

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BORLAMA İLE MUKAVEMET
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mithat ŞİMŞEK

**Danışman
Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİMDALİ
ISPARTA – 2005**

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BORLAMA
İLE MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Mithat ŞİMŞEK

**Yüksek Lisans Tezi
MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA 2005**

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BORLAMA İLE MUKAVEMET
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

MİTHAT ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Isparta 2005

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MAKİNA EĞİTİMİ ANABİLİM DALI'nda
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT.....

Üye :Doç. Dr. Osman İPEK.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Reşat SELBAŞ.....

ONAY

Bu tez/...../ 2005 tarihinde Enstitü Yönetim kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../ 2005

Prof. Dr. Çiğdem SAVAŞKAN

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1.GİRİŞ	1
1.1. İçten Yanmalı Motorlar	3
1.1.1. İçten Yanmalı Motorların Parçaları	4
1.1.1.1. Silindir Bloğu.....	4
1.1.1.2. Silindir Gömleği	5
1.1.1.3. Silindir Kapağı	6
1.1.1.4. Karter	6
1.1.1.5. Piston ve Piston Pimi	7
1.1.1.6. Ana Mil (Krank Mili).....	8
1.1.1.7. Volân.....	9
1.1.1.8. Supap Sistemi.....	9
1.1.1.9. Yardımcı Parçalar.....	10
1.2. Aşınma Özellikleri	11
1.2.1. Adhesiv Aşınma	12
1.2.2. Abrasiv Aşınma.....	13
1.2.3. Korozi Aşınması	15
1.2.4. Tabaka ve Yenme Aşınması	15
1.3. Çil Döküm Yöntemi.....	16
1.4. Bor Elementi	18
1.4.1. Saf Bor'un Fiziksel Özellikleri	19
1.4.2. Bor Ürünleri	20
1.4.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları.....	22
1.5. Borlama ve Yöntemleri.....	24

1.5.1. Katı Ortamda Borlama	27
1.5.1.1. Toz Ortamda Borlama.....	27
1.5.1.2. Macunlama ile Borlama	29
1.5.2. Sıvı Ortamda Borlama	30
1.5.2.1. Daldırma Yöntemi.....	30
1.5.2.2. Elektroliz Yöntemi	31
1.5.2.3. Derişik Çözeltide Borlama.....	32
1.5.3. Gaz Ortamda Borlama.....	32
1.5.4. Plazma Borlama	33
1.6. Borür Tabakasının Özellikleri.....	35
1.6.1. Borürlü Tabakanın Yapı ve Bileşimi	35
1.6.1.1. Borür Tabakası.....	35
1.6.1.2. Geçiş Bölgesi	37
1.6.1.3. Borürlü Tabakanın Yapı ve Bileşimine Alaşım Elemanlarının Etkisi ...	40
1.6.2. Borlu Tabakanın Mekanik Özellikleri	41
1.6.2.1. Sertlik	41
1.6.2.2. Aşınma Özellikleri	43
1.6.2.3. Borlanmış Çeliklerin Korozyona Karşı Dayanıklılığı	45
1.6.3. Borlu Tabakanın Kalınlığı	47
1.6.4. Borür Tabakası Çeşitleri	48
1.6.5. Borür Tabakasındaki Kalıntı Gerilmeler.....	50
1.6.6. Borlama İşlemi Sonrası Uygulanabilen Isıl İşlemler	50
1.6.7. Borlanabilen Malzemeler	52
2. KAYNAK BİLGİSİ	55
3. MATERYAL VE METOD	60
3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	60
3.2. Borlama İşlemi	62
3.3. Metalografik İnceleme	63
3.4. Sertlik Ölçümü	64
3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	65
3.6. Aşınma Deneyi.....	66
3.7. Korozyon Deneyleri.....	71

4. BULGULAR.....	72
4.1. Mikro Yapı İnceleme Sonuçları.....	72
4.2. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları	85
4.3. Aşınma Deneyi Sonuçları	85
4.3.1. Motor Üzerinde Yapılan Aşınma Deney Sonuçları	86
4.3.2. Pin-On Disk Cihazında Yapılan Aşınma Deneyi.....	86
4.4. Korozyon Deneyi Sonuçları.....	86
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	96
6. KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	102

ÖZET

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA BORLAMA İLE MUKAVEMET ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

İçten yanmalı motorlarda normal çalışma süreleri boyunca birçok arızalar meydana gelebilir. Bu arızalar motor çalışma performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Bir bütün (sistem) içinde çalışan her eleman zamanla yıpranır, özelliğini kaybeder, verimden düşer, ekonomik olmaktan çıkar.

Çok değişik alanlarda güç kaynağı olarak kullanılan içten yanmalı motorların durumu da aynıdır. Aşınma şekil değiştirme gibi çeşitli nedenler ile arızalanıp gücünün bir kısmını yitirmiş bir motordan tekrar yararlanabilmek için motor elemanlarının bir dizi işlemlerden geçirilmesi gerekir. Bu işlemlerin tümü motor yenileştirmeyi oluşturur. Bu çalışmada motorlarda meydana gelen en büyük problemlerden olan aşınmanın en aza indirilmesi için supap sisteminde bulunan supap iticilerine borlama işlemi uygulanmış ve mukavemet özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışmada Asil Çelik firmasından temin edilen Ç 1050 çeliğine ve Oygarsan A.Ş.'den temin edilen Tofaş 131 marka motora ait çil döküm yöntemiyle üretilmiş olan supap iticilerine bor kaplama işlemi uygulanmıştır. Supap iticilerine %90 Ekabor-2 ile %10 SiC tozunun karışımı bulunan ortamda 900 °C sıcaklıkta 5 saat fırında bekletilip; yine fırında soğutularak katı borlama işlemi uygulanmıştır. Borlanan supap iticilerin optik ve SEM mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Tabaka kalınlığı ve sertlikleri ölçülmüştür. Borlanmış ve borlanmamış supap iticileri korozyon deneyine, motor üzerinde ve pin-on disk cihazında aşınma deneylerine tabi tutularak aralarındaki dayanım farkları karşılaştırılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Borlama, İçten Yanmalı Motor, Mukavemet özellikleri, supap iticileri, Aşınma, Korozyon

ABSTRACT**INVESTIGATION OF STRENGTH PROPERTIES OF INTERNAL
COMBUSTION ENGINES BY BORONIZING**

In internal combustion engines, there can be several defects in regular working periods. These defects effects working performance of engine negatively. Elements which are working in whole system, fray, loose it's properties, efficiency of the system decreases, and fails in terms of economics.

Internal combustion engines used in several fields as a source of power have the same problems. To make good use of an engine that is out of order because of the problems such as wear and deformation, it is necessary to pass through serial processes. All of those processes form engine restoring. In this study, for minimizing wear that is the major problem in engines, boronizing process was applied to valve lifter in valve system and strength properties were investigated.

Boron coating process was applied to Ç1050 steel that was obtained from Asil Çelik Firm, and applied to valve lifter of Tofaş 131 model automobile that was produced by chills ductile method and obtained from Oygarsan A.Ş. Solid boronizing process was applied to valve lifters in an environment that was consisting of mixture of 90 % Ekabor-2 and 10 % SiC powder. The application carried out at 900 °C and kept in a furnace for 5 hours period, and cooling process was applied also in furnace. Optical and SEM microstructure photographs of boronized valve lifters were taken. Boronized and unboronized valve lifters were passed through corrosion experiments and wear experiments on engine and on pin-on disc and the strength differences between them were compared.

KEY WORDS: Boronizing, Internal Combustion Engine, Strength Properties, Valve Lifters, Wear, Corrosion.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın başlatılmasında, yürütülmesinde ve tamamlanmasında çok büyük maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Ali Kemal YAKUT'a ve ayrıca tezin her safhasında ilgi ve desteğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Reşat SELBAŞ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımı SDÜ 802 nolu proje olarak kabul edip maddi destek sağlayan S.D.Ü. Araştırma Projeleri Yönetim Birim Başkanlığına teşekkür ederim. Deneyleerin yapımında yardımcı olan Öğr. Gör. Dr. Adnan Çalık ve Öğretmen arkadaşım Erkan Yılmaz'a, tecrübelerini bize her zaman aktaran Doç. Dr. Abdullah ÖZSOY'a ve Yrd. Doç. Dr. Ertuğrul DURAK hocama teşekkür ederim. Deney numunelerinin ağırlıklarının ölçülmesinde yardımcı olan S.D.Ü. Pomza Araştırma Merkezi çalışanlarına ve deney malzemelerinin hazırlanması ve mikroyapı fotoğrafların çekilmesinde yardımcı olan Isparta Endüstri Meslek Lisesi Döküm Bölüm öğretmenlerine ve bölüm şefi Fuat KÖSE'ye, tezin düzenlenmesinde yardımcı olan arkadaşlarım Öğr. Gör. İbrahim ÇETİNER, Öğr. Gör. Muhammed Çayırılı, Öğr.Gör. Güray TONGUÇ ve Arş.Gör. Önder KIZILKAN'a ve S.D.Ü. Keçiborlu Meslek Yüksekokulu mesai arkadaşlarıma ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezin başlangıcından bitimine kadar sabır gösterip desteğini esirgemeyen eşim ve kızlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
B	Bor
B ₂ H ₆	Diboran
B ₄ C	Bor karbür
BCl ₃	Bortriklorit
BN	Bor nitrür
C	Karbon
Cr	Krom
Cu	Bakır
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
D	Yayınma katsayısı
D	çap
Fe	Demir
FeB	Demir borür
Fe-Si	Ferro silisyum
Fe-Ti	Ferro titanyum
H ₂ SO ₄	Sülfürik asit
H ₃ BO ₃	Borik asit
HCl	Hidro klorür
K	Kelvin derecesi
Mo	Molibden
Mn	Mangan
MnB	Mangan borür
Na ₂ B ₄ O ₇	Susuz boraks
Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	Boraks dekahidrat
Na ₂ B ₄ O ₇ .5H ₂ O	Boraks pentahidrat
Na ₃ AlF ₆	Kriyolit
NaBO ₂ H ₂ O ₂ 3H ₂ O	Sodyum perborat
NaCl	Sodyum klorür

Ni	Nikel
n	Devir
°C	Santigrad derece
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si	Silisyum
SiC	Silisyum karbür
S_k	Kayma mesafesi
Ti	Titanyum
T	zaman
V	Cilt, Vanadyum, Voltaj, V çentik
V_k	Kayma hızı
VC	Vanadyum karbür
γ	Ostenit fazı
δ	Delta ferrit fazı
HV	Vickers sertliği
HB	Brinel sertliği
AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
DIN	Deutsche Industrie Norm
ASM	American Society for Metals
SEM	Scanning electron microscopy
EDS	Energy dispersive spectrometry
X-Ray	X –ray diffraction

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. İçten yanmalı motor parçaları	4
Şekil 1.2. Silindir bloğu.....	5
Şekil 1.3. Silindir gömleği.....	5
Şekil 1.4. Karter	6
Şekil 1.5. Piston ve segmanlar	7
Şekil 1.6. Piston kolu ve pim.....	8
Şekil 1.7. Ana mil (krank mili)	8
Şekil 1.8. Supap sisteminin komple görünüşü	10
Şekil 1.9. Tribolojik bir sistemin şematik gösterilmesi	12
Şekil 1.10. Saf haldeki borun görüntüsü	19
Şekil 1.11. Borlama işleminde, sertlik-yüzeyden mesafe ilişkisi.....	25
Şekil 1.12. Fe-B denge diyagramı.....	26
Şekil 1.13. Gaz ortamda borlama tertibatının şematik gösterimi.....	33
Şekil 1.14. Plazma borlama tesisat şeması.....	34
Şekil 1.15. Borlama sonrası alaşımsız çelikte FeB ve Fe ₂ B fazlarının görünüşü.	36
Şekil 1.16. Dış biçimli demirborür kristalleri (Fe ₂ B).....	37
Şekil 1.17. Borlanmış AISI 1020 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı.....	39
Şekil 1.18. Borlanmış AISI 4140 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı.....	39
Şekil 1.19. Alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde eşit şartlarda borlama ile elde edilen borür tabaka kalınlıkları	40
Şekil 1.20. Borlu tabaka ile semantasyonlu tabakanın sertlik dağılımları kıyaslaması.....	43
Şekil 1.21. Yüzeyi borlu ve borsuz AISI 1116 çeliğinin yüke karşı aşınma davranışı	44
Şekil 1.22. % Alaşım elementleri miktarının borür tabakası kalınlığına etkisi.....	48
Şekil 1.23. Borür tabakası çeşitleri	49
Şekil 1.24. Borlamadan sonra yapılabilen ısıl işlem örnekleri.....	51
Şekil 3.1. Deney numuneleri	60

Şekil 3.2. Borlama işleminde kullanılan potanın ve supap iticilerinin pota içerisindeki yerleşiminin şematik görünüşü.....	61
Şekil 3.3. Deneyde kullanılan kül fırını	62
Şekil 3.4. Numunelerin kesilmesinde kullanılan hassas kesme cihazı.....	63
Şekil 3.5. Numunelerin parlatılmasında kullanılan parlatma cihazı	64
Şekil 3.6. Metalografik incelemede kullanılan optik mikroskop	64
Şekil 3.7. Sertlik ölçme cihazı.....	65
Şekil 3.8. Taramalı Elektron Mikroskopu	66
Şekil 3.9. Aşınma deney düzeneği	67
Şekil 3.10. Aşınmaya maruz kalan supap iticisinin şematik gösterimi.....	68
Şekil 3.11. Supap iticisi üzerine uygulanan kuvvet	69
Şekil 3.12. Pin - On Disk Aşınma deney düzeneğinin şematik görünümü	70
Şekil 3.13. Aşınma tespitinde kullanılan hassas terazi	71
Şekil 4.1. Ç 1050 Supap iticisi mikroyapı fotoğrafı.....	73
Şekil 4.2. Çil döküm supap iticisi mikroyapı fotoğrafı	74
Şekil 4.3. Ç 1050 Supap iticisi mikroyapı fotoğrafı.....	75
Şekil 4.4. Çil döküm supap iticisi mikroyapı fotoğrafı	76
Şekil 4.5. Ç 1050 Supap iticisi borür tabakası ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafı.....	77
Şekil 4.6. Çil döküm supap iticinin borür tabakası ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafı.....	78
Şekil 4.7. Ç 1050 Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü	79
Şekil 4.8. Ç 1050 Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü	80
Şekil 4.9. Ç 1050 Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü	81
Şekil 4.10. Çil Döküm Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı	82
Şekil 4.11. Çil Döküm Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü	83

Şekil 4.12. Çil Döküm Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı	84
Şekil 4.13. Motor üzerinde yapılan deneyde supap iticilerinde aşınma periyoduna göre meydana gelen ağırlık kaybı	88
Şekil 4.14. Motor üzerinde yapılan deneme sonunda supap iticilerinde meydana gelen toplam aşınma kaybı	88
Şekil 4.15. Motor üzerinde yapılan aşınma deneyi sonucunda supap iticilerinin görüntüsü.....	89
Şekil 4.16. Pin on disk cihazında yapılan deneyde supap iticilerinde aşınma periyoduna göre meydana gelen ağırlık kaybı	91
Şekil 4.17. Pin on disk cihazında yapılan deney sonunda supap iticilerinde meydana gelen toplam aşınma kaybı	91
Şekil 4.18. Sıcaklığa bağlı olarak korozif ortamda borlanmış Ç 1050 ve çil döküm supap iticilerde meydana gelen aşınma kaybı.....	93
Şekil 4.19. Sıcaklığa bağlı olarak korozif ortamda borlanmamış Ç 1050 ve çil döküm supap iticilerde meydana gelen aşınma kaybı.....	93
Şekil 4. 20. Korozif ortamda yapılan deney sonunda supap iticilerinde meydana gelen toplam aşınma kaybı.....	94
Şekil 4.21. Korozyon deneyi sonucunda supap iticilerinin görüntüsü.....	94
Şekil 4.22. Korozyon deneyi sonucunda supap iticilerinin görüntüsü.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Kristalin borun yapısı ve kafes parametreleri.....	19
Çizelge 1.2. Bor ve bazı bileşiklerin sertlikleri.....	20
Çizelge 1.3. Bor ürünlerinin kullanım sektörleri	23
Çizelge 1.4. Koruyucu gaz atmosferinin özellikleri.....	29
Çizelge 1.5. Sıvı ortam borlanmasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri.....	30
Çizelge 1.6. Fe ₂ B ve FeB'nin bazı özellikleri	37
Çizelge 1.7. Çeşitli işlemlere tabi tutulmuş malzemelerin mikrosertlik değerleri	42
Çizelge 1.8. T=800-1000 sıcaklıklarda, t = 2 – 6 saatte borlanan ve borsuz numunelerin aşınma esnasındaki sürtünme katsayıları	44
Çizelge 1.9. 3 saat süreyle borlanmış ve borlanmamış “3” adet özel hazırlanan alaşımda 56°C sıcaklıktaki % 10 H ₂ SO ₄ korozif ortamında ağırlık kaybı testi ile elde korozyon değerleri	46
Çizelge 1.10. Sementasyon ve borlama ile elde edilen sertliklere ısı işlem sıcaklığının etkisi.....	52
Çizelge 1.11. Borlanabilen bazı ferro malzemeler ve kullanım alanları.....	53
Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan Ç 1050 iticinin kimyasal bileşimi	61
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan Çil Döküm iticinin kimyasal bileşimi.....	61
Çizelge 4.1. Deney numunelerin sertlik değerleri	85
Çizelge 4.2. Borlanmış ve borlanmamış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılan supap iticilerinin motor üzerinde yapılan aşınma deney sonuçları	87
Çizelge 4.3. Borlanmış ve borlanmamış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılan supap iticilerinin pin-on disk cihazında yapılan aşınma deney sonuçları.....	90

Çizelge 4.4. Borlanmış ve borlanmamış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılan supap iticilerinin korozyon aşınma deney sonuçları	92
--	----

1. GİRİŞ

Genel olarak bir malzemenin performansı, kütleli ve yüzeysel özelliğine bağlıdır. Malzemenin yüzey özelliğindeki herhangi bir değişim, malzeme fonksiyonlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Son yıllarda malzeme yüzey özelliklerinin rolü, birçok çalışmanın konusunu oluşturmuştur. Yüzey enerjisi, yüzey gerilmesi, yüzeyin aktivitesi ve yüzeyle ilgili problemler bilimsel alanda büyük önem kazanmıştır. Metal ve alaşımlarının, kütleli ve yüzeysel özellikleri arasındaki ilişki uzun yıllardan beri araştırılmaktadır (Şen, 1997; Taylan ve Özsoy, 2002).

Dünyada makine sanayindeki aşınma kayıplarının toplamı maddi olarak, üretimde ise zaman kaybı olarak büyük boyutlara ulaşmaktadır. Ancak aşınma, sürtünerek çalışan bütün sistemlerde görülür ve bir malzeme problemi olmayıp, pek çok değişkene bağlı bir sistem problemidir. Bu nedenle, sanayide kullanılan makine elemanları ve parçalar değişik ısı işleme yöntemleri kullanılarak aşınmanın geciktirilmesine ve kullanım ömürlerinin arttırılmasına çalışılmaktadır. Abrasyonun ve triboksidasyonun temel aşınma mekanizması olduğu durumlarda, borlanmış malzemeler en düşük aşınmayı sergilemektedir. Malzemeye, yüksek yüzey sertliği, düşük sürtünme katsayısı, yüksek korozyon direnci kazandırması ve işleme sonrası ana malzemeye ısı işleme uygulanabilmesi, borlama işleminin diğer yüzey sertleştirme işlemlerine olan üstünlükleri arasında yer almaktadır. Ayrıca, sertliğin ön plana çıktığı yerlerde alaşımsız çelikler borlanarak alaşımlı çeliklere alternatif olarak kullanılması ekonomik açıdan büyük bir avantaj sağlamaktadır (Karaman, 2003).

Makine Sanayindeki uygulamalarda kullanılan malzemelerin aşınma korozyon ve sürtünme gibi tribolojik etkiler neticesinde azalan kullanım ömürlerinin arttırılması çalışan yüzey bölgesinin iyileştirilmesi ile mümkün olabilmektedir. Aşınma ve korozyondan dolayı dünya da her yıl önemli malzeme kayıplar olmaktadır. Ülkelerin korozyon nedeniyle kayıpları gayrisafi milli hasılatlarının %3.5-5'i arasında değişmektedir. Yalnız Türkiye'deki 1991 yılı kaybı 4.5 milyar dolar olarak tahmin edilmektedir (Khoee,1992).

Borlama işlemi uzun bir geçmişe sahiptir. Çeliklerde bor yayınımla yüzey sertleştirme, ilk kez 1895 yılında Moissan tarafından yapılmıştır. 1970'li yıllardan itibaren borlama konusunda çalışmalar hızlanmıştır. Günümüzde borlama, teknolojik olarak gelişmiş ve endüstride, özellikle alternatif bir yüzey sertleştirme yöntemidir (Özsoy, 1991).

Nitrürasyon, karbürizasyon v.b. konvansiyonel yüzey sertleştirme işlemlerinde (600-1100) HV'lik bir yüzey sertliği elde edilirken, borla yüzey sertleştirmede (borlama) 500-2000 HV'lik sertliğin yanında çok düşük sürtünme katsayıları elde edilmektedir. Borlama, yüksek sıcaklıkta çelik malzeme yüzeyinde bor difüzyonuyla Fe₂B ve/veya FeB gibi bileşiklerin elde edilmesidir. Endüstriyel uygulamalarda, hem daha az gevrek olması ve hem de borlama sonrası ısıl işlemlere izin vermesi bakımından Fe₂B'den oluşan tek fazlı borür tabakaları tercih edilir (Özsoy, 1991).

Demir esaslı malzemeler 850-1150 °C sıcaklıkta, 2-8 saat sürelerde borlandığında, malzeme yüzeyinde demir-borür (Fe₂B, FeB) fazından oluşan $\cong 250 \mu\text{m}$ tabaka derinliğine, $\cong 2500 \text{HV}_{0.06}$ tabaka sertliğine ulaşabilen bir difüzyon tabakası meydana gelir. Bu tabaka dişli forma sahip olup ana malzemeye tutunma mukavemeti çok iyidir ve tabaka özellikleri, işlem parametrelerine bağlı olarak değişir (Karaman, 2003; Çelikyürek vd, 2004).

İçten yanmalı motorlarda meydana gelen en önemli problemlerden biriside aşınmadır. Motor elemanlarında sürtünme ve aşınma davranışlarını etkileyen özellikler diğer mekanik ve kimyasal özellikler kadar önem taşımaktadır. Motor parçalarında kullanılan elemanlar ve ekipmanların en büyük ortak sorunlarından birisi de sürtünmeden dolayı oluşan aşınmalardır. Aşınmadan kaynaklanan sorunları ortadan kaldırmak ve en aza indirebilmek için bazı tedbirlerin alınması gerekir. Bunlardan bazıları birbiriyle temas eden parçaların yağlanması, yüzeylerin pürüzlülüğünün azaltılması ve sertleştirilmesi gibi işlemler yapılabilir. Bu çalışmada bu işlemlerden yüzey sertleştirme yöntemi seçilmiş ve dolayısıyla da borla yüzeyin kaplanması ile aşınma, korozyon, mikroyapısı, sertlik değeri, gibi mukavemet özellikleri incelenmiştir.

1.1. İçten Yanmalı Motorlar

Motor, ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir makinedir. Isı enerjisinin oluşmasına göre, motorların çalışma prensipleri de değişir. Mekanik enerjinin doğması için, gerekli olan ısı enerjisi, çeşitli yakıtlardan ve motor silindirlerinin dışında veya içinde üretilebilir. Buna göre motorlar;

- Dıştan yanmalı motorlar
- İçten yanmalı motorlar olarak sınıflandırılır.

Dıştan yanmalı motorlar, yakıt silindirlerin dışında başka bir yerde yakılır ve üretilen ısı enerjisi ile su, buhar haline getirilir. Kapalı yerde depo edilen buharın basıncı yükselir. Basıncı yükselen buhar silindire gönderilirse, piston ve piston kolunu hareket ettirerek krank mili döndürülür. Yakıtın dışarıda bir yerde yakılması ile üretilen ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makineler dıştan yanmalı motor denir. Örneğin lokomotifler gibi.

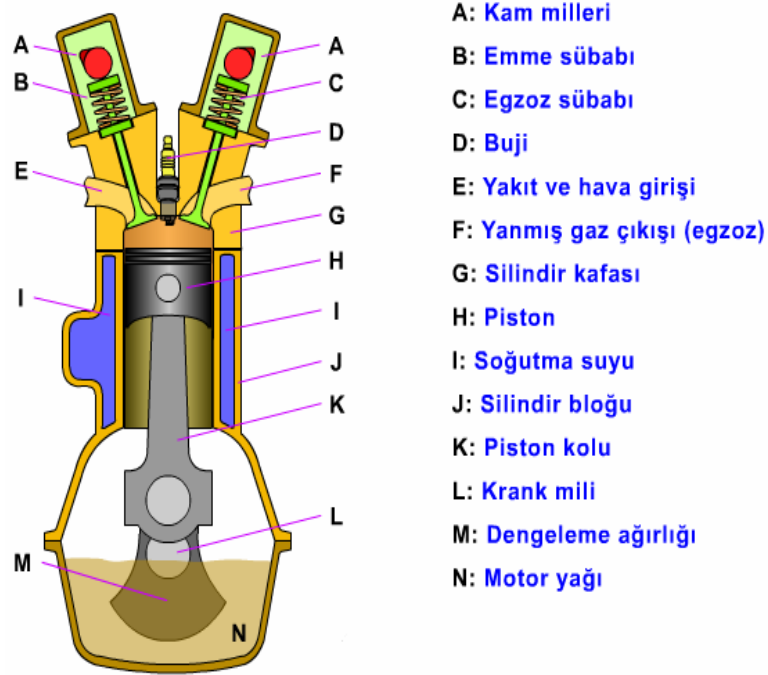
Dıştan yanmalı motorların aksine, yakacağı doğrudan doğruya silindirler içerisinde yakan ve üretilen ısı enerjisini piston biyel mekanizması ile krank miline ileten motorlara içten yanmalı motor denir. Günümüzde enerji üretiminin büyük bir kısmı içten yanmalı motorlar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bu motorlarda temel prensip hava ile yakıt karışımının bir silindirde sıkıştırılması ve buji yardımıyla büyük bir hızla (patlama) yakılmasıdır. Bu nedenle bu motorlara buji ile ateşlemeli motorlar (BAM) da denmektedir. Ayrıca ilk geliştirenin adına ithafen Otto motorları da denir. Bu motorlarda benzinden başka gaz yağı, bütan, benzol, alkol, karışım yakıtlar da kullanılabilir (Grohe,1995).

Patlama, silindir içerisindeki sıkıştırılmış hava ile yakıt karışımında yanmanın anî olarak bütün yakıt kütesine yayılmasıdır (Hızı 2000-3000 m/s). Patlama Otto motorlarına mahsustur. Dizel motorlarında patlama olmaz, normal yanma meydana gelir. Dizel motorlarında yakıtın bütün kütesi anî olarak değil, enjektörde silindire gönderildikçe yanar. Buna sabit basınçta yanma denir. Bu motorlarda kullanılan motorin yakıtı, benzine kıyasla daha ağır ve tutuşma özelliği daha azdır. Ancak

basınçla sıcaklık arasındaki bağıntıya göre yüksek basınç içerisinde püskürtüldüğünde yanar. Bundan dolayı bu motorlara sıkıştırma ile ateşlemeli motor (SAM) da denir (Grohe,1995).

1.1.1. İçten Yanmalı Motorların Parçaları

Motorlar birçok sabit ve hareketli parçanın monte edilmesiyle yapılır. Motor kısımları, ana parçalar ve yardımcı parçalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bu parçalar dizel ve benzinli motorlarında yapı itibarı ile birbirine benzemektedir. Bu parçaları şekil 1.1’de görülmektedir.

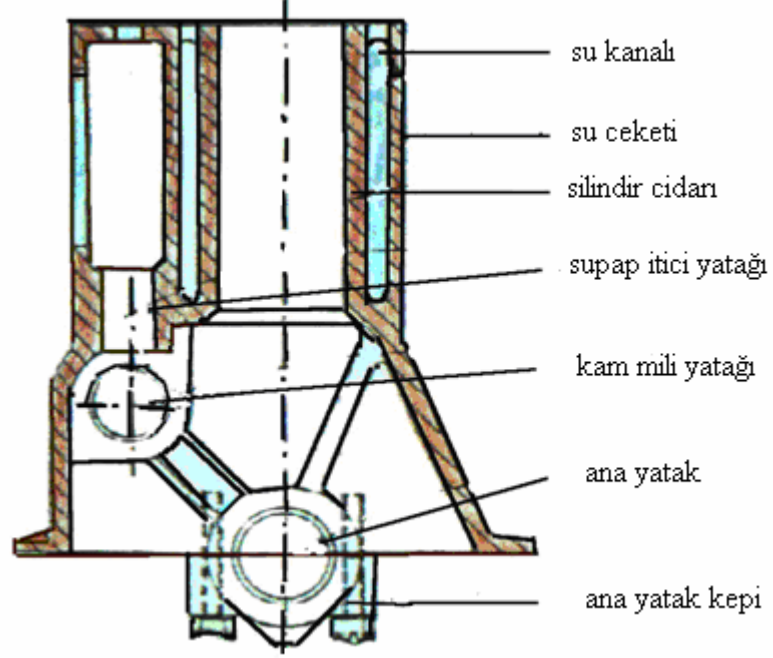


Şekil 1.1. İçten yanmalı motor parçaları (<http://www.obitet.gazi.edu.tr>, 2005)

1.1.1.1. Silindir Bloğu

Motorun bütün parçalarına yataklık yapan ve üzerinde bütün parçaları taşıyan motorun ana kısmıdır. Motorun en fazla ve en karışık şekilde zorlanan kısmıdır. Silindir boşluğunun üst kısmından krank mili eksenine kadar uzanır. Üst kısmında

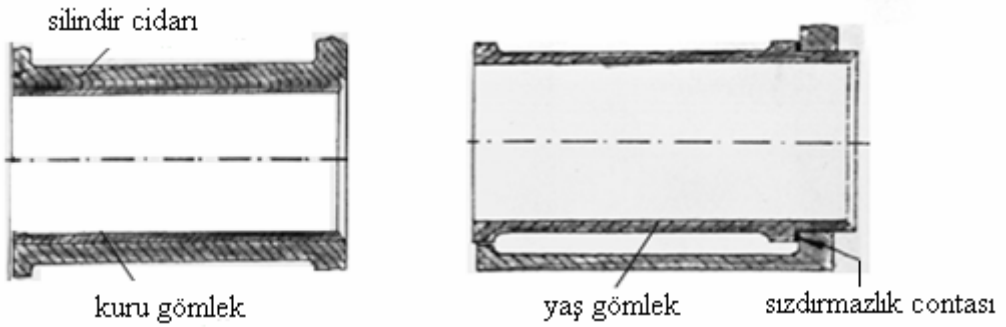
silindir kapağı, alt kısmında da karter bulunur. Genellikle dökme demirden yapılırlar. Çelik veya alüminyum alaşımlı olanları da vardır (Staudt, 2000).



Şekil 1.2. Silindir bloğu (Staudt, 2000)

1.1.1.2. Silindir Gömleği

Silindir bloğunu ucuza imal etmek ve bakımını kolaylaştırmak için silindir bloklarına gömlek takılır. Silindir gömleği özel dökme demirden yapılmış bir kovandan ibarettir. Gömlekler yağ veya kuru tipte yapılırlar (Staudt, 1995).



Şekil 1.3. Silindir gömleği (Staudt, 2000)

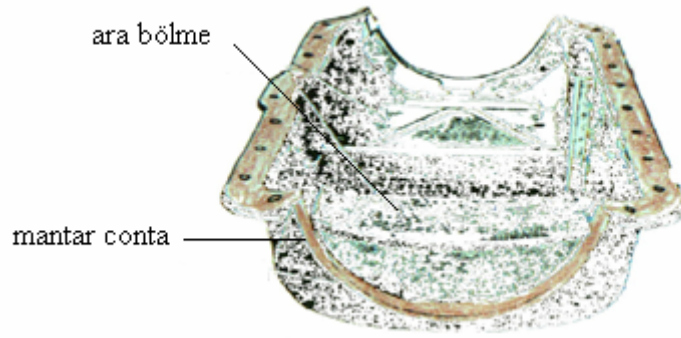
Kuru gömlekler, silindir bloğuna presle geçirilir. Isı gömlekten silindir duvarına, oradan da motorun soğutma suyuna geçer. Yani soğutma suyu ile doğrudan temasta değildir. Yaş gömlekler de aşınmaya dayanıklı malzemedir savurma döküm olarak yapılır. Su doğrudan doğruya gömleğin etrafında dolaşır. Yaş gömleklerin hem içi hem dışı işlenmiştir. Silindir bloğuna conta ile bağlanarak, motorun soğutma suyunun motor yağına sızıntısı önlenir. Şekil 1.3'de silindir gömlekleri görülmektedir (Staudt, 1995).

1.1.1.3. Silindir Kapağı

Silindirlerin üst tarafını kapatır ve yanma odalarını teşkil eder. Ayrıca bazı yardımcı motor parçaları silindir kapağına bağlanır. Silindir kapağı tabanı 40-60 bar yüksek yanma basıncıyla şiddetli olarak yüklenir. Silindir kapağı tabanı termik olarak yüksek derecede zorlanır. Silindir kapağı cıvatalarla silindir bloğuna bağlanır. Kapakla silindir bloğu arasından hava sızıntısını, basınç kayıpları, soğutma suyu ve yağ sızıntılarını önlemek için silindir kapak contası kullanılır (Öz vd, 2003).

1.1.1.4. Karter

Karter, alüminyum alaşımli veya çelik sacdan pres edilerek yapılır. Yağın depo edilip soğutulması görevini üstlenen karter, aynı zamanda yağ pompası ve filtre gibi elemanları üzerinde bulundurur. Yağın bir yerde toplanmasını önlemek amacıyla bölmeli olarak yapılır. Silindir bloğuna cıvatalarla ile tespit edilir (Küçükşahin, 1990).



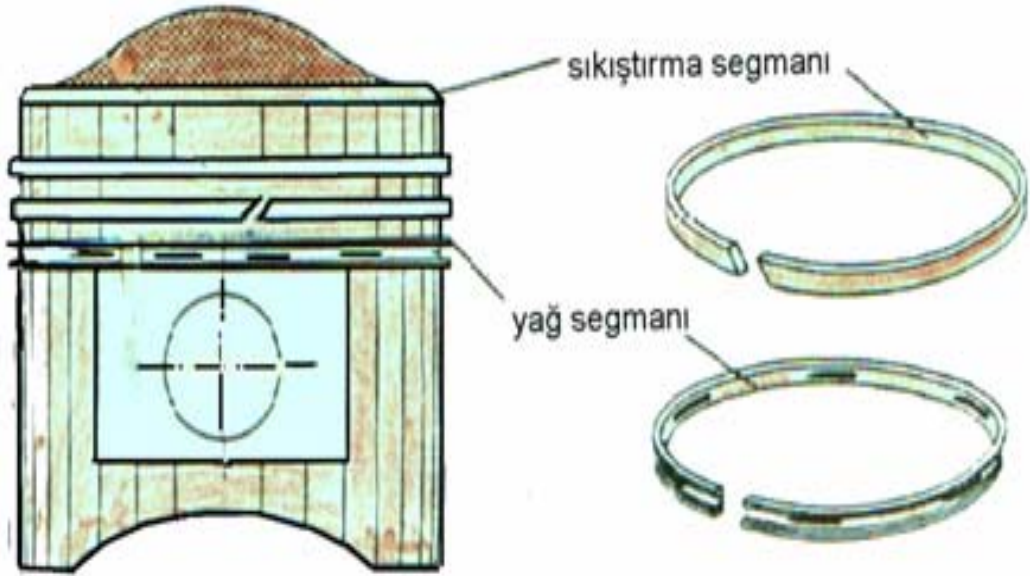
Şekil 1.4. Karter (Küçükşahin, 1990)

1.1.1.5. Piston ve Piston Pimi

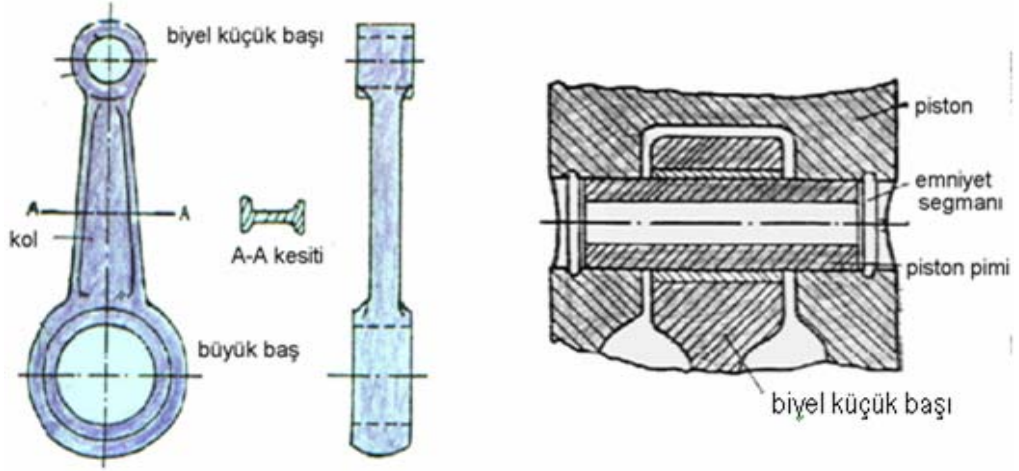
Pistonlar dökme demir, dökme çelik ve alüminyum alaşımlardan yapılır. Piston malzemelerinde yüksek ısıya dayanıklılık, yüksek ısı geçirgenliği ve düşük termal genleşme özellikleri bulunmalıdır (Kuyumcu, 1999). Görevleri:

1. Silindir içinde emme ve egzoz işlemlerini yapar.
2. Üzerinde sıkıştırma (kompresyon) segmanları yardımıyla yanma odasını sınırlar.
3. Patlama sonunda meydana gelen kuvveti, piston koluna pim yardımıyla iletir.
4. Yanma odasında meydana gelen fazla ısıyı silindir cidarından soğutma suyuna iletir.
5. Üzerindeki yağ segmanları ile silindiri yağlar (Şekil 1.5).

Piston pimi, piston ile piston kolunun (biyel) küçük başını birbirine bağlar. Alaşımlı çelikten yapılarak dışı sementede edilmiş, içi hafif olması için boşaltılmıştır. Pim, pistonu her iki ucundan segmanla bağlanmıştır. Piston pimine perno adı da verilir.



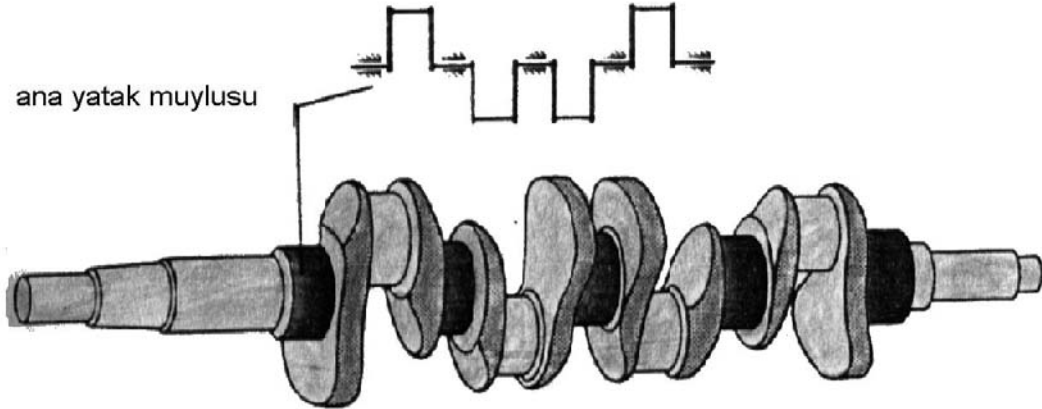
Şekil 1.5. Piston ve segmanlar (Küçükşahin, 1990)



Şekil 1.6. Piston kolu ve pim (Küçükşahin, 1990)

1.1.1.6. Ana Mil (Krank Mili)

Ana mil, eğilmeye, burulmaya ve ani kuvvetlere karşı dayanıklı krom-nikelli çelikten dövülerek veya dökülerek yapılır. Üzerindeki ağırlıklar statik ve dinamik dengelemeyi sağlar. Ana yatak ve biyel yatak muyluları sementasyon ile sertleştirilir ve taşlanır (Küçükşahin, 1990).



Şekil 1.7. Ana mil (krank mili) (Küçükşahin, 1990)

Görevleri:

- Pistondan biyel vasıtasıyla aldığı doğrusal hareketi dairesel harekete dönüştürür.

- Ön kasnak yardımıyla vantilâtör, şarj dinamosu, devirdaim pompasına (su pompası) hareket verir.
- Arka tarafındaki flanş yardımıyla volâna, debriyaj kavraması ile dişli kutusuna hareket verir.
- Atalet kuvvetleri vasıtasıyla pistonu hareket verir.
- Eksantrik mile (kam mili) hareket vererek supapların zamanında açılıp kapanmasını sağlar.

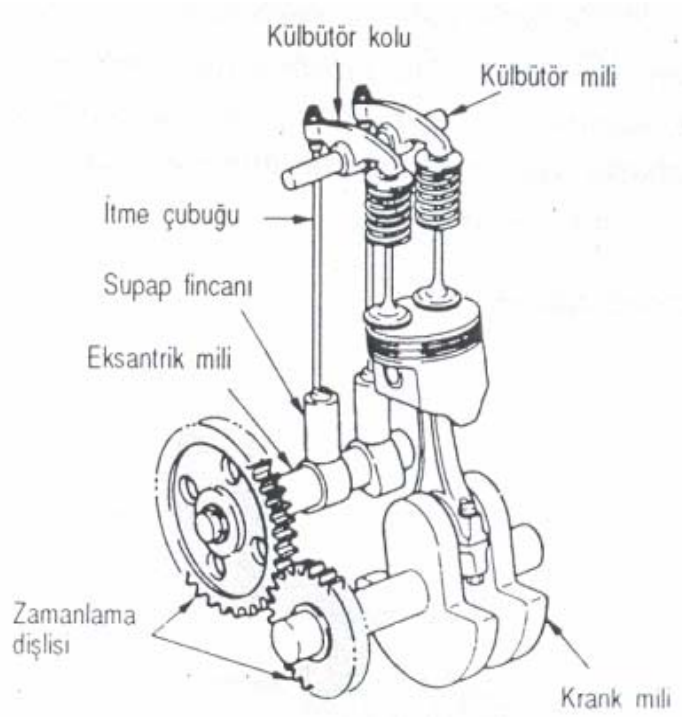
1.1.1.7. Volân

Volân, krank milinin arka tarafına bağlı olup motorun düzenli çalışmasını sağlar. Bu işlemi, krank atalet kuvvetlerini karşı ağırlıklar ile birlikte dengeleyerek sağlar. Ayrıca üzerine açılan dişler yardımıyla motorun ilk hareketi esnasında marş motoru ile irtibata geçerek çalışmasını sağlar. Motorlarda silindir sayısı arttıkça dengeleme rahat olacağı ve ana mil ölü noktaları daha kolay geçebileceğinden, çok silindirli motorlarda volân çapı ve ağırlığı küçük seçilir (Çetinkaya, 1999) .

1.1.1.8. Supap Sistemi

Dört zamanlı içten yanmalı motorlarda, emme zamanında açılan kanaldan hava yakıt veya sadece hava silindirlere dolar. Aynı şekilde eksoz zamanında, ikinci bir kanaldan yanmış gazlar dışarı atılır. Bu kanallara supap portları denir. Silindire açılan bu portları açıp kapayan ve belli süre açık tutan, motor elemanına da supap denir. Her silindirde pistonun durumuna göre supapları açıp kapayan elemanların tamamına supap sistemi denir (Grohe, 1995).

Supaplar, taze gaz girişini ve yanmış gazların çıkışlarını ve çıkış sonunu kontrol etmeye yararlar. Supaplar yüksek derecede mekanik, termik ve kimyasal zorlamayla çalışırlar. Emme supabı 550 °C, egzoz supabı 800 °C' de çalışır. Egzoz ayrıca yüksek düzeyde kimyasal korozyonla karşı karşıyadır. Supap yuvasında da aşınmalar meydana gelir.



Şekil 1.8. Supap sisteminin komple görünüşü (Toyota, 1996)

Kam mili, supapları dört zaman çevrimine göre, zamanında açan, piston kursu boyunca açık tutan ve yaylar yardımıyla kapatan, setli bir mildir. Bunun yanında üzerinde bulunan bir dişli vasıtasıyla distribütör ve yağ pompasını çalıştırır. Ayrıca bir özel kam vasıtasıyla da benzin pompasını çalıştırır (Crouse ve Anglin, 1994).

Supap iticileri, kam mili ile supap sistemi arasında bulunan, supap iticileri, kam hareketini supaplara iletir. Kam mili ile devamlı temas halinde olmasından dolayı sürtünmeden dolayı aşınmalar meydana gelir. Bunun sonucunda supap sistemi görevini tama olarak yapamayacak ve motor verimi azalacak yakıt sarfiyatı artacaktır. Bu yüzden supap iticilerin temas yüzeylerinin sert iç yapısı darbeye dayanıklı olacak şekilde yapılmalıdır (Crouse ve Anglin, 1994).

1.1.1.9. Yardımcı Parçalar

Motorda ana parçaların yanında yardımcı parçalarda bulunmaktadır. Bu parçalar motorun çeşidine göre değişmekle birlikte genelde kullanılan sistemler, ateşleme, yakıt, yağlama, soğutma, marş ve sarj sistemleridir (Crouse ve Anglin, 1994).

1.2. Aşınma Özellikleri

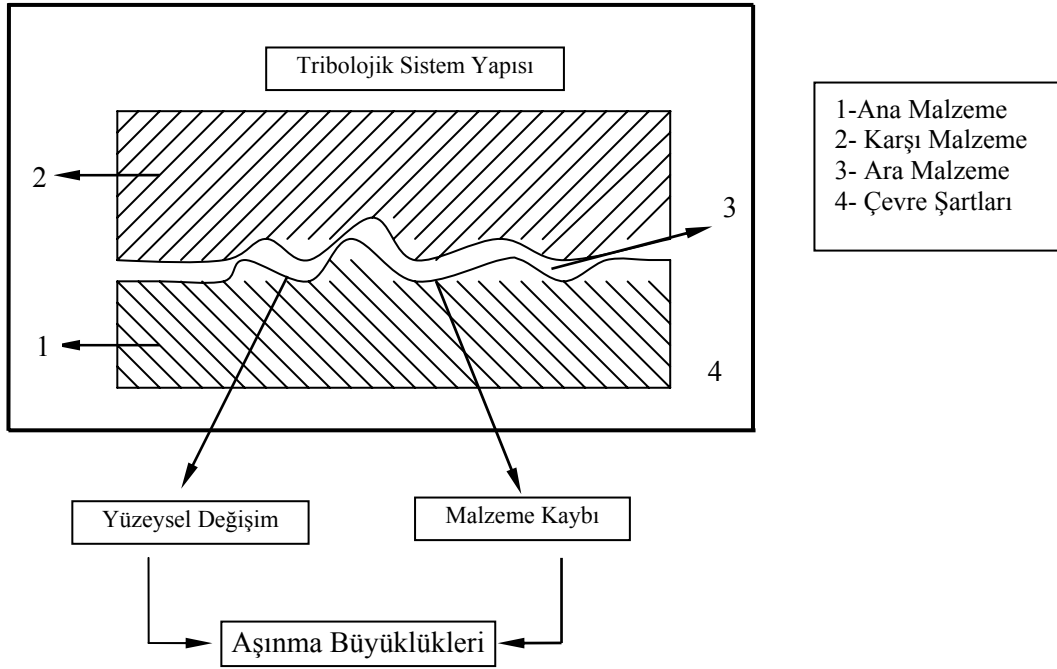
Aşınma denildiğinde ilk akla gelen, katı cisimlerin yüzeylerinden çeşitli etkenler altında sürekli malzeme kayıplarının ortaya çıkmasıdır. DIN 50320 ve ASTM G40-93 standartlarına göre aşınma; “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması neticesinde mekanik etkenler ile yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu istenmeyen yüzey bozulmasının meydana gelmesi” şeklinde tanımlanmaktadır (Yünker, 2000). Katı cisimlerin yüzeylerinin oksitlerle yada yağlayıcılarla kaplanması durumunda dahi, oksit filminin mekanik yük altında parçalandığı ve yağlayıcının absorpsiyonunun zayıf olduğu yerlerde, yer yer katı-katı teması olmaktadır. Bu temaslar aşınmaya neden olmaktadır (Şen, 1997).

Bir aşınma sisteminde temel unsurlar olarak,

- 1- Ana malzeme (aşınan)
- 2- Karşı malzeme (aşındıran),
- 3- Ara malzeme,
- 4- Yük ve
- 5- Hareketi

saymak mümkündür. Bütün bu unsurların oluşturduğu sistem, teknikte tribolojik sistem olarak adlandırılmaktadır ve Şekil 1.18 'de böyle bir sistemin şematik olarak gösterilişi verilmektedir (Şen, 1997).

Aşınma olayının ilk çağlarda dahi bilinen bir mühendislik olayı olduğu ve ilk çağ insanların yarış arabaları dingillerini domuz yağı ile yağlayıp sürtünmeyi ve dolayısıyla aşınmayı azaltmaya çalıştıkları ifade edilmektedir. Kullanılan alaşım, aşınmanın meydana geldiği ortam şartları ve aşındırıcı ortamın cinsine göre, metaller ve alaşımlarının aşınmasının çok değişik mekanizmalar sonucunda olduğu belirtilmektedir. Tipik aşınma mekanizmaları dört ana grupta toplanabilir (Sevimligül, 2003). Bunlar;



Şekil 1.9. Tribolojik bir sistemin şematik gösterilmesi (Şen, 1997)

1.2.1. Adheziv Aşınma

Özellikle kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adheziv çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden, temasta olan çok küçük pürüz tepelerine, metal ağırlığı veya bir kuvvetten dolayı çok yüksek değerlerde bir basınç etkir. Bu basıncın değeri temas noktadaki pürüzlerin akma sınırının aşınca plastik deformasyon meydana gelerek, pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvanıp kaynaşmasına neden olur (Sevimligül, 2003). Adheziv aşınma ile ilgili deneylerden elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir (Akkurt, 1987):

- Adheziv aşınma, benzer veya kolay alaşım yapabilen malzemeler arasında meydana gelmektedir.
- Olay, yüzeylerin izafi hızına ve normal kuvvete bağlıdır. Pratik bakımdan nispeten yüksek hız ve yüklemelerde görülen bir aşınma şeklidir.

- Adhesiv aşınma, sürtünmeyi tayin eden bütün kaynak noktalarında meydana gelmemektedir.
- Oksit veya nemden oluşan doğal tabakanın olay üzerinde etkisi büyüktür. Temiz yüzeylerde olay daha küçük hız ve yüklemelerde cereyan eder.
- Yağlamanın etkisi çok büyüktür. Sınır sürtünmesi bölgesinde dahi, yüzeylere yapışmış yağ tabakası büyük ölçüde adhezyon aşınmasını önlemektedir.
- Yüzeylerden birinin sertliği diğerine göre nispeten büyük ise, kaynak bağlarının kopması yumuşak malzemelerde olur ve yumuşak malzeme sert malzemenin yüzeyine transfer edilir.
- Kalay (Sn), Selenyum (Se), Arsenik (As), Tellür (Te) gibi metallerde adhezyon aşınması görülmemiştir.
- Yüzeyler arasında sert malzeme parçacıkları, yani abraziv aşınmayı meydana getirecek koşullar bulunduğu takdirde, adhesiv aşınma oluşmaz. Bu nedenle adhesiv aşınma, yüzeyler arasında abrasiv bir etkenin bulunmaması halinde oluşan aşınma türü olarak ifade edilir.

Yüzey bozulması abraziv aşınma mekanizması genelde temas mekaniği ile yani kuvvetler, gerilmeler ve şekil değişimleri gibi ayrılabilir olduğu halde adhezyon (yapışma) aşınma mekanizmasında atomsal ve molekül düzeyde malzemeye ait değişken etkiler büyük rol oynarlar. Yapışma aşınması mekanizması, tribolojik bir zorlanmada her bir yüzey pürüz tepesinde oluşan yüksek yerel basınçlardan dolayı koruyucu yüzey tabakası çatladığında ve yerel sınır yüzey bağlantıları oluştuğunda meydana gelir. Bu sınır yüzey bağlantıları, temas çiftinin metal-metal temasında soğuk kaynak olarak adlandırılır ve asıl temas çiftinden daha yüksek mukavemete sahiplerdir. Temas çiftinin izafi hareketi sırasında temas eden metal bölgesinin ayrılması veya yer değiştirmesi, asıl temas sınır yüzeyinde değil, özellikle çiftin sınırlı bir hacminde meydana gelir (Sevimligül, 2003).

1.2.2. Abrasiv Aşınma

Abrasiv aşınma plastik deformasyonla gerçekleşmektedir. Abrasiv aşınma birbirlerine göre sertlik değerleri farklı olan malzemeler arasında yumuşak bir

yüzeğe çok sert partiküllerin teması ile gerçekleşmektedir. Pürüzlü sert yüzey, yumuşak malzemenin yüzeyine temas ettiği zaman, yumuşak malzemenin yüzeyinde sert malzemenin temas ettiği bölgelerin etrafında plastik akış meydana gelmektedir. Sert yüzey yatay olarak hareket ettiği zaman yumuşak malzemenin yüzeyinin kazınması sonucu derin çizikler oluşmaktadır. Abrasiv aşınma, çok hızlı bir şekilde gelişerek çok yüksek aşınma hızına sahip olan ve sistemin hasarına sebep olacak şekilde etkisini anında gösteren bir aşınma türüdür. Abrasiv aşınmanın etkisi, sert partikülün, yumuşak malzemenin yüzeyinden parça kopartarak uzaklaştırmasıyla olur ve bu kopma sırasında yapışma olmaz. Yüzeyden malzeme kaybının çok hızlı geliştiği ve yumuşak malzemenin üzerinde belirgin çizikler şeklinde ortaya çıktığı bir aşınma mekanizmasıdır (Şen, 1997).

Genel olarak abrasiv aşınma türleri üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; oymalı sürtünme aşınması, öğütmeli sürtünme aşınması ve erozyondur. Karakteristik açıdan bu aşınma türleri birbirlerine benzemelerine rağmen, tek tek incelendikleri zaman önemli farklılıkları mevcut olduğu görülmektedir (Sevimligül, 2003).

Oymalı sürtünme aşınması, kütleli bir şekilde yüzeyin deformasyonu sonucunda oluşan bir aşınma türü olup aşırı yüklemeler etkisi ile meydana gelmektedir. Bu tür aşınmaya örnek olarak ağır koşullar altında çalışan kazıcı, kırıcı gibi maden araçlarında görülen aşınmalar verilebilir.

Öğütmeli sürtünme aşınması, iki yüzeyin birbiri üzerinde hareket etmesi sonucunda ortaya çıkmakta ve ara yüzeyde aşınmadan kaynaklanan parçacıklar bulunmaktadır. Bu ara yüzeyde yer alan taneler ya bir yüzeyden aşınarak gelir, yada her iki yüzeyin birlikte aşınması sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu aşınmada, keskin köşelere sahip taneler yük uygulanması durumunda malzeme yüzeyini kazıma veya kaldırmak suretiyle, koparak hasara neden olmaktadır.

Erozif aşınma ise, sıvı veya hava gibi akışkan bir ortam vasıtasıyla aşındırıcı tozların malzeme yüzeyine etki etmesiyle gerçekleşmektedir. Her bir temas, malzeme yüzeyinden küçük bir parçanın kaybına neden olmaktadır. Normal şartlar altında

aşınma hızı düşüktür. Ancak yüksek sıcaklıklarda malzemenin akma dayanımının düşmesi sebebiyle erozif aşınma hızı kazanmaktadır. Hatta bazı şartlarda malzemenin yüzeyinin her tarafını korozyon ürünleri kaplayabilmektedir. Buna erozyonun korozyon etkisi de denilmektedir (Şen, 1997).

1.2.3. Korozif Aşınması

Temas yüzeylerinde oluşan mekanik yıpranmaların yanı sıra kimyasal ve elektrokimyasal tahribatların oluşmasına korozyon denir. Metal veya metal alaşımlarının, çevreleri ile (katı, sıvı ve gaz ortamlar) kimyasal, elektrokimyasal veya metalürjik ilişkilerden dolayı, yüzeylerinde yapısı farklı tabakalar oluşur. Bu tabakanın sürtünme hareketi ile parçalanarak taşınması sonucu meydana gelen hasara korozif aşınma denir (Sevimligül, 2003).

Kimyasal aşınmada, birbirine temas eden yüzeyler hava ile reaksiyona girerek, aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit ve diğer tabakaları meydana getirmektedirler. Bununla beraber, kimyasal maddelerin mevcut olduğu ortamlarda bırakılan makine parçalarının yüzeyleri, bu maddelerle reaksiyona girerek ince fakat sert tabakalar oluşturmaktadır. Değişken yük altında bu sert tabakalar kırılmakta ve oluşan sert parçacıklar aşınmaya neden olmaktadır. Temiz kalan temas yüzeylerinde ise reaksiyon sonucu sürekli sert tabakalar oluşur ve yeniden kırılır. Olay bu şekilde devam eder (Şen, 1997).

1.2.4. Tabaka ve Yenme Aşınması

Daha önce belirtildiği gibi, yüzeyler hava ile reaksiyona girerek aşınmanın şiddetli olmasını önleyen oksit ve diğer tabakaları meydana getirirler. Bununla beraber, özellikle kimyasal maddeler bulunan ortamlarda çalışan, makine elemanlarının yüzeyleri bu maddelerle reaksiyona girerek, ince fakat sert tabakalar oluştururlar. Değişken yük altında bu sert tabakalar kırılırlar ve aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyon sonucu olarak tekrar bir sert tabaka oluşur, yük altında tekrar kırılır ve olay bu şekilde devam eder. Bu olaydaki

tabaka aşınmasına, oksidasyon aşınması veya sürtünme oksidasyonu denir (Sevimligül, 2003).

Özellikle yapı çelikleri üretim yöntemleri ve kimyasal bileşimlerinin çok farklı olması nedeni ile tabakalı kırılma bakımından çok geniş bir dağılım gösterirler. Tabakalı kırılmanın nedenleri malzeme heterojenliği, özellikle de sülfür ve oksit gibi kalıntılardır (Sevimligül, 2003).

Birbirlerine kuvvetle temas eden iki metal yüzeyi arasında düşük genlikli titreşim hareketlerinin meydana gelmesi ile yenme aşınması oluşur. Yenme adheziv aşınmanın şiddetli bir çeşididir. Malzemenin bölgesel olarak aşırı zorlanan yerlerinde, fiziksel veya kimyasal değişimler sonucunda meydana gelen yenme aşınması, genelde uzay araçlarının aşırı ısıya dayanıklı kabuğunda ve fren balatalarında görülür (Sevimligül, 2003).

1.3. Çil Döküm Yöntemi

Klasik döküm (standartlaştırılmış) döküm yöntemlerinden farklı olarak tamamen tecrübe ile pekişen özel bir döküm yöntemidir. Çil dökümün en belirgin ve önemli özelliği dökülen parçanın istenilen yerlerindeki gerekli sertliğin döküm esnasında oluşması ve sertleştirme işlemine gerek olmayışıdır. Çil döküm parçalara sonradan sertleştirme işlemi uygulanmadığından, sertleştirme aşaması ortadan kalkmakta ve üretim kademesi azalmaktadır. Sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek problemler doğal olarak söz konusu olmamaktadır ve daha kaliteli ürünler elde edilebilmektedir (Sevimligül, 2003).

Genellikle metalden yapılmış soğutucular (chills) dökümden önce modelde sertleştirilecek bölgelere yerleştirilmektedir. Kalıplama sırasında ise yerleştirilmiş olan soğutucular kalıplara geçer. Sıvı maden döküldükten sonra, o bölgelerdeki sıvıdan katıya soğuma hızının fazla olması sonucu döküm metalinin mekanik özellikleri değişmekte ve aşınmaya dayanıklı olacak şekilde sertleşmektedir. Bu

yöntemle sertleştirilmesi istenilen supap iticileri istenilen sertlik değerine, kullanılan soğutucunun kalınlığına da bağlı olarak ulaşabilmektedir (Sevimligül, 2003).

Çil döküm yapılacağı zaman kum kalıplar hazırlanır. Kum kalıp içine metal soğutucular yerleştirilir. Potadan kum kalıba dökülen sıvı kır dökme demirin soğutucu metallerle temas ettiği bölgeleri beyaz dökme demir şeklinde katılaştır. Bu bölgenin mikro yapısı ledeburit ve sementitten oluşur. Düşük dereceli dökme demir, başka hiçbir alaşım elemanı ilave etmeden sıfır altı çok az bir çilleme ile yüksek kaliteli bir tipe dönüştürülebilir. Çillenme, dökme demirlerde yönsel katılaşmayı iletir ve büzülme, gözeneklilik, çatlaklar ve diğer döküm kusurlarını ortadan kaldırır (Sevimligül, 2003).

Çil dökme demir yüksek mukavemet, yüksek sertlik ve aşınma direncine sahip metal gruplarını ihtiva eder. Çil dökme demir, geniş bir şekilde aşınmaya dirençli kaplamalarda, hadde silindirlerinde, tren pabuçlarında, konkasör kırma yatağında, öğütme değirmeni kaplamalarında, kam yüzeylerinde, aşınma plakalarında ve diğer makine elemanları ve benzer malzeme özelliklerine gereksinim duyulan ekipmanlarda kullanılır (Sevimligül, 2003).

Kır dökme demir özelliğindeki bir Fe-C alaşımı 1300 °C den 800 °C'ye hızla (yaklaşık 10 saniyede) soğutulursa, yüzeydeki hızlı soğutma nedeniyle parçanın yüzeyinde sert bir bölge onun altında ise yumuşak bir bölge meydana gelir. Sert bölge ledeburit ve sementitden, yumuşak bölge yani iç kısım ise ledeburit ve grafitten oluşur. Bu şekilde elde edilen dökme demire, sert bölgenin mikro yapısı ve beyaz görünümünden dolayı çil dökme demir adı verilmiştir (Estaş üretim talimatnamesi, Sivas). Çil dökümün aşınma direnci çok yüksek ve darbeye karşı direnci düşüktür. Çil uygulanmış dökme demirlerde beyaz olarak katılaştıran kısmın derinliği kimyasal bileşim, katılaşma hızı ve soğutucu kalınlığı gibi döküm parametreleri ile ayarlanarak kontrol edilebilir. Soğumanın çok hızlı olması, fazla karbonun yekpare karbitler şeklinde bulunduğu çillenmiş demirler üretmeye eğilimlidir (Sevimligül, 2003).

Beyaz dökme demire ilave edilen bakır ve krom kombinasyonu, bu dökme demire mükemmel aşınma özellikleri verir. Bakırın eklenmesi ayrıca yapıyı daha yoğun hale getirir, perlitli rafine eder, mukavemet, sertlik ve aşınma direncini yükseltir. Çil derinliği parça merkezine kadar ulaşmamış ise parçanın merkez kısmı ledeburit ve grafitten, yani kır dökme demirin normal yapısında meydana gelir (Sevimligül, 2003).

Çil derinliği bileşimlere bağlı olarak değişir. C ve Si yüzdeleri az olursa çil derinliği fazla, çok olursa çil derinliği daha az olur. Çil derinliğine etki eden C ve Si yanı sıra Al, Ti, Co, Ni, P, Cu (< % 4) ve Zirkonyum çil derinliğini azaltıcı, V, Cr, Mo, Mn, Telluryum ve B artırıcı etkide bulunurlar. Ancak Telluryum ve bor darbe direncinin düşmesine neden olurlar. Bu sebeple bu elementler kullanılırken dikkat edilmelidir. Cr ve Mo birlikte ilave edilirse hem mukavemeti hem sertliği artırır. Ni-Cr ve Cu-Cr ikili kombinezonları kullanılarak çil derinliği kontrol altında tutulabilmekte, sertlik, mukavemet ve kullanma sürelerinde önemli artışlar elde edilebilmektedir. % 3-5 Ni ve % 1,5-3,5 Cr ilavesi ile çil uygulanmış dökme demirlerde daha sert bir matris yapısı (martenzit) elde edilir (Sevimligül, 2003).

1.4. Bor Elementi

Kökeni Buraq/Baurach (Arapça) ve Burah (Farsça) kelimelerinden gelen ağırlıklı olarak metalimsi davranış gösteren Bor (B), ilk defa 1808 yılında Gay-Lussac ve Jacques Thenard ile Sir Humphry Davy tarafından Bor Oksit'in Potasyum ile ısıtılmasıyla elde edilmiştir. Kimyasal olarak ametal bir element olan kristal bor, normal sıcaklıklarda su, hava ve hidroklorik/hidroflorik asitler ile soy davranış göstermekte olup sadece yüksek konsantrasyonlu Nitrik Asit ile sıcak ortamda Borik Asit'e dönüşebilmektedir. Öte yandan yüksek sıcaklıklarda saf oksijen ile reaksiyona girerek Bor Oksit(B_2O_3), aynı koşullarda nitrojen ile Bor Nitrit(BN), ayrıca bazı metaller ile Magnezyum Borit(Mg_3B_2) ve Titanyum Diborit(TiB_2) gibi endüstride kullanılan bileşikler oluşabilmektedir (Komisyon, 2002; Çalık, 2002; Bor Raporu, 2003; Altun, 2005).



Şekil 1.10. Saf haldeki borun görüntüsü (Yılmaz, 2002)

Bor cevherlerinin Türkiye’de en çok bulunduğu yerler Uludağ’ın güneyine çizilecek büyük bir yarım dairenin içinde kalır. Bor yatakları, Eskişehir/Kırka, Kütahya/Emet, Balıkesir/Bandırma, Kestelek, Hisarcık, Bigadiç, Susurluk-Sultansazlığı ile sınırlanmaktadır. Bu bölge aynı zamanda dünya bor cevherlerinin de % 70’ini bünyesinde barındırır. Türkiye’nin bugüne kadar bulunmuş bor rezervleri (B_2O_3) bazında toplam 2.064 milyon ton olup şu anki tüketim hızıyla dünyaya 700 yıl yetecek kadardır (Helvacı, 2004; Duman, 2003; Çalık, 2002).

1.4.1. Saf Bor’un Fiziksel Özellikleri

Periyodik sistemin III. grubunda bulunan borun atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81, atom çapı 1.78 \AA ve ergime noktası 2400°C ’ dir (Taşçı, 1993; Çalık ve Delikanlı, 2002). Bor $2.33 \pm 0.002 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu kristal ve 2.3 gr/cm^3 yoğunluklu amorf olmak üzere iki şekilde bulunur. Kristalin borun yapısı ve kafes parametreleri çizelge 1.1’ de, bor ve bazı bileşiklerin sertlikleri ise çizelge 1.2’ de verilmiştir (Taşçı, 1993).

Çizelge 1.1. Kristalin borun yapısı ve kafes parametreleri

Kristal Şekli	Kafes Parametreleri (Å)	
	B	c
Tetragonal	8.13	8.57
Hegzagonal	9.54	11.98

Çizelge 1.2. Bor ve bazı bileşiklerin sertlikleri

Malzeme	Mohs sertlik
Bor (element)	9,3
Bor karbür (B ₄ C)	9,32
Bor nitrür (BN)	1,2
Elmas (standart)	10

1.4.2. Bor Ürünleri

Bor ürünleri şunlardır (Ediz ve Özdağ, 1997):

a. Boraks Dekahidrat: Teknolojik olarak alkali metal boratlarının en önemlilerinden biri, disodyum tetraborat dekahidrat (Na₂B₄O₇.10H₂O) olarak da adlandırılan boraks dekahidrattır ve tabiatta tinkal minerali olarak bulunur. Molekül ağırlığı 381,4 gr./mol, özgül ağırlığı 1,71 (20°C), özgül ısısı 0,385 kcal/gr/°C (25-50°C), oluşum ısısı -1497,2 kcal/mol' dür. Renksiz monoklinik kristal yapısında bir tuzdur. Sulu çözeltileri yaklaşık, konsantrasyondan bağımsız olarak hafif alkali reaksiyon gösterir. (pH=9,2). Doymuş boraks çözeltisi 105°C' de kaynar.

b. Boraks Pentahidrat: Disodyum tetraborat pentahidratın (Na₂B₄O₇.5H₂O) molekül ağırlığı 291,35 gr/mol, özgül ağırlığı 1.88, özgül ısısı 0,316 kcal /gr/°C ve oluşum ısısı , -1143,5 kcal/mol' dür. Mineral adı tinkalkonit olan pentahidrat boraksın dehidrasyonundan oluşan birikintiler halinde bulunur. Doymuş boraks çözüntüsünün 60°C' nin üzerinde kristallenmesi ile oluşur.

c. Susuz Boraks: Disodyum tetraborat (Na₂B₄O₇) molekül ağırlığı 201,27 gr/mol, özgül ağırlığı 2,3, oluşum ısısı, -783,2 kcal/mol olan renksiz ve çok sert bir kristaldir. Kolay öğütülebilir kristalin bir kütle olarak bulunur. Ergime derecesi 741°C' dir. Higroskopiktir. Boraks hidratların 600-700°C' de dehidrasyonu ile stabil yapıda susuz boraks üretimi sağlanabilmektedir.

d. Borik Asit: Borik asit(H₃BO₃) molekül ağırlığı 61,83 gr/mol, B₂O₃ içeriği %56.3, ergime noktası 169 °C, özgül ağırlığı 1.44, oluşum ısısı , -1089 kJ/mol, çözünme ısısı

22,2 kJ/mol olan kristal yapılu bir maddedir. Oda sıcaklığında sudaki çözünürlüğü az olmasına rağmen, sıcaklık yükseldikçe çözünürlüğü de önemli ölçüde artmaktadır. Bu nedenle sanayide borik asidi kristallendirmek için genellikle doymuş çözeltiyi 80°C' den 40°C' ye soğutmak yeterli olmaktadır. Bor minerallerinden geniş ölçüde üretilen borik asit başlıca; cam, seramik ve cam yünü sanayiinde kullanılmakta olup, kullanım alanları çok çeşitlidir. Borik asit, bor minerallerinin genel olarak sülfürik asit ile asitlendirilmesi ile elde edilmektedir. Türkiye'de borik asit üretimi başlıca; Bandırma'daki Eti Bor A.Ş. Boraks ve Asit Fabrika İşletmeleri tarafından yapılmaktadır.

e. Bor Oksit (susuz borik asit) : Ticari bor oksit, B_2O_3 tür ve genellikle %1 su içerir. Genellikle borik asitten uygun sıcaklıkta su kaybettirilerek elde edilir. Renksiz cam görünüşlüdür. Oda sıcaklığında higroskopiktir. Bor oksit ve susuz boraks cam sanayiinde çok kullanılır. Yüksek sıcaklıkta borik asitten su buharlaşırken B_2O_3 kaybı artmaktadır. Cam üretim prosesinde, borik asit yerine, bor oksit kullanılması enerji ve hammadde avantajı sağlamaktadır. Bor oksit porselen sırlarının hazırlanmasında, çeşitli camlarda, ergitme işlemlerinde, seramik kaplamalarda kullanılır. Ayrıca pek çok organik reaksiyonun katalizörüdür. Pek çok bor bileşiminde başlangıç maddesidir.

f. Sodyum Perborat: Sodyum perborat ($NaBO_2 \cdot H_2O_2 \cdot 3H_2O$) genellikle tetrahidrat yapısındadır. Perborat üretiminde %33 B_2O_3 içeren boraks minerali kullanılmaktadır. Sodyum perborat, Bandırma' daki Eti Bor A.Ş. Boraks ve Asit Fabrikaları İşletmeleri tarafından üretilmektedir. Sodyum perborat, ağartıcı etkisi dolayısıyla yaygın olarak sabun ve deterjan sanayiinde kullanılmaktadır. Ayrıca kozmetik maddelerin yapımında, tekstil endüstrisinde, mum, reçine, tutkal ve sünger sanayiinde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır.

g. Diğer Bor Bileşikleri: Yukarıda açıklanan bor ürünleri dışında yaygın olarak kullanılan diğer bor bileşikleri aşağıda özet olarak verilmiştir.

-Boridler: Metalik karaktere sahip bor bileşikleridir. Metallerle veya metal oksitler ile borun reaksiyonu sonucu elde edilirler. Ticari olarak metal karışımların ve borun;

alüminyum, magnezyum veya karbon ile indirgenmesi ile elde edilirler. Boridler yüksek ergime noktasına, yüksek sertliğe ve iyi bir kimyasal stabiliteye sahiptirler. Oksidasyona karşı dirençlidirler. Bu nedenle, metal yüzeylerinin kaplanması, ısıya dayanıklı kazan ve buhar kazanları yapımında, korozyona dayanıklı malzeme üretiminde ve elektronik sanayinde kullanılırlar.

-Bor Karbür: Bor-karbon sistemindeki tek bileşik olan bor karbür, genellikle granül katı olarak elde edilir. Masif ürün olarak elde edilmek istendiğinde, 1800-2000 °C’ de garafit kalıplarda preslenir. Saf bor karbür kristalleri hafif parlak görünümündedir. Yoğunluğu 2,52 gr/cm³, ergime sıcaklığı 2450°C’ dir. Sıcak preslenmiş bor karbür, aşındırıcı parçalarda, contalarda, seramik zırlı yüzeylerin yapılmasında kullanılır. 2000 °C’nin üzerindeki sıcaklıkların ölçülmesinde termoçift olarak kullanılır. Sertliği nedeniyle abrasiv malzeme yapımında kullanılır.

-Bor Nitrür: Bor nitrür genellikle hegzagonal yapıda oluşur. Hegzagonal sistemde iken beyaz, talk’ a benzeyen, 2,27 gr/cm³ yoğunluğunda bir tozdur. Kübik sistemde ise oldukça serttir. Teorik yoğunluğu 3,45 gr/cm³ ‘ tür ve iyi bir elektrik izolatörüdür. Ergitilerek masifleştirilmiş bor nitrit büyük bir kimyasal dirence sahiptir. Kübik yapıdaki bor nitrit çok iyi bir abrasiv malzemedir. Bu özelliğinden dolayı, kesici aletlerin yapımında ve sert alaşımların işlenmesinde kullanılır.

-Bor Halojenürler: Borun flor, klor, brom, iyot gibi halojenlerle yaptığı bileşiklerdir. Bor oksitin derişik sülfirik asit ve florit, klorit, bromit, iyodit gibi halojenlerle ısıtılmasıyla elde edilir. Bor klorür, düşük viskoziteli, renksiz, ışığı kıran bir sıvıdır ve %95’ i bor-fiber üretiminde kullanılır. Bor florür ise renksiz, boğucu kokulu, yanıcı olmayan bir gazdır. Bor iyodür katıdır ve kuvvetli nem çekicidir, oksijen akımında yanar.

1.4.3. Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları

Bor ürünlerinin kullanım sektörlerini çizelge 1.3’de maddeler halinde verilmiştir (Komisyon Bor Raporu, 2003).

Çizelge 1.3. Bor ürünlerinin kullanım sektörleri

Kullanım Alanı	Kullanım Yerleri
Savunma Sanayi	Zırh Plakalar, Seramik Plakalar, Ateşli Silah Namluları, Fişek vb
Cam Sanayi	Bor Silikat Camlar, Laboratuvar Camları, Uçak Camları, Borcam, Pyrex, İzole Cam Elyafı, Tekstil Cam Elyafı, Optik Lifler, Cam Seramikleri, Şişe, diğer Düz Camlar, Otomotiv Camları vb.
Elektronik ve Bilgisayar Sanayi	Mikro Chipler, LCD Ekranları, CD-Sürücüler, Akım Levhaları, Bilgisayar Ağlarında; Isıya-Aşınmaya Dayanıklı Fiber Optik Kablolar, Yarı İletkenler, Vakum Tüpler, Dielektrik Malzemeler, Elektrik Kondansatörleri, Kapasitörler, Gecikmeli Sigortalar, Bataryalar, Laser Printer tonerleri vb.
Enerji Sektörü	Gaz türbinleri, Yüksek ısı transistörleri, Bor hidrür yakıtları(boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Piller, Hidrojen depolayıcılar, Güneş Enerjisinin Depolanması, Güneş Pillerinde Koruyucu olarak, Hücre Yakıtları vb
Görüş Sistemleri	Kamera ve Mercek Camları, Fotoğraf Makinaları, Dürbünler, Banyo ve Film İmalatları
İlaç ve Kozmetik Sanayi	Dezenfekte Ediciler, Antiseptikler, Diş Macunları, Lens Solüsyonları, Kolonya, Parfüm, Şampuan vb
İletişim Araçları	Cep Telefonları, Modemler, Televizyonlar vb.
Kağıt Sanayi	Geri kazanılan kâğıtların mürekkeplerinden arındırılması, Yüksek kaliteli kâğıtların parlaklaştırılması, kâğıt hamurunu beyazlatılması,
Kimya Sanayi	Bazı kimyasalların indirgenmesi, Elektrolitik işlemler, Flotasyon İlaçları, Banyo Çözeltileri, Katalistler, Atık Temizleme Amaçlı olarak, Petrol Boyaları, Yanmayan ve Erimeyen Boyalar, Tekstil Boyaları, Yapıştırıcılar, Soğutucu Kimyasallar, Korozyon Önleyiciler, Mürekkep, Pasta ve Cilalar, Kibrit, Kireçlenme Önleyicileri, Dezenfektan kimyasallar, Kozmetikler, yumuşatıcılar, Sabun, Toz Deterjanlar, Toz Beyazlatıcılar, Ağartıcılar, Parlaticılar, Ahşap empenye çözeltileri, Mumyalama vb.
Koruyucu	Ahşap Malzemeler ve Ağaçlarda Koruyucu olarak, Boya ve vernik Kurutucularında, Küf ve mantar önleyiciler, vb.
Makine Sanayii	Manyetik Cihazlar, Zımpara ve Aşındırıcılar Kompozit Malzemeler, Titreşim söndürücü malzemeler, Sert malzemeler, Motorlar, Katı yağlayıcılar, Yüksek sıcaklık sızdırmazlık contaları, Yüksek performanslı motor yağları, vb.
Metalürji	Kaplama elemanları, Yüksek sıcaklık refrakterleri, Kaplama Sanayiinde Elektrolit Olarak, Paslanmaz ve Alaşımli Çelik, Sürtünmeye-Aşınmaya Karşı Dayanıklı Malzemeler, Kaynak Elektrotları, Metalurjik Flaks, Briket Malzemeleri, Lehimleme, Döküm Malzemelerinde Katkı Maddesi olarak, Kesiciler, Kompozit Malzemeler, Zımpara ve Aşındırıcılar vb.
Nükleer Sanayi	Nükleer atık depolama (kolemanit cam bloklar), Reaktör Aksamları, Nötron Emiciler, Reaktör Kontrol Çubukları, Nükleer Kazalarda Güvenlik Amaçlı ve Nükleer Atık Depolayıcı olarak, Nükleer teknolojiye emniyet malzemeleri, vb.
Otomobil Sanayi	Titreşim söndürücü malzemeler, Hava yastığı şişirme mekanizmaları, Bor hidrür yakıtları (boranlar), Isı enerjisi depolayıcılar, Hidrojen depolayıcılar, Hava Yastıklarında, Hidroliklerde, Plastik Aksamda, Yağlarda ve Metal Aksamlarda, Isı ve Ses Yalıtımı Sağlamak Amacıyla, Antifrizler, vb.
Seramik Sanayi	Emaye, Fayans, Porselen Boyaları, sırlar, vb
Spor Malzemeleri	Kayak Aksamları, Tenis Raketleri, Ok-yay, Balık Oltaları, Golf Sopaları, Darbe söndürücüler vb.
Tarım Sektörü	Sentetik gübreler, Biyolojik Gelişim ve Kontrol Kimyasalları, Küf ve mantar önleyiciler, Böcek-Bitki Öldürücüler, Yabani Otlar, vb
Tekstil Sektörü	Isıya Dayanıklı Kumaşlar, Yanmayı Geciktirici ve Önleyici Selülozik Malzemeler, İzolasyon Malzemeleri, Tekstil Boyaları Deri Renklendiricileri, Dericilikte kireç çöktürücü, Suni İpek Parlatma Malzemeleri, vb.
Tıp	Yapay organlar, Antibiyotikler(boromicyn), Osteopoz Tedavilerinde, Alerjik Hastalıklarda, Psikiyatride, Kemik Gelişiminde ve Artiritte, Menopoz Tedavisinde, BNTC Terapi Yöntemiyle Beyin Kanserlerinin Tedavisinde tümör öldürücüler, Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında, vb
Uzay ve Havacılık Sanayii	Sürtünmeye-Aşınmaya ve Isıya Dayanıklı Malzemeler, Roket Yakıtı, Uydular, Uçaklar, Helikopterler, Zeplinler, Balonlar, Radar dalgası soğurucular, vb.

1.5. Borlama ve Yöntemleri

1895 yılında Mossion çeliklerin borlanabileceğini söylemiş ve bu konuda çalışmalar yapmıştır. Ancak özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra bu konudaki araştırma ve çalışmalar yoğunluk kazanmıştır (Selçuk,1994).

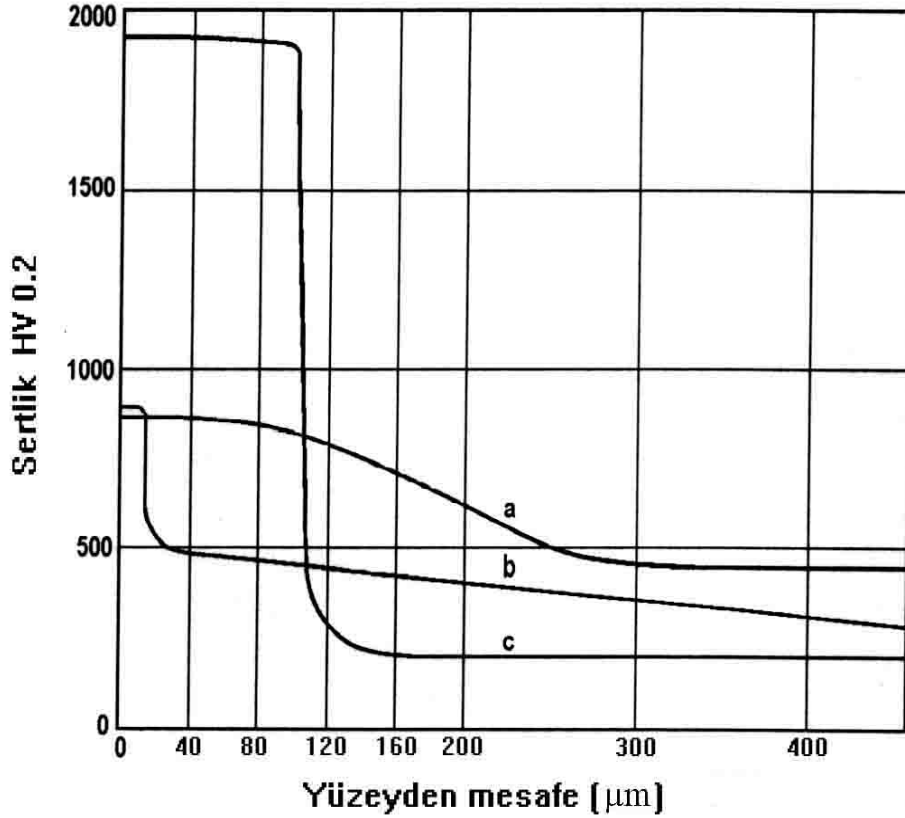
Borlama esas olarak yayınma işlemidir. Bor kaynağının fiziksel durumu katı, sıvı, gaz olabilir. Genel olarak çelik, borlama ortamında 2-10 saat, 850 °C – 1000 °C bekletilerek borlama işlemine tabi tutulur. Borlama ortamı, bor kaynağı (B_4C , $Na_2B_4O_7$, H_2B_6), aktivatör (KBF_4), dolgu veya deoksidantlardan oluşur. Aktivatörler tabakanın büyüme düzenine etki eder. Deoksidantlar, borlama sıcaklığında oksijeni tutarak hızlandırıcı bir ortam oluşturur ve borlama maddelerinin ana malzemeye yapışmasını önlerler (Yünker, 2000; Aydemir, 2003; Çalık, 2005).

Borlama yöntemleri, kullanılan bor kaynağının fiziki durumuna göre belirlenir. Gaz, bir ısıtma işlemi ortamı olarak teknik avantajlar sergiler ve nitrürleme, karbürleme, kromlama gibi ısıtma işlemlerle başarıyla uygulanır. Ancak; gaz ve sıvı fazda borlama, ortamın oluşturulması bakımından ciddi zorluklar gösterdiğinden sık kullanılan bir yöntem değildir, bu nedenle farklı borlama teknikleri katı bor verici kaynaklar esas alınarak geliştirilmiştir (Nair ve Karamış, 1997).

Borlanmış parçaların yüzeyinde ölçülen sertlik, kullanılan çeliğin kimyasal bileşimi ve borlama pratiğine bağlı olarak 2000-2500 VSD mertebelerine çıkabilmektedir. Malzemeye, yüksek yüzey sertliği, düşük sürtünme katsayısı, yüksek korozyon direnci kazandırması ve işlem sonrası ana malzemeye ısıtma işlemi uygulanabilmesi borlamanın diğer yüzey sertleştirme işlemlerine olan üstünlükleri arasında yer alır (Karakullukçu vd., 2002; Varol vd, 2003).

Malzemelerin yüzeyine değişik metotlarla kaplamalar yapılır. Örneğin; hem karbürleme yapılması istendiğinde sertleşmeden sonra sürekli bir geçişle sert kenar bölgesinden yumuşak çekirdek halinde tutabilmek için, hem tuz banyosunda nitro karbürlemede, nitrür tabaka özelliğinin yanında, tabaka altındaki yarı metal difüzyon

bölgesi çok önemli bir rol oynar. Bor kaplamada ise sadece kenar bölgesi, yani borür tabakası ilgili alandır. Buna göre değişik ısıl işlemler sonucu oluşan, sertlik-yüzeyden mesafe ilişkileri Şekil 1.10'da görülmektedir (Karaman, 2003).



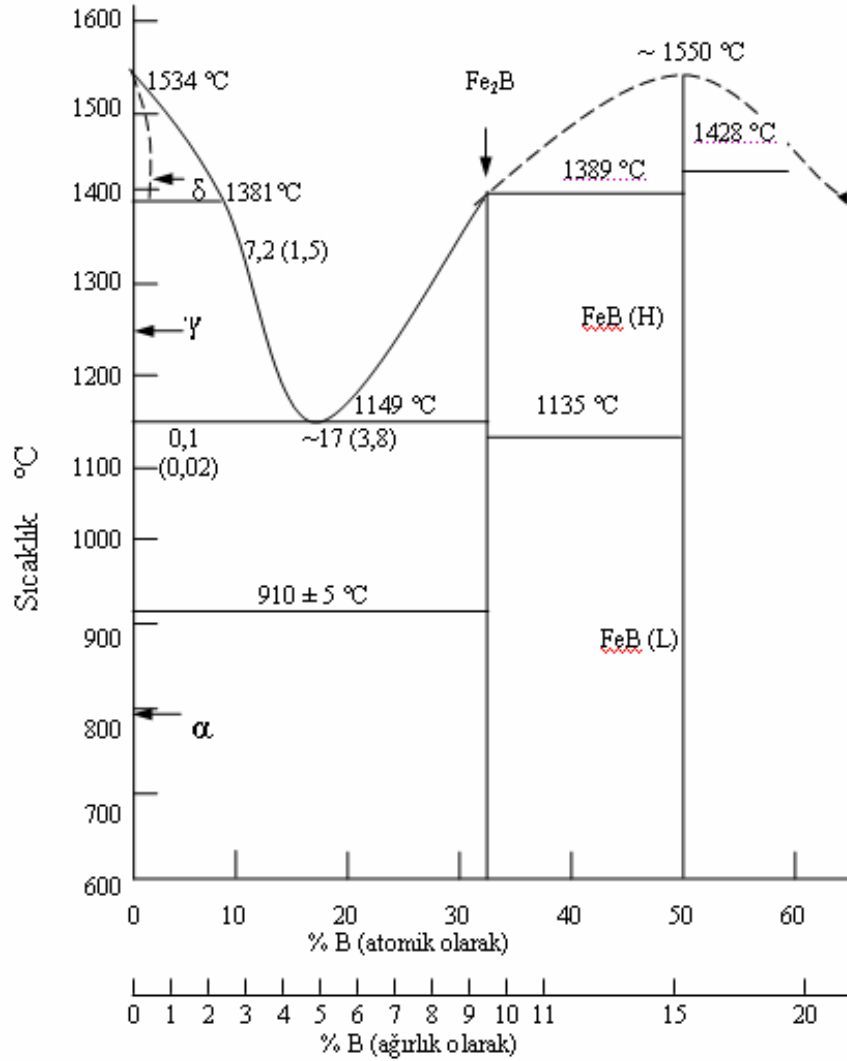
Şekil 1.11. Borlama işleminde, sertlik-yüzeyden mesafe ilişkisi (Karaman, 2003)

- a) İlave sertleştirme (16MnCr5 , 1 saat, 860 °C , sementasyon işlemi ve yağda sertleştirme),
- b) Tuz banyosunda nitro karbürleme (C15 , 90 dakika , 580 °C banyoda su verme),
- c) Borlama (C45 , 3 saat, 900 °C , Durborid 2, yavaş soğuma)

Yüksek sıcaklıkta (850-1050°C) yapılan borlama işlemi ile demir yüzeyine bor yayılması gerçekleşir. Bu yayılma işlemi ile tek fazlı Fe₂B veya iki fazlı Fe₂B+ FeB den oluşan ferrobör tabakası elde edilir. Tek faz Fe₂B oluşumu, iki faz Fe₂B+ FeB nin oluşumundan daha fazla istenir. Çünkü borca zengin FeB fazının kırılabilirliği yüksektir; bu yüzden FeB fazının oluşması istenmez. FeB nin ısıl genişleme katsayısı (23.10⁻⁶/°C), Fe₂B nin genişleme katsayısından (7,85.10⁻⁶ /°C) büyüktür. İki fazlı

sistemde oluşan Fe₂B ve FeB fazları arasındaki ısıl genleşme farklılıkları nedeni ile yüzeyde çatlamlar oluşur. Bu çatlamları önlemek FeB fazını azaltmak veya FeB fazının oluşmasını önlemek ile mümkündür (Aydemir, 2003; Körpe vd, 2004; Bayça ve Şahin, 2004; Çalık, 2005).

Bor α , γ ve δ – demirinde çok az çözünebilmektedir. α – demirinde, 910 °C civarındaki maksimum çözünebilirlik sıcaklıklarında 20-80 ppm borun çözünebildiği; buna karşılık, 1150-1170 °C sıcaklıklarda γ – demirinde 55-260 ppm bor çözünebildiği bildirilmiştir. Çözünebilirlik sınırlarının genişliğinin, esas malzemenin saflığı ve tane boyutundaki değişikliklerden kaynaklandığına inanılmaktadır (Özsoy, 1991; Karaman, 2003).



Şekil 1.12. Fe-B denge diyagramı (Çalık, 2004)

Şekil 1.11'de Fe-B ikili denge diyagramı görülmektedir. Fe ile B arasında Fe_2B (%8.83 B), FeB (%16.23 B) bileşikleri ve 1149°C 'da , %3.8 B bileşiminde bir ötektik nokta oluşmaktadır. Dolayısıyla borlanmış yüzey 1149°C sıcaklığına kadar ısıdan etkilenmemektedir. Fe-B sisteminde alaşım elementleri, örneğin %1 C ötektik sıcaklığını 50°C aşağıya düşürmektedir (Özsoy, 1991; Karaman, 2003; Çalık, 2004).

1.5.1. Katı Ortamda Borlama

Yüzeyi borlanacak malzeme, toz halindeki bor verici ortam içinde genellikle 850°C - 1000°C sıcaklıklarda 2-10 saat bekletilmesi ile yapılan işlemdir. Kutu sementasyona benzeyen bu yöntem soygaz atmosferinde yapılabildiği gibi sıkı kapatılmış kutularda olmak şartı ile normal, atmosferde de yapılabilir. Sistem ucuzdur. Özel teçhizat ve teknik gerektirmez (Bozkurt, 1984). Ticari alanda katı ortam borlama maddeleri kullanım alanlarına göre sınıflanılarak satılmaktadır (Taşçı,1993).

Ekabor 1: Tozdur. Optimum tabakanın elde edilmesinde kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü açısından yüksek kaliteye erişilir ve genel maksatlı, demir ve çelik malzemelerde kullanılır.

Ekabor 2: Granüldür. Yüzey pürüzlülüğü açısından çok yüksek kaliteye sahiptir. Düşük alaşımlı çelikler için kullanılır.

Ekabor 3: Granüldür. Ekabor 2'den daha iri taneli olup yüzey kalitesi daha iyidir. Yüksek alaşımlı çelikler için kullanılır.

Ekabor HM: Sert malzemelerin borlanması için özel olarak üretilmiştir.

Ekabor Pasta: Macun şeklinde olup metalik malzemelerin borlanması istenen bölgelerine sürülerek uygulanır.

1.5.1.1. Toz Ortamda Borlama

Yüzeyi borlanacak malzeme, toz halindeki bor verici ortam içinde $800-1000^\circ\text{C}$ sıcaklıklarda 4-10 saat bekletilerek borlama işlemi yapılır. Borlama tozu ısıya

dayanıklı çelik saç kutu içine konur ve borlanacak parça bu tozun içine gömülür. Bu toz, parçanın tüm yüzeylerinde en az 10 mm kalınlığında olmalıdır. Kutuların ağzı bir kapak ile kapatılarak önceden belirli bir sıcaklığa ısıtılmış fırına konur. Ve fırın kapağı kapatılarak fırın içi sıcaklığı borlama sıcaklığına yükseltilir. Bir süre bekletildikten sonra kutu fırından alınarak soğutulur ve parça içinden çıkarılır. Bu sırada çelik kutunun kapağı kutunun üzerinde kendi ağırlığı ile durmalıdır. Sementasyonda olduğu gibi sıkıca kapatılmasına gerek yoktur. Eğer işlem normal atmosfer de yapılacaksa kapak sıkıca kapatılır. Bu yöntem koruyucu gaz atmosferi içinde de yapılabilir. Yöntem ucuzdur ve özel bir teknik gerektirmez (Uzun,2002).

Borlama ortamının ana bileşeni borkarbür, ferrobör ve amorf bördür. Bor korbür diğerlerine göre ucuzdur. Amorf borun saf halinin çok pahalı oluşu ve saf ferrobörün eldesinin endüstriyel olarak çok zor olması bu metotların bırakılmasına neden olmuştur. Diğer bor verici toz ortam bor karbür ise amorf bor ve ferrobörden ucuz olup, bileşimi zamana göre sabittir. Elverişli tane boyutunun ve etkin aktivatörün seçimi ile iyi sonuçlar alınmıştır. Bütün bunlara rağmen amorf bor tuzuna aktivatör olarak amonyum klorür eklenerek yapılabilir. Ferrobör ortamında yapılan borlama sonucu elde edilen tabaka teknik açıdan kullanılamaz. Aktivatör dolgu maddeleri ile kullanılabilir (Çetin,2003).

Katı ortam borlamasında kullanılan bazı borlama bileşiklerine ait örnekler % ağırlık olarak aşağıda verilmiştir (Özsoy, 1991).

1. % 60 B₄C + %5 B₂O₃ + %5 NaF + % 30 Demir oksit
2. % 50 Amorf bor + %1 NH₄F.HF + %49Al₂O₃
3. %100 B₄C
4. % (7,5-40) B₄C + % (2,5-10) KBF₄ + %(50-90) SiC
5. % 84 B₄C + %16 Na₂B₄O₇
6. % 95 Amorf bor+%5 KBF₄
7. % 20 B₄C + % 5 KBF₄ + %75 Grafit
8. % (40-80) B₄C + % (20-60) Fe₂O₃
9. % 80 B₄C + %20 Na₂CO₃

10. % 98 [% 75 Al_2O_3 + % 25 (% 30 Al + % 70 B_2O_3)] + % 2 NaF
 11. % 100 B_4C
 12. % 48 Amorf bor + % 4 Cr + % 1 $NH_4 \cdot HF$ + % 47 Al_2O_3

1.5.1.2. Macunlama ile Borlama

Borlama için kullanılacak tozlar macun haline getirilir ve borlanacak parçanın üzerine 2 mm kalınlıkta sürülür. Parça yüzeyine sürülen macun derhal sıcak hava akımında, ön ısıtma odasında veya kurutma fırınında maksimum $150^{\circ}C$ ' de kurutulması gerekir. Gerekli takdirde macun üzerine tekrar birkaç kez daha sürülebilir. Kurutma işleminden sonra macun ile kaplanmış parçalar önceden ısıtılmış fırına konur ve fırın ağzı kapatılarak borlama sıcaklığına ısıtılır. Belirli süre bu sıcaklıkta tutulan parçalar dışarı alınır. Ve soğumaya terk edilir. Parçalar soğuduktan sonra yüzeyinde yapışmış olan artıklar temizlenir ve böylece borlama yapılmış olur (Uzun,2002).

Bu yöntemle borlama mutlaka koruyucu gaz ortamında yapılması gerekir. Aksi takdirde kötü bir borür tabakası oluşur. Bu yöntemle kısmi borlama yapılabilir. Bor korbür (B_4C), kriyolit (Na_3AlF_6) ve bağlayıcı olarak da hidrolize edilmiş etilsilikat karışımından macun yaparak borlama yapılmıştır. Bu yöntemde kullanılan koruyucu gazlar; Argon, Formier Gazı, NH_3 ve saf azottur. Bu yöntemde kullanılan koruyucu gazlar ise çizelge 1.4'te verilmiştir (Selçuk,1994).

Çizelge 1.4. Koruyucu gaz atmosferinin özellikleri (Selçuk,1994)

Koruyucu Gaz Adı	Bileşimi
Argon	%99.996 Ar
Kalıp gazı (Fonnier Gazı)	%5 - 30 H_2 , geri kalanı N_2
NH_3 - Spalt gazı (Amonyak)	%75 H_2 , %25 N_2
Saf Azot	%99 N_2 , %1 H_2

1.5.2. Sıvı Ortamda Borlama

Borlama şartlarında ortam sıvıdır. Borlanacak malzeme 800-1000 °C arasındaki sıcaklığa sahip sıvı bir borlu ortam içinde 2-6 saat bekletilerek bor yayılımı gerçekleştirilir (Selçuk,1994). Sıvı ortamda kimyasal reaksiyonların daha hızlı olmasından kaynaklanan yüksek aktivite nedeniyle, sıvı ortamda borlama geniş ölçüde kullanılmaktadır. İşlem normal atmosfer altında yapılır, koruyucu atmosfere gerek yoktur. Ayrıca işlemde kullanılan cihaz ve donanım basit olduğu gibi, gerekli kimyasal maddeler de ucuzdur. Borlama sonrası parçaların temizlenmesi önemli bir problemdir (Özsoy, 1991).

Sıvı ortamda borlama tuz eriği içinde elektrolitli veya elektrolitsiz (daldırma) ve derişik çözeltilde olmak üzere yapılabilir (Bozkurt, 1984).

Çizelge 1.5. Sıvı ortam borlanmasında kullanılan ana bor kaynakları ve özellikleri (Matuschka,1980).

Malzeme	Formül	Molekül Ağırlığı(gr/mol)	Teorik Bor Miktarı(%)	Erime Sıcaklığı(°C)	Açıklama
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 + 10 \text{H}_2\text{O}$	381.42	11.35	----	Su miktarından dolayı eritmek için
Susuz Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	201.26	21.50	741°C	20 °C de 25,2 gr/lt H_2O çözünür.
Metabor Asidi	HBO_2	43.83	24.69	---	---
Sodyum Borflorit	NaBF_4	109.81	9.85	---	---
Borik Asit	B_2O_3	69.64	31.07	450 °C	20 °C de 25,2 gr/lt H_2O çözünür.
Borkarbür	B_4C	55.29	78.28	2450 °C	---

1.5.2.1. Daldırma Yöntemi

Elektrolizsiz eritilmiş tuz eriği veya normal sıvı ortam borlaması olarak da adlandırılır. Bu yöntem genelde B_4C 'in katı fazı ile sıvı sodyum klorit (NaCl) den

ibarettir. Bu da boraksın viskozite azaltma yöntemleriyle elektrolit olarak erimesi esasına dayanır (Selçuk, 1994).

Ortamın esas bileşeni boraks olup, aktivatör olarak B_4C , SiC , Zr , B , vs. kullanılır. Klorürlerin karışımı veya klorürler ile floritlerin karışımına bor karbür ilavesi ile yada erimiş boraks banyolarına bor karbür ilave edilerek yapılır. Bu yöntem ucuz ve fazla ihtisas istemez. Fakat termal şok, borlamadan sonra parçanın temizlenmesi, büyük boyutlu ve kompleks parçalara uygulanmaması, metodun kötü yönleridir. Çalışma sıcaklığı $800-1000^{\circ}C$ ve borlama süresi 2-6 saattir (Bozkurt, 1984).

1.5.2.2. Elektroliz Yöntemi

Yüksek sıcaklıkta tuz banyosu, elektrolit iş parçası katot ve grafit çubuk anot olarak işlem gerçekleştirilir. Tuz banyosu ise ergitilmiş borakstır. Bu yöntem laboratuvar çalışmalarında gayet iyi sonuçlar vermiştir. Ancak ergimiş boraksın viskozitesinin çok yüksek olması, endüstriyel uygulamalarda sıcaklığın homojenliğini engeller yani boraks eriğinin yüksek viskozitesi $850^{\circ}C$ 'nin altında borlamayı pratik olarak imkânsız kılar. $850^{\circ}C$ 'nin üzerinde ise banyodaki düzgün sıcaklık dağılımı oldukça güçleşir (Bozkurt, 1984).

Farklı akım şiddetleri, özellikle karmaşık şekilli parçalarda borür tabakasının kalınlığının düzgün olmasına neden olur. Bu yöntemde iş parçası bir tuz tabakasıyla kaplanır ki bunu temizlemek oldukça masraflıdır. Elektrolizle borlama da anodun bir tarafında ince borür tabakası oluşur. Bu da gölge etkisi yaparak değişik ve düzensiz kalınlıklara sebep olur. Sodyum klorür ve borasit anhidritin karışımı ile yapılan çalışma sonucu banyodaki sıcaklık dağılımının eşit olduğu, parçaların daha kolay yıkandığı ve viskozitenin azaldığı görülmektedir. Ayrıca $NaCl$, B_4C ve $NaBF$ bileşiminden oluşan tuz eriğinde diğer problemler çıkmaktadır. Bu yöntemin tesiatı pahalıdır. Ve karışık şekilli parçalarda homojen kalınlıklı tabaka oluşumu oldukça zordur. İşlem $800-1000^{\circ}C$ arasında 0,5-5 saat süre ile yapılır. Banyo bileşimlerinde $0.2 A/cm^2$ akım yoğunluğu, $600-700^{\circ}C$ sıcaklık ve 2-6 süre şartlarını kullanarak sade karbonlu çelikte $15-70\mu m$ kalınlıkta borlu tabaka elde edilmiştir (Selçuk, 1994).

Elektrolizin ana bileşimi boraks ve borik asittir. Ana bileşene ilaveten NaF, NaCl gibi aktivatörler kullanır. Bu aktivatörlerden ayrıca banyonun akışkanlığını artırması istenir (Bozkurt, 1984).

1.5.2.3. Derişik Çözeltide Borlama

Boraks ve Borasitli anhidriti içeren derişik ortamlarda yüksek frekanslı ısıtma ile deneyler yapılmıştır. Belli bir bor difüzyonu sağlandığı halde birleşik tabakalar elde edilememiştir. Boraks ve borasidi anhidriti içeren değişik miktarlı çözeltilerde yapılan deneyler kapalı borür tabakası vermemiş ve 1000°C 'de 10 dakika süre ile 0,1 A/cm² ve 450 kHz frekans ile doymuş boraks çözeltisinde tabakalar elde edilmiştir. Bu yöntem esnasında açığa çıkan bor halojenleri ilgili (uygun) asit oluşumları altında su ile kuvvetli reaksiyona girerler. Bu sebeple derişik çözeltide borlama başarılı olmamıştır (Çetin,2003).

1.5.3. Gaz Ortamda Borlama

Gaz ortamda borlamada, bor kaynağı olarak bor halojenürleri, diboran ve organik bor bileşikleri kullanılır. Gaz borlayıcıların en önemli üstünlüğü, gaz sirkülasyonunun sonucu olarak daha üniform bir bor dağılımının sağlanabilmesi ve elde edilmelerinin kolay olmasıdır. Prensip olarak gaz ortamda borlamada, bor potansiyelinin ayarlanabilmesinden dolayı, tek fazlı tabaka elde etmek mümkündür (Özsoy, 1991).

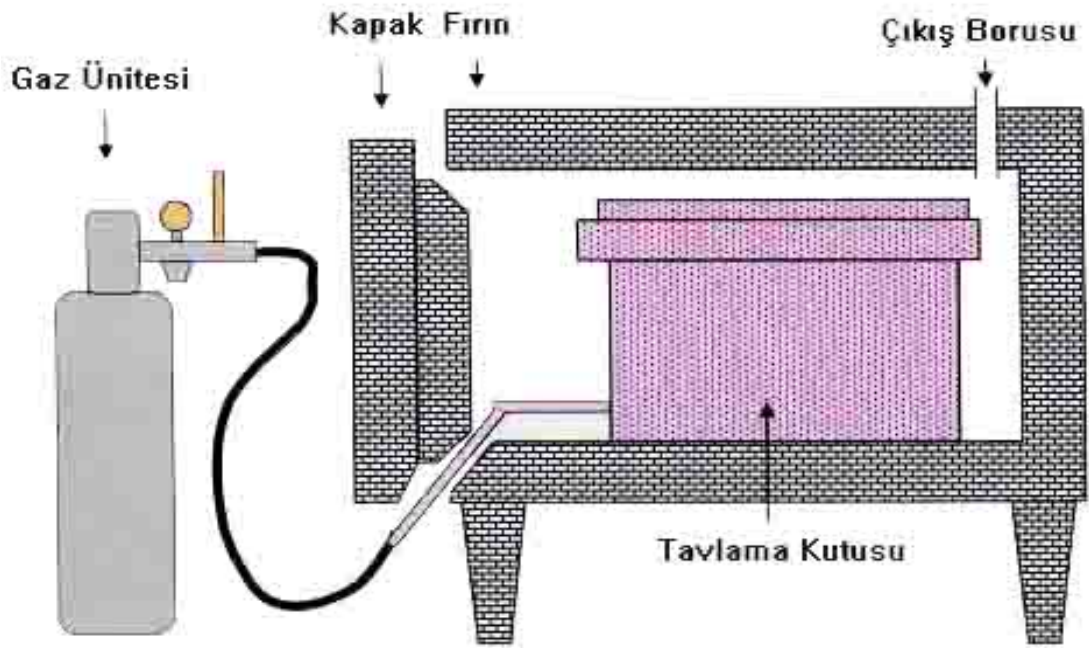
Gaz borlama bileşikleriyle çalışmak için komplike cihazlar gereklidir. Buna ilaveten bazı sakıncalı tarafları daha vardır (Özsoy, 1991):

1) Diboran, kullanılan temel bileşiktir ve çok zehirlidir. Diboran için en düşük zehirlilik sınırı 0.1 ppm'dir. Çok tehlikeli olarak bilinen hidrojen siyanür (prussik asit) için bile 10 ppm'e kadar müsaade edilmektedir.

2) Diboran, hidrojen ile karıştırıldığında bile çok pahalıdır.

3) Trimetilbor $[(CH_3)_3 B]$ ve trietilbor $[(C_2H_5)_3 B]$ ile yapılan gaz ortam borlamasında, bu bileşiklerin yüksek oranda karbon içermeleri sebebiyle karbürizasyon söz konusu olabilmektedir. Bu etki trietilborda, trimetilbordana daha kuvvetlidir.

4) Bor halojenürleri korozyona sebep olabilirler. Gaz ortamın bileşimi, basıncı ve gazın tanktan akış hızı borlamayı etkiler.



Şekil 1.13. Gaz ortamda borlama tertibatının şematik gösterimi (Karaman, 2003)

1.5.4. Plazma Borlama

$B_2H_6-H_2$ ve BCl_3-H_2 Ar'un karışımları plazma borlama işleminde başarılı bir şekilde kullanılır. Bahsedilen $B_2H_6-H_2$ gaz karışımı bir paket veya sıvı ortam borlama prosesi ile mümkün olmayan $600^\circ C$ gibi düşük sıcaklıklarda çeşitli çelikler üzerinde borlu tabaka üretmek için kullanılmaktadır (Tezcan, 1996).

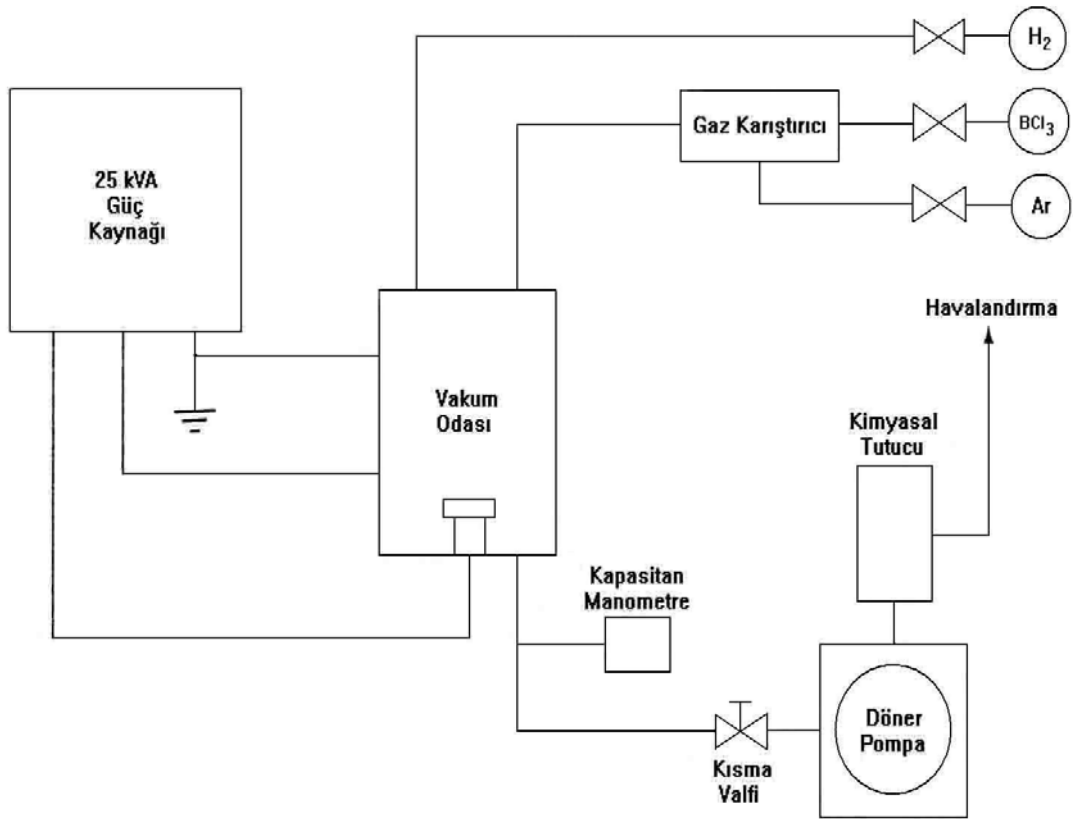
BCl_3-H_2 Ar gazlarının karışımı içinde plazma borlamanın BCl_3 konsantrasyonunun daha iyi kontrol edilmesi, kalıntı gerilmenin azalması ve borlu film tabakalarının

daha yüksek mikro sertliği gibi olumlu özellikler gösterdiği iddia edilmektedir. Şekil 1.13'de bir plazma borlama imalathanesinin şematik bir planı gösterilmektedir (Tezcan, 1996).

Plazma borlamanın avantajları şunlardır (Tezcan, 1996):

- 1- Borlanan tabakanın bileşim ve derinlik kontrolü yapılabilmektedir.
- 2- Klasik paket borlamaya kıyasla daha yüksek bir bor potansiyeli vardır.
- 3- Daha ince borlu tabakalar elde edilebilmektedir.
- 4- İşlemden kullanılan sıcaklık ve uygulanan işlem süresinde azalma vardır.
- 5- Yüksek sıcaklık fırınlarına ve gerekli aksesuarlara ihtiyaç yoktur.
- 6- Enerji ve gaz sarfiyatında tasarruf sağlanmaktadır.

Plazma borlama işleminin en önemli dezavantajı, kullanılan atmosferin aşırı zehirli olmasıdır. Sonuçta bu işlem ticari yönüyle kabul görmemiştir (Tezcan, 1996).



Şekil 1.14. Plazma borlama tesisat şeması (Tezcan, 1996)

1.6. Borür Tabakasının Özellikleri

1.6.1. Borürlü Tabakanın Yapı ve Bileşimi

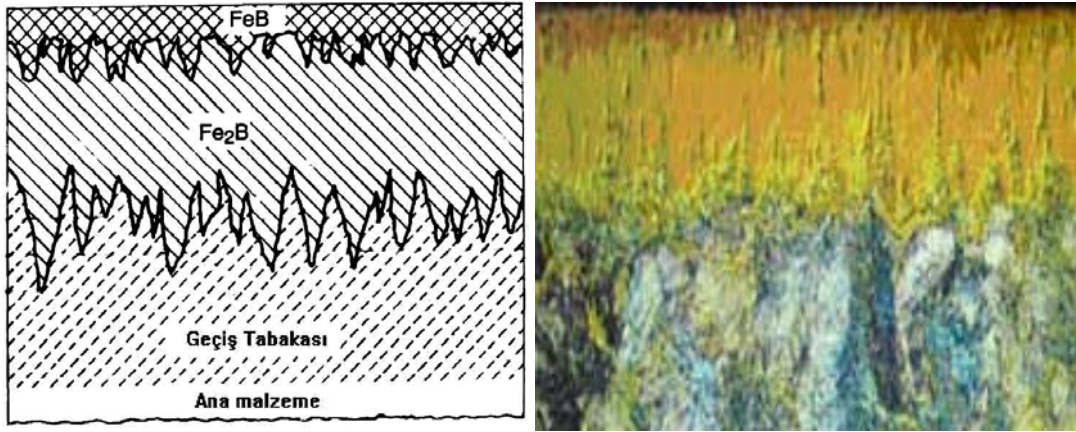
Borür tabakasının özellikleri başta kullanılan malzemenin cinsine, borlama ortamına, sıcaklığa, zaman ve ısıl işlemlere bağlı olarak değişmektedir. Bu unsurlara bağlı olarak çeliklerde borür tabakası ve geçiş bölgesi oluşmaktadır (Delikanlı vd, 2003).

1.6.1.1. Borür Tabakası

Alaşımız çeliklerde borlama şartlarına bağlı olarak tek fazlı (Fe_2B) yada çok fazlı ($FeB + Fe_2B$) borür tabakası oluşur. Borlama ortamındaki bor miktarı Fe_2B fazı oluşumu için gerekli olan miktardan fazla ise uygun sıcaklık ve zaman şartlarında borür tabakasında Fe_2B fazına ilaveten FeB fazı da oluşur. Alaşımız çeliklerde ise bunlara ilaveten alaşım elementine bağlı olarak Cr_2B , TiB_2 , NiB_2 , CoB gibi bileşiklerden biri yada birkaçı oluşabilir (Yünker, 200).

Şekil 1.15'de alaşımız bir çelikte iki fazlı bir borür tabakası gösterilmiştir. En dış bölümde FeB fazı, onun altında Fe_2B , onun altında geçiş bölgesi, onun da altında ana malzeme görülmektedir. Borür tabakasının pürüzlülük derecesi, temel materyal ile söz konusu malzemenin ihtiva ettiği alaşım miktarına bağlıdır. Kuvvetli pürüzlülük karbonlu çelikler ve düşük alaşımız dökme çeliklerde ortaya çıkar. Alaşım elementinin miktarının artması ile pürüzlülük zayıflar, öyle ki örneğin ; %18 Cr ve %8 Ni ile çeliklerde düz katmalı tabaka meydana gelir (Karaman, 2003).

Eğer borlama maddeleri ile çalışıldığında, yüksek borlama potansiyeli söz konusu ise, iki fazlı borür tabakası meydana gelir. Bu tabakanın dış kısmı FeB 'den, içinde ise Fe_2B 'den meydana gelmektedir. FeB , Fe_2B ile kıyaslandığında daha yüksek sertliğe sahiptir, fakat kırılgandır. Bunun için, borlama maddesinin bor potansiyeline bağımlı olarak farklı tabaka tipleri üretilebilir (Karaman, 2003).



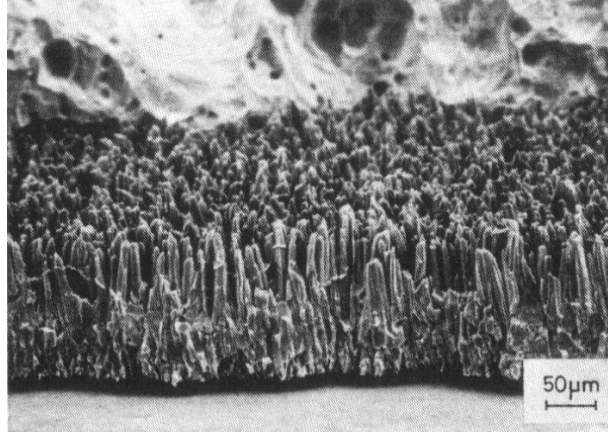
Şekil 1.15. Borlama sonrası alaşımsız çelikte FeB ve Fe₂B fazlarının görünüşü (Karaman, 2003; Çalık vd, 2004)

FeB ve Fe₂B optik mikroskop altında konstat farkıyla birbirlerinden ayırt edilmesi mümkün olmuştur. FeB fazı Fe₂B fazından daha koyu renkte olduğu görülmüştür. Ayrıca FeB ile Fe₂B ve Fe₂B ile matris ara yüzeyindeki yapı kolonsaldır. FeB fazı, Fe₂B üzerinde oluşmakta ve Fe₂B fazından daha fazla bor içermektedir. Bor tabakasının kalınlığı borlama sıcaklık ve süresine bağlı olarak artış göstermektedir (Çeçil ve Şen, 2002).

Borür tabakasının karakteristik özelliği dış şeklinde bir yapıya sahip olmasıdır. Çeliklerdeki alaşım elementi ve karbon oranının artmasıyla bor difüzyonu yavaşlamaktadır. Bunun sonucu olarak borür tabakasında hem kalınlık azalmakta, hem de borür tabakası ile ana malzeme ara yüzeyindeki dış şeklindeki yapı düzleşmektedir (Yünker, 2000).

Taramalı elektron mikroskopunda elde edilen; borlanmış bir çeliğin % 18 hidroklorik çözeltisi içinde birkaç saat kaynatılması sonrası çözünmüş, yaklaşık 120µm uzunluğunda dış biçimli demirborür kristalleri (Fe₂B) Şekil 1.16'de görülmektedir (Karaman, 2003).

Fe₂B ve FeB'ye ait bazı özellikler Çizelge 1.6'de verilmiştir (Bozkurt, 1984).



Şekil 1.16. Diş biçimli demirborür kristalleri (Fe_2B) (Karaman, 2003; Çalık, 2004)

Çizelge 1.6. Fe_2B ve FeB 'nin bazı özellikleri (Bozkurt, 1984; Çalık vd, 2004)

Özellik	Borür	
	Fe_2B	FeB
Ergime Noktası ($^{\circ}C$)	1390	1550
Mikro sertlik (Vickers)	1600-1800	1800-2400
Uzama Katsayısı ($1000^{\circ}C$)	$8.0 \times 10^{-6} K^{-1}$	$10-160 \times 10^{-6} K^{-1}$
Termal İletkenlik ($1000^{\circ}C$)	0.2-0.3 W/cm $^{\circ}C$	0.1-0.2 W/cm $^{\circ}C$
Kuri (Curie) Noktası ($^{\circ}C$)	742	325
Kristal Sistemi	Tetragonal Hacim Merkezli	Ortorombik
Kafes Parametreleri ($Å$)	a: 5.075 b: 4.249	a: 4.053 b: 5.495 c: 2.496
Yoğunluk (gr/cm^3)	7.32	-

1.6.1.2. Geçiş Bölgesi

Borür tabakası ile borlanan matriks (ana) arasındaki bölge, geçiş bölgesi olarak adlandırılır. Borlama işlemi esnasında çelik bileşiminde bulunan elementler bu bölgede yeniden dağılırlar (Özsoy, 2001; Çalık ve Özsoy, 2002).

Geçiş bölgesi, borlanmış metalde borür tabakası ile ana metal arasındaki ara bölgeyi tanımlar. Geçiş bölgesi ile alakalı farklı görüşler olmakla birlikte yaygın olan görüş;

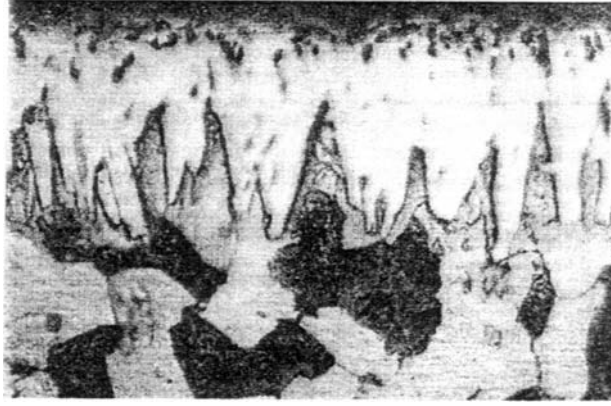
borlama sonucu oluşan borür tabakasında karbon çözünemediği için metalin yapısında bulunan karbon, bor difüzyonu sırasında yüzeyden iç kısımlara itilir. Bunun sonucu olarak karbonca zengin geçiş bölgesi oluşur (Matuschka, 1980).

Borür tabakası tarafından karbonun içeri doğru itilmesi sonucu bu bölgede esas malzemeye göre daha fazla perlit bulunduğu ileri sürülmektedir. Bozkurt (1984) ise doktora tezinde geçiş bölgesindeki karbon miktarının ana malzemedeki seviyesini koruduğunu, buna karşılık borun yüzeyden içe doğru tedrici olarak azaldığını tespit etmiştir.

Geçiş bölgesi hakkında başka bir görüş; bu bölgedeki borun çeliklerde alaşım elementi olarak gösterdiği etkiyi göstermesinden kaynaklanan farklı özelliklere sahip olmasıdır. Bu bölgenin ısı işleme hassasiyeti, borun ostenit dönüşümünü yavaşlatmasındandır. Ayrıca bu bölgede gözlenen ostenit tane irileşmesi de, borun alaşım elementi olarak çeliklerde gösterdiği tipik özelliklerdendir (Bozkurt, 1984).

Geçiş bölgesinin kalınlığı konusunda da farklı değerlendirmeler mevcuttur, Lovshenko ve arkadaşları (1978) geçiş bölgesi kalınlığını borür tabakasının 3-4 katı olarak bildirilirken, Bozkurt (1984) bu oranın 10-15 kat olduğunu tespit etmiştir. Geçiş bölgesinin tane büyüklüğü ise ana malzemeye göre oldukça fazladır (Yünker, 2000).

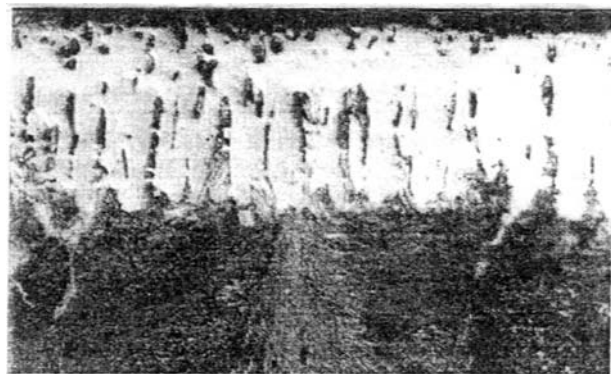
Yüzey tabakalarının incelendiği bir borlama işlemi deneyinde, deney numunesi olarak kullanılan AISI 1020, AISI 1040 çeliklerinin aynı şartlarda borlandığında, birbirinden farklı özelliklere sahip yüzey tabakaları sergiledikleri görülmüştür. Bu özellikler alaşımsız ve alaşımlı çeliklerde aşağıdaki şekilde gözlenmiştir. Düşük ve alaşımsız çeliklerde borlama sonucu oluşan yüzey tabakası Şekil 1.17'da görüldüğü gibidir (Nair ve Karamış, 1997).



Şekil 1.17. Borlanmış AISI 1020 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı (Nair ve Karamış, 1997)

Burada en dışta (malzeme yüzeyinde) borür tabakası görülmektedir. Borür tabakası; dişli forma sahip, açık beyaz renktedir. Borür tabakasının ana malzemeye bağlantısı bir geçiş bölgesi üzerinden olmayıp, doğrudan tane sınırlarına ve tane içlerine uzanan dişlerle gerçekleşmiştir (Nair ve Karamış, 1997).

Alaşımli AISI 4140 çeliğinin borlanması neticesinde elde edilen yapı Şekil 1.18'de görülmektedir. Malzeme yüzeyinde açık renkli dişli forma sahip borür tabakası bulunmaktadır. Borür tabakasının ana malzemeye bağlantısı, ana malzemedan ve borür tabakasından farklı özelliklere sahip bir geçiş bölgesi üzerinden gerçekleşir Geçiş bölgesi alaşımli ve yüksek karbonlu çeliklerde meydana gelmektedir. Tane sınırları belirli olmayıp koyu renkte perlitik bir görünüme sahiptir (Nair ve Karamış, 2002).

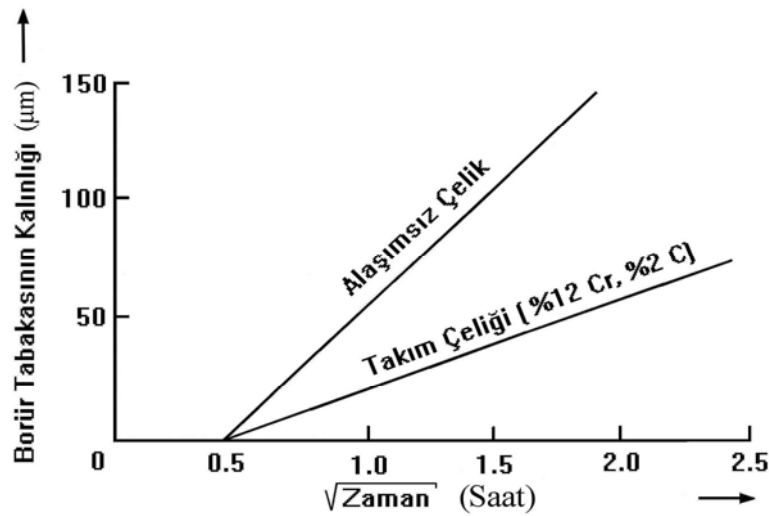


Şekil 1.18. Borlanmış AISI 4140 çeliğinde yüzeyin mikroyapısı (Nair ve Karamış, 1997)

1.6.1.3. Borürlü Tabakanın Yapı ve Bileşimine Alaşım Elemanlarının Etkisi

Genel olarak bütün alaşım elementleri için tabaka kalınlığında bir azalma tespit edilmiştir. Alaşım elementleri bor difüzyonunu azaltmakta, ana malzeme ve borür tabakasının özelliklerini değiştirmektedir (Yünker,2000).

Çelik içinde C ve Si miktarı arttıkça FeB stabilitesi azalmakta, %1.2-1.25 C'lu çelikte FeB tamamen yok olmaktadır. Periyodik tablonun aynı bölgesinde yer alan Si, P, N, Ti, V, Nb, Ta'da karbon gibi etki etmektedir. V'nin %0.15'i geçmemesi istenir. Cr, Mo, W, Mn, Ni'nin FeB ve Fe₂B'ye etkisi aynıdır ve alışla gelmiş konsantrasyonları için bor difüzyonuna etkisi ihmal edilebilir. Ayrıca bu alaşım elementlerinden W, Mo ve Cr'un miktarı çelik içinde arttıkça borlanmış parçanın yüzey pürüzlülüğü azalır. Şekil 1.19'de eşit şartlarda Borlama işlemiyle, alaşımlı (takım çeliği) ve alaşımsız çeliklerde elde edilen borür tabaka kalınlıkları gösterilmektedir (Bozkurt,1984).



Şekil 1.19. Alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde eşit şartlarda borlama ile elde edilen borür tabaka kalınlıkları (Bozkurt, 1984)

Alaşımlı çeliklerin borlanması sırasında alaşım elementlerinden Cr, Ni ve Mn'nin Fe₂B'de konsantre olduğu saptanmıştır. Dikkati çeken bir nokta da, borür tabakasının karbon içermemesi ve silisyum çözünürlüğünün de çok düşük olmasıdır. Borlama esnasında Si ve C, borür tabakası tarafından içeri doğru itilerek geçiş zonunda C ve

Si zenginleşmesine yol açtığı ileri sürülmüştür. %1'in üzerinde Si içeren çeliklerde borür tabakası altında silisyumca zengin bir tabaka görülmekte ve bu ferrit çukuru olarak adlandırılmaktadır. Özellikle darbe ve lokal basınçlara maruz kalan borlanmış parçalarda Si içeriği %0.7'nin altında olması istenir (Karaman, 2003).

Karbon, borür tabakasının sertliğinde artışa sebep olmakta ancak bu artış % 0.4 karbona kadar devam etmektedir (Bindal, 1991). Karbon, ötektoid üstü çeliklerde borun difüzyonuna kuvvetle engel olur ve esasen daha ince tabaka kalınlığına neden olur. Bu görünüm ostenit içinde karbonun çözünürlüğünün artması ile borun toplanması sayesinde ve böylece borür dışının büyüme frontunda sementitten ayrılmaya sebep olduğu izah edilmektedir. Ötektoid altı çeliklerde karbonun borlanabilirliğe etkisi farklı şekillerde yorumlanır. Artan karbon miktarı, borür tabakası kalınlığının açıkca azalmasına götürdüğü anlayışı kabul edilmektedir (Lu, 1983). Alaşım elemanının orijinal malzemede yaptığı etki, borlanan yüzeyde "bor" un etkisiyle birleşerek daha büyük ölçülere varabilmektedir. Yani borlu yüzeylerdeki sertlik, borürlerin cinsi, miktarı ve oryantasyonuna bağlıdır. Her ne kadar Mn ve Cr borürlerle birlikte demir borürlerin rolü var ise de, yüzeyi borla kaplı karbon çelikler ve özel alaşımlı çelikler arasındaki yüzey sertlik farkı izahını sadece alaşım elementlerine bağlamak gerekir (Bindal, 1991).

1.6.2. Borlu Tabakanın Mekanik Özellikleri

Borlama demir grubu malzemelerin kopma ve akma mukavemetlerini % 10-20, yorulma dayanımlarını %25 ve korozyonlu yorulma ömrünü % 200 arttırmasına karşılık plastisite özelliklerini azaltır. Borlu tabaka özelliklerine ait çalışmalar daha ziyade sertlik, aşınma ve korozyon özelliklerine yöneliktir (Yünker, 2000).

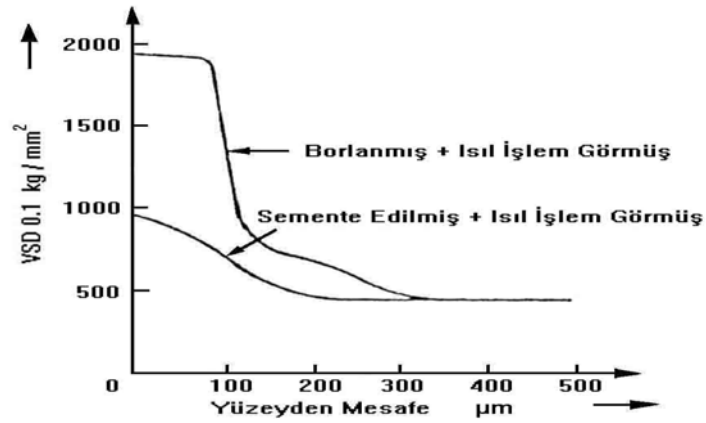
1.6.2.1. Sertlik

Borlamanın en büyük etkisi sertlik üzerine olup, ana malzeme cinsine ve yüzeyde oluşacak borür fazlarına bağlıdır. FeB fazı Fe₂B'den daha sert ve gevrektr (Atik, 1997).

Borlamada elde edilen sertlik; karbon çeliklerinde 1800-2000 HV, alaşımlı çeliklerde 2500-2800 HV, titanyumda ise 3000 HV civarındadır. Şekil 1.20'de borlu ve sementasyonlu tabakalardaki sertlik dağılımları kıyaslanması görülmektedir. Çizelge 1.7'de ise borlama ve diğer işlemlerle elde edilmiş yüzeylerin sertlik kıyaslamaları yapılmıştır (Yünker, 2000).

Çizelge 1.7. Çeşitli işlemlere tabi tutulmuş malzemelerin mikrosertlik değerleri (Çeçil ve Şen, 2002)

Malzeme	Mikrosertlik, HV
Borlanmış yumuşak çelik	1600
Borlanmış AISI H13 kalıp çeliği	1800
Borlanmış AISI A2 çeliği	1900
Su verilmiş çelik	900
Su verilmiş ve temperlenmiş H13 çeliği	540-600
Su verilmiş ve temperlenmiş A2 kalıp çeliği	630-700
Yüksek hız takım çeliği BM42	900-910
Nitrürlenmiş çelik	650-1700
Karbürleşmiş düşük alaşımlı çelik	650-950
Sert krom kaplama	1000-1200
Sementit karbürler WC + CO	1160-1820 (30 kg)
Al ₂ O ₃ + ZrO ₂ seramikler	1483 (30 kg)
Al ₂ O ₃ + TiC + ZrO ₂	1730 (30 kg)
Sialon seramikler	1768 (30 kg)
TiN	2000
TiC	3500
SiC	4000
B ₄ C	5000
Elmas	≅ 10000



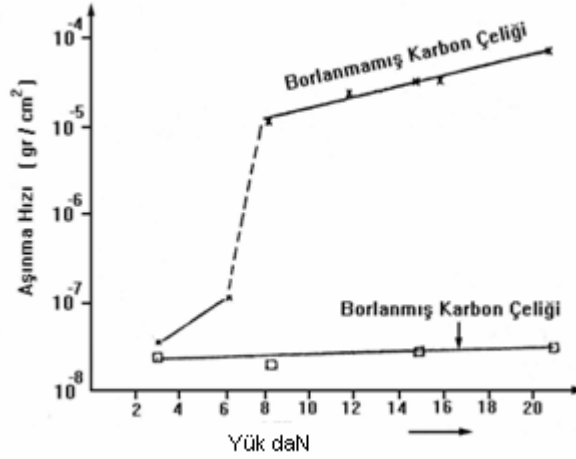
Şekil 1.20. Borlu tabaka ile semantasyonlu tabakanın sertlik dağılımları kıyaslaması (Bozkurt, 1984)

1.6.2.2. Aşınma Özellikleri

Sürtünme katsayısı ve aşınma dayanımı bir sistem özelliği olmakla birlikte, genellikle yüksek aşınma direnci için malzemenin aşındırıcıdan daha sert ve sürtünme katsayısının düşük olması istenir (Atik, 1997).

Borlama sonucu oldukça yüksek sertliğe sahip bir yüzey tabakası elde edilir. Her ne kadar sertlik ve aşınma dayanımı arasında doğrudan doğruya bir bağlantı yoksa da, borlama sonucu yüzeyin sertliğinin ve akma direncinin artması, sürtünen yüzeyler arasındaki temas yüzeyini azaltarak aşınma hızını düşürür. Borlanmış çelikler yüksek sertliklerinden dolayı, abrasiv aşınmaya karşı son derece dirençlidirler. Borür tabakasının kalınlığı işlem şartlarına bağlı olarak 20 µm -300 µm arasında değişir ve teknik ömürdeki artış birkaç kattır. Borun oksijene karşı ilgisi yüksek olduğundan borür tabakası üzerinde ince bir oksit filmi oluşmakta, bu tabaka metal-metal temasını geciktirir, katı yağlayıcı görevi yaparak sürtünme katsayısını düşürmektedir. Yüzeyin kimyasal bileşimi ve sürtünen yüzeylerin kimyasal kararlılığı eleman çifti arasındaki yüzey çekim kuvvetini azaltır ve dolayısıyla aşınma dayanımını artırır. Borlu tabakaların soğuk kaynak eğilimi düşüktür, ayrıca aşınmayı önlemek için yağlanmasına gerek yoktur. Bu durum özellikle adhesiv aşınmayı önlemede büyük yarar sağlar (Nair ve Karamış, 1997). Standart "Pin-disk" aşınma makinesinde pim

olarak borlu AISI 1116, disk olarak AISI E4340 çeliğiyle borlu veya borsuz durumların aşınma kıyaslanması şekil 1.21’de verilmiştir (Bozkurt, 1984).



Şekil 1.21. Yüze borlu ve borsuz AISI 1116 çeliğinin yüke karşı aşınma davranışı (Bozkurt, 1984)

Bir başka çalışmada, borlamanın aşınma esnasındaki sürtünme katsayılarına etkisi üzerine; borlanmamış gri dökme demir numuneler ile % 66 Boraks, % 20 Ferro-Silis ve %14 Kalsine Borik asit kullanılarak, 800 - 1000 °C sıcaklıklarda 2-11 saat süre ile borlanmış gri dökme demir numuneler kullanılarak yapılan deneylerde çizelge 1.8’de farklı sürelerde borlanmış numuneler ile borlanmamış numunelerin sürtünme katsayıları verilmiştir (Selam, 1996).

Çizelge 1.8. T=800-1000 °C sıcaklıklarda, t = 2 – 6 saatte borlanan ve borsuz numunelerin aşınma esnasındaki sürtünme katsayıları (Selam, 1996)

Normal Yük (N)	Kayma Hızı (m/sn)	Kayma Süresi (sn)	Kayma Yolu (m)	SÜRTÜNME KATSAYISI				
				Borlama Sıcaklığı: 900 °C				Borsuz
				2 saat	3 saat	4 saat	5 saat	
50	1	10	10	0.45	0.46	0.40	0.36	0.70
		30	30	0.55	0.60	0.55	0.44	0.76
		80	80	0.70	0.80	0.86	0.70	1.00
		180	180	0.85	0.85	0.73	0.72	1.30
		350	350	0.90	0.87	0.80	0.81	1.25
		650	650	1.10	1.00	1.30	0.95	1.25
		1000	1000	1.10	1.20	1.20	1.05	1.25

Sürtünme sırasında açığa çıkan ısı yüzeyin yumuşamasına ve termal kararlılığa etki eder. Borlanmış yüzeylerde ise demir-borür fazının ötektik noktası $\cong 1149^{\circ}\text{C}$ olduğundan sertliklerini 1000°C 'ye kadar koruyabilmektedirler. Borlanmış yüzeyde 1000°C 'de 1560 HV sertlik değeri elde edilmiştir. Bu nedenle borlanmış yüzeylerde; yüksek parlama sıcaklığına sebep olan yüksek kayma hızlarında dahi adhezyonun artmadığı gözlenmiştir. Borlanmış yüzeylerin iyi aşınma özellikleri; borlanmış yüzeylerde daha az yağ kullanılmasını sağlar. Daha az ya da hiç yağ kullanılmaması ekonomik açıdan ve çevrenin korunması açısından önemlidir (Nair ve Karamış, 1997).

1.6.2.3. Borlanmış Çeliklerin Korozyona Karşı Dayanıklılığı

Çevrenin kimyasal ve elektrokimyasal etkilerinden dolayı metalik malzemelerde meydana gelen hasara korozyon denir. Aslında malzemelerin rutubetin veya başka kimyasal bileşenlerin bulunduğu bir ortamla reaksiyona girmeleri korozyon olayını ve kuru hava ile reaksiyona girmelerini oksidasyon olayını meydana getirir (Uzun, 2002).

Borlama, düşük alaşımlı çeliklerin, asitlere ve sıvı çinkonun korozyonuna karşı direnci artırır. Borlamaya, özellikle ostenitik çeliklerin, hidroklorik asitlere karşı korozyon direncinde büyük bir artış sağlanır. Tuz ve sodanın sudaki çözeltilerinde takım çeliklerinin korozyon direnci borlama sonrasında artar, alkali çözeltilerinde ise azalır (Özsoy, 2001).

Demir grubu malzemelerin borlanması, bu malzemelerin bazı asit ve sıvı metallere karşı olan direncini büyük ölçüde artırmaktadır. Özellikle HCl asidi ile Al, Pb ve Zn metallerin sıvı banyolarında borlu malzemelerin korozyon dayanımı çok yüksektir (Taşçı, 1993).

Yüksek Cr' lu çeliklerde borlama ile koruyucu krom oksit yerine daha az koruyucu olan Cr-borür meydana gelmektedir. Bu bakımdan yüksek alaşımlı malzemelerin borlanmasıyla daha iyi korozyon özelliği her zaman elde edilmeyebilir (Uzun, 2002).

Yapılan bir çalışmada 3 saat süreyle borlanan 3 adet çeliğin %10 H₂SO₄ içerisinde 56°C' deki borlanmış ve borlanmamış durumdaki kıyaslamaları çizelge 1.9'de verilmiştir (Bindal, 1991).

Çizelge 1.9. 3 saat süreyle borlanmış ve borlanmamış "3" adet özel hazırlanan alaşımda 56°C sıcaklıktaki % 10 H₂SO₄ korozif ortamında ağırlık kaybı testi ile elde korozyon değerleri (Bindal, 1991)

Alaşım No*	Malzeme Durumu	Korozyon süresi (saat)	P ₀ ** (gr)	P ₁ ** (gr)	P ₀ -P ₁ ** (gr)	Ağırlık Kaybı (%)
1	Borlanmamış	1	6.2899	5.8262	0.4637	7.37
		2	5.8262	5.3866	0.9033	15.50
		3	5.3866	4.9898	1.3001	24.13
		4	4.9898	4.6001	1.6898	33.86
	Borlanmış	1	6.5143	6.4730	0.0413	0.63
		2	6.4730	6.3360	0.1783	2.75
		3	6.3360	6.0271	0.4872	7.68
		4	6.0271	5.6499	0.8644	14.34
2	Borlanmamış	1	4.2515	4.2141	0.3018	7.09
		2	3.9434	4.1438	0.5898	14.95
		3	3.6617	3.9660	0.8560	23.37
		4	3.3955	3.7308	1.1282	33.22
	Borlanmış	1	4.2343	4.2141	0.0202	0.47
		2	4.2141	4.1438	0.905	2.14
		3	4.1438	3.9660	0.2683	6.47
		4	3.9660	3.7308	0.5035	12.69
3	Borlanmamış	1	5.5441	5.2408	0.3033	5.47
		2	5.2408	4.9288	0.6153	11.74
		3	4.9288	4.6253	0.9188	18.64
		4	4.6253	4.2991	1.2450	26.91
	Borlanmış	1	5.5816	5.5635	0.0181	0.32
		2	5.5635	5.5266	0.0550	0.98
		3	5.5266	5.3551	0.2265	4.09
		4	5.3551	5.0526	0.5290	9.87
* Alaşım No		Bileşim (% Ağırlık)				
1		Fe-0.3 C - 0.02 P				
2		Fe-0.3 C-0.02 P-0.5 Mn				
3		Fe-0.3 C-0.02 P-1 Mn				

** : P₀: İlk Ağırlık P₁: Son Ağırlık P₀-P₁: Ağırlık Farkı

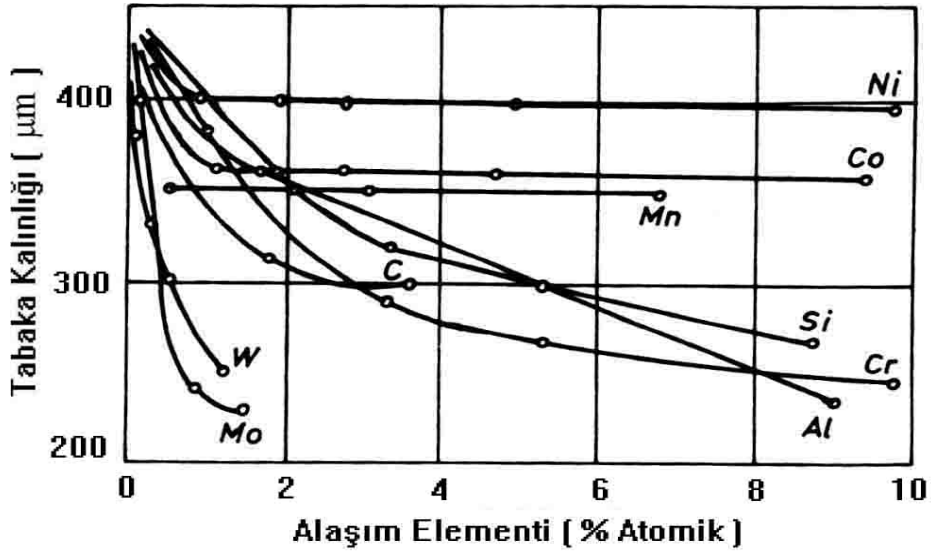
1.6.3. Borlu Tabakanın Kalınlığı

Teorik olarak tabaka kalınlığı sınırsızdır. Bu da işlem süresinin ve sıcaklığın artması sayesinde olur. İşlem sıcaklığının Fe-B denge diyagramındaki ötektik sıcaklığının (1149°C) altında olması gerekir. Bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklar lokal erimeler yaparak malzeme yüzeyinin bozulmasına neden olur. Zaman faktörünün de ekonomik yönden mantıksal bir değeri geçmemesi gerekmektedir. Kalınlığının artmasını sınırlayan bir faktörde kırılgenliktir. Borlanmış tabakanın kırılgenliği, kalınlık arttıkça artar. Dolayısıyla çelik esaslı malzemeler için 20-200 µm'lik kalınlık kullanma şartlarına, su verilip verilmeme ve borlanan malzeme cinsine göre ayarlanır. Kırılgenlik yönünden alaşımlı çeliklerde maksimum 100 µm alaşımsız çeliklerde 150-200 µm kalınlığa; hatta darbesiz aşınmaya maruz kalacak parçalarda su verme koşulu ile 400 µm'lik kalınlığa kadar çıkılabilmektedir (Yünker, 2000).

Bor yayındırma sıcaklığı, malzemenin cinsine, istenilen derinlik miktarına bağlı olarak değişmektedir. Borlama ile elde edilen kaplama derinliği, temel olarak malzemenin işleme hassasiyetine bağlıdır. Örneğin. 130 µm'lik kaplama derinlikleri, düşük alaşımlı ve karbon çelikleri üzerinde elde edilebilir. 50 µm'dan daha büyük kaplama derinlikleri genellikle paslanmaz çelikler ve takım çelikleri gibi yüksek alaşımlı malzemeler için ekonomik değildir. Borlama işlemi parçalarda boyutsal değişiklik meydana getirmez (Tezcan, 1996).

Deneysel çalışmalarda, borür tabaka kalınlığının borlama süresine bağlı olarak artması, işlemin difüzyon kontrollü olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Çeliklerin yüzeyinde oluşan borür tabaka sertliğinin, yüzeyden itibaren mesafeye bağlı olarak azalması ve süreyle birlikte artması, muhtemelen Fe₂B borürüne nazaran daha sert olan FeB borürünün derinliğinin artmasından kaynaklanmaktadır (Şen ve Bindal, 1999)

Genel olarak alaşım elementleri çelikteki bor difüzyonunu yavaşlatarak tabaka kalınlığını azaltmaktadır. %'de alaşım elementi miktarının borür tabakası kalınlığına etkisi şekil 1.22'de görülmektedir (Bozkurt, 1984)



Şekil 1.22. % Alaşım elementleri miktarının borür tabakası kalınlığına etkisi (Bozkurt, 1984)

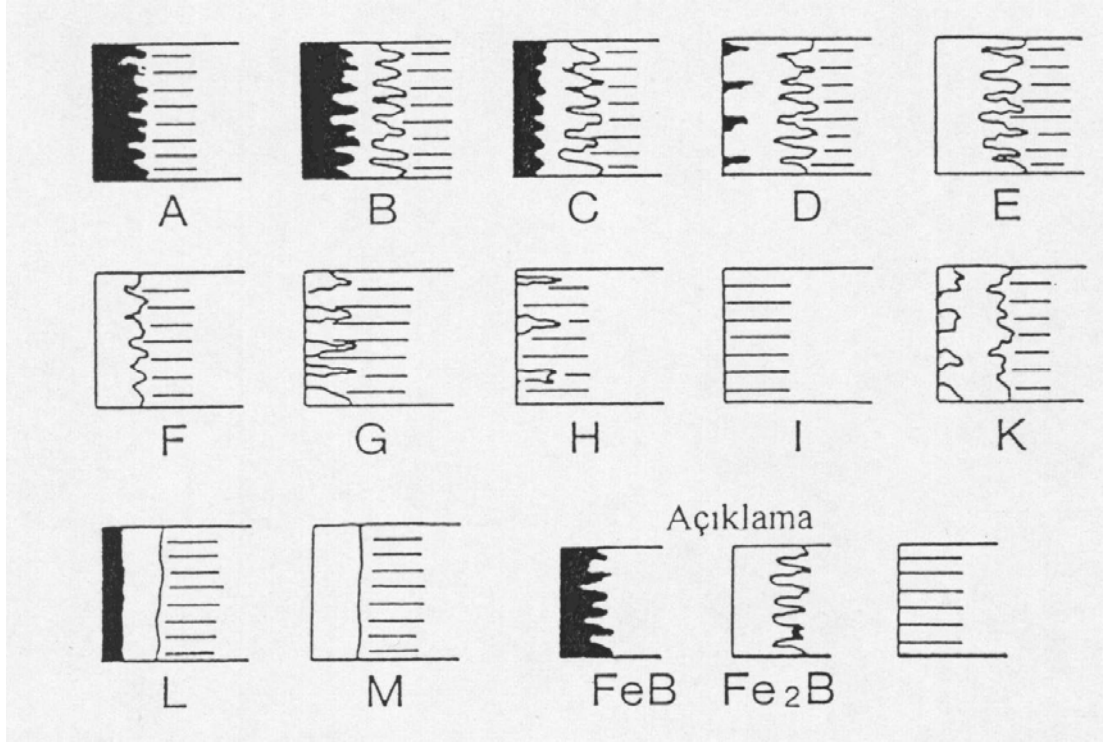
Çeliğin yüzeyinde oluşan borür tabakasının kalınlığı, borlama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Aynı şekilde sıcaklığın ve sürenin artmasıyla birlikte yüzeyde oluşan FeB borürünün derinliği de artmaktadır. Borür tabakası kalınlığı üzerine AISI 5140 çeliği ile yapılan bir deneyde; 850 °C’da 2 saat borlama sonucu yaklaşık 45 (± 5) μm , 8 saat borlama sonucu yaklaşık 91 (± 7) μm ; 950 °C ’de 2 saat borlama sonucu yaklaşık 134 (± 9) μm , 8 saat borlama sonucu yaklaşık 238 (± 15) μm borür tabaka kalınlığı elde edilmiştir (Şen ve Bindal, 1999).

1.6.4. Borür Tabakası Çeşitleri

Çeşitli borlama yöntemleri ile 14 farklı yapıda borür tabakası elde edilebilmektedir. Kunst ve Schaaber tarafından geliştirilerek düzenlenen sistematik sınıflandırma şekil 1.23’ de gösterilmiştir (Matuschka, 1980).

Borür tabakalarının yapısı; borlama yöntemine, borlanan malzemenin bileşimine, borlama ortamına ve işlem şartlarına bağlı olarak; ya düz bir formda veya parmaklı formda olabilir. Tabaka tiplerinden hareketle bazı tabaka özelliklerinin

belirlenebileceğini söylemek mümkündür. Bu özel tabaka tipleri aşağıdaki gibi karakterize edilebilir:



Şekil 1.23. Borür tabakası çeşitleri

- A: Tek fazlı tabaka, sadece FeB
 B: İki fazlı tabaka, Fe₂B ve FeB
 C: İki fazlı tabaka, B'dekinden daha ince bir FeB tab.
 D: İki fazlı tabaka, yalnız FeB dişleri izole edilmiş
 E: Tek fazlı tabaka, sadece Fe₂B, kuvvetli dişler
 F: Tek fazlı tabaka, sadece Fe₂B, daha az kuvvetli dişler
 G: Fe₂B dişli özel tabaka
 H: Fe₂B dişleri çok izole edilmiş tabaka
 I: Geçiş bölgesi
 K: Bozulmuş tabaka
 L: İki fazlı tabaka, düz yani parmaklı değil
 M: Tek fazlı tabaka, FeB ve Fe₂B, düz

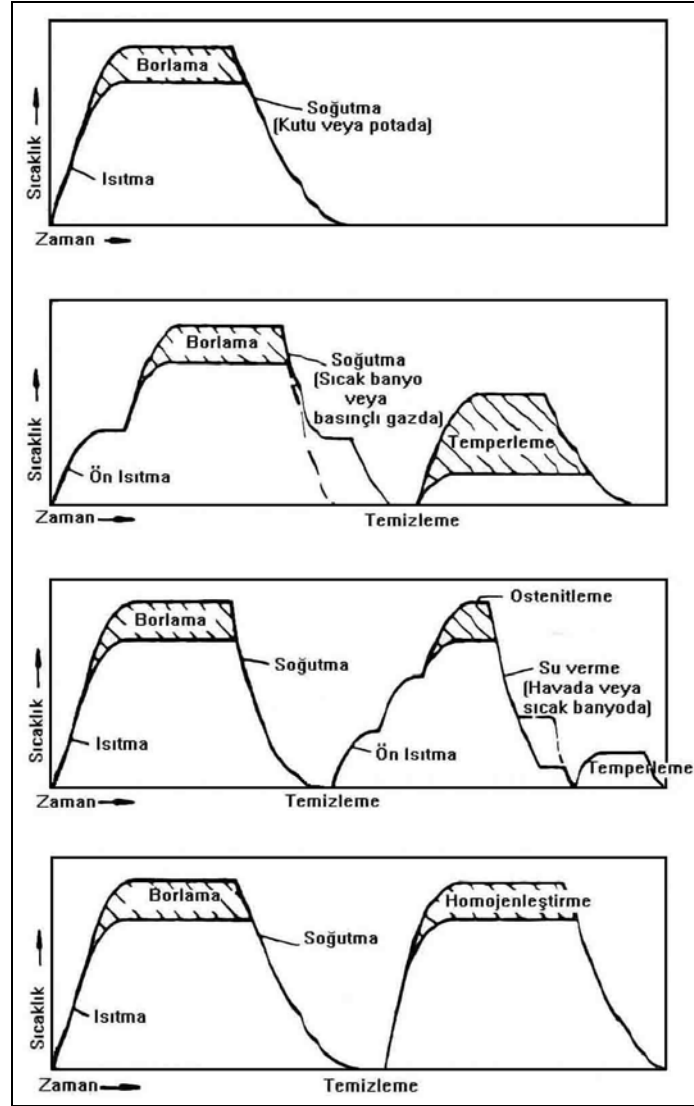
F tipi Endüstride E ve yani tek fazlı borür tabakası (Fe_2B) tercih edilmektedir. Bu tabakalar, düşük kırılma değeri sahiptir ve ana malzemeye, borlu tabakanın özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden; borlama sonrası ısıl işlemler uygulanabilir (Matuschka, 1980).

1.6.5. Borür Tabakasındaki Kalıntı Gerilmeler

Borür tabakasının mekanik özellikleri kalıntı gerilme ile ilgilidir. Isıl işlem, malzeme cinsi ve borlama şartlarına bağlı olarak, borür tabakası ve tabaka-ana metal ara yüzeyinde iç gerilmeler oluşur. Tabakanın faz yapısı (çift fazlı $Fe_2B+ FeB$, tek fazlı FeB) ve geometrisi (girintili çıkıntılı veya düz oluşu), iç gerilmelerin tabakada yapacağı hasara etki eder. İdeal tabaka için tek faz (Fe_2B) ve iç gerilmenin daha geniş bir alana yayılması için tabaka geometrisinin girintili çıkıntılı olması arzu edilir. Tabakanın Fe_2B yanında FeB de içermesinin sakıncası, iki tabakada da farklı yönlenmiş iç gerilmelerin oluşmasıdır. İç gerilmeler Fe_2B 'de basma, FeB 'de ise çekme gerilmesi şeklindedir. Fe_2B ile FeB arasında 90 kg/mm² kadar bir basma gerilmesi oluşabilmektedir. Bu tür gerilmeler tabakanın çatlamasına ve FeB tabakasının dökülerek malzeme yüzeyinin bozulmasına neden olur (Yünker, 2000).

1.6.6. Borlama İşlemi Sonrası Uygulanabilen Isıl İşlemler

Borlama işleminin en önemli üstünlüklerinden biri de, borlamadan sonra matriks malzemesine istenilen ısıl işlemin yapılabilmesidir. Matriks, malzemesinin mekanik özelliklerini iyileştirmek için yapılacak ısıl işlemlerin koruyucu gaz, vakum veya nötr tuz banyolarında yapılması önerilmektedir. Bu ısıl işlemler, eğer katı borlama yapılmışsa borlama kutusuyla birlikte, borlama işleminin ardından hızlı soğutma olarak yapılabilir. Ayrıca ılık banyo ve basınçlı gazda hızlı soğutma, ardından temperleme, ostenitleme veya matriks malzemesini homojenleştirme şekil 1.24' deki gibi işlemler yapılabilir (Atik, 2001).



Şekil 1.24. Borlamadan sonra yapılabilen ısı işleme örnekleri (Atik, 2001)

Yüksek basınçlara maruz kalacak borlanmış parçalar, ısı işleme tabi tutulmadan kullanılamaz. Borlu tabakanın altı (ana yapı) yumuşaksa, lokal basınçlar yüzünden tabaka çökmesi ve dökülmesi olabilir. Bütün difüzyon yöntemlerinde olduğu gibi borür tabakasının oluşumunda da bir hacim artışı olmaktadır. Boyut değişimi, tabaka kalınlığı ve kullanılan malzemeye bağlıdır. Boyut artışı genel olarak tabaka kalınlığının %20'si kadardır. Alaşımli çeliklerde ise, bu değer %80'e kadar çıkabilmektedir. Borür tabakasının (F_2B) genleşme katsayısı, çelik grubu malzemelerin ortalama genleşme katsayılarına yakın olduğundan, bu tür malzemelere borür tabakasına hasar vermeden alışlagelmiş metotlarla ısı işleme uygulanabilmektedir. Ostenitleme, $1150^{\circ}C$ 'nin üstüne çıkmama koşuluyla, nötr

atmosferde yapılmalıdır (Bozkurt, 1984). Borlu tabakalar, borlama işleminden sonra yapılan ısıl işlemlerden, sertliğini muhafaza eder. Sementasyon ve borlama işlemine tabi tutulmuş 1010 çeliğinin, sonradan farklı sıcaklıklarda ısıl işleme tabi tutulduktan sonraki sertlik mukayesesi çizelge 1.10'da verilmiştir (Tezcan, 1996).

Çizelge 1.10. Sementasyon ve borlama ile elde edilen sertliklere ısıl işlem sıcaklığının etkisi (Tezcan, 1996)

Isıl İşlem Sıcaklığı °C	1010 Çeliği	
	Sementasyonlu Tabaka Sertliği, HV	Borlu tabaka Sertliği, HV
200	680	1680
400	380	1500
600	330	1600
800	220	1575
1000	200	1565
% Değişim (Sertlik)	%70	%6

Numuneler söz konusu sıcaklıklara kontrollü atmosferde ısıtılmış ve 30 dakika bu sıcaklıklarda bekledikten sonra havada soğutulmuştur. Sertlikler oda sıcaklığında 30 gr'lık yüklerle Vickers olarak alınmıştır. Çizelge 1.9'dan anlaşıldığı gibi yüzey işleminden sonraki ısıl işlem, sementasyon tabakasını yumuşatırken, borlu tabaka sertliğini 900 °C'lara kadar muhafaza etmektedir (Bozkurt, 1984).

1.6.7. Borlanabilen Malzemeler

Borlama ile iş parçalarının ömürleri önemli derecede arttırılabilir. Daha kalın ve matris malzeme ile iyi bağlantılı borür tabakalarının, yüksek alaşımlılardan daha çok, düşük alaşımlı ve alaşımsız çeliklerde elde edildiği düşünülürse; alaşımlı çelikler, alaşımsız çeliklerle değiştirilerek iş parçası maliyetleri düşürülebilir. Keza talaşlı imalat vb. yöntemlerle üretilen parçalar toz metal tekniği ile üretilenlerle değiştirilebilir (Özsoy, 1991).

Borlama işlemi yapılabilen bazı ferro malzemeler ve kullanım alanları çizelge

1.11’de verilmiştir.

Çizelge 1.11. Borlanabilen bazı ferro malzemeler ve kullanım alanları (Çalık, 2004)

Malzeme Numarası	DIN	AISI	Kullanım Alanları
1.0037	St 37		Kovanlar, manifoldlar, nakil boruları, darbe plakaları,yatak levhaları, civatalar, çarklar, diş kılavuzları
1.0401	C15 (Ck15)	C1020	Dişli kutuları, pompa şaftları
1.0503	C 45	C1043	Pimler, taşlama diskleri, civatalar, bilyalar
1.0052	St50-1		Manivelalar, hamlaçlar
1.0727	45 S 20 (K)	C1138	Bilezikler, miller, zımbalar
1.1191	Ck 45	C1042	Helezon gövdeler, hamlaçlar, civatalar, haddeleme silindirleri
1.1730	C 45 W 3		Döküm levhalar
1.1740	C 60 W 3	W1	Bağlama kelepçeleri, kılavuz çubuklar
1.2080	X 210 Cr 12	D3	Pres kalıpları, zımbalar, matrisler (dişi kalıplar), burçlar, pleytler, mandrenler
1.2210	115 CrV 3	C2	Sementasyonlu pimler ve saplamalar, kalıp zımbaları
1.2311	40 CrMnMo 7		Döküm levhalar, bükme çeneleri
1.2343	X 38 CrMoV 51	H11	Delme takımları, Pistonlar, baskı silindirleri, ağızlıklar (zivanalar), ingot (kütük) kalıpları
1.2344	X 40 CrMoV 51	H13	
1.2365	X 32 CrMoV 33	H10	Enjeksiyon zımbaları, dövme kalıpları
1.2379	X155 Cr V Mo 121	D2	Değişik formlardaki haddeler
1.2419	105 WCr 6		Gravür merdaneleri
1.2436	X 210 CrW 12	D6	Doğrultma merdaneleri
1.2550	60 WCrV 7	S1	Mandrenler, matrisler, çekme ve hadde kalıpları, zımbalar, kalıp bilezikleri
1.2601	X 165 CrMoV 12	D2	Çekme takımları, soğuk haddeleme silindirleri
1.2714	56 NiCrMoV 7	L6	Civatalar, dövme kalıpları
1.2767	X 45 Ni Cr Mo 4	O2	Baskı aletleri, bükme kalıpları çeneleri, pres kalıpları, çekme kalıpları, delici zımbalar
1.2842	90 MnCrV 8		
1.3505 (2067)	100 Cr 6		Bilyalarda (rulmalar), kılavuzlar
1.3947	X 50 CrMnNiV 22 9		Mıknatıslanmayan aletler (avadanlıklar)
1.4006	X 10 Cr 13	410	Valf parçaları
1.4034	X 40 Cr 13	420	
1.4300	X 12 CrNi 18 8	302	Dişli gövdeleri ve kovanları
1.4401	X 5 CrNiMo 18 10	316	Eleklerin delikli parçaları
1.4410	G-X 10 CrNiMo 18 9		Erkek kılavuzlar
1.4541	X 10 CrNiMo 8	321	Bağlama bilezikleri, besleme memeleri, dişli gövdeleri
1.6580	30 CrNiMo 8		Haddeleme silindirleri
1.6587	17 CrNiMo 6	4317	Konik dişli çarklar (konik mahruti dişliler)
1.7131	16 Mn Cr 5	5115	Helisel dişliler, kızak yatakları
1.7147	20 Mn Cr 5		Kızak kolonları
1.7225	42 CrMo 4	4140	Pres matrisleri, ekstrüder sonsuz vidaları, helisel kovanlar ve silindirleri, pistonlar, geri hareket mandalları
1.7228	50 CrMo 4	4150	
1.7707	30 CrMoV 9		Sonsuz dişliler, silindirler, enjektör meme plakları
	Gri pik döküm Örneğin: GG 20		Tekstil makinesi parçaları, bilezikler, kalıplar

Borlama işlemi gerek toz ve gerekse diğer metotlar ile bütün ferro alaşımlara uygulanabilmektedir. Refrakter metaller (W, Ta, Mo, Zr, Hf, Nb), karbürler (özellikle Co ile bağlı WC) ve Ni esaslı alaşımlara başarı ile uygulanarak özel yapıda borlu tabakalar elde edilebilmektedir. Ti ve Ti esaslı alaşımlarda bor yayılımı ile aşınmaya dayanıklı TiB₂ tabakası elde edilebilmektedir(Bozkurt, 1984).

Yeni geliştirilen metotlar ile Cu ve alaşımlarına da tatbik edilebilmektedir. Fakat düşük ergime sıcaklığına sahip Zn ve Al'a uygulanamamaktadır(Yünker,2000). Borlama termokimyasal bir ısı işlem olup çeliklere, dökme demirlere ve hatta demir olmayan metallere de uygulanabilir (Selçuk,1994).

Demir esaslı tüm malzemeler, örneğin yapı çelikleri, sement çelikleri, ıslah çelikleri ve takım çelikleri, aynı zamanda çelik döküm, armco demir, gri döküm, sfero döküm, sinter demir ve sinter çelik borlama için uygun malzemelerdir. Demir esaslı malzemelerin yanı sıra diğer elementler ve alaşımlara da, mesela sert metal, Wolfram, molibden, Titan vb. de borlanabilmektedir. Ayrıca karbonlu çelikler, hafif ve düşük alaşımlı çelikler, yüksek alaşımlı çelikler de borlanmaya elverişli malzemelerdir (Selçuk,1994).

Sıcak ve soğuk şekillendirme de kullanılan makine ve takım parçalarının, dövme kalıpları parçalarının yapıldığı çelikler, dökümler ve demir dışı malzemeler ömür artırmak için borlanırlar. Ayrıca cam endüstrisi, otomobil, uçak, gemi ve silah sanayinde kullanılan aynı cins malzemeler (çelik, döküm, demir dışı metaller ve sert metaller) borlanmaktadır (Çetin,2003).

Borlama, işleminin uygulanabileceği malzemelerden, sadece yüzey sertliğinin gerekli olduğu elemanlarda pahalı ve işlenmesi zor yüksek alaşımlı çelikler yerine, düşük alaşımlı çelikler kullanılması avantajıyla ilgi çeken bir işlemdir. Alüminyum alaşımlı çeliklerde ve ağırlıkça % 0,5`ten daha fazla Si içeren çeliklerde borlama işlemi uygun sonuçlar vermemektedir. Yüksek hız çelikleri de borlama için uygun olmayan çeliklerdir (Atik, 2001).

2. KAYNAK BİLGİSİ

Bayça ve Şahin (2004), Borlama işlemi üzerine bir araştırma yapmıştır. Borlama işlemi yapılan malzemelerde yüksek sertlik ve çok yüksek aşınma direncine sahip olması ve bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda koruyabilmektedir. Bu gibi nedenlerden dolayı gelişen endüstride önem kazanan bir yüzey sertleştirme işlemi olduğunu ayrıca borlanmış yüzeylerde sürtünme katsayısının da önemli miktarda azaldığını ve makine parçalarındaki aşınma kayıplarının azaltılması çalışmalarında borlama işleminin alternatif bir yöntem olduğunu belirtmektedir.

Çalık ve Özsoy (2004), SAE 1030 ve SAE 1050 çeliklerine ısııl çevrimli uygulamışlardır. Elde edilen sonuçlar, borlama işlemlerinde kısmen tabaka kalınlığında artışlar olmuştur. Bununla birlikte tabakaların altındaki geçiş bölgesi kalınlıkları ısııl çevrimli borlama işlemlerinde azalmıştır. ısııl çevrimli borlama işlemlerinde, normal borlama işlemine göre borür tabakası ve geçiş bölgesi sertlikleri azalmıştır. Normal borlama işlemlerinde geçiş bölgesi optik mikroskopta belirgin olarak ayırt edilebilirken, ısııl çevrimli borlama işleminde geçiş bölgesi çok net olarak ayırt edilememektedir. ısııl çevrimli borlamada tanelerin incelendiğini ve karbon oranı artışının tabaka kalınlığını azalttığı tespit etmişlerdir.

Er ve Şahin (2004), AISI 1030 ve 1050 çeliğine bor kaplama işlemi uygulamış bu çeliklerin abrazif aşınmasını deneysel araştırmışlar ve de sonucunda yüzey sertliklerinin ve aşınma dayanımlarının işlemsiz hallerine göre 8-10 kat arttığını, sade karbonlu çelik malzemelerde artan karbon miktarının elde edilen borür tabaka kalınlıklarını belirgin bir şekilde azalttığı buna karşılık yüzey sertlik değerlerinde ise az da olsa artışa neden olduğunu tespit etmişlerdir.

Çalık ve Arkadaşları (2004), çalışmalarında Ç1035 çeliğinin borlama özelliklerini incelemişlerdir. Bor verici kaynak olarak yurt dışından ithal edilen Ekabor, Tigranit gibi ticari bor tozları yerine ülke bor kaynaklarının da borlama ısııl işlemi amacı ile rahatlıkla kullanılabileceği belirlemişlerdir.

Çalık (2004), Bu çalışmada makine ve metalürji sanayinde bor ve bileşiklerinin kullanımını incelemiştir. Bor ve bileşiklerinin kullanımının yaygınlaştırılmasını ve bunun için yapılması gerekli olanları sıralayarak, aşınma, sürtünme, korozyon gibi konularda sanayicilere yardımcı olmak için, borlama ısıl işleminin yaygınlaştırılması gerektiğini belirtmiştir. Borlama ısıl işlemi ile elde edilen çok yüksek sertlik, aşınma direnci, korozyon dayanımı ve düşük sürtünme katsayısı gibi sonuçların laboratuvar ölçeğinden gerçek iş parçası ölçeğinde uygulamaların gerçekleştirilmesini belirtmektedir.

Çetin (2003), hadfield çeliğine borlama işlemi yapmış borlu tabakayı ve aşınma davranışını incelemiştir. Yapmış olduğu aşınma deneyleri sonucu borlama yapılmamış olan numunede aşınma miktarının daha fazla olduğunu tespit etmiştir. 1000 °C'de iki saat borlanmış numuneler ile havada soğutulan numunelerde suda soğutulanlara göre daha az aşınma olduğu belirtmektedir. 1050 °C'de borlanarak havada soğutulan numunelerde borlama süresinin aşınma miktarı üzerine etkisinin olmadığı, 2 saat borlama ile 6 saat borlamanın aşınma miktarının yaklaşık aynı olduğunu tespit etmiştir. 1000 °C ile 1100 °C ' de 2 saat yapılan borlamalar sonucunda aşınma miktarının yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

Karakan ve arkadaşları (2002), plazma borlama işlemi konusunda çalışma yapmış, bu yöntemle yüzeyde tek fazlı Fe₂B tabakası elde edilebileceğini, daha düşük sıcaklık ve işlem süresi gerektiğini, tabaka kalınlığı ve homojenliğinin kontrol edilebileceğini belirtmektedir.

Çalık ve Özsoy (2002), bu çalışmada Ç1010 çeliğine iki türlü borlama işlemi uygulanmıştır. Birinci grup deneylerde Ç1010 malzemeye 900 °C sabit sıcaklıkta 205 dakika süreyle normal borlama işlemine tabi tutulmuştur. İkinci grup numuneler ise yine aynı şartlarda 900 °C sıcaklıkta 60 dakika bekleme ve daha sonra potayı fırın dışına alarak 5 dakika süre ile havada soğumaya terk edildikten sonra potalar tekrar 900 °C sıcaklıktaki fırına alınarak borlama işlemine devam edilmiş ve bu çevrim üç defa tekrarlanmıştır. Numunelerin mikroyapıları, mikrosertlikleri ve tabaka kalınlıkları incelenmiştir. Normal borlamada tabaka kalınlıklarının termal

çevrimli borlamadan daha yüksek çıktığını; termal çevrimli borlamada geçiş bölgesine rastlanılmadığını; termal çevrimli borlamada belirgin olarak tanelerin küçüldüğü ve homojen dağıldığını tespit etmişler ve normal borlama da tabaka kalınlığının 7-8 katı kadar bir geçiş bölgesinin oluştuğunu tespit etmişlerdir.

Şen (1998), yapmış olduğu doktora çalışmasında termokimyasal borlama işlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 çeliklerinin yüzey performanslarının geliştirilmesi konusunu ele almıştır. Borlama işlemi, değişik süre ve sıcaklıklarda boraks, borik asit ve ferro silisyum esaslı sıvı banyoda gerçekleşmiştir. Borür tabaka kalınlıkları, borlama süresi ve sıcaklığına bağlı olarak bir artış sergilediğini ve çeliklerin bünyesinde bulunan alaşım elementinin etkili olduğunu, Aşınma deneylerinde borlanmış malzemelerdeki aşınma miktarı borlanmamış malzemelere kıyasla yedi kat daha az olduğu ve aşınma sırasında ölçülen sürtünme katsayısı değerlerinin 0.40-0.66 arasında değiştiğini borlama sonrasında kısa süreli tavlama ısıtma işlemleri ile bu değerlerin 0.096-0.16 'ya düşebildiğini tespit etmiştir.

Yılmaz (1997), yapmış olduğu çalışmasında az alaşımlı olan Ç 1020 çeliğini katı ortamda 800 °C, 850 °C, 900 °C, 950 °C, 1000 °C ve 1050 °C sıcaklıklarda borlamıştır. Tabaka kalınlığının borlama süresi ve sıcaklığına bağlı olduğunu ve en ideal borlamanın 950 °C de 2 saat, 950 °C de 3 saat ve 950 °C de 4 saat olduğunu, 950 °C üzerinde yapılan borlama işleminde borlu tabakanın bozulduğunu tespit etmiştir.

Şen (1997), küresel grafitli dökme demir (KGDD) malzemelerin termo-kimyasal olarak borlanabileceği üzerine çalışmalar yapmış ve başarıyla uygulanabileceğini ancak, KGDD malzemelerin kimyasal kompozisyonu, kaplama kalitesi üzerinde oldukça etkili olduğunu, örneğin silisyum içeren çeliklerin borlanmasının sakıncalı olduğunu belirtmektedir. KGDD malzemeler yüksek seviyede silisyum içermektedir. Yapılan araştırma, KGDD malzemelerin bor kaplanmasında çelikler için önerilenlerden daha çok parametreler olduğu alaşımsız veya düşük seviyede alaşım elementi içeren KGDD malzemelerin yüzeyinde oluşturulan borür tabakası, kaplama-matris ara yüzeyinde karbon esaslı bir ara bölge oluşturmakta ve bu tabakanın zayıf

olması sebebiyle, kaplama tabakasında kısmi ayrılmalar olduğunu belirtmiştir. Ancak alaşım elementi olarak %1 bakır ilavesi karbon birikimini engellemekte ve tek fazlı Fe₂B fazının oluşmasını sağlamakta olduğunu belirtmiştir. Oluşan kaplama tabakası homojen olarak malzemenin bütün yüzeyinde elde edildiğini ayrıca bor kaplanmış KGDD malzemenin kaplama tabakasında, grafit kürelerinin dağılımıyla kompozit karakterli bir yapı sergilendiğini belirtmiş. Bu sayede, sürtünme katsayısı çeliklere göre oldukça düşük seviyelere çekilebildiğini ve KGDD' lere önerilen bileşim ve işlem parametrelerine bağlı olarak, borlama endüstriyel boyutlarda uygulanabilirliğini belirtmiştir.

Selam (1996), gri dökme demirin yüzeyini borlanmış ve aşınma dayanımını incelemiştir. Borlu tabakanın aşınma dayanımını yüksek olduğunu tespit etmiştir. Kayma yolunun artmasıyla sürtünme katsayısı numunelerdeki bor tabakası kalınlığına ters orantılı olarak arttığını, artan yük ve hız değerlerinde borsuz numunelerin aşınma miktarlarının borlu numunelere göre daha fazla olduğunu ifade etmiştir.

Tezcan (1996), borlama işlemi ve endüstriyel uygulamaları konusunda, bir çalışma yapmış ve bu çalışmada, borlama işlemi üzerine yapılmış çalışmalardan bir derleme yapılmıştır. Değişik borlama metotlarını ele almış ve endüstride çeşitli makine parçalarında uygulama örneklerinden bahsetmektedir.

Selçuk (1994), sementasyon ile sertleştirilerek kam mili üretiminde kullanılan AISI 5115 çeliğinin yerine yüzeyi borlanarak sertleştirilen AISI 1020 çeliğinin kullanılabilirliği üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Aşınma deneyleri kuru sürtünme şartlarında yapılmış ve deneyler için plaka disk deney düzeneği seçilmiştir. Deney sonunda aşınmış ve aşınmamış sertleştirilmiş yüzey partikülleri x-ışını analiz metoduyla analiz edilmiş ve beklenen faz gözlenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları birbirleri ile mukayese edilmiş, buna göre borlama ile sertleştirilen sementemeye göre daha etkili olduğu ve borlanarak yüzeyi sertleştirilen AISI 1020 çeliğinin düşük yüklerde sementemeye edilmiş AISI 5115 çeliğinin yerine kam mili üretiminde ve diğer kullanım alanlarında kullanılabileceği sonucunu varmıştır.

Taşçı (1993), borlanmış çeliklerin aşınma ve korozyon dayanımları ile ilgili bir araştırma yapmıştır. Borlanan demir grubu malzemelerin bazı asitlere karşı dayanıklılık kazandığını, kopma ve akma mukavemetlerinin %10-20, yorulma dayanımının %25 ve korozyonlu yorulma ömrünün % 200 artırmasına karşılık plastisite özelliklerini azaldığını tespit etmiştir.

Bindal (1991), yapılan çalışmada değişik sürelerde borlanan, üç ticari karbon çeliği (AISI 1020, 1040 ve 1050) ile özel olarak hazırlanmış altı adet az alaşımlı çelik malzemelerde, bileşim ve borlama süresi ile; borür tabakasının kalınlığı, faz analizi, sertlik, kırılma tokluğu ve korozyon davranışın değişimi araştırılmıştır. Borlama süresiyle borür tabakası kalınlığı azalan bir hızla arttığını bunun yanında sertlik ve kırılma tokluğu gibi mekanik parametreler borlama süresinden çok, oluşan borür bileşiğinin cinsi ile ilişkili olduğunu, alaşım elementi ilavesi ise tabaka kalınlığını çarpıcı bir şekilde etkilemediğini fakat borür tabakasının sıklığını (kolonların birbirleriyle yakınlığını) artırmıştır. Sertlik ve kırılma tokluğu, mangan ilavesi ile krom ilavesine göre nispi bir artış gösterdiğini belirtmiştir. 56 °C' de hacimce % 10'luk H₂SO₄ ortamında korozyon davranışının da alaşım elementi ilavesiyle relatif olarak iyileştiği ve Mn'in bu hususta daha etkili olduğunu tespit etmiştir.

Özsoy (1991), çeliğin borlanmasında borür tabakası, geçiş zonu ve ana matriksin özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda çalışmıştır. Termal çevrimli borlamayla elde edilen borür tabaka kalınlıklarının, sabit sıcaklıkta borlamayla elde edilene göre daha ince veya eşit olduğu, sabit sıcaklıkta ve termal çevrimli şartlarda borlanan numunelerin de mikro sertlikleri arasında belirgin bir fark olmadığı sonucuna varmıştır.

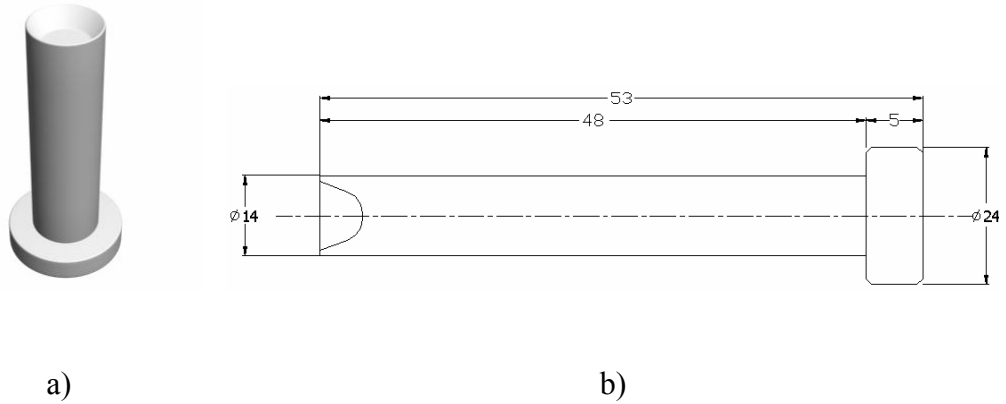
Bozkurt (1984), bor yayınıyla çeliklerde yüzey sertleştirme konusunda çalışmıştır. Sıvı ortamda borlama işlemini gerçekleştirmiş ve borlama maddesi olarak da "boraks"ı seçmiştir. Borlu tabakanın özelliklerini araştırmıştır. Alaşım elementlerinin tabaka özelliklerine etkisi konusunu incelemiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada içten yanmalı motor parçalarında meydana gelen hasarların en önemlisi olan aşınmanın en az seviyeye indirilmesi ve aşınma sonucu meydana gelen mekanik, maddi ve zaman kaybının minimum düzeyde tutulması amaçlanmıştır. Aşınma sonucu meydana gelen malzeme kayıpları ve bu parçaların onarımı ya da değişimi için harcanan para düşünüldüğünde aşınmanın ülke ekonomilerine verdiği zarar kolaylıkla anlaşılabilir. Bu bakımdan içten yanmalı motorlarda kullanılan parçalardan hasara uğrayan ve motor performansına etki eden, supap mekanizmasında bulunan ve aşınan parçalardan biri olan supap iticileri borla yüzeyi sertleştirilmiş ve ömrünün uzatılması düşünülmüştür. Bunun için Ç 1050 çeliği ve çil dökümden yapılan supap iticilerinin yüzeyi borlama ile sertleştirilmiş ve oluşan borür tabakalarının özellikleri sertliği, mikro yapısı, korozyon dayanımı ve aşınma özellikleri incelenmiştir.

3.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada borlamaya tabi tutulacak malzeme Asil Çelik Firmasından temin edilen Ç 1050 çeliği torna tezgâhında orijinal supap itici (Tofaş 131 Motoru) boyutlarına getirilmiş ve Oygarsan A.Ş.'den temin edilen çil döküm supap iticisi ise hazır kullanılmıştır. Supap itici ölçüleri şekil 3.1' de görülmektedir.



Şekil 3.1. Deney numuneleri a) şekli b) boyutları

Malzemenin element analizi Eskişehir Şeker Fabrikaları Makine atölyelerinde bulunan spektrometre analiz cihazında yapılmıştır. Alaşım oranları % ağırlık olarak çizelge 3.1 ve 3.2’de verilmiştir.

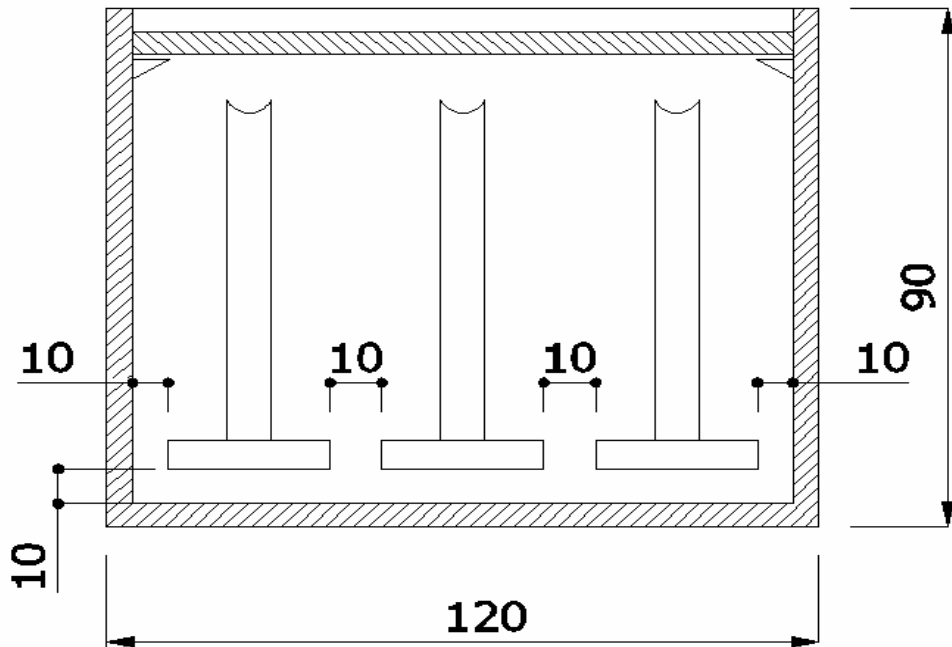
Çizelge 3.1. Deneilerde kullanılan Ç 1050 iticinin kimyasal bileşimi (Ağırlık %)

Mlz	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Sn	Fe
Ç 1050	0,486	0,238	0,611	0,016	0,0041	0,178	0,123	0,0008	0,0041	0,203	0,014	98,14

Çizelge 3.2. Deneilerde kullanılan Çil Döküm iticinin kimyasal bileşimi (Ağırlık %)

Mlz	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	Cu	Fe
Çil Döküm İtici	3.25	2.03	1.04	0.063	0.012	0.759	0,102	0,592	0,031	0,122	92.00

Borlamanın yapılacağı potalar şekilde 3.2’de gösterilen ve 4 mm et kalınlığına sahip 120x90x80 mm boyutlarında paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiştir.



Şekil 3.2. Borlama işleminde kullanılan potanın ve supap iticilerinin pota içerisindeki yerleşiminin şematik görünüşü

3.2. Borlama İşlemi

Borlama işlemi Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi laboratuvarında bulunan ve şekil 3.3'te gösterilen 1200 °C sıcaklık kontrollü ve ± 5 °C hassasiyetli Nüve marka elektrik dirençli ve mikro işlemci kontrollü programlanabilir kül fırını kullanılmış ve katı borlama yöntemi ile kaplama işlemi yapılmıştır. Bor kaynağı olarak % 90 ticari Ekabor 2 tozu ile %10 SiC tozu iyi bir şekilde karıştırılmıştır. Karışım daha önceden hazırlanmış olan 110x90x80 mm boyutlarındaki yüksek ısıya dayanıklı paslanmaz çelik pota içerisine yaklaşık 1 cm kalınlığında toz halindeki karışım serildi. Daha sonra numuneler toz karışım içerisine en az 1cm aralıklarla yerleştirilmiştir. Kutunun kenarları tarafındaki numuneler arasında da yine en az 1 cm mesafe kalacak şekilde aralık bırakılarak kutunun tamamı bor verici karışımla dolduruldu. Üst kısmı da yine 1 cm'den az olmayacak şekilde toz karışım ile dolduruldu (Şekil 3.2'de görüldüğü gibi). Daha sonra çelik potanın kapağı kapatıldı ve kapakla kutu arasından sızıntı olmaması için etrafı şamot harcı ile tamamen kapatılarak, kül fırını içerisine yerleştirildi. Fırın 900 °C ve 5 saat süreye programlandıktan sonra çalıştırıldı. Süre tamamlandıktan sonra fırın kapağı açılarak soğumaya bırakılmış. Soğuma tamamlandıktan sonra numuneler pota içerisinden çıkarılarak üzerindeki karışım tozları temizlenerek borlama işlemi tamamlanmıştır



Şekil 3.3. Deneyde kullanılan kül fırını

3.3. Metalografik İnceleme

Borlama işlemine tabi tutulan numunelerden metalografik incelemeler için hazırlanmış olan numuneler Isparta Endüstri Meslek Lisesi Döküm Bölümü laboratuvarlarında, 14 mm çapında ve 12 mm yüksekliğinde olacak biçimde şekil 3.4'te görülen hassas kesme cihazında hazırlanmışlardır.



Şekil 3.4. Numunelerin kesilmesinde kullanılan hassas kesme cihazı

Silindirik kesite sahip olan yüzey kısımları görünecek şekilde bakalite alınmış ve şekil 3.5'te görülen Buehler-Metaserv parlatma cihazında 200 dev/dak hızla sırasıyla 180, 220, 320, 400, 600, 800, 1000, 1200 numaralı zımparalardan ve 6 μ ve 1 μ ' luk elmas parlatıcılarla çuhada parlatılmıştır. Parlatılan numuneler % 4 nital çözeltisiyle 10 saniye süreyle dağlanmıştır.

Metalografik olarak hazırlanan numuneler, şekil 3.6' da Olympus marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Aynı mikroskopta mikroyapı fotoğrafları çekilmiştir. Yüzeye yakın FeB fazı ile bunun altında yer alan Fe₂B fazı dağlama ile elde edilen renk farkından dolayı ayırt edilebilmektedir. Bunun yanında kaplama tabakasının SEM fotoğrafları da çekilmiştir.



Şekil 3.5. Numunelerin parlatılmasında kullanılan parlatma cihazı



Şekil 3.6. Metalografik incelemede kullanılan optik mikroskop

3.4. Sertlik Ölçümü

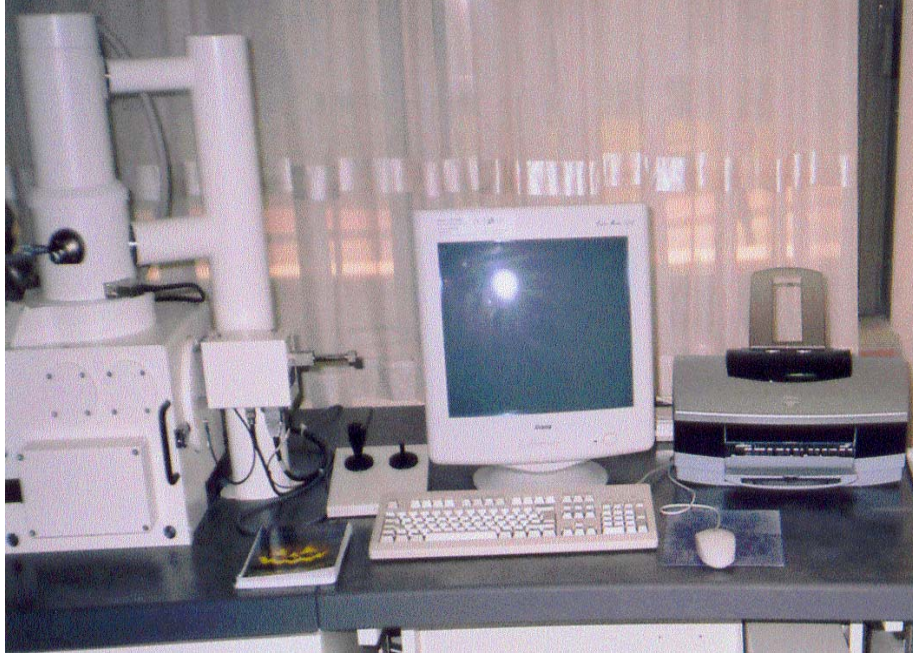
Kaplama kalınlıklarının ve matrisin sertlik dağılımları şekil 3.7’de görülen S.D.Ü Teknik Eğitim Fakültesi laboratuvarlarında bulunan Metkon marka mikro-vickers sertlik ucu kullanılarak 100 gr. yük ve 15 sn süreyle gerçekleştirilmiştir. Ölçme işlemi yüzeyden itibaren matrise kadar belirli aralıklarla yapılmış ve az beş değer aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur.



Şekil 3.7. Sertlik ölçme cihaz

3.5. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Borür tabaka yapısının morfolojisinin incelenmesinde, LEO 1430-VP ZEİS W Filoment marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. İki farklı malzemenin mikroyapı görüntüleri elde edilmiştir. Aynı şekilde yüzeyden itibaren matrise kadar borür tabakasının belirli bölgelerinden çizgisel elementer analiz için EDX Energy Dispersive X Ray Spectroscopy Flash Dedektör kullanılarak nokta analizi yapılmıştır. Şekil 3.8'de deneylerde kullanılan SEM cihazının görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.8. Taramalı Elektron Mikroskobu

3.6. Aşınma Deneyi

Aşınma deneyleri Tofaş 131 marka 4 silindirli 4 zamanlı benzinli motorda ve Pin-On Disk cihazında iki şekilde yapılmıştır. Birincisi olan motor üzerindeki deneyde aşınmayı daha kısa sürede tespit edebilmek için kuru sürtünmeye maruz bırakılabilmesi için motor çalışmadan kam mili bir elektrik motoru ve triger kayışı yardımıyla 1400 dev/dak ile 4 dakikalık periyotlar halinde döndürülmüştür. Bu devir ise motorun çalışma devrine yakın bir devirdir. Burada kayma hızı ise, kam milinin çevresi (C_k) 105 mm kam mili devri (n) 1400 dev/dak olduğuna göre formüle (3.1) edilirse;

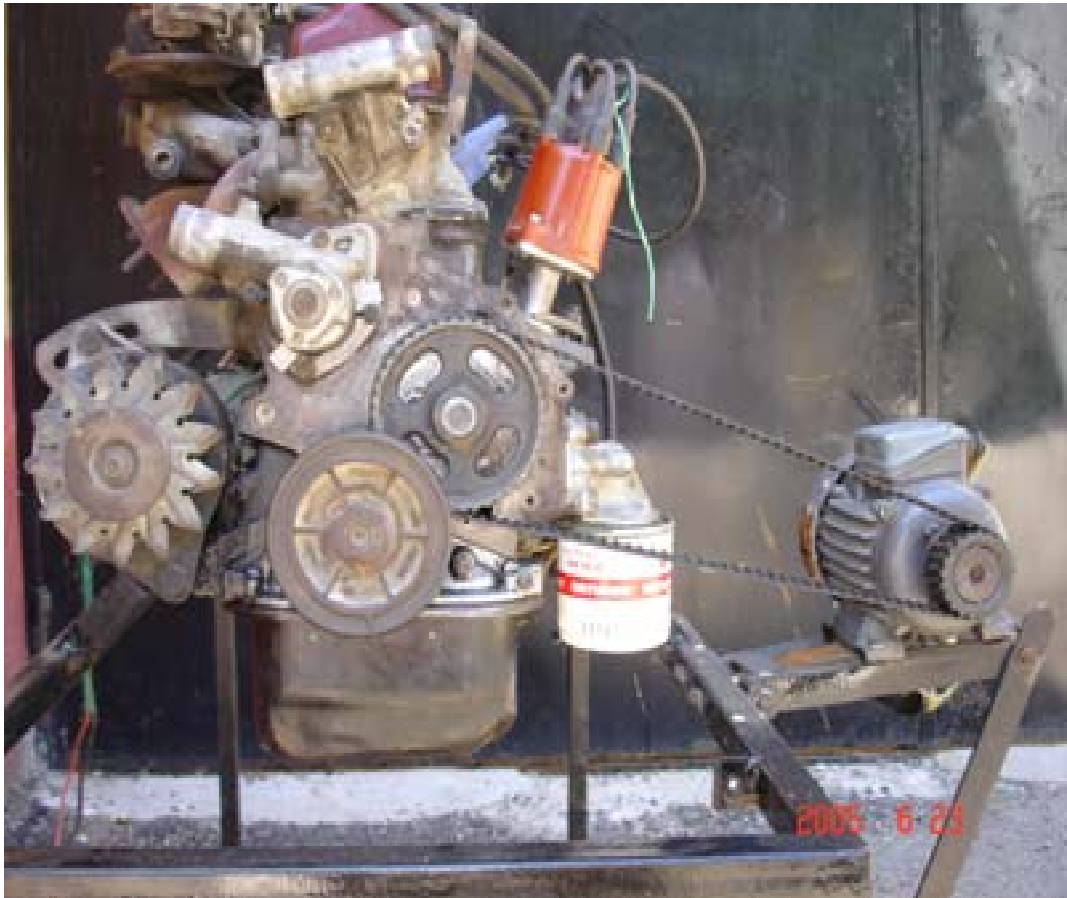
$$V_k = \frac{C_k \cdot n}{60 \cdot 1000} \quad m/s \quad (3.1)$$

Yukarıdaki formülde (3.1) değerler yerine konulduğunda bulunan ortalama kayma hızı 2,45 m/s olarak bulunur. Her bir periyot süresi (t) boyunca kayma mesafesi (S_k) ise ;

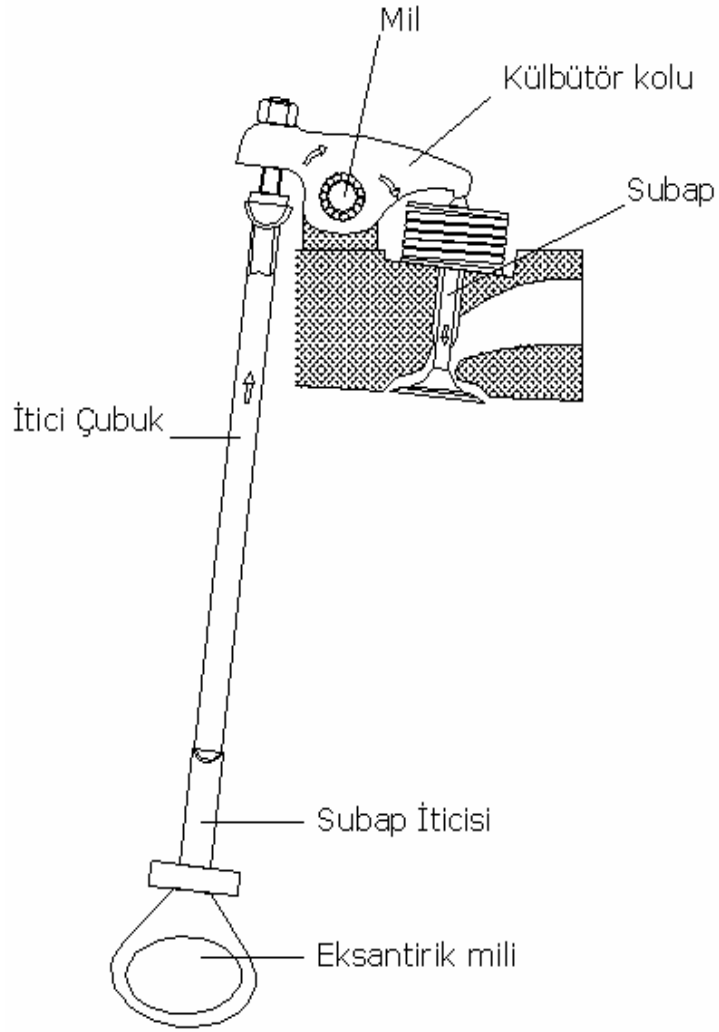
$$S_k = V_k \cdot t \quad (3.2)$$

(3.2) formülünde değerler yerine konursa toplam kayma mesafesi (aşınma yolu) 588 m olarak bulunur.

Deney düzeneği Şekil 3.9'da ve aşınmaya maruz kalan supap iticisinin Şematik resmi ise Şekil 3.10'da görölmektedir. Yeni kam mili kullanılmış ve kam mili ile temas halinde olan supap iticilerinden borla kaplı olanlar ve işlem yapılmadan kullanılan iticiler aynı sürelerde ve aynı Şartlarda denenmiŐler her periyot sonunda motordan sökölüp etil alkolle temizlendikten sonra meydana gelen aşınmalar (ağırlık kayıpları) Şekil 3.13'de görölen S.D.Ü. Pomza Araştırma Merkezinde bulunan Sartorius Basic marka 0.1 mg hassasiyetindeki terazi ile tartılarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. Aşınma deney düzeneği



Şekil 3.10. Aşınmaya maruz kalan supap iticisinin şematik gösterimi

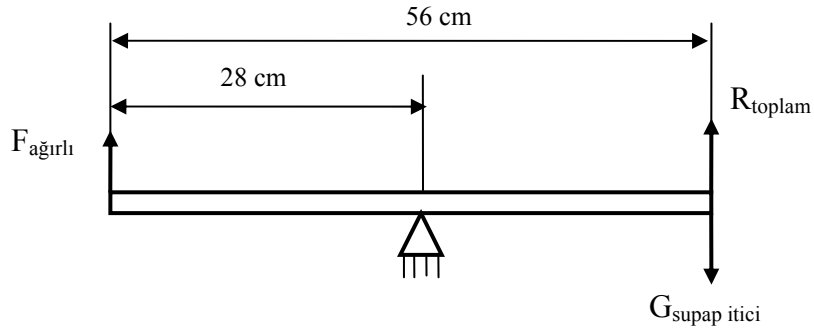
Borlanan supap iticilerinin aşınma özelliklerin tespitinde kullanılan diğer yöntem ise şekil 3. 12’de şematik olarak gösterilen ve S.D.Ü. Keçiborlu Meslek Yüksekokulu’nda ASTM G99 standartlarına uygun olarak tasarlanan Pin-On Disk cihazında yapılan aşınma deneyidir. Aşındırıcı olarak disk üzerine takılan 1000 numaralı zımpara kullanılmıştır. Her periyotta ve numune değişiminde zımparanın yenisi kullanılarak işlem yapılmıştır. Burada kayma hızının hesaplanması aşağıdaki formülle bulunabilir. Bu cihazda kullanılan 0.35 kW gücünde, üç fazlı 1350 dev/dak dönen asenkron motor bulunmaktadır. Supap iticisinin disk üzerindeki sürtünme çapı

ise 80 mm dir. Bu verilere göre kayma hızı (V_k), sürtünme çapı (d_s), motor devri (n), ise;

$$V_k = \frac{2\pi d_s n}{60} \text{ mm/s} \quad (3.3)$$

Yukarıdaki formülde (3.3) değerler yerine konulduğunda bulunan ortalama kayma hızı 5,66 m/s olarak bulunur. Her bir periyot süresi (t) boyunca kayma mesafesi (S_k) ise, (3.2) formülünde yerine konulduğunda toplam kayma mesafesi (aşınma yolu) 340 m olarak bulunur.

Supap iticileri Pin-On Disk cihazına takıldığı anda supap iticileri üzerine etkiyen yük cihaza asılan ağırlıklarla sağlanmıştır. Aşağıdaki denge denklemine göre hesap edilebilir. $G_{\text{supap itici}}$, supap iticisinin ağırlığı 70 g, $F_{\text{ağırlık}}$, cihaza asılan ağırlık 2000 g, R_{toplam} supap iticilerine uygulanan toplam kuvvettir,

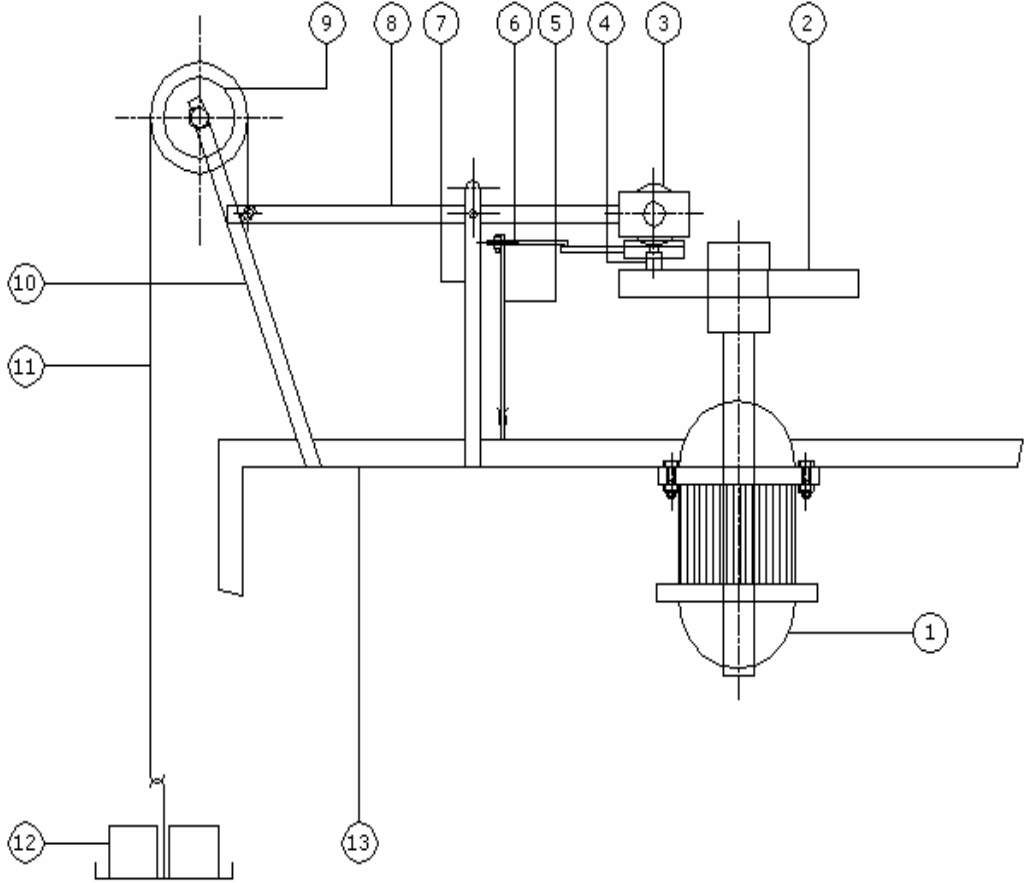


Şekil 3.11. Supap iticisi üzerine uygulanan kuvvet

$$\Sigma M = 0 \quad (3.4)$$

$$R_t 28 - F_a 28 - G_s 28 = 0$$

ve (3.4) formülünde değerler yerine konulursa supap iticisi üzerine uygulanan toplam kuvvet 20.3 N olarak bulunur.



- | | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Elektrik Motoru | 2. Disk | 3. Rulman | 4. Pim (Aşınma numunesi) |
| 5. Ölçü Aleti | 6. Çengel | 7. Yükleme kolu tutacağı | 8. Yükleme kolu |
| 9. Makara | 10. Destek kolu | 11. Tel | |
| 12. Ağırlık (Yük) | 13. Tezgah Gövdesi | | |

Şekil 3.12. Pin - On Disk Aşınma deney düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 3.13. Aşınma tespitinde kullanılan hassas terazi

3.7. Korozyon Deneyleri

Korozyon deneyleri borlanmış numunelerle borlanmamış numuneler hacim olarak %10 H₂SO₄ asit çözeltisi içerisinde 2 saat oda sıcaklığında, 2 saat 60 °C’de ve 2 saat 80 °C’de bekletilerek ve her yeni deneyde asit çözeltisi yenilenerek yapılmıştır. Her periyot sonucunda numuneler etil alkol ile temizlenerek hassas elektronik terazide tartılarak aşınma kayıpları ağırlık olarak tespit edilmiştir.

4. BULGULAR

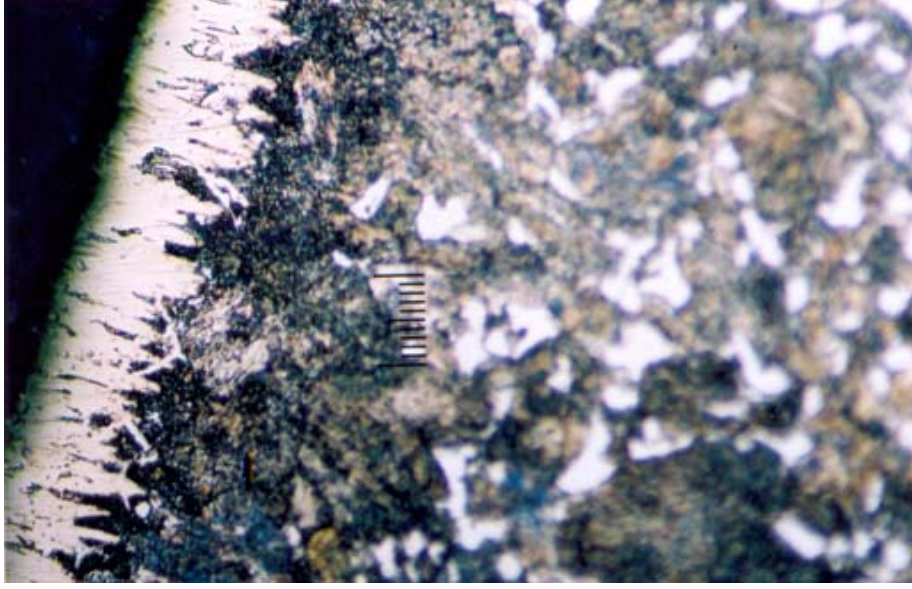
4.1. Mikro Yapı İnceleme Sonuçları

Borlama işlemi yapılmış Ç 1050 çeliği ve çil döküm yöntemiyle üretilmiş supap itici numunelerinin mikro yapı incelemeleri sonucunda borür tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapının optik mikroskop ve SEM fotoğrafları çekilerek borür tabakası, geçiş bölgesi ve ana yapı tespit edilmiştir.

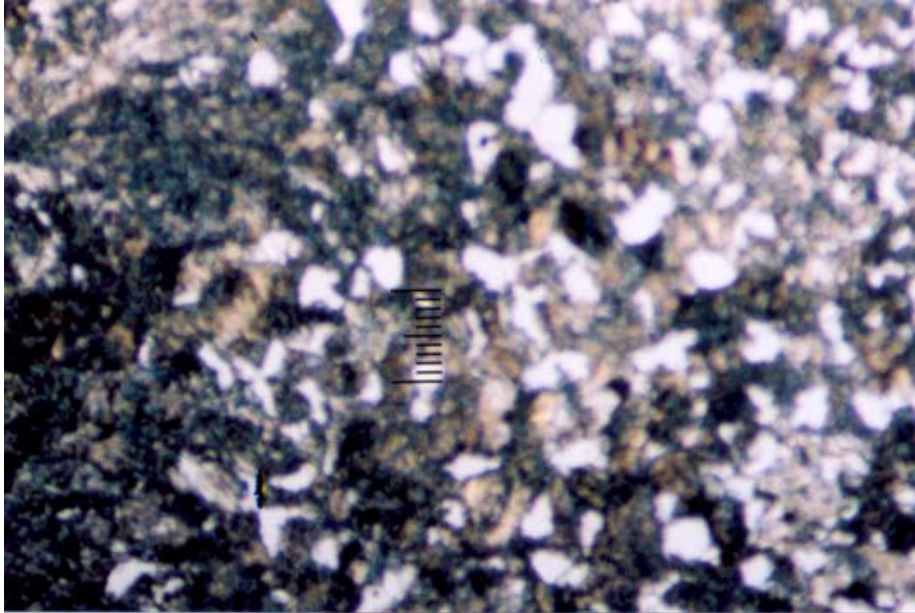
Ç 1050 çeliğinden yapılmış olan supap iticisinin yüzeyinde dişli yapıda yaklaşık 115 µm kalınlığında borür tabakası olduğu, geçiş bölgesinde tane irileşmesinin meydana geldiği şekil 4.1 ve şekil 4.3’de belirlenmiştir.

Hazır alınan çil dökümden yapılmış numunede ise borür tabakasının ana matriste katman (tabakalı) bir şekilde olduğu ve geçiş bölgesinde normal borlamada görülen tane irileşmesi yerine tane incelmesinin meydana geldiği şekil 4.2 ve şekil 4.4’de görülmektedir. Bu durum çil dökümün yapısında bulunan C, Si ve Mn elementlerinin tane inceltme etkisi yaptığı söylenebilir.

Her iki numunenin ana yapısında ise borlama işlemi normalizasyon ısıl işlemi yaptığının tane dağılımından da görüldüğü belirlenmiştir. Hadde ile üretilmiş olan Ç 1050 numunede hadde doğrultusunda yönlendirilmiş taneleri homojen taneler haline getirdiği, hadde yönünde oluşan taneleri normalize ederek numune dışından merkeze doğru taneleri incelttiği ve bunun sebebinin borlama ısıl işlem sıcaklığından (sıcaklık gradyentinden) kaynaklandığı belirlendi.

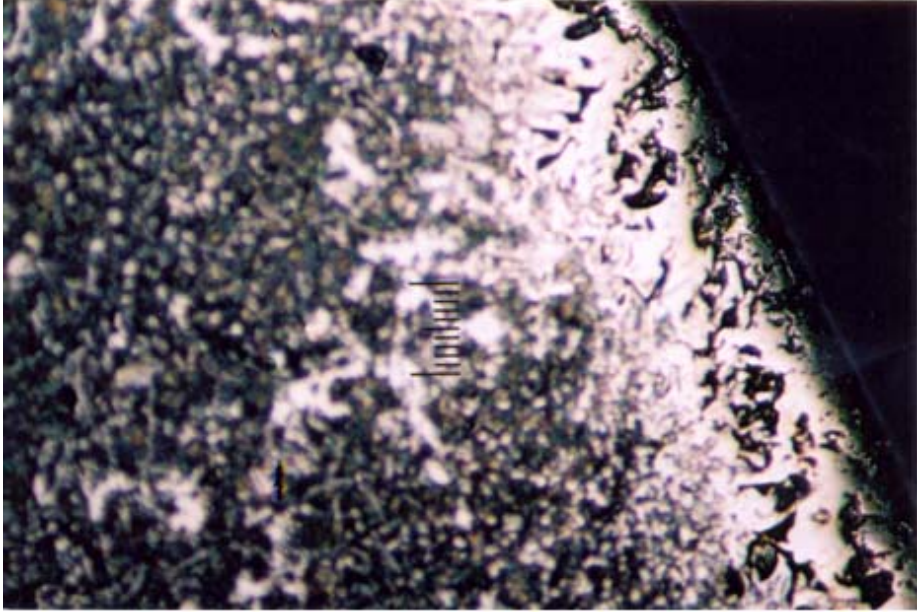


(a)

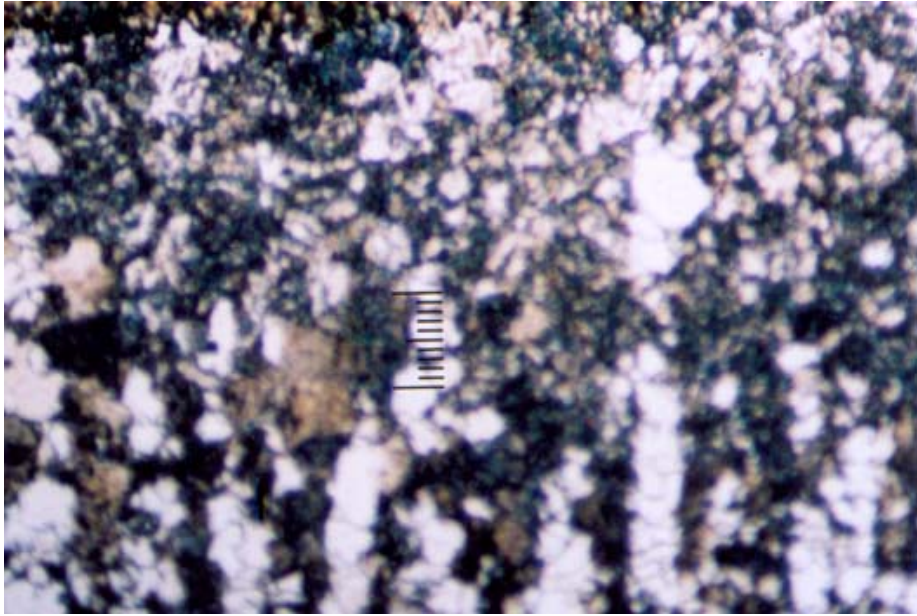


(b)

Şekil 4.1. Ç 1050 Supap iticisi mikroyapı fotoğrafı a) Borür tabakası b) Ana yapı

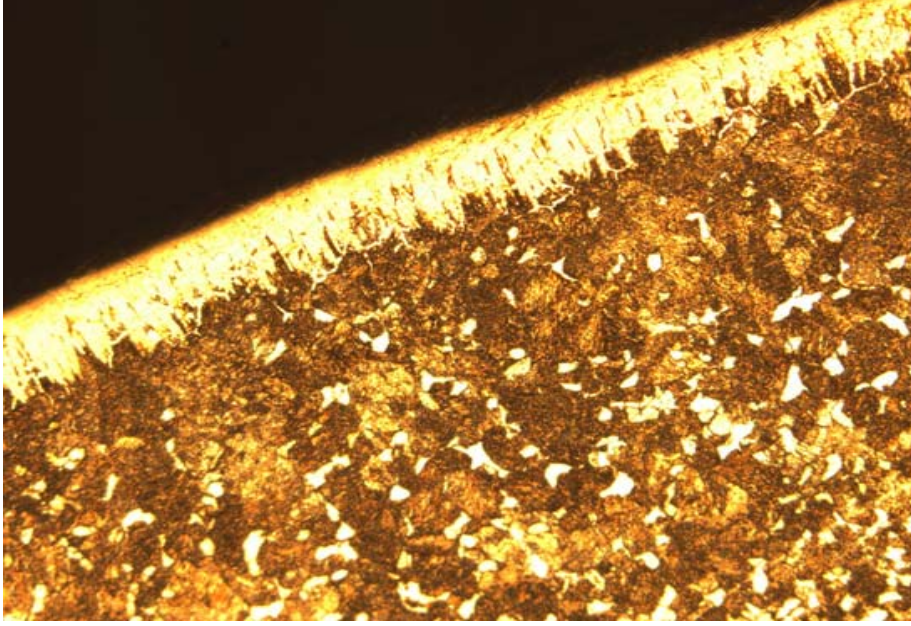


(a)

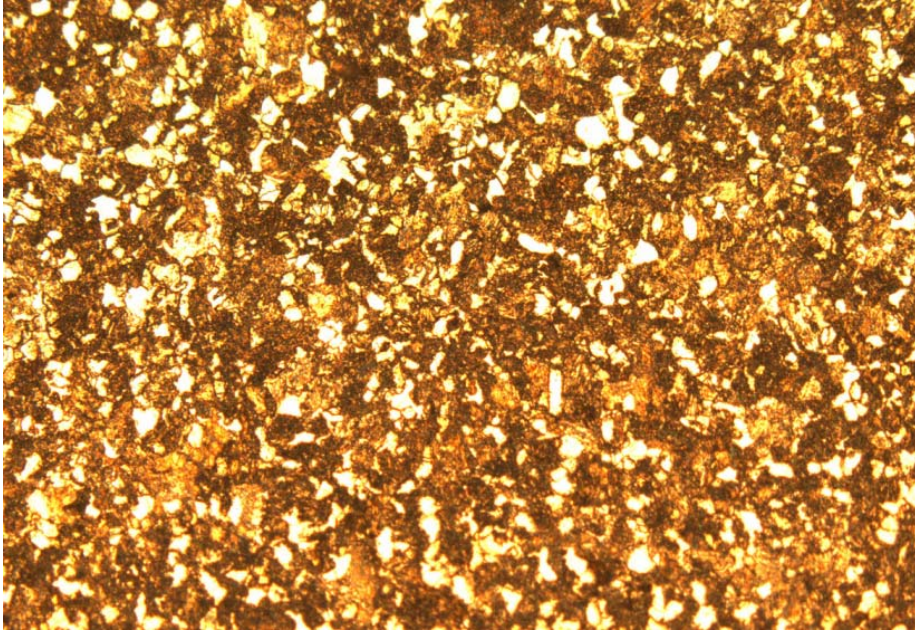


(b)

Şekil 4.2. Çil döküm supap iticisi mikroyapı fotoğrafı a) Borür tabakası b) Ana yapı

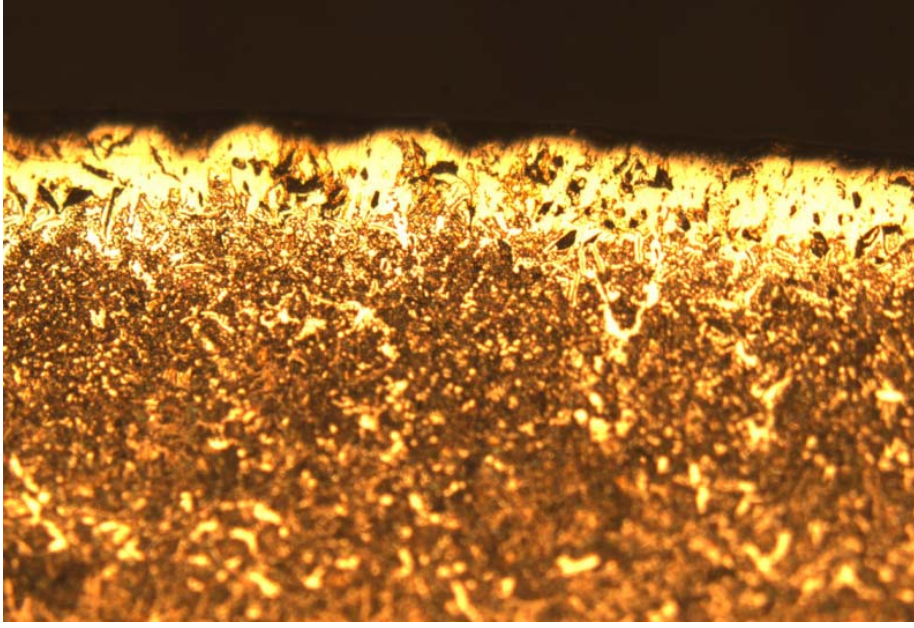


(a)

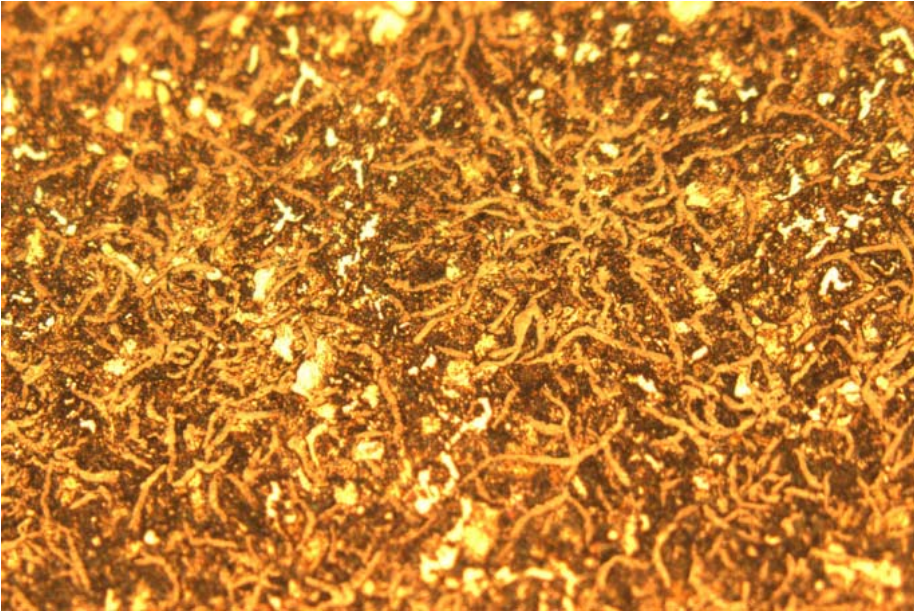


(b)

Şekil 4.3. Ç 1050 Supap iticisi mikroyapı fotoğrafı a) Borür tabakası b) Ana yapı

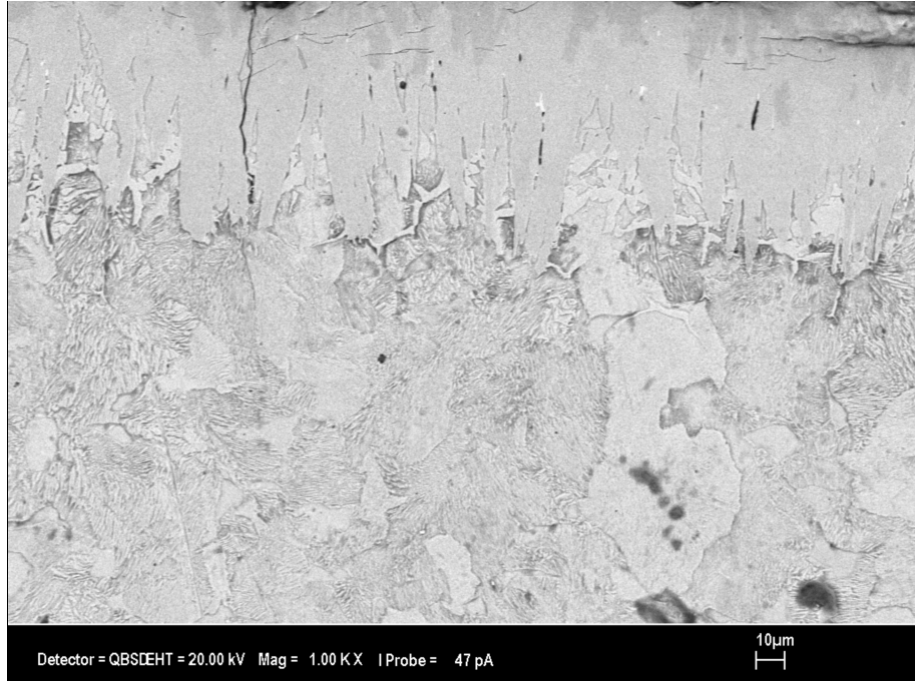
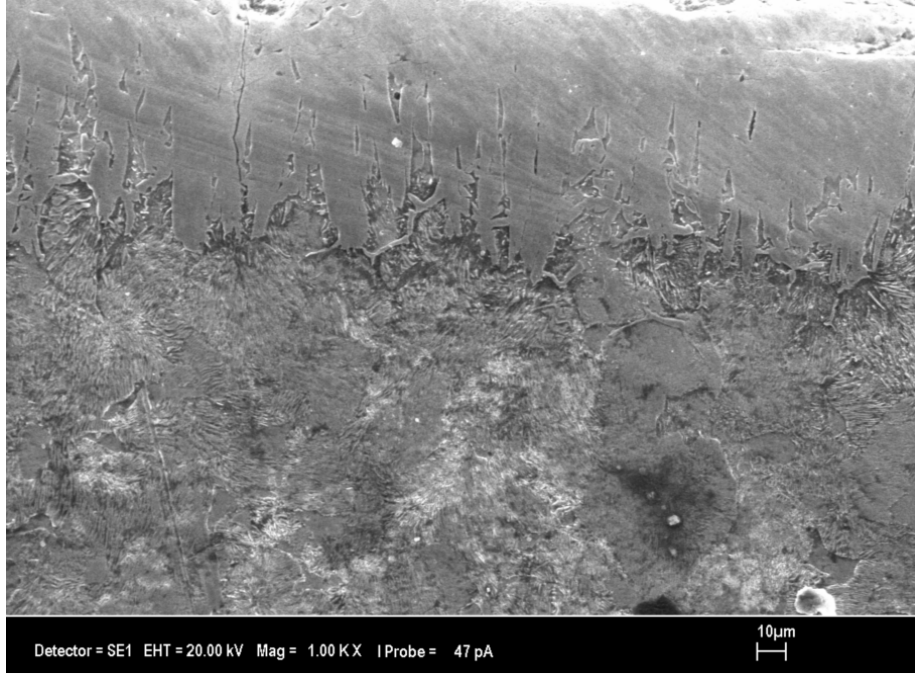


(a)

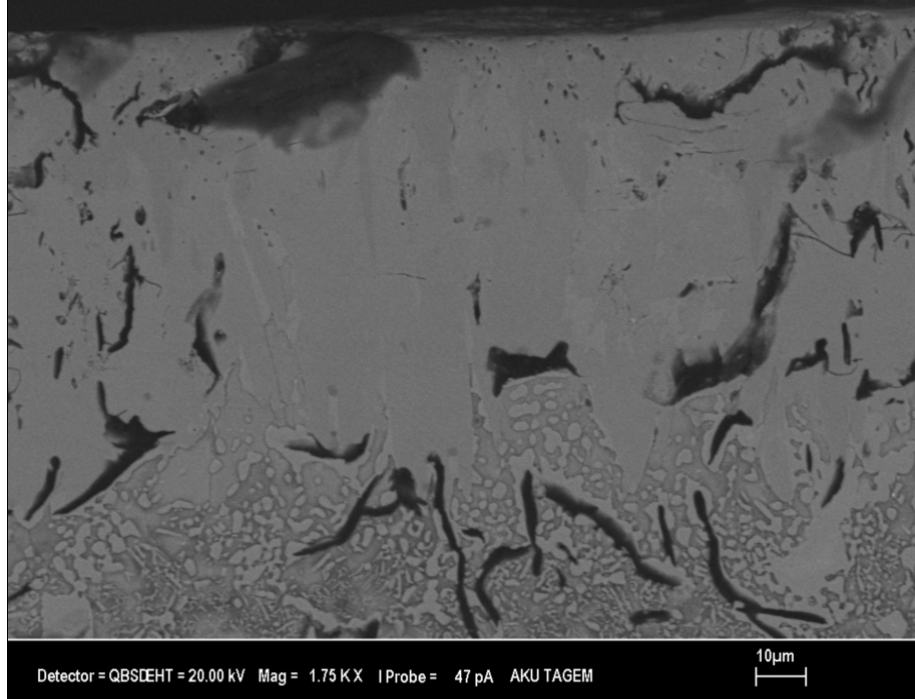
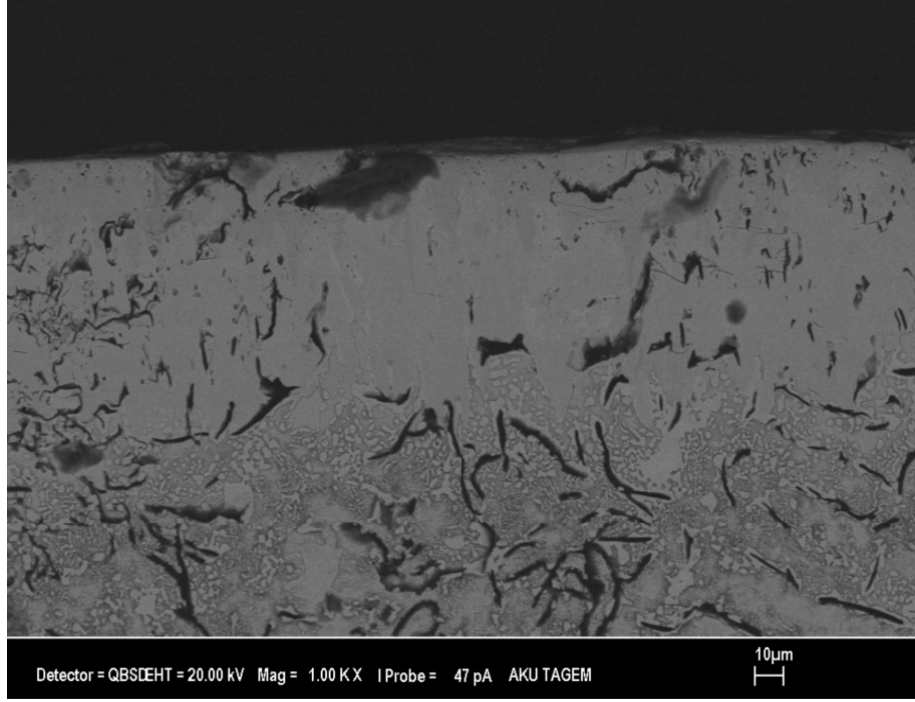


(b)

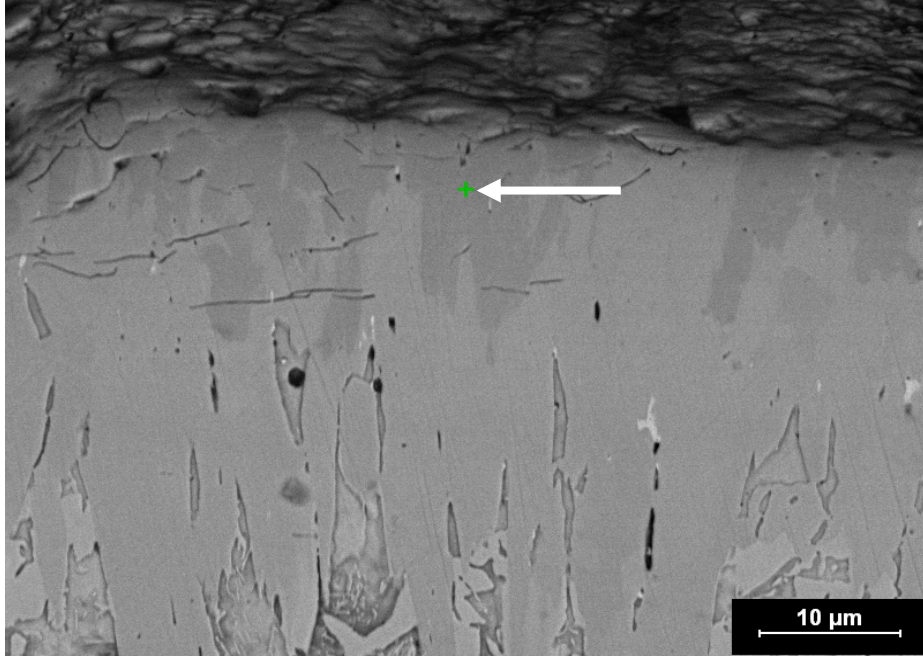
Şekil 4.4. Çil döküm supap iticisi mikroyapı fotoğrafı a) Borür tabakası b) Ana yapı



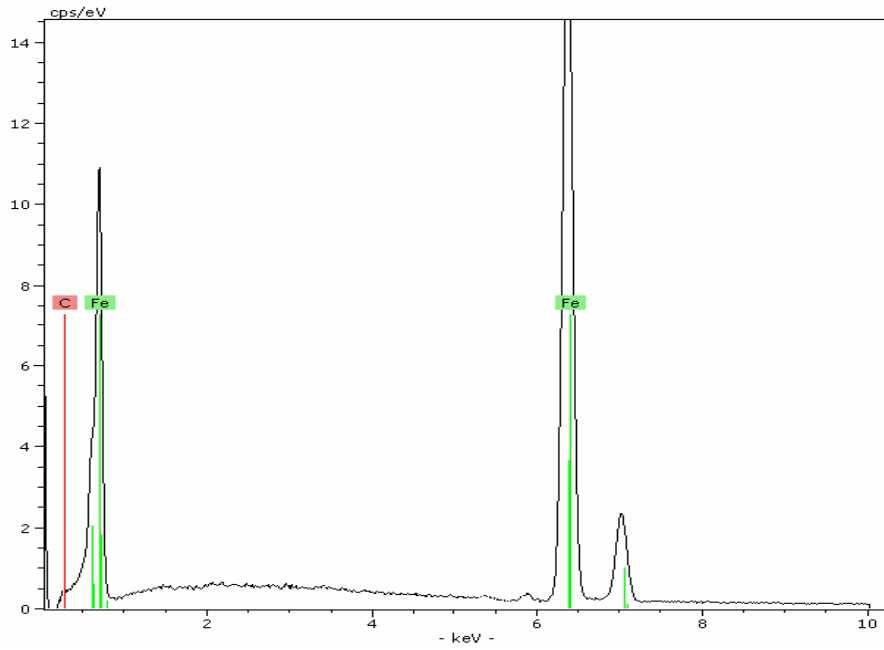
Şekil 4.5. Ç 1050 Supap iticisi borür tabakası ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafı



Şekil 4.6. Çil döküm supap iticinin borür tabakası ve geçiş bölgesinin SEM fotoğrafı

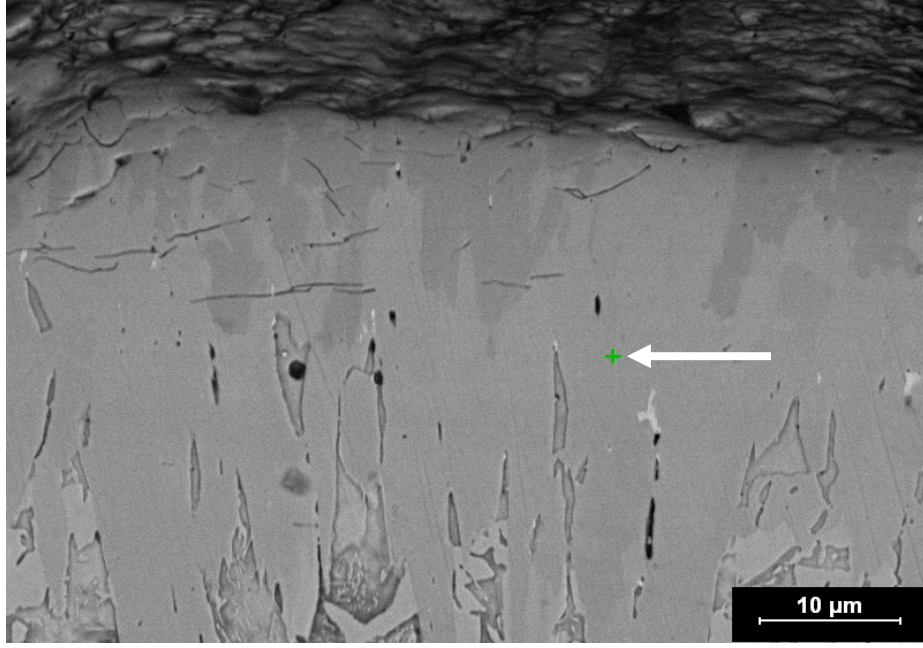


(a)

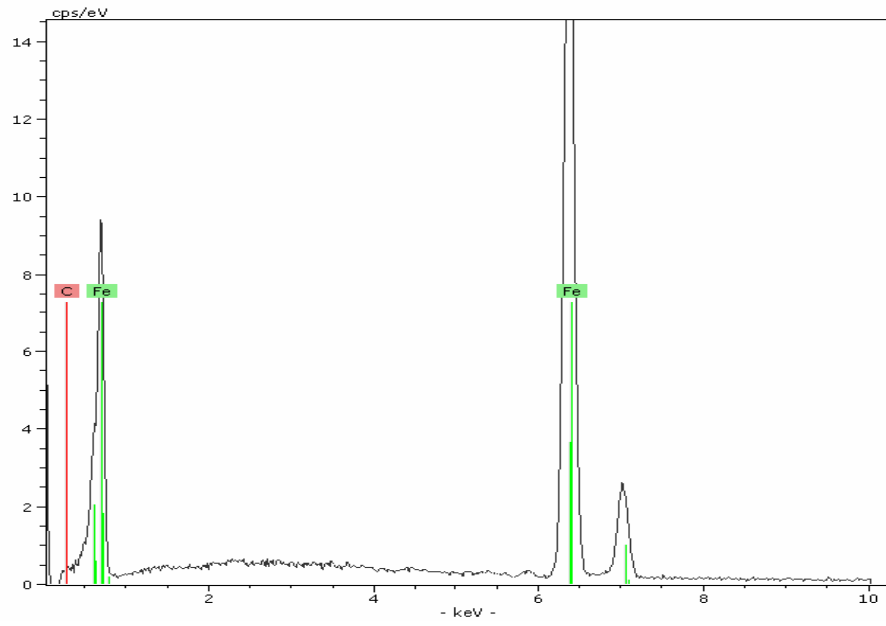


(b)

Şekil 4.7. Ç 1050 Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü (b) Çizgisel analiz diyağramı

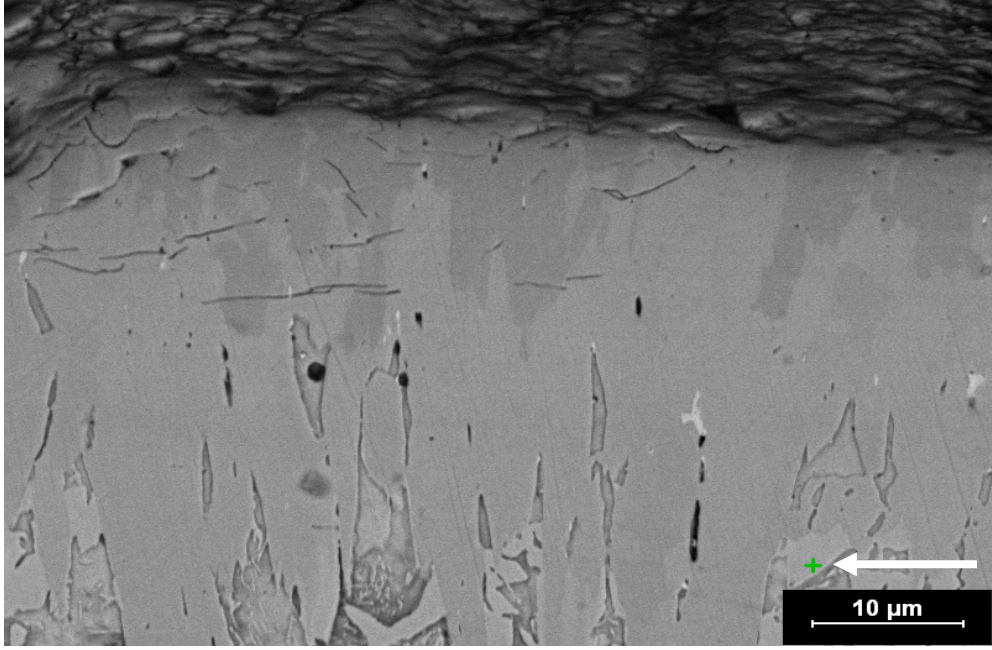


(a)

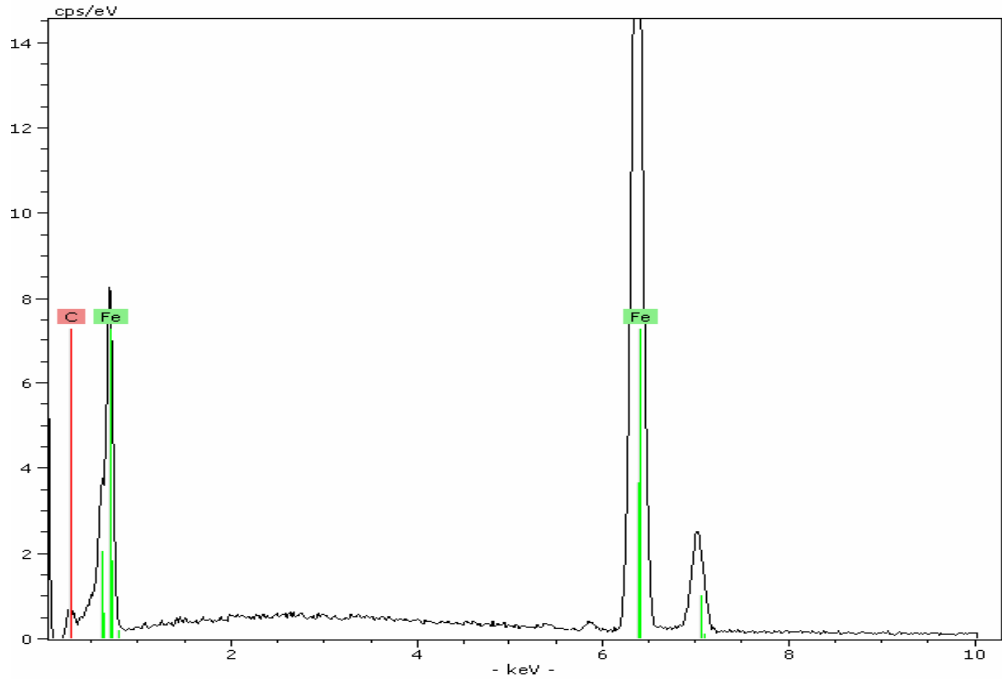


(b)

Şekil 4.8. Ç 1050 Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü (b) Çizgisel analiz diyağramı

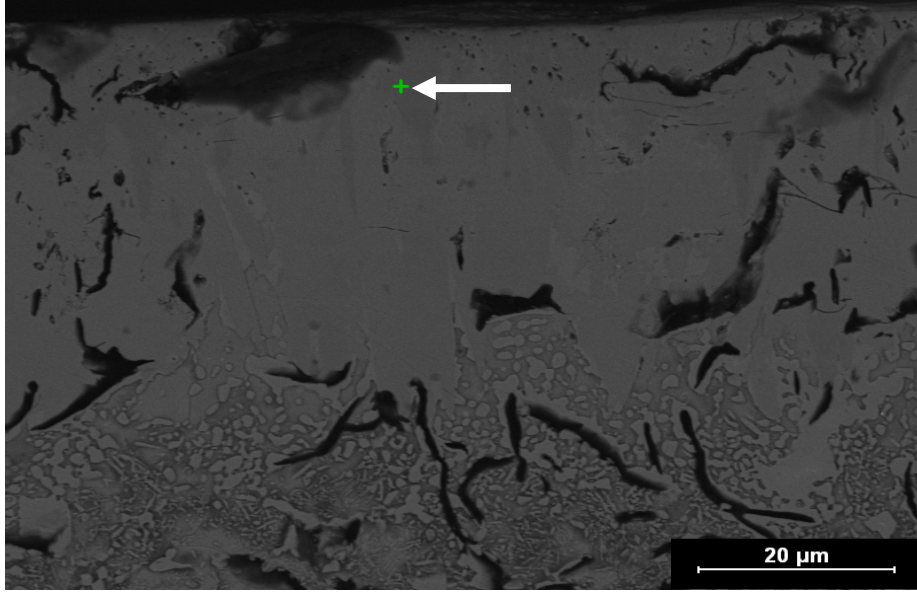


(a)

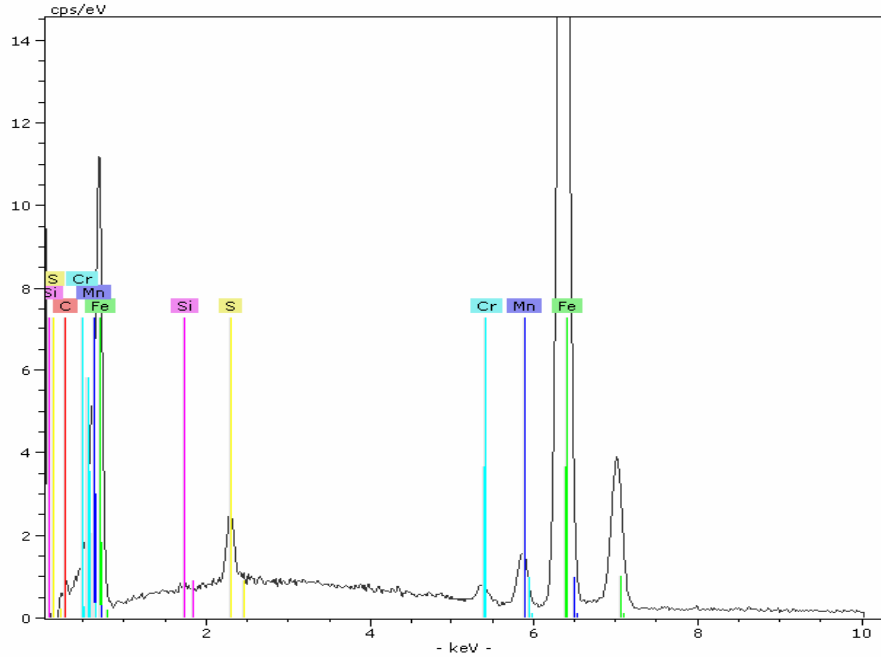


(b)

Şekil 4.9. Ç 1050 Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı. (a) Mikro yapı görüntüsü (b) Çizgisel analiz diyağramı

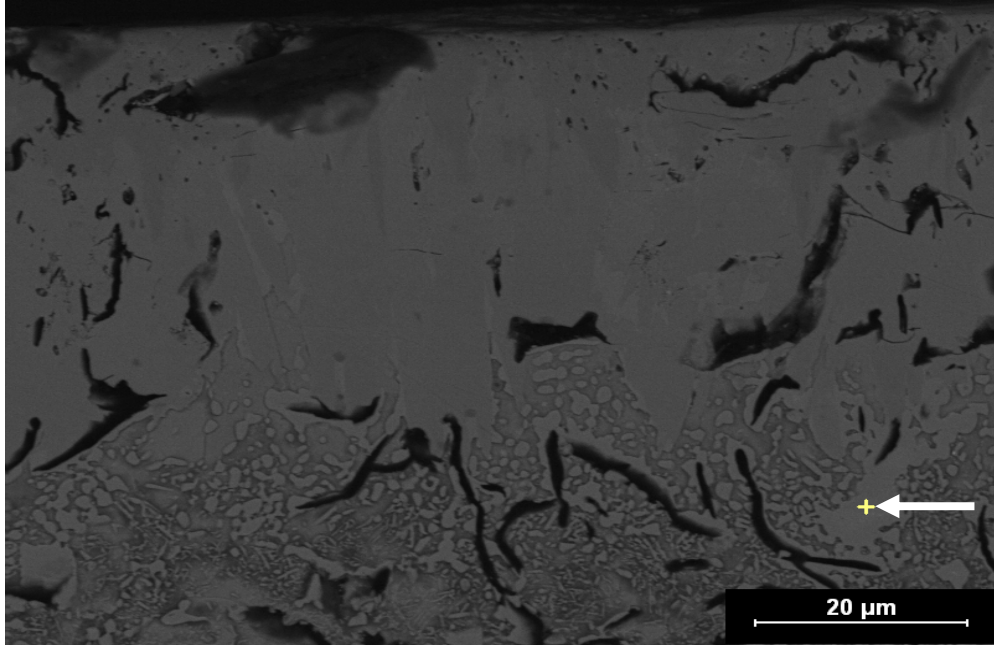


(a)

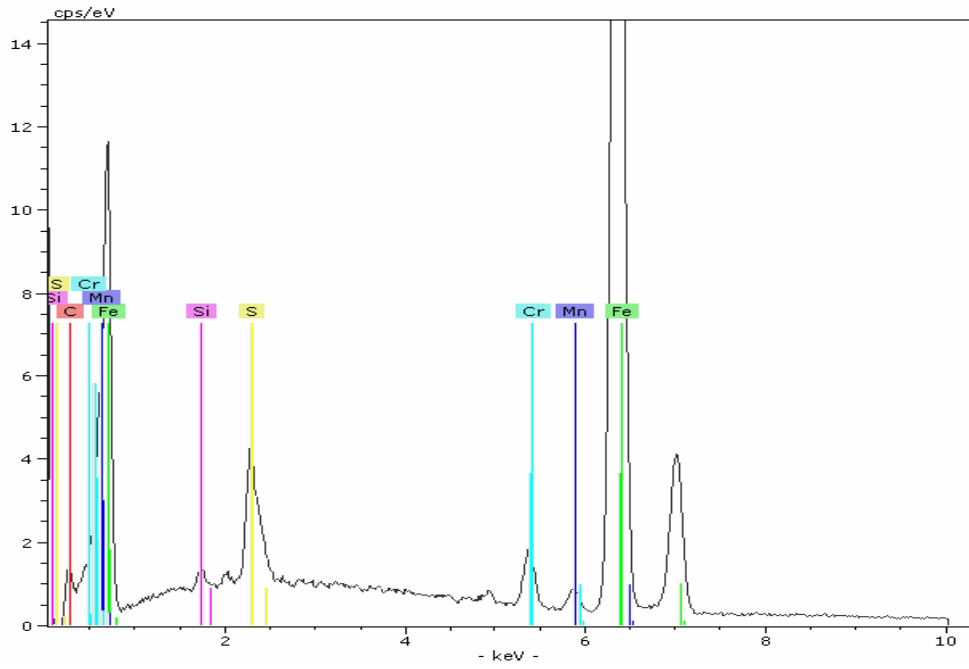


(b)

Şekil 4.10. Çil Döküm Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı (a) Mikro yapı görüntüsü (b) Çizgisel analiz diyağramı



(a)



(b)

Şekil 4.12. Çil Döküm Subap iticisinin kaplama tabakasının elementer analiz dağılımı (a) Mikro yapı görüntüsü (b) Çizgisel analiz diyağramı

4.2. Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları

Borlama ortamı ve malzeme bileşimine bağlı olarak sertlik ölçümleri, borlama işleminin malzeme sertliği, aşınma gibi mekanik özelliklerine etkisinin ortaya çıkarılması açısından önemlidir. Borlama işlemine tabi tutulan her iki malzeme için yüzeyden itibaren belirli bir derinliğe kadar 100 gr yük ve 15 s süreyle sertlik ölçümleri yapılarak borür tabakası, geçiş bölgesi ve matris bölgelerinin sertliği tespit edilmiştir. Deney numunelerinin mikrosertlik ölçümlerinin sonuçları çizelge 4.1’de verilmektedir.

Ç 1050 ve çil döküm numunedeki sertliklere bakıldığında özellikle borür tabaka kalınlığı ve sertliği bileşiminde bulunan alaşım elementleri oranı çil dökümde daha fazla olduğu için düşük çıktığı belirlendi. Mn, Mo ve Si’den kaynaklandığı EDS sonuçlarıyla da belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Deney numunelerin sertlik değerleri

Numune	Tabaka Kalınlığı (µm)	Tabaka Sertlik Değeri (HV)	Geçiş Böl. Sertlik Değeri (HV)	Anayapı Sertlik Değeri (HV)
Borlanmış Ç 1050 Supap iticisi	115	1950	550	213
Borlanmış Çil Döküm Supap iticisi	105	1287	864	625
Borlanmamış Ç 1050 Supap iticisi	-	296	288	286
Borlanmamış Çil Döküm Supap iticisi	-	860	720	600

4.3. Aşınma Deneyi Sonuçları

Aşınma deneyleri hem gerçek motor üzerinde ve laboratuvar şartlarında yapılan Pin-on Disk cihazında 4'er dakikalık periyotlar halinde yapılmış ve parametreler her iki durumda aynı ve sabit tutulmuştur.

4.3.1. Motor Üzerinde Yapılan Aşınma Deney Sonuçları

Motor üzerinde yapılan aşınma testlerinde elde edilen sonuçlar çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere Ç 1050 çeliğinden yapılmış supap iticileri, borlanmış ve borlanmamış durumda motor üzerinde yapılan deneylerde borlanmış numunenin aşınma kayıpları borlanmamış supap iticisine göre 12.8 kat daha az aşındığı belirlendi. Çil dökümden yapılmış supap iticilerinde borlanmış supap iticisi borlanmamışa göre 2.2 kat daha az aşındığı görülmektedir. Bunun yanında borlanmış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılmış supap iticilerinin aşınma miktarlarına bakılacak olursa Ç 1050 çeliğinden yapılmış supap iticilerinin aşınma miktarı çil döküm supap iticisine göre yaklaşık 3.5 kat az aşındığı tespit edilmiştir.

4.3.2. Pin-On Disk Cihazında Yapılan Aşınma Deneyi

Pin-On Disk Cihazında yapılan aşınma testlerinde elde edilen sonuçlar çizelge 4.3’de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere Ç 1050 çeliğinden yapılmış supap iticileri, borlanmış ve borlanmamış durumda Pin-On Disk cihazında yapılan deneylerde borlanmış numunenin aşınma kayıpları borlanmamış supap iticisine göre 7.5 kat daha az aşındığı belirlendi. Çil dökümden yapılmış supap iticilerinde borlanmış supap iticisi borlanmamışa göre 4.5 kat daha az aşındığı görülmektedir. Bunun yanında borlanmış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılmış supap iticilerinin aşınma miktarları ise Ç 1050 çeliğinden yapılmış supap iticilerinin aşınma miktarı çil döküm supap iticisine göre yaklaşık 2 kat az aşındığı görülmüştür.

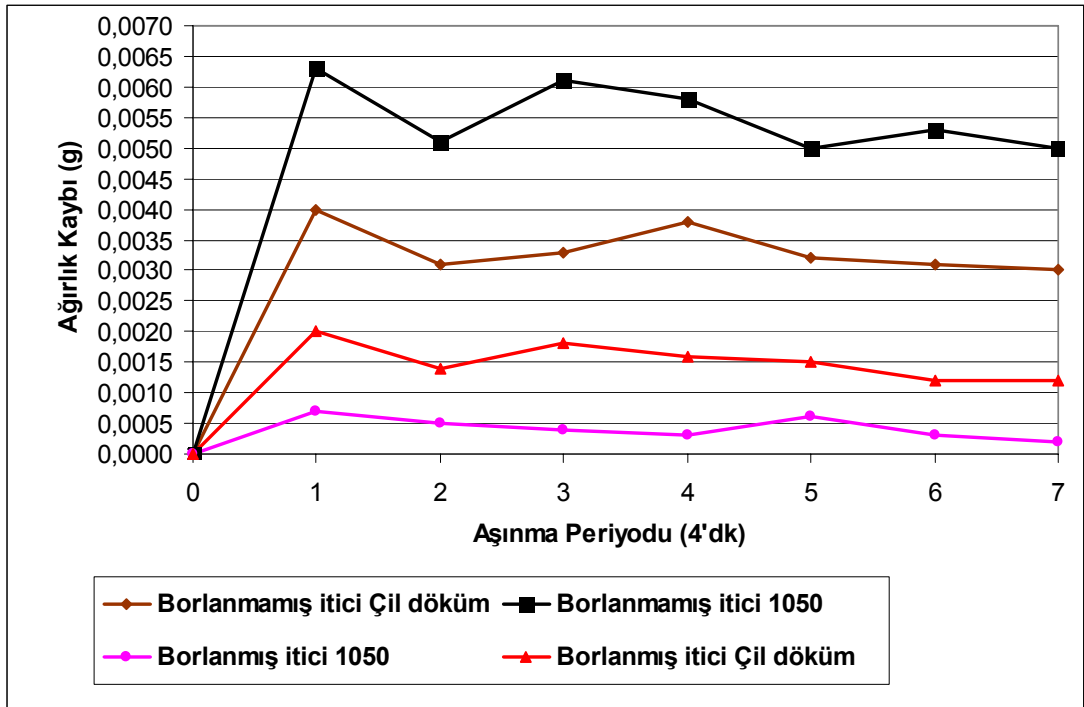
4.4. Korozyon Deneyi Sonuçları

Borlanmış ve borlanmamış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılan supap iticilerinin korozyon aşınma deney sonuçları çizelge 4.4’de verilmektedir. Ç 1050 çeliğinden yapılmış supap iticilerinde meydana gelen ağırlık kaybı borlanmamış Ç 1050 ve çil dökümüne nazaran 600 kat daha az olduğu tespit edilmiştir. Borlanmış çil döküm supap iticisine göre yaklaşık 3,3 kat daha az olduğu tespit

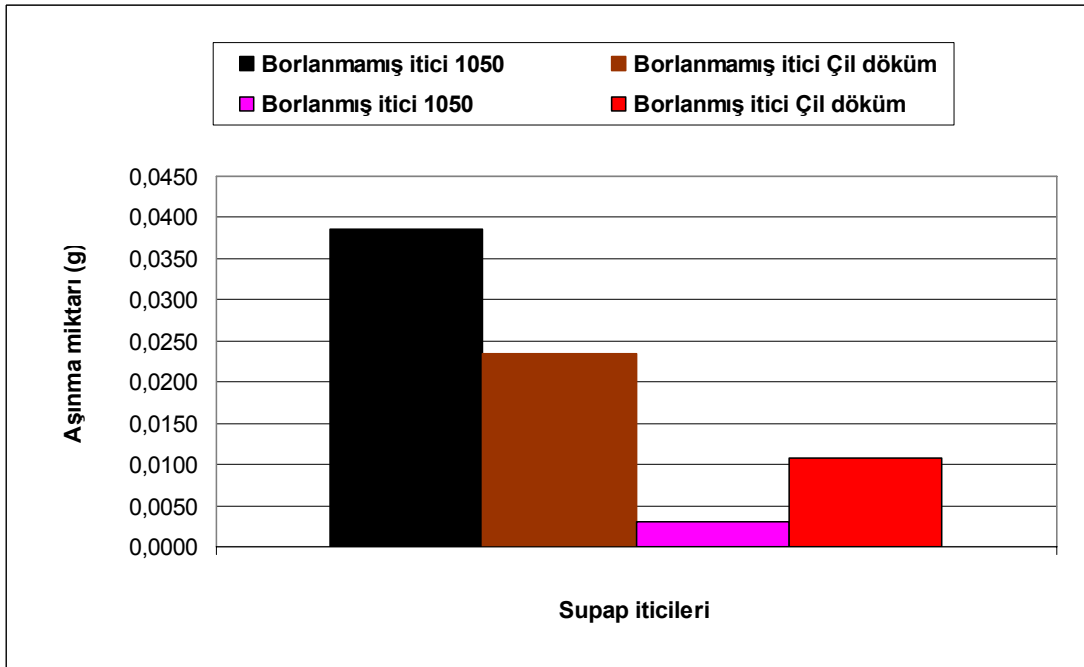
edilmiştir. Burada Ç 1050 çeliğinden yapılmış ve borlanmış supap iticilerinin korozyon direncinin en iyi olduğu sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 4.2. Borlanmış ve borlanmamış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılan supap iticilerinin motor üzerinde yapılan aşınma deney sonuçları

Malzeme Durumu	Çalışma süresi	İlk Ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Ağırlık kaybı (gr)
Borlanmamış Ç 1050 supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	4 dakika	74,1517	74,1454	0,0063
	4 dakika	74,1454	74,1403	0,0051
	4 dakika	74,1403	74,1342	0,0061
	4 dakika	74,1342	74,1284	0,0058
	4 dakika	74,1284	74,1234	0,0050
	4 dakika	74,1234	74,1181	0,0053
	4 dakika	74,1181	74,1131	0,0050
Toplam	28 dakika			0,0386
Borlanmamış çil döküm supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	4 dakika	65,2130	65,2090	0,0040
	4 dakika	65,2090	65,2059	0,0031
	4 dakika	65,2059	65,2026	0,0033
	4 dakika	65,2026	65,1988	0,0038
	4 dakika	65,1988	65,1956	0,0032
	4 dakika	65,1956	65,1925	0,0031
	4 dakika	65,1925	65,1895	0,0030
Toplam	28 dakika			0,0235
Borlanmış Ç 1050 supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	4 dakika	75,3842	75,3835	0,0007
	4 dakika	75,3835	75,3830	0,0005
	4 dakika	75,3830	75,3826	0,0004
	4 dakika	75,3826	75,3823	0,0003
	4 dakika	75,3823	75,3817	0,0006
	4 dakika	75,3817	75,3814	0,0003
	4 dakika	75,3814	75,3812	0,0002
Toplam	28 dakika			0,0030
Borlanmış çil döküm supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	4 dakika	65,7179	65,7159	0,0020
	4 dakika	65,7159	65,7145	0,0014
	4 dakika	65,7145	65,7127	0,0018
	4 dakika	65,7127	65,7111	0,0016
	4 dakika	65,7111	65,7096	0,0015
	4 dakika	65,7096	65,7084	0,0012
	4 dakika	65,7084	65,7072	0,0012
Toplam	28 dakika			0,0107



Şekil 4.13. Motor üzerinde yapılan deneyde supap iticilerinde aşınma periyoduna göre meydana gelen ağırlık kaybı



Şekil 4.14. Motor üzerinde yapılan deneme sonunda supap iticilerinde meydana gelen toplam aşınma kaybı



(a)



(b)



(c)



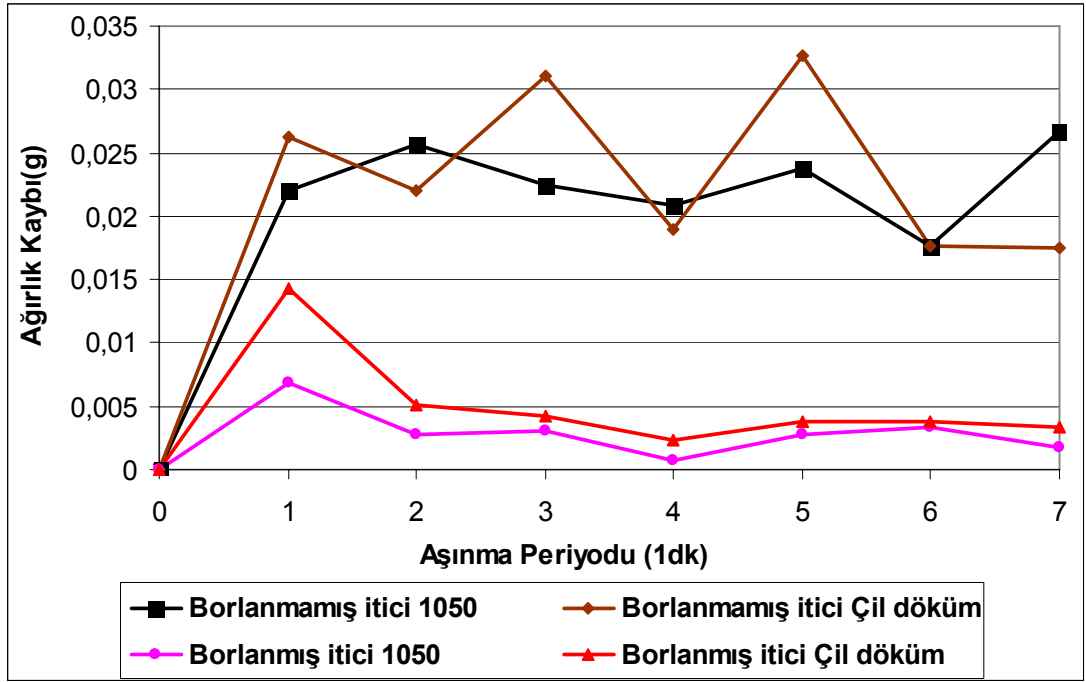
(d)

Şekil 4.15. Motor üzerinde yapılan aşınma deneyi sonucunda supap iticilerinin görüntüsü

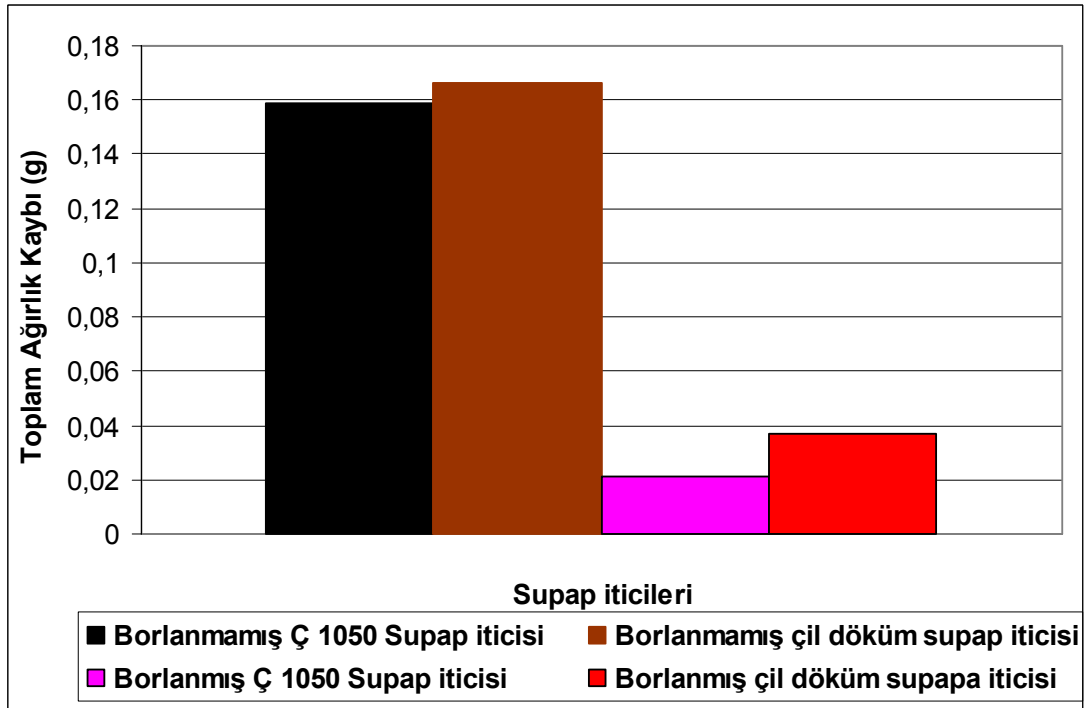
- (a) Borlanmış Ç 1050 supap iticisi (b) Borlanmamış Ç 1050 supap iticisi
(c) Borlanmış çil döküm supap iticisi (d) Borlanmamış çil döküm supap iticisi

Çizelge 4.3. Borlanmış ve borlanmamış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılan supap iticilerinin pin-on disk cihazında yapılan aşınma deney sonuçları

Malzeme Durumu	Çalışma süresi	İlk Ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Ağırlık kaybı (gr)
Borlanmamış Ç 1050 supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	1 dakika	72,2594	72,2374	0,0220
	1 dakika	72,2374	72,2118	0,0256
	1 dakika	72,2118	72,1894	0,0224
	1 dakika	72,1894	72,1686	0,0208
	1 dakika	72,1686	72,1448	0,0238
	1 dakika	72,1448	72,1271	0,0177
	1 dakika	72,1271	72,1004	0,0267
Toplam	7 dakika			0,1590
Borlanmamış çil döküm supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	1 dakika	66,7221	66,6959	0,0262
	1 dakika	66,6959	66,6739	0,0220
	1 dakika	66,6739	66,6429	0,0310
	1 dakika	66,6429	66,6239	0,0190
	1 dakika	66,6239	66,5913	0,0326
	1 dakika	66,5913	66,5736	0,0177
	1 dakika	66,5736	66,5561	0,0175
Toplam	7 dakika			0,1660
Borlanmış Ç 1050 supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	1 dakika	73,3394	73,3326	0,0068
	1 dakika	73,3326	73,3299	0,0027
	1 dakika	73,3299	73,3269	0,0030
	1 dakika	73,3269	73,3262	0,0007
	1 dakika	73,3262	73,3235	0,0027
	1 dakika	73,3235	73,3202	0,0033
	1 dakika	73,3202	73,3184	0,0018
Toplam	7 dakika			0,0210
Borlanmış çil döküm supap iticisi	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	1 dakika	65,5286	65,5143	0,0143
	1 dakika	65,5143	65,5092	0,0051
	1 dakika	65,5092	65,5050	0,0042
	1 dakika	65,5050	65,5026	0,0024
	1 dakika	65,5026	65,4988	0,0038
	1 dakika	65,4988	65,4950	0,0038
	1 dakika	65,4950	65,4917	0,0033
Toplam	7 dakika			0,0369



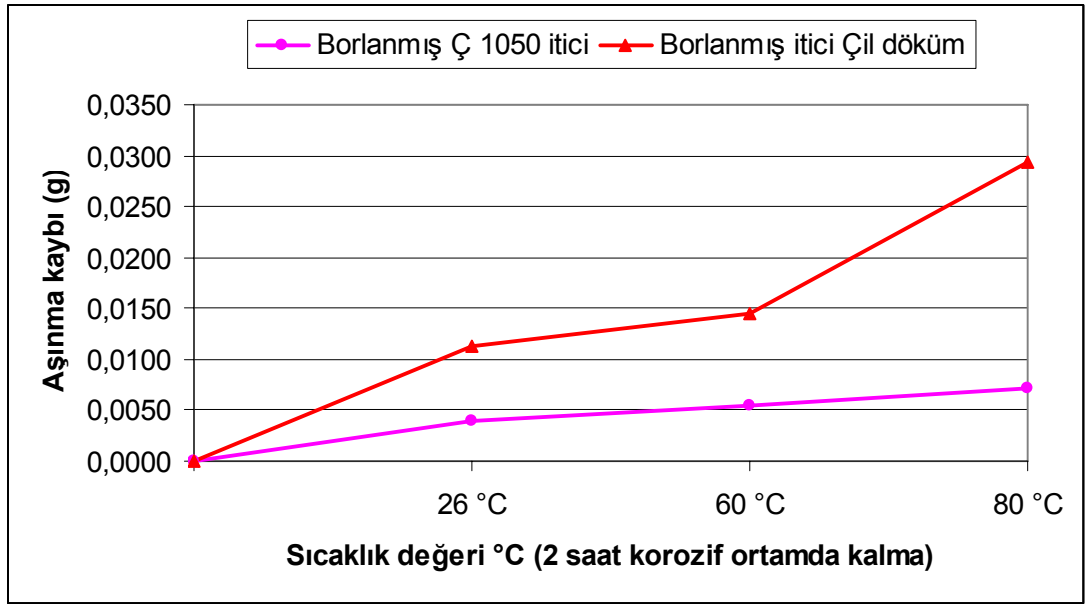
Şekil 4.16. Pin on disk cihazında yapılan deneyde supap iticilerinde aşınma periyoduna göre meydana gelen ağırlık kaybı



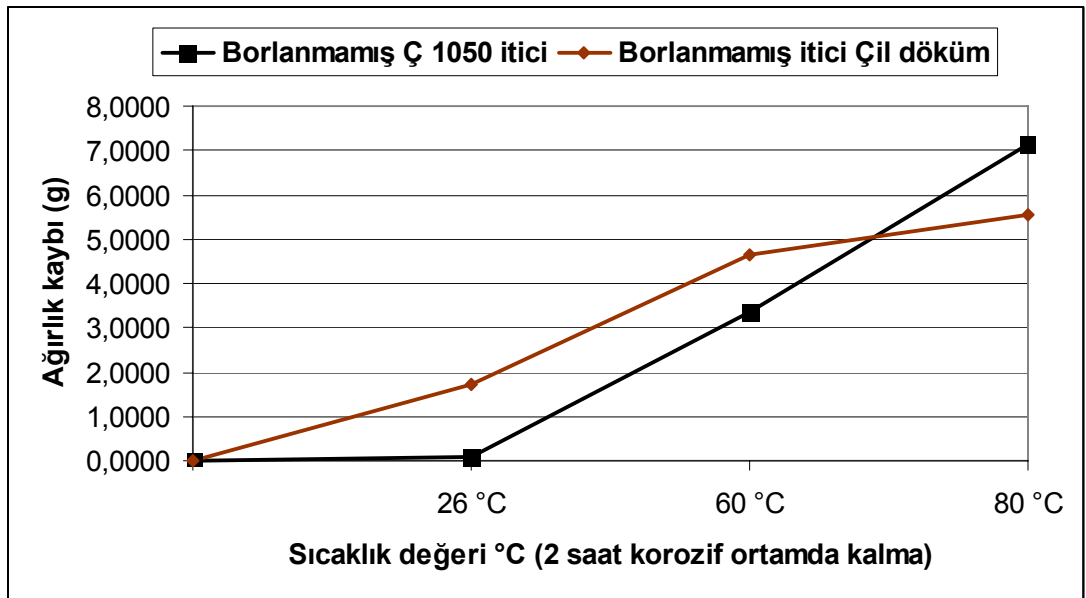
Şekil 4.17. Pin on disk cihazında yapılan deney sonunda supap iticilerinde meydana gelen toplam aşınma kaybı

Çizelge 4.4. Borlanmış ve borlanmamış Ç 1050 çeliğinden ve çil döküm yöntemiyle yapılan supap iticilerinin korozyon aşınma deney sonuçları

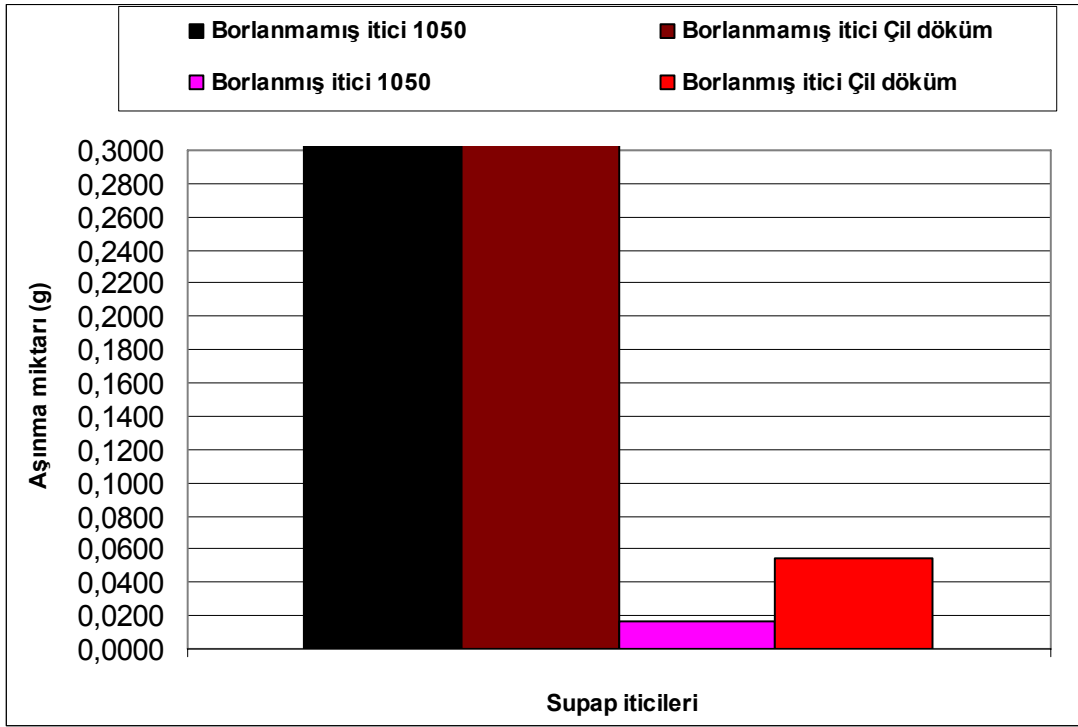
Borlanmamış Ç 1050 supap iticisi	Korozyon ortam sıcaklığı ve süresi	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Ağırlık kaybı (gr)
	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	2 saat 26 °C sıcaklıkta	73,2801	73,1949	0,0852
	2 saat 60 °C sıcaklıkta	73,1949	69,8272	3,3677
	2 saat 80 °C sıcaklıkta	69,8272	62,7056	7,1216
	Toplam kayıp			
Borlanmamış çil döküm supap iticisi	Korozyon ortam sıcaklığı ve süresi	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Ağırlık kaybı (gr)
	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	2 saat 26 °C sıcaklıkta	66,1342	64,4065	1,7277
	2 saat 60 °C sıcaklıkta	64,4065	59,7511	4,6554
	2 saat 80 °C sıcaklıkta	59,7511	54,2195	5,5316
	Toplam kayıp			
Borlanmış Ç 1050 supap iticisi	Korozyon ortam sıcaklığı ve süresi	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Ağırlık kaybı (gr)
	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	2 saat 26 °C sıcaklıkta	73,4064	73,4025	0,0039
	2 saat 60 °C sıcaklıkta	73,4025	73,3971	0,0054
	2 saat 80 °C sıcaklıkta	73,3971	73,3899	0,0072
	Toplam kayıp			
Borlanmış çil döküm supap iticisi	Korozyon ortam sıcaklığı ve süresi	İlk ağırlık (gr)	Son ağırlık (gr)	Ağırlık kaybı (gr)
	Başlangıç	0,0000	0,0000	0,0000
	2 saat 26 °C sıcaklıkta	66,0761	66,0649	0,0112
	2 saat 60 °C sıcaklıkta	66,0649	66,0505	0,0144
	2 saat 80 °C sıcaklıkta	66,0505	66,0212	0,0293
	Toplam kayıp			



Şekil 4.18. Sıcaklığa bağlı olarak korozif ortamda borlanmış Ç 1050 ve çil döküm supap iticilerde meydana gelen aşınma kaybı



Şekil 4.19. Sıcaklığa bağlı olarak korozif ortamda borlanmamış Ç 1050 ve çil döküm supap iticilerde meydana gelen aşınma kaybı



Şekil 4. 20. Korozyon ortamında yapılan deney sonunda supap iticilerinde meydana gelen toplam aşınma kaybı



(a)



(b)

Şekil 4.21. Korozyon deneyi sonucunda supap iticilerinin görüntüsü
(a) Borlanmış Ç 1050 supap iticisi (b) Borlanmamış Ç 1050 supap iticisi



(a)



(b)

Şekil 4.22. Korozyon deneyi sonucunda supap iticilerinin görüntüsü
(a) Borlanmış çil döküm supap iticisi (b) Borlanmamış çil döküm supap iticisi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Metalografi teknikleriyle hazırlanan numuneler üzerinde yapılan optik mikroskobik incelemeler sonucu borür tabakası, geçiş bölgesi ve anayapının mikroyapısını net olarak ortaya çıkarmıştır. Bununla beraber, borlu tabaka kalınlığı, oluşan borür dişleri arası mesafe ile mikrosertlik ölçümlerinde metalografik incelemelerden faydalanılmıştır. Metalografik incelemeler bor bileşiklerinin çil döküm numunede meydana getirdiği borür tabakasının kolonsal olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ç 1050 çeliğinde ise tabaka çil döküm numuneden farklı olarak ve dişli bir yapıda oluşmuştur (Şekil 4.1-4.2). İki numunenin tamamında iyi bir dağlama tekniğiyle iki ayrı bölgeyi ayırmak mümkün olmuştur. SEM fotoğraflarında tam net olarak seçilebilmektedir (Şekil 4.7-4.8).

Borlanan iki numunede de sertlik, en dış yüzeyden matrise doğru gidildikçe azalma göstermektedir. Bor difüzyonunun borür yapmadığı kısımdan itibaren de matrisin sertliğine düşmüştür. En yüksek sertlik değerleri borürlerin bulunduğu kolonlarda ölçülmüştür.

Borlama işlemine tabi tutulan Ç 1050 çeliğinden yapılmış numunede borür tabaka kalınlığı çil dökümden yapılan numuneye oranla yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni ise çil döküm içerisinde bulunan Mo, Cr, C, Si'un borür tabaka kalınlığını azaltıcı etki göstermesidir.

Korozyon deneylerinde ise korozyon ortamının etkileri numuneler üzerinde en fazla çil dökümden yapılmış numunede olduğu tespit edilmiştir. Nedeni ise Cr'un yüksek olması borlama ile koruyucu krom oksit yerine daha az koruyucu olan Cr-borür meydana gelmektedir. Bu bakımdan yüksek alaşımlı malzemelerin borlanmasıyla daha iyi korozyon özelliği her zaman elde edilmeyeceği ortaya çıkmaktadır.

Aşınma deneylerinde motor üzerinde ve pin-on disk cihazında yapılan testler sonucunda Ç 1050 çeliğinden yapılmış numunenin en iyi sonucu verdiği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak yapılan deneylerde çil döküm ve Ç 1050 çeliğinden yapılan supap iticilerini karşılaştırılmasında, orijinalde çil dökümden yapılması yerine Ç 1050 çeliğinden yapıp borlama işlemine tabi tutulmasıyla daha iyi mekanik (sertlik aşınma), korozyon direnci göstereceği belirlenmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Akkurt, M., 1987. Makine Elemanları Cilt II. Birsen Kitabevi, İstanbul.
- Altun, F., 2005. Bor. Ulusal Bor Araştırma Enstitüsü, Ankara.
- Atik, E., 1997. Çeliklerin Borlanarak Aşınma Dayanımlarının Arttırılması. Mühendis ve Makine, 445, 17-20.
- Atik, E., 2001. Farklı Bir Yüzey Sertleştirme Yöntemi: Borlama. Makina & Metal, 117, 86-90.
- Aydemir, T., Şen, U., 2003. Borlanmış Soğuk İş Takım Çeliklerinin Aşınma Davranışları. SA.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,7,3, 28-31, Sakarya.
- Bayça, S.U., Şahin, S., 2004. Borlama. Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 532, Ankara.
- Bindal C., 1991 Az Alaşımli ve Karbon Çeliklerinde Borlama ile Yüzeğe Kaplanan Borürlerin Bazı Özelliklerinin Tesbiti. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 165s, İstanbul.
- Komisyon, 2002. Bor Stratejik Bir Madendir. Bilim ve Ütopya Dergisi, Sayı, 94.
- Komisyon,2003. Bor Raporu. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası.
- Crouse, H., W., Anglin, D.,L., 1994. Automotive Engines. ISBN 0-07-113884-6, Gelencoe, Macmillan, New York. ABD.
- Çalık A., 2002. Türkiye'nin Bor Madenleri ve Özellikleri. Mühendis ve Makine Dergisi, Sayı 508, Ankara.
- Çalık A., Özsoy A., 2002. Termal Çevirimli Borlama İşleminin Ç1010 Çeliğine Etkileri. 11. Uluslararası Malzeme Sempozyumu, İstanbul.
- Çalık, A., 2004. Makine ve Metalurji Sanayinde Bor Kullanımı. 2.Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Çalık,A.,Delikanlı,K.,Uzun A., 2004. Ç 1035 Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Çalık, A., Özsoy, A., 2004. Isıl Çevrimli Borlama işleminin SAE 1030 ve SAE 1050 Çeliklerine Etkileri. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Çalık, A., 2005. Borlama ve Endüstriyel Uygulama Alanları. I. Ulusal Bor Çalıştayı. Ankara

- Çeğil, Ö., Şen.Ş., 2002. AISI 8620 Çeliğinin Bor-Vanadyumlanması ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6, 3, 113-117.
- Çelikyürek, İ., Baksan, B., Gürler, R., 2004 Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Borlanması. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.
- Çetin M., 2003. Borlanmış Hadfield Çeliklerinin Aşınma Dayanımını İncelenmesi. Dumlupınar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 50s, Kütahya.
- Çetinkaya, S., 1999. Motor Dinamiği.” ISBN 975-591-072-7, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Delikanlı, K., Çalık, A., Uzun, H.A., 2002. Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi, 1.Uluslararası Bor Sempozyumu, 109-113.
- Delikanlı, K., Çalık, A., Uzun, H., A., 2003. Sade Karbonlu Bir Çeliğin Borlama Özelliklerinin İncelenmesi, B.A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi,5,1, Balıkesir.
- Duman, İ., 2003. Bor Madenleri ve Stratejik Bor Ürünleri. Bilim ve Ütopya Dergisi. Sayı 114, 18-21.
- Er, Ü., Par, B., 2004, Bor Yayınımıyla Yüzeyi Sertleştirilmiş AISI 1030 ve AISI 1050 Çeliklerinin Abrazif Aşınma Dayanımlarının İncelenmesi, Osman Gazi Ü. Müh. Müh. Fak. Dergisi, 17,1, Eskişehir.
- Ediz N., Özdağ, H., 2001. Bor Mineralleri ve Ekonomisi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2, 133-151.
- Grohe, H., Çev. Kuşhan, B., 1995. Otto Ve Dizel Motorları. Bilim Ve Teknik Yayınevi, İstanbul.
- Helvacı, C., 2004. Türkiye Borat Yatakları: Jeolojik Konumu, Ekonomik Önemi ve Bor Politikası, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- <http://www.obitet.gazi.edu.tr>, 2005
- Karaman Y., 2003. Endüstriyel Borlama ve Tekstil Endüstrisinde Bir Uygulama. Süleyman Demirel Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 121s, Isparta.
- Khoe, S.M.M., 1992. Ergimiş Boraks Banyosunda Çeliklere Vanadyum Karbür Kaplama. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,112s, İstanbul.
- Körpe, N., Ö., Körpe, E., Baksan, B., Çelikyürek, İ., Gürler, R., 2004. Fe3Al (Fe74Al26) Alaşımının Borlanması. II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir.

- Kuyumcu, İ. 1999. Motor Tekniği. ISBN 975-7527-95-5 Hatiboğlu Yayın. İstanbul.
- Küçükşahin, F. 1990. Dizel Motorları. ISBN 975-486-139-0 Beta Basım Yayınevi, İstanbul.
- Lu, M., J., 1983. Erhöhung der Lebensdauer von Bauteilen und Werkzeugen durch Boralitieren, HTM, 37, 73-82.
- Nair, F., Karamış, M.B., 1997. Borlanmış Çeliklerde Malzeme Bileşiminin Mikrosertliğe Etkileri, 7. Denizli Malzeme Sempozyumu, 354-360.
- Matuschka, A.G.V., 1980. Boronizing. München, Wien, Hanser, 100 s.,
- Öz, İ., Borat, O., Sürmen, A. 2003. İçten yanmalı Motorlar. ISBN 975-511-346-0, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özsoy A., 1991. Çeliğin Borlanması Borür Tabakası, Geçiş Zonu ve Ana Matriksin Özelliklerinin İyileştirilmesi. Anadolu Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 101s, Eskişehir.
- Özsoy, A., 2001. Borlama ile İlgili Genel Bir Değerlendirme. Endüstriyel Yüzey Teknolojileri Dergisi, 22, 10-13.
- Staudt, W., Çev. Şahin, S., 1995. Motorculukta Metal Tekniği. ISBN-975-11-1010-6, Ajans Türk Mat., Ankara.
- Staudt, W., Çev. Kulaksız, Ö., Çakır, Ö., 2000. Motorlu Taşıt Tekniği. ISBN-975-11-1011-4, Ajans Türk Mat., Ankara.
- Selçuk B., 1994. Borlanmış AISI 1020 ve AISI 5115 Çeliklerinin Sürtünme ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Erciyes Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kayseri.
- Selam M., 1996. Borlanmış Gri Dökme Demirin Aşınma Davranışlarının Deneysel Araştırılması. Erciyes Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 56s Kayseri.
- Sevimligül, E., 2003. Çil Döküm ve Çelikten Yapılmış Kam Millerindeki Aşınmanın İncelenmesi. Cumhuriyet Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 69s Sivas.
- Şen, Ş., 1998. Termokimyasal Borlama İşlemiyle AISI 5140, AISI 4140 ve AISI 4340 Çeliklerinin Yüzey Performanslarının Geliştirilmesi. Sakarya Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 165s, Sakarya.
- Şen U., 1997. Küresel Grafitli Dökme Demirin Borlanması ve Özellikleri. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s, İstanbul.

- Şen, Ş., Bindal, C., 1999. AISI 5140 Çeliğinin Yüzeyinde Oluşan Borürlerin Bazı Özellikleri, Denizli Makina Mühendisleri Odası Bilim Günleri, 670-675.
- Taşcı, A., 1993. Borlanmış Çeliklerin Aşınma ve Korozyon Dayanımları. İstanbul Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 45s, İstanbul.
- Taylan, F., Özsoy, A., 2002. Erimiş Boraks Banyosunda Karbürleme İşlemi. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu Kitabı, 118-123, Kütahya,
- Tezcan, R., 1996. Borlama İşlemi ve Endüstriyel Uygulamaları. Osmangazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 46s, Eskişehir.
- Toyota, 1996. Servis Eğitim Katoloğu.
- Uzun, H. A., 2002. Borlama İle Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları. Süleyman Demirel Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 74s, Isparta.
- Varol, R., Yılmaz, S., S., Tunay, R., F., 2002. Borlamanın T/M Çelik Parçaların Mikroyapı ve Yüzey Sertliğine Etkisi. III. International Powder Metallurgy Conference, Ankara, Turkey.
- Yılmaz, A., 2002. Her Derde Deva Hazinemiz Bor. Bilim ve Teknik, 414, 38-48.
- Yılmaz S. S., 1997. Çeliklerde Bor İle Yüzey Setleştirme. Celal Bayar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 35s, Manisa.
- Yünker U., 2000. Borlanmış Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi. Celal Bayar Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 161s, Manisa.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mithat ŞİMŞEK

Doğum Yeri : Tomarza/KAYSERİ

Doğum Yılı : 01.11.1971

Medeni Hali : Evli ve iki çocuk babası

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise :1986-1989 Kayseri Merkez Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü

Lisans :1990– 1994 Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi
Bölümü Otomotiv Öğretmenliği

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

1994-2001 Isparta Endüstri Meslek Lisesi Motor Öğretmeni

2001- Süleyman Demirel Üniversitesi Keçiborlu Meslek Yüksekokulu Öğretim
Görevlisi

1.	GİRİŞ	1
1.1.	İçten Yanmalı Motorlar	3
1.1.1.	İçten Yanmalı Motorların Parçaları	4
1.1.1.1.	Silindir Bloğu	4
1.1.1.2.	Silindir Gömleği	5
1.1.1.3.	Silindir Kapağı	6
1.1.1.4.	Karter	6
1.1.1.5.	Piston ve Piston Pimi	7
1.1.1.6.	Ana Mil (Krank Mili)	8
1.1.1.7.	Volân	9
1.1.1.8.	Supap Sistemi	9
1.1.1.9.	Yardımcı Parçalar	10
1.2.	Aşınma Özellikleri	11
1.2.1.	Adhesiv Aşınma	12
1.2.2.	Abrasiv Aşınma	13
1.2.3.	Korozif Aşınması	15
1.2.4.	Tabaka ve Yenme Aşınması	15
1.3.	Çil Döküm Yöntemi	16
1.4.	Bor Elementi	18
1.4.1.	Saf Bor'un Fiziksel Özellikleri	19
1.4.2.	Bor Ürünleri	20
1.4.3.	Bor Ürünlerinin Kullanım Alanları	22
1.5.	Borlama ve Yöntemleri	24
1.5.1.	Katı Ortamda Borlama	27
1.5.1.1.	Toz Ortamda Borlama	27
1.5.1.2.	Macunlama ile Borlama	29
1.5.2.	Sıvı Ortamda Borlama	30
1.5.2.1.	Daldırma Yöntemi	30
1.5.2.2.	Elektroliz Yöntemi	31
1.5.2.3.	Derişik Çözeltide Borlama	32
1.5.3.	Gaz Ortamda Borlama	32
1.5.4.	Plazma Borlama	33
1.6.	Borür Tabakasının Özellikleri	35
1.6.1.	Borürlü Tabakanın Yapı ve Bileşimi	35
1.6.1.1.	Borür Tabakası	35
1.6.1.2.	Geçiş Bölgesi	37
1.6.1.3.	Borürlü Tabakanın Yapı ve Bileşimine Alaşım Elemanlarının Etkisi	40
1.6.2.	Borlu Tabakanın Mekanik Özellikleri	41
1.6.2.1.	Sertlik	41
1.6.2.2.	Aşınma Özellikleri	43
1.6.2.3.	Borlanmış Çeliklerin Korozyona Karşı Dayanıklılığı	45
1.6.3.	Borlu Tabakanın Kalınlığı	47
1.6.4.	Borür Tabakası Çeşitleri	48
1.6.5.	Borür Tabakasındaki Kalıntı Gerilmeler	50
1.6.6.	Borlama İşlemi Sonrası Uygulanabilen Isıl İşlemler	50
1.6.7.	Borlanabilen Malzemeler	52
2.	KAYNAK BİLGİSİ	55
3.	MATERYAL VE METOD	60
3.1.	Deneyde Kullanılan Malzemeler	60
3.2.	Borlama İşlemi	62

3.3.	Metalografik İnceleme _____	63
3.4.	Sertlik Ölçümü _____	64
3.5.	X- Işınları Difraksiyon Analizi _____ Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
3.6.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) _____	65
3.7.	Aşınma Deneyi _____	66
3.8.	Korozyon Deneyleri _____	71
4.	BULGULAR _____	72
4.1.	Mikro Yapı İnceleme Sonuçları _____	72
4.2.	Mikrosertlik Ölçüm Sonuçları _____	85
4.3.	Aşınma Deneyi Sonuçları _____	85
4.3.1.	Motor Üzerinde Yapılan Aşınma Deney Sonuçları _____	86
4.3.2.	Pin-On Disk Cihazında Yapılan Aşınma Deneyi _____	86
4.4.	Korozyon Deneyi Sonuçları _____	86
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ _____	96
6.	KAYNAKLAR _____	98