

**HADDELENMİŞ SICKAK MAMÜLDE ONLINE
YÜZEY KUSUR KONTROLÜ**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Serkan ATAMER

**HADDELENMİŞ SICAĐ MAMÜLDE ONLİNE YÜZEY
KUSUR KONTROLÜ**

Serkan ATAMER

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Ocak 2014**

Serkan ATAMER tarafından hazırlanan “HADDELENMİŞ SICAK MAMÜLDE ONLINE YÜZEY KUSUR KONTROLÜ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Durmuş KAYA

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 21/ 01/ 2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Hüseyin KURT (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Durmuş KAYA (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Serkan ATAMER

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HADDELENMİŞ SICAK MAMÜLDE ONLINE YÜZEY KUSUR KONTROLÜ

Serkan ATAMER

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Durmuş KAYA

Ocak 2014, 37 Sayfa

Bu çalışmada, hadde tezgâhlarından geçen mamuller (ray veya profil) üç boyutlu bir takım kamera ve lazerle, mamul 900 °C sıcaklık ve 4-6 m/s hızla geçerken yüzey kusur kontrolüne tabi tutulmuştur. Üç boyutlu kameralardan elde edilen veriler bilgisayara aktararak sayısal verilere ve grafiklere dönüştürülmüştür. Mamulde yüzey kusurunun belirlenmesi ve kusur derinliği grafik olarak gösterilmiştir. Haddeleme işlemi tamamlanan 900 °C ve 4-5 m/s hızdaki mamulde 0,3 mm büyük derinliklerdeki kusurlar tespit edilmiştir. Online yüzey kusur kontrol sistemiyle üretimdeki hurda miktarı azaltılarak, enerji ve işçilik kaybı minimuma indirilebileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Online yüzey kusur tespiti, haddelenmiş sıcak mamül, hadde tezgâhı, üç boyutlu kamera ve lazer.

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

ONLINE SURFACE INSPECTION IN ROLLED HOT-PRODUCT

Serkan ATAMER

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy System Engineering

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Durmuş KAYA

January 2014, 37 Pages

In this study, the products from mill stands (rail or profile) have been controlled for surface defects with three-dimensional camera and laser combination, during the product speed was in-between 4-6 m/s and the product temperature was 900 °C. The data obtained from the three-dimensional cameras in computer were converted into numerical data and graphics. Determination of surface defects and imperfections in Made depth is shown graphically. 0,3 mm defects have been detected after rolling progress on the product during the product speed was in-between 4-6 m/s and the product temperature was 900 °C . The amount of scrap has been reduced, energy and labor loses has been minimized by using online surface defect detection system.

Keywords : Online surface inspection, rolled hot-product, mill stand, three dimensional camera and laser.

Science Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Tez alıŐmama verdikleri desteklerden dolayı danıŐmanım Prof. Dr. Durmuş KAYA'ya, Ray Profil Haddehanesi m¼d¼r¼, Sn. İbrahim TOZLU'ya değerli hocam Doç. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK'a, yardımlarından dolayı Öğr. Gör. Muharrem EYİDOĞAN'a, Karab¼k Üniversitesi Enerji Sistemleri M¼hendislięi B¼l¼m¼ ve Kardemir Ray ve Profil Haddehanesindeki alıŐma arkadaşlarıma, ayrıca her zaman manevi desteklerini hissettiğim sevgili eŐim Ebru ATAMER ve sevgili ocuklarım Damla ve Ela ATAMER'e teŐekk¼r ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	7
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	7
BÖLÜM 3.	10
HADDELENMİŞ SICAK MAMÛLDE YÛZEY KUSUR KONTROLÛ YAPILMASININ AMACI	10
3.1. NİHAİ MAMÛLDE YÛZEY KUSUR KONTROLÛNE YÖNELİK ULUSAL / ULUSLARARASI STANDARTLAR	13
3.1.1. Raylara Yönelik Standartlar	13
BÖLÜM 4.	16
DENEYSEL MATERYAL VE METOTLAR.....	16
4.1. DENEY MATERYALLERİ VE DENEY DÛZENEĞİNİN HAZIRLANMASI	16
4.1.1. Ortam Sıcaklığındaki Dairesel Kesitli Numuneye Ait Deney DÛzeneĐi	19
4.1.2. Tav Sıcaklığındaki Ray Numunesine Ait Deney DÛzeneĐi	20

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 5.	24
BULGULAR VE TARTIŞMA	24
5.1. DÖNEN DİSK ÜZERİNE OLUŞTURULAN YÜZEY KUSURLARINI BELİRLENMESİ ÇALIŞMASI.....	24
5.2. HADDELEME İŞLEMİ TAMAMLANMIŞ SICAK RAY ÜZERİNDEKİ ÜRETİM SERİ NUMARALARINI BELİRLEME	26
5.3. HADDELEME İŞLEMİ TAMAMLANMIŞ SICAK RAY ÜZERİNDE OLUŞTURULAN YAPAY YÜZEY KUSURLARI BELİRLEME.....	28
5.4. ÇALIŞMANIN SAĞLAYACAĞI KATMA DEĞER VE ÇEVREYE ETKİSİ	33
BÖLÜM 6.	35
SONUÇ VE ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Demir-çelik üretimindeki aşamaların şematik gösterimi	1
Şekil 1.2.	Bazık oksijen fırını yönteminin üretim aşamaları	3
Şekil 1.3.	Elektrik ark fırını	4
Şekil 1.4.	Sürekli döküm tezgâhı	5
Şekil 1.5.	Endüstriyel bir tav fırını resmi	6
Şekil 3.1.	Lazer gauge ölçü kontrol ünitesi	12
Şekil 3.2.	Ölçü kontrolünden sonra mamullerin soğutulduğu ızgara	13
Şekil 4.1.	Kamera ve lazer yerleşim düzenekleri	19
Şekil 4.2.	Üzerinde yapay kusurlar oluşturulan dairesel kesitli numuneye ait deney düzeneği	20
Şekil 4.3.	Disk üzerine oluşturulan yapay kusurlar	20
Şekil 4.4.	Ray-profil üretim hattına konumlandırılan deney düzeneği	21
Şekil 4.5.	Deney düzeneği ve yüzey kusur kontrolü animasyonu	22
Şekil 4.6.	Deneylerde kullanılan üç boyutlu kamera ve lazer'in resmi	22
Şekil 4.7.	Ray üzerinde kusur oluşturulmak için imal edilen çekiç resmi	23
Şekil 4.8.	Üç boyutlu kamera ve lazer soğutma sistemi	23
Şekil 5.1.	Deney düzeneği ve yüzey disk üzerine açılan yapay kusur resimleri	25
Şekil 5.2.	Disk üzerinden elde edilen yüzey kusur görüntüleri	25
Şekil 5.3.	Üretim hattından geçirilen sıcak ray ve üzerindeki üretim seri numaraları	26
Şekil 5.4.	Üç boyutlu kamera ile alınan ve yazılımdan elde edilen grafik örnek-1.....	27
Şekil 5.5.	Ray üzerindeki yüzey kusuru ve kusurun yazılımla tespiti örnek-2	27
Şekil 5.6.	Ray üzerindeki yüzey kusuru ve kusurun yazılımla tespiti örnek-3	28
Şekil 5.7.	Ray üzerindeki üç adet yapay yüzey kusuru tespiti	29
Şekil 5.8.	Ray üzerindeki üç adet yapay yüzey kusuru ölçü belirleme	30
Şekil 5.9.	Ray üzerindeki on adet yapay yüzey kusuru tespiti	31
Şekil 5.10.	Ray üzerindeki on adet yapay yüzey kusuru ölçü belirleme	33

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Deneyleerde kullanılan üç boyutlu kameranın teknik özellikleri	17
Çizelge 4.2. Deneyleerde kullanılan lazerin teknik özellikleri	18
Çizelge 5.1. Ray üzerindeki yapay kusurların karşılaştırılması	30
Çizelge 5.2. Ray üzerindeki on adet yapay kusurların karşılaştırılması	33

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO ₂	: karbondioksit
c _p	: sabit basınçta özgül ısı
E	: enerji
EJ	: exajoule (10 ¹⁸ joule)
GJ	: giga joule
Gt	: giga ton
h	: saat
H	: alt ısı değer
kcal	: kilo kalori
kg	: kilogram
kWh	: kilo watt saat
m	: kütle
ṁ	: debi
M	: mol kütlesi
MJ	: mega joule
m ²	: metrekare
N	: mol sayısı
Nm ³	: normal metre küp
Q̇	: ısı miktarı
t	: ton
T	: sıcaklık
φ	: eşdeğerlik oranı
η	: verim
°C	: derece santigrat
%FH	: fazla hava yüzdesi
ΔE	: enerji değişimi
vd	: ve diğerleri

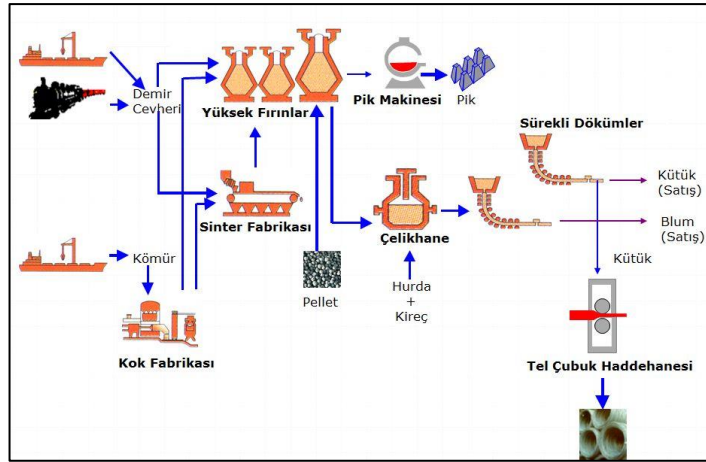
KISALTMALAR

- DRI : Direct Reduced Iron (gaz ile doğrudan indirgenmiş yarı mamul)
- et al : Et alii (Latince)
- IEA : International Energy Agency (uluslararası enerji ajansı)
- IISI : International Iron and Steel Institute (uluslararası demir çelik enstitüsü)
- IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (hükümetlerarası iklim değişikliği paneli)
- PHAST : Process Heating Assessment and Survey Tool (proses ısıtma değerlendirme ve araştırma aracı)
- TL : Türk Lirası
- USD : Amerikan Doları
- MTEP : milyon ton eşdeğer petrol
- Mtoe : million ton oil equivalent (milyon ton eşdeğer yağ)
- TEP : ton eşdeğer petrol

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Cumhuriyetin kurulduğu ilk günden bugüne demir-çelik sektörü Türkiye sanayinin temel bileşenleri arasında gösterilmekte ve gerek üretimde gerekse kapasite kullanım oranında gün geçtikçe çitayı yükseltmektedir. Demir cevherinden demir ve çelik üretimine; ardından da bunu son mamul olarak kullanıma sunulmasına kadar işlem yapabilmektedir. Demir-çelik üretiminde demir cevheri kullanım oranı yaklaşık %60 ilen hurdaların kullanımı yaklaşık %40'dır. Demir-çelik üretimindeki aşamalar Şekil 1.1'de görülmektedir.



Şekil 1.1. Demir-çelik üretimindeki aşamaların şematik gösterimi [1].

Cevherden demir üretiminde yüksek fırınlara ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek fırınlar çapları 10 metre civarında, boyları da 30-90 metre arasındadır. Demiri cevherden indirgemek için kok ve kireçtaşına gerek duyulmaktadır. Kok yüksek karbonlu yakıttır. Kireçtaşı ise yüksek oranda kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeren bir kayadır. Demir cevheri, kok ve kireçtaşı yüksek fırının tepesinden yüklenmektedir. Fırının alt tarafından yüksek sıcaklıklarda ve yüksek hızlarda gazlar fırına verilmektedir.

Böylece yanma ve indirgenme işlemi gerçekleşmiş olur. Yanma esnasında yüksek fırında sıcaklık 1650°C'ye kadar çıkmaktadır.

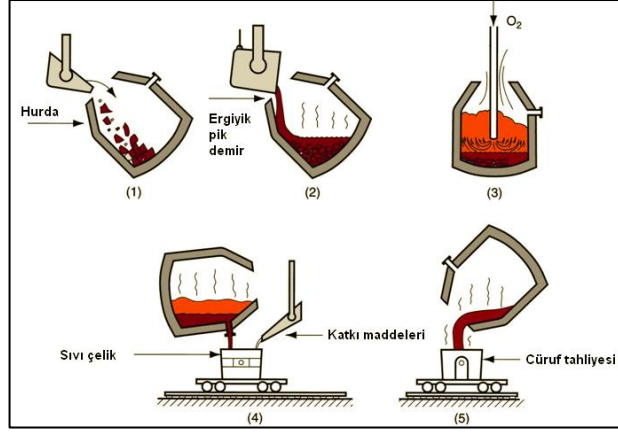
Yüksek fırının iç hacmi 250-850 m³ kadardır. Ortalama 1m³ fırın hacmi için 24 saatte 0,5~1,4 ton arası ham demir elde edilmektedir. Bir ton ham demir elde etmek için kömürün kalitesine cevherin kompozisyonuna bağlı olarak 450-800 kg kok tüketilmektedir. Bir yüksek fırından elde edilen ürün pik demir adını almaktadır. 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 içermektedir.

Yüksek fırın doldurulup yakıldıktan 10-15 saat kadar sonra eriyik ham demir alınmaya başlanır. Günde 4-6 defa eriyik alınır. Yüksek fırında kullanılan hammaddeler yaklaşık olarak %55-60 oranında sinter, %30-35 oranında cevher, %10-15 pelettir. Pik demirde %92-93 demir vardır. Geri kalan ise C, Si, Mn, P, S gibi elementlerdir.

Çelik üretiminde kimyasal bileşimler çok daha hassas seviyelerde ayarlanmalı ve safsızlıklar çok daha düşük seviyelerde olmalıdır. Günümüzde en önemli iki yöntem Bazik Oksijen Fırını (BOF) ve elektrik ark fırınıdır. Her ikisi de karbon çeliklerinin ve alaşımlı çeliklerin üretiminde kullanılır. Çelik üretim tesislerinde eriyik pik demir yüksek fırından alınıp BOF'ına taşınmaktadır. Hammadde olarak hurda demir-çelik de kullanılır. Ayrıca kireç (CaO) ilave edilir. Şekil 1.2'de Bazik Oksijen Fırını yönteminin aşamaları görülmektedir.

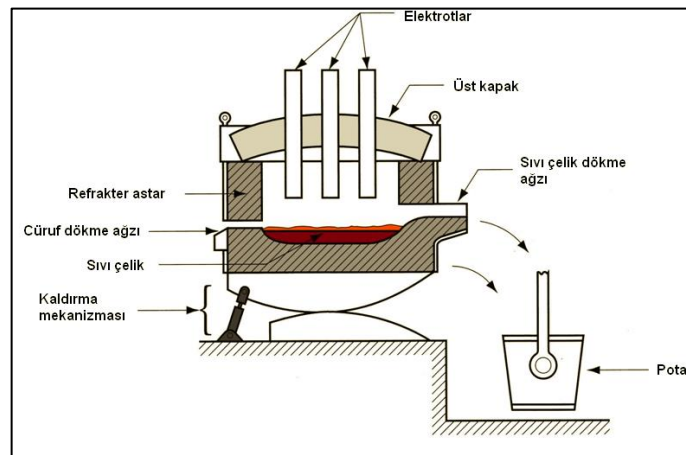
BOF yöntemi üretim aşamaları;

- hurda yüklemesi,
- yüksek fırından gelen pik demir,
- O₂ üfleme,
- sıvı çeliğin alınması, alaşım elementleri ve bazı ilavelerin katılması,
- cürufun alınması



Şekil 1.2. Bazık oksijen fırını yönteminin üretim aşamaları.

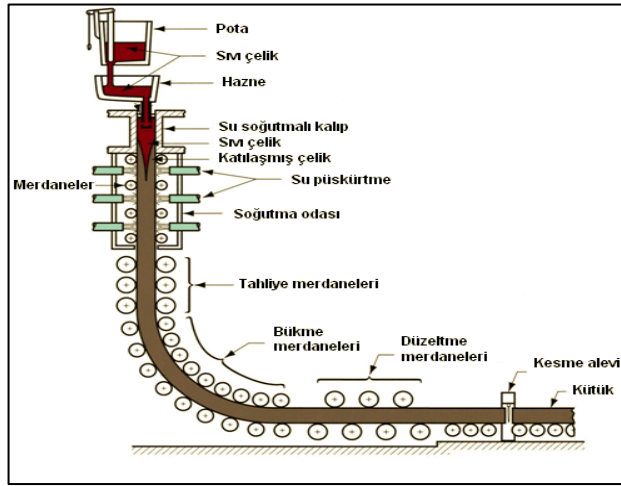
Elektrik ark fırını da çokça görülmekte olan çelik üretim yöntemidir. Bu yöntemde hammadde olarak pik demir kullanılabilse de daha çok hurda demir kullanılmaktadır. Elektrik ark fırınlarının çeşitleri bulunmasına rağmen içlerinde en yaygın olarak kullanılanı doğrudan ark tipidir. Bu fırınların üst kapağı hareketli olup hurda demir-çelik, alaşım elementleri ve kireçtaşı buradan yüklenmektedir. Bu karışım elektrik arki ile ısıtılmaktadır. Ark elektrotlar ile metal arasında oluşmaktadır. Bu yöntemle elde edilen çelik BOF yöntemine göre üretilen çeliğe nazaran daha kaliteli ve daha pahalıdır. Genelde alaşım, paslanmaz çeliklerin üretilmesinde tercih edilen yöntemdir. Şekil 1.3’de elektrik ark fırını şematik resmi görülmektedir.



Şekil 1.3. Elektrik ark fırını.

Üretilen çelik sıvı haldeyken döküm işlemine başlanır. En yaygın ve verimli yöntem sürekli döküm işlemidir. Sürekli döküm işlemi alüminyum, bakır ve çeliklerde

yaygın şekilde kullanılır. Sürekli döküm işleminde sıvı çelik potadan hazneye dökülür. Hazneden sonra çelik, su soğutmalı kalıp aşağı doğru inerken dış kısımlardan katılaşmaya başlar. Bu kısımda yanlardan püskürtülen su da soğuma işlemini hızlandırır. Metal henüz sıcak ve esnek haldeyken dikeyden yataya doğru kolayca bükülür. Ardından istenilen büyüklüklerde kesilerek hadde tezgâhına gönderilir. Şekil 1.4’de sürekli döküm tezgâhı görülmektedir.



Şekil 1.4. Sürekli döküm tezgâhı.

Kok üretimi de demir-çelik fabrikalarının öncelikli alanları arasındadır. Bu yüzden kok fabrikasına da demir-çelik fabrikalarının içerisinde rastlamak mümkündür. Kok fabrikası yüksek fırınlarda kullanılacak kok kömürünün üretiminde rol oynamaktadır. Kok kömürü üretiminde yan ürün olarak ise kok gazı elde edilmektedir. Kok fabrikasından elde edilen kok gazı, tav fırınlarında, çelik ocaklarında ve gerekli yerlerde yakıt olarak kullanılmaktadır.

Sürekli döküm ünitesinden çıkan kütükler haddehanede plastik şekil verme işlemine tabi tutulmaktadır. Sıcak şekil verme ve soğuk şekil verme olmak üzere iki ana yöntemle plastik şekil verme işlemi gerçekleştirilmektedir. Şekil 1.1’de de görüldüğü üzere haddehaneler entegre demir-çelik fabrikalarının nihai üniteleridir. Sürekli döküm ünitesinden çıkan kütüklere haddehanelerde tavlama ve haddeleme işlemi yapılmaktadır. İçerisine yerleştirilen ya da sürekli olarak şarj edilen malzemeleri ısıtmak suretiyle işlem sıcaklığına yükselten ve gerektiğinde bu sıcaklıkta gerekli süre tutan teknik ünitelere tav fırını adı verilmektedir. Tav fırınları; çeliklerin

haddelenmesinde, hadde bandı üzerine yerleştirilen ve çeliklerin 1050-1300 °C sıcaklık aralığında ısıtılmasında kullanılan ve sürekli çalışan fırınlardır. Sanayide kullanılan örnek endüstriyel bir tav fırını Şekil 1.5’de gösterilmiştir. Fırından tavlanarak çıkan yarı mamul merdaneler arasından geçirilerek şekil verilmektedir[2].



Şekil 1.5. Endüstriyel bir tav fırını resmi.

Demir-çelik sektörü yıllık yaklaşık 24 EJ ($\times 10^{18}$) enerji tüketimi ile en çok enerji tüketen sektörlerden birisidir. Demir-çelik sektöründe tüketilen enerji, dünya enerji tüketiminin % 5’ine karşılık gelmektedir [3]. Demir-çelik sektörü kömürü birincil indirgeyici madde olarak kullanmaktadır. Kömürün en büyük bileşeni olan karbon (C), süreç sonucunda çevreye CO₂ olarak bırakılmaktadır. Bu yüzden demir-çelik sektöründeki enerji tüketimi CO₂ salınımına eşittir ve enerji verimliliğini artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [2].

Demir-çelik sektöründe enerji verimliliğinin artırılması sera gazı salınımlarının azaltılmasında etkili ve kısa vadeli bir yaklaşımdır. Brüksel’de bulunan International Iron and Steel Institute (IISI) Kyoto süreci sonrasında iklim değişikliğine yeni ve küresel bir yaklaşım geliştirmek için devletleri demir-çelik sektörü ile çalışmaya davet etmiştir [4].

Kardemir’de 400.000 ton/yıl kapasiteli, 75 metre boya kadar her türlü rayın yanı sıra, 550 mm genişliğe kadar büyük boy profiller, 200 mm genişliğe kadar köşebentler ve 200 mm çapa kadar her boyda kalın yuvarlak ve kaliteli imalat çelikleri üretebilen Ray Profil Haddehanesi bulunmaktadır. Ray ve Profil Haddehanesinde yarı mamuller

öncelikle tav fırınına alınmaktadır. Fırından tavlanarak çıkan yarı mamuller üzerlerinde oluşan tufal tabakasının temizlenmesi için tufal temizleme ünitesinden geçirilmektedir. Yarı mamul daha sonra birinci ve ikinci kaba hadde tezgâhlarında haddelenmektedir. Buradan, hassas haddeleme için en üst düzeyde hassasiyetin sağlandığı, kompakt sistem prensibine göre dizayn edilmiş olan ve bilgisayar kontrolü ile çok sıkı toleranslar arasında çalışan tandem hadde grubuna transfer edilen malzeme, üniversal haddeleme ile haddelenerek istenilen mamüle dönüştürülmektedir. Tandem grubunda haddelenmiş malzemeler soğutma ızgarasında hava fanları ile soğutulduktan sonra üretim hattında olan dikey ve yatay doğrultma tezgâhlarında doğrultma işlemine tabi tutulmaktadır. Doğrultma tezgahından çıkan profiller, profil hattında istenilen boylara kesildikten sonra paketleme ünitesinde paketlenerek, müşteriye teslim edilmektedir. Ray üretiminde ise, doğrultma ünitesinden geçen raylar, ultrasonografik muayeneye ve içyapısında olması muhtemel mikro çatlaklıklar ile yüzey kusurları için eddy current ünitesinde yüzey taramasına tabi tutulmaktadır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Xue-wu v.d çalışmalarında parlak yansıtıcı yüzeyde, yüzey kusurlarını tespit edebilmek için proses görüntüleme sistemi dizaynı ve testlerini gerçekleştirmişlerdir. Bu sistem, görüntü alma, ön işleme, özellik belirleme ve sınıflandırma aşamalarından oluştuğu ifade edilmiştir. Çok çözünürlüklü dalgacık dönüşümlerinin hesaplamalar açısından avantaja sahip olduğu, dalgacık yumuşatma sırasında oluşan parazit katsayı ayarlaması yapılarak resimden kaldırılabileceği anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan spektral ölçüm metodu, bozulmaları yedi sınıfa ayırma amaçlı kullanılmıştır. Support vector machine (SVM) tasarımı sırasında, yazarlar örneklere alıştırma ve test parametrelerini uygulamak ve en iyi parametreleri elde etmek için çapraz doğrulama metodunu kullanmışlar ve deney bazında sınıflandırılma yapılmışlardır. Sistem, parlak yansıtıcı metal yüzeyinde 7 adet görülen bozulmanın ve bu bozulmaların tanımlamasını yapabilme yeteneğine sahip olduğu gösterilmiştir. Ayrıca, önerilen metodun performansını değerlendirmek için; SVM metodu ve BPNN metodunun karşılaştırılması yapılmıştır. Deney sonuçları önerilen metodun BP sinir ağı metodundan daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir [5].

Julio Molleda v.d. daha önceki çalışmaları da değerlendirerek, metal endüstrisindeki haddelenmiş ürünlerin kalite kontrolleri için 3 boyutlu görüntüleme performansını artırmaya yönelik çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonrasında aktif üçgenlerine ayırma yöntemine dayanan 3 boyutlu yüzeylerin yeniden oluşturulması sistemini belirlemişlerdir. Belirledikleri yöntemde belirli bir üretim hattı ile şartları verilen sistem için en iyi seçeneği seçme süreci ayrıntılı olarak vermişlerdir. Belirlenen yöntem kusurların dalga boylarının ölçülmesini, ürünlerin boyutsal karakteristiklerinin kontrolünü ve haddelenmiş ürünlerin endüstri hatlarında üretilme hızını içermektedir. Bu yöntemle aynı zamanda sistemin yapay görme bileşenleri için en uygun geometriyi seçtiklerini ifade etmişlerdir. Ardından da görüntü sensörü

ve örnek projektör seçimi yapmışlardır. Bu yöntemde kontrol altındaki ürünlerin tek-hat şeklinde gösterilmesi ve belirlenmesi için iki yaklaşım önermişlerdir. İlk olarak düşük doğruluk kapasitesinde yüksek hızlı işleme odaklanılarak dizayn etmişlerdir. İkinci olarak da çok fazla zaman alan hesaplamalara rağmen diferansiyel geometri metodu kullanmışlar ve yüksek doğrulama kapasitesine odaklanarak dizayn etmişlerdir [6].

Araştırmacılar tek-hat örneğinin kullanıldığı 3 boyutlu yüzey kontrolünün doğruluğunun sınırlı olduğunu söylemişlerdir. Çünkü haddelenmiş ürünlerin üretimi esnasında istenmeyen hareketler ve sarsıntılar oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu sarsıntıların etkisini kaldırmak adına yeni bir mekanizma önermişlerdir. Önerilen mekanizmaya göre alçak geçiren filtre kullanmanın yeterli olduğunu ifade etmişlerdir. Böylece hem düşük frekans bileşenlerinin onarılacağını hem de yüksek frekans bileşenlerinin yok edileceğini belirtmişlerdir. Son olarak 3 boyutlu görüntüleme sisteminin uzun ya da yassı haddelenmiş ürünlerin görüntülenmesinde de kullanılabileceğini savunmuşlardır.

H. Zheng v.d. yapay görme tekniğine dayalı metal yüzeyi kontrol sistemi tanımlamışlardır. Sistemde şekil bakımından işlem parametrelerini optimize edebilmek için Genetik Algoritma kullanmışlardır. Yaptıkları deneylerde ise önerdikleri kontrol sisteminin uygulanabilirliğini gösteren sonuçlar elde etmişlerdir. Deneylerinde; yapısal bozulmalar, boşluk ve çatlaklık gibi bozulmalar için yüksek algılama hassasiyetine ulaştıklarını göstermişlerdir. Yazar ve arkadaşları daha fazla araştırma için ise birkaç olası yöntemden bahsetmişlerdir. Bu yöntemlerden biri, şekil parametrelerinin uygun şekilde ayarlanabilmesi için eğitim setlerini kullanmaktır. Böylece yapısal bozuklukları yansıtmadan setler ayarlanabileceğini ve çalışma yapılabileceğini ifade etmişlerdir. Yazar ve arkadaşları yaptıkları yaklaşımın daha da geliştirilebilmesi için dokusal hatalara kadar inilmesi gerektiğini belirtmişlerdir [7].

Faustino Obeso v.d. sıcak plakalardaki yüzey kusurlarının online algılanmasıyla ilgili çalışmalar yapmışlardır. Çalışmaların sonuçlarını değerlendirdiklerinde ise umut verici bulgularla karşılaşmışlardır. Online algılamanın endüstri çevrelerinde

uygulanabilirliğini ve doğruluğunu göstermişlerdir. Online kusur algılamanın avantajlarını “üretim ve kalite kontrolü için çok faydalı bir sistem”, “sıcak tabakalarda yüzey kusurlarının sınıflandırılması ve belirlenebilmesini sağlamakta” ve “birçok yönden üretim maliyetlerini düşürmekte” biçiminde ifade etmişlerdir [8].

Guifan Wu soğuk haddelenmiş bantların online yüzey kusurlarını belirleme sistemini incelemiştir. Bu sistemde işlem görüntüleme ve örnek tanımlama gibi multimedya teknolojisine dayalı bir teknolojiyi uygulamıştır. Bu sistemi Çin’deki bir demir çelik kuruluşunun üretim hattına uygulamıştır ve uygulama sonunda kurduğu sistem kuruluş ’un gereksinim duyduğu yüzey kusurlarını algıladığını belirtmişlerdir. Uygulama kısa sürede değil uzun sürede kusurları belirleyebilmiştir. Yazar algoritmadaki iyileştirmelerle birlikte karşılaşılan az sayıda sorunun üstesinden gelinebileceğini, sistemin daha geniş bir kullanıcı ağına yansıtılabileceğini savunmuştur [9].

BÖLÜM 3

HADDELENMİŞ SICAK MAMÜLDE YÜZEY KUSUR KONTROLÜ YAPILMASININ AMACI

Ray ve Profil Haddehanesinin ilk aşamasını tav fırını oluşturmaktadır. Tavlanan yarı mamuller tufal temizleme ünitesinden geçirildikten sonra ön ve ara hadde tezgâhlarında şekillendirilmektedir. Buradan, tandem hadde grubuna transfer edilen malzeme, üniversal haddeleme ile 3 tezgâhta, yatay ve dikey yönde haddelenerek istenilen mamule dönüştürülmektedir.

Tandem grubundan çıkan haddelenmiş mamuller lazer ışın destekli görüntüleme yöntemi ile direk (Lazer Gauge) ölçü kontrolü yapılmaktadır. Ölçü kontrolü yapılırken mamul sıcaklığı yaklaşık 900 °C ve mamul hızı 4~6 m/s'dir. Ölçü kontrolünden geçen mamuller 78 m uzunluğundaki soğutma ızgarasında hava fanları ile 20~30°C'ye soğutulmaktadırlar. Ölçü kontrolü yapılan lazer gauge resmi Şekil 3.1'de verilmiştir. Mamüllerin çevre havası sıcaklığına getirildiği soğutma ızgarası Şekil 3.2'de sunulmuştur. Mamuller soğutulduktan sonra mamül yüzeyleri yüzey kusurları (çizik, yara, kabuk, oyuk, iz vb.) açısından kalite uzmanları tarafından gözle kontrol edilmektedirler. Bir mamulde yüzey kusuru bulunduğu anda, diğer mamullerde ayrıntılı şekilde kontrol edilmektedir.

Tandemden çıkan 900 °C'deki bir mamülü kontrol etmek için yaklaşık 1 saat süreye (mamul sıcaklığının yüzey kontrolü yapılabilecek seviyeye düşmesi için geçen süre) ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzey kusur kontrolü online ve sürekli yapılamadığından bir mamulde yüzey kusuru yakalandığında, tespit edilen kusurlu malzeme sayısı 30'a kadar ulaşabilmektedir. Çünkü mamülün kusurlu olduğunu anlamak ve üretimi durdurmak için geçen sürede 6~30 adet mamul 1 ve 2 nolu ön, ara ve tandem hadde tezgâhından geçirilmiştir. Mamullerdeki yüzey kusuru belirlenen tolerans sınırını

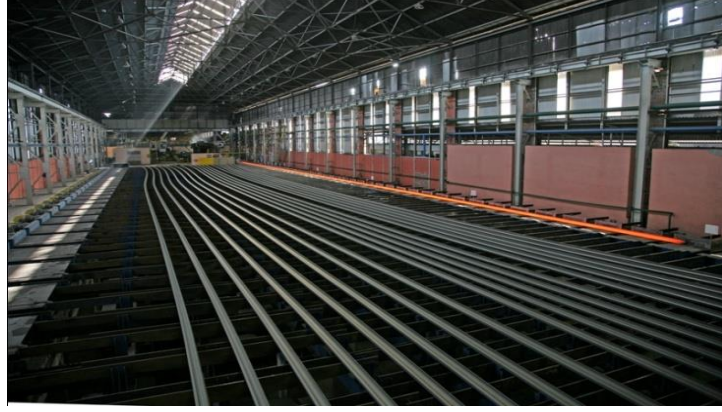
aştığında ise 6~30 adet mamul hurdaya ayrılmaktadır. Bu durum üretim, enerji işçilik ve verim kaybına sebebiyet vermektedir.



Şekil 3.1. Lazer gauge ölçü kontrol ünitesi.

Farklı ebat ray üretimine ve/veya merdane değişimine geçildiğinde, tandem hadde tezgâhından çıkan ilk mamul, soğutma ızgarası üzerinde soğuması için yaklaşık 45 dakika bekletildikten (bu esnada haddeleme durdurulmakta) sonra gözle yüzey kusur kontrolü yapılmaktadır. Mamulün yüzey kontrolü yapılması da yaklaşık 15 dakikalık bir süre alacağı için toplamda bir saat üretim kaybı gerçekleşmektedir.

Tüm bu işlemler yapılırken tav fırını çalışmaya (yakıt tüketmeye) devam etmektedir. Ayrıca, gözle yüzey kusuru tespit edildiğinde bu kusurun nereden kaynaklandığını bulmak ve sorunu kalıcı çözüme kavuşturmak uzun uğraşlar gerektirmektedir. Bu tür olumsuzluklar üretim maliyetlerimizin artmasına ve rekabet edebilme gücümüzün azalmasına neden olmaktadır. Yüksek dayanımlı (depreme dayanıklı) yapı çelikleri, oluklu ray gibi yüksek kalite yeni mamullerin, ürün gamımıza kazandırılması çalışmalarında, yukarıda tanımlanan problemlerin üretim sürecini uzatmasından dolayı yüksek nitelikli mamullerin zamanında ve ekonomik biçimde pazara sunulması zorlaşmaktadır.



Şekil 3.2. Ölçü kontrolünden sonra mamullerin soğutulduğu ızgara.

Tandem hadde tezgâhından çıkan sıcak mamulü soğuduktan sonra gözle yüzey kontrolüne tabi tutmak üretim ve enerji kaybına neden olmaktadır. Gözle yüzey kontrolü yerine mamul sıcakken üç boyutlu kameralar ve lazerle tüm yüzeyi kontrol etmek üretim, işçilik ve enerji kaybını minimuma indirecektir.

Bu çalışmada, tav fırınında homojen tavlanan, 1 ve 2 nolu ön ve ara hadde ve tandem hadde tezgâhlarından geçen, lazer gauge ile ölçü kontrolü yapılan mamuller, üç boyutlu bir takım kamera ve lazerle, mamul 900 °C sıcaklık ve 4-6 m/s hızla geçerken yüzey kusur kontrolüne tabi tutulacaktır. Üç boyutlu kameralardan elde edilen veriler bilgisayara aktarılarak sayısal verilere ve grafiklere dönüştürülecek, yüzey kusurunun derinliği, uzunluğu, genişliği, yeri ve kusurun belirli periyotlarla kendini tekrar edip etmediği tespit edilecektir.

Yaptığımız araştırmalara göre dünyada mevcut çalışan haddehanelerde, haddelenen mamullerin (Ray ve Profil) yüzey hata kontrolü mamul soğutulduktan sonra iki boyutlu kameralarla veya firmamızda olduğu gibi gözle kontrol edilmektedir. Mamul soğuk olduğu için mamul yüzeyinde meydana gelen hatayı ton farkından ayırt etmek kolaydır. Mamul sıcakken kızıl renkte olacağından dolayı ton farkından yüzey kusurlarını ayırt etmek oldukça zordur. Ayrıca, yine yaptığımız araştırmalara göre dünyada hadde tezgahlarından çıkan mamulün yüzey kusur kontrolünü, mamul sıcakken online yapabilen bir sisteme rastlanmamıştır. Bu çalışmada mamul sıcakken online yüzey kusur kontrolü yapan bir sistem deneysel olarak incelenecektir.

3.1. NİHAİ MAMÛLDE YÜZEY KUSUR KONTROLÜNE YÖNELİK ULUSAL / ULUSLARARASI STANDARTLAR

3.1.1. Raylara Yönelik Standartlar

İlgili Standart: EN 13674-1 / Bölüm 9.4.2 [10].

Yüzey kusurları için bütün raylar gözle ve otomatik olarak tüm yüzeylerden kontrol edilecektir. Ayrıca ray yüzeyinin alt tarafı otomatik olarak kontrol edilecektir.

Sıcak yaralanmalar, çapaklar ve izler:

- Bütün yüzeydeki ve tabandaki çapaklar temizlenecektir. Cebire bağlantısını etkileyecek çapaklar en az 1m'lik bölümde taşlanarak temizlenecektir.
- EN 10163-1 (TS EN 10163-1) standardındaki gibi tanımlanan hadde yaralanmaları ve izlerin derinliği:
 - Ray mantarında max. 0,35mm.
 - Rayın diğer taraflarında ise max. 0,50 mm olacaktır.
- Limit dâhilindeki boyuna hadde yaralanmaları bir rayda ez fazla iki adet olabilir. Fakat ray mantarında sadece bir kusura izin verilebilir. Aynı eksen üzerinde tekrarlayan hadde yaralanmaları bir kusurmuş gibi kabul edilebilir.
- Hadde izlerinin genişliği en fazla 4mm. olacaktır. izin verilen hadde çiziklerinin genişlik / derinlik oranı min. 3:1 olacaktır.
- Hadde merdanesi çevresinden kaynaklı sıcak hadde yaralanmalarında, hadde merdanesine eşit bir mesafede aynı eksen boyunca tekrarlayan yaralanmalar tek yaralanma olarak kabul edilecektir. Ray mantarındaki yaralanmalar hariç olmak üzere 40 m. de izin verilmiş max. 3 adet yaralanma taşlanarak temizlenebilir.

Soğuk Yaralanmalar:

- Bunlar soğuk durumda oluşmuş, boylamasına veya çapraz çiziklerdir.
- Kusur derinliği;
 - Yuvarlanma yüzeyi ve taban alt kenarı için max.0,3 mm
 - Rayın diğer bölümleri için max.0,5 mm olacaktır.

Yüzey Kusurlarının Taşlanarak Temizlenmesi:

- Eğer kusur derinliği ölçülemiyorsa aşağıdaki toleranslar dâhilinde ray çeşitli taslama aparatları ile (dairesel taslama, lama şeklinde ege vs.) ile taşlanır. Bu işlem esnasında mikro yapıya zarar verilmeyecektir.
- Taslama derinliği:
 - Ray mantarında max.0,35 mm
 - Rayın diğer taraflarında max.0,50 mm
- 10 m. ray uzunluğunda en fazla 3 hasar ve tüm uzunluk üzerinde her 10m. rayda max. Bir hasar taşlanarak temizlenecektir. Taşlama ile temizleme sonrasında yüzey toleransların içinde olacaktır.

İlgili Standart: UIC 860-1 / Bölüm 1.4 ve 1.5 [11].

Yüzey Kalitesi

- Raylar kullanımlarını olumsuz yönde etkileyen tüm zarar verici kusurlardan arındırılmış olmalıdır. Bu kusurlar içinde diğer kusurlar ile birlikte her tür çatlaklar, yarıklar, çukurlar, boşluklar veya metal eksiklikleri sayılabilir
- Ray yuvarlanma yüzeyinde (mantar) oluşabilecek çizik, oyuk, çapak, talaş, yara gibi kusurların derinliği 0,5 mm'den çok olmayacaktır. 0,5 mm'den daha derin kusurlara sahip olan raylar reddedilecektir.
- Rayın diğer bölümlerinde oluşabilecek çizik, oyuk, çapak, talaş, yara gibi kusurların derinliği 1 mm'den çok olmayacaktır. 1 mm'den daha derin kusurlara sahip olan raylar reddedilecektir.
- Rayların bütün yüzeylerinde hiçbir çıkıntı ve uzantı olmamalıdır. Bunlar mikro yapıya zarar vermemek ve ölçü toleranslar dâhilinde olmak şartıyla kaldırılabilir.
- Ray tabanı alt yüzeyi bütün uzunluk boyunca yüzey kusurları için test edilmelidir.

Bitirme

- Soğuk doğrultma darbesiz olarak yavaş bir tazyik uygulanarak yapılacaktır. Raylar, doğrultma merdanelerine verildiklerinde her bir yönde yalnız bir kez olmak üzere doğrultmaya tabi tutulacak, raylar her doğrultma merdanesinden

bir kez geçirilecektir. Markalar merdanelerin etkisinden korunacak ve rayda herhangi bir deformasyon oluşumuna izin verilmeyecektir.

- Raylar, istenilen uzunluğa soğuk iken freze veya testere ile kesilecek ve çapaklar kesit üzerinde görülür herhangi bir pah meydana getirmeyecek şekilde giderilecektir.
- Delikler çapak kalmayacak şekilde kenarları silindirik ve düzgün olarak açılmış, kenarları hafif pahlı olacaktır.

EN 13674-1 ve UIC 860-1 standartları incelendiğinde ray yüzey kusuru derinliklerinin 0,3-0,5 mm'nin altında olması istenmektedir. Bu standartlara uygun üretim yapabilmek için ray yüzey kusurlarının çok iyi şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Yüzey kusurunu tespit edecek sistemlerin 0,3 mm veya daha düşük derinlikteki kusurları tespit ediyor olması bir gerekliliktir. Bu çalışmada 0,3 mm'den daha düşük derinlikteki yüzey kusurunu tespit edebilen online kusur tespit sistemine yönelik deneyler yapılmıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL MATERYAL VE METOTLAR

4.1. DENEY MATERYALLERİ VE DENEY DÜZENEĞİNİN HAZIRLANMASI

Deney düzeneği; bir takım üç boyutlu kamera ve lazer ışık kaynağı, lazer ve kameraların soğutulmasını sağlayan soğutma ünitesi, verilerin (görüntülerin) işlenmesi için hazırlanan program, üzerine yapay kusurlar oluşturulan numunelerden oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Dairesel kesitli ortam sıcaklığındaki bir numunede deneyin yapımı,
- Tav fırınından geçirilmiş ve haddeleme işlemi tamamlanmış bir ray numunesi üzerindeki üretim seri numaralarının belirlenmesi,
- Tav fırınından geçirilmiş ve haddeleme işlemi tamamlanmış bir ray numunesi yüzeyine değişik ölçülerde yapay kusurlar oluşturularak kusurların tespit edilmesi.

Deneylerde kullanılan üç boyutlu kameranın teknik özellikleri Çizelge 4.1’de ve lazerin teknik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

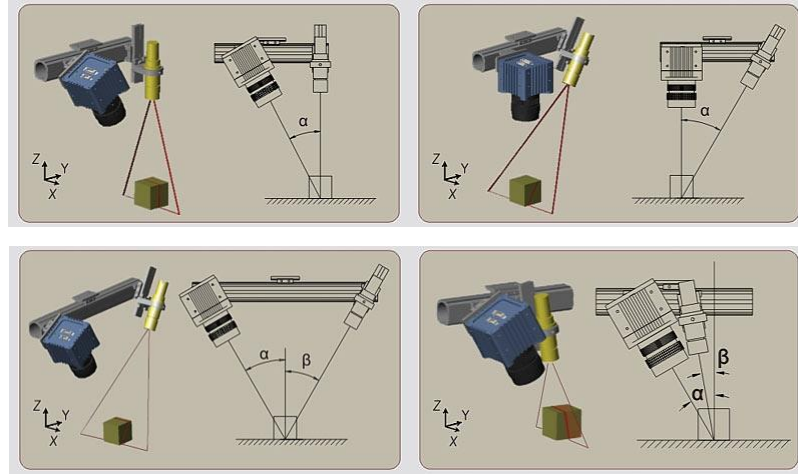
Çizelge 4.1. Deneyleerde kullanılan üç boyutlu kameranın teknik özellikleri.

Üretici firma	Automation Technology
Model	C4-1280 GigE yüksek hızlı 3D kamera
Kamera kontrolleri	
Senkronizasyon modları	Serbest çalışma, tetiklemeli, yazılım tetiklemeli
Limit modları	Programlanabilir, puls kontrol
Kapanma modları	Genel kapanma
Dijital tetikleme girişi	2 optiizole giriş, 5V veya 24V (C4-I/O-Panel) VIL, logic ,0' voltaj < 2,5 V VIH, logic ,1' voltaj > 3,5 V
Enkoder tetikleme girişi	RS422 Standart (100 Ohm sınırlama)
Dijital çıkış	2 optiizole çıkış VOL, logic ,0' voltaj 0,5 V VOH, logic ,1' voltaj OC çıkış (4,7kOhm) IOH, logic ,1' çıkış akımı OC çıkış (4,7kOhm) IOL, logic ,0' çıkış akımı 8mA
Işık kontrolü	Güç 5V DC, 200mA, Modülasyon 20 kHz
Özellikler	
3D algoritmaları	MAX, TRSH, COG, kullanıcıya özgü
Smart kamera	Özel CPU, 1GB görüntü hafızası, 256 Mb data hafızası
Yüksek hızlı veri edinme	Full frame: 500 fps
Yüksek dinamik aralığında görüntüleme	
Optik arayüz	
Lens yatağı	M42×1 (arka odaklanma mesafesi 6,52 mm)
Mekanik arayüz	
Kamera ölçüleri	68 mm × 68 mm × 59 mm (C-ağızlı adaptörle) 68 mm × 68 mm × 88 mm (F-ağızlı adaptörle)
Ağırlık	340 g (C-ağızla), 410g (F-ağızla)
Güç bağlantısı	20-pin MDR
Ethernet bağlantısı	RJ45
Elektrik arayüzü	
Giriş gerilimi	10 – 24V DC
Güç tüketimi	<10W
Çalışma sıcaklığı	0 °C ~50 °C
Çıkış veri arayüzü	Gigabit Ethernet
İletişim protokolü	GigE vizyon (GeniCam)

Çizelge 4.2. Deneysel olarak kullanılan lazerin teknik özellikleri.

Saniyedeki tarama sayısı	500
Aydınlatma zamanı	4ms
Güç	1500 mW

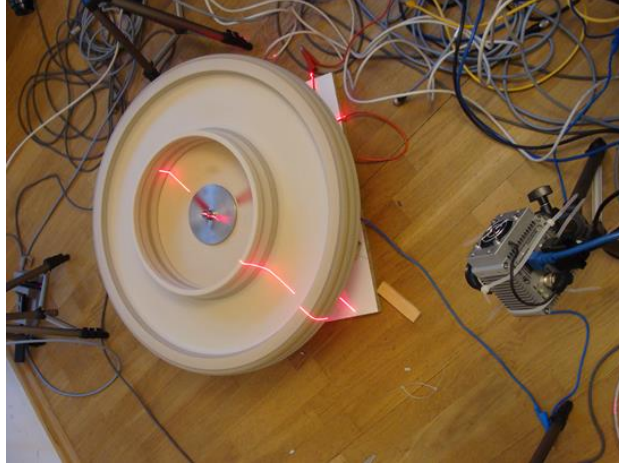
Kamera ve lazer yerleştirilirken Şekil 4.1’de gösterilen kamera ve lazer yerleşim düzeneklerine göre kamera ve lazer açıları denenmiştir. Kamera ve lazerler mamulden 300 mm uzaklıkta konumlandırılmıştır. Mamul yüksek sıcaklıklarda kızıl renkte olacağından mamul üzerinde ton farkı oluşturmak için lazerle ışık perdesi meydana getirilmiştir. Kamera, lazerin mamul üzerinde taradığı alanın görüntülerini üç boyutlu olacak şekilde alarak bilgisayara aktarmıştır. Elde edilen veriler bir yazılım sayesinde analiz edilerek grafikler ve sayısal çıktılar oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikten, mamulde yüzey kusuru olan noktalar tespit edilmiştir. Kameralar sadece lazer izdüşümünün olduğu alana odaklanmıştır.



Şekil 4.1. Kamera ve lazer yerleşim düzenekleri.

4.1.1. Ortam Sıcaklığındaki Dairesel Kesitli Numuneye Ait Deney Düzenegi

Deney düzeneginde 40 cm çapındaki dairesel kesitli disk üzerine yapay kusurlar oluşturulmuştur. Disk bir elektrik motoruna bağlanarak kendi etrafında döndürülmüştür. Disk üzerine farklı büyüklükte yapay kusurlar oluşturulmuştur. İlk denemede diskin dış yüzeyine 0,7 mm et kalınlığında etiketler yapıştırılmıştır. Yapay kusurların olduğu yüzey 5 m/s hıza ulaşacak şekilde elektrik motoru ile döndürülmüştür. Disk ile kamera arasında 80 cm mesafe kalacak şekilde üç boyutlu kamera ve lazer diskin etrafına konumlandırılmıştır. Kamera ile lazer arasındaki açı Şekil 4.1’de verilen konumlardan biri seçilerek yerleştirilmiştir. İkinci denemede diskin dış yüzeyine 0,3 mm et kalınlığında yapay kusurlar eklenmiştir. Birinci denemede olduğu gibi yapay kusurların olduğu yüzey 5 m/s hıza ulaşacak şekilde elektrik motoru ile döndürülmüştür. Disk ile kamera arasında 80 cm mesafe kalacak şekilde üç boyutlu kamera ve lazer diskin etrafına konumlandırılmıştır.



Şekil 4.2. Üzerinde yapay kusurlar oluşturulan dairesel kesitli numuneye ait deney düzenegi.



Şekil 4.3. Disk üzerine oluşturulan yapay kusurlar.

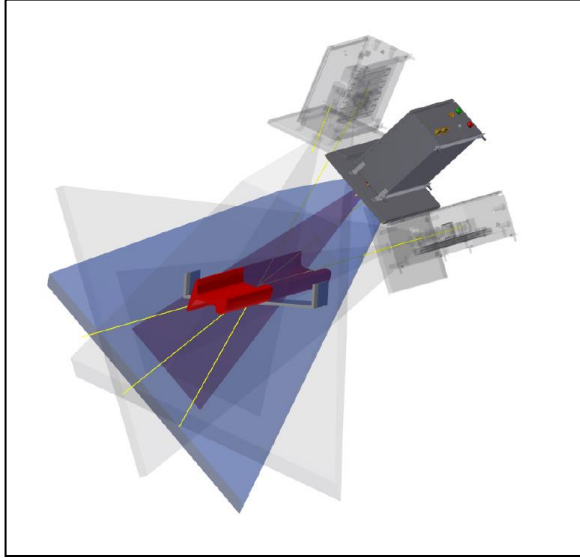
Üçüncü denemede disk üzerine girintiler açılmıştır, disk üzerine açılan kusurların ölçüleri $5 \times 3 \times 0.5$ mm ve $5 \times 3 \times 0.25$ mm'dir. Diğer denemelerde olduğu gibi yapay kusurların olduğu yüzey 5 m/s hıza ulaşacak şekilde elektrik motoru ile döndürülmüştür. Disk ile kamera arasında 80 cm mesafe kalacak şekilde üç boyutlu kamera ve lazer diskin etrafına konumlandırılmıştır. Kamera ile lazerin mamul üzerinde taradığı alanın görüntülerini üç boyutlu şekilde alınarak bilgisayara aktarılmıştır. Elde edilen veriler Matlab programında oluşturulan bir yazılım sayesinde analiz edilerek grafikler ve sayısal çıktılar oluşturulmuştur. Hazırlanan grafikten, mamulde yüzey kusuru olan noktalar tespit edilmiştir.

4.1.2. Tav Sıcaklığındaki Ray Numunesine Ait Deney Düzeneği

Deney düzeneği ray / profil üretim hattı üzerine kurulmuştur. Son hadde tezgâhı ve ölçü kontrol ünitesi sonrasında üç boyutlu kamera (1 adet) ve lazer ünitesi yerleştirilmiştir. Hattan geçirilen ray ile kamera ve lazer ünitesi arasında ~70 cm mesafe kalacak biçimde kamera ve lazer konumlandırılmıştır. Deney düzeneğine ait resim Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de verilmiştir. Deneylerde kullanılan üç boyutlu kamera ve lazer'in resmi Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Ray-profil üretim hattına konumlandırılan deney düzeneği.



Şekil 4.5. Deney düzeneği ve yüzey kusur kontrolü animasyonu.

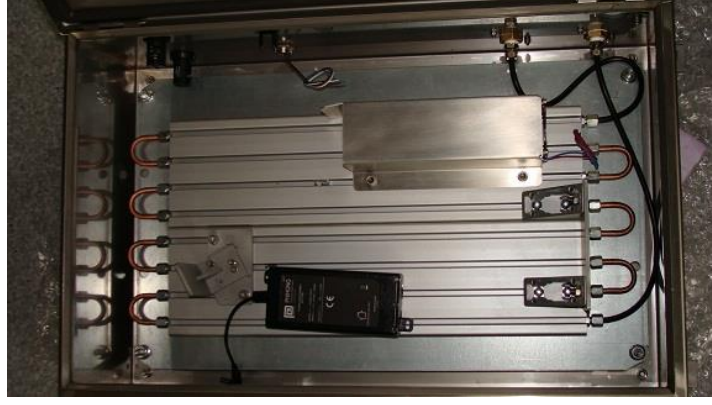


Şekil 4.6. Deneyleerde kullanılan üç boyutlu kamera ve lazer'in resmi.

Deneyleerde tandem tezgâhından çıkan 76 m uzunluğundaki ray üzerinde yüzey kusuru tespit edilmeye çalışılmıştır. Yüzey kusuru tespit edilmeye çalışılan raylarda sıcaklık ~950 °C ve rayın hızı 4~6 m/s'dir. Ölçüm sırasında 300 × 300 mm alanı tarayan kamera ve lazer kullanılmıştır. Rayın tüm çevresini tarayabilmek için en az 6 adet kamera ve lazere ihtiyaç duyulmaktadır. Yaptığımız deney çalışmasında yalnız 1 yüzeyi taramak için 1 adet kamera ve lazer kullanılmıştır. Rayda kusur oluşturulması için üzerinde farklı büyüklük ve derinlikte çıkıntılar bulunan çekiç imal ettirilmiştir. Tandem tezgâhından çıkan mamul üzerine çekiçle yapay kusurlar oluşturulmuştur. Ray üzerinde kusur oluşturulmak için imal edilen çekiç'in resmi Şekil 4.7'de verilmiştir. Üç boyutlu kamera ve lazerin soğutulması için kullanılan soğutma ünitesi Şekil 4.8'de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Ray üzerinde kusur oluşturulmak için imal edilen çekiç resmi.



Şekil 4.8. Üç boyutlu kamera ve lazer soğutma sistemi.

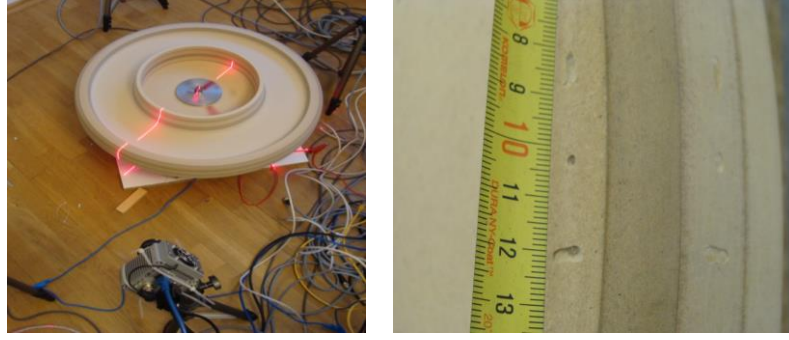
BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde üç farklı düzenekte yapılan deney sonuçları incelenmiştir. Birinci düzenekte dönen soğuk disk yüzey üzerine yapay kusurlar oluşturulmuş ve bu kusurların tespiti gerçekleştirilmiştir. İkinci düzenekte tav fırınından çıkmış, haddelene işlemi tamamlanmış sıcak ray üzerindeki üretim seri numaralarını belirleme çalışmaları yürütülmüştür. Üçüncü düzenekte ise haddelenmiş sıcak ray üzerine oluşturulan farklı ölçülerdeki yüzey kusurları tespit edilmeye çalışılmıştır.

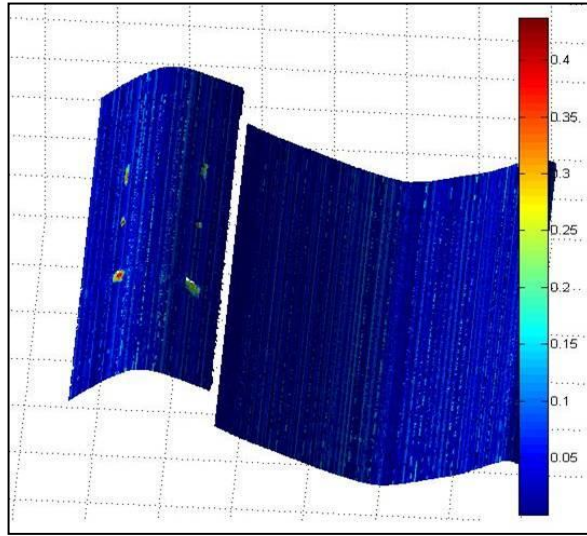
5.1. DÖNEN DİSK ÜZERİNE OLUŞTURULAN YÜZEY KUSURLARINI BELİRLENMESİ ÇALIŞMASI

Bu çalışmada ortam sıcaklığındaki bir disk üzerine girinti şeklinde yüzey kusurları oluşturulmuştur. Disk bir elektrik motoruna bağlanarak, disk üzerinde kusurların bulunduğu noktaların 5 m/s hızla döndürülmesi sağlanmıştır. Diskin çevresine üç boyutlu kamera ve kırmızı ışık yayan lazer yerleştirilmiştir. Disk üzerinde ton farkı meydana getirmek için lazer kullanılmıştır. Yüzey kusuru tespit edilen malzeme ortam sıcaklığında olması nedeniyle lazer ve kameranın soğutulması için soğutma ünitesi kurulmasına gerek duyulmamıştır. Disk üzerine oluşturulan yüzey kusurlarının ölçüleri $5 \times 3 \times 0,5$ mm ve $5 \times 3 \times 0,25$ mm'dir. Deney düzeneği ve yüzey disk üzerine açılan yapay kusurlar Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneği ve yüzey disk üzerine açılan yapay kusur resimleri.

Disk 5 m/s hızla döndürülürken lazer ile disk üzerinde ton farkı oluşturulan bölgeden üç boyutlu kamera ile veriler alınmıştır. Üç boyutlu kameradan alınan veriler, matlab paket programında hazırlanan görüntü işleme yazılımıyla analiz edilmiştir. Yazılım çıktısı olarak elde edilen grafik Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Disk üzerinden elde edilen yüzey kusur görüntüleri.

Grafikte görüldüğü üzere disk üzerine oluşturulan 6 adet yüzey kusuru disk 5 m/s hızla dönerken tespit edilmiştir. Yüzey kusurunu oluşturan noktaların derinliği, demir yolu rayı üretiminde uyulması gereken standartlarda üzerinde durulan bir parametredir. Deneysel çalışmada 0,5 mm ve 0,25 mm derinlikteki kusurlar grafikte tespit edilmiştir.

5.2. HADDELEME İŞLEMİ TAMAMLANMIŞ SICAK RAY ÜZERİNDEKİ ÜRETİM SERİ NUMARALARINI BELİRLEME

Bu çalışmada tav fırından çıkmış ve haddelenmiş mamulde (demiryolu rayı) ~910 °C sıcaklığındaki rayın üretim seri numarası kusur olarak değerlendirilip görüntülenmeye çalışılmıştır. Rayın geçtiği proses hattına üç boyutlu kamera ve kırmızı ışık yayan lazer yerleştirilmiştir. Kamera ve lazerin soğutulması için etraflarından soğuk su dolaştırılmıştır. Kameranın bulunduğu noktada rayın geçiş hızı 4~5 m/s'dir. Tek kamera ile çalışıldığından kamera sadece rayın bir yüzeyini görmektedir. Üretim hattından geçirilen sıcak rayın dijital resmi Şekil 5.3'de verilmiştir. Dijital resim çekilirken rayın sıcaklığının ortam sıcaklığına düşmesi beklenmiştir.



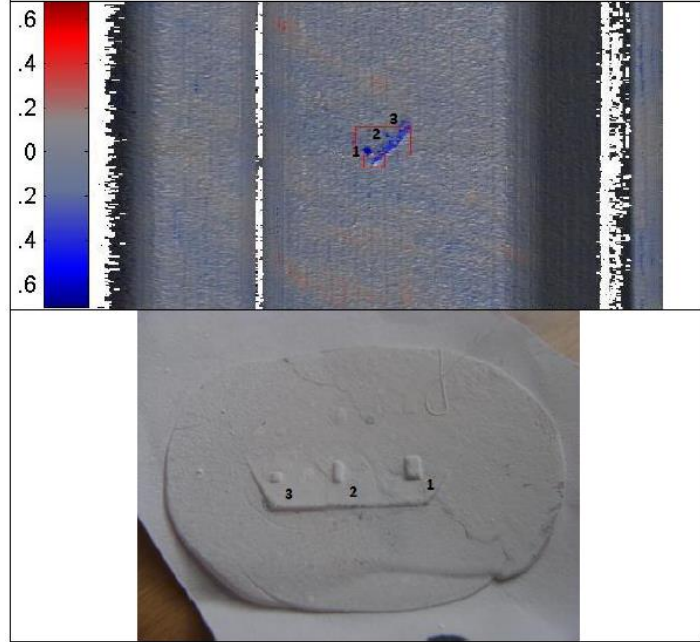
Şekil 5.3. Üretim hattından geçirilen sıcak ray ve üzerindeki üretim seri numaraları.

Haddeleme işlemi tamamlanan sıcak demir yolu rayı kameranın altından 4~5 m/s hızla geçerken lazer ile ray üzerinde ton farkı oluşturulan bölgeden üç boyutlu kamera ile veriler alınmıştır. Üç boyutlu kameradan alınan veriler, matlab paket programında hazırlanan görüntü işleme yazılımıyla analiz edilmiştir. Yazılım çıktısı olarak elde edilen grafik Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.

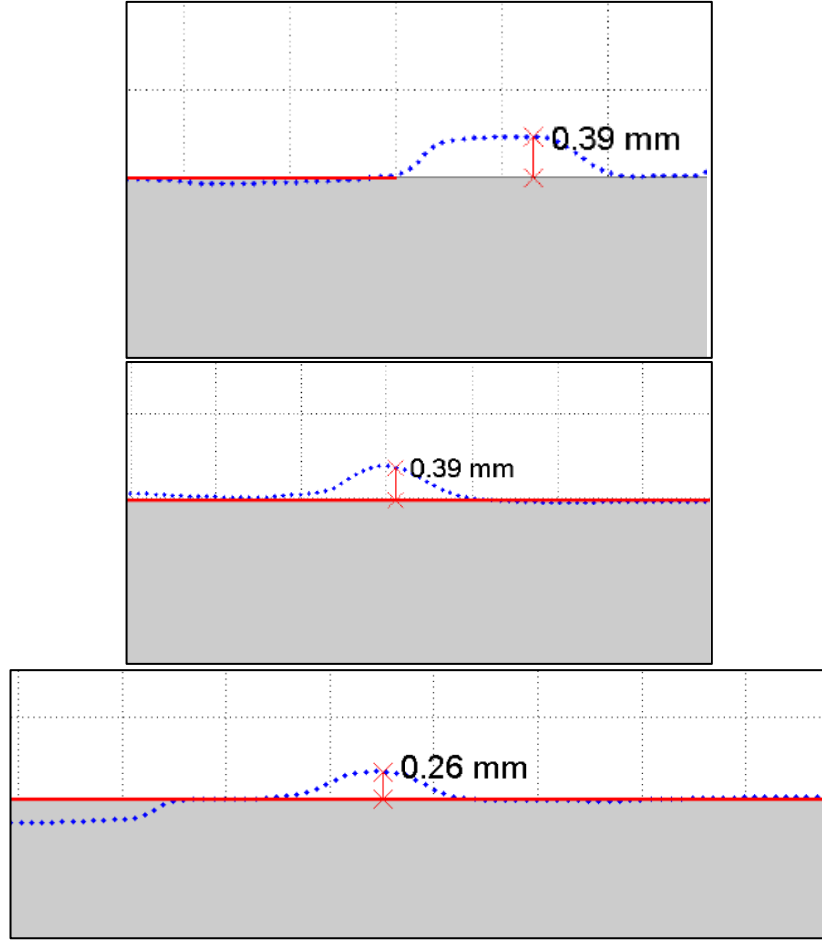
Örnekler incelendiğinde ~900 °C sıcaklıktaki ray üzerinde bulunan 0,23 mm ebattaki derinlik/yükselti online yüzey kusur işleme ünitesiyle tespit edilebilmiştir. Ray üretimde uyulması gereken standartlardaki yüzey kusur değerleri online yüzey kusur yazılımı vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir.

5.3. HADDELEME İŞLEMİ TAMAMLANMIŞ SICAK RAY ÜZERİNDE OLUŞTURULAN YAPAY YÜZEY KUSURLARI BELİRLEME

Bu çalışmada tav fırından çıkmış ve haddelenmiş mamulde (demiryolu rayı) ~910 °C sıcaklığındaki rayın üzerine yapay kusurlar oluşturulmuştur. Rayın geçtiği proses hattına üç boyutlu kamera ve kırmızı ışık yayan lazer yerleştirilmiştir. Kameranın bulunduğu noktada rayın geçiş hızı 4~5 m/s'dir. Tek kamera ile çalışıldığından kamera sadece rayın bir yüzeyini görmektedir. Rayın yüzeyine oluşturulan yüzey kusur ölçüleri Calipri marka ölçüm cihazıyla belirlenmiştir. Ölçüm cihazının doğruluğu $\pm 0,05$ mm'dir. Yüzey kusuru için Calipri marka ölçüm cihazı ile elde edilen yüzey kusur değerleriyle, online yüzey kusur ölçüm cihazından elde edilen değer arasındaki farklar aşağıda sunulmuştur.



Şekil 5.7. Ray üzerindeki üç adet yapay yüzey kusuru tespiti



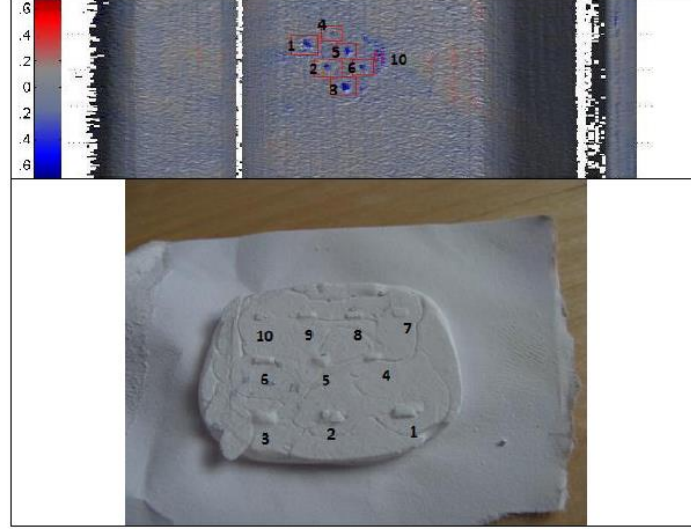
Şekil 5.8. Ray üzerindeki üç adet yapay yüzey kusuru ölçü belirleme.

Çizelge 5.1. Ray üzerindeki yapay kusurların karşılaştırılması.

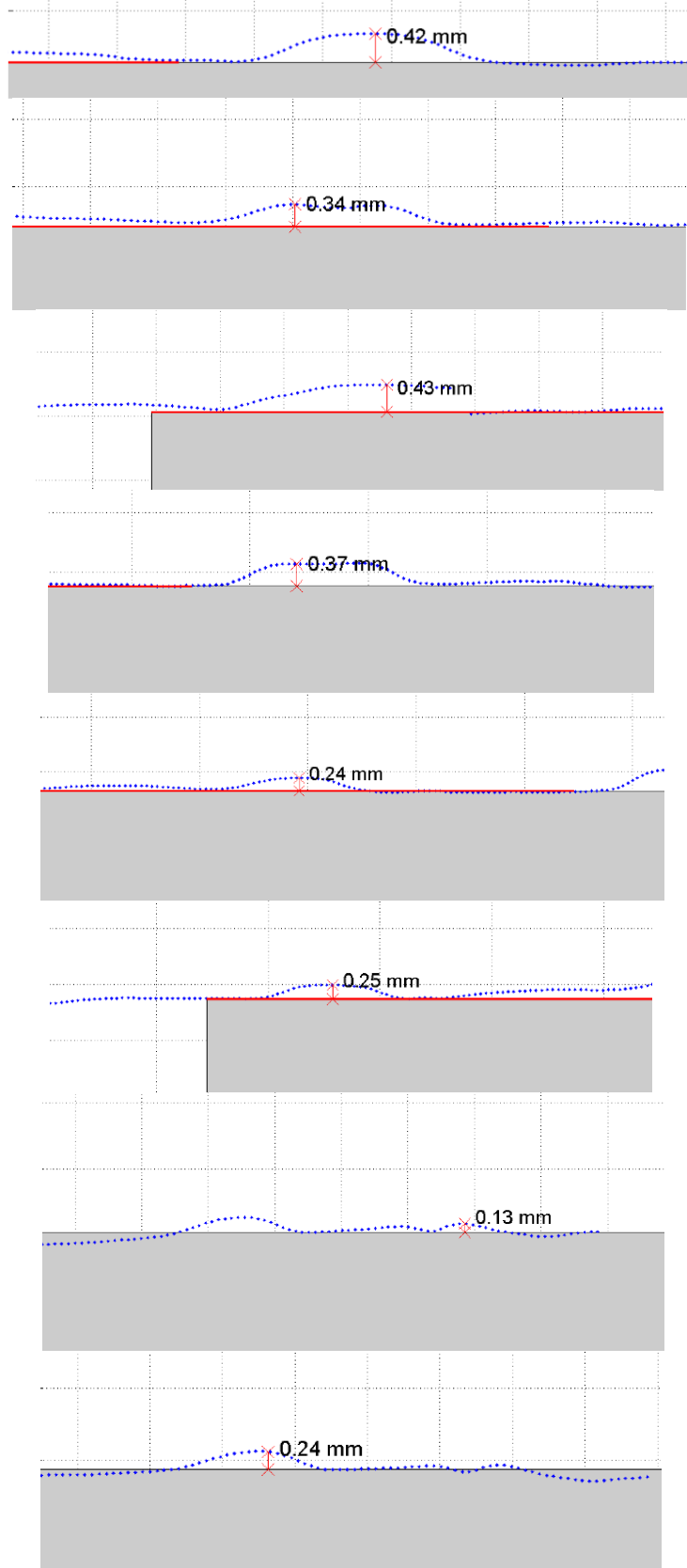
Kusur Tanımı	No	Derinlik (mm)	3D görüntüsü	Kırmızı kutuyla belirlenebilirliği
Yapay kusur	1	0,39	Var	Evet
Yapay kusur	2	0,39	Var	Evet
Yapay kusur	3	0,26	Yok	Evet

Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere online yüzey kusur kontrolü için hazırlanan yazılım 0,3 mm derinliğin üzerindeki kusurları tespit ederek yüzey kusuru olarak tanımlamıştır. Yapay kusur 3’deki 0,26 mm derinlikteki yüzey kusuru için 3D görüntüsü elde edilmiş fakat yazılımda hata olarak tanımlanan kırmızı kutu içerisinde gösterilememiştir. Bu sonuç geliştirilen online yüzey kusur kontrol sisteminin istenilen derinlikteki kusurları tespit edebildiğini göstermektedir. Ray üzerindeki

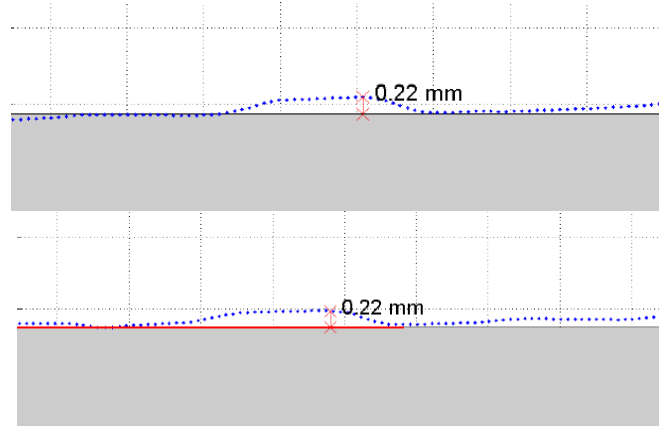
yapay yüzey kusurunu belirlemeye yönelik bir diğer örnek Şekil 5.10'da sunulmuştur.



Şekil 5.9. Ray üzerindeki on adet yapay yüzey kusuru tespiti.



Şekil 5.10. (devam ediyor).



Şekil 5.10. Ray üzerindeki on adet yapay yüzey kusuru ölçü belirleme.

Çizelge 5.2. Ray üzerindeki on adet yapay kusurların karşılaştırılması.

Kusur Tanımı	No	Derinlik (mm)	3D görüntüsü	Kırmızı kutuyla belirlene bilirliği
Yapay kusur	1	0,42	Var	Evet
Yapay kusur	2	0,34	Var	Evet
Yapay kusur	3	0,43	Var	Evet
Yapay kusur	4	0,37	Var	Evet
Yapay kusur	5	0,24	Var	Evet
Yapay kusur	6	0,25	Var	Evet
Yapay kusur	7	0,13	Yok	Hayır
Yapay kusur	8	0,24	Yok	Hayır
Yapay kusur	9	0,22	Var	Hayır
Yapay kusur	10	0,22	Var	Evet

Çizelge 5.1’de görüldüğü üzere online yüzey kusur kontrolü için hazırlanan yazılım 0,25 mm derinliğin üzerindeki kusurları tespit ederek yüzey kusuru olarak tanımlamıştır. Yapay kusur 7 ve 8’de 3D görüntüsü elde edilirken, yapay kusur 7, 8 ve 9 yazılımda hata olarak tanımlanan kırmızı kutu içerisinde gösterilememiştir.

Bu çalışmada bir adet kamera ve bir adet lazer ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Ray veya profilin tüm yüzeyini kontrol edebilmek için en az 8~10 adet 3D kamera ve lazer’e ihtiyaç duyulmaktadır. 8~10 adet kameradan alınan veriler işlenerek online yüzey kusur kontrolü yapılabilecektir.

5.4. ÇALIŞMANIN SAĞLAYACAĞI KATMA DEĞER VE ÇEVREYE ETKİSİ

Ray Profil Haddehanesinde tandemden çıkan yaklaşık 900°C'deki bir mamulde yüzey kusur kontrolü yapmak için yaklaşık 45 dakika~1 saat süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzey kusur kontrolü online ve sürekli yapılamadığından bir mamulde yüzey kusuru yakalandığında, tespit edilen kusurlu malzeme sayısı 20~30'a kadar ulaşabilmektedir. 2010 ve 2011 yıllarında bu konuyla ilgili yaptığımız istatistiki çalışmalarda aylık ortalama 40 farklı zamanda mamullerde yüzey kusuru hadisesi meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, farklı zamanlarda meydana gelen bu yüzey kusuru vakalarının her birinde ortalama 6 tane rayda periyodik kusurlar olduğu tespit edilmiştir. Üretilen mamule göre farklılık göstermekle birlikte bir adet rayın kütlesi yaklaşık 4 tondur. Haddehaneden çıkan nihai mamul kusur olmaksızın müşteriye satıldığında birim fiyatı yaklaşık 2.000 TL/ton iken mamulde yüzey kusuru var ise (hurda malzeme) birim fiyatı yaklaşık 500 TL/ton'a düşmektedir. Bilindiği gibi raylarda ikinci sınıf malzeme söz konusu olmayıp standartta belirtilen toleransların dışında rayda yüzey kusuru tespit edildiğinde mamul hurda olarak çelikhaneye gönderilmektedir. Bu ise enerji ve işçilik kayıplarına neden olmaktadır. Online yüzey kusuru kontrol sistemiyle hurda mamul miktarı 6 yerine 2'ye düşürüleceği kabul edildiğinde yılda yaklaşık 11.520.000 TL kazanç sağlanabilecektir.

Ray ve Profil Haddehanesinde farklı ebat veya türde ray üretimine geçildiğinde, tandem hadde tezgâhından çıkan ilk mamul soğutma ızgarası üzerinde soğuması için yaklaşık bir saat bekletildikten sonra gözle yüzey kusur kontrolü işlemine tabi tutulmaktadır. Mamulde yüzey kontrolü yapılması da yaklaşık 10 dakika alacağı için toplamda 1 saat 10 dakika üretim kaybı gerçekleşmektedir. Tüm bu işlemler yapılırken tav fırını çalışmaya (yakıt tüketmeye) devam etmektedir. Haddehanemizde mamul tür/ebat değişimi ayda ortalama 15 defa yapılmaktadır. Fırının saatteki yakıt (kok gazı ve yüksek fırın gazı) tüketimi 3.500 Nm³'dür. Bu değer yıllık yaklaşık 400 ton kömür eşdeğeri enerjiye karşılık gelmektedir. Online yüzey kusuru kontrol sistemiyle mamul tür/ebat değişimi esnasında beklenmeyeceği için yılda yaklaşık

120.000 TL yakıt tasarrufu sağlanacaktır. Özetle çalışmanın sağlayacağı katma değer toplamı yaklaşık 11.640.000 TL/yıldır.

Bu denemeleri yapılan online yüzey kusur kontrol sistemiyle yüzey kusurundan dolayı ortaya çıkan hurda mamul sayısı minimuma düşecektir. Ayrıca, haddehanede mamul tür/ebat değişimi esnasında gözle yüzey kusur kontrolü için beklenmeyecektir. Online yüzey kusur kontrol sistemiyle hurda mamul sayısı minimuma ineceği (hurda malzemeyi geri kazanmak için çelikhane ve haddehanede ekstra herhangi bir yakıt tüketilmeyeceğinden) ve mamul tür/ebat değişimi esnasında üretim olmaksızın fırın çalışmayacağı için yılda yaklaşık 400 ton kömür eşdeğeri enerji tasarrufu sağlanacaktır. Yapılacak yakıt tasarrufuna bağlı olarak yıllık yaklaşık 200 ton CO₂'nin atmosfere salınmasının önüne geçilerek sera gazı azaltımına katkıda bulunulmuş olunacaktır.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Üç boyutlu kamera ve lazerle ortam sıcaklığındaki disk üzerindeki yapay yüzey kusurlarının belirlenmesi, haddeleme işlemi tamamlanmış ~900 °C'deki rayın üretim seri numaralarının okunması ve haddeleme işlemi tamamlanmış ~900 °C'deki ray üzerine oluşturulan yapay kusurları belirlemeye yönelik yapılan testler doğrultusunda elde edilen sonuçlar özet halinde aşağıda sunulmuştur.

- Ortam sıcaklığındaki disk üzerine oluşturulan 6 adet yüzey kusuru, disk 5 m/s hızla dönerken 6 adet kusurda tespit edilebilmiştir. Grafikte belirlenen kusurların derinlikleri gerçek ölçülerine yakın çıkmıştır.
- Haddeleme işlemi tamamlanmış ~900 °C sıcaklıktaki ray üzerinde bulunan üretim seri numaraları tespit edilebilmiştir. 0,23 mm ebattaki derinlik/yükselti online yüzey kusur işleme ünitesiyle tespit edilebilmiştir. Ray üretimde uyulması gereken standartlardaki yüzey kusur değerleri online yüzey kusur yazılımı vasıtasıyla gerçekleştirilebilmektedir.
- Tav fırından çıkmış ve haddelenmiş mamulde (demiryolu rayı) ~910 °C sıcaklığındaki rayın üzerine yapay kusurlar oluşturulmuştur. Kameranın bulunduğu noktada rayın geçiş hızı 4~5 m/s'dir. Online yüzey kusur kontrolü için hazırlanan yazılım 0,25 mm derinliğin üzerindeki kusurları tespit ederek yüzey kusuru olarak tanımlamıştır. Bu çalışmada bir adet kamera ve bir adet lazer ile denemeler gerçekleştirilmiştir. Ray veya profilin tüm yüzeyini kontrol edebilmek için en az 8~10 adet 3D kamera ve lazer'e ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Yıldızoğlu, S., “Demir ve elik sektöründe başarılı bir enerji tasarrufu uygulaması”, *I.Ulusal Mühendislik Kongresi*, Eski Foça, İzmir (2004).
2. Xu, C. and Cang, D., “A brief overview of low CO₂ emission technologies for iron and steel making”, *Journal of Iran and Steel Research*, 17 (3): 1-7 (2010).
3. Nogami, H., Yagi, J., Kitamura, S. and Austin, P. R., “Analysis on material and energy balances of ironmaking systems on blast furnace operations with metallic charging, top gas recycling and natural gas injection”, *ISIJ International*, 46 (12): 1759-1766 (2006).
4. Topbař, M. A., “Endstri Fırınları, Cilt 1”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları*, İstanbul, 1-16 (1991).
5. Xue-Wu, Z., Yan-Qiong, D., Yan-Yun, L., Ai-Ye, S., and Rui-Yu, L., “A vision inspection system for the surface defects of strongly reflected metal based on multi-class SVM”, *Expert Systems with Applications*, 38 (5): 5930-5939 (2011).
6. Molleda, J., Usamentiaga, R., Garcı, D. F., Bulnes, F. G., Espina, A., Dieye, B., and Smith, L. N., “An improved 3D imaging system for dimensional quality inspection of rolled products in the metal industry”, *Computers in Industry*, 64 (9): 1186–1200 (2013).
7. Zheng, H., Kong, L. X., and Nahavandi, S., “Automatic inspection of metallic surface defects using genetic algorithms”, *Journal of Materials Processing Technology*, 125–126: 427-433 (2002).
8. Sancho, L. F., Alvarez, I., Diez, A., Sirat, G., and Falessi, R., “New technology for on-line surface inspection in continuous casting”, *Association of Iron and Steel Engineers*, Pittsburgh, PA (2001).
9. İnternet: Wu, G., “Online surface inspection technology of cold rolled strips”, Multimedia, Ed: Kazuki Nishi, <http://www.intechopen.com/download/get/type/pdfs/id/9061> (2010).
10. BVA, “TS EN 13674-1 Demiryolu uygulamaları - Demiryolu hattı - Ray - Bölüm 1: 46 kg/m ve zeri vignole demiryolu rayları”, *BVA Belgelendirme ve Dış Tic. Ltd. şti.*, İstanbul (2013).
11. ETF, “UIC 860: Technical specification for the supply of rails”, *Railway Technical Publications*, Paris, France (2008)

ÖZGEÇMİŞ

Serkan ATAMER, 1976 yılında Karabük'te doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2002 yılında Erciyes Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. 2003 yılında askerlik görevini yedek subay olarak yerine getirdi. 2003 yılında Kardemir A.Ş. Haddehaneler Müdürlüğünde çalışmaya başladı. 2004-2007 yılları arasında Ray Profil Haddehanesi yatırımında görev aldı. 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen Ray Profil Haddehanesi Otomasyon başmühendisi olarak görevine devam etmektedir. Serkan Atamer, evli ve iki çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Kardemir San. A.Ş. Haddehaneler Müdürlüğü / KARABÜK
Tel : 0 505 400 45 74
E-posta : serkanatamer@gmail.com