

**TOZALTI SERT DOLGU KAYNAĞINA
BOR TOZU İLAVESİNİN
AŞINMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Serkan APAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
METAL EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2007
ANKARA**

Serkan APAY tarafından hazırlanan TOZALTI SERT DOLGU KAYNAĞINA BOR TOZU İLAVESİNİN AŞINMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ
Tez Danışmanı, Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Metal Eğitim Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adem KURT
Metal Eğitim Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENÇ
Metal Eğitim Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Cemil ÇETİNKAYA
Metal Eğitim Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. Hakan ATEŞ
Metal Eğitim Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi
Yrd. Doç. Dr. İbrahim ERTÜRK
Endüstriyel Teknoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 19/10/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serkan APAY

**TOZALTI SERT DOLGU KAYNAĞINA BOR TOZU İLAVESİNİN
AŞINMA ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Serkan APAY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ekim 2007

ÖZET

Aşınan veya aşınması muhtemel yüzeyler sert dolgu ile kaplandığında kullanım ömürlerinde artış olmaktadır. Aşınan yüzeylerin bakımı ve tamirati için uygulanan yöntemlerden biriside tozaltı ile sert dolgu kaynağı uygulamalarıdır. Bu çalışmada tozaltı sert dolgu işlemlerinde yaygın olarak kullanılan OP 1250 A kaynak tozu ve bu toza ilave edilen BOR ve Grafit tozları kullanılmıştır. İlave tel olarak SG₂ kaynak teli kullanılmıştır. Deney numunelerine azot gazı ortamında ve gaz ortamı olmadan kaynak dikişleri çekilmiştir. Elde edilen kaynak dikişlerinden aşınma, sertlik ve mikro yapı numuneleri çıkartılmıştır. Bu numuneler üzerinde sertlik ölçümü, aşınma deneyi ve metalografik incelemeler yapılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda aşınma değerlerinin ve sertlik değerlerinin ilave edilen Bor, Grafit tozu ve azot gazı ilavesi ile arttığı görülmüştür. Bu numunelere uygulanan deneyler neticesinde, % 40 Bor + % 10 Grafit ve % 50 OP 1250 A toz karışımı kullanılarak, azot gazı ilaveli, numunede en iyi sertlik ve en iyi aşınma direncine ulaşılmıştır.

Bilim Kodu : 710.3.019
Anahtar Kelimeler : Tozaltı kaynağı, sert dolgu, bor, aşınma, sürtünme
Sayfa Adedi : 120
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC

**THE EFFECT OF BORON POWDER ADDITION ON WEAR PROPERTIES OF
SUBMERGED HARD FACING WELDING**

(M. Sc. Thesis)

Serkan APAY

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE & TECHNOLOGY**

October 2007

ABSTARACT

When worn and likely to worn surfaces are coated with hard facing, their service life increase. One of the maintance method for the worn surfaces is the application of Submerged hard facing welding. In this study, OP 1250 A welding powder, which is used commanly, with additions of Boron and Graphite are used. SG₂ was used as welding wire. Samples were welded under N and in the air. Samples were cut out for hardness, and microstructural investigations. Hardness measurements and microstructural investigations were carried out on these samples. It is pointed out from the examinations that hardness of weld increased with the addition of Boron and Graphite and the usage of N. The highest hardness value was obtained with the powder combination of 40 % Boron, 10 % Graphite and 50 % OP 1250 A under N.

Science Code : 710.3.019
Key Words : Submerged arc welding, hard facing, boron, wear, tribology
Page Number : 120
Advisers : Assist. Prof. Dr. Behçet GÜLENC

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Behçet GÜLENC hocama yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Ahmet DURGUTLU hocama, ayrıca Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Nurullah KIRATLI' ya, İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalürji Malzeme Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. İsmail Özdemir ve Arş. Gör. Işıl Kayatekin' e, yapmış olduğum deneysel çalışmalarım da emeği geçen bütün arkadaşlarıma ve maddi, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. TOZALTI KAYNAĞI VE SERT DOLGU KAYNAĞI	4
2.1. Tozaltı Kaynağı.....	4
2.1.1. Tozaltı kaynağının genel özellikleri.....	4
2.1.2. Tozaltı kaynağı prensibi ve kaynak donanımı	5
2.1.3. Tozaltı kaynağının avantajları ve dezavantajları.....	8
2.1.4. Tozaltı kaynağının uygulama alanları.....	9
2.1.5. Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan kaynak tozları	10
2.1.6. Tozaltı kaynak yönteminde kullanılan kaynak telleri	12
2.2. Sert Dolgu Kaynağı.....	15
2.2.1. Sert dolgu kaynağı için kaynak yöntemi seçimi	17
2.2.2. Sert dolgu alaşımlarının sınıflandırılması	18
2.2.3. Sert dolgu kaynağının uygulama alanları.....	22
2.2.4. Sert dolgu kaynağının uygulanması	22

	Sayfa
3. SÜRTÜNME VE AŞINMA.....	24
3.1. Sürtünme	24
3.1.1. Genel tarif ve sınıflandırma	24
3.1.2. Sürtünme kanunları	37
3.1.3. Sürtünme katsayısı	38
3.2. Aşınma	39
3.2.1. Aşınma hasarları.....	40
3.2.2. Aşınma türleri.....	41
3.2.3. Aşınma deneyleri ve ölçüm yöntemleri	53
4. BOR MİNERALİ VE BOR BİLEŞİKLERİ	58
4.1. Bor Mineralleri.....	59
4.1.1. Kalsiyum boratlar.....	61
4.1.2. Sodyum – kalsiyum boratlar	63
4.1.3. Sodyum boratlar	64
4.1.4. Magnezyum – kalsiyum boratlar.....	66
4.1.5. Magnezyum boratlar	67
4.1.6. Stronsiyum boratlar	67
4.1.7. Silisyum – kalsiyum boratlar	68
4.1.8. Kompleks boratlar	68
4.2. Bor Minerallerinin Kullanım Alanları	68
4.3. Bor Yataklarının Dünyadaki Dağılımı	70
4.4. Türkiye Borat Yataklarının Dağılımı Ve Jeolojik Konumu.....	71
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	74

	Sayfa
5.1. Deneyde Kullanılan Materyaller.....	74
5.1.1. Ana malzeme.....	74
5.1.2. Kaynak teli	74
5.1.3. Kaynak tozu	75
5.2. Deneylerde Kullanılan Cihazlar.....	75
5.2.1. Kaynak makinesi.....	75
5.2.2. Aşınma cihazı.....	75
5.3. Metot	76
5.3.1. Deneylerde kullanılacak tozların hazırlanması	77
5.3.2. Kaynak numunelerinin hazırlanışı ve kaynağın yapılışı	79
5.3.3. Metalografik deneyler için numune hazırlama ve metalografik inceleme	80
5.3.4. EDS (Enerji Dispersif Spektrometresi) analizi ve kimyasal yaş analiz	81
5.3.5. Numune sertlik ölçümleri.....	82
5.3.6. Aşınma deneyi.....	83
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	84
6.1. Metalografik İnceleme Sonuçları	84
6.1.1. Ana metal görüntüleri	84
6.1.2. Isı tesiri altındaki bölge (ITAB) görüntüleri	85
6.1.3. Kaynak metali görüntüleri.....	88
6.1.4. Ana metal, ITAB ve kaynak dikişi birleşik görüntüler	95
6.2. EDS (Enerji Dispersif Spektrometresi) Analizi ve Kimyasal Yaş Analiz Sonuçları	98

	Sayfa
6.2.1. EDS (Enerji Dispersif Spektrometresi) analizi sonuçları	98
6.2.2. Kimyasal yaş analiz sonuçları	100
6.3. Sertlik Ölçümü Deney Sonuçları	102
6.4. Aşınma Deneyi Sonuçları	103
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	107
KAYNAKLAR	111
EKLER	116
ÖZGEÇMİŞ	120

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Tozaltı kaynağında kullanılan kaynak tellerinde bulunan elementlerin % sınırları ve etkileri	13
Çizelge 2.2. TS 5387 EN 756' ya göre tozaltı kaynağında kullanılan tellerin kimyasal bileşimleri (ağırlıkça %)	14
Çizelge 2.3. Tozaltı kaynak tellerindeki manganez miktarı	14
Çizelge 3.1. Metallerin adhesyonunu etkileyen faktörler	46
Çizelge 3.2. Abrasiv aşınma proseslerinin içerdiği tipik aşınma hızları	49
Çizelge 4.1. Ticari öneme sahip bor mineralleri	61
Çizelge 5.1. Ana malzemenin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %)	74
Çizelge 5.2. Deneyleerde kullanılan SG ₂ kaynak telinin kimyasal bileşimi (ağırlıkça %)	74
Çizelge 5.3. Toz karışım oranları ve kaynak ortamları	78
Çizelge 6.1. Deney numuneleri EDS analizi sonuçları	100
Çizelge 6.2. Kimyasal yaş analiz sonuçları	101
Çizelge 6.3. Sertlik ölçüm deneyi sonuçları	102
Çizelge 6.4. Aşınma deneyi sonucu numunelerdeki aşınma miktarları	104

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tozaltı kaynak yönteminin prensip gösterimi	6
Şekil 2.2. Tozaltı kaynak yönteminin donanım gösterimi	7
Şekil 2.3. Sert dolgu kaynakları	15
Şekil 2.4. Saç kesme zımba matris takımı.....	16
Şekil 2.5. Fe bazlı sert dolgu alaşımlarının mikro yapılarına göre uygulama alanları (Kotecki diyagramı)	19
Şekil 3.1. Sürtünme çeşitleri	24
Şekil 3.2. Kuru sürtünme modeli	26
Şekil 3.3. Kuru sürtünme halinde yüzeylerin durumu	26
Şekil 3.4. Mikro kaynakların oluşması	27
Şekil 3.5. Sınır sürtünmesi	30
Şekil 3.6. Sıvı sürtünme	31
Şekil 3.7. Hidrodinamik sıvı sürtünmesi.....	33
Şekil 3.8. Sürtünme katsayısının değişimi	34
Şekil 3.9. Hidrostatik sıvı sürtünme.....	34
Şekil 3.10. Yuvarlanma sürtünmesi	36
Şekil 3.11. Elastohidrodinamik sürtünmesi	37
Şekil 3.12. Statik ve dinamik sürtünme katsayıları.....	38
Şekil 3.13. Tribolojik bir sistemin şematik olarak gösterimi	40
Şekil 3.14. Adhesiv aşınmada oluşan kaynak bağı	42
Şekil 3.15. Kaynak bağlarının kopması ve malzeme transferi.....	43
Şekil 3.16. Üç cisimli abrasiv aşınma mekanizması	48
Şekil 3.17. Abrasiv tane boyutunun fonksiyonu olarak iki metalin aşınma oranı	48
Şekil 3.18. Kazımadan kaynaklanan toplam ağırlık kaybında toplam yer değiştirme miktarının etkisi	53

Şekil	Sayfa
Şekil 3.19. Yağlamalı ve yağlamasız adhesiv aşınma deney yöntemleri.....	54
Şekil 3.20. Abrasiv aşınma deneylerinde kullanılan yöntemler.....	55
Şekil 5.1. Pin on Disk tipi aşınma cihazı	76
Şekil 5.2. Numune ölçülerinin gösterimi	79
Şekil 5.3. Numune hazırlama kısımları.....	80
Şekil 5.4. Deney numunesi	81
Şekil 5.5. Sertlik ölçüm noktaları.....	83
Şekil 6.1. Deney numuneleri aşınma deneyi sonuçları	106
Şekil 7.1. Fe-B ikili faz diyagramı	108
Şekil 7.2. B-C ikili faz diyagramı	109

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Bor mineralinin görünümü.....	59
Resim 4.2. Kolemanit mineralinin görünümü.....	62
Resim 4.3. Pandermit mineralinin görünümü	63
Resim 4.4. Üleksit mineralinin görünümü	64
Resim 4.5. Boraks mineralinin görünümü	65
Resim 4.6. Kernit mineralinin görünümü	66
Resim 6.1. Deney numunesi ana metal görünüşü x 400	84
Resim 6.2. 1 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	85
Resim 6.3. 2 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	86
Resim 6.4. 3 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	86
Resim 6.5. 4 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	86
Resim 6.6. 5 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	87
Resim 6.7. 6 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	87
Resim 6.8. 7 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	87
Resim 6.9. 8 Nolu numune ITAB görünüşü x 400	88
Resim 6.10. 1 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	89
Resim 6.11. 1 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	89
Resim 6.12. 2 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	89
Resim 6.13. 2 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	90
Resim 6.14. 3 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	90
Resim 6.15. 3 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	90
Resim 6.16. 4 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	91
Resim 6.17. 4 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	91
Resim 6.18. 5 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	91
Resim 6.19. 5 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	92

Resim	Sayfa
Resim 6.20. 6 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	92
Resim 6.21. 6 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	92
Resim 6.22. 7 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	93
Resim 6.23. 7 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	93
Resim 6.24. 8 Nolu numune kaynak metali görünüşü x 400	93
Resim 6.25. 8 Nolu numune SEM görüntüsü x1000	94
Resim 6.26. 1 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	95
Resim 6.27. 2 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	95
Resim 6.28. 3 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	96
Resim 6.29. 4 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	96
Resim 6.30. 5 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	97
Resim 6.31. 6 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	97
Resim 6.32. 7 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	97
Resim 6.33. 8 Nolu numunenin Ana metal, ITAB ve dikiş görünüşü x 50	98

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simge ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
<i>a</i>	Metalik bağ yüzdesi
A	Amper
A_g	Temas alanı
B	Bor
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
Co	Kobalt
cm	Santimetre
d	Yoğunluk
dev	Devir
dk	Dakika
F	Kuvvet
Fe	Demir
F_n	Normal kuvvet
F_s	Sürtünme kuvveti
gr	Gram
h	Yükseklik
Ha	Aşındırıcı sertliği
Hm	Aşınan malzeme sertliği
HRc	Rockwell C sertlik değeri
kg	Kilogram
km	Kilometre
M	Yükleme ağırlığı

Simgeler	Açıklama
m	Metre
mg	Miligram
mm	Milimetre
Mn	Mangan
M_{sr}	Yuvarlanma sürtünme momenti
N	Newton
Na	Sodyum
Ni	Nikel
O	Oksijen
R_{t1} - R_{t2}	Her iki yüzeyin maksimum pürüzlülüğü
S	Kükürt
s	Saat
SG₂	Gazaltı kaynak teli çeşidi
Si	Silisyum
t_{km}	Kesme mukavemeti
t_{ko}	Kayma mukavemeti
U	Tabaka hızı
μ	Sürtünme katsayısı
μ_s	Statik sürtünme katsayısı
V	Volt
V_s	Bir km aşınma yoluna tekabül eden yükseklik kaybı
W_a	Aşınma oranı
W_r	Ters aşınma oranı
ΔG	Ağırlık kaybı
σ_{ko}	Kopma mukavemeti
σ_{kf}	Yağ tabakası kopma mukavemeti

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AISI	Amerikan çelik standardı
ASTM	Amerika standardı
AWS	Amerika kaynak standardı
DIN	Alman normu
EDS	Enerji Dispersif Spektrometresi
EN	Avrupa normları
EPMA	Elektron Işınlı Mikro Analiz
GB	Güney batı
GD	Güney doğu
ITAB	Isı tesiri altındaki bölge
KB	Kuzey batı
KD	Kuzey doğu
MİG – MAG	Gazaltı kaynak yöntemi
OE-S1	Oerlikon tozaltı kaynak teli
OP 1250 A	Oerlikon sert dolgu tozu
PPM	Part(s) Per million/Milyonda bir
SEM	Scanning Electron Microscope
TIG	Tungsten Inert Gas
TS	Türk standartları
XRD	X - Işınları Difraksiyon