

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK HADDELENMİŞ VE SOĞUK
ÇEKİLMİŞ SAE 8620 VE 16MnCr5
ÇELİKLERİNDE TUZ BANYOSUNDA
GERÇEKLEŞTİRİLEN SEMENTASYON
İŞLEMİNİN AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİ

İlyas YEGEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2009

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAK HADDELENMİŞ VE SOĞUK
ÇEKİLMİŞ SAE 8620 VE 16MnCr5
ÇELİKLERİNDE TUZ BANYOSUNDA
GERÇEKLEŞTİRİLEN SEMENTASYON
İŞLEMİNİN AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİ

İlyas YEGEN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Metin USTA

GEBZE
2009



**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ JÜRİ ONAY FORMU

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından
..... tarihinde tez savunma sınavı yapılan
.....'ın tez çalışması Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) :

ÜYE :

ÜYE :

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../20... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZ BAŞLIĞI : SICAK HADDELENMİŞ VE SOĞUK ÇEKİLMİŞ SAE 8620 VE 16MnCr5 ÇELİKLERİNDE TUZ BANYOSUNDA GERÇEKLEŞTİRİLEN SEMENTASYON İŞLEMİNİN AŞINMA DİRENCİNE ETKİSİ

YAZAR ADI : İLYAS YEGEN

Bu çalışmada, endüstride yaygın olarak kullanılan SAE 8620 ve 16MnCr5 sementasyon çeliklerinde tuz banyosunda gerçekleştirilen sementasyon işleminin aşınma direncine etkisi incelenmiştir. Deneylerde sıcak haddelenmiş numuneler ve soğuk çekilmiş numuneler kullanılmıştır. Sementasyon işlemleri NaCN tuz banyosunda 920 °C sıcaklıkta 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin abrasif aşınma testi Tungsten Karbür (WC) bilye ile 1 saat sürede gerçekleştirilmiştir. X ışınları kırınımı analizi ile sementasyon sonrası numune yüzeylerinde martensit fazının oluştuğu tespit edildi. Farklı sürelerde gerçekleştirilen sementasyon işlemleri sonucu numunelerde farklı yüzey sertlikleri ve farklı etkili sementasyon derinlikleri elde edilmiştir. Sementasyon işlemleri sonrası sıcak haddelenmiş SAE 8620 numunelerde 697 HV ile 848 HV arası, soğuk çekilmiş SAE 8620 numunelerde 787 HV ile 833 HV arası değişen yüzey sertlikleri elde edilmiştir. Sıcak haddelenmiş 16MnCr5 numunelerde 639 HV ile 830 HV arası, soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerde 800 HV ile 845 HV arasında değişen yüzey sertlikleri elde edilmiştir. Sementasyon süresi arttıkça etkili sementasyon derinliğinin arttığı görülmüştür. Sementasyon işlemleri sonrası etkili sementasyon derinliklerinin sıcak haddelenmiş SAE 8620 numunelerde 0,8 mm ile 1,6 mm arasında, soğuk çekilmiş SAE 8620 numunelerde 0,8 mm. ile 1,4 mm arasında, sıcak haddelenmiş 16MnCr5 numunelerde 0,9 mm. ile 1,3 mm. arasında, soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerde 0,8 mm. ile 1,2 mm. arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aşınma testleri sonucunda sementasyon işlemleri sonrası numunelerin aşınma dirençlerinin arttığı tespit edilmiştir. Numunelerin aşınma dirençlerinin yüzey sertliklerinden etkilendiği tespit edilmiştir.

SUMMARY

TITLE OF THE THESIS : THE EFFECT OF SALT BATH CEMENTATION ON WEAR RESISTANCE OF HOT ROLLED AND COLD DRAWN SAE 8620 AND 16MnCr5 STEELS

Author : İLYAS YEGEN

In this study, the effect of salt bath cementation on wear resistance of SAE 8620 and 16MnCr5 cementation steels, which are widely used in industry, was investigated. The experiments were carried out with hot rolled and cold rolled specimens. The cementation processes were carried out in NaCN salt bath at 920 °C temperature for 1 hour, 2, 3 and 4 hours. Abrasive wear tests of specimens were carried out with Wolfram Carbur (WC) ball for 1 hour. After cementation processes martensite phase was confirmed on specimens surfaces by x ray diffraction analysis. After cementation processes carried out with different times, different surface hardness and effective cementation depth values were obtained. The surface hardness of hot rolled SAE 8620 specimens ranged from 697 HV to 848 HV, the surface hardness of cold drawn SAE 8620 specimens ranged from 787 HV to 833 HV. The surface hardness of hot rolled 16MnCr5 specimens ranged from 639 HV to 830 HV, the surface hardness of cold drawn 16MnCr5 specimens ranged from 800 HV to 845 HV. Experimental results showed that effective cementation depth increased with increasing cementation time. Effective cementation depth values ranged from 0,8 mm to 1,6 mm. for hot rolled SAE 8620 specimens, 0,8 mm to 1,4 mm for cold drawn SAE 8620 specimens. Effective cementation depth values ranged from 0,9 mm. to 1,3 mm for hot rolled 16MnCr5 specimens, from 0,8 mm to 1,2 mm for cold drawn 16MnCr5 specimens. Wear tests showed that the wear resistance of specimens increased by the cementation processes. Experimental results showed that surface hardness of specimen affects the wear resistance of specimens.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince tüm görüşlerini, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşıp yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Metin USTA`ya teşekkür ederim.

Çalışma hayatının tüm zorluklarına rağmen yüksek lisans eğitimim süresince benden yardımlarını esirgemeyen Akçelik Demir Çelik A.Ş. Kalite Güvence ve Geliştirme Yönetmeni Serkan BIYIKLI`ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deney numunelerinin tedarik edilmesinde yardımlarını esirgemeyen Akçelik Demir Çelik A.Ş. çalışanlarına ve numunelerin ısıt işlemlerinin gerçekleştirildiği Tamçelik Isıl İşlem A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim.

Ve son olarak her zaman bana inanıp sevgi ve desteklerini esirgemeyen biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Özeti	6
1.3. Çalışmanın Amacı	10
2. AŞINMA VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	13
2.1 Aşınmanın Tanımı	13
2.2. Tribolojik Sistemler	14
2.3. Tribolojik sistemin elemanları	15
2.4. Aşınma Mekanizmaları	16
2.4.1. Adhesif Aşınma	16
2.4.2. Abrasif Aşınma	18
2.4.3. Erozif Aşınma	20
2.4.4. Pulcuk kalkması (Pitting)	21
2.4.5. Koroziif aşınma	21
2.4.6. Yorulma aşınması	22
2.5. Aşınma Ölçüm Yöntemleri	22
2.5.1. Ağırlık Farkı Metodu	22
2.5.2. Kalınlık Farkı Metodu	23
2.5.3. İz Değişim Metodu	23
2.5.4. Radyoizotop Metodu	24

2.6.	Aşınmayı Etkileyen Faktörler	24
2.6.1.	Ana Malzemeye Bağlı Faktörler	24
2.6.1.1.	Malzemenin Kristal Yapısı	24
2.6.1.2.	Malzemenin Sertliği	25
2.6.1.3.	Elastisite Modülü	26
2.6.1.4.	Deformasyon Davranışı	27
2.6.1.5.	Yüzey Pürüzlülüğü	28
2.6.1.6.	Malzeme Şekli ve Boyutları	29
2.6.1.7.	Isıl İşlem	29
2.6.2.	Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler	30
2.6.3.	Ortama Bağlı Faktörler	31
2.6.4.	İşletmeye Bağlı Faktörler	32
2.6.4.1.	Yağlama	32
2.6.4.2.	Zaman	32
2.6.4.3.	Yük	32
2.6.4.4.	Hız	33
2.6.4.5.	Kayma ve Kayma Mesafesi	34
3.	SEMENTASYON ÇELİKLERİ	35
3.1.	Sementasyon Çeliğinin Tanımı ve Özellikleri	35
3.2.	Sementasyon Çeliğinin Özellikleri	36
3.3.	Sementasyon İşlemi	37
3.4.	Sementasyon Metotları	42
3.4.1.	Kutu Sementasyonu (Katı ortamda sementasyon)	42
3.4.2.	Gaz sementasyonu	45
3.4.3.	Tuz Banyosunda Sementasyon	48
3.5.	Sertleştirme Yöntemleri	52
3.5.1.	Direkt Sertleştirme	52
3.5.2.	Basit Sertleştirme	53
3.5.3.	Basit Sertleştirme (Ara Tavından Sonra)	53
3.5.4.	Basit Sertleştirme (İzotermik Dönüşümden Sonra)	54
3.5.5.	Çift Sertleştirme	54
3.5.6.	Menevişleme	55

3.6. Sementasyon Derinliğine, Yüzey Sertliğine ve Çekirdek Sertliğine Etki Eden Faktörler	55
3.6.1. Sementasyon derinliği	55
3.6.2. Yüzey sertliği	57
3.6.3. Çekirdek sertliği	59
4. SOĞUK ÇEKME İŞLEMİ	61
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	65
5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	65
5.2. Numunelerin Soğuk çekme İşlemi	66
5.3. Numunelerin Sementasyon Isıl İşlemi	66
5.4. Metalografik İncelemeler	67
5.5. Mikro Yapı Karakterizasyonu	67
5.6. Sertlik Ölçümü	67
5.7. Aşınma Deneyi	68
6. SONUÇLAR	69
6.1. X Işınları Difraksiyon Analizi	69
6.2. Mikrosertlik ve Etkili Sementasyon Derinliği Değerlendirmeleri	82
6.3. Aşınma Deneyleri Sonuçları	106
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	114
7.1. Sonuçlar	114
7.2. Öneriler	117
8. KAYNAKLAR	118
9. ÖZGEÇMİŞ	123

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

mm	milimetre
µm	mikrometre
HV	Vickers Sertliği
Wa	Aşınma Oranı (mm ³ /Nm)
Wr	Aşınma Direnci
G	Ağırlık Kaybı (mg)
d	Yoğunluk (mg/ mm ³)
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
Ms	Martensit Başlama Sıcaklığı
Mf	Martensit Bitiş Sıcaklığı
SAE	Society of Automotive Engineering (Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği)
DIN	Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü)
TS	Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Tribolojik sistemin şematik gösterimi	15
2.2. Sert bir malzemenin yumuşak bir malzemedan abrasif aşınma parçalarını alışı	19
2.3. Çarpma hızının erozyon aşınmasına etkisi	21
2.4. Kütlesel sertliğin abrasif aşınma direncine etkisi	25
2.5. Alaşımsız çeliklerde karbon içeriğine bağlı olarak sertlik ve aşınma direncinin değişimi	26
2.6. Saf metallerde elastisite modülü ile bağlı aşınma direnci arasındaki ilişki	26
2.7. Şekil Farklı deformasyon sertleşmesi üssü "n" değerlerine sahip iki malzemenin şematik $\log \sigma - \log \epsilon$ grafikleri	27
2.8. Gerçek ve geometrik temas yüzeyleri	28
2.9. Kuru zımpara üzerinde aşındırıcı ortalama tane çapı ile aşınmanın değişimi	30
2.10. Aşınma miktarının yükle değişimi	33
2.11. Hızın aşınma miktarına etkisi	33
2.12. Kayma hızı ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki	34
3.1. Demir karbon denge diyagramı	40
3.2. Başlangıçta % 0.20 miktarında karbon içeren çelik parçasının sementasyon sonrasında yüzeyinden çekirdeğe doğru meydana gelen mikroyapı değişimleri	41
3.3. Sementasyon sıcaklığı ve sementasyon süresine bağlı olarak sert doku derinliğindeki değişim	44
3.4. Yoğunlaşma sıcaklığı ve nem miktarı arasındaki ilişki	47
3.5. 925 °C 'de yapılan sementasyon işleminde, gaz karışımındaki CO miktarı % 20 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının ve H ₂ miktarının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri	47
3.6. Gaz karışımındaki CO miktarı % 20 ve H ₂ miktarı % 40 olarak sabit iken yoğunlaşma sıcaklığının ve sementasyon sıcaklığının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri	48
3.7. Sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme	52
3.8. Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra sertleştirme	53

3.9. Ara tavidan sonra sertleştirme	53
3.10. İso termik dönüşümden sonra sertleştirme	54
3.11. Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra çift sertleştirme	54
3.12. Değişik çaplarda 12NiCr6 sementasyon çeliğinin, 900°C'de kutu sementasyonu yapıldıktan sonra 780 °C den suda basit sertleştirilmesi ile elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri	56
3.13. Değişik çaplarda 13NiCr6 sementasyon çeliğinin, 900°C'de kutu sementasyonu yapıldıktan sonra 820 °C den yağda basit sertleştirilmesi ile elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri	56
3.14. Demir-karbon alaşımlarında, karbon miktarına bağlı olarak martenzit yapıda artık östenit değişimi	58
3.15. Martenzit yapıdaki çeliklerde karbon miktarının sertliğe etkisi	58
3.16. 13NiCr6 sementasyon çeliğinin 925 °C de değişik sürelerde kutuda sement edildikten sonra yağda direkt sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri	59
3.17. 13NiCr6 sementasyon çeliğinin 925 °C de değişik sürelerde kutuda sement edildikten sonra yağda basit sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri	59
3.18. Ck 15 çeliğinde sementasyon sıcaklığından (925°C) direkt sertleştirme sonucu elde edilen çekirdek sertlikleri	60
3.19. Ck 15 çeliğinde sementasyon sıcaklığından (830°C) direkt sertleştirme sonucu elde edilen çekirdek sertlikleri	60
3.20. Ck 15 çeliğinde sementasyon sıcaklığından (770°C) direkt sertleştirme sonucu elde edilen çekirdek sertlikleri	60
4.1. Soğuk çekme işlemi	61
4.2. Çubuk soğuk çekme işleminin şematik gösterimi	62
6.1. Sıcak haddelenmiş 1 saat, 2 saat, 3saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 8620 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları	73
6.2. Soğuk çekilmiş 1 saat, 2 saat, 3saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 8620 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları	75
6.3. Sıcak haddelenmiş 1 saat, 2 saat, 3saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 16MnCr5 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları	77
6.4. Soğuk çekilmiş 1 saat, 2 saat, 3saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 16MnCr5 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları	79
6.5. SAE 8620 sıcak haddelenmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri	84

6.6. SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	87
6.7. SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	87
6.8. SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	88
6.9. SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	88
6.10. SAE 8620 soğuk çekilmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri	89
6.11. SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	93
6.12. SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	93
6.13. SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	94
6.14. SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	94
6.15. 16MnCr5 sıcak haddelenmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri	95
6.16. 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	98
6.17. 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	98
6.18. 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	99
6.19. 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	99
6.20. 16MnCr5 soğuk çekilmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri	100
6.21. 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	104
6.22. 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	104
6.23. 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı	105

- 6.24. 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı 105
- 6.25. Sıcak haddelenmiş ve sement edilmiş SAE 8620 numunelerin aşınma oranları 108
- 6.26. Soğuk çekilmiş ve sement edilmiş SAE 8620 numunelerin aşınma oranları 109
- 6.27. Sıcak haddelenmiş ve sement edilmiş 16MnCr5 numunelerin aşınma oranları 110
- 6.28. Soğuk çekilmiş ve sement edilmiş 16MnCr5 numunelerin aşınma oranları 111

TABLOLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Adhesif aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi	17
2.2. Isıl işlemlerle sertliğin ve aşınma miktarının değişimi	29
2.3. Değişik sıcaklıklarda bazı metallerin aşınma davranışları	31
3.1. Sementasyon çeliklerinin sınıflandırılması	35
3.2. Sementasyon çelikleri ve çeşitli standartlardaki karşılıkları	37
3.3. C15 çeliğinde aynı banyo konsantrasyonunda gerçekleştirilen sementasyon işlemlerinde sıcaklık ve zamanın sementasyon derinliğine etkisi	50
3.4. Sementasyon derinliğinde sıcaklık - yayınma derinliğini gösteren katsayı arasındaki ilişki	52
3.5. 100 mm çaplı değişik kaliteli çelik parçalarda 1.5 mm'lik sementasyon derinliğinin sağlanabilmesi için gerekli sementasyon zamanları	57
5.1. Deney numunelerinin kimyasal kompozisyonları ve standart kimyasal kompozisyon aralıkları	65

1. Giriş

1.1. Giriş

Kainatta hiçbir şey ilk günkü gibi kalmaz, sürekli bir değişim içerisinde. Bu değişime aşınma mekanizmalarının etkisi büyüktür. Deniz kenarında dalgalar sebebiyle oluşan kıyı erozyonu, çöllerde rüzgar nedeniyle olan rüzgar erozyonu tabiatın kendi mekanizmalarıyla oluşturduğu aşınmalara birer örnek olarak gösterilebilir. Aşınmayı gündelik yaşamın her aşamasında görmek mümkündür. Giyilen giysi ve ayakkabıların zamanla yıpranmasında, kullanılan eşya ve mobilyaların hızla eskimesinde, bıçakların ve diğer kesici aletlerin körelmesinde ve daha birçok alanda aşınma olayı gözlemlenmektedir.

Parçaların yüzeylerinde, parçalar arasındaki mekanik, fiziksel ve kimyasal etkenler sonucunda mikroskobik parçacıkların kopması sonucu oluşan malzeme kaybı ve istenmeyen yüzey değişikliği olarak tanımlanan aşınmanın tarihi insan nesli kadar eskidir.

İlk kez Sümer ve Mısır uygarlıklarında incelenen aşınma daha sonraki zamanlarda Rönesans devrinde Leonardo da Vinci (1452-1519) ve G. Amontons (1663-1705) tarafından incelenerek ana prensipleri ortaya konmuştur. Farklı mekanizmalarla gerçekleşen farklı aşınma tipleri madencilik, tarım, makine, otomotiv, yapı sektörü gibi birçok endüstri alanında makine elemanlarının ve mühendislik malzemelerinin ömrünü önemli ölçüde azaltarak büyük ekonomik (iş, zaman, malzeme v.b) kayıplara neden olmaktadır [Erdem, 2006].

Aşınma sonucu makine elemanlarının şekillerinde, yüzey yapılarında ve boyutlarında önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişikliklerin sonucunda da makine parçaları fonksiyonlarını yapamaz hale gelmektedirler. Aşınma sonucu olarak meydana gelen malzeme kayıpları, aşınan parçaların yenileriyle değiştirilme zorunluluğu (yedek parça zorunluluğu), makinelerin bakım - onarım faaliyetleri için harcanan zaman ve emek ve bu faaliyetler için istihdam edilen teknik personel ve makinelerdeki randıman kayıpları da göz önüne alınırsa dünya

ekonomisine milyarlarca dolarlık oldukça büyük yükler getirmektedir [Baykara, 1998, Çelik ve ark., 2007, Delikanlı ve ark., 2003].

“Makine parçalarında ortaya çıkan başlıca hasar nedenlerini insana bağlı nedenler ve teknik esaslara bağlı nedenler olarak iki ana kısımda toplamak mümkündür. % 62'lik kısmı oluşturan insana bağlı nedenler

1. %20 Hatalı bakım
2. % 15 hatalı dizayn
3. % 14 Uygun olmayan çalıştırma
4. % 6 Bilgisiz personel
5. % 7 diğer nedenler şeklindedir.

% 38'lik kısmı oluşturan teknik esaslara bağlı nedenler ise

1. % 11 Yıpranma
2. % 21 Makinenin aşırı çalışması
3. % 6 Diğer nedenler şeklindedir. Görüldüğü gibi % 38'lik teknik esaslara bağlı nedenlerin % 11'ini aşınma, korozyon, ısıl işlemler ve diğer etkenlerin oluşturduğu yıpranma oluşturmaktadır” [Baykara, 1998].

“Dünyada yıpranmanın neden olduğu yıllık kaybın 200 Milyar DM olduğu tahmin edilmektedir. Almanya'da aşınmadan dolayı meydana gelen zararın yıllık 5 Milyar DM olduğu tahmin edilmektedir. Bu maliyetin endüstriye göre dağılımı ise

1. Metalürji	2.0 Milyar DM
2. Madencilik	1.5 Milyar DM
3. Plastik İmalat Sanayi	0.5 Milyar DM
4. Diğerler	1.0 Milyar DM

şeklindedir” [Baykara, 1998].

“Aşınma probleminin çözümü ile uğraşan Triboloji bilimi, ilk defa İngiltere Hükümet Komitesi tarafından ele alınmıştır. Komite, İngiltere endüstrisinde triboloji

prensiplerinin uygulanması durumunda elde edilecek ekonomik kazanç araştırması yapmıştır. İngiltere'de 1996'dan sonra enerji maliyetindeki artışı dikkat alarak komitenin yapmış olduğu diğer bir araştırma endüstrideki tribolojik tasarımlar ile elde edilen enerji tasarrufu üzerine olmuştur. Komite, araştırmalarına göre enerji tasarrufunun,

Enerjinin Doğrudan Tasarrufu

- Sürtünme ile harcanan enerjinin tasarrufu
- Yenilenen parçaları üretmek için gerekli olan enerjinin tasarrufu

Enerjinin dolaylı tasarrufu

- Doğrudan tasarruflar sonucu elde edilen tasarruflar; Sürtünme kayıplarını dengelemek için gerekli olan tesislerdeki ilk yatırım maliyeti olmak üzere iki yoldan sağlanabileceğini belirtmiştir” [Baykara, 1998].

Malzemelerin aşınma sebeplerini ve mekanizmalarını doğru bir şekilde anlayabilmek için aşınma olayına etki eden ana faktörleri, yani aşınan malzemeyi, aşındırıcı malzemeyi, yağlama durumunu, izafi hareketi ve yük durumunu bilmek gerekir. Bu faktörler bilindiği takdirde aşınma problemine çözüm bulunabilir.

Aşınma malzemeye ait spesifik bir özellik olmayıp, malzemenin kullanıldığı mühendislik sisteminin bir özelliğidir. Bunun için her çalışma ortamında yüksek aşınma direnci gösterecek bir malzeme üretmek hem zordur hem de ekonomik değildir. Bu probleme getirilebilecek en iyi çözümlerden bazıları; çalışma şartlarına uyum gösteren malzeme seçimi, sertlik ve mikroyapı optimizasyonunun sağlanması olarak sayılabilir [Erdem, 2006, Delikanlı ve ark., 2003].

Aşınma direncini etkileyen birçok faktör deneysel çalışmalar neticesinde ortaya konulmuştur. Bu çalışmalar incelendiğinde aşınma direncini olumlu yönde etkileyen faktörlerin başında malzeme sertliği gelmektedir. Sertliğin etkili bir şekilde artırılması çeliğin karbon oranının artırılması, uygun alaşım elementlerinin ilavesiyle katı eriyik mukavemetleşmesini sağlanması ya da malzemeye uygun ısıtıl işlem prosesinin gerçekleştirilmesi ile sağlanabilir.

Çelikler, üstün mekanik özellikleri, talaşlı ve talaşsız imalata yatkınlıkları ve alternatif diğer malzemelere kıyasla daha ucuz olmaları nedeniyle, günümüzde en yaygın olarak kullanılan mühendislik malzemeleridir. Çelikler özellikle abrasiv aşınmaya maruz kalan makine parçalarının üretiminde, dişli üretiminde, piston üretiminde, otomotiv sektöründe, yapı sektöründe ve mühendisliğin çeşitli alanlarında geniş kullanım alanına sahiptir. Bu nedenle aşınmaya karşı daha dirençli çeliklerin üretilmesi gittikçe önem kazanmaktadır.

Çeliklerin karbon oranı düştükçe, sertliklerindeki azalmaya paralel olarak işlenmeye karşı dirençleri düştüğü için özellikle talaşlı imalat sanayinde kullanımları kolaylaşmaktadır. Düşük karbonlu çelik kullanımının sakıncası parçanın kullanım esnasında istenilen sertliği vermemesidir. Bu durumda yapılacak işlem çeliğin yumuşaklığından faydalanıp parçayı işlemek ve şekillendirmek, sonraki aşamalarda da uygun yöntemlerle sertliklerini arttırmak olacaktır. Bu durumun aksine yüksek karbon oranına sahip yüksek sertlikteki çeliklerin kullanımı ise talaşlı şekillendirmelerinin zorlaşması, diğer şekillendirme yöntemlerinden olan dövme, ekstrüzyon, haddeleme gibi proseslerde yüksek şekillendirme kuvvetlerine dolayısıyla yüksek enerjiye ihtiyaç duyulup parça üretim maliyetlerinin artmasına yol açması bakımından ve de yüksek karbonlu çeliğin üretim maliyetlerinin yüksek olması bakımından dezavantajlar getirmektedir.

Yüzeyi sert ve aşınmaya dayanıklı, buna karşılık tok bir çekirdek arzu edildiğinde, çeliklerde sadece yüzeyin sertleştirilmesine gidilir. Bunun için, yüzeyde belirli bir derinliğe kadar sertleşme sağlayan yöntemler geliştirilmiştir. Yüzeyin sertleştirilmesinde, normal şartlarda yeterli düzeyde sertlik elde edilemeyen çeliklerin yüzeylerine karbon emdirilerek sertleştirme yapılabilir (Sementasyon) veya yüzeyine sertlik arttırıcı element atomları nüfuz ettirilebilir (nitrasyon, borlama). Ayrıca, yüksek sertleşme kabiliyeti olan çeliklerin yüzeyinde arzu edilen sertleşme derinliğine kadar olan bölgeleri östenitleştirme sıcaklığına ısıtılarak ve ardından ani soğutma yapılarak yalnızca bu bölgelerinin sertleştirilmesi yapılabilir (Alevle ya da indüksiyonla yüzey sertleştirme) [Özkaya,1996, Dağlılar,1984, Çelik ve ark.,2007, Delikanlı ve ark., 2003].

Yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, merkezde ise daha sünek ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı olması istenen dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklavaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler gibi parçaların imalinde genel olarak karbon oranı % 0.20'nin altında olan düşük karbonlu alaşımsız veya alaşımlı sementasyon çelikleri kullanılmaktadır.

Kolayca işlenebilir özelliğe sahip düşük karbonlu sementasyon çeliklerinin yüzey tabakaları uygun bir ortamda ve uygun bir yöntemle karbon emdirilmesi ve bunu takip eden sertleştirme işlemlerine tabi tutulurlar. Bu işlemler neticesinde çeliğe sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzey kazandırılır. Yüzeyi sertleştirilmiş çeliğin çekirdeğinin nispeten yumuşak ve tok olması parçanın yüksek darbe mukavemetine sahip olmasına neden olur.

Sementasyon işlemi parça kısmen veya tamamen şekillendirildikten sonra uygulandığı için, parçanın işlenmesinde kolaylık sağlamaktadır. Sementasyon işlemiyle parçanın yüzeyinde sonradan işlenecek, sertleşmesi istenmeyen bölgeler var ise, bu bölgelerin özel pasta veya elektrolitik bakır ile kaplanarak örtülmesiyle sementasyon işleminin bu kısımlara tesir edememesi sonucu sementasyon sonrası bu bölgelerde ve çeliğin sünek özellikler taşıyan iç kısımlarında işleme kolaylığı sağlanabilmektedir.

Ayrıca yüzeyde aynı sertliği verebilecek, çoğu zaman takım çeliği durumundaki yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuz olması sementasyon çeliklerinin kullanımını yüksek karbonlu çeliklerin kullanımına göre avantajlı kılmaktadır.

1.2. Literatür Özeti

Endüstride çok yaygın olarak kullanılan SAE 8620 ve 16MnCr5 sementasyon çeliklerinden yapılan parçalarda sementasyon işlemlerinden sonra parçaların mekanik ve metalürjik özelliklerindeki değişimler hakkında birçok çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda SAE 8620 ve 16MnCr5 çelikleri ile ilgili olarak gerçekleştirilen bazı çalışmalar hakkında özet bilgiler verilmiştir.

Asi (2001), SAE 8620 çeliğinde yüksek sıcaklıktaki sementasyon işleminin malzemenin yorulma dayanımına etkisini incelemiştir. 940 °C ve 980 °C karbonlama sıcaklıklarında gaz atmosferinde ve 940 °C ve 1050 °C tuz banyosundaki karbonlama işleminden sonra 850 °C den direkt su verilen numunelerin dönen eğmeli gerilmeli yorulma deney makinesinde yorulma limitleri incelenmiştir. Gaz atmosferinde 980 °C de karbonlama işlemi gören numunelerin yorulma dayanımlarının kabuk bölgesinde karbürlerin, martensitik olmayan mikroyapıların ve daha düşük artık bası gerilmelerinin meydana gelmesi nedeniyle 940 °C de karbonlama işlemi gören numunelere göre daha düşük çıktığı belirtilmiştir. Tuz banyosunda karbonlama işleminin gerçekleştirildiği numunelerin yorulma dayanımlarında numunelerin yüzeylerinde meydana gelen artık bası gerilme değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle önemli farklar olmadığı belirtilmiştir [Asi, 2001].

O. Asi, D.Asi (2003), SAE 8620 çeliğinde 940 °C de gaz atmosferinde farklı karbonlama sürelerinde gerçekleştirilen sementasyon işlemleri sonucu meydana gelen kalıntı gerilmeleri incelemiştir. Yapılan çalışmada tüm numunelerin yüzey ve yüzey altı bölgelerinde basma kalıntı gerilmelerinin meydana geldiği ve sementasyon derinliğinin artmasının basma kalıntı gerilmelerinin düşmesine neden olduğu belirtilmiştir [Asi ve Asi, 2003].

Sönmez (1996), SAE 8620 çeliğinde 930 °C de 70 dakika ve 90 dakika gaz atmosferinde yapılan sementasyon işlemi ile elde edilen yüzey sertlik derinliğinin eğmeli yorulma mukavemetine etkisini incelemiştir. Döner eğme gerilmeli yorulma deney sonuçlarından yorulma mukavemetinin gaz sementasyonu ile yapılan ısıtma işlemi

süresine bağlı olarak artan sertlik derinliği ile yakından alakalı olduğu belirtilmiştir. Numunelerin yüzeylerinin sertleştirilmesi ile yorulma mukavemetlerinde artan sertlik derinliğine paralel olarak % 208 e varan artışlar elde edildiği belirtilmiştir [Sönmez, 1996].

Özkaya (1996), SAE 8620 çeliğinde KCN tuz banyosunda 890 °C ve 910 °C de farklı sürelerde gerçekleştirilen sementasyon işlemi ile elde edilen yüzey sertlik derinliğinin eğmeli yorulma mukavemetine etkisini incelemiştir. Yüzey sertleştirme işlemi yapılan numunelerde sertleştirme derinliği arttıkça yorulma dayanımlarında % 254,8 e varan artışlar elde edildiği belirtilmiştir [Özkaya, 1996].

Asi (2004), SAE 8620 çeliğinde 940 °C de farklı sürelerde gaz atmosferinde yapılan sementasyon işlemleri sonucunda meydana gelen kalıntı östenit miktarlarını incelemiştir. Kalıntı östenit miktarının artması sonucu yüzey sertliklerinin düştüğü belirtilmiştir [Asi, 2004].

Karagöz (2007), SAE 8620 çeliğinde siyanür tuz banyosunda 860 °C de farklı sürelerde yapılan sementasyon işlemi ile difüzyon ve sertlik derinliğini arttıracak ısı işlem koşullarını incelemiştir. Yapılan çalışmada sertliklerin yüzeyde en yüksek olduğu ve yüzeyden çekirdeğe doğru azaldığı, karbürleme sıcaklığının artması ile karbürleme süresinin azaldığı, karbürleme süresin artması ile sementasyon derinliğinin arttığı belirtilmiştir [Karagöz, 2007].

Gürer (1988), karbürlenmiş SAE 8620 çeliğinde yüzeylerde meydana gelen kalıntı östenitin aşınma direncine olan etkisini incelemiştir. 925 °C de gaz atmosferinde farklı sürelerde gerçekleştirilen sementasyon işlemlerinden sonra numuneler 120 mesh zımpara kağıdı kullanılarak sabit bir yükte dönen bir disk ile aşındırılmış ve ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Deney sonuçlarına göre % 30 miktarına kadar kalıntı östenitin aşınma direncini arttırdığı belirtilmiştir [Gürer, 1988].

Pamuk (2001), 8620 sementasyon çeliğinin merkezinde çift fazlı çelik yapısının üretimi ve bu yapıda % 25 ve % 50 martensit hacim oranlarında martensit parçacık boyutundaki değişimin çekme özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Merkezinde çift fazlı çelik yapısı içeren % 25 martensit hacim oranına sahip numuneler, merkezinde martensitik yapı içeren numunelere göre biraz düşük akma ve çekme dayanımı ancak oldukça yüksek toplam uzama sergilediği belirtilmiştir. Merkezinde çift fazlı çelik yapısı ve % 25 ve % 50 martensit hacim oranı içeren numunelerde martensit parçacık boyutu küçüldükçe çekme özelliklerinin iyileştiği belirtilmiştir. Karbürleme işleminden sonra karbürleme sıcaklığından direkt su verilen numunelerde akma ve çekme dayanımının yüksek sünekliğin çok düşük olduğu belirtilmiştir. Merkezinde çift fazlı çelik yapısının üretildiği numunelerde martensit hacim oranı arttıkça akma ve çekme dayanımının yükseldiği belirtilmiştir [Pamuk, 2000].

Tabur (2003), farklı ısıt işlemlerdeki SAE 8620 sementasyon çeliğinin abrasif aşınma davranışlarını incelemiştir. Değişik ısıt işlemler uygulanarak hazırlanan numuneler farklı sementasyon derinliği ve farklı yüzey sertliklerine sahip olmuşlardır. Farklı sementasyon derinliğine ve yüzey sertliğine sahip numuneler pim disk abrasif aşınma test cihazı kullanılarak farklı yüklerde ve farklı aşınma yollarında alüminyum oksit ve silisyum karbür aşındırma kağıtlarıyla abrasif olarak aşındırılmıştır. Yüksek yüzey sertliği kazandırılan numunelerin aşınma dirençlerinin yüksek olduğu, aşındırıcı malzemenin sertliğinin aşınma direncini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir [Tabur, 2003].

Çelik (1995), SAE 8620 çeliğinin yorulma limiti üzerine sementasyon işleminin etkisini incelemiştir. 950 °C de NaCN tuz banyosunda farklı sürelerde gerçekleştirilen sementasyon işleminden sonra numuneler dönen eğmeli yorulma deneyine tabi tutulmuşlardır. Sementasyon süresi arttıkça sementasyon derinliğinin arttığı, sementasyon işlemi sonucu numunelerin yorulma limitlerinde artışların meydana geldiği, sementasyon süresi sabit kalmak şartı ile temperleme sıcaklığı yükseldikçe yorulma limitlerinin düştüğü belirtilmiştir [Çelik, 1995].

Baykara (1998), 16MnCr5 sementasyon çeliğinde farklı sıcaklık ve sürelerde gerçekleştirilen sementasyon işleminde yüzey pürüzlülüğü ve sementasyon derinliğinin aşınma direncine etkisini incelemiştir. Farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip aşınma numuneleri 930 °C de sementasyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Semente edilmemiş numunelerin semente işlemi görmüş numunelere göre çok daha çabuk ve daha çok miktarda aşındığı, yüzey pürüzlülük değerlerinin aşınmanın ilk aşamalarında etkili olduğu ancak belli bir süre sonra etkisini kaybettiği, abrasif aşınma mekanizmasının etkili olduğu tribolojik sistemlerde aşınma dayanımının daha çok sementasyon şartlarından etkilendiği belirtilmiştir [Baykara, 1998].

Belevi, Eş (2007), 16MnCr5 sementasyon çeliğinden yapılmış silindirlerin kaymalı yuvarlanma koşullarında aşınma karakteristiklerini incelemiştir. Bu çalışmada yüzeyi işlem görmemiş ve yüzeyi 930 °C de gaz atmosferinde gerçekleştirilen sementasyon işlemiyle sertleştirilmiş disklerin kuru ve yağlı kayma-yuvarlanma koşulları altında aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma deneyleri farklı kayma-yuvarlanma oranlarıyla ve farklı yükler altında disk/disk test cihazıyla yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yüzeyi sertleştirilmiş disklerde kayma oranının artmasıyla aşınmanın kademeli olarak şiddetlendiği belirtilmiştir. Ek olarak yüzeyi sertleştirilmiş disklerin sertleştirilmemiş disklere göre çok daha az aşındığı yüzey sertleştirilmenin aşınma direncini arttırmada etkili bir yöntem olduğu belirtilmiştir [Belevi ve Eş, 2007].

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, endüstride tok olan iç kısımları sayesinde darbeleri karşılayabilirken sertleştirilmiş yüzeyleri ile aşınmaya karşı daha dirençli hale getirilip uzun çalışma ömrüne sahip, yüksek mukavemet gerektiren dişliler (oto şanzıman dişlileri),burçlar, miller, güç aktarma organları gibi parçaların yapımında kullanılan SAE 8620 (21NiCrMo2) ve dişli çarklar, şanzıman dişlileri gibi parçaların yapımında kullanılan ve SAE 8620 ye göre daha ucuz olan 16MnCr5 sementasyon çelikleri kullanılmıştır.

SAE 8620 ve 16MnCr5 çelikleri sahip oldukları yüksek mekanik özellikleri ve diğer alaşımlı sementasyon çeliklerine kıyasla daha ucuz olmaları bakımından piyasada en çok kullanılan sementasyon çelikleridir. Bu bakımdan sementasyon işleminin aşınma direncine etkisinin araştırıldığı bu çalışmada SAE 8620 ve 16MnCr5 çelikleri tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın amacı endüstride en çok kullanılan SAE 8620 ve 16MnCr5 sementasyon çeliklerinde farklı sürelerde uygulanan sementasyon işlemlerinin malzemelerin aşınma dirençlerine olan etkisinin incelenmesidir.

Bu çalışmada endüstride sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş olarak temin edilebilen SAE 8620 ve 16MnCr5 sementasyon çeliklerinde uygulanan sementasyon işlemlerinin malzemelerin yüzey sertliklerinde meydana getireceği değişikliklere paralel olarak malzemelerin abrasif aşınma dirençlerinde meydana getireceği değişimlerin incelenmesi amaçlanmaktadır.

Bu amaçla sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş olarak temin edilen SAE 8620 ve 16MnCr5 deney numuneleri Sodyum Siyanür (NaCN) tuz banyosunda 920 °C sıcaklıkta 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat süreyle semente edilmiş ve Tungsten Karbür (WC) bilya ile 1 saat süreyle abrasif olarak aşındırılmıştır.

Yapılan bu çalışma ile bilgi edinmek istediğimiz başlıca konular şunlardır:

- Malzemelerde sementasyon işleminin etkili bir şekilde gerçekleştirilip yüzeylerde martensit fazının elde edilip edilemeyeceği
- Sementasyon sürelerine bağlı olarak yüzey sertliklerinde meydana gelecek olan değişimler
- Sementasyon sürelerine bağlı olarak etkili sementasyon derinliklerinde meydana gelecek olan değişimler
- Sementasyon sürelerine bağlı olarak aşınma dirençlerinde meydana gelecek olan değişimler
- Semente edilmemiş sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş numunelerin aşınma dirençlerinde meydana gelecek olan değişimler.

Literatür özeti incelendiğinde yapılan çalışmaların SAE 8620 çeliği üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. SAE 8620 ve 16MnCr5 çeliklerinin aynı sementasyon ve aşınma şartlarındaki davranışlarını aynı çalışma içerisinde karşılaştıran bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu bakımdan yapılan bu çalışmanın SAE 8620 ve 16MnCr5 sementasyon çeliklerinin aynı çalışma içerisinde aynı sementasyon ve aşınma şartları altındaki davranışlarının karşılaştırılması bakımından önemli olacağı düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışmanın diğer bir önemi ise; sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş SAE 8620 ve 16MnCr5 sementasyon çeliklerinin sementasyon ve aşınma davranışlarının aynı çalışma içinde karşılaştırılması olacaktır.

Literatür özeti incelendiğinde SAE 8620 ve 16MnCr5 çelikleri üzerinde yapılan çalışmalarda, gaz atmosferinde ve sıvı ortamda gerçekleştirilen karbonlama işlemlerinin numunelerin yorulma mukavemetlerinde, numunelerin yüzeylerinde meydana gelen kalıntı östenit miktarlarında, numunelerin yüzeylerinde meydana gelen artık gerilmelerde meydana gelen değişimler üzerine yoğunlaşmıştır. Aşınma deneylerinde farklı sertlikte ve farklı aşındırıcı tane boyutuna sahip zımpara kağıtları kullanılmıştır. Bu çalışmada ise tuz banyosunda gerçekleştirilen karbonlama

işlemlerinin numunelerin yüzey sertliklerinde ve etkili sementasyon derinliklerinde meydana getireceği değişimler ve Tungsten Karbür (WC) bilye ile gerçekleştirilen aşınma deneylerinde meydana gelen ağırlık kayıpları üzerine yoğunlaşmıştır. Literatürden farklı olarak bu çalışmada sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş numuneler bir arada kullanılmıştır. Literatür özeti incelendiğinde soğuk çekilerek yüzey sertliği arttırılan numunelerin aşınma oranlarının sıcak haddelenmiş numuneler ile karşılaştırıldığı bir çalışma olmadığı görülmektedir. Bu bakımdan bu çalışmanın, piyasada sıklıkla soğuk çekilmiş olarak da temin edilebilen sementasyon çeliklerinde soğuk çekim işleminin yüzey sertliği ve aşınma direnci üzerine etkisinin incelenmesi bakımından önemli olacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma tamamlandığında okuyucuların yaygın olarak kullanılan karbonlama ortamları, sertleştirme yöntemleri ve sementasyon çelikleri hakkında, aşınma mekanizmaları, aşınmayı etkileyen faktörler, aşınma ölçüm yöntemleri ve soğuk çekim prosesi hakkında genel bilgilere sahip olabilecekleri düşünülmektedir.

2. AŞINMA ve ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

2.1. Aşınmanın Tanımı

En genel manada aşınma, birbiriyle temas halinde ve izafi hareket içinde olan parçalar arasındaki mekanik, fiziksel ve kimyasal etkenler sonucunda malzeme yüzeylerindeki oksit filmlerinin veya yağlayıcıların çalışma sırasında koruyucu işlevlerinin bozulmasından dolayı birbirleriyle direkt temas haline geçen yüzeylerden mikroskobik parçacıkların kopmasıyla oluşan malzeme kaybı ve istenmeyen yüzey değişikliği olarak tanımlanabilir [Karaoğlu, 2006, Özkaya,1996, Sarı,1999].

“Moore'a göre aşınma; Kullanılan malzemelerin yüzeylerine gaz, sıvı ve katıların teması neticesinde çeşitli etkenlerle malzemenin yüzeyinden mikro tanelerin kopması sonucu meydana gelen yüzey bozulması olarak tanımlanmıştır” [Erdem, 2006].

“DIN 50320'ye göre aşınma, "Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen sürekli ilerleyen malzeme kaybı ve istenilmeyen yüzey bozulmasıdır” [Özkaya, 1996, Sarı,1999].

Genel olarak aşınma; yataklarda, frenlerde, pistonlarda, dişlilerde, kırma ve öğütme değirmenlerinde, yol, toprak ve ziraat makinelerinde, türbin kanatlarında, maden cevheri üretim cihazlarında ve bu gibi yerlerde meydana gelmektedir.

Aşınmadan söz etmek için; mekanik bir etkinin olması, sürtünmenin olması, istenilmediği halde meydana gelmesi, sürekli olması ve malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi gerekmektedir

“A.B.D.' de yapılan bir araştırma sonucunda, çeşitli aşınma mekanizmalarıyla meydana gelen malzeme kaybının mali değerinin yıllık yüz milyar dolar olduğu

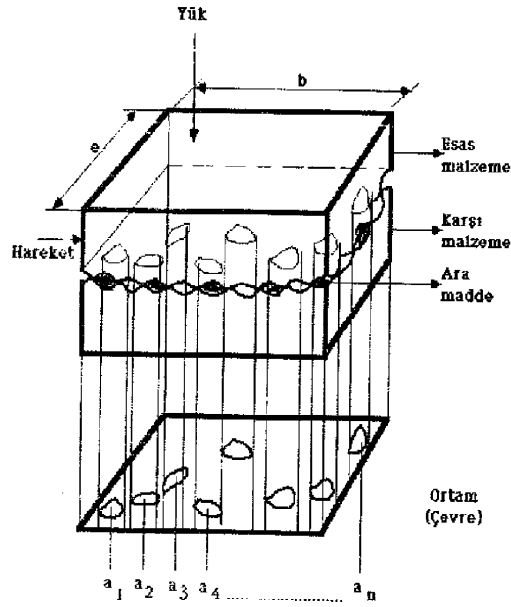
tespit edilmiştir. Bu da brüt milli hasılanın % 6-7'sini oluşturmaktadır” [Erdem, 2006].

Dünya endüstrisi her yıl aşınmadan dolayı milyarlarca dolar değerindeki makine parçasını hurdaya atmaktadır. Endüstrinin pek çok alanındaki tesislerin ve makinelerin etkin çalışmasını azaltan, güç kayıplarını ve yedek parça kullanım oranını arttıran aşınma olayı sonucunda duruş kayıpları, montaj ve demontaj süreleri ve randıman kayıpları da göz önünde bulundurulursa bu milyarlarca dolarlık kayıp katlanarak daha da artmaktadır. [Tabur, 2003]

2.2. Tribolojik Sistemler

Aşınan malzeme ve aşındıran malzeme çiftine aşınma çifti denir. Aşınma çifti ve ara malzemeye "aşınma kombinasyonu" denilmektedir. Aşınma çifti arasındaki ara malzeme sert taneli, sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma sırasında oluşan aşınma parçacıkları da ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılabilirler [Özkaya,1996, Sarı,1999].

Aşınma olayının spesifik bir malzeme özelliği olarak düşünülmesinden ziyade, olayın mühendislik sisteminin bütünlüğü içinde değerlendirilmesi gerekir. Bu sisteme teknikte tribolojik sistem denilmektedir. Triboloji; sürtünme, yağlama ve aşınma kavramlarını içine alan, karşılıklı etkileşen elemanlarda (esas malzeme, karşı malzeme, ara madde) hız, termal şartlar ve yükün bileşimiyle meydana gelen aşınma olayını inceleyen bilim dalıdır. Tribolojik sistem Şekil 2.1 de şematik olarak gösterilmiştir [Erdem, 2006, Sarı,1999].



Şekil 2.1 Tribolojik sistemin şematik gösterimi [Erdem, 2006]

2.3. Tribolojik sistemin elemanları

Esas malzeme (aşınan) : Fiziksel ve kimyasal özelliklerinin yanında, yüzey yapısı, şekli, durumu tamamen belli olan ve aşınması incelenen malzemedir.

Karşı malzeme (aşındıran) : Aşınmanın oluşmasında başlıca öneme sahip olan karşı sürtünme elemanıdır. Katı sıvı veya gaz halde olabilen karşı malzeme esas malzeme ile birlikte aşınma çiftini meydana getirir.

Ara malzeme: Esas sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar ya da bunların karışımı şeklinde bulunan maddedir

Yük: Aşınma olayına etki eden kuvvetin büyüklüğü, türü (statik, dinamik, darbeli veya titreşimli olup olmadığı), doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemenin şiddetini belirleyen etmenleri oluşturur.

İzafi hareket: Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre izafi hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma veya çarpma etkilerinden hangisinin ağırlıklı olduğu), büyüklüğü ve doğrultusu ile belirlenir.

Çevre (ortam) : Sistemi içine alan ve genellikle sıvı veya gaz halinde bulunan ortamdır [Erdem, 2006].

Bir aşınma sisteminin meydana gelebilmesi için yukarıda belirtilen unsurların bir arada bulunması gerekir.

Bir tribolojik sistemde birbirleriyle temas halinde olan iki cismin gerçek temas yüzeyi görünen temas yüzeyinden çok daha küçüktür. Çünkü temas eden yüzeyler ne kadar düzgün işlenirse işlensin yüzeylerde pürüz denilen çıkıntılar kalacaktır. Temas halindeki iki cisim bu pürüzler vasıtasıyla temas kurarlar. Pürüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalır [Erdem, 2006, Sarı, 1999].

2.4. Aşınma Mekanizmaları

2.4.1. Adhesif Aşınma

Temas halinde olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan kuru kayma yüzeylerinde daima mevcut olan bir aşınma türüdür. Birbiriyle temasta bulunan benzer kafes sistemine sahip iki metalik yüzey arasında adhezyon kuvveti denilen bir çekim kuvveti mevcuttur. Bu kuvvetin meydana gelebilmesi için malzemelerin moleküllerinin birbirine çok yaklaştırılması gerekir. Temas halinde bulunan iki metal birbiriyle yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşir. Malzeme ağırlığından dolayı veya herhangi bir dış kuvvetin etkisiyle çok küçük olan pürüzlerin tepelerine etki eden kuvvet çok büyük olacaktır. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Eğer malzemenin deformasyon kabiliyeti yüksek ise, mikro adhezyon alanları temas yüzeyine tamamen yayılacak ve böylece yüzeyde adsorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanacaktır. Sonuçta malzemelerin molekülleri doğrudan doğruya temas haline gelecek ve

bölgesel bir kaynak bağı oluşturacaklardır. Aşınma, metal-metal temas noktalarında soğuk kaynak oluşması sonucu meydana gelir. Kaynak olmuş temas noktası tamamen veya kısmen parçalandığında malzeme aşınma ürünü haline gelir ve kopan parçacıklar serbestçe düşebilir veya yüzeyler arasında kalarak abrasif aşınmaya neden olabilirler [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999, Turhan, 2001].

Adhesif aşınma mekanizmasında yüzeylerin karşılıklı fiziksel ve kimyasal etkileşimleri oldukça önemlidir. Kayma halinde yüksek basınçlara ek olarak temas noktalarında aşırı sıcaklık artışlarının da olması kaynak bağlarının oluşumunu kolaylaştırır. Oluşan bağ, malzeme yüzeyleri ne kadar temiz ise o oranda kuvvetli olacaktır. Nem, absorbe olmuş gazlar ve yağlayıcı maddelerin varlığı bağ kuvvetini azaltarak aşınmayı azaltır [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999].

Adhesif aşınma en çok birbirine benzer kristal kafes yapısına sahip malzemelerde görülür. Benzer kristal yapısına sahip metallerde hareket ve sürtünme sıcaklığın artmasına etki ederek yüzeylerde kaymayı kolaylaştırır. Tablo 2.1`de adhesif aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi özetle verilmiştir [Tabur,2003, Sarı,1999].

Tablo 2.1 Adhesif aşınmaya malzeme özelliklerinin etkisi [Tabur, 2003]

Özellikler	Adhesif Aşınma
Oksitli Yüzey	Az
Kristal Yapı Kübik	Az
Hekzagonal	Çok
Yüksek Deformasyon Sertleşmesi Üssü	Çok
Yüksek Sertlik	Az
Yüksek Elastisite Modülü	Az
Yüksek Ergime Noktası	Az
Yüksek Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı	Az
Küçük Atom Yarıçapı	Az

Eğer sürtünen malzemelerin yapıları farklı ise aşınma olayı adhezyonla başlamaz. Bu tip malzemelerde yüksek gerilme ve basıncın etkisi ile pürüzler birbirine geçerek plastik deformasyona uğrarlar. Malzemelerde birbirine göre izafi hareket başladığında zayıf olan malzemenin pürüzleri koparak serbest tanecikler meydana getirir. Sıcaklığın yükselmesi ile birlikte difüzyon artacak ve bölgesel kaynak bağları oluşacaktır. Difüzyon az ise kaynak bağları olmayacağından kırılan parçacıklar serbest hale geçeceklerdir [Erdem, 2006].

$$V = \frac{K(PS)}{Hm} \quad (2.1)$$

Adhezyon aşınmasında aşınma miktarı (2.1) bağıntısıyla hesaplanabilir. Burada V: mm³ cinsinden aşınma hacmini, S:mm cinsinden kayma mesafesini, P:kg cinsinden yükü, Hm; yumuşak malzemenin sertliğini ve K ise, 10⁻³ ile 10⁻⁷ arasında değişen aşınma katsayısını göstermektedir. K malzemelerin yüzey pürüzlülüğüne, uygulanan yüke, yağlama ve yüzeyin temizliğine bağlı olarak değişebilir. Genel olarak malzemelerin yüzey temizliği arttıkça K değeri artar. Yüksek yükler oksit tabakasının kırılmasına ve yağlayıcı maddenin daha fazla nüfuz etmesine sebep olduklarından dolayı K değerini artırır [Erhazar, 1992].

Adhesif aşınma miktarı uygulanan yük ve aşınmanın gerçekleştiği kayma mesafesi ile doğru orantılı aşındırılmış yüzeyin sertliği ile ters orantılıdır. Yağlama K değerini azaltmaktadır. Bu azalmanın miktarı, yağlayıcı maddenin temas eden metal yüzeylerini birbirinden ayırabilme kabiliyetine bağlıdır. Kötü bir yağlama geniş ölçüde temas meydana getirirken, iyi bir yağlama hemen hemen hiç temas izin vermez [Erhazar, 1992].

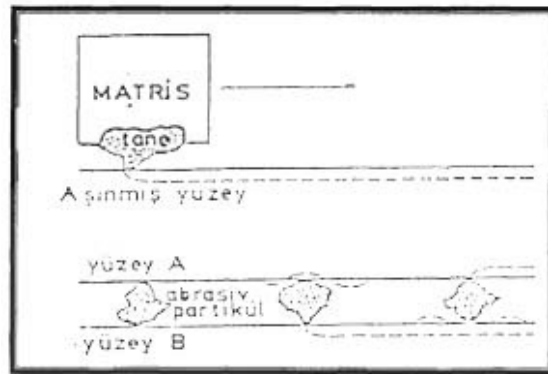
2.4.2. Abrasif Aşınma

Endüstriyel alanda en önemli aşınma mekanizması olan abrasif aşınmaya yırtılma veya çizilme aşınması da denilmektedir. Malzemede hızlı bir şekilde hasara neden olan önemli bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma biri diğerinden daha sert ve

daha pürüzlü olan metal yüzeylerinin birbirleriyle temas halindeyken kayması sırasında meydana gelen ve sürtünen sert yüzeylerin daha yumuşak malzemeleri kesmesi sonucu oluşan aşınma türüdür [Özkaya,1996, Sarı,1999, Turhan, 2001].

Abrasif aşınma mekanizmasında etkili olan temel faktörler, sertlik, aşındırıcı tane veya pürüzün boyutu ve şekli, uygulanan normal yük ve kayma hızı olarak sayılabilir.

Şekil 2.2`de sert bir malzemenin yumuşak bir malzemedan çapak şeklinde abrasif aşınma parçalarını alışı görülmektedir. Sert parçacıkların yumuşak metale batması abrasif aşınmaya neden olmakla birlikte yüzeyden koparılan parçacıklar da aşınmaya neden olabilmektedir.



Şekil 2.2 Sert bir malzemenin yumuşak bir malzemedan abrasif aşınma parçalarını alışı [Tabur 2003]

Abrasiv aşınmayı 3 gruba ayırmak mümkündür. Bunlar; oymalı sürtünme aşınması, koparmalı sürtünme aşınması ve erozyon aşınmasıdır.

Oymalı sürtünme aşınması aşırı yüklemelerin etkisi ile meydana gelen yüzeyin aşırı şekilde deforme olması sonucu oluşur. Oymalı sürtünme aşınmasına örnek olarak ağır koşullar altında çalışan kazıcı, kırıcı gibi maden araçlarında görülen aşınmalar verilebilir [Özkaya, 1996].

Koparmalı sürtünme aşınması ağır yüklerin etkisi altında kalan aşınma parçalarının kırılarak daha küçük, keskin köşeli parçacıklar oluşturmamasından dolayı yüzeyi delmesi ve çizmesi sonucu malzeme kaybına sebep olan aşınma türüdür. Koparmalı sürtünme aşınmasına örnek olarak bilyeli değirmenler gösterilebilir [Özkaya, 1996].

Erozyon aşınması gaz ve sıvı gibi akışkan bir ortamda bulunan aşındırıcı parçacıkların yüzeye çarpması sonucu metal yüzeyinden parçaların kopması sonucu oluşur. Sıcaklık ve akış hızı arttıkça aşınma hızlanır. Erozyonla birlikte korozyonunda artması sonucu aşınma da hızlanmaktadır. Erozyon aşınmasına örnek olarak gemi pervanelerindeki çok sık rastlanan aşınma verilebilir. Akış halindeki sıvılarda ani basınç düşmesi sonucu oluşan gaz kabarcıkları da aşınmaya neden olmaktadır [Özkaya, 1996].

Abrasif aşınma hızı malzeme yüzeyine etki eden yükün azaltılması ile düşürülebilir. Bu durumda sert parçacıklar metal içine daha az batmakta ve daha az metal kaybına neden olmaktadır [Özkaya, 1996].

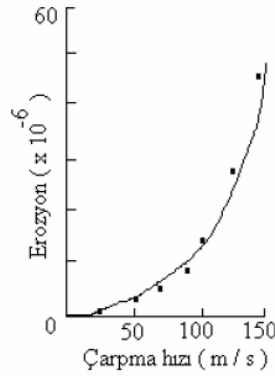
$$V = \frac{K(PS)}{Hm} \quad (2.2)$$

Abrasif aşınmanın hesaplanmasında yukarıda belirtilen (3.2) bağıntısından yararlanılır. Ancak abrasif aşınmadaki "K" değeri aşındırıcının keskinliği, malzemenin geometrisi ve pürüzlülüğü ile yakından ilgilidir [Erhazar, 1992].

2.4.3. Eroziyon Aşınma

Eroziyon aşınmanın abrasif aşınmadan temel farkı aşınmanın sert partiküllerin yüzeyi kazımasından çok yüzeye çarpması sonucu meydana gelmesidir. Buna örnek olarak gaz türbinlerinin nozul ve kanatçıklarının yanma ürünleri içerisindeki katı parçacıklar tarafından aşındırılması verilebilir.

Erozif aşınmayı etkileyen temel faktörler aşındırıcı partikülün boyutu, şekli ve sertliği, aşınmaya maruz kalan elemanın sertliği ve yüzey kalitesi, aşındırıcı partiküllerin çarpma veya yalama hızı, çarpma açısı ve birim zamanda çarpan partikül sayısı olarak sayılabilir. Şekil 2.3`de çarpma hızının erozyon aşınmasına olan etkisi görülmektedir. Çarpma hızının artmasıyla erozyon aşınmasının arttığı görülmektedir [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999, Turhan,2001].



Şekil 2.3 Çarpma hızının erozyon aşınmasına etkisi [Karaoğlu, 2006]

2.4.4. Pulcuk kalkması (Pitting)

Bu tip aşınma daha çok yuvarlanma sürtünmesine maruz kalan, çizgisel veya noktasal temas halindeki çok küçük temas alanlarına sahip yüzey çiftlerinde meydana gelmektedir. Genel görünüşü yüzeylerden küçük pulcuk ve parçacıkların kalkarak çukurcukların meydana gelmesi şeklindedir. Pulcuk kalkması sert çeliklerde yumuşak çeliklere nazaran daha sık görülmektedir. Rulmanlı yataklarda ve dişli çarklarda görülebilen bir aşınma türüdür [Karaoğlu, 2006].

2.4.5. Korozi aşınma

Kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan ve özellikle metallerde etkili olan bir aşınma türüdür. Korozi aşınma genellikle aşınmanın hafif bir şeklidir, fakat yüksek sıcaklıklarda ve nemli ortam içersinde aşırı bir hal alarak yüksek miktarda aşınmaya neden olabilir.

Malzemelerin yüksek sıcaklık ve gaz ortam içersinde oksitlenmesi kimyasal korozyon, çözelti ortamlarında meydana gelen oksitlenme ise elektrokimyasal korozyon olarak adlandırılır. Demir esaslı malzemelerde gözlenen korozyon ise oksidasyondur. Sürtünme oksidasyonu mekanik aşınma ile koroziif aşınmanın bir bileşimi şeklindedir. Sürtünme oksidasyonu, aralarında çok küçük bağıl hareket olan ve oksitlenmeye elverişli bütün malzeme türlerinde meydana gelebilmektedir. Özellikle ambalajlanmış bir şekilde uzun süre bekleyen makinelerin rulmanlı yataklarında ve mil-göbek gibi geçme olan yerlerinde, nakliyat sırasında meydana gelecek küçük sarsıntı ve titreşimler sürtünme oksidasyonunun oluşmasına neden olabilmektedir [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999, Turhan,2001].

2.4.6. Yorulma aşınması

Yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları yüzeyin hemen altında yorulma çatlaklarının oluşmasına neden olur. Bu mikro çatlaklar zamanla ilerleyerek malzemenin yüzeyinden pulcuk şeklinde parçacıkların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya yorulma aşınması denir. Genellikle dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda, demiryolu raylarında, soğuk veya sıcak haddeleme işlemlerinde görülmektedir [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999].

2.5. Aşınma Ölçüm Yöntemleri

2.5.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-3} veya 10^{-4} gram hassasiyetinde oldukça duyarlı bir teraziyle yapılır. Ağırlık farkı metodunda aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde birim sürtünme yoluna karşılık olarak (g/km) veya (mg/km) cinsinden, birim alan için hesap edilecekse, (g/cm^2) cinsinden ifade edilir. Hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde ise malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine düşen yük

hesaba katılarak birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından yola çıkılarak ağırlık kaybı hesaplanır [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999].

Ağırlık farkı ölçümünde aşağıda verilen (2.3) bağıntısı kullanılmaktadır.

$$W_a = \frac{G}{d.M.S} \quad (2.3)$$

Bu bağıntıda;

W_a = Aşınma Oranı (mm^3 / Nm), G = Ağırlık Kaybı (mg), M = Yükleme Ağırlığı (N), S = Aşınma Yolu (m), d = Malzeme Yoğunluğu (mg / mm^3) dur.

Aşınma oranının ters değeri de aşınma direnci (W_r) olarak kabul edilmektedir.

$$W_r = 1 / W_a \quad (2.4)$$

2.5.2. Kalınlık Farkı Metodu

Malzemenin başlangıç boyutları ile aşınma sırasında oluşan boyut değişikliğinin ölçülerek karşılaştırılmasıyla aşınma miktarı ölçülmektedir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanır. Kalınlık hassas ölçü aletleri kullanılarak + 1 μm duyarlılıkta ölçülmelidir Kalınlık farkı esasına dayanan ölçümler çoğu zaman aşınmanın hangi elemanda, ne oranda, düz mü yoksa eğik mi olduğu hakkında net bir bilgi veremediği için daha çok hacimce meydana gelen değişimler dikkate alınmaktadır. [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999]

2.5.3. İz Değişim Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon metodu ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi izlenir. Uygulamalarda iz bırakıcı olarak en çok kullanılan aletler, Vickers veya

Brinell sertli ölçme uçlarıdır. Bu uçların bıraktığı izlerin boyutlarında meydana gelen değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999]

2.5.4. Radyoizotop Metodu

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetlerle ölçülebilmesi ve sistem içersinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçüm yapılabilmesi avantaj sağlar. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle ancak özel amaçlar için kullanılabilir [Karaoğlu, 2006, Sarı,1999].

2.6. Aşınmayı Etkileyen Faktörler

Aşınmayı etkileyen pek çok faktörden bahsetmek mümkündür. Özellikle abrasiv aşınmayı etkileyen faktörler ve bunların aşınma direncine olan etkileri aşağıda verilmiştir.

- a- Ana malzemeye bağlı faktörler (malzemenin kristal yapısı, malzemenin sertliği, elastisite modülü, deformasyon davranışı, yüzey pürüzlülüğü, malzeme boyutu)
- b- Karşı malzemeye bağlı faktörler (aşındırıcının etkisi)
- c- Ortamın etkisi (sıcaklık, nem, atmosfer)
- d- İşletme koşulları (basınç, hız, kayma yolu) [Tabur, 2003].

2.6.1. Ana Malzemeye Bağlı Faktörler

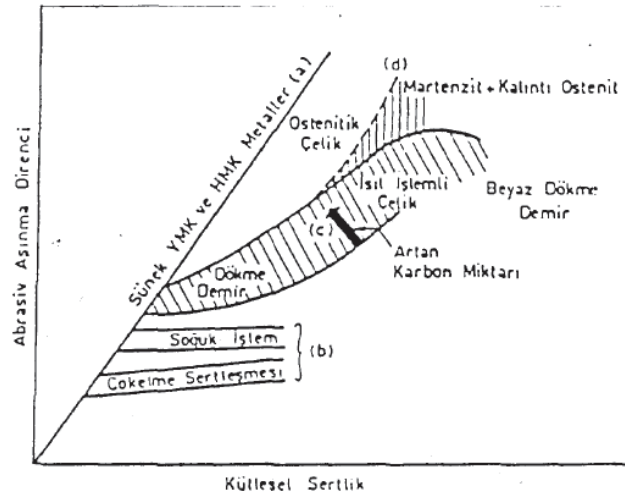
2.6.1.1. Malzemenin Kristal Yapısı

Sıkı paket yapıya sahip malzemelerin aşınma direnci diğer kristal yapılarına göre daha büyüktür. Buna örnek olarak kobalt gösterilebilir. Kobalt oda sıcaklığında

sıkı paket hekzagonal kristal yapısına sahiptir ve aşınma direnci oldukça yüksek olan bir metaldir. Fakat bu metalin 417°C'deki kübik yüzey merkezli kristal yapıya dönüşümü ile metalin aşınma direnci düşmektedir [Tabur, 2003, Turhan, 2001].

2.6.1.2. Malzemenin Sertliği

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlik ile aşınma direnci arasında belli bir düzeye kadar doğrusal bir ilişki vardır. Yani sertliğin artması ile birlikte aşınma direnci de artar. Ancak belli bir değerden sonra sertlik, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlayamaz. Ticari saf metallerde aşınma direnci kütleli sertlik ile doğrusal bir şekilde artmaktadır. Şekil 2.4'de kütleli sertliğin abrasif aşınma direncine etkisi görülmektedir. Şekilde kütleli sertlik ile aşınma direncinin paralel bir şekilde arttığı görülmektedir [Tabur, 2000, Turhan,2001].

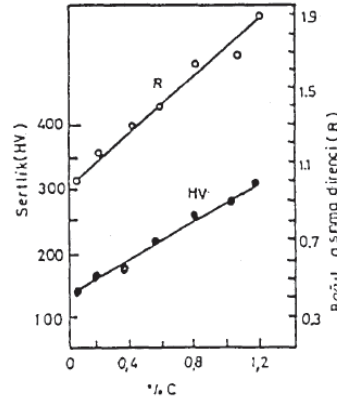


Şekil 2.4 Kütleli sertliğin abrasif aşınma direncine etkisi [Tabur, 2003]

Malzemenin sertliği dolayısıyla aşınma direnci alaşım elementlerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin bakır içerisine katılan çinko ile katı eriyik mukavemetlenmesi sonucu sertlik artarken aynı zamanda da aşınma direnci bakırdan daha yüksek olan yeni bir malzeme elde edilmektedir [Tabur, 2003, Yeo, et al,2008].

Demir esaslı malzemelerde alaşım elementlerinin aşınma direncine etkisi Şekil 2.5'de örnek olarak gösterilmektedir. Şekilde çeliğin karbon oranının arttıkça

sertliğinin arttığı buna paralel olarak da aşınma direncinin arttığı görülmektedir [Tabur, 2003].

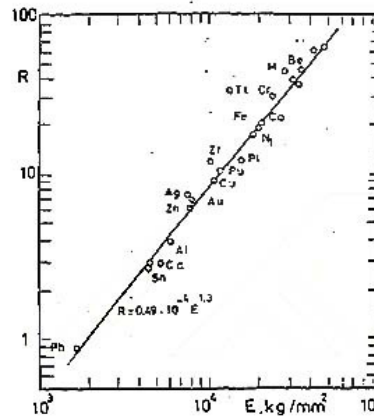


Şekil 2.5 Alaşımsız çeliklerde karbon içeriğine bağlı olarak sertlik ve aşınma direncinin değişimi [Tabur, 2003]

Isıl işlemin etkisi ile mekanik özelliklerde meydana gelen değişimler aşınma direncini büyük ölçüde etkiler. Genel olarak diğer faktörler sabit kalmak şartıyla sertliğin artması aşınma miktarını azaltır.

2.6.1.3. Elastisite Modülü

Khrushchov ve Babichev yaptıkları araştırmalarda, saf metallerde aşınma direnci ile elastisite modülü arasında doğrusal bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Şekil 2.6'da Saf metallerde elastisite modülü ile bağlı aşınma direnci arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 2.6'dan da görülebileceği gibi elastisite modülü ile abrasif aşınma direnci arasında doğrusal ilişki mevcuttur [Tabur, 2003].



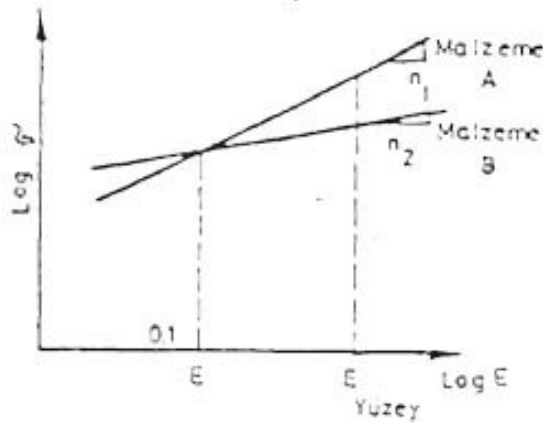
Şekil 2.6 Saf metallerde elastisite modülü ile bağlı aşınma direnci arasındaki ilişki [Tabur, 2003]

Saf metallerde elastisite modülü(E) ile bağıl aşınma direnci (R) arasındaki ilişki (2.5) bağıntısı ile ifade edilebilir. Burada, R : Bağıl aşınma direnci, E :Elastisite modülü, C : Sabit sayıdır [Tabur, 2003].

$$R = CE^{1,3} \quad (2.5)$$

2.6.1.4. Deformasyon Davranışı

Malzemelerin deformasyon davranışları abrasiv aşınma direncini etkileyen önemli faktörlerdendir. Genel olarak yüksek deformasyon sertleşmesi gösteren malzemelerin abrasiv aşınma dirençleri daha yüksektir. Bu durumu homojen plastik deformasyon bölgesinde gerilme σ ile birim şekil değiştirme ϵ arasındaki ilişkiyi belirten, $\sigma = K\epsilon^n$ şeklindeki Holloman denklemi ile açıklamak mümkündür. Burada K malzeme sabiti, n ise deformasyon sertleşmesi üssü veya pekleşme üssüdür. Gerilme ile birim şekil değiştirme değerlerinden çizilen ($\log \sigma$ - $\log \epsilon$) grafiğinin eğimi deformasyon sertleşmesi üssünü (n) verir [Tabur, 2003].



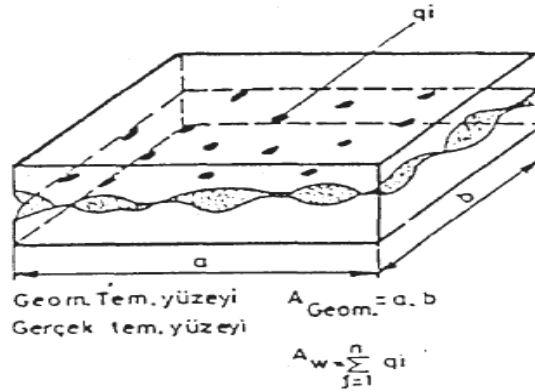
Şekil 2.7 Şekil Farklı deformasyon sertleşmesi üssü "n" değerlerine sahip iki malzemenin şematik $\log \sigma$ - $\log \epsilon$ grafikleri [Tabur, 2003]

Şekil 2.7'de Farklı deformasyon sertleşmesi üssü değerlerine sahip iki malzemenin şematik $\log \sigma$ - $\log \epsilon$ grafikleri gösterilmektedir. Şekilde "E yüzey" aşınma etkisi ile yüzeyde meydana gelen birim şekil değiştirme miktarını göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi malzemenin n değerine bağlı olarak deformasyon etkisi ile malzemenin mukavemeti veya sertliği artacaktır. Bu nedenle yüksek "n" değerine

sahip malzemelerde (şekildeki malzeme A) aşınma sırasında yüzeydeki deformasyon sonucu yüzey sertliği daha düşük n değerine sahip malzemelere (şekildeki malzeme B) kıyasla daha fazla artacaktır. Bu da yüksek n değerine sahip malzemelerinin aşınmaya karşı daha dirençli olmalarını sağlayacaktır [Tabur, 2003].

2.6.1.5. Yüzey Pürüzlülüğü

Malzeme yüzeyinin pürüzlülüğü gerçek temas alanını etkilemesi bakımından sürtünme ve aşınma olaylarını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Malzemelerin yüzeylerinin kaba işlenmesi sonucunda gerçek temas alanı (yükü taşıyacak olan gerçek alan) azalır. Yüzeyde temas alanının azalması sonucu tek bir pürüze karşılık gelen yük artar. Bu noktalarda gerilme yığılmaları meydana gelerek temas noktaları şekil değiştirerek aşınmanın artmasına sebep olur. Pürüzlülüğün az olduğu yüzeylerde temas alanı büyük, birim yüzeye tesir eden kuvvet daha küçük olacaktır. Bu sebeple yüzey pürüzlülüğü yüksek olan malzemelerde aşınma miktarı daha fazla olmaktadır. Şekil 2.8`de gerçek ve geometrik temas yüzeyleri açıkça görülmektedir [Tabur, 2003].



Şekil 2.8 Gerçek ve geometrik temas yüzeyleri [Tabur, 2003]

Bunun aksine pürüzsüz sayılabilecek bir yüzeyde aşınma artıklarının kalabilmesi ve sürtünen iki yüzeyin arasındaki çekim kuvvetinin fazla olması da adhezyon ve abrazyon aşınmalarını artıracaktır. Eğer hareketin yönü pürüzlülüğün yönüne dik ise aşınma miktarı azalmaktadır [Tabur, 2003].

2.6.1.6. Malzeme Şekli ve Boyutları

Malzeme şekil ve boyutları gerçek temas alanını etkilediğinden dolayı aşınmayı da etkilemektedir.

“Richardson yaptığı çalışmalarda, toprak işleme aletlerindeki kesici ağızların zamanla parabolik bir şekil aldığını ve bu parabolik şeklin aşınmaya karşı daha dirençli olduğunu bulmuştur”[Tabur, 2003].

2.6.1.7. Isıl İşlem

Mekanik özellikleri etkilediğinden dolayı ısıtma işlemi aşınma üzerine tesir eden önemli faktörlerden biridir. Özellikle çeliklerde ısıtma işlemi sonucu sertliğin artması ile birlikte aşınmaya karşı direnç de artmaktadır. Çeliklerde aşınmaya karşı en etkili yöntem yüzeyin sertleştirilmesidir. Yüzeyde kimyasal, elektrokimyasal veya termokimyasal yöntemlerle oluşturulan tabakalar birlikte çalışan iki metalin arasındaki sürtünme katsayısını ve tutunabilme özelliğini azaltıcı etki yaptığı için aşınmaya olumlu yönde katkıda bulunur. Yüzey sertleştirme işlemi sonunda malzeme, içyapısındaki süneklik korunduğundan dolayı hem darbeli yüklere karşı direnç gösterecek hem de yüzeyinin sertleşmesinden dolayı aşınmaya karşı direnç gösterecektir. Tablo 2.2’de bazı malzemelerin ısıtma işlemleriyle sertliğinin ve aşınma miktarının değişimi görülmektedir [Tabur, 2003, Güneş ve ark.,2009].

Tablo 2.2 Isıtma işlemleriyle sertliğin ve aşınma miktarının değişimi [Tabur, 2003]

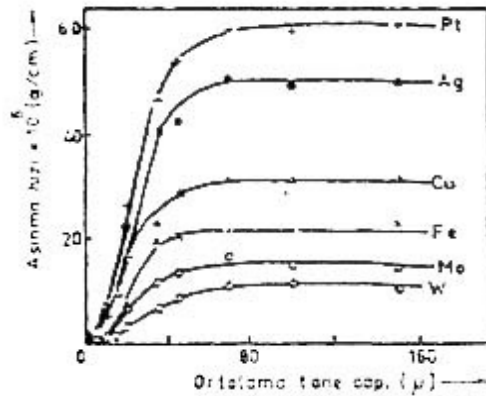
Malzeme	Isıtma İşlemi	Sertlik (kg/mm ²)	Aşınma Miktarı (mg)
Ck15 N	Normal Tavlama	180	165
Ck14 EH	Sementasyon	820	63
Ck15 EH	Sert Krom Kaplama	1050	23
Ck15 G	Kimyasal Kaplama	560	106
Ck15	Banyoda Nitrürleme	640	73
Ck15	Termal Difüzyon ile Sertleştirme	1600	30

2.6.2. Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler

Aşındırıcı tane büyüklüğü arttıkça tanenin malzemeyi çizeceği genişliğin büyüyüp aşınma hacmini artması nedeniyle malzemenin aşınmaya karşı direnci azalmaktadır. Aşındırıcı tanenin parabolik şekilli olması keskin köşeli tanelere göre aşınmanın azalmasına neden olmaktadır [Tabur, 2003].

“Goddard ve Wilman yaptıkları araştırmada zımpara üzerinde değişik metallerde yaptıkları deney sonunda aşındırıcının ortalama tane çapı ile aşınmanın değişiminin şekildeki gibi olduğunu göstermişlerdir” [Tabur, 2003].

Şekil 2.9 Kuru zımpara üzerinde aşındırıcı ortalama tane çapı ile aşınmanın değişimini göstermektedir. Şekilde ortalama tane çapı arttıkça aşınma hızının arttığı daha sonra zamanla sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 2.9 Kuru zımpara üzerinde aşındırıcı ortalama tane çapı ile aşınmanın değişimi [Tabur, 2003]

Yüksek sertliğe sahip aşındırıcı malzemelerin kendinden daha düşük sertliğe sahip malzemelerden daha yüksek aşındırıcı özelliğe sahip oldukları bilinmektedir. Aşındırıcı ve aşınan malzemenin sertlikleri birbirine yakın olduğu durumda oluşan aşınma miktarı az olacaktır. Aşındırıcının sertliği aşındırılmak istenen malzemenin

sertliğine göre daha düşük ise bu durumda aşındırıcı partiküller aşınmaya maruz kalırlar [Tabur, 2003].

2.6.3. Ortama Bağlı Faktörler

Temas halinde bulunan yüzeylerde sürtünmeden dolayı bölgesel sıcaklık artışları meydana gelmektedir. Yüzeylerde meydana gelen sıcaklık artışı yüzeyin sertliğini düşürdüğü, plastik deformasyonu kolaylaştırdığı ve oksidasyona yol açtığı için aşınma miktarını artırmaktadır. Sıcaklık artışı ile metal-metal sürtünmesinde kaynak bağı oluşma ihtimali artar ve dolayısıyla aşınma artar. Bunun için erime sıcaklıkları yüksek metallerin aşınmaya karşı direnci de fazladır. Demir ve nikel esaslı iki alaşımın, yüksek sıcaklıklardaki aşınma davranışları incelenmiş ve 100°C'nin altında Fe esaslı alaşım, 100°C'nin üstünde ise Ni esaslı alaşımın aşınmaya karşı direncinin daha fazla olduğu görülmüştür [Tabur, 2003].

Tablo 2.3'de değişik sıcaklıklarda bazı metallerin aşınma davranışları verilmiştir.

Tablo 2.3 Değişik sıcaklıklarda bazı metallerin aşınma davranışları [Tabur, 2003]

Malzeme		Çevre Sıcaklığı (°C)				
		20	170	270	470	715
Adı	Sertlik	Aşınma Miktarı (mg/km)				
Ck15N	107	11,5	-	12,7	25,5	62,1
C90 W3 N	226	10,2	10	11,6	37	74
C130W2N	294	11,1	11,1	10,7	40,1	79

Yüksek nem ve su buharı abrasif aşınma miktarının artmasına sebep olmaktadır. Sertleştirilmiş çeliklerin havada ve vakum ortamında incelenen aşınma davranışları sonucu havadaki aşınmanın vakumdakinden daha fazla olduğu bulunmuştur [Tabur, 2003, Turhan, 2001].

2.6.4. İşletmeye Bağlı Faktörler

2.6.4.1. Yağlama

Aşınmaya karşı alınabilecek en ekonomik ve en kolay tedbir sürtünen yüzeylerin yağlanmasıdır. Yağlayıcı maddenin görevi sürtünen yüzeyler arasındaki metal-metal sürtünmesinin yerine sıvı-metal sürtünmesini sağlamaktır. Hareket hızının fazla olduğu yerlerde (yataklar) yükü iki yüzey arasında oluşan yağ filmi taşır. Kullanılan yağ bulunduğu yerde korozif etki yapmamalı ve yüzeye temas ederek koruyucu bir oksit tabakası oluşturmamalıdır. Ayrıca kayma mukavemeti düşük olmalıdır [Tabur, 2003, Turhan, 2001].

2.6.4.2. Zaman

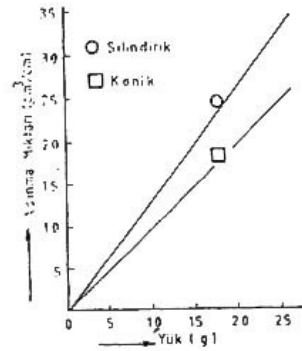
Metal yüzeyinin yorulması ve deformasyon sertleşmesi devir sayısına, frekansa ve toplam zamana bağlıdır. Dolayısı ile yüzeyin aşınma davranışı zaman, frekans ve devir sayısının fonksiyonu olarak değişmektedir [Tabur, 2003, Turhan, 2001].

2.6.4.3. Yük

“Richardson Yük ile birlikte hacimsel aşınmanın doğru orantılı olarak arttığını ve yükün artması ile birim yük başına düşen aşınmanın azaldığını belirtmektedir” [Tabur, 2003].

“Kayma aşınmasında yükteki çok az bir değişimin bile aşınmayı çok fazla etkilediği görülmüştür. Burvell ve Strang çelik-çelik sürtünmesini incelemişler ve yükün artışı ile birlikte aşınmanın doğrusal olarak arttığını bulmuşlardır” [Tabur, 2003].

Şekil 2.10`da aşınma miktarının yük ile ilişkisi gösterilmektedir. Şekilde aşınmanın yükün artması ile birlikte doğrusal olarak arttığı görülmektedir.



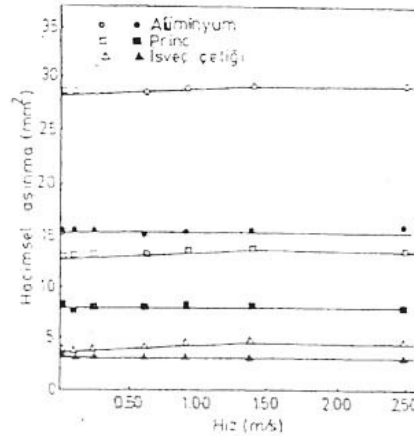
Şekil 2.10 Aşınma miktarının yük ile değişimi [Tabur, 2003]

2.6.4.4. Hız

Kayma hızı sürtünmeyi dolayısıyla aşınmayı etkileyen önemli bir faktördür. Çünkü sürtünen malzemelerin yüzeylerinde meydana gelen ısı kayma hızına bağlı olarak değişmektedir [Tabur, 2003].

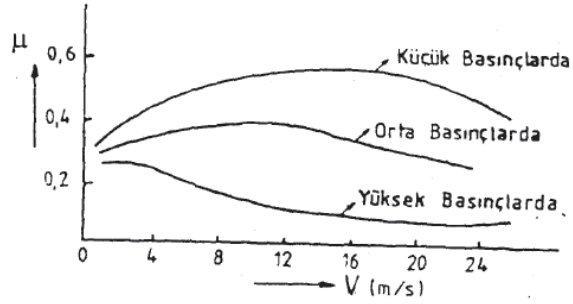
“Khrushov ve arkadaşları, 0-25 m/s aralığında kayma hızının artmasıyla hacimsel aşınmanın yavaş olarak arttığını belirlemişlerdi” [Tabur, 2003].

Şekil 2.11’de kayma hızının aşınma miktarına etkisi görülmektedir. Aşınma kayma hızının artması ile birlikte yavaş bir şekilde artmaktadır [Tabur, 2003].



Şekil 2.11 Hızın aşınma miktarına etkisi [Tabur, 2000]

Düşük hızlarda ısınma söz konusu değilse aşınma miktarı sürtünme hızına bağlı değildir. Aşınma miktarı, şiddetli aşınma durumunda kayma hızı ile ters orantılı olarak değişmektedir. Sebebi, sürtünen yüzey alanlarının azalması ve açığa çıkan ısının sürtünme katsayısını düşürmesidir. Tek yönlü kayma ve sabit hızdaki aşınma miktarı iki yönlü kayma ve değişken hızdaki aşınma miktarına nazaran daha azdır. Şekil 2.12`de kayma hızı ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 2.12 Kayma hızı ile sürtünme katsayısı arasındaki ilişki [Tabur, 2003]

2.6.4.5. Kayma ve Kayma Mesafesi

Temas halinde bulunan malzemelerde kuru ve yağlama şartlarına göre kayma mesafesi arttıkça aşınma miktarı da artar. Kayma mesafesinin artmasıyla aşınmanın orantılı olarak arttığı Hiskada tarafından belirlenmiştir. [Tabur, 2003]

3. SEMENTASYON ÇELİKLERİ

3.1. Sementasyon Çeliğinin Tanımı ve Özellikleri

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, merkezde ise daha sünek ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı olması istenen dişliler, miller, piston pimleri, zincir baklavaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, aktarma organları gibi parçaların imalinde kullanılan, düşük karbonlu alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir [Sönmez,1996, Asil Çelik Yayınları, 2000, Engström, et al,2007].

Tablo 3.1 Sementasyon çeliklerinin sınıflandırılması [TS EN 10084]

ÇELİK		KİMYASAL BİLEŞİM (%)								
Kısa Gösterilişi (DIN)	Malzeme Standart No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	B
C 10	1.0301	0.07 0.13	≤0.40	0.30 0.60	0.045	0.045	-	-	-	-
C 15	1.0401	0.12 0.18	≤0.40	0.30 0.60	0.045	0.045	-	-	-	-
Ck 10	1.1121	0.07 0.13	≤0.40	0.30 0.60	0.035	0.035	-	-	-	-
Ck 15	1.1141	0.12 0.18	≤0.40	0.30 0.60	0.035	0.035	-	-	-	-
14NiCr10	1.5732	0.10 0.17	0.15 0.35	0.40 0.70	0.35	0.35	0.55 0.85	-	0.25 0.75	-
14 NiCr 14	1.5752	0.10 0.17	0.15 0.35	0.40 0.70	-	-	0.55 0.85	-	3.25 3.75	-
14NiCr18	1.5860	0.10 0.17	0.15 0.35	0.40 0.70	0.35	0.35	0.90 1.30	-	4.25 4.75	-
15 CrNi 6	1.5919	0.12 0.17	0.15 0.40	0.40 0.60	0.035	0.035	1.40 1.70	-	1.40 1.70	-
18CrNi 8	1.5920	0.15 0.20	0.15 0.40	0.40 0.60	0.035	0.035	1.80 2.10	-	1.80 2.10	-
21 NiCrMo 2	1.6523	0.17 0.23	0.15 0.40	0.60 0.90	-	-	0.35 0.65	0.15 0.25	0.40 0.70	-
17 CrNiMo 6	1.6587	0.14 0.19	0.15 0.40	0.40 0.60	-	-	1.50 1.80	0.25 0.35	1.40 1.70	-
13 Cr 2	1.7012	0.10 0.16	0.15 0.35	0.40 0.60	0.35	0.35	0.30 0.50	-	-	-
15 Cr 3	1.7015	0.12 0.18	0.15 0.40	0.40 0.60	0.35	0.35	0.40 0.70	-	-	-
16 MnCr 5	1.7131	0.14 0.19	0.15 0.40	1.00 1.30	-	-	0.80 1.10	-	-	-
16 MnCrS 5	1.7139	0.14 0.19	0.15 0.40	1.00 1.30	-	0.020	0.80 1.10	-	-	-
20 MnCr 5	1.7147	0.17 0.22	0.15 0.40	1.10 1.40	0.035	0.035	1.00 1.30	-	-	-
20 MnCrS 5	1.7149	0.17 0.22	0.15 0.40	1.10 1.40	-	0.020	1.00 1.30	-	-	-
15 CrMo 5	1.7262	0.13 0.17	0.15 0.35	0.80 1.10	0.035	0.035	1.00 1.30	0.20 0.30	-	-
20 CrMo 5	1.7284	0.18 0.23	0.15 0.35	0.90 1.20	0.035	0.035	1.10 1.40	0.20 0.30	-	-
23 CrMoB 33	1.7271	0.20 0.25	0.15 0.35	0.70 0.90	0.035	0.035	0.70 0.90	0.30 0.40	-	-
20 CrMo 2	1.7311	0.18 0.23	0.15 0.35	0.80 0.80	0.035	0.02 0.04	0.50 0.70	0.30 0.40	-	-
20 MoCr 4	1.7321	0.17 0.22	0.15 ≤0.40	0.60 1.00	0.035	0.035	0.30 0.60	0.40 0.50	-	-
20 MoCr 4	1.7321	0.17 0.22	0.15 0.40	0.60 0.90	-	-	0.30 0.50	0.40 0.50	-	-
20 MoCrS 5	1.7323	0.17 0.22	0.15 0.40	0.60 0.90	-	0.020	0.30 0.50	0.40 0.50	-	-
25 MoCr 4	1.7325	0.23 0.29	0.15 0.40	0.60 0.90	-	-	0.40 0.60	0.40 0.90	-	-
25 MoCrS 5	1.7326	0.23 0.29	0.15 0.40	0.60 0.90	-	0.020	0.40 0.50	0.40 0.50	-	-

Tablo 3.1`de sementasyon çeliklerinin sınıflandırılması gösterilmektedir.

3.2. Sementasyon eliğinin Özellikleri

Sementasyon elikleri oksijen konverterlerinde, Siemens Martin ocaklarında ve elektrik ark ocaklarında üretilerek sönük olarak dökülürler. sıcak haddelenmiş veya dövülmüş olarak blum, slab, kütük, yuvarlak, dört köşe, altı köşe, lama şeklinde çubuk; filmaşın, sıcak çekilmiş saç, band ve geniş lama; dikişsiz boru, elde veya kalıpta dövülmüş parçalar halinde piyasaya teslim edilirler. Sementasyon elikleri ferritik-perlitik mikro yapı esaslı olarak üretilirler [Tabur, 2003].

- Sementasyon işleminin parça kısmen veya tamamen şekillendirildikten sonra uygulandığı için parçanın işlenmesinde kolaylık sağlaması,
- Parçanın yüzeyinde sonradan işlenecek, sertleşmesi istenmeyen bölgeler var ise, bu bölgelerin uygun bir yöntemle kaplanarak örtülmesiyle sementasyon işleminin bu kısımlara tesir edememesi sonucu sementasyon sonrası bu bölgelerin işleme kolaylığının olması,
- Sementasyon işleminin görmüş çeliğin sünek özellikler taşıyan iç kısımlarında işleme kolaylığının olması,
- Sementasyon işleminin sonrasında, çekirdek bölgesinin sünekliliğini korumasından dolayı sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek çarpılmaların oldukça azalması,
- Yüzeyde aynı sertliği verebilecek, çoğu zaman takım çeliği durumunda temin edilebilen yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuz olması sementasyon çeliklerinin kullanımını yüksek karbonlu çeliklerin kullanımına kıyasla avantajlı kılar.

Ancak, karbon miktarının yüzeyden merkeze doğru azalmasıyla mikroyapısal değişikliklerin meydana gelmesi, doğru ısıl işlemin çok tecrübe ve dikkat gerektirmesi sementasyon çeliklerinin dezavantajı olarak nitelendirilebilir [Tabur, 2003].

Tablo 3.2`de sementasyon çelikleri ve çeşitli standartlardaki karşılıkları gösterilmektedir.

Tablo 3.2 Sementasyon çelikleri ve çeşitli standartlardaki karşılıkları [TS EN 10084]

prEN 10084		ISO 683-11: 1987	Germany		Finland	France	Italy	Spain	Sweden	United Kingdom
name	number		name	number						
C10E	1.1121	C10	Ck10	1.1121		XC10	C10	C10k		045M10
C10R	1.1207									
C15E	1.1141	C15E4	Ck15	1.1141	506		C15	C16k		
C15R	1.1140	C15M2	Cm15	1.1140				C16k-1	SS1370	
C16E	1.1148	C16E4	—	—		XC 18		—		080M15
C16R	1.1208									
17Cr3	1.7016	—	17Cr3	1.7016				—		527M17
17CrS3	1.7014	—	—	—				—		
28Cr4	1.7030	—	28Cr4	1.7030				—		
28CrS4	1.7036	—	28CrS4	1.7036						
16MnCr5	1.7131	16MnCr5	16MnCr5	1.7131		16MC5	16MnCr5	16MnCr5		590M17
16MnCrS5	1.7139	16MnCrS5	16MnCrS5	1.7139				16MnCr5-1	SS2127	
16MnCrB5	1.7160	—	—	—				—		
20MnCr5	1.7147	20MnCr5	20MnCr5	1.7147	510	20MC5	20MnCr5	—		
20MnCrS5	1.7149	20MnCrS5	20MnCrS5	1.7149				—		
18CrMo4	1.7243	18CrMo4	—	—		18CD4	18CrMo4	18CrMo4		708M20
18CrMoS4	1.7244	18CrMoS4	—	—				18CrMo4-1		
22CrMoS3-5	1.7333	—	22CrMoS3-5	1.7333				—		
20MoCr3	1.7319	—	—	—				—		
20MoCr4	1.7321	—	20MoCr4	1.7321				20MoCr5		
20MoCrS4	1.7323	—	20MoCrS4	1.7323				20MoCr5-1		
16NiCr4	1.5714	—	—	—			16CrNi4	—		637M17
16NiCrS4	1.5715	—	—	—			16CrNiS4	—	SS2511	
10NiCr5-4	1.5805	—	—	—		10NC6		—		
18NiCr5-4	1.5810	—	—	—		20NC6		—		
17CrNi6-6	1.5918	—	—	—				—		
15NiCr13	1.5752	15NiCr13	—	—				—		(655M13)
20NiCrMo2-2	1.6523	20NiCrMo2	21NiCrMo2	1.6523	506	20NCD2	20NiCrMo2	20NiCrMo2		805M20
20NiCrMoS2-2	1.6526	20NiCrMoS2	21NiCrMoS2	1.6526			20NiCrMoS2	20NiCrMo2-1	SS2506	
17NiCrMo6-4	1.6566	17NiCrMo6	—	—		18NCD6	18NiCrMo6	—	SS2523	815M17
17NiCrMoS6-4	1.6569	—	—	—			18NiCrMoS6	—		
20NiCrMoS6-4	1.6571	—	—	—				—		
18CrNiMo7-6	1.6587	18CrNiMo7	17CrNiMo6	1.6587	511		16NiCrMo12	—		
14NiCrMo13-4	1.6657	—	—	—			16NiCrMo12	—		

3.3. Sementasyon İşlemi

En eski ve en yaygın olarak kullanılan yüzey sertleştirme yöntemlerinden birisi olan sementasyon işlemi, esas itibariyle, düşük karbonlu çelik parçasının yüzeyine karbon emdirilmesi işlemidir. Bu işleme sementit oluşumu nedeniyle "karbürizasyon" veya "sementasyon" denmektedir. Karbon emdirilmesi işlemi, çelik parçasının karbon monoksit (CO) içeren uygun bir ortamda, çelik parçasının östenit

fazı sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşur [Asil Çelik Yayınları, 2000].

“Karbonlama; uygun bir karbon verici ortamda çeliği ostenit bölgesi (AC3 üstündeki belirli bir sıcaklığa) sıcaklığına ısıtmak ve bu sıcaklıkta belirli bir süre tutarak, karbon miktarını yüzeyden belirli bir derinliğe kadar artırmaktır (TS 2850). Sementasyon ise, karbonlama ile birlikte su verme ve temperleme işlemleriyle, martenzitik mikroyapı elde etmek için yapılan ısıt işlemlerin tümüdür” [Asi, 2001].

Sementasyon işlemi için genellikle 850-950°C arasında bir sıcaklık kullanılır. Karbonlama atmosferinden çelik parçanın yüzeyine karbonun iletimi daima gaz fazıyla gerçekleşir. Karbon atomlarının çelik parça yüzeyinde istenilen derinliğe kadar nüfuz edebilmesi için parçaların sementasyon sıcaklığında bekletilmesi gereken süreye "sementasyon zamanı" denilmektedir [Asil Çelik Yayınları,2000].

Sementasyon işlemi süresince parça yüzeyinden merkezine doğru ilerleyen karbon derinliğine (sert doku derinliği) "sementasyon derinliği" adı verilmektedir. Sementasyon derinliğine etki eden faktörler zaman, sıcaklık, karbürizasyon ortamının karbon verme potansiyeli ve çeliğin kimyasal bileşimidir. Karbürleme ortamın karbon verme potansiyeli ne kadar yüksek ise karbonlama sonrası denge haline ulaşıldığında karbürizasyon derinliği de o derece fazla olur [Tabur,2003, Asil Çelik Yayınları, 2000].

Sementasyon derinliğinden ayrı olarak etkili sementasyon derinliği terimi de kullanılmaktadır. TS 1719'a göre "etkili sementasyon derinliği; 1 kgf (9,8 N) yük ile ölçüldüğünde Vickers sertliği 550 VSD olan karbonlanmış ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklıktır" şeklinde tarif edilmektedir [Asil Çelik Yayınları 2000, Asi, 2000].



Yukarıdaki reaksiyona (3.1) göre oluşan karbonmonoksit sementasyon sıcaklığında östenit faza getirilmiş olan çelik parçanın yüzeyinde parçalanır ve açığa çıkan atomik karbon (C) çelik bünyesinde emilerek çözünür. Aşağıdaki (3.2) reaksiyon bu işlemi göstermektedir.



Burada $\text{Fe}_{(\text{C})}$ östenit fazda çözünen karbonu ifade eder. Yukarıda belirtilen her iki reaksiyonun (3.1),(3.2) geri dönme (reversible) özelliği vardır. Birinci reaksiyon (3.1) sıcaklık azaldıkça sağdan sola doğru ilerleyerek karbondioksitçe zengin bir gaz atmosferi meydana getirir. Eğer çelik parça böyle bir ortamda kalırsa ikinci reaksiyon da (3.2) sağdan sola doğru ilerler ve çelik parçasının yüzeyinden karbon kaybedilmesine neden olur. Bu olaya “Dekarbürizasyon” (karbonsuzlaşma) denir. Çelik yüzeyindeki dekarbürizasyon tabakası, sementasyon sonrası yapılacak sertleştirme işleminde martensit yapıya dönüşmeyeceğinden yüzeyde yumuşak bir bölge oluşturur. Yüzeydeki bu tabaka çoğu zaman arzu edilmeyen bir durumdur. Dekarbürizasyon olayının meydana gelmesini önlemek için, fırın atmosferinde endotermik gaz karışımı sağlanmalı, çelik parçasının yüzeyi karbondioksit, oksijen ve su buharından korunmalıdır [Baykara,1998, Asil Çelik Yayınları, 2000].

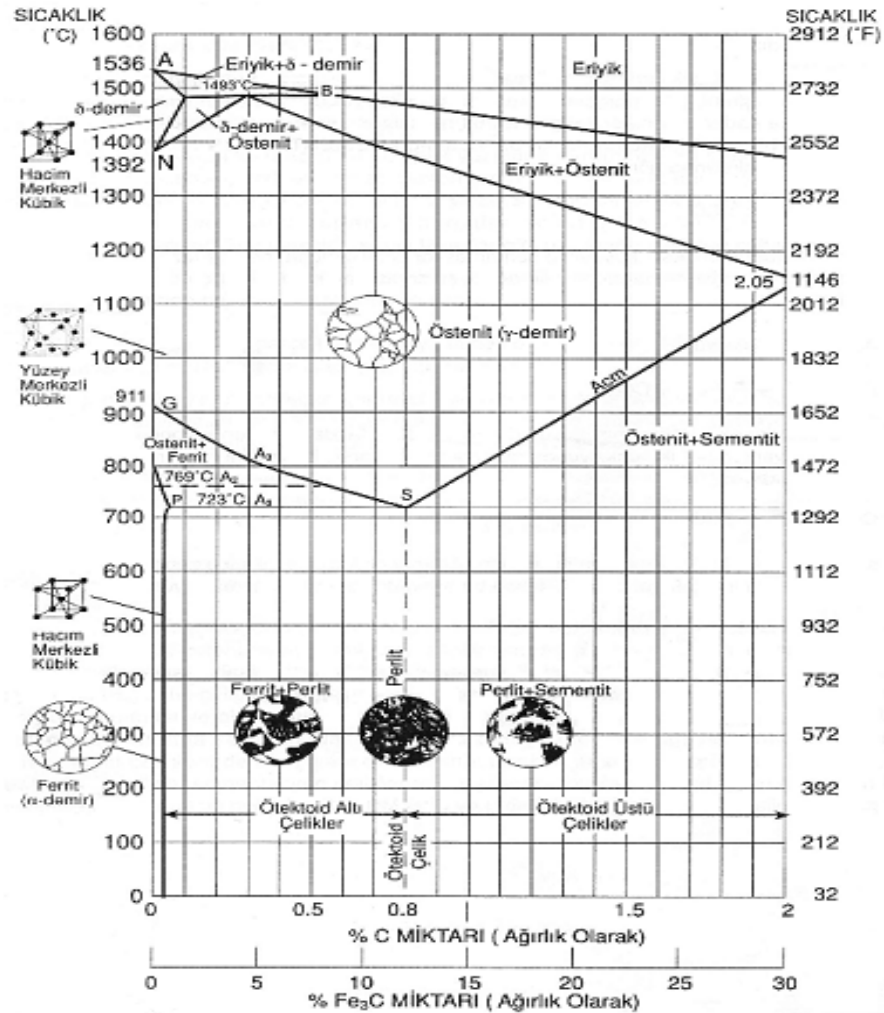
Diğer bazı dekarbürizasyon reaksiyonları da aşağıda verilmiştir.



Ferrit fazında karbonun çözünebilirliğinin çok az olması nedeniyle parçaların karbon atomlarının çelik içerisindeki çözünebilirliğinin yüksek olduğu östenit fazına kadar ısıtılması gerekir. Kullanılan sementasyon sıcaklığında östenit fazda çözünebilecek maksimum karbon miktarı demir-karbon denge diyagramında Acm çizgisinden bulunabilir. Örneğin 925°C sementasyon sıcaklığı olarak seçildiğinde, östenit fazda çözünebilecek olan maksimum karbon miktarı % 1.3 civarında

olacaktır. Bu sıcaklıkta çelik parçanın yüzeyi % 1.3 miktarına kadar karbon emebilirken parçanın çekirdek kısmı düşük karbon miktarını korumaya devam eder. Bu sebeple karbon atomları parçanın yüzeyinden çekirdeğe doğru difüz ederek denge durumuna gelmek isteyeceklerdir [Asil Çelik Yayınları, 2000].

Verilen bir sıcaklıkta östenit fazda çözülebilecek karbon miktarının belirlenebileceği demir karbon denge diyagramı şekil 3.1`de verilmiştir. Şekil 3.1`de demir karbon denge diyagramının çelik kısmı verilmiştir. Şekilde çeliğin karbon içeriğine bağlı olarak verilen bir sıcaklıkta hangi fazda bulunabileceği ve karbon içeriğine bağlı olarak çeliğin mikroyapısı şematik olarak gösterilmektedir.

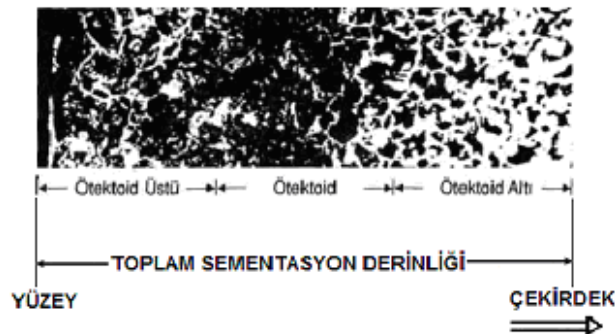


3.1 Demir karbon denge diyagramı [Asil Çelik Yayınları, 2000]

Östenit içinde karbon atomlarının çözünürlülüğünün sınırlı olmasından dolayı karbon içeriğinin çok yüksek olması durumunda, karbürlerin kırılğan martenzit ve artık ostenit meydana getirmesini engellemek için sementasyon çeliklerinin yüzeyindeki karbon miktarının %0,8'i geçmemesi gerekir [Asi, 2001].

Çelik parça sementasyon sıcaklığından itibaren yavaşça soğutulursa, sementasyon işleminin tesir ettiği nüfuz derinliği boyunca değişen karbon miktarına bağlı olarak farklı mikroyapılar meydana gelir. Önce yüzeyde oluşan ötektoid üstü bölgede sementit ve perlit yapıları görülür. Bunun altında oluşan ötektoid bölgede sadece perlitik yapı görülür. Merkeze yakın bölgelerde perlitik ve ferritik yapılardan oluşan ötektoid altı bölge oluşur ve çekirdeğe doğru ferrit yapı miktarı artarak devam eder [Baykara 1998, Asil Çelik Yayınları].

Şekil 3.2`de başlangıçta % 0.20 miktarında karbon ihtiva eden bir çelik parçasının sementasyon işlemi sonrasında yüzeyinden çekirdeğe doğru meydana gelen mikroyapı değişimleri görülmektedir. Çelik parça kutuda 925 °C'de 6 saat semente edildikten sonra sementasyon kutusunda soğutulmuş ve % 2'lik nital çözeltisinde dağlanarak mikroskopta 30 defa büyütülerek incelenmiştir. Şekilde çekirdeğe doğru ferrit miktarının arttığı, yüzeye yakın bölgelerde de sementit ve perlit yapılarının arttığı görülmektedir [Asil Çelik Yayınları, 2000].



Şekil 3.2 Başlangıçta % 0.20 miktarında karbon içeren çelik parçasının sementasyon sonrasında yüzeyinden çekirdeğe doğru meydana gelen mikroyapı değişimleri [Asil Çelik Yayınları, 2000]

3.4. Sementasyon Metotları

Kutu sementasyonu (Katı ortamda sementasyon), Tuz banyosunda sementasyon, Gaz sementasyonu olarak değişik karbon verici ortamlarda sementasyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

Endüstride yaygın olarak kullanılan katı, sıvı ve gaz sementasyon yöntemleri genel olarak her boyuttaki parçalar için kullanılabilir. Ancak; büyük boyutlu parçalarda ve düşük kapasiteli üretimlerde daha çok katı sementasyon, küçük parçalarda ve seri üretimlerde ise sıvı ve gaz sementasyon yöntemleri tercih edilmektedir. Gaz sementasyonu yönteminde prosesin daha iyi kontrol edilebilmesi ve daha temiz çalışma ortamı sağlanabilmesi nedeniyle pahalı bir yöntem olmasına rağmen metodun çok sık kullanılmasına ve her geçen gün daha çok tercih edilmesine neden olmaktadır [Pamuk, 2001].

Her üç sementasyon yönteminde karbon moleküller değil atomik olarak çelik yüzeyine nüfuz eder. Uygulanan metod ne olursa olsun sementasyon işlemi çelik parçanın ostenit fazı sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşur ve her metod çelik yüzeyinde farklı sementasyon derinlikleri ve sementasyon sonrası uygulanan sertleştirme yöntemine bağlı olarak farklı sertlik neticeleri verir.

3.4.1. Kutu Sementasyonu (Katı ortamda sementasyon)

Kutuda yapılan sementasyon işlemi için karbon verici olarak genellikle çelik için zararlı olan kükürt ve fosfor elementlerini içermeyen odun kömürü kullanılır. Semente edilecek parçalar çelik yada dökme demirden yapılmış kutu içerisindeki odun kömürüne gömülür ve kutunun ağzı sıkıca kapatılarak fırına yerleştirilir. Sıcaklığın yükselmesi ile birlikte odun kömürü kutu içindeki havanın oksijeni ile reaksiyona girer ve CO₂ oluşturur. CO₂ 'de tekrar odun kömürü ile reaksiyona girerek CO meydana getirir.



Artan sıcaklıkla birlikte yukarıdaki reaksiyonda CO oluşumu artar. Ortaya çıkan CO çelik yüzeyinde ayrılarak CO₂ ve atomik karbon meydana getirir. Oluşan atomik karbon östenit faza gelmiş olan çelik tarafından emilerek bünyede çözülür. Böylece çelik parçanın yüzeyi karbonca zenginleştirilmiş olur. Açığa çıkan CO₂ tekrar odun kömürü ile reaksiyona girerek CO meydana getirir ve reaksiyonlar aynı şekilde devam eder [Sönmez, 1996, Asil Çelik Yayınları, 2000].

Sementasyon kutusu içindeki oksijen miktarı proses devam ettikçe giderek azalır ve sementasyon için gerekli CO oluşumu yetersiz kalabilir. Bu nedenle odun kömürüne yaklaşık % 20 oranında bazı reaksiyon hızlandırıcı alkali metal karbonatları karıştırılır. Çoğunlukla kullanılan Baryum Karbonat'tır (BaCO₂) ve karışıma ilave edilen toplam karbonat miktarının % 50-70' ini oluşturur. Geri kalan kısım Kalsiyum Karbonat ve bazen Sodyum Karbonattır [Tabur,2003,Uluköy, 2005].

Sementasyon işlemi süresince çeliğin etrafını saran gaz halindeki atmosferin durumu sementasyon olayının seyrine büyük etki yapar. Kutu içinde oluşan Karbonmonoksit (CO) ve Karbondioksit (CO₂) miktarları özellikle önem taşır. Karbonmonoksit yüksek sıcaklıklarda çelik yüzeyinin karbon almasını sağlar (karbürizasyon). Karbondioksit ise çeliğin karbonunu alarak yüzeyde karbon oranının azalmasına neden olur (dekarbürizasyon). Karbonmonoksit ve karbondioksidin ortamdaki oranına göre karbürizasyon yada dekarbürizasyon meydana gelir. Karbonmonoksit ve karbondioksidin çeliğe karşı nötr olma koşulları, sıcaklıkla, basınçla ve çeliğin karbon miktarıyla alakalıdır [Özkaya,1996].

“Karbonmonoksit, karbondioksit ve tavllanmış kömürün kapalı kutu içerisindeki denge haline Boudouardik Denge adı verilir. Tam denge halinde, yukarıda verilen tersinir reaksiyon (3.4) geçerlidir.

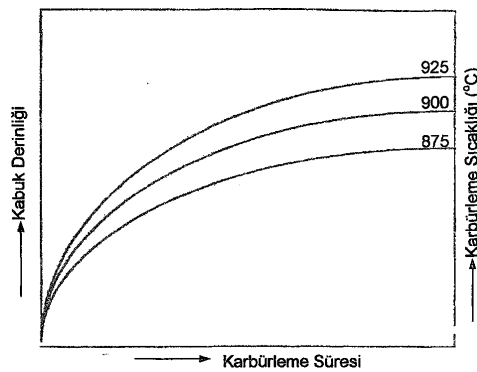
Bu dengeye göre, sementasyon için kullanılan sıcaklıklarda CO ve CO₂ oranları şöyle olmalıdır;

Sıcaklık (°C)	CO miktarı (%)	CO ₂ miktarı (%)
800	88	12
900	97	3
1000	99,96	0,04

Bu oranlar sementasyon ortamında çeliğin mevcut olmadığı durumdaki sıcaklığa bağlı olarak değişen CO ve CO₂ miktarlarıdır. Ortamda çeliğin bulunması halinde, gaz atmosferinin dengesi karbon miktarına bağlı olur” [Özkaya, 1996].

Sementasyon işleminde karbon verici ortamın karbon verme gücü ile bu karbonun çelik yüzeyinden malzeme içlerine nüfuz edebilme hızı birlikte anlam taşır. Eğer ortamın karbon verme gücü çok yüksek ancak çelik içerisinde difüzyon hızı düşük olursa kutunun cidarında aşırı karbon yığılması meydana gelir ve sonuçta cidarla çekirdek arasında karbon miktarı bakımından keskin geçişler doğar. Ayrıca karbon miktarının % 0,8 'i aşması ötektoidüstü çeliklerde olduğu gibi serbest sementit meydana getireceği için istenmez. Meydana gelen sementit tane sınırlarında ağ yapısı meydana getireceğinden yüzey tabakasının sünekliliğini düşürür ve sertleştirmeden sonra sementasyon tabakasında pul pul dökülmeler meydana getirir [Özkaya, 1996].

Kutu sementasyon yönteminde sementasyon sıcaklığının ve sementasyon süresinin çelik malzemedeki sert doku derinliği üzerine etkisi şekil 3.3`de verilmiştir. Şekil 3.3`de sıcaklık ve zamanın artması ile kabuk derinliğinin arttığı görülmektedir.



Şekil 3.3 Sementasyon sıcaklığı ve sementasyon süresine bağlı olarak sert doku derinliğindeki değişim [Pamuk, 2001]

Katı sementasyon metodu; özel bir atmosfer gerektirmediği için her türlü fırında az ya da çok sayıdaki büyük veya küçük parçaların karbürlenmesi için uygulanabilen ekonomik ve etkili bir yöntemdir. Ancak diğer sementasyon yöntemlerine göre daha kirli olması, karbürleme şartlarının istenildiği gibi ayarlanamamasından dolayı hassas sertleştirme ve ince karbürleme derinliği için uygun olmayışı dezavantajlarıdır [Pamuk, 2001].

3.4.2. Gaz sementasyonu

Son yıllarda en yaygın olarak kullanılan yüzey sertleştirme metodudur. Bu metotla iyi ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Gaz sementasyonu için karbon verici gaz olarak metan (CH_4), etan (C_2H_6), propan (C_3H_8) gibi hidrokarbonlar kullanılır.

Gaz sementasyonu civata, vida, pim ve benzeri küçük boyuttaki parçalarda, hassas toleranslı sementasyon derinliğinin istendiği daha büyük ebatlardaki parçalarda kolaylıkla ve başarılı bir şekilde uygulanır. Sementasyon işleminden sonra direkt sertleştirme için hızlı hareket kolaylığına ve temiz çalışma ortamının sağlanmasına imkan vermesi gaz sementasyonunun diğer önemli avantajları olarak sayılabilir. Sementasyonda parçalarda aynı sertlik derinliklerine ulaşabilmek için sıcaklığın fırın atmosferi içinde homojen bir şekilde dağılması gerekir. Bu nedenler fırın içerisinde sıcaklığın homojen dağılmasını sağlayacak tedbirlerin alınması zorunludur [Tabur, 2003, Palaniradja, et al,2004].

Aşağıdaki reaksiyonların (3.5) soldan sağa doğru ilerlemesi sonucu ortaya çıkan atomik karbon, östenit fazındaki çelik yüzeyine nüfuz ederek yüzeyde karbonca zengin sementasyon tabakasını meydana getirir [Asil Çelik Yayınları, 2000, Kahraman ve Akcan, 2007, Uluköy,2005].



Sementasyon işleminde çelik yüzeyine nüfuz edebilecek maksimum karbon miktarı östenit fazında karbonun difüzyon oranı ile sınırlı olup bu difüzyon oranı sıcaklıkla birlikte önemli ölçüde artmaktadır. Sıcaklıktaki 20 derecelik bir artış difüzyon katsayısını 2 katına çıkarmaktadır [D.Askeland,1998, Uluköy,2005].

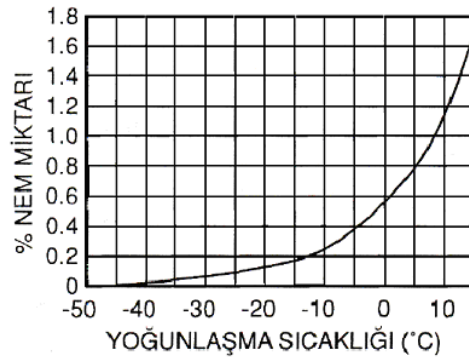
$$D = D_0 \exp (-Q/RT) \tag{3.6}$$

D: Difüzyon katsayısı, D₀: Frekans Faktörü, Q: Aktivasyon Enerjisi, R:Gaz Sabiti, T: Sıcaklık (Kelvin)

Sementasyon reaksiyonu için hazır olarak karbon temin edilebilmektedir. Bununla birlikte kullanılan hidrokarbon gazları da sementasyon atmosferinin karbon potansiyelini artırabilir. Bu da suyun çığ noktasını ve aşağıdaki reaksiyona (3.7) göre CO₂ içeriğini azaltarak mümkün olmaktadır [Sönmez, 1996].



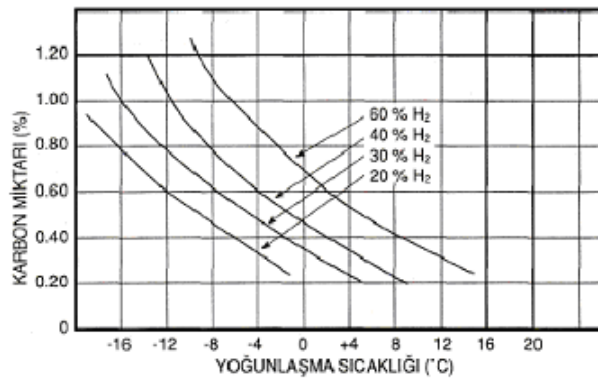
Fırın atmosferinde oluşan gaz kompozisyonunun özellikle nem miktarının çelik yüzeyinde elde edilecek karbon tabakasına önemli etkileri vardır. Nem miktarı su damlacıklarının gaz karışımından çökeldiği sıcaklık olan gazın yoğunlaşma sıcaklığının tespit edilebilmesi ile ölçülebilir. Şekil 3.4`da, nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki gösterilmiştir. Belli bir yoğunlaşma sıcaklığından sonra nem miktarının hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir [Asil Çelik Yayınları,2000].



Şekil 3.4 Yoğunlaşma sıcaklığı ve nem miktarı arasındaki ilişki [Asil Çelik Yayınları, 2000]

Aşağıdaki şekillerde ise (şekil 3.5, şekil 3.6) yoğunlaşma sıcaklığı kontrol edilerek, sementasyon sıcaklığı ve gaz kompozisyonunun değişimi ile yüzeyde elde edilebilecek karbon miktarına ait örnekler verilmiştir.

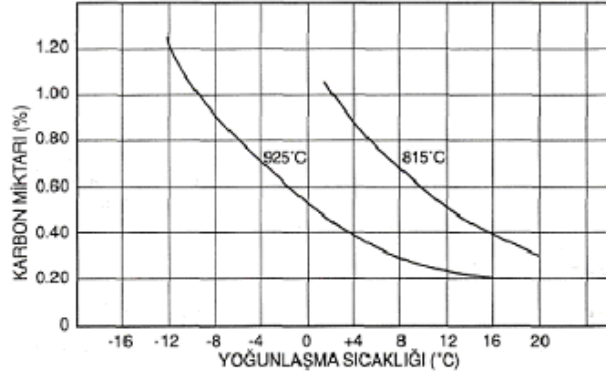
Şekil 3.5 'de sementasyon sıcaklığı 925 °C ve fırın gaz kompozisyonundan CO miktarı % 20 olarak sabittir. Çelik parçasının yüzeyinde meydana gelecek karbon miktarı yoğunlaşma sıcaklığına ve fırın atmosferindeki hidrojen (H_2) % 'ne bağlı olarak değişmektedir. Çelik yüzeyinde % 0.80 karbon miktarı elde edebilmek için, gaz karışımındaki H_2 miktarı % 60 iken yoğunlaşma sıcaklığı - 3 °C veya H_2 miktarı % 20 olduğunda yoğunlaşma sıcaklığı - 17 °C olmalıdır.



Şekil 3.5 925 °C 'de yapılan sementasyon işleminde, gaz karışımındaki CO miktarı % 20 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının ve H_2 miktarının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri [Asil Çelik Yayınları]

Şekil 3.6 'de ise, çelik yüzeyindeki karbon miktarının sementasyon sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Burada gaz kompozisyonundaki CO miktarı %

20 ve H₂ miktarı % 40 olarak sabittir. 925 °C sıcaklık kullanıldığında yüzeyde % 0.80 karbon oranı elde edebilmek için yoğunlaşma sıcaklığı yaklaşık - 6 °C ve aynı karbon miktarının elde edilebilmesi için, 815 °C sıcaklık kullanıldığında, yoğunlaşma sıcaklığı + 5 °C olması gerekir.

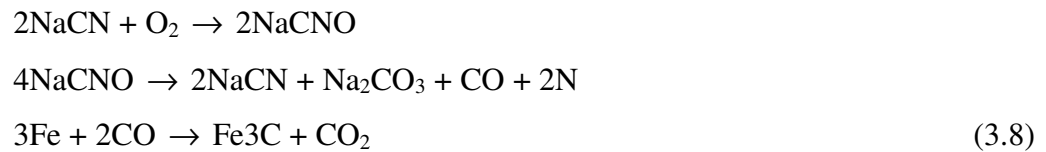


Şekil 3.6 Gaz karışımındaki CO miktarı % 20 ve H₂ miktarı % 40 olarak sabit iken yoğunlaşma sıcaklığının ve sementasyon sıcaklığının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri [Asil Çelik Yayınları, 2000]

3.4.3. Tuz Banyosunda Sementasyon

1860 yılından beri kullanılmakta olan bu yöntemde çelik yüzeyine karbon verici olarak Sodyum Siyanür (NaCN), Potasyum Siyanür (KCN) veya Kalsiyum Siyanür Ca(CN₂) gibi tuzlar kullanılır [Tabur, 2003].

Bu metotta sementasyon işlemi aşağıdaki reaksiyonlara (3.8) göre gaz fazında meydana gelmektedir.



ilk reaksiyon siyanür tuzu ile havanın oksijeni arasında meydana gelmektedir. Açığa çıkan NaCNO ayrışarak CO ve atomik azot oluşturur. Östenit fazında bulunan

elik CO ile reaksiyona girerek karbonu bünyesine alır. Bu arada bir miktar azot da elik tarafından emilir. Çeliğin karbon ve azot emme miktarı önemli ölçüde banyodaki siyanür miktarına ve sementasyon sıcaklığına bağlıdır [Asil elik Yayınları, 2000, Uluköy,2005].

Tuz sementasyon metodunda kullanılan iki tür tuz vardır;

 nce sementasyon derinliği veren (düşük sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuzlar. Bu durumda, tuz banyosundaki siyanür miktarı %20 civarındadır ve çalışma sıcaklığı 843-899 C (1550-1650 F) arasındadır. Böyle bir tuz banyosunda 0,9 mm' ye kadar sementasyon derinliği elde edilebilir.

Sementasyon derinliğini artıran (yüksek sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuzlar. Bu durumda ise, tuz banyosundaki siyanür miktarı %10'dur ve kullanılan sementasyon sıcaklığı 899-954 C (1650-1750 F) arasındadır. Bu tip tuz banyosunda 3 mm'ye kadar sementasyon derinliğine ulaşılır. Kullanılacak tuzun seÇimi istenilen sementasyon derinliğine ve buna bağlı olarak çalışılacak sementasyon sıcaklığına göre yapılmalıdır [Tabur, 2003].

Düşük sertlik derinliği istenen parçaların sementasyon işleminde tuz banyosunun kullanımı gaz ve katı ortamda yapılan sementasyon işlemlerine kıyasla, tuz banyosundaki elik parçanın ısınma hızının diğer karbonlama ortamlarına göre daha yüksek olması nedeniyle daha ekonomik olmaktadır.

Parçalar  zerindeki nemin alınarak tuz banyosunun daha verimli kullanılabilmesi için parçalar tuz banyosuna daldırılmadan önce 100-400 C arasında ön ısıtma yapılmalıdır. Bu metotla yapılan sementasyon işleminde parça yüzeyinde homojen sementasyon derinliğinin elde edilmesi ve tuz banyosundaki yüksek ısı iletiminden dolayı elik parçaların kısa zamanda sementasyon sıcaklığına ulaşması işlemin önemli bir avantajıdır. Ancak homojen sementasyon derinliğinin sağlanması için kullanımı çok dikkat gerektiren zehirli siyanür tuzlarının banyo kompozisyonunun sık sık kontrol edilerek ayarlanması ise bir dezavantajdır [Tabur, 2003].

Siyanür banyolarında difüzyon olayı oldukça karışıktır. Siyanürden direkt olarak karbon alınabileceği gibi, baryumklorür ve stronsiyumklorürün sodyumsiyanürle meydana getirdiği baryumsiyanür ve stronsiyumsiyanürden de karbon alınabilir [Tabur,2000].

Eğer parçalarda ince sementasyon derinlikleri isteniyorsa banyoda siyanür miktarı yüksek tutulur. Büyük sementasyon derinliklerinde ve uzun sementasyon sürelerinde klorürlerin ilavesiyle siyanür tuzlarının parçalanmasına ters etki yapılır. Siyanür banyolarındaki sementasyonda sodyumsiyanürün parçalanmasının nedeni yüksek sıcaklık ve demirin ortamda bulunmasıdır [Tabur, 2003].

Düşük (850 °C 'ye kadar) sementasyon sıcaklıklarında sementasyon hızı katı ortamdaki sementasyondan pek farklı değildir. Fakat daha yüksek sementasyon sıcaklıklarında tuz banyosundaki sementasyon hızı katı ortama göre çok yüksektir. Tablodaki 3.3`de C 15 çeliği için (% 0,15 C 'lu alaşımsız kaliteli çelik) aynı banyo konsantrasyonunda farklı süre ve sıcaklıklarda gerçekleştirilen sementasyon işlemlerinde sıcaklık ve zamanın sementasyon derinliğine etkisi verilmiştir [Tabur, 2003].

Tablo 3.3 C15 çeliğinde aynı banyo konsantrasyonunda gerçekleştirilen sementasyon işlemlerinde sıcaklık ve zamanın sementasyon derinliğine etkisi [Tabur, 2003]

Sıcaklık (°C)	Zaman (saat)	Sementasyon derinliği (mm)
840	1	0,25
840	2	0,35
840	4	0,46
840	6	0,52
880	1	0,29
880	2	0,40
880	4	0,70
930	1	0,35
930	2	0,67
930	4	0,90

Sementasyon süresi olarak, 200 °C 'ye ısıtılmış parçaların tuz banyosuna daldırılması ve alınması arasında geçen süre verilmiştir. Diğer banyo konsantrasyonlarının seçilmesiyle tablo 3.3`de verilen sementasyon derinlikleri değişir. Tabloda artan sıcaklıkla birlikte sementasyon derinliğinin arttığı ve artan

sementasyon zamanıyla birlikte seimentasyon derinliğinin zamanla doğru orantılı olarak artmadığı, artmanın azaldığı görülmektedir.

Tuz banyolarında gerçekleştirilen seimentasyon işleminin katı ortamda gerçekleştirilen işleme göre bazı  st nl kler vardır. Bunlar;

- Parçanın işlem sıcaklığına ısıtıldığı  n ısıtma süresi katı ortamda gerekli olan uzun  n ısıtma s resinden çok kısa olduğundan işlemin toplam süresi oldukça kısadır.
- Tuzun malzemeyi tam olarak homojen bir şeklide  evrelemesinden ve kullanılmış tuzların diğer tuzlarla banyo içerisinde hızlı bir şekilde karışabilmelerinden dolayı, seimentasyon homojen bir şekilde gerçekleşmektedir.
- Daha az yumuşak nokta (leke) oluşur. Malzemenin yüzeyi temiz kalır, pek az temizleme gerekir.
- Toplam ısınma süresinin kısa olması ve seimentasyonun daha hızlı olabilmeleri, tane kabalaşması tehlikesini azaltır.
- Tuz banyosunda seimentasyonun en önemli üstünlüğü, seimentasyondan sonra parçaların ani soğutmayla direkt sertleştirilebilmesidir [Tabur, 2003].

Tuz banyolarında gerçekleştirilen seimentasyon işleminin en olumsuz yönleri ise;

- Özellikle büyük seimentasyon derinliklerinde maliyetlerin çok yüksek olması ve siyanür tuzlarının çok zehirli olmasıdır.
- Alaşımlı  eliklerde, işlem esnasında azot difüzyonu da gerçekleşir
- Artık ostenit miktarının artmasıyla sertleşmede maksimum sertliğe ulaşılamaması olarak sayılabilir [Tabur, 2003].

Tuz banyosunda gerçekleştirilen seimentasyon işleminde seimentasyon derinliği seimentasyon sıcaklığına ve seimentasyon süresine bağlı olarak değişmektedir. Çeliğin kimyasal bileşiminin etkisi çok azdır [Pamuk, 2001].

Sementasyon derinliğini veren formül;

$$d = K \sqrt{t} \quad (3.9)$$

d = Sementasyon derinliği, K = Sabit katsayı, t = Zaman (saat)

Tablo 3.4`de sementasyon derinliğinde sıcaklık-yayınma derinliğini gösteren katsayı arasındaki ilişki verilmektedir.

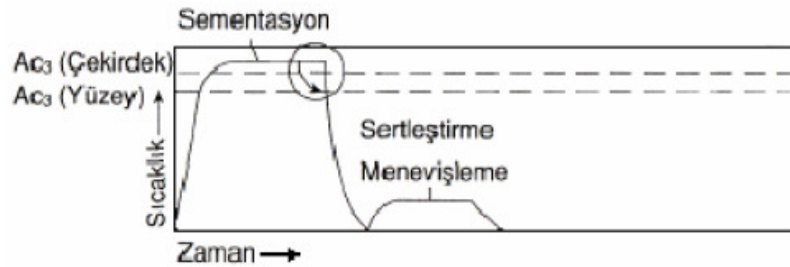
Tablo 3.4 Sementasyon derinliğinde sıcaklık - yayınma derinliğini gösteren katsayı arasındaki ilişki [Pamuk, 2001]

Sıcaklık (°C)	K (mm)
815	0.30
871	0.46
925	0.64

3.5. Sertleştirme Yöntemleri

Sementasyon işleminin ardından çelik parçalar bir sertleştirme işlemine tabi tutulurlar. Sertleştirme işlemi parçanın yüzeyinde veya çekirdeğin veya her iki bölgesinde birden elde edilmesi arzu edilen sertlik değerine bağlı olarak çeşitli şekillerde yapılır.

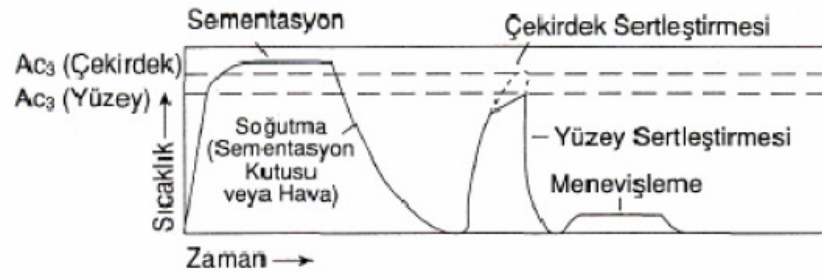
3.5.1. Direkt Sertleştirme



Şekil 3.7 Sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme [Asil Çelik Yayınları, 2000]

Sementasyon sonrası çelik parça sementasyon sıcaklığından direkt olarak uygun bir ortamda (yağ, su, sıcak banyo) soğutularak sertleştirilir ve ardından menevişlenir. Şekil 3.7'da yuvarlak içine alınmış bölgede kesik çizgi ile belirtilen yol sementasyon sıcaklığının uygun sertleştirme sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda parçanın çarpılmasını önlemek için yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar yavaşça soğutulmasını göstermektedir. Bu yöntem ince taneli yapıdaki çelikler için uygulanabilen pratik ve ekonomik bir yöntemdir [Asil Çelik Yayınları, 2000].

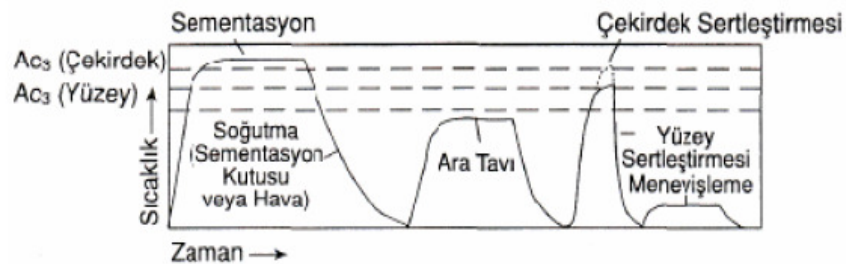
3.5.2. Basit Sertleştirme



Şekil 3.8 Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra sertleştirme [Asil Çelik Yayınları,2000]

Sementasyon sonrası parça sementasyon fırınında veya havada soğumaya bırakılır. Daha sonra parçanın yüzeyinin sertleştirilmesi için çelik parça yüzey dönüşüm sıcaklığına veya yüzey ve çekirdeğin birlikte sertleştirilmesi için çekirdek dönüşüm sıcaklığına ısıtılarak uygun ortamda [yağ, su veya sıcak banyo] soğutulur ve menevişlenir. Bu yöntem değişik kesitli parçalarda meydana gelen çarpılmaların önüne geçilmesi için uygulanır [Asil Çelik Yayınları, 2000].

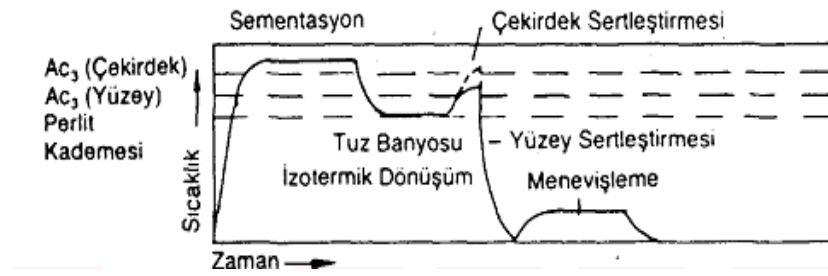
3.5.3. Basit Sertleştirme (Ara Tavından Sonra)



Şekil 3.9 Ara tavidan sonra sertleştirme [Asil Çelik Yayınları, 2000]

Çelik parçalar semente edildikten sonra sementasyon kutusu içinde veya havada soğumaya bırakılır. Sonra ötektoid sıcaklığı altında genellikle 630-650 °C 'de ara tavlama yapılır. Bunu takiben yüzey veya birlikte yüzey-çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa ısıtılır, uygun ortamda [yağ, su veya sıcak banyo] soğutulur ve menevişlenir [Asil Çelik Yayınları, 2000].

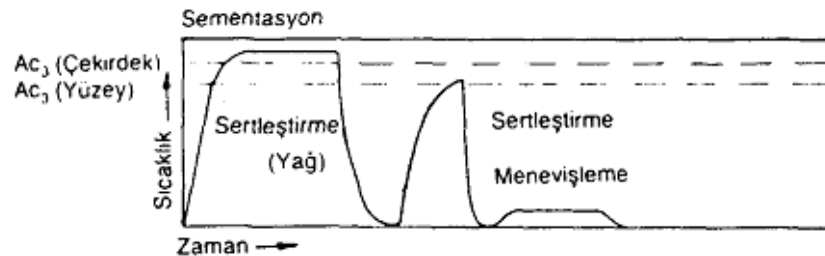
3.5.4. Basit Sertleştirme (İzotermik Dönüşümden Sonra)



Şekil 3.10 İzotermik dönüşümden sonra sertleştirme [Asil Çelik Yayınları, 2000]

Sementasyon sonrası parçalar yüzey dönüşüm sıcaklığı altında (500-600 °C) perlitik yapının izotermik dönüşümü tamamlanıncaya kadar bekletilir. Tekrar yüzey veya yüzey-çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa kadar ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulur ve menevişlenir [Asil Çelik Yayınları, 2000].

3.5.5. Çift Sertleştirme



Şekil 3.11 Sementasyon sıcaklığından soğutulduktan sonra çift sertleştirme [Asil Çelik Yayınları, 2000]

Sementasyon fırınından çıkan parçalar direkt sertleştirilir. Daha sonra yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar ısıtılarak tekrar sertleştirilir ve menevişlenir. Bu yöntemle çok iyi neticeler elde edilebilir. Ancak, ard arda yapılan sertleştirmeler sonucu parçada çarpılmalar olabilir [Asil Çelik Yayınları, 2000].

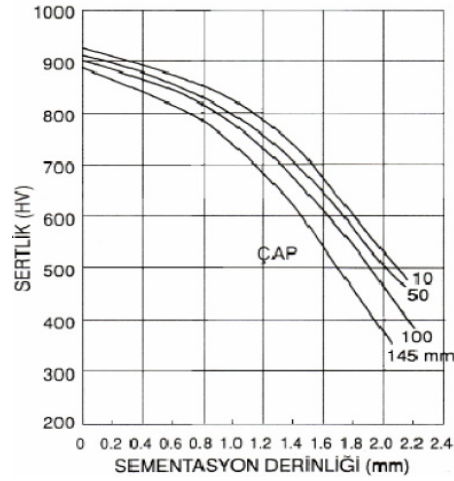
3.5.6. Menevişleme

Bu ısıtma işlemle amaçlanan sertliği bir miktar düşürerek sertleştirme sonrası çelik parçadaki gerilimleri gidermektir. Sertleştirme sonrasında çelik parçalar genellikle 160-220 °C arasında bir sıcaklıkta 1-2 saat süreyle menevişlenirler. Eğer sonuçta parça yüzeyindeki sertlik 60 HRC 'den düşük istenmiyor ise, menevişleme sıcaklığı 180 °C 'den fazla olmamalıdır [Asil Çelik Yayınları, 2000].

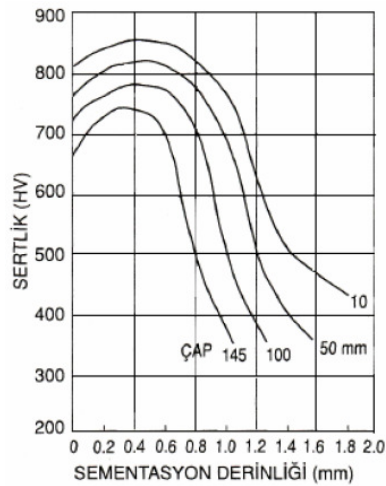
3.6. Sementasyon Derinliğine, Yüzey Sertliğine ve Çekirdek Sertliğine Etki Eden Faktörler

3.6.1. Sementasyon derinliği

Sementasyon derinliği; çelik parçanın ebadı, sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığı ve soğutma ortamı ile yakından ilişkilidir. Şekil 3.12 ve 3.13`de farklı ebatlardaki aynı kalitedeki çelik parçalarının sementasyon derinliklerinin sertleştirme sıcaklığına ve soğutma ortamına bağlı olarak değişim görülmektedir [Karagöz, 2007, Beauchesne and Goldsteinas, 2004].



Şekil 3.12 Değişik çaplarda 12NiCr6 sementasyon çeliğinin, 900°C'de kutu sementasyonu yapıldıktan sonra 780 °C den suda basit sertleştirilmesi ile elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri [Karagöz, 2007]



Şekil 3.13 Değişik çaplarda 13NiCr6 sementasyon çeliğinin, 900°C'de kutu sementasyonu yapıldıktan sonra 820 °C den yağda basit sertleştirilmesi ile elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri [Karagöz, 2007]

Sementasyon derinliği bir noktaya kadar kullanılan çeliğin kalitesine (kimyasal kompozisyonuna) bağlıdır. İnce kesitli parçalarda bu faktör fazla önem taşımamasına karşılık, büyük kesitli parçalar için yüksek sertlik derinliği istenildiğinde sementasyon zamanı açısından önem kazanır. Tablo 3.5`de buna örnek olarak bir fikir vermesi amacıyla 100 mm çaplı, değişik kaliteli çelik parçalarda, 1.5 mm'lik sementasyon derinliğinin sağlanabilmesi için gerekli sementasyon zamanları verilmiştir [Karagöz, 2007].

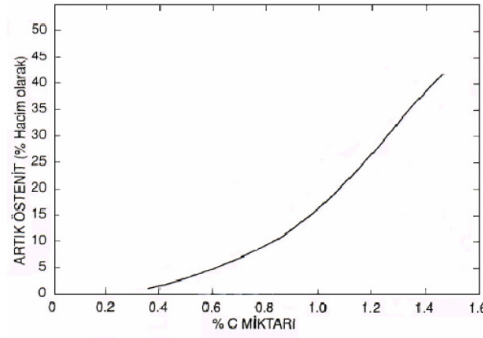
Tablo 3.5 100 mm çaplı, değişik kaliteli çelik parçalarda, 1.5 mm'lik sementasyon derinliğinin sağlanabilmesi için gerekli sementasyon zamanları [Karagöz, 2007]

Çelik Kalitesi	21NiCrMo2	13NiCr6	17CrNiMo6
Sementasyon Zamanı (saat)	25	13	10

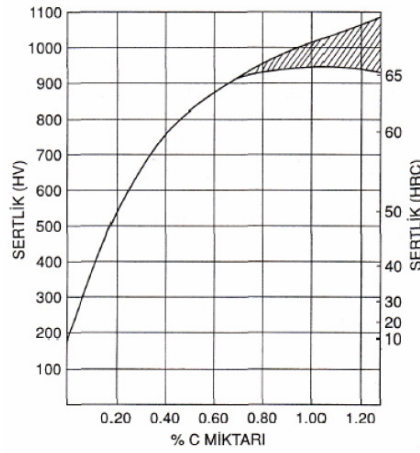
3.6.2. Yüzey sertliği

Östenit fazda çözünen karbon miktarı yüzey sertliğini belirleyen temel faktördür. Yüzeydeki karbon miktarı % 0.80 ile % 1 arasında olacak şekilde kontrol edilmelidir. Yüzeyde karbon miktarının fazla olmasının (ötektoid üstü bölgede) iki önemli sebepten dolayı sakıncaları vardır. İlk olarak; eğer çelik parça sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulursa perlit tane sınırlarında sementit ağı oluşacaktır. Daha sonra yapılacak olan sertleştirme işleminde özellikle parça Acm çizgisinin altında bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra sertleştirilirse, işlem sonunda yapıda sementit ağı olduğu gibi kalacak ve bu malzemenin kırılganlaşması neden olacaktır. İkinci olarak yüzeydeki karbon miktarının % 0.80'i geçmesi sertleştirme sonrasında martenzit yapıda artık östenit kalmasına ve sertliğin azalmasına sebep olacaktır. Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerde yüzeydeki karbon miktarının % 0.80'den fazla olmamasına dikkat edilmelidir [Karagöz, 2007].

Şekil 3.14 ve 3.15`de demir-karbon alaşımlarında karbon miktarına bağlı olarak, sertleştirme sonrası meydana gelen martensitik yapıda görülebilecek artık östenit miktarı ve sertlik düşüşleri görülmektedir.

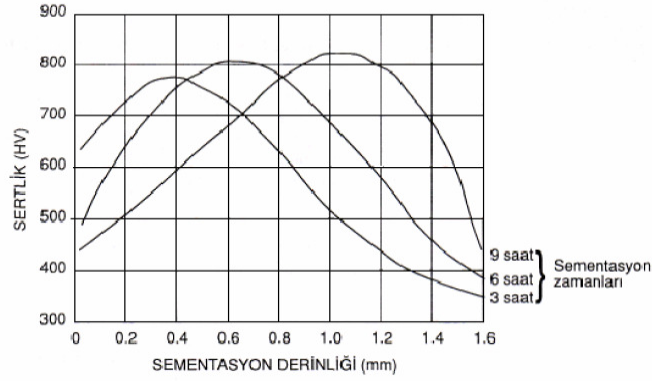


Şekil 3.14 Demir-karbon alaşımlarında, karbon miktarına bağlı olarak martenzit yapıda artık östenit değişimi [Karagöz, 2007]

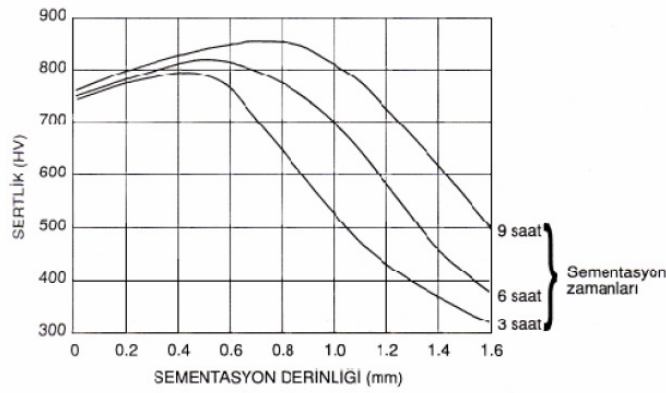


Şekil 3.15 Martenzit yapıdaki çeliklerde karbon miktarının sertliğe etkisi, Taranmış bölge artık östenitin sertlik azalmasına tesirini göstermektedir [Karagöz, 2007].

Sementasyon zamanının uygun seçilmesi yüzey sertliği açısından önemli bir faktördür. Sementasyon zamanının artırılması ile birlikte östenit fazda çözünen karbon miktarı artacak ve sertleştirme sonrası martenzitik yapıda daha fazla artık östenit kalacaktır, bunun sonucunda da sertlik düşecektir. Eğer parça düşük bir sıcaklıktan tekrar sertleştirilirse (çift sertleştirme) artık östenitin azalması sonucu sertlikte artış meydana gelecektir. Şekil 3.16 ve 3.17'de bu konuya ilişkin olarak 13NiCr6 kaliteli çelik numuneleri ile yapılmış sementasyon örnekleri gösterilmiştir [Karagöz, 2007].



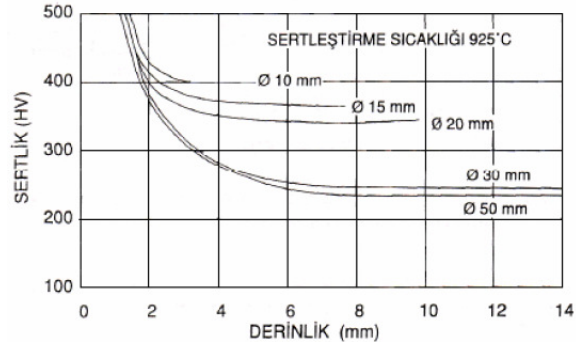
Şekil 3.16 13NiCr6 sementasyon çeliğinin 925 °C de değişik sürelerde kutuda sementa edildikten sonra yağda direkt sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri [Karagöz, 2007]



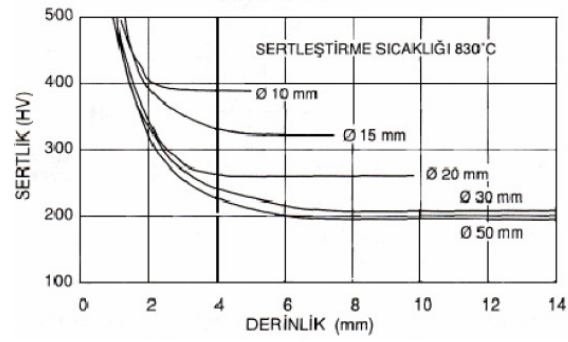
Şekil 3.17 13NiCr6 sementasyon çeliğinin 925 °C de değişik sürelerde kutuda sementa edildikten sonra yağda basit sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri [Karagöz, 2007]

3.6.3. Çekirdek sertliği

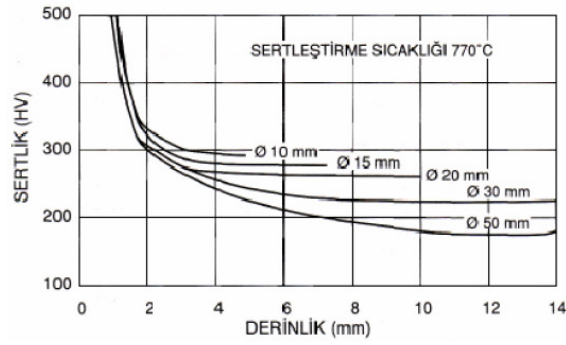
Çekirdek sertliğine parça boyutlarının ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığının önemli etkileri vardır. Şekil 3.18, 3.19, 3.20'de çapları 10-50 mm arasında değişen Ck 15 kaliteli çelik parçaları için parça boyutlarının ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığının çekirdek sertliğine olan etkilerini göstermektedir. Parçalar 925°C'de sementasyon derinliği 1 mm olacak şekilde sementa edilmişlerdir. Sementasyon sonrası değişik sertleştirme sıcaklıkları kullanılmıştır. Şekillerde parça boyutunun küçülmesi ile çekirdek sertliğinin arttığı görülmektedir.



Şekil 3.18 Ck 15 çeliğinde sementasyon sıcaklığından (925°C) direkt sertleştirme sonucu elde edilen çekirdek sertlikleri [Karagöz, 2007]



Şekil 3.19 Ck 15 çeliğinde sementasyon sıcaklığından (830°C) direkt sertleştirme sonucu elde edilen çekirdek sertlikleri [Karagöz, 2007]

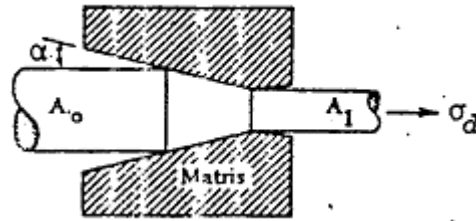


Şekil 3.20 Ck 15 çeliğinde sementasyon sıcaklığından (770°C) direkt sertleştirme sonucu elde edilen çekirdek sertlikleri [Karagöz, 2007]

4. SOĞUK ÇEKME İŞLEMİ

Soğuk çekme işlemi genellikle oda sıcaklığında yapılan bir soğuk deformasyon işlemidir. İşlem sonrasında malzemenin akma ve çekme dayanımları artarken sünekliliği azalır. Soğuk çekilen bir malzeme yüzey kalitesi ve hassas kesit toleranslarından dolayı ek bir işlem yapılmadan piston, şaft, cıvata, somun gibi parçaların imalatında kullanılabilir. Soğuk çekme işleminde metalik malzeme soğuk çekme kalıbından geçirilerek kesiti düşürülür ve boyu uzatılır. Soğuk çekme işleminde plastik şekil değişimi kalıbın malzemeye uyguladığı basma kuvveti ile sağlanır [Çarboğa, 2002].

Metal bir malzemenin matris ya da hadde olarak adlandırılan üzerinde bir veya daha fazla delik bulunan bir kalıptan çekilerek uzatılmasına çekme denir. Çekme kuvveti matrisin çıkış tarafından uygulanır. Çekme işlemi şematik olarak şekil 4.1'de gösterilmiştir.

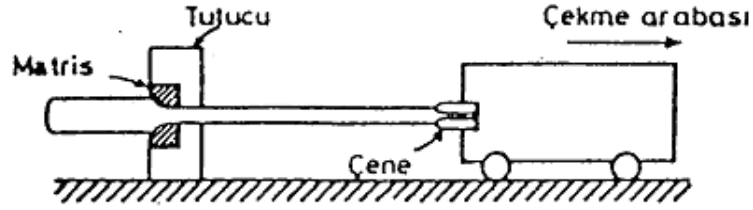


Şekil 4.1 Soğuk çekme işlemi [Çarboğa, 2002]

A_0 : giriş kesiti, A_1 : çıkış kesiti, σ_d : çekme gerilmesi, α : giriş açısı

Soğuk çekilecek olan metalin kesiti genellikle yuvarlak olsa da kare altıgen vs. kesitlerde de çekilebilmektedir. Soğuk çekme işlemi tel ve çubuk çekme işlemi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır, ancak her iki prosesinde prensipleri aynıdır. Çubuk çekiminde kullanılacak olan sıcak çekilmiş malzeme cinsine ve kesitine bağlı olarak kangal (filmaşın) ya da çubuk olabilir. Fakat işlem sonunda malzeme çubuk olarak üretilir [Çarboğa, 2002].

Çubuk soğuk çekme işleminin şematik olarak gösterimi şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 Çubuk soğuk çekme işleminin şematik gösterimi [Çarboğa, 2002]

Soğuk çekme işleminde malzemenin kalıptan kolay geçmesi için kuru ve sıvı olarak kayganlaştırıcı maddeler kullanılmaktadır. Buna göre de çekme işlemi kuru veya yağ çekme olarak ifade edilir. Kuru çekmede gres ve sabun tozu kullanılırken yağ çekmede sıvı halde değişik madeni ve bitkisel yağlar kullanılabilir. Yağ çekmede matris sıvı bir yağlayıcı (örneğin alkali sabun çözeltisi) içine daldırılmış durumdadır. Sıcak haddelenmiş çelik çubuklarda filmaşinlere soğuk çekmeden önce yüzey hazırlama işlemleri uygulanır. Yüzey hazırlamada ilk adım oksit gidermedir. Sıcak haddelenmiş çelik çubuklarla filmaşinlerin yüzeyi bir oksit tabakasıyla kaplıdır. Bu oksit tabakası aşın matris aşınmasına ve çekilen üründe yüzey kusurlarına yol açacağından soğuk çekme işleminden önce temizlenmelidir. Bu yüzey temizleme işlemi kimyasal ve mekanik olmak üzere ikiye ayrılır [Çarboğa, 2002].

Günümüzün modern tel ve çubuk çekme işlemlerinde kimyasal bir yöntem olan asitle temizleme yerine mekanik bir yöntem olan kumlama tercih edilmekte ve asitle yüzey temizleme yöntemini kullananların sayısı gün geçtikçe azalmaktadır. Bunu en önemli sebepleri, insan ve çevre sağlığı açısından asidin zararlı olması ve ekonomik olmamasıdır. Aynı zamanda asitleme sırasında üretim kontrolü oldukça zordur. Kumlama makinesi, çekme makinesi ile kangal arasında yer alır. Malzeme kumlama makinesine girmeden önce doğrultma diskleri arasından geçerek doğrulur, kumlama makinesinin içinden geçerek kumlanır ve çekme kalıbından geçerek soğuk çekilir. Dolayısıyla bütün işlemler artarda olup, ayrıca bir zaman ve işçilik gerektirmediği içinde üretim hızı artar [Çarboğa, 2002].

Kumlama günümüzün en popüler yüzey hazırlama yöntemidir. En önemli özellikleri, kimyasal yöntemle kıyaslandığında uygun filtrasyon şartları

sağlandığında çevre kirliliği ve insan sağlığı açısından daha az zararlı ve ekonomik olmasıdır. Bu yöntemde; serbest halde türbinlere alman kum (martenzitik veya beynitik çelik bilyalar 0 0,42 - 2,4 mm arasındaki boyutlarda olabilir) yüksek devirle dönen (3000-5000 dev/dk) türbinler sayesinde çok yüksek hızlarda malzeme yüzeyine savrulur. Savrulmanın etkisi ile yüksek hızda malzeme yüzeyine çarpan kum, oksit tabakasının kırılmak suretiyle dökülmesini sağlar. Ayrıca çarpma sırasında malzeme yüzeyinde oluşan izler sayesinde çekme yağının malzeme yüzeyinde tutunmasını sağlayarak soğuk çekme işlemi kolaylaştırır [Çarboğa, 2002].

Soğuk çekme genellikle kombine makinelerde yapılır. Soğuk çekme kademelerinin tümünü (doğrultma, kumlama, parlatma, yağlama ve soğuk çekme) ihtiva eden makinelerde yaklaşık 0 40 mm'ye kadar kangal olarak bulunabilen malzemeler seri olarak soğuk çekilebilir. İşlem somasında malzeme çapma ve isteğe bağlı olarak kangal olarak sarılabilir veya çubuk olarak üretilebilir [Çarboğa, 2002].

Yüzeyi temizlenerek işlem için hazırlanan çubuğun ucu hidrolik ile basılarak kalıptan geçirilir. Sonrasında bu uç çekme arabasının çeneleri ile tutularak çekilmek suretiyle çubuğun kalıptan geçirilmesi sağlanır. Çekme işlemi sonrasında malzemede arzu edilen yüzey kalitesi ve doğrusalılığı sağlamak için malzeme doğrultma-parlatma makinelerinden geçirilir [Çarboğa, 2002]

Soğuk çekme işleminde kullanılan kalıplar; alaşımlı çelik, sinterlenmiş sert metaller ve elmas olabilir. Kalıp malzemesi olarak kullanılan alaşımlı çelikler, yüksek karbon (% 1,5 - 2) ve Cr (% 10 - 13) içeren çeliklerdir.

Soğuk çekme kalıbında beş ayrı bölge vardır. Bunlar;

- a. Radyus
- b. Giriş Açısı
- c. Karşılama Açısı
- d. Silindirik Bölge
- e. Çıkış

Giriş bölgesinin çapı, giren malzemenin çapından büyüktür ve malzemenin üzerindeki yağlayıcı madde ile birlikte kolayca giriş açılı bölgeye girişini sağlar. Giriş açılı bölgenin uzunluğu, kalıbın yarım açısına (α), telin çıkış çapına ve uygulanan redüksiyona bağlıdır. Silindir bölge malzemenin kalıptan homojen ve düzgün bir şekilde çıkmasını sağlar. Kalıp şeklini ve çekme kuvvetini belirleyen en önemli faktör kalıp açısı olarak isimlendirilen konik bölgenin yarım açısıdır (α) [Çarboğa, 2002].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada krank milleri, kam milleri, kamalı miller, dişli çarklar, saplamalar, kavrama parçaları, zincir baklaları gibi orta ve yüksek zorlamalı koşullarda makine imalatı ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan SAE 8620 ve 16MnCr5 sementasyon çelikleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş olmak üzere iki malzeme grubu kullanılmıştır. Asil çelik menşeli 22 mm sıcak haddelenmiş malzemeler Akçelik Demir Çelik A.Ş. fabrikasında 22 mm`den 20 mm`e soğuk çekilerek parlak çelik haline getirilmiştir. Böylece her iki kalitedeki malzemedan 22 mm. sıcak haddelenmiş ve 20 mm. soğuk çekilmiş numuneler elde edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan malzemelerin ARL / OES 4460 optik emisyon spektrometre cihazı ile yapılan kimyasal kompozisyonları ve standart kimyasal kompozisyon aralıkları Tablo 5.1`de verilmiştir. Standart analizlerle karşılaştırıldığında malzemelerin kimyasal kompozisyonlarının standartlara uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 5.1 Deney numunelerinin kimyasal kompozisyonları ve standart kimyasal kompozisyon aralıkları [TS EN 10084]

	Kimyasal Kompozisyon (% Ağırlık)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
DIN 16MnCr5	0,14- 0,19	0- 0,40	1,00- 1,30	0- 0,035	0- 0,035	0,80- 1,10	-	-
16MnCr5 Deney Numunesi	0,16	0,26	1,13	0,01	0,009	0,95	0,03	0,12
SAE 8620	0,17- 0,23	0- 0,40	0,65- 0,95	0- 0,035	0- 0,035	0,40- 0,70	0,15- 0,25	0,40- 0,70
8620 Deney Numunesi	0,19	0,25	0,85	0,01	0,004	0,54	0,19	0,46

5.2. Numunelerin Soğuk çekme İşlemi

Bu çalışmada kullanılan SAE 8620 ve 16MnCr5 soğuk çekilmiş numunelerin soğuk çekme işlemi Akçelik Demir Çelik A.Ş. tesislerinde çubuktan soğuk çekme hattında gerçekleştirilmiştir.

22 mm. çapındaki sıcak haddelenmiş SAE 8620 ve 16MnCr5 malzemeler; oksitlerden ve tufallerden arındırılmış temiz bir yüzey elde edilebilmesi için 1 mm çelik bilyelerin kullanıldığı Endümak marka kumlama makinesinde kumlanmışlardır. Daha sonra kumlanan malzemeler Schumag çubuktan soğuk çekme hattında 20 mm.lik mühreden geçirilerek soğuk çekilmiş ve kesitleri 20 mm'e düşürülmüştür. Mühre; soğuk çekme işleminde kullanılan kalıplara (matris) endüstride verilen isimdir. Soğuk çekilen malzemeler doğrusallığının sağlanması için soğuk çekme hattına entegre doğrultma tezgahında doğrultularak deney için hazır hale getirilmiştir.

5.3. Numunelerin Sementasyon Isıl İşlemi

Bu çalışmada kullanılan numunelerin sementasyon işlemi Tam Çelik Isıl İşlem A.Ş. fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Sementasyon işlemi 920 °C'de 1, 2, 3, 4 saat sürelerle Durferrit ticari ismi ile Sodyum Siyanür (NaCN) tuz banyosunda gerçekleştirilmiş olup soğutma işlemi AS160 tuz banyosunda gerçekleştirilmiştir. Karbonlama için kullanılan tuzların karbon verme potansiyeli 1 olarak kabul edilir yani maksimum kütlece % 1 karbon verebilmektedir. Numuneler daha sonra 180 °C'de 2 saat temperleme işlemine tabi tutulmuşlardır.

5.4. Metalografik İncelemeler

Sementasyon sonrası numunelerin metalografik incelemeleri Zeis Axio İmager marka optik mikroskop ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler 120,240, 400, 600, 800, 1200 numaralı zımparalar ile zımparalandıktan sonra 1µm elmas pasta ile parlatılmıştır. Daha sonra numuneler % 3lük nital çözeltisi ile dağlanmışlardır.

5.5. Mikro Yapı Karakterizasyonu

Sementasyon sonrası numune yüzeylerinde meydana gelen fazların belirlenebilmesi için Rigaku X Işını Difraktometresi kullanılmıştır. Dalga boyu 1,541 Angstron 2θ üzerinde 20 ° ile 100 ° arası Cu Kα radyasyon kaynağı ile tarama yapılarak semente edilmiş numunelerin yüzey tabakalarının faz karakterizasyonu yapılmıştır. Numunelerin mikroyapısal incelemeleri Philips Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (Philips Field Emission Scanning Electron Microscope) ile gerçekleştirilmiştir.

5.6. Sertlik Ölçümü

Numunelerin mikro sertlik ölçümü yüzeyden merkeze doğru 20 gr yük altında Zeis marka mikroskop ile entegre çalışan Anton Paar MHT-10 marka mikro sertlik cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelerin mikrosertlik değerlerini gösteren SEM fotoğrafları Philips Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu (Philips Field Emission Scanning Electron Microscope) ile çekilmiştir. Yüzeyden merkeze doğru elde edilen her bir sertlik değeri için ayrı ayrı SEM fotoğrafları çekilmiştir. Ayrı Ayrı çekilen fotoğraflar birleştirilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi sertlikler yüzeyden çekirdeğe doğru sıralanmaktadır. Bu durum şekillerde yüzeyden çekirdeğe çizilen çizgi ile de belirtilmektedir.

5.7. Aşınma Deneyi

Sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerin aşınma deneyleri ağırlık kaybı metodu esas alınarak CSM Tribometer marka aşınma cihazı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler WC Tungsten Karbür bilya kullanılarak 10 N yük altında 700 metre (1 saat) aşındırılmıştır. Aşındırma işlemi sonucu numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları 10^{-4} hassasiyete sahip Precisa marka hassas terazi ile ölçülmüş ve aşınma dirençleri hesaplanmıştır. Aşınma deneyinde yüzey pürüzlülüğünü ölçen profilometre cihazı kullanılmamıştır.

6. SONUÇLAR

6.1. X Işınları Difraksiyon Analizi

Sementasyon işlemi görmemiş ve sementasyon işlemi görmüş bütün numunelerin yüzeylerindeki fazların tespit edilebilmesi için X ışını difraksiyon analizi yapılmıştır.

Yapılan analizlerde sementasyon işlemi görmeyen ferritik ve perlitik yapıdan oluşan numunelerde baskın faz olarak Fe demir fazı beklenmektedir. Sementasyon işlemi görmüş diğer numunelerde ise baskın olarak beklenen faz martensit fazıdır. Ancak sementasyon işlemi yapılmış çeliklerin yüzeylerinde kalıntı östenit, kaba karbürler, tane sınırı karbürleri, fosfor segregasyonu, yüzey oksitleri gibi malzemenin özelliklerini ciddi olarak etkileyen diğer mikro yapılarda meydana gelebilir [Asi, 2004].

Kalıntı östenit dönüşüm sertleşmesi esnasında martensite dönüşmeyip oda sıcaklığında da varlığını sürdürebilen östenittir. Sementasyon ile yüzey sertleştirilmesi yapılmış parçalarda kalıntı östenitin meydana gelmesindeki en önemli faktör östenitin martensite dönüşüm sıcaklıkları “ M_s ” martensit başlangıç sıcaklığı ve “ M_f ” martensit bitiş sıcaklığıdır [Asi, 2004, Makinson, et al, 2000].

Östenit fazın tamamı martensite dönüşemediği için karbürlenmiş parçalar temper martensit ve östenitten oluşan kompozit bir mikroyapıya sahiptir [Wise, et al, 2001, Krauss, 1995].

Östenit fazı Ac_3 ve Ac_m sıcaklıklarının üzerinde kararlı olan bir fazdır. Bu sıcaklıklardan soğutulan östenit fazı çeliğin kimyasal bileşimi ve difüzyon hızına etki eden soğutma hızına bağlı olarak ferrit, perlit, beynit gibi yapılara dönüşür. Çeliklerin sertleştirilmesinde ise östenit bölgesinden çeliğin kritik soğutma hızının üzerindeki difüzyon için gerekli zaman vermeyecek bir hızda soğutulması sonucu

martensitik yapının oluşması hedeflenir. Martensit dönüşüm bitiş sıcaklığı “ M_f ” su verme ortamı sıcaklığının altına düşerse östenitin martensite dönüşümü tamamlanamaz. Karbon oranı % 0,6 dan yüksek olan çelikler için yapının tamamen martensit olması için çeliğin sıfırın altındaki sıcaklıklara kadar soğutulması gerekmektedir. “ M_f ” sıcaklığının karbon oranına bağlı olarak oda sıcaklığının altına düşmesi yapıda kalıntı östenit miktarının artmasına neden olmaktadır [Asi,2004, Stratton and Surberg,2009, Krauss,1995, Voort,2009, Spice and Matlock,2002, Kuzmann, et al, 1979, Makinson, et al, 2000, Surberg, et al,2008, Ulu,2009].

Karbonlama işlemi sonucu maksimum karbon miktarı yüzeyde meydana geldiği için martensit dönüşüm başlama sıcaklığı M_s yüzeyde minimumdur. M_s sıcaklığı yüzeyden çekirdeğe doğru gidildikçe azalan karbon miktarına bağlı olarak artar [Asi ve Asi, 2003, Asi ve Can, 2001].

Su verme sonucunda meydana gelen kalıntı östenit miktarının azaltılması için sıfırın altındaki sıcaklıklarda soğutma işlemleri kullanılmaktadır [Asi ve Asi,2003, Surberg, et al,2007, Stratton and Surberg,2009, Surberg, et al,2008].

Sementasyon işleminde yüzey tabakasının karbon konsantrasyonunun %0.7 nin üzerinde olması sonucu M_f sıcaklığı oldukça aşağıya çekilir. % 0.7 karbonlu çelik için M_f sıcaklığı 20 derecenin altındadır. Dolayısıyla oda sıcaklığına soğutularak östenitin martensite dönüşümü tamamlanamaz ve sonuçta mikroyapıda östenit kalır. Ve bu kalıntı östenit martensitten sonra çeliğin mekanik özelliklerine en çok etki eden bileşendir [Asi ve Asi, 2004]

Sementasyon işlemi sonucu yapılan x ışınları analizlerinde yüzeylerde meydana gelmesi muhtemel olan diğer fazlar kalınlıkları 10-20 μm arası değişen tabakalarda oluşan oksit fazlarıdır. Karbürizasyon sırasında iç oksitlenme sonucu oluşan oksit fazları karbonlama atmosferindeki etkilerden dolayı oluşan oksijen ile oksijene karşı afiniteleri yüksek olan Cr, Mn, Ni, Si gibi alaşım elementlerinin bağlanması sonucu oluşur. Oksidasyon sırasında oksijen atomları karbürizasyon sırasında meydana gelen gaz metal reaksiyonu sonucu açığa çıkar ve metalik yüzeye adsorbe olurlar. Bundan

sonraki aşamada oksijen atomları tane sınırlarına ve alt tane sınırlarına difüz ederek oksijene karşı yüksek afiniteye sahip alaşım elementleri ile kimyasal olarak bağlanır ve oksitleri meydana getirir. Karbürleme süresinin artması ile birlikte oksidasyon derinliği artar. Meydana gelen oksitlerin oluşmasında en büyük etki çeliğin kimyasal kompozisyonu ve karbonlama ortamındaki oksijen miktarıdır. İç oksitlenmenin Cr, Mn gibi çeliklerde serleşebilme kabiliyeti ve mekanik özellikleri iyileştirici etki yapan alaşım elementlerinde meydana gelmesi yapıda bu elementlerin azalmasına, dolayısıyla sertleşebilme kabiliyetinin azalıp martensitik olmayan yapıların (kalıntı östenit) meydana gelmesine neden olur [Parrish,1999, Ueda, et al,2001,Matlock, et al,2005, Spice and Matlock,2002, Kaczmarek and Giersig,1997, Savolainen et al, 2005].

Numunelerin X ışınları analizlerinin sonuçları aşağıda şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4` de verilmiştir. Şekillerde görülen “ana malzeme” ibaresi sementasyon işlemi görmemiş numuneleri belirtmektedir. “1 saat”, “2 saat”, “3 saat”, “4 saat” ibareleri ise numunelerin tabi tutulmuş oldukları sementasyon sürelerini belirtmektedir.

Şekillerde piklerin üzerlerindeki numaralar o piklerin hangi fazlara ait olduğunu göstermek için eklenmiştir. Bu numaraların temsil ettikleri fazlar aşağıda belirtilmiştir.

1: Demir, 2: Martensit, 3: Östenit, 4: Demir Oksit (FeO), 5: Kromit ($FeCr_2O$), 6: Mangan Krom Oksit ($MnCrO$), 7: Demir Karbür (FeC)

Kristalin bir malzeme X ışınları ile radyasyona tabi tutulursa malzeme içinde bütün fazların kristal yapıları tarafından belirlenen karakteristik difraksiyon paternleri elde edilir ve bu paternde oluşan fazların şiddetleri (pik alanları) malzeme içinde bulunan fazların miktarı ile orantılıdır [Asi, 2001].

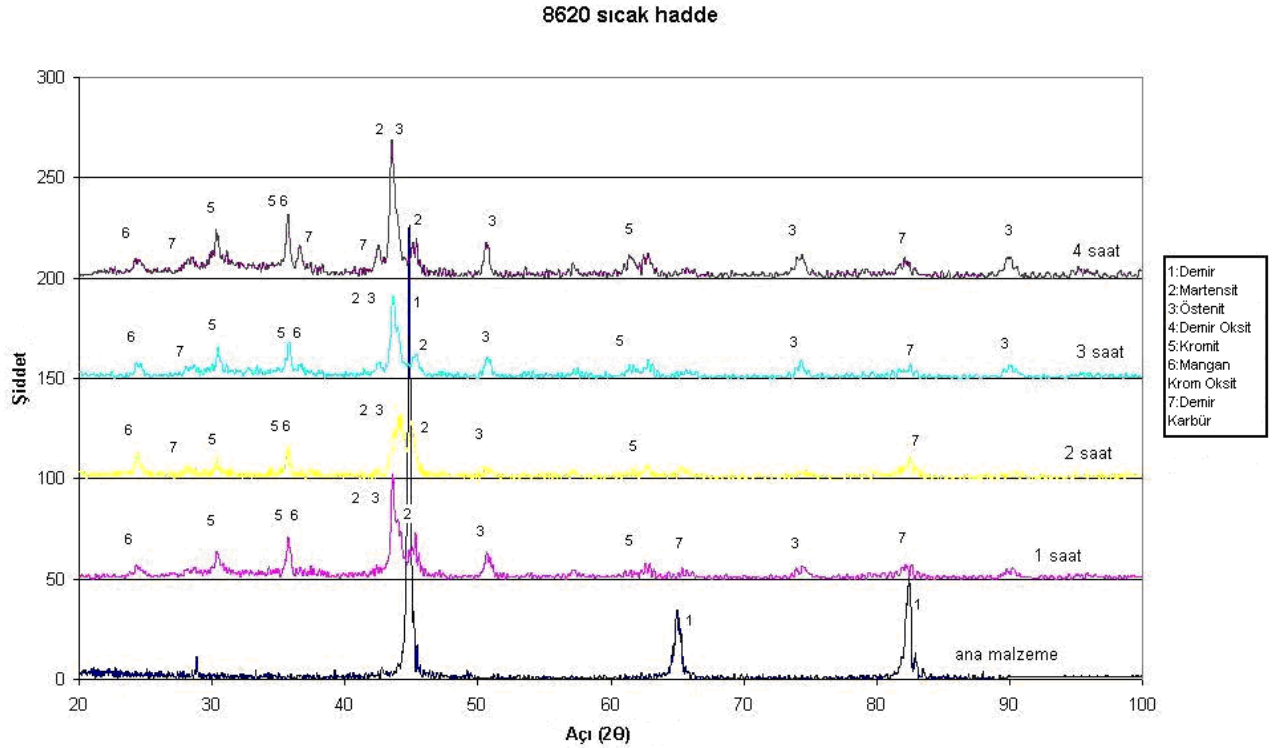
Şekiller genel olarak incelendiğinde sementasyon görmemiş numunenin analizinde beklendiği gibi sadece demir fazı tespit edilmiştir. Sementasyon işlemi görmüş numuneler incelendiğinde ise beklendiği gibi martensit fazı tespit edilmiştir.

Bu fazın tespit edilmesi sementasyon işleminin gerçekleştiğinin bir göstergesidir. Martensit fazına ek olarak sementasyonla yüzey sertleştirme işlemlerinde yüzeydeki karbon oranının artmasına paralel olarak Mf martensit dönüşüm bitiş sıcaklığının aşağılara çekilmesi sonucu kaçınılmaz olarak yapıda kalan kalıntı östenit fazıdır. Kalıntı östenitin varlığı dahi sementasyon işlemin gerçekleştiğinin bir göstergesidir.

Karbürizasyon prosesinde yüksek karbon içeriği nedeniyle martensit dönüşüm bitiş sıcaklığı oda sıcaklığının altına düşmüş olabilir. Bu nedenle soğutma işleminden sonra yapıda kalıntı östenit kalmıştır. Karbürleme prosesinde etkili bir karbürleme gerçekleştirildiğinde malzemenin iç kısımları % 0,1-0,2 civarı karbon içeriğine, yüzey bölgeleri yaklaşık % 0,8 civarı karbon içeriğine sahip olmaktadır. Karbon içeriğinin % 0,8 değerini aşması durumunda ise aşırı kalıntı östenit ve demir karbür oluşumu gerçekleşmektedir [Başaran, 2007].

Şekillerden numunelerde karbürizasyon sırasında iç oksitlenmenin de meydana geldiği anlaşılmaktadır. İç oksitlenme malzemenin kimyasal kompozisyonu ile doğrudan ilgilidir. Numunelerin kimyasal kompozisyonları incelendiğinde Mn, Cr, gibi oksijen afiniteleri yüksek elementler ihtiva ettiği görülmektedir. Malzemeler mukavemet ve sertleşebilirlik kabiliyeti kazandırılmak için katılan bu alaşım elementleri yüksek sıcaklıkta oksijen ile tepkimeye girerek oksit fazlarını meydana getirmektedir.

Şekiller incelendiğinde yüzeyden alınan x ışınları analizlerinde demir karbür (FeC) fazının da mevcut olduğu görülmektedir. Bu faz sementasyon işlemi ile yüzeyin karbon konsantrasyonunun artması sonucu meydana gelmektedir. Karbon oranı arttıkça daha fazla demir atomu karbon ile bağlanacak ve karbür oluşturacaktır. Bu fazın miktarının artan sementasyon süresine bağlı olarak artan karbon oranı ile birlikte artması beklenebilir.



Şekil 6.1 Sıcak haddelenmiş 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 8620 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları

Şekil 6.1 genel olarak incelendiğinde sementasyon işlemi görmeyen numuneye kıyasla semente edilen numunelerde martensit fazının oluştuğu görülmüştür. Martensit fazı sementasyon işleminin gerçekleştiğine işaret etmektedir. Semente edilen numuneler incelendiğinde martensit, kalıntı östenit, oksit fazları (kromit, mangan krom oksit) ve demir karbür fazlarının mevcut olduğu görülmektedir. Martensit ve östenit fazları sementasyon işleminin doğası gereği oluşmuştur. Karbürleme prosesinde karbon atomları yüzey merkezli kübik yapıya sahip östenit faz içinde çözünür, su verme işlemi sırasında hacim merkezli kübik yapıya sahip ferrit fazı içinde sıkışarak hacim merkezli tetragonal yapıya sahip martensit fazını oluşturmaktadır. Oksit fazlarının mevcudiyeti SAE 8620 çeliğinin oksijene karşı afinitesi yüksek Cr, Mn alaşım elementlerine sahip kimyasal kompozisyonundan kaynaklanmaktadır. Şekillerde görülen demir karbür fazının ise yüzeyde karbon oranının artmasına paralel olarak demirin karbon ile karbür şeklinde bağlanması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Bu fazın varlığı yüzey bölgesinde karbon oranının arttığının yani karbürizasyon işleminin gerçekleştiğinin bir göstergesi olarak

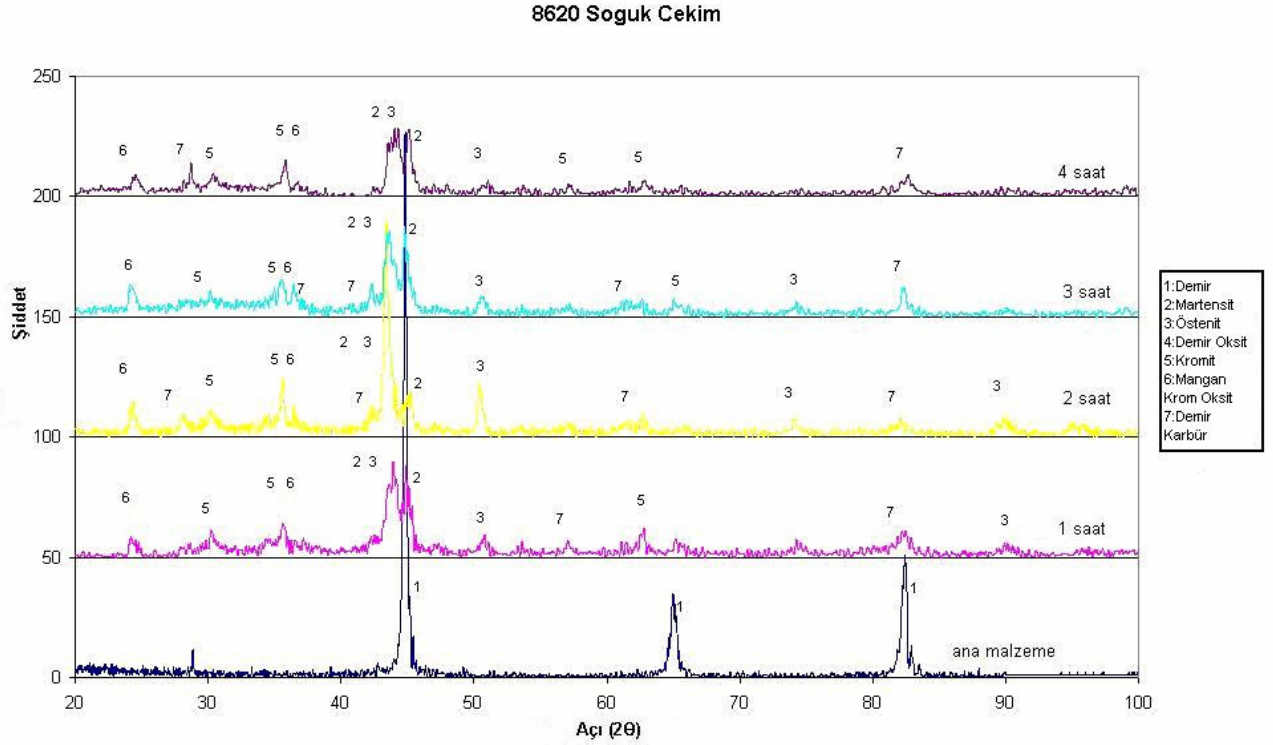
düşünülebilir. Tüm bu sonuçlar Şekil 6.2 de gösterilen SAE 8620 soğuk çekilmiş numuneler içinde geçerlidir.

Şekil 6.1 de semente edilen numuneler incelendiğinde 1 saatlik numunenin 20 43 °de birleşik olarak gösterilen 2 ve 3 nolu fazlara ait pikin şiddetinin 2 saatlik numuneye göre daha şiddetli olduğu görülmektedir. 3 saatlik numunedeki bu pikin şiddetinin 2 saatlik numuneye göre arttığı, 1 saatlik numuneye göre kısmen aynı kaldığı görülmüştür. Bu fazlara ait en yüksek şiddetteki pikin 4 saatlik numunede meydana geldiği görülmüştür. 20 45 °deki tek başına gösterilen 2 numaralı martensit fazı incelendiğinde 1 saatlik numuneye göre 2 saatlik numuneye ait pikin şiddetinde artış olduğu, 3 saatlik numuneye ait pikin şiddetinde ise azalma olduğu görülmüştür. 4 saatlik numuneye ait pikin şiddetinde ise 3 saatlik numuneye göre çok az bir miktarda artış olduğu görülmüştür. 20 52 °de tek başına gösterilen 3 numaralı östenit fazı incelendiğinde 1saatlik numuneye göre pikin şiddetinin 2 saatlik numunede azaldığı, 3 saatlik numunede ise 2 saatlik numuneye göre arttığı görülmüştür. En şiddetli pikin 4 saatlik numuneye ait olduğu görülmüştür.

5 ve 6 numaralı oksit fazları incelendiğinde en düşük şiddetteki piklerin 2 saatlik numunede, en yüksek şiddetteki piklerin ise 4 saatlik numunede olduğu görülmüştür.

Cr, Mn gibi çeliklerde sertleşebilme kabiliyeti ve mekanik özellikleri iyileştirici etki yapan alaşım elementlerinde oksitlenmenin meydana gelmesi yapıda bu elementlerin azalmasına, dolayısıyla sertleşebilme kabiliyetinin azalıp martensitik olmayan yapıların (kalıntı östenit) meydana gelmesine neden olur. Bu sebepten dolayı 5 ve 6 numaralı oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin yüksek olduğu numunelerde martensit fazına ait piklerin şiddetlerinin azaldığı, östenit fazına ait piklere ait şiddetlerin arttığı görülmüştür.(45 °deki martensit fazı ve 52 °deki östenit fazı). Şekil incelendiğinde en yüksek şiddetteki oksit fazına ait piklere sahip olan 4 saatlik numunede östenit fazına ait pikin (kalıntı östenit) en yüksek olduğu, en düşük şiddetteki oksit fazına ait piklere sahip olan 2 saatlik numunede ise östenit fazına ait pikin (kalıntı östenit) en düşük olduğu görülmüştür.

7 numaralı demir karbür fazının ise artan sementasyon süresi ile birlikte arttığı görülmüştür. Artan sementasyon süresine bağlı olarak yüzeydeki karbon oranının artması sonucu demirin karbonla birleşerek oluşturduğu demir karbür fazının piklerindeki şiddetin arttığı görülmüştür.



Şekil 6.2 Soğuk çekilmiş 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 8620 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları

Şekil 6.2 genel olarak incelendiğinde şekil 6.1 için geçerli olan genel sonuçların soğuk çekilmiş numuneler içinde geçerli olduğu görülmüştür.

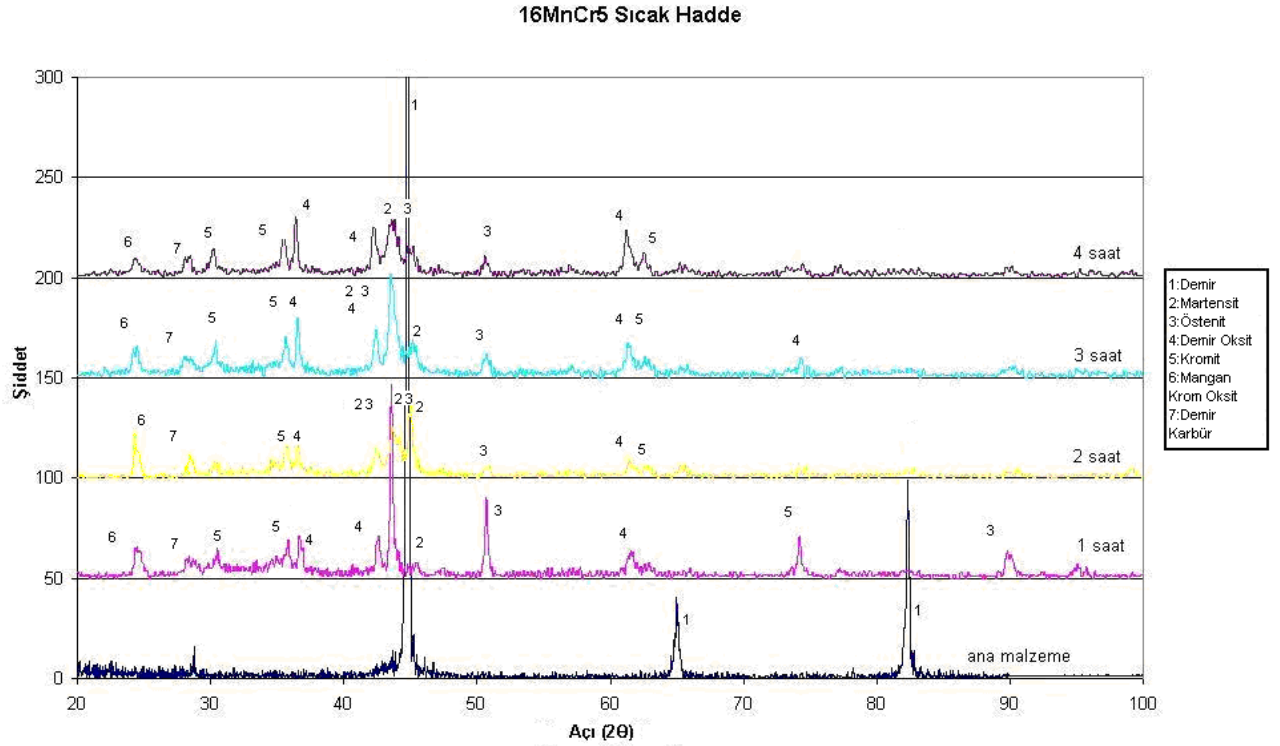
Şekil 6.2 de semente edilen numuneler incelendiğinde 1 saatlik numunenin 2θ 43° de birleşik olarak gösterilen 2 ve 3 nolu fazlara ait pikin şiddetinin 2 saatlik numunede en şiddetli olduğu görülmektedir. 1 saatlik ve 3 saatlik numunelerde ise bu pikin şiddetlerinin yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. 4 saatlik numuneye ait bu pikin şiddetinin ise diğer numunelere göre daha düşük olduğu görülmüştür. 2θ 45° deki tek başına gösterilen 2 numaralı martensit fazı incelendiğinde 1 saatlik numuneye göre 2 saatlik numuneye ait pikin şiddetinde azalma olduğu görülmüştür. 3 saatlik numuneye ait pikin şiddetinde ise 2 saatlik numuneye göre artma olduğu ve 1 saatlik numune ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. 4 saatlik numuneye ait pikin

şiddetinde ise 1 saatli ve 3 saatlik numuneye göre az bir miktarda düşüş olduğu ancak 2 saatlik numuneye göre artış olduğu görülmüştür. 20 52 °de tek başına gösterilen 3 numaralı östenit fazı incelendiğinde 1saatlik numuneye göre pikin şiddetinin 2 saatlik numunede arttığı, 3 saatlik numunede ise 2 saatlik numuneye göre azalarak 1 saatlik numuneye ait pikin şiddeti ile yaklaşık aynı seviyeye geldiği görülmüştür. En düşük şiddetli pikin 4 saatlik numuneye ait olduğu görülmüştür.

5 ve 6 numaralı oksit fazları incelendiğinde en yüksek şiddetteki piklerin 2 saatlik numunede, diğer numunelerde ise piklerin şiddetlerinin aynı olduğu görülmüştür.

5 ve 6 numaralı oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin yüksek olduğu 2 saatlik numunede martensit fazına ait pikin şiddetinin en düşük olduğu, östenit fazına (kalıntı östenit) ait pikin şiddetinin en yüksek olduğu görülmüştür.(45 °deki martensit fazı ve 52 °deki östenit fazı). Diğer numunelerdeki oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin yaklaşık olarak aynı olması sonucu martensit ve östenit fazlarına (kalıntı östenit) ait piklerin şiddetlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. 7 numaralı demir karbür fazının ise artan sementasyon süresi ile birlikte arttığı görülmüştür. Artan sementasyon süresine bağlı olarak yüzeydeki karbon oranının artması sonucu demirin karbonla birleşerek oluşturduğu demir karbür fazının piklerindeki şiddetin arttığı görülmüştür.

SAE 8620 sıcak haddelenmiş ve sement edilmiş numuneler ile SAE 8620 soğuk çekilmiş ve sement edilmiş numunelerde 20 45 °deki martensit fazları karşılaştırıldığında; soğuk çekilmiş numunelerdeki martensit fazına ait piklerin şiddetlerinin soğuma hızına bağlı olarak sıcak haddelenmiş numunelere göre daha şiddetli olduğu görülmüştür. 20 mm. çapındaki soğuk çekilmiş numuneler 22 mm. çapındaki sıcak haddelenmiş numunelere göre daha hızlı soğuyacaktır. Su verme esnasında daha hızlı soğuduğu için daha fazla miktarda martensit fazı elde edilecektir.



Şekil 6.3 Sıcak haddelenmiş 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 16MnCr5 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları

Şekil 6.3 genel olarak incelendiğinde şekil 6.1 için geçerli olan genel sonuçların sıcak haddelenmiş 16MnCr5 numuneler içinde geçerli olduğu görülmektedir.

Şekil 6.3 genel olarak incelendiğinde sementasyon işlemi görmeyen numuneye kıyasla semente edilen numunelerde martensit fazının oluştuğu görülmüştür. Martensit fazı sementasyon işleminin gerçekleştiğine işaret etmektedir. Semente edilen numuneler incelendiğinde martensit, kalıntı östenit, oksit fazları kromit, mangan krom oksit, SAE 8620 numunelere ek olarak demir oksit ve demir karbür fazlarının mevcut olduğu görülmektedir.

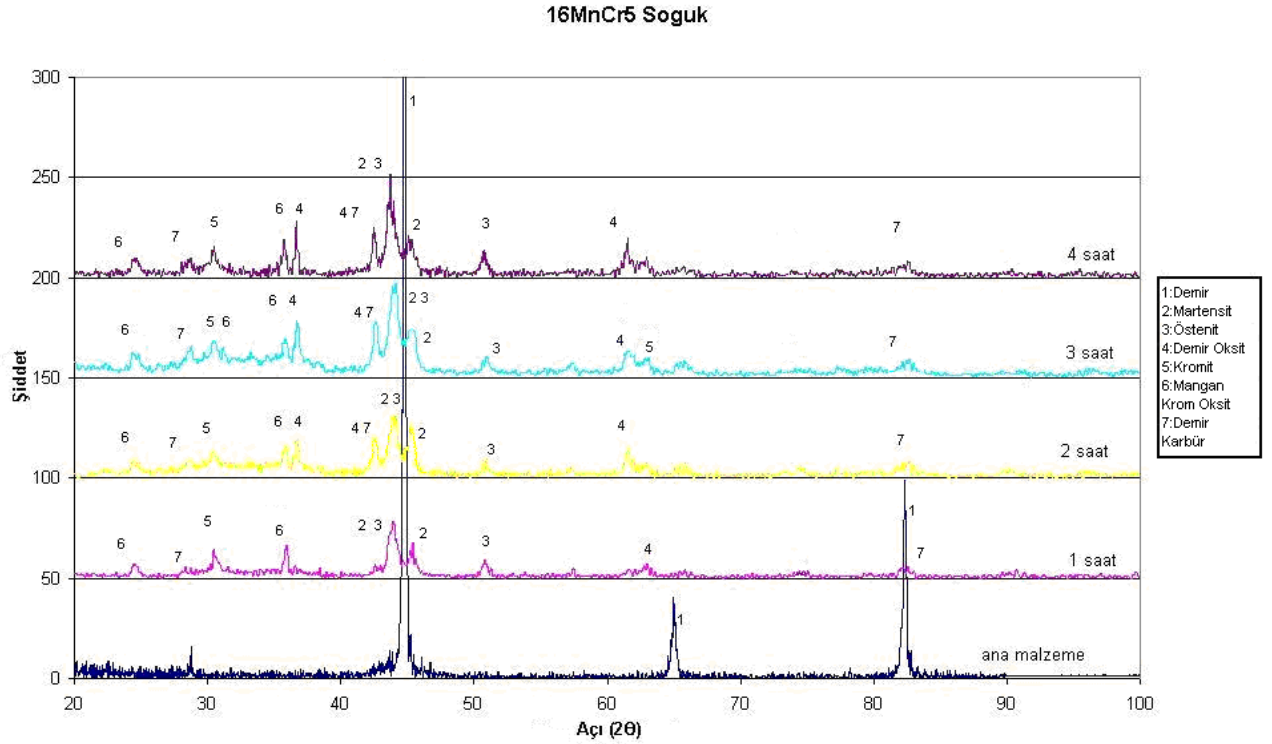
Şekil 6.3 de semente edilen numuneler incelendiğinde 1 saatlik numunenin 20 43 °de birleşik olarak gösterilen 2 ve 3 nolu fazlara ait pikin şiddetinin en yüksek olduğu görülmektedir. 2 saatlik numunedeki bu pikin şiddetinin 3 saatlik numuneye

göre daha düşük olduğu, 4 saatlik numuneye göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu fazlara ait en yüksek şiddetteki pikin 1 saatlik numunede en düşük şiddetli pikin 4 saatlik numunede meydana geldiği görülmüştür. 20 45 °deki tek başına gösterilen 2 numaralı martensit fazı incelendiğinde 1 saatlik numuneye ait pikin şiddetinin en düşük olduğu görülmüştür. 2 saatlik numuneye ait pikin şiddetinin ise en yüksek olduğu görülmüştür. 3 saatlik ve 4 saatlik numunelere ait piklerin şiddetlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. 20 52 °de tek başına gösterilen 3 numaralı östenit fazı incelendiğinde 1saatlik numuneye ait pikin şiddetinin en yüksek olduğu, 2 saatlik numunede ise en düşük olduğu, 3 saatlik ve 4 saatlik numunelerde ise yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür.

5,6 ve 4 numaralı oksit fazları incelendiğinde en düşük şiddetteki piklerin 2 saatlik numunede, en yüksek şiddetteki piklerin ise 3 ve 4 saatlik numunelerde olduğu görülmüştür. 1 saatlik numunedeki oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin 3 ve 4 saatlik numunelere göre kısmen daha düşük olduğu görülmüştür.

Oksit fazlarına sahip numunelerde martensit fazına ait piklerin şiddetlerinde azalma, östenit fazına ait piklerin şiddetlerinde ise artma görülmüştür (45 °deki martensit fazı ve 52 °deki östenit fazı).

7 numaralı demir karbür fazının ise artan sementasyon süresi ile birlikte arttığı görülmüştür. Artan sementasyon süresine bağlı olarak yüzeydeki karbon oranının artması sonucu demirin karbonla birleşerek oluşturduğu demir karbür fazının piklerindeki şiddetin arttığı görülmüştür.



Şekil 6.4 Soğuk çekilmiş 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat sementasyon işlemi görmüş ve sementasyon işlemi görmemiş 16MnCr5 numunelerinin X ışınları analizi sonuçları

Şekil 6.4 genel olarak incelendiğinde şekil 6.1 için geçerli olan genel sonuçların soğuk çekilmiş 16MnCr5 numuneler içinde geçerli olduğu görülmüştür.

Şekil 6.4 de semente edilen numuneler incelendiğinde 1 saatlik numunenin 2θ 43° de birleşik olarak gösterilen 2 ve 3 nolu fazlara ait pikin şiddetinin en düşük olduğu görülmektedir. 2 saatlik numuneye ait pik şiddetinin 1 saatlik numuneye göre arttığı görülmüştür. 3 saatlik ve 4 saatlik numunelerde ise bu pikin şiddetlerinin yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. 2θ 45° deki tek başına gösterilen 2 numaralı martensit fazı incelendiğinde 1 saatlik numuneye ait pikin şiddetinin en düşük olduğu görülmüştür. 2 saatlik numuneye ait pikin şiddetinde ise 1 saatlik numuneye göre artma olduğu ve 4 numune arasında en yüksek olduğu görülmüştür. 3 saatlik ve 4 saatlik numunelere ait piklerin şiddetlerinin ise yaklaşık olarak aynı olduğu ve 2 saatlik numuneye göre az bir miktarda düşüş olduğu görülmüştür. 2θ 52° de tek başına gösterilen 3 numaralı östenit fazı incelendiğinde 2 saatlik numuneye ait pikin şiddetinin en düşük olduğu, 4 saatlik numunede ise en yüksek olduğu, 1 ve 3 saatlik numunelerde ise 4 saatlik numuneye göre azaldığı ve yaklaşık aynı seviyeye geldiği

görülmüştür. Ancak 4 numunede de fazların pikleri arasında belirgin bir fark olmadığı görülmüştür.

5 ve 6 numaralı oksit fazları incelendiğinde en yüksek şiddetteki piklerin 3 saatlik ve 4 saatlik numunelerde olduğu, 1 saatlik numunede bu fazların şiddetlerinin azaldığı ve 2 saatlik numunede ise en düşük şiddette olduğu görülmüştür. 1 ve 2 saatlik numunelerde bu fazların şiddetlerinde belirgin bir farka rastlanmamıştır.

Diğer 3 numuneye nispeten en düşük şiddette oksit fazlarına ait piklere sahip 2 saatlik numunede martensit fazına ait pikin şiddetinin en yüksek olduğu, östenit fazına (kalıntı östenit) ait pikin şiddetinin en düşük olduğu görülmüştür.(45 °deki martensit fazı ve 52 °deki östenit fazı). 3 saatlik ve 4 saatlik numunelerdeki oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin yaklaşık olarak aynı olması sonucu martensit ve östenit fazlarına (kalıntı östenit) ait piklerin şiddetlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmüştür. 7 numaralı demir karbür fazının ise artan sementasyon süresi ile birlikte çok belirgin olmamakla birlikte arttığı görülmüştür.

Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerde 1 saat semente edilen numuneler incelendiğinde martensit fazına ait piklerin şiddetlerinin diğer numunelere göre düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. Bu sonuç, yapılan 1 saat sementasyon işleminde malzemeye yeteri kadar karbon difüz edemediğini ve dolayısıyla etkili bir sementasyon işleminin gerçekleşmediği ihtimalini ortaya çıkarmaktadır. Ancak X ışınları analizinde 1 saatlik numunelerde demir karbür fazının görülmesi sementasyon işleminin azda olsa gerçekleştiğini düşündürmektedir.

16MnCr5 sıcak haddelenmiş ve semente edilmiş numuneler ile 16MnCr5 soğuk çekilmiş ve semente edilmiş numunelerde 20 45 °deki martensit fazları karşılaştırıldığında; soğuk çekilmiş numunelerdeki martensit fazına ait piklerin şiddetlerinin soğuma hızına bağlı olarak sıcak haddelenmiş numunelere göre kısmen de olsa daha şiddetli olduğu görülmüştür. 20 mm. çapındaki soğuk çekilmiş numuneler 22 mm. çapındaki sıcak haddelenmiş numunelere göre daha hızlı

soğuyacaktır. Su verme esnasında daha hızlı soğuduğu için daha fazla miktarda martensit fazı elde edilecektir.

16MnCr5 ve SAE 8620 numuneler genel olarak karşılaştırıldığında; 16MnCr5 numunelerin kimyasal kompozisyonları SAE 8620 numunelerin kimyasal kompozisyonlarına göre daha yüksek miktarda oksit oluşturunu Cr ve Mn elementi içermektedir. Bundan dolayıdır ki 16MnCr5 numunelerde daha şiddetli oksit fazlarına ait pikler elde edilmiştir.

SAE 8620 numunelerin kimyasal kompozisyonlarında sertleşebilirliği sağlayan Ni ve Mo elementlerinin miktarının 16MnCr5 numunelere göre daha yüksek olması nedeniyle, ayrıca 16MnCr5 numunelerde martensitik olmayan dönüşümlere yol açan yapıda martensit miktarını azaltan oksit fazları miktarının SAE 8620 numunelere göre fazla olması sonucu SAE 8620 numunelerde daha yüksek şiddetlerde martensit fazına ait pikler elde edilmiştir.

6.2. Mikrosertlik ve Etkili Sementasyon Derinliği Değerlendirmeleri

Sementasyon işleminden sonra, karbon miktarı genellikle yüzeyde en yüksek olacak şekilde merkeze doğru azalır. Meydana gelen sertlik değerleri de karbon miktarına bağlı olarak değişmektedir. Etkili sementasyon derinliği, sementasyon işleminden sonra belirli bir sertlik değerı için tarif edilir. TS 1719'a göre etkili sementasyon derinliği Vickers sertliği 550 HV olan karbonlanmış ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklık olarak tarif edilir. Etkili sementasyon derinliğine etki eden faktörler; sementasyon sıcaklığı, sementasyon süresi, karbonlama ortamının karbon potansiyeli, çeliğin kimyasal bileşimi, parçanın şekli ve büyüklüğü ve su verme esnasındaki soğutma hızıdır. Etkili sementasyon derinliği sementasyon süresi arttıkça artmaktadır [Asi, 2001, Asil Çelik Yayınları, 2000].

Östenit fazda çözünen karbon miktarı yüzey sertliğini belirleyen temel faktördür. Yüzeydeki karbon miktarı % 0.80 ile % 1 arasında olabilecek şekilde kontrol edilmelidir. Yüzeyde karbon miktarının fazla olmasının (ötektoid üssü bölgede) iki önemli sebepten dolayı sakıncaları vardır. Birincisi eğer çelik parça sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulursa perlit tane sınırlarında sementit ağı meydana gelecektir. Daha sonra yapılacak olan sertleştirme işleminde, özellikle parça 'Acm' çizgisinin altında bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra sertleştirilirse, işlem sonunda yapıda sementit ağı olduğu gibi kalacak ve bu malzemenin kırılma dayanımı gibi bazı olumsuz neticeler verecektir. İkinci olarak yüzeydeki karbon miktarı % 0.80'i geçmesi sertleştirme sonrasında martenzit yapıda artık östenit kalmasına ve sertliğin azalmasına sebep olacaktır. Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerde yüzeydeki karbon miktarının % 0.80'den fazla olmamasına dikkat edilmelidir [Asil Çelik Yayınları, 2000, Stratton and Surberg,2009, Krauss,1995, Voort,2009, Spice and Matlock,2002, Kuzmann, et al,1979, Makinson, et al, 2000, Surberg, et al,2008, Ulu,2009, Ulu ve ark.,2006].

Fazla semente edilmiş çeliklerin sertleştirme sıcaklıklarının uygun seçilmesi ve östenit fazda çözünen karbon miktarının kontrol edilmesi sonucu sertleştirme sonucu oluşacak artık östenit miktarı azaltılabilir ve böylece yüksek sertlik değerleri elde

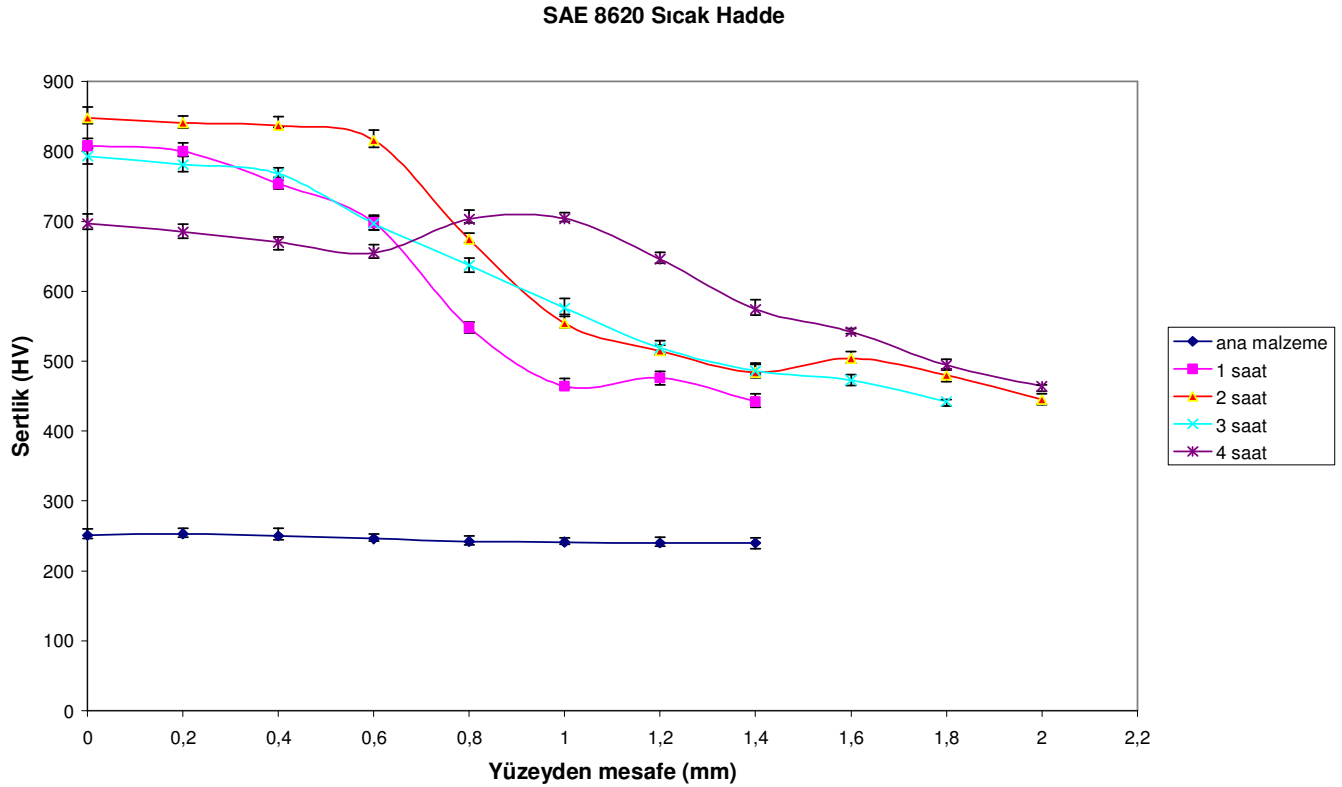
edilebilir. Fakat çelik yüzeyinde sementasyon sonucu uygun karbon konsantrasyonu sağlanırsa maksimum sertlik elde edebilmek için sertleştirme sıcaklığının fazla önemi kalmaz [Asil Çelik Yayınları,2000, Asi ve Asi,2003, Surberg, et al,2007, Stratton and Surberg,2009, Surberg, et al,2008].

Sementasyon zamanının uygun seçilmesi yüzey sertliği açısından önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Sementasyon zamanının artırılması ile birlikte östenit fazda çözünen karbon miktarı artacak ve sertleştirme sonrası martenzitik yapıda daha fazla artık östenit kalacaktır, bunun sonucunda da sertlik oldukça düşecektir. Eğer parça düşük bir sıcaklıktan tekrar sertleştirilirse (çift sertleştirme) artık östenitin azalması sonucu sertlikte bir artış meydana gelecektir [Asil Çelik Yayınları,2000, Asi ve Asi,2003, Surberg, et al,2007, Stratton and Surberg,2009, Surberg, et al,2008].

Çelik yüzeyindeki dekarbürizasyon tabakaları, oksit tabakaları sementasyon sonrası yapılacak sertleştirme işleminde martensitik olmayan yapıların oluşmasına yol açarak bünyenin tamamen martensite dönüşmesini engellemekte ve yüzeyde yumuşak bir bölge oluşturmaktadır. İç oksitlenme ile birlikte östenit katı çözeltisi içindeki sertleşebilirliği sağlayan alaşım elementleri önemli miktarda azalmakta ve sonuç olarak martensitik olmayan yapıların oluşmasına neden olmaktadır. Bunun neticesinde de yüzey sertliğinde azalma meydana gelmektedir [Asi, 2001].

Literatürden elde edilen bu bilgiler ve numunelerin X ışınları analizlerinden elde edilen sonuçların yardımıyla numunelerin sertlik sonuçları değerlendirilecektir.

Deneyde kullanılan numunelerin mikrosertlik değerleri ve etkili sementasyon derinlikleri şekil 6.5, 6.10, 6.15, 6.20`de gösterilmiştir. Verilen sertlik değerleri alınan beş ölçümün ortalamasıdır.



Şekil 6.5 SAE 8620 sıcak haddelenmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri

Sıcak haddelenmiş ve 1 saat sement edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 808 HV, çekirdek sertliğinin 442 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 0,8 mm olduğu görülmektedir.

Sıcak haddelenmiş ve 2 saat sement edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 848 HV, çekirdek sertliğinin 445 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1 mm olduğu görülmektedir.

Sıcak haddelenmiş ve 3 saat sement edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 793 HV, çekirdek sertliğinin 442 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1,1 mm olduğu görülmektedir.

Sıcak haddelenmiş ve 4 saat sement edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 697 HV, çekirdek sertliğinin 446 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1,6 mm olduğu görülmektedir.

SAE 8620 sıcak haddelenmiş ve sement edilmiş numunelerin sertlik değerleri genel olarak incelendiğinde en yüksek yüzey sertliğinin 2 saat sement edilen numunede (848 HV) olduğu görülmüştür. En düşük yüzey sertliğinin ise 4 saat sement edilmiş numunede (697 HV) olduğu görülmüştür. 1 saat ve 3 saat sement edilen numunelerin (sırasıyla 808 HV ve 793 HV) yüzey sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. En yüksek etkili sementasyon derinliğinin 4 saat sement edilen numunede (1,6 mm), en düşük etkili sementasyon derinliğinin ise 1 saat sement edilen numunede (0,8 mm) olduğu görülmüştür.

Etkili sementasyon derinlikleri beklendiği gibi, artan sementasyon süresi ile birlikte artan karbon difüzyonu sonucu yüzeyden çekirdeğe doğru karbon miktarının artmasından dolayı artmıştır.

4 saat sement edilmiş numunedeki yüzey sertlik değerinin en düşük olmasının nedeni; yüzeydeki karbon oranının artmasına paralel olarak Mf martensit dönüşüm bitiş sıcaklığının aşağılara çekilmesi sonucu su verme sırasında yapıda kalan kalıntı östenit fazı, östenit katı çözeltisi içindeki sertleşebilirliği sağlayan alaşım elementlerinin miktarını önemli miktarda azaltan ve sonuç olarak martensitik olmayan yapıların oluşmasına neden olan oksit fazları olarak sayılabilir. Şekil 6.1 incelendiğinde Östenit ve oksit fazlarına ait en yüksek şiddetteki piklerin 4 saatlik numuneye ait olduğu görülmektedir. Bundan dolayı en düşük yüzey sertliği 4 saatlik numunede elde edilmiştir.

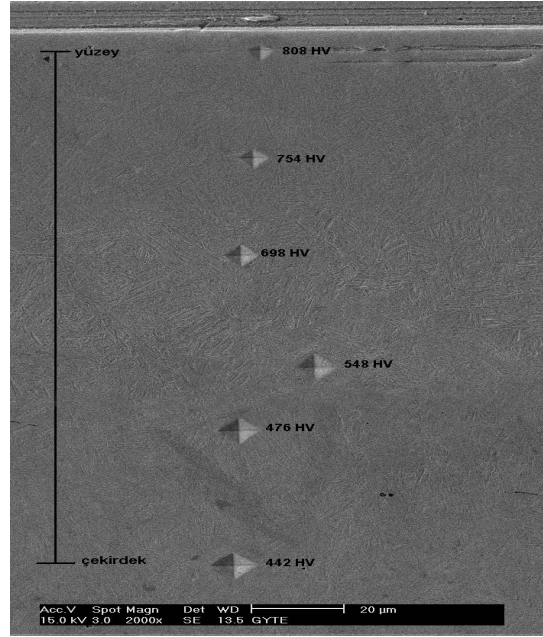
En yüksek yüzey sertliğine sahip olan 2 saatlik numunenin x ray analizlerinde en düşük şiddetteki östenit ve oksit fazlarına ait piklere ve en yüksek şiddetteki martensit fazına ait piklere sahip olduğu görülmektedir. Martensitik olmayan yapıların oluşmasına neden oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin diğer numunelere göre daha düşük düzeyde olduğu görülmektedir. Bunun sonucunda da en yüksek yüzey sertliği 2 saatlik numunede elde edilmiştir.

1 saatlik ve 3 saatlik numunelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, numunelerin sahip olduğu östenit ve oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin yakın olması sonucu birbirine yakın yüzey sertlikleri elde edilmiştir. 1 saatlik numunede martensit fazına ait pikin şiddeti 3 saatlik numuneye göre biraz daha fazla olduğundan 1 saatlik numunenin yüzey sertliği az da olsa yüksek çıkmıştır.

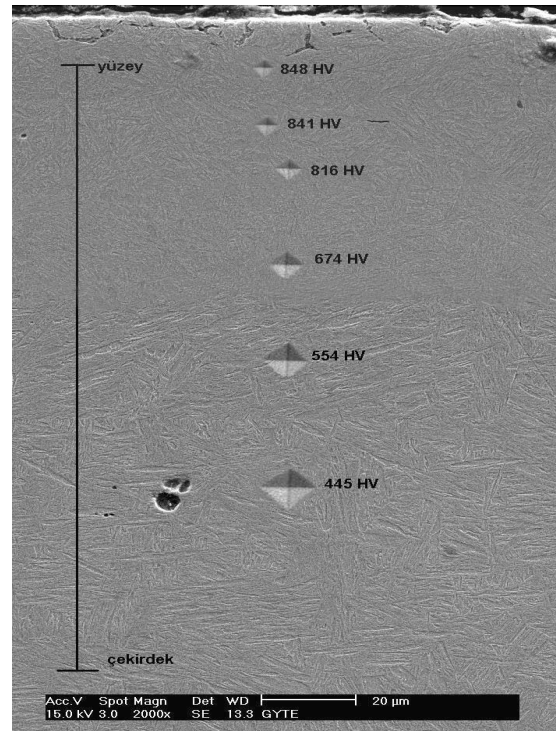
4 saatlik numunenin sertlik değerlerine bakıldığında yüzeyden yaklaşık 1 mm içeriye doğru olan bölgesinde sertliğin yüzey sertliğine göre bir miktar artarak en yüksek değere ulaştığı daha sonra tekrar azaldığı görölmüştür. En yüksek sertlik değerinin yüzeyden 1 mm. içerde elde edilmesinin nedeni řu şekilde açıklanabilir; Artan karbonlama süresi ile birlikte östenit fazında çözünen karbon oranının artması sonucu sertleştirme sonrası yüzeyde kalan ve martensitten daha yumuşak olan kalıntı östenit fazından dolayı yüzey sertliği düşüktür. Yüzeye kıyasla daha az karbon oranına sahip olan bu bölgede çok daha düşük miktarda kalıntı östenit mevcut olduğundan en yüksek sertlik bu bölgede elde edilmiştir.

Yüzey sertliğinin aksine en yüksek etkili sementasyon derinliği 4 saatlik numunede elde edilmiştir. En düşük etkili sementasyon derinliği ise 1 saatlik numunede elde edilmiştir. Etkili sementasyon derinliklerinin artan sementasyon süresi ile birlikte arttığı görölmüştür. Bu sonuç artan karbonlama süresi ile birlikte karbon difüzyonunun artarak karbonun bünye içerisinde daha derinlere difüz etmesi ile açıklanabilir. Karbon miktarı genellikle yüzeyde en yüksek olacak şekilde merkeze doğru azalacaktır. Numunelerde meydana gelen sertlik değerlerinin karbon miktarına bağlı olarak yüzeyden merkeze doğru azaldığı görölmüştür. Numunelerin çekirdek sertliklerinde ise karbonlama işleminden sonra gerçeleştirilen ışlah işlemi sonucu artış meydana gelmiştir.

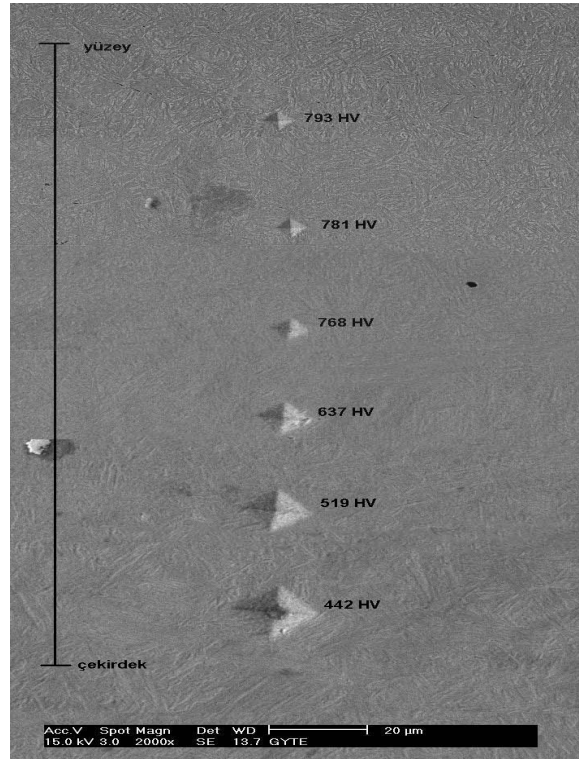
şekil 6.6, 6.7, 6.8, 6.9'da SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve sementasyon işlemi görmüş numunelerin yüzeylerinden çekirdeklerine doğru elde edilen mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafları görölmektedir. Yüzeyden merkeze doğru elde edilen her bir sertlik değeri için ayrı ayrı SEM fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflar birleştirilerek tek bir fotoğraf elde edilmiştir. şekillerden de görölebileceği gibi sertlikler yüzeyden çekirdeğe doğru sıralanmaktadır. Bu durum şekillerde yüzeyden çekirdeğe çizilen çizgi ile de belirtilmektedir.



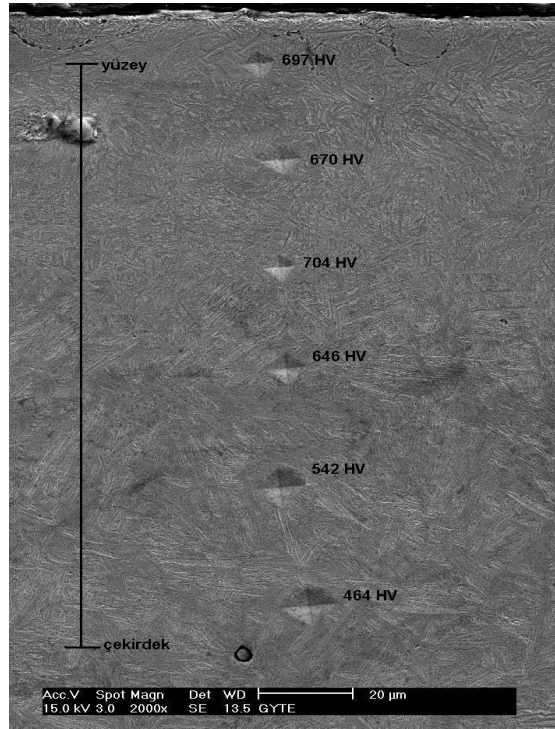
Şekil 6.6 SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



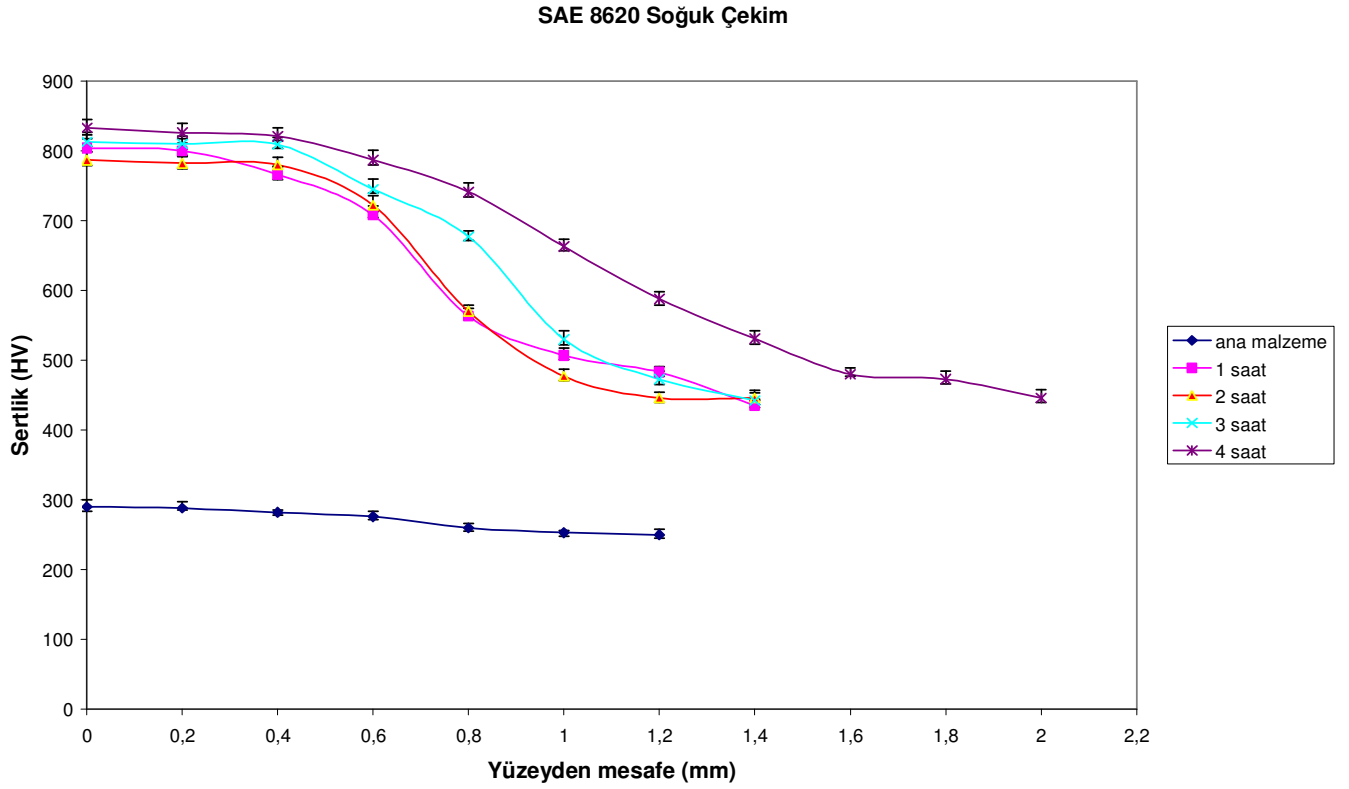
Şekil 6.7 SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.8 SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.9 SAE 8620 Sıcak haddelenmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.10 SAE 8620 soğuk çekilmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri

Soğuk çekilmiş ve 1 saat sementede edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 804 HV, çekirdek sertliğinin 435 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 0,8 mm olduğu görülmektedir.

Soğuk çekilmiş ve 2 saat sementede edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 787 HV, çekirdek sertliğinin 446 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 0,9 mm olduğu görülmektedir.

Soğuk çekilmiş ve 3 saat sementede edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 813 HV, çekirdek sertliğinin 442 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1 mm olduğu görülmektedir.

Soğuk çekilmiş ve 4 saat sementede edilmiş SAE 8620 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 833 HV, çekirdek sertliğinin 446 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1,4 mm olduğu görülmektedir.

SAE 8620 soğuk çekilmiş ve semente edilmiş numunelerin sertlik değerleri genel olarak incelendiğinde en yüksek yüzey sertliğinin 4 saat semente edilen numunede (833 HV) olduğu görülmüştür. En düşük yüzey sertliğinin ise 2 saat semente edilmiş numunede (787 HV) olduğu görülmüştür. 1 saat ve 3 saat semente edilen numunelerin (sırasıyla 804 HV ve 813 HV) yüzey sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. En yüksek etkili sementasyon derinliğinin 4 saat semente edilen numunede (1,4 mm), en düşük etkili sementasyon derinliğinin ise 1 saat semente edilen numunede (0,8 mm) olduğu görülmüştür.

Şekil 6.2 incelendiğinde en düşük şiddette martensit fazına ait piklerin 2 saatlik numunede olduğu görülmüştür. 4 saatlik numuneye ait pikin şiddetinin 2 saatlik numuneden fazla olduğu görülmektedir. 1 ve 3 saatlik numuneler yaklaşık aynı şiddette ve en yüksek şiddetteki piklere sahiptir. Östenit fazına ait piklerde ise en düşük şiddette olan piklerin 4 saatlik numunede olduğu, 1 ve 3 saatlik numunelerin aynı şiddette piklere sahip olduğu ve 4 saatlik numuneden daha büyük şiddetteki piklere sahip olduğu görülmektedir. En yüksek şiddetteki piklerin 2 saatlik numunede olduğu görülmüştür. Oksit fazlarına ait pikler incelendiğinde en yüksek şiddetteki piklerin 2 saatlik numunede olduğu görülmektedir. 1,3,4 saatlik numunelerde ise oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar neticesinde en yüksek yüzey sertliklerinin 1 ve 3 saatlik numunelerde ve birbirine çok yakın değerlerde elde edilmesi, 4 saatlik numunede 1 ve 3 saatlik numunelere oranla çok fazla fark olmamakla birlikte daha düşük yüzey sertlik değerinin elde edilmesi ve en düşük sertlik değerinin ise 2 saatlik numunede elde edilmesi beklenirdi.

Ancak en yüksek sertlik değerinin 4 saatlik numunede elde edildiği görülmüştür. 1 ve 3 saatlik numunelerin sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve 4 saatlik numuneye kıyasla az bir miktar düşük olduğu görülmüştür.

Bunun nedeninin şekil 6.2 den de görülebileceği gibi 4 saatlik numunedeki karbür fazına ait piklerin daha şiddetli olması düşünülmektedir.

Artan karbonlama süresi ile birlikte karbon difüzyonunun artması sonucu beklendiği gibi etkili sementasyon derinlikleri artmıştır. En yüksek etkili sementasyon derinliği 4 saatlik numunede en düşük etkili sementasyon derinliği ise 1 saatlik numunede elde edilmiştir.

Soğuk çekilmiş numunelerdeki etkili sementasyon derinliklerinin sıcak haddelenmiş numunelerin etkili sementasyon derinlikleri ile (bir miktar azalarak) yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Numunelerin çekirdek sertliklerinde ise karbonlama işleminden sonra gerçekleştirilen ıslah işlemi sonucu artış meydana gelmiştir.

Soğuk çekilmiş malzemelerde yüzeyde meydana gelen soğuk deformasyon malzemenin merkezine göre daha fazladır. Bundan dolayı yüzeydeki dislokasyon yoğunluğu merkeze göre daha fazla olacak ve dolayısıyla yüzey sertliği daha yüksek olacaktır. Soğuk çekilmiş malzemelerde soğuk çekim ile meydana gelen gerilimlerin, kırılmalığının ve sertlik artışlarının elimine edilip soğuk çekim öncesi sahip olunan mekanik değerlerin (süneklik,daha düşük sertlik, daha düşük akma mukavemeti vb.) tekrar elde edilebilmesi için malzemeye yeniden kristalleşme tavlama (çelikler için 450–700 derece arası) yada gerilim giderme tavlama (çelikler için 550–650 derece arası) yapılması gerekmektedir. Endüstride pek çok kez soğuk deformasyon ile (soğuk çekim, soğuk hadde, soğuk dövme gibi) şekil değişimi sağlanan çelik malzemelerin daha sonraki üretim aşamaları yukarıda anlatılan tavlama ısı işlemlerinden birini takip etmektedir. Örnek olarak hassas kesit toleransları elde etmek için ve mukavemet artışı sağlamak için soğuk çekilmiş olarak temin edilen çelik malzemeler gerilim giderme tavlamasından sonra soğuk ekstrüzyon işlemine tabi tutularak nihai şekillerini almaktadırlar.

Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş SAE 8620 numunelerin sementasyon işleminden önceki sertlik değerleri aşağıda verilmiştir.

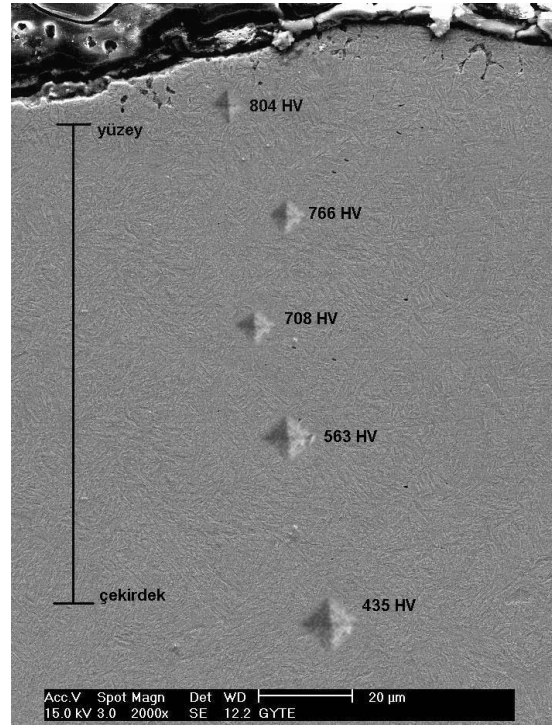
SAE 8620 sıcak haddelenmiş numunenin merkez sertliği 240 HV yüzey sertliği 250 HV

SAE 8620 Soğuk çekilmiş numunenin merkez sertliği 250 HV yüzey sertliği 290 HV

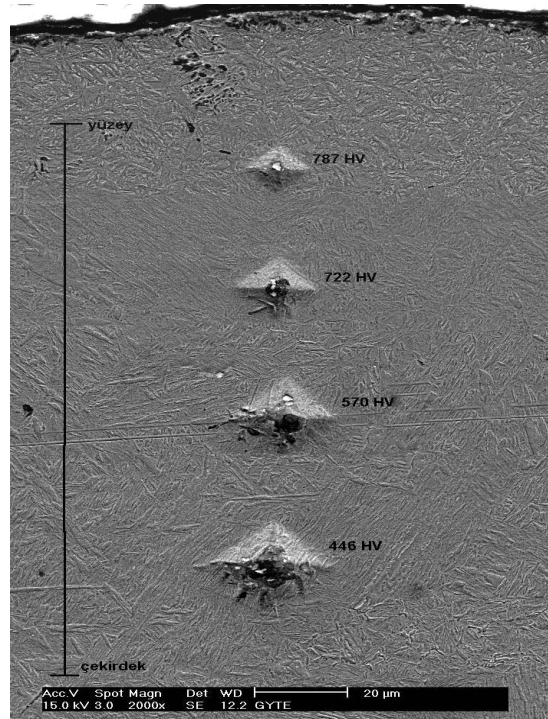
Sementasyon sonrası soğuk çekilmiş numunelerin yüzey sertliklerinin sıcak haddelenmiş numunelere göre çok daha fazla olması beklenebilir. Çünkü soğuk çekme işlemi ile yüzeyde dislokasyon yoğunluğu artmakta ve malzemenin yüzey bölgesi sertleşmektedir. Ancak sementasyon sonrası ölçülen sertlik değerlerinde sıcak haddelenmiş numuneler ile soğuk çekilmiş numunelerin sertlikleri arasında bariz bir fark gözlenmemiştir. Bunun nedeninin 920 derecede östenit bölgesinde yapılan sementasyon ısı işlemi bir nevi tavlama ısı işlemi gibi yüzeydeki dislokasyon yoğunluğunu azaltarak malzemenin yüzeyinin yumuşamasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu sıcaklıkta yapılan ısı işlemi ile taneler yeniden düzene girmiştir ve soğuk çekilmiş malzemenin sıcak haddelenmiş malzemeden bir farkı kalmamıştır.

Her iki grup numunede de etkili sementasyon derinlikleri artan karbon difüzyonunun sonucu olarak artan sementasyon süresi ile birlikte artmıştır.

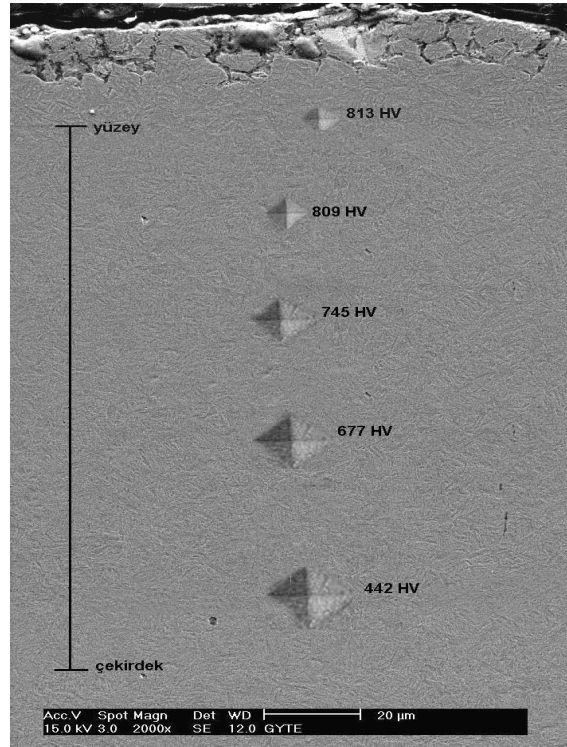
Şekil 6.11, 6.12, 6.13, 6.14`de SAE 8620 soğuk çekilmiş ve sementasyon işlemi görmüş numunelerin yüzeylerinden çekirdeklerine doğru elde edilen mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafları görülmektedir. Yüzeyden merkeze doğru elde edilen her bir sertlik değeri için ayrı ayrı SEM fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflar birleştirilerek tek bir fotoğraf elde edilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi sertlikler yüzeyden çekirdeğe doğru sıralanmaktadır. Bu durum şekillerde yüzeyden çekirdeğe çizilen çizgi ile de belirtilmektedir



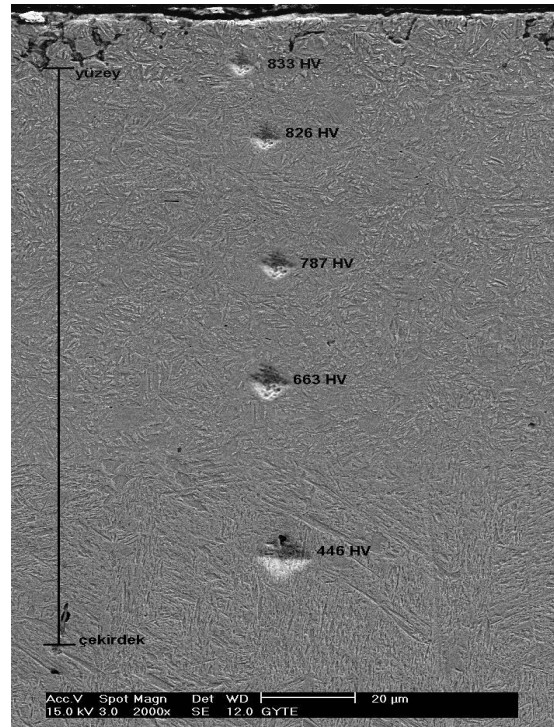
Şekil 6.11 SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



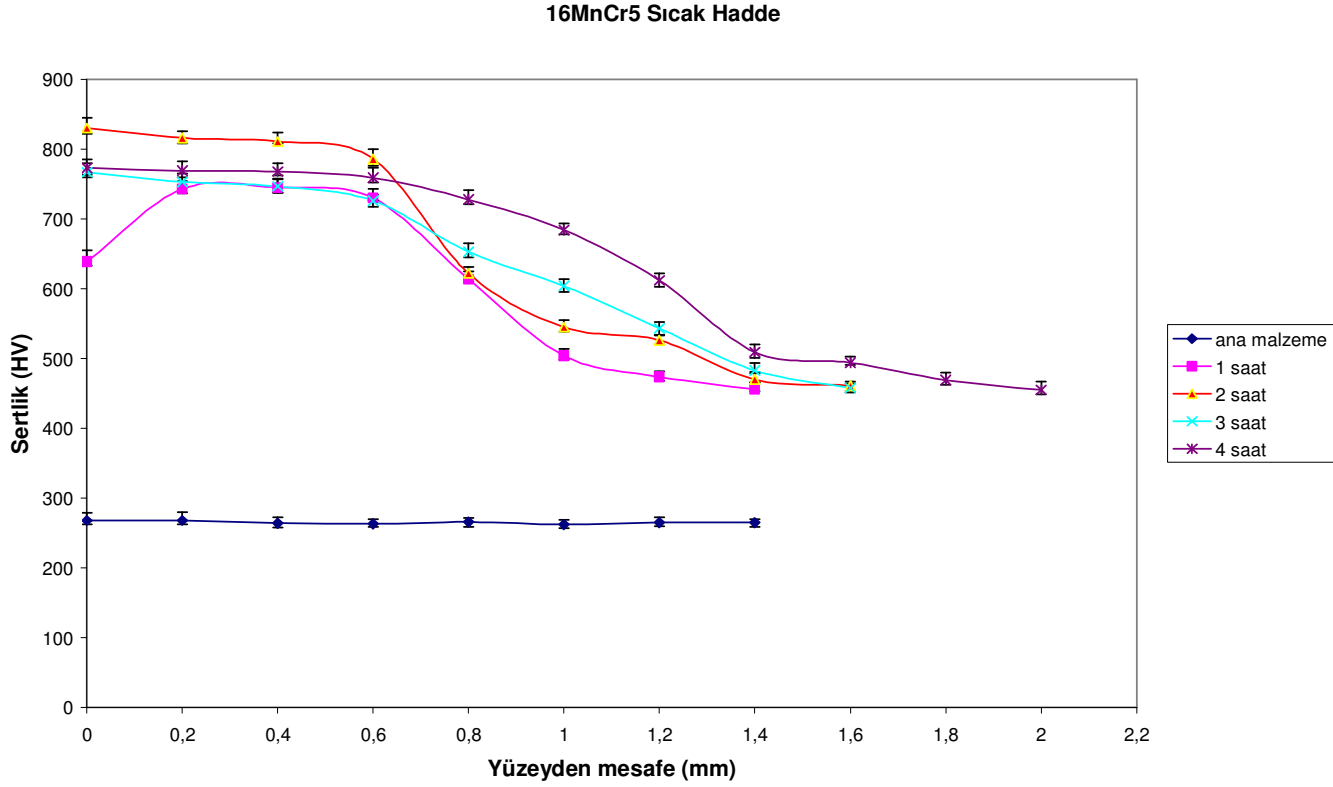
Şekil 6.12 SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.13 SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.14 SAE 8620 Soğuk çekilmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.15 16MnCr5 sıcak haddelenmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri

Sıcak haddelenmiş ve 1 saat sementede edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 639 HV, çekirdek sertliğinin 456 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 0,9 mm olduğu görülmektedir.

Sıcak haddelenmiş ve 2 saat sementede edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 830 HV, çekirdek sertliğinin 461 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1 mm olduğu görülmektedir.

Sıcak haddelenmiş ve 3 saat sementede edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 767 HV, çekirdek sertliğinin 458 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1,1 mm olduğu görülmektedir.

Sıcak haddelenmiş ve 4 saat sementede edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 773 HV, çekirdek sertliğinin 455 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1,3 mm olduğu görülmektedir.

16MnCr5 sıcak haddelenmiş ve sementle edilmiş numunelerin sertlik değerleri genel olarak incelendiğinde en yüksek yüzey sertliğinin 2 saat sementle edilen numunede (830 HV) olduğu görülmüştür. En düşük yüzey sertliğinin ise 1 saat sementle edilmiş numunede (639 HV) olduğu görülmüştür. 3 saat ve 4 saat sementle edilen numunelerin (sırasıyla 767 HV ve 773 HV) yüzey sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. En yüksek etkili sementasyon derinliğinin 4 saat sementle edilen numunede (1,3 mm), en düşük etkili sementasyon derinliğinin ise 1 saat sementle edilen numunede (0,9 mm) olduğu görülmüştür.

Etkili sementasyon derinlikleri beklendiği gibi, artan sementasyon süresi ile birlikte artan karbon difüzyonu sonucu yüzeyden çekirdeğe doğru karbon miktarının artmasından dolayı artmıştır.

Şekil 6.3 incelendiğinde en düşük şiddette martensit fazına ait piklerin 1 saatlik numunede olduğu görülmüştür. 3 ve 4 saatlik numuneler yaklaşık aynı şiddette ve 1 saatlik numuneye göre daha yüksek şiddette piklere sahiptir. En yüksek şiddetteki pik 2 saatlik numunede elde edilmiştir. Östenit fazına ait piklerde ise en düşük şiddette olan piklerin 2 saatlik numunede olduğu, 3 ve 4 saatlik numunelerin aynı şiddette piklere sahip olduğu ve 2 saatlik numuneden daha büyük şiddetteki piklere sahip olduğu görülmektedir. En yüksek şiddetteki piklerin 1 saatlik numunede olduğu görülmüştür. Oksit fazlarına ait pikler incelendiğinde en yüksek şiddetteki piklerin 3 ve 4 saatlik numunelerde olduğu görülmektedir. En düşük şiddetteki piklerin 2 saatlik numunede olduğu görülmektedir.

Bu sonuçlar neticesinde en yüksek yüzey sertlik değerinin 2 saatlik numunede elde edilmesi, en düşük yüzey sertlik değerinin ise 1 saatlik numunede elde edilmesi beklenebilir. 3 ve 4 saatlik numunelerin ise birbirine çok yakın değerlerde ve 2 saatlik numunenin yüzey sertliğinden daha düşük bir yüzey sertliğine sahip olması beklenebilir.

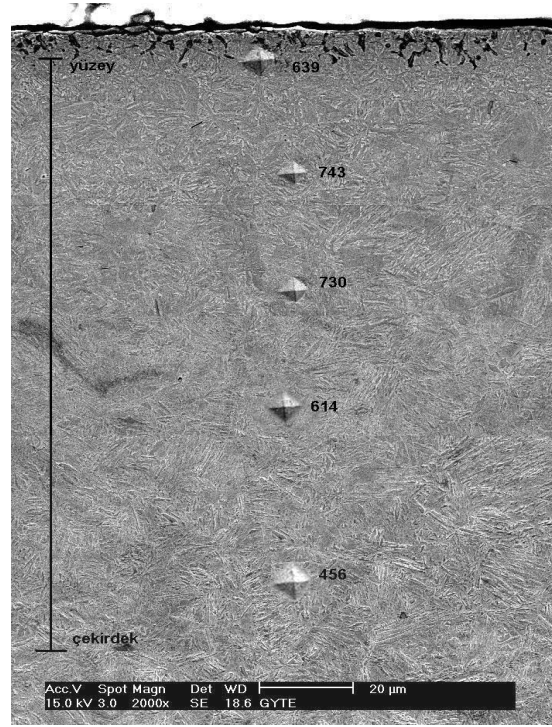
Sıcak haddelenmiş ve sementle edilmiş 16MnCr5 numunelerdeki yukarıda belirtilen sertlik değerlerinin X ışınları analizleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. X

ışınları analizlerinde beklendiği gibi en yüksek yüzey sertliği 2 saatlik numunede, en düşük yüzey sertliği ise 1 saatlik numunede elde edilmiştir.

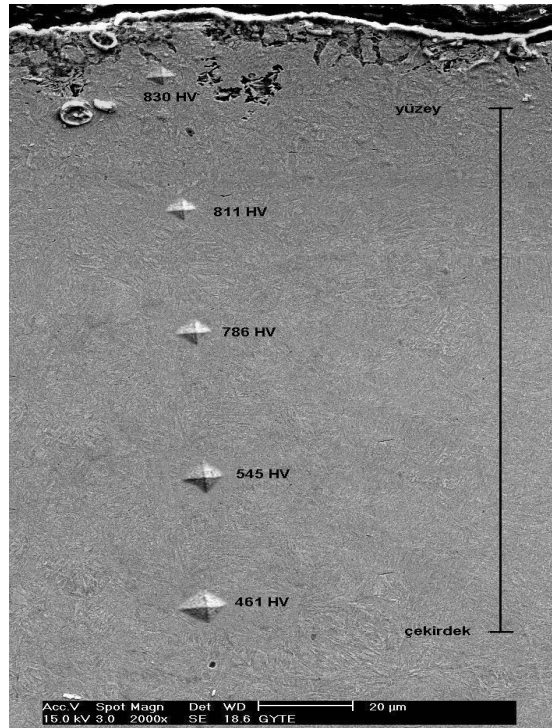
1 saatlik numunenin sertlik değerlerine bakıldığında yüzeyden yaklaşık 0,4 – 0,6 mm içeriye doğru olan bölgesinde sertliğin yüzey sertliğine göre bir miktar artarak en yüksek değere ulaştığı daha sonra tekrar azaldığı görülmüştür. Östenit fazında çözünen karbon oranının artması sonucu sertleştirme sonrası yüzeyde kalan ve martensitten daha yumuşak olan kalıntı östenit fazından dolayı yüzey sertliği düşmüştür. Yüzeye kıyasla daha az karbon oranına sahip olan iç kısımda ise çok daha düşük miktarda kalıntı östenit mevcut olduğundan en yüksek sertlik bu bölgede elde edilmiştir.

Numunelerin etkili sementasyon derinliklerinin artan karbonlama süresi ile birlikte arttığı görülmüştür. Numunelerin çekirdek sertliklerinde ise karbonlama işleminden sonra gerçekleştirilen ıslah işlemi sonucu artış meydana gelmiştir.

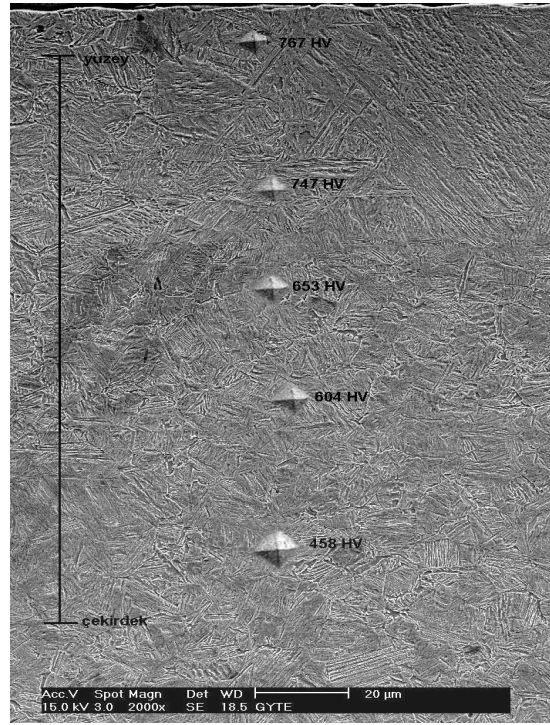
Şekil 6.16, 6.17, 6.18, 6.19'da 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve sementasyon işlemi görmüş numunelerin yüzeylerinden çekirdeklerine doğru elde edilen mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafları görülmektedir. Yüzeyden merkeze doğru elde edilen her bir sertlik değeri için ayrı ayrı SEM fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflar birleştirilerek tek bir fotoğraf elde edilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi sertlikler yüzeyden çekirdeğe doğru sıralanmaktadır. Bu durum şekillerde yüzeyden çekirdeğe çizilen çizgi ile de belirtilmektedir



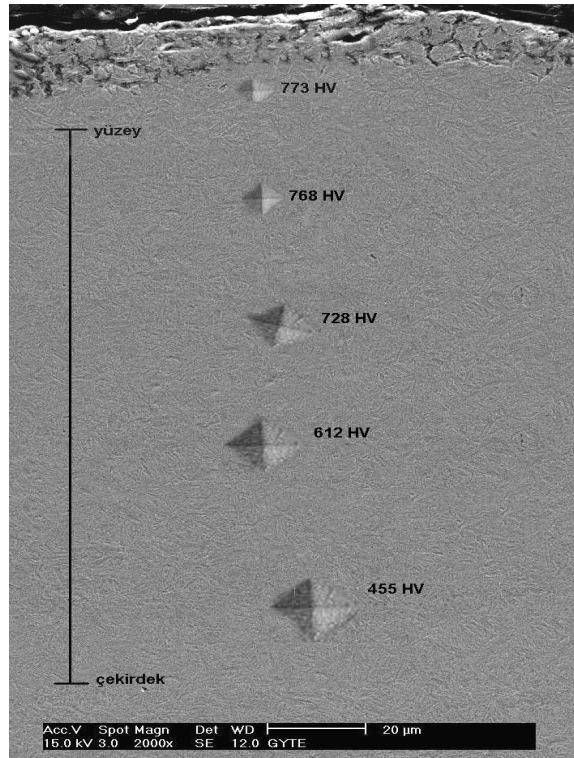
Şekil 6.16 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



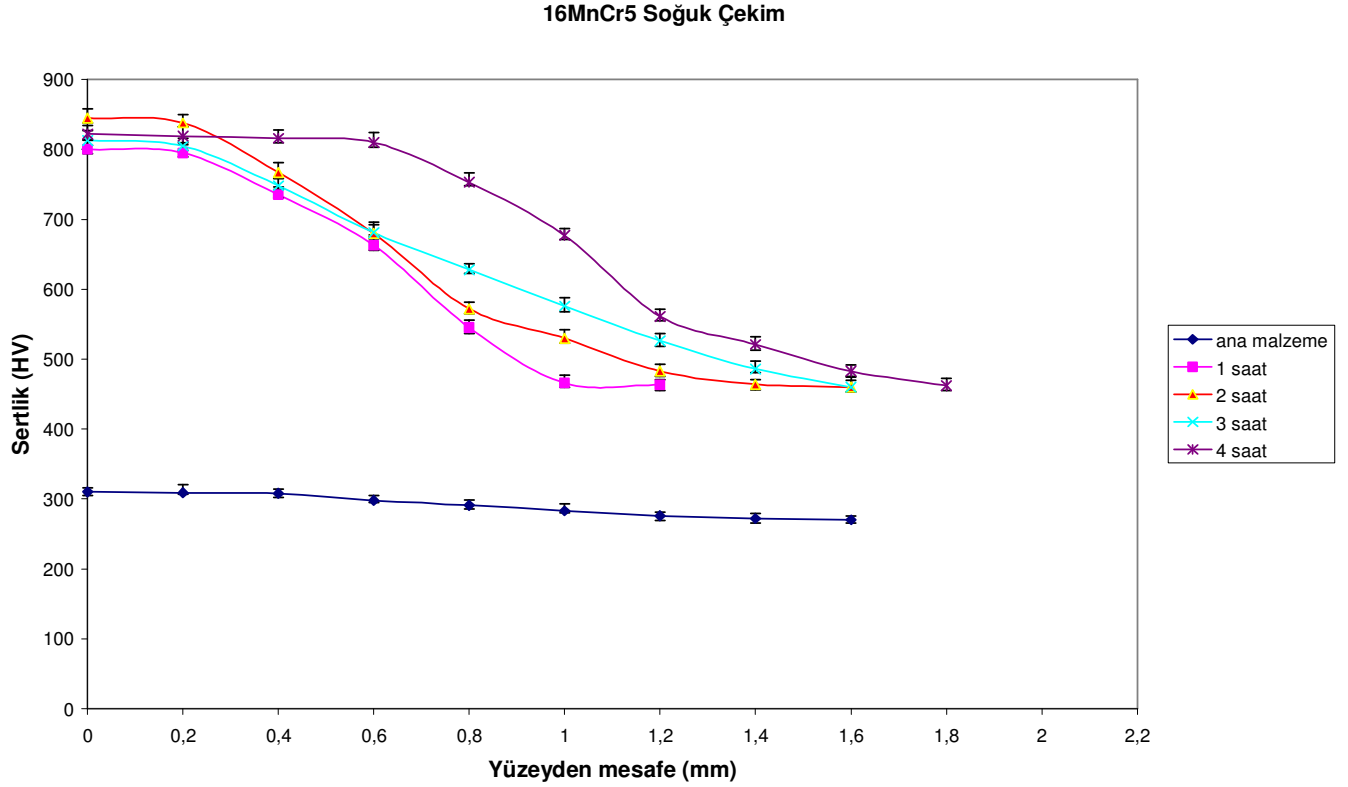
Şekil 6.17 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.18 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.19 16MnCr5 Sıcak haddelenmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.20 16MnCr5 soğuk çekilmiş numunelerin yüzeyden merkeze sertlik değerleri

Soğuk çekilmiş ve 1 saat semente edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 800 HV, çekirdek sertliğinin 463 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 0,8 mm olduğu görülmektedir.

Soğuk çekilmiş ve 2 saat semente edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 845 HV, çekirdek sertliğinin 460 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 0,9 mm olduğu görülmektedir.

Soğuk çekilmiş ve 3 saat semente edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 813 HV, çekirdek sertliğinin 460 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1,1 mm olduğu görülmektedir.

Soğuk çekilmiş ve 4 saat semente edilmiş 16MnCr5 deney numunesi incelendiğinde yüzey sertliğinin 822 HV, çekirdek sertliğinin 462 HV, etkili sementasyon derinliğinin ise yaklaşık olarak 1,2 mm olduğu görülmektedir.

16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve semente edilmiş numunelerin sertlik değerleri genel olarak incelendiğinde en yüksek yüzey sertliğinin 2 saat semente edilen numunede (845 HV) olduğu görülmüştür. En düşük yüzey sertliğinin ise 1 saat semente edilmiş numunede (800 HV) olduğu görülmüştür. 3 saat ve 4 saat semente edilen numunelerin (sırasıyla 813 HV ve 822 HV) yüzey sertlik değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. En yüksek etkili sementasyon derinliğinin 4 saat semente edilen numunede (1,2 mm), en düşük etkili sementasyon derinliğinin ise 1 saat semente edilen numunede (0,8 mm) olduğu görülmüştür.

Etkili sementasyon derinlikleri beklendiği gibi, artan sementasyon süresi ile birlikte artan karbon difüzyonu sonucu yüzeyden çekirdeğe doğru karbon miktarının artmasından dolayı artmıştır.

Şekil 6.4 incelendiğinde en düşük şiddette martensit fazına ait piklerin 1 saatlik numunede olduğu görülmektedir. 3 ve 4 saatlik numuneler yaklaşık aynı şiddette ve 1 saatlik numuneye göre daha yüksek şiddette piklere sahiptir. En yüksek şiddetteki pik 2 saatlik numunede elde edilmiştir. Östenit fazına ait piklerde ise en düşük şiddette olan piklerin 2 saatlik numunede olduğu, 1 ve 3 saatlik numunelerin aynı şiddette piklere sahip olduğu ve 2 saatlik numuneden daha büyük şiddetteki piklere sahip olduğu görülmektedir. En yüksek şiddetteki piklerin 4 saatlik numunede olduğu 1 ve 3 saatlik numuneye göre belirgin bir fark olmadığı görülmektedir. Oksit fazlarına ait pikler incelendiğinde en yüksek şiddetteki piklerin 3 ve 4 saatlik numunelerde olduğu görülmektedir. En düşük şiddetteki piklerin 2 saatlik numunede olduğu görülmektedir. 1 saatlik numunenin ise 3 ve 4 saatlik numunelerin sahip olduğu piklerle yaklaşık aynı şiddette olduğu görülmektedir.

X ışınları analizleri neticesinde en yüksek yüzey sertlik değerinin 2 saatlik numunede elde edilmesi, en düşük yüzey sertlik değerinin ise 4 saatlik numunede elde edilmesi beklenebilir. 1 ve 3 saatlik numunelerin ise birbirine çok yakın değerlerde ve 2 saatlik numunenin yüzey sertliğinden daha düşük bir yüzey sertliğine sahip olması ve 1, 3, 4 saatlik numunelerin yüzey sertlik değerlerinde belirgin bir fark olmaması beklenebilir.

Numunelerin yukarıda da belirtilen yüzey sertlik değerlerinde X ray analizinde beklendiği gibi en yüksek sertlik değerinin 2 saatlik numunede, en düşük yüzey sertlik değerinin ise x ray analizinde beklenenin aksine 1 saatlik numunede elde edildiği görülmüştür. Beklendiği gibi 1, 3, 4 saatlik numunelerin yüzey sertliklerinde belirgin farklar gözlenmemiştir. En düşük sertlik değerinin elde edilmesi beklenen 4 saatlik numunenin 1 ve 3 saatlik numunelere göre daha yüksek olmasının nedeninin x ray sonuçlarında da görülebilen karbür fazı olduğu düşünülmektedir. Sertliğin alındığı bölgede mevcut olan karbür fazından dolayı yüksek sertlik elde edildiği düşünülmektedir.

16MnCr5 soğuk çekilmiş numunelerin etkili sementasyon derinliklerinin artan karbonlama süresi ile birlikte arttığı görülmüştür. Bu durum sürenin artması ile birlikte karbon atomlarının daha derinlere difüz etmesinin sonucudur. Numunelerin çekirdek sertliklerinde ise karbonlama işleminden sonra gerçekleştirilen ıslah işlemi sonucu artış meydana gelmiştir.

Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerin sementasyon işleminden önceki sertlik değerleri aşağıda verilmiştir.

16MnCr5 sıcak haddelenmiş numunenin merkez sertliği 265 HV yüzey sertliği 268 HV

16MnCr5 Soğuk çekilmiş numunenin merkez sertliği 270 HV yüzey sertliği 310 HV

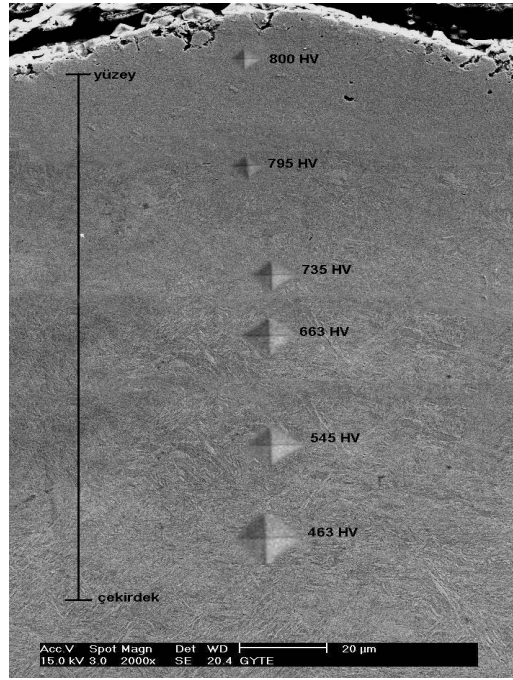
Sementasyon işlemi sonrasında sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerin yüzey sertlikleri incelendiğinde; 920 derecede östenit bölgesinde yapılan sementasyon ısıl işleminin yüzeydeki dislokasyon yoğunluğunu azaltarak malzemenin yüzeyinin yumuşamasına neden olmasından dolayı sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş numunelerin sertlikleri arasında belirgin farklar görülmemiştir.

Sementasyon işlemleri sonucunda SAE 8620 numunelerde yaklaşık 440 HV çekirdek sertliği elde edilirken 16MnCr5 numunelerde yaklaşık 460 HV çekirdek

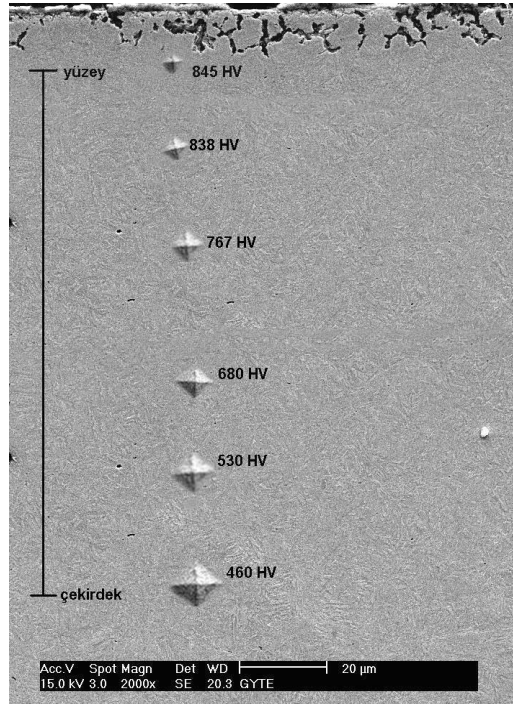
sertliği elde edilmiştir. Sementasyon işlemi sonrası her iki kalitedeki malzeme grubunda da çekirdek sertliklerinde 1,5 kata yakın bir artış elde edilmiştir. Çekirdek sertliklerindeki artışın nedeni karbonlama işleminden sonra östenit bölgesinden gerçekleştirilen ıslah işlemidir. 16MnCr5 numunelerin çekirdek sertliğinin yüksek olması katı eriyik mukavemetleşmesinden kaynaklanmaktadır. Sementasyondan önceki çekirdek sertlikleri karşılaştırıldığında 16MnCr5 numunelerin 265 HV olan çekirdek sertliklerinin 240 HV çekirdek sertliğine sahip olan SAE 8620 numunelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sonuç olarak sementasyon işleminden önceki çekirdek sertlikleri arasındaki farkın korunduğu görülmüştür.

Elde edilen bu sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür. Daha önce yapılan çalışmalarda da sementasyon ısıl işleminde karbonlamadan sonra gerçekleştirilen ıslah işlemi sonucu malzemelerin çekirdek sertliklerinde artışlar elde edilmiştir. Aynı şekilde martensit ve östenit fazlarına ait piklerin şiddetlerine göre malzemelerin yüzey sertliklerinde değişimler meydana gelmiştir. Östenit fazına ait piklerin şiddetlerinde artmalar meydana gelince yüzey sertliklerinde azalmalar meydana gelmiştir.

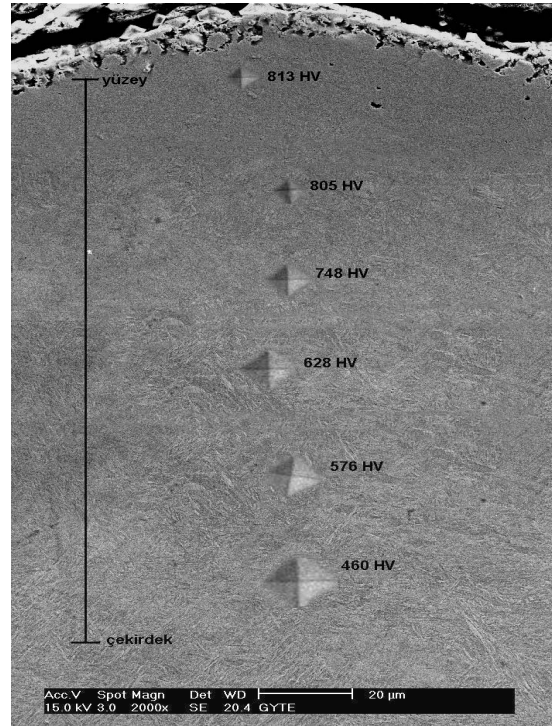
Şekil 6.21, 6.22, 6.23, 6.24'de 16MnCr5 soğuk çekilmiş ve sementasyon işlemi görmüş numunelerin yüzeylerinden çekirdeklerine doğru elde edilen mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafları görülmektedir. Yüzeyden merkeze doğru elde edilen her bir sertlik değeri için ayrı ayrı SEM fotoğrafları çekilmiş ve bu fotoğraflar birleştirilerek tek bir fotoğraf elde edilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi sertlikler yüzeyden çekirdeğe doğru sıralanmaktadır. Bu durum şekillerde yüzeyden çekirdeğe çizilen çizgi ile de belirtilmektedir



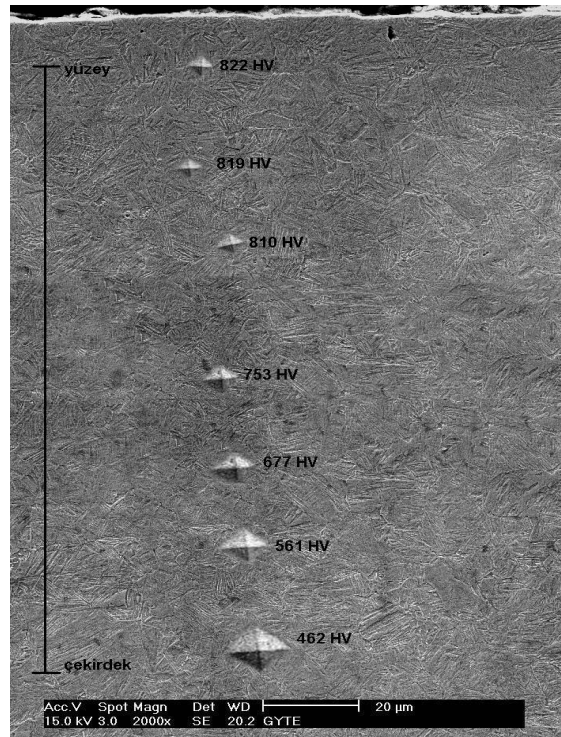
Şekil 6.21 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 1 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.22 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 2 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.23 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 3 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.



Şekil 6.24 16MnCr5 Soğuk çekilmiş ve 4 saat sementasyon işlemi görmüş numunenin yüzeyinden çekirdeğine mikrosertliklerini gösteren SEM fotoğrafı.

6.3. Aşınma Deneyleri Sonuçları

Bu çalışmada 10 N yük altında Tungsten Karbür (WC) bilya 700 metre mesafe boyunca abrasif olarak aşındırılan numunelerin aşınma dirençleri ağırlık farkı metoduna göre belirlenmiştir.

Aşınma deneyinden sonra numunelerin ağırlık kayıpları 10^{-4} g hassasiyetinde Precisa marka terazi yardımı ile ölçülmüştür. Bu metoda göre, aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde, birim sürtünme yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilebilir. Ağırlık kaybı birim alan için hesap edilecekse (g/cm^2) gibi bir birim kullanılabilir. Ağırlık kaybı hacimsel aşınma miktarı olarak belirtilmek istendiğinde, yine ağırlık kaybından hareketle kullanılan malzemenin yoğunluğu ve deney numunesi üzerine etki eden yükleme ağırlığı hesaba katılmak suretiyle birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından gidilerek de bulunabilir.

Numunelerin aşınma oranlarının belirlenmesinde kullanılan formül (6.1) aşağıda verilmiştir.

$$W_a = \frac{G}{d.M.S} \quad (\text{mm}^3/\text{Nm}) \quad (6.1)$$

W_a : aşınma oranı (mm^3/Nm), G : ağırlık kaybı (mg), M : yükleme ağırlığı (N), S : aşınma yolu (m), d yoğunluk (g/cm^3)

Malzemelerin aşınma direncine etki eden en önemli faktörlerden biri malzeme sertliğidir. Malzeme sertliğinin artması sonucu özellikle yüzey sertliğinin artması sonucu malzemelerin aşınma dirençleri de artmaktadır. Sürtünmeli ve darbeli ortamda kullanılan çeliklerde yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha sünek ve tok özelliklerin elde edilebilmesi için yapılan sementasyon işlemiyle aşınma direncinin artırılması hedeflenir [Lee, et al,2005, Sevim and Eryürek,2006, Taktak, et al,2008, Erdoğan and Tekeli,2003, Alsaran, et al 2005, Viafara, et al,2005].

Sementasyon işleminden sonra, karbon miktarı genellikle yüzeyde en yüksek olacak şekilde merkeze doğru azalır. Bu nedenle aşınma direnci yüzeyde en yüksek olacaktır.

Genel olarak sertleştirme sonrası yapıda kalan kalıntı östenit fazının aşınma direncine en fazla etki eden faktörlerden olan yüzey sertliğini düşürmesi nedeniyle aşınma miktarının artmasına dolayısıyla aşınma direncinin azalmasına neden olması beklenir.

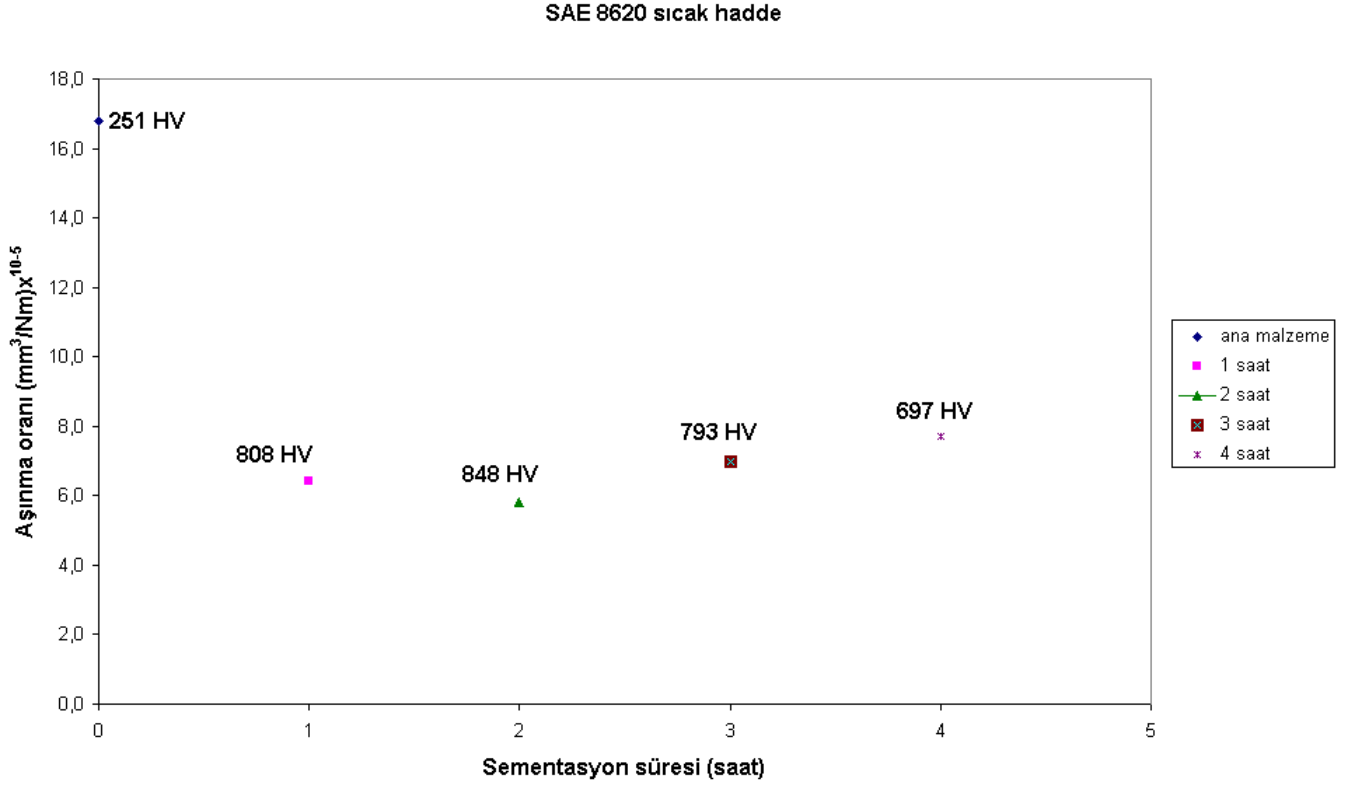
Başaran H. yapmış olduğu çalışmada yapıdaki östenit fazlarının oranı arttıkça aşınma direncinin arttığını belirtmiştir. Çalışmada süneklilik kazandıran fazların aşınma direncini artırdığı belirtilmektedir [Başaran, 2007].

Gürer F. tarafından yapılan diğer bir çalışmada da % 30 a kadar kalıntı östenit miktarının aşınma direncini artırdığı belirtilmiştir. Östenit oranı düştükçe malzemenin kırılabilirliği artacaktır. Bu nedenle abrasif aşınma sırasında aşınma oyuğunun geometrik boyutundan daha büyük bir aşınma partikülü üretilmektedir [Gürer, 1988].

Kalıntı östenitin aşınma direncini arttırmasına neden olabilecek diğer durumlar, abrasif aşınma esnasında uygulanan yük altında daha fazla plastik gerinim oluşturulmanın etkisi ile östenitin martensite dönüşümü ve uygulana yük altında östenit fazda işlem sertleşmesinin (work hardening) gerçekleşmesi olarak sayılabilir [Gürer, 1988].

Bütün bu anlatılan durumların gerçekleşmesi kesin değildir. Kalıntı östenitin aşınma direncine olan etkisi çok fazla araştırılmamıştır. Bu bakımdan kalıntı östenitin aşınma direncine olan etkisi ile ilgili olarak genel eğilim aşınma direncini azaltacağı yöndedir.

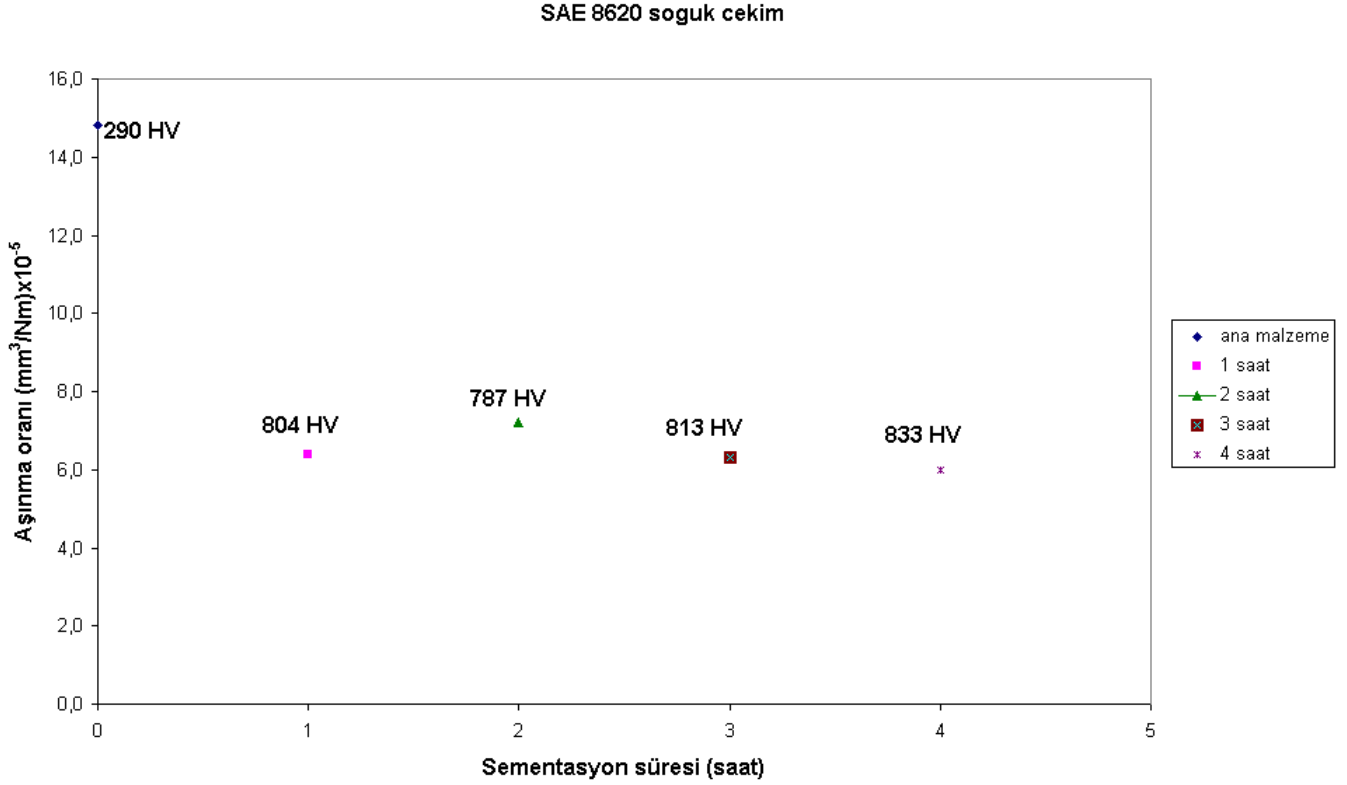
Şekil 6.25, 6.26, 6.27, 6.28`de deneylerde kullanılan numunelerin aşınma oranları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi sementasyon sonrası numunelerin aşınma oranlarının azaldığı yani aşınma dirençlerinin arttığı gözlenmiştir. Aşınma oranlarının sementasyon sonrası elde edilen sertlik değerlerine paralel olarak değiştiği gözlenmiştir.



Şekil 6.25 Sıcak haddelenmiş ve sement edilmiş SAE 8620 numunelerin aşınma oranları

Şekil 6.25`de SAE 8620 sıcak haddelenmiş ve sement edilmiş numunelerin aşınma oranları gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi en yüksek aşınma oranı yani en yüksek malzeme kaybı sementasyon işlemi görmemiş numunede elde edilmiştir. Sementasyon işlemi gören numuneler incelendiğinde en yüksek aşınma oranı en düşük yüzey sertliğine sahip olan (697 HV) 4 saatlik numunede elde edilmiştir. En düşük aşınma oranı ise en yüksek yüzey sertliğine sahip olan (848 HV) 2 saatlik numunede elde edilmiştir. Yüzey sertlik değerleri birbirine yakın olan 1 saat ve 3 saatlik numunelerde (sırasıyla 808 HV ve 793 HV) birbirine yakın aşınma oranları elde edilmekle beraber 3 saatlik numunede daha fazla aşınma oranı elde edilmiştir.

Sement edilen numunelerde aşınma oranlarının sementasyon sonrası elde edilen yüzey sertliklerine paralel olarak değiştiği, sementasyon işlemi ile numunelerin yüzey sertliklerinin artırılarak aşınmaya karşı daha dirençli hale getirildiği görülmüştür. Şekil 6.25 den de görülebileceği gibi sement edilmemiş numuneye göre sement edilen numunelerde yaklaşık 2-3 kat daha fazla aşınma direnci elde edilmiştir.



Şekil 6.26 Soğuk çekilmiş ve semente edilmiş SAE 8620 numunelerin aşınma oranları

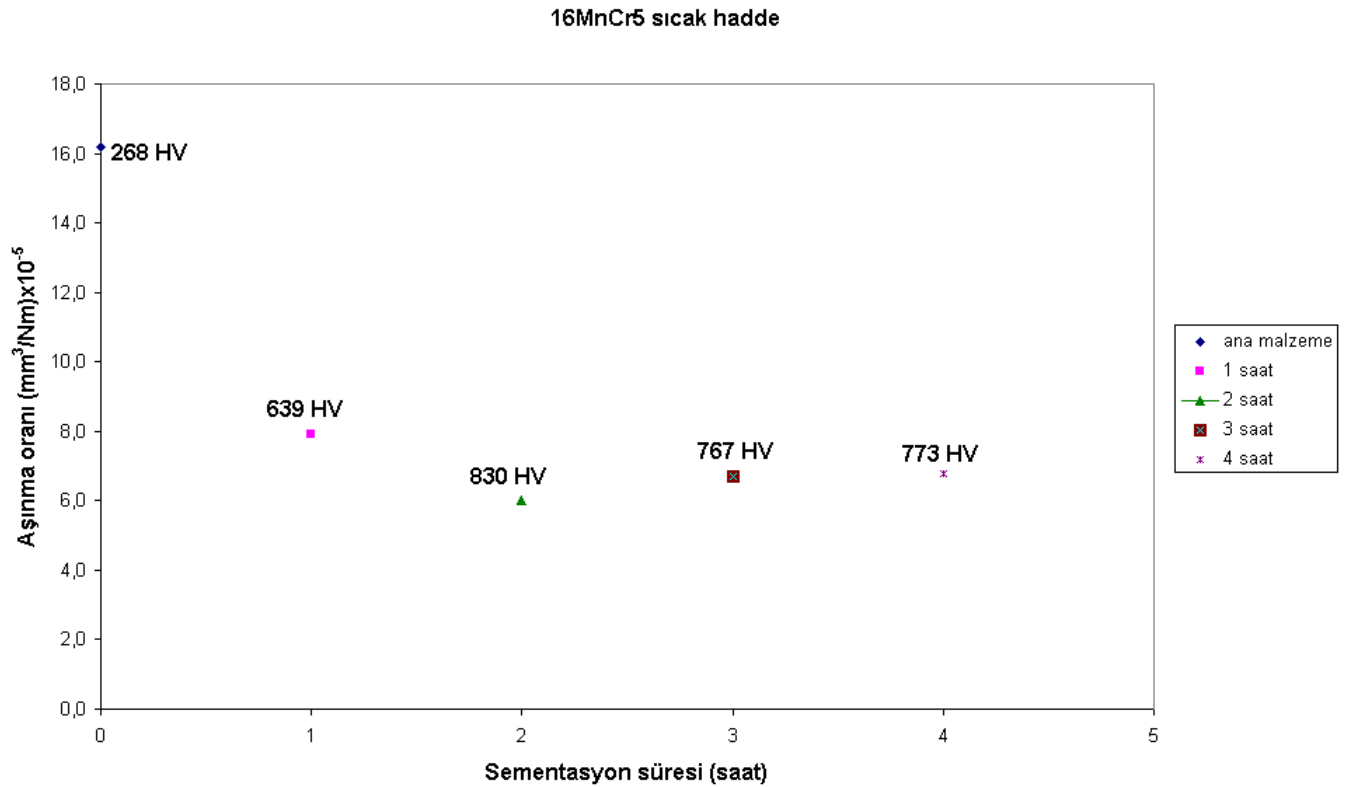
Şekil 6.26`da SAE 8620 soğuk çekilmiş ve semente edilmiş numunelerin aşınma oranları gösterilmektedir. En yüksek aşınma oranı sementasyon işlemi görmemiş numunede elde edilmiştir. Sementasyon işlemi gören numuneler incelendiğinde en yüksek aşınma oranı en düşük yüzey sertliğine sahip olan (787 HV) 2 saatlik numunede elde edilmiştir. En düşük aşınma oranı ise en yüksek yüzey sertliğine sahip olan (833 HV) 4 saatlik numunede elde edilmiştir. Yüzey sertlik değerleri birbirine yakın olan 1 saat ve 3 saatlik numunelerde (sırasıyla 804 HV ve 813 HV) birbirine yakın aşınma oranları elde edilmekle beraber 1 saatlik numunede daha fazla aşınma oranı elde edilmiştir.

Semente edilen numunelerde aşınma oranlarının sementasyon sonrası elde edilen yüzey sertliklerine paralel olarak değiştiği görülmüştür. Semente edilmemiş numuneye göre semente edilen numunelerde yaklaşık 2- 2,5 kat daha fazla aşınma direnci elde edilmiştir.

Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş SAE 8620 numunelerin aşınma oranları genel olarak incelendiğinde numunelerin yüzey sertliklerine paralel olarak aşınma oranlarının

değiştii görülmüştür. 920 derecede östenit bölgesinde yapılan sementasyon ısıl işleminin bir nevi tavlama ısıl işlemi gibi yüzeydeki dislokasyon yoğunluğunu azaltarak malzemenin yüzeyinin yumuşamasına neden olması sonucu sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş numunelerin yüzey sertliklerinde bariz farklar oluşmamıştır. Bu nedenle sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş numunelerin aşınma oranlarında da bariz farklar gözlemlenmemiştir.

Aşınma oranları arasındaki bariz farklar sementasyon işlemi görmemiş sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş numunelerde görülmüştür. Soğuk çekim işleminde yüzeyde meydana gelen plastik deformasyon sonucu dislokasyon yoğunluğu artmakta ve sonuç olarak yüzey sertliği de artmaktadır. 251 HV yüzey sertliğine sahip sıcak haddelenmiş numunenin soğuk çekim işlemi sonrası yüzey sertliği 290 HV ye çıkmaktadır. Bu nedenle soğuk çekilmiş numune sıcak haddelenmiş numuneye göre daha az oranda aşınmıştır.

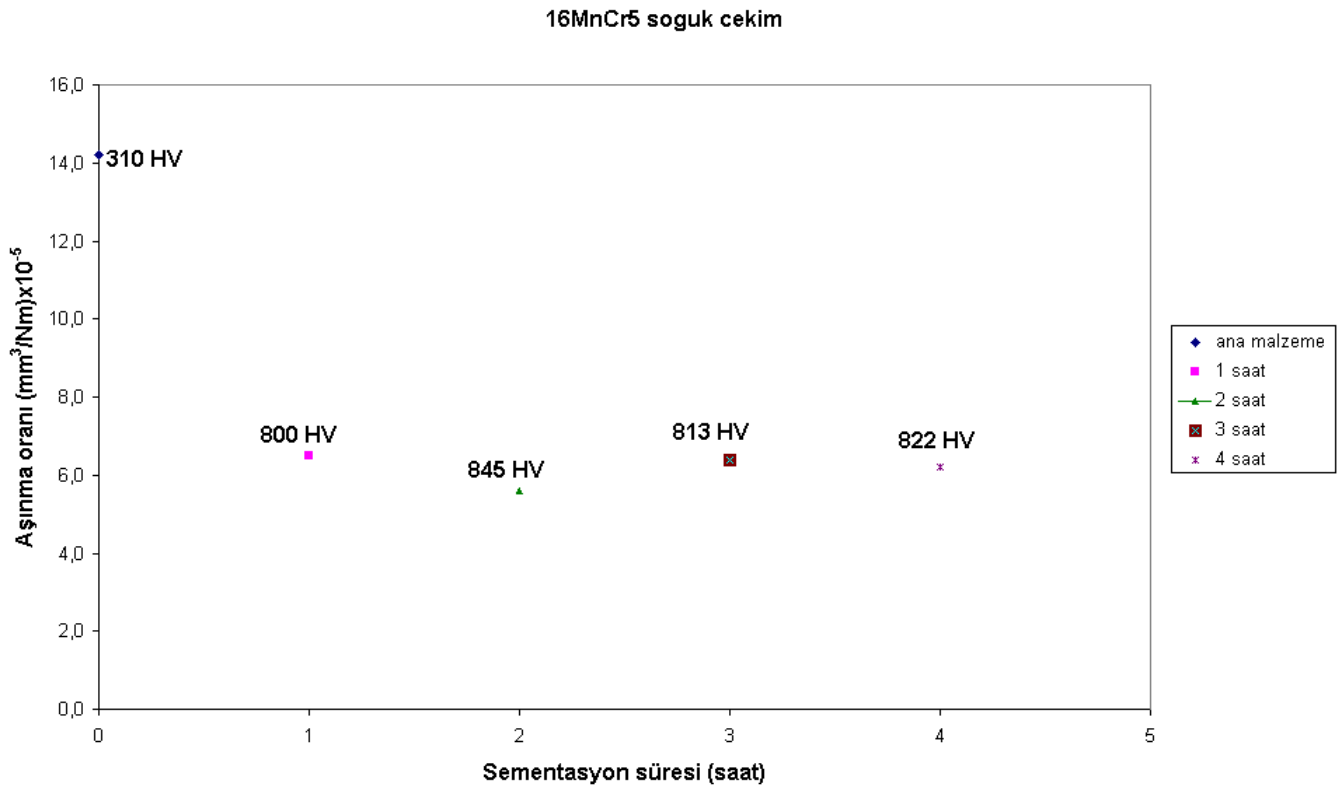


Şekil 6.27 Sıcak haddelenmiş ve semente edilmiş 16MnCr5 numunelerin aşınma oranları

Şekil 6.27'de 16MnCr5 sıcak haddelenmiş ve semente edilmiş numunelerin aşınma oranları gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi en yüksek aşınma oranı sementasyon işlemi görmemiş numunede elde edilmiştir. Sementasyon işlemi gören

numuneler incelendiğinde en yüksek aşınma oranı en düşük yüzey sertliğine sahip olan (639 HV) 1 saatlik numunede elde edilmiştir. En düşük aşınma oranı ise en yüksek yüzey sertliğine sahip olan (830 HV) 2 saatlik numunede elde edilmiştir. Yüzey sertlik değerleri birbirine yakın olan 3 saat ve 4 saatlik numunelerde (sırasıyla 767 HV ve 773 HV) birbirine yakın aşınma oranları elde edilmiştir.

Semente edilen numunelerde aşınma oranlarının sementasyon sonrası elde edilen yüzey sertliklerine paralel olarak değiştiği, sementasyon işlemi ile numunelerin yüzey sertliklerinin artırılarak aşınmaya karşı daha dirençli hale getirildiği görülmüştür. Semente edilmemiş numuneye göre semente edilen numunelerde yaklaşık 2-3 kat daha fazla aşınma direnci elde edilmiştir.



Şekil 6.28 Soğuk çekilmiş ve semente edilmiş 16MnCr5 numunelerin aşınma oranları

Şekil 6.28`de 16MnCr5 soğuk çekilmiş ve semente edilmiş numunelerin aşınma oranları gösterilmektedir. En yüksek aşınma oranı sementasyon işlemi görmemiş numunede elde edilmiştir. Sementasyon işlemi gören numuneler incelendiğinde en yüksek aşınma oranı en düşük yüzey sertliğine sahip olan (800 HV) 1 saatlik numunede elde edilmiştir. En

düşük aşınma oranı ise en yüksek yüzey sertliğine sahip olan (845 HV) 2 saatlik numunede elde edilmiştir. Yüzey sertlik değerleri birbirine yakın olan 3 saat ve 4 saatlik numunelerde (sırasıyla 813 HV ve 822 HV) birbirine yakın aşınma oranları elde edilmekle beraber 3 saatlik numunede daha fazla aşınma oranı elde edilmiştir.

Semente edilen numunelerde aşınma oranlarının sementasyon sonrası elde edilen yüzey sertliklerine paralel olarak değiştiği görülmüştür. Semente edilmemiş numuneye göre semente edilen numunelerde yaklaşık 2,5 kat daha fazla aşınma direnci elde edilmiştir.

Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerin aşınma oranları genel olarak incelendiğinde numunelerin yüzey sertliklerine paralel olarak aşınma oranlarının değiştiği görülmüştür. Sementasyon işlemi sonrası elde edilen yüzey sertliklerinde sıcak haddelenmiş numunelerde daha düşük değerler elde edilmiştir. Bundan dolayı sıcak haddelenmiş ve semente edilmiş 16MnCr5 numunelerin aşınma oranları soğuk çekilmiş numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.

268 HV yüzey sertliğine sahip sıcak haddelenmiş numunenin soğuk çekim işlemi sonrası yüzey sertliği 310 HV ye çıkmaktadır. Bu nedenle soğuk çekilmiş numune sıcak haddelenmiş numuneye göre daha az oranda aşınmıştır.

SAE 8620 ve 16MnCr5 numunelerin aşınma oranları incelendiğinde en büyük farklılıklar sementasyon işlemi görmemiş numunelerde görülmektedir. Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş SAE 8620 ve 16MnCr5 numuneler incelendiğinde daha yüksek yüzey sertliğine sahip olan 16MnCr5 numunelerin daha az oranda aşındığı görülmektedir. Numunelerdeki katı eriyik mukavemetlenmesinden kaynaklanan bu sertlik farklılıkları aşınma oranlarında da ortaya çıkmaktadır. 16MnCr5 numuneler SAE 8620 numunelere göre daha yüksek miktarda krom ve mangan elementi içerdiği için daha yüksek miktarda katı eriyik mukavemetlenmesine sahiptir. Bundan dolayı daha az aşınmıştır.

Sementasyon işlemi görmüş bütün numunelerde yüzey sertliğine paralel olarak numunelerin aşınma gösterdikleri görülmüştür.

16MnCr5 sıcak haddelenmiş ve sementede edilmiş numunelerin dışında kalan diğer bütün numunelerde yüzey sertliklerinde çok fazla farklılıkların olmaması nedeniyle birbirine yakın aşınma oranları elde edilmiştir. X ışınları analizlerinde 16MnCr5 sıcak haddelenmiş ve sementede edilmiş numunelerde oksit fazlarına ait piklerin şiddetlerinin diğer bütün numunelere kıyasla daha şiddetli olduğu görülmektedir. Oksit fazlarının martensitik olmayan dönüşümlere neden olması sebebiyle 16MnCr5 sıcak haddelenmiş numunelerde diğer numunelere göre daha düşük sertlik değerleri elde edilmiştir. Bundan dolayı daha yüksek aşınma oranları elde edilmektedir.

7. Sonuçlar ve Öneriler

7.1. Sonuçlar

Sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş SAE 8620 ve 16MnCr5 numunelerin NaCN tuz banyosunda 920 °C de 1 saat, 2 saat, 3 saat, 4 saat sürelerde sementasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sementasyon işlemi görmemiş ve sementasyon işlemine tabi tutulmuş numunelerin X ışınları ile yapılan mikroyapısal karakterizasyonu, mikrosertlik ve aşınma oranlarının incelenmesi sonucu elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- X ışınları sonuçlarında sementasyon işlemi görmüş numunelerin tamamında martensit fazı tespit edilmiştir. Martensit fazının tespit edilmesi sementasyon işleminin gerçekleştiğinin göstergesidir.

- X ışınları sonuçlarında sementasyon işlemi görmüş numunelerin tamamında östenit fazına ait pikler tespit edilmiştir. Bu faz yüzeydeki karbon oranının artmasına paralel olarak sertleştirme işlemi sonrası yapıda kalan kalıntı östenittir.

- X ışınları sonuçlarında sementasyon işlemi görmüş numunelerin tamamında iç oksitlenmenin meydana gelmesi sonucu oluşan oksit fazlarına ait pikler tespit edilmiştir. İç oksitlenme numunelerin kimyasal kompozisyonlarında sahip olduğu oksijene karşı afinitesi yüksek Mn, Cr elementlerinden kaynaklanmaktadır.

- Yapılan sementasyon işlemlerinde gerçekleştirilen karbonlama ve sertleştirme - su verme - işlemleri sonucu numunelerin yüzey sertliklerinde ve çekirdek sertliklerinde artışlar elde edilmiştir.

- Sıcak haddelenmiş SAE 8620 numunelerde en yüksek yüzey sertlik değerinin 2 saatlik numunede 848 HV olduğu, soğuk çekilmiş SAE 8620 numunelerde en yüksek yüzey sertlik değerinin 4 saatlik numunede 833 HV olduğu görülmüştür.

- Sıcak haddelenmiş 16MnCr5 numunelerde en yüksek yüzey sertlik değerinin 2 saatlik numunede 830 HV olduğu, soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerde en yüksek yüzey sertlik değerinin 2 saatlik numunede 845 HV olduğu görülmüştür.

- Yüzey sertlik değerlerinin X ışınları sonuçlarında gözlemlenen östenit fazına ait piklerin şiddetlerine paralel olarak değiştiği görülmüştür. Östenit fazına ait piklerin şiddetleri arttıkça yüzey sertlik değerlerinin düştüğü görülmüştür.

- Çekirdek sertliklerinde SAE 8620 numunelerde 440 HV civarı, 16MnCr5 numunelerde ise 460 HV civarı sertlik elde edilmiştir. Çekirdek sertliklerinin karbonlamadan sonra gerçekleştirilen ıslah işlemi sonucu arttığı ve başlangıçta numunelerin çekirdek sertlikleri arasında mevcut olan farkın korunduğu görülmüştür.

- Artan sementasyon süresi ile etkili sementasyon derinliklerinin arttığı görülmüştür. Sıcak haddelenmiş SAE 8620 numunelerde en yüksek etkili sementasyon derinliği 4 saatlik numunede 1,6 mm., soğuk çekilmiş SAE 8620 numunelerde en yüksek etkili sementasyon derinliği 4 saatlik numunede 1,4 mm elde edilmiştir.

- Sıcak haddelenmiş 16MnCr5 numunelerde en yüksek etkili sementasyon derinliği 4 saatlik numunede 1,3 mm., soğuk çekilmiş 16MnCr5 numunelerde en yüksek etkili sementasyon derinliği 4 saatlik numunede 1,2 mm elde edilmiştir.

- Aşınma deneylerinden elde edilen sonuçlara göre sementasyon işlemi görmüş numunelerin aşınma dirençlerinin sementasyon işlemi görmemiş numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Sementasyon işlemi ile numunelerin yüzey sertliklerinin arttırılarak aşınmaya karşı daha dirençli hale getirildiği görülmüştür.

- Sıcak haddelenmiş semente edilmiş ve semente edilmemiş SAE 8620 numunelerde en yüksek aşınma oranı semente edilmemiş numunede 16,8 mm³/Nm, en düşük aşınma oranı 2 saatlik numunede 5,8 mm³/Nm elde edilmiştir. Soğuk çekilmiş semente edilmiş ve semente edilmemiş SAE 8620

numunelerde en yüksek aşınma oranı semente edilmemiş numunede 14,8 mm³/Nm, en düşük aşınma oranı 4 saatlik numunede 6 mm³/Nm elde edilmiştir.

- Sıcak haddelenmiş semente edilmiş ve semente edilmemiş 16MnCr5 numunelerde en yüksek aşınma oranı semente edilmemiş numunede 16,2 mm³/Nm, en düşük aşınma oranı 2 saatlik numunede 6 mm³/Nm elde edilmiştir. Soğuk çekilmiş semente edilmiş ve semente edilmemiş 16MnCr5 numunelerde en yüksek aşınma oranı semente edilmemiş numunede 14,2 mm³/Nm, en düşük aşınma oranı 2 saatlik numunede 5,6 mm³/Nm elde edilmiştir.

- Aşınma oranlarının numunelerin yüzey sertliklerine paralel değiştiği görülmüştür. Yüksek yüzey sertliğine sahip numunelerin diğer numunelere kıyasla daha az miktarda aşındığı görülmüştür.

- Sementasyon işlemi görmemiş sıcak haddelenmiş ve soğuk çekilmiş numuneler incelendiğinde daha yüksek sertliğe sahip olan soğuk çekilmiş numunelerin sıcak haddelenmiş numunelere göre daha az miktarda aşındığı görülmüştür.

- Sementasyon işlemi görmemiş SAE 8620 ve 16MnCr5 numuneler incelendiğinde daha yüksek sertliğe sahip olan 16MnCr5 numunelerin daha az miktarda aşındığı görülmüştür.

7.2. Öneriler

SAE 8620 ve 16MnCr5 çeliklerinin sementasyon ve aşınma davranışlarının daha etkili bir şekilde karşılaştırılabilmesi için bundan sonraki çalışmalarda aşağıdaki maddelerin araştırılması faydalı olacaktır.

- Aynı karbonlama ortamında ve aynı karbonlama sıcaklıklarında farklı süre ve sıcaklıklarda gerçekleştirilen temperleme işlemlerinin
- Aynı karbonlama ortamında farklı karbonlama sıcaklıklarında gerçekleştirilen sementasyon işlemlerinin
- Farklı karbonlama ortamlarında (katı, gaz) gerçekleştirilen sementasyon işlemlerinin
- Farklı ortamlarda (havada, suda, tuz banyosunda) gerçekleştirilen sertleştirme işlemlerinin
- X ışınları yöntemi ile belirlenen yüzeylerdeki kalıntı östenit miktarlarının
- Farklı ortamlarda farklı süre ve sıcaklıklarda gerçekleştirilecek olan karbonlama işlemleri ve sertleştirme işlemleri sonucu yüzeylerde oluşan kalıntı östenit miktarlarının
- Farklı yüklerde ve farklı mesafelerde gerçekleştirilen aşınma deneylerinin
- Farklı aşındırıcılarla gerçekleştirilen aşınma deneylerinin numunelerin yüzey sertlik değerleri ve aşınma oranları üzerine olan etkilerinin araştırılması faydalı olacaktır.

8. KAYNAKLAR

1. S. Erdem, Yüksek Karbon İçeriğine Sahip, Yüksek Kromlu, Manganlı ve Alaşımsız Düşük Karbonlu Çeliklerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi (2006)
2. C. Baykara, Sementasyon Çeliklerinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Sementasyon Derinliğinin Aşınma Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (1998)
3. H. Özkara, SAE 8620 Çeliğinde Sıvı Sementasyonla Elde Edilen Yüzey Sertlik Derinliğinin Eğmeli Yorulma Mukavemetine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (1996)
4. O. Asi, SAE 8620 Çeliğinde Yüksek Sıcaklıktaki Sementasyon İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (2001)
5. O. Asi, D.Asi, Sementasyon Yapılan SAE 8620 Çeliğinde Meydana Gelen Kalıntı Gerilmelerin incelenmesi, G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi (2003)
6. H.E. Sönmez, SAE 8620 Çeliğinde Gaz Sementasyon Sertlik Derinliğinin Eğmeli Yorulma Mukavemetine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (1996)
7. O. Asi, An Investigation of Retained Austenite Contents In Carburized SAE 8620 Steel, G.Ü. Journal of Science (2004)
8. İ. Karagöz, Sementasyon Çeliklerinde Difüzyon ve Sertlik Derinliğini Arttıracak Isıl İşlem Koşullarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (2007)
9. F. Güner, The Effect of Retained Austenite on Abrasive Wear Resistance of Carburized SAE 8620 Steel, Yüksek Lisans Tezi (1988)
10. Ö.Pamuk, Yüzeyi Karbürlenmiş AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin Merkezinde Çift Fazlı Çelik Yapısının Üretimi ve Bu Yapının Çekme Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (2001)
11. M. Tabur, Farklı Isıl İşlemlerdeki 8620 Sementasyon Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi (2003)

12. Ş.A. Çelik, Sementasyon İşleminin Yorulma Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi (1995)
13. M. Belevi, M. Eş, 16MnCr5'ten Yapılmış Silindirlerin Kaymalı – Yuvarlanma Koşullarında Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi, DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi (2007)
14. Y. Karaoğlu, Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi (2006)
15. C. Erhazar, Isıl İşlem Koşullarının Düşük Alaşımlı Ni-Cr-Mo Çeliğinin Mekanik özelliklerine ve Aşınma Direncine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (1992)
16. Asil Çelik Teknik Yayınlar Kitabı (2000)
17. Donald R. Askeland, Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt I, (1998)
18. C. Çarboğa, Ç10 Yapı Çeliğinde Soğuk Çekme ile Sağlanan Deformasyonun Malzemenin Yorulma Davranışına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi (2002)
19. G. Krauss, Microstructure and Performance of Carburized Steel Part II, Austenite, Advanced Materials and Processes (1995)
20. P.Wise, David K. Matlock, G. Krauss, Bending Fatigue of Carburized Steels, Advanced Steel Processing and Products Research Center Heat Treating Progress (2001)
21. G. Voort, Martensite and Retained Austenite, IndustrialHeating.com (2009)
22. O. Asi, A.Ç. Can, Sementasyon Çeliklerinde Kösertleştirilmiş ve Sementasyon Yapılmış Durumlarda Meydana Gelen Artık Gerilmelerin Karşılaştırılması, P.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi (2001)
23. D.Svec, D. Laughlin, Structure and Properties of an 8620 Steel Carburized in Nitrogen Base Gas, Metal Progress (1978)
24. M. Ueda, M. Nanko, Y. Oyama, K. Kawamura, T. Maruyama, Microstructure Evolution of Internal Oxidation Zone Formed in the Initial Stage of the Steam Oxidation of Fe-9Cr-0,26Si Ferritic Steel at 973K, (2001)

25. D. K. Matlock, K.A. Alogab, M.D. Richards, G.Speer, Surface Processing to Improve the Fatigue Resistance of Advance Bar Steels for Automotive Applications, Advanced Steel Processing and Products Research Center (2005)
26. G. Parrish, Carburizing Microstructures and Properties, (1999)
27. H. Başaran, Saf Demirin Ethanolamine Çözeltisi İçerisinde Elektrolitik Plazma Yöntemiyle Yüzey Serleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi (2007)
28. S. Karaoğlu, Az Alaşımlı Çeliklerde Karbon Miktarının Plazma Nitrürasyonu Davranışına Etkisi, DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi (2004)
29. DIN EN 10084, Sementasyon Çelikleri Teknik Teslim Şartları (2001)
30. J.J. Spice, D.K. Matlock, Optimized Carburized Steel Fatigue Performance as Assessed with Gear and Modified Brugger Fatigue Tests, Society of Automotive Engineers (2002)
31. M. Dağlılar, Standart Çeliklerin Sertleştirilmesinde pratik uygulama esasları, Mühendis ve Makine Dergisi sayı 297 (1984)
32. W.A.Kaczmarek, M. Giersig, XRD and HREM studies of Structural Phases in Non-Stoichiometric Complex Iron Oxides, Collogue CI, Supplement au Journal de Physique (1997)
33. O.N. Çelik, Ö.Akbayır, H.Gaşan, Ü.Er, N.Aydınbeyoğlu, Borlanmış AISI 1030 Çeliğinin Abrasif Aşınma Özellikleri, Osmangazi Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi (2007)
34. K. Savolainen, J.Mononen, R.Ilola, H.Hanninen, Materials Selection for High Temperature Applications, Helsinki Universiy Labrotary of Engineering Materials Publications (2005)
35. J.D. Yeo, T.Y.Ra, H.S.Kim, H.J.Bang, Y.G.Yoo, W.Y.Kim, Effects of Mo and Zr on Microstructure, Mechanical Properties and Wear Resistance of Fe-Al Based Alloys (2008)
36. E.Kuzmann, L.Domonkos, M.Kocsis, S. Nagy, A.Vertes, H.Mehmer, Determination of Retained Austenite in Steels Alloyed with Carbide Formers (1979)

37. U.Engström, P.Johansson, S.Bengtsson, S.Dizdar, L.Molin, Opportunities for High Performance PM Gears in Automotive Applications (2007)
38. N.Y. Sarı, Klasik Isıl İşlemler ve Modern Yüzey İşlemleri Uygulanmış 1050 (C45E) çeliğinin Abrasif-Erozif Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi (1999)
39. C.H. Surberg, P.Stratton, K.Lingenhole, Effect of Deep Cold Treatment on Two Case Hardening Steels (2008)
40. F.Kahraman, S.Akcan, Effects of Process Parameters on the Carbon Profiles of Gas Carburized AISI 8620 Steel, Ç.Ü. Müh.Mim. Fak. Dergisi (2007)
41. A. Uluköy, 21NiCrMo2 (AISI 8620) Çeliğinden Yapılmış Dişli Çarklara Karbürleme ile Beraber Borlama İşleminin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi (2005)
42. K.Palanirarja, N.Alagumurthi, V.Soundararajan, Optimization of Process Variables in Gas Carburizing Process: A Taguchy Study with Experimental Investigation on SAE 8620 and AISI 3310 Steels (2004)
43. J.D.Makinson, W.N.Weins, T.W.Snyder, R.J.De Angelis, Diffracting Particle Size Analysis of Martensite- Retained Austenite Microstructures (200)
44. P.Stratton, C.H.Surberg, Retained Austenite Stabilization in Carburized SAE 8620 Alloy Steel, Heat Treating Progress (2009)
45. İ.Güneş, S.Ulu, O.Ayan, Su Verilmiş Çeliklerdeki Temperleme Kademelerinin Aşınma Davranışlarına Etkisinin Araştırılması, Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (2009)
46. D.Beauchesne, A.Goldsteinas, Quenching After Vacuum Carburizing, Heat Treating Progress (2004)
47. K.Delikanlı, N.Ulusoy, H.A.Uzun, Yüzeyleri Borlama ile Sertleştirilen Ç1040 Çeliğinin Abrasif Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımı, II. Ulusal Demir Çelik Sempozyumu (2003)
48. C.H.Surber, P.Stratton, E.Lingenhöle, The Influence of Cold Treatment on Case-Hardened Steel, Heat Treating Progress (2008)

49. S.Ulu, DIN 17CrNiMo6 Çeliğinin Mikroyapı Özelliklerine Kritik Sıcaklıklar arası Isıl işlemlerin Etkisi (2009)
50. E.Turhan, Islah Çeliklerinde Isıl İşlem Parametrelerinin Aşınma Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi (2001)
51. S.Ulu, H.Aytekın, G.Said, 4 Farklı Çeliğın Bazı Mekanik Özelliklerine Fe-Fe₃C Faz Diyagramında A1-A3 Arasında Yapılan Isıl işlemlerin Etkisi (2006)
52. K.M.Lee, A.A.Polycarpou, Wear of Conventional Pearlitic and Improved Bainitic Rail Steels (2005)
53. I.Sevim, I.B. Eryürek, Effect of Abrasive Particle Size on Wear Resistance in Steels (2006)
54. S.Taktak, S.Ulker,İ.Günes, High Temperature Wear and Friction Properties of Duplex Surface Treated Bearing Steels (2008)
55. M.Erdogan, S.Tekeli, The Effect of Martensite Volume Fraction and Particle Size on The Tensile Properties of Surface Carburized AISI 8620 Steel with Dual-Phase Core Microstructure (2003)
56. A.Alsaran, A.Çelik, M.Karakan, Structural, Mechanical and Tribological Properties of Duplex-Treated AISI 5140 Steel (2005)
57. C.C Viafara, M.I. Castro, J.M.Velez, A.Toro, UnLubricated Sliding Wear of Pearlitic and Bainitic Steels (2005)

9. ÖZGEÇMİŞ

İlyas YEGEN 23 Ekim 1984 İzmit doğumludur. Eğitim hayatına 1990 yılında Zafer İlköğretim Okulu'nda başlamıştır. 2002 yılında Merkez Bankası Derince Anadolu Lisesi'nde lise eğitimini tamamladıktan sonra 2007 yılında da Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2007 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Bilimi ve Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlayıp halen bu bölümde eğitime devam etmektedir.