

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**WELDOX ÇELİĞİ YÜZEYİNDE HVOF İLE ÜRETİLEN
KAPLAMALARIN MİKROYAPI VE AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ebru ÖZORAK

Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi

Doç. Dr. Serkan ISLAK
Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ
Yrd. Doç. Dr. Elif AŞIKUZUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KASTAMONU – 2017

TEZ ONAYI

Ebru ÖZORAK tarafından hazırlanan "**Weldox Çeliği Yüzeyinde HVOF ile Üretilen Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması**" 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

Yrd. Doç. Dr. Elif AŞIKUZUN
Kastamonu Üniversitesi



24/05/2017

Enstitü Müdür V.

Prof. Dr. Temel SARIYILDIZ



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.



İmza

Ebru ÖZORAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

WELDOX ÇELİĞİ YÜZEYİNDE HVOF İLE ÜRETİLEN KAPLAMALARIN MİKROYAPI VE AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ebru ÖZORAK

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serkan ISLAK

Bu tez çalışmasında, Weldoks 700 çeliğinin yüzey özelliklerinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. Yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) sprey yöntemi kullanılarak üç farklı kaplama tozu Weldoks 700 çeliği yüzeyine kaplanmıştır. Kaplama tozu olarak Diamalloy 2001, Sulzer Metco 5810 ve Diamalloy 4454 kodlu ticari tozlar kullanılmıştır. Kullanılan tozlar, sırasıyla NiCrBSi, WCCo ve CoNiCrAlY içeriğe sahip tozlardır. Kaplama parametreleri olarak sabit parametreler kullanılmıştır.

Üretilen kaplamaların, mikroyapı, sertlik ve aşınma özellikleri detaylı olarak incelenmiştir. Kaplamaların mikroyapı ve faz bileşimi, optik mikroskop (OM), taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışın difraktogramı (XRD), enerji dağılımlı spektrogram (EDS) ile incelenmiştir. Sertlik ölçümü, kaplamaların sadece üst yüzeylerinden alt mikrosertlik cihazıyla yapılmıştır. Alt tabakanın ve kaplama tabakasının aşınma testleri pin-on-disk yöntemi ile farklı yükler altında yapılmıştır. Aşınma testleri esnasında sıcaklık değişimi termal kamera vasıtasıyla belirlenmiştir.

HVOF ile Weldoks 700 çeliği yüzeyinde NiCrBSi, WCCo ve CoNiCrAlY esaslı kaplamalar başarıyla üretilmiştir. SEM ve optik fotoğrafları kaplamaların genel olarak homojen bir yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, üretilmiş kaplamaların birbirine göre paralel konumlanmış lamelli yapılara sahip olduğu görülmektedir. Mikroyapıda ikili ve üçlü karbür ve sert fazların olduğu XRD analizi ile tespit edilmiştir.

Kaplamaların ortalama sertlik değerleri sırasıyla 285 HV_{0.5} ile 740 HV_{0.5} aralığında değişmiştir. Alt tabakaya (265 HV_{0.5}) oranla, kaplamaların sertliğinde 2.8 katlık bir artış olmuştur. Bu sertlik artışı kaplama tabakasında oluşan sert metalografik fazlarla ilişkilendirilmiştir. Aşınma testlerine göre, kaplamalı numunelerin, alt tabakaya kıyasla daha iyi bir tribolojik performans gösterdiği belirlenmiştir. En düşük sürtünme

katsayısı uygulanan yüke bağılı olarak (10N-15N-20N), 0.315-0.414 ile WCCo kaplamalarında elde edilmiştir. Bu kaplamanın aşınma oranı $\sim 2,05 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N/m}$ ile $\sim 3,22 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N/m}$ aralığındadır. Kaplamaların sürtünme katsayıları ve aşınma oranları, uygulanan yükün artmasıyla artmıştır. Bu durum, yükün artmasıyla, aşınan ve aşındırıcı arasında daha fazla temas alanının olması ve termal kamerayla tespit edilen bölgesel düşük sıcaklık artışlarının olmasıyla ilişkilendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: weldox çeliği, HVOF, yüzey kaplama, mikroyapı, aşınma
2017, 67 sayfa
Bilim Kodu: 91



ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF MICROSTRUCTURE AND WEAR PROPERTIES OF THE COATINGS PRODUCED BY HVOF IN WELDOX STEEL SURFACE

Ebru ÖZORAK

Kastamonu University

Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Materials Science and Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan ISLAK

Abstract: In this thesis study, it is aimed to improve the surface properties of Weldoks 700 steel. Three different coatings were coated on the Weldoks 700 steel surface using high speed oxyfuel (HVOF) spray method. The coating powder used was Diamalloy 2001, Sulzer Metco 5810 and Diamalloy 4454 commercial powders. The powders used contain NiCrBSi, WCCo and CoNiCrAlY, respectively. Constant parameters are used as overlay parameters.

Microstructure, hardness and wear properties of the produced coatings have been examined in detail. Microstructure and phase composition of coatings were investigated by optical microscope (OM), scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffractogram (XRD), energy dispersive spectroscopy (EDS). Hardness measurements were made only on the upper surfaces of the coatings using a microhardness equipment. Wear tests of the substrate and coating layer were carried out under different loads by pin-on-disc method. During the wear tests the temperature change was determined by means of the thermal camera.

NiCrBSi, WCCo and CoNiCrAlY based coatings have been successfully produced on the Weldoks 700 steel surface with HVOF. SEM and optical photographs show that coatings have a generally homogeneous structure. It is also seen that the manufactured coatings have a lamellar structure positioned parallel to each other. Microstructure was determined by XRD analysis of double and triple carbides and hard phases.

The mean hardness values of the coatings varied from 285 HV_{0.5} to 740 HV_{0.5}, respectively. There was a 2.8 times increase in hardness of the coatings to the lower layer (265 HV_{0.5}). This increase in hardness is related to the hard-metallographic phases occurring in the coating layer. According to the wear tests, it was determined that the coated samples had better tribological performance than the lower layer. The lowest coefficient of friction was obtained in WCCo coatings with a loading of 0.315-0.414 (10N-15N-20N), depending on the applied load. The wear rate of this coating is

in the range of $\sim 2.05 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N/m}$ to $\sim 3.22 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N/m}$. Coefficient of friction and wear rates of coatings increased with increasing applied load. This has been associated with increased load, increased contact area between the wearing part and abrasive ball, and local low temperature increases detected with the thermal camera.

Key Words: weldox steel, HVOF, surface coating, microstructure, wear
2017, 67 pages
Science Code: 91



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması esnasında, bana her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen; başta danışman hocam Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Nanoteknoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç.Dr. Serkan ISLAK'a teşekkürlerimi arz etmeyi bir borç bilirim. Kaplamaların üretim aşamasında kaplama cihazlarını ve laboratuvar imkânlarını kullandığım ve bilgi ve birikimlerini esirgemeyen Plazma Teknik Sert Metal Ve Seramik Kaplama A.Ş. işletme sorumlusu Sayın Özgür ARSLAN beye ve çalışanlarına, aşınma testlerinde yardımlarını esirgemeyen Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Vahdettin KOÇ'a çok teşekkür ederim.

Akademik hayatıma özveri ile katkı sağlayan ve her zaman yanımda olan değerli eşim Arş. Gör. Cihan ÖZORAK ve canım oğluma şükranlarımı sunarım.

Ebru ÖZORAK

Kastamonu, Mayıs, 2017

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEZ ONAYI.....	ii
TAAHHÜTNAME.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xiii
GRAFİKLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ	2
2.1. Buhar Fazı Yöntemleri.....	3
2.1.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD).....	4
2.1.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD)	5
2.2. Sol-Jel Yöntemi	6
2.2.1. Dip Kaplama Yöntemi.....	7
2.3. Elektrolitik Kaplama Yöntemleri.....	8
2.4. Ergitme Yöntemleri	10
2.4.1. Termal sprej (Isıl püskürtme) yöntemleri.....	10
2.4.1.1 Alevle püskürtme yöntemi	13
2.4.1.2 Plazma- jeti ile püskürtme yöntemi	15
2.4.1.3 Patlatmalı püskürtme yöntemi (D-Gun).....	16
2.4.1.4 Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi	17
2.4.1.5 Yüksek hızlı oksî-yakıt (HVOF) püskürtme yöntemi.....	18
2.4.1.5.1. HVOF Püskürtme Yönteminin Avantaj ve Faydaları.....	21
2.4.2. Kaynak.....	23
3. ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİNİN GELİŞİMİ VE ESASI	25

4. ISIL PÜSKÜRTME KAPLAMALARDA BAĞLANMA	27
4.1. Bağlanma Mekanizması.....	27
4.2. Bağ (Ara) Tabakanın Kullanılması.....	28
4.3. Bağ Dayancını Etkileyen Faktörler.....	28
5. TERMAL SPREY KAPLAMALARIN UYGULAMA ALANLARI.....	31
6. WELDOX ÇELİKLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ	32
6.1. Weldox 700 Çeliği	35
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	36
7.1. Deneysel Yöntem.....	36
7.2. Numunelerin Hazırlanması	36
7.3. Mikroyapı İncelemesi	38
7.4. Sertlik Deneyi	38
7.5. Aşınma Deneyi	38
8. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
8.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	40
8.2 XRD Analizi Sonuçları	43
8.2. Sertlik Deneyi Sonuçları.....	44
8.3 Aşınma Deneyi Sonuçları	45
9. SONUÇLAR	57
10. ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	67

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DATEC	Sol-Jel Kompozit Kaplama
HVOF	Yüksek Hızlı Oksi-Yakıt
İnc	İnç
MPa	Megapaskal
µm	Mikrometre
mm	Milimetre
N	Newton
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
sn	Saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Değişik yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları	2
Şekil 2.2. Sol-Jel İle Dip Kaplama.....	8
Şekil 2.3. Termal spreycaplama yönteminin şematik olarak gösterimi	11
Şekil 2.4. Termal spreycaplama yönteminde kullanılan kaplama malzemeleri.	12
Şekil 2.5. Termal spreycaplama tabakası oluşumu	12
Şekil 2.6. Alevle tozpüskürtme işleminin şematik görünümü	14
Şekil 2.7. Tel veya çubuk ile gerçekleştirilen alevle püskürtme sisteminin şematik görünüşü.....	15
Şekil 2.8. Plazma püskürtme işleminin şematik olarak gösterilişi.....	16
Şekil 2.9. Patlamalı püskürtme sisteminin şematik görünüşü.....	17
Şekil 2.10. Elektrik ark püskürtme işleminin şematik görünümü.....	18
Şekil 2.11. HVOF püskürtme tabancasıyla kaplama işleminin şematik gösterilişi	19
Şekil 4.1. Püskürtme işlemi sırasında oluşan iç gerilmenin şematik görünümü.	30
Şekil 6.1. Weldox 460 E, Weldox 700 E ve Weldox 900 E için oda sıcaklığında ve yarı-statik şartlar altında mühendislik ve gerçek gerilme-uzama eğrileri	32
Şekil 7.1. HVOF kaplama işleminin prensip şeması.....	37
Şekil 8.1. KO kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü.	49
Şekil 8.2. KO kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri	50
Şekil 8.3. K1 kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü..	51
Şekil 8.4. K1 kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri	52
Şekil 8.5. K2 kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü..	53
Şekil 8.6. K2 kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri	54
Şekil 8.7. K3 kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü..	55
Şekil 8.8. K3 kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri	56

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	Sayfa
Fotoğraf 2.1. HVOF ile WC-Co kaplama	19
Fotoğraf 6.1. Üç çelik alaşımının orijinal mikro yapıları.....	33
Fotoğraf 7.1. Aşınma cihazı (UTS 10/20 Tribometer).....	39
Fotoğraf 8.1. İşlemsiz Weldom 700 çeliği ve HVOF kaplama yapılmış numuneler	40
Fotoğraf 8.2. Alt malzeme ve Kaplama tabakalarının SEM Görüntüleri	41
Fotoğraf 8.3. Weldom 700 çeliği ve kaplama tabakalarının EDS analizleri.....	42
Fotoğraf 8.4. Alt tabaka(K0) ve kaplama tabakalarının (K1, K2, K3) aşınmış yüzeylerinin morfolojileri	45

GRAFİKLER DİZİNİ

	Sayfa
Grafik 8.1. Alt malzeme ve yapılan kaplamaların XRD grafikleri	43
Grafik 8.2. Alt malzeme ve kaplamaların mikrosertlik değerleri	44
Grafik 8.3. Her bir numunenin sürtünme katsayısı ve aşınma oranları	47



TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Çeşitli kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri	20
Tablo 2.2. HVOF yönteminin uygulandığı çeşitli endüstri kolları ve uygulamaları.....	21
Tablo 6.1. Weldom 460 E, Weldom 700 E ve Weldom 900 E' nin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %).....	33
Tablo 7.1. İşlemsiz Weldom 700 çeliği ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimleri.....	36
Tablo 7.2. Püskürtme parametreleri	37
Tablo 8.1. 20 N yüke maruz kalan numunelerin aşınan yüzeylerinin genel EDS analizi (% ağı.)	46

1. GİRİŞ

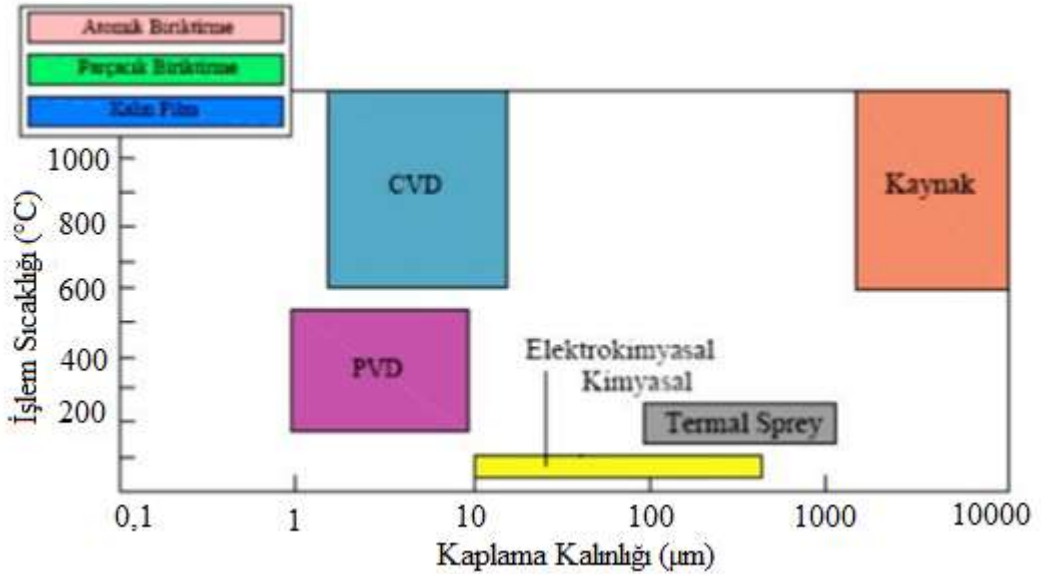
Gelişen teknolojiyle birlikte günümüz teknolojisinin ihtiyaç duyduğu malzemelerin üretimine olanak veren Malzeme Bilimi ve Mühendisliği aynı zamanda teknolojik alanlarda da yeniliklerin başlamasına yardımcı olmaktadır. Endüstride kullanılacak malzemeler kullanılacağı ortama ve koşullara göre bazı yüzey özelliklerine sahip olmalıdır (Özel, Turhan ve Sarsılmaz, 2008). Günümüz endüstrisinde korozyon ve aşınma gibi etkilere karşı yüzeylerin korunmasında kaplama yöntemleri geniş kullanıma sahiptir (Mishra, Chandra, Prakash ve Venkataraman, 2005; Yilbas ve Arif, 2007). Kaplama yöntemlerinden termal sprej yöntemleri aşınmanın neden olduğu zararları yok etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde termal sprej yöntemleri olarak elektrik arkı, patlatmalı, alevle, plazma jeti ile ve HVOF (Yüksek hızlı oksijen-yakıt) sprej olarak adlandırılan teknikler kullanılmaktadır. Bahsedilen termal sprej yöntemlerinin her birinde ulaşılan sıcaklık ile ergitilen kaplama malzemelerinin farklılık gösterdiğinden her bir yöntem farklı alanlarda aşınmanın neden olduğu kayıpları önlemede kullanılmaktadır (Islak, 2005). Termal sprej yöntemi, genellikle bakım ve aşınmaya karşı olan direncin artırılması amacıyla kullanılmaktadır. Termal sprej yöntemi biyomedikal alanda, otomotiv endüstrisinde ve genel bakım endüstrilerinde yaygın bir şekilde kullanım alanına sahiptir. Termal sprej yöntemleri ile aşınmaya karşı dayanıklı kaplamaların üretilmesinde oldukça tasarruf elde edilmektedir (Charles, 1994). Termal sprej yöntemlerinden Yüksek hızlı oksijen-yakıt ile plazma püskürtme teknikleri; aşınmaya uğramış makine parçalarının tekrar kullanımı için geri kazanılması ve bu parçaların yüzey özelliklerinin geliştirilip iyileştirilmesi amacıyla çoğu alanda kullanılmaktadır. Yüksek hızlı oksijen yakıt ve plazma püskürtme teknikleri oldukça iyi kalitede kaplamanın kullanılacağı uygulamalarda öncelikle tercih edilmektedirler (Kaya, 2007).

Bu tez çalışmasında, Weldox 700 çeliğinin yüzeyine HVOF yöntemi ile çeşitli kaplamalar yapılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Weldox 700 çeliği yüzeyine yapılacak kaplamalar ile çeliğin aşınma özelliklerinin iyileştirilip, aşınma kayıplarının en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

2. YÜZEY KAPLAMA YÖNTEMLERİ

Gelişen teknolojiyle birlikte günümüz teknolojisinin ihtiyaç duyduğu malzemelerin üretimine olanak veren Malzeme Bilimi ve Mühendisliği aynı zamanda teknolojik alanlarda da yeniliklerin başlamasına yardımcı olmaktadır. Endüstride kullanılacak malzemeler yapılarında yüzey özelliklerinin bazılarını içermelidir (Özel vd., 2008). Yüzey sertleştirme teknikleri denilen bilim dallarıyla mühendislik arasındaki bütünlük, kaplamalar ve yüzey işlemleri olarak bilinmektedir. Malzemelerin fiziksel özelliklerinin yanı sıra yorulma dayanımı, korozyon ve aşınma özellikleri ve bunların oluşturduğu özellikleri geliştirme ve iyileştirmede kullanılabilecek olan yöntemler yüzey mühendisliği yöntemleridir (Bloyce, 1995).

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte malzemelerde istenilen özellikler çeşitlilik kazanmış olup, kaplama yöntemleri ile istenilen özelliklerin bazıları elde edilebilmekte ve uygulanması ekonomik olmaktadır (Şekil 2.1) (Şafak, 2008).



Şekil 2.1. Değişik yüzey kaplama yöntemlerinin uygulama kalınlıkları

Malzemelerin yüzeylerini aşınma, korozyon gibi olaylara karşı korumanın yanı sıra malzemelerin çeşitli özelliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için ergitme yöntemleri, buhar biriktirme, elektrolitik kaplama ve sol-jel prosesi gibi yöntemlerle yüzey

kaplama işlemi yapılmaktadır. Kullanılmakta olan farklı yüzey değişim işlemlerinin malzeme özelliklerini iyileştirme ve geliştirmede verimli olamamasından ötürü bu yöntemlere gereksinim duyulmaktadır. Günümüzde yüzey mühendisliği alanında bahsedilen bu yöntemlerin kullanılmasıyla araştırmalar yoğunlaşmıştır. Bu yöntemler ise;

- a. Buhar Fazı Yöntemleri,
- b. Sol-Jel Yöntemi,
- c. Kaplama ve Anotlama Yöntemleri (Elektrolitik Kaplama),
- d. Ergitme Yöntemleri olarak dört başlık altında incelenmektedir (Islak, 2005).

2.1. Buhar Fazı Yöntemleri

Günümüzde kaplamalarda kullanılmakta olan malzemelerin çeşitliliğindeki büyük artış, buhar fazından çökeltme işlemiyle geliştirilen kaplama yöntemleri sayesinde meydana gelmiştir. Sıvı ve buhar fazından üretilmiş olan katı malzemelerin özellikleri, sıvı fazdan üretilmiş aynı malzeme özelliklerinden oldukça geniş aralıkta değişikliğe uğratılabilmektedir. Buhar fazında biriktirme yöntemiyle denge dışı özelliklerde malzemeler üretilebilirken, ergitme yöntemleriyle denge özelliklerine yakın özelliklerde katı malzemelerin üretimi mevcut olmaktadır. Buhar fazından kaplama yöntemiyle gerçekleştirilen kaplamaların, kaplaması yapılacak olan ana malzeme özelliği ile direk olarak ilgili olmadığından dolayı kullanım alanı oldukça geniştir. Bu yüzden bu kaplama yöntemleri endüstriyel uygulamalarda önemli bir şekilde yer almaktadırlar (Bunshah, 1982).

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda kaplamaların yüksek sıcaklıkta (1000 °C) yapılmasıyla alt malzemede deformasyon oluşması kimyasal buhar biriktirme (CVD) yönteminin en önemli dezavantajı olarak bilinmektedir. CVD yönteminin bu olumsuz yönü 350-500 °C arasındaki sıcaklıklarda aynı kalınlık ve özellik gösteren kaplamaları sunabilen fiziksel buhar biriktirme (PVD) yönteminin gelişmesinde etkili olmuştur (Bunshah, 1982).

Vakum yöntemi kullanılarak buhar ile çöktürülebilen kaplamalar PVD ve CVD yöntemiyle üretilen kaplamalardır. Yöntemlerin uygulanması esnasında kaplama malzemelerinin üretilmesi PVD ve CVD yöntemlerinin en önemli özelliğidir. CVD ve PVD yöntemleri alt malzemenin yüzeyinde oldukça sert bir kaplama tabakası oluşturulmasında kullanılmaktadır (Habig, 1986).

2.1.1. Fiziksel buhar biriktirme (PVD)

Bu tekniğin esas katı bir kaynağın vakum altında buharlaştırılması ya da atomal hale dönüştürülmesiyle yüzeyden atom koparılmasının ardından kaplaması yapılacak olan alt malzemenin yüzeyinde iyonik ya da atomal bir şekilde biriktirilmesi (Türküz, 1997; Akkaş, 1998; Şafak, 2008).

Sıçratma tekniği fiziksel buhar biriktirme tekniklerinin en önemli yöntemi olup, kaplaması yapılacak yüzeye, kaynaktan çıkan hızlandırılmış olan gaz iyonlarının yüksek voltajla bombardımanı sonucunda gerçekleşir. Atomların kaynaktan dışarı çıkması gelen iyonlar ve kaynak arasında gerçekleşen momentum transferiyle olur. Bu partiküllerin kaplanacak yüzeyde birikebilmesi için vakum çemberinden geçmesi gerekmektedir. İlk fiziksel buhar biriktirme yönteminde kaplama tabakasını oluşturmak için malzeme transferi buharlaştırma yöntemiyle gerçekleşir (Teber, 2015).

Günümüzdeki gelişmelerle PVD tekniklerinin çeşitliliği gün geçtikçe artmaktadır. Buharlaştırma ve sıçratma yöntemleriyle buhar bulutu elde edilmektedir. Buharlaştırma ve sıçratma yöntemlerinin dışında başka fiziksel buhar biriktirme yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlisi iyon kaplama yöntemi olup, bu yöntemde atomların iyonize edilmesi ve kaplanan alt malzemeye negatif bir potansiyel uygulanmaktadır (Alpdoruk, 1996; Türküz, 1997; Öncel, 1999; Türküz, 2006; Çalışkan, 2008).

Fiziksel buhar biriktirme yöntemi ile çoğu metal, seramik, alaşım ve bazı polimerik malzemeler ile bunların karışımlarının prosese uygun her malzemenin üretilen alt malzemelere kaplaması yapılabilir (Akkaş, 1998).

Fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinin buharlaştırma ve sıçratma olmak üzere iki mekanizma ile gerçekleştiği bilinmektedir. Bu yöntemlerin her birinin isimlerinin başına reaktif gazın sistemde olması durumunda ‘reaktif’ reaktif gazın bulunmaması halinde ise ‘direk’ ifadesi getirilerek adlandırma yapılır. Direk kaplama yönteminde vakum ortamında seçilen bir yöntem ile kaplama malzemesi buharlaştırılır ve alt malzeme yüzeyinde buharlaştırılmış atom ya da moleküllerin biriktirilmesiyle kaplama gerçekleştirilir. Direk kaplama yöntemiyle daha çok metal kaplamaları yapılmaktadır (Çalışkan, 2008).

2.1.2. Kimyasal buhar biriktirme (CVD)

Kimyasal buhar biriktirme, birçok kimyasal uygulamalardan geçirilen buhar fazındaki kaplama malzemesinin ön ısıtılmalı levha üzerinde biriktirilmesi olarak adlandırılabilir. Çoğunlukla gaz fazında gerçekleşen kimyasal reaksiyonların katı halde bulunan ürünlerinin alt malzeme üzerine biriktirilmesi kimyasal buhar biriktirme yönteminin temelini oluşturmaktadır (Çalışkan, 2008). Bu yöntemle özel niteliklere sahip çok ince ve çok sert tabakalar malzeme yüzeyinde oluşturulur (Okay, 2006).

Endüstriyel alanda uygulaması eski tarihlere dayanan yöntem CVD yöntemidir. 1969 yılında CVD yönteminin ilk uygulanması yapılmış olup, sinterleme işlemine tabi tutulmuş karbür takım ucuna kalınlığı 5µm TiC’ in kaplanmasıyla gerçekleştirilmiştir (Teber, 2015).

Kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile ilgili 1950’li yıllara kadar üretim gerçekleştirilmemiştir. Bu yöntemle ilgili ABD’de ilk çalışma Batelle Memorial Enstitüsü’nde yapılmış olup, farklı özelliklerdeki metal, nitrür, oksit, borür ve karpit malzemelerinin yüzeylerine kaplama işlemi gerçekleştirilerek kullanılabildiklerini ortaya koymuştur (Sert ve Karamış, 1993).

Kimyasal buhar biriktirme yönteminde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sırasında işlem kontrolü gerekmektedir, bu yöntem ile amorf, tek ve çok kristalli yapıların eldesi mümkündür (Dearnley, 1987). CVD yönteminde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar ile alt malzemeye yapılacak kaplamanın tabaka kalınlığının (5 – 15 µm) istenilen boyutta olması için 1000°C civarındaki sıcaklıklarda 5-6 saatlik çalışma

süresi gerekmektedir. Kimyasal buhar biriktirme yöntemi ile ilgili 1950'lerden sonra yapılan çalışmalarda bu metodun optik, elektriksel ve metalürjik uygulamalar için kullanılabilirliğini ortaya çıkarmıştır (Islak, 2005).

CVD yöntemi ile fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden oldukça az maliyetle 6.4 mm kalınlığa kadar olan filmleri kaplama imkanı olup, kesme takımları ile yarı iletken uygulamalarında kendini kabul ettirmiş bir metottur (Çalışkan, 2008). Bu yöntemin sağlamış olduğu yapışma özelliğine gerekli olan yüksek sıcaklık, kaplaması yapılacak malzemenin cinsini özel alaşımlar, seramikler ve refrakter malzemeler olarak sınırlandırmıştır (Çalışkan, 2008).

Kimyasal buhar biriktirme yönteminde parçanın kaplanması esnasında 800-1000°C gibi yüksek sıcaklıklara ısıtılması bu yöntemin en önemli dezavantajıdır. Alt malzeme ile kaplama tabakası arasında adezyon bağı yüksek sıcaklık ile sağlanmaktadır, fakat bu yüksek sıcaklık ısıtma işlemi tabi tutulmuş ve hassas bir şekilde işlenmiş malzemeler için ölçülerin değişiklik göstermesine ve sertlik kayıplarına yol açacağından kimyasal buhar biriktirme yöntemi bu tip malzemelerde uygulanmamalıdır (Teber, 2015).

2.2. Sol-Jel Yöntemi

Günümüzde yüksek kalitede seramik ve cam imalatında kullanılan önemli teknik sol-jel yöntemidir. Bu tekniğin avantajları arasında, karmaşık yapıya sahip malzemelerin kaplanma işleminde sağladığı kolaylık, işlem maliyetinin düşürülmesi ve düşük işlem sıcaklığı yer almaktadır (Islak, 2005).

Sahip olduğu avantajlara rağmen bu tekniğin kullanımı endüstride yaygınlaşmamıştır. Çünkü ısıtma işlemi sırasında kaplama tabakalarında kırılma meydana gelmesi ve oluşan çatlakların engellenmesi için yapılan kaplamalara ait tabaka kalınlıklarının 0.5mm' den daha az olması söz konusudur (Islak, 2005).

Sol-jel tekniği, kaplanacak malzeme olan alt malzemeye bağlı olup, bunun nedeni yapılacak kaplama ile alt malzeme arasında görülen ısı uyumsuzluklarının meydana getirdiği etkileşimlerdir. Söz konusu faktörlerin bileşimi yapılacak kaplama kalınlığının genellikle 10 mm'den büyük olmasını engellemektedir. Barrow ve

Petroff'un geliştirdiği geleneksel kaplama tekniği DATEC yöntemi (Sol-jel kompozit kaplama) yöntemidir. Sol- jel boya içeren sol-jel çözeltisi içerisinde, derin, ađ çöktürme ya da sprey yöntemleri ile alt tabakaya ince yapılı seramik tozlar dağıtılır. Bu yöntem sayesinde alt malzemeye uygulanan kaplama kalınlığı daha büyük olmakta ve elde edilen kaplama tabakasının mikroyapısında sıkı bağlanmış filmler oluşturulmaktadır. Seramik oksitlerin Sol-jel tekniği ile üretimi sınırlı iken, nitrür, oksit ve karbürler gibi toz bileşenlerini içerecek seramiklerin çoğundan seçilen tozlar sol-jel kompozit kaplamalarda kullanılabilir (Islak, 2005).

Sol-jel kompozit kaplama yöntemlerinin uygulama alanları oldukça geniş olup bu uygulama alanlarından bazıları termal bariyer kaplamaları, piezoelektrik kaplamalar ve dielektrik kaplamaları olarak sıralanabilir (Olding, Sayer ve Barrow, 2001).

Sol-jel tekniğine 1970'li yıllarda yoğunlaşılmış olup 1980'li yıllara geldiğinde ise araştırmalar arttırılarak literatür içeriğine kazandırılması sağlanmıştırdır. Sol-jel tekniği ile düşük sıcaklıklarda silika, zirkonya ve alümina gibi ticari özellikteki seramik oksitlerin üretimi mevcuttur. Rice ve Becher sol-jel tekniği kullanarak $ZrO_2:Al_2O_3$ esaslı seramik kompozit malzemelerini üretmişlerdir. Rice ve Becher alışmalarında Al_2O_3 sistemine ZrO_2 takviyesi ile oluşan sistemin kırılma tokluğu ve mukavemetindeki artış miktarını belirlemişlerdir. Hoffman ve arkadaşları da 1984 yılında sol-jel tekniği üzerine farklı çalışmalar ve yaklaşımlarda bulunmuşlardır. Kısacası bu teknik tek tabakalı olan kompozit malzemelerinin üretimi için kullanılmaktadır (Redeghiero vd., 1998; Olofinjana, Bell ve Jamting, 2000; Liu, Yang ve Troczynski, 2002).

2.2.1. Dip Kaplama Yöntemi

Bu kaplama tekniği, kaplaması yapılacak olan alt malzemenin sol çözeltisi içerisine daldırılması ve daha sonra kontrollü atmosfer ve sıcaklık koşulları altında çözelti içerisinden geri çekilmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Bu teknikte elde edilen kaplamanın kalınlığı malzemenin bileşimine, çözelti içeriğine, çekilme hızına ve çözelti viskozitesine bağlı olup, elde edilen kaplama kalınlığı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenebilir.

$$h = c_1 \sqrt{\frac{U\eta}{g\rho}} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte:

g = yerçekimi ivmesi

ρ = yoğunluk,

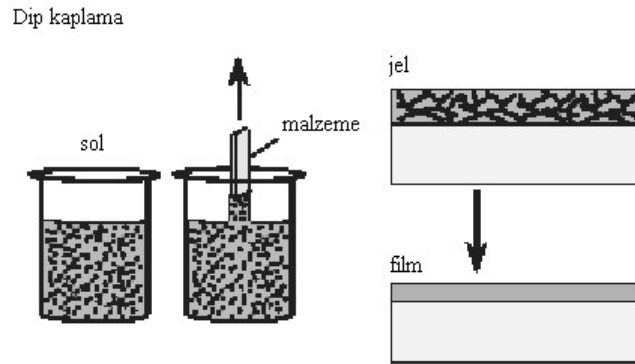
η = vizkozite,

U = parçayı çekme hızı,

h = kaplama kalınlığı,

c_1 = oran sabitidir (genellikle 0.8 dir) (Mellor, 2001).

Sol-jel tekniği ile dip kaplama işlem prensibi Şekil 2.2’de gösterilmiştir (Schmidt ve Mennig, 2000).



Şekil 2.2. Sol-Jel İle Dip Kaplama

2.3. Elektrolitik Kaplama Yöntemleri

Günümüzde metallerin çözünmesi ve elektrokimyasal olarak birikimi metallerin işlenmesi tekniklerinde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en iyi bilinen ve kullanım alanı olarak yaygınlaşanı elektrolitik kaplama yöntemidir. Bu teknikte metal kaplama işlemi, kaplanacak yüzeylere elektrolitik birikim oluşturulması şeklinde uygulanmaktadır. Yüzey tabakasının özelliğinin iletken olarak oluşturulması şartıyla kaplanan yüzey olan alt malzeme metal madde veya metal olmayan bir maddedir.

Bu kaplama mekanizması kaplama kabı, elektrolit, katot ve anottan oluşmakta olup ek olarak bazı araçlarda kullanılmaktadır. Bahsedilen ek araçlar ise otomatik kontrol, kullanılan elektrolitin saflaştırılması ve karıştırılması işlemleri için gerekli olan araçları içermektedir. Rektifiye edici, azaltıcı ve dönüştürücü olarak kullanılan araçlar ise elektriksel araçlar olup, düşük gerilim sağlamak amacıyla kullanılmaktadırlar. Motor jeneratörlerden ise bazı durumlarda yararlanılmaktadır. Aynı şekilde kontrol sistemlerinde ihtiyaç duyulmaktadır. Kaplama işlemi neticesinde elde edilen metal kristal halinde olup, kristalin özellikleri oluşturulan birikimin birçok özelliklerini belirlemektedir (Saraç, 1995).

Krom Kaplama

Carveth ve Curry 1905 yılında krom kaplama ile ilgili araştırmalarda bulunmuş olup, bu kaplama yöntemi dekoratif amaçlı olarak özellikle otomotiv endüstrisinde bakır, çelik, çinko ve plastik gibi farklı yüzeylerde uygulanabilmektedir (Yıldırım, 1989; Saraç, 1995; Tyler, 1995). Krom 400 °C sıcaklıktan yüksek sıcaklıklarda hava ile donma sergilemez, halojen ile aynı ortamda olmadığı sürece nitrik asitten etkilenmez ve oda sıcaklığında korozyona ve oksidasyona dayanıklıdır (Saraç, 1995).

Krom kaplama işlemi uygun şartlar sağlandığında parlak olup, ilaveten parlatma işlemine elektrolitik krom kaplamada gerek duyulmaz. Bu yöntemde genelde krom oksit ve kromik asit kullanılarak krom iyonları elde edilmektedir (Saraç, 1995).

Krom kaplamanın tercih nedeni; aşınma, basınç ve darbelere karşı direnç sağlamak amacıyla sert yüzey eldesidir (Simao ve Aspinwall, 1999). Krom kaplama yöntemi ile merdaneler, miller, piston yüzükleri ve çizim takımları elde edilir (Tyler, 1995). İçerdiği yüksek ısı dirençleri nedeniyle dökümhanede kullanılan kalıplarda ve buhar türbinlerinde, korozyona karşı korunma gereken uygulamalarda ve ilaçtan gıda sektörüne kadar çoğu alanda kullanım alanına sahiptir (Islak, 2005).

Sert Krom Kaplama

Sert krom kaplama yöntemi genellikle endüstriyel ya da mühendislik krom kaplama yöntemi şeklinde bilinir ve aşağıda verilen maddelerden dolayı dekoratif krom kaplamadan net olarak ayrılmaktadır.

1. Bu kaplama yöntemi; parçalara aşınma, korozyon direncini arttırmak için uygulanabilmektedir.
2. Bu kaplamalarda kalınlığı 0.1-20 mm olan sert krom normal olarak çöktürülürken, dekoratif kaplamalarda kalınlık 0.1 mm' yi çok nadir aşmaktadır.
3. Bu kaplamalarda ikinci bir işleme gerek duyulmazken, dekoratif kaplamalarda ikinci bir işleme gerek duyulmaktadır.
4. Bu kaplamalar daha yoğun olup mikro çatlaklar bulundururken; dekoratif olan kaplamalar ise gözenekler içermektedir.

Bu kaplama yöntemi aşınma direncinin gerekli olduğu uygulamalarda temel olarak kullanılmaktadır.

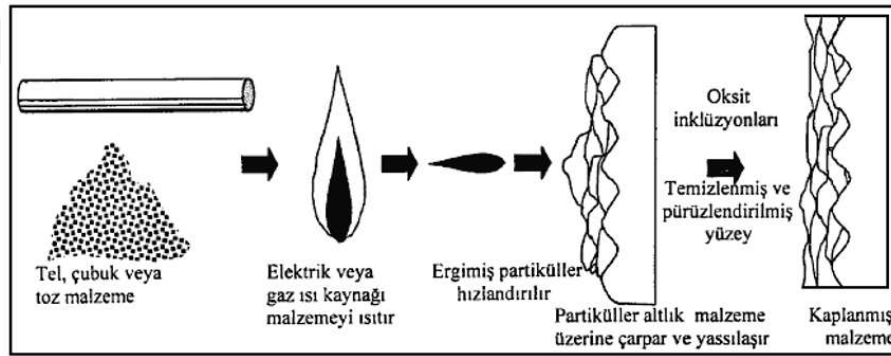
Bu kaplamanın, malzemelerin ömürlerini, aşınmaya karşı olan dirençlerini artırmak için çok çeşit malzemeye uygulanması söz konusudur. Sert krom kaplama yöntemi abrasif aşınmanın önem arz ettiği çoğu alanda ve parçaların aşınma ve korozyon dirençlerinin artırılması çalışmalarında kullanılabilir (Islak, 2005).

2.4. Ergitme Yöntemleri

2.4.1. Termal sprej (Isıl püskürtme) yöntemleri

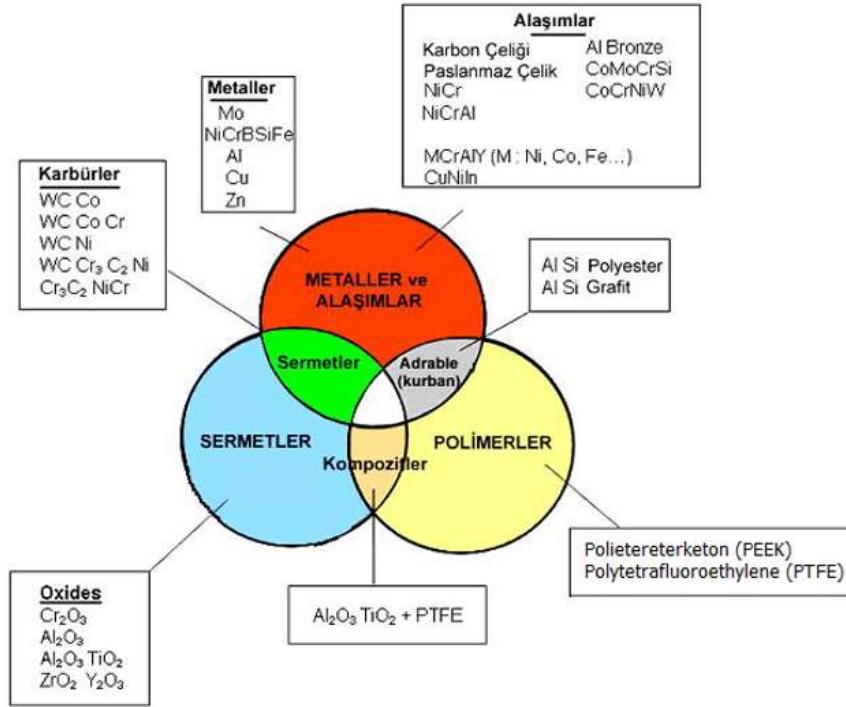
Termal sprej yöntemleri, kaplamaların sahip olduğu özelliklerin anlaşılabilmesi, ısı püskürtme kaplama tekniklerinin uygulamalarının artması ve yüksek hızlı oksijen yakıt, düşük basınçlı plazma spreyleme, vb. proseslerin geliştirilmesiyle sonuç bulmuştur (Smith ve Fast, 1994). Termal sprej kaplamaları; herhangi bir bileşimden ya da karışımdan, plastik, metalik ve seramik malzemelerden olabilmektedir (Rickerby ve Matthews,1991; Salman, 1995).

Termal sprej kaplama yöntemleri toz ya da tel halinde bulunan kaplama malzemelerinin yakıcı, taşıyıcı ve yanıcı gazlarla birlikte bir püskürtme tabancası yardımıyla püskürtülerek altlık malzeme üzerinde biriktirilip, koruyucu tabakanın elde edilmesi prensibine dayanmaktadır (Şekil 2.3). Elektrik arkı, yanıcı gazlar ve plazma arkı ile kaplama malzemesini eritmede kullanılan sıcaklığın sağlanmasında termal sprej torcu kullanılır. Kaplaması yapılacak olan malzeme parçasının soğuk yüzeyine eriyen kaplama malzemesi püskürtülmekte ve darbe etkisi altında yüzeye çarpan tanecikler, esas metale yapılan ısı aktarımı neticesinde soğuyarak katılaşmakta ve düz bir hal almaktadır. Tanecikler birbirlerine temas halinde buldukları için kaplaması yapılacak malzeme yüzeyinde istenilen kaplama tabakasını oluşturmaktadırlar. Elde edilen kaplamalar bölgesel ve mekanik olarak bağlanma şeklinde kimyasal bağ kuvvetleri sayesinde elde edilir (Sarıkaya, 2003; Özel, 2009). İstenilen bağlanmanın sağlanabilmesi için kaplanacak malzemenin yüzeyine kaplama işlemi yapılmadan pürüzlendirme işlemi yapılır. Termal sprej kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi Şekil 2.3'te gösterilmiştir (Özel, 2013).



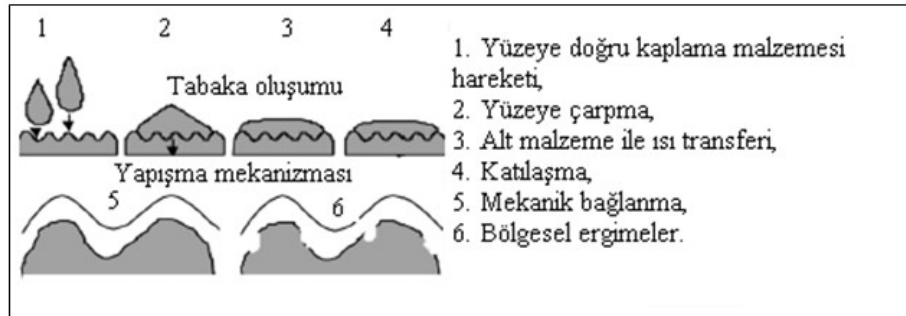
Şekil 2.3. Termal sprej kaplama yönteminin şematik olarak gösterimi

Termal sprej kaplama yöntemleri ile kaplaması yapılacak olan alt malzemenin yüzeyinde ısıl bir bariyer oluşturulabilmekte olup, bu termal bariyer kaplamalar ısıl iletkenliği düşük olan malzemelerden oluşmaktadır. Oldukça yüksek sıcaklıklarda ana malzemenin kullanılabilmesine imkân veren kaplama uygulamaları ısıl bariyer kaplama uygulamalarıdır. Oksitler, karbürler ve nitrürler ısıl bariyer kaplama olarak kullanılmakta olup, termal sprej kaplama tekniğinde kullanılan çeşitli kaplama malzemeleri Şekil 2.4'te verilmiştir (Özel, 2013).



Şekil 2.4. Termal sprey kaplama yönteminde kullanılan kaplama malzemeleri

Isıl püskürtme kaplamaları çeşitli aşınma olaylarının önüne geçmek, oksidasyonu önlemek ve ısı yalıtımı sağlamak için kullanılabilirler gibi dekoratif amaçlar, onarma ve yenilenebilir kaplama yapımında da kullanım alanına sahiptirler. Ticari olarak kullanılmakta olan beş temel termal sprey kaplama yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemlerden HVOF ve detonasyon tabancası yöntemi sayesinde yoğun kaplamalar elde edilip yüksek bağ mukavemeti sağlanabilmektedir (Dorfman, 2012). Isıl püskürtme tabakasının oluşumu Şekil 2.5’ de gösterilmektedir (Bunshah, 2001).



Şekil 2.5. Termal sprey tabakası oluşumu

Isıl püskürtme yöntemleri maddeler halinde verilmiş olup, bu yöntemler;

1. Alevle püskürtme,
2. Elektrik arkı ile püskürtme,
3. Patlamalı püskürtme (D-Gun),
4. Plazma ile püskürtme,
5. Yüksek hızlı oksijen-yakıt (HVOF) püskürtme

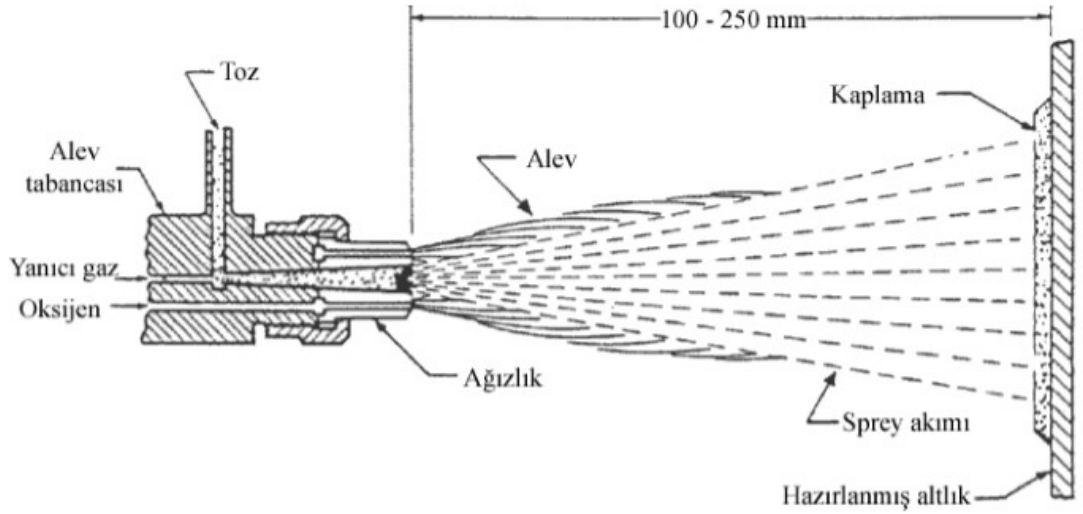
olmak üzere 5 başlık altında incelenmektedir (Islak, 2005).

2.4.1.1 Alevle püskürtme yöntemi

Alevle yüzey püskürtme yöntemi, alt malzeme yüzeyine kaplanacak olan tel veya toz malzemelerin püskürtme memesi içinde ergitilerek püskürtülmesi işlemidir. Püskürtülmesi gereken malzemenin ergimesi için yanıcı gaz oksijen alevinde yüksek bir alev sıcaklığına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yüksek alev sıcaklığı da oksijen-yanıcı gaz aleviyle mümkündür (Clare ve Crawmer, 1982; Hoff, 1995). Toz ve tel alev sprej yöntemleri de bulunan alev sprej yöntemi Max Ulrich Schoop tarafından patentlenmiş en eski termal sprej yöntemidir. İlk zamanlar asetilen ve oksijen gaz karışımının yakılmasıyla elde edilen alevde kurşun ve kalay tellerin ergitilmesiyle kaplama yapılırken, daha sonraları toz malzemeler kullanılmaya başlanmıştır. Alev propan veya hidrojen, asetilen oksijenle beraber yakılarak alev oluşturulur ve sistem düşük basınçlı oksijen yakıt kaplama sistemidir (URL-1, 2016). Asetilen gazı yüksek alev sıcaklığı (3087 °C) sağladığı gibi birçok kaplama malzemesine uyum sağlar, kolay bulunabilir ve en önemlisi fiyatı uygundur. Bu nedenle en çok kullanılan yanıcı gazların başında asetilen gelir. Düşük ergime sıcaklığına sahip malzemelerde propan, ince tozların püskürtülmesinde hidrojen gazı kullanılmaktadır. Günümüzde daha ucuz, daha güvenli alternatif gazlar hakkında çalışmalar halen devam etmektedir (Akın, 2003).

Alevle Toz Püskürtme

Toz püskürtme yöntemi alevle püskürtme yöntemlerinin en basit yöntemidir. (Şekil 2.6). Bu yöntemde alev tabancası üzerinde bir besleyici bulunur. Alev tabancası bu besleyiciden yer çekimi yardımıyla beslenir ve taşıyıcı gaz yardımıyla toplanır ergitilmesi için tabancanın ağzına taşınmaktadır. Burada ergimiş tozlar altlık malzeme üzerine püskürtülür ve kaplama tabakasını oluşturur. Bu işlem çoğunlukla seramik tozları için kullanılmaktadır, ancak oksidasyona dirençli metal ve alaşımlar da bu şekilde püskürtülebilir. Bu yöntemle en çok püskürtülen malzemeler nikel kobalt esaslı alaşımlar, alümina-titanya, alümina, zirkonya gibi malzemelerdir. Alev püskürtme işleminin uygulanabildiği altlık malzeme sınırlı olsa da aynı çeşit tozların kullanıldığı plazma püskürtme işlemine göre daha az işletme ve yatırım maliyeti gerektirmektedir (Bhushan ve Gupta, 1991). Alevle toz püskürtme işleminin şematik görünümü Şekil 2.6' da verilmiştir (Akın, 2003).

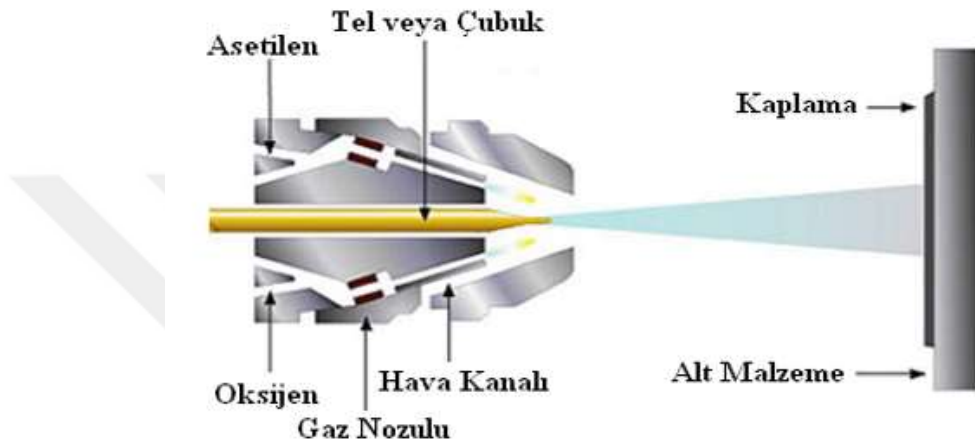


Şekil 2.6. Alevle toz püskürtme işleminin şematik görünümü

Alevle Tel Püskürtme

Tel alev püskürtme işleminde yanma alevi içinde eriyebilen ve tel halinde çekilmiş tüm metaller püskürtülebilir. Tel alev püskürtme yönteminde metalik tel uçlarının eritildiği bir ağızlık içine hızı ayarlanabilir bir motor aracılığıyla beslenmektedir. (Şekil 2.7). Bu ağızlık içerisine ağızlığın dış kısmından basınçlı hava verilmektedir.

Telin ucu sürekli ergime noktasına ısıtılmakta, oluşan sıvı damlacıkları havayla partikül haline ayrıştırılır alt malzeme üzerine püskürtülmektedir. Bu yöntem ile bakır, çinko, bronz, alüminyum, çelik, molibden gibi malzemeler püskürtülebilir. Tel alev püskürtme yöntemi ile %5-15 gözeneklilikte kaplamalar üretilebilmektedir (Bhushan ve Gupta, 1991). Tel veya çubuk ile gerçekleştirilen alevle püskürtme sisteminin şematik görünüşü Şekil 2.7’de verilmiştir (Özel, 2013).

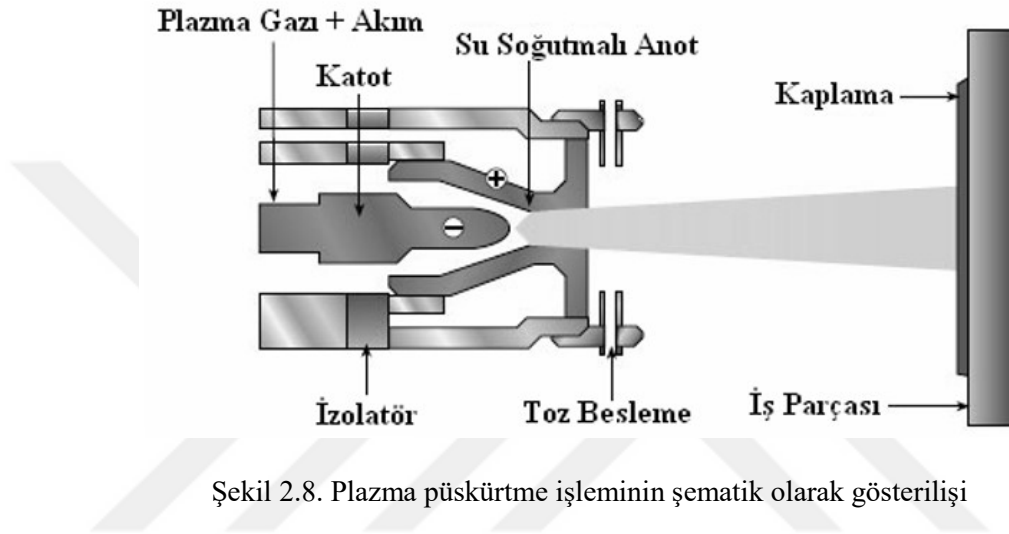


Şekil 2.7. Tel veya çubuk ile gerçekleştirilen alevle püskürtme sisteminin şematik görünüşü

2.4.1.2 Plazma- jeti ile püskürtme yöntemi

Termal sprej yöntemlerinden olan plazma püskürtme yöntemi kaplama malzemesi şeklinde kullanılmakta olduğundan çoğu malzeme bu yöntemle kaplanabilmektedir ve bu yöntem termal sprej kaplama yöntemleri içerisinde en güvenli olan yöntemdir. Bu yöntemde oldukça yüksek sıcaklıklara erişildiği için her tür toz malzemenin ergimesi mümkündür. Teknikte kullanılan plazma tabancasını oluşturan parçalar; bir püskürtücü (anot), bir elektrod (katot) ve bunların arasında yer alan odadır. Yöntemde katota doğru akımın bağlanması anoda ark uygulanması söz konusudur. Odalardan içeriye aynı anda gaz ya da gaz karışımı verilmekte olup, gaz ark yardımı ile elektronlarına ayrılır ve plazma formu elde edilmiş olur. Bu oluşan plazma formu kararlı değildir ve ısı enerjisinin geri çekilmesi ile eski hali olan gaza dönüşür ve soğur. Bu kısımda erişilen sıcaklık 6600 °C ile 16600 °C arasında değişiklik gösteren sıcaklıktır (Hocking, Vasantasree ve Sidky, 1989; Çelik, Soykan ve Avcı, 1994).

Bu ısı püskürtme yöntemi oksidasyon aşınma ve korozyona dayanıklı kaplamaların elde edilmesinde kullanılan kaplama yöntemidir. Plazma püskürtme yöntemi ile maliyeti düşük seramik ya da ergime sıcaklığı yüksek olan metal ya da metal alaşımları farklı alt malzemelerin yüzeyinde oluşturulup şekillendirilebilir (Mishra vd., 2005; Fang, Xu, Zhao ve Zeng, 2007). Şekil 2.8’ da plazma püskürtme yönteminin şematik gösterilişi verilmiştir (Özel, 2013).

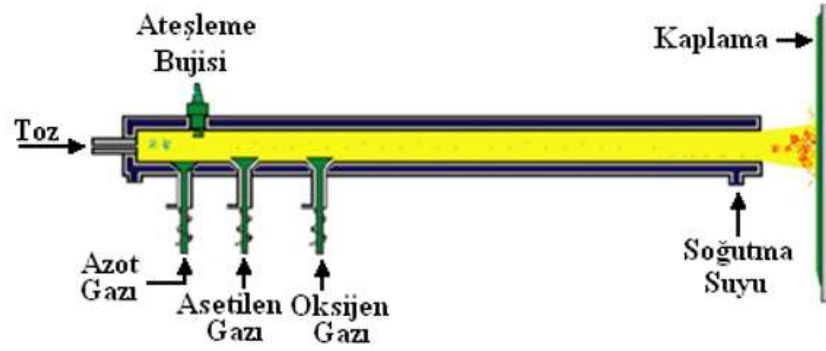


Şekil 2.8. Plazma püskürtme işleminin şematik olarak gösterilişi

2.4.1.3 Patlatmalı püskürtme yöntemi (D-Gun)

Patlatmalı püskürtme yöntemi özel bir şekilde tasarımı yapılmış tabanca yardımıyla yapılmakta olup, bu tabanca azot, oksijen ve asetilen içinde asılı durumda bulunan tozlaştırılmış kaplama malzemesinin kullanılacak miktarlarının ölçüldüğü bir hücreyi içeren özelliktedir. Elektrik kıvılcımı yardımı ile saniyede birkaç defa oksi-asetilen karışımı patlatılır. Mevcut detonasyon sıcak ve yüksek hızlı bir gaz akışını doğurmaktadır. Bu işlemi gerçekleştirirken de ilk olarak tozu plastik hale kadar ısıtılır, ardından partiküllerin tabanca namlusundan ayrılması sırasında partikülleri yaklaşık 2500 ft/sn hızla ivmelendirmektedir. İş parçasının kaplanacak yüzeyine ergimiş halde olan partiküller çarpar ve istenilen kalınlıklar için tabanca içindeki detonasyonlar biriktirme işlemini gerçekleştirirler. Şekil 2.9’da, patlamalı püskürtme tekniğine ait şematik resim verilmiştir. Bu yöntemde patlatma işlemi kinetik enerji kontrollü olarak yapılır. Bu teknik ile 50-60 HRC’den oldukça yüksek yüzey sertliği içeren tüm malzemelerin kaplanması yapılabilmekte olup, metalik olmayan özellikteki altlık

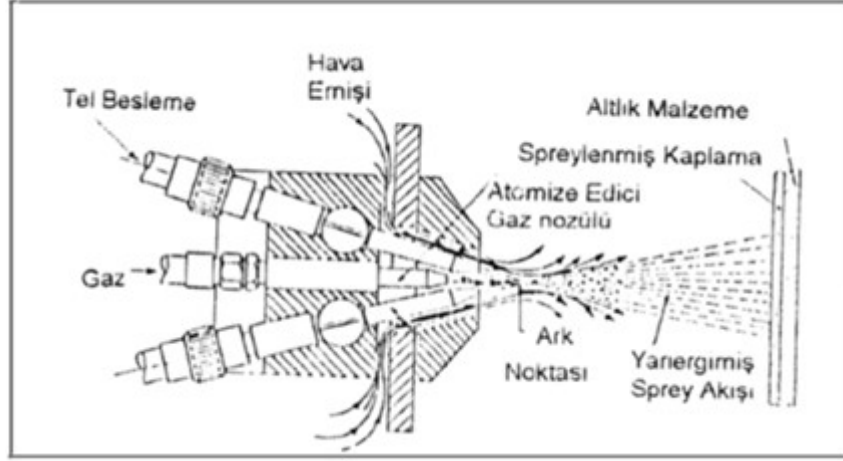
malzemelerin kaplanması bu yöntemle yapılamamaktadır. Çünkü bu yöntemde yüksek erozyona sebep olan yüksek hıza sahip gaz akışı mevcuttur (Kahraman, 2001). Patlamalı püskürtme sisteminin şematik görünüşü şekil 2.9'da verilmiştir (Özel, 2013).



Şekil 2.9. Patlamalı püskürtme sisteminin şematik görünüşü

2.4.1.4 Elektrik Ark Püskürtme Yöntemi

Bu kaplama yönteminde ısı kaynakları kullanılmadığı için termal sprey yöntemlerinden farklılık sergilemektedir (Yüksek, 2008). Elektrik ark püskürtme yönteminde iki tel elektrot arasında devamlı bir ark oluşturulmakta ve bu oluşan ark telleri eritmekte, ark tarafından eritilen tel uçları hızlı ve soğuk hava jeti ile atomize edilip ardından istenilen kaplamayı elde etmek için iş parçası üzerine gönderilmektedir (Kwin, 1989). Bu yöntemin otomatik sistemlere uyarlanması oldukça kolay gerçekleşmektedir. Bu teknikle büyük malzemelerin yüzeyine kalın kaplamaların yüksek hızlar altında çökeltilmesi uygun olmaktadır (Akın, 2003). Elektrik ark püskürtme işleminin şematik görünümü Şekil 2.10'de verilmiştir (Bhushan ve Gupta, 1991).



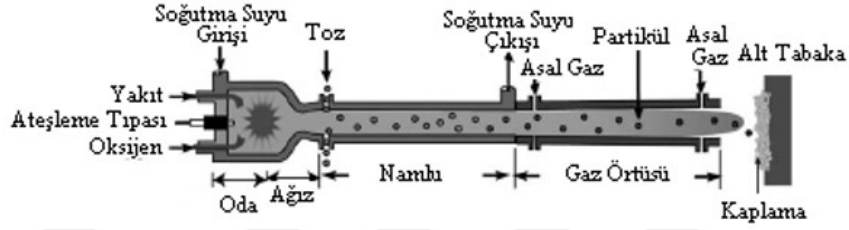
Şekil 2.10. Elektrik ark püskürtme işleminin şematik görünümü

Bu yöntem ile üretilmiş olan kaplamaların alevle püskürtme yöntemine göre üretilmiş olan kaplamalara göre daha yüksek bağ mukavemeti, çökme hızı ve kaplama maliyetinin oldukça düşük olması gibi üstünlükleri vardır (Kwin, 1989). Bu yöntemde basınçlı soğuk hava kullanılması ısıya hassas olan malzemelerin kaplanmasında bir avantajdır. Elektriksel ark püskürtme yönteminde oksitler, karbürler ve nitrürler püskürtülemez (Akman, 2001).

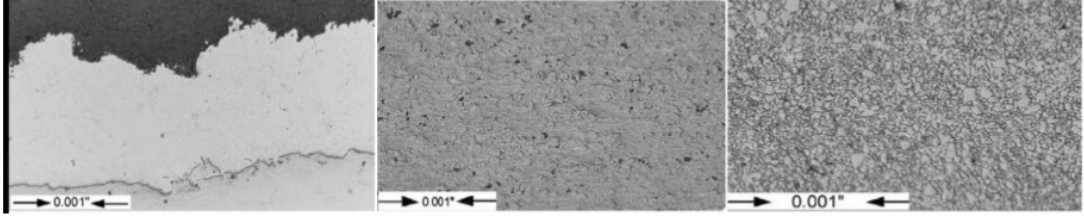
2.4.1.5 Yüksek hızlı oksî-yakıt (HVOF) püskürtme yöntemi

Bu yöntem üstün mekanik özellik gösteren kaplamaların elde edilmesinde kullanılmaktadır. HVOF yöntemi ile döküm parçası ile diğer parçayı dayanımlı olarak bağlama işlemi yüksek kinetik enerji ve oldukça düşük sıcaklıklarda gerçekleştirilir (Tan, Wood ve Stokes, 2003). Yüksek hızlı oksî-yakıt püskürtme yöntemi 1980 yılından buyana kullanılan ve endüstri açısından önem arz eden bir kaplama tekniğidir. Yüksek sıcaklık ve gaz debisinde oldukça kaliteli kaplamaların elde edilmesinde genellikle kullanılan HVOF yöntemidir. Yüksek hızlı oksî-yakıt püskürtme yöntemi, yüksek basınç odasında yakıt ve yanma için oksijenin ve diğer gazların yanma reaksiyonu neticesinde nozuldan birleşerek çıkması ve oldukça yüksek hızda alt tabakanın yüzeyine püskürtülmesi ile gerçekleşen bir yöntemdir. Bu yöntem ile elde edilen kaplamaların sahip olduğu korozyon direnci, diğer ısı püskürtme tekniklerinden oldukça iyidir (Guilemany, Miguel, Vizcaino ve Climent, 2001; Perry, Neville, Wilson ve Hodgkiess, 2001; Sarıkaya, 2003; Mostaghimi, Chandra, Ghafouri-Azar ve Dolatabadi, 2003). Termal

sprey yönteminin parametreleri, deneysel uygulamalarla ve bağlantılarla optimize edilmiştir. Termal püskürtme yönteminin hızı, sıcaklığı, katılma derecesi, kaplama malzemesi ve kaplama tabakası sıcaklığı gibi oldukça geniş parametrelere sahiptir (Özel, 2013). Yüksek hızlı oksji-yakıt püskürtme yöntemi Şekil 2.11’de verilmiştir (Kahraman, 2001). Fotoğraf 2.1’de, HVOF ile yüksek kinetik enerji ile düşük poroziteli ve yüksek yoğunluklu kaplamalar üretildiği gösterilmiştir (Davis, 2004).



Şekil 2.11. HVOF püskürtme tabancasıyla kaplama işleminin şematik gösterilişi



Fotoğraf 2.1. HVOF ile WC-Co kaplama

Yüksek Hızlı Oksji Yakıt yönteminde, 0.75 MPa gibi yüksek basınçlarla iş parçasına püskürtülen partiküllerin ortaya çıkardığı kinetik enerji değerleri diğer püskürtme yöntemleri ile karşılaştırıldığında çok büyük bir fark yoksa eşdeğer bir bağlanma mukavemeti sağlar. Yüksek hızlı oksji yakıt yöntemi sayesinde plazmanın sahip olduğu ısı enerjisi ile taneciklerin sahip olduğu kinetik enerjinin yer değiştirmesi neticesinde oldukça iyi yoğunluğa sahip ve çok iyi bağlanma sergileyen kaplamalar elde edilmektedir (Holf, 1995).

Yüksek hızlı oksji-yakıt yöntemi ile elektriksel ve ısı izolasyonu amacıyla kaplamaların üretimi yapılmaktadır. HVOF yönteminde bazı uygulamalara yönelik püskürtme parametreleri ayarlanabilmekte olup, dolgu miktarının yüksek olması yüzeyi geniş özellikte olan parçaların işlem zamanında kısılma sağlamaktadır (Charles, 1994).

Bu yöntemde püskürtme esnasında asıl metalin yüzeyinin yaklaşık olarak 100°C'yi aşmaması yöntemin büyük özelliği olmakta ve bu nedenle malzemede metalürjik olarak değişiklik gözlenmemektedir. Asıl yüzey ile püskürtme torcu arasında bulunan mesafenin ayarlanması sonucu asıl yüzeyde normal olmayan sıcaklık artışına rastlanmamıştır (Kaya, 2007).

Yüksek hızlı oksit-yakıt yöntemiyle üretilen tungsten-karbür kaplamalar oldukça düşük oksit içermesi, bağlanma mukavemetinin yüksek olması ve düşük porozite içermesi gibi özellikleri ile plazma yöntemine göre daha iyi kaplamalar olarak üretilmektedirler. Tablo 2.1' de ısı püskürtme yöntemleriyle elde edilen kaplamaların bazı özellikleri verilmiştir (Kaya, 2007).

Tablo 2.1. Çeşitli kaplama yöntemlerinin karakteristik özellikleri (%88 WC, %12Co)

	HVOF	D-Gun	Standart Plazma	Yüksek-Hızlı Plazma
Alev sıcaklığı (°C)	2760	2760	11,100	11,100
Gaz Hızı	March 4	March 3	Ses Altı	March 1
DPH300	1,050	1,050	750	950
Porozite (%)	0	<1	<2	<1
Bağlanma mukavemeti (MPa)	69	69	55,2	69
Kalınlık (inc)	0,060	0,030	0,025	0,015
Oksit içeriği (%)	<1	<1	<3	<1

Bu yöntem, termal enerji girişini en aza indirirken kinetik enerjiyi ise oldukça yükseltir ve bunun sonucunda yoğun, oldukça az poroziteli ve bağ mukavemetinin yüksek olduğu kaplamalar üretilir. Çoğu sektörde aşınma ve sürtünme dayanımı ihtiyacına yönelik sert krom kaplama bu yöntem ile yapılabildiği için PVD ve CVD' nin önemli alternatiflerinden biridir (Bhatia, 1999).

Yüksek hızlı oksî-yakıt yöntemi uygun maliyeti ve yönteminin esnekliği sebebiyle çoğu endüstri kolunda kullanılmaktadır. Yüksek hızlı oksî-yakıt yönteminin kullanıldığı endüstri kolları Tablo 2.2’de gösterilmiştir (Tan, Looney ve Hashmi, 1999).

Tablo 2.2. *HVOF yönteminin uygulandığı çeşitli endüstri kolları ve uygulamaları*

ENDÜSTRİ KOLU	UYGULAMA	MALZEME
Kağıt Endüstrisi	Çeşitli merdaneler	WC-Co-Cr, Cr ₂ O ₃
Çelik Endüstrisi	Fırın, konveyör makaraları	Cr ₃ O ₂ -NiCr
Basım Endüstrisi	Ölçme makaraları	Cr ₂ O ₃
Tekstil Endüstrisi	Taşıma rulosu	Al ₂ O ₃ -TiO ₂
Takımlarda	Kapama vanaları	WC-Co+WC-Ni, Cr ₃ C ₂ - NiCr
Elektronik Endüstrisi	İleken kablolar	Cu
Fabrika Konstrüksiyonu	Miller, kimyasal araçlar, ayırıcılar	Al ₂ O ₃ , Mo
Otomotiv Endüstrisi	Sürtünme diskleri	Mo

2.4.1.5.1. Yüksel Hızlı Oksî-Yakıt (HVOF) Püskürtme Yönteminin Avantaj ve Faydaları

Son yıllarda metal püskürtme teknolojileri alanında gelişim gösteren yöntem HVOF yöntemidir. Bu yöntemdeki son gelişme gaz olan yakıt kullanımından sıvı olan yakıtı geçiş olmasıdır. Yüksek hızlı oksî-yakıt yöntemi esnek oluşu ve maliyetinin oldukça uygun olmasından dolayı çoğu endüstri alanında uygulamaya alınmış termal sprey kaplama yöntemlerindedir (Islak, 2005).

Bu yöntemdeki kalın olan kaplama kapasitesi, düşük uygulama maliyetine sahip olması, kimyasal olarak solüsyon korumasına gerek olmaması ve parça büyüklüğünde belirli bir sınırın olmayışı yöntemin sunduğu avantajlardandır. Bu yöntem çeşitli kaplama kimyasalları arasında tercih yapma imkânı sunmaktadır (Kaya, 2007).

Bu yöntem kullanılarak yapılan çalışmalarda demir krom molibden, tungsten karbür-kobalt/nikel krom molibden ve nikel krom molibden kaplamaları kanıtlanmış olup bu

yapılan kaplamalar incelendiğinde yüksek yapışma ve aşınma direnci ile korozyona karşı dayanım gibi özellikler sergiledikleri gözlemlenmiştir (Bolles, 1995).

Yüksek hızlı oksijen-yakıt yönteminin sunduğu yüksek kaplama hızları ve sağladığı ekonomik avantajlar geniş ölçekte uygulama alanlarında değerlendirilmesini sağlar. Bu yöntem ile kalın kaplamalar yapılabilen ve parçaların ömrünün uzatılması sağlanmaktadır (Kaya, 2007).

Yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme yönteminde doğru toz kullanımı ile yapılmış olan kaplamaların sahip olduğu yoğunluklar oldukça pürüzsüz sonuçlar sağlar ve oldukça ince püskürtülmüş bir profilin daha kısa sürede elde edilmesine olanak sağlar. Mevcut püskürtme parametrelerinde ya da kullanılan toz boyutlarında değişiklik yapılması ile gerekli olduğunda oldukça pürüzlü püskürtülmüş kaplamaların eldesi kolaylıkla sağlanmaktadır (Kaya, 2007).

Bu yöntemin diğer avantajlarından biri ise oldukça az sayıda değişken parametre içermesidir. Yöntemin işleme sürecinin parametrelerde olan değişikliklere duyarlı olması yüksek kalite içeren kaplamaların elde edilebileceği çalışma alanının oluşmasını sağlar (Davies ve Breitsameter, 1995).

Yüksek hızlı oksijen-yakıt püskürtme yöntemi partikül hızlarının yüksek oluşu ve çalışmanın makul sıcaklıklarda yapılması ile oldukça yüksek sıcaklık karşısında bozulma gösterebilecek kaplamalar için öncelikli olarak tercih edilmektedir. HVOF yöntemi ile $Cr_3C_2/NiCr$ ve WC/Co gibi sert özellikteki metallerin çöktürülme işlemi yapılabilir. Çünkü $Cr_3C_2/NiCr$ ve WC/Co malzemeleri aşınma dayanımı ve aşınmaya karşı olan dirençleri mükemmel olan malzemelerdir. Ayrıca Triboloy, Hasteloy, FeNiCo alaşımları ve Stellites gibi malzemelerin HVOF yöntemi kullanılarak verimli bir şekilde çöktürülmesi yapılabilir (Bunshah, 2001).

Bu yöntem ile püskürtme parametreleri ayarlanabilmekte ve özel uygulamalarda kullanılabilir olup, yalıtım amaçlı kaplamaların üretimi yapılmaktadır. Yöntemde kullanılan yüksek çöktürme oranları (15 lt/h) sayesinde, geniş yüzeye sahip parçaların işleme zamanı kısalmaktadır (Charles, 1994; Bunshah, 2001).

Isıl püskürtme sistemlerinde parçacıkların hızı yapılacak kaplamaların sahip olduğu yapışma direnci ile gözenekliliğinde etkilidir. Parçacık hızında artış oldukça yapılan kaplama alt malzemeye daha iyi yapışma gösterir ve elde edilen kaplama daha yoğun özellikte olur. Yüksek hızlı oksî-yakıt püskürtme yöntemi kullanım alanına göre birçok avantaj sağlayabilmekte olup, bu avantajlar;

- a) Yöntemde yanma odasında gerçekleşen yüksek türbülans sayesinde oldukça düzgün ve daha verimli bir ısıtma ortamı sağlanmaktadır.
- b) Yöntemde kullanılan yüksek hızlar sayesinde parçacıklar uçuş esnasında atmosfere daha az zamanlarda maruz kalır ve böylece parçacıklarda daha az oksitlenme gözlenir.
- c) Yapılacak işlemin diğer sistemlerden daha düşük ısıda gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır (Bengi, 2009).

2.4.2. Kaynak

Günümüzde makina elemanları kullanılacağı ortamdaki istenilen özelliğe göre çeşitli yollarla üretilip endüstride kullanılmaktadırlar. Bazı durumlarda makine elemanının imali sırasında eksik olan özellikler daha sonradan kazandırılmaya çalışılır ve kazandırılması istenilen özellikler kullanılmamış ya da biraz kullanıldıktan sonra aşınmış haldeki makine elemanlarında uygulanabilmektedir. Makine elemanlarında genellikle uygulanan kaplamalar kalın sert olan veya ince olan kaplamalardır. Makine elemanlarında bazı durumlarda hatalar oluşmakta ve oluşan bu olumsuzlukların yapılacak kaplamalar ile düzeltilmesi mümkün olmamaktadır. Yüzey artırımlarının genel olarak geniş aralıklarda olması istenmekte olup, bunun tel ve toz püskürtülmesi, krom ya da ince sert kaplamalar, PVD ve CVD yöntemleri ile sağlanması mümkün değildir. İstenilen artırımların sağlanabilmesi için ek bir elektrotun (metal) kullanılması gerekmektedir. İstenilen yüzey artırımlarının sağlanması için lazer ve elektron ışını, gaz altı, elektrik ark ve toz altı gibi kaynak yöntemleri kullanılabilir. Günümüzdeki makine endüstrisinde metal malzemelerin kaynak yöntemleriyle doldurulması işlemi yaygındır.

Başlıca kaynak yöntemleri:

- ✓ Lazer ışın kaynağı (LBW)
- ✓ Elektron ışın kaynağı (EBW)
- ✓ Tozaltı kaynağı (SAW)
- ✓ Gaz tungsten ark (GTA) kaynağı
- ✓ Plazma ark kaynağı (PAW)
- ✓ Sürtünme kaynaklı kaplama

olmak üzere altı başlık altında incelenmektedir (Islak, 2005).

3. ISIL PÜSKÜRTME YÖNTEMLERİNİN GELİŞİMİ VE ESASI

Termal sprey kaplama yöntemlerinin ilk uygulaması 1900'lü yıllarda İsveçli mühendis M.U Skoop tarafından gerçekleştirilmiştir. Yapılan uygulama oksijen-asetilen alevinin sahip olduğu enerjiyle kalay ve kurşun tellerin kaynak torcunda eritilmesi şeklindedir. Bu torçlar toz malzemelerin kullanılması amacıyla tasarlanmıştır. M.U Skoop 1908 yılında ise elektrik ark tel püskürtme yönteminin patentini almış olup dolgu işlemlerinde başarılı olmuş ve çeşitli metaller bu amaçla kullanılmıştır. 1970'li yıllarda termal sprey yöntemleri plazma püskürtmeyi geliştirmek, aşınmaya karşı dirençli malzemeler üretmek ve kaplamaların birleşimini sağlamak gibi amaçlarla daha çok yaygınlaşmıştır. Isıl püskürtme yöntemlerinde 1980'lerde ise esas gelişim toz parçacıklarının sahip olduğu hızları arttırmak yönünde olmuştur (Islak, 2005).

Termal sprey yöntemi, tribolojik olaylara karşı yüzeylerin korunmasında endüstriyel alanda yaygın kullanıma sahip bir yöntemdir (Mishra vd., 2005; Yılbaş ve Arif, 2007). Bu yöntem son yirmi yıla bakıldığında diğer kullanılmış yöntemlere göre daha yeni olan kaplama yöntemidir. Isıl püskürtme yönteminin otomotiv endüstrisi ve makine parçaları en geniş olan kullanım alanları olarak bilinmektedir. Ayrıca bu yöntem gaz tribün mühendisliğinde ve bazı alaşımların kaplamalarında kullanılmakta olan bir yöntemdir (Barbezat, 2005; Lin, Jean ve Chou, 2007).

Isıl püskürtmenin avantajları arasında kaplama yapmak için kullanılan malzemelerin tümünün kombinasyonunun değişmeden ergitilmesi, mevcut parçanın ölçüleri ve sahip olduğu özellikleri değiştirmeden hasarlanmış ya da aşınmaya uğramış kaplama tabakalarının çıkartılıp yerine tekrardan kaplanabilmesi ve alt malzemeyi çok fazla ısıtmadan uygulama yapılması yer almaktadır. Bu yöntemin dezavantajları arasında ise görüş açısı darlığı ile boyut limitlerinde kısıt olması yer alır (Davis, 2004).

Termal sprey kaplamaların asma köprüler, piston ringleri, taşıyıcılar, gemi tekneleri ve ekstrüzyon kalıpları gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Termal sprey yönteminin malzemelere kazandıracığı ve malzeme üzerinde geliştirebileceği özellikler; (Bilgin, 2008).

- ❖ Aşınma dayanımı,
- ❖ Elektrik iletkenlik veya elektriksel direnç,
- ❖ Isıl yalıtım,
- ❖ Oksidasyon direnci,
- ❖ Korozyon dayanımı olarak sınıflandırılabilir (Bilgin, 2008).

Termal sprey yöntemi ile sürtünme katsayısı, tokluğu ve çok sayıda özelliği farklı olan 200'den çok malzemenin kaplanması mevcuttur. Bahsedilen malzemeler polimerler, saf metaller, sermetler, özel kompozit malzemeleri, karbürler ve metal alaşımları şeklinde sınıflandırılabilir (Evkaya, 2003).

Tüm termal sprey tekniklerinin yaygın olan özelliği, kaplama tabakasını oluşturacak malzemenin elektrik enerjisi ve kimyasal enerjisi ile ısıtılması ve hızlandırıldıktan sonra kaplama yapılacak olan alt malzemenin yüzeyine gönderilmesi işlemidir. Termal sprey yöntemleri, kullanılan enerji kaynağı bakımından, tercih edilen atmosfer ile kaplama malzemesi bakımından farklılıklar göstermektedirler (Evkaya, 2003).

4. ISIL PÜSKÜRTME KAPLAMALARDA BAĞLANMA

Aşınma ve korozyon gibi özelliklerin iyileştirilmesi sırasında oldukça yoğun ve mukavemetli bir kaplama tabakası elde edilebilmek amacıyla yapılacak olan kaplamanın alt malzemeye iyi bir şekilde bağlanması ve meydana gelen aşınma sırasında kaplama tabakasının altlık malzemeden ayrılmasının yerine kaplama tabakasının aşınmaya uğraması gerekmektedir. Ayrıca termal sprey kaplamaların endüstriyel alanda uygulamaları yapılan kaplama tabakasıyla alt malzeme arasında oluşan bağın kalitesine bağlı olmaktadır (Samur, Mindivan, Yıldırım ve Çimenoglu, 2003).

4.1. Bağlanma Mekanizması

Mekanik Bağlanma

Bu bağlanma ergimiş halde olan parçacık, daha önceden katılmış olan parçacığa ya da ait malzemeye çarpıp yayılırken oluşur ve parçacıklar kaplanmış halde olan malzemeye ya da pürüzlendirilmiş yüzeye mekanik olarak kilitlenirler (Bilgin, 2008).

Difüzyon veya Alaşımlama ile Bağlanma

Bu bağlanma şekli alt malzeme kaplama malzemeleri bileşimlerinin bazılarında görülmekte olup, ara yüzeyde meydana gelen sıcaklığın alt malzemenin sahip olduğu ergime noktasını aşması halinde mikro boyutlarda gözlemlenen bir bağlanma şeklidir (Bilgin, 2008).

Adhesif Bağlanma

Bu bağlanma şekli ise mikro temasın olduğu yerlerde görülmekte olup, atomik çekim kuvvetinin etkisi altında oluşmaktadır. Atomik bağın yapışma şekline göre kohesif kuvvet, valans elektronlarının değişimi ya da Van Der Waals şeklinde olmaktadır (Samur vd., 2003).

Kullanılan üretim şekli, kaplama yapılacak alt malzeme ve kaplama malzemesine bağlı olarak bahsedilen bağlama şekillerinin biri yada hepsi meydana gelebilir. Alevle püskürtme yöntemi kullanılarak yapılan kaplamalarda metalürjik bağlanma, plazma püskürtme yöntemi kullanılarak yapılan kaplamalarda ise ağırlıklı olarak mekanik kilitlenme şeklinde bağlanma şekli görülmektedir (Bilgin, 2008).

4.2. Bağ (Ara) Tabakanın Kullanılması

Kaplama yapılacak olan alt malzeme ile kaplama tabakası arasında olan bağlantı termal spreyle kaplamaların en zayıf bağlandığı nokta olup, yapılacak kaplamanın kullanım süresini uzatmak amacıyla kaplama tabakası ile kaplama yapılacak olan alt malzeme arasında bir bağ tabaka kullanılmaktadır (Bilgin, 2008).

Ara tabaka, yapılacak kaplama ile alt malzeme arasında oluşabilen elastik modül ve termal uzama uyumsuzluklarını azaltması ve iyi bir yapışma sergilemesi nedeniyle kullanılmakta olup, Nikel-Alüminyum bağ kaplamaları ise en fazla tercih edilen bağ kaplamalarıdır. Nikel-Alüminyumun sünek özelliğe sahip malzeme olması alt malzeme ile yapılacak kaplama tabakası arasındaki elastisite modülü ve termal uzama farklarının etkisini azaltmaktadır (Samur vd., 2003).

4.3. Bağ Dayancını Etkileyen Faktörler

Bağ kuvvetini malzemenin temizliği, parçacık hızı, malzemenin pürüzlülüğü, malzemenin kimyası, alt malzemenin sıcaklığı, parçacık boyutu ve parçacık sıcaklığı gibi özellikler etkilemektedir. Ayrıca kaplama tabakası malzemesi ve kaplama gerçekleştirilecek olan alt malzemenin sahip olduğu fiziksel özellikler, yapılacak kaplama ile alt malzemenin temas ettiği bölgedeki sıcaklık ve ara yüzeyde görülen sert ve kırılabilir özellikteki intermetalik bileşikler de bağ dayancını etkileyen özellikler arasında yer almaktadır (Bilgin, 2008).

Gerçek temas alanını tabakalar arasında absorblanan ve sıkışan gazlar ile oluşan oksit film ve yüzeye çarpan taneciklerin saçaklanarak serpilmesi azaltmaktadır. Düşük gözenekliliğe küçük boyuta sahip olan parçacıklar neden olmaktadır. Bağlanmada artış

olması için parçacık sıcaklığının, parçacığın tamamen ergimesini sağlayacak seviyede olması gerekmektedir (Samur vd., 2003).

Parçacık Sıcaklığı ve Hızı

Parçacıkların, çarptıkları yüzeylerin içerdiği pürüzlerden akıp sızabilmesi amacıyla yeterli bir hıza sahip olmaları gerekmektedir. Ayrıca yüksek hızla yüzeye çarpan parçacıkların sahip oldukları kinetik enerji çarpma etkisiyle ısıya dönüşmektedir. Parçacıkların sahip olduğu hızın yüksek olması yapışmayı arttırmaktadır (Samur vd., 2003).

Yüzey Temizliği

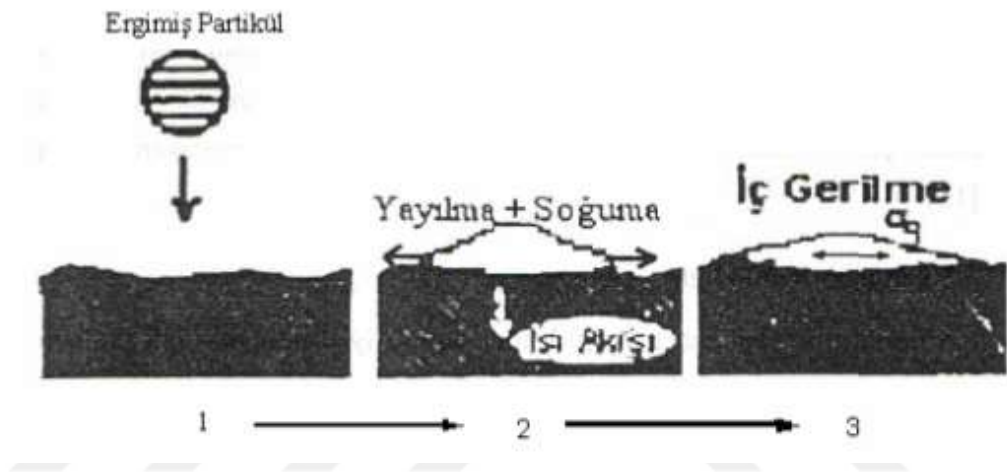
Termal spreyci kaplamalarının alt malzemeye iyice bağlanması için kullanılacak alt malzemenin oldukça temiz olması ve kaplama işlemine hazır olması gerekmektedir. İstenilen bu durum yabancı madde ve oluşan oksitlerin dışında yağ ve kir gibi maddelerinde elimine edilmesini gerektiren bir durumdur. Bunun için alt malzemenin uygunluğu belirlenmiş çözücüler yardımıyla temizlenmesi gerekmektedir. Alt malzemeye uygulanan temizleme ve pürüzlendirme işlemlerinden hemen sonra hazırlanan yüzeyin yeniden kirlenme ve oksidasyona karşı aktif olmasından dolayı kaplama işleminin hemen gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Samur vd., 2003).

Bazen gerek duyulduğunda yüzeyde olan nemin uzaklaştırılması amacıyla 150-200 °C arasındaki sıcaklıkta 60 sn'lik ön ısıtma işlemi gerekebilir. Bu uygulanan ön ısıtma yüzeyde olan bağlanma koşullarının iyileşmesi ve kaplama tabakası ile alt malzeme arasındaki ısıl genleşmelerin dengelenmesi için yapılabilmektedir (Samur vd., 2003).

Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzeye çarpan parçacıklar soğurken ve katılaştıkça büzülmeye uğrarlar ve kaplama yapılacak alt malzemenin bu büzülmelere karşı direnç göstermesi sonucunda kaplama tabakasında çekme gerilmeleri meydana gelir. (Şekil 4.1). Oluşan çekme gerilmeleri tabanın yüzeyde olan tutunma mukavemetinde azalmaya neden olur ve çatlama etkisi

ile tabakada kırılma tehlikesi oluşur. Yüzeyin ince bir şekilde pürüzlendirilmesiyle soğumuş tabakanın büzülme eğilimi bir miktar azaltılır. Pürüzlendirme işlemi görmüş yüzeyin yapışma alanında meydana gelen artış bu işlemin faydalarından biridir. Yüzeye ince ve sert silisyum karbür aşındırıcı partiküller, çelik ya da alümina partiküllerinin püskürtülmesiyle ince pürüzlendirme işlemi gerçekleştirilir. Püskürtme işlemi sırasında oluşan iç gerilmenin şematik görünümü Şekil 4.1’de verilmiştir (Samur vd., 2003).



Şekil 4.1. Püskürtme işlemi sırasında oluşan iç gerilmenin şematik görünümü

Kaba yüzey pürüzlendirme oldukça kalın partiküllerin püskürtülmesi ya da talaşlı imalat ile oyuklar açılması işlemleri ile sağlanmaktadır. Bu pürüzlendirme yöntemi çekme gerilmelerini azaltır. Tabakaların bükülmüş biçimde yapılanması testere dişi biçiminde açılan pürüzler tarafından sağlanır. Bu durum; alt malzemenin yüzeyine paralel yönde olan gerilmelerin dik yönde olan gerilmelere göre oldukça büyük olması nedeniyle ara yüzeyde dayanımın artmasını sağlar (Bilgin, 2008).

5. TERMAL SPREY KAPLAMALARIN UYGULAMA ALANLARI

Termal spreycaplamaları, genelde metalik olan alt malzemelere uygulanmakta olsa da arada karbon-epoksi, karbon-karbon ve diğer polimerik olan ya da metal matriksli kompozit malzemelere de uygulanması mevcuttur. Oldukęa geniş kullanım alanına sahip olan bu kaplamaların; aşınma ve korozyona karşı direnç sağlamalarının yanında radyasyon dzenleyici, boyutsal tamirat, elektrik yalıtkanı ve iletkeni, ısıl iletken ve koruyucu vs. olarak kullanımları da vardır. Isıl püskürtme kaplamaların matbaa, havacılık, besin işleme, kimya, otomotiv, metalürji, gemi inşa, madencilik ve zirai alet üretimi başta gelmek üzere çoğu endüstride kullanımı mevcuttur (Heimann, 1996). Isıl püskürtme yöntemlerinin en geniş olan kullanım alanları otomotiv endüstrisi ile makine parçalarıdır (Barbezat, 2005; Lin vd., 2007).

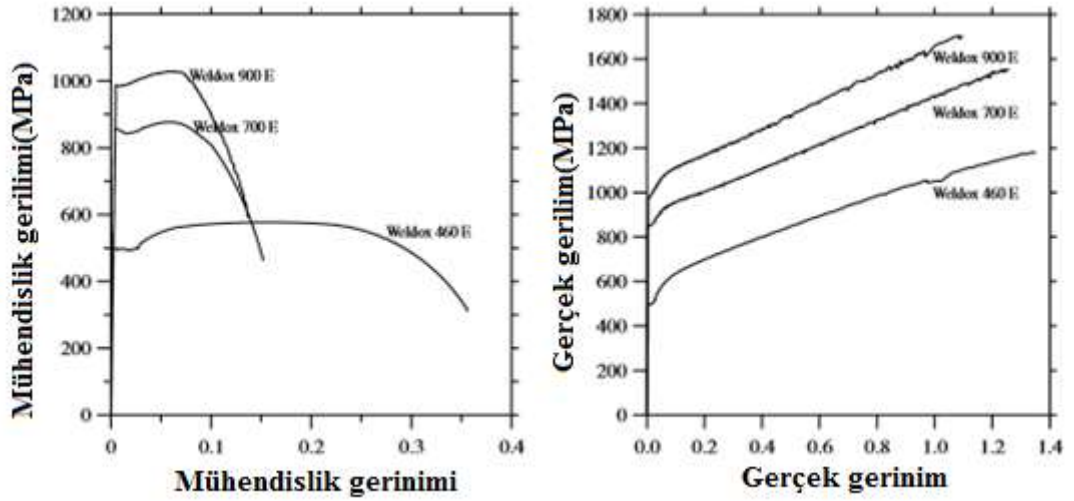
Günümüzde otomotiv endüstrisinde disk, piston segmanları, valf, piston vb. parçaların termal spreycaplamalarıyla kaplanması standart olan uygulama haline gelmiştir. Ayrıca deniz taşıtlarında kullanılan şaftlar, pervaneler, turbo motorlar ısıl püskürtme kaplamalarına uygulama alanı oluşturan uygulamalar arasındadır. Termal spreycaplamalarının yaygın olduğunu gösteren en çarpıcı uygulama ise ortopedik olan implant malzemelerinin aynı yöntem kullanılarak kaplamalarının yapılmasıdır (Samur, Salman ve Kaya, 1995).

Bu kaplamalar aşağıda maddeler halinde verilmiş amaçlara uygun olacak şekilde fonksiyonel yüzey kaplamaları olarak uygulanmaktadır (Kwin, 1989; Smith ve Novak, 1991).

- ❖ Abrasif aşınmaya karşı direnç
- ❖ Termal yalıtım/ bariyerler
- ❖ Oksidasyona karşı korunma
- ❖ Korozyon direnci
- ❖ Elektriksel olarak yalıtkan veya iletken yüzeyler
- ❖ Yağlama
- ❖ İmplant malzemesi (Kaya, 2007).

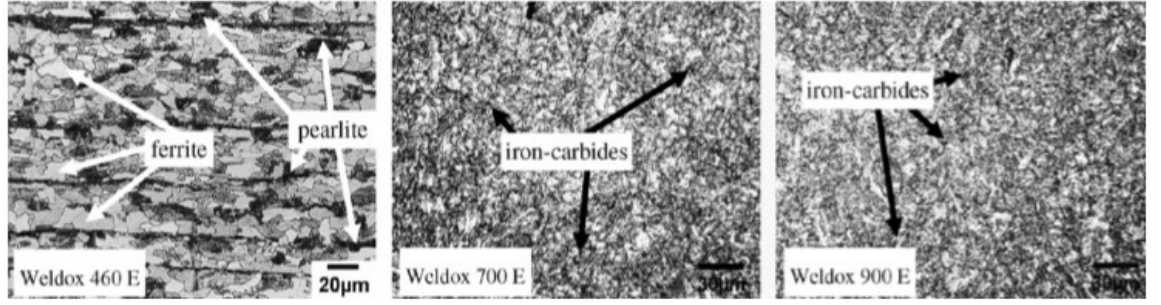
6. WELDOX ÇELİKLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Bu weldox çelikleri iyi kaynak yapılabilme ve gösterdikleri büyük süneklik davranışı ile oldukça yüksek mukavemeti birleştiren, yüksek mukavemete sahip çeliklerin bir grubudur (Borvik, Langseth, Hopperstad ve Malo, 1999; Børvik, Hopperstad, Berstad ve Langseth, 2001a). Bu çelikler için bazı alaşımların nominal akma mukavemeti sergilediği dikkate alınmalıdır. Şekil 6.1’de üç çelik türü için ölçülmüş olan mühendislik gerilme-uzama ve gerçek gerilme-uzama eğrileri verilmiş olup, elde edilen bu sonuçlar, düzgün ve simetrik eksenli numunelerin kullanılması ile numuneler üzerinde oda sıcaklığında ve standart yarı-statik şartlar altında çekme testleri uygulanarak alınmıştır (Dey, Hopperstad, Børvik ve Clausen, 2002; Dey, Børvik, Hopperstad, Leinum ve Langseth, 2004).



Şekil 6.1. Weldox 460 E, Weldox 700 E ve Weldox 900 E için oda sıcaklığında ve yarı-statik şartlar altında mühendislik ve gerçek gerilme-uzama eğrileri

Şekil 6.1 'de üç alaşım benzer pekleşme sergilerken üç alaşımında akma mukavemetlerinde önemli derecede fark olduğu görülmekte olup, bu durum ise alaşımların mikro yapılarındaki farkı yansıtmaktadır. Bu alaşımların kimyasal bileşimleri ve deforme olmamış mikro yapılarının görüntüleri sırasıyla Tablo 6.1 ve Fotoğraf 6.2’de verilmiştir (Solberg vd., 2007).



Fotoğraf 6.1. Üç çelik alaşımının orijinal mikro yapıları

Tablo 6.1. *Weldox 460 E, Weldox 700 E ve Weldox 900 E*’nin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %)

		C	Si	Mn	P	S	B	Nb	Cr	V	Cu	Ti	Al	Mo	Ni	N
Weldox 460 E	Nominal	0.16	0.50	1.70	0.025	0.015	-	0.050	-	0.10	-	0.020	0.015	0.050	0.10	0.015
	Certificate	0.08	0.26	1.40	0.008	0.002	-	0.028	0.02	0.04	-	0.010	0.032	0.007	0.04	0.006
Weldox 700 E	Nominal	0.20	0.60	1.60	0.020	0.010	0.005	0.040	0.70	0.090	0.30	0.040	0.015	0.700	2.00	0.015
	Certificate	0.13	0.30	0.99	0.010	0.001	0.002	0.023	0.25	0.029	0.01	0.016	0.052	0.150	0.04	0.004
Weldox 900 E	Nominal	0.20	0.50	1.60	0.020	0.010	0.005	0.040	0.70	0.060	0.30	0.040	0.018	0.700	2.00	0.015
	Certificate	0.17	0.23	1.39	0.013	0.002	0.002	0.019	0.25	0.019	0.01	0.004	0.066	0.477	0.05	0.003

Weldox 460 E, 700 E ve 900 E gibi çelik alaşımlarının Fe-Fe₃C faz diyagramında karbon içeriklerinin %0,08 den %0.2 ye kadar değişim gösterdiği, östenit dönüşümünün 727 °C’ de başladığı ve denge şartları altında yaklaşık 850 °C’ de tamamen dönüştüğü görülmektedir. Östenit bölgesinden hızlı bir soğutma işlemi olabilir ve bundan dolayı delme işlemi sonrasında sınırlı bölgelerde martenzitik mikro yapı gözlemlenir (Solberg vd., 2007).

Weldox 700 E ve Weldox 900 E çeliklerinin temperlenmiş martenzitten oluştuğu mikrografi görülmekte olup, bu çelikler temperleme prosesi (QT olarak adlandırılır) ve su verme işlemi ile oluşan malzemelerdir. Fotoğraf 6.1’de mikroyapının demir-karbürün küresel şekilli ve küçük parçacıklarından oluştuğu görülmektedir. Ayrıca demir-karbürler martenzit iğneler içerisinde çöktürülmüş olup, uygulanan su verme işlemi nedeniyle süneklikte artış sergileyen kafes gerilmeleri yapılan temperleme işlemi esnasında meydana gelmiştir. Ayrıca ince haldeki demir-karbür çökelmeleri sayesinde yüksek mukavemet sağlanmaktadır (Solberg vd., 2007).

Weldox 450 E çeliğinin sahip olduğu yüksek mukavemet, kontrollü soğutma işlemi sonrasında belirli bir sıcaklık kullanılarak yapılan haddeleme ile elde edilmektedir. (Børvik vd., 2001a).

Weldox 450 E çeliğinin denizcilik alanında ve sivil yapılarda, farklı mühendislik alanlarında yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu çeliğin dinamik davranışı incelenmek istendiğinde esas olarak bu çeliğin darbe işlemi esnasındaki davranışını inceleyen uluslararası literatür çalışmalarında bulunabilir. (Borvik vd., 1999; Borvik, Langseth, Hopperstad ve Malo, 2002a; Dey vd., 2004).

Literatür incelendiğinde kapsamlı bir deneysel çalışma darbe oluşturulan yükleme koşulları altında üç Weldox çeliklerin davranışlarını ortaya çıkarmak için yapılmıştır (Dey vd., 2002; Dey vd., 2004; Børvik, Leinum, Solberg ve Hopperstad, 2001b). Deneysel programlarda sadece basit çekme testleri gerçekleştirilmiş ve gerinim sertleşmesi hızı, yumuşama sıcaklığı, gerinim sertleşmesinin etkileri, mukavemet üzerinde süneklik ve üç eksenli gerilme çalışılmıştır. Test sonuçları tüm malzemelerin gerilme durumu, sıcaklık ve gerinim hızına duyarlı olduğunu göstermektedir. Ancak bu üç çelik önemli derecede farklı akma mukavemetleri ve mikro yapıya sahip olmalarına rağmen bu çelikler benzer gerinim sertleşmesi, gerinim sertleşmesi hızı ve yumuşama sıcaklığı sergilerler. Bu deney programlarına ilişkin daha fazla ayrıntılar Børvik vd., (2001a); Dey vd., (2002); Dey vd., (2004) den bulunabilir.

Weldox ifadesi oldukça yüksek sertlik içeren çeliğin yapı sektörlerinde kullanımına verilen ad olarak tanımlanabilir. Weldox çeliğinde temel hedef oldukça iyi sertlik sağlanırken kaynak yapılabilirliğinde oldukça iyi şekilde korunabilmesidir. Oldukça yüksek hassasiyetin istendiği uygulamalarda, mobil ve kamyon vinçlerinde ve atölye çalışmalarında weldox çelikleri etkili şekilde kullanılmaktadır.

Weldox çeliği kullanılmasının avantajları şunlardır:

- Bu çelik daha ince yapıya sahip olmasına rağmen oldukça fazla yükleme kapasitesine sahiptir.
- Uzama kapasitesinin yüksek olması oldukça yüksek verimlilik sağlamaktadır.

- Bu elik ile standart özellikler daha kısa zamanda retilenmektedir.
- Üretim sırasında hassasiyet ve tutarlılık sergileyen ve oldukça uzun ömürlü ve güçlü olan bir çeliktir (URL-2, 2016).

6.1. Weldom 700 eliği

Weldom 700 eliği ise oldukça sert ve yüksek mukavemetli bir elik olup çok sayıda binaların çeşitli uygulamalarında tercih edilmektedir. Sahip olduğu standart özellikler kolay kaynak yapılabilmesi ve sıkı bir şekilde eğilme davranışı göstermesidir. Bu özelliği onun diğer çeliklerden ayrılmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak Weldom 700 eliği diğer çeliklere göre daha az ağır bir elik olup, kullanım alanlarında bu özelliği ile büyük üstünlük sağlar. Ayrıca bu çeliğin kullanıldığı araçların oldukça hafif olması ve yüksek mukavemet dayanımı sergilemesi dikkat çekmektedir (URL-3, 2016).

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

7.1. Deneysel Yöntem

Bu tez çalışmasında, Weldom 700 çeliğinin yüzeyine HVOF yöntemi ile çeşitli kaplamalar yapılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Weldom 700 çeliği yüzeyine yapılacak kaplamalar ile çeliğin aşınma özelliklerinin iyileştirilip, aşınma kayıplarının en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

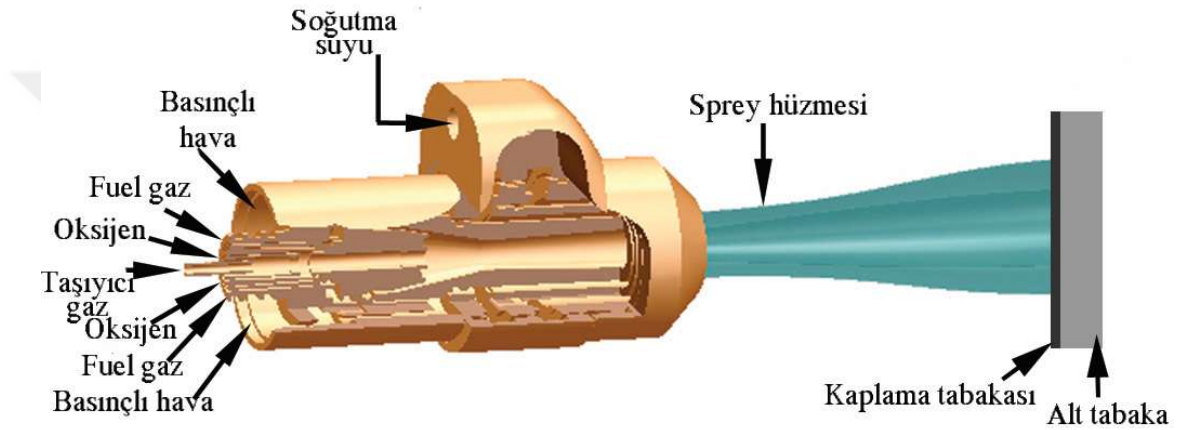
7.2. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada yurtiçi firmadan temin edilen işlemsiz Weldom 700 çeliği alt malzeme olarak kullanılmış olup, HVOF yöntemi ile üretilecek kaplamalarda kaplama tozu olarak yurtiçi ve yurt dışı firmalardan temin edilen üç farklı ticari kaplama tozları kullanılmış olup, kaplamaların üretilmesinde yüksek hızlı oksijen yakıt (HVOF) püskürtme yöntemi kullanılmıştır. İşlemsiz Weldom 700 çeliği (K0) ve kaplama tozlarının (K1, K2, K3) kimyasal bileşimi Tablo 7.1’ de gösterilmiştir.

Tablo 7.1. İşlemsiz Weldom 700 çeliği ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimleri

Bileşim (% ağı.)	Weldom 700 (K0)	Diamalloy 2001 (K1)	Sulzer Metco 5810 (K2)	Diamalloy 4454 (K3)
C	0.15	1	6	-
B	0.03	3.5	-	-
Al	-	-	-	8
Mn	1.60	-	-	-
Si	0.40	4	-	-
Ni	1.00	Kalan	-	32
Cr	0.25	17	-	21
Fe	Kalan	4	-	-
Mo	0.30	-	-	-
Y	-	-	-	0.5
W	-	-	82	-
Co	-	-	12	Kalan
Toz boyutu (µm)	-	-45+15	-63+11	-45+22

Alt tabaka olarak kullanılan 20mm x 5mm x 60mm ölçülerinde Weldom 700 çeliği aseton çözeltilisinde temizlendikten sonra kaplama tabakasının daha iyi bağlanması için 24-35 mesh arasında tane boyutuna sahip Al_2O_3 kumu ile kumlama işlemine tabi tutuldu. Kaplamaların üretiminde Metco Diamond Jet (DJ) 2600 HVOF püskürtme sistemi kullanılmıştır. HVOF kaplama işleminin şeması Şekil 7.1’de verilmiştir. Kaplama işleminde kullanılan püskürtme parametreleri Tablo 7.2’de verilmiştir. Toz taşıyıcı gaz olarak azot kullanıldı ve kaplama işleminden sonra alt tabakalar yüksek basınçlı hava jetleri ile soğutuldu.



Şekil 7.1. HVOF kaplama işleminin prensip şeması

Tablo 7. 2. Püskürtme parametreleri

Kaplama kalınlığı	200-300 μ m
O ₂ akışı (l/dak.)	240
Fuel gaz (Hidrojen) akışı (l/dak.)	600
Toz besleme miktarı (gr/dak.)	75
Püskürtme mesafesi (mm)	250
Taşıyıcı gaz (N ₂) akışı (l/dak.)	16

7.3. Mikroyapı İncelemesi

Çalışmada üretilen kaplamaların mikroyapı ve faz bileşimi incelemesi, taramalı elektron mikroskobu (SEM), X ışını enerji dağılım spektrometresi (EDS), optik mikroskop ile (OM) ve X-ışını difraksiyonu (XRD) ile yapılmıştır.

HVOF yöntemiyle kaplanan numuneler bakalite alınmış ve sırasıyla kaba ve ince zımparalama kademelerinden geçirilerek zımparalanmış, daha sonra sırasıyla 3 ve 1 mikronluk elmas solüsyonlar kullanılarak parlatılmıştır. Numunelerin dağlanmasında ise % 5'lik Nital çözeltisi kullanılmıştır. Böylece kaplama tabakası kesiti ve kaplama tabakası-ana malzeme ara yüzeyi optik mikroskopi ve SEM için hazır hale getirilmiştir. 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.

7.4. Sertlik Deneyi

Sertlik ölçümü öncesi numune yüzeylerine zımparalama ve parlatma işlemleri uygulanmıştır. Kaplamaların sertlikleri Shimadzu HVM-2 model mikrosertlik cihazı ile ölçülmüştür. Kaplamaların sertlikleri numunelerin üst yüzeyinden 500 gr yükte ve 15 sn sürede toplam 6 değer olarak alınmıştır. Bu değerlerin ortalaması alınarak değerlendirme yapılmıştır.

7.5. Aşınma Deneyi

Aşınma testleri hem alt tabaka hem de kaplama tabakaları için UTS Tribometer cihazı ile ASTM G133 standartına göre pin-on-disk yöntemi ile yapılmıştır. Tüm testler 10 N, 15 N ve 20 N yükte, 5 cm/s aşınma hızında ve 300 metre kayma mesafesinde 25 °C ortam sıcaklığında ve % 35 ortam neminde gerçekleştirilmiştir. Bilgi toplama oranı 5 Hz seçilmiştir. Aşındırıcı olarak 100Cr6 çelik malzemedan üretilmiş Ø6 mm çaplı küre bilyeler kullanılmıştır. Her bir deney için kullanılan küre bilyeler değiştirilmiştir. Aşınma esnasında sıcaklık değişimlerini belirlemek amacıyla termal kamera ile

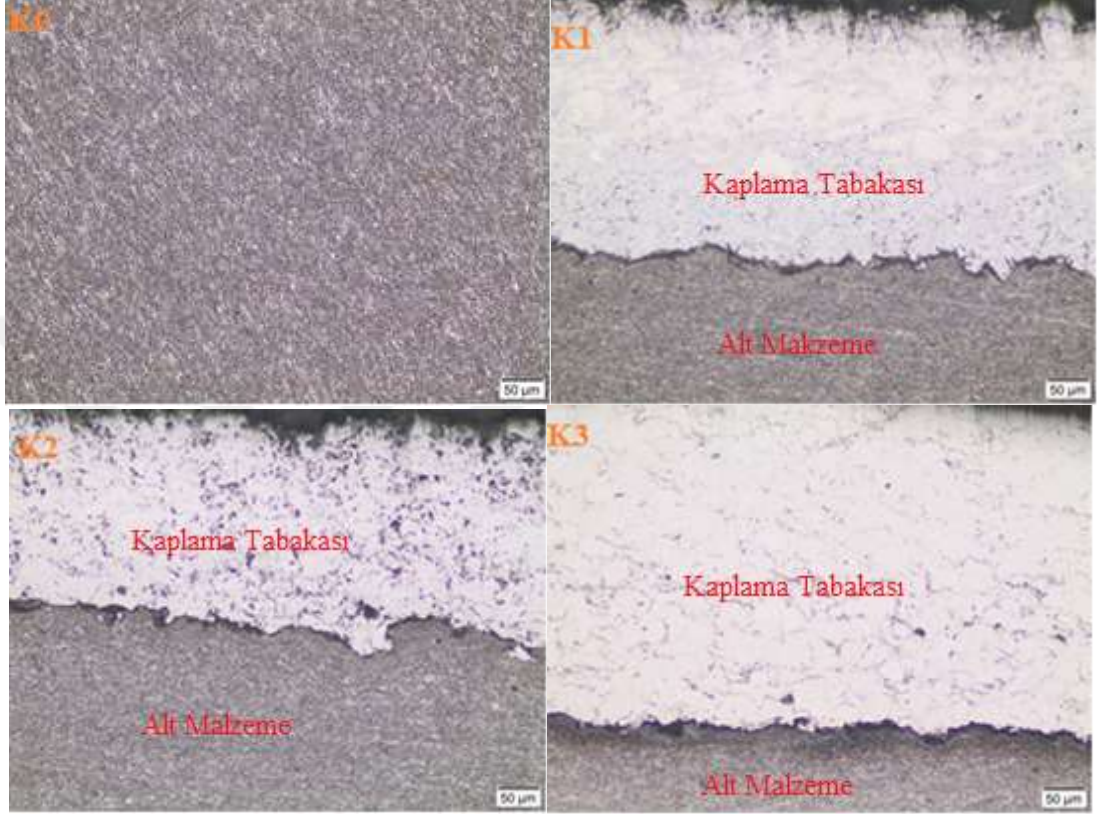
aşınma bölgesinin görüntüleri çekilmiştir. Aşınma yüzeylerinin morfolojisi ve kimyasal bileşimi SEM-EDS analizleri ile incelenmiştir. Aşınma yüzeyinin profili, yüzey profilometre cihazı ile belirlenmiştir. Aşınma profilleri kullanılarak aşınma oranları hesaplanmıştır.



Fotoğraf 7.1. Aşınma cihazı (UTS 10/20 Tribometer)

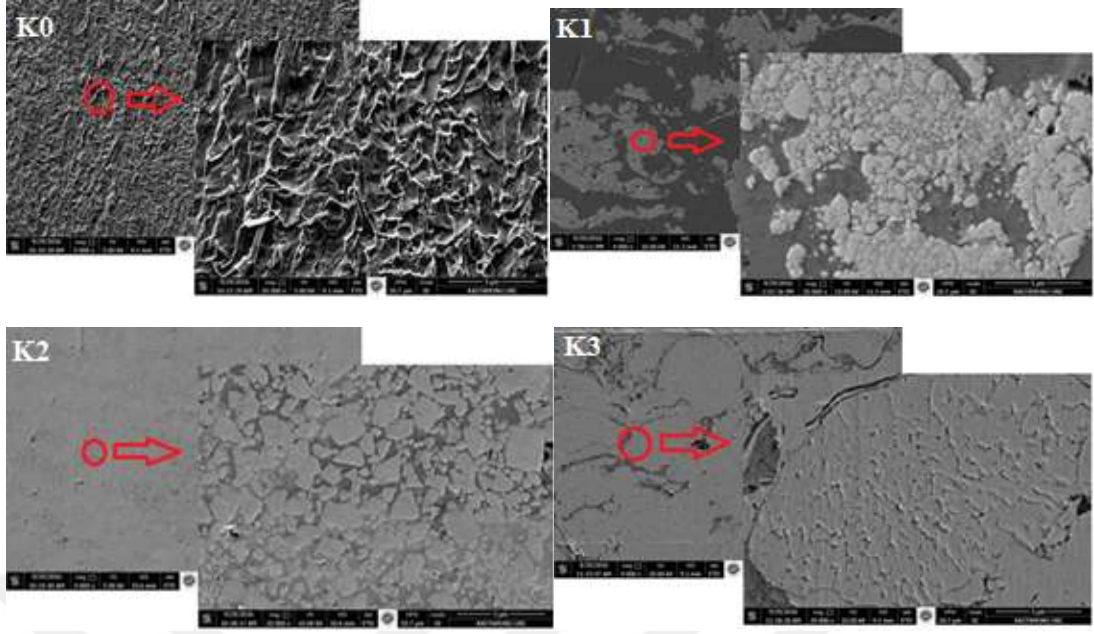
8. BULGULAR VE TARTIŞMA

8.1. Mikroyapı İnceleme Sonuçları



Fotoğraf 8.1 İşlemsiz Weldox 700 çeliği ve HVOF kaplama yapılmış numuneler

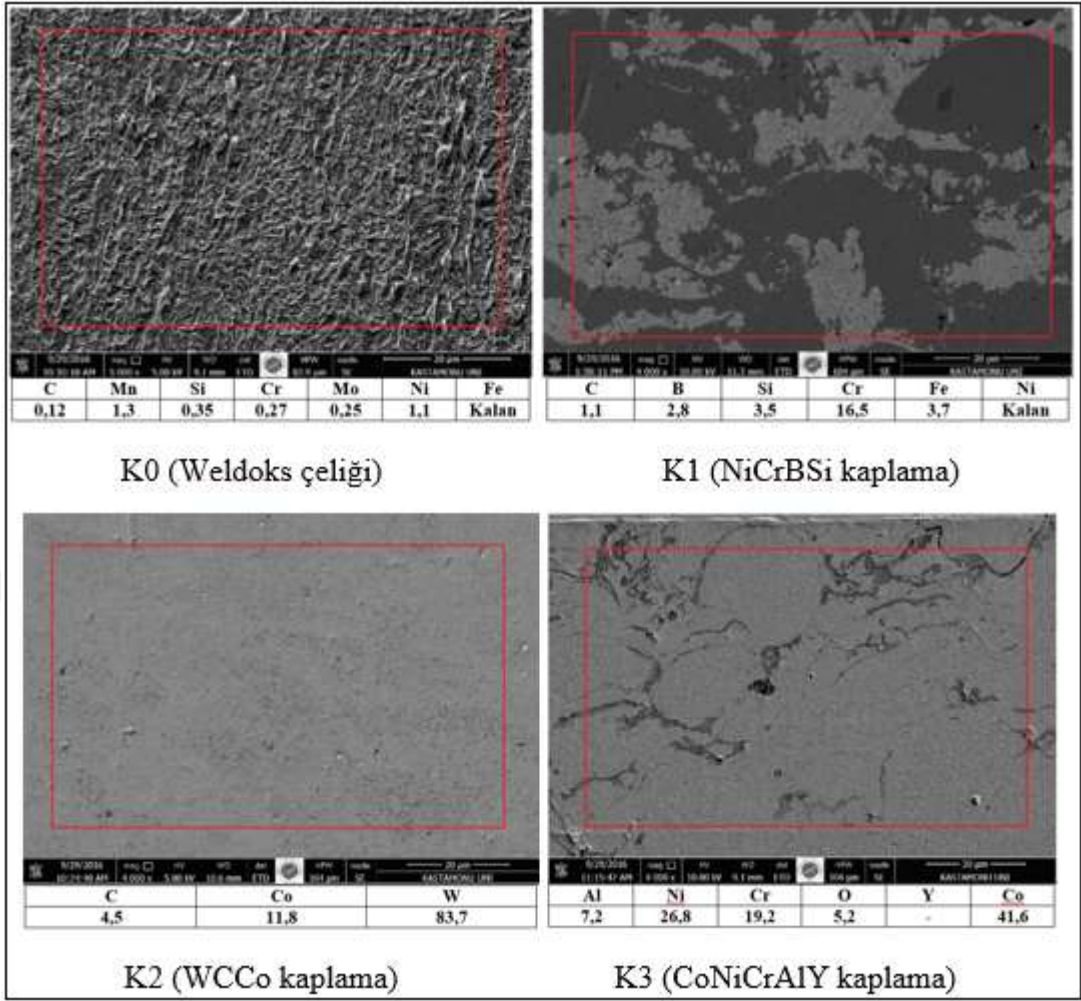
Fotoğraf 8.1’de işlemsiz weldox 700 çeliği ve HVOF kaplama yapılmış numunelerin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi HVOF kaplama weldox 700 çeliği üzerine başarıyla gerçekleştirilmiştir. HVOF spreyle üretilmiş kaplamaların birbirine göre paralel konumlanmış lamelli yapıya sahip olduğu görülmektedir. Lamelli yapılar ergiyik haldeki partiküllerin alt malzemeye çarpması, deformasyona uğraması ve katılaşması şeklinde meydana gelir. Lameller alt malzeme paralel olarak oluşur ve lamellerin orta kısmı kalın, uç kısımlara doğru ise kalınlığı azalmaktadır.



Fotoğraf 8.2. Alt malzeme ve Kaplama tabakalarının SEM Görüntüleri

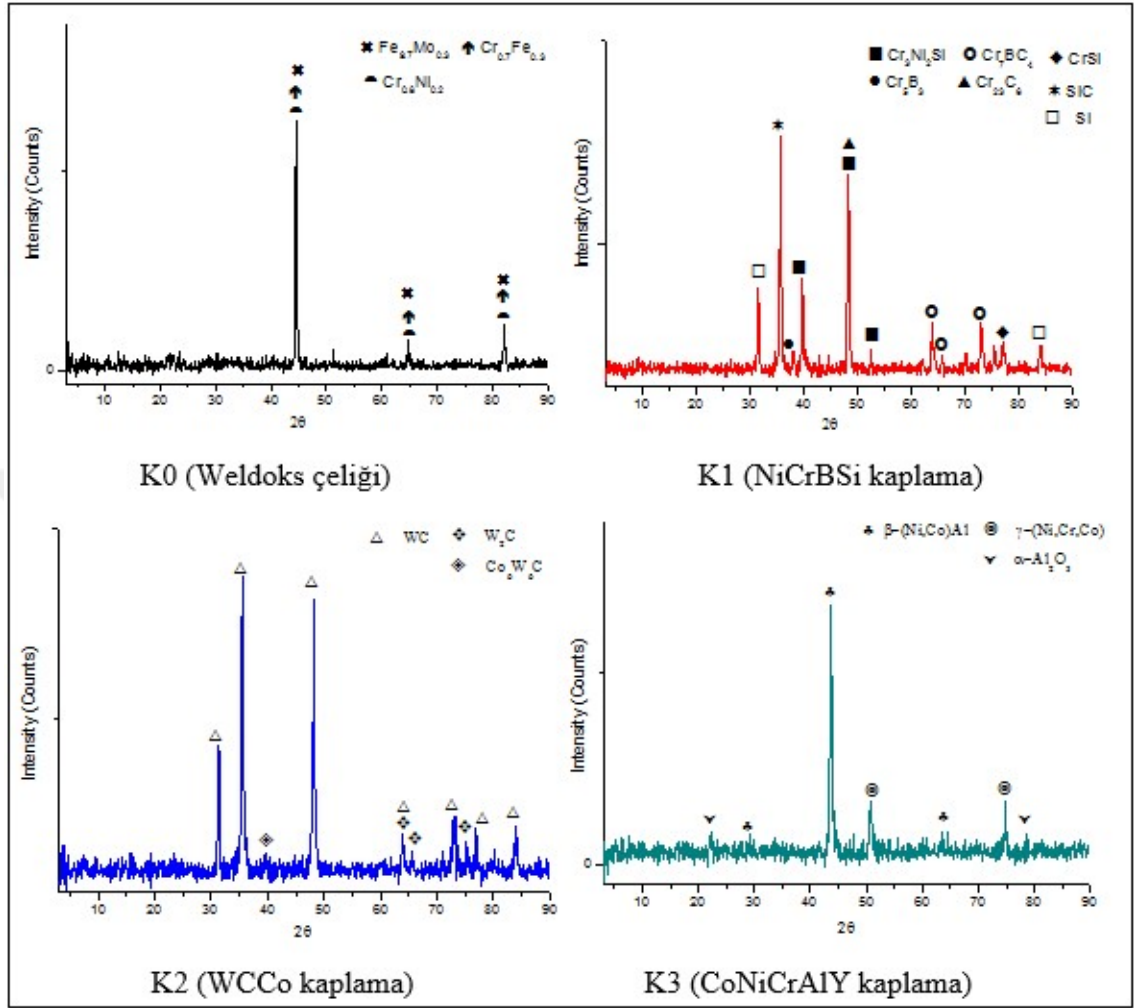
Fotoğraf 8.2 'de alt malzeme ve kaplama tabakalarının SEM görüntüleri verilmiştir. HVOF sprej ile üretilen yapıda ergimemiş partiküller, sayısız gözenek ve mikroçatlak oluşmuştur. Ergimemiş partiküllerin oluşum sebebinin ise sprej sıcaklığının yetersiz olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Weldox 700 çeliği ve kaplama tabakalarının SEM görüntüleri ve EDS analizleri fotoğraf 8.3 'te verilmiştir. Hem alt tabaka hem de kaplama tabakalarında (K3 hariç) oksit oluşumuna rastlanmamıştır. K3 nolu kaplama numunesinde Al'un oksijene karşı yüksek afinitesinden dolayı oksitlenme meydana gelmiştir.



Fotoğraf 8.3. Weldom 700 çeliği ve kaplama tabakalarının EDS analizleri

8.2 XRD Analizi Sonuçları

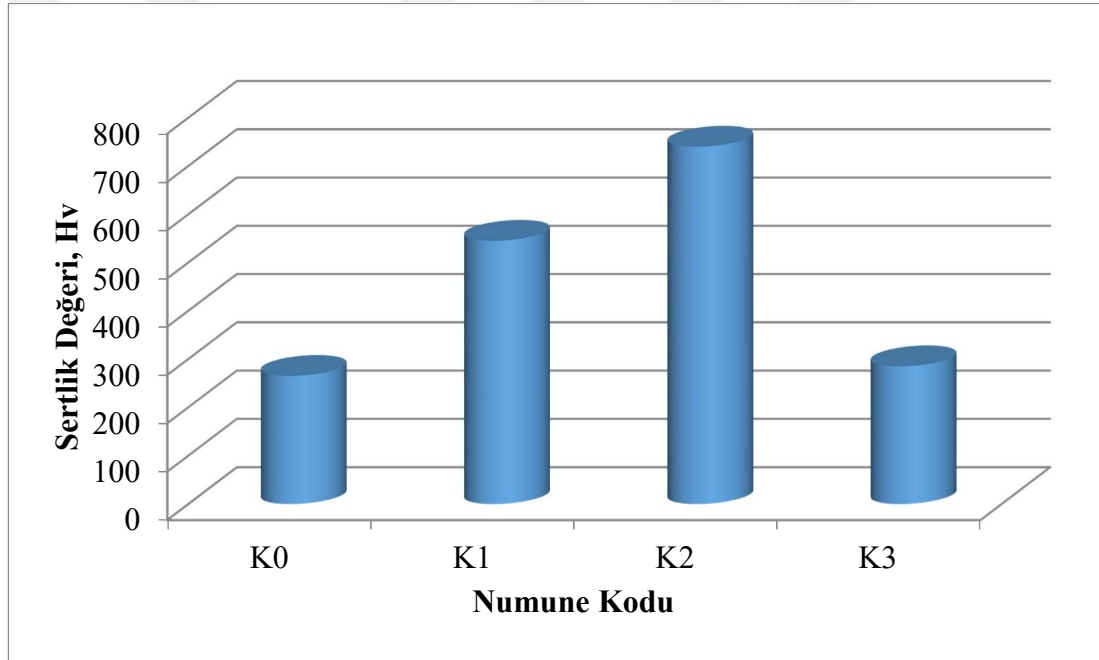


Grafik 8.1 Alt malzeme ve yapılan kaplamaların XRD grafikleri

Grafik 8.1’de Weldoks 700 çeliğinin (alt malzeme) ve kaplama tabakalarının XRD grafikleri verilmiştir. Alt tabakada $Fe_{9.7}Mo_{0.3}$, $Cr_{0.7}Fe_{0.3}$ ve $Cr_{0.8}Ni_{0.2}$ fazları oluşmuştur. Alt tabakada karbür fazı oluşmamıştır. Aynı zamanda bor oranı da çok düşük olduğu için borür fazları da oluşmamıştır. K1 kodlu kaplama tabakasında Cr_3Ni_2Si , $Cr_{23}C_6$, Cr_5B_3 , Cr_7BC_4 , SiC , $CrSi$ ve Si fazları oluşmuştur. Kaplama tabakasında yeterli miktarda Cr , C ve B olduğundan karbür ve borürlerin oluşması beklenen bir durumdur. K2 kodlu kaplama tabakasında WC , W_2C ve Co_6W_6C fazları oluşmuştur. Kobalt, tungsten ve karbonla bileşik oluşturmuş (Co_6W_6C), tek başına kobalt fazına rastlanmamıştır. HVOF alevinin yüksek sıcaklığı, sıvı kobalt içerisinde WC ‘deki karbon çözünür ve karbonun bozunmasıyla CO/CO_2 oluşturur. WC ‘de ki

karbonun oksitlenmesiyle W_2C fazı oluşur. W_2C fazının oluşumu termal püskürtme işleminde dekarbürizasyonun bir ürünü olarak kabul edildi. K3 Kodlu kaplama tabakasında β -(Ni,Co)Al, γ -(Ni,Cr,Co), α Al₂O₃ fazları oluşmuştur. K3 nolu kaplama numunesinde Al'un oksijene karşı yüksek afinitesinden dolayı oksitlenme meydana gelmiştir. Kaplama tozu içerisinde Yitriya elementi ağırlıkça %0,5 olduğu için XRD grafiğinde Yitriya elementine rastlanmamıştır.

8.2. Sertlik Deneyi Sonuçları

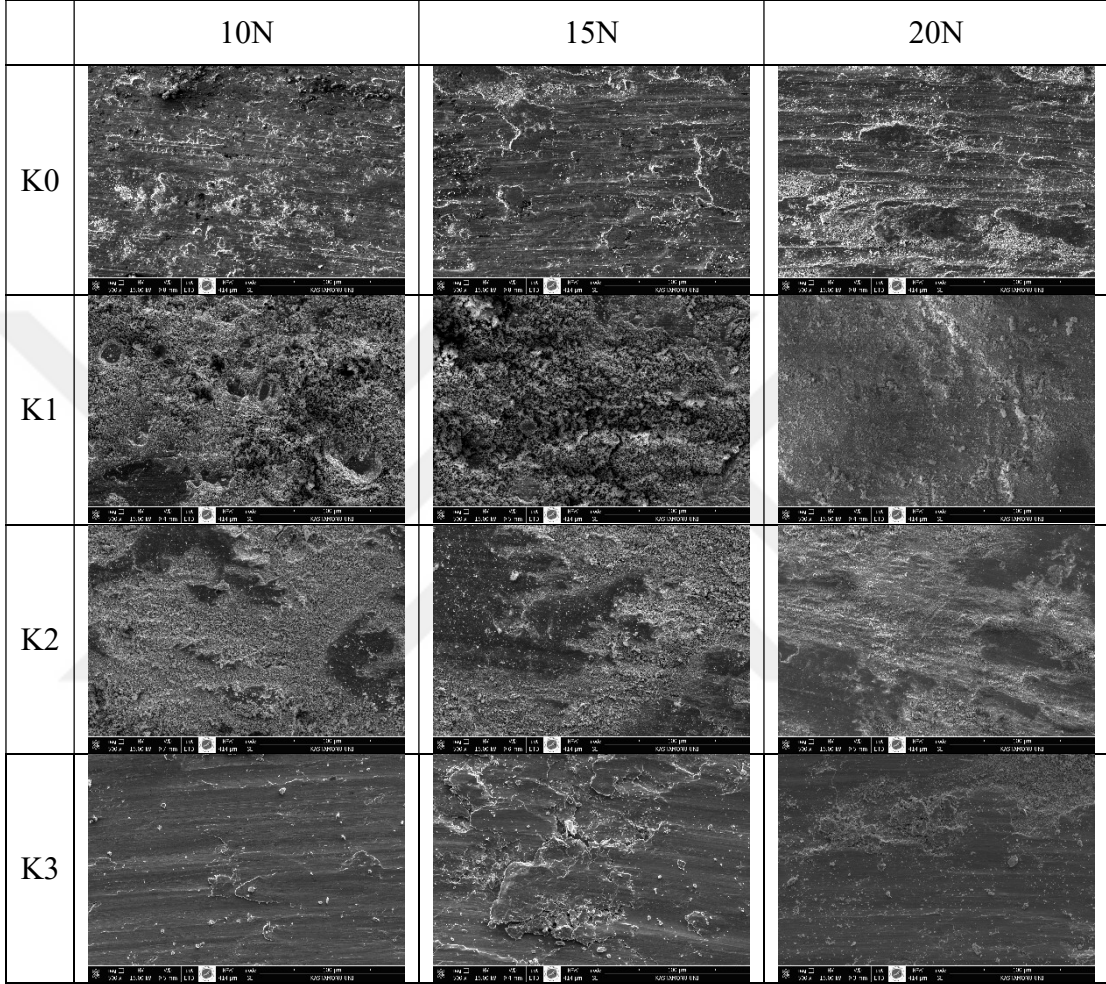


Grafik 8.2 Alt malzeme ve Kaplamaların Mikrosertlik Değerleri

Grafik 8.2 'de Alt malzeme ve HVOF ile kaplanmış numunelerin üst yüzeylerinden alınmış mikrosertlik değerleri verilmiştir. Kaplama tabakalarının ortalama kalınlığı yaklaşık 300 μ m'dir. Alt malzemenin (K0) ve K1, K2, K3 kodlu numunelerin ortalama sertlik değerleri sırasıyla 265 HV_{0,5}, 545 HV_{0,5}, 740 HV_{0,5}, 285 HV_{0,5} 'dir. En yüksek sertlik değerinin WCCo esaslı tozla kaplama yapılmış K2 kodlu numunede olduğu

tespit edilmiştir. Elde edilen bu sertlik değeri alt malzemenin sertlik değerinin yaklaşık 3 katıdır.

8.3 Aşınma Deneyi Sonuçları



Fotoğraf 8.4. Alt tabaka(K0) ve kaplama tabakalarının (K1, K2, K3) aşınmış yüzeylerinin morfolojileri

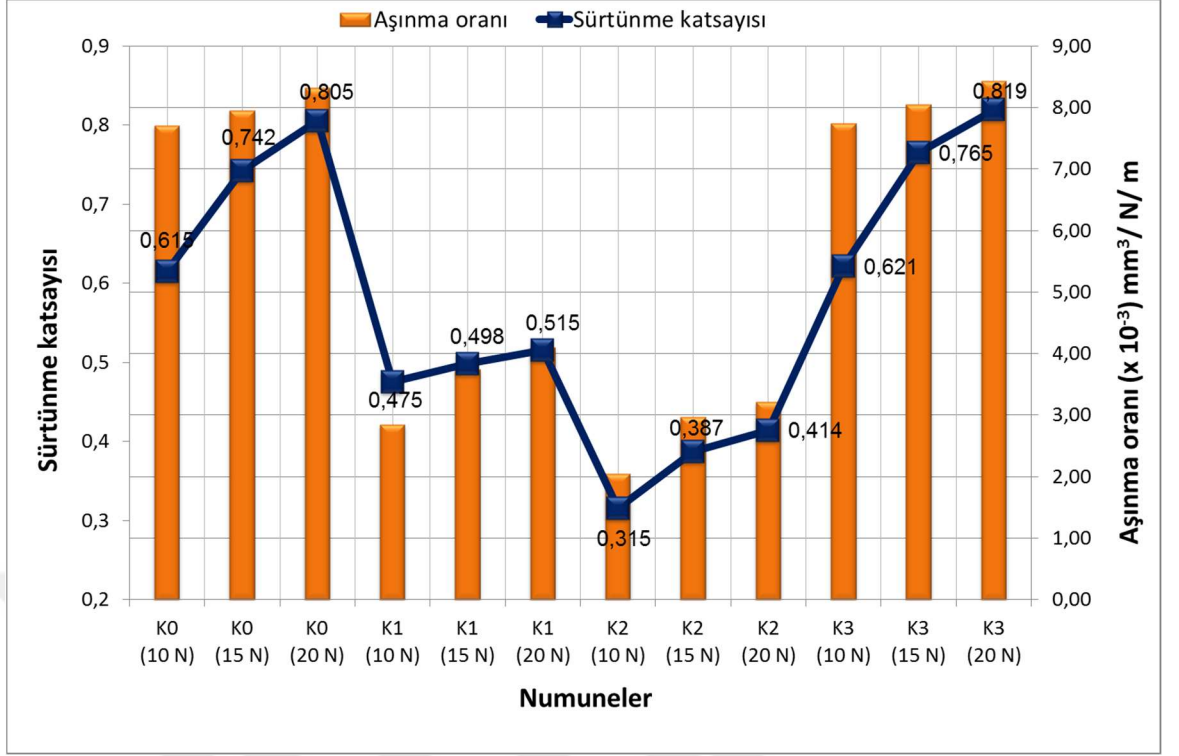
Farklı yüklerde, alt tabaka(K0) ve kaplama tabakalarının (K1, K2, K3) aşınmış yüzeylerinin morfolojileri Fotoğraf 8.4 'te görülmektedir. Alt tabaka ve kaplama tabakalarında hem adhesive hem de abrasive aşınma türü hakimdir. Alt tabakanın(K0) aşınması sonrası malzeme kaybı, yoğun plastik deformasyon ve mikro sabanlama olukları ve az da olsa takoz oluşumu ve debrisler şeklinde görülmektedir. K3 kodlu numune diğer kaplamalara göre daha yumuşak olduğundan dolayı yoğun plastik deformasyon, mikro sabanlama olukları, takoz oluşumu ve az da olsa debrisler

gözlenmiştir. K1 ve K2 kaplama tabakalarının aşınma yüzeyinde, plastik deformasyon ve mikro sabanlama yok denecek kadar azdır. Bunun sebebi, kaplama tabakasının sert olmasından kaynaklanan aşınma oranı ve sürtünme katsayısının düşük olmasıdır. Bu, kaplama tabakasının plastik deformasyona karşı ve karşı malzemeye ve aşınma ürünlerine karşı çizilmesine karşı dirençli olmasına neden olur. Alt tabaka ve diğer kaplamalara göre daha yumuşak olan K3 kodlu numunenin aksine, K1 ve K2 kodlu numunelerin kaplama tabakasında abrasiv aşınma, adheziv aşınmaya göre daha fazladır. Aşınma yivlerinin oluşumu daha azdır. K1 ve K2 kodlu numunelerde malzeme kaybı ve delaminasyon aşınması ile daha fazla olmaktadır. Tüm numuneler için görülen kayıplar, yük arttıkça daha da artmıştır.

Tablo 8.1. 20 N yüke maruz kalan numunelerin aşınan yüzeylerinin genel EDS analizi (% ağırlık)

Numune Kodu	Fe	Al	O	Cr	Ni	Co	W	C	Si	B	Y
K0	Kalan	-	18,85	-	-	-	-	0,15	-	-	-
K1	3	-	32,6	16,4	Kalan	-	-	0,7	3,2	2,6	
K2	-	-	28	-	-	8	61	3	-	-	
K3	-	7,1	11,5	20,4	28,5	Kalan	-	-	-	-	-

Tablo 8.1’de 20 N yüke maruz kalan hem alt tabakanın hem de kaplama tabakalarının aşınan yüzeyinin genel EDS analizi verilmiştir. Tüm numunelerde oksit oluşumu meydana gelmiştir. Oksit tabakası tribolayer etkisi göstererek sürtünme katsayısının düşmesine katkıda bulunmuştur. Yüksek yüklerde bu tabaka kırılarak 2 cisimli ve 3 cisimli aşınma mekanizmalarının oluşumuna neden olmuştur. Aşınma deneyleri sonucu tüm numunelerde kaplama tabakası kalınlığının altına inilmediği veya kaplama tabakalarının ana malzeme üzerinden tamamen kalkmadığı aşınma iz derinliklerinden ve noktasal EDS analizlerinden tespit edilmiştir.



Grafik 8.3. Her bir numunenin sürtünme katsayısı ve aşınma oranları

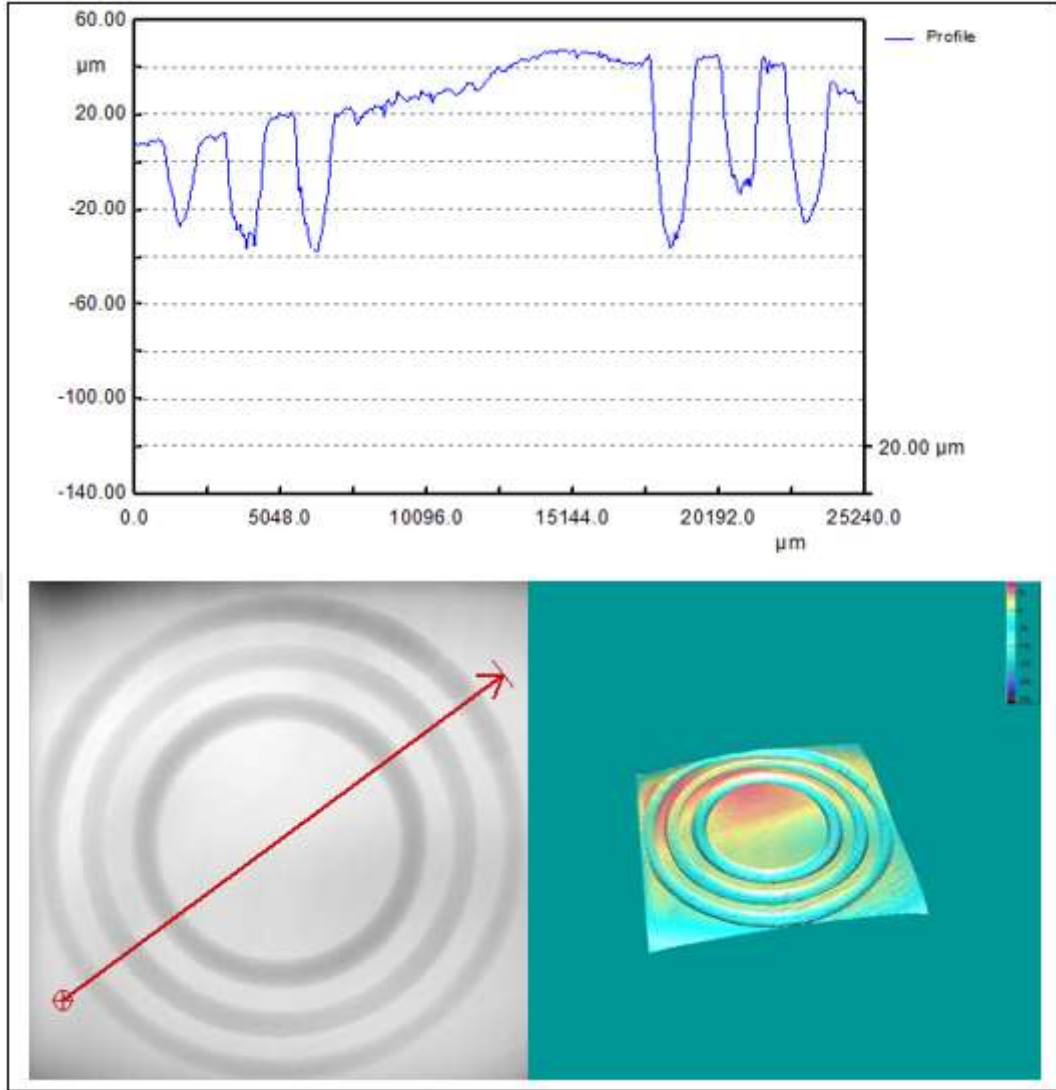
Grafik 8.3' de her bir numunenin sürtünme katsayısı ve aşınma oranları verilmiştir. Alt tabaka için uygulanan yüke bağlı olarak sürtünme katsayıları 0,615-0,805 aralığında değişirken, K1 numunesi için bu değer 0,475-0,515, K2 numunesi için 0,315-0,414, K3 numunesi için ise 0,621-,0819 aralığında değişmektedir. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere weldox 700 çeliğinin kaplanması sonucu sürtünme katsayısı oldukça azalmıştır. Alt tabaka için 20 N 'a göre 10 N-15 N aralığında sürtünme katsayısı düşmüştür. Bu durum numune yüzeyinde aşınma işlemi esnasında oluşan tribolayerdan kaynaklanmaktadır. 15 N-20 N aralığında ise sürtünme katsayısı artış göstermiştir. Bu artış, yük artışı ile aşınan ve karşı malzeme arasında daha fazla temas alanı olması ve bunun sonucunda bölgesel sıcaklık yükselmelerinin olması ile açıklanabilir. Tüm kaplama tabakalarının sürtünme katsayısında, yük artışı ile lineer olarak bir artış gözlenmiştir.

Archard kanununa göre, malzemelerin aşınma direnci, malzemenin sertliği ile paralel özellik göstermektedir. Bu çalışmada kaplama tabakaları, alt tabakanın sertliğini artırmıştır. Bu vesileyle aşınma direncinde de artış meydana gelmiştir. Aşınma direnci, aşınma oranlarının bir ölçütü olarak yorumlanmıştır. Aşınma oranı aşağıdaki formül

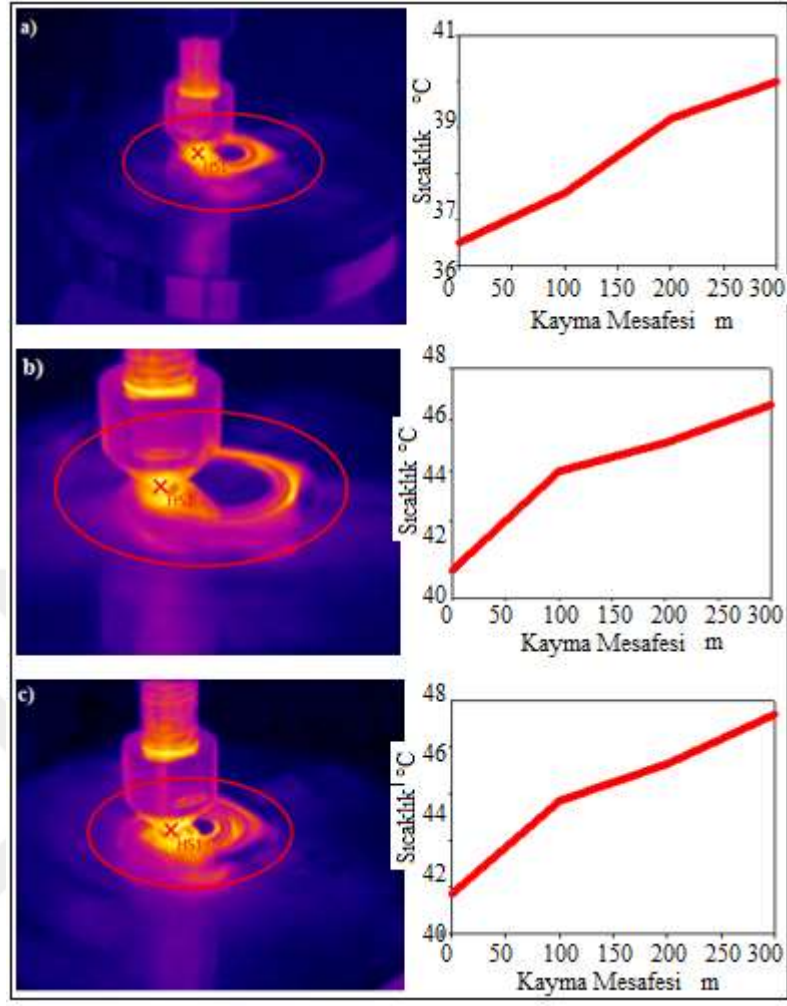
ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Aşınma oranı} = \frac{V}{WL} \quad (8.1)$$

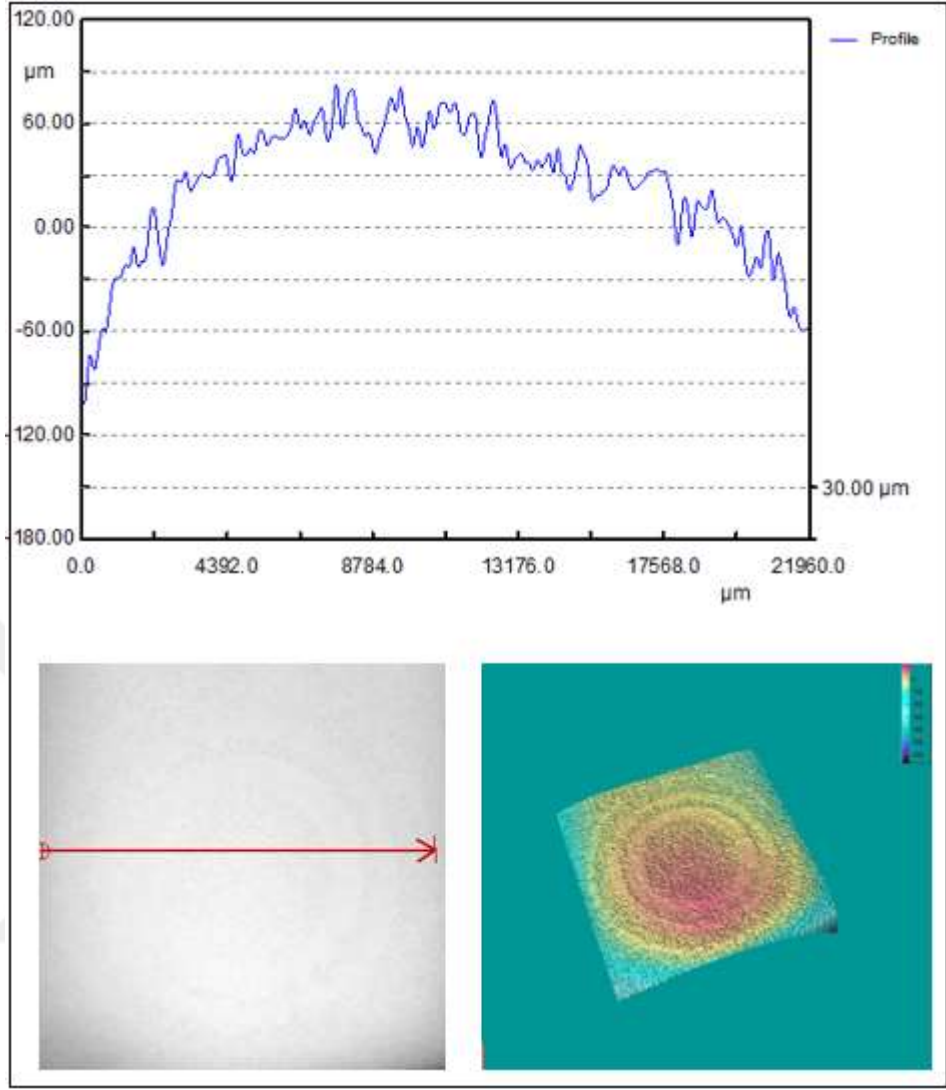
Burada V, hacimsel aşınma kaybı, W, uygulanan yük ve L, aşınma yoludur. Aşınma kayıpları yüzey profilometre vasıtasıyla tespit edilmiştir. Aşınma oranları hem alt tabaka için hemde kaplama tabakaları için uygulanan yüke bağlı olarak artmaktadır. Düşük yüklerde, aşınan malzeme, karşı malzeme karşısında plastik deformasyona maruz kalmakta iken yük arttıkça malzeme yapısında mikro çatlaklar, sert fazların matristen kopması ve parçalanma meydana gelmektedir. Yükün derecesine göre, bu hasarın derecesi daha da artmaktadır. Alt malzeme için aşınma oranı $\sim 7,715 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$ ile $\sim 8,255 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$ arasında değişirken, K1 numunesi için bu değer $\sim 2,853 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$ ile $\sim 4,088 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$, K2 numunesi için bu değer $\sim 2,013 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$ ile $\sim 3,088 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$, K3 numunesi için $\sim 7,908 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$ ile $\sim 8,488 \times 10^{-3} \text{ mm}^3/\text{N}/\text{m}$ arasında değişmektedir.



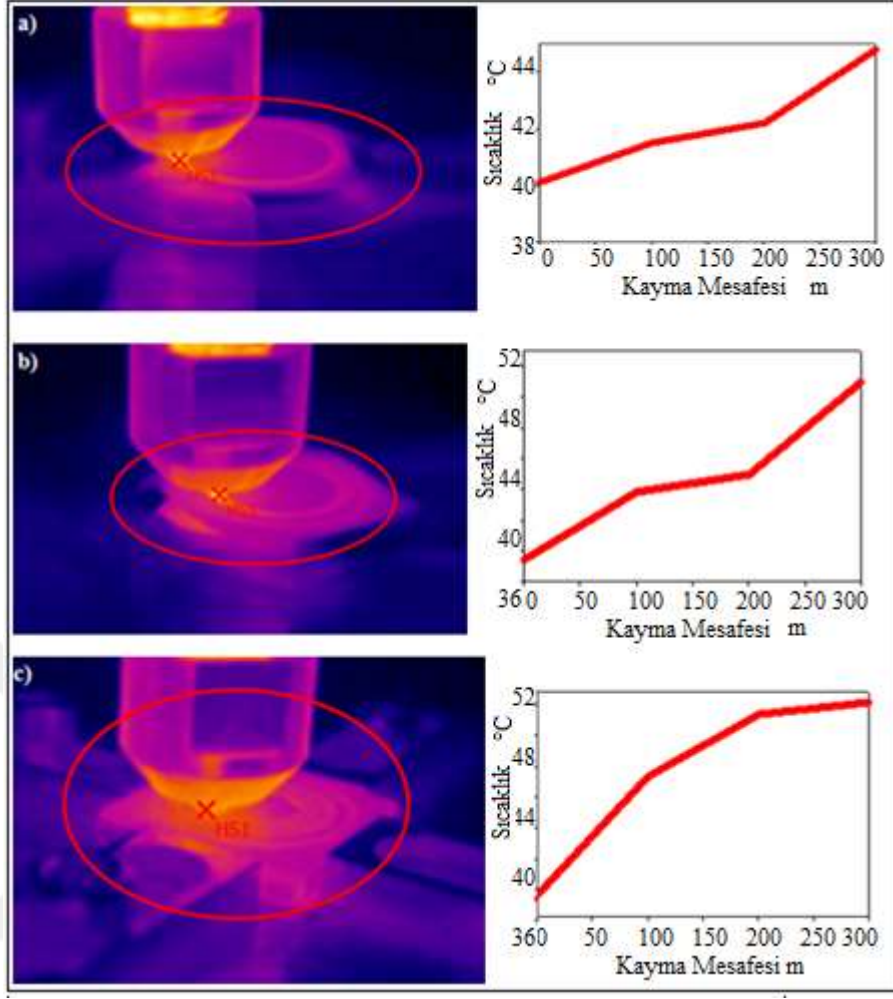
Şekil 8.1. KO kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü



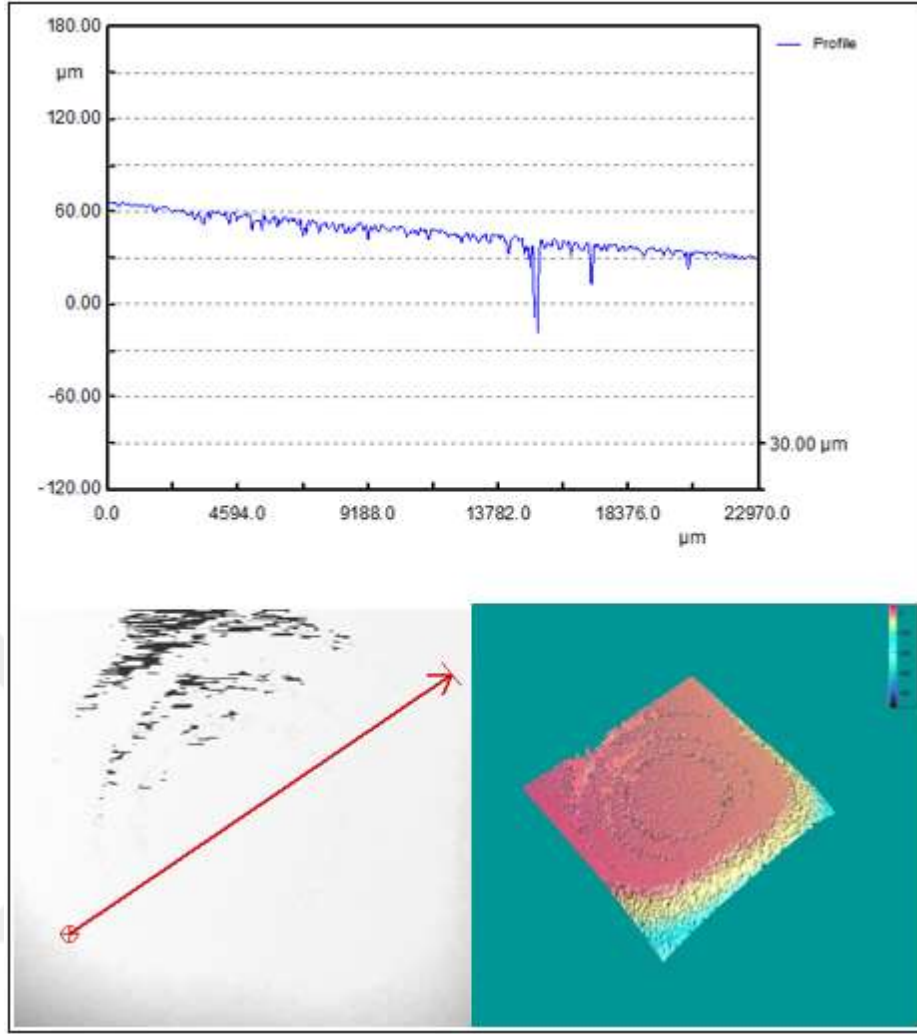
Şekil 8.2. KO kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri



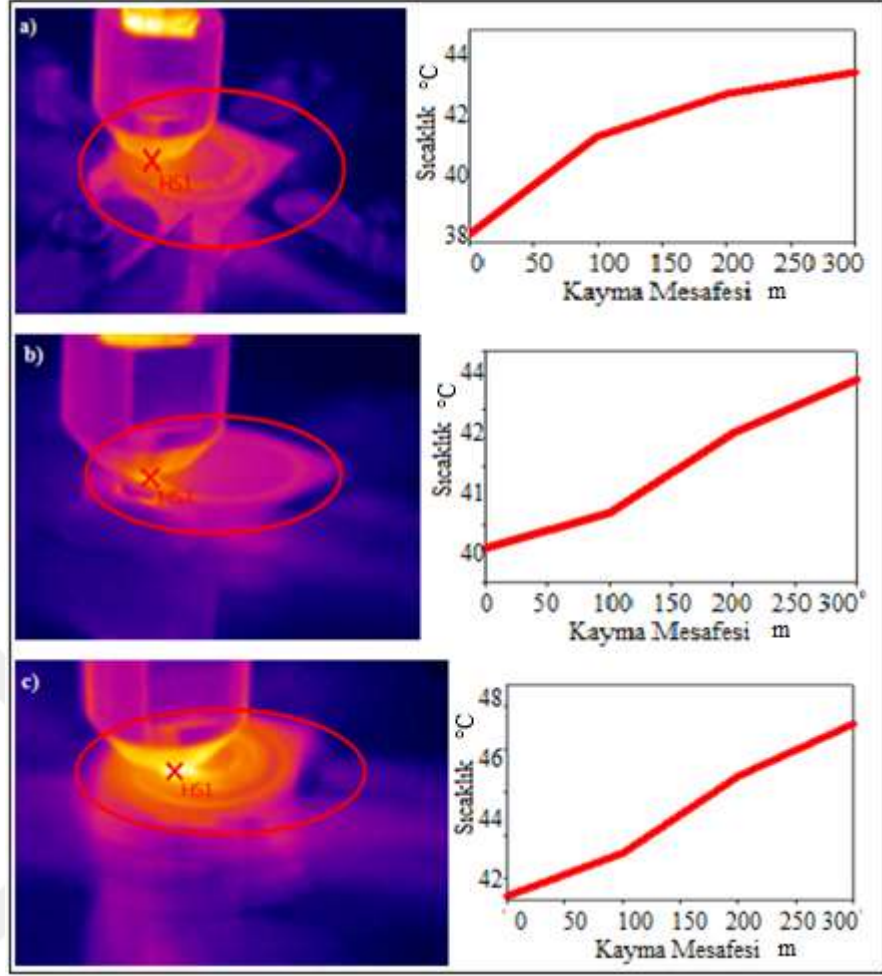
Şekil 8.3. K1 kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü



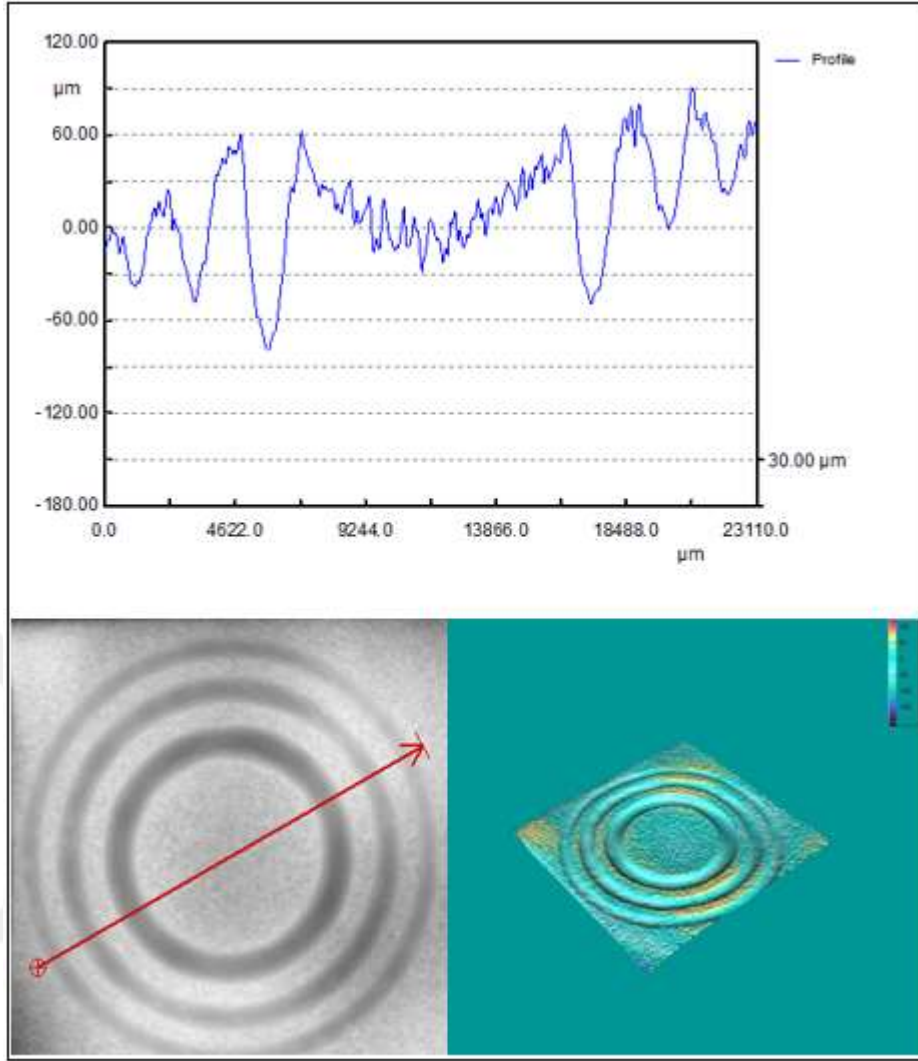
Şekil 8.4. K1 kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri



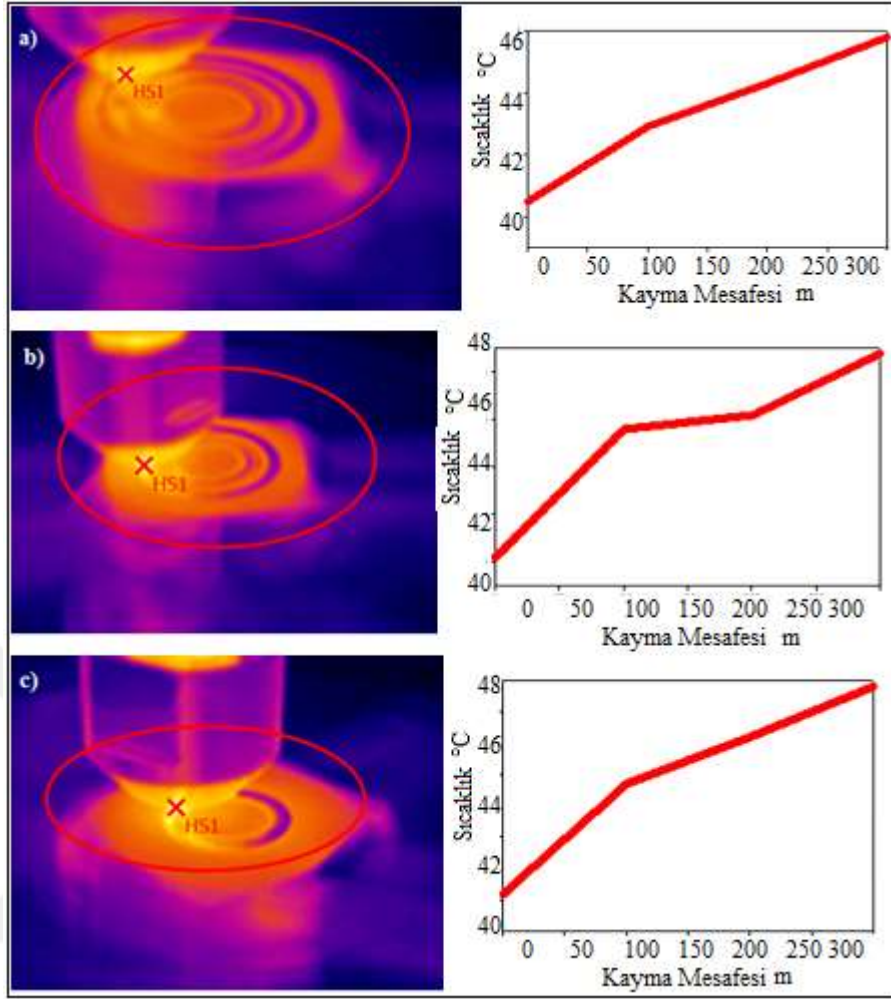
Şekil 8.5. K2 kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü



Şekil 8.6. K2 kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri



Şekil 8.7. K3 kodlu numunenin iz derinliği grafiği ve profilometre görüntüsü



Şekil 8.8. K3 kodlu numunenin 10 N, 15 N, 20 N yük altında 300 metredeki termal görüntüleri ve sıcaklık ölçümleri

Şekil 8.1-8.8 arasında aşınma işlemi sonrası, aşınan numunelerin yüzeyinden yüzey profilometre cihazı ile alınan aşınma profil grafiği, iz derinliği grafiği, termal görüntüleri ve sıcaklık ölçüm grafikleri verilmiştir. Grafiklere göre, alt tabakanın aşınma kaybının çok fazla olduğu, kaplama yapılmış numuneler arasında en az aşınma kaybı olan numune K2 kodlu numune olduğu görülmektedir. Aşınma derinliklerine göre en fazla aşınan numune alt tabaka yani K0 kodlu numune ardından K3 kodlu numune, daha sonra K1 kodlu numune ve en az aşınma kaybı olan K2 kodlu numune olarak sıralandığı tespit edilmiştir. Tüm numunelerin termal kamera altında sıcaklık ölçümleri incelendiğinde yük arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. Yükün artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetinin de artmasından dolayı sıcaklıklarda artışlar meydana gelmiştir.

9. SONUÇLAR

Weldox 700 çeliğinin yüzeyine HVOF yöntemi ile çeşitli kaplamalar yapılarak yüzey özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmış olup, aşağıdaki bilgi, bulgu ve sonuçlara ulaşılmıştır.

- Weldox 700 çeliği üzerine HVOF yöntemiyle kaplamalar başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- HVOF sprej ile üretilmiş kaplamaların birbirine göre paralel konumlanmış lamelli yapılara sahip olduğu optik ve sem çalışmalarıyla gözlenmiştir. Üretilen kaplamaların SEM çalışmalarında ergimemiş partiküller, sayısız gözenek ve mikroçatlak olduğu tespit edilmiştir. Bu oluşumlar sprej sıcaklığının yetersizliğinden kaynaklanmaktadır.
- Alt tabakada $Fe_{9.7}Mo_{0.3}$, $Cr_{0.7}Fe_{0.3}$ ve $Cr_{0.8}Ni_{0.2}$ fazları oluşmuştur. Alt tabakada karbür fazı oluşmamıştır. Aynı zamanda bor oranı da çok düşük olduğu için borür fazları da oluşmamıştır.
- K1 kodlu kaplama tabakasında Cr_3Ni_2Si , $Cr_{23}C_6$, Cr_5B_3 , Cr_7BC_4 , SiC , $CrSi$ ve Si fazları oluşmuştur. Kaplama tabakasında yeterli miktarda Cr , C ve B olduğundan karbür ve borürlerin oluşması beklenen bir durumdur.
- K2 kodlu kaplama tabakasında WC , W_2C ve Co_6W_6C fazları oluşmuştur. Kobalt, tungsten ve karbonla bileşik oluşturmuş (Co_6W_6C), tek başına kobalt fazına rastlanmamıştır. HVOF alevinin yüksek sıcaklığı, sıvı kobalt içerisinde WC 'deki karbon çözünür ve karbonun bozunmasıyla CO/CO_2 oluşturur. WC 'de ki karbonun bozunmasıyla W_2C fazı oluşur. W_2C fazının oluşumu termal püskürtme işleminde dekarbürizasyonun bir ürünü olarak kabul edilmektedir.
- K3 Kodlu kaplama tabakasında $\beta-(Ni,Co)Al$, $\gamma-(Ni,Cr,Co)$, $\alpha-Al_2O_3$ fazları oluşmuştur. K3 nolu kaplama numunesinde Al 'un oksijene karşı yüksek afinitesinden dolayı oksitlenme meydana gelmiştir.

- Kaplama tabakalarının ortalama kalınlığı yaklaşık 300 μm 'dir. Alt malzemenin (K0) ve K1, K2, K3 kodlu numunelerin ortalama sertlik değerleri sırasıyla 265 HV_{0,5}, 545 HV_{0,5}, 740 HV_{0,5}, 285 HV_{0,5} 'dir. En yüksek sertlik değerinin WCCo esaslı tozla kaplama yapılmış K2 kodlu numunede olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sertlik değeri alt malzemenin sertlik değerinin yaklaşık 3 katıdır.
- Alt tabaka ve kaplama tabakalarının aşınma sonrası SEM görüntüleri incelendiğinde hem adhesive hem de abrasive aşınma türlerine rastlanmıştır. Alt tabakanın (K0) aşınması sonrası malzeme kaybı, yoğun plastik deformasyon ve mikro sabanlama olukları ve az da olsa takoz oluşumu ve debrisler şeklinde görülmektedir. K3 kodlu numune diğer kaplamalara göre daha yumuşak olduğundan dolayı yoğun plastik deformasyon, mikro sabanlama olukları, takoz oluşumu ve az da olsa debrisler gözlenmiştir. K1 ve K2 kaplama tabakalarının aşınma yüzeyinde, plastik deformasyon ve mikro sabanlama yok denecek kadar azdır. Bunun sebebi, kaplama tabakasının sert olmasından kaynaklanan aşınma oranı ve sürtünme katsayısının düşük olmasıdır. Tüm numuneler için görülen kayıplar, yük arttıkça daha da artmıştır.
- Aşınma deneyleri sonucu tüm numunelerde kaplama tabakası kalınlığının altına inilmediği veya kaplama tabakalarının ana malzeme üzerinden tamamen kalkmadığı aşınma iz derinliklerinden ve noktasal EDS analizlerinden tespit edilmiştir.
- Alt tabaka için 20 N 'a göre 10 N-15 N aralığında sürtünme katsayısı düşmüştür. Bu durum numune yüzeyinde aşınma işlemi esnasında oluşan tribolayerdan kaynaklanmaktadır. 15 N-20 N aralığında ise sürtünme katsayısı artış göstermiştir. Bu artış, yük artışı ile aşınan ve karşı malzeme arasında daha fazla temas alanı olması ve bunun sonucunda bölgesel sıcaklık yükselmelerinin olması ile açıklanabilir. Tüm kaplama tabakalarının sürtünme katsayısında, yük artışı ile lineer olarak bir artış gözlenmiştir.

- Aşınma işlemi sonrası, aşınan numunelerin yüzeyinden yüzey profilometre cihazı ile alınan aşınma profil grafiği, iz derinliği grafiği, termal görüntüleri ve sıcaklık ölçüm grafikleri incelendiğinde alt tabakanın aşınma kaybının çok fazla olduğu, kaplama yapılmış numuneler arasında en az aşınma kaybı olan numune K2 kodlu numune olduğu görülmektedir. Aşınma derinliklerine göre en fazla aşınan numune alt tabaka yani K0 kodlu numune ardından K3 kodlu numune, daha sonra K1 kodlu numune ve en az aşınma kaybı olan K2 kodlu numune olarak sıralandığı tespit edilmiştir. Tüm numunelerin termal kamera altında sıcaklık ölçümleri incelendiğinde yük arttıkça sıcaklığın arttığı görülmektedir. Yükün artmasıyla birlikte sürtünme kuvvetinin de artmasından dolayı sıcaklıklarda artışlar meydana gelmiştir.

10. ÖNERİLER

Çalışma sonuçlarının neticesinde şu öneriler yapılabilir:

1. Yapılmış olan bu kaplamaların korozyon özellikleri araştırılabilir.
2. Kaplamadaki gözeneklilik miktarının minimuma inmesi için yapılmış olan kaplama üzerinden TIG veya Lazer kaynağı ile ikinci bir işlem uygulanabilir.
3. Farklı ticari tozlarla kaplamalar yapılabilir ve bu çalışmayla karşılaştırılıp istenilen optimum şartlar araştırılabilir.
4. Weldom 700 çeliğinin türü değiştirilebilir farklı uygulama alanları olan Weldom 900, 960, 1100, 1300 çelikleri üzerine kaplamalar yapıp kullanıldıkları alana göre istenilen optimum şartlar araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akın, U. (2003). Alüminyum Altlık Üzerine Isıl Püskürtme Yöntemiyle Kaplanan Seramik ve Seramik-Polimer Kaplamaların Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Akkaş, O. (1998). TiN Kaplama Parametrelerinin, Aşınma Davranışı Üzerindeki Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Akman, H. (2001). Endüstride karşılaşılan aşınma problemlerinin incelenmesi ve tamir-bakım kaynak yöntemleri uygulanarak kullanım ömürlerinin uzatılması. Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Alpdoruk, D. (1996). Kesici Takımlar Üzerine Yapılan TiN Sert Seramik Film Kaplamanın Kesici Takım Ömrüne Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Barbezat, G. (2005). Advanced Thermal Spray Technology and Coating for Lightweight Engine Blocks for the Automotive Industry. *Surface & Coatings Technology*, 200, 1990–1993.
- Bengi, T. (2009). Termal Bariyer Kaplamaların Isıl Özelliklerinin İncelenmesi ve Düşük Termal İletkenlik İçin Parametre Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Bhatia, A. (1999). *Thermal Spraying Technology and Applications*. Washington: U.S. Army Corps of Engineers.
- Bhushan, B., Gupta, B.K. (1991). *Handbook of Tribology*, Mc Graw-Hill, New York.
- Bilgin, S. (2008). Isıl Püskürtme Yöntemi İle Oluşturulan Martenzitik Paslanmaz Çelik Kompozit Toz Kaplamanın Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Bloyce, A. (1995). How Surface Treatments Can Help The Designer, *Design Engineering*. September. 32-34.
- Bolles, C.D. (1995). HVOF Thermal Spraying: An Alternative to Hard Chrome Plating. *Sulzer Metco, Westbury, Welding Journal*, October. 31-34.
- Børvik, T., Hopperstad, O.S., Berstad, T., Langseth, M. (2001). A computational model of viscoplasticity and ductile damage for impact and penetration. *European Journal Solid Mechanics A* 20, 685–712.

- Borvik, T., Langseth, M., Hopperstad, O.S., Malo, K.A. (2002). Perforation of 12 mm thick steel plates by 20 mm diameter projectiles with flat, hemispherical and conical noses Part I: Experimental study. *International Journal of Impact Engineering*. 27, 19–35.
- Borvik, T., Langseth, M., Hopperstad, O.S. Malo, K.A., (1999). Ballistic penetration of steel plates. *International Journal of Impact Engineering*. 22, 855–886.
- Børvik, T., Leinum, J.R., Solberg, J.K., Hopperstad, O.S. (2001). Observations on shear plug formation in Weldox 460 E steel plates impacted by blunt-nosed projectiles. *International Journal of Impact Engineering*. 25, 553–572.
- Bunshah, R.F. (1982). *Deposition Technologies for Films and Coatings*, USA, 85.
- Bunshah, R.F. (2001), *Handbook of Hard Coatings: Deposition Technologies, Properties and Applications*. Noyes Publications Park Ridge. New Jersey. USA. 77-107.
- Çalışkan, M., 2008. Katodik Ark Yöntemiyle ZrN ve Zr/ZrN Kaplamaların Biriktirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Çelik, E., Soykan, Ş., Avcı, E. (1994). Seramik Kaplanmış Malzemelerin Ekonomikliğinin İncelenmesi, *II. Uluslararası seramik kongresi, Bildiriler kitabı*, 419-429, İstanbul.
- Charles, P.H. (1994). Thermal Spraying: Process, Preparation, Coatings and Application, *Welding Journal*, 73(4), 47-51.
- Clare M.J.H., Crawmer D.E. (1982). *Thermal Spray Coatings, Metals Handbook*, American Society for Metal, 5: 361-375. America.
- Davies, G., Breitsameter, M. (1995). Advances in HVOF Surfacing Technology, *Welding and Metal Fabrication*, July. 271-272.
- Davis, J. R. (2004) Introduction to Thermal Spray Processing, *Handbook of Thermal Spray Technology*, 3.
- Dearnley, P.A. (1987), Thin Hard Coatings for Tribological Protection, *Heat Treatment of Metals*. 4, 83-91.
- Dey, S., Børvik, T., Hopperstad, O.S., Leinum, J.R., Langseth, M., (2004). The effect of target strength on the perforation of steel plates using three different projectile nose shapes. *International Journal of Impact Engineering*. 30 (8–9), 1005–1038.
- Dey, S., Hopperstad, O.S., Børvik, T., Clausen, A., (2002). A constitutive relation and failure criterion for three structural steels at high strain rates. *Proceedings of the 7th International Symposium on Structures under Shock and Impact*. WIT Press, Montreal, 427–436.

- Dorfman, M. R. (2012). "19 - Thermal Spray Coatings," in *Handbook of Environmental Degradation of Materials (Second Edition)*, Oxford: William Andrew Publishing, 569–596.
- Evkaya, M. (2003). Metallere Aşınmaya Karşı Yapılan Kaplamada Uygun Toz Materyali ve Kaplama Yönteminin Bilgisayar Destekli Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Fang J.C., Xu W.J., Zhao Z.Y., Zeng H.P. (2007). In-Flight Behaviors of ZrO₂ Particle in Plasma Spraying, *Surface & Coatings Technology*, 201. 5671–5675.
- Guilemany J.M., Miguel J.M., Vizcaino S., Climent F. (2001). Role of Three-Body Abrasion Wear in the Sliding Wear Behaviour of WC–Co Coatings Obtained by Thermal Spraying, *Surface and Coatings Technology*, 140 (2). 141-146.
- Habig, K.H. (1986). Chemical Vapour Deposition and Physical Vapour Deposition Coatings Properties Tribological Behaviour and Applications. *Journal of Vacuum Science Technology A*. 4 (6). 2832-2843.
- Heimann, R.B. (1996). Applications of plasma sprayed ceramic coatings, *Advanced Ceramic Materials*. 419-421.
- Hocking, M.G., Vasantasree, V, Sidky, P.S. (1989). *Metallic and Ceramic Coatings: Production High Temperature and Applications*, London.
- Hoff, I.H. (1995). Thermal Spraying and Its Application, *Welding and Metal Fabrication*, 63 (7). 266-269.
- Holf, I.H. (1995). Thermal Spraying and Its Application. *Welding and Metal Fabrication*, July. 266-269.
- Islak, S. (2005). 45Mn5 Islah Çeliğinin Isıl İşlem ve Ergitme Yöntemleri İle Yüzey Modifikasyonu İşlemleri Sonrası Mekaniksel Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elazığ.
- Kahraman N. (2001). Toz Alev Spreyleme Yöntemi İle Kaplanan Numunelerde Kaplama Parametrelerinin Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Kaya, A.Ö. (2007). Plazma Püskürtme Ve Hvof Yöntemleri Kullanılarak, Cr₃C₂NiCr(75/25) ve CrNiBSi+%80 WC-Co Tozlarıyla Kaplanan Çeliğin Yapısı Ve Yüzey Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*. Gebze.
- Kwin, B.F. (1989). How to Apply Thermal-Spray Coatings. *Welding Design & Fabrication*, May 43-46.

- Lin B.T., Jean M.D., Chou J.H. (2007). Using Response Surface Methodology for Optimizing Deposited Partially Stabilized Zirconia in Plasma Spraying. *Applied Surface Science*, 253. 3254–3262
- Liu, D.M., Yang, Q., Troczynski, T. (2002), Sol–Gel Hydroxyapatite Coatings on Stainless Steel Substrates. *Biomaterials*. 691–698.
- Mellor, J.E. (2001), *Investigation of A Sol-Gel Coating Technique for Polarized 3He Target Cells*, Williamsburg, Virginia
- Mishra S.B., Chandra K., Prakash S., Venkataraman B. (2005). Characterisation and Erosion Behaviour of a Plasma Sprayed Ni₃Al Coating on a Fe-based Superalloy. *Materials Letters*. 59. 3694-3698.
- Mostaghimi J., Chandra S., Ghafouri-Azar R., Dolatabadi A. 2003. Modeling Thermal Spray Coating Processes: A Powerful Tool in Design and Optimization, *Surface and Coatings Technology*, 163–164: 1–11.
- Okay, F. (2006). PVD Yöntemi ile TiN Kaplı Östemperlenmiş Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Adhesiv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Olding, T., Sayer, M., Barrow, D. (2001). Ceramic Sol–Gel Composite Coatings for Electrical Insulation. *Thin Solid Films*. 581–586.
- Olofinjana, A.O., Bell, J.M., Jamting, A.K., (2000). Evaluation of The Mechanical Properties of Sol–Gel-Deposited Titania Films Using Ultra-Micro-İndentation Method. *Wear*. 174–179.
- Öncel, S. (1999). Katodik Ark PVD Yönteminde Azot Akışının Kaplama Özelliklerine Etkisi, Lisans Tezi, *İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi*, İstanbul.
- Özel S. (2009). Alüminyum Alaşımı ve Bronzu Yüzeyine Oksit ve Karbür Bileşiklerinin Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanmasının Araştırılması. Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Özel S., Turhan H., Sarsılmaz F. (2008). AA2024 Alüminyum Alaşımı Yüzeyine Al₂O₃/Al₂O₃+TiO₂ Tozunun Plazma Sprey Yöntemiyle Kaplanması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 20(3). 503-508.
- Özel, S. (2013). Yüzey Kaplama İşlemlerinde Kullanılan Isıl Püskürtme Yöntemleri. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*. 2(1). 88-97.
- Perry, J.M., Neville A., Wilson V.A., Hodgkiess T. (2001). Assessment of the Corrosion Rates and Mechanisms of a WC–Co–Cr HVOF Coating in Static and Liquid–Solid Impingement Saline Environments. *Surface and Coatings Technology*. 137 (1). 43-51.

- Redeghiero, E.D., Moore, B.C., Wolkenberg, B.S., Wudhenow, M., Tse, O.K., Giannelis, E.P. (1998). Sol-jel synthesis of ceramic matrix composites. *Materials Science and Engineering A*. 244.(1). 14-21.
- Rickerby, D.S., Matthews, A. (1991). *Advanced Surface Coatings: a Handbook of Surface Engineering*. NewYork, ABD.
- Şafak, H., E. (2008). Yüzeyi PVD Yöntemi ile Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Salman, S. (1995). Plazma ve Alev Püskürtme Tekniğiyle Al₂O₃ - %13tio₃ ve Cr₂O₃ - %5sio₂ - %3tio₂ Seramik Kaplanan Malzemelerin Özellikleri, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul
- Samur, R., Mindivan, H., Yıldırım, S., Çimenoglu, H. (2003). *6.Uluslararası kırılma konferansı bildirileri el kitabı*. 263-270, Konya –Türkiye
- Samur, R., Salman, S., Kaya, A.A. (1995). Seramik kaplamalarda bağ mukavemeti üzerine deneysel gözlemler, *8..Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi*, 397-406. İstanbul, Türkiye.
- Saraç, S., (1995). Metal Kaplamalar ve Elektrokimyasal Teknolojiler, *İTÜ*, 139-150.
- Sarıkaya Ö. (2003). Al-12Si Malzeme Üzerine Plazma Püskürtme Tekniği ile Al-Si+B₄C Kaplama. Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya.
- Schmidt, H., Mennig, M., (2000). Wet Coating Technologies for Glass. The Sol-Gel Gateway, INM, *Institut für Neue Materialien*, Saarbrücken, Germany.
- Sert, H., Karamış, B., (1993). PVD ve CVD Yöntemleriyle Yüzey Kaplama ve Kaplama Özellikleri. *5. Denizli Malzeme Sempozyumu*, 571-579.
- Simao, J., Aspinwall, D.K. (1999). Hard Chromium Plating of EDT Mill Work Rolls. *J. Mater. Proces. Technol.*, 281–287.
- Smith, R.W., Fast.R.D. (1994). The Future of Thermal Spray Technology. *Welding Journal*, July, 43-50.
- Smith, R.W., Novak. R. (1991). Thermal Spraying, *Powder Metallurgy International*. 147-155.
- Solberg, J.K., Leinum, J.R., Embury, J.D., Dey, S., Børvik, T., Hopperstad, O.S. (2007). Localised shear banding in Weldox steel plates impacted by projectiles. *Mechanics of Materials* 39. 865–880.

- Tan K.S., Wood R.J.K., K.R Stokes K.R. (2003). The Slurry Erosion Behaviour of High Velocity Oxy-Fuel (HVOF) Sprayed Aluminium Bronze Coatings, *Wear*, 255 (1–6). 95–205.
- Tan, J.C., Looney, L., Hashmi, M.S.J. (1999). Component Repair Using HVOF Thermal Spraying. *Journal of Materials Progressing Technology*, 203-208.
- Teber, M. (2015). Yüzey Kaplama İle Ti6AL4V Alaşımının Aşınma ve Korozyon Direncinin Artırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kayseri.
- Türküz, M.C., (1997). Ark PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış Kesici Takımların Karakterizasyonu ve Performanslarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Türküz, M.C., (2006). Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi İle Yapılan Zirkonyum Nitrür İnce Film Kaplamanın Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi Ve Optimizasyonu. Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Tyler, J.M., (1995). Automotive Applications for Chromium. *Metal Finishing*, 11–14.
- URL-1. 25/11/2016 tarihinde <http://muh.bartın.edu.tr/Files/ijwv0k2ggpyp0p55znhb4nhbq2013326174238ijwv0k2ggpyp0p55znhb4nhbq2013326174238.pdf> adresinden alınmıştır.
- URL-2. 04/11/2016 tarihinde <http://www.asinmazcelik.com/weldox.html> adresinden alınmıştır.
- URL-3. 04/11/2016 tarihinde <http://www.asinmazcelik.com/weldox-700.html> adresinden alınmıştır.
- Yilbas B.S., Arif A.F.M. (2007). Residual Stress Analysis for HVOF Diamalloy 1005 Coating on Ti–6Al–4V Alloy, *Surface and Coatings Technology*, 202 (3). 559-568.
- Yıldırım, M.M.(1989). Galvanizleme Tekniği. T.C. Fırat Ün., *Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları*, Yayın No: 133, Elazığ, 18-31.
- Yüksek E. (2008). Ark Sprey Teknolojisi ile Şekilli Parça Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Sakarya.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ebru ÖZORAK
Doğum Yeri ve Yılı : Mihalıççık-01.04.1991
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : ebrudgn02@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Prof. Dr. Orhan Oğuz Anadolu Lisesi, 2009
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve
Mühendisliği, 2013
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş
Güvenliği Anabilim Dalı (Tezsiz), 2014