

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR ÇELİK SANAYİNDE KULLANILAN SERT DOLGU
KAPLAMALARININ YÜKSEK VE DÜŞÜK SICAKLIK AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ertan YÖNTEM

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DEMİR ÇELİK SANAYİNDE KULLANILAN SERT DOLGU
KAPLAMALARININ YÜKSEK VE DÜŞÜK SICAKLIK AŞINMA
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Ertan YÖNTEM
(506071210)**

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Üretim Metalurjisi ve Teknolojileri Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506071210 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Ertan YÖNTEM**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**DEMİR ÇELİK SANAYİNDE KULLANILAN SERT DOLGU KAPLAMALARININ YÜKSEK VE DÜŞÜK SICAKLIK AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Murat BAYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Erdem ATAR
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Teslim Tarihi : **5 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **29 Mayıs 2014**

Castolin Kaynak ailesine,

ÖNSÖZ

Bu çalışma değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÇİMENÖĞLU'nun katkılarıyla gerçekleştirilmiştir. Yüksek lisans eğitimim boyunca tez danışmanım olmasının ötesinde çok çeşitli konularda bilgi ve tecrübesi ile kariyerimi yönlendirmem konusunda bana yardımcı olan, hiçbir şekilde desteğini esirgemeyen çok değerli hocama sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Çalışmada demir çelik fabrikalarında meydana gelen aşınma problemlerine karşı kaynak yöntemlerini kullanarak getirdiğim çözümlerin sonuçlarını inceleyerek elde ettiğim veriler sunulmuştur. Ülkemizde büyük değer taşıyan ve sanayinin bel kemiğini oluşturan demir çelik fabrikalarının getirilen bu çözümlerle makine parçalarını tekrar ve daha uzun ömürlü kullanabilmesi milli servetimizin zamanla hurdaya atılmasını önleyecektir. Bu çalışmanın demir çelik sektörüne ve bu alanda yapılacak bilimsel çalışmalara ışık tutmasını dilerim.

Çalışmamdaki desteklerinden dolayı Zeynep AKKAYA'ya, Araş. Gör. Faiz MUHAFFEL'e, Metalurji Yük. Müh. Amir MOTALLEBZADEH'e, Castolin Kaynak Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi'ne ve Genel Müdürü Sn. Mecit ÇELEBİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Ertan Yöntem
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY.....	xix
1. GİRİŞ.....	1
2. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNÜN TANITILMASI.....	3
2.1 Demir Çelik Sanayi Tanımı.....	3
2.2 Türkiye’de Demir Çelik Sanayi.....	3
3. DEMİR ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	5
3.1 Cevherden Çelik Üretimi.....	5
3.1.1 Demir çelik cevherleri ve diğer hammaddeler.....	5
3.1.2 Demir üretimi.....	6
3.1.3 Çelik üretimi.....	7
3.2 Hurdadan Çelik Üretimi.....	10
3.3 İngotların Dökümü.....	10
3.4 Sürekli Döküm.....	11
3.5 Haddeleme Prosesi.....	12
3.5.1 Haddeleme üretim aşamaları.....	12
3.5.1.1 Malzemenin haddeleme işlemine hazırlanması.....	12
3.5.1.2 Isıtma.....	13
3.5.1.3 Haddeleme.....	13
3.6 Çelik Ürünleri.....	13
4. DEMİR ÇELİK ÜRETİM TESİSLERİNDE AŞINMA PROBLEMLERİ	17
4.1 Aşınma Türleri.....	17
4.1.1 Adhesiv aşınma.....	18
4.1.2 Abrasiv aşınma.....	18
4.1.3 Yüzey yorulma aşınması.....	19
4.1.4 Erozyon aşınması.....	19
4.2 Demir Çelik Tesislerinde Aşınmanın Önemi ve Maliyeti.....	19
4.3 Demir Çelik Fabrikaları Aşınma Problemleri.....	21
5. SERT DOLGU KAPLAMA UYGULAMALARI.....	23
5.1 Sert Dolgu Kaplama Yöntemleri.....	24
5.1.1 Özlü kaynak tellerinin gazaltı ark kaynağı.....	25
5.1.1.1 MIG kaynağı.....	25
5.1.1.2 MAG kaynağı.....	25
5.2 Kaynak Yönteminin Seçimi.....	26
5.3 Sert Dolgu Malzemeleri.....	27
5.3.1 Östenitik sert dolgu alaşımları.....	27
5.3.2 Martensitik sert dolgu alaşımları.....	28

5.3.3 Karbürlü sert dolgu alaşımları	28
5.3.4 Demir dışı sert dolgu alaşımları	29
5.3.4.1 Kobalt bazlı sert dolgu alaşımları	29
5.3.4.2 Nikel bazlı sert dolgu alaşımları	30
5.4 Sert Dolgu Malzemeleri Seçimi	30
5.4.1 Kesici kenar muhafaza edilmesi için sert dolgu uygulaması	32
5.4.2 Tek bir yüzeyi korumak için sert dolgu uygulaması	33
5.4.3 Temas halindeki yüzeyleri korumak için sert dolgu uygulaması	34
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	35
6.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması	35
6.2 Karakterizasyon Çalışmaları	37
6.3 Aşınma Testleri	39
7. DENEYSEL SONUÇLAR.....	43
7.1 Mikroyapı İnceleme Sonuçları.....	43
7.1.1 Co-30Cr-8W-1.8C kaplama.....	43
7.1.2 Fe-15Mn-13Cr-0.45C kaplama	44
7.1.3 Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo kaplama	45
7.1.4 Fe-17Cr-4Ni-1Mo kaplama	46
7.2 Aşınma Testleri ve Analizleri	47
7.2.1 Disk üzeri bilya aşınma testleri	48
7.2.1.1 Fe-15Mn-13Cr-0.45C kaplamaya ait aşınma test sonuçları	48
7.2.1.2 Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo kaplamaya ait aşınma test sonuçları.....	51
7.2.1.3 Fe-17Cr-4Ni-1Mo kaplamaya ait aşınma test sonuçları	54
7.2.1.4 Değerlendirme	57
7.3.2 Karşıt hareketli aşınma testleri	59
7.3.2.1 Co-30Cr-8W-1.8C kaplamaya ait aşınma test sonuçları	59
7.3.2.2 Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo kaplamaya ait aşınma test sonuçları.....	62
7.3.2.3 Değerlendirme	65
8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
KAYNAKLAR.....	69
EKLER	71
ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

kWh	: Kilowatt saat
SM(OH)	: Siemens-Martin Ocakları
BOF	: Bazık Oksijen Fırını
EAO	: Elektrik Ark Ocağı
AISI	: Amerikan Demir Çelik Enstitüsü
SAE	: Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği
DIN	: Alman Endüstri Normu
HRc	: Rockwell Sertliği
USD	: Amerika Birleşik Devletleri Doları

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Türkiye ham çelik üretim miktarları.....	4
Çizelge 6.1 : Deneylerde kullanılan kaynak metallerinin kimyasal analiz sonuçları	36
Çizelge 6.2 : Taşlama işlemi sonrası metalografik işlemler.....	37
Çizelge 7.1 : Numunelerin 25 °C ve 400 °C sıcaklıkta aşınma testi sonucu sürtünme katsayısı ve hacim kaybı değerleri.....	58
Çizelge 7.2 : Numunelerin alümina ve çelik bilya ile aşınma testi sonucu sürtünme katsayısı ve hacim kaybı değerleri	66

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Türkiye çelik haritası	3
Şekil 3.1: Yüksek fırın kesit görüntüsü	7
Şekil 3.2: Bazık oksijen fırını.....	8
Şekil 3.3: Bez BOF yönteminin aşamaları	9
Şekil 3.4: Yüksek fırından gelen pik demirin BOF'na dökülmesi	9
Şekil 3.5: Elektrik ark ocağı kesit görüntüsü	11
Şekil 3.6: Sürekli döküm kesit görüntüsü	12
Şekil 3.7: Haddeleme ile üretim yöntemleri şeması	14
Şekil 6.1: Numunelerin kaynak işleminden sonraki görüntüsü	36
Şekil 6.2: Numunelerin yüzey hazırlık işlemlerinden sonraki görüntüsü	37
Şekil 6.3: Bakalite alınmış numunelerin görüntüsü	38
Şekil 6.4: Lecia DM750M marka optik mikroskop	38
Şekil 6.5: Numunelerin faz analizinin yapıldığı GBC-Australia marka faz XRD cihazı	39
Şekil 6.6: Zwick Roell marka sertlik cihazı	39
Şekil 6.7: CSM Yüksek sıcaklık tribotest cihazı	40
Şekil 6.8: Ball on disc türü aşınma deneyinin tipik görüntüsü	40
Şekil 6.9: Tribotechnic marka karşıt hareketli aşınma cihazı	41
Şekil 6.10: Dektak-6M, Veeco marka profilometre cihazı ve aşınma izlerinin profilometre cihazında ölçümünün tipik görüntüsü	41
Şekil 7.1: Numune-1 X-ışınları difraksiyon paterni	43
Şekil 7.2: Numune-1'in (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü	44
Şekil 7.3: Numune-2 X-ışınları difraksiyon paterni	45
Şekil 7.4: Numune-2'nin (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü.	45
Şekil 7.5: Numune-3 X-ışınları difraksiyon paterni	46
Şekil 7.6: Numune-3'ün (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü.	46
Şekil 7.7: Numune-4 X-ışınları difraksiyon paterni	47
Şekil 7.8: Numune-4'ün (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü	47
Şekil 7.9: Numune-2 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayısı..	49
Şekil 7.10: Numune-2 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri	50
Şekil 7.11: Numune-2/alümina bilya tribo çiftine ait aşınma yüzey fotoğrafları	51
Şekil 7.12: Numune-3 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayısı.....	52
Şekil 7.13: Numune-3 (a)25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri	53
Şekil 7.14: Numune-3/alümina bilya tribo çiftine ait aşınma yüzey fotoğrafları	54
Şekil 7.15: Numune-4 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayısı..	55

Şekil 7.16: Numune-4 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri.....	56
Şekil 7.17: Numune-4/alümina bilya tribo çiftine ait aşınma yüzey fotoğrafları	57
Şekil 7.18: Numune-1 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile ölçülen sürtünme katsayısı	60
Şekil 7.19: Numune-1 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile yapılmış aşınma testi profilleri	61
Şekil 7.20: Numune-1/alümina bilya ve Numune-1/çelik bilya tribo çiftlerine ait aşınma yüzey fotoğrafları.	62
Şekil 7.21: Numune-3 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile ölçülen sürtünme katsayısı	63
Şekil 7.22: Numune-3 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile yapılmış aşınma testi profilleri.	64
Şekil 7.23: Numune-3/alümina bilya ve Numune-3/çelik bilya tribo çiftlerine ait aşınma yüzey fotoğrafları.	65

DEMİR ÇELİK SANAYİNDE KULLANILAN SERT DOLGU KAPLAMALARININ YÜKSEK VE DÜŞÜK SICAKLIK AŞINMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüzde toplu konut inşaatları, yol ve baraj yapımları ve kentleşme artışından dolayı demir çelik mamullerinin kullanımında önemli bir artış olmakla beraber ülkemizdeki demir çelik fabrikaları global taleplere şu anki kapasiteleriyle karşılık verememektedir. Bununla birlikte büyüyen talep artışı sektörde çok önemli ve büyük yatırımları beraberinde getirmektedir. Böylece dünyada ve ülkemizde farklı kullanım alanlarına farklı demir çelik mamulleri üreten birçok yeni demir çelik üretim tesisi kurulmaktadır. Bu yatırımlarla birlikte ülkemiz demir çelik sanayinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Her geçen yıl ham üretim kapasitesi artmakta ve dünyada demir çelik üretimi hızlı bir yükseliş göstermektedir.

Demir çelik üretimi hammadde bakımından cevherden üretim ve hurdadan üretim olarak iki alanda incelenmektedir. Bu alanların proseslerinde sıvı çelik aşamasından sonra adımlar her iki alanda da sürekli döküm ve haddeleme prosesleri ile devam ederek nihai ürün üretilmektedir. Üretilen ürünler farklı alanlarda farklı işlevleriyle kullanıldıkları için çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitliliğin içinde inşaat yapımında kullanılan düz ve nervürlü inşaat çeliği, çelik konstrüksiyonların kolon ve kirişlerini oluşturan profiller, farklı alanlarda kullanılan borular, otomobil üretimi ve daha birçok alanda kullanılan saclar önemli yer tutmaktadır.

Demir çelik mamullerinin üretiminde kar marjlarının düşmesi ve artan enerji giderleri demir çelik fabrikalarının kapasitelerinin üstüne çıkmaya zorlamıştır. Bunun yanında üretim artış hedefleri planlı duruşların aksamasına ve yeterli bakım süresi ayırmaksızın üretime devam edilmesine sebebiyet vermektedir. Bu noktada önemli makine parça ve ekipmanlarının daha uzun servis ömürlerinin olması ön plana çıkmaktadır. Aynı zamanda demir çelik üretimi sürekli bir sisteme sahip olduğundan dolayı üretim hattında sadece bir noktada meydana gelen arıza tüm sistemin duruşuna sebebiyet vermektedir. Bu durum mühendislere aşınan parçaların maksimum servis ömrüne sahip hale getirilmesi alanında ar-ge çalışmaları yapılmasını zorunlu kılmıştır.

Aşınan parçaların servis ömürlerinin arttırılmasına yönelik olarak yüzeylerinin, farklı kaynak ve farklı kaplama teknikleriyle aşınmaya dirençli sert dolgu malzemeleri ile kaplanması gerçekleştirilmektedir. Sert dolgu kaplamalarının uygulanmasında elektrik ark kaynağı ve MIG-MAG kaynağı yöntemleri en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Günümüz koşulları göz önüne alındığında, sert dolgu malzemesi (özlü teller) ile yapılan sert dolgu kaynak uygulamalarının uygulama hızı ve yüksek dayanımları uygulama alanlarını her geçen gün daha da arttırmaktadır. Bunun yanında farklı uygulamalar için geliştirilen birçok özlü telin mevcut olması ürün seçiminde çok geniş bir yelpaze sunmaktadır. Bu noktada mevcut uygulama için uygun ürünün seçilmesi önemli rol oynamaktadır.

Yukarıda belirtilen açıklamalar ışığı altında, bu tezde demir çelik fabrikalarında kısa periyotlarda aşınan, değiştirilmesi önemli duruşlara ve üretim kayıplarına neden olan rölelerin daha uzun ömürlü hale getirilebilmesi için en uygun kaplamanın (özlü telin) belirlenmesi amaçlanmıştır. Sanayide yapılan uygulamalar için kullanılan ürünlerin teknik özellikleri incelenmiş ve çalışma şartları ön planda tutularak seçim yapılmıştır. Daha sonra seçilen kaynak telleri ile numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelerde kaynak metallerinin mikroyapıları incelenmiş, XRD paternleri çıkarılarak fazları tespit edilmiş, sıcak ve soğuk uygulamalar için aşınma testleri gerçekleştirilmiş, aşınma yüzeylerinin mikroyapıları ve yüzey profilleri incelenmiştir. Yapılan test sonuçları değerlendirilerek verimlilik analizleri gerçekleştirilmiş ve sanayi uygulamaları için uygun alaşımın seçimi yapılmıştır.

Çelikhane sürekli döküm röleleri ve haddehane loop rölelerinin çalışma şartları ve servis ömürleri irdelenerek yapılan sert dolgu kaynağı uygulamaları ile rölelerin servis ömürleri arttırılmıştır. Aynı zamanda ömür-maliyet analizi bakımından değerlendirildiğinde yapılan çalışmaların parça maliyetlerinin düşmesinde de önemli bir payı olduğu görülmüştür.

THE STUDY OF HIGH AND LOW TEMPERATURE TRIBOLOGY BEHAVIOUR OF HARDFACING COATINGS USED IN IRON AND STEEL INDUSTRY

SUMMARY

In this day and age, consumption of iron and steel has been increasing due to the raise of collective house constructions, road and barrage constructions and urbanization, nevertheless capacities of Iron and steel plants of Turkey aren't sufficient to meet the global demands. On the other hand, raising of demands cause big and necessary innovations in the iron and steel sector. Therefore many new iron and steel production companies that produce various iron and steel products for different usage purposes are being established in Turkey and in the world. Our country plays a significant role in iron and steel industry owing to these innovations. Every passing year Turkey's crude production capacity has been increasing, therefore iron and steel production of Turkey is rising out fastly comparing with other countries in the world. Turkey's success in the iron and steel industry is evident as it is among the top 10 crude steel producing countries in the world. Crude steel production is expected to continue and reach 47 million tonnes until 2017. Turkey also provides a level playing field in terms of access to raw materials.

Steel is an alloy of iron, with carbon, which may contribute up to 2.1% of its weight. The carbon content of steel is between 0.002% and 2.1% by weight. Common alloying elements include: manganese, nickel, chromium, molybdenum, boron, titanium, vanadium and niobium. Additional elements may be present in steel: manganese, phosphorus, sulfur, silicon and traces of oxygen, nitrogen and aluminium.

Steelmaking is the process for the producing ferrous scrap, steel and iron. In steelmaking, impurities such as nitrogen, silicon, phosphorus and access carbon are removed from the raw iron, and alloying elements such as manganese, nickel, chromium, and vanadium are added to produce different grades of steel. Limiting dissolved gasses such as nitrogen and oxygen, and entrained impurities in the steel is also important to ensure the quality of the products cast from the liquid steel.

There are two production methods of Iron and steel in terms of raw material. These methods are production from ore and production from scrap. In production from ore process, when iron is melted from its ore with commercial processes, it contains more carbon than desirable carbon amount. To produce steel, it must be melted and reprocessed in order to reduce the carbon to the correct amount, at this point other elements can be added. This process is performed in basic oxygen furnaces. In production from scrap process, scrap which has low carbon is melted in electric arc furnaces and after melting process, other elements is added in melting pot furnaces. In the process of these production methods, after liquid steel production step, next steps are same in both method. These next steps are continuous casting and rolling process.

Continuous casting, also called strand casting, is the process whereby molten metal is solidified into a semifinished billet, bloom, or slab for subsequent rolling in the finishing mills. Molten metal is tapped into the ladle from furnaces. After undergoing any ladle treatments, such as alloying and degassing, and arriving at the correct temperature, the ladle is transported to the top of the casting machine. Usually the ladle sits in a slot on a rotating turret at the casting machine. From the ladle, the hot metal is transferred via a refractory shroud to a holding bath called a tundish. The tundish allows a reservoir of metal to feed the casting machine while ladles are switched, thus acting as a buffer of hot metal, as well as smoothing out flow, regulating metal feed to the molds and cleaning the metal. Rolling is a metal forming process in which metal stock is passed through one or more pairs of rolls to reduce the thickness and to make the thickness uniform.

Rolling is classified according to the temperature of the metal rolled. If the temperature of the metal is above its recrystallization temperature, then the process is termed as hot rolling. If the temperature is below its recrystallization temperature, then the process is termed as cold rolling. Roll forming, roll bending or plate rolling is a continuous bending operation in which a long strip of metal is passed through consecutive sets of rolls, or stands, each performing only an incremental part of the bend, until the desired cross-section profile is obtained. Roll forming is ideal for producing parts with long lengths or in large quantities. After the rolling process, end product are produced. These end products are various since they are used for several industries for several usage purposes. For instance, these products are ribbed structural steel for usage of construction of buildings, the column and beam profiles of steel constructions, pipes for several usage purposes, automobile production and the sheets that are used in many other fields.

Decline of profit margins for iron and steel production and increasing of energy expenses force to the iron and steel plants to work with over capacity. Nevertheless, the cost of production is among the lowest in all of Europe. Besides, more production goals cause to variation of planned downtimes and to continue process spending less time for maintenance. In this case, it comes to the forefront that important machine parts and equipments must have long service life. At the same time, a breakdown at a point in the process causes to breakdown of all system since iron and steel production has a continuous system. This situation demonstrates that it is very important that engineers have to work about research and development to provide maximum service life for wearied parts in steel industry.

The cost of wear in iron and steel industry has a great importance. The cost of wear in an integrated iron and steel plants constitute approximately 1% of annual turnover. From this point of view, the cost of wear in iron and steel plants which have large production capacity is to find millions of dollars. Besides, in iron and steel plants, adhesive wear (friction of metal to metal) causes the highest cost of wear in wear mechanisms. Therefore, preventive actions against adhesive wear are significant and these actions provide advantages against wear mechanisms.

Hardfacing coatings of wearied parts are applied with welding methods and several kinds of coating methods. Electric arc welding and MIG-MAG welding methods play a significant role in welding applications. Hardfacing welding applications that were applied with flux-cored wires increase every passing day because of application speed and high strength according to today's conditions. In addition, many products which are developed for various applications are available in a wide range of product

selection. In this case, selection of suitable product plays an important role for existing application.

Taking into consideration today's conditions, the objective of this thesis is to make sure that the rolls that wear in short periods of time and that cause significant breakdowns and production losses in the iron and steel plants as they get replaced have more service life and are once available for production through repair and maintenance.

Technical specifications of the products that are used for applications in industry were viewed and products that have suitable technical specifications were selected based on work conditions. The samples were prepared welding with flux cored wires that was chosen right after. Then, samples were milled on planer and grinded on surface grinding machine. Lastly, samples were sanded with various mesh size of sandpaper and polished.

In these samples, micro structure of welding metals was observed, Rockwell hardness was measured, phases were determined with the detection of X-Ray diffraction patterns, wearing tests were carried out for high and low temperature applications with ball on disc wearing test and reciprocating wearing test, microstructure and surface profiles of weared surfaces were analyzed. Three welding alloys were evaluated for steel plant continuous casting rolls and two of welding alloys were evaluated for rolling mill loop rolls comparing the analysis result. Productivity was analyzed evaluating of test result that was carried out and suitable welding alloys were selected for industry applications.

Service life of rolls has been increased with applications of hard facing welding investigating the work conditions and service life of steel plant continuous casting rolls and rolling mill loop rolls. Results have been compared with the current applications in iron and steel plants. At the same time, when the applications in this thesis were evaluated in terms of service life-cost analysis, it demonstrates that they provided to decline of part costs. When the industry and thesis studies are taken into consideration for continuous casting rolls, three of welding alloys which are analyzed provide longer service life than AISI 4140 alloy steel, but Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo alloy has the most cost effectiveness and longest service life. When the industry and thesis studies are taken into consideration for rolling mill loop rolls, two of welding alloys which are analyzed provide longer service life than AISI 1050 carbon steel, but Co-30Cr-8W-1.8C alloy has the most cost effectiveness and longest service life.

1. GİRİŞ

Demir çelik üretim ve kullanım teknolojilerinin bir yüzyılı aşan gelişmesi sonunda, günümüz değişik ihtiyaçlarını karşılayan çeşitli cinslerde demir çelik mamulünün üretildiği dünyanın en büyük endüstri dallarından birinin olduğu bir gerçektir. Bu gerçeğin, ülkemizde de, temellerinin cumhuriyet tarihinin ilk yıllarında atıldığı ve 1950'lerden sonra başlayan ve halen devam etmekte olan hızlı bir gelişme sürecinin içerisinde olduğu bilinmektedir. Dayanıklılığı, güvenilirliği, yaygın kullanım alanı, çevre dostu özelliği, yüksek geri dönüşüm oranı ve birçok teknik üstünlüğü ile çağdaş toplum yaşantısının ayrılmaz bir parçası olan demir çelik, geçmişten günümüze, sanayileşmenin temelini ve kalkınmanın itici gücünü oluşturmaktadır. Bu alanda ülkemizde de her geçen yıl çok büyük yatırımlar yapılmaktadır ve ülkemiz dünya çelik üretiminde hızlı bir yükselişle birçok ülkeyi geride bırakmıştır.

Demir çelik üretiminin ana başlıkları; cevherden üretim yapan tesisler için cevher hazırlama, ergitme, sürekli döküm ve haddeleme, hurdadan üretim yapan tesisler için ise ergitme, sürekli döküm ve haddeleme prosesi olarak incelenebilir. Bu proseslerde yapılan üretim çalışmalarında üniform bir ürünün minimum harcamayla üretilmesi, diğer bir ifadeyle optimum üretimin gerçekleştirilmesi; kullanılan çok sayıda makinenin verimli kullanılması ve üretimin her prosesindeki parametrelerin kontrolü ile mümkün olabilir.

Demir çelik üretimi enerjinin yoğun tüketildiği bir proses olup, günümüz teknolojileri ile yapılan üretimlerde 1 ton ham çelik üretmek için ortalama 475 kWh enerji harcanmaktadır. Günümüzde artan enerji maliyetleri ve mamul kalitesinde artan kalite gereksinimleri üretim aşamalarının optimizasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Ulusal ve uluslararası alanda rekabet edebilmek için demir çelik fabrikaları enerji ve işçilik maliyetlerini minimize ederken yüksek kaliteli çelik üretmek durumundadır. Üretimde kullanılan makinelerin ve sistemlerin iyi işletilmeleri bu yönden büyük önem taşımaktadır. Makine ve sistemlerin kullanılabilirlik oranının maksimize edilmesi için bakım onarım planlamasının yapılması zorunluluk arz eder. Ayrıca günümüz şart ve yönetmeliklerine uygun

olarak üretimlerin çevre açısından sorun teşkil etmemeleri gerekir. Günümüzde üretilen 1 ton ham çeliğin maliyetinin %75.5'ini hammadde, %9.9'unu elektrik enerjisi, %14.5'ini ise işçilik ve bakım giderleri oluşturmaktadır [1].

2. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNÜN TANITILMASI

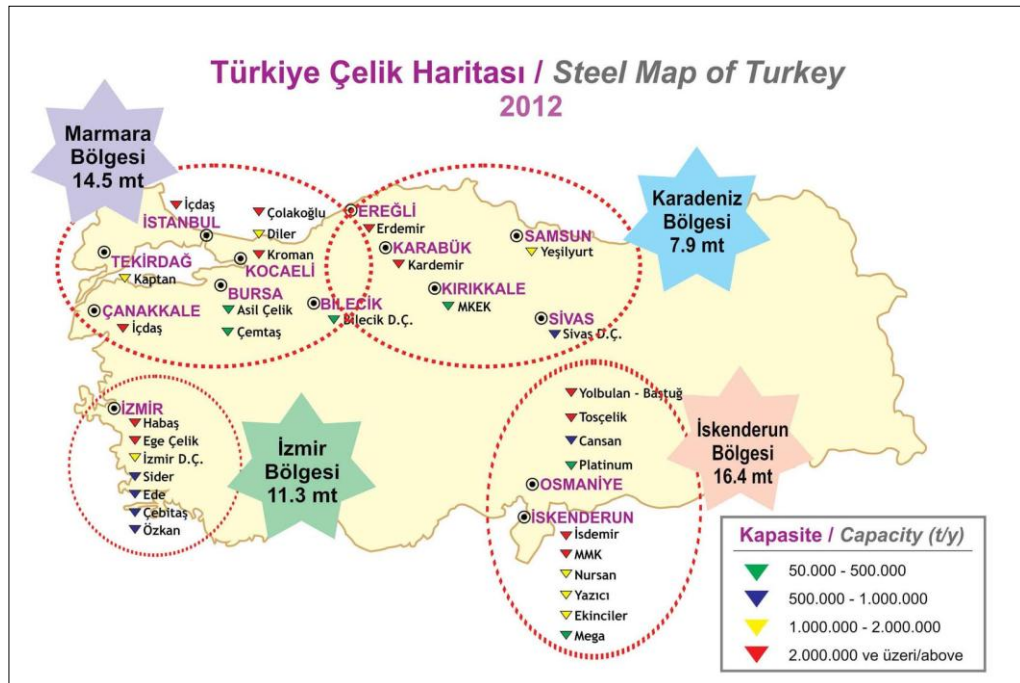
2.1 Demir Çelik Sanayi Tanımı

Demir çelik sektörü, esas itibarıyla demir cevherinin yüksek fırınlarda veya hurdaların ark ocaklarında ergitilmesiyle elde edilen slab ve kütüğün değişik işlemlerden geçirilerek istenilen kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip mamuller üreten bir sektördür.

Başta inşaat, otomotiv, beyaz eşya ve demiryolu olmak üzere sektörün tüm mamul eşya üretimine doğrudan katkısı bulunmaktadır [2].

2.2 Türkiye’de Demir Çelik Sanayi

Türkiye demir çelik sanayi bakımından dünyada çok önemli bir pozisyona sahiptir. Son yıllardaki üretim ve kapasite artışı ile birlikte dünyada ham çelik üretiminde ilk 10 ülke arasındaki yerini almıştır.



Şekil 2.1 : Türkiye çelik haritası [1].

Türkiye demir çelik haritasında gözlemlendiğimiz bölgelerde 9'u Akdeniz, 8'i Marmara, 7'si Ege, 3'ü Karadeniz ve 2'si İç Anadolu bölgesinde olmak üzere toplam

29 elik retim tesisi bulunmaktadır. 2010 yılı itibariyle 48.7 milyon tonluk ham elik üretim kapasitesi yapılan yeni yatırımlarla 2013 yılı sonunda 54 milyon ton seviyelerine ulaşmıştır [3].

Mevcut tesisler ve üretim kapasite miktarlarının yanında yıllara göre Türkiye'nin ham elik üretimini değerlendirdiğimizde demir elik sanayi her geçen yıl gelişen ve büyüyen bir eğilim izlemekle birlikte geçtiğimiz 2013 yılında üretim kapasitesinin artışına rağmen üretim miktarında düşüş gözlenmiştir. Bu durum Türkiye ve dünyadaki ekonomik durum, ihracat taleplerindeki azalma ile açıklanmaktadır. Bunun yanında Türkiye son 3 yılda gerçekleştirdiği üretim artışı ile dünya elik üretim sıralamasında 8. sırada yerini almıştır.

Çizelge 2.1 : Türkiye ham elik üretim miktarları [4].

Türkiye ham elik retimi	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Milyon ton	23.3	25.8	26.8	25.3	29.1	34.1	35.9	34.7

3. DEMİR ÇELİK ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Çelik ürünleri üretimi için iki sistemden biri, demir cevherinden ham demir ve ham demirden çelik üretimi yöntemi, diğeri ise çelik hurdasından çelik üretimi yöntemidir.

Entegre tesislerde demir çelik üretim süreci, demir cevherinin kırma, eleme, sinterleme işlemleri sonucunda hazırlanması veya parça cevherin doğrudan doğruya yüksek fırına şarj edilmesi ile başlamaktadır. Yüksek fırınlarda kok kömürünün yardımı ile demir oksit haline gelen cevherin oksijeni alınarak indirgenmekte ve sıvı ham demir elde edilmektedir.

Çelik, sıvı ham demir içinde yüksek oranda bulunan; karbon, silisyum, fosfor, kükürt gibi elementler istenilen ölçüde arıtılarak ve gerekli alaşım elementleri ilave edilerek üretilmektedir. Bunun için farklı çelik üretim metotları bulunmaktadır. En çok kullanılanları;

- Siemens- Martin Ocakları ile-SM(OH)
- Bazık oksijen fırınları ile-BOF
- Elektrik ark ocakları ile-EAO [2]

3.1 Cevherden Çelik Üretimi

3.1.1 Demir cevherleri ve diğer hammaddeler

Demir ve çelik üretiminde kullanılan başlıca cevher hematit (Fe_2O_3) 'tir. Diğer demir cevherleri manyetit (Fe_3O_4), siderit (FeCO_3) ve limonittir ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, x tipik olarak 1.5'tir).

Demir cevherleri %50-%70 arası demir içerir. Demir-çelik üretiminde demir cevherlerinin yanı sıra hurda demir çelik de kullanılmaktadır.

Demiri cevherden indirgemek için gerekli diğer hammaddeler kok ve kireçtaşıdır. Kok yüksek karbonlu yakıt olup, bitumin kömürün sınırlı oksijen atmosferinde birkaç saat ısıtılması ve su püskürtülmesiyle elde edilir.

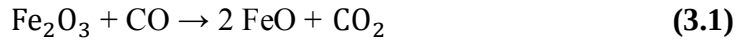
Cevherden demir indirgeme işleminde, kokun iki işlevi vardır:

- Kimyasal tepkimeler için ısı sağlar.
- Demir cevherini indirgemek için gerekli olan CO'ı üretir.

Kireçtaşı ise yüksek oranda kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren bir kayadır. Kireçtaşı ergiyik demirden safsızlıkları çekmek için kullanılan bir temizleyicidir [5].

3.1.2 Demir üretimi

Demir üretmek için demir cevheri, kok ve kireçtaşı yüksek fırının tepesinden yüklenir. Yüksek fırın refrakter astarlı bir fırın olup çapı 9-11 metre, boyu ise 40 metredir. Fırının alt tarafından yüksek sıcaklıktaki gazlar yüksek hızlarda fırına verilir. Böylece yanma ve indirgenme sağlanmış olur. Yükleme malzemeleri tepesinden aşağı doğru yavaşça iner. İçeri verilen sıcak gazlar sayesinde 1650°C 'ye ısıtılırlar. Kok yanması sıcak gazlar (CO , H_2 , CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 ve yakıtlar) tarafından sağlanır. Bu gazlar yukarı doğru çıkarken katmanlardan geçerek, sıcaklığın artmasını sağlar. CO sıcak gaz olarak fırına verilir ve ayrıca kokun yanmasıyla da oluşur. CO'ın demir cevheri üzerinde indirgeme etkisi vardır. Basitleştirilmiş bağıntı:



CO_2 kok ile tepkiyerek CO oluşturur:



Sıvı demir aşağı doğru damlar ve yüksek fırının tabanında birikir. Bu sıvı demir belli aralıklarla alınır. Kireçtaşı ise;

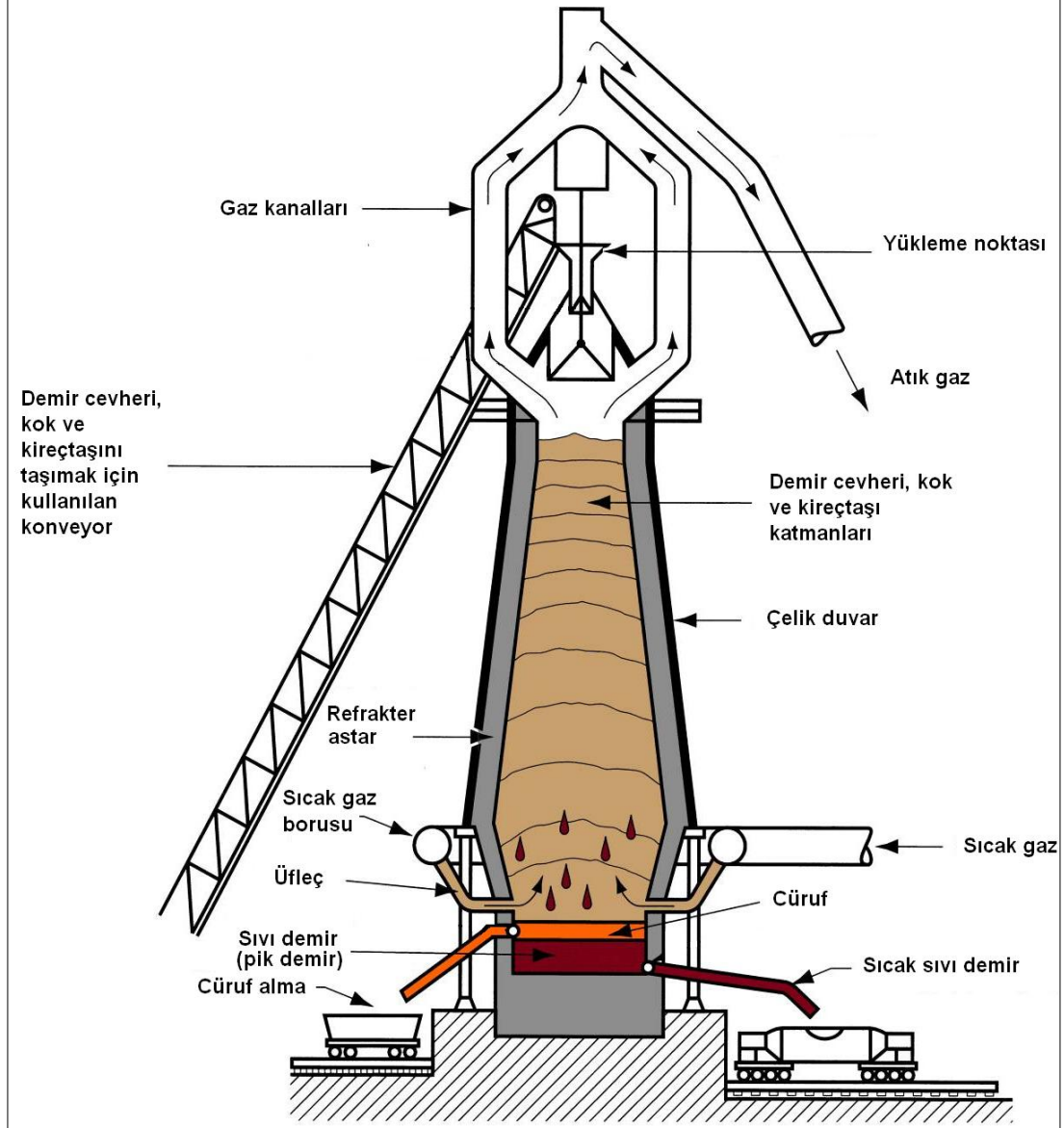


Kireç, silika (SiO_2), kükürt (S) ve alümina (Al_2O_3) gibi safsızlıklarla birleşerek sıvı demirin üzerinde ergiyik cüruf oluşturur.

1 ton demir üretmek için 7 ton hammadde gereklidir; 2 ton demir cevheri, 1 ton kok, 0.5 ton kireçtaşı ve 3.5 ton gaz. Yan ürünlerin büyük bölümü yeniden kazanılır.

Yüksek fırından alınan demir (pik demir) % 4'ten fazla C ile %0.3- 1.3 Si, %0.5- 2 Mn, %0.1-1 P ve %0.02-0.08 S içerir. Dökme demir ve çelik üretimi için ilave rafine işlemleri gerekir.

Kupola ocağı pik demiri, gri dökme demire dönüştürmek için kullanılır. Çeliklerde kimyasal bileşimler çok daha hassas seviyelerde ayarlanmalıdır ve safsızlıklar çok daha düşük seviyelerde olmalıdır [5].



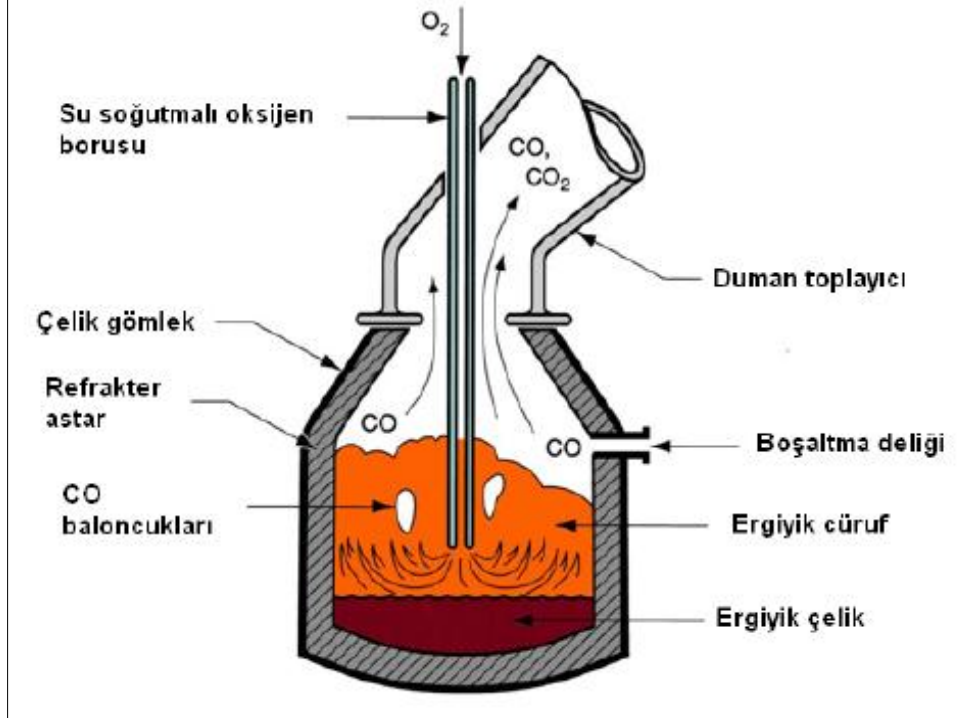
Şekil 3.1 : Yüksek fırının kesit görüntüsü [5].

3.1.3 Çelik üretimi

1800'lerin ortasından itibaren pik demiri çeliğe dönüştürmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Günümüzde en önemli iki yöntem Bazik Oksijen Fırını (BOF) ve elektrik ark fırınıdır. Her ikisi de karbon çeliklerinin ve alaşımlı çeliklerin üretiminde kullanılır.

BOF yöntemi A.B.D.'deki çelik üretiminin % 70'i, Türkiye'de ise çelik üretiminin % 25'i BOF yöntemiyle gerçekleştirilir. BOF, Bessemer dönüştürücüsünün daha

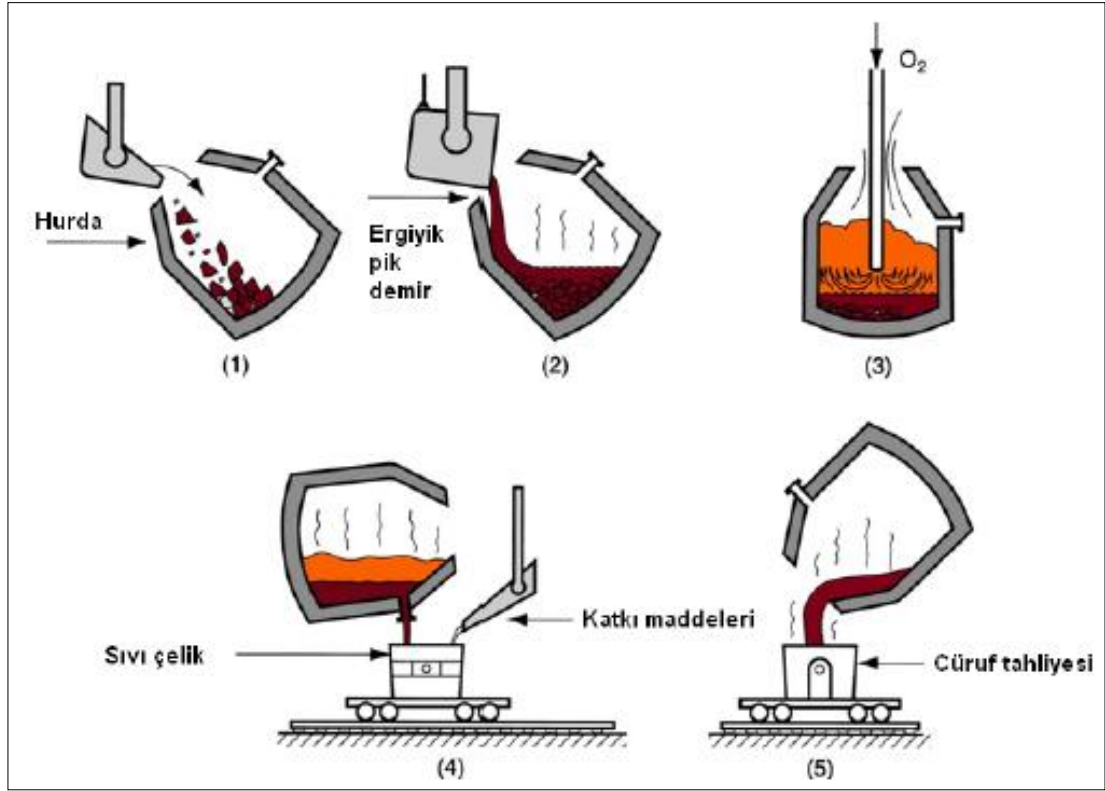
gelişmiş halidir. Bessemer işleminde ergiyik pik demirdeki safsızlıkları yakmak için hava üflenirken, BOF işleminde saf oksijen kullanılır. Tipik BOF 5 metre çapında olup bir defada 150-200 tonu işleyebilir [5].



Şekil 3.2 : Bazik oksijen fırını [5].

Çelik üretim tesislerinde ergiyik pik demir yüksek fırından alınıp BOF'ına taşınır. Hammadde olarak hurda demir-çelik de kullanılır. Ayrıca kireç (CaO) ilave edilir. Yüklemeden sonra saf oksijen borusu fırına daldırılır. Bu borunun alt ucu ergiyik demir yüzeyinin 1,5 metre üzerinde olacak şekilde ayarlanır. Saf O₂ borudan yüksek hızda üflenir. Bu da ergiyik havuzun yüzeyinde yanma ve ısınmaya yol açar. Fazla C sıvı çelikten uzaklaşır; Si, Mn ve P gibi safsızlıklar oksitlenir. BOF'ndaki tepkimeler;





Şekil 3.3 : BOF yönteminin aşamaları [5].



Şekil 3.4 : Yüksek fırından gelen pik demirin BOF'na dökülmesi [5].

İlk tepkimede üretilen CO ve CO_2 üst taraftan dışarı atılır. Diğer 3 tepkimenin ürünleri cüruf olarak ergiyik çeliğin üzerinde birikir. Kireç safsızlıkların cürufta toplanmasını sağlayarak temizleyici işlevi görür.

İşlem esnasında demirdeki karbon içeriği zamanla yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde azalır. Bu da C seviyesinin çelikte daha iyi denetimini sağlar. Rafine işlemi

bittikten sonra ergiyik çelik alınır, alaşım elementleri ve bazı ilaveler ergiyik çeliğe katılır ve sonra da cüruf alınır. 200 ton çelik 20 dakikada işlenebilir. Tüm çevrim ise 45 dakika alır.

Daha yeni BOF uygulamalarında oksijen üstten değil fırının altına yerleştirilen borulardan üflenir. Bu, geleneksel BOF yöntemine göre daha iyi bir karışım sağlar, işlem süresini kısaltır (3 dakika kadar), karbonu daha düşük seviyelere çeker ve yüksek kaliteli ürün sağlar [5].

3.2 Hurdadan Çelik Üretimi

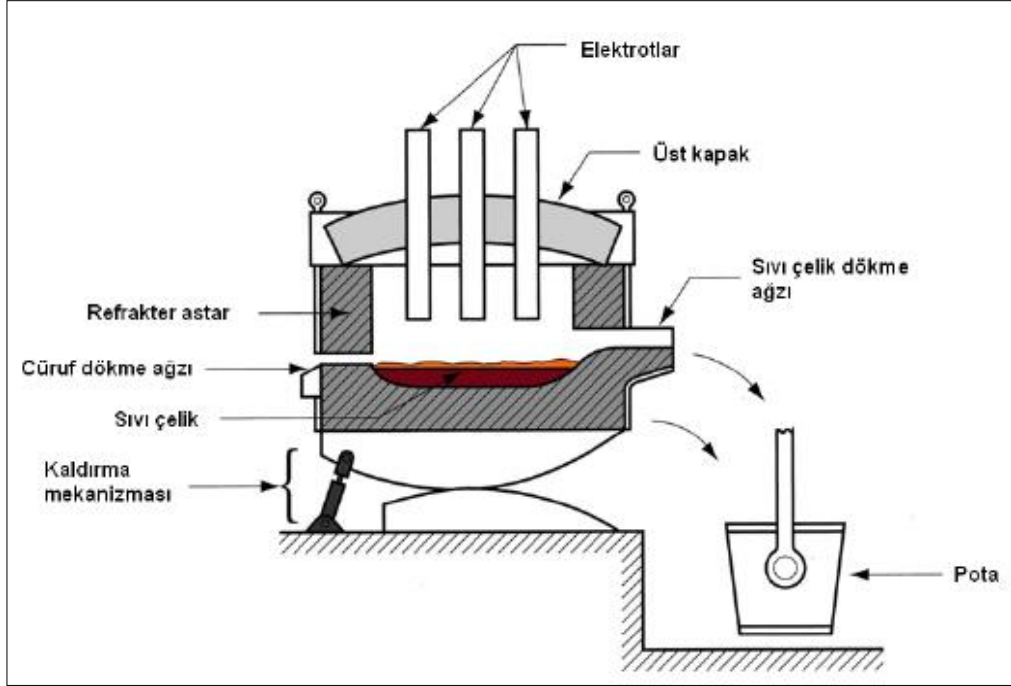
Hurdadan çelik üretimi elektrik ark ocaklarında gerçekleştirilmektedir. Bu ocaklarda isminden de anlaşıldığı üzere elektrik enerjisi kullanılarak ertitme sağlanmaktadır.

A.B.D.'deki çelik üretiminin % 30'u, Türkiye'de ise çelik üretiminin % 75'i bu yöntemle yapılır. Bu fırında da pik demir kullanılabilir ama daha çok hurda demir-çelik kullanılmaktadır. Birkaç farklı elektrik ark ocağı vardır. Doğrudan ark tipi en yaygın olanıdır. Bu ocakların üst kapağı hareketli olup yükleme burada yapılır, boşaltma ise fırının eğilmesi ile gerçekleştirilir. Fırına hurda demir-çelik ile alaşım elementleri ve kireçtaşı yüklenir. Bunlar elektrik arkı ile ısıtılır. Ark elektrotlar ve metal arasında oluşur. Tam ergime ve tüm işlem süresi ocakların kapasitesine ve gücüne bağlı olarak değişmektedir. Bu ocakların kapasitesi günümüzde 250 tona kadar çıkabilmektedir. Bu yöntemle, BOF yöntemine kıyasla daha kaliteli çelik üretilebilir, fakat daha pahalıdır. Türkiye'de genelde inşaat çeliği üretimi için yarı mamul üretmeye yönelik kullanılan bu ocaklar alaşımli çeliklerin, takım ve paslanmaz çeliklerin üretiminde de kullanılır [5].

3.3 İngotların Dökümü

BOF veya EAO'nda üretilen çelikler daha sonra katılaştırılır. Katılaştırma yöntemlerinden biri ingot dökümdür. Çelik dökümler büyük dökümlerdir ve 1-300 ton arasında olabilir. İngot kalıpları yüksek karbon demirinden yapılır. Kalıp üste veya alta doğru konik olmalıdır. Bu katılaşmış çeliğin kalıptan çıkarılmasını kolaylaştırır. Kesit alanı dikdörtgen veya kare olabilir. İngotlar büyük dökümler olduğu için katılama süresi uzundur ve büzülme fazla olur. Soğuma esnasında C ve O arasındaki tepkime ile oluşan CO gözenekliliğe yol açar. Bu gazların düşen

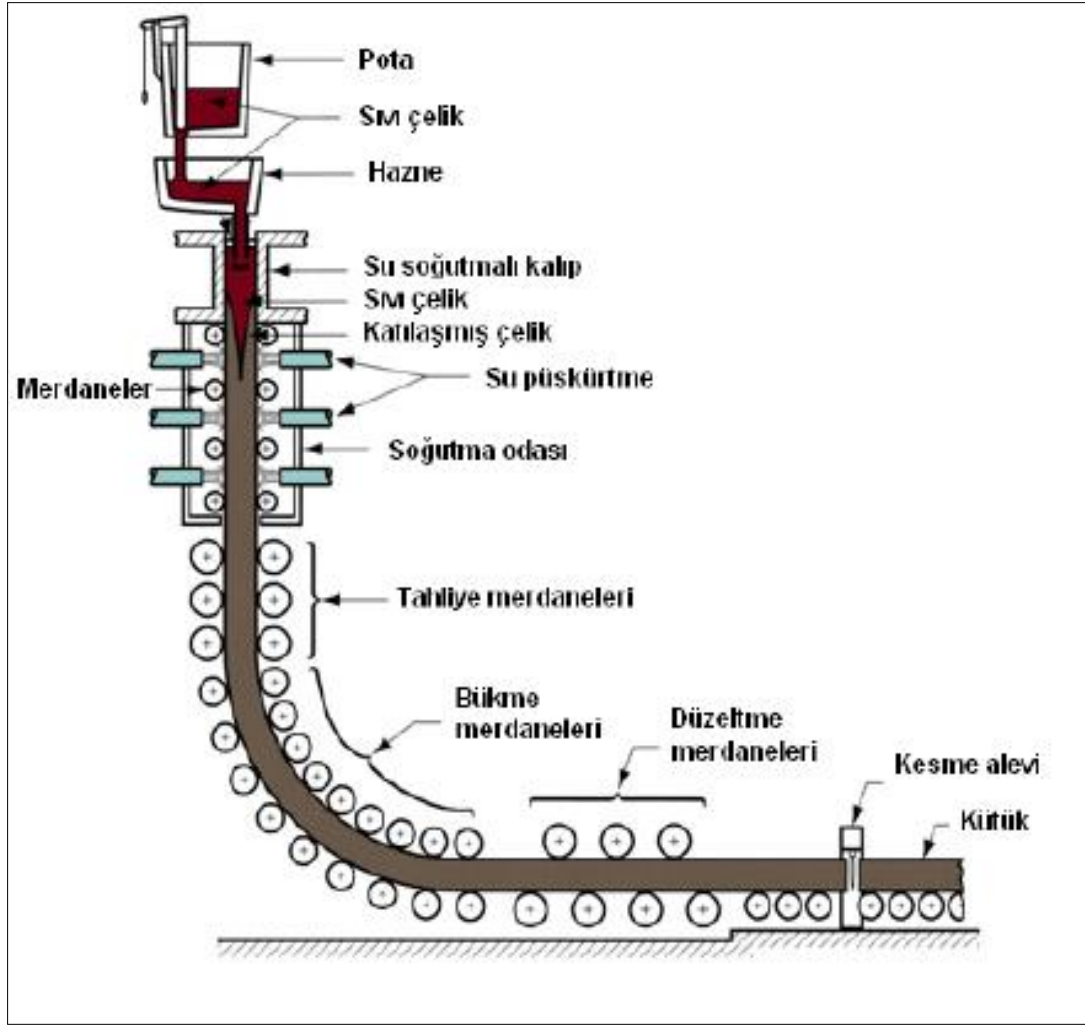
sıcaklıkla birlikte sıvı çelik içindeki çözünürlüğü azalır ve çelikten uzaklaşırlar. Dökme çeliklerde CO oluşumunu önlemek veya azaltmak için Si ve Al katkıları kullanılırlar. Bunlar ortamdaki O'le tepkimeye girerek, O'nin C'la tepkimeye girmesine engel olurlar [5].



Şekil 3.5 : Elektrik ark ocağı kesit görüntüsü görülmektedir [5].

3.4 Sürekli Döküm

Sürekli döküm Al, Cu ve çeliklerde yaygın şekilde kullanılır. Bu yöntem, ingot dökümün yerini almıştır çünkü verimliliği daha yüksektir. Ingot döküm ayrı bir işlemdir, kalıplar büyüktür ve süre uzundur. Büyük bir çelik ingot için soğuma süresi 10-12 saattir. Sürekli dökümde katılaşma süresi 10 kat azdır. Sürekli döküm işleminde sıvı çelik potadan hazneye dökülür. Haznedeki bir veya daha fazla sayıda sürekli döküm kalıbına dağıtılır. Çelik su soğutmalı kalıpta aşağıya doğru inerken dış kısımlardan hemen katılaşmaya başlar. Su püskürtmesi soğuma işlemini hızlandırır. Metal henüz sıcak ve esnek haldeyken dikeyden yataya doğru kolayca bükülür. Daha sonra kesilir ve hadde tezgâhına gönderilerek levha şeklinde veya farklı profiller haline getirilir [5].



Şekil 3.6 : Sürekli döküm kesit görüntüsü görülmektedir [5].

3.5 Haddeleme Prosesi

Kendi eksenini etrafında dönen takımlar (merdaner) arasından geçirerek sürekli ya da çok adımda basma ile plastik şekillendirme işlemidir. Merdanelere yardımcı olarak mandrel, durdurucu, çubuk ve kılavuz takımlar da kullanılabilir [6].

3.5.1 Haddeleme üretim aşamaları

3.5.1.1 Malzemenin haddeleme işlemine hazırlanması

Haddelemenin her safhasında yüzey şartlarının önemi büyüktür. Bu nedenle haddelenecek ürün yüzey kusurlarından tamamen arındırılmış olmalıdır.

3.5.1.2 Isıtma

Sıcak haddelemeden önce malzemenin ısıtılması önemli bir üretim aşaması olup metale en iyi plastik özelliklerin kazandırılması ve hadde mamulünün istenilen kaliteye sahip olması amaçlarını taşır.

Isıtma işleminin başlıca iki parametresi vardır: sıcaklık ve süre. Malzemeye bağlı olmak üzere gerekli sıcaklık aralığının seçilmesi, gerek bu sıcaklıkta tutma süresi doğrudan doğruya mamule yansıyan sonuçlar doğurur.

En yüksek ısıtma sıcaklığı solidüsün 100- 150 °C altında olmalıdır. Tutma süresinin gereğinden uzun olması ise yakıt harcamasını arttırdığı gibi örneğin çelik malzemede demir kaybına ve dekarbürizasyona yol açar.

3.5.1.3 Haddeleme

Haddeleme işleminin başlıca parametrelerinden biri sıcaklıktır. Haddelemenin başlangıcında sıcaklık malzemeye bağlı olarak olabildiğince yüksek seçilmelidir. Bu sıcaklık solidüsün 100- 150 °C altındadır. Örneğin alaşımsız takım çelikleri için 1150 °C, orta karbonlu çelikler için 1200 °C, düşük karbonlu çelikler için 1260 °C'dir.

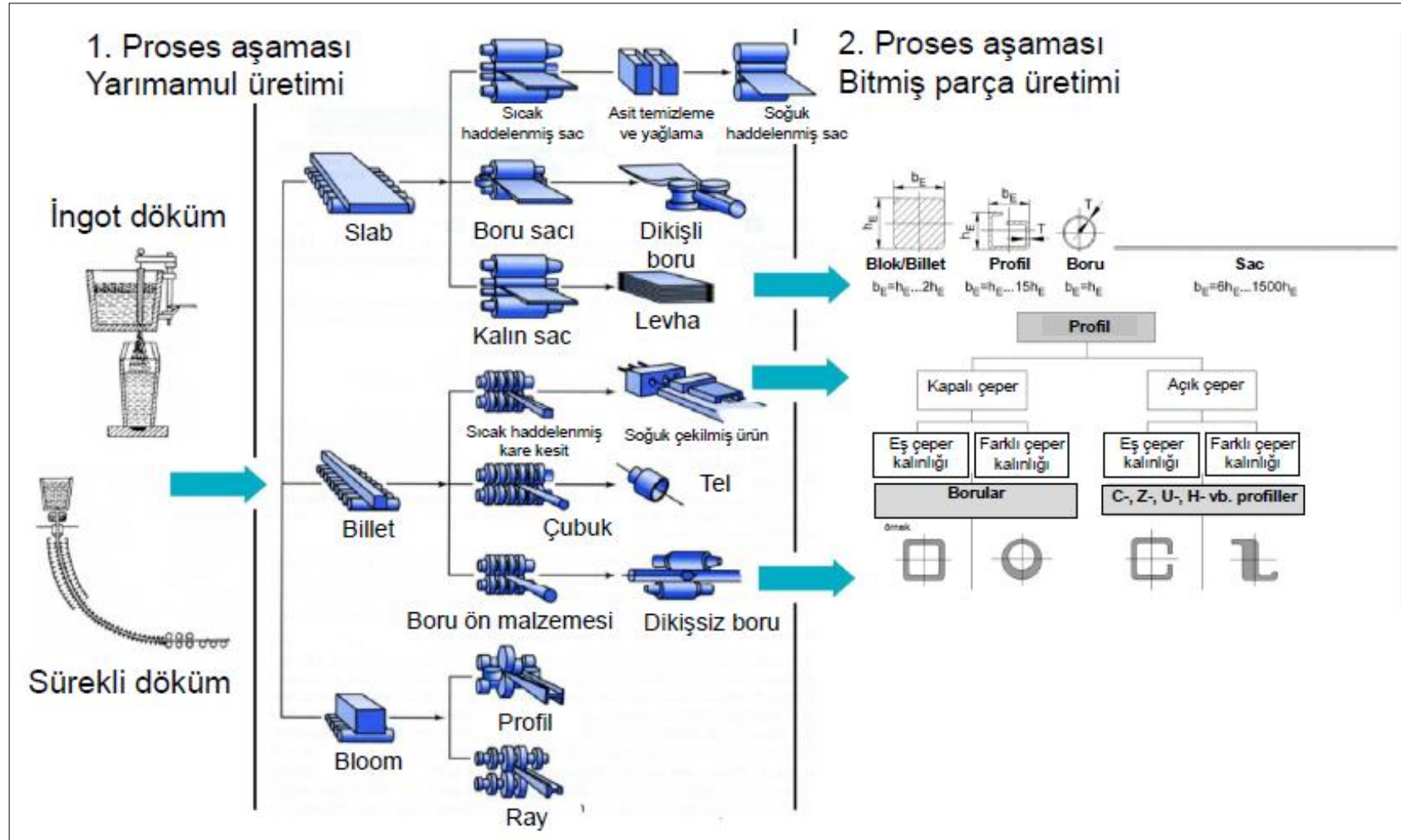
Genel olarak, haddeleme sonundaki sıcaklığın mamulden istenen özelliklere göre seçildiği söylenebilir [7].

3.6 Çelik Ürünleri

Demir çelik fabrikalarında üretim aşamasında üretilen ürünleri yarı mamul ve nihai mamul olarak ikiye ayırmak mümkündür.

Yarı mamul olarak adlandırılan ürünler çelikhanede ergitme ve sürekli döküm prosesini izleyen aşamada üretilirler. Bu yarı mamuller uzun mamullerin üretilmesi için kullanılan kütükler ve bunun yanında değişik ebatlar ve özelliklerde sac üretiminin gerçekleştirilmesi için üretilen slablardır [8].

Yarı mamul olarak adlandırılan kütükler bir sonraki aşamada haddeleme prosesiyle nihai ürün haline getirilirler. Bu ürünler düz ve nervürlü inşaat çeliği, farklı profil çeşitleri (I, U, H, dikdörtgen ve kare kutu profiller vb.), lamalar ve borular olarak sınıflandırılabilir.



Şekil 3.7 : Haddeleme ile üretim yöntemleri şeması gösterilmiştir [6].

Diğer yarı mamul olarak adlandırılan slablardan ise haddeleme prosesiyle farklı boyut ve ebatlarda, isteğe bağlı olarak farklı kalitelerde sac üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen saclar özellikle otomotiv endüstrisinde, gemi ve raylı sistem araçlarının üretiminde kullanılmaktadır [8].

4. DEMİR ÇELİK ÜRETİM TESİSLERİNDE AŞINMA PROBLEMLERİ

Malzeme biliminde aşınma, temas eden iki yüzeyden en az birinin hareketli olduğu koşulda, hareket yapan cisimlerden sürtünme etkisiyle oluşan malzeme ve kütle kaybı olarak tanımlanır. Aşınma triboloji biliminin konusudur ve özel olarak karşı yüzeylerin birbirleri ile etkileşimi sonucunda yüzey üzerinden malzeme kaybı ve deformasyon arasındaki etkileşim ile ilgilidir. Diğer mekanizmalarla karşılaştırıldığında mekanik aşınma için ilk mekanik kontakta yüzey pürüzlülüğünün ve iki yüzey arasındaki rölatif hareketin etkisi çok önemlidir [9].

Farklı aşınma türlerinde iyi tanımlanmış koşullar altında, belirli bir süre boyunca, aşınma miktarlarını belirlemek için çeşitli test metotları geliştirilmiştir. ASTM Uluslararası Komitesi G-2 özel uygulamalar için aşınma testlerini standardize etmektedir ve bu testler yeni koşullar da göz önünde bulundurularak sürekli güncellenmektedir. Triboloji ve Yağlama Mühendisleri Derneği (STLE) sürtünme aşınması ve yağlama testleri ile ilgili birçok bilgiyi dökümanete etmiştir, ancak test yöntemlerinin dahili sınırları bulunmaktadır ve değerlendirilen her mekanizmada test yöntemlerinin doğru sonuca ulaştırmayabileceği düşünülmektedir [10].

4.1 Aşınma Türleri

Aşınma proseslerinin incelenmesi triboloji biliminin bir parçasıdır. Aşınmanın karmaşık doğası üzerinde birçok inceleme yapılmış ve spesifik aşınma mekanizmaları üzerindeki çalışmalarla aşınma türleri belirlenmiştir. En yaygın olarak bilinen aşınma türleri şunlardır;

Adhesiv Aşınma

Abrasiv Aşınma

Yüzey Yorulma Aşınması

Erozyon Aşınması

Darbe altında aşınma, korozyon, kavitasyon, difüzyon gibi farklı özel aşınma mekanizmaları da literatürde bulunmaktadır. Ancak bu aşınma mekanizmaları mutlak aşınma faktörlerini bulundurmaktan ziyade daha özel bir mekanizmada

değerlendirilmektedir. Endüstriyel aşınmanın birçok aşınma mekanizmasının bir arada olması ile birlikte oluştuğu göz önündedir [9].

4.1.1 Adhesiv aşınma

Adhesiv aşınma, sürtünme teması sırasında yüzeyler arasında bulunan ve genellikle yüzeyden istenmeyen kopmaların, aşınma partiküllerinin ve malzeme bileşiklerinin yüzeyler arasındaki transferiyle süperpoze olan bir aşınma mekanizmasıdır. Bu aşınma türünde yüzeyler arasında iki ayrı mekanizma oluşmaktadır. Adhesiv aşınma genellikle iki yüzey birbiri üzerinde kayarken oluşan basınç ve malzeme transferi altında gerçekleşir. Bu durum yüzey tabakaları içinde çok küçük partiküllerin plastik deformasyonu olarak tanımlanabilir. Her yüzey üzerinde bulunan pürüzler ve mikroskobik yüksek noktaların etkisiyle atomlar arasında güçlü adhesiv kuvvetler ile oluşan enerji birikimi rölatif hareket esnasında plastik deformasyonların oluşmasını sağlar.

Adhesiv aşınma örneğin sac haddeleme prosesi gibi endüstri uygulamalarında da sıkça karşılaşılan yağlama hatalarının yanında yüzeyler arası mikro kaynakların, sürtünme yapışmasının, faz dönüşümünün ya da soğutmayla birlikte plastik şekil değiştirmenin oluşturduğu şartlarda sıkça ortaya çıkan hata faktörüdür [9].

4.1.2 Abrasiv aşınma

Abrasyon aşınması veya abrasiv aşınma, çizilme aşınması olarak da bilinen, birbirine göre izafi hareket yapan iki cismin temas yüzeyleri arasındaki ortama yabancı sert parçacıkların girmesiyle ortaya çıkan, aşındırdığı yüzeyde çizikler ve kesikler şeklinde hasara sebebiyet veren bir aşınma türüdür.

Yabancı katı parçacıklar, nispeten yüzey sertliği daha düşük olan yüzeye gömülürler. Daha sonra bu parçacıklar sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırırlar. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar. Bu aşınma zamanla o kadar hızlanır ki kısa sürede makine elemanları yüzeyinde hareket yönünde malzeme kaybından ötürü büyük çizikler ve oyuklar oluşur. Aşınma sonucu kopan parçalar da bu mekanizmaya dahil olurlar ve kısa sürede makine elemanları fonksiyonunu yitirir.

Abrasyon aşınmasına karşı önlem almada birçok farklı yöntem uygulanmaktadır. Herşeyden önce makine konstrüksiyonu, uygun sızdırmazlık elemanlarının seçimi

sonucu sağlanacak iyi bir sızdırmazlıkla, dışarıdan gelebilecek pisliklerin içeri sızmasını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Makine elemanlarının yüzeyleri ısı işlem ile sertleştirilerek bu tür aşınmaya karşı önlem alınmaya çalışılmalıdır. Yine aşınma dayanımı kazandırmak amacıyla yüzeyler kaynakla kaplanabilir, bu kaplama tabakası aşındıkça tekrar kaplanarak asıl parça abrazyon aşınmasından korunur [9].

4.1.3 Yüzey yorulma aşınması

Katı malzemeler etkisi altında bulundukları gerilmelerin sürekli olarak periyodik bir şekilde artıp azalması sonucu olağan gerilme dirençlerinden daha az bir gerilme ortamında dahi zayıflayıp parçalanmaya başlayabilirler. Bu aşınma yöntemine yüzeysel yorgunluk denir [9].

4.1.4 Erozyon aşınması

Erozif aşınma son derece kısa bir kayma hareketi olarak tarif edilebilir ve kısa bir zaman aralığı içinde gerçekleşir. Eroziyon aşınma katı ya da sıvı bir nesnenin içindeki parçacıkların darbe ile malzemenin yüzeyini aşındırması şeklinde meydana gelir. Darbeyi meydana getiren partiküller aşınma yüzeyinde tekrarlı deformasyonlar ve kesme kuvvetleri oluştururlar. Bu endüstride yaygın olarak karşılaşılan bir mekanizmadır. Genel bir örnek olarak boru ve pompa donanımlarında çamurların hareketi ile meydana gelen aşınma mekanizması eroziyon aşınmaya örnek gösterilebilir. Eroziyon aşınma oranı, bir dizi faktöre bağlıdır. Bu şekil, sertlik, darbe hızı ve çarpma açısı gibi parçacıkların malzeme karakterleri erozyon aşınmasında birincil faktörleridir. Çarpma açısı en önemli faktörlerden biridir ve literatürde yaygın olarak kabul edilmektedir. Sünek malzemeler için çarpma açısı yaklaşık 30 ° olduğunda maksimum aşınma oranı oluşur. Sünek olmayan malzemelerde ise maksimum aşınma oranı çarpma açısının normal olduğu durumda gerçekleşir [10].

4.2 Demir Çelik Tesislerinde Aşınmanın Önemi ve Maliyeti

Demir çelik tesislerinde aşınma ve analizi konusu çok büyük önem teşkil etmektedir. İşletme ünitelerinde etkin olan aşınma mekanizmaları yapılan işlem yöntemine göre geniş bir aralıkta değişmektedir. Örneğin sinter fabrikasında toz malzemenin sistem elemanlarını aşındırması söz konusu iken, haddehanelerde aşınma, temas eden iki metal arasındaki sürtünmeden kaynaklanmaktadır. Bu mekanizmaların farklı oluşu,

kullanılan malzemenin maliyeti ve o tesiste yapılan üretim, aşınma maliyetlerini etkilemektedir.

Ereğli Demir Çelik Fabrikası'nda yapılan çalışmada aşınmanın toplam maliyeti 1999 yılı verilerine göre 6.582.877 USD olarak hesaplanmış, hesaplamalarda işletmeye yardımcı olan ünitelerdeki aşınmalar ve incelenen ünitelerin üretim kayıpları dikkate alınmamıştır. Erdemir'in yıllık net satış tutarının yaklaşık 1.000.000.000 USD olduğu göz önüne alındığında, aşınma sonucu harcanan miktarın işletmenin yıllık cirosunun % 0.6'sına eşit olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalar ışığında Erdemir'de, en yüksek aşınma maliyetinden en düşük aşınma maliyetine doğru sıralama şu şekilde yapılmıştır:

1. II. Sıcak Haddehane
2. I. Soğuk Haddehane
3. II Soğuk Haddehane
4. I. Sıcak Haddehane
5. Sürekli Dökümler
6. Liman
7. Çelikhane
8. Sinter ve Hammadde Manipulasyon
9. Yüksek Fırınlar
10. Kok Fabrikası

Sıcak ve soğuk haddehanelerde aşınma maliyetinin en büyük kısmını merdaneler oluşturmaktadır. Merdanelerin aşınma maliyeti 4.005.431 USD olarak hesaplanmış olup, bu miktar, Erdemir'deki toplam aşınma maliyetinin yaklaşık % 60'ını oluşturmaktadır. Sürekli döküm ünitesinde meydana gelen aşınmanın önemli bir kısmı, merdaneler ve sürekli döküm kalıplarından kaynaklanmaktadır. Merdanelerin sıcak slabla doğrudan teması aşınma hızını arttırmaktadır.

Yapılan çalışmaya göre meydana gelen aşınma hasarlarının,

- % 47'sini Abrasiv aşınma,
- % 34'ünü Adhesiv aşınma,
- % 4.4'ünü Korozyon aşınması ve
- % 14.6'sını Yorulma aşınmasının oluşturduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca toplam 6.582.877 USD tutarındaki aşınma maliyetinin,

- % 6.1' i Abrasiv aşınma,

- % 48'i Adhesiv aşınma,
- % 0.3'ü Korozyon aşınması ve
- % 45.6'sı Yorulma aşınması kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [11].

Bu bilgiler ışığında görülmektedir ki demir çelik tesislerinde aşınma olayı çok büyük önem arz etmektedir ve özellikle röle ve merdane sistemlerinde meydana gelen adhesiv aşınma maliyetinin en yüksek orana sahip olması bu aşınma mekanizmasına karşı yeni çalışmalar yapılmasını zorunlu hale getirmektedir.

4.3 Demir Çelik Fabrikaları Aşınma Problemleri

Günümüz demir çelik sektöründe yoğun çalışma şartları, yüksek sıcaklık, metal metale sürtünme, korozyon ve diğer aşınma mekanizmalarının bir ya da birkaçının bir araya gelmesiyle oluşan aşınmalar, demir çelik sanayinde kullanılan ekipman ve yardımcı ekipmanların ömürlerinin kısalmasında en önemli faktörü oluşturmaktadır.

Bunun yanında üretimde kullanılan ekipmanların mukavemetlerinin yetersiz kalması, aşırı yükleme şartlarında çalışması, iş yoğunluğundan dolayı periyodik bakımların ertelenmesi, planlı bakımların zamanında ve tam olarak yapılamaması bu aşınma problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır.

Demir çelik fabrikalarının en çok karşılaştıkları ve önem arz eden problemleri farklı noktalarda periyodik olarak aşınma olayının gerçekleşmesidir. Proses hızlarının yükseltilmesi ve üretim kapasitelerinin zorlanması karşısında gerçekleşmesi muhtemel bir problemdir. Ancak günümüz şartlarında demir çelik fabrikalarının bakım ekiplerinin bu problemlerin oluşacağını ön görmelerinin yanında, üretim ve planlama ekiplerinin istek ve hedeflerine, sonuç olarak üretim hedeflerine ulaşmak için sistemleri maksimum kapasitede çalıştırmaları kaçınılmazdır.

Aşınma problemleri genellikle döner sistemli taşıyıcılarda; farklı çap ve ebat ölçülerinde, farklı sıcaklık ve hız faktörü etkisinde çalışan motor tahrikli ya da mamulün sürtünme etkisiyle dönen avare rölelerde periyodik olarak gerçekleşmektedir. Aşınma boyutu arttıkça üretimde plansız duruşlara ve mamul kaybına sebebiyet vermektedir.

Demir çelik fabrikalarının günümüz şartlarında karlılıkları göz önünde bulundurulduğunda plansız duruşların ve özellikle işçilik ve enerji kaybına yol açan mamul geri dönüşüm zorunluluklarının ortaya çıkardığı zarar çok yüksek

boyutlardadır. Bu sebepten dolayı demir elik fabrikalarının ortak talebi aşınma problemlerinin meydana geldiğı noktalarda periyodik olarak parça ve ekipmanların ömürlerini uzatmak ve duruş sürelerini minimum sürelere indirmek üzerinedir. Bu noktadan yola çıkarak 2 seneyi aşkın zamandır demir elik fabrikalarında aşınan parçaların çalışma şartları incelenerek ve aşınma faktörleri tespit edilerek ömürlerinin uzatılması konusunda çalışmalar yapılmıştır. Demir elik fabrikalarında karşılaşılan aşınma problemlerinin kaynak uygulamalarıyla tamiri hakkında çalışmalar, denemeler ve deneyler yaparak uzun zaman aralığında gözlemleyerek yaptığımız kaynak işlemlerinin verimlilikleri tespit edilmiştir.

5. SERT DOLGU KAPLAMA UYGULAMALARI

Sert dolgu, bir parçanın aşınmaya karşı korunması için, verilen bir alaşım türünü, ana malzeme üzerine yığılması veya kaplanmasıdır. Sert dolgu kaynağı, metal parçaların ömrünü arttırmak için yüzeylerinde aşınmaya dirençli yüzey oluşturmakta düşük maliyetli bir metoddur. Daha az parça değişimi, bakım zamanının azalması, ana parçanın ucuz malzemelerden yapılabilirliği ve genel maliyette düşüş gibi avantajları vardır. Pek çok sert dolgu kaynağı, bakımın bir parçası veya tamir operasyonu olarak yapılır, fakat en etkili sonuca yalnızca sertliği dikkate alarak bir kaynak metali elde etmekle ulaşılamaz. Metal-metal sürtünmesi, aşınma, darbe ve darbe ile birlikte aşınmanın da dahil olduğu servis şartlarında yüksek aşınmaya maruz olan parçaların ömrünü uzatmak ve korumak için sert dolgu yapılabilir [12].

Temasta olan ve birbirine göre izafi harekette bulunan iki elemanın temas yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselişi ile enerji kaybı meydana gelir. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken tedbirlerin başında yağlama gelir. Sürtünme, aşınma, yağlama konularını ve bunlara bağlı olayları inceleyen bilim dalına “triboloji” denir [13]. Sert dolgu, çok farklı alaşım türleri ile yapılabilir. Karşılaşılan aşınma faktörlerinin kombinasyonuna direnç gösterecek optimum alaşımın seçimi kolay bir konudur, fakat bunun için her alaşımın aşınmaya dirençte katkısını belirleyen davranışları ve özellikleri dikkate alınmalıdır.

Kimyasal bileşim ve termo-mekanik geçmiş tarafından belirlenen alaşımın mikroyapısı, aşınmaya dirençte en önemli ve belirgin katkısı sağlayan özelliktir.

Aşınmanın, düşük gerilimli (aşındıran parça üzerindeki kuvvet, parçayı kırmaya ve öğütmeye yeterli olmayan), yüksek gerilimli (aşındıran parça üzerindeki kuvvet parçaları kırarak öğüten), kuru aşınma, yaş aşınma, yüksek hızla parça kayması (yaş veya kuru), metal-metal aşınması, (adhezyon), darbe ve benzeri türlerde aşınmanın pek çok türü vardır. Bu nedenle sert dolgu alaşımlarını derecelendirirken direnç göstereceği aşınma türünü belirtmek de gereklidir [12].

Aşınan parçaların onarımı genellikle aşağıdaki üç aşamayı içerir:

1. Dolgu: Çok fazla aşınan parçalar (veya bölgeler), tok, çatlama direnci yüksek ve üst üste çok sayıda paso yapılabilen kaynak malzemeleri ile çalışma boyutlarına yakın doldurulmasıdır.

2. Tampon Paso: Ana metalin veya kaynak metalinin karbon veya alaşım içeriğini seyreltmek için.

3. Sert Dolgu: Ana metal ve dolgu kaynakları üzerine ark kaynağı ile oluşturulan aşınmaya dirençli yüzeyler çalışma ömrünü uzatır. Sert dolgu, çoğunlukla bir, iki veya üç paso ile sınırlıdır. Sert dolgu, metal-metale sürtünme, abrazyon, darbe, darbe artı abrazyonu içeren ciddi aşınma şartlarında parçaları korumak ve ömürlerini uzatmak için uygulanabilir. Sert dolgu çimento sanayiden çelik sanayiye kadar pek çok alanda kullanılmaktadır [12].

Temel olarak sert dolgunun uygulandığı iki alan vardır:

1. Aşınan parçaları orijinal boyutlarına getirmek: Bu işlem sert dolgu kaynağı veya sert dolgu tampon pasoları olarak yapılabilir. Doğru kaynak prosedürü uygulandığı takdirde aşınmış parçalar defalarca doldurularak kullanılabilir.

2. Yeni ve aşınmaya hassas metal parçaların hızlı aşınmasını önlemek: Bu yöntem ile parçaların servis ömrü en az iki kat artar. Her ne kadar kaynak malzemesi parçaların maliyetini arttıracak yönde etki etse de ana malzemenin ucuz malzemelerden seçilmesi ile bu maliyet düşürülebilir [14].

5.1 Sert Dolgu Kaplama Yöntemleri

Sert dolgu alaşımları herhangi bir kaynak yöntemiyle uygulanabilir. Seçilen yöntem uygulanabilirlik ve ihtiyaçlara cevap verme açısından en akılcı yöntem olmalıdır.

Sert dolguda en sık kullanılan yöntemler şunlardır:

- Örtülü elektrot kaynağı
- Gazaltı kaynağı
- Özlü tel kaynağı
- Tozaltı kaynağı
- Oksi-Asetilen kaynağı
- TIG kaynağı

Oksi-Asetilen ve TIG kaynağı sert dolguda kullanılmakla beraber düşük metal yığılma oranları nedeniyle uygulama alanları kısıtlıdır.

Metal yığılma hızını arttırabilmek için çeşitli uygulamalar yapılabilir. Örneğin otomatik yöntemlerde osilasyonlu kaynak yapmak veya tozaltı veya elektro-cüruf

bant kaplama yöntemlerini uygulayarak metal yığma hızı 4-6 kez arttırabilir. Bu yöntemlerin kendilerine özgü avantajları ve sınırlamaları mevcuttur. Bu nedenle sert dolgu yapılacak parçaya ve uygulamaya en uygun yöntem seçilerek başarıyla uygulanabilir [14].

5.1.1 Özlü kaynak tellerinin gazaltı ark kaynağı

Kaynak yapılacak bölgenin bir gaz ortamı ile korunduğu, ark kaynağı türü "gazaltı ark kaynağı" olarak adlandırılır. Koruyucu gazla kaynak olarak da bilinen bu kaynak usulü ilk defa 1926 yılında "Alexander" usulü olarak ortaya çıkmıştır. Bu usulde kaynak bölgesi, metanol gazı ile korunmakta idi. Bundan başka yine 1926 senesinde kaynak yerinin hidrojen gazıyla korunduğu, "ark atom" ve 1928'de oksii-asetilen aleviyle korunan "Arcogen" usulleri geliştirilmiştir. Daha sonraki senelerde yapılan çalışmalarda, koruyucu gaz olarak helyum ve argon gibi soy gazlar, karbondioksit gibi aktif gazların kullanılması uygulama alanına girmiştir [15].

5.1.1.1 MIG kaynağı

Soy gaz atmosferi altında eriyen elektrodla yapılan bu gazaltı kaynağı türü, SIGMA kaynağı olarak da bilinir. Soy gaz olarak genellikle, argon gazı kullanılmaktadır. MIG sembolü, "Metal Inert Gas" ifadesinin baş harflerinin alınmasıyla oluşturulmuştur.

MIG kaynağında koruyucu gaz olarak argon, helyum veya ikisinin karışımı kullanılır. Hafif metallerin MIG kaynağında kullanılan argon gazının yüksek saflıkta olması gerekir (%99.99). Çelik malzemelerin MIG kaynağında ise, argon gazına oksijen ve karbondioksit gazları karıştırılır. Bu karışımda oksijen %3 ilâ 6, karbondioksit %5 ilâ 13 arasındadır. Gaz karışımına bağlı olarak, dikişte elde edilen dikiş formları değişmektedir. Karışımda oksijenin bulunması, arkın kararlılığını ve erimiş damlaların yüzeyde kolayca tutunmalarını sağlamaktadır. Ayrıca gözenek teşekkülünü de önlemektedir [15].

5.1.1.2 MAG kaynağı

Eriyen elektrodla karbondioksit atmosferi altında yapılan, gazaltı kaynak usulüdür. MIG kaynağından tek farkı, kullanılan koruyucu gazın karbondioksit olmasıdır. Bu sebepten MIG kaynak donanımı, MAG kaynağında da kullanılır. MAG sembolü, "Metal Activ Gas" ifadesinin kelimelerinin baş harflerinin alınmasıyla, teşkil

edilmiştir. MAG kaynağı; alüminyum ve alaşımları gibi kolayca oksitlenen malzemelerin kaynağında kullanılmaz. Günümüzde büyük oranda, çelik malzemelerin kaynağında kullanılmaktadır. MAG kaynağında kullanılan karbondioksit; renksiz kokusuz ve havadan ağır bir gazdır. Kullanılacak karbondioksit gazının saf ve kuru olması gerekir. Gaz içerisinde bulunabilecek rutubet, dikişi gevrekleştirir ve gözenek teşekkülüne sebep olur. Kaynak sıcaklığında karbondioksit gazı, karbonmonoksit ve oksijene ayrışır. Ayrıca karbondioksit, sıvı haldeki demir ile birleşerek demiroksit meydana getirir. Demiroksit ise manganez ve silisyum ile birleşerek, bu elementlerin kaybına sebep olur. Bu kaybın karşılanabilmesi için, kaynak telinin bu elementlerce zengin olması gerekir. Bundan başka karbondioksit, karbon ile birleşerek karbon kaybına ve karbondioksit, ayrışarak karbon teşekkülüne sebep olur. MAG kaynağında kullanılan kaynak üfleçlerinin prensibi MIG kaynağındaki üfleçlere benzemektedir. Burada da kaynak yerine üfleç içinde sürekli beslenen bir tel elektrod gelmektedir [15].

5.2 Kaynak Yönteminin Seçimi

Sert dolgu kaynağının nasıl ve hangi tür malzemelerle yapılacağını saptamak için tercih edilen kaynak yöntemi, ana malzeme, aşınma sebepleri ve kaynak sonrası yüzey kalitesi gibi hususların irdelenmesi gerekmektedir.

Sert dolgu için ark kaynak yönteminin seçimi parçanın boyutuna, ölçüsüne, kullanılan ekipmanlara ve sert dolgunun sıklığına bağlıdır. Kullanılabilecek metotlar:

1. Örtülü elektrot kaynağı: Minimum ekipman ihtiyacı vardır, her pozisyon ve koşulda yapılabilir.
2. Yarı otomatik kaynak: Tel sürücü ve kendinden korumalı/gaz korumalı özlü tel kullanılır. Metal yığılma hızı yüksektir.
3. Otomatik kaynak (Tozaltı kaynağı) : Bu otomatik kaynak yöntemi genellikle ilk kurulum gerektiren ve en yüksek metal yığılma oranına sahip yöntemlerdir. Otomatik kaynak en yüksek verimliliği sağlar fakat daha çok üretim amaçlı veya büyük hacimli benzer parçaların tamirinde kullanılmaktadır [14].

5.3 Sert Dolgu Malzemeleri

Demir bazlı sert dolgu alaşımları metalurjik fazlarına veya mikro yapılarına göre alt gruplara bölünebilir ve her biri belli bir aşınma türüne diğerlerine göre daha fazla direnç gösterir. Basitleştirmek amacıyla bu alaşımlar üç ana grupta toplanabilir:

1. Östenitik alaşımlar
2. Martensitik alaşımlar
3. Karbürlü alaşımlar

Elektrotlardaki gelişmeler, karşılaşılan spesifik aşınma türüne göre, en yüksek direnç gösterecek malzemenin seçimine olanak sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu etkilidir. Mesela; tek bir örtülü elektroda, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırılabilir. Alternatif olarak, manganlı çelik üzerine veya manganlı dolgu kaynağı üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali yığılarak darbe ve aşınma direnci birleştirilebilir. Bileşik elektrot (birincil östenit ile ötektik karbür) darbe direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzeme de aşınmanın daha önemli olduğu yerde tercih edilebilir [16].

5.3.1 Östenitik sert dolgu alaşımları

Mükemmel darbe direnci, orta abrazyon direnci, dolgu amaçlı kullanımı iyi sonuç verir. Bu tip alaşımlar mikro yapılarının oda sıcaklığında dahi östenit olması sebebiyle böyle adlandırılırlar. % 0.5-1 karbon ve % 13-20 alaşımlı (baslıca mangan ve çok az oranda nikel ve krom) çelikler manganlı östenitik çelikler veya “Hadfield Çelikler” olarak adlandırılırlar.

Bu alaşımlar genellikle temiz bir yüzey elde edilmesi istenen dolgularda ve karbürlü alaşımlarla doldurulacak manganlı östenitik çeliklerde tampon tabaka olarak kullanılırlar. Östenitik alaşımların % 0.7 karbon ve % 20-30 alaşım elementi (eşit miktarlarda mangan, krom ve nikel) içerenleri, düşük alaşımlı ve karbonlu çelikler üzerine yapılan ve ana metalden fazla karışma olan durumlarda dahi tam östenitiklerdir. Bu durum bu tip sert dolgu alaşımları karbonlu ya da düşük alaşımlı çeliklerin manganlı çeliklerle birleştirmelerinde ya da karbonlu çeliklerin sert dolgusunda manganlı östenitik çeliklerden daha avantajlı hale getirir.

Östenitik sert dolgu alaşımları oldukça tokturlar ve soğuk sertleşme gösterirler. Aynı zamanda mükemmel darbe, orta abrazyon dayanımı ve gerilim çatlakları

oluşturmama özellikleri vardır. Bu tip alaşımlar 50 HRC'ye kadar darbe ile sertleşirler, bu durum onlara darbe dayanımı yanında iyi bir abrazyon dayanımı da sağlar. Östenitik sert dolgu alaşımları aynı manganlı östenitik manganlı ana malzeme gibi 250 °C'nin üzerine çıkmamalıdır aksi halde gevrekleşir ve kırılır [16].

5.3.2. Martensitik sert dolgu alaşımları

Orta darbe dayanımı, Orta abrazyon dayanımı, adhezyon (metal-metale) sürtünme dayanımına sahiptirler. Martensit, çeliklerin hızlı soğuması sonucu oluşan bir fazdır. Martensitik alaşımlar havada sertleşebildiklerinden soğuma hızı sonuçta oluşacak sertliği etkiler. Çatlaksız bir kaynak metali için 100-350 °C arasında bir ön tav uygulanmalı ve bu işlem yapılırken ana malzemede göz önüne alınmalıdır. Düşük karbonlu ve düşük alaşımlı (%5'in altında) martensitik alaşımlar çeliklerin sert dolgu kaynaklarında kullanılır. Bu tür alaşımların tokluk, sıkışabilme dayanımı ve metal-metale sürtünme dayanımları iyi olduğundan sert dolgu kaynaklarında ve daha sert malzemelerde tampon tabaka olarak kullanılırlar. Biraz daha yüksek karbonlu ve daha yüksek alaşımlı (% 6-12) martensitik alaşımlar, oldukça yüksek kaynak sonrası sertliğe sahiptirler. Bu sertlik, bunlara daha iyi metal-metale sürtünme ile abrazyon dayanımı sağlar, fakat tokluk düşer. Bunların toklukları temperleme ile yükseltilebilir. Sert dolguda daha çok tampon olarak kullanılırlar.

Diğer bir grup martensitik alaşımlar da martensitik paslanmaz çeliklerdir. % 0.25'e kadar karbon, % 18 alaşım elementi (başlıca krom) ihtiva ederler. Bu grup alaşımlar ısıl şoklara karşı çok iyi dayanım gösterirler. Bu alaşımlar iyi metal-metale sürtünme ve orta seviyede korozyon direncine sahiptirler. Doğru kaynak prosedürü ile merdanelerin sert dolgu kaynaklarında başarıyla kullanılırlar. Martensitik sert dolgu alaşımları darbe ve adhezyon dirençleri yanında, uygun karbon ve krom miktarı seçimi ile iyi abrazyon, darbe ve adhezyon direncine de sahip olabilirler. Bu daha iyi çalışma koşulları sağlar. Bu alaşım grubu birleştirme kaynaklarında ve östenitik ana metallerde kullanılamaz [16].

5.3.3 Karbürülü sert dolgu alaşımları

Mükemmel abrazyon dayanımı, iyi ısı dayanımı, orta korozyon dayanımı, orta, hafif darbe dayanımına sahiptirler. Aşınma faktörünün yalnızca abrazyon olduğu hallerde: Başlıca krom ve diğer karbürleri en az % 12 oranında içeren dolgu alaşımları kullanılır. Karbürler, kendilerini çevreleyen matristen daha serttir ve mükemmel

abrazyon dayanımı sağlar. Abrazyon ve darbenin birlikte olduğu hallerde; Karbon oranı düşük seviyelerde (%3'ten az) olmalıdır, karbürler matris içinde az miktarda dağılmıştır ve bunlar iyi tokluk değerinin yanında iyi bir abrasif direnç de sağlarlar. Abrazyon ve yüksek sıcaklığın birlikte olduğu hallerde; Karbür alaşım içinde karbon oranı (%7 gibi) arttığında abrazyon direnci yükselir, fakat tokluk düşer. Tüm yüksek karbürü sert dolgu alaşımları gerilim nedeniyle oluşan çatlakları ihtiva ederler. Bu tür alaşımlar birleştirme kaynaklarında kullanılmamalıdır. Karbonlu, düşük alaşımlı, manganlı östenitik çeliklerle ve dökme demirlerde özel kaynak prosedürleri ile uygulanabilir. Ana metal hatasız ve tok olmalıdır.

Kaynak dikişinin pullanıp dökülmesini önlemek için karbürü sert dolgu alaşımları 2-4 paso ile sınırlandırılmalıdır. Çatlaklar ince malzemeye sirayet edebilir. İnce malzemeler üzerine sert dolgu yaparken gerilim çatlaklarının oluşmaması için özel dikkat sarf edilmelidir. Bu tür alaşımlar 650 °C'ye kadar yüksek sıcaklıklarda da abrazyon direncine sahiptirler ve mekanik yöntemlerle işlenemezler [16].

5.3.4 Demir dışı sert dolgu alaşımları

Östenitik, martensitik ve karbürü sert dolgu alaşımları demir dışı sert dolgu alaşımlarına göre çok daha fazla kullanılırlar. Demir dışı sert dolgu alaşımları genel olarak servis sıcaklığının karbürü alaşımların kullanım sınırlarının üzerine çıktığı durumlarda kullanılırlar. Ni ve Co bazlı olan bu alaşımlar tüm aşınma türlerine iyi direnç gösterirler, ancak yüksek maliyetleri nedeniyle çok özel durumlarda kullanılırlar [14].

5.3.4.1 Kobalt bazlı sert dolgu alaşımları

Kobalt bazlı alaşımlar yüksek sıcaklıklarda kullanılırlar. Tüm düşük gerilimli kazıcı abrazyon kombinasyonlarında yüksek dayanıma ve ihtiyaç duyulan tokluk ve darbe direncine sahiptirler. Ayrıca içerdikleri alaşımlara bağlı olarak metal-metale sürtünme, korozyon ve oksidasyona dayanıklıdır. Co bazlı alaşımları aşağıdaki şekilde açıklamak mümkündür.

Kobalt 6 (AWS A 5.13 R CoCr-A) alaşımı en çok kullanılan kobalt bazlı sert dolgu alaşımıdır. Bu alaşım kobalt-krom-tungsten ana yapı içinde dağılmış krom-karbürler içerir. Kobalt 6 alaşımları yüksek sıcaklık, korozyon ve yüksek yüklerdeki metal-metale sürtünmelere (adhezyon) karşı dayanıklıdır.

Kobalt 12 (AWS A 5.13 RCoCr-B) alaşımı Kobalt 6'ya çok benzer, karbür oranı daha fazladır. Bu alaşım Kobalt 6'ya göre daha yüksek sertliğe ve daha iyi abrazyon ve adhezyon dayanımına sahiptir fakat darbe ve korozyon direnci daha dūřüktür.

Kobalt 1 (AWS A 5.13 R CoCr-C) alaşımı, Kobalt 6 ve Kobalt 12'ye göre daha yüksek karbür yüzdesine sahiptir. Artan sertlikle birlikte yüksek aşınma direncine sahip olan bu alaşımın darbe ve korozyona dayanımı daha azdır ve kaynak sonrası soğuma esnasında gerilim çatlağı oluşma eğilimi daha yüksektir. Bu alaşım ile sert dolgu yapıldığında çatlakları asgariye indirmek için ön tav, son tav ve pasolar arası sıcaklıklara dikkat edilmelidir.

Kobalt 21 (AWS A 5.13 R CoCr-E) alaşımı mikro yapısında daha dūřük karbür içerir. Kobalt 21 kaynak metali 1150 °C'de yüksek dayanıma ve sūneklięe sahiptir. alıştıka sertleşen kaynak metali ısıl şoklara, oksidasyona dayanıklıdır ve erozyondan kaynaklanan aşınmalara mükemmel direnç gösterir [14].

5.3.4.2 Nikel bazlı sert dolgu alaşımları

Nikel bazlı sert dolgu alaşımları bazı kobalt bazlı sert dolgu alaşımlarının maliyetini dūřürmek için kobalt yerine kullanılır. Nikel, demire göre, yüksek sıcaklıklarda daha mukavemetli matrise sahiptir. Nikel bazlı alaşımlar yüksek sıcaklık uygulamaları için kobalt bazlı alaşımların ucuz alternatifleridir [14].

5.4 Sert Dolgu Malzemeleri Seçimi

Her uygulama için ihtiyaçlar değişiktir. Endüstride genel uygulamalarda malzeme kaynak metalinin sertliğine ve alaşım miktarına göre seçilir. Fakat bu konudaki araştırmalar bunu desteklememektedir. Örneğin, bir parçada yüzey sertliğinin 50-55 Rockwell C olması gerekebilir. Bu sertlik martensitik, çalışma ile sertleşmiş östenit veya krom karbür mikro yapı ile sağlanabilir fakat her biri farklı tür aşınmaya direnç gösterirler. Martensit, metal-metal aşınması için en iyi sonucu verirken, krom-karbür abrazyona daha yüksek direnç sağlar ve çalışma ile sertleşmiş östenit oyma ve darbe aşındırması için en iyi seçimdir [14]. Elektrotlardaki gelişmeler, karşılaşılan aşınma türüne göre, en yüksek direnç gösterecek malzemenin seçimine olanak sağlamaktadır. Bazı uygulamalarda aşınma türlerinin kombinasyonu etkilidir. Mesela; tek bir örtülü elektroda, birincil östenit ile ötektik karbürleri birleştirerek, darbe ve aşınma direnci özelliği kazandırabilir. Alternatif olarak, manganlı elik üzerine veya manganlı dolgu kaynağı üzerine bir paso krom-karbür kaynak metali

kaynak yaparak darbe ve aşınma direnci kombine edilebilir. Bileşik elektrot (birincil östenit ile ötektik karbür) darbe direncinin daha önemli olduğu yerde tercih edilebilirken, östenitik manganlı çelik üzerine krom-karbür malzeme de aşınmanın daha önemli olduğu yerde tercih edilebilir [14].

British Iron and Research Association in tribology bölümün başkanı Dr. P. Williams, konuyla ilgili bir uluslararası seminerinde aşınma sorununu irdelerken alaşımların “tahmin vegatann” ile, yani işi sansa bırakarak seçilmeyeceklerini vurguluyor. Ancak eğitilmiş tahmin kabiliyeti, bilimsel seçime yol açmalıdır. Bununla birlikte mühendis, aşınma sorunlarına optimum çözüm arıyorsa, temel aşınma mekanizmalarını iyi anlamış olmak zorundadır. Seçime rasyonel yaklaşım, daha önceki deneylerin sonuçlarını kullanmakla başlar. "Daha önce iyi sonuç vermişse, onu yine dene" özdeyişine belli ölçüde değer atfedilir. Laboratuar deneyleri bazı tercihleri ortadan kaldırılabirirse de nihaî seçimde iş üzerinde denemelerin önemi daima vurgulanacaktır.

"En serti en iyisidir" efsanesi unutulacaktır. Bu efsane muhtemelen sert malzemelerin basit abrazyona iyi mukavemetlerinin bilinmesinden doğmuş olmalıdır. Ayrıntılarıyla gördüğümüz gibi, metalurjik yapı, genelde sertlikten daha önemlidir. Örneğin, yüksek gerilme taşlama abrazyonunda yumuşak tavlanmış alaşımlı çelik, sertleştirilmiş alaşımlı çelikten daha iyi davranacaktır şöyle ki perlit içinde karbürler, martensitten daha yüksek bir doğal abrazyon mukavemetine haizdirler. Sertlik ve gevreklik, eş anlamlıdır. Yüksek darbe durumunda, bir sert alaşımda küçük parçalar koparak hızlı aşınmaya götürür.

Yukarda sözü edilen seminerde darbe ile abrazyon mukavemeti arasındaki tutarsızlık olduğu belirtilmiştir. Ekskavatör kepçesinin dişleri iyi bir darbe mukavemetine ve dolayısıyla, alçak sertliğe sahip olacaktır; buna karşılık kepçenin kendisi abrozyondan etkilenir ve bu nedenle bir sert yüzeye sahip olması gerekir. Darbe ve abrazyonun birlikte bulunduğu hallerde, bu özellikleri barındıran orta değerli bir seçim yapılacaktır.

Yapılacak sert dolgu kaynağı uygulamasında seçimi etkileyen birçok faktör mevcuttur. Örneğin, yüksek hızlı uygulama ve düşük maliyetinden dolayı genellikle ark kaynağı yöntemleri seçilmektedir. Östenitik mangan çeliğine baktığımızda fazla ısınmaya hassas olduğu için oksii-asetilen ve TIG kaynağı yöntemlerinden kaçınmak gerekmektedir. Bu iki yöntem ise başka çelikler üzerinde yapılan uygulamalarda

kullanılmaktadır. Oksi-asetilen süreci, hassas parçalarda ve sadece ince bir dolgu tabakasının uygulanacağı yerlerde tercih edilmektedir. Örneğin, kömür uçlarda, kum karıştırıcı bıçaklarda çoğu zaman oksi-asetilen kaynağı ile sert dolgu uygulaması gerçekleştirilir.

Ark yöntemlerinin sert dolgu uygulamaları için muhtemel bir sakıncası, meydana getirdikleri derin nüfuziyettir. Ana metal ne kadar çok ergirse, dolgu malzemesi onunla o kadar çok alaşımlanır. Böylece sert dolgunun kalınlığı artarken, ana metalin mukavemetinde düşme meydana gelir. Çoğu durumlarda, dolgunun ilk tabakası, karışmamış alaşıma göre daha düşük abrazyon mukavemetine ama daha yüksek darbe mukavemetine sahiptir. Bu özellik ana metalden sert yüzeye doğru değişmektedir. Ancak karışmış dolgu, bazen östenitik çeliğe yapılan karbon çeliği dolgusunda görüldüğü gibi gevrek bir yapı meydana getirebilir.

Bu gibi durumların dışında, bir sert dolgu alaşımının seçimi kısmen dolgu yapmanın nedenine bağlıdır. Bu uygulamaları üç kategoride değerlendirmek mümkündür [17].

5.4.1 Kesici kenar muhafaza edilmesi için sert dolgu uygulaması

Bir kesici kenarın korunması için bir alaşım seçimi, başlıca sorun ya da ilginin topluca aşınmayı asgariye indirmek ve bu arada kesici kenarı korumak veya hedefin, takımın aşınmasını dikkate alınmayarak doğruca bir keskin kenarın muhafazası olduğuna bağlıdır, örneğin bir metal kesici alet, keskinliği kadar şekil ve boyunu muhafaza edecektir; oysa ki toprak kazıcı aletler, öbür yandan, kazıcı uç ya da kenarları keskin kaldığı sürece, nominal boyutlardan kaybetmeden fazlaca etkilenmezler. Takım çeliği ve hız çeliklerinin sert dolgusu, boyutsal şekil ve de keskinliğin korunması gerektiğinde uygulanır. Tipik uygulamalar, makaslama bıçakları, zımbalar ve kesme kalıpları gibi, keskinlik dışında ilk ölçülerinin korunmasının önemli olduğu yerlerdir. Bu parçalarda bozulmalar genellikle yüksek basma yükleri altında olur. Darbe ve abrazyon nadiren sorun olur.

Yüksek hız çeliği, yüksek sıcaklıkların olduğu yerlerde uygulanır. Bu alaşımın dolgusu homojen ve ince taneli olup kıvrılma veya yorulmaya dayanan bir keskin ince kenara taşlanabilir.

Boyutsal aşınmanın ilgi dışı olduğu hallerde tamamen farklı malzemeler önerilir. Bu tipin tipik uygulamaları toprak skreper bıçakları, toprak delici uçlar, vidalı konveyör kanatları ve dilme bıçaklarıdır.

Boyutsal aşınma yerine keskinliğin başlıca amaç olduğu bu uygulamalar sınıfında çoğu kez karbür malzemeler seçilir. Kaba tungsten karbür tanecikleri yüksek ölçüde abrasiv kumlu arazide toprak kesme takımlarına daha uzun ömür sağlar, sert dolguda bağlayıcı malzeme (matris) aşındığında hızlı kesici kenar sağlamak üzere kaba tungsten karbür parçacıkları meydana çıkar. Birçok değişik bıçak tiplerinde olduğu gibi daha düzgün aşınma türü istendiğinde, ince karbürü kaplamalar tercih edilir.

Abrasiv koşulların özellikle ağır olmadığı ve daha ucuz bir malzemenin yeğlendiği durumlarda kesme ağızlarında krom karbürler kullanılır. Bu malzemeler kolaylıkla kendilerini bilerler ve tungsten karbürlere göre daha düzgün daha az sürtünmeli ağızlar sağlarlar.

Ağır darbe yüklenmesinin mevcut olduğu uygulamalarda ne tungsten, ne de krom karbür uygundur. Yorulma ve darbeye maruz ağızlara yarı östenitik ve östenitik manganez çelikleri en uzun ömrü sağlarlar. Bu malzemelerle doldurulmuş ağızlar, kendi kendilerini bileyici olmazlar, sağlam ve sünek olan yuvarlatılmış profil olarak aşınırlar. İri kayalarla temas halinde olan dalıcı dişlerden adı geçen karbürler yorulup giderler. Buna karşılık yarı östenitik veya östenitik manganez dolguları çalışma sertleşmesine uğrar, abrazyona dayanıklı hale gelir ve bu arada yüzeyin altındaki daha yumuşak malzeme darbe kuvvetlerini göğüsler [17].

5.4.2 Tek bir yüzeyi korumak için sert dolgu uygulaması

Tek bir yüzeyi koruma gereksinimi, sert dolgu uygulamalarının büyük çoğunluğunu oluşturur. Bunda amaç, bir keskin kenar veya bir temas yüzeyi üzerinde aşınma düşüncesi olmadan yüzeyin aşınmasını önlemektir.

İyi parlatılabilen bir alçak sürtünmeli yüzey (örneğin saban demiri veya toprağı deviren yan bıçağı) aranılabilir veya pürüzlü bir yüksek sürtünmeli yüzey (örneğin tarak-drag saplama bağlantıları) yeğlenebilir.

Genellikle yerçekimi ile malzeme naklinde (bir kattan alt kata ve aynı katta meyilli tutularak) kullanılan oluklarda (düz ya da helezonlu) mutlak olarak sert dolgu uygulaması yapılır. Genellikle, darbe yapabilecek iri kayalar ve benzer şeyleri içermeyen ince taneli maden veya toprak, nakledildiğinde krom karbür gibi sert malzemeler tercih edilir. Ağır, kitlesel parçaların böyle bir oluğa devrilmesi ya da yüksek darbe kuvvetleri meydana getirebilecek hizmetler halinde ise yan östenitik veya manganez çeliklerine başvurulur.

Vidalı konveyörler ve yer delici aletler, normal olarak karbürler gibi sert malzemelerle korunurlar. Paslanmaz çelikler, su pompalarında korozyon mukavemeti sağlamak ve erozyona karşı korumak üzere ve iyi darbe mukavemetini gerektiren yerlerde kullanılırlar [17].

5.4.3 Temas halindeki yüzeyleri korumak için sert dolgu uygulaması

Bu uygulama tipi normal olarak, abrazyon, darbe, sürtünme ve korozyonun çeşitli kombinasyonları altında metal-metale aşınmaya sebep olur. Dolgu malzemesi düzgünce aşınmalı, bir alçak sürtünme katsayısına sahip olmalı ve sarma veya pullanma eğiliminde olmamalıdır. Bu uygulama sınıfına kesin olarak uygun olmayan bir sert dolgu tipi, tungsten karbürlerdir.

Çoğu kez, yüzeylerden biri, öbürüne göre daha çok korunmayı gerektirir. Bu durumlarda bir yüzey bronzla kaplanabilirken öbürü kaplamasız kalır. Böylece bronz, kendini feda ederek öbür yüzeyi korumuş olur.

Yüksek karbonlu elektrotlar, yağlama ile çalışacak şaftları eski ölçülerine getirmede kullanılır. Terk edilmiş yüksek karbonlu metal, taşla işlendiği ya da taşlandığında, bir yumuşak çelik elektrot ile terk edilen metalden kolayca elde edilebilen yüzeyden çok daha düzgününü sağlar. Yüksek sıcaklıklarda çalışacak yataklar krom karbürlerle, paslanmaz çelikler ise yüksek kromlu ve nikelli alaşımlarla doldurulurlar.

Korozif koşullar altında çalışan parçalar krom karbürler ve paslanmaz çeliklerinin bazıları tarafından korunurlar. Krom karbürle doldurulmuş yüzeyler, kum ve çamurda çalışan parçalarda iyi sonuç verirler [17].

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Demir çelik sanayinde kaynak uygulamaları çok önemli bir yer teşkil etmektedir. İmalat kaynağı uygulamalarının sürekli uygulanmasının yanında bu sektörde tamir bakım kaynağı uygulamaları ve sert dolgu kaplama uygulamalarının payı da çok büyüktür.

Bu çalışmada, demir çelik sanayindeki farklı röle kaplama uygulamalarından yola çıkarak üç ayrı Fe bazlı kaynak metalinin yüksek sıcaklık aşınma davranışları ve biri Co bazlı, diğeri Co ihtiva eden Fe bazlı iki kaynak metalinin düşük sıcaklıktaki aşınma davranışları incelenmiştir.

Kullanılan farklı kaynak metalleri ile uygulama şartlarında aşınma dayanımı yüksek alaşımın tespit edilerek sanayi uygulamalarında uygun seçimin yapılmasının sağlanması ve sanayi uygulaması için ekonomik testinin irdelenmesi temel amaçtır.

6.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneylerde, DIN 8555: MF 20-55-CRTZ standardında Castolin 9010 AN özlü teli, DIN 8555: MF 7-250-KNP standardında Castolin 3205 özlü teli, DIN 8555: MF 3-50-CKTZ standardında Castolin DO-04 özlü teli ve DIN 8555: MF 5-40-CPT standardında Castolin 4536 özlü teli kullanılmıştır. Çizelge 6.1’de bu özlü tellerin kimyasal analizleri görülmektedir.

Test numuneleri 6 mm kalınlığında 30x30 mm ölçülerinde St-37 çelik üzerine 6 mm kaynak dolgusu yapılarak hazırlanmıştır. Kullanılan özlü tellerin kaynağında Castolin CastoMIG 501 DS-500 A kaynak makinası kullanılmıştır. Koruyucu gaz olarak %100 Ar kullanılmıştır. Kullanılan teller $\varnothing 1,6$ mm olarak seçilmiştir ve 170 A parametresinde kaynak yapılmıştır. Şekil 6.1’de numuneler görülmektedir.

Kaynak işleminden sonra serbest soğumaya bırakılan numuneler soğuduktan sonra kenarları frezelenerek düzeltilmiştir. Daha sonra St-37 kısmı 3 mm frezelenerek düzeltilmiş, kaynak yapılan yüzey taşlama tezgahında taşlanarak nihai kalınlık ölçüsü 6 mm’ ye düşürülmüştür.

Çizelge 6.1 : Deneylerde kullanılan kaynak metallerinin kimyasal analiz sonuçları.

Numune-1 (Castolin 9010 AN)								
C	Si	Mn	Fe	Cr	W	Ni	Co	
1.8	1	0.4	2.5	30	8	0.4	Kalan	
Numune-2 (Castolin 3205)								
C	Si	Mn	S	Cr	P	Ni	Fe	
0.45	0.9	15	0.01	12	0.01	-	Kalan	
Numune-3 (Castolin DO-04)								
C	S	Mn	P	Cr	Mo	Co	Fe	
0.15	0.007	0.14	0.015	13.1	2.53	13.2	Kalan	
Numune-4 (Castolin 4536)								
C	Si	Mn	V	Nb	Cr	Ni	Mo	Fe
0.5	0.9	1.2	0.23	0.25	17	4	1	Kalan



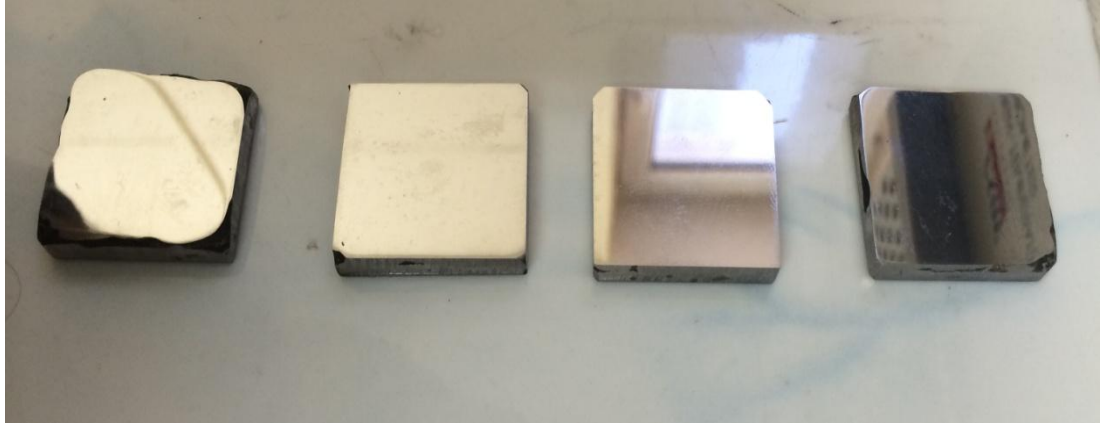
Şekil 6.1 : Numunelerin kaynak işleminden sonraki görüntüsü.

Taşılama tezgahında taşlanan numuneler bir sonraki aşamada zımparalama makinesinde zımparalanmış ve parlatma makinesinde parlatılmıştır. Çizelge 6.2 zımparalama ve parlatma işlemleri ile ilgili adımları içermektedir.

Ayrıca mikroyapı incelemesi için numunelerden parçalar kesilerek bakalite alınmış ve aynı yüzey hazırlama işlemleri uygulanmıştır. Şekil 6.2’de nihai parlatılmış numuneler, Şekil 6.3’te kesitinden ve yüzeyinden bakalite alınmış numuneler görülmektedir.

Çizelge 6.2 : Taşlama işlemi sonrası metalografik işlemler.

ADIM	1	2	3	4	5	6	7
Aşındırıcı Gücü	320 Grit	400 Grit	800 Grit	1200 Grit	2500 Grit	3 Mikron	1 Mikron
Aşındırıcı Türü	SiC	SiC	SiC	SiC	SiC	Elmas Pasta	Elmas Pasta
Aşındırıcı Tipi	Zımpara Kağıdı	Zımpara Kağıdı	Zımpara Kağıdı	Zımpara Kağıdı	Zımpara Kağıdı	Chem-Pol	Chem-Pol
Uzaklaştırıcı	Su	Su	Su	Su	Su	-	-
Disk Dönüş Hızı	200 RPM	200 RPM	200 RPM	200 RPM	200 RPM	450 RPM	450 RPM
Süre	2 dk	2 dk	2 dk	2 dk	2 dk	10 dk	10 dk



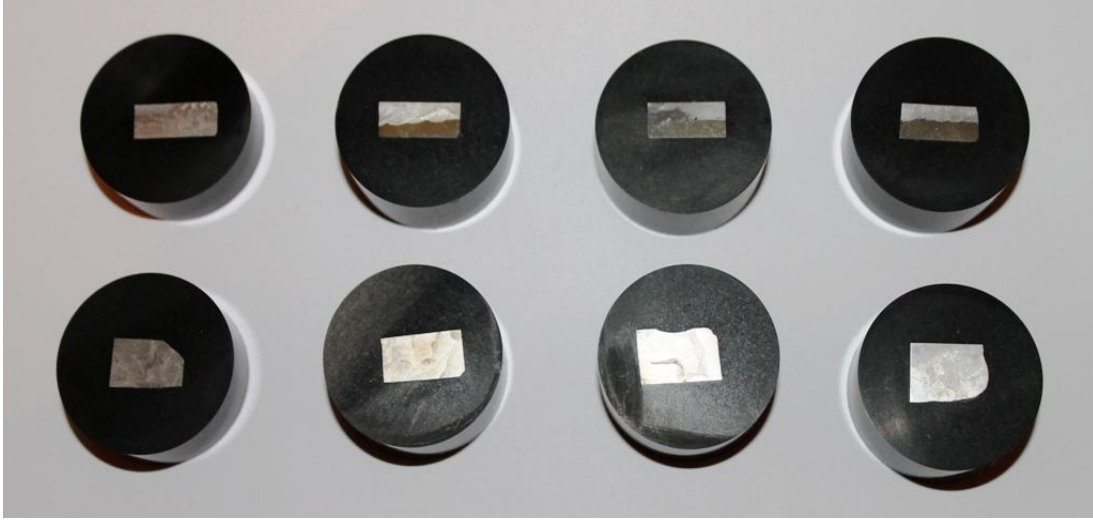
Şekil 6.2 : Numunelerin yüzey hazırlık işlemlerinden sonraki görüntüsü.

6.2 Karakterizasyon Çalışmaları

Bakalite alındıktan sonra zımparalama ve parlatma işlemi yapılan numuneler daha sonra %4' lük nitelle dağlanarak mikroyapıları incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri Lecia DM750M marka optik mikroskop ile yapılmıştır (Şekil 6.4).

Kaynak tabakasında yer alan fazların belirlenmesi için kullanılan X – ışınları difraksiyon analizi, analiz edilecek numune üzerine genellikle bakır veya kobalt gibi hedef bir elementten elde edilen $K\alpha$ karakteristik X – ışını demetinin gönderilmesi esasına dayanmaktadır. Gönderilen ışın demeti numunenin üç boyutlu kristal yapısında difraksiyona uğrayarak, paternler halinde elde edilmektedir. Bu paternler, bileşimi belirli standart malzemelerden elde edilen paternler ile karşılaştırılarak

incelenmektedir. Numunelerdeki fazların tespiti için GBC- 34 Australia marka X ışınları difraktometreleri kullanılmıştır (Şekil 6.5). Analizde CuK α ışın demetleri kullanılmış, 10° - 90° tarama yapılmış ve dakikada 2 derece taranmıştır.



Şekil 6.3 : Bakalite alınmış numunelerin görüntüsü.



Şekil 6.4 : Lecia DM750M marka optik mikroskop.

Numunelerin sertlik ölçümleri metalografik olarak parlatıldıktan sonra Zwick Roell marka sertlik ölçme cihazında HRc sertlikleri ölçülmüştür (Şekil 6.6). Kullanılan farklı kaynak metallerinin farklı sertliklere sahip oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 6.5 : Numunelerin faz analizinin yapıldığı GBC-Australia marka faz XRD cihazı.



Şekil 6.6 : Zwick Roell marka sertlik cihazı.

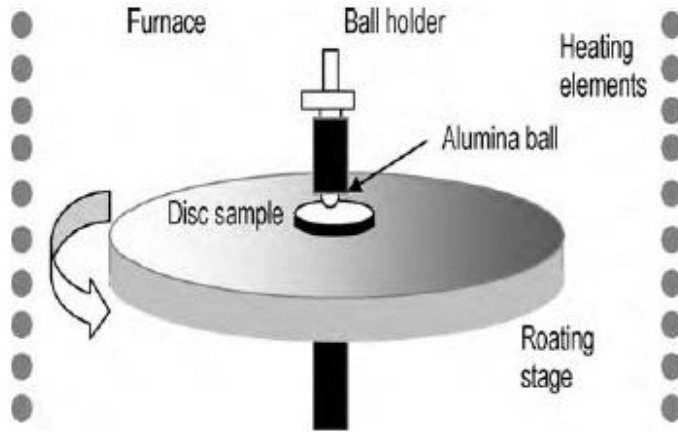
6.3 Aşınma Testleri

Numunelerin sürekli döküm röleleri için yapılan yüksek sıcaklık aşınma deneyleri (Şekil 6.7) CSM High temperature Tribotester, Switzerland ball on disc marka cihazla herhangi bir yağlayıcı olmadan kuru ortamda 6 mm çapında alumina aşındırıcı top ile yapılmıştır. Aşınma deneyleri 25 ve 400 °C’ de 3 N yük altında 10 cm/s hızda ve 500 metre mesafe için yapılmıştır. Numuneler istenilen sıcaklığa kadar homojen bir şekilde ısıtıldıktan sonra test başlatılmıştır. Aşınma testlerinden

sürtünme katsayısı verileri elde edilmiştir. Aşınma deneyinden ötürü oluşan aşınma izleri profilometre cihazında incelenerek aşınma izi derinliği ve genişliği hesaplanmıştır. Elde edilen veriler hacim kaybı hesabında kullanılmıştır. Hacim kaybı sonuçları birbiriyle karşılaştırılıp farklı kaynak alaşımlarının aşınma karakteristiği hakkında yorum getirilmiştir.



Şekil 6.7 : CSM Yüksek sıcaklık tribotest cihazı.



Şekil 6.8 : Ball on disc türü aşınma deneyinin tipik görüntüsü.

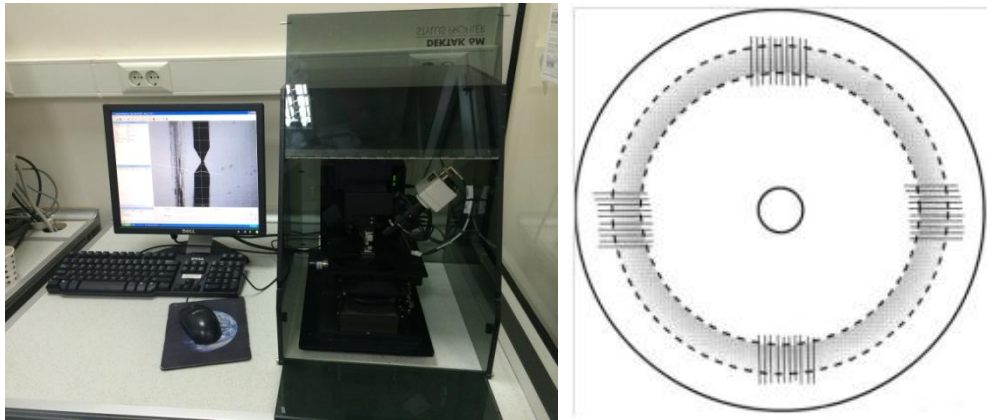
Numunelerin loop röleleri için yapılan aşınma deneyleri (Şekil 6.9) Tribotechnic marka karşıt hareketli aşınma cihazı ile herhangi bir yağlayıcı olmadan kuru ortamda 6 mm çapında alumina ve 6 mm çapında çelik aşındırıcı top ile yapılmıştır. Aşınma deneyleri 25 °C' de 3 N yük altında 10 mm/s hızda ve 100 metre mesafe için yapılmıştır. Farklı aşındırıcı toplarla yapılan aşınma testlerinden sürtünme katsayısı

verileri elde edilmiştir. Aşınma deneylerinden ötürü oluşan aşınma izleri profilometre cihazında incelenerek aşınma izi derinliği ve genişliği hesaplanmıştır. Elde edilen veriler hacim kaybı hesabında kullanılmıştır. Hacim kaybı sonuçları birbiriyle karşılaştırılıp farklı kaynak alaşımlarının aşınma karakteristiği hakkında yorum getirilmiştir.



Şekil 6.9 : Tribotechnic marka karşıt hareketli aşınma cihazı.

Aşınma testi yapılan numunelerin aşınma izleri Dektak-6M, Veeco, USA marka stylus profilometre cihazında ölçülmüştür. Her bir numune için 4 ölçüm yapılmış, yapılan ölçümlerin ortalaması alınmıştır ve oluşan izlerin alanları hesaplanmıştır. Ölçüm alım şekli şekil 6.10’ da gösterilmiştir. Ayrıca karşı hareketli aşınma testi numunelerinden de aşınma izi boyunca farklı 4 ölçüm yapılmış, yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak oluşan izlerin alanları hesaplanmıştır.



Şekil 6.10 : Dektak-6M, Veeco marka profilometre cihazı (solda), aşınma izlerinin profilometre cihazında ölçümünün tipik görüntüsü (sağda).

Aşınma testlerinden sonra aşınma yüzeylerinin, aşındırıcı bilya ve alüminaların da optik mikroskopta farklı büyütmelede görüntüleri alınarak karşılaştırılmalı triboloji analizi verilerinin tamamı elde edilmiştir.

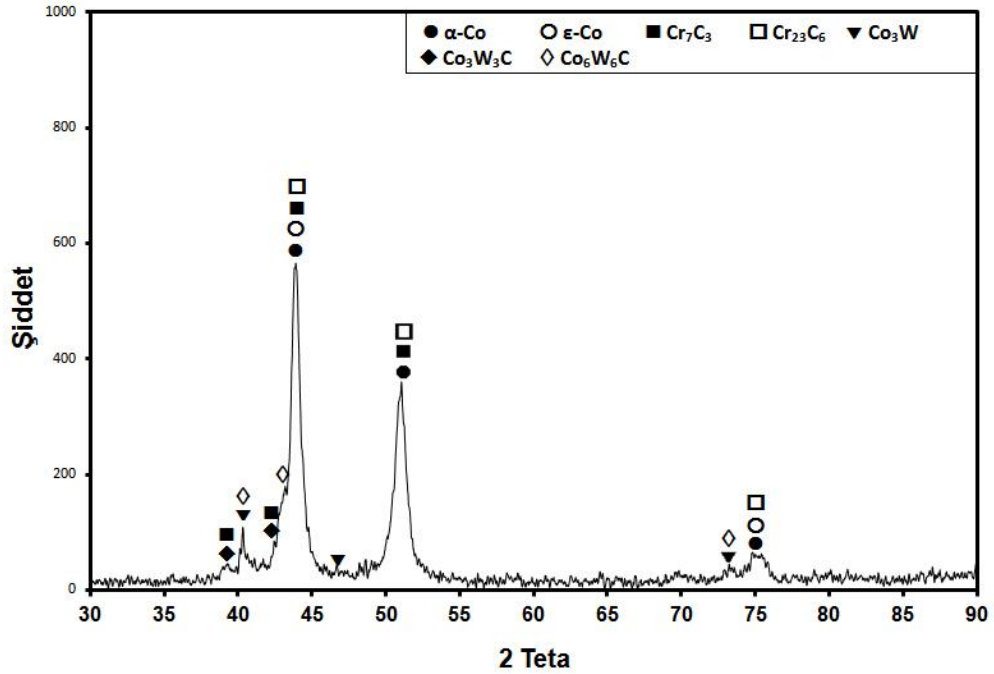
7. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada seçilen dört farklı kaynak metalinin üçü sürekli döküm rölelerinde kaplama uygulaması için değerlendirmek üzere, yine aralarından seçilen ikisi loop rölelerinde kaplama uygulaması için değerlendirmek üzere kullanılmıştır. Kaynak metallerinin kimyasal bileşimine bağlı olarak, mikroyapının ve faz dağılımlarının değiştiği görülmüştür. Kullanılan farklı kaynak metallerinin yapıları ve mekanik davranışları; metalografi yöntemleri, X-ışınları difraksiyon analizi, aşınma testi, sertlik testi ve profilometre yardımıyla incelenmiştir.

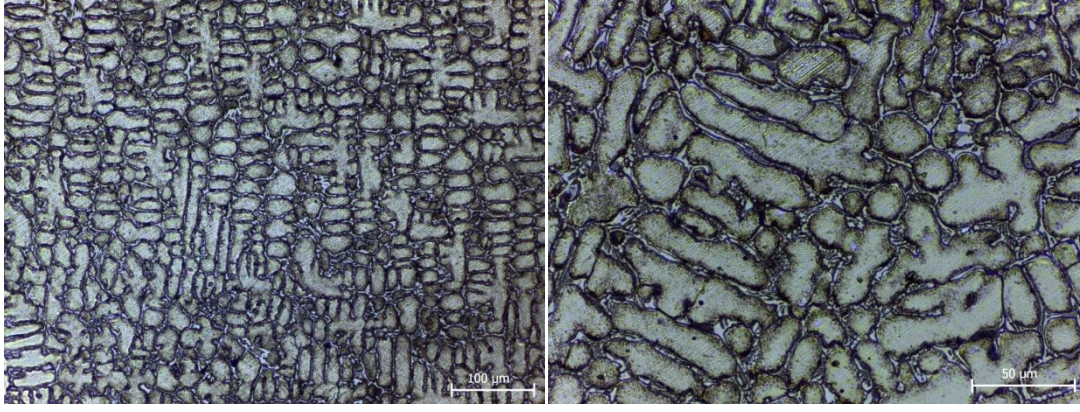
7.1 Mikroyapı İnceleme Sonuçları

7.1.1 Co-30Cr-8W-1.8C kaplama

Numune-1 kodlu kaplamaya ait CuK α X-ışınları difraksiyon paterni ve mikroyapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de görülmektedir.



Şekil 7.1 : Numune-1 X-ışınları difraksiyon paterni.



(a)

(b)

Şekil 7.2 : Numune-1'in (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü.

İncelemeler sonucunda Co bazlı alaşım olan Numune-1'de α -Co, ϵ -Co ve Co_3W fazları, Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ (M_6C , M= Metal; Co, W) ve $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ (M_{12}C , M= Metal; Co, W) karbürler tespit edilmiştir.

Numune-1 mikroyapı görüntüsünde α -Co ve ϵ -Co, tane sınırlarında oluşmuş Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 , $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$ ve $\text{Co}_6\text{W}_6\text{C}$ karbürler ve tane sınırlarında karbürler içerisinde çökelmiş açık renkli görünen Co_3W fazı bulunmaktadır.

Sertlik ölçümü sonucu Numune-1'in sertliği 54 ± 1 HRc ölçülmüştür.

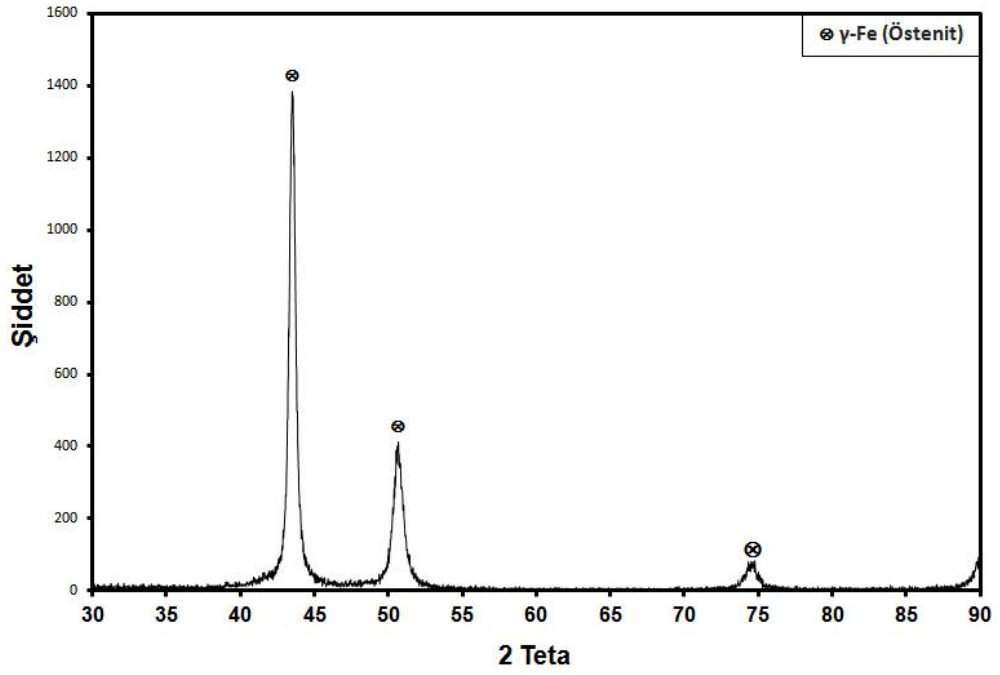
7.1.2 Fe-15Mn-13Cr-0.45C kaplama

Numune-2 kodlu kaplamaya ait $\text{CuK}\alpha$ X – ışınları difraksiyon paterni ve mikroyapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te görülmektedir.

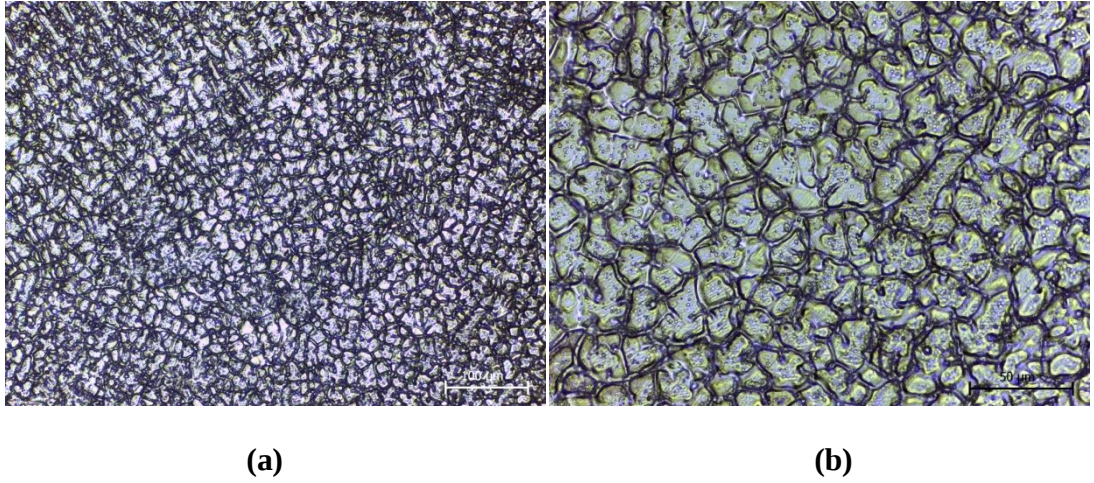
İncelemeler sonucunda Fe bazlı alaşım olan Numune-2'de γ -Fe (Östenit) fazı tespit edilmiştir.

Numune-2 mikroyapı görüntüsünde γ -Fe (Östenit) fazı görülmektedir ve tane sınırlarında Cr_7C_3 ve Cr_{23}C_6 karbür fazları olabileceği düşünülmektedir.

Sertlik ölçümü sonucu Numune-2'nin sertliği 27.5 ± 2 HRc ölçülmüştür.



Şekil 7.3 : Numune-2 X-ışınları difraksiyon paterni.



Şekil 7.4 : Numune-2'nin (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü.

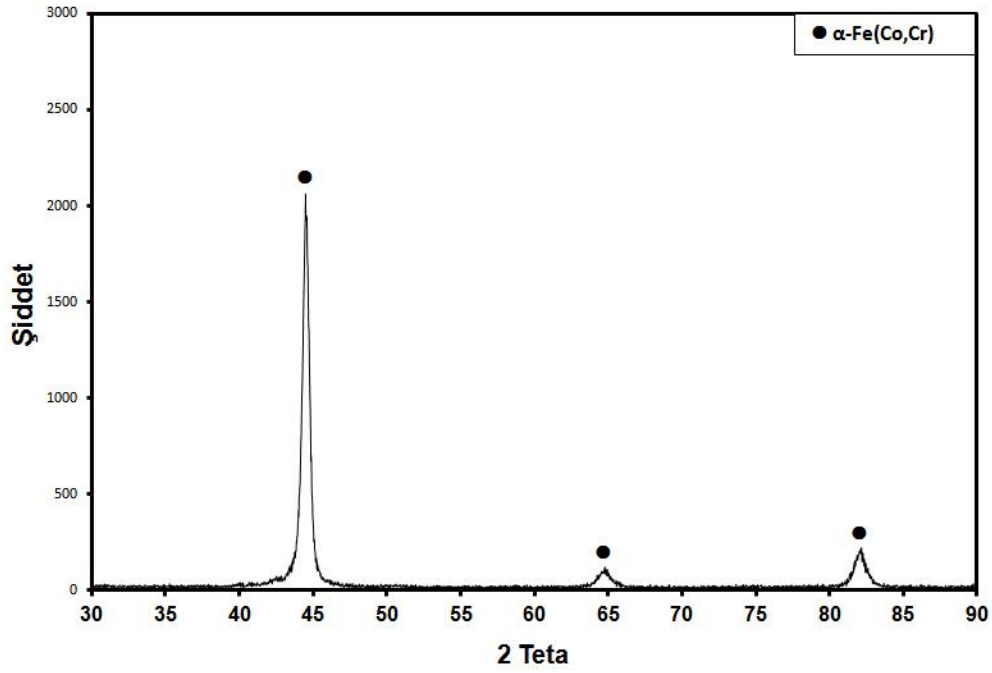
7.1.3 Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo Kaplama

Numune-3 kodlu kaplamaya ait CuK α X – ışınları difraksiyon paterni ve mikroyapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da görülmektedir.

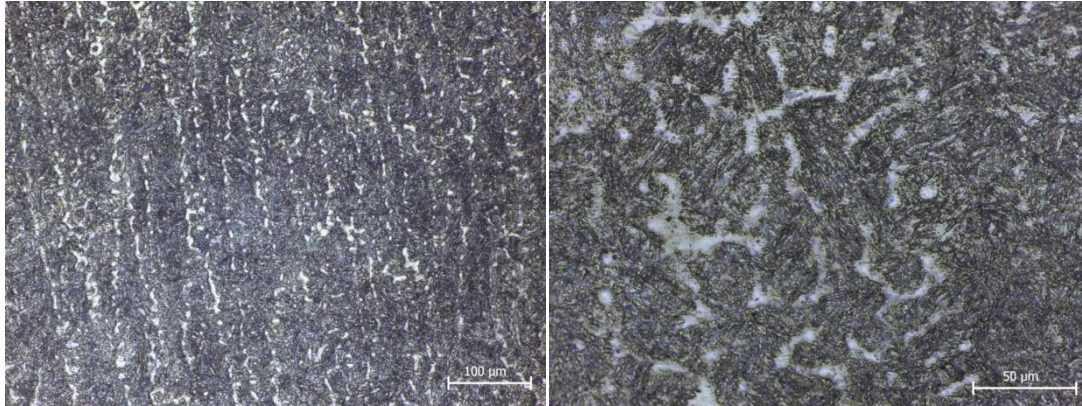
İncelemeler sonucunda Fe bazlı alaşım olan Numune-3'te içerisinde Co ve Cr çözünmüş α -Fe fazı tespit edilmiştir.

Numune-3 mikroyapı görüntüsünde içerisinde Co ve Cr çözünmüş α -Fe fazı görülmektedir. α -Fe fazı martenzitik formdadır.

Sertlik ölçümü sonucu Numune-3'ün sertliği 52.5 ± 1 HRc ölçülmüştür.



Şekil 7.5 : Numune-3 X-ışınları difraksiyon paterni.



(a)

(b)

Şekil 7.6 : Numune-3'ün (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü.

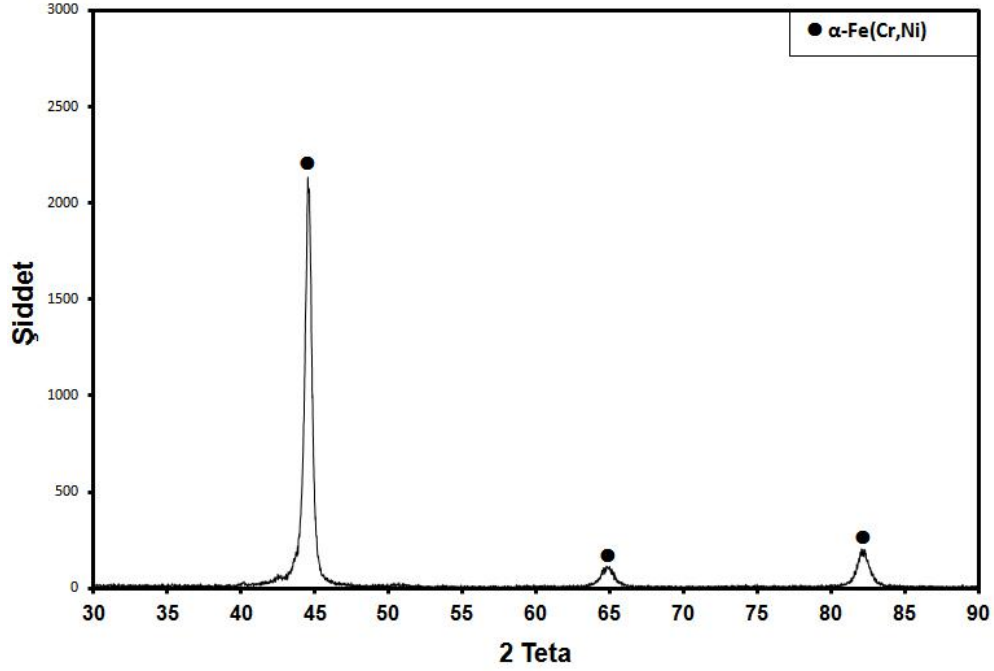
7.1.4 Fe-17Cr-4Ni-1Mo Kaplama

Numune-4 kodlu kaplamaya ait $\text{CuK}\alpha$ X – ışınları difraksiyon paterni ve mikroyapı fotoğrafları sırasıyla Şekil 7.7 ve Şekil 7.8'de görülmektedir.

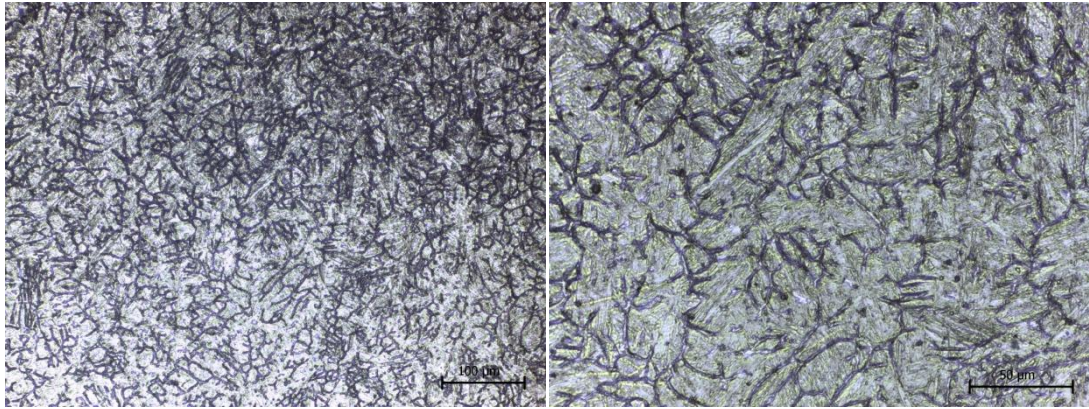
İncelemeler sonucunda Fe bazlı alaşım olan Numune-4'de içerisinde Cr ve Ni çözünmüş $\alpha\text{-Fe}$ fazı tespit edilmiştir.

Numune-4 mikroyapı görüntüsünde içerisinde Cr ve Ni çözülmüş α -Fe fazı görülmektedir. α -Fe martenzit formundadır.

Sertlik ölçümü sonucu Numune-4'ün sertliği 48 ± 2 HRc ölçülmüştür.



Şekil 7.7 : Numune-4 X-ışınları difraksiyon paterni.



(a)

(b)

Şekil 7.8 : Numune-4'ün (a) 200X ve (b) 500X büyütmede optik görüntüsü.

7.2 Aşınma Testleri ve Analizleri

Testler için seçilen kaynak metalleri sanayi uygulamaları için tasarlanırken birçok farklı çalışma şartı göz önünde bulundurularak geniş bir uygulama yelpazesine hitab edecek şekilde geliştirilmiştir. Çalışmanın temelinde sürekli döküm röleleri ve loop

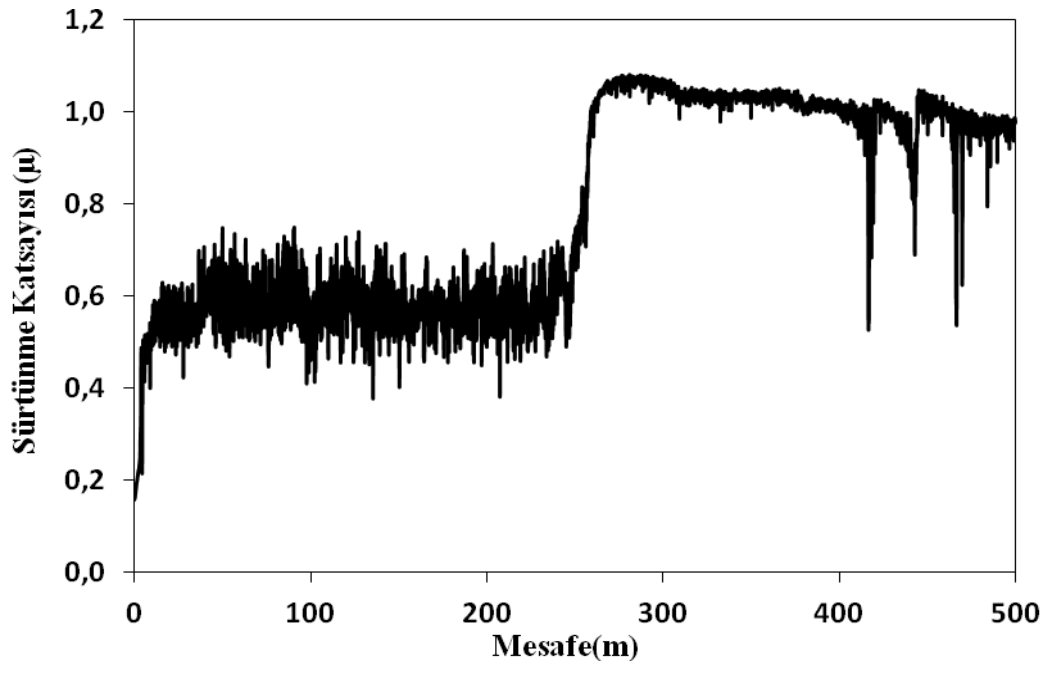
rölelerinin servis  m rl rinin arttırılması hususu da hedef alındığından dolayı uygulama şartlarına göre temel özellikleri baz alınarak uygulama aşınma testleri için gr plandırma yapılmıştır. Ayrıca numunelerde kullanılan  zl  tellerle yapılan sanayi uygulamaları verileri Ek A ve Ek B’de verilmiştir.

7.2.1 Disk  zeri bilya aşınma testleri

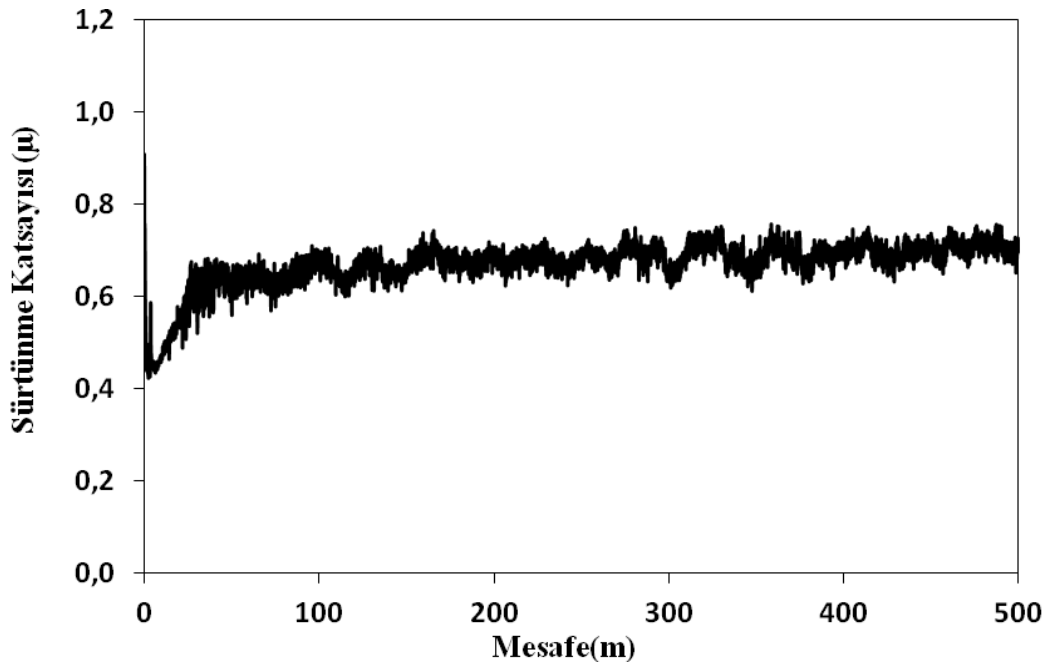
Gr plandırma içerisinde sürekli döküm röleleri için Numune-2, Numune-3 ve Numune-4 incelenmiştir. Sürekli döküm rölelerinin çalışma şartları yüksek sıcaklıkta olduğu için kullanılan üç numuneye disk üzeri bilya (ball-on-disc) türü aşındırıcıda yüksek sıcaklık aşınma deneyleri 400  C’de yapılmıştır. Ayrıca bu numunelerin oda sıcaklığı ortam koşullarındaki davranışlarını incelemek üzere aynı testler 25  C’de tekrarlanmıştır. CSM (Switzerland) marka yüksek sıcaklık tribotest cihazında 3 N yük altında, yağlayıcısız ortamda aşınma deneyi yapılmıştır. Mesafe olarak 500 metrelik yol, 5.5 santimetre çapında daire çizen bir güzergahta 10 cm/sn hızında alınmıştır. Aşındırıcı yüzey olarak ise 6 mm çapında alumina bilya kullanılmıştır. Deney sonucunda farklı kaynak alaşım numunelerinin sürtünme katsayıları elde edilmiş ve aşınma izleri profilometre cihazında incelenmiştir.

7.2.1.1 Fe-15Mn-13Cr-0.45C kaplamaya ait aşınma test sonuçları

Numune-2’ye ait 25  C ve 400  C sıcaklıktaki aşınma testi sürtünme katsayısı grafikleri şekil 7.9’da, 25  C ve 400  C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri şekil 7.10’da verilmiştir. şekil 7.11’de ise aşınma deneyleri sonucunda kaplama yüzeyinde ve alümina bilyada oluşan aşınma yüzeyleri görülmektedir.

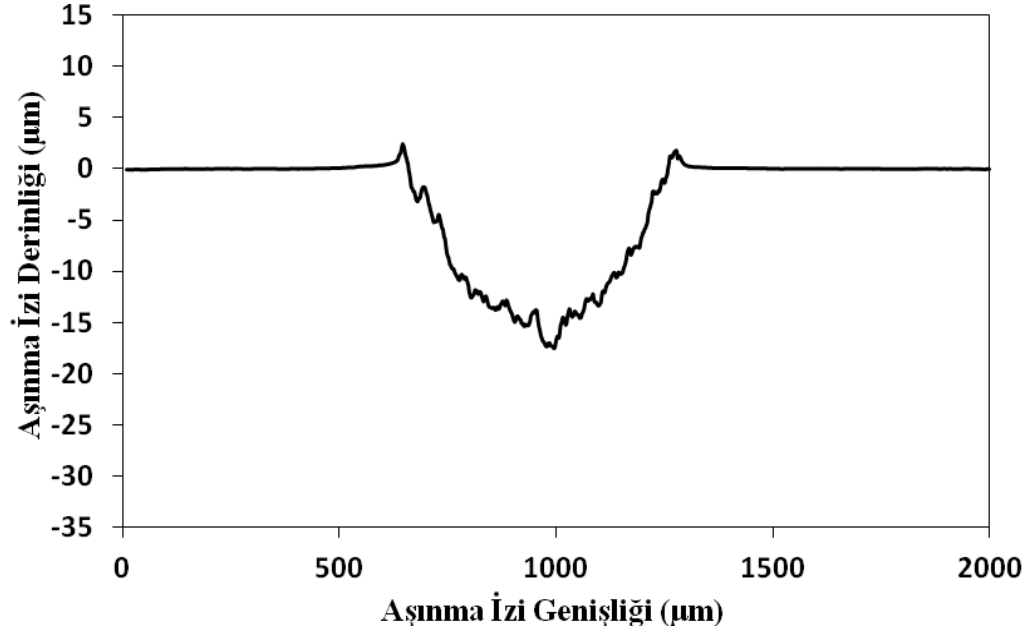


(a)

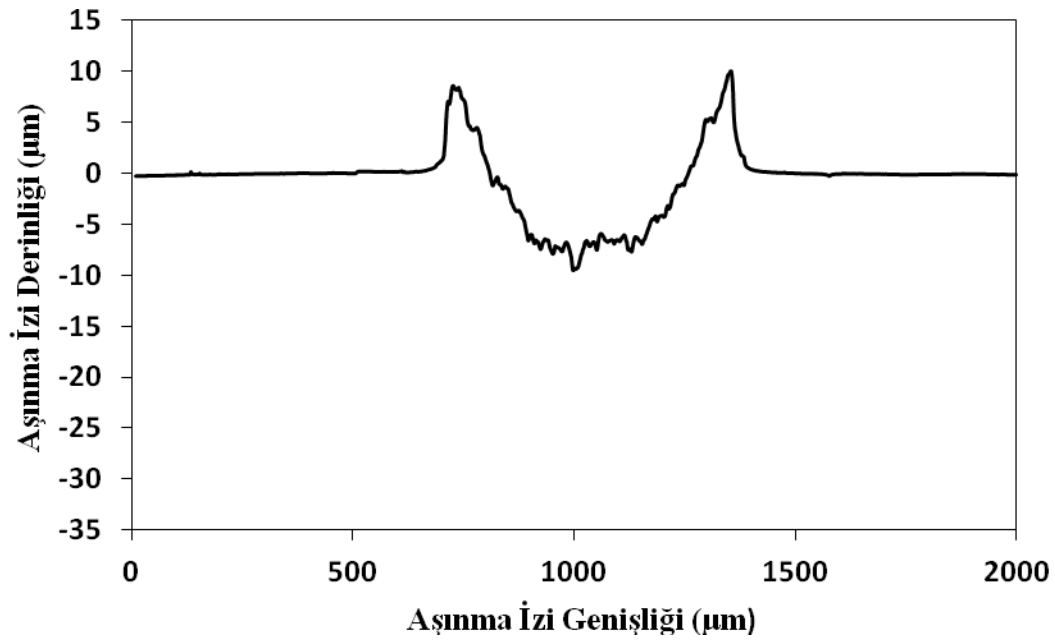


(b)

Şekil 7.9 : Numune-2 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayısı.

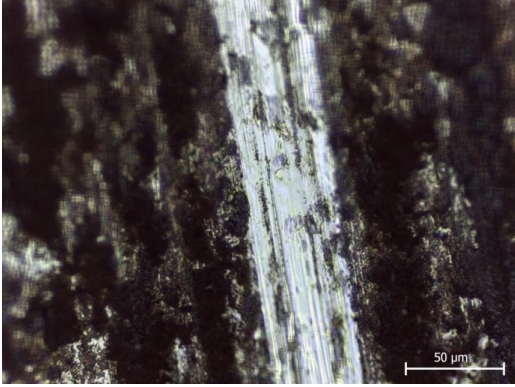
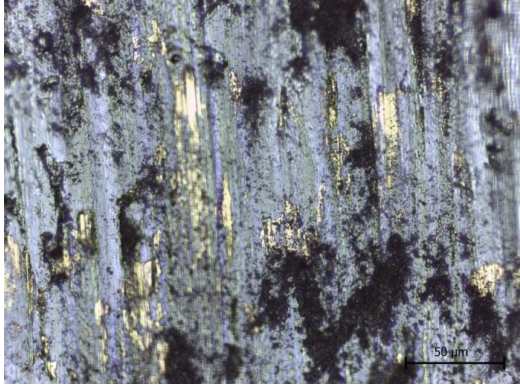
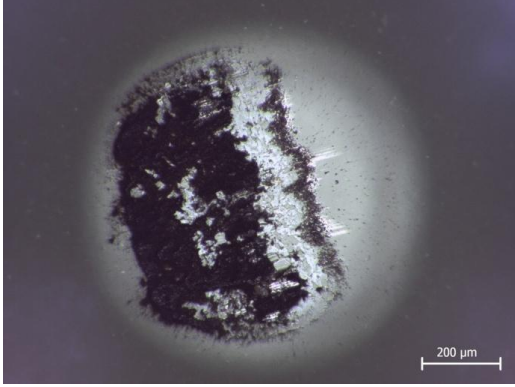
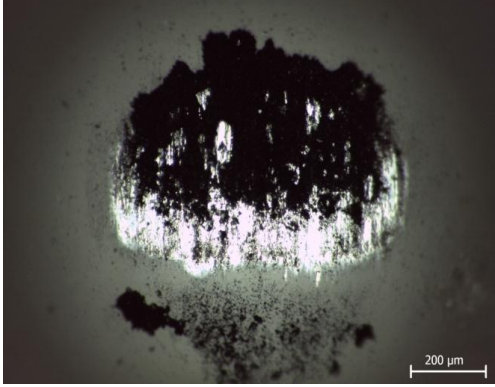


(a)



(b)

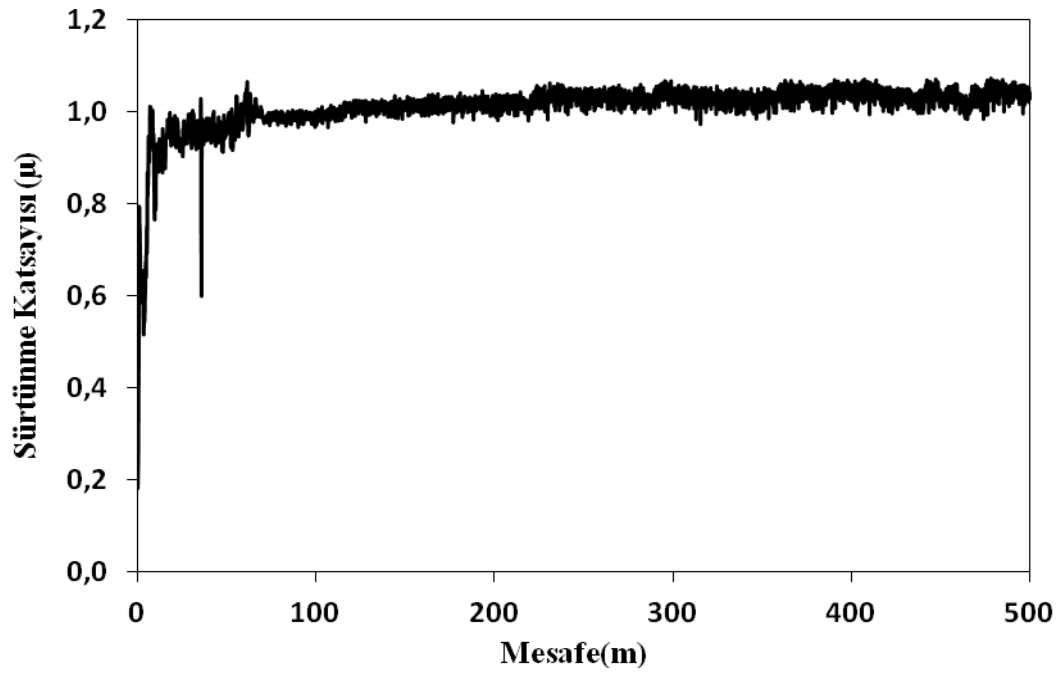
Şekil 7.10 : Numune-2 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri.

25 °C	400 °C
Kaplama	
	
Alümina Bilya	
	

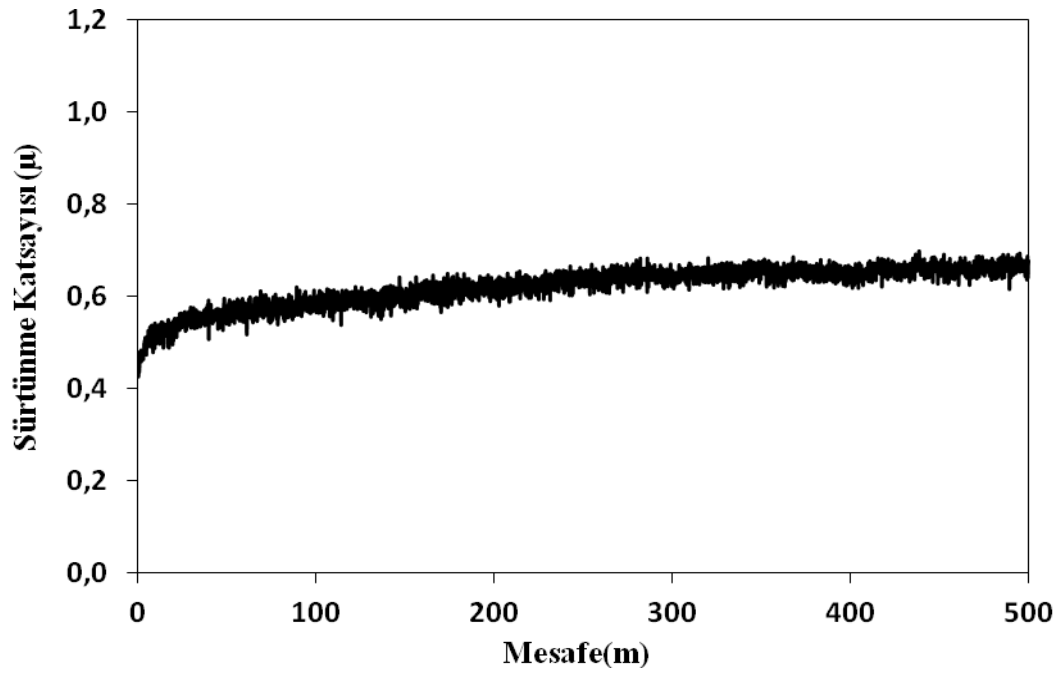
Şekil 7.11 : Numune-2/alümina bilya tribo çiftine ait aşınma yüzey fotoğrafları.

7.2.1.2 Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo kaplamaya ait aşınma test sonuçları

Numune-3'e ait 25 °C ve 400 °C sıcaklıktaki aşınma testi sürtünme katsayısı grafikleri Şekil 7.12'de, 25 °C ve 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri Şekil 7.13'de verilmiştir. Şekil 7.14'te ise aşınma deneyleri sonucunda kaplama yüzeyinde ve alümina bilyada oluşan aşınma yüzeyleri görülmektedir.

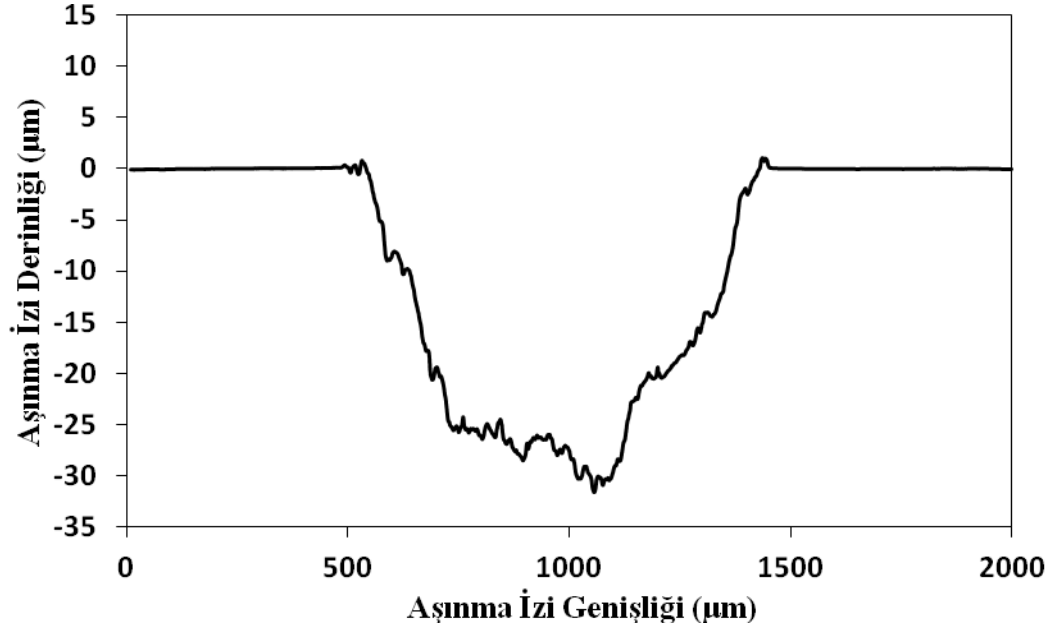


(a)

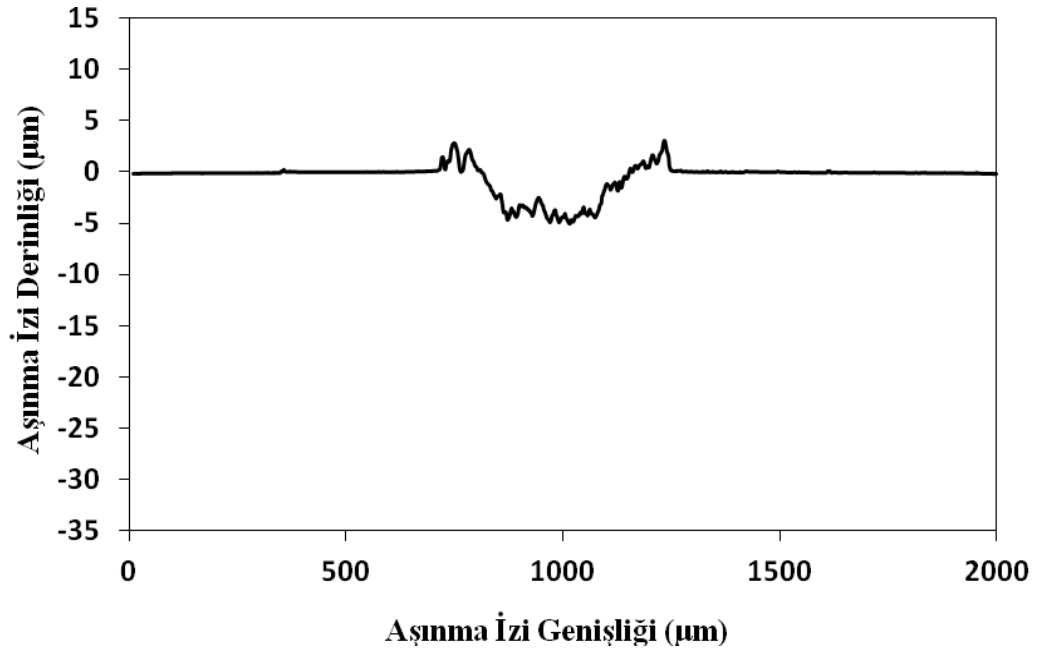


(b)

Şekil 7.12 : Numune-3 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayısı.

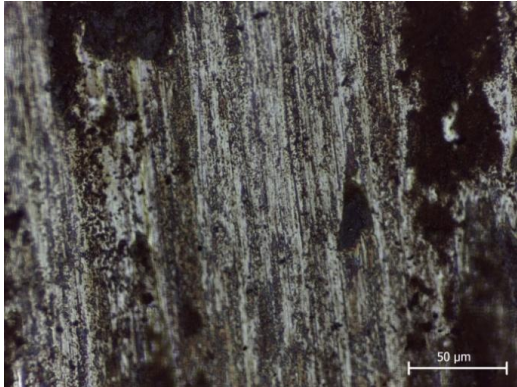
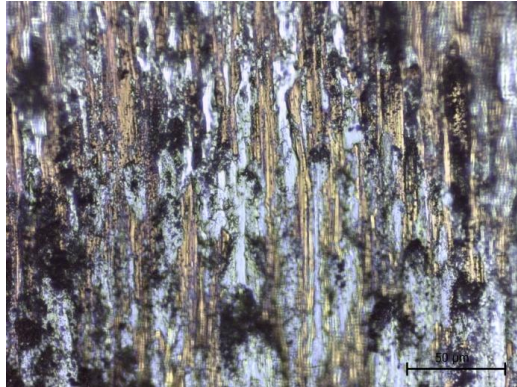
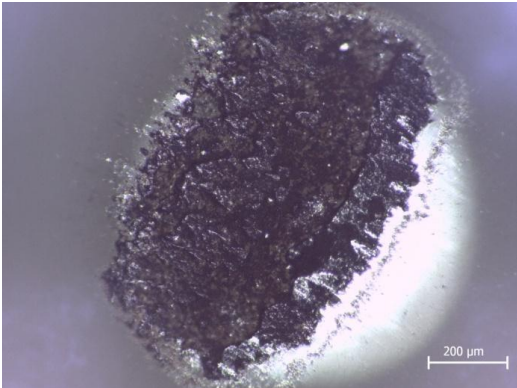
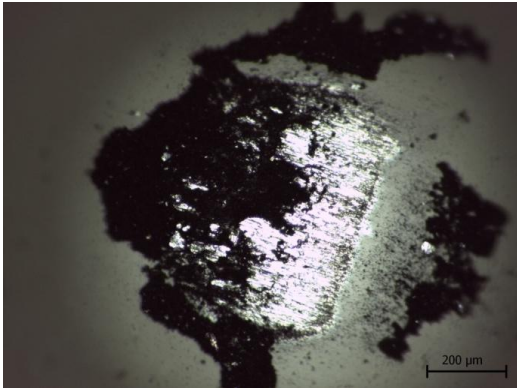


(a)



(b)

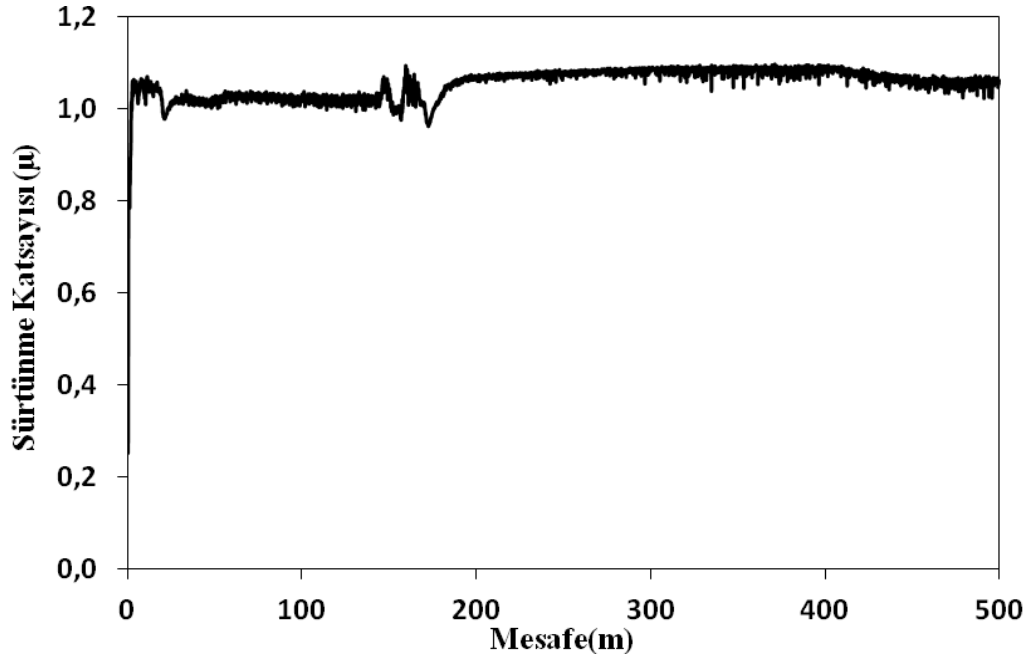
Şekil 7.13 : Numune-3 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri.

25 °C	400 °C
Kaplama	
	
Alümina Bilya	
	

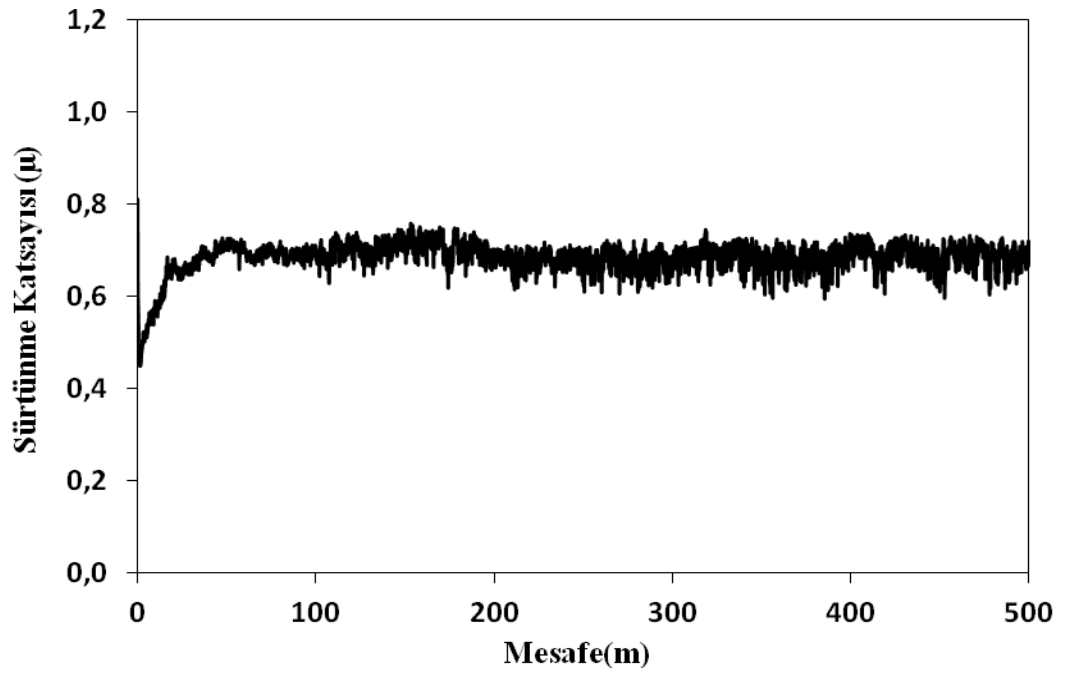
Şekil 7.14 : Numune-3/alümina bilya tribo çiftine ait aşınma yüzey fotoğrafları.

7.2.1.3 Fe-17Cr-4Ni-1Mo kaplamaya ait aşınma test sonuçları

Numune-4'e ait 25 °C ve 400 °C sıcaklıktaki aşınma testi sürtünme katsayısı grafikleri Şekil 7.15'te, 25 °C ve 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri Şekil 7.16'da verilmiştir. Şekil 7.17'de ise aşınma deneyleri sonucunda kaplama yüzeyinde ve alümina bilyada oluşan aşınma yüzeyleri görülmektedir.

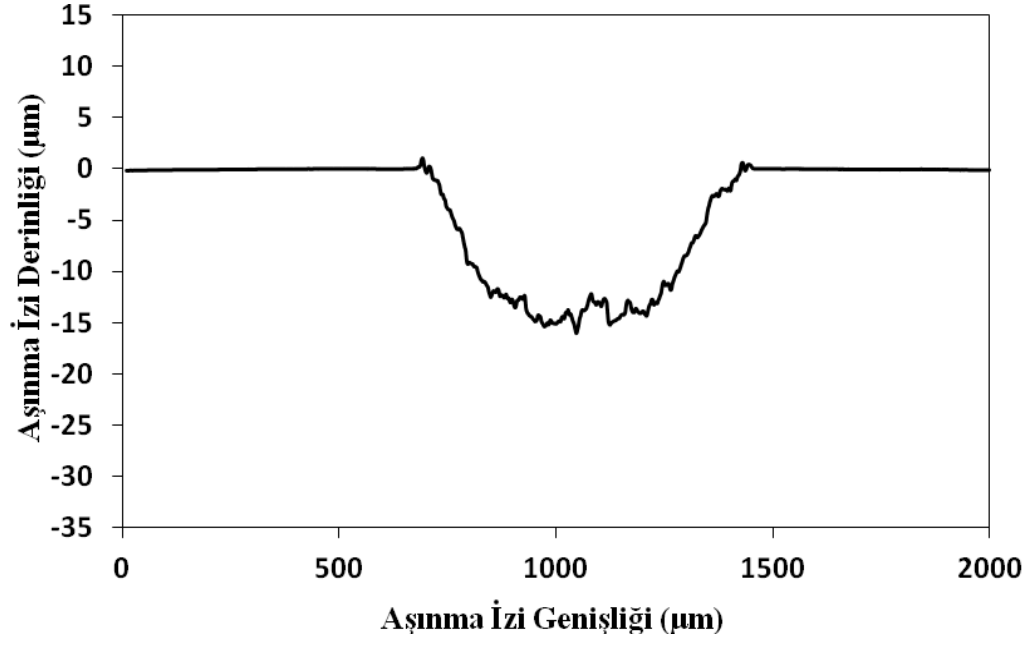


(a)

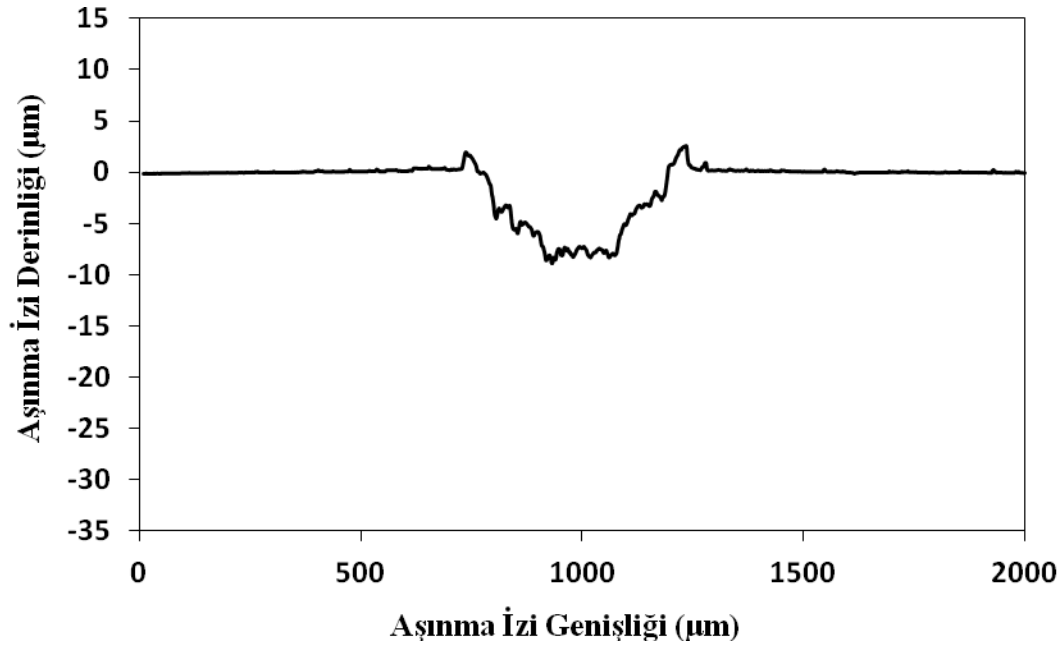


(b)

Şekil 7.15 : Numune-4 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta ölçülen sürtünme katsayısı.

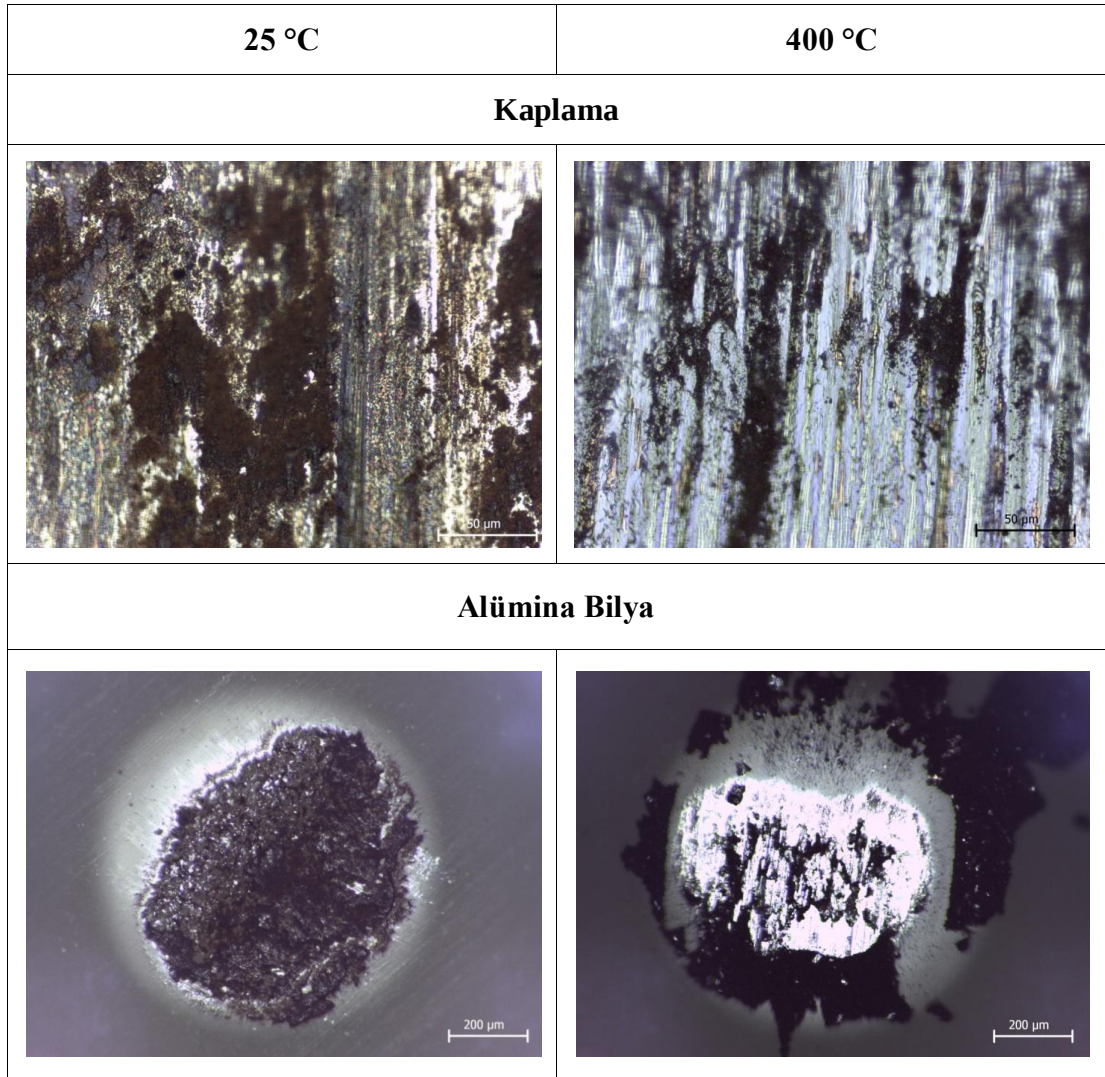


(a)



(b)

Şekil 7.16 : Numune-4 (a) 25 °C ve (b) 400 °C sıcaklıkta yapılmış aşınma testi profilleri.



Şekil 7.17 : Numune-4/alümina bilya tribo çiftine ait aşınma yüzey fotoğrafları.

7.2.1.4 Değerlendirme

25 ve 400 °C’de gerçekleştirilen aşınma testi sonucu bulunan sürtünme katsayısı ortalama değerleri ve hacim kaybı miktarları Çizelge 7.1’de görülmektedir.

25 °C sıcaklık aşınma testi sonucunda Numune-2’nin sürtünme katsayısı en düşük çıkmıştır ve hacim kaybı açısından değerlendirildiğinde en az kayba uğramıştır. Ancak sürtünme katsayısı-mesafe grafiği incelendiğinde belirli bir mesafeden sonra sürtünme katsayısında keskin bir artış gözlemlenmiştir. Sürtünme katsayısında meydana gelen bu keskin artış literatürde östenitik yapının yük altında gerilme kaynaklı martenzite dönüştüğü ve alaşımın deformasyon sertleşmesi göstererek daha az hacim kaybına uğradığı şeklinde yer almaktadır [18-21]. Bunun yanında Numune-4’ün sürtünme katsayısı en yüksek değere sahip olmasına karşın en büyük

Çizelge 7.1 : Numunelerin 25 °C ve 400 °C sıcaklıkta aşınma testi sonucu sürtünme katsayısı ortalama değerleri ve hacim kaybı değerleri.

	Sürtünme Katsayısı (μ) (25°C)	Sürtünme Katsayısı (μ) (400 °C)	Hacim Kaybı (mm³) (25°C)	Hacim Kaybı (mm³) (400 °C)
Numune-2	0.787	0.670	0.257853	0.134484
Numune-3	1.012	0.620	0.695417	0.058099
Numune-4	1.055	0.683	0.298145	0.103629

hacim kaybı Numune-3'te gerçekleşmiştir. Numune-3 ve Numune-4 sürtünme katsayısı değerleri birbirine yakın olmasına karşın hacim kayıpları arasında önemli bir fark olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun Numune-4'ün yüzeyinde aşınma esnasında Numune-3'e nazaran daha yoğun ve koruyucu oksit tabakası oluşumuyla açıklanabilir (Şekil 7.14).

Aşınma testi sonucunda sürtünme katsayısı değerleri ve hacim kaybı miktarları göz önünde bulundurulduğunda 25 °C düşük sıcaklık şartlarında aşınmaya karşı en başarılı kaynak metalinin Numune-2 olduğu görülmektedir. Hacim kaybı miktarının diğer iki numuneye göre düşük olması düşük sıcaklık uygulamalarında kaynak metali olarak seçilmesi durumunu kuvvetlendirmektedir, ancak Numune-4 ile aralarındaki hacim kaybı farkının yakın olması farklı uygulama şartlarında sıralamanın değişebileceği yorumunu getirmektedir.

400 °C sıcaklık aşınma testi sonucunda Numune-3'ün sürtünme katsayısı en düşük çıkmıştır ve hacim kaybı açısından değerlendirildiğinde en az kayba uğramıştır. Co içeren Fe bazlı alaşımlarda yüksek sıcaklıkta Co içeriği sayesinde, oluşan oksit filmleri daha kararlıdır. Böyle bir davranış literatürde Fe bazlı alaşımlarda Co içeriği sebebiyle yüksek sıcaklıkta yüzeyde oluşan Co oksit filmlerinin sürtünme katsayısının düşmesine destek olmasının yanında yüzeyde kayganlık ve yüksek sıcaklıkta aşınmaya karşı yüksek direnç sağlamaları şeklinde açıklanmıştır [22].

Bunun yanında Numune-4'ün sürtünme katsayısı en yüksek değere sahip olmasına karşın en büyük hacim kaybı Numune-2'de gerçekleşmiştir.

Aşınma testi sonucunda sürtünme katsayısı değerleri ve hacim kaybı miktarları göz önünde bulundurulduğunda 400 °C yüksek sıcaklık şartlarında aşınmaya karşı en başarılı kaynak metalinin Numune-3 olduğu görülmektedir. Hacim kaybı miktarının diğer iki numuneye göre çok daha düşük olması yüksek sıcaklık uygulamalarında kaynak metali olarak seçilmesi durumunu kuvvetlendirmektedir.

Yüksek ve düşük sıcaklık aşınma testleri sonuçlarını incelediğimizde sıcaklık artışı ile birlikte her üç numunede de sürtünme katsayılarında düşüş gerçekleşmiştir. Literatürde sürtünme katsayısı ile test sıcaklığı arasında önemli bir ilişki olduğu ve sıcaklık artışıyla birlikte sürtünme katsayısının azaldığı rapor edilmiştir [23]. Sürtünme katsayısındaki düşüş hacim kaybı ile orantılıdır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte sürtünme etkisiyle oksit tabakası oluşurken tribo temas yüzeyinde aşınma mekanizması oksidatif aşınmaya dönüşmektedir. Yüksek sıcaklıkla birlikte oluşan oksit tabakaları doğrudan sürtünme temasını önleyerek adhesiv aşınmayı azaltır [21, 23-26]. Sürtünme katsayısındaki en büyük düşüş Numune-3'te gerçekleşmiş ve bu karşılaştırmada 400 °C sıcaklıkta en yüksek performansı gösteren kaynak metali olmuştur.

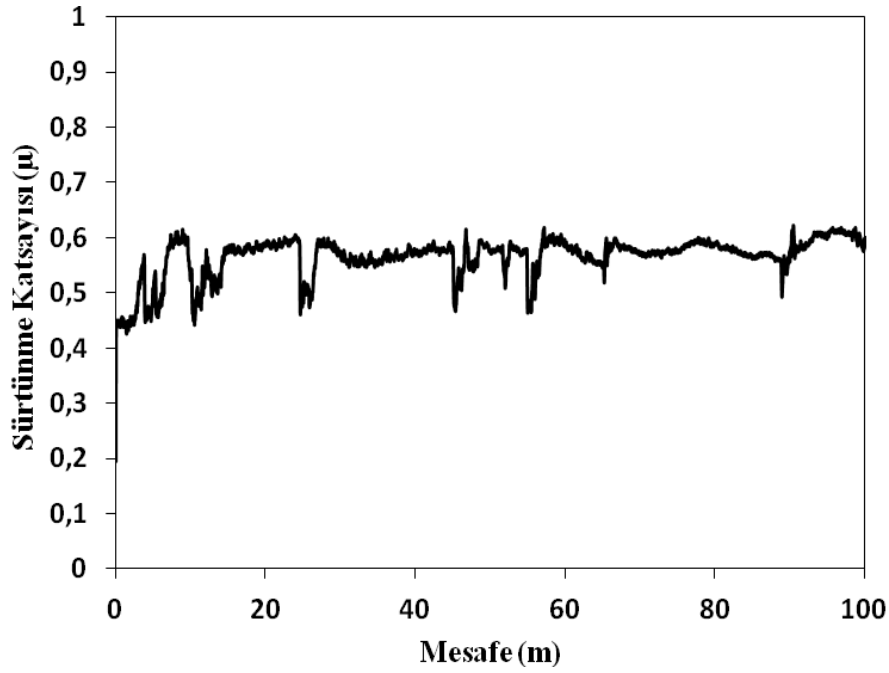
7.3.2 Karşıt hareketli aşınma testleri

Loop röleleri için Numune-1 ve Numune-3 karşıt hareketli (reciprocating) aşınma testinde 25 °C'de incelenmiştir. Tribotechnic marka karşıt hareketli aşınma cihazında 3 N yük altında, yağlayıcısız ortamda aşınma deneyi yapılmıştır. Mesafe olarak 100 metrelik yol, 5 milimetrelik bir güzergahta ileri geri hareketle 10 mm/sn hızında alınmıştır. Aşındırıcı yüzey olarak ise 6 mm çapında alumina bilya ve 6 mm çapında elik bilya kullanılmıştır. Deney sonucunda farklı kaynak alaşım numunelerinin sürtünme katsayıları elde edilmiş ve aşınma izleri profilometre cihazında incelenmiştir.

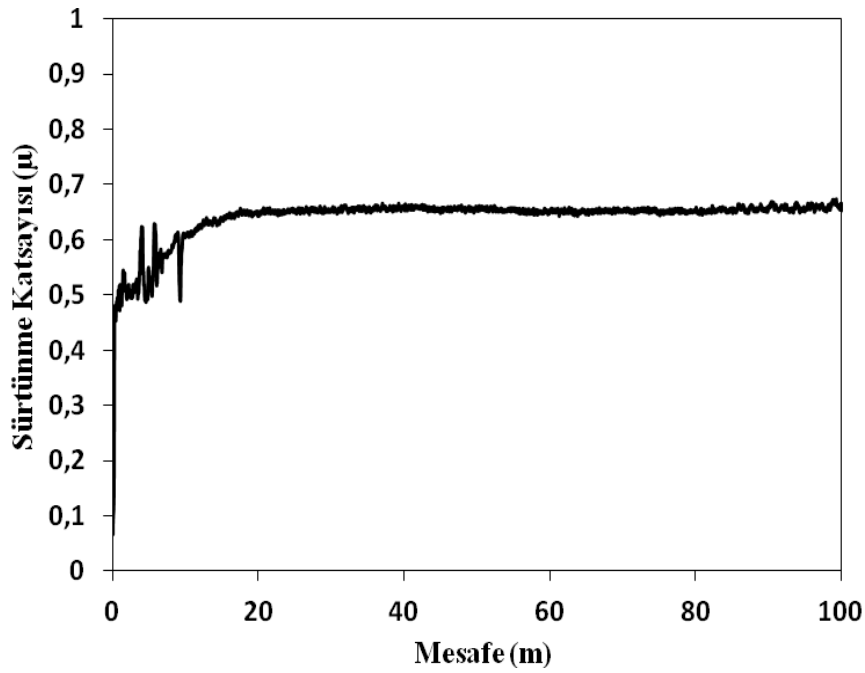
7.3.2.1 Co-30Cr-8W-1.8C kaplamaya ait aşınma test sonuçları

Numune-1'e ait alümina ve elik bilya aşındırıcı ile yapılan aşınma testi sürtünme katsayısı grafikleri şekil 7.18'de, aşınma testi profilleri şekil 7.19'da sırasıyla

verilmiştir. Şekil 7.20’de ise aşınma deneyleri sonucunda kaplama yüzeyinde ve bilyalarda oluşan aşınma yüzeyleri görülmektedir.

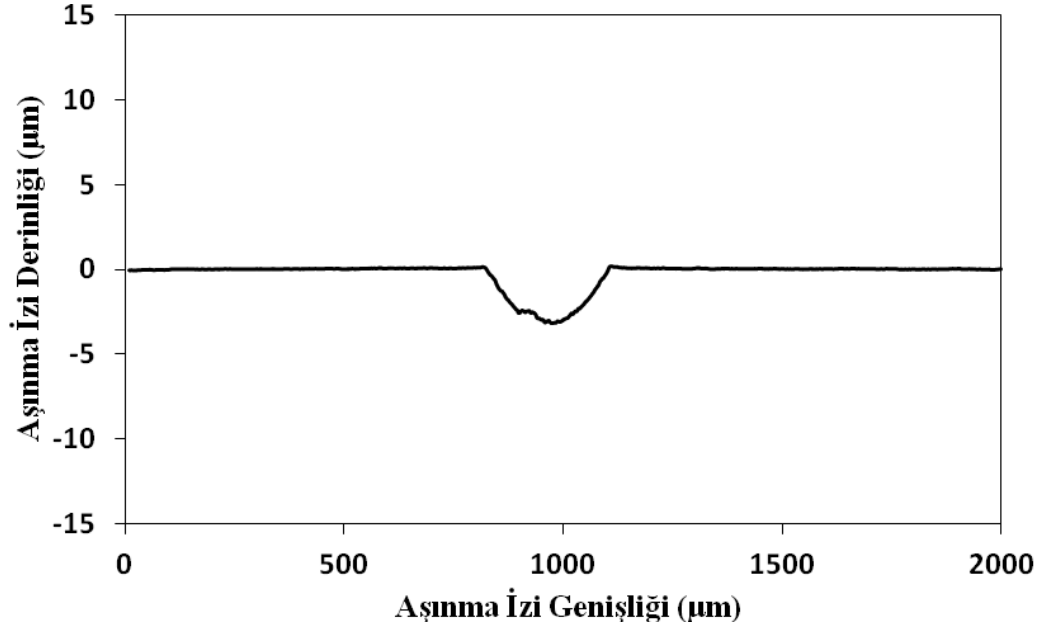


(a)

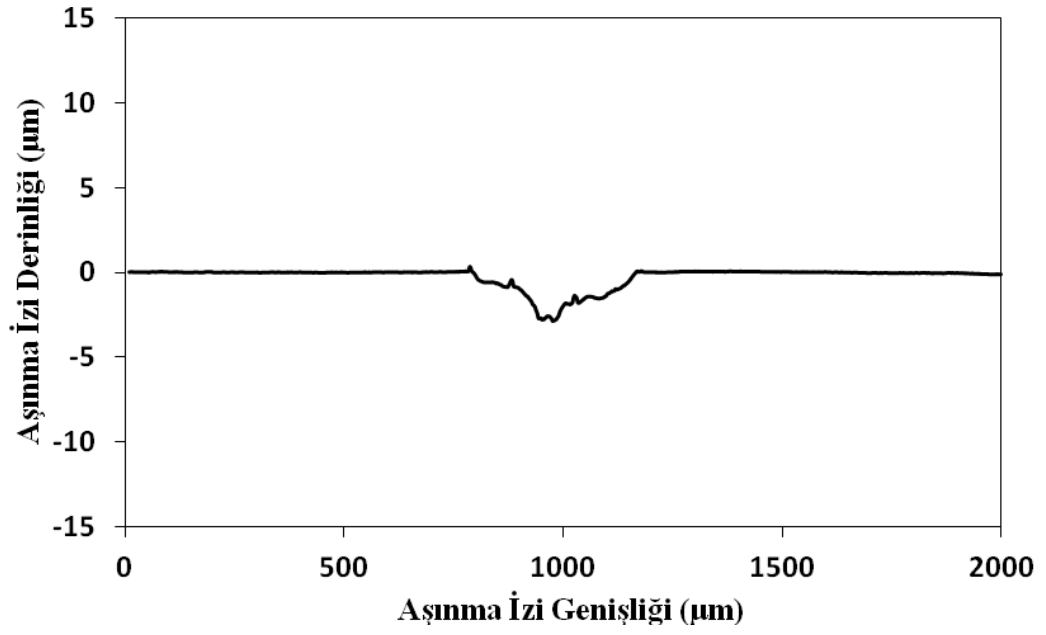


(b)

Şekil 7.18 : Numune-1 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile ölçülen sürtünme katsayısı.

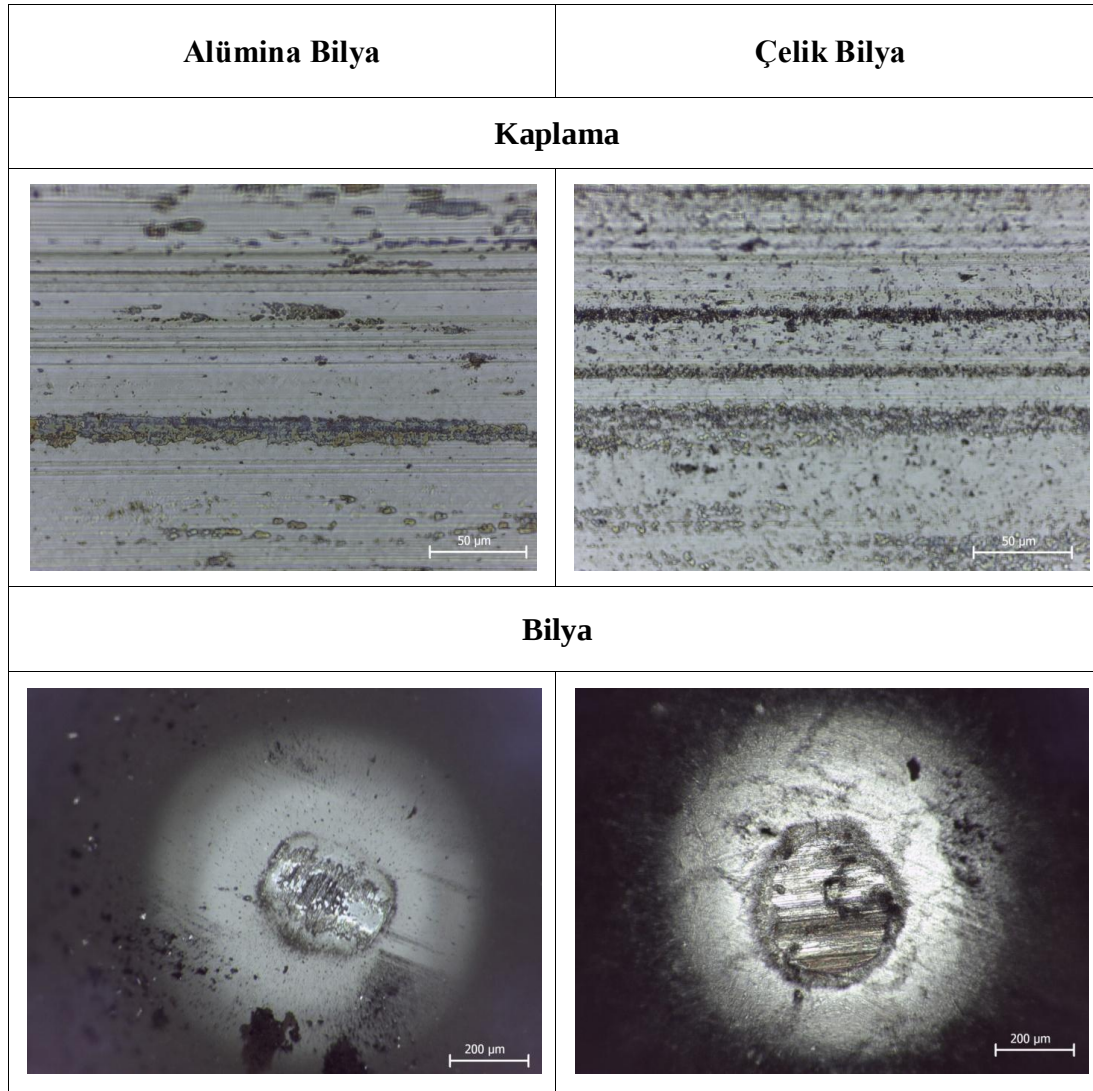


(a)



(b)

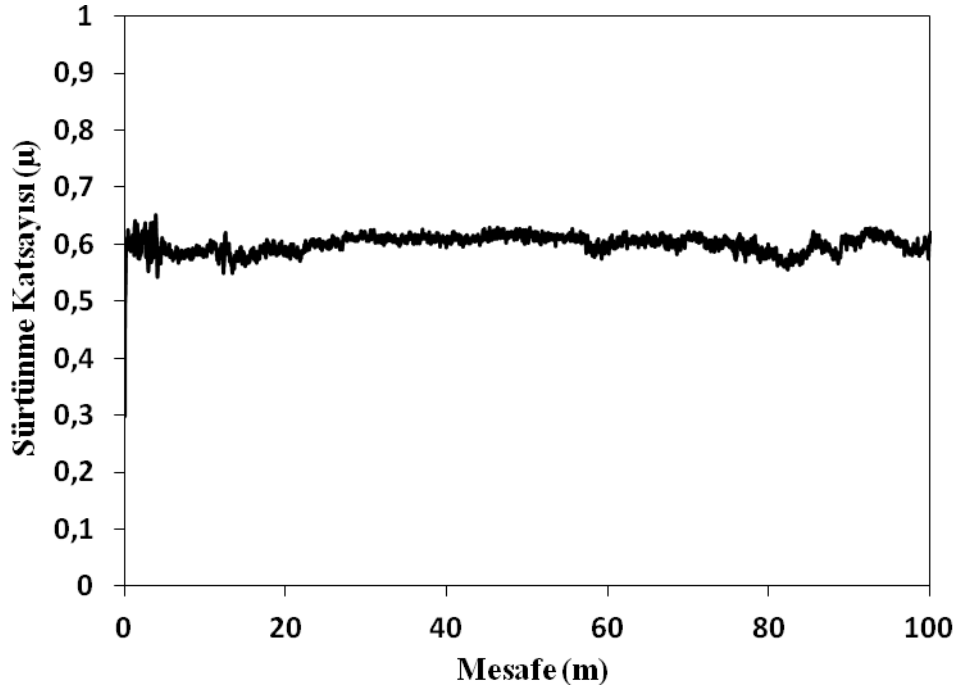
Şekil 7.19 : Numune-1 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile yapılmış aşınma testi profilleri.



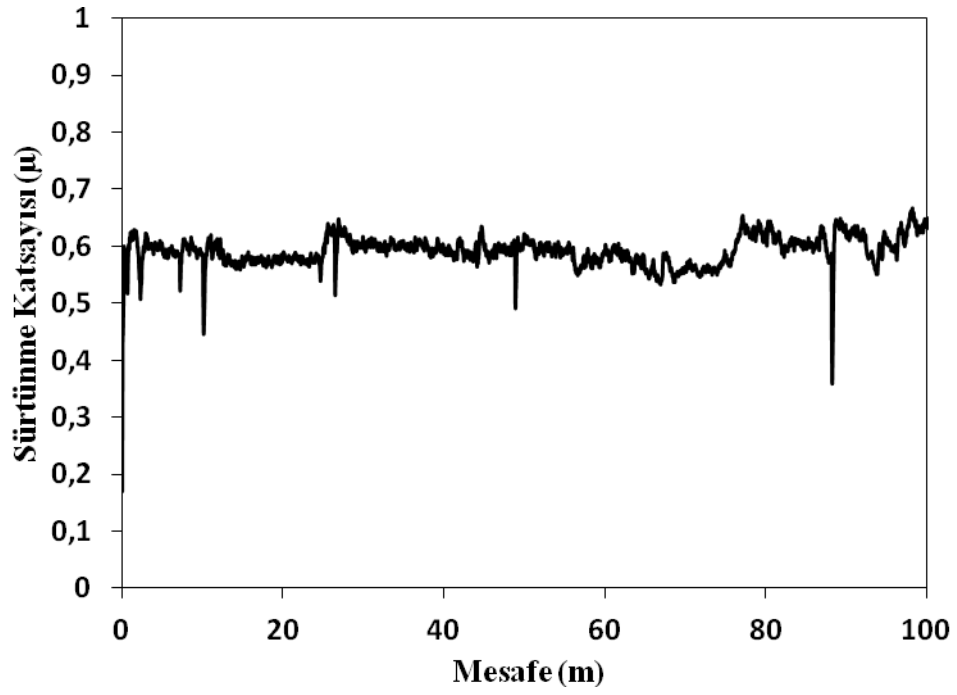
Şekil 7.20 : Numune-1/alümina bilya ve Numune-1/çelik bilya tribo çiftlerine ait aşınma yüzey fotoğrafları.

7.3.2.2 Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo kaplamaya ait aşınma test sonuçları

Numune-3'e ait alümina ve çelik bilya aşındırıcı ile yapılan aşınma testi sürtünme katsayısı grafikleri Şekil 7.21'de, aşınma testi profilleri Şekil 7.22'de sırasıyla verilmiştir. Şekil 7.23'te ise aşınma deneyleri sonucunda kaplama yüzeyinde ve bilyalarda oluşan aşınma yüzeyleri görülmektedir.

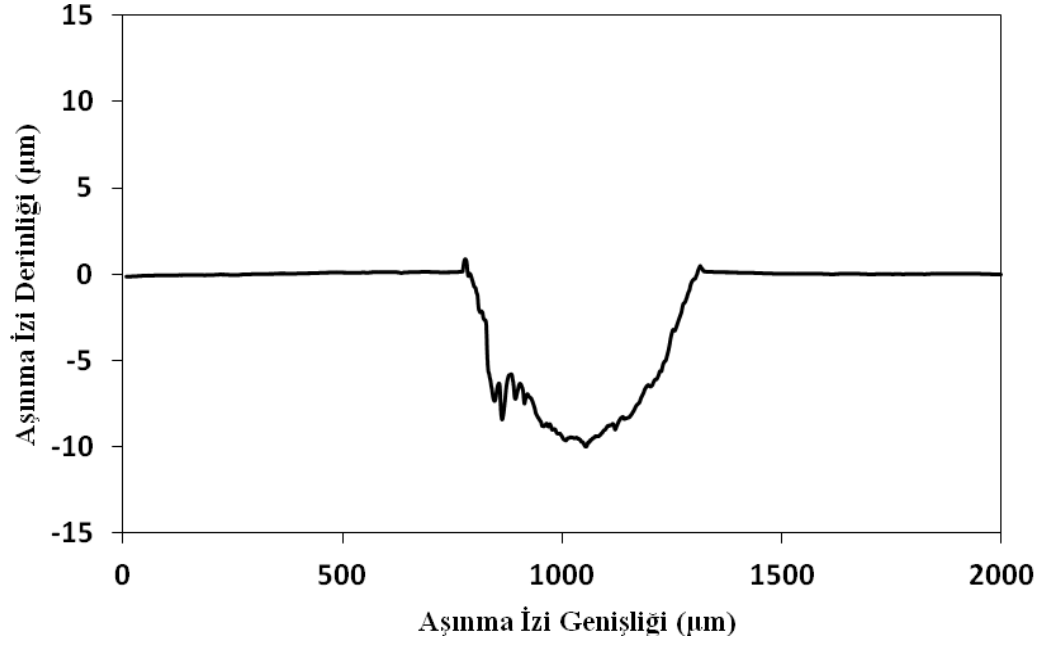


(a)

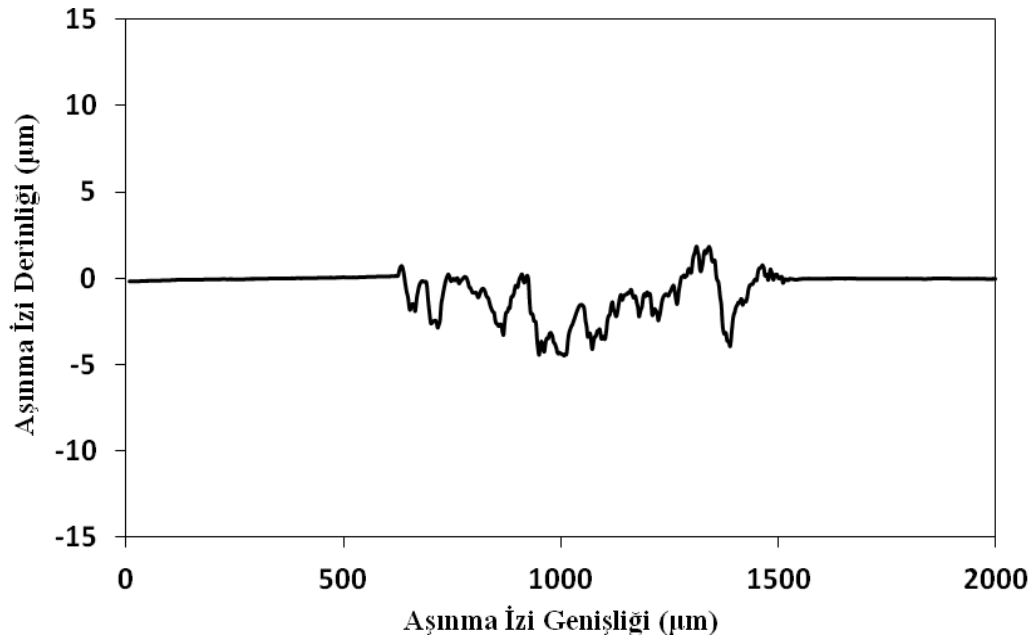


(b)

Şekil 7.21 : Numune-3 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile ölçülen sürtünme katsayısı.

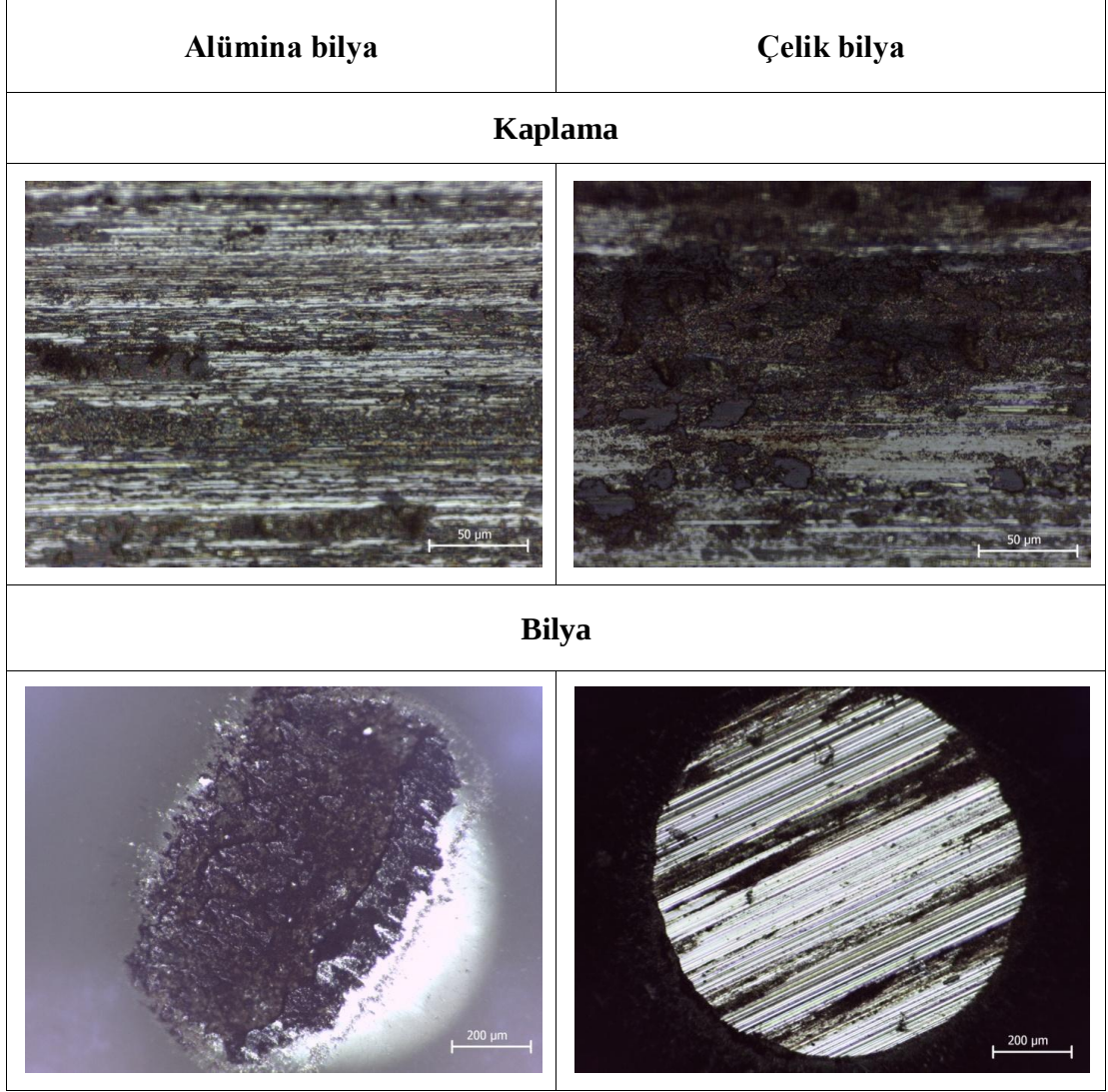


(a)



(b)

Şekil 7.22 : Numune-3 25 °C sıcaklıkta (a) alümina bilya ve (b) çelik bilya ile yapılmış aşınma testi profilleri.



Şekil 7.23 : Numune-3/alümina bilya ve Numune-3/çelik bilya tribo çiftlerine ait aşınma yüzey fotoğrafları.

7.3.2.3 Değerlendirme

25 °C’de alümina ve çelik bilyalarla gerçekleştirilen aşınma testi sonucu bulunan sürtünme katsayısı değerleri ve hacim kaybı miktarları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Karşıt hareketli aşınma testleri sonucunda alümina bilya ile yapılan testte Numune-1’in sürtünme katsayısı Numune-3’e göre düşük çıkmıştır, ancak çelik bilya ile yapılan testte bu sonucun tersine Numune-3’ün sürtünme katsayısı Numune-1’e göre daha düşüktür. Her iki testte de sürtünme katsayılarını değerlendirildiğinde alümina bilyadan çelik bilya aşındırıcıya geçildiğinde Numune-3’ün sürtünme katsayısı değerinde çok az bir yükselme olurken Numune-1’in sürtünme katsayısında diğer numuneye göre önemli bir artış gözlemlenmektedir.

Çizelge 7.2 : Numunelerin alümina ve çelik bilya ile aşınma testi sonucu sürtünme katsayısı ve hacim kaybı değerleri.

	Sürtünme Katsayısı (μ) (alümina bilya)	Sürtünme Katsayısı (μ) (çelik bilya)	Hacim Kaybı (mm^3) (alümina bilya)	Hacim Kaybı (mm^3) (çelik bilya)
Numune-1	0.566	0.641	3.8×10^{-3}	3.7×10^{-3}
Numune-3	0.599	0.592	20.4×10^{-3}	7.6×10^{-3}

Hacim kaybı açısından değerlendirildiğinde her iki aşındırıcı ile yapılan testlerin sonucunda da Co bazlı Numune-1, Numune-3'e göre daha az hacim kaybına uğramıştır. Saf Co'ta 417 °C sıcaklığın üzerinde ergime sıcaklığına kadar hacim merkez kübik yapı stabil, ancak 417 °C sıcaklık altında hacim merkez kübik yapı hegzagonal sıkı paket yapıya dönüşmektedir. Ancak Co alaşımlarında içerdiği elementlerden dolayı (Ni, Fe) 417 °C sıcaklık altında hacim merkez kübik yapı ve hegzagonal sıkı paket yapı kombinasyonu bir arada bulunmaktadır. Düşük sıcaklıkta bu kombinasyon içerisinde bulunan hacim merkez kübik yapı yük altında hegzagonal sıkı paket yapıya dönüşmektedir. Bu dönüşüm ile birlikte aşınma direnci artmaktadır [27].

Numuneleri kendi içlerinde değerlendirdiğimizde, Numune-1'in alümina ve çelik aşındırıcı ile yapılan aşınma testlerinde önemli bir hacim kaybı farkı gözlemlenmezken, Numune-3'te çelik aşındırıcıyla yapılan aşınma testine göre alümina aşındırıcıyla yapılan aşınma testinde önemli bir artışla daha fazla hacim kaybı gözlemlenmektedir. Ancak Numune-3'ün çelik bilya ile yapılan aşınma testi profil sonucu (Şekil 7.22) ve Numune-3/çelik bilya tribo çift fotoğrafları (Şekil 7.23) incelendiğinde aşınma yüzeyinde numune ve bilya yüzeyinden aşınan partiküllerin yüzeye mikro kaynaklarla yapışmış olduğu tespit edilmiştir.

Karşıt hareketli aşınma testi sonucunda sürtünme katsayısı değerleri ve hacim kaybı miktarları göz önünde bulundurulduğunda 25 °C düşük sıcaklık şartlarında aşınmaya karşı Numune-1 kaynak metalinin daha başarılı olduğu görülmektedir.

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada demir çelik fabrikaları sürekli döküm röleleri ve loop röleleri aşınma davranışları göz önünde bulundurularak farklı dört kaynak metalinin yüksek (400 °C) ve düşük (25 °C) sıcaklık aşınma dayanımları incelenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- 400 °C sıcaklık çalışma şartlarında Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo kaplama (Numune-3), Fe-15Mn-13Cr-0.45C (Numune-2) ve Fe-17Cr-4Ni-1Mo (Numune-4) kaplamalarına nazaran daha yüksek aşınma dayanımı sergilemiştir. Demir çelik tesislerinde kullanılan sürekli döküm rölelerinin aşınma direncini arttırmak için bu kaplamalar uygulanmış ve bu tez çalışmasındaki bulgularla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- 25 °C oda sıcaklığı çalışma şartlarında Co bazlı Co-30Cr-8W-1.8C kaplama (Numune-1), Fe-13.2Co-13.1Cr-2.53Mo kaplama (Numune-3) ile kıyaslandığında daha yüksek aşınma direnci elde edilmiştir. Demir çelik tesislerinde kullanılan loop rölelerine aşınma direncini arttırmak için bu iki kaplama uygulanmış ve bu tez çalışmasındaki bulgularla uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **T.C Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı** (2013). Demir çelik sektörü raporu (2013/1), *Sanayi Genel Müdürlüğü, Sektörel raporlar ve analizler serisi*.
- [2] **Sarıkaya, S.**, (2010). Demir çelik sanayi sektör raporu, *DAKA Doğu Anadolu Kalkınma Ajansı*, Van.
- [3] **Ülegin F., Önsel Ş., Çekyay B., Özaydın Ö., Aktaş E., Kabak Ö.**, (2011). Demir çelik sektörü rekabet gücü raporu, sektörel rekabet gücü raporlar dizisi, *TÜSİAD-Sabancı Üniversitesi Rekabet Forumu REF, Sektörel Dernekler Federasyonu SEDEFED*, İstanbul.
- [4] **Url- 1** < <http://www.dcu.org.tr/public/gallery/19.jpg> >, alındığı tarih: 05.03.2014.
- [5] **Demir A.**, (2013). Demir-çelik üretim metalurjisi (ders notları), *Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi*, Sakarya.
- [6] **Erişir E.**, (2013). Plastik şekillendirme yöntemleri (ders notları), *Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi*, Kocaeli.
- [7] **Çimenoglu H.**, (2005). Plastik şekil verme yöntemleri (ders notları), *Kimya-Metalurji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi*, İstanbul.
- [8] **Url- 2** < <http://en.wikipedia.org/wiki/Steel> >, alındığı tarih: 01.03.2014.
- [9] **Rabinowicz E.**, (1995). Friction and wear of materials, *John Wiley and Sons*, New York.
- [10] **Stachowiak G.W., Batchelor A.W.**, (2005). Engineering tribology, *Elsevier Butterworth-Heinemann*, Burlington.
- [11] **Gümüş A., Baydoğan B., Çimenoglu H., Kayalı E.S.**, (2003). Yassı mamül üreten bir entegre demir-çelik fabrikasında aşınma, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası II. Demir Çelik Sempozyum Bildirileri/06*, Ankara.
- [12] **Kotecki D.J., Ogborn J.S.**, (1995). Abrasion resistance of iron-based hardfacing alloys, *Welding Journal*, Vol 74, No-8, 269-278, Ohio, USA.
- [13] **Akkurt M.**, (2005). Makina elemanları cilt: 2, bölüm-17, 1-3, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi*, İstanbul.
- [14] **Kotecki D.**, (1992). Harding benefits maintenance and repair welding, *Welding Journal, Abstract Vol.71, No:11, American Welding Society*, USA.

- [15] **Anık S.**, (1983). Kaynak tekniği el kitabı- yöntemler ve donanımlar, *Ergör Matbaası*, İstanbul.
- [16] **IIW Com. II, Sub-Com-IIE**, a classification system for hardfacing alloys, *Fe-Based Alloys, II-1303-96 (IIE-221-96)*, 4. Draft, Part-1.
- [17] **Oğuz B.**, (1993). Aşınma sorunları ve dolgu kaynakları, *Oerlikon Yayınları*, İstanbul.
- [18] **Hua M., Wei X., Li J.**, (2008). Friction and wear behaviour of SUS 304 austenitic stainless steel against Al₂O₃ ceramic ball under relative high load, *School of Material Science and Engineering, Shanghai University, USA*.
- [19] **Kim J., Kim G., Kim S.**, (2000). The effect of manganese on the strain-induced martensitic transformation and high temperature wear resistance of Fe-20Cr-1C-1Si hardfacing alloy, *Division Of Materials Science and Engineering, Hanyang University, South Korea*.
- [20] **Scholl M., Devanatan R., Clayton P.**, (1999). Abresive and dry sliding wear resistance of Fe-Mo-Ni-Si and Fe-Mo-Ni-Si-C weld hardfacing alloys, *Origin Graduate Center, USA*.
- [21] **Kim J., Kim S.**, (1999). The temperature dependence of the wear resistance of iron-base NOREM 0.2 hardfacing alloy, *Department of Materials Engineering, South Korea*.
- [22] **Aoh J., Chen J.**, (2001). On the wear characteristics of cobalt-based hardfacing layer after thermal fatigue and oxidation, *Department of Mechanical Engineering, National Chung Cheng University, Minhsiung, Taiwan*.
- [23] **Pearson S. R., Shipway P. H., Abere J. O., Hewitt R. A. A.**, (2013). The effect of temperature on wear and friction of a high strength steel in fretting, *Division of Materials, Mechanics and Structures and University Technology Center in Gas Turbine Transmission Systems, The Faculty of Engineering, University of Nottingham, UK*.
- [24] **Fontalvo G. A., Mitterer C.**, (2004). The effect of oxide-forming alloying elements on the high temperature wear of a hot work steel, *Department of Physical Metallurgy and Materials Testing, University of Leoben, Austria*.
- [25] **Blau P. J.**, (2010). Elevated-temperature tribology of metallic materials, *Materials Science and Technology Division, Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA*.
- [26] **Stott F. H.**, (1998). The role of oxidation in the wear of alloys, *Tribology International, Vol.31, No:1-3, 61-71, UK*.
- [27] **Kashani H., Amadeh A., Ohadizadeh A.**, (2006). Effect of temperature on the strain induced $\gamma \rightarrow \epsilon$ phase transformation in stellite 21 during wear test, *School of Metallurgy and Materials Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, İran*.

EKLER

EK A: Sürekli döküm röleleri sanayi uygulamaları ve sonuçları.

EK B: Loop röleleri sanayi uygulamaları ve sonuçları.

EK A

Bu bölümde bir demir çelik fabrikasında sürekli döküm rölelerinde karşılaşılan aşınma problemini çözmeye yönelik olarak çalışmakta olduğum firmanın imkanlarıyla yaptığım endüstriyel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

A.1 Aşınan Sürekli Döküm Rölelerinde Kaynaklı Tamir

Sürekli döküm röleleri sürekli döküm makinesinden çıkan kütüklerin belirlenen hızla birlikte kesme sistemine ve platforma doğru iletilmesi için çalışan ve aynı zamanda sisteme kütüğün doğrusal bir şekilde iletimini sağlayan tahrikli rölelerdir.

Bu bölümde iş parçası-1, iş parçası-2 ve iş parçası-3 rölelerinde uygulanan farklı kaynaklı tamir yöntemlerinin çalışma süresi-aşınma boyutu yönünden incelenmesi ve gözlemlerle değerlendirilmesi anlatılmıştır.

A.1.1 Sürekli döküm rölesi aşınmasında birinci çalışma

İş Parçası-1 : Röle

Ana Malzeme : AISI / SAE 4140 ıslah çeliği

Makine : Sürekli Döküm Çekme-Doğrultma Röle Sistemi

Boyutlar : $D_{Dış} = 320$ mm, $D_{İç} = 270$ mm, $L = 350$ mm

Ağırlık : 83 kg

Tamir Yöntemi : Kaplama

Aşınma Mekanizması: Değişken yük altında ve yüksek sıcaklıkta metal-metale sürtünmedir ve çalışma sıcaklığı 400-430 °C'dir.

Yukarıda rölenin fiziksel özellikleri, çalışma ortamındaki mevcut olumsuz koşullar ve yapacağımız tamir yöntemi belirtilmiştir.

Problem; Değişken yük altında ve yüksek sıcaklıkta malzemenin üzerinden geçmesi sonucunda röleler aşınmakta ve çapta 4 mm aşınmadan sonra sistem sağlıklı çalışmadığı için röleler değiştirilmek zorunda kalınmaktadır.

Çözüm; Röle yüzeyinden kenarlarda 45° açı bırakılarak 4 mm talaş kaldırılmıştır. Daha sonra yüzeyde çatlak olup olmadığına karar vermek için penetrant ile tahribatsız muayene yapılmıştır. Kaynak işleminin daha verimli gerçekleşmesi için

malzemenin karbon eş değerine göre tav sıcaklığını tayin edilip, 250-300  C civarına kadar tav verilmiştir. Daha sonra DIN 8555: MF 7-250-KNP standardında Castolin 3205 zl teli ile rleyle pozisyonler üzerinde otomatik olarak yaklaşık 6-7 mm dolgu yapılmıştır. Kontrollü ve yavaş soğutma sağlamak amacıyla kaynak işlemi bittikten sonra röle cam yn ile sarılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma tamamlandıktan sonra röle torna tezgâhına bağlanarak yüzey nihai ölçüye tornalanmıştır.



şekil A.1 : Pozisyonlerde kaynak işlemi yapılırken bir görüntü.



şekil A.2 : Kaynak ve kontrollü soğutma işlemi bittikten sonraki yüzey görüntüsüdür.



Şekil A.3 : Tornalama işlemi yapılırken bir görüntü.

Sonuç; Bu uygulamada kullandığımız ürün; Çekme dayanımı= 75-80 kg/mm², akma dayanımı= 48-50 kg/mm², uzama= %25 (l=5d), çentik darbe dayanımı 70J (20 °C)-50J (-240°C), kaynak sonrası sertliği= 280-330 HB₃₀, deformasyon sonrası sertliği= 400-450 HB₃₀, %12 Cr, %15 Mn içeren krom-manganlı yapıdaki 3205 özlü telidir. Sistemde çalışan rölenin çalıştığı yolda 135.000 ton üretimi tamamlandıktan sonra çıkarılması gerektiği saptanmış ve çap ölçüsünde 4 mm aşınma olduğu tespit edilmiştir. Fabrikada yeni bir röle yaklaşık 3.000 TL'ye mal olurken yaptığımız çözüm 1.350 TL ek maliyet getirmiştir. Bunun yanında röle kaplama yapılmadan 45.000-50.000 ton çalışırken, kaplamadan sonra 135.000 ton çalışması ömür- maliyet analizinde 4.650 TL kazanç sağlamış ve bunun yanında da iki kez duruş maliyetleri ve değiştirme işçiliği bakımından avantaj sağlamıştır.

A.1.2 Sürekli döküm rölesi aşınmasında ikinci çalışma

İş Parçası-2	: Röle
Ana Malzeme	: AISI / SAE 4140 ıslah çeliği
Makine	: Sürekli Döküm Çekme-Doğrultma Röle Sistemi
Boyutlar	: D _{Dış} = 350 mm, D _{İç} =325 mm, L=450 mm.
Ağırlık	: 74 kg
Tamir Yöntemi	: Kaplama

Aşınma Mekanizması: Değişken yük altında ve yüksek sıcaklıkta metal-metale sürtünmedir ve çalışma sıcaklığı 400-430 °C'dir.

Yukarıda rölenin fiziksel özellikleri, çalışma ortamındaki mevcut olumsuz koşullar ve yapacağımız tamir yöntemi belirtilmiştir.

Problem; Değişken yük altında ve yüksek sıcaklıkta malzemenin üzerinden geçmesi sonucunda röleler aşınmakta ve çapta 4 mm aşınmadan sonra sistem sağlıklı çalışmadığı için röleler değiştirilmek zorunda kalınmaktadır.

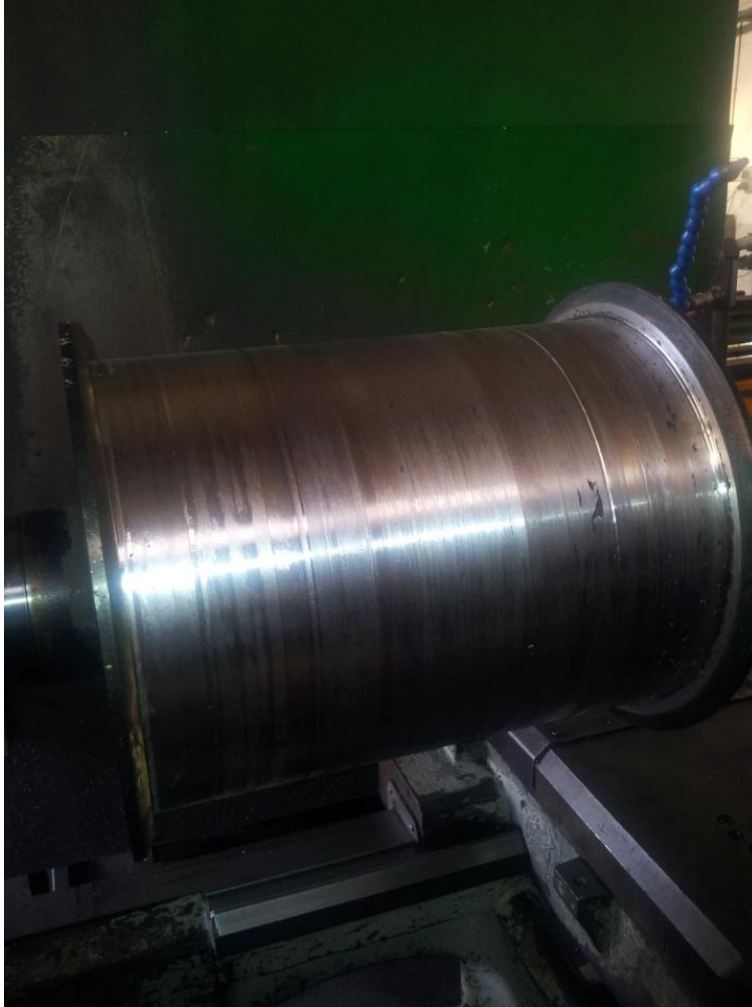
Çözüm; Röle yüzeyinden kenarlarda 45° açı bırakılarak 4 mm talaş kaldırılmıştır. Daha sonra yüzeyde çatlak olup olmadığına karar vermek için penetrant ile tahribatsız muayene yapılmıştır. Kaynak işleminin daha verimli gerçekleşmesi için malzemenin karbon eş değerine göre tav sıcaklığını tayin edilip, 250-300 °C civarına kadar tav verilmiştir. Daha sonra DIN 8555: MF 5-40-CPT standardında Castolin 4536 özlü teli ile röleye pozisyonier üzerinde otomatik olarak yaklaşık 6-7 mm dolgu yapılmıştır. Kontrollü ve yavaş soğutma sağlamak amacıyla kaynak işlemi bittikten sonra röle cam yünü ile sarılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma tamamlandıktan sonra röle torna tezgâhına bağlanarak yüzey nihai ölçüye tornalanmıştır.



Şekil A.4 : Pozisyonierde kaynak işlemi yapılırken bir görüntü.



Şekil A.5 : Kaynak ve kontrollü soğutma işlemi bittikten sonraki yüzey görüntüsü.



Şekil A.6 : Tornalama işlemi bittikten sonraki görüntü.

Sonuç; Bu uygulamada kullandığımız ürün sertliği 42 HRc ve DIN 8555: MF 5-40-CPT standardında olan Castolin 4536 özlü telidir. Sistemde çalışan rölenin çalıştığı yolda 195.000 ton üretimi tamamlandıktan sonra çıkarılması gerektiği saptanmış ve çap ölçüsünde 4 mm aşınma olduğu tespit edilmiştir. Fabrikada yeni bir röle yaklaşık 3.000 TL'ye mal olurken yaptığımız çözüm 1.500 TL ek maliyet getirmiştir. Bunun yanında röle kaplama yapılmadan 45.000-50.000 ton çalışırken, kaplamadan sonra 195.000 ton çalışması ömür- maliyet analizinde 11.500 TL kazanç sağlamış ve bunun yanında da dört kez duruş maliyetleri ve değiştirme işçiliği bakımından avantaj sağlamıştır.

A.1.3 Sürekli döküm rölesi aşınmasında üçüncü çalışma

İş Parçası-3	: Röle
Ana Malzeme	: AISI / SAE 4140 ıslah çeliği
Makine	: Sürekli Döküm Çekme-Doğrultma Röle Sistemi
Boyutlar	: $D_{Dış} = 410$ mm, $D_{İç} = 385$ mm, $L = 450$ mm
Ağırlık	: 80 kg
Tamir Yöntemi	: Kaplama

Aşınma Mekanizması: Değişken yük altında ve yüksek sıcaklıkta metal-metale sürtünmedir ve çalışma sıcaklığı 400-430 °C'dir.

Yukarıda rölenin fiziksel özellikleri, çalışma ortamındaki mevcut olumsuz koşullar ve yapacağımız tamir yöntemi belirtilmiştir.

Problem; Değişken yük altında ve yüksek sıcaklıkta malzemenin üzerinden geçmesi sonucunda röleler aşınmakta ve çapta 4 mm aşınmadan sonra sistem sağlıklı çalışmadığı için röleler değiştirilmek zorunda kalınmaktadır.

Çözüm; Röle yüzeyinden kenarlarda 45° açı bırakılarak 4 mm. talaş kaldırılmıştır. Daha sonra yüzeyde çatlak olup olmadığına karar vermek için penetrant ile tahribatsız muayene yapılmıştır. Kaynak işleminin daha verimli gerçekleşmesi için malzemenin karbon eş değerine göre tav sıcaklığını tayin edilip, 250-300 °C civarına kadar tav verilmiştir. Daha sonra DIN 8555: MF 3-50-CKTZ standardında Castolin DO-04 özlü teli ile röleye pozisyonier üzerinde otomatik olarak yaklaşık 6-7 mm dolgu yapılmıştır. Kontrollü ve yavaş soğutma sağlamak amacıyla kaynak işlemi

bittikten sonra röle cam yünü ile sarılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma tamamlandıktan sonra röle torna tezgâhına bağlanarak yüzey nihai ölçüye tornalanmıştır.



Şekil A.7 : Pozisyonerde kaynak işlemi yapılırken görüntü.



Şekil A.8 : Kaynak ve kaba yüzey temizleme işleminden sonraki görüntü.



Şekil A.9 : Yüzey işleme bittikten sonra ölçü kontrolü yapılırken görüntü

Sonuç; Bu uygulamada kullandığımız ürün; kaynak sonrası sertliği=48-51 HRc, çalışma sonrası sertliği=52-54 HRc olan Castolin DO-04 özlü telidir. Sistemde çalışan rölenin çalıştığı yolda 400.000 ton üretimi tamamlandıktan sonra çıkarılması gerektiği saptanmış ve çap ölçüsünde 4 mm aşınma olduğu tespit edilmiştir. Fabrikada yeni bir röle yaklaşık 3.000 TL'ye mal olurken yaptığımız çözüm 4.050 TL maliyet getirmiştir. Bunun yanında röle kaplama yapılmadan 45.000 ton çalışırken, kaplamadan sonra 400.000 ton çalışması ömür- maliyet analizinde 22.600 TL kazanç sağlamış ve bunun yanında da sekiz kez duruş maliyetleri ve değiştirme işçiliği bakımından avantaj sağlamıştır.

EK B

Bu bölümde bir demir çelik fabrikasında loop rölelerinde karşılaşılan aşınma problemini çözmeye yönelik olarak çalışmakta olduğum firmanın imkanlarıyla yaptığım endüstriyel çalışmaların sonuçları verilmiştir.

B.1 Aşınan Loop Rölelerinde Kaynaklı Tamir

Haddehanede kütüğün kalıplardan geçerek kesitinin küçülmesiyle birlikte boyunda uzama meydana gelir. Bu uzama farklı tezgâhlara geçişlerde meydana gelirken, iletim hızının mamul boyuyla optimize edilmesi gerekir. Meydana gelen bu uzama farkını optimizasyonu uzun mamulün gerdirilmesini ve boşluğunun alınmasını sağlayan loop sistemiyle gerçekleştirilir. Bu hareketli sistemin üzerinde mamulün iletimi hareketli loop röleleri ile sağlanmaktadır.

Bu bölümde iş parçası-1 ve iş parçası-2 rölelerinde uygulanan farklı kaynaklı tamir yöntemlerinin çalışma süresi-aşınma boyutu yönünden incelenmesi ve gözlemlerle değerlendirilmesi anlatılmıştır.

B.1.1 Loop rölesi aşınmasında birinci çalışma

İş Parçası-1	: Röle
Ana Malzeme	: AISI / SAE 1050 imalat çeliği
Makine	: Haddehane Loop Röle Sistemi
Boyutlar	: D=120 mm, L=74 mm
Ağırlık	: 6.5 kg
Tamir Yöntemi	: Kaplama

Aşınma Mekanizması: Değişken yük altında metal-metale sürtünme (çalışma sıcaklığı 75-85 °C'dir.)

Yukarıda rölenin fiziksel özellikleri, çalışma ortamındaki mevcut olumsuz koşullar ve yapacağımız tamir yöntemi belirtilmiştir.

Problem; Değişken yük altında malzemenin üzerinden geçmesi sonucunda röleler aşınmakta ve çapta 4 mm aşınmadan sonra sistem sağlıklı çalışmadığı için röleler değiştirilmek zorunda kalmaktadır.

Çözüm; Röle yüzeyinden 4 mm talaş kaldırılmıştır. Daha sonra yüzeyde çatlak olup olmadığına karar vermek için penetrant ile tahribatsız muayene yapılmıştır. Kaynak işleminin daha verimli gerçekleşmesi için malzemenin karbon eş değerine göre tav sıcaklığını tayin edilip, 250-300 °C civarına kadar tav verilmiştir. Daha sonra DIN 8555: MF 3-50-CKTZ standardında Castolin DO-04 özlü teli ile röleye yaklaşık olarak çapta 6-7 mm dolgu yapılmıştır. Kontrollü ve yavaş soğutma sağlamak amacıyla kaynak işlemi bittikten sonra röle cam yünü ile sarılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma tamamlandıktan sonra röle torna tezgâhına bağlanarak taşlama aparatı ile yüzey nihai ölçüye taşlanmıştır.



Şekil B.1 : Kaynak işlemi yapılırken bir görüntü.



Şekil B.2 : Kaynak işlemi bittikten sonraki görüntü.



Şekil B.3 : Taşlama işlemi yapılırken bir görüntü.

Sonuç; Bu uygulamada kullandığımız ürün; kaynak sonrası sertliği=48-51 HRC, çalışma sonrası sertliği= 52-54 HRC olan Castolin DO-04 özlü telidir. Sistemde çalışan rölenin çalıştığı yolda 210.000 ton üretimi tamamlandıktan sonra çıkarılması gerektiği saptanmış ve çap ölçüsünde 4 mm aşınma olduğu tespit edilmiştir. Fabrikada yeni bir rölenin maliyeti 180 TL iken kaynak uygulaması ile imal edilen röle 435 TL maliyete sahiptir. Bunun yanında röle kaplama yapılmadan 110.000-120.000 ton çalışırken, kaplamadan sonra 210.000 ton çalışması ömür-maliyet analizinde 120 TL fazla maliyet getirmiş ve bunun yanında da bir kez duruş maliyeti ve değiştirme işçiliği bakımından avantaj sağlamıştır.

B.1.2 Sürekli döküm rölesi aşınmasında ikinci çalışma

İş Parçası-2	: Röle
Ana Malzeme	: AISI / SAE 1050 imalat çeliği
Makine	: Haddehane Loop Röle Sistemi
Boyutlar	: D=120 mm, L=74 mm
Ağırlık	: 6.5 kg
Tamir Yöntemi	: Kaplama

Aşınma Mekanizması: Değişken yük altında metal-metale sürtünme (çalışma sıcaklığı 75-85 °C'dir.)

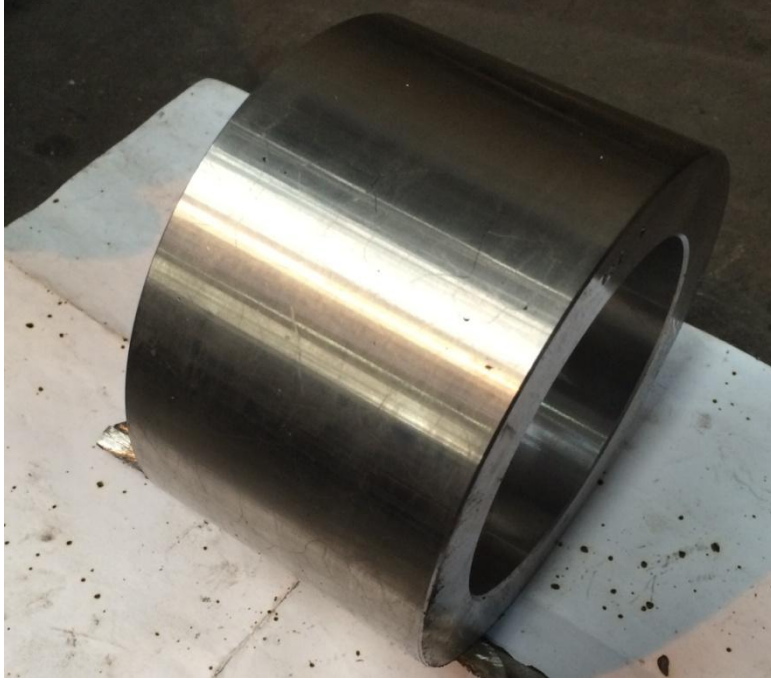
Yukarıda rölenin fiziksel özellikleri, çalışma ortamındaki mevcut olumsuz koşullar ve yapacağımız tamir yöntemi belirtilmiştir.

Problem; Değişken yük altında malzemenin üzerinden geçmesi sonucunda röleler aşınmakta ve çapta 4 mm aşınmadan sonra sistem sağlıklı çalışmadığı için röleler değiştirilmek zorunda kalınmaktadır.

Çözüm; Röle yüzeyinden 4 mm talaş kaldırılmıştır. Daha sonra yüzeyde çatlak olup olmadığına karar vermek için penetrant ile tahribatsız muayene yapılmıştır. Kaynak işleminin daha verimli gerçekleşmesi için malzemenin karbon eş değerine göre tav sıcaklığını tayin edilip, 250-300 °C civarına kadar tav verilmiştir. Daha sonra DIN 8555: MF 20-55-CRTZ standardında Castolin 9010 AN özlü teli ile röleye yaklaşık olarak çapta 6-7 mm dolgu yapılmıştır. Kontrollü ve yavaş soğutma sağlamak amacıyla kaynak işlemi bittikten sonra röle cam yünü ile sarılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma tamamlandıktan sonra röle torna tezgâhına bağlanarak taşlama aparatı ile yüzey nihai ölçüye taşlanmıştır.



Şekil B.4 : Loop rölesi çalışma görüntüsü.



Şekil B.5 : Taşlama işleminden sonra röle görüntüsü.



Şekil B.6 : Loop rölesi montaj görüntüsü.

Sonuç; Bu uygulamada kullandığımız ürün; kaynak sonrası sertliği=50-57 HRc olan Castolin 9010 AN özlü telidir. Sistemde çalışan rölenin çalıştığı yolda 430.000 ton üretimi tamamlandıktan sonra çıkarılması gerektiği saptanmış ve çap ölçüsünde 4 mm aşınma olduğu tespit edilmiştir. Fabrikada yeni bir rölenin maliyeti 180 TL iken kaynak uygulaması ile imal edilen röle 550 TL maliyete sahiptir. Bunun yanında röle kaplama yapılmadan 110.000-120.000 ton çalışırken, kaplamadan sonra 430.000 ton

alışması mr- maliyet analizinde 100 TL kazanç sağlamış ve bunun yanında da üç kez duruş maliyetleri ve değiştirme işçiliği bakımından avantaj sağlamıştır.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ertan YÖNTEM

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 13.08.1984

Adres: Fatih Cad. No:52 Özlem Apt. D:27 Bayraklı/İzmir

E-Posta: eyontem@castolin.com.tr

Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi- Metalurji ve Malzeme Mühendisliği (09.2002-06.2007)

Mesleki Deneyim ve Ödüller: Çelikel Alüminyum A.Ş.- Dökümhane Ekip Sorumlusu (01.2007-02.2008)

Castolin Kaynak San. Tic. Ltd. Şti.- Ege Bölge Sorumlusu (02.2008- Halen), Demir Çelik Müdürü (09.2012- Halen)

Castolin Eutectic World Cup- En Başarılı İlk 10 Uygulama Yarışması 2012- 7.lık ödülü