



**PLAZMA ARK KAYNAĞI İLE STELLITE
KAPLANMIŞ SUPAPLARDAKİ
AŞINMALARIN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Furkan DOĞAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PLAZMA ARK KAYNAĞI İLE
STELLITE KAPLANMIŞ
SUPAPLARDAKİ AŞINMALARIN
İNCELENMESİ

Ahmet Furkan DOĞAN

Danışman

Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet Furkan DOĞAN tarafından hazırlanan “Plazma Ark Kaynağı ile Stellite Kaplanmış Supaplardaki Aşınmaların İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 12 / 02 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER
Selçuk Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Prof. Dr. İbrahim MUTLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

12 / 02 / 2024

**Ahmet Furkan
DOĞAN**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PLAZMA ARK KAYNAĞI İLE STELLITE KAPLANMIŞ SUPAPLARDAKİ AŞINMALARIN İNCELENMESİ

Ahmet Furkan DOĞAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Bu araştırmada, plazma sprej yöntemi ile stellite kaplanmış supaplarda meydana gelen aşınmalar ve bu aşınmaların motor içerisinde çalışma sırasında meydana getirdiği arızalar incelenmiştir. Üç farklı motor grubuna ve farklı çalışma koşullarına sahip, Eatonite 6 stellite tozuyla ile kaplanmış supaplar incelenmiştir.

Yapılan çalışmalarda araç markası, motor gücü, supap çeşidi, arıza kilometre bilgisi alınmıştır. Aşınma meydana gelen supaplardaki hasar stereo mikroskopta incelenmiş, mikroyapı sertlikleri ölçülmüş, SEM ve EDS analizleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ise supap oturma yüzeyi ile бага arasında tam oturmayı engelleyen parçacık veya katmanların motorun çalışması sırasında oluşması supap hasarlarının oluşmasında önemli olduğu tespit edilmiştir.

2024, x + 61 sayfa

Anahtar Kelimeler: Supap, Eatonite 6, Plazma sprej yöntemi, Supap arıza, Supap Aşınma

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Investigation of Wear on Stellite Coated Valves with
Plasma Arc Welding

Ahmet Furkan DOĞAN

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineer

Supervisor: Prof. Ibrahim MUTLU

In this research, there are abrasions that occur on valves coated with stellite by plasma spray method and the malfunctions that occur during operation in the engine due to these abrasions. Three different engine groups and valves coated with Eatonite 6 stellite powder for different operating conditions.

In the studies carried out, vehicle brand, engine power, valve type and fault mileage information were obtained. The damage to the worn valves was examined under a stereo microscope, microstructural hardness was measured, and SEM and EDS analyzes were performed.

According to the results obtained, it has been determined that the formation of particles or layers that prevent full seating between the valve seating surface and the seat during engine operation is important in the occurrence of valve damage.

2024, x + 61 pages

Keywords: Valve, Eatonite 6, Plasma spray method, Valve failure, Valve wear

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin süresince değerli bilgilerini aktaran, desteğini ve emeğini hiç esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU hocama teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Ayrıca araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Sayın Prof. Dr. Mustafa ACERER hocama, değerli çalışma arkadaşlarımdan Makine Mühendisi M. Niyazi GANİOĞLU'na, Makine Mühendisi Şuayip İPEK'e, saha çalışmalarım sırasında desteğini hiç esirgemeyen, bilgileriyle çalışmalarına büyük katkı sağlayan Sayın İlker EZDEMİR'e ve tüm Supar Supap Fabrikası çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet Furkan DOĞAN
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
RESİMLER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Supap ve Supap Mekanizmaları	1
1.2 Supaplarda Kullanılan Malzemeler	3
1.3 Supap Üretimi	4
1.3.1 Dövme Bölümü Operasyonları	5
1.3.2 Taşlama Bölümü	7
1.3.3 Talaş Kaldırma Operasyonu	7
1.3.4 Supaplarda Ek Operasyonlar	8
1.3.4.1 Supaplarda Fırınlama ve Gerilim Giderme Operasyonları	8
1.4 Aşınma Oluşumu	9
1.4.1 Supaplarda Meydana Gelen Aşınmalar	11
1.4.1.1 Supap Oturma Yüzeyinde Oluşan Hatalar	11
1.4.1.2 Supap Yaylarından Kaynaklı Oluşan Hatalar	11
1.4.1.3 Baga Aşınmaları Kaynaklı Oluşan Hatalar	12
1.4.1.4 Yakıt Türüne Bağlı Olarak Meydana Gelen Aşınmalar	12
1.5 Aşınmaya Karşı Yüksek Dayanım Gösteren Malzemeler	13
1.5.1 Süper Alaşımların Sınıflandırılması	13
1.5.1.1 Demir Esaslı Süper alaşımlar	14
1.5.1.2 Nikel Esaslı Süper Alaşımlar	14
1.5.1.3 Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar	15
1.6 Yüzey Kaplama Yöntemleri	16
1.6.1 Dolgu Kaplama	17
1.6.2 Koruyucu Kaplama	18

1.6.3 Kademeli Kaplama.....	18
1.6.4 Yüzey Kaplamada Kullanılan Malzemeler ve Malzeme Seçimi	18
1.6.5 Yüzey Kaplamada Yöntem Seçimi	20
1.6.5.1 Oksi-Asetilen Yüzey Kaplama.....	20
1.6.5.2 Elektrik Ark Kaynağı	21
1.6.5.3 Toz altı Kaynağı	21
1.6.5.4 TIG Kaynağı.....	22
1.6.5.5 MIG Kaynağı.....	22
1.6.5.6 Lazer Kaynağı	23
1.6.5.7 Plazma Ark Kaynağı	24
2. LİTERATÜR ÖZETİ	25
3. MATERYAL VE METOT.....	29
3.1 Numune Supaplar	29
3.1.1 A Kodlu 8,9 L Silindir Hacimli Kamyon Grubunda Çalışan Numune Çalışma Koşulları ve Stereo Mikroskop Görüntüleri.....	29
3.1.2 B Kodlu 1,6 L Silindir Hacimli Motor Binek Grubunda Çalışan Numune Çalışma Koşulları ve Stereo Mikroskop Görüntüleri.....	32
3.1.3 C Kodlu 1,2 – 1,4 L Silindir Hacimli Motor Binek Grubunda Çalışan Numune Çalışma Koşulları ve Stereo Mikroskop Görüntüleri.....	35
3.2 Kaplama Malzemeleri.....	37
4. BULGULAR	39
4.1 Sertlik İncelemeleri.....	39
4.2 SEM Analiz İncelemeleri.....	39
4.2.1 A Kodlu Numunenin SEM ve EDX Analizleri.....	40
4.2.2 B Kodlu Numunenin SEM ve EDX Analizleri	45
4.2.3 C Kodlu Numunenin SEM ve EDX Analizleri	47
4.2.4 Sağlam (Çalışmamış) Stellite Kaplanmış Numune İncelenmesi	50
4.2.5 Sağlam (Çalışmamış) Stellite Kaplanmamış Numune İncelenmesi	53
5. SONUÇLAR.....	56
6. KAYNAKLAR.....	58

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Ar	Argon
°C	Santigrat derece
C	Karbon
Co	Kobalt
Cr	Krom
Fe	Demir
g/mol	Gram / mol
H	Hidrojen
He	Helyum
Mn	Mangan
Mo	Molibden
MW	Megawatt
Ni	Nikel
Si	Silisyum
%	Yüzde

Kısaltmalar

Cm	Santimetre
CNC	Computer Numerical Control – Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
Dk.	Dakika
EDS	KromEnerji Dağılım Spektroskopisi
EDX	Energy Dispersive X-Ray Spectrometer – Enerji Dağılımlı X-Işını Spektrometresi
HRC	Hardness Rockwell C. – Sertlik Rockwell Ölçeği C.
HSP	Hegzonal Sıkı Paket
MAG	Metal Active Gas – Metal Aktif Gaz
MIG	Metal Inert Gas – Metal Asal Gaz
L	Litre
Mm	Milimetre
SEM	Scanning Electron Microscope – Taramalı Elektron Mikroskopi
Sn	Saniye
TIG	Tungsten Inert Gas – Tungsten Asal Gaz
vb	Ve benzeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Supap yay tansiyonu.	12
Şekil 4.1 A kodlu numunenin hasarlı bölge SEM görüntüleri. (a) Hasarlı bölge de meydana gelen çatlak yüzey SEM görüntüsü, (b) Hasarlı bölgede meydana gelen aşınmanın SEM görüntüsü, (c) Hasarlı bölge ısı geçiş noktaları SEM görüntüsü, (d) Çatlak yüzey SEM görüntüsü.	40
Şekil 4.2 A kodlu numunenin stellite kaplanmış yüzey SEM görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme geçiş görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.	41
Şekil 4.3 A kodlu numunenin çatlak yüzey SEM ve EDX görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan çatlak bölge ve ana malzemenin görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.	42
Şekil 4.4 A kodlu numunenin hasarlı (yanmış) bölge SEM ve EDX görüntüleri. (a)'da hasarlı bölge SEM görüntüsü, (b, c, d) Hasarlı bölge mapping (haritalama) görüntüleri, (e) EDX analiz grafiği.	44
Şekil 4.5 B kodlu numunenin stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme SEM ve EDX görüntüleri. (a) SEM analizi yapılmış stellite kaplanmış ve ana malzeme geçiş görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölgenin görüntüsü, (c) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (d) EDX analiz grafiği.	45
Şekil 4.6 B kodlu numune stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme mapping (haritalama) görüntüsü.	46
Şekil 4.7 C kodlu numunenin stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme SEM ve EDX görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme geçiş görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.	47
Şekil 4.8 C kodlu numunenin hasar(yanma) bölgesi SEM görüntüleri.	48
Şekil 4.9 C kodlu numunenin hasarlı bölge görüntüsü. (a) Genel hasarlı bölge görüntüsü, (b) ve (c) Hasarlı bölge mapping (haritalama) görüntüsü, (d) EDX analiz grafiği.	49
Şekil 4.10 Sağlam(çalışmamış) numune EDX görüntüleri. (a) EDX analiz yapılan bölge görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.	50
Şekil 4.11 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin mapping (haritalama) görüntüleri. (a) Mapping (haritalama) analizi yapılan bölge, (b) Mapping (haritalama) görüntüsü, (c) EDX analiz grafiği.	52
Şekil 4.12 Stellite kaplanmamış sağlam numune EDX görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği (c) EDX analiz grafiği.	53

Şekil 4.13 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numunenin mapping (haritalama) görüntüleri. (a) Mapping analizi yapılan bölge, (b) ve (c) Mapping (haritalama) görüntüsü, (d) EDX analizi dağılım (grafik) görüntüsü. 54



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Supap hammadde kimyasal özellikleri.....	3
Çizelge 1.2 Supap hammadde analizleri.	3
Çizelge 1.3 Supap hammadde çekme dayanımları.....	4
Çizelge 3.1 1.4871 malzeme kimyasal bileşimi.	29
Çizelge 3.2 A kodlu ürün motor çalışma koşulları.....	29
Çizelge 3.3 B kodlu ürün motor çalışma koşulları.....	32
Çizelge 3.4 C kodlu ürün motor çalışma koşulları.....	35
Çizelge 3.5 Eatonite 6 kimyasal bileşimi.	38
Çizelge 4.1 Numune sertlik ölçümü sertlik değeri (Rockwell-C).....	39
Çizelge 4.2 A kodlu numune EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	41
Çizelge 4.3 A kodlu numune (çatlak yüzey) EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	43
Çizelge 4.4 A kodlu numune (yanmış bölge) EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	43
Çizelge 4.5 B kodlu numune EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	46
Çizelge 4.6 C kodlu numune EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	48
Çizelge 4.7 C kodlu numune(hasarlı bölge) EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	50
Çizelge 4.8 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	51
Çizelge 4.9 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	52
Çizelge 4.10 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	54
Çizelge 4.11 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).	55

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 1.1 Egzoz supabı	2
Resim 1.2 Kesilmiş çubuklar.	5
Resim 1.3 Friksiyon kaynak yapılmış çubuklar.	5
Resim 1.4 Armut formu verilmiş çubuk (Pres Öncesi).....	6
Resim 1.5 Preslenmiş supap.....	6
Resim 1.6 Sap yüzeyi taşlanmış supap.	7
Resim 1.7 Açısı taşlanmış supap.....	7
Resim 1.8 Şapka kısmı işlenmiş supaplar.	8
Resim 1.9 Uç kısmı sertleştirilmiş supap.	8
Resim 1.10 Supap, бага(supap yuvası), gayd(supap klavuzu) montaj resmi.	12
Resim 3.1 A kodlu arızalı supap.	30
Resim 3.2 A kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).	30
Resim 3.3 A kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).	31
Resim 3.4 A kodlu arızalı supap stereo mikroskop görüntüsü (hasarlı bölge).	31
Resim 3.5 B kodlu arızalı supap stereo mikroskop görüntüsü (hasarlı bölge).....	32
Resim 3.6 B kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).	32
Resim 3.7 B kodlu arızalı supap (Şapka Arkası).	33
Resim 3.8 B kodlu arızalı supap (Şapka Arkası).	33
Resim 3.9 B kodlu arızalı supap (Sap ve Radyüs).	34
Resim 3.10 B kodlu arızalı supap yan görünüşü.	34
Resim 3.11 B kodlu arızalı supap radyüs bölgesi.	35
Resim 3.12 B kodlu supap sap bölgesi.....	35
Resim 3.13 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).	36
Resim 3.14 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).	36
Resim 3.15 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).	37
Resim 3.16 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).	37

1. GİRİŞ

Aşınma, katı cisimlerin mekanik etkilere maruz kalması sonucu, cisim yüzeyinde oluşan deformasyon ve yüzeydeki değişikliklerdir. Cisimlerde yapılan parlatma veya talaş kaldırma işlemleri, aşınma olarak tanımlanamaz. Çünkü o işlemlerde istenilen ölçüde, parça yüzeyinden talaş kaldırma işlemi yapılmaktadır. Parçada herhangi bir mekanik tesir yoksa, parça kimyasal özelliklerinin bozulmasından dolayı kopuyor veya kırılıyorsa bu tür deformasyon aşınmaya dâhil değildir. Mekanik tesirlerin etkisinde çalışan parçalar için, yüzey kaplama işlemleri yapılmaktadır. Bu kaplamalar; korozyon aşınmasının, yorulma aşınmasının, abrasif aşınmanın ve adhesif aşınmasının sık görüldüğü, sıcaklığın da tesir ettiği yüzeyler için oldukça sık kullanılmaktadır (Arabacı 2009). Bu kaplama çeşitlerinden yaygın kullanılan bir tanesi “stellite” kaplamadır. Çubuk ve toz şeklinde bulunan stellite malzeme ısıya dayanıklı ve sert malzemelerdir.

Kobalt bazlı, nikel bazlı ve demir bazlı olarak 3 ayrı çeşit toz şeklinde bulunan stellite tozları püskürtme yöntemiyle supap açığı yüzeylerine kaplanır. Bu kaplama genellikle LPG yakıtlı araçlarda kullanılırken, benzinli ve dizel motorlarda da kullanılmaktadır. Supap açığı yüzeylerini daha dayanıklı hale getirerek, kompresyon kaçaklarını önlememizde yardımcı olur.

Bu tez çalışmasında, demir bazlı Eatonite6 kaplanmış supaplarda meydana gelen motor arızaları incelenmiştir. Örnek supapların, araç grubu, motor gücü, supap çeşidi ve arıza km bilgisi alınarak gerekli değerlendirmeler yapılmıştır. Aşınma meydana gelen supaplar Stereo mikroskopta incelenmiştir ve malzemelerin mikroyapı sertlikleri ölçülmüştür. Beraberinde bu supaplarda SEM ve EDX analizleri yapılmıştır.

1.1. Supap ve Supap Mekanizmaları

Supaplar eksantrik milinden ya da diğer bir ismiyle kam milinden aldığı hareket ile açığı kapanır. Bu sayede emme zamanında silindirlerin içerisine yakıt/hava karışımını alır. Egzoz zamanında ise yanmış olan yakıt/hava karışımını atar.

Günümüzde motor verimini artırmak üzere çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalarda supaplardaki kayıplar üzerine yoğunlaşmıştır. Supaplardaki gelişmeler temel olarak supap sayısını artırmaya yöneliktir. Bu sayede her bir silindir için iki ya da daha fazla emme ve egzoz supabı kullanılarak karışımdan maksimum verim sağlanması hedeflenmiştir. Supap mekanizmaları üzerine yapılan çalışmalar ise supapların açılma ve kapanma zamanlamalarının değişken olmasını sağlamaya yöneliktir. Motor devri değiştikçe piston hızı, piston hızına bağlı olarak da içeri alınan dolgunun hızı ve kinetik enerjisi sürekli değişeceğinden supap zamanlamasının da sürekli değişmesi gerekmektedir (Kamış ve Yüksel 2004).

Supaplar zorlu şartlarda çalışan mekanik etkiye ve yüksek sıcaklığa maruz kalan parçalardır. Bu yüzden supap arızaları sık görülmektedir. Bu etkiye ise en çok egzoz supabı maruz kalmaktadır. Egzoz supapları yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Emme supapları ortalama olarak 400 °C ile 500 °C değerlerine ulaşırken, bu değer egzoz supaplarında 1100 °C ile 1200 °C değerlerine ulaşabilmektedir. Bu sebeple bazı araçlarda egzoz supaplarının şapka kısmında kopma, yanma, kırılma vb. arızalar nedeniyle kompresyon kaçaqları görünürken, emme supaplarının kafa kısmında herhangi bir aşınma ya da bozulma görülmeyebilir.



Resim 1.1 Egzoz supabı (İnt.Kyn.1).

Motorda emme zamanında açılan emme supapları sayesinde silindir içerisine yakıt/hava karışımı dolarken, egzoz supapları sayesinde ise yanmış olan yakıt/hava karışımı atılır. Eksantrik mili üzerinde bulunan kamlar, supap şapka kısmına vurarak supapların açılmasını sağlar. Supap yaylarıyla ise supap tekrar eski konumunu alarak kapanmış

olur. Supaplar da açılma ve açık kalma süresi doğrudan motor performansını etkiler. Kamın yüksekliği supap açılma miktarını, kamın genişliğiyle açık kalma süresini belirler.

1.2 Supaplarda Kullanılan Malzemeler

Supaplar zorlu çalışma koşullarına dayanıklı malzemelerden üretilmektedir. Bunun için farklı alaşımlara sahip supap çelikleri olarak isimlendirilen özel malzemeler kullanılır. Emme ve egzoz supapları farklı malzemelerden üretilmektedir. Ancak bazı durumlarda emme ve egzoz supaplarının X53CrMnNiN21-9 (1.4871) ya da X45CrSi9-3 (1.4718) olarak aynı malzemedan üretildiği de görülmektedir. Egzoz supapları aşınma ve korozyona daha dayanıklı olması için, Cr-Ni oranı, emme supabına göre daha fazla olan alaşımlı çelikten üretilmektedir. Bazı özel supaplarda sodyum dolgu kullanılmaktadır. Sodyum dolgu supap sapının 2/3'ünü dolgu yapılı ve yüksek sıcaklıklarda buhar haline geçer ve supap şapkasındaki ısıyı sap kısmına iletilir. Sap kısmından gayda verilen ısı, motor soğutma suyu sayesinde supabın soğumasını sağlar. Sodyum dolgulu supaplar; yarış arabalarında ve yüksek devirle çalışan iş makinelerinde kullanılmaktadır.

Çizelge 1.1 Supap hammadde kimyasal özellikleri (İnt.Kyn.1).

Simge	S	A	O	R	A5	Nb
Malzeme No	1.4718	1.4871	1.4748	1.4785	1.4875	1.4871+Nb
DIN	X45CrSi93	X53CrMnNiN219	X85CrMoV182	X60CrMnMoVNb21,10	X55CrMnNiN208	Z55CMN N16 21-09 Afnor

Çizelge 1.2 Supap hammadde analizleri (İnt.Kyn.1).

C	0,45	0,53	0,85	0,60	0,55	0,54
Cr	9,00	21,00	18,00	21,00	20,50	21,00
Ni	=<0,50	4,00	-	4,00	2,00	4,00
Si	3,00	=<0,25	=<1,0	=<0,25	=<0,30	0,20
Mn	-	9,0	=<1,5	10,00	8,00	9,00
Mo	-	-	2,0	-	-	-
V	-	-	0,5	1,20	-	-
N	0,45	-	-	0,50	0,30	0,45
Nb	-	-	-	2,20	-	2,00
S	=<0,03	=<0,025	=<0,03	=<0,025	=<0,025	=<0025

Çizelge 1.3 Supap hammadde çekme dayanımları (İnt.Kyn.1).

20°C	1.000	1.100	1.100	1.150	1.050	1.100
800°C	70	300	100	400	290	300
Sertlik (HRC)	=<30	=<38	=<32	=<34	=<32	=<41
Mıknatıslanma	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Hayır	Hayır
Isıl Genleşme	14	18,4	11,9	19	18,4	20,0
20-700°C						

Malzeme içerisinde bulunan karbon malzemeye dayanım ve sertlik katar. Krom ise dayanımın ve sertliğin yanı sıra yüksek sıcaklık dayanımını ve korozyon direncini artırır. Silisyum malzemenin dayanımını, elastikiyetini, kayma özelliğini ve korozyon direncini artırır (İnt.Kyn.2).

Emme supapları genellikle mono parça olarak üretilmektedir. Uç ve açığı kısmı sertleştirilmektedir. Şapka kısmı X53CrMnNiN21-9 (1.4871) malzemeden üretilirken, sap kısmı ise X45CrSi9-3 (1.4718) malzemeden üretilmektedir. Aynı zamanda açığı yüzeyleri stellite ile kaplanmaktadır. Mono egzoz olarak üretilen supaplar kimyasal olarak daha dayanıklı görünse de emme supap malzemesine göre ısı transferi daha azdır. Isı transferi supabın ömrü ile doğru orantılıdır. Supap yeterli derecede soğutulamazsa aşınmalar/hasarlar daha kısa sürede olacaktır.

Emme supaplarının şapka çapları, egzoz supaplarına göre daha büyüktür. Bunun sebebi silindir içerisine daha fazla yakıt/hava karışımı almaktır. Supap açıları araç model ve motoruna göre farklı açılarda olabilmektedir. Bu açılar genellikle, oturma yüzeyiyle 1° fark ile taşlanır. Bu sayede kompresyon kaçaklarının önüne geçilmektedir.

1.3 Supap Üretimi

Supap üretimi oldukça uzun bir hatta sahiptir. Bu üretim hattının operasyonları ve sıralaması supap modeline göre değişiklik gösterebilir. Ortalama bir supapta yaklaşık 30 adet operasyon bulunur. Supap üretim hattında 3 ana üretim hattı bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla dövme, taşlama ve talaş kaldırma bölümleridir. Bunların yanısıra supap modeline göre değişiklik gösteren; uç sertleştirme, açığı sertleştirme, sodyum kaplama, krom kaplama, açığı ve uç stellite kaplama gibi ek operasyonlarda bulunmaktadır.

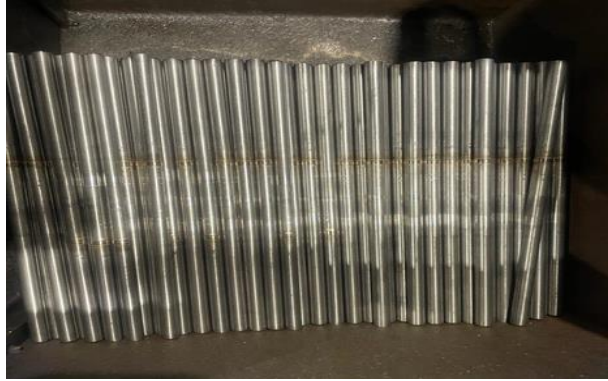
1.3.1 Dövme Bölümü Operasyonları

Supap üretiminin ilk adımını oluşturan işlem, çelik çubukların kesim işlemidir. İstenilen ölçülere göre çubuklar kesilir.



Resim 1.2 Kesilmiş çubuklar.

Kesim sonrasında supap modelinde kaynak işlemi varsa supaplar 1.4718 ve 1.4871 iki farklı malzeme olarak, friksiyon kaynak yöntemi ile birbirine kaynatılır. 1.4871 malzeme dayanımı daha fazladır. Ancak ısı iletimi az olduğu için, supap sap kısmının 1.4718 malzeme olması daha fazla ısı transferi anlamına gelir ve supap kafa(şapka) kısmının soğumasına yardımcı olur.



Resim 1.3 Friksiyon kaynak yapılmış çubuklar.

Kaynatılan çubuklar presleme bölümüne gelir. Supap kafa kısmının şeklini oluşturabilmek için, çubuk uç kısmına akım verilir. Supap üreticileri için bu işleme şişirme işlemi, oluşan forma ise armut formu denir. Bu işlem de armut formu yaklaşık

900 °C sıcaklık değerine ulaşır. Soğuması beklenmeden, kalıp içerisinde presleme işlemi gerçekleştirilir. Supap için en önemli operasyonlardan biridir. Armut formunda ya da presleme de meydana gelebilecek bir hata, son operasyona kadar fark edilmezse telafisi olmayabilir.



Resim 1.4 Armut formu verilmiş ubuk (Pres ncesi).



Resim 1.5 Preslenmiş supap.

Presleme bölümünden çıkan supaplar fırınlama işlemine girer. Supaplar 45 ile 60 dakika arasında fırınlanır. Bu işlem sonrasında supapların işlene bilirliliği arttırılmış olur ve gerilimi giderilmiş olur. Fırınlama işleminde meydana gelen tufaller, kumlama yöntemi ile alınır. Dövme bölümünün son operasyonu ise doğrultma işlemidir. Doğrultma işleminde supap şapka kısmı ile uç kısmı aynı doğrultuya getirilir. Supapta salgı olarak bahsedilen, geometrik şekil bozukluklarının giderilmesi için uygulanır. Bu operasyonda alınamayan supap salgısı, bir sonraki operasyonlarda sorun oluşturacaktır.

1.3.2 Taşlama Bölümü

Bu bölümde supap sap yüzeyleri belirli ölçüde taşlanır. Taşlama işlemi çok hassastır. Taşlama bölümünden sonra supaplar talaş kaldırma işlemi ile üretim hattında devam etmektedir. Ancak tüm taşlama işlemlerinden bu bölümde bahsedilecektir. Supaplarda ilk olarak sap yüzeyi taşlanır.



Resim 1.6 Sap yüzeyi taşlanmış supap.

Sap taşlama sonrasında supaplara açılı taşlama operasyonu yapılır. Bu operasyonda ise supap açılı yüzeyi, derecesine göre ve istenilen ölçüsüne göre taşlanır.



Resim 1.7 Açılı taşlanmış supap.

1.3.3 Talaş Kaldırma Operasyonu

Supap da talaş kaldırma operasyonları CNC makineleriyle yapılır. Supap açılı kısmı, şapka arkası ve radyüs kısımları işlenir. Bu operasyonlar bazen tek bir operasyonda bazen ise farklı sıralamalarda yapılabilir. Aynı zamanda supap uç kısmına tırnak kanalları açılır. Tırnak kanallarının formu ve ölçüleri, supap modeline göre değişir.



Resim 1.8 Şapka kısmı işlenmiş supaplar.

1.3.4 Supaplarda Ek Operasyonlar

Supap modeline göre ek operasyonlar yapılabilmektedir. Bu operasyonlardan biri açıcı ve uç sertleştirme operasyonlarıdır. Supap uç kısımlarına şavlama ile ya da indüksiyon ile istenilen sertlik değeri verilir. Supap modeline göre sertlik değeri değişiklik gösterebilir. Supaplar için kritik operasyonlardan biridir. Sertlik değerinin istenilen değerden yüksek olması, supapların tırnak kanallarından kırılmasına yol açmaktadır.



Resim 1.9 Uç kısmı sertleştirilmiş supap.

1.3.4.1 Supaplarda Fırlama ve Gerilim Giderme Operasyonları

Çeliklere uygulanan ısıl işlemler, değişimlere göre tavlama ve sertleştirme işlemleri olarak iki ana grupta incelenebilir. Genellikle bu iki grupta da belirli bir sıcaklığa kadar ısıtma, istenilen sıcaklıkta bir süre bekletme ve uygun hızda soğutma olmasına rağmen genellikle sertliğin dışında kalan özellik değişimleri hedeflenir. Sertliğin artırılması sonucunda dayanımında artmasından dolayı, sertleştirme işlemi ayrı bir grup olarak

değerlendirilir ve tavlama işlemine nazaran daha fazla öneme sahiptir. Çelikte tavlama işlemleriyle; yapının düzenlenmesi, tanelerin inceltilmesi, kabalaştırılması, homojenleştirilmesi, gerilimlerin azaltılması veya yumuşatılması gibi özellik değişimleri de sağlanır. İşlemlerde tavlama sıcaklığı ötektoid dönüşüm sıcaklığının altında, ötektoid dönüşüm bölgesinde ya da bu bölgenin üzerinde seçilebilir. Tavlamalarda ısıtma işlemi ötektoid bölgesine kadar yavaştır. Ötektoid bölgesine geçildiğinde gerektiği kadar bekletildikten sonra, genellikle yavaş soğutma yapılır.

Supaplara şekil verilirken, mekanik işlemler sonucunda içyapısında gerilimler meydana gelir. Bu gerilimleri gidermek için supaplar yaklaşık 800°C sıcaklıkta 1 saat fırınlanır. Fırından çıkan supaplar oda sıcaklığında, herhangi bir müdahale olmadan soğumaya bırakılır, daha soğuk bir ortamda soğutulan ya da herhangi bir müdahale ile soğutulan supaplar sertleşecektir. Bu malzemenin işlenebilirliği açısından istenmemektedir. Fırınlama operasyonunda en önemli husus, fırın içerisinde bulunan tüm supapların homojen bir şekilde ısınmasıdır. Homojenlik sağlanmadığı durumda fırınlama işleminde istenilen verim alınmaz. Supap içyapılarında ve sertliklerinde değişiklik görülebilir.

1.4 Aşınma Oluşumu

Aşınma birbirine temas eden parçaların yüzeylerinde meydana gelen sürtünme ile gerçekleşen malzeme kaybıdır. DIN 50320'de malzeme yüzeylerinden mekanik sebeplerle ufak parçaların ayrılması olarak tanımlanmaktadır. Malzeme kaybı üç şekilde gerçekleşmektedir. Bölgesel erime, kimyasal çözünme ve yüzeyden fiziksel anlamda kopan malzemelerdir.

Mühendislikte aşınma aşağıdaki maddeler ile yorumlanmaktadır;

- a) Mekanik etki,
- b) Sürtünmenin etkisi,
- c) Yavaş fakat sürekli bir etki,
- d) Malzeme yüzeyinde farklılık oluşturması,
- e) İstenilenin dışında meydana gelmesi

Eğer bu maddelerden herhangi biri yok ise meydana gelen şey aşınma değildir. Yani Alman standardı yorumlandığı zaman, parçaların birbirine alıştırılması, taşlanması ya da parlatılması aşınma olarak yorumlanamaz. Aşınma, genellikle önceden bilinen bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri oksit filmleri veya yağlayıcılar ile korunsalar bile, mekanik yüklemeler altında oksit tabakasının veya yağlamanın bozulması, iki yüzeyin birbiriyle doğrudan temasına sebep olabilir. Bu temas sonucu oluşan sürtünme malzemenin çalışma koşullarındaki ömrünü ve performansını sınırlayan aşınmaya sebep olur. Bu hasar uygun yağlama, filtreleme, malzeme seçimi ve tasarım gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle önlenemez (İnt.Kyn.3).

Aşınmayı etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır.

A. Tribolojik Sistemin Elemanlarına Bağlı Faktörler;

1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler;

- a) Malzeme cinsi
- b) Malzeme tanecik yapısı
- c) Malzeme sertlik derecesi
- d) Malzeme elastikliği,
- e) Malzeme yüzey pürüzlülüğü
- f) Malzeme şekli ve boyutları
- g) Malzemeye soğuk şekil verilmenin etkisi
- h) Fırınlama (Isıl işlem)

2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi;

- a) Aşındırıcı tanelerin boyutu
- b) Tanelerin geometrik yapısı
- c) Tanelerin dağılımı

3. Ortama Bağlı Faktörler

- a) Ortam sıcaklığı
- b) Ortamda bulunan nem oranı
- c) Atmosfer

B) İşletmeye Bağlı Faktörler (Servis Şartları)

1. Yük
2. Hareket
 - a) Kayma yolu
 - b) Zaman
 - c) Kaymanın cinsi (İnt.Kyn.3)

1.4.1 Supaplarda Meydana Gelen Aşınmalar

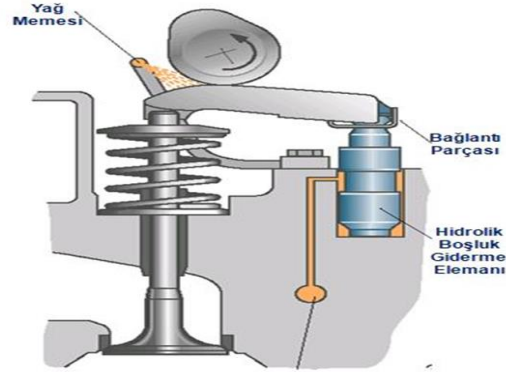
Supaplar çok yüksek sıcaklıklara maruz kaldıkları için oldukça kolay aşınabilen parçadır. Özellikle egzoz supaplarında bu durum daha sık görülmektedir. Günümüzde supaplarda aşınmayı önlemek için kaplama yöntemleri ya da farklı malzeme çeşitleri kullanılsa da buna engel olunamamaktadır.

1.4.1.1 Supap Oturma Yüzeyinde Oluşan Hatalar

Supap oturma yüzeyi, supapların aşınması için en önemli rol oynayan bölgedir. Oturma yüzeyinde ki oyuk ya da oturma yüzeyindeki ölçüsel bir hata ile kompresyon kaçakları meydana gelecektir. Oluşan bu kaçaklar sayesinde supap sürekli olarak açık konumunda kalacaktır. Buradan sızan kaçaklar nedeniyle araçta ilk olarak performans kaybı, rölantide bozukluk ya da vuruntu gibi problemler ortaya çıkacaktır. İlerleyen zamanda, kaçak oluşan noktada (tek noktada) yanma meydana gelerek aşınmayı doğuracaktır. Aşınan nokta ise zamanla incelerek, sıcaklık ile birlikte kopacaktır.

1.4.1.2 Supap Yaylarından Kaynaklı Oluşan Hatalar

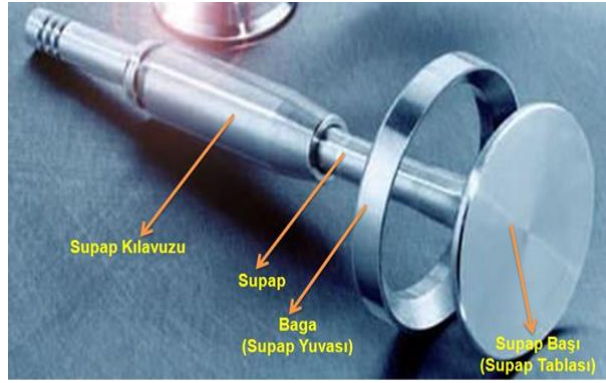
Supaplar motor devrine bağlı olmakla birlikte saniyede ortalama 25-30 defa açılıp kapanır. Supap yaylarında meydana gelen yay tansiyon bozukluğu, yayın görevini yapamaz hale gelmesi sebep olur ve supaplar tam kapalı konuma gelemmez. Bu durumda kompresyon kaçakları oluşmakta ve aşınmalar meydana gelmektedir.



Şekil 1.1 Supap yay tansiyonu (İnt.Kyn.4).

1.4.1.3 Baga Aşınmaları Kaynaklı Oluşan Hatalar

Baganın görevi sızdırmazlığı sağlamaktır. Motor kapağına montajı yapılır. Günümüzde revize edilen motorlarda, бага taşlanarak kapağına takılmaktadır. Bu taşlama sırasında meydana gelecek dairesellik ya da merkez problemleri, supabın бага yüzeyine tam oturmayacağı anlamına gelir. Bu nedenle kompresyon kaçakları oluşur ve aşınmalar meydana gelir. Günümüzde yanma arızalarının büyük bir payını kapsamaktadır.



Resim 1.10 Supap, бага (supap yuvası), gayd (supap klavuzu) montaj resmi (İnt.Kyn.5).

1.4.1.4 Yakıt Türüne Bağlı Olarak Meydana Gelen Aşınmalar

Günümüzde yakıt masraflarını en aza indirebilmek için benzinli araçlara LPG sistemi montajı yapılmaktadır. LPG sisteminde benzinli araçlara göre yaklaşık %40 yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Ancak benzinli sistemlere göre de dezavantajları mevcuttur. Benzinli araçlarda silindir içerisine püskürtülen benzin sıvı haldedir. Ancak LPG kuru bir yakıttır. LPG'li araçlarda supap şapka kısımlarında meydana gelen aşınmalara karşı,

stellite kaplama gibi önlemler alınmış olsa da aşınmanın önüne geçilememektedir. LPG'li araç supaplarından, şapka çapı ve boğaz kısmında yanmalar oluşmaktadır. Bu yanmalar sonucunda aşınma ve zamanla kopmalar görülmektedir.

1.5 Aşınmaya Karşı Yüksek Dayanım Gösteren Malzemeler

Aşınmaya karşı dayanımı yüksek olan malzemeler aşındırıcı etkenlere dayanıklı ve yeterli mukavemette olması gerekir. Bunun yanı sıra yüksek sıcaklarda yapısal ve fiziksel bozulmalara uğramaması beklenir. Alaşımlar arasında aşınmaya dayanım gösteren en önemli element kromdur. Bir alaşımda krom oranı arttırıldığı zaman oksidasyon direnci ve yüksek sıcaklık dayanımının arttığı görülmüştür. Yüksek sıcaklığa maruz kalacak parçalarda krom elementinin yoğunluğu arttırılmıştır. Süper alaşımlar yüksek sıcaklıklarda kullanılmak için VIII-A grubu elementlerden meydana gelmiştir. Yani malzemelerde yüzey kararlılığı ve yüksek gerilim özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Süper alaşım malzemeler, yüksek sıcaklık ve performans istenen uçak türbin motorlarında ya da süper turbo yükleyicilerin üretimden kullanılmaktadır. Bu alaşımların merkezinde genellikle demir vardır. Daha sonrasında nikel, kobalt ve krom ile alaşım haline getirilmektedir. Ayrıca çok düşük yoğunlukta tungsten, molibden, tantalyum, niyobyum, titanyum ve alüminyumda yer alır. Süper alaşımların en önemli avantajları; 650 °C'nin üzerinde ki sıcaklıklarda fiziksel değişime maruz kalmazlar. Mukavemet gösterebilirler. Isıya karşı korozyon ve erozyon dirençleri oldukça yüksektir (Çay ve Ozan 2005).

1.5.1 Süper Alaşımların Sınıflandırılması

Süper alaşımları incelediğimizde nikel esaslı çökelme-sertleşmeli alaşımların önemli bir rolü vardır. Dayanımı oldukça yüksektir. Hatta yüksek sıcaklıklarda, oksijen ile mukavemeti sağlanan alaşımlar ve kobalt esaslı alaşımlar da nikel alaşımlar kadar dayanıklıdır. Demir esaslı olanlar ve katı eriyik ile mukavemeti sağlanan alaşımlar, yüksek sıcaklıklara dayanımı ve mukavemeti en az olanlardır. Yani katı-eriyik alaşımları yüksek dayanıma gerek duyulmayan alanlarda kullanılmaktadır (Çay ve Ozan 2005). Süper alaşımlar genel olarak 3 ana grupta sınıflandırılır. Bunlar demir esaslı süper alaşımlar, nikel esaslı süper alaşımlar, kobalt esaslı süper alaşımlardır.

1.5.1.1 Demir Esaslı Süper alaşımlar

Demir esaslı süper alaşımlarda ana madde olarak demir kullanılır. Ek olarak ise nikel ve krom kullanılır. Eser miktarda ise molibden veya tungsten kullanılır. Demir esaslı süper alaşımlara karbür, intermetalik çökelme ya da katı-eriyik işlemleri uygulandığı zaman mukavemetlendirme sağlanmış olur. Bu grubun nikel-krom oranlarının farklı olduğu için mukavemetlendirme yapıları da farklıdır. Demir esaslı süper alaşımları, paslanmaz çeliklerden de ayıran özellik budur (Çay ve Ozan 2005).

Paslanmaz çeliklerde %0-20 arasında nikel, %12-25 arasında krom bulunmaktadır. Demir esaslı süper alaşımlarda ise %20'den daha fazla nikel bulunmaktadır. Genellikle bu oran %25 ile %35 arasındadır. Birçok süper alaşım yüksek oranda demir içermesine rağmen, bunların hepsine demir esaslı süper alaşım demek mümkün değildir. Çünkü bu süper alaşımlar demirin yanı sıra; kobalt, nikel, tungsten ve niyobyum gibi elementler içerecek, kompleks yapı oluştururlar. Süper alaşımları iyileştirmek için, alaşımlara farklı elementler eklenmektedir (Çay ve Ozan 2005).

KYM (kübik yüzey merkezli) alaşımlar karbon etkisiyle sertleştirilirken, nitrojen ve fosfor eklenerek de sertleşme tesiri artırılır. Karbonun diğer bir önemli özelliği de tane sınırlarında bulunan tane sınır karbürü oluşturarak dayanımı da artırır. Çökelme için olması gereken oran %0,5 olmalıdır. Krom elementiyile sağlanan oksidasyon direnci, nikel ve mangan eklenmesi ile daha da artırılabilir. Demir esaslı alaşımlarda intermetalik bir çökelme oluşumu sağlanırsa mukavemetlenme sağlanır. Bu sayede gaz türbin motorlarında, otomobil jantlarında ve türbin disklerinde kullanılmaktadır (Çay ve Ozan 2005).

1.5.1.2 Nikel Esaslı Süper Alaşımlar

Nikel alaşımlar demir-nikel, nikel ya da kobalt alaşımlardan oluşmaktadır. Isıl dirençleri yüksek olmasından dolayı, mekanik gerilmelere ve yüzey yapı değişimlere dayanımı oldukça yüksektir (Altın vd. 2006).

Nikel esaslı süper alaşımlarda nikel ve krom birleşimi sayesinde, yüksek oksidasyon direnci elde edilir. Kombine edilmiş bu alaşımın 650 °C üzeri sıcaklıklarda dayanımı paslanmaz çelikten daha iyidir. Nikel esaslı süper alaşımlarda genel olarak %30- %70 arasında nikel elementi bulunur. Kalan oranı ise krom elementi tamamlar. Bu oran %30 oranının üstü olabileceği gibi altı bir değerde olmaz. Nikel esaslı süper alaşımlara korozyon direnci ve dayanım direnci sağlamak için alüminyum, niyobyum, titanyum, molibden ve tungsten de ilave edilebilir (Çay ve Ozan 2005).

Nikel esaslı süper alaşımlar, çeliklerle karşılaştırıldığı zaman çeliklerden daha iyi dayanıma sahiptir. Süper alaşımlar içerisinde en fazla kullanım payına sahip alaşımdır. Bu payın büyük bir kısmını uzay araç motorlarında ve gaz türbinlerinde kullanılarak sağlar. Nikel esaslı süper alaşımların daha ağır şartlarda kullanılma sebebi yüksek sıcaklıklara dayanımı, ısı şoka karşı gösterdiği dayanım, ısı yorgunluğa karşı gösterdiği dayanım ve aşınmalara karşı gösterdiği dayanımdır (Motorcu 2010).

Aynı zamanda nükleer sanayide, sıcak iş takımlarında, savunma sanayi gibi birçok sektörde de kullanılmaktadır (Taşlıyan vd. 2007).

1.5.1.3 Kobalt Esaslı Süper Alaşımlar

Kobalt esaslı süper alaşımlarda, %50-%60 oranında kobalt bulunur. %20-%30 oranında içerdiği krom sayesinde, yüksek sıcaklık değerlerinde mukavemet ve oksidasyon direnci konusunda oldukça iyi bir performans sergiler. Bunların yanı sıra katı eriyik şartlarını sağlayabilmesi için, düşük miktarlarda tungsten ve molibden içerir. Kobalt ergime sıcaklığı ve yoğunluğu ile nikel süper alaşımına çok benzemektedir (Duran 2019).

Kobalt alaşımları üç grupta sınıflandırılır;

- 6500 °C ile 11.500C sıcaklık değerleri arasında kullanılan UMCo-50, Haynes 188 ve S-816 alaşımları
- 6500 °C sıcaklık civarında kullanılan bağlayıcı alaşımlar grubuna ait MP-159 ve MP-35N alaşımları
- Aşınma direnci değeri yüksek olan Stellite6B alaşımları (Çay ve Ozan 2005).

Kobaltın ergime sıcaklığı 1495 °C yoğunluğu ise 8,90 gr/cm³'dür. Alaşımsız kobalt 415 °C sıcaklıkların altında, hegzonal sıkı pakete benzemektedir. Yani bu sıcaklıklarda atomlar altıgen prizma simetrisinde kafes sistemi oluşturur. 415 °C sıcaklığın üzerinde ise yüzey merkezli kübik yapıya sahiptir. Kobalt elementi, nikel elementi ile karıştırılırsa oda sıcaklığından ergime sıcaklığına kadar yüzey merkezli kübik yapıya geçecektir (Duran 2019).

Isıl işlem ve yumuşatma aşamasında kobalt esaslı alaşımlar kübik yüzey merkezli yapıda olduğu görülür. MP-35N ve MP-159 uygulanan termomekanik işlemler sırasında, HSP arttırılır. Stellite 6B Haynes 25 alaşımlarına 650 °C-1050 °C arasından ısıl işlem uygulanıldığı zaman kapalı-paket hegzonal yapıya dönüşmesi mümkün olur. Kobalt esaslı süper alaşımlar arasında Haynes 25 çok sık kullanılmaktadır. Ağır çalışma şartlarına sahip gaz türbinleri, nükleer grupta ve sağlık sektöründe implantlarda kullanılmaktadır. Diğer bir sık kullanılan alaşım ise Haynes 188'dir. Diğer kobalt esaslı süper alaşımlar ile kıyaslandığı zaman çok avantajlı tarafları vardır. Bunlardan en öne çıkanı 1100 °C oksidasyon direncinin ve sürünme direncinin çok yüksek olmasıdır. Aynı zamanda oda sıcaklığında da şekillendirilme özelliği de diğer bir avantajlı tarafıdır. MP-35N ve MP-159 alaşımlarını incelediğimiz zaman ise, sertleşe bilirlilik özelliği sayesinde farklı alanlarda kullanılabilir. MP35 ve MP-159 alaşımlarının diğer bir avantajı dayanım direncinin yüksek olması ve süneklik özelliğine sahip olmasıdır. Kobalt süper alaşımların içerisinde diğer önemli bir alaşım ise Stellite 6B'dir. Bu alaşımın yüksek sıcaklıklarda dayanımı ve oksidasyon direnci yüksektir. Bu önemli özelliklerini ise içerdiği krom değerinden almaktadır. Kullanım alanlarına bakıldığı zaman, buhar türbinlerinde sıkça görebiliriz (Çay ve Ozan 2005).

1.6 Yüzey Kaplama Yöntemleri

Yüzey kaplama iki farklı kimyasal bileşime sahip, ancak kimyasal bileşimleri hakkında bilgi sahibi olunan farklı metal ya da alaşımın kaynak yöntemleri ile diğer yüzeye kaplanmasıdır. Kaplama işleminde, kaplanan yüzeyin kimyasal durumuna göre ya da kullanım alanına göre farklı yöntemler tercih edilebilir (Çömez ve Çelik 2004).

Günümüzde kullanılan 3 farklı yöntem vardır;

- Ergitme kaynak ile kaplama
- Metal püskürtme ile kaplama
- Lazer yöntemi ile kaplama

Kaynak ya da püskürme ile kaplanmış yüzeylerde sertleştirme operasyonları uygulanamaz. Ayrıca kaplama malzemesi ana metal ile kıyaslandığı zaman, korozyon direncinin ve oksidasyon direncinin yüksek olması istenir (Çömez ve Çelik 2004). Yüzey kaplama ile malzeme üzerinde fiziki ve kimyasal deformasyonlara neden olan aşınmaların önüne geçilebilir (Arabacı 2009).

1.6.1 Dolgu Kaplama

Özel alaşımlı malzemelerin çeşitli kaynak yöntemleriyle veya ısı püskürtme sayesinde yüzeye yapılan kaplama işlemine dolgu kaplama denir. Genellikle yüzeylerin aşınma direncinin ve korozyon direncinin artırılmasını sağlamak için kullanılır. Bunların yanı sıra aşınan yüzeylerin doldurulması içinde kullanılır. Tamir bakım işlemi için de çok sık görebiliriz. Sanayide en sık karşılaşılan sorunlardan biri parçaların sık olarak aşınmaya uğramasıdır. Aşınan parçalar eğer hassas toleranslar içeriyorsa kullanılamaz hale gelir. Yeniden alınması ekonomik bir kayıp iken üretimin durması ya da aşınan parçanın farklı sorunlar oluşturması bazen parçadan daha fazla ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Sert dolgu kaynağı kullanılan parçalarda aşınma direnci artacağı için parçanın ömründe de artış olacaktır. Böylece yeni parçadan ekonomik olacaktır ve oluşacak diğer kayıpları da önleyecektir. Sert dolgu kaynağı farklı yöntemler ile yapılabilmektedir. Isıl püskürtme, plazma püskürtme, sert dolgu kaplama, lazer kaplama en sık kullanılanlardır. Sanayide demir esaslı kaplamalar daha sık kullanılır, imalat yönünden diğer alaşımlara göre daha ekonomik olmasıdır. Kullanılan parça daha kolay aşınmaya maruz kalacaksa, kaplama da Cr ve Mo elementleri içeren alaşımlar tercih edilir. Bu sayede aşınma direnci artırılmış olur (Gençalp İrizalp vd. 2018).

1.6.2 Koruyucu Kaplama

Koruyucu kaplama ya da diğer bir ismiyle giydirme kaplama iki farklı yöntem kullanılabilir. Ark kaynağı ve katı hal kaynak yöntemleri ile yapılabilir. Genellikle ark kaynağı yöntemi kullanılır. Koruyucu kaplamanın temel amacı, düşük alaşım oranına ya da az oranda karbon içeren malzemenin yüzeyine kaplanarak, korozyon ve aşınma direncini arttırmaktır. Yüzeyde ortalama 3mm'den daha kalın bir tabaka oluşturarak korozyon direncini arttırmayı hedefler. Dolgu işlemi ile kıyaslandığı zaman, daha ince bir yüzey oluşturur. Onarım istenilen yüzeylerde de kullanımı uygundur (Arabacı 2009).

1.6.3 Kademeli Kaplama

Kademeli kaplamada, kaplama yüzeyine bir ya da daha fazla kaynak metalinin kaplanması yöntemidir. Koruyucu kaplamadan ayıran özellik, metalin kimyasal yani metalürjik değerlerinin farklı olmasıdır (Arabacı 2009). Ayrıca kademeli kaplama, koruyucu kaplamaya göre daha kalın bir kaynak tabakasına sahiptir. Farklı metal-ana metal birleşmesi için kullanılmaktadır. Kademeli kaplamada en sık kobalt esaslı alaşımları görebiliriz. Bunlardan biri de stellite kaplamadır (Yaz ve Çelik 2006).

1.6.4 Yüzey Kaplamada Kullanılan Malzemeler ve Malzeme Seçimi

Yüzey kaplamada kullanılan malzemeler farklı alaşımlardan, karbürlerden ya da bunların türevlerinden oluşur. Yüzey kaplama işlemlerinden genellikle nikel, kobalt ve demir esaslı malzemeler kullanılmaktadır. Bu alaşımları seçerken kullanılacağı alan ve maliyet hesabı yapılması gerekmektedir (Arabacı 2009).

Bu malzemelerin yanı sıra yüksek krom oranına sahip beyaz dökme demir, çelikler ve karbür alaşımlarda kullanılmaktadır. Karbürler ve borürler yüzey kaplama alaşımlarında sert faz olarak bulunmaktadır. Demir, nikel ve kobalt alaşımlarında çökelti fazları daha yumuşaktır. Bu elementler aynı matris içerisinden kombinasyon oluşturur. İçeriklerini incelediğimiz de demir ve kobalt esaslı yüzey kaplamalarında %4 oranında karbon bulunmaktadır (Arabacı 2009). Metal borürler yüksek ergime noktası ve yüksek sertliğe sahip olduğu için nikel esaslı kaplamalarda sıkça kullanılmaktadır (Balcı ve Ağaoğulları 2012).

Eğer alaşımda bor ve karbon elementleri birlikte kullanılıyorsa, bunların toplamı %5 civarı olur. Genel olarak nikel, kobalt ve demir esaslı yüzey kaplamalara bakıldığında zaman zaman ise ortalama %35'in üzerinde krom, %30 civarı molibden, %13'in üzerinde tungsten içerir. Kalan oranlar ise silisyum ve mangan olacaktır (Arabacı 2009).

Yüzey kaplamada kullanılan malzeme seçimlerinde ilk olarak ürün üzerinde istenilen değerlerin sağlanması önemlidir. Bunlar sertlik değeri ve aşınmaya karşı dayanımıdır. Bununla birlikte malzemenin çalışacağı ortama bağlı olarak, çarpılma, korozyon, oksidasyon ve ısı durumlarda değerlendirme kriterleri arasındadır. Ancak yüzey kaplama malzeme seçiminde diğer en önemli kriterlerden biri ise maliyettir. İstenilen kaplama kriterleri daha uygun bir yüzey kaplama yöntemi ile sağlanabiliyorsa tercih sebebi olabilir (Arabacı 2009).

Yüzey kaplamada kaynak türlerine göre üründe, toz ya da çubuk şeklinde kaynak türleri seçilmelidir. Yüzey kaplama işlemlerinde; Plazma ark kaynağında ve Lazer kaynağında toz olarak. Oksi-gaz veya oksi-asetilen, MIG/MAG ve Toz özlü ark kaynağında ise tel olarak, Elektrik ark kaynağı, TIG kaynağı, Toz altı ark kaynaklarında ise çubuk şeklinde kullanılır (Arabacı 2009).

Yüzey kaplama işlemlerinde karbür içeriği artmakta, artan karbür içeriğine göre ise malzemenin sünekliği azalmaktadır. Eğer malzeme de çarpma ve abrasif aşınma direncinin birlikte olması isteniyorsa iyi bir denge sağlanmalıdır. Aşınma ve korozyon direncinin birlikte istenildiği durumlarda kobalt veya nikel esaslı alaşımlar kullanılmaktadır. Bu durum yüksek sıcaklıklarda çalışan aşınmaya ve ısıya karşı dayanıklı olması istenilen malzemeler içinde geçerlidir. Ancak malzemeler yüksek sıcaklıklar da sertliğini kaybedebilir. Yüksek sıcaklıklarda malzemenin dayanımını arttırmak için molibden ve tungsten değerinin artırılması önemlidir (Arabacı 2009).

Yüzey kaplama ürünün seçiminde, kriterleri sağlayan birkaç farklı alaşım seçilmelidir. Bu alaşımların seçiminde ilk olarak çevresel faktörler hesaba katılmalıdır. Ancak çevresel faktörler aşınma ile birlikte değerlendirilmelidir. Uygulama alanına geçildiği

zaman çatlak kontrolü ve aşınma dayanımı incelenmelidir. Kaplamada bu şartlar değerlendirilir. Dayanım ve performans yönünden öne çıkan ürün sonrasında maliyet ön plana çıkmaktadır. Bir firmada istenilen değerler sağlandıktan sonra en çok dikkat çekilen noktalardan biri maliyettir. Maliyet analizinden sonra o ürün ile üretime devam edilmelidir (Arabacı 2009).

1.6.5 Yüzey Kaplamada Yöntem Seçimi

Yüzey kaplamada yöntem seçimi, alaşım seçimi kadar önem arz etmektedir. İstenilen çalışma şartlarının sağlanması için alaşım seçimi önemlidir ama yüzey kaplama işlemi de bir o kadar önemlidir. Yüzey kaplama yöntem seçiminde; kaplanan yüzeyin özelliği, parçanın fiziksel özellikleri, metalürjik yapısı ve özellikleri ve kaynakçı becerisi göz önüne alınmaktadır. Bunlar sağlandıktan sonra ise maliyet göz önüne alınmaktadır. Temelde iki türlü kaplama çeşidi vardır. Toz ve çubuk şeklindedir. Genel olarak seçim yaparken malzemenin fiziksel özellikleri ön plana çıkmaktadır. Toz püskürtme yöntemlerinde kaplamanın kalınlık ya da inceliğini seçmek mümkündür. Daha hassas bir kaplama elde edilmektedir. Çubuk ya da tel kaplamalarda hassaslık mümkün olmamaktadır (Yaz 2005).

1.6.5.1 Oksi-Asetilen Yüzey Kaplama

Kaynak çubuklarıyla yapılan oksijen-asetilen kaynak yöntemi; düzgün, pürüzsüz, hassas ve son derece yüksek kaliteye sahiptir. Ancak el ile yapıldığı için kaynakçının yetkinliği çok önemlidir. Çubukla, kaynak alevini aynı anda idare etmesi gerekmektedir. Çok küçük alanlar, işlenmiş düz oluklar ya da tabakalar doldurulabilir. Tungsten karbür çubuklar aşınmaya oldukça dayanıklıdır. Diğer bir avantajı ise parçaların olduğu yerde kaynak yönteminin kullanılabilir olmasıdır. Örneğin üzerinde dişli bulunan bir parçanın kırılma durumunda parça üzerinde kolaylıkla uygulanabilir. Otomobil supaplarında, buhar valflerinde, kesme bıçaklarında ve tarım aletlerinde sıklıkla kullanılır (Yaz 2005).

Toz dolgu ile yapılan kaynak yönteminde kullanılan ana parçalar toz hunisi, oksijen-asetilen bir üfleçtir. Gaz akımı tarafından emilen toz, gaz ile üflecin ucundan kaynak yapılacak yüzeye püskürtülür. Yüzeyde meydana gelen toz tabakası, metalin terlemesi

sonucunda yüzeyde ergime oluşturur. Bu sayede ergime tek bir olayda gerçekleşmektedir. Püskürtme temposu üflecin boyuna göre değişmektedir. Kalınlık ise tozun akış debisiyle ve üflecin hareketiyle ayarlanabilmektedir (Yaz 2005).

1.6.5.2 Elektrik Ark Kaynağı

Elektrik ark kaynağında kalınlığı 3-8 mm arasında değişen çubuklar kullanılmaktadır ve temel ihtiyaç elektrik arktır. Gerekli olan ısı ark ile karşılanır. Günümüzde en sık kullanılan yöntemdir. Ark, elektrot çubuk ve iş parçası arasındadır. Bu sayede ısınıp, eriyen elektrot metal yüzeye geçer. Bu esnada meydana çıkan gaz, ark bölgesini havanın olumsuz etkilerinden korur. Kaynak bölgesinde oluşan cüruf sayesinde ise, kaynak dikişinin hava ile teması kesilir (Anık vd. 1991).

Elektrik ark kaynağı 1,2 mm'den kalın demir ya da demirden farklı metallerde çok rahat şekilde uygulanabilmektedir. Bu sayede kullanılan en yaygın kaynak yöntemidir. Burada üretilen akımın genellikle doğru akım olması tavsiye edilmektedir. Tabaka kalınlığını arttırmakta faydalıdır. Buna rağmen alternatif akımın kullanıldığı kaynaklarda da olumlu sonuçlar elde edilmektedir. Ancak arkın kararlılık durumu ve erime özelliği bu yöntemde iyi değildir (Arabacı 2009).

1.6.5.3 Toz altı Kaynağı

Toz altı kaynağında, elektrot tel şeklindedir ve ark bölgesi sürekli olarak koruyucu gaz ile korunmaktadır. Donanımsal olarak elektrot parçaları toz ile çalışacak şekilde dizayn edilmiştir. Sert dolgu için en yaygın tercih edilen kaynak yöntemidir (Yaz 2005).

Ark toz örtüsü altında kalmaktadır. Bu şekilde yanar ve ışıyım yapmaz. Işıyım yapmayan arkın tüm enerjisi kaynak yüzeyinde kalmaktadır. Bu enerji değeri yaklaşık %65 değerindedir. Bu sayede atmosferin olumsuz etkilerine maruz kalmamaktadır. Toz altı kaynak yönteminde elektrota yakın bir konumda bakır bulunmaktadır. Bu bakır sayesinde yüksek akım değerlerine ulaşılabilir. 180 mm'ye kadar kaynak yapılabilirliği vardır (Anık vd. 1991).

1.6.5.4 TIG Kaynağı

TIG kaynağının açılımı “Tungsten Inert Gas”dır. Bu açılımın ilk harflerinden oluşmuştur. TIG kaynağı için ısı enerjisi, elektrot ve iş parçası arasında oluşan ark tarafından sağlanmaktadır (Anık vd. 1991). Asal gaz olan helyum veya argon gazları kaynak bölgesini koruyucu olarak sarmada tercih edilmektedir. Koruyucu olarak asal gaz kullanılmasının sebebi; kaynak yapılacak bölgenin, atmosferin olumsuz etkilerinden kaynak yapılan bölgeyi korumasıdır. Avrupa da ve ülkemiz de en çok tercih edilen asal gaz argondur. Ancak Amerika’da Helyum-Argon karışımı kullanılmaktadır. Geniş parçalarda ve reaktif parçalarda TIG kaynağı, oksijen-gaz ile yapılan kaynak yöntemlerine göre daha etkili ve düzgün olmaktadır. TIG kaynak yönteminde torcun basitçe bağlanmasıyla kaynak işlemi gerçekleştirilebilir. Dolgu çubukları ve tel gereklidir. Dikkat edilmesi gereken konular dolgu metalinin ergime oranı ve torcun hızıdır. Bu iki parametre sağlandığı zaman istenilen kaynak yüzeyi elde edilebilmektedir. TIG kaynağında fireyi ve çatlakları azaltmak için akım kontrol cihazları kullanılmaktadır. Genel olarak TIG kaynağını değerlendirdiğimizde karmaşık geometri yapısına sahip, küçük parçalarda bile kaliteli, uygun sonuçlar elde edilebilmektedir (Yaz 2005).

1.6.5.5 MIG Kaynağı

İlk kez ABD’de uygulanan MIG kaynağı, alüminyum ve alaşımlarına uygulanmıştır. Devamında ise yüksek karbon içeren çeliklere, bakırlara ve bakır alaşımlarına uygulanmıştır. Açılımı “Metal Inert Gas”dır. Helyum ve argon gibi asal gazlar koruyucu olarak tercih edilmektedir. MIG kaynağında ark, iş parçası ve elektrot arasında oluşmaktadır. TIG kaynağından tek farkı da budur. Çok ince parçalar haricinde uygulanabilirliği oldukça basittir. Kaynakçının beceresine ihtiyaç duyulmaz. Torcun ucunda ki tel iş parçasına değdirildiği anda kaynak otomatik başlayacaktır. Sistem ark boyunu sabit tutmaktadır. Uygulanabilirlik yönünden basit olmasına rağmen çok fazla tercih edilmemektedir. Çünkü asal gazın maliyeti oldukça yüksektir. Ark bölgesinde havanın olumsuz etkilerinden korunmak için CO₂ kullanılmaktadır. Ancak yapılan araştırmalar sonucunda CO₂’in rutubetli olması ve saf olmaması kaynak dikişinde sorunlarla birlikte çok fazla sıçramalara neden olmaktadır (Anık vd. 1991).

1.6.5.6 Lazer Kaynağı

Lazer kaynağı, endüstride kaynak, kesme ve işleme olarak çeşitli amaçlar ile kullanılabilir. Lazer kaynak, hassas işçilik gerektiren malzemelerin alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak günümüz teknolojilerinden yararlanılarak otomotiv endüstrisinde de tercih edilmeye başlanmıştır. Eritme kaynak yöntemi olarak tanımlayabileceğimiz lazer kaynağında, güç yoğunluğu parametre değeri çok iyi ayarlanmalıdır (Anık vd. 1991).

Lazer kaynağı diğer dolgu yöntemlerine göre oldukça teknolojidir. Gaz ve ark alevinin yerine yüksek enerjiye sahip lazer ışını kullanılmaktadır. Lazer ışınları sayesinde istenilen kalınlıkta ya da hassas yüzeyler de istenilen incelikte kaplamalar yapılabilmektedir. Torç ya da elektrotla kıyaslandığı zaman daha verimlidir (Arabacı 2009).

Lazer kaynağı yüksek ergime sıcaklıklarına sahip malzemeleri bile rahatlıkla eritebilir. Ancak düşük ısı girdisine sahiptir. Bununla birlikte kaynak yüzeyinin homojen olması ve kaynak dolgununun fazla olması tercih edilmesini arttıran temel nedenler arasındadır (Dindar vd. 2021).

Kobalt, nikel ve tungsten esaslı malzemeler sert yüzey kaplama alaşımları için daha uygundur. Yani sert yüzey kaplamaları için daha uygun demek mümkündür. Sert yüzey kaplamalarında malzemelerin seçimi, ana metalin metalürjik yoğunluğuna göre tercih edilmektedir. Eğer kaplama malzemesi ana metal ile yarı iletken gevrek faz oluşturuyorsa tercih edilmemelidir. Özetle, titanyum alaşımlı ana kütlelere, kobalt esaslı sert yüzey kaplamaları uygun olmamaktadır (Yaz 2005).

Lazer ile yapılan yüzey kaplama işlemlerinde, kaplama malzemesi lazer ışını yardımıyla erir. Kaynak işlemi sonrası donarak katılaşır. Kaynak sırasında iş parçası yüzeyinde de çok ince bir ölçüde erime gerçekleşir. Bu erimeyle birlikte kaplama malzemesi, iş parçası yüzeyine iyi oranda bir dolgu gerçekleştirerek, metalik bağ oluşur. Kaplama malzemesi ile iş parçası arasından boşluk kalmaz. Kullanılan yoğunluk parametre değeri 10-100 MW/m², zaman değeri ise 0,1-1 sn. arasındadır. Koruyucu gaz olarak ise He/Ar

ve H²/Ar gaz karışımları kullanılmaktadır. Lazer kaynak sisteminde, toz besleme açısı 35-45° aralığındadır. 3 mm çapında ki besleme tüpünün kaynak yüzeyine mesafesi ise 10-12 mm yüksekliğindedir. Tozun akış değeri ise 0,005 cm³/sn'dir. Taşıyıcı gazın akış hızı 3-7 m/s ve kaplanacak tozun akış hızı ise 1-2 m/s değerindedir. Kaplama kalınlığı 0,15-4 mm'ye kadar, istenilen kaynak değerine göre değişebilmektedir. Kritik nokta ise tozların dengeli ve eşit püskürtülmesidir (Yaz 2005).

1.6.5.7 Plazma Ark Kaynağı

Plazma ark kaynağı TIG kaynak yöntemiyle oldukça benzerlik göstermektedir. TIG kaynağında olduğu gibi plazma ark kaynağı yönteminde de erimeyen tungsten elektrot bulunmaktadır. Nozuldan çıkan gaz elektrotu korur. Aynı zamanda iyonlaşarak plazmayı oluşturmaktadır (Arabacı 2009).

Plazma gazının dışarı atıldığı meme ve elektrot parçaları bulunurken, dış tarafta ise koruma gazının dışarı atıldığı diğer nozul bulunmaktadır. Meme ve elektrot arasından geçen gaz ısıtılır ve hızı yükselir. Gaz debisi genellikle 0,25 ile 5 l/dk değerleri arasında değişmektedir. Kaynak bölgesini atmosfer gazlarından korumak için dış tarafta bulunan nozuldan 10 ile 30 l/dk değerleri arasında argon gazı püskürtülmektedir. Ark, bakır meme içerisinde oluşmaktadır ve 20.000 °C'lere kadar sıcaklığa yükselmektedir (İnt.Kyn.5).

Plazma ark kaynağında, alaşım tozu argon gazı ile taşınmaktadır. Bu sayede plazma oluşmaktadır. Ark çıkışında alaşım tozu erir ve kaplanacak yüzey ile birleşme sağlanır. Oluşan kaplama homojendir ve çok iyi metalürjik bağ oluşturmaktadır (Arabacı 2009).

Plazma ark kaynağında tek pasoda 0,64–3,2 mm kalınlık değerleri arasında kaplama yapılabilmektedir. Dilatasyon oranı ise %5 ile %20 değerleri arasında olmalıdır. Plazma ark kaynağının bazı dezavantajları vardır. Kullanılan parçaların maliyeti yüksektir. Kaplanan malzemelerde geometrik şekil kısıtlamaları vardır. Her bir geometri için torç açısı derecesi ayarlanabilir olmalıdır (Arabacı 2009).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Avcı, gerçekleştirmiş olduğu çalışmada; benzinli içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak LPG yakıtının kullanımının supaplar üzerindeki etkisini teorik olarak analiz etmiştir. 2 boyutlu tam model oluşturduktan sonra modeli sonlu elemanlar yöntemiyle çözmüştür. Çevrim süresince elde edilen basınç ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesinde sıfır boyutlu termodinamik bir modeli değerlendirmiştir. Çalışma neticesinde LPG veya doğal gaz gibi alternatif yakıtların kullanılmasıyla hem avans miktar değişikliği hem de benzin kullanımı kaynaklı oluşan karbon filminin olmaması supapların önemli miktarlarda ısıl zorlanma değerleriyle karşılaştığı sonucuna varmıştır. Ayrıca analiz sonuçları incelendiğinde supap yüzeylerinin film kaplama ile kaplanmasının kayda değer etkiler oluşturacağına altını çizmiştir (Avcı 2003).

Çömez ve Çelik, yapmış olduğu çalışmada; düşük karbonlu ve AISI 304 paslanmaz çeliğin yüzeyinin kobalt esaslı elektrotlarla elektrik ark ve TIG kaynak yöntemleri kullanarak kaplama işlemleri gerçekleştirmiştir. Kaplama işlemi için Stellite 6 ve Stellite 12 olarak bilinen Co bazlı elektrotlar tercih edilmiştir. Kaplanan numunelerin kaplama tabakasını incelenmiş ve taramalı elektron mikroskobu ve enerji dağılım spektrometresi (EDS) ile içyapısını analiz ederek mikro sertliği belirlenmiştir. Kaplama işlemi ile ana metalden daha sert bir yüzey tabakası elde edilmiş ve dış etkilere karşı daha dayanıklı bir hale geldiği sonucuna varmıştır. Kaplama işlemi sırasında M23C6 karbürlerin ana metal ile kaplama tabakası arasında ince bir tabaka oluşturduğu da gözlemlenmiştir. Bu tabakanın sertliği 1900 Vickers Sertlik Derecesi (VSD) civarındadır ve oluşumu, işlem sırasında malzemede meydana gelen kimyasal bileşim ve faz dönüşümlerine dayanarak açıklanmıştır (Çömez ve Çelik 2004).

Yaz ve Çelik, yapmış olduğu çalışmada; belirlemiş oldukları çelik malzemelerin (karbon oranı düşük olan) ve kaplanacak malzemelerin kimyasal analizlerini yapmışlardır. TIG ve elektrik ark yöntemiyle Stellite 1, Stellite 6 ve Stellite 12 kaplamışlardır. Kaplanan yüzey ve kaplama geçiş bölgesinde; mikroyapı incelemeleri, sertlik ölçüm değerleri, TEM analizi ve X ışın analizi yapmışlardır. Sonuç olarak mikroyapı ve sertlik değerinin iyileştiği belirtmişlerdir (Yaz ve Çelik 2006).

Yeşildal ve Günay, gerçekleştirmiş olduğu çalışmada; plazma sprej metodu kullanarak metal ve seramik esaslı tozlarla kaplama yaparak kaplama karakteristiklerini incelemiştir. Plazma sprej kaplama işlemiyle, AISI 1020 ve AISI 304 çeliklerine seramik ve metalik esaslı tozlar kullanılarak yapılan kaplamaların yapışma mukavemetlerini belirlemek için çekme gerilme deneyi yapılmış, kaplamanın metalografik incelemesi gerçekleştirilmiş ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Al-Ni kaplamanın daha güçlü bir adezyon kuvveti ve daha yüksek çekme mukavemeti göstermiştir. Çekme mukavemet değerleri AISI 304 altlık yüzeyi için 54 MPa, AISI 304 altlık yüzeyi için 46 MPa olarak ölçülmüştür. Ayrıca, ikinci yüksek mukavemet değerinin Co+Cr+Mo kaplamadan kaynaklandığı ve seramik esaslı tozların ise daha düşük mukavemet değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Yeşildal ve Günay 2007).

Arabacı, tez çalışmasında; özellikle otomotiv supaplarında kullanılan 1.4718 tipi çeliğin yüzeyi kobalt esaslı Stellite 1, Stellite F ve Stellite 6 ve Ni 60 alaşımları ile TIG kaynağı kullanarak kaplamıştır. Belirlenen parametreler ile kaplanan numuneler oda sıcaklığında ve 300°C'de disk üzerindeki pim üzerinde aşındırılmıştır. Aşınma mesafesi toplam 4400 m ve uygulanan yükler sırasıyla 10,25 ve 40 N'dur. Numunelerde oluşan ağırlık kayıpları 1.100 metre aralıklarla ölçülmüş olup aşınmada meydana gelen dirençler değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar, sıcaklık, aşındırıcı ve uygulanan yükün aşındırıcı özellikleri üzerinde etkili olduğunu göstermiştir. Kaybedilen aşınma miktarı artan sıcaklık, uygulanan yükler ve aşınma mesafesi ile artmaktadır. Tüm test parametreleri altında Stellite 1 ile kaplanan numune en yüksek aşınma direncini gösterirken, Stellite F ile kaplanan numune en düşük aşınma direncini göstermiştir. Kaplama malzemesindeki özellikle Co, Cr ve C'nin supapların aşınma direncini arttırdığı da tespit edilmiştir. Bununla birlikte, tüm numunelerdeki aşınma kaybının, uygulanan yük ve toplam aşınma mesafesi arttıkça arttığı da tespit edilmiştir (Arabacı 2009).

Tozkoparan, tez çalışmasında; plazma sprej kaplama kullanarak, YSZ-Al₂O₃ esaslı termal bariyer kaplamalarının Taguchi yöntemi ile değerlendirilmesini gerçekleştirmiş ve en uygun koşulları belirlemiştir. Deneysel çalışmalarda akım, gaz karışım oranı ve tabancanın mesafesi Taguchi yöntemi ile değerlendirilecek kaplama parametreleri olarak belirlenmiştir. Analizlerin yorumlanması sonucunda, porozite değeri için en etkili

parametrenin akım olduğunu ve 600 A değerinde çalışılması gerektiğini belirlemiştir. Gaz karışım oranının 40/10 olması gerektiği halde, sprey mesafesinin 150 mm olması önerilmiştir (Tozkoparan 2010).

Apay ve Gülenç, yapmış olduğu çalışmada; Stellite 6 teli düşük karbonlu AISI 1018 çelik yüzeyi üzerine TIG kaynak yöntemini kullanarak kaplamıştır. Kaplama sonrasında yüzey üzerindeki kesitlerin mikroyapıları analiz edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde SEM görüntü analizi, XRD analizi, mikrosertlik ve aşınma deneyleri kullanılmıştır. Oda sıcaklığı koşullarında sırasıyla 10N, 25N ve 40N yük şartlarında aşınma kayıpları yük miktarı arttıkça yükselmiştir. Kaplanma sonrası ana malzeme ile Stellite 6 yüzeyine yaklaştıkça sertlik miktarının arttığı sonucuna varılmıştır (Apay ve Gülenç 2013).

Ferozhkhan ve arkadaşları, yapmış oldukları çalışmada; östenitik paslanmaz çelik, 9Cr-1Mo çeliği (ASME Sınıf 91) üzerine özlü ark kaynağı işlemi ve bunun üzerine Stellite 6 (Co-Cr alaşımı), yüksek sıcaklık valf uygulamaları için aşınma direncini artırmak amacıyla plazma transferli ark kaynağı kullanarak kaplamışlardır. Stellite 6 kaplamalar üzerinde mikroyapısal karakterizasyon gerçekleştirilmiş ve sertlik ve kimyasal bileşim sırasıyla Vicker sertlik test cihazı ve optik emisyon spektrometresi ile ölçülmüştür. Stellite 6 çökeltilerindeki alaşım elementlerinin etkisi ve Stellite 6 ile paslanmaz çeliğin füzyon hattı elektron dağılım spektroskopisi hat taraması ile analiz edilmiştir. Stellite 6'da PTA kaynak tortusundaki Demir seyrelmesinin %2'nin altında olduğu ve 600 HV0,3'ün üzerinde sertlik elde edildiği gözlemlenmiştir (Ferozhkhan vd. 2016).

Zhu ve çalışma arkadaşları, yapmış oldukları araştırmada; Stellite 6 alaşımlı sert dolgu katmanının farklı sıcaklıklardaki mikroyapısını ve aşınma direncini, Q235 çeliği üzerine plazma ark yüzey kaplama işlemleri yaparak incelemişlerdir. Aşınma özelliklerini değerlendirmek amacıyla tribolojik testler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Stellite 6 alaşımlı kaplamanın mikroyapısının temel olarak α -Co ve (Cr, Fe)₇C₃ fazlarından oluştuğunu göstermektedir. Ayrıca sürtünme katsayısının, 300°C 'de farklı yükler altında hafif dalgalanmalar gösterdiğini belirtmişlerdir. Kaplama yüzeyinde oluşan oksit tabakası, aşınma testlerinde yağlayıcı görevi görmüştür (Zhu vd. 2017).

Duran, yapmış olduğu çalışmada; Inconel 718 süper alaşım malzemelerde borür tabakasının malzeme üzerinde etkisini incelemiştir. Malzemeler 950°C’de 4, 8 ve 16 saat borlamıştır. Borlama sonrasında kesitleri alınarak SEM analizi, XRD analizi, optik mikroskop analizi, sertlik değerleri incelenmiştir ve aşınma testleri yapmıştır. Yapılan testler ve incelemeler sonucunda en yüksek aşınma dayanıma sahip olan malzemenin, 4 saat borlanan numune olduğunu belirtmiştir (Duran 2019).

Bayata, yapmış olduğu çalışmada; egzoz supaplarının 25°C, 350°C ve 550°C’de PL12 dökme demir karşısında gösterdiği aşınma dirençlerini incelemiştir. Yüksek sıcaklıklarda supap-baga ikilisinin aşınma davranışlarını incelemek için özel bir tribometre kullanmıştır. Test sonrası numuneleri SEM, Profilometre ve Raman analizleri ile incelemiştir. 25°C’de supap-baga ikilisinin en fazla aşınma hızına sahip olduğunu ve sıcaklığın artmasıyla aşınma direncinin de arttığını belirtmiştir. En az aşınma kayıplarının ise 550°C’de olduğunu belirtmiştir. Sıcaklığın artmasıyla 21-4N egzoz supap malzemesi PL12 бага malzemesine karşı, yapıda gelen çökelti fazların meydana gelmesi ve oksit koruyucu filmin malzeme üzerinde yağlayıcı görevi görmesi sayesinde arttığını belirtmiştir (Bayata 2021).

Özdemir ve arkadaşları, yaptığı araştırmada; baganın öneminden, бага da meydana gelen hatalardan ve bu hataların supaplar üzerindeki etkilerinden bahsetmişlerdir. Baga çalışma koşullarını incelemişlerdir. Aşınma meydana gelen bagalar mikroskop ve TEM analizi ile incelemişlerdir ve mikroyapı sertlik değerlerini ölçmüşlerdir. İncelemeler sonucunda egzoz supap бага yüzeylerinde aşınmaların olduğu ancak bunun mikroyapı üzerinde büyük etkilerinin bulunmadığını belirtmişlerdir. Malzemede görülen aşınmaların ise yanmadan kaynaklı oksidasyon, abrasif aşınma, adhesif aşınma ve darbeli aşınma, olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalar neticesinde şu anda kullanılan бага malzemesinin uygun olduğunu ancak malzeme şeklinin değiştirilmesini ve sertlik değerinin arttırılmasını belirtmişlerdir (Özdemir vd. 2022).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Numune Supaplar

Yapılan çalışmalarda 3 farklı motor grubuna ait supap tipi kullanılmıştır. Bu gruplar sırasıyla 8,9L kamyon grubu (A kodlu), 1,6L binek grubu (B kodlu), 1,2 – 1,4L binek grubu (C kodlu)'dur. Her motor grubu için Ea6 stellite kaplanmış arızalı supaplar olarak belirtilen ürünler motorda çalışmış ve arızalanmış ürünlerdir. Ayrıca çalışmamış Ea6 kaplanmış ve kaplanmamış supaplar incelenmiştir. Toplamda 9 adet supap incelenmiştir. Stellite kaplamalı ve stellite kaplamasız sağlam olarak belirtilen ürünler çalışmamış, üretim sonrasında incelemeye alınan ürünlerdir. Bu çalışmada kullanılan tüm ürünlerin standartlarda gösterimi X53CrMnNiN21-9 (1.4871) şeklinde, egzoz supap malzemesidir bileşimi çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 1.4871 malzeme kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	Ni	P	S	Cr	N
0,48- 0,58	Max. 0,25	8-10	3,25- 4,50	Max 0,045	Max 0,03	20- 22	0,35- 0,50

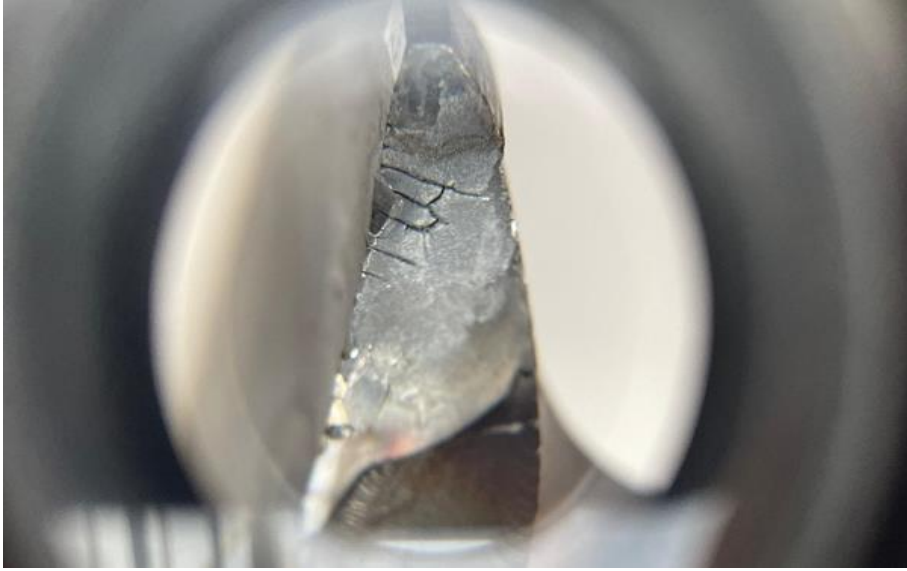
3.1.1 A Kodlu 8,9 L Silindir Hacimli Kamyon Grubunda Çalışan Numune Çalışma Koşulları ve Stereo Mikroskop Görüntüleri

Çizelge 3.2 A kodlu ürün motor çalışma koşulları.

Silindir Hacmi	8,9 L
Silindir Adedi	6
Motor Yakıt Türü	Dizel (Turbo Intercooler)
Maksimum Güç	269 kW - 2.100 d/dk.
Maksimum Tork	1.584 Nm - 1.300 d/dk.
Toplam Çalışma Değeri	35.000 Km



Resim 3.1 A kodlu arızalı supap.



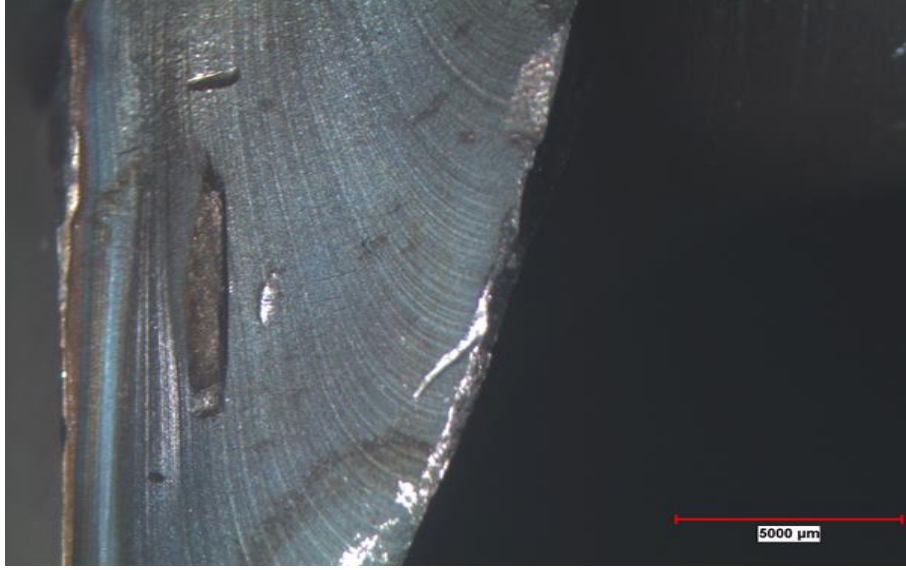
Resim 3.2 A kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).



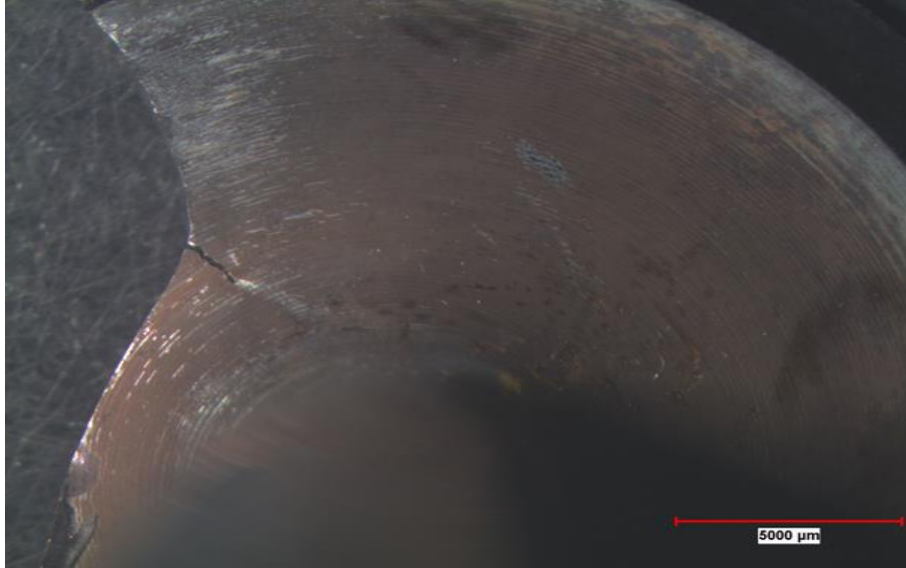
Resim 3.3 A kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).



Resim 3.4 A kodlu arızalı supap stereo mikroskop görüntüsü (hasarlı bölge).



Resim 3.5 B kodlu arızalı supap stereo mikroskop görüntüsü (hasarlı bölge).



Resim 3.6 B kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).

3.1.2 B Kodlu 1,6 L Silindir Hacimli Motor Binek Grubunda Çalışan Numune Çalışma Koşulları ve Stereo Mikroskop Görüntüleri

Çizelge 3.3 B kodlu ürün motor çalışma koşulları.

Silindir Hacmi	1,6 L
Silindir Adedi	4
Motor Yakıt Türü	Benzin (Turbo) - LPG
Maksimum Güç	180 kW - 5.500 d/dk.
Maksimum Tork	230 Nm - 2.200 ile 5.500 d/dk.
Toplam Çalışma Değeri	25.000 Km



Resim 3.7 B kodlu arızalı supap (Şapka Arkası).



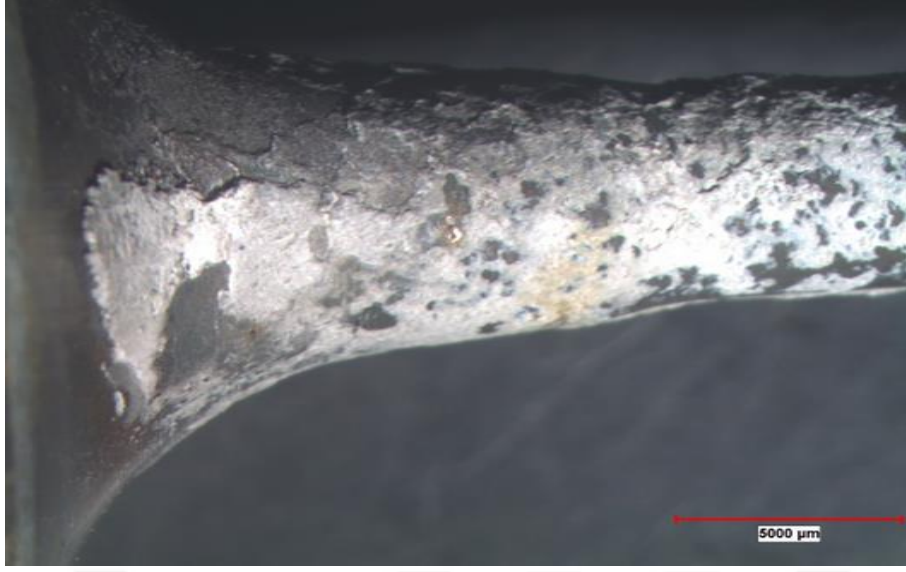
Resim 3.8 B kodlu arızalı supap (Şapka Arkası).



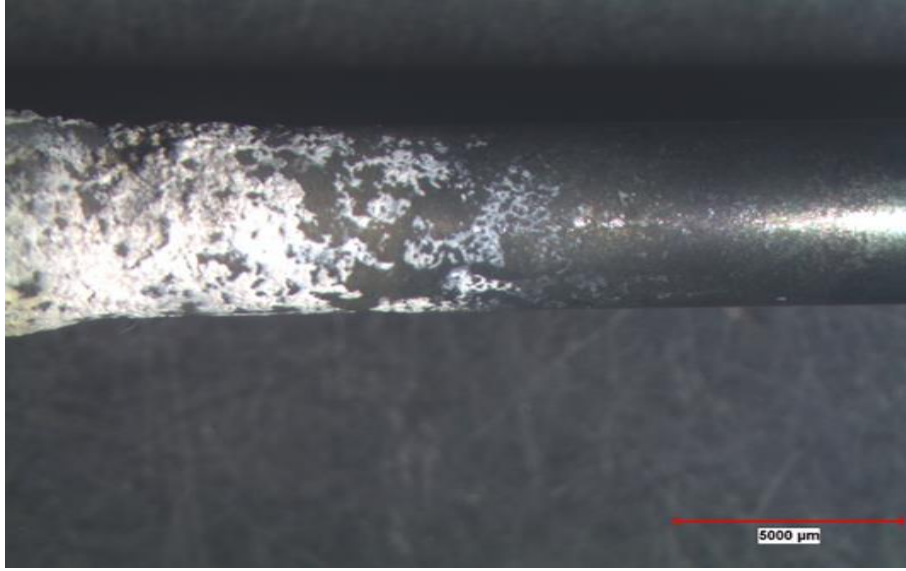
Resim 3.9 B kodlu arızalı supap (Sap ve Radyüs).



Resim 3.10 B kodlu arızalı supap yan görünüşü.



Resim 3.11 B kodlu arızalı supap radyüs bölgesi.



Resim 3.12 B kodlu supap sap bölgesi.

3.1.3 C Kodlu 1,2 – 1,4 L Silindir Hacimli Motor Binek Grubunda Çalışan Numune Çalışma Koşulları ve Stereo Mikroskop Görüntüleri

Çizelge 3.4 C kodlu ürün motor çalışma koşulları.

Silindir Hacmi	1,4 L
Silindir Adedi	4
Motor Yakıt Türü	Benzin - LPG
Maksimum Güç	52 kW - 6.000 d/dk.
Maksimum Tork	108 - 3.000 d/dk.
Toplam Çalışma Değeri	22.000 Km



Resim 3.13 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).



Resim 3.14 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).



Resim 3.15 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).



Resim 3.16 C kodlu arızalı supap (hasarlı bölge).

3.2 Kaplama Malzemeleri

İncelenen supapların açılış bölgesine plazma ark kaynağı ile stellite kaplanmıştır. Egzoz supapları yüksek sıcaklığa ve mekanik zorlanmaya maruz kalmaktadır. Dayanımı arttırmak için stellite kaplama yapılmaktadır. İncelenen ürünlere Eatonite 6 (Ea6) stellite toz kaplanmıştır. Kimyasal bileşimi çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5 Eatonite 6 kimyasal bileşimi.

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Fe	S	P
1,50- 2,20	1,10- 1,50	Max. 1	26 - 30	10- 12	4- 5	Rest. / Bal	Max. 0,02	Max. 0,03



4. BULGULAR

4.1 Sertlik İncelemeleri

Stellite kaplama yapılan supaplarda, malzeme özelliğinden dolayı kaplama yüzey sertliği 37 – 41 HRC değerinde olmalıdır. Sertlik değeri önem arz etmektedir. Supaplar sertlik değerinin ölçülebilmesi için şapka arkasının orta kısmından kesilmiştir. Kesilen parçaların mikroyapı sertlikleri ölçülmüştür. Sertlik ölçümünde supap şapka arkası alt noktasından başlanmıştır ve 1mm aralıklarla ölçüm yapılmıştır. Başlangıç noktası 0 kabul edilmiştir. Stellite kaplanmış kısımlar ise ayrıca ölçülmüştür. Ölçülen numunelerden alınan sertlik değerleri sırasıyla Çizelge 4.1’de verilmiştir.

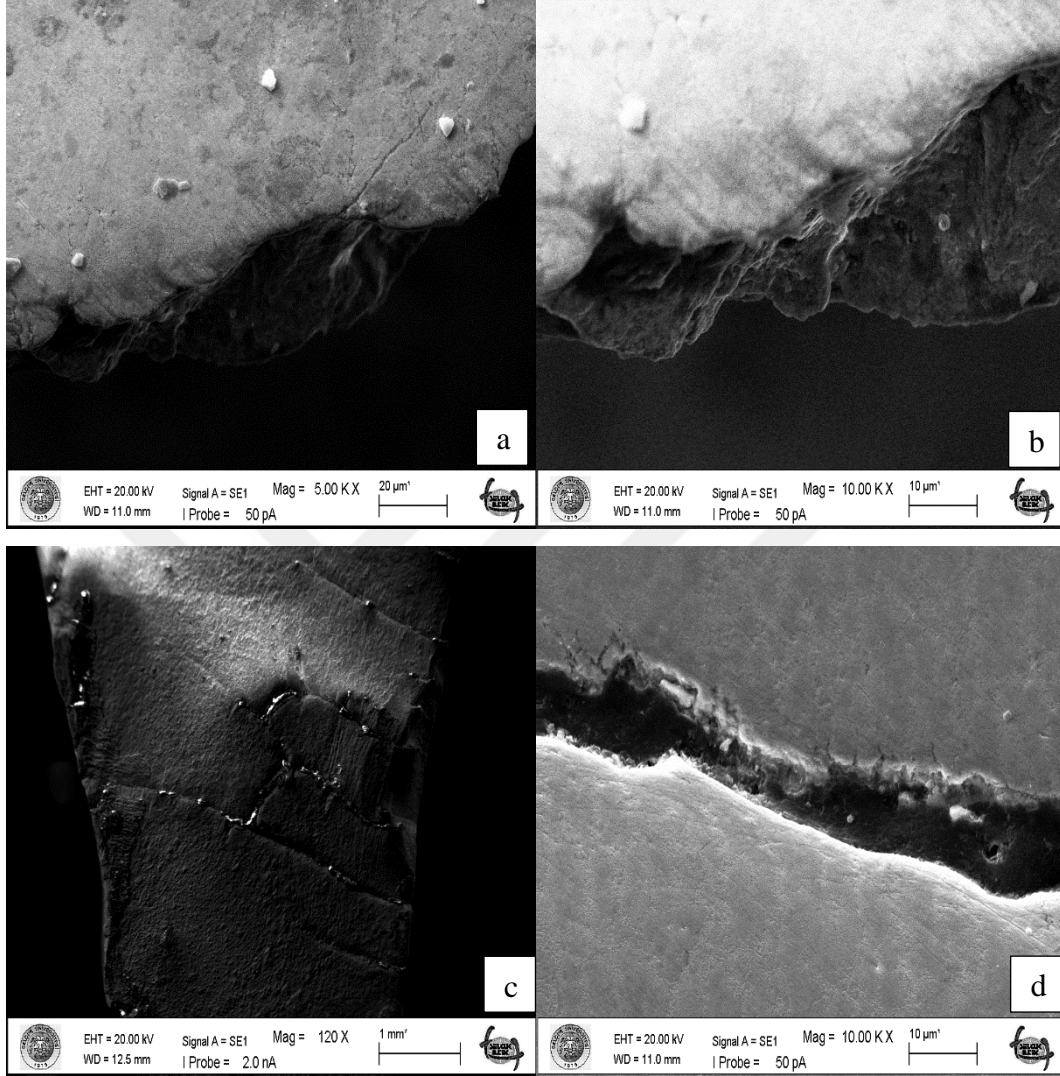
Çizelge 4.1 Numune sertlik ölçümü sertlik değeri (Rockwell-C).

Sertlik Ölçüm Noktası	A kodlu	B kodlu	C kodlu
1	41,30	39,40	39,20
2	33,10	37,60	40,10
3	35,40	37,50	39,10
4	39,10	38,70	44,30
Stellite kaplanmış bölge	40,40	40,70	41,00

4.2 SEM Analiz İncelemeleri

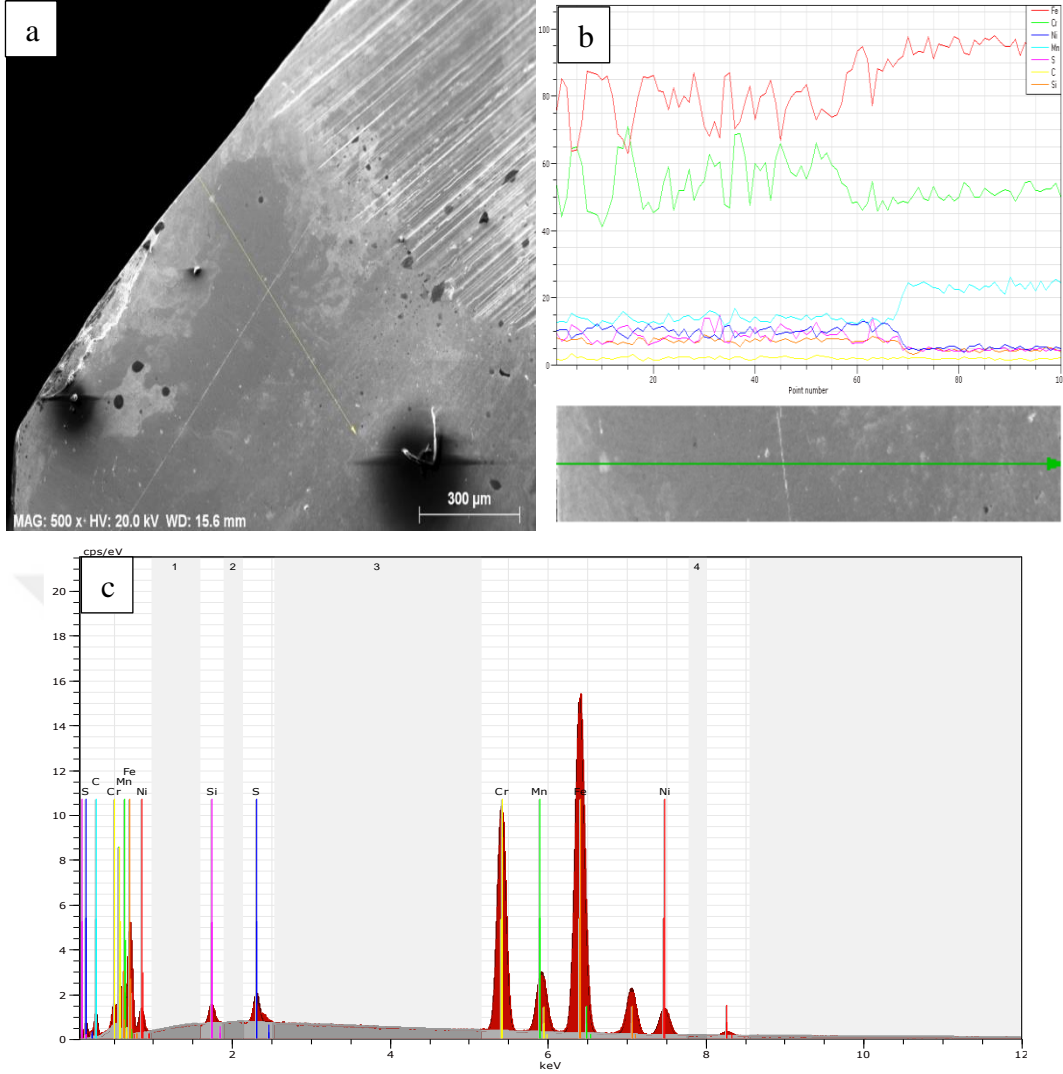
İlgili numuneler arızaların olduğu noktalardan kesite alınmıştır. Kesilen ürünler bagalit kaplanarak kalıba alınmıştır ve zımparalanmıştır. Viella asiti ile dağlanarak mikroyapı incelemeleri için hazır hale getirilmiştir.

4.2.1 A Kodlu Numunenin SEM ve EDX Analizleri



Şekil 4.1 A kodlu numunenin hasarlı bölge SEM görüntüleri. (a) Hasarlı bölge de meydana gelen çatlak yüzey SEM görüntüsü, (b) Hasarlı bölgede meydana gelen aşınmanın SEM görüntüsü, (c) Hasarlı bölge ısı geçiş noktaları SEM görüntüsü, (d) Çatlak yüzey SEM görüntüsü.

Şekil 4.1 incelendiğinde; (a)'da A kodlu numunenin SEM görüntüsünde hasarlı bölgede meydana gelen çatlak ve yüzey hasarları görülmektedir. (b)'de 10KX büyütülmüş hasarlı bölge SEM görüntüsü bulunmaktadır. (c)'de ise ısı geçişlerinin meydana getirdiği hasarların 120KX büyütülmüş SEM görüntüsü ve (d)'de çatlak yüzeyin 10KX büyütülmüş SEM görüntüsü bulunmaktadır.

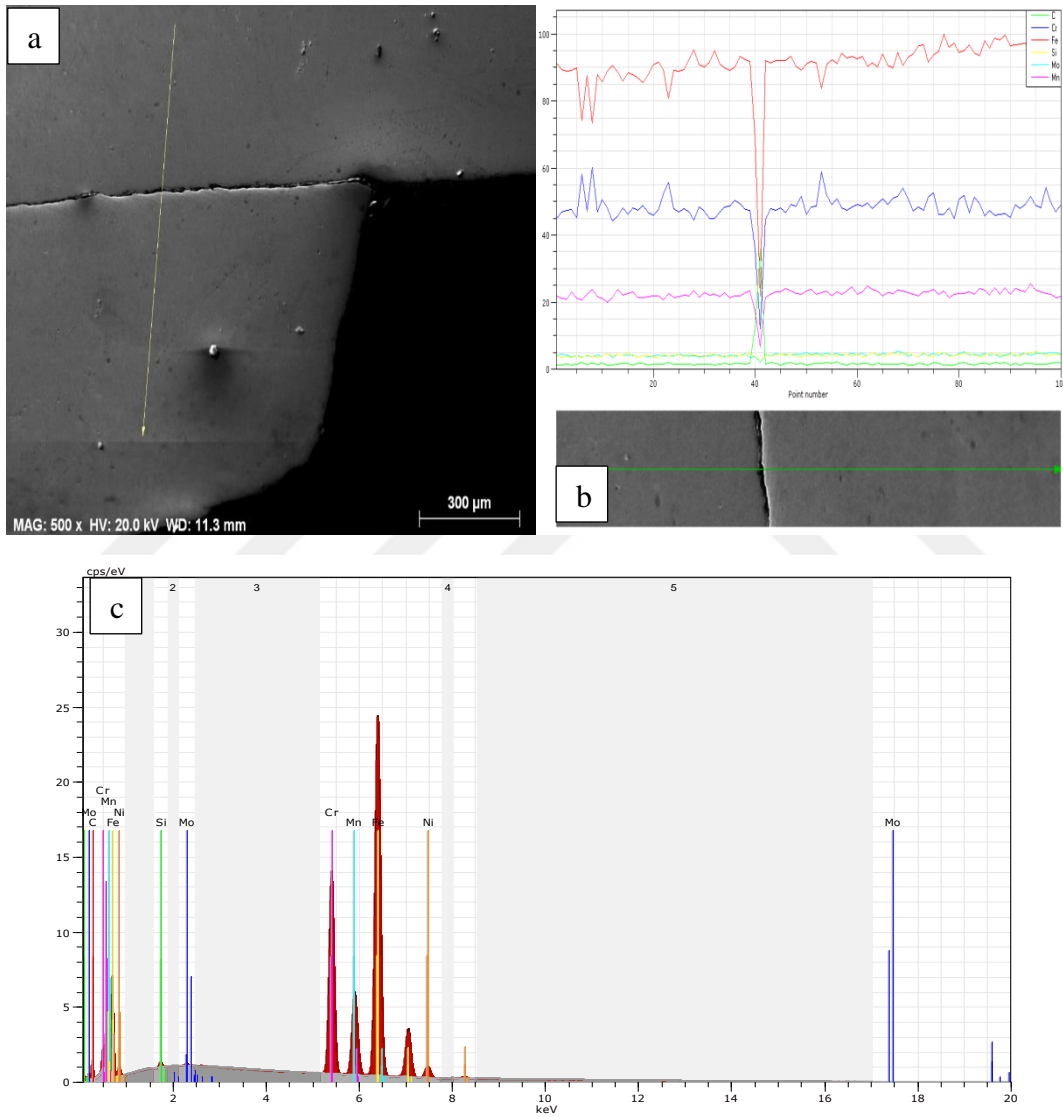


Şekil 4.2 A kodlu numunenin stellite kaplanmış yüzey SEM görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme geçiş görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.

Çizelge 4.2 A kodlu numune EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Nikel	K-Serileri	7,24	7,76	6,82	0,20
Mangan	K-Serileri	4,75	5,09	4,78	0,20
Sülfür	K-Serileri	1,15	1,24	1,99	0,10
Karbon	K-Serileri	1,33	1,43	6,30	0,20
Silikon	K-Serileri	0,71	0,76	1,40	0,10
Krom	K-Serileri	21,43	22,97	22,78	0,60
Demir	K-Serileri	56,68	60,75	56,10	1,50
	Toplam:	93,29	100,00	100,00	

Şekil 4.2 incelendiğinde A kodlu numunenin; (a)'da SEM analizinde stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme arasında yapılan EDX analizi için incelenen bölge görülmektedir. (b)'de EDX analizi line (çizgi) grafiğinde stellite kaplanmış bölge sonrasında; demir ve mangan elementlerinin artışı görülmektedir. Kükürt, silisyum ve nikel elementlerinin ise düşüşü görülmektedir. Krom ve karbon elementleri ise sabit kalmıştır. (c)'de EDX analiz grafiği görülmektedir.



Şekil 4.3 A kodlu numunenin çatlak yüzey SEM ve EDX görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan çatlak bölge ve ana malzemenin görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.

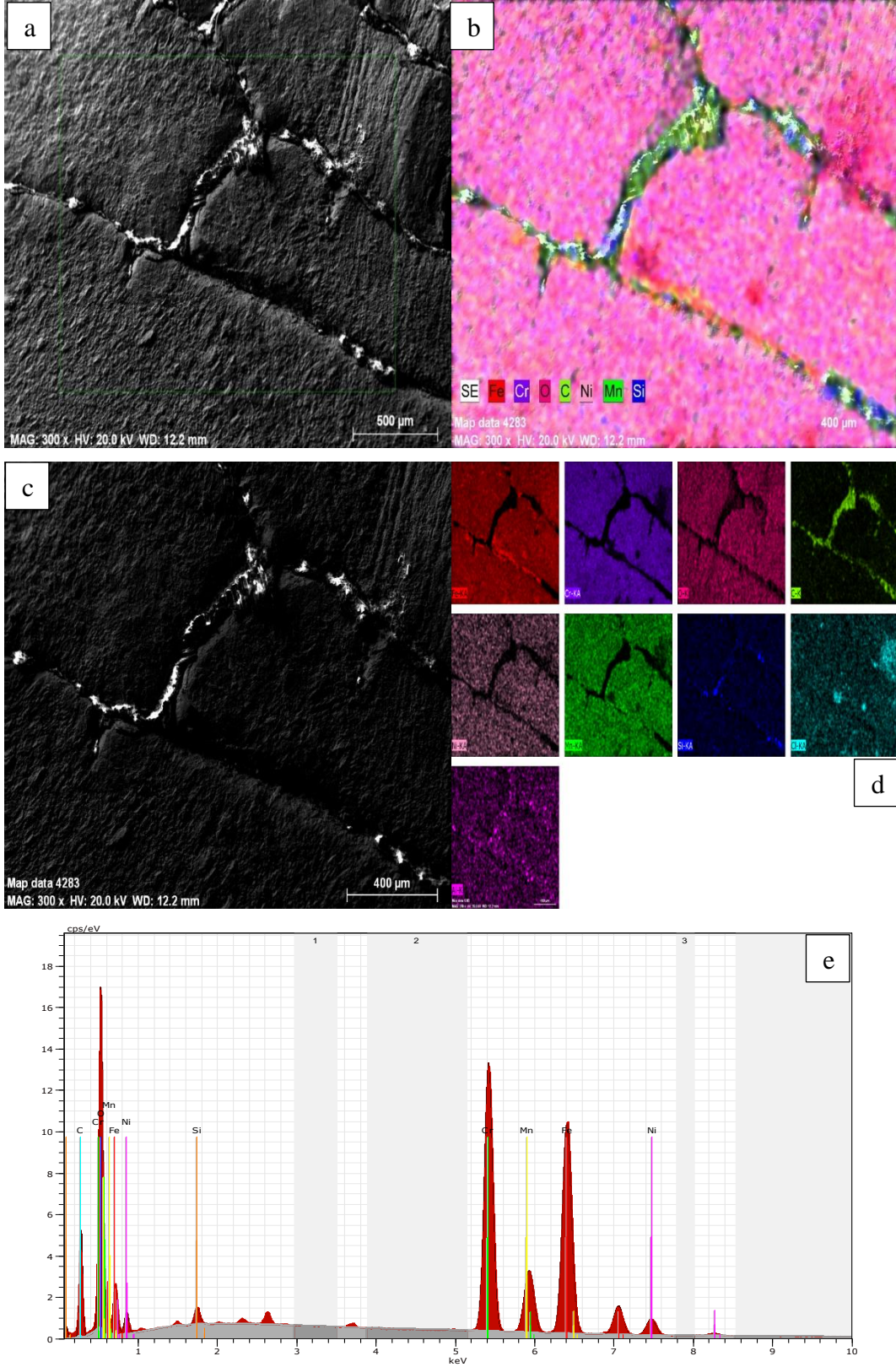
Şekil 4.3 incelendiğinde A kodlu numunenin; (a)'da SEM analizi görüntüsünde, çatlak yüzeyin alt ve üst kısmından incelenen bölgenin çizgisi görülmektedir. (b)'de EDX analizi line(çizgi) grafiğinde çatlak yüzeye denk gelen noktada, karbon elementinin arttığı görülmüştür. Krom, demir, mangan elementlerinin düşüşü görülmektedir. Silisyum ve molibden elementleri ise krom, demir ve mangan elementlerine göre daha az düşüş göstermiştir. (c)'de EDX analiz grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.3 A kodlu numune (çatlak yüzey) EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Karbon	K-Serileri	1,16	1,20	5,27	0,20
Silikon	K-Serileri	0,24	0,25	0,47	0,20
Molibden	K-Serileri	0,32	0,33	0,18	0,00
Mangan	K-Serileri	8,65	8,93	8,57	0,30
Krom	K-Serileri	19,73	20,36	20,64	0,60
Demir	K-Serileri	63,34	65,38	61,69	1,70
Nikel	K-Serileri	3,43	3,54	3,18	0,10
	Toplam:	96,88	100,00	100,00	

Çizelge 4.4 A kodlu numune (yanmış bölge) EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

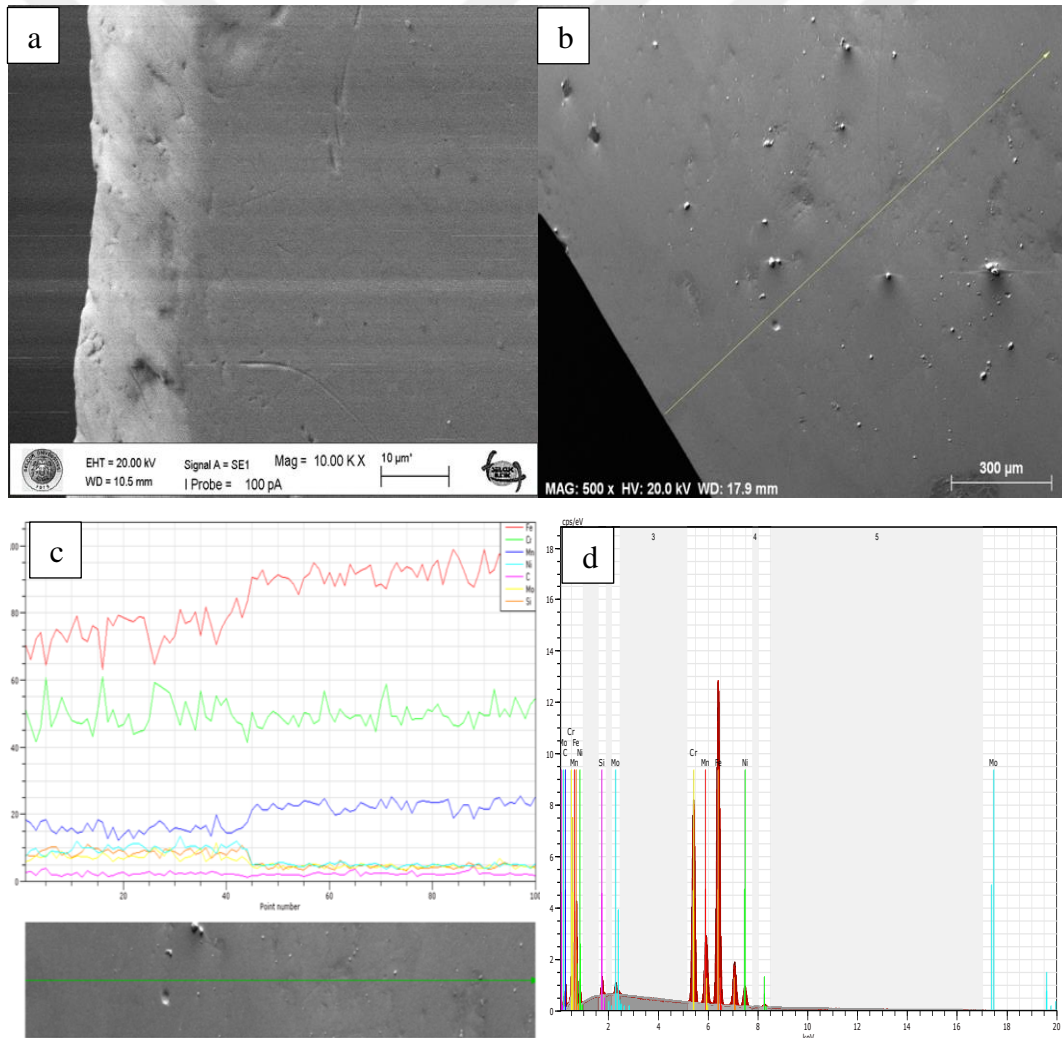
Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Demir	K-Serileri	32,35	35,51	19,33	0,90
Krom	K-Serileri	23,02	25,27	14,77	0,60
Oksijen	K-Serileri	21,94	24,08	45,75	2,60
Karbon	K-Serileri	5,34	5,87	14,84	0,70
Nikel	K-Serileri	4,11	4,51	2,33	0,10
Mangan	K-Serileri	3,76	4,13	2,28	0,10
Silikon	K-Serileri	0,58	0,64	0,69	0,10
	Toplam:	91,10	100,00	100,00	



Şekil 4.4 A kodlu numunenin hasarlı (yanmış) bölge SEM ve EDX görüntüleri. (a)'da hasarlı bölge SEM görüntüsü, (b, c, d) Hasarlı bölge mapping (haritalama) görüntüleri, (e) EDX analiz grafiği.

Şekil 4.4'de A kodlu numunenin yanmış bölge mapping (haritalama) analizi incelendiğinde; (a)'da mapping yapılan bölgenin SEM analizi görülmektedir. (b)'de tüm elementleri içeren analiz görüntüsünde ise karbon elementinin hasarlı bölge içerisinde yoğun olarak bulunduğu görülmektedir. (c)'de hasarlı bölge mapping görüntüsü bulunmaktadır. (d)'de karbon elementinin yoğun olarak bulunduğu hasar bölgesinde diğer elementlerin bulunmadığı görülmektedir. Oksijen, demir, mangan ve krom elementinin ise hasarlı bölgenin bazı kısımlarında bulunduğu görülmektedir. (e)'de EDX analiz grafiği görülmektedir.

4.2.2 B Kodlu Numunenin SEM ve EDX Analizleri

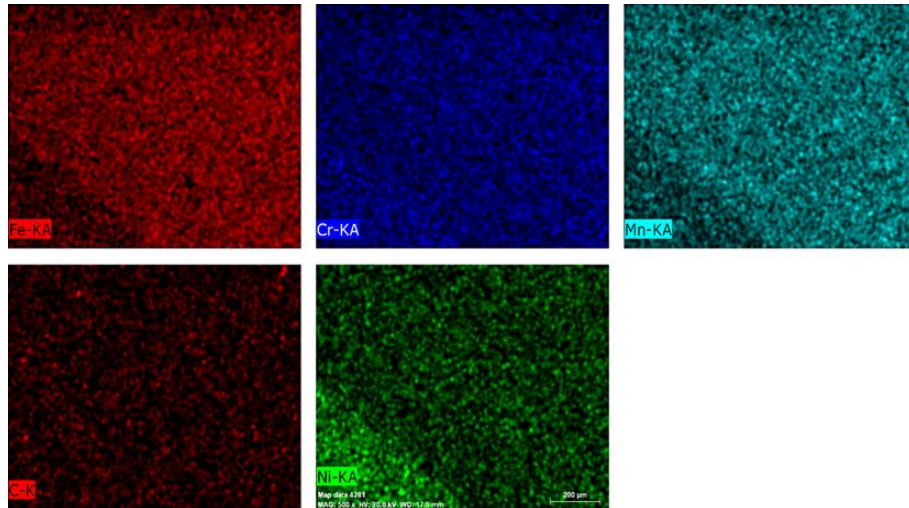


Şekil 4.5 B kodlu numunenin stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme SEM ve EDX görüntüleri. (a) SEM analizi yapılmış stellite kaplanmış ve ana malzeme geçiş görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölgenin görüntüsü, (c) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (d) EDX analiz grafiği.

Şekil 4.5’de incelendiğinde B kodlu numunenin; (a)’da yer alan SEM analizi görüntüsünün sol kısmında yaklaşık 10 mikron stellite kaplama görülmektedir. (b)’de incelenen bölgenin çizgisi görünmektedir. (c)’de incelenen bölge line (çizgi) grafiği olarak verilmiştir. Line (çizgi) grafiğine bakıldığı zaman; demir ve mangan elementlerinin stellite kaplanmış bölgenin sonrasında artışı görülmektedir. Molibden, silisyum ve nikel elementlerinin düşüşü görülmekteyken, krom ve karbon elementleri ise her iki bölgede de sabit olarak görülmektedir. (d)’de EDX analiz grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.5 B kodlu numune EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

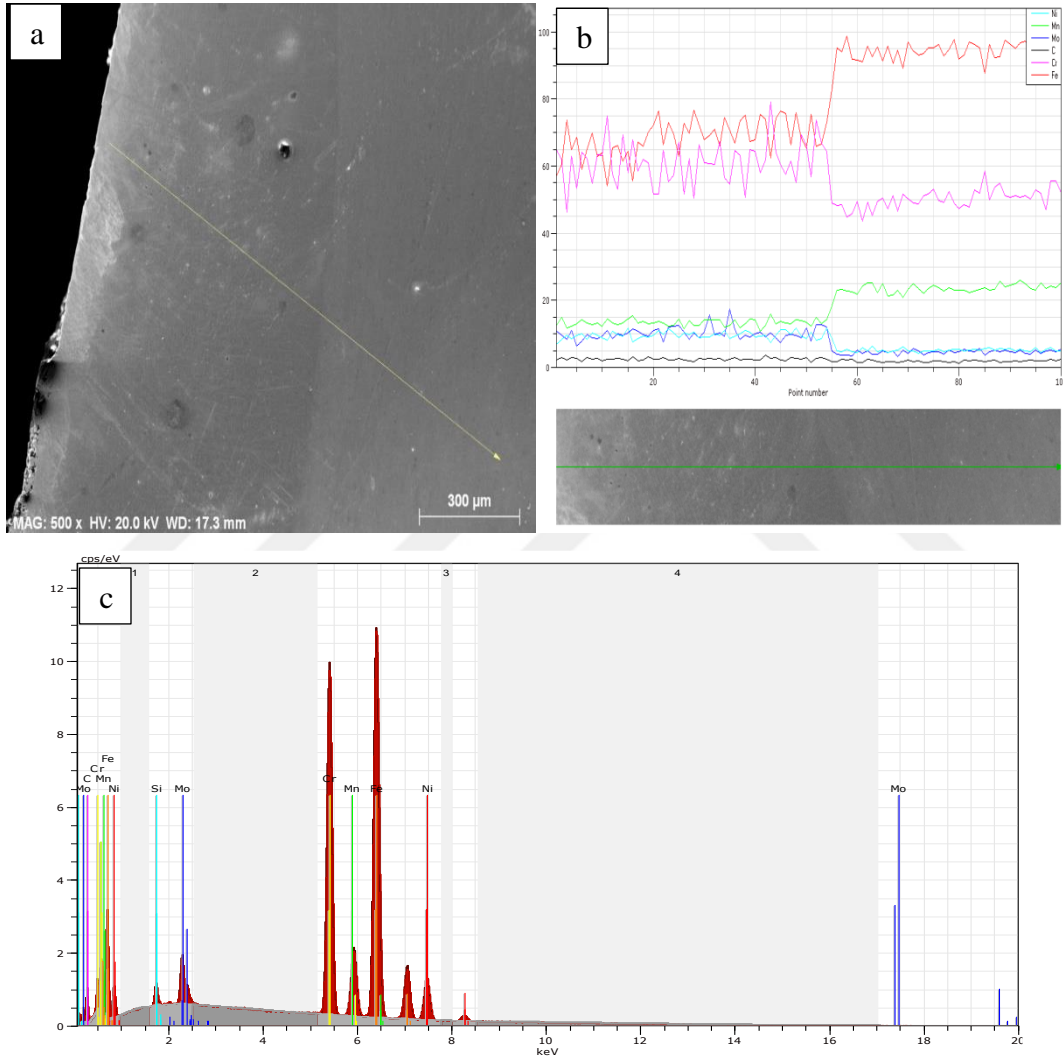
Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Mangan	K-Serileri	6,69	7,12	6,74	0,20
Nikel	K-Serileri	5,79	6,16	5,46	0,20
Karbon	K-Serileri	1,49	1,58	6,84	0,30
Molibden	L-Serileri	1,19	1,27	0,69	0,10
Silikon	K-Serileri	0,74	0,79	1,46	0,10
Krom	K-Serileri	20,52	21,83	21,82	0,60
Demir	K-Serileri	57,57	61,25	57,00	1,60
Toplam:	94,00	100,00	100,00		



Şekil 4.6 B kodlu numune stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme mapping (haritalama) görüntüsü.

Şekil 4.6’da B kodlu numunenin mapping (haritalama) analizi incelendiğinde; resimlerin sol köşesinde altta kalan kısımda demir ve mangan elementinin daha seyrek olduğu, nikel elementinin bu iki elemente göre daha yoğun olduğu görülmektedir. Krom ve karbon elementlerinin ise dağılımı homojen olarak görülmektedir.

4.2.3 C Kodlu Numunenin SEM ve EDX Analizleri



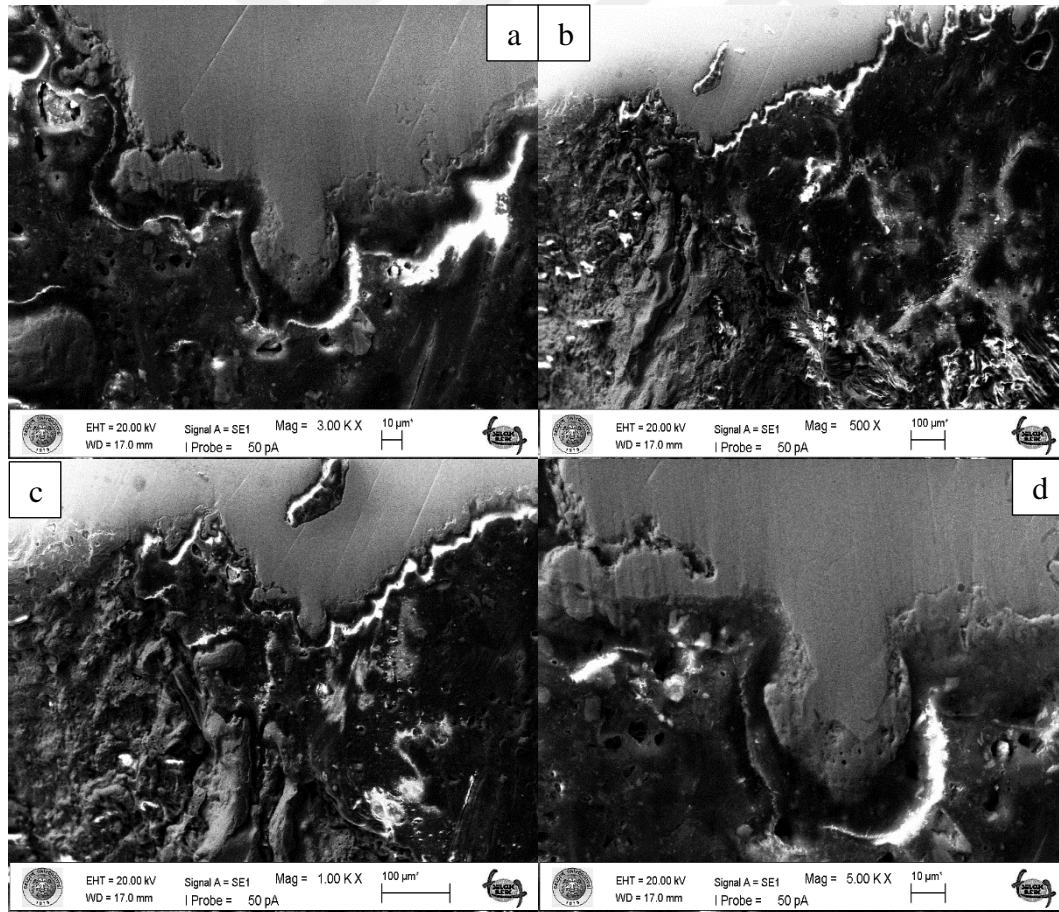
Şekil 4.7 C kodlu numunenin stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme SEM ve EDX görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan stellite kaplanmış bölge ve ana malzeme geçiş görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.

Şekil 4.7 incelendiğinde C kodlu numunenin; (a)’da yaklaşık 600 mikron stellite kaplanmış bölge ile ana malzeme geçiş bölgesinin EDX analizi için yapılan, SEM analiz

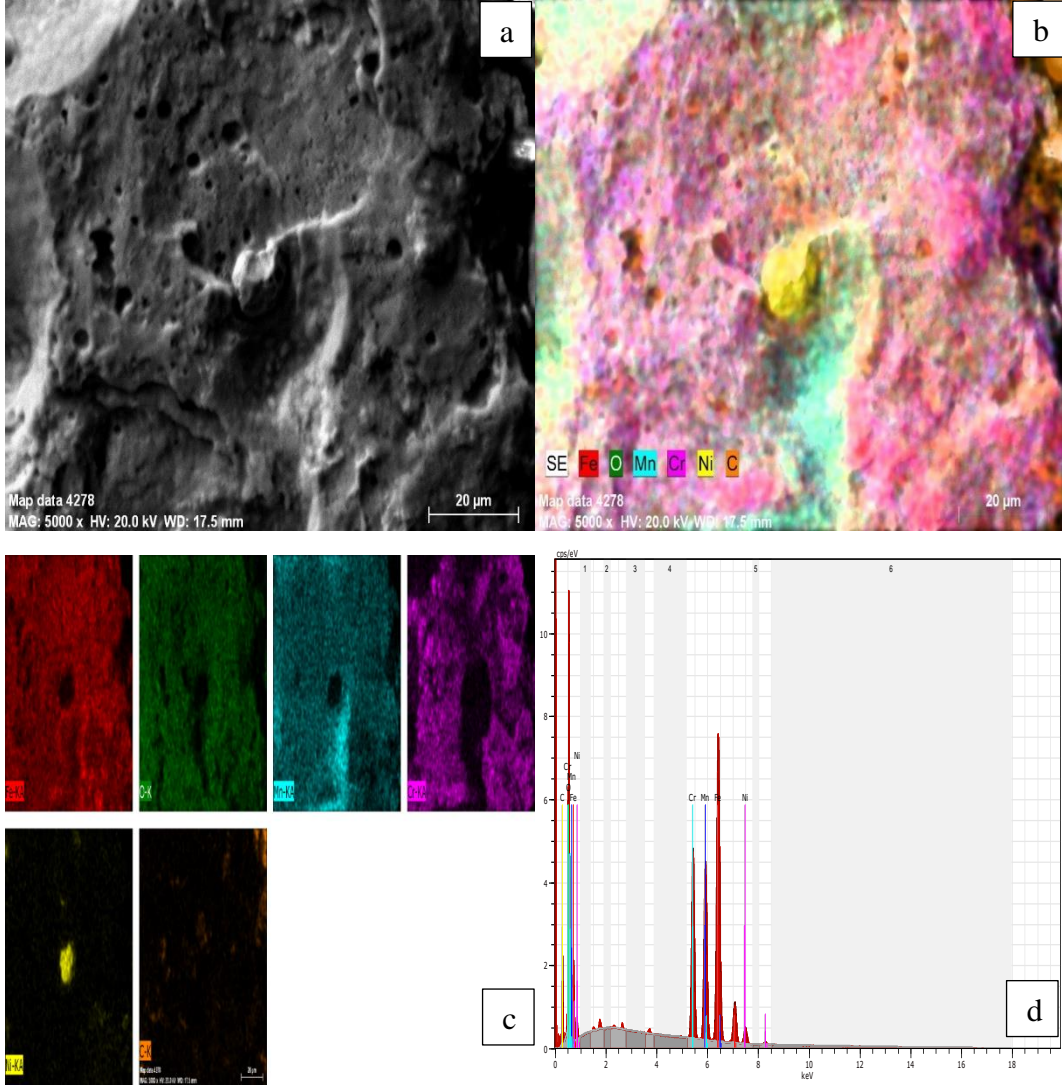
görüntüsü bulunmaktadır. (b)'de EDX analizi line (çizgi) grafiğinde stellite kaplanmış bölge sonrasında; demir ve mangan elementlerinin artışı görülmektedir. Krom, nikel ve molibden elementlerinin düşüşü görülmektedir. Karbon elementinin ise sabit olduğu görülmektedir. (c)'de EDX analiz grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.6 C kodlu numune EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Nikel	K-Serileri	8,40	9,09	8,07	0,30
Mangan	K-Serileri	2,79	3,02	2,86	0,10
Molibden	L-Serileri	3,79	4,11	2,23	0,20
Silikon	K-Serileri	0,68	0,74	1,37	0,10
Karbon	K-Serileri	1,64	1,78	7,72	0,30
Krom	K-Serileri	25,90	28,03	28,08	0,70
Demir	K-Serileri	49,20	53,25	49,67	1,30
	Toplam:	92,40	100,00	100,00	



Şekil 4.8 C kodlu numunenin hasar(yanma) bölgesi SEM görüntüleri.



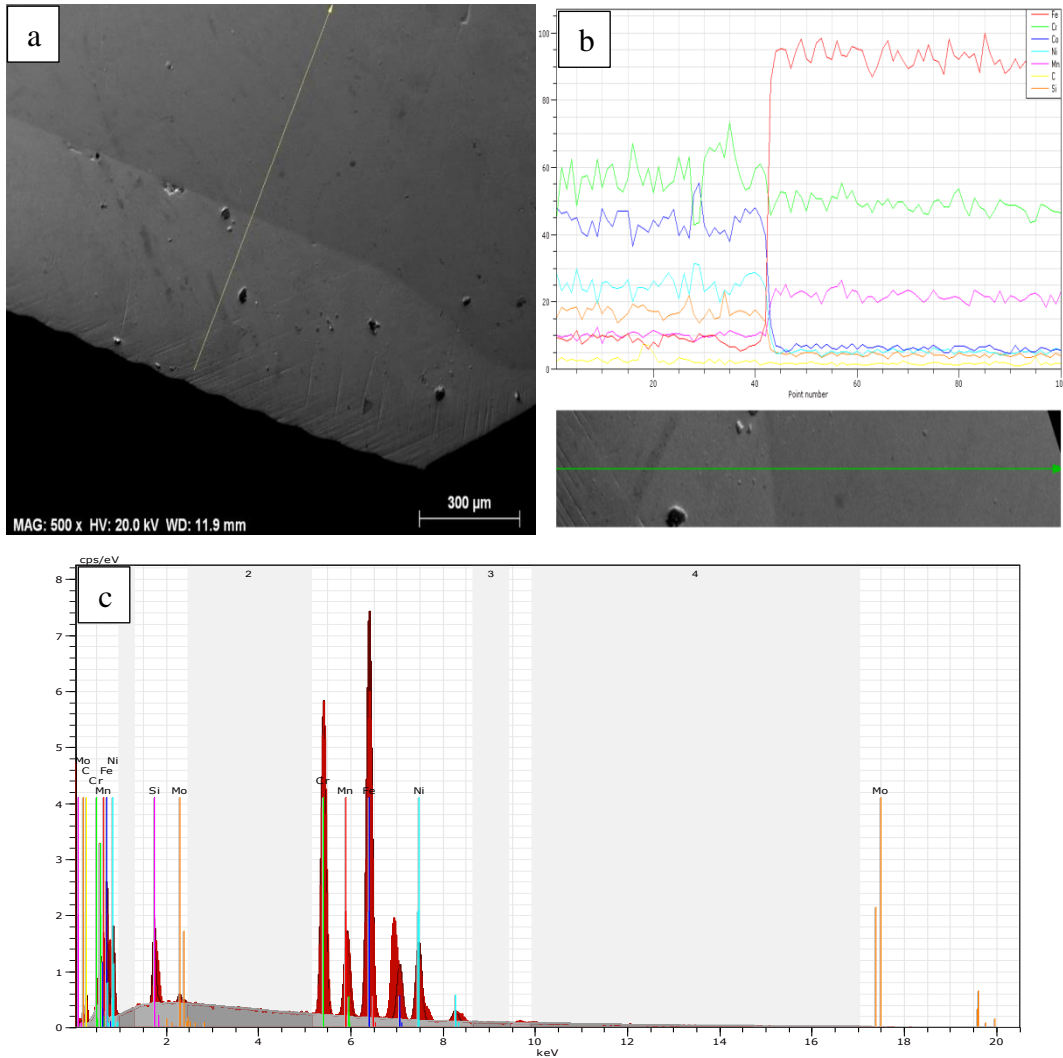
Şekil 4.9 C kodlu numunenin hasarlı bölge görüntüsü. (a) Genel hasarlı bölge görüntüsü, (b) ve (c) Hasarlı bölge mapping (haritalama) görüntüsü, (d) EDX analiz grafiği.

Şekil 4.9’da C kodlu numunenin hasarlı(yanmış) bölge mapping(haritalama) analizi incelendiğinde; (a)’da mapping yapılan bölgenin SEM analizi görülmektedir. (b)’de mapping analizi yapılan yanmış yüzey üzerinde tüm elementler gösterilmiştir. (c)’de verilen mapping görüntüsü incelendiğinde; demir, mangan ve oksijen elementinin kenar kısımlarda yoğunluğunun az olduğu, orta kısımda ise bulunmadığı görülmektedir. Krom elementi bu elementlerle kıyaslandığı zaman; orta kısımda olmadığı ve kenar kısımlarda daha az olduğu görülmektedir. Nikel elementi ise sadece yanmış bölgenin orta kısmında olduğu görülmektedir. Elementler içerisinde en az yoğunluk gösteren karbon elementidir. (d)’de EDX analiz grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.7 C kodlu numune(hasarlı bölge) EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Demir	K-Serileri	36,58	39,28	22,56	1,00
Oksijen	K-Serileri	22,02	23,65	47,41	2,60
Mangan	K-Serileri	14,99	16,10	9,40	0,40
Krom	K-Serileri	12,56	13,49	8,32	0,40
Nikel	K-Serileri	3,36	3,61	1,97	0,10
Karbon	K-Serileri	3,60	3,87	10,33	0,50
	Toplam:	93,11	100,00	100,00	

4.2.4 Sağlam (Çalışmamış) Stellite Kaplanmış Numune İncelenmesi



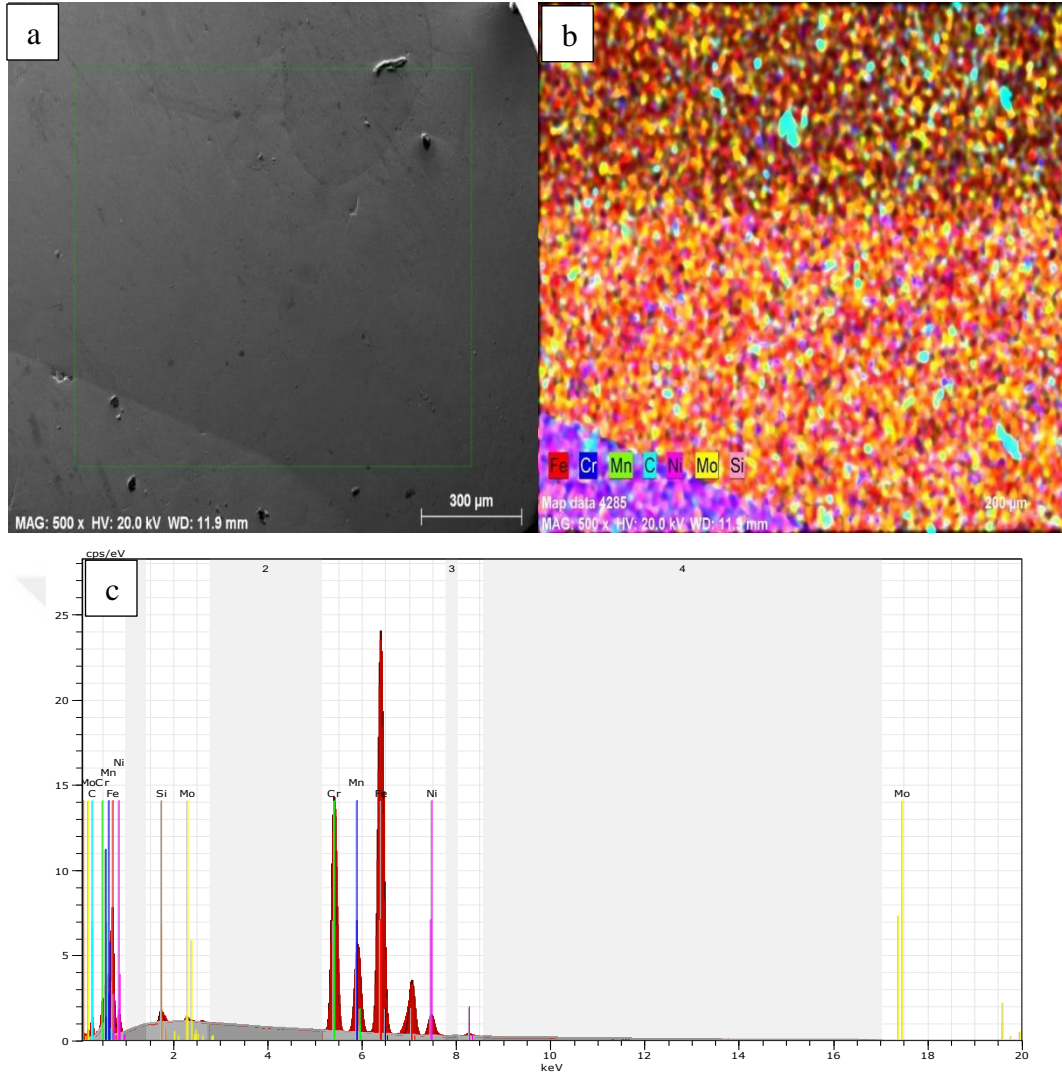
Şekil 4.10 Sağlam(çalışmamış) numune EDX görüntüleri. (a) EDX analiz yapılan bölge görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği, (c) EDX analiz grafiği.

Şekil 4.10 incelendiğinde sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin; (a)'da yaklaşık 450 mikron stellite kaplanmış bölge ile ana malzeme geçiş bölgesinin EDX analizi için hazırlanmış SEM analiz görüntüsü bulunmaktadır. (b)'de EDX line (çizgi) grafiğinde, stellite kaplanmış bölge sonrasında; demir ve mangan elementinin artışı görülmektedir. Kobalt, nikel ve silisyum elementlerinin ise düşüşü görülmekteyken, krom ve karbon elementlerinin sabit kaldığı görülmektedir. (c)'de EDX analiz grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.8 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Mangan	K-Serileri	4,49	5,16	4,83	0,20
Krom	K-Serileri	20,56	23,66	23,39	0,60
Demir	K-Serileri	44,52	51,22	47,14	1,20
Nikel	K-Serileri	13,23	15,22	13,33	0,40
Silikon	K-Serileri	2,18	2,50	4,58	0,10
Karbon	K-Serileri	1,29	1,48	6,33	0,30
Molibden	L-Serileri	0,66	0,75	0,40	0,10
	Toplam:	86,91	100,00	100,00	

Şekil 4.11 incelendiğinde sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin; (a)'da mapping analizi yapılan bölgenin SEM görüntüsü görülmektedir. (b)'de mapping analizi incelendiğinde; stellite kaplanmış bölgede demir ve mangan elementlerinin daha yoğun olduğu görülmektedir. (c)'de EDX analiz grafiği görülmektedir.

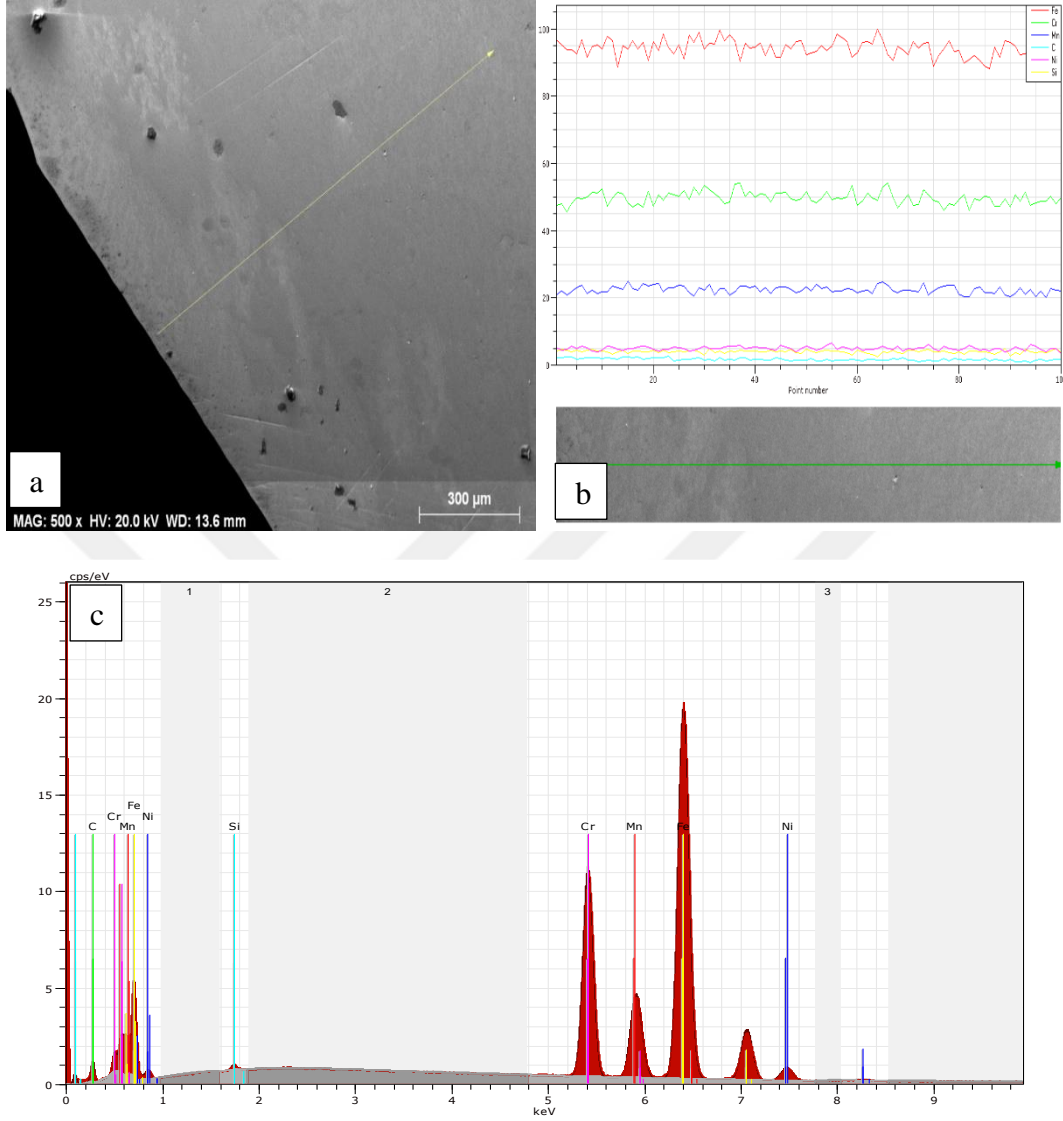


Şekil 4.11 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin mapping (haritalama) görüntüleri. (a) Mapping (haritalama) analizi yapılan bölge, (b) Mapping (haritalama) görüntüsü, (c) EDX analiz grafiği.

Çizelge 4.9 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Demir	K-Serileri	59,94	63,77	60,21	1,60
Krom	K-Serileri	19,55	20,80	21,09	0,60
Mangan	K-Serileri	7,49	7,97	7,65	0,20
Karbon	K-Serileri	1,09	1,16	5,11	0,20
Nikel	K-Serileri	5,06	5,39	4,84	0,20
Molibden	L-Serileri	0,43	0,46	0,25	0,00
Silikon	K-Serileri	0,43	0,46	0,86	0,00
	Toplam:	93,99	100,00	100,00	

4.2.5 Sağlam (Çalışmamış) Stellite Kaplanmamış Numune İncelenmesi

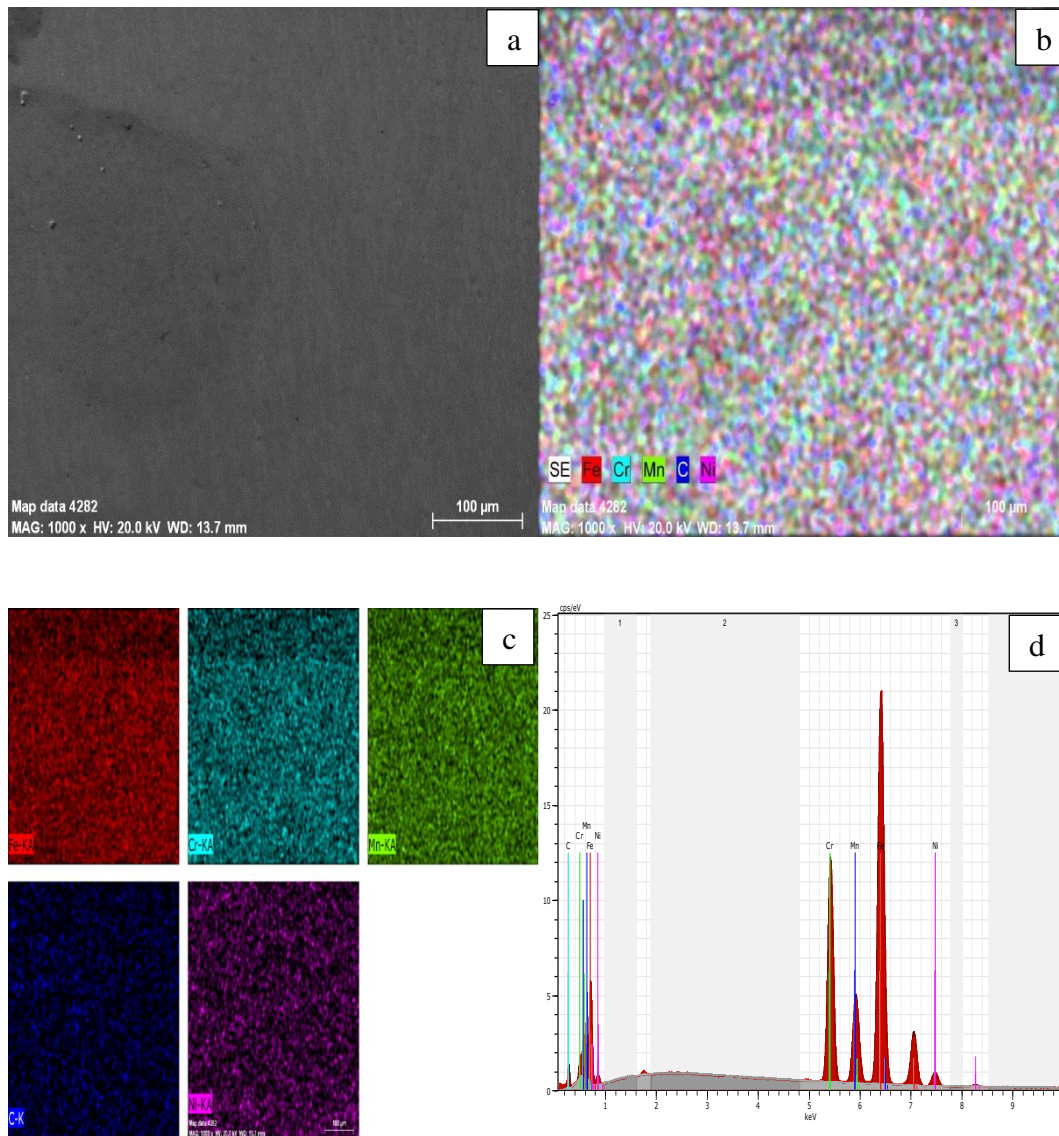


Şekil 4.12 Stellite kaplanmamış sağlam numune EDX görüntüleri. (a) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü, (b) EDX analizi yapılan bölge görüntüsü ve line (çizgi) grafiği (c) EDX analiz grafiği.

Şekil 4.12’de sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numune incelendiğinde; (a)’da EDX analizi yapılan bölgenin SEM görüntüsü bulunmaktadır. (b)’de EDX line grafiğinde; tüm elementlerin sabit oranda olduğu görülmüştür. (c)’de EDX analiz grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.10 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Mangan	K-Serileri	8,83	8,62	8,32	0,30
Karbon	K-Serileri	1,04	1,02	4,49	0,20
Nikel	K-Serileri	3,94	3,85	3,48	0,10
Silikon	K-Serileri	0,20	0,20	0,37	0,00
Krom	K-Serileri	20,82	20,35	20,74	0,60
Demir	K-Serileri	67,50	65,96	62,60	1,80
	Toplam:	102,33	100,00	100,00	



Şekil 4.13 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numunenin mapping (haritalama) görüntüleri. (a) Mapping analizi yapılan bölge, (b) ve (c) Mapping (haritalama) görüntüsü, (d) EDX analizi dağılım (grafik) görüntüsü.

Şekil 4.13’de Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numune incelendiğinde; (a)’da mapping analizi yapılan bölgenin SEM görüntüsü görülmektedir. (b)’de mapping analizi yapılan yanmış yüzey üzerinde tüm elementler gösterilmiştir. (c)’de mapping analizi incelendiğinde; tüm elementlerin sabit oranda olduğu görülmüştür. (d)’de EDX analiz grafiği görülmektedir.

Çizelge 4.11 Sağlam(çalışmamış) stellite kaplanmamış numunenin EDX analiz dağılımı (kimyasal bileşim ağırlıkça %).

Element	Seriler	Anormal Yoğunluk	Normal Yoğunluk	Atomik Yoğunluk	Hata Yoğunluk
Demir	K-Serileri	65,23	65,66	62,07	1,80
Krom	K-Serileri	20,63	20,77	21,09	0,60
Mangan	K-Serileri	8,57	8,62	8,29	0,30
Karbon	K-Serileri	1,17	1,17	5,16	0,20
Nikel	K-Serileri	3,75	3,78	3,40	0,10
	Toplam:	99,35	100,00	100,00	

5. SONUÇLAR

A kodlu arızalı numune incelendiği zaman;

- Supap açığı yüzeyinin bagaya çizgisel temas etmediği görülmüştür. Bu nedenle supap şapka kısmından; бага yüzeyine ısı iletimi olmadığından dolayı ve enjektör arızasından (yakıt kaçırma) kaynaklı supap da arıza meydana gelmiştir. Bu nedenlerle devamlı yüksek sıcaklığa maruz kalan supap şapka arka kısmından; supap açığı yüzeyine doğru ısı geçişleri olduğu ve bu ısı geçişlerinin zamanla supap yüzeyinde aşınmalara neden olduğu görülmüştür. Resim 3.2’de verilen çizgisel çatlaklarda ısı geçişleri görülmektedir.
- Çatlakların şapka arkasından açığı yüzeyine doğru ve devamında radyüs kısmına doğru ilerlediği görülmüştür. Bu ilerleme Resim 3.1’de verilmiştir.
- Resim 3.3’de yer alan yüzey incelendiği zaman ise yüzeyin yanma reaksiyonuna maruz kaldığı ve yanma reaksiyonunun mekanik çalışmayla birlikte aşınmaya neden olduğu görülmüştür.
- Resim 3.4 ve Resim 3.5’de yer alan yüzey incelendiği zaman ise yüzeyde meydana gelen ısı geçişleri ve bu ısıya bağlı yüzeyde meydana gelen aşınmalar mikroskop altında daha belirgindir.
- Meydana gelen aşınmalar sonucunda ise Çizelge 3.2’de verilen mekanik ağır çalışma koşullarına daha fazla dayanamayıp kopma ve kırılmalara neden olduğu belirlenmiştir.

B kodlu arızalı numune incelendiği zaman;

- Supap açığı bölgesinin бага yüzeyine çizgisel temas etmediği görülmüştür. Resim 3.9’da verilmiştir.

- Resim 3.10 incelendiği zaman; supap şapka arkası kısmında katman şeklinde bir kurum tabakası oluşmuştur. Aracın ateşleme bujisinden kaynaklı arızanın oluştuğu ve yakıt/hava karışımının doğru oranda olmadığı belirlenmiştir. Bu nedenlerle kurum tabakasının oluştuğu görülmüştür. Resim 3.7, Resim 3.8, Resim 3.11 ve Resim 3.12 incelendiği zaman ise, kurum tabakasının sadece şapka arkasında olmadığı; supap açığı, radyüs, boğaz ve sap kısımlarında da kurum tabakasının olduğu görülmüştür.
- Meydana gelen aşınma ve bozulmalar sonucunda Çizelge 3.3’de verilen mekanik ağır çalışma koşullarına daha fazla dayanamayıp arızaya neden olduğu belirlenmiştir.

C kodlu arızalı numune incelendiği zaman;

- Supap açığı yüzeyinin бага yüzeyine çizgisel temas etmediği belirlenmiştir. Supap şapka kısmından, бага yüzeyine ısı iletimi olmamıştır ve tek noktadan kompresyon kaçağı meydana geldiği belirlenmiştir.
- Supabın silindir içerisinde meydana gelen yanma adımı sırasında, бага ve supap açığı yüzeyinde çizgisel temas olmamasından kaynaklı; tam olarak kapanmadığı ve supap şapka arkası kısmından açığı kısmına doğru alev geçişi olduğu belirlenmiştir. Bu alev geçişi Resim 3.13, Resim 3.14 ve Resim 3.15’de görülmektedir. Isı geçişi sonucunda tek noktadan yanma reaksiyonu meydana gelmiştir.
- Meydana gelen ısı geçişi sonucunda Çizelge 3.4’de verilen mekanik ağır çalışma koşullarına daha fazla dayanamayıp kopma ve kırılmaları oluşturmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- Altın A, Gökçaya H, Nalbant M, 2006, Isıl İşlem Parametrelerinden Kesme Hızının Inconel 718 Süper Alaşımın İşlenebilirliğine Etkisi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 581-586.
- Anık S, Tülbentçi K, Kaluç E, 1991, Örtülü Elektrod ile Elektrik Ark Kaynağı, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim Araştırma ve Muayene Enstitüsü, 296, İstanbul
- Apay S, Gülenç B, 2013, AISI 1018 Çelik Yüzeyine GTA Yöntemiyle Stellite 6 Kaplamının Mekanik Özelliklere Etkisi, Düzce Üniversitesi İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 2, 62-76.
- Avcı A, 2003, Benzinli Motorlarda LPG Kullanımının Supaplar Üzerindeki Etkisinin Isıl Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 8, 165-172.
- Balcı Ö, Ağaogulları D, 2012, Çeşitli Metal Borürlerin Mekanokimyasal Sentezleme ve Mekanik Alaşımlama Yöntemleri ile Üretimi, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, 160, 26-32
- Bayata F, 2021, İçten Yanmalı Motorlarda Östenitik Egzoz Supaplarının Yüksek Sıcaklık Aşınma Mekanizmalarının Tespiti, İstanbul Bilgi Üniversitesi Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9, 255-264.
- Çay V, Ozan S, 2005, Süper Alaşım ve Uygulama Alanları, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü, 3, 178-188.
- Çömez E, Çelik H, 2004, Kobalt Esaslı Elektrotlarla Kaplanan Malzemelerin İç Yapı ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 16, 633-641.
- Dindar Ç, Altay M, Aydın H, 2021, Lazer Kaplama Prosesi ve Proses Parametreleri: Derleme Çalışması, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 26, 723-736.

- Duran H, 2019, Süper Alaşım Malzemenin Yüzey İşlemleriyle Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75, Bartın.
- Ferozhkhan M M, Duraiselvam M, Kumar K G, Ravibharath R, 2016, Plasma Transferred Arc Welding of Stellite 6 Alloy on Stainless Steel for Wear Resistance, Procedia Technology, 25, 1305-1311.
- Gençalp İrizalp S, Saklakoğlu N, İldaş G, Demirok S, 2018, 1.2714 Çeliği Üzerine Sert Dolgu Kaynağı ile Kaplanmış Fe-Cr-V Esaslı Alaşımın Malzeme Özelliklerinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33, 35-46.
- Kamış Z, Yüksel İ, 2004, Elektromekanik Supap Mekanizmalarında Tasarım Parametrelerinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 9, 45-58.
- Motorcu A R, 2009, Nikel Esaslı Süper Alaşımların ve Titanyum Alaşımların İşlenebilirliği, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25, 302-330.
- Özdemir Y, Diltemiz S F, Kandemir G, Dizel Lokomotif Ağır Hizmet Motorunda Kullanılan Egzoz Supap Bagası Hasarları, Demiryolu Mühendisliği, 15, 75-83.
- Taşlıyan A, Acarer M, Şeker U, Gökkaya H, Demir B, 2007, Inconel 718 Süper Alaşımının İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvveti Üzerindeki Etkisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28, 1-5.
- Tozkoparan D, 2010, Plazma Sprey Kaplama Kalitesine Etki Eden Faktörlerin Taguchi Yöntemiyle Optimasyonu, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76, Sakarya.
- Yaz M, 2005, Düşük Karbonlu Yumuşak Çeliklerin Co Esaslı Süper Alaşım Elektrotları ile Kaplanabilirliğinin Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 102, Elâzığ.
- Yaz Ç, Çelik H, 2006, Co Esaslı Süper Alaşımlar İle Kaplanan Düşük Karbonlu Çeliklerin Mikroyapı İncelemeleri, Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, 4, 42-48.

Yeşildal R, Günay Y Z, 2007, Plazma Sprey Yöntemi ile Kaplama ve Sprey Karakteristiklerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 9, 59-76.

Zhu Z, Ouyang C, Qiao Y, Zhou X, 2017, Wear Characteristic of Stellite 6 Alloy Hardfacing Layer by Plasma Arc Surfacing Processes, Jiangsu University of Science and Technolog, Hindawi, 8, 1-7

İnternet Kaynakları

- 1- http://supar.com.tr/tr/teknik_bilgiler-10/supap_teknik_bilgiler-57.html, (10.10.2022)
- 2- <http://otomobilteknoloji.blogspot.com/2019/08/supap-sistemi-nedir-supap-mekanizmasi-cesitleri-parcalari.html>, (27.11.2022)
- 3- <http://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/naci.kurgan/126929/05.%20A%C5%9F%C4%B1nma%20Hasarlar%C4%B1%20.pdf>, (31.12.2022)
- 4- <http://otomobilteknoloji.blogspot.com/2019/08/hidrolik-supap-iticisi-nedir-ne-ise-yarar.html>, (15.03.2023)
- 5- <http://otomobilteknoloji.blogspot.com/2019/08/supap-yuvasi-supap-bagasi-nedir.html>, (3.04.2023)