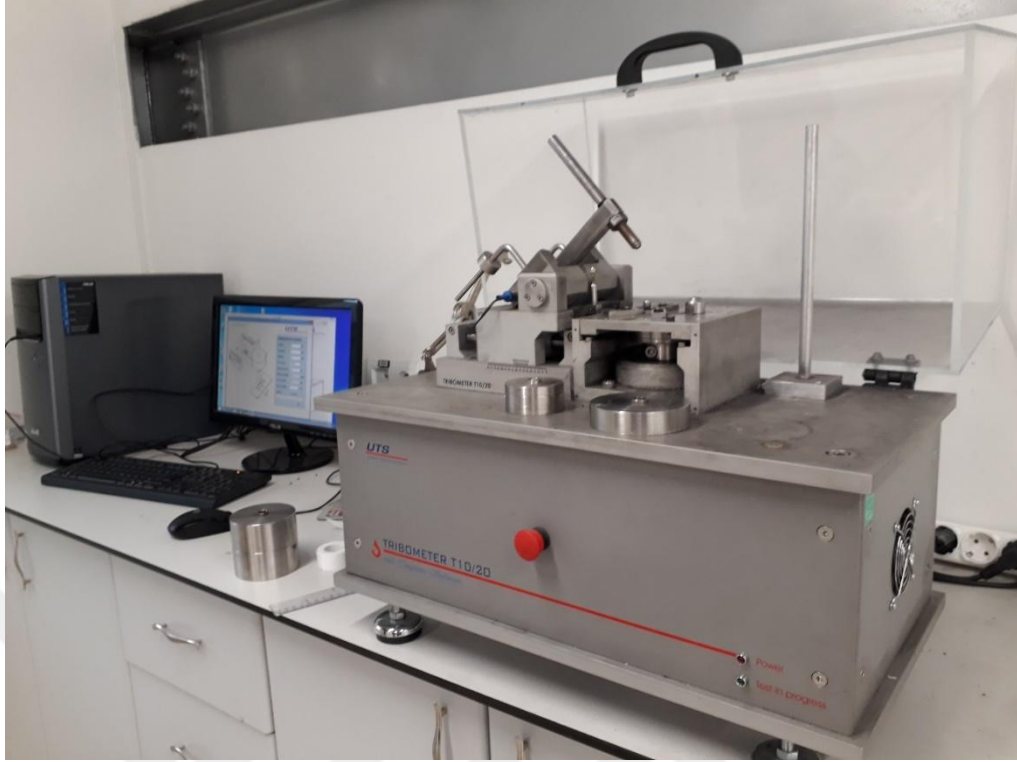
Sertlik ölçümü öncesi numune yüzeylerine zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır. Kaplamaların sertlikleri Shimadzu HMV-G21 model mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 6.7). Kaplamaların sertlikleri numunelerin üst yüzeyinden 200 gr yükte ve 15 sn sürede toplam 6 değer olarak alınmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 6.7. Shimadzu HVM-2 model mikrosertlik cihazı

6.5. Aşınma Deneyi

Aşınma testlerinde UTS Tribometer T10 test cihazı ile ASTM G133 standardına uygun olarak ileri geri aşınma testi kaplama tabakalarına uygulanmıştır. Testler 5N yükte, 350 metre kayma mesafesinde oda sıcaklığı şartlarında gerçekleştirilmiştir. Bilgi toplama oranı 3 Hz seçilmiştir. Aşındırıcı bilye olarak Al_2O_3 malzemeden üretilmiş çapı $\varnothing 6$ mm olan çelik küre bilyeler kullanılmıştır. Küre bilyeler her deney için değiştirilmiştir. Kimyasal bileşimi ve aşınma yüzeylerinin morfolojisi SEM-EDS analizleri ile incelenmiştir. Şekil 6.8’de aşınma deneylerinde kullanılan aşınma cihazı verilmiştir.

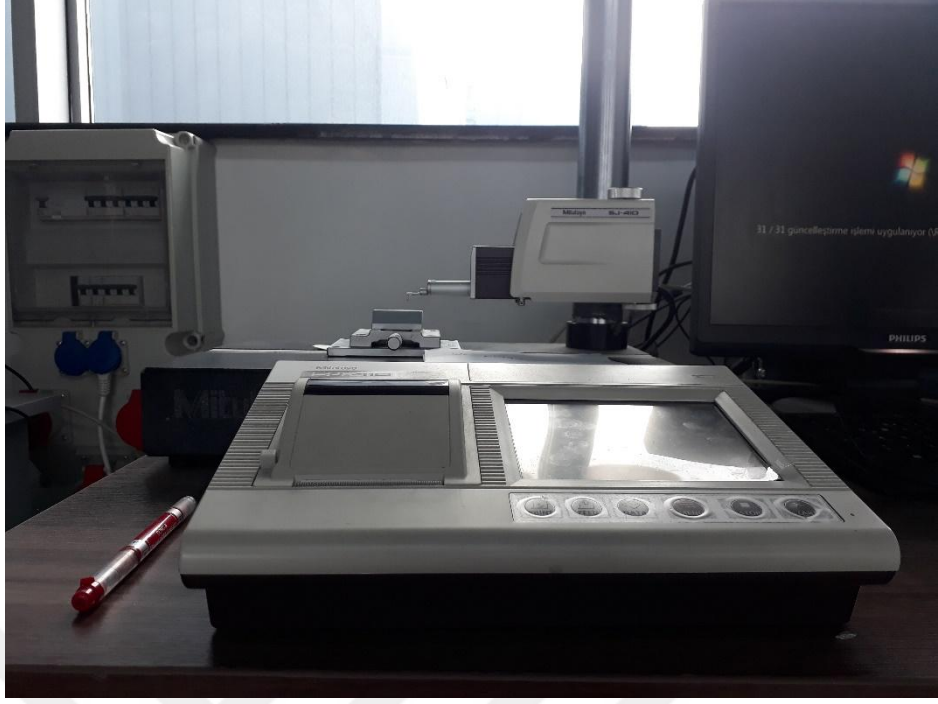


Şekil 6.8. Aşınma cihazı (UTS 10/20 Tribometer)

Yüzey profilometre cihazı ile aşınma yüzeylerinin profilleri belirlenmiştir. Şekil 6.9’te Yüzey profilometre cihazı gösterilmektedir. Aşınma profilleri kullanılarak yüzey alanı hesaplanmış ve kayma mesafesiyle çarpılıp aşınma hacimleri bulunmuştur. Hacimler hesaplandıktan sonra archard kanununa göre aşınma oranları hesaplanmıştır. Archard kanununa göre malzemenin sertliği doğrudan aşınma direncini etkilemektedir. Aşınma oranları Eşitlik 6.1’ e göre hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma oranı} = \frac{V}{WL} \quad (6.1)$$

Bu formulasyonda V hacimsel aşınma kaynının hacmini, W uygulanan yükü, L ise aşınma yolunu temsil etmektedir.



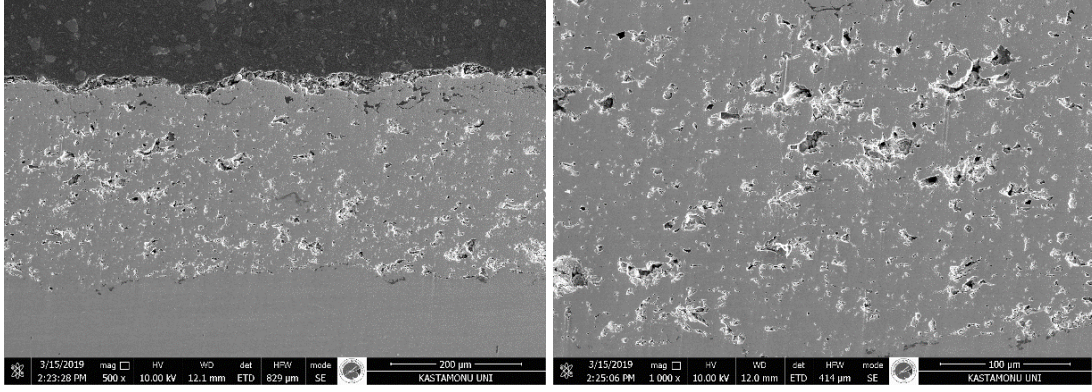
Şekil 6.9. Yüzey profilometre cihazı

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

7.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları

AISI 316L paslanmaz çelik üzerinde plazma sprey yöntemi üretilen ZrO_2 -% 8 Y_2O_3 seramik esaslı kaplamalara uygulanan ısıtma işlemi sonrası ve ısıtma işlemi yapılmamış mikroyapı fotoğrafları Fotoğraf 7.1-Fotoğraf 7.4'de görülmektedir. Fotoğraf 7.1'de ısıtma işlemi yapılmamış kaplama tabakasının, Fotoğraf 7.2'de 900 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış, Fotoğraf 7.3'de 1000 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış ve Fotoğraf 7.4'de 1100 °C'de ısıtma işlemi uygulanmış kaplama tabakalarının SEM fotoğrafları verilmiştir. Kaplamalar genel olarak, oksit kaplama tabakası, ara tabaka ve alt malzeme olarak üç bölgeden oluşmuştur. Kaplama tabakalarında, ısıtma püskürtme kaplamalarında çok iyi bilinen ve ergiyik haldeki metal damlacıkların alt malzemeye çarpıp, sürekli bir şekilde ısıtılmasıyla oluşan lamelli mikroyapı görülmektedir (Lee vd., 2000; Li vd., 2006). Lamelli yapı, ergiyik haldeki partiküllerin alt malzemeye çarpması, deformasyona uğraması ve katılaşması şeklinde meydana gelir (Heimann, 1996, Pawlowski, 2008). Kuroda ve Kobayashi (2004)'ye göre lameller alt malzemeye paralel olarak oluşur ve lamellerin orta kısmı kalın, uç kısımlara doğru ise kalınlık azalmaktadır.

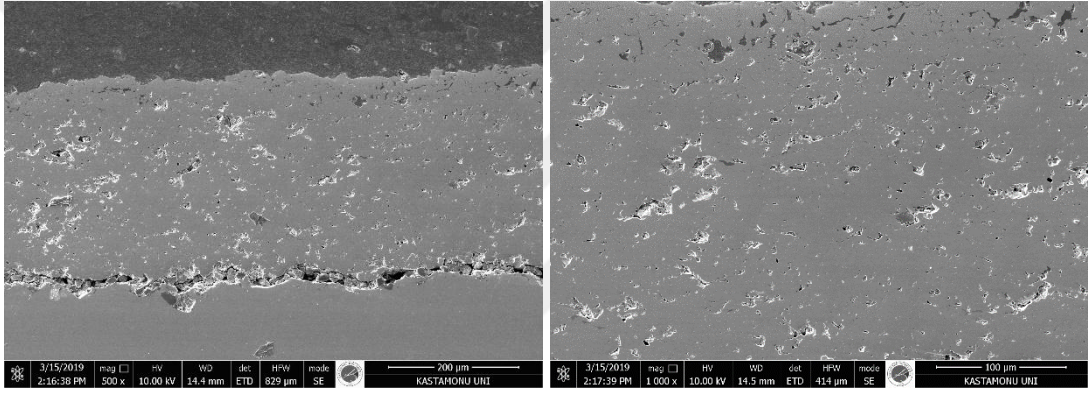
Kaplama tabakalarının tümünde gözenek oluşumu meydana gelmiştir. Kaplama fotoğraflarından ısıtma işlem sıcaklığının artmasıyla gözenek miktarının azaldığı açıkça görülmektedir. Bu sıcaklığın artmasıyla difüzyon yoluyla gözeneklerin kapanması şeklinde açıklanabilir. Isıtma işlemli ve ısıtma işlemi yapılmamış kaplamaların hiçbirisinde çatlak oluşumu meydana gelmemiştir. Matthews ve ark. (2012) plazma püskürtme yöntemiyle üretilen Al_2O_3 ve $Al_2O_3-WO_3$ kaplamaların özellikleri üzerine ısıtma işleminin etkisinin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada ısıtma işlem sıcaklığı arttıkça kaplama tabakasında çatlakların oluştuğunu rapor etmişlerdir. Tarafımızdan yapılan tez çalışmasında bu şekilde bir çatlak oluşumu meydana gelmemiştir. Bu çalışmamızın olumlu tarafını ortaya koymaktadır. Fakat ısıtma işlem sıcaklığının artmasıyla kaplama-alt tabaka ara yüzeyinde bağlanmanın kısmen zayıfladığı yine SEM fotoğraflarından görülmektedir. Bu zayıflama metal ile seramik arasında ısıtma uyumsuzluktan kaynaklanmaktadır.



(a)

(b)

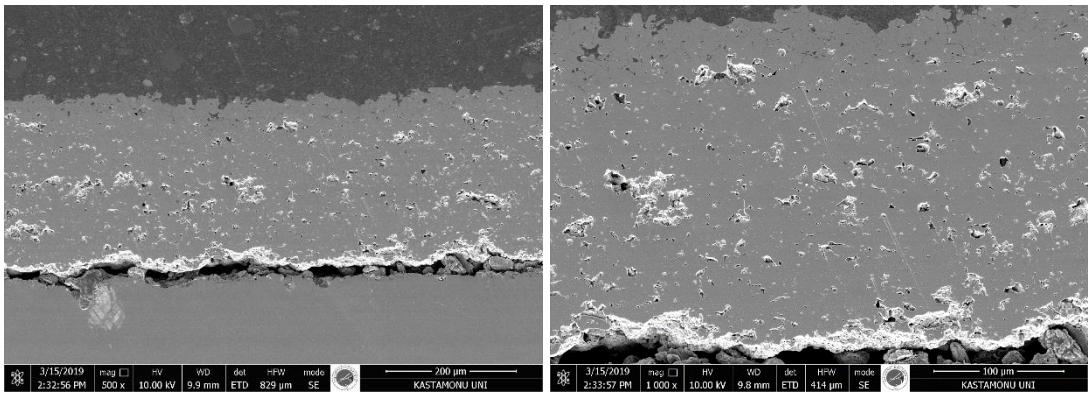
Fotoğraf 7.1. Isıl işlem uygulanmamış ZrO_2 -% 8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı: (a)Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b) Kaplama tabakası



(a)

(b)

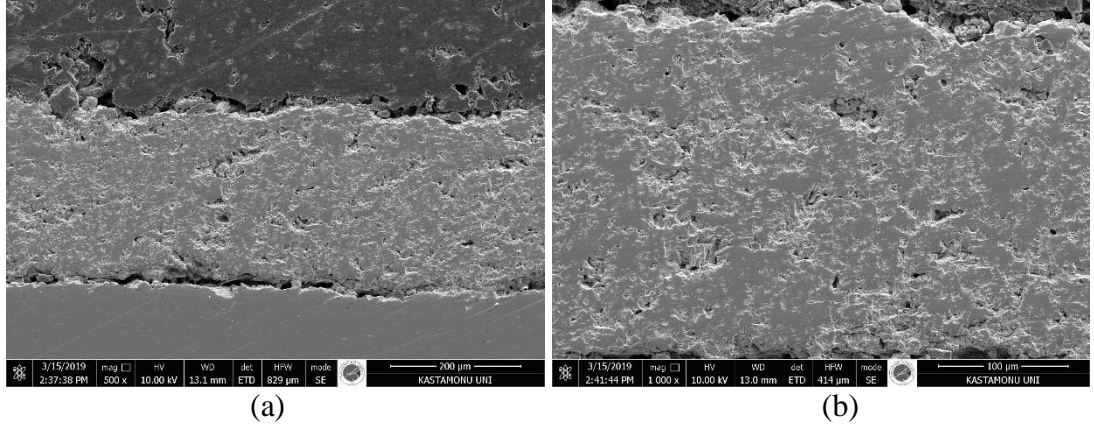
Fotoğraf 7.2.900°C'de ısıl işlem uygulanmış ZrO_2 -%8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı:(a)Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b)Kaplama tabakası



(a)

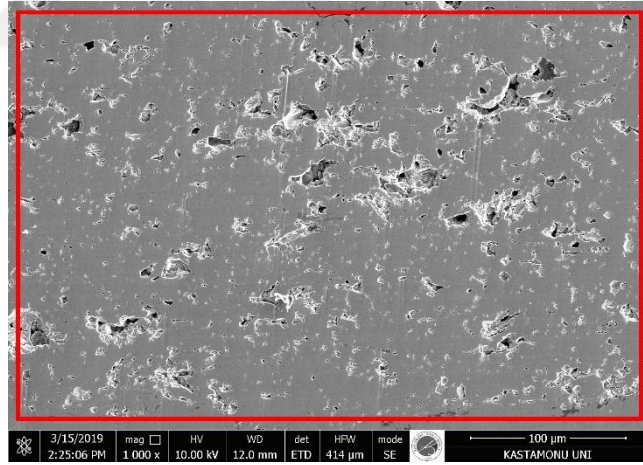
(b)

Fotoğraf 7.3. 1000°C'de ısıl işlem uygulanmış ZrO_2 -%8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı:(a)Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b)Kaplama tabakası



Fotoğraf 7.4. 1100°C’de ısıl işlem uygulanmış ZrO_2 -%8 Y_2O_3 kaplamasının SEM fotoğrafı:(a)Kaplama-alt tabaka genel görünüm ve (b)Kaplama tabakası

Şekil 7.1’de ısıl işlemsiz kaplamanın EDS analizi verilmiştir. Kaplama tabakasının EDS analizi ağırlıkça % 48,77 Zr, 5,91 Y ve son olarak 45,32 O’den oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu oranlar kısmen toz bileşimine yakındır. Bu durum, toz bileşiminin kaplama tabakası olarak başarılı bir şekilde üretildiğini göstermektedir.



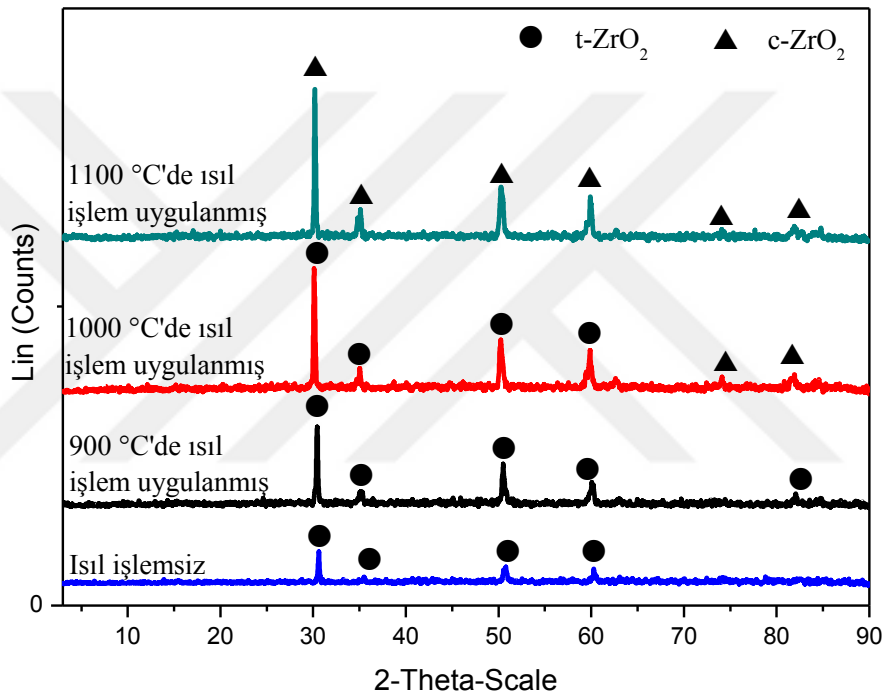
eZAF Smart Quant Results

Element	Weight %	Atomic %	Net Int.	Error %	Kratio	Z	R	A	F
OK	45.32	82.49	98.76	10.92	0.13	1.2	0.89	0.24	1
YL	5.91	1.94	25.05	8.87	0.05	0.83	1.11	1	1.02
ZrL	48.77	15.57	201.23	4.24	0.41	0.83	1.12	1.01	1.01

Şekil 7.1. Isıl işlemsiz kaplamanın EDS analizi

7.2 XRD Analizi Sonuçları

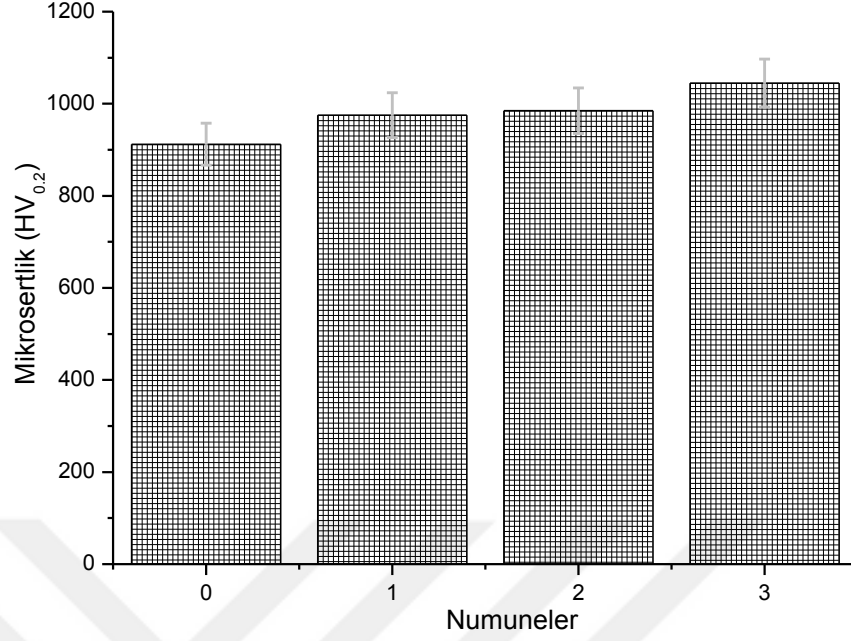
Grafik 7.1’de kaplamaların XRD analizleri verilmiştir. Isıl işlemsiz ve 900 °C’de ısıl işlemlili kaplamalarda sadece tetragonal zirkonyum oksit (t-ZrO₂) fazı oluşmuştur. 1000 °C’de ısıl işlemlili kaplamada hem t-ZrO₂ hem de kübik zirkonyum oksit (c-ZrO₂) fazları oluşmuştur. 1100 °C’de ısıl işlemlili kaplamada ise sadece c-ZrO₂ fazı oluşmuştur. Sıcaklığın artmasıyla nispeten kristalleştikleri ve pik şiddetlerinin arttığı görülmektedir.



Grafik 7.1. Isıl işlemlili ve ısıl işlemsiz ZrO₂-% 8 Y₂O₃ kaplamaların XRD analizi

7.3. Sertlik Deneyi Sonuçları

Grafik 7.2’de işlemsiz ve ısıl işlem uygulanmış kaplama tabakalarının sertlik grafiği verilmiştir. Her bir kaplama tabakasında altışar ölçüm alınmış olup, bu değerlerin ortalaması değerlendirmeye katılmıştır. İşlemsiz kaplamanın sertliği, 912 HV_{0.2} iken 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C’de ısıl işleme tabi tutulmuş kaplamaların sertlikleri sırasıyla 975 HV_{0.2}, 985 HV_{0.2} ve 1045 HV_{0.2} olarak ölçülmüştür. Kaplama sertliklerinin ısıl işlem sonrası arttığı açıktır.



Grafik 7.2 Kaplamaların mikrosertlik değerleri (0: İşlemsiz, 1 - 900 °C’de tavllanmış, 2 - 1000 °C’de tavllanmış ve 3 - 1100 °C’de tavllanmış)

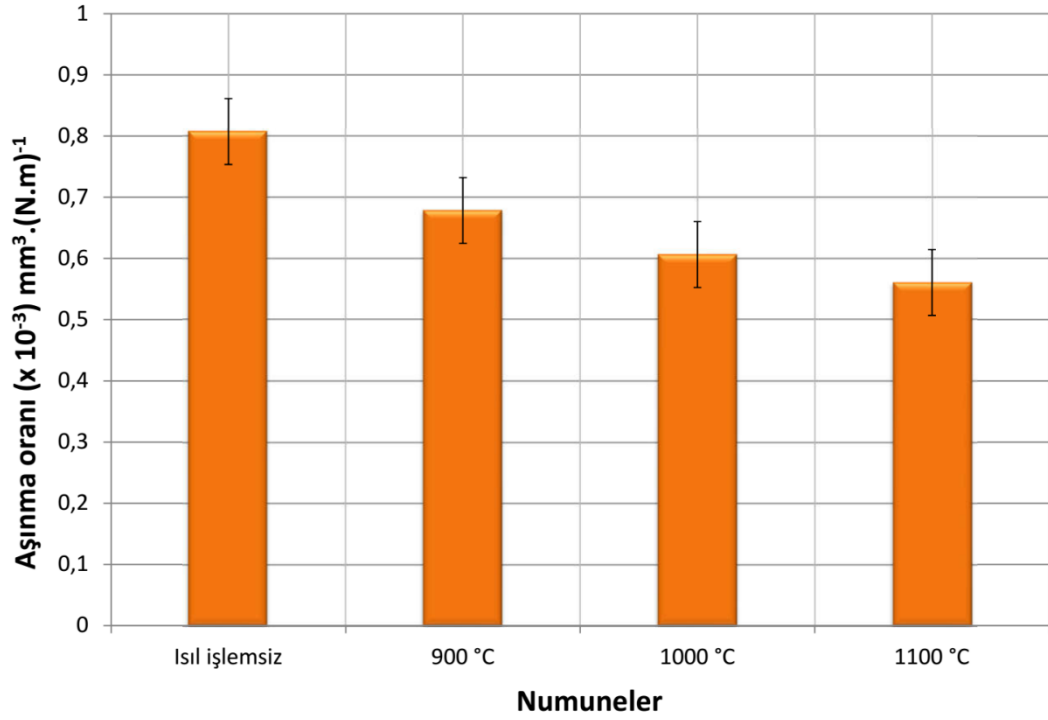
7.4. Aşınma Deneyi Sonuçları

Kaplama tabakaların aşınma davranışlarını belirlemek için yapılan aşınma testi sonrası elde edilen sürtünme katsayıları Tablo 7.1’de verilmiştir. Isıl işlemsiz, 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C ısıtılmış numunelerin sürtünme katsayıları sırasıyla 0.7525, 0.7435, 0.7205 ve 0.7005’dir. Isıl işlem sıcaklığı arttıkça sürtünme katsayılarının düştüğü görülmüştür. Bu, sıcaklığın artmasıyla daha yoğun bir yapının, yani gözeneksiz yapının elde edilmesiyle ilişkilendirilebilir.

Tablo 7.1. *Kaplama tabakalarının sürtünme katsayıları*

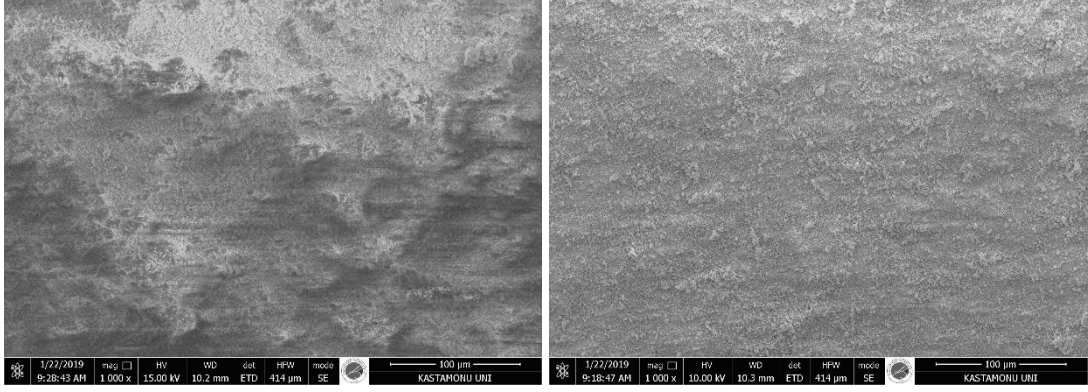
Numune	Sürtünme katsayısı
Isıl işlemsiz	0.7525
900 °C Isıl işlemlili kaplama	0.7435
1000 °C Isıl işlemlili kaplama	0.7205
1100 °C Isıl işlemlili kaplama	0.7005

Aşınma testi sonrası Archard Eşitliğine göre hesaplanan aşınma oranları Grafik 7.3'de verilmiştir. Kaplamaların aşınma oranları ısılsız işlem, 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C ısılsız işlem sıcaklıkları için sırasıyla $0.8074 \times 10^{-3} \text{ mm}^3 \cdot (\text{N}\cdot\text{m})^{-1}$, $0.6784 \times 10^{-3} \text{ mm}^3 \cdot (\text{N}\cdot\text{m})^{-1}$, $0.6064 \times 10^{-3} \text{ mm}^3 \cdot (\text{N}\cdot\text{m})^{-1}$ ve $0.5607 \times 10^{-3} \text{ mm}^3 \cdot (\text{N}\cdot\text{m})^{-1}$ 'dir. Isılsız işlem sıcaklığı arttıkça aşınma oranlarının düştüğü açıkça görülmektedir.



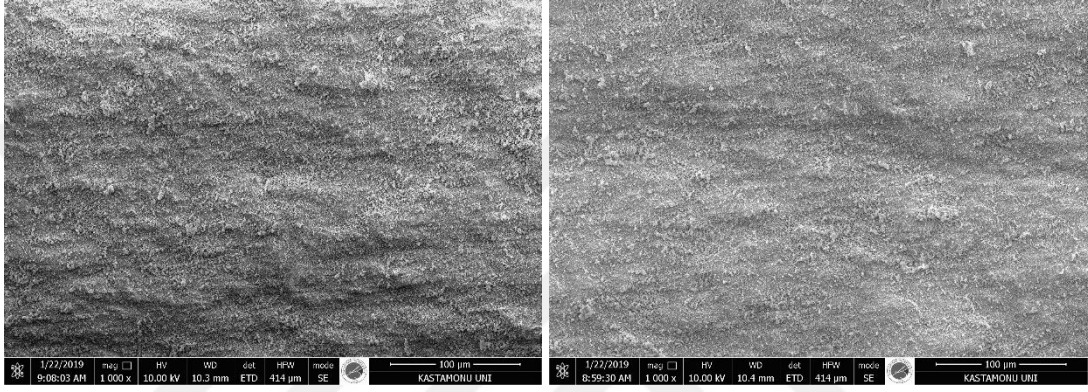
Grafik 7.3. Kaplamaların aşınma oranları

Fotoğraf 7.5'de 5N yük altındaki kaplama tabakalarının aşınmış yüzeylerinin morfolojileri görülmektedir. Kaplama tabakalarında adhesif aşınma türü gözlenmiştir. Tüm kaplamalarda aşınma sonrası malzeme ısılsız numunede daha fazla malzeme kaybı olurken, ısılsız işlem sıcaklığı arttıkça malzeme kaybının azaldığı görülmektedir.



(a)

(b)



(c)

(d)

Fotoğraf 7.5. Numunelerin aşınma yüzeylerin SEM fotoğrafları: (a) Isıl işlemsiz, (b) 900°C Isıl işlemlı kaplama, (c) 1000°C Isıl işlemlı kaplama ve (d) 1100°C Isıl işlemlı kaplama

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada AISI 316L paslanmaz çelik numuneler üzerine plazma püskürtme yöntemi ile ZrO_2 -% 8 Y_2O_3 kaplaması yapılmış ardından kaplama sonrası uygulanan ısıtıl işlem son yüzey işlemlerinin kaplamaya ve yüzey özelliklerine etkileri araştırılmış olup, aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

- ✓ SEM çalışmalarına göre, en fazla gözenek oluşumu ısıtıl işlemsiz numunede görülürken, ısıtıl işlem sıcaklığı arttıkça gözenek miktarının azaldığı açıkça görülmektedir. Fakat ısıtıl işlemin ara yüzey bağlanmasına olumsuz etki ettiği fotoğraflardan görülmektedir.
- ✓ XRD analizlerinden ise farklı kristal yapıya sahip ZrO_2 fazlarının oluştuğu ve sıcaklığın artmasıyla piklerin şiddetlerinde de artış olduğu görülmüştür.
- ✓ Sertlik sonuçlarına göre, işlemsiz kaplamanın sertliği, 912 $HV_{0.2}$ iken 900 °C, 1000 °C ve 1100 °C'de ısıtıl işleme tabi tutulmuş kaplamaların sertlikleri sırasıyla 975 $HV_{0.2}$, 985 $HV_{0.2}$ ve 1045 $HV_{0.2}$ olarak ölçülmüştür.
- ✓ ısıtıl işlemin aşınma davranışları üzerine etkisini belirlemek için ASTM G133 standardına göre yapılan aşınma testi sonuçlarına göre, sürtünme katsayısı ve aşınma oranları ısıtıl işlem sıcaklığının artmasıyla düşmüştür. Aşınmış yüzeylerin SEM fotoğraflarından da ısıtıl işlemsiz numunenin en fazla kayba uğradığı, ısıtıl işlem sıcaklığının artmasıyla kayıpların azaldığı tespit edilmiştir.

9. ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarının neticesinde şu öneriler yapılabilir:

- ✓ Kaplama ile alt tabaka arasına bağlayıcı tabaka kullanılarak ara yüzey mukavemeti artırılabilir.
- ✓ Farklı yüzey ergitme işlemleri kullanılarak incelenebilir.
- ✓ Korozyon testleri yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Afzal, M., Khan, N., A., Ben Mahmud, T., Khan, T.I. & Ajmal, M. (2015). Effect of laser melting on plasma sprayed WC-12wt% Co coatings. *Journal of Surface& Coatings Technology*, (266), 22-30.
- Aytaç, İ., (2014), Termal püskürtme yöntemi ile üretilmiş kompozit esashi kaplamalar ve karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi
- Brossa, F., Cigada, A., Chiesa, R., Paracchini, L. & Consonni, C. (1994). Post-deposition treatment effects on hydroxyapatite vacuum plasma spray coatings. *Journal of Material Science: Materials in Medicine*, (5), 855-857.
- Chraska, T., Pala, Z., Mus̄a'lek, R., Medr̄icky', J., and Vile'mova', M., (2014), Post-treatment of Plasma-Sprayed Amorphous Ceramic Coatings by Spark Plasma Sintering, *JTTEE5* 24:637–643
- Ersöz, E., (2011), Plazma püskürtme yöntemi kullanılarak yüzeye Al₂O₃-TiO₃ tozlarıyla kaplanan düşük karbonlu çeliğin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, 99s
- Fauchais, P.L., Heberlein, J., V., R., Boulos M., I., (2014) *Thermal Spray Fundamentals*, Springer.
- Guowei, W., Zehua, Z., Zehua, W., Jio, S., Han, L., & Yu, Y. (2016). Effect of Heat Treatment in Air on Bonding Strength and Micro-structure of Al₂O₃-13 wt% TiO₂/NiCrAl Coating Prepared by Air Plasma - spray Process. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, (52), 1064-1069.
- Ghadami, F., Heydarzadeh, M., & Ghadami, S. (2015). Effect of TIG surface melting on structure and wear properties of air plasma-sprayed WC-Co coatings. *Journal of Surface& Coatings Technology*, (261), 108-113.
- Ghadami, F., Heydarzadeh Sohi, S. & Ghadami, S. (2015). Effect of bond coat and post-heat treatment on the adhesion of air plasma sprayed WC-Co coatings. *Journal of Surface& Coatings Technology*, (261), 289-294
- Ge, Y., Wang, W., Wang, X., Cu, Z., Xu, B., (2013), Study on laser surface remelting of plasma sprayed Al-Si/1wt% nano- Si₃N₄ coating on AZ31B magnesium alloy, *Applied Surface Science*, 273, 122– 127
- Ghadami, F., Ghadami, S., Abdollah-Pour, H., (2013), Structural and oxidation behavior of atmospheric heat-treated plasma sprayed WCeCo coatings, *journal homepage: www.elsevier.com/locate/vacuum*, *Vacuum* 94, 64-68
- Heimann, R.B., (1996), *Plasma-spray coating*, VCH, New York.

- Hong, S., Wu, Y., Zhang, J., Zheng, Y., Zheng, Y., & Lin J., (2016), Synergistic effect of ultrasonic cavitation erosion and corrosion of WC- CoCr and FeCrSiBMn coatings prepared by HVOF spraying, *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 563-569
- Kahraman, N. (2000). Toz alev spreyleme yöntemi ile kaplanan numunelerde kaplama parametrelerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi
- Kuroda, T., Kobayashi, A., (2004), Adhesion characteristics of zirconia-alumina composite coatings by gas tunnel type plasma spraying, *Vacuum*73, 635-641
- Lee, C.H., Kim, H.K., Choi, H.S., Ahn, H.S., (2000), Phase transformation and bond coat oxidation behavior of plasma-sprayed zirconia thermal barrier coating, *Surface and Coatings Technology* 124, 1-12
- Li, B., Gao, Y., Jia, J., Han, M., Guo, H. & Wang, W. (2016). Influence of heat treatments on the microstructure as well as mechanical and tribological properties of NiCrAlY- Mo- Ag coatings. *Journal of Alloys and Compounds*, (686), 503-510.
- Li, C.J., Yang, G.J., Ohmori, A., (2006), Relationship between particle erosion and lamellar microstructure for plasma-sprayed alumina coatings, *Wear* 260, 1166-1172.
- Mateos, J., Cuetos, J.M., Fernandez, E. & Vijande, R. (1999). Tribological behaviour of plasma-sprayed WC coatings with and without laser remelting. *Journal of Wear*, (239), 274-281.
- Molak, R.M., Araki, H., Watanabe, M., Katanoda, H. & Ohno, N. (2016). Effects of Spray Parameters and Post-spray Heat Treatment on Microstructure and Mechanical Properties of Warm Sprayed Ti6Al4V coatings. *Thermal Spray Technology*, doi: 10.1007/s11666-016-0494-5
- Matthews, S., F. Taliana, and B. James. (2012) "Heat treatment of plasma-sprayed Al₂O₃ and Al₂O₃-WO₃ coatings between 500 and 1000 C." *Surface and Coatings Technology* 212: 109-118.
- Özdemir, C. (2010). Paslanmaz Çelikler ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul.
- Özel, S., (2009). Alüminyum alaşımı ve bronz yüzeyine oksit ve karbür bileşiklerinin plazma sprey yöntemiyle kaplanmasının araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi
- Pawlawski, L., (2008), The science and engineering of thermal spray coatings, John Wiley & Sons, Ltd., England.

Steffens, H.D., Wielage, B. & Drozak, J. (1990). Thermal Spraying of Composites- Manufacturing and Post Treatment. *Mikrochimica Acta*, (2), 81-89.

Sure, J., Shankar, A.R., Upadhyay, B.N. & Mudali, U.K. (2012). Microstructural characterization of plasma sprayed Al₂O₃ - 40%wt TiO₂ Coatings on high density graphite with different post- treatments. *Journal of Surface & Coatings Technology*, (206), 4741-4749.

Trice, R.W., Su, Y.J., Mawdsley, J.R., Faber, K.T., De Arellano-Lopez, A.R., Wang, H. & Porter, W.D. (2002). Effect of heat treatment on phase stability, microstructure, and thermal conductivity of plasma - sprayed YSZ. *Journal of Materials Science*, (37), 2359-2365.



ÖZGEÇMİŞ

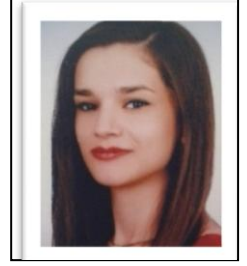
Adı Soyadı : Görkem DEĞİRMENCI

Doğum Yeri ve Yılı : Kastamonu, 1993

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : grkmdegirmenci@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Abdurrahman Paşa Lisesi, 2011

Lisans : Kocaeli Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği,
2016

Mesleki Deneyim

-Kastamonu Belediyesi Asfalt Plenti Laboratuvarı 04.2017 - 01.2018

-SFC Entegre Orman Ürünleri San.Tic.A.Ş.
Teknik Satınalma Uzmanı 04.2018 - (halen)