

**SAE 5120 ve 8620 ÇELİKLERE UYGULANAN
SEMENTASYON İŞLEMİNİN MİKROYAPI
VE SERTLİK DEĞİŞİMLERİNE ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa KAYA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

METAL EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Haziran, 2015

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SAE 5120 ve 8620 ÇELİKLERE UYGULANAN
SEMENTASYON İŞLEMİNİN MİKROYAPI VE SERTLİK
DEĞİŞİMLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa KAYA

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

METAL EĞİTİMİ
ANABİLİM DALI

Haziran, 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Mustafa KAYA tarafından hazırlanan “SAE 5120 ve 8620 Çeliklere Uygulanan Sementasyon İşleminin Mikroyapı ve Sertlik Değişimlerine Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 09/ 06 / 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Metal Eğitimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman :Yrd.Doç.Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Başkan :Doç.Dr. Sinan ULU İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi,

Üye :Yrd.Doç.Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA İmza
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi,

Üye :Yrd.Doç.Dr. Fatih ÇOLAK İmza
Uşak Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu,

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**SAE 5120 ve 8620 ÇELİKLERE UYGULANAN SEMENTASYON İŞLEMİNİN
MİKROYAPI VE SERTLİK DEĞİŞİMLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa KAYA
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Metal Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA

Bu çalışmada, SAE 5120 ve 8620 Çeliklere Uygulanan Sementasyon İşleminin Mikroyapı ve Sertlik Değişimlerine Etkisi araştırılmıştır. Tez çalışması için seçilen malzemeler Denizli de yerleşik bulunan Hadid Makine sanayi den temin edilmiş, Aydın da yerleşik bulunan Zirve Kalıpcılık Sanayi tarafından standart deney numuneleri haline getirilmiştir. Daha sonra İzmir de yerleşik bulunan Isılsan Sanayi tarafından Sementasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Deney malzemesi olarak seçilen SAE 5120 ve SAE 8620 malzemeleri için sıcaklık 930 °C, de sabit tutularak, 60-120-180-240 dakika olmak üzere 4 farklı sementasyon zamanı belirlenmiş olup, malzemelerin farklı sementasyon sürelerinde gösterdiği davranışların incelenmesi planlanmıştır.

Her iki deney malzemesi için de 12 şer adet standart deney numunesi hazırlanmıştır. Hazırlanan standart deney numuneleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Laboratuvarlarında sırasıyla;

Mikrosertlik ölçümü için hazırlanan deney numuneleri, 60-80-160-240-300-600-800-1000 ve 1200 lük zımparalarla sırasıyla ve birbirlerine ters yönlerde zımparalanmış daha sonra alümina ile parlatılarak nital ile dağlanıp önce mikro yapılarının fotoğrafları çekilmiş daha sonra da Vickers sertlik cihazıyla Mikrosertlikleri ölçülmüştür.

Charpy-Darbe Tokluk Deneyi için hazırlanan numunelerin deneyi sonucunda ise her iki malzemenin de tokluk değerlerinin sementasyon süresi arttıkça düştüğü gözlemlenmiş sementasyon süresi en uzun olan deney numunesinin her iki malzeme için de en az tokluğa sahip malzeme olduğu görülmüştür. Kırılmanın gerçekleştiği bölgeler testereyle kesilerek Afyon Kocatepe Üniversitesi'nde bulunan laboratuvarlarda SEM görüntülemeye tabi tutulmuş, X500 Geri yansıyan Elektron ve II. Elektron görüntüleri incelenerek sementasyon süresi arttıkça malzemelerin daha az sünek kırılma davranışı sergiledikleri, dolayısıyla sementasyon süresi arttıkça sünekliğin azaldığı belirlenmiştir.

Çekme Deneyi için hazırlanan deney numuneleri de aynı şekilde Afyon Kocatepe Üniversitesinde bulunan laboratuvarlarda çekme deneylerine tabi tutulmuş olup ilk 2 saatlik sementasyon süresine kadar malzemelerin kopma dayanımlarında bir artış görülmekle beraber, 3 saat ve sonrasında sementasyon işlemine tabi tutulmuş malzemelerin kopma dayanımlarının düşüş eğiliminde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2015, xii + 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sementasyon, Isıl İşlem, Mikroyapı, Sertlik, SAE 5120, SAE 8620

ABSTRACT

M.Sc Thesis

STUDY OF THE EFFECT OF THE CEMENTATION PROCESS APPLIED TO SAE 5120 AND 8620 STEELS ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS CHANGES

Mustafa KAYA

Afyon Kocatepe University

Institute of Natural and Applied Sciences

Department of Metal Education

Supervisor: Asst. Prof. Mehmet ÇAKMAKKAYA

In this study, the effect of cementation process, applied to SAE 5120 and 8620 Steels, on the microstructure and hardness changes is studied. The materials chosen for the thesis study were obtained from the Hadid Makine located in Denizli, and transformed into standard experiment samples by Zirve Kalıpçılık Sanayi located in Aydın. Afterwards, the materials were subjected to the cementation process by the Isılsan Sanayi located in İzmir.

The heat for SAE 5120 and SAE 8620 materials chosen as the experiment materials was fixed at 930 °C, four different cementation durations were stated as 60 – 120 – 180 – 240 minutes and it was planned to study the behaviors exhibited by the materials during the different cementation processes.

Twelve standard experiment samples were prepared for each of the experiment materials. At the laboratories of Afyon Kocatepe University Technology Faculty, those standard experiment samples, respectively;

The samples prepared for the microhardness measurement were sanded with 60-80-160-240-300-600-800-1000 and 1200 grit sandpapers in turns and in the opposite directions, polished with alumina, seared with nital, photographed for the micro structures and then

measured for the microhardness with Vickers hardness testing machine.

As a result of the experiments of samples prepared for the Charpy Impact Test, it was observed that the toughness values of each materials were slipped as the cementation durations were extended. It was seen that the experiment sample with the longest cementation duration was the material with the least toughness. The areas where fracturing happened were sawed, subjected to the SEM monitoring at the laboratories of Afyon Kocatepe Univerisity. By studying the X500 retroreflective electron and II. Electron images, it was stated that the materials exhibited less ductile fracturing behavior as the cementation duration was extended. Therefore, it was determined that the ductility was decreased as the cementation duration was extended.

The experiment samples prepared for the Tension Test were also subjected to the tension tests at the laboratories of Afyon Kocatepe University, an increase was observed at the breaking strength of the materials up to the two hour cementation duration. It was precipitated that the breaking strength of the materials subjected to the cementation process up to three hour and after showed a falling tendency.

2015, xii + 66 pages

Key words: Cementation, Heat Treating, Microstructure, Hardness, SAE 5120, SAE 8620

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKKAYA, araştırma ve yazım süresince desteğini esirgemeyen eşim Fisun KAYA' ya her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Mustafa KAYA
AFYONKARAHİSAR, 2015

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Sementasyon Yüzey Sertleştirme Yöntemleri	3
2.1.1 Katı Karbon Verici Ortamda Sementasyon İşlemi.....	3
2.1.2 Sıvı Sementasyon Maddeleriyle Sementasyon İşlemi	15
2.1.3 Gaz Ortamda Sementasyon İşlemi	21
2.1.3.1 Katı Sementasyon Maddeleriyle Gaz Sementasyon (Granül Yöntemi)24	
2.1.3.2 Sıvı Sementasyon Maddeleriyle Gaz Sementasyon (Damla-Gaz Yöntemi).....	24
2.2 Sementasyondan Sonra Sertleştirme İşlemi.....	25
2.2.1 Sementasyon Sıcaklığından Direkt Sertleştirme	26
2.2.2 Yavaş soğutmadan Sonra Sertleştirme	26
2.2.3 Ara Tavlamalı Sertleştirme	27
2.2.4 Çift Sertleştirme	27
2.3 Sementasyon Derinliği ve Etkili Sementasyon Derinliği	37
3. MATERYAL ve METOT	40
3.1 Deney Malzemeleri.....	40
3.2 Sementasyon ve Sertleştirme İşlemi	40
3.3 Mikrosertlik Ölçümleri	42

3.4 Çentik Darbe Deneyi	42
3.5 Metalografik İnceleme	44
4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	46
4.1 Deney Bulguları	46
4.1.1 Sementasyon İşleminin Sertlik Değerlerine Etkisi	46
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	61
6. KAYNAKLAR.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$K_4(F_e[CN]_6)$	Potasyum ferrosiyanür
$K_3(F_e[CN]_6)$	Potasyum ferrisiyanür
C	Karbon
CO_2	Karbondioksit
CO	Karbon monoksit
2CO	2 Mol Karbon monoksit
$BaCO_3$	Baryum karbonat
BaO	Baryum oksit
NaCN	Sodyum siyanür
KCN	Potasyum siyanür
$BaCl_2$	Baryum klorür
$SrCl_2$	Stronsiyum klorür
CH_4	Metan
H_2	Hidrojen
NH_3	Amonyak
Fe_3O_4	Demir III oksit
4CO	4 Mol Karbon monoksit
Fe	Demir
4CO ₂	4 Mol Karbon dioksit
$C_{(x,t)}$	t süresinde çeliğin yüzeyinden içeriye doğru x mesafedeki karbon bileşimi,
C_0	Karbürizasyon uygulanacak çeliğin başlangıç karbon içeriği,
C_1	Karbürleyici ortamın karbon içeriği,
D	Koabomum çelik içerisindeki difüzyon katsayısı (cm ² / s),
t	Karbürizasyon süresi (s),
x	Mesafe (cm).

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Çeliğin karbon miktarları, sıcaklık ve karbon verme atmosferindeki $CO-CO_2$ miktarları arasında denge oranları.....	6
Şekil 2.2 Alaşımsız karbonlu çeliğin 920 C de sementasyon işleminde, karbon veren ortamın karbon verme gücü ve zamanın, karbonun nüfuz edebilirliğine etkisi.	10
Şekil 2.3 Oldukça yüksek sıcaklıklarda sementasyon süresine bağlı olarak sementasyon derinliği	11
Şekil 2.4 Sıcaklık ve karbon potansiyelini saptama düzeneği.....	13
Şekil 2.5 Şekil 2.4' e göre yerleştirmede, belirli noktalarda ısınmada sıcaklık seyri	14
Şekil 2.6 Katı ortamda sementasyon için kullanılabilecek kutu ve parçaların yerleştirme düzeninin kesit görüntüsü ve kapak dizaynı	15
Şekil 2.7 Çeşitli sıcaklıklarda tuz banyolarında sement edilen ve yağda ani soğutulan 14 mm çapındaki yumuşak çelik parçalarda sertleşme derinlikleri	19
Şekil 2.8 Düz yüzeyli parçalarda izlerin konumu	38
Şekil 2.9 Silindirik parçada sertlik ölçme izlerinin konumu	39
Şekil 2.10 Etkili sementasyon derinliği saptama diyagramı	39
Şekil 3.1 Darbe Deney Makinasının şematik resmi	43
Şekil 3.2 Darbe deney cihazının çalışma prensibi.....	43
Şekil 4.1 SAE 5120 Malzemesinin 1-2-3-4 Saatlik Sementasyon İşlemi Sonrası Elde Edilen Mikro Sertlik Değerleri	51
Şekil 4.2 SAE 8620 Malzemesinin 1-2-3-4 Saatlik Sementasyon İşlemi Sonrası Elde Edilen Mikro Sertlik Değerleri	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Sementasyon için alışılmış sıcaklıklarda CO ve CO_2 oranları.....	5
Çizelge 2.2 Gaz Atmosferinin Denge koşulları.....	5
Çizelge 2.3 Sementasyon derinliklerinin tespiti için süre hesabı.....	9
Çizelge 2.4 Nüfuz derinliğine bağlı olarak, gerekli olan sürelerin hesaplanması (930 C de, 4 saat ve 1 mm esasına göre)	9
Çizelge 2.5 k sabiti, değerleri.....	10
Çizelge 2.6 Sementasyon işleminde kullanılan banyolar için banyo bileşimleri, ağırlık oranları ve kullanım sıcaklıkları	16
Çizelge 2.7 Siyanür banyolarında, sıcaklık ve zamanın, sementasyon derinliğine etkisi	17
Çizelge 2.8 Sementasyon çeliklerinin ısıtıl işlem koşulları.....	29
Çizelge 2.9 Sementasyon çeliklerinin kimyasal analizleri ve bileşimindeki elementler	32
Çizelge 2.10 Sementasyon çeliklerinin Mekanik özellikleri.....	34
Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan 5120 ve 8620 Sementasyon Çeliklerinin Spektrometrik Analiz Sonuçları	40
Çizelge 4.1 SAE 5120 ve SAE 8620 malzemelerinin sementasyon işlemi sonrası süreye bağlı mikrosertlik değerleri.....	50
Çizelge 4.2 SAE 5120 ve SAE 8620 malzemelerinin sementasyon işlemi sonrası elde edilen kopma dayanımı ve charpy darbe tokluk testi değerleri	54

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 4.1	SAE 5120 Malzemesinin sementasyon yapılmadan önceki mikroyapısı x200.....	48
Resim 4.2	SAE 5120 Malzemesinin 1-2-3-4 saat sürelerde sementasyon yapıldıktan sonraki mikro yapıları x10.....	48
Resim 4.3	SAE 8620 Malzemesinin sementasyon yapılmadan önceki mikroyapısıx200	49
Resim 4.4	SAE 8620 Malzemesinin 1-2-3-4 saat sürelerde sementasyon yapıldıktan sonraki mikro yapıları x10.....	49
Resim 4.5	AISI 1080 Çeliğine ait SEM görüntüsü yarılma çatlağı şeklinde yırtılmax100	55
Resim 4.6	930 oC de 1 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500.....	55
Resim 4.7	930 oC de 2 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500.....	56
Resim 4.8	930 oC de 3 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500.....	57
Resim 4.9	930 oC de 4 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500.....	57
Resim 4.10	930 oC de 1 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500.....	58
Resim 4.11	930 oC de 2 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500.....	58
Resim 4.12	930 oC de 3 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500.....	59

Resim 4.13 930 oC de 4 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500..... .59

1. GİRİŞ

Sementasyon Türk Standartları Enstitüsü tarafından; Östenit içinde katı çözeltili halinde karbonca zengin bir yüzey elde etmek amacıyla östenitik durumdaki demir esaslı ürüne uygulanan Termokimyasal İşlem olarak tanımlanmaktadır (TS EN 10052 2002).

Sementasyon çeliklerinin, yüzeylerinin sert ve aşınma dirençlerinin yüksek, merkezlerinin yumuşak ve tokluk özellikleri içeren bir yapıya sahip olması istenen, değişken ve darbeli yüklere karşı dayanıklı parçaların imalatında kullanılan, çok az miktarda karbon içeren alaşımsız veya alaşımlı yapıya sahip çeliklerdir (Pamuk 2001).

Sementasyonla yüzey sertleştirme işlemi; çelik yüzeyinden karbon atomları difüzyonuyla karbon içeriğinin artırılması olan **sementasyon** ve ardından sertleştirme olarak iki aşamada gerçekleştirilir (Topbaş 1993).

Sementasyon, yeterince sertleşmeyen ve karbon miktarı en fazla % 0,22 olan çeliklere, malzemenin yüzeyinden itibaren difüzyon yoluyla belirli bir derinliğe kadar karbon nüfuz ettirilmesi işlemidir. Malzeme içerisinde karbon difüzyon hızı oda sıcaklığında çok küçük, hatta sıfır olduğundan, karbonun kolayca nüfuz edebileceği östenitik sahaya kadar çelik ısıtılmalıdır. Oda sıcaklığından itibaren sıcaklığın artmasıyla karbonun demir içerisindeki difüzyon hızının iyileşmesine ve ferrit içerisinde difüzyon hızının östenite nazaran yaklaşık 40-50 kat yüksek olmasına karşın ferrit içerisinde karbonun çözülebilirliğinin çok düşük olması sebebiyle, östenitik bölgeye çıkılması zorunludur. Krom ve benzeri alaşım maddeleri, karbonun difüzyon hızını azaltırken, azot ortamı çeliğe karbon geçişini kolaylaştırır ve karbonun difüzyon hızını yükseltir (Topbaş 1993).

Sementasyon işlemi yapılan malzemelerde, eğilme, aşınma, burulma yorulma dayanımı ve temas yorulma dayanımları yüksek olur (Krauss G. 1989). Sementasyon işlemini gaz, sıvı ve katı karbon verici ortamlarda yapmak mümkündür. Bu üç ortamda da, karbon

moleküler değil, atom olarak demir kafesine yerleşir. Tavlanmış çeliğin dış yüzeyine karbon verici elementlerin (sementasyon tozu) serpiştirilmesi sonucunda çok az derinliğe sahip yüzeyi sertleştirmek, geçmişten beri bilinen fakat günümüzde çok az kullanılan bir metoddur. Bu metoddan, ostenitleştirme sıcaklığına ısıtılmış çelik yüzeyine, Potasyumferrosiyanür $K_4(F_e[CN]_6)$ ya da Potasyumferrisiyanür $K_3(F_e[CN]_6)$ tuzları serpilir ve ardından ani soğutma yapılır. Yüksek sıcaklıkta bu tuzların parçalanmasıyla erkin duruma gelen karbon, çeliğin içerisine nüfuz eder. Nüfuz derinliği oldukça azdır ve çoğunlukla 0,01 mm 'yi aşmaz. Bu metod, çok az zorlamaya tabi olan parçalarda kullanılabileceğinden nadiren uygulanır (Topbaş 1993).

Literatürde SAE 8620 ve 5120 çeliklerinin sementasyon işlemi sonrası mikroyapı ve sertliklerini incelemiş bir çok çalışma vardır. bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiş ve bu çalışmanın hazırlanmasında da kaynak olarak kullanılmıştır.

(Asi, Can, 2001). tarafından yapılan, Sementasyon Çeliklerinde Kösertleştirilmiş ve Sementasyon Yapılmış Durumlarda Meydana Gelen Artık Gerilmelerin Karşılaştırılması çalışmasında, SAE 8620 çeliğinde sementasyon işlemi sonucunda ortaya çıkan kalıntı gerilmeleri araştırılmıştır. (Tabur 2003). tarafından yapılan, Farklı Isıl İşlemlerdeki 8620 Sementasyon Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışları çalışmasında farklı ısıt işlemler uygulanan 8620 çeliğinin farklı yüklerde ve farklı aşınma koşullarında deneylere tabi tutularak gösterdiği abrasiv aşınma davranışlarını incelemiştir. Pekgöz, B., Sarıdemir, S., Uygur, İ., Aslan, Y. (2013). tarafından yapılan Sementasyon İşleminin Farklı Çeliklerin Mikroyapı ve Sertlik Değerlerine Etkileri adlı çalışmada, SAE 1040, SAE 4140 ve SAE 8620 çeliklerinin tuz banyosunda sıvı sementasyon yöntemiyle sertleştirilmiş, işlem öncesindeki ve sonrasındaki sertlik ve mikroyapıları araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Sementasyon Yüzey Sertleştirme Yöntemleri

2.1.1 Katı Karbon Verici Ortamda Sementasyon İşlemi

Katı karbon verici madde olarak daha çok odun kömürü, aktiviteyi arttırıcı maddelerle birlikte kullanılır. Deri kömürü kullanılmasıyla sementasyon hızlanır. (Burada, karbon dışında azot difüzyonu da olur.) Aktifleştirici maddeler, karbon verici ortamlarda, çeliğin karbon alma olayına yardım ederler. Herhangi bir aktifleştirici bulunmadığında, odun kömürü ile yapılan kutu sementasyonda tepkime, kutu içerisinde bulunan oksijen yardımıyla meydana gelir ve ısıtma sırasında CO_2 'ce zengin bir karışım oluşur. Bu karışım kömürlerle aşağıdaki tepkimeye göre etkileşime devam eder:



Sıcaklık arttıkça, reaksiyonun dengesi yukarıdaki bağıntıda sağa doğru kayar (gaz karışımı CO 'ce yavaş yavaş zenginleşir). Çeliğin yüzeyindeki CO aşağıdaki reaksiyona göre ayrışır:



İkinci reaksiyon sonucu atomal karbon, çeliğin ostenit fazında kolayca çözünür ve çeliğin bünyesine girer. İkinci belirtilen reaksiyonda meydana gelen CO_2 , ilk bağıntıda belirtildiği gibi kömürle karbon tekrar tepkimeye girer ve bu süreç işlem süresince sürekli devam eder. Kömür tozları arasındaki oksijen atmosferinin miktarı, sementasyon işlemi için ihtiyaç duyulan gaz ortamı oluşturmak için yetersiz kalabilir. Bu nedenle, ilave aktifleştirici maddeler, daha çok da karbonatlar kullanılır. En çok kullanılanı da $BaCO_3$ ' tır. $BaCO_3$ Aşağıdaki tepkimeye göre ayrışır (Topbaş 1993).



Oluşan CO_2 kömür tozundaki karbon ile tepkimeye girerek, aktif karbonmonoksit meydana getirir ve bu tepkimeler tersinir olarak sürekli devam eder. İşte bu sebeple, yukarıda bahsedilen tepkimeler, çift yönlü sürekli olarak gerçekleşirler:



Odun kömürü ve $BaCO_3$ 'ün, alışılmış karışım oranı 60:40 ila 80:20 arasındadır. Baryum karbonatın daha yüksek değerlerine, büyük sertleşme derinliği istendiğinde gidilir. Yukarıda da belirtildiği gibi, aktifleştirici maddelerin etkisi, karbon monoksit CO teşekkülünde olmaktadır. Özellikle, ısınma ve karbon verme esnasında, karbonmonoksidin teşekkülü için gerekli oksijen, aktifleştirici maddelerin parçalanmasıyla oluşan oksitler ve karbonatdan sağlanmaktadır. Sementasyon işleminden sonra soğuma, sementasyon işlemi için zararlı olan CO_2 daha önce teşekkül etmiş $BaCO_3$ tarafından yok edilir (Topbaş 1993).



Çeliğin etrafını sarmış, değişik karbon bağlantılı gaz haldeki atmosferin durumu, sementasyon işleminin ilerlemesine önemli derecede etki eder. Katı karbon verici ortamdan oluşan, CO ve CO_2 miktarları büyük önem arzeder. CO , yüksek sıcaklıklarda demirin karbon almasını sağlar. CO_2 ise çeliğin içindeki karbonu alarak, yüzeyde karbon azalmasına sebep olur. CO ve CO_2 'in ortamdaki miktarına göre, çeliğe karbon verme ya da çelikten karbon alma olayı gerçekleşir. CO ve CO_2 çeliğe karşı nötr olma koşulları, sıcaklıkla, basınçla ve çeliğin karbon miktarıyla ilgilidir. Karbon monoksit, karbondioksit ve tavlanmış kömürün, kapalı kutu içerisindeki denge haline Boudouadrik Denge denir. Tam denge halinde, 2.7 de gösterilen tersinir tepkime geçerli olur (Topbaş 1993).



Çizelge 2.1 Sementasyon için alışılmış sıcaklıklarda CO ve CO_2 oranları.

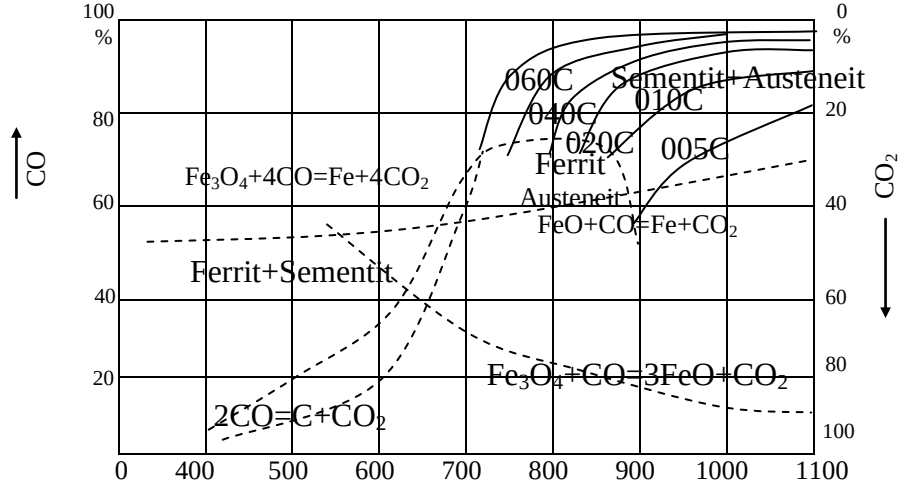
Sıcaklık °C	CO miktarı (%)	CO_2 miktarı (%)
800	88	12
900	97	3
1000	99,96	0,04

Bu oranlar sementasyon ortamında çeliğin mevcut olmadığı durumlarda, sıcaklığa bağlı olarak CO ve CO_2 miktarlarıdır. Şayet sementasyon ortamında çeliğin mevcut olması halinde ise, fırın atmosferindeki gaz dengesi karbon miktarına bağlı olur.

Çizelge 2.2 Gaz Atmosferinin Denge koşulları.

Sıcaklık °C	Çeliğin CO Miktarı (%)	CO Miktarı (%)	CO_2 Miktarı (%)
800	0,4	70	30
800	1,2	88	12
900	0,4	92	8
900	1,2	96	4

Yukarıda verilen denge koşulları, basınç durumu gibi diğer etkiler göz önünde tutulmadığında, çeliğin karbon miktarı ve gaz atmosferin bileşimi için geçerlidir. Örneğin, 900 °C sementasyon sıcaklığında, gaz atmosferi ve % 1,2 karbonlu çelik arasında bir denge mevcut olsun. Bu esnada, karbon alma ve karbon verme görülmez, yani reaksiyon yoktur. Fakat bu sıcaklıkta, karbon miktarı, %1,2 ‘den az bir çelik bulunursa, çeliğe karbon verme olayı olur. Buna karşın, ortamda karbon miktarı %1,4 olan bir takım çeliği bulunursa, bu çelikten karbon alınır ve yüzeyinde karbon miktarı %1,2’ye iner. Gazların CO ve CO_2 miktarları, sıcaklık ve çeliklerin karbon miktarları, aşağıdaki şekilde toplu halde görülmektedir. Burada S formunda ve kesik çizgilerle gösterilmiş Boudouadrik denge çizgisi, çeliğin karbon miktarı ile karbon verici atmosferin dengesi de gösterilmiştir (Topbaş 1993).



Şekil 2.1 Çeliğin karbon miktarları, sıcaklık ve karbon verme atmosferindeki $CO-CO_2$ miktarları arasında denge oranları.

Şekil 2.1’de verilen diyagramın sementasyon olaylarında kullanılmasındaki pratik esaslar, % 0,1 karbonlu çelik için açıklanabilir: % 0,1 karbonlu sementasyon çeliği 900 °C sıcaklığında karbon verici gazla denge halinde ise, CO miktarı % 75 ’dir. Bu değer, 0,10 C çizgisi ile 900 °C sıcaklık hattını kesiştirmekle bulunabilir. Kesme noktası ordinata taşınarak, sol taraftan CO miktarı ve sağ taraftan CO_2 miktarları okunabilir. Gazın CO miktarı % 90 ’a yükseltirirse, mevcut çelikte 900 °C de karbon miktarı % 0,4 ’e (0,40 C çizgisi) ulaşır. Bu fırın atmosferi, düşük sıcaklıklarda çeliğin karbon almasını artırır, yüksek sıcaklıklarda ise düşürür. % 90 CO atmosferi, 860 °C ’de çeliğin cidarındaki karbon miktarını % 0,6 ’ya ve 820 °C ’de % 9’a yükseltir. Buna karşın, karbon alma 1060 °C ’de % 0,1’e düşer. Yani bu sıcaklıkta, sıcaklık ve mevcut atmosfer % 0,1 karbonlu çeliğe karbon vermez. Sıcaklık daha da yükseltirirse, denge hali % 0,1 karbonun altına düşer ve çelikten karbon alma olayını oldukça düşük sıcaklıklara indirir. Diyagramda görülen C-K çizgisi, karbon azalması ve oksidasyon arasında sınır geçişi göstermektedir. Yani örnek olarak % 0,1 karbonlu çelik 900 °C ’de % 75 CO içeren atmosferde karbon alırken, % 75 CO ile % 67 CO arasında karbon azalır ve % 67 ’nin altında ise oksidasyon olur (Topbaş 1993).

Şekil 2.1 ’de denge koşullarının belirtilmesinde gaz basıncının etkisi gösterilmemiştir.

Düşük basınç altında, yani $CO-CO_2$ atmosferinin toplam basıncı 1 Atü ise, Şekil 2.1 kullanılabilir. Fakat sementasyon kutuları katı karbon verici maddelerle doldurulduğundan, havadan dolayı mevcut atmosferde büyük miktarda azot bulunur. Azotun hacim oranı yaklaşık 80 alınır, $CO-CO_2$ gaz karışımında 0,2 Atü kadar kısmi basınç artışı doğar. Bu esnada, bu olaydan dolayı da Boudouadrik dengede biraz kayma meydana gelir. Karbon verici atmosfer, $CO-CO_2$ gaz karışımı yanında, malzemenin karbon verilmek istenen yüzeyinin özelliklerini etkileyen ve geçişgenlik yapan diğer gazları da muhteva eder. Bazı alaşımlı çeliklerde, özellikle alüminyum içeren ince taneli çeliklerde, yumuşak noktacıklar görülebilir. Bu şekilde homojen olamayan, bölgesel ve yetersiz sertlik artışı, geçişgenlik yapan azot ve oksijenin, alaşım maddeleriyle birleşmesinde de görülebilir. Böyle durumda alaşım maddeleri, beklenen sertlik artışını sağlayamazlar. Sementasyon işlemi esnasındaki, karbon verici ortamın karbon verme gücü, karbonun çelik malzemenin yüzeyinden, malzemenin iç kısımlarına doğru ilerleme hızı birlikte önem kazanır. Eğer ortamın karbon geçirgenliği çok yüksek, fakat çelik malzeme içerisindeki geçişme hızı çok azsa, malzeme yüzeyinde aşırı karbon yığılması ve yüzeyle çekirdek arasında karbon miktarı bakımından keskin geçiş noktaları oluşur. Bununla birlikte, karbon miktarının % 0,8 'i aşması, ötektoidüstü çeliklerde olduğu gibi, serbest sementit meydana getireceği için istenmez. Şayet sementit oluşumuna engel olunamazsa, oluşan sementit, tane sınırlarında ağ yapısı meydana getireceğinden, yüzey tabakasının sünekliliğini düşürür ve sertleştirmeden sonra sementasyon tabakasında pul pul dökülmeler meydana gelir. Çok küçük sementasyon derinliklerinde, normal sementasyon çelikleri kullanılsa bile , % 0,8 karbon değeri aşılmamasına rağmen güçlü semente edici ortam kullanılırsa, çekirdek ve yüzey arasında keskin geçiş noktaları oluşur. Büyük sementasyon derinlikleri istendiğinde ise, dış yüzeydeki karbon difüzyonu hızı frenlenmelidir. Aşırı karbon, bileşimin büyük oranda değişmesine sebep olur. Çok fazla karbonun yüzey kısmında zenginleşmesi, dış yüzeyde sementit oluşumuna sebep olur. Bir mm. 'ye kadar oluşması istenen sementasyon derinliklerinde, karbon miktarının % 0,80 'in üstüne çıkmasına engel olunabilir. Daha fazla sementasyon derinliklerinde ise karbon verici ortamın gücünün daha az olması gerekmektedir. Fakat, 3 mm den daha fazla sementasyon derinliklerinde bu ortam kullanılsa bile, yüzeyde sementit tabakasının oluşmasına engel olunamaz. Buna engel olmak için çok yumuşak karbon verici ortamlar kullanılabilir.

Ancak bu sefer de sementasyon süresi çok fazla artar ve yapılan sementasyon işlemi ekonomik olmaz. Sementasyon süresi; daha çok sementasyon sıcaklığına ve az da olsa karbon verici ortama bağlıdır. Alışılmış odun kömürü, (baryum karbonat) sementasyon maddesinde 930 °C sementasyon sıcaklığında, 1 mm sementasyon derinliği için 4 saat süre hesaplanır. Birinci saatin sonunda, yaklaşık 0,5 mm sementasyon derinliğine ulaşır ve zamanın artmasıyla, sementasyon derinliğinin ilerleme hızı azalır. Çok büyük derinliklerde süre çok fazla artar. Daha çok tercih edilen 1,5 mm sementasyon derinliği için, 1 mm ‘ye nazaran 2 kat süre beklemek gerekir. Nüfuz derinliğinin hesaplanmasında ikinci Fick kanununun geliştirilmesiyle elde edilen bağıntı, (2.8)’ deki diferansiyel eşitlikle açıklanabilir (Topbaş 1993).

$$C_{(x,t)} = C_o + (C_s - C_o) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \right] \quad (2.8)$$

Burada;

C_s Yüzeydeki denge konsantrasyonu

C_o Malzemenin (çeliğin) ortalama karbon miktarı,

$\operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right)$ Gauss hata integralidir.

Bu diferansiyel eşitlikte yer değişiklikleri yapılarak elde edilen (2.9) formülünün kullanılması, yani zamanın karesi oranında hesaplanması genel kuraldır (Topbaş 1993).

$$\frac{C_{(x,t)} - C_o}{C_s - C_o} = 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (2.9)$$

Çok kullanılan 930 °C sementasyon sıcaklığı için 1 mm derinliğe 4 saat gerekli olduğuna göre, diğer derinliklerin tespitinde çizelge 2.3 ‘ten yararlanılabilir (Topbaş 1993).

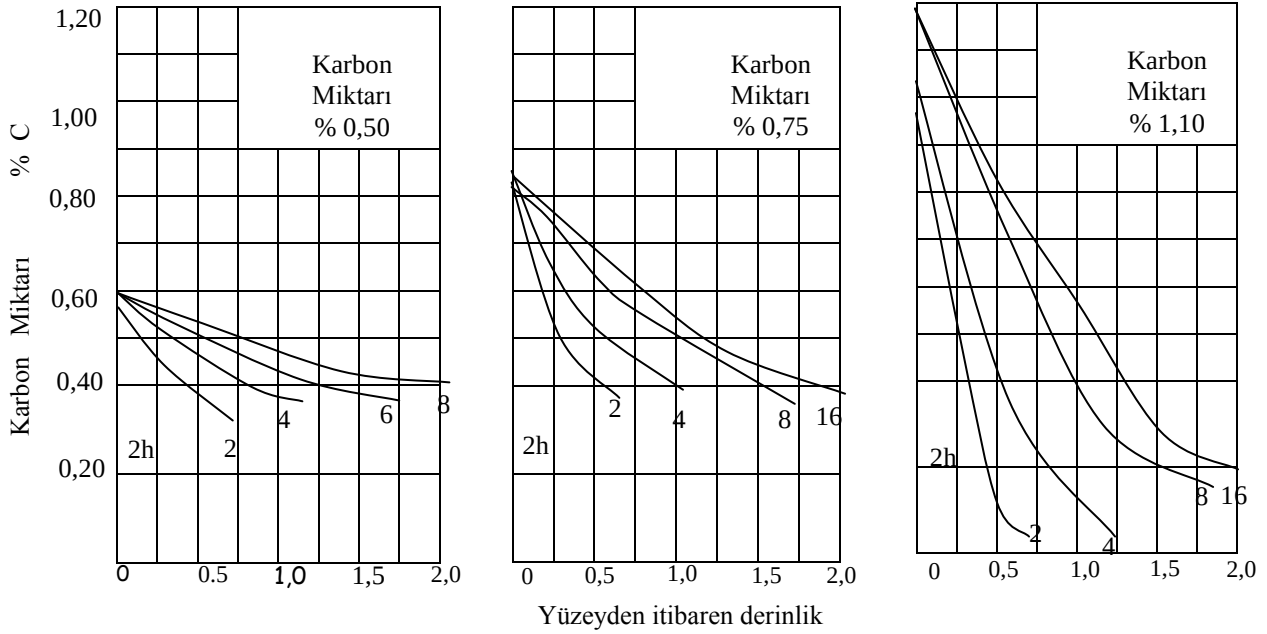
Çizelge 2.3 Sementasyon derinliklerinin tespiti için süre hesabı.

Sementasyon süresi (saat)	4	9	16
$\sqrt{\text{Sementasyon süresi}}$	2	3	4
Nüfuz derinliği mm	1	1,5	2

Çizelge 2.4 Nüfuz derinliğine bağlı olarak, gerekli sürelerin hesaplanması (930 °C , 4 saat ve 1 mm esasına göre).

Nüfuz derinliği (mm)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
(Nüfuz derinliği) ² .4	0,5 ² .4	1 ² .4	1,5 ² .4	2,0 ² .4	2,5 ² .4
Sementasyon süresi (saat)	1	4	9	16	25

Karbon veren ortamın karbon verme gücünün yüksek olması, yüzeyde karbon miktarının kısa zamanda artması yanında, karbonun cidardan itibaren içeriye nüfuzuna da olumlu etki eder. Şekil 2.2 'de görüldüğü gibi, eşit zaman sonunda, yüzeyden belirli bir derinlikte daha yüksek karbon miktarlarına, karbon verme gücü daha yüksek ortamlarla ulaşılabilir. Ancak güçlü ortam kullanıldığında, tane sınırında oluşan sementiti uzaklaştırmak için işlemin sonuna doğru karbon verme gücü düşürülmelidir (Topbaş 1993).



Şekil 2.2 Alaşımsız karbonlu çeliğin 920 °C ‘de sementasyon işleminde, karbon veren ortamın karbon verme gücü ve zamanın, karbonun nüfuz edebilirliğine etkisi.

Sementasyon sıcaklığının yükselmesi de sementasyon derinliğinin artmasına yardımcı olmaktadır. Şekil 2.3 ‘te, sementasyon sıcaklığına bağlı olarak, zaman ve sementasyon derinliği bağıntısı verilmiştir. Basit difüzyon işleminde ampirik olarak (2.10) formülü ile difüzyon derinliği hesaplanabilir (Topbaş 1993).

$$x = k\sqrt{t} \quad (2.10)$$

Burada;

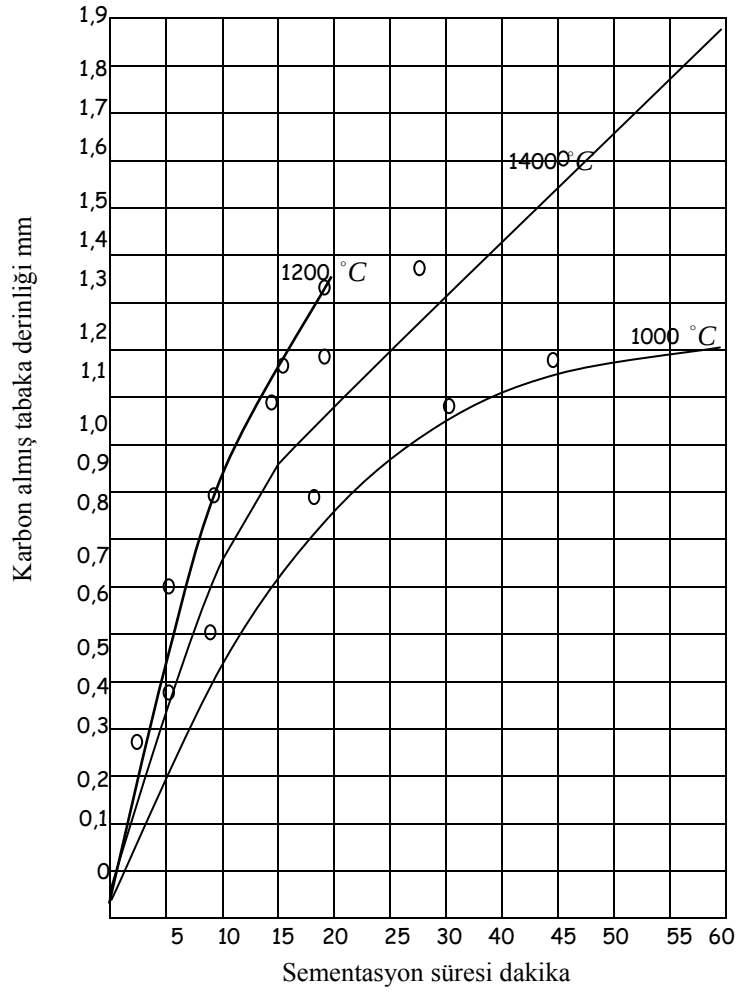
x (mm) olarak sementasyon derinliği,

(SD) ve t (saat) olarak sementasyon süresini verir.

k değeri, sementasyon sıcaklığına bağlı sabittir ve aşağıdaki değerler alınabilir:

Çizelge 2.5 k sabiti, değerleri.

Sementasyon sıcaklığı °C	875	900	925
Katsayı k	0,34	0,41	0,52



Şekil 2.3 Oldukça yüksek sıcaklıklarda sementasyon süresine bağlı olarak sementasyon derinliği.

Örneğin, 900 °C ‘de 12 saat sementasyon yapılırsa, bu durumda sementasyon derinliği formül (11) ‘den

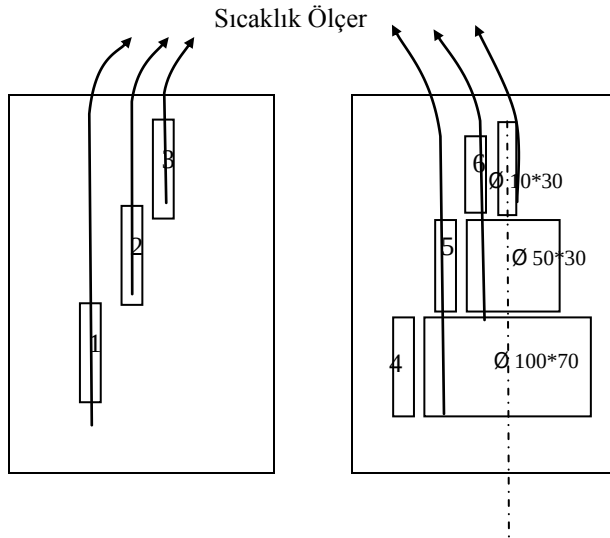
$$SD = 0,41\sqrt{12} = 1,42 \text{ mm} \quad (2.11)$$

bulunur.

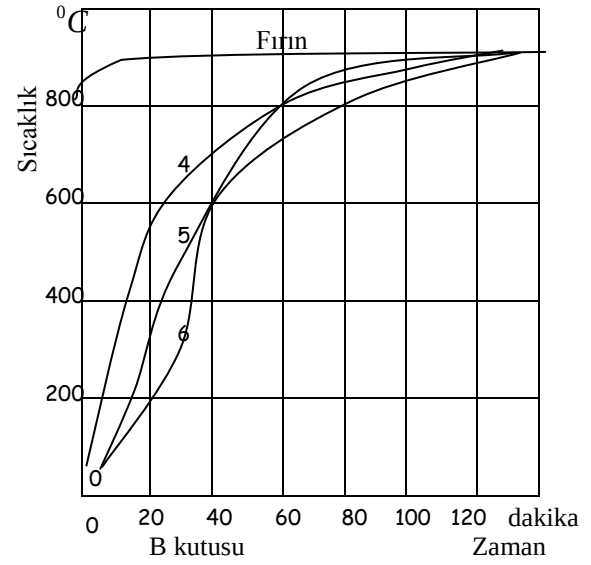
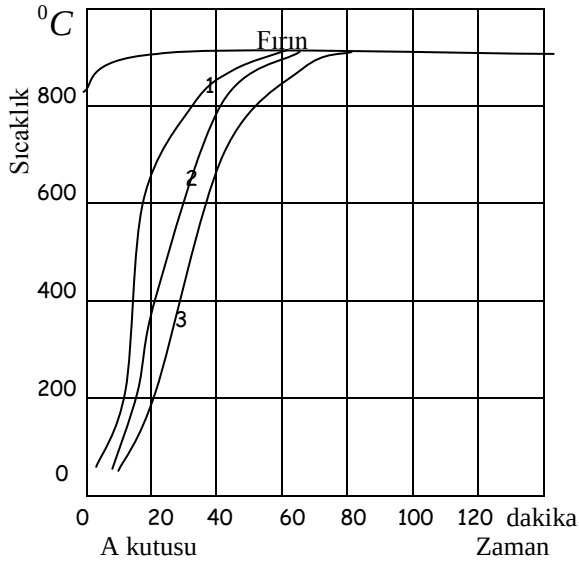
Uzun sementasyon süresinin, yöntemi pahalılaştırmasının yanında tane kabalaşmasına yol açacağı ve bu nedenle de sünekliliği düşüreceği unutulmamalıdır. Tane büyümesini azaltmak için, sementasyon ortamının sıcaklığı 830-850 °C ‘ye düşürülebilir. Düşük sementasyon sıcaklığı, sementasyon süresini çok arttıracığından, aynı şekilde tane

kabalaşması görülebilir. Bu nedenle, daha yüksek sıcaklık ve kısa zaman dilimi tercih edilir. Son durum daha ekonomik olduğundan, günümüzde genellikle 900-950 °C sıcaklıkları seçilmektedir. Sementasyon derinliklerinin çok büyük olmasının istendiği hallerde, 1000 °C kadar çıkılabilir. Oldukça ekonomik çalışılmak istendiğinde, eşit sementasyon derinliğine 1000 °C, 930 °C 'ye nazaran yarı zamanda ulaşılabilir. Ancak yüksek sementasyon sıcaklıkları, büyük ölçüde, ölçü ve form değiştirmesine de neden olurlar. Ayrıca yüksek sıcaklıklar, uzun bekleme süresinde de olduğu gibi, sertleştirme sonrası yapıda kalan artık ostenit miktarını da artırır. Bu durum, kısmen derin soğutmakla yada menevişleme ile azaltılabilir. İnce taneli çeliklerde de 1000 °C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda tane kabalaşması olacağından, tane kabalaşmasını engelleyen Alüminyumnitürlerle bu durum azaltılmaya çalışılmalıdır. Cidar ve çekirdek arasındaki keskin konsantrasyon değişimine, sıcaklıkla etki edilebilir. Sıcaklık ne kadar yüksekse, demir içerisinde karbonun difüzyon hızı o kadar yüksek olacağından, cidar ve çekirdek arasındaki geçiş daha uygun hale gelebilir. Bu nedenle, yüksek sementasyon sıcaklıkları kullanılması, sertleştirmede cidar ve çekirdek arasında oluşan gerilmelerin de azalmasını sağlar. Katı sementasyon maddeleri (odun kömürü) ısıyı kötü ilettiğinden ve semente edilen parçanın bu maddelerle çevrelenmesi gerektiğinden dolayı, dengesiz ısınmalardan kaçınmak için gerekli olan sıcaklığa ısıtma için geçen süre uzun tutulmamalıdır, yani ısıtma hızı yavaş olmalıdır. Katı ortamda sementasyon yapılırken, sementasyon kutularına malzemelerle birlikte konan sementasyon maddesinin kuru olması gerekmektedir. Islak sementasyon maddeleri, malzeme yüzeyinde bozulmalara sebep olabilir. Kurutma için, havayla temas edebilen sac kutularda tavllanır. Sementasyon maddelerinde, kükürt miktarı minimum düzeyde olmalıdır. Ayrıca, odun kömürünün çok küçük ince toz parçalar halinde olmalıdır. Sementasyon için kullanılacak madde ne kadar küçük parçacıklar halinde ise, tepkime yüzeyi o kadar artacağından, işlem hızlanır. Parçaların sandıkların içerisine yerleştirilmesinde, sementasyon maddeleri parçaları tam sarmalı ve yeterli miktarda olmalıdır. Katı ortamda sementasyon işleminde kullanılacak kutular, yüksek miktarlarda krom ve nikel içeren ostenitik çeliklerden yapılırlar. Çok fazla kullanılmayan sementasyon kutuları, düşük karbonlu yumuşak çelik kutulardan yapılabilir. Sementasyon kutularının büyüklüğü, semente edilecek parçaların büyüklüğüne göre seçilmelidir. Büyük parçaları koymak için gerekli olandan küçük kutular kullanılırsa, istenen miktarlarda toz katı sementasyon maddesi

yerleştirilemeyeceğinden dolayı, istenilen sementasyon derinliği sağlanamayabilir. Küçük malzemeler için de büyük kutular kullanıldığında, fazla miktardaki katı sementasyon maddesi ilk ısınma süresini çok arttırır. Kutu kesitinde birden fazla parça yerleştirildiğinde, büyük parçalarda semente edilecek tüm yüzeyler, aynı anda sementasyon sıcaklığına ulaşabilmelidir. Bu durum sağlanamadığında, parçalar arasında ya da yüzeyler arasında farklı sertleşme derinliği ve sertlik değerleri elde edilir. Şekil 2.4 'te, büyük kutular için, kutunun değişik bölgelerine parça yerleştirme söz konusu olduğunda, sıcaklık ve karbon potansiyelini saptayabilecek bir düzenek görülmektedir. Böyle bir test düzeneğiyle, yerleştirilen sıcaklık ölçerler (termokupl) yardımıyla, ısıtma başlangıcından itibaren tüm işlem boyunca sıcaklık seyri saptanabilir. Şekil 2.5 'te ise, Şekil 2.4 'e göre yerleştirme yapıldığında, ısıtmada noktaların sıcaklık seyri görülmektedir. Ayrıca, kutunun belirli yerlerine, sementasyon esnasında kolayca çıkartılabilecek şekilde çok düşük karbonlu çelik teller yerleştirilebilir. Belirli aralıklarla bu teller dışarı alınarak ani soğutulur ve kırılır. Analiz yapmak suretiyle ya da kırarak kesitinin değerlendirilmesiyle, o telin bulunduğu bölgenin karbon potansiyeli saptanabilir (Topbaş 1993).

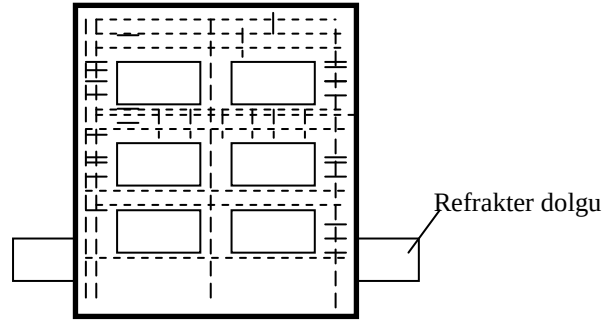


Şekil 2.4 Sıcaklık ve karbon potansiyelini saptama düzeneği.



Şekil 2.5 Şekil 2.4 ‘e göre yerleştirmede, belirli noktalarda ısınmada sıcaklık seyri.

Parçalar sementasyon kutusuna yerleştirilirken, sementasyon kutusuna temas etmemesine, kutu ile ve diğer parçalarla aralarında belirli bir mesafe kalacak şekilde toz ile doldurulmasına dikkat edilmelidir. Büyük sementasyon derinliklerinde, daha fazla katı sementasyon maddesi gereklidir. Yerleştirme yapılırken, parçalar yağ, kir ve talaş kalıntılarından iyice temizlendikten ve kurutulduktan sonra, kutunun dip tarafına yaklaşık 25 mm kalınlığında katı sementasyon maddesi üzerine yatırılır. Ara boşluklar ve parçaların üzeri tekrar sementasyon tozlarıyla doldurulduktan sonra, ikinci sıra parça yerleştirilmesi yapılır. Kutunun içerisinde en üst sıra yerleştirildiğinde, en üst sıra ile kapak arasında en az 50 mm boşluk kalmalıdır. Kutunun kapağı, hava geçirmemesi için sıkıca kapatılır. Yüksek sıcaklıkta kolayca bozulacağı ve tekrar çözülebileceği için, vidalı ya da cıvata bağlantılı flanş kapak uygun değildir. Bu nedenle daha çok, kutu gövdesinden biraz geniş ağızlı Şekil 2.6 daki kapaklar kullanılabilir. Kapak kapatıldıktan sonra, kapak ağzı ile kutu gövdesi arası, kil ya da şamot türü refrakter çamuru ile doldurulur (Topbaş 1993).



Şekil 2.6 Katı ortamda sementasyon için kullanılabilir kutu ve parçaların yerleştirme düzeninin kesit görüntüsü ve kapak dizaynı.

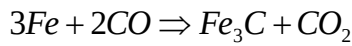
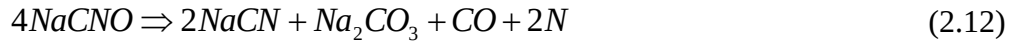
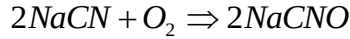
Kutular fırına aşağıya gelecek şekilde yerleştirilir. Isıtma amacıyla daha çok kamara fırınlardan yararlanılır. Kutuların fırına yerleştirilmesinde de, tüm kutularda ısınmanın homojen olmasına özen gösterilmelidir. Kutuların silindirik yapılması, yerleştirmede aralarında boşluk kalacağı için, homojen ısınma açısından yarar sağlar. Katı ortamda sementasyonda kullanılmış sementasyon maddeleri, tekrar kullanılabilir. Bunlar, ilk kullanımlarından sonra % 20'ye kadar hacim olarak azalır. Yeniden kullanımda, yeni sementasyon maddesi ilave edilir. Katı ortamda sementasyon işleminde parça yüzeylerinin tamamı ya da bir kısmı sementa edilebilir. Parçaların sementasyon yapılmayacak yüzeyleri, örtü pastası ya da şamot çamurla sıvanmalıdır. Çok uzun olmayan sementasyon sürelerinde, sementa edilmek istenmeyen kısımların daha güvenli korunması bakırla galvaniz kaplama yapmak suretiyle sağlanabilir (Topbaş 1993).

Katı ortamda sementasyonun en önemli faydası daha önceden hazırlanması gereken gaz atmosfere ihtiyaç duymamasıdır. Bu metod, bölgesel olarak karbürlenecek büyük malzemeler için daha ekonomiktir. Büyük malzemelerin karbürleyici tozla kaplanması ve ısıtılması için gerekli olan süre, esas karbürizasyon için ihtiyaç duyulan süreye oranla daha kısadır. Büyük karbürizasyon derinlikleri daha ucuz ve daha kolay elde edilir (İnt.Kayn.3).

2.1.2 Sıvı Sementasyon Maddeleriyle Sementasyon İşlemi

Karbon difüzyonu için yüksek sıcaklıklar gerekli olduğundan, sıvı sementasyon ortamı olarak ergiyik tuzlar kullanılır. Daha çok ($NaCN$), ve nadiren de (KCN) tuz banyoları

tercih edilir. Tuz banyoları bu maddelerden başka, ayrıca klorürler ve toprakalkali metaller ihtiva ederler. Aktifleştirilmiş banyolarda, aktifleştirici madde olarak stronsiyum klorür, baryum klorür yada ikisi birlikte kullanılır. Aktifleştirme etkisi siyanür ($NaCN$) ile toprakalkaliklorürlerin ($BaCl_2, SrCl_2$) yüzde miktarlarına bağlıdır. Bu yöntemde sementasyon işlemi, 2.12 'deki reaksiyonlara göre olur (Topbaş 1993).



İlk tepkime siyanür tuzu ile havanın ara yüzeyinde oluşur. Diğer iki tepkimeyse, tuz banyosu ile çelik arasında oluşur (Topbaş 1993). İnce Sementasyon derinliği veren tuzlar ile 0,9 mm derinliğe kadar sertlik elde edilirken, sementasyon derinliğini arttıran tuzlar ile 3-6 mm derinliklere kadar ilerlemek mümkündür (Avcı 1985)

Çizelge 2.6 Sementasyon işleminde kullanılan banyolar için banyo bileşimleri, ağırlık oranları ve kullanım sıcaklıkları.

SEMENTASYON İÇİN KULLANILAN TUZLARIN AĞIRLIK ORANLARI	Kullanım sıcaklığı
A) 0,5...1 mm sementasyon derinliği için :	
Potasyumklorür – Sodyumklorür – Sodyumsiyanür.....(1:1:8)	850 – 1000
Potasyumklorür – Sodyumklorür – Sodyumsiyanür Baryumklorür.....(3:2:16:6)	800 – 980
Sodyumklorür–Sodyumsiyanür.....(1:3)	825 – 950
B) 2 mm' ye kadar sementasyon derinliği için :	
Potasyumklorür – Sodyumklorür – Sodyumsiyanür – Potasyumsiyanür Kalsiyumklorür.....(17:3:3:1:9)	850 – 1000
Sodyumklorür –Baryumklorür –Sodyumsiyanür – Baryumkarbonat..... (1:2:6:4)	800 – 950

Aktifleştirilmemiş banyolara, havanın oksijeni reaksiyon için gerekli olduğundan, banyonun üzeri örtülmez. Aktifleştirilmemiş banyolar ise, grafit ya da kömürle örtülür.

Eğer çelikte pek az 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 sodyum siyanür ‘ün parçalanmasının nedeni, yüksek sıcaklık ve demirin mevcudiyetidir. Siyanür banyolarında, sıcaklık ve zamanın, sementasyon derinliğine etkisi çizelge 2.7’ de gösterilmektedir (Topbaş 1993).

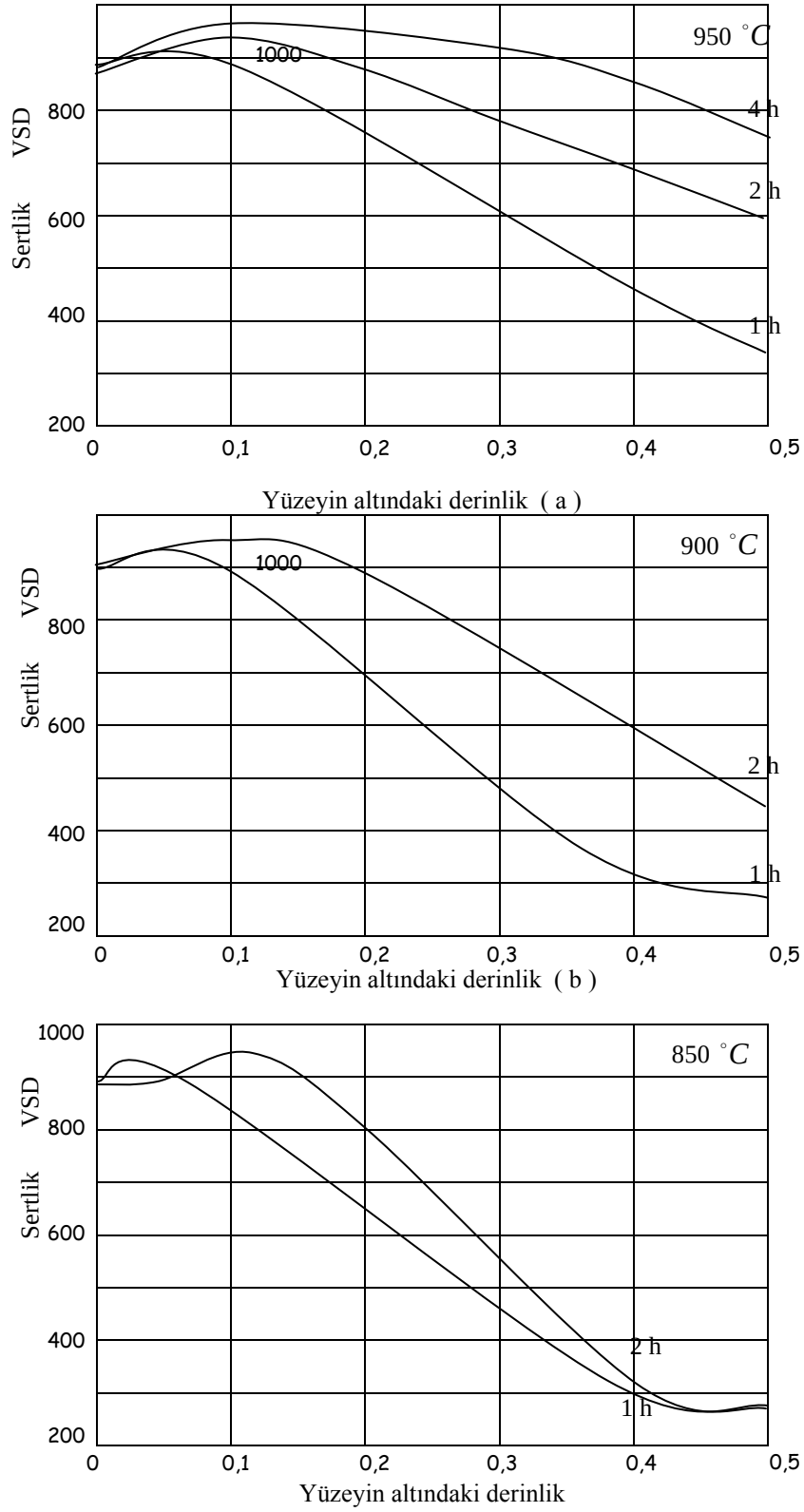
Çizelge 2.7 Siyanür banyolarında, sıcaklık ve zamanın, sementasyon derinliğine etkisi.

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

Siyanür banyolarında difüzyon seyri oldukça karışıktır. Siyanürden direkt karbon alınabileceği gibi, baryum klorür ve stronsiyum klorür ‘ün sodyum siyanür ‘le meydana getirdiği baryum siyanür ve stronsiyum siyanür ‘den de karbon alınabilir. Serbestleşen atomal karbon, demire nüfuz eder. Düşük (850 °C ‘ye kadar) sementasyon sıcaklıkları kullanılırsa, sementasyon hızı katı sementasyondan pek farklı değildir. Fakat daha

yüksek sementasyon sıcaklıklarında tuz banyosundaki sementasyon hızı, yukarıdaki çizelgede de görüldüğü gibi, katı ortama nazaran çok yüksektir. Çizelgede verilen değerler, C 15 çeliğinde (% 0,15 C 'lu alaşımsız kaliteli çelik) alınmış ve banyo konsantrasyonu sürekli aynı tutularak deneyler yürütülmüştür. Sementasyon süresi olarak, 200 °C 'ye ön ısıtılmış parçaların tuz banyosuna daldırılması ve alınması arasında geçen süre verilmiştir. Diğer banyo konsantrasyonlarının seçilmesiyle, çizelgede verilen sementasyon derinliği değerleri değişir. Çizelge yalnızca, yükselen sıcaklıkla sementasyon derinliğinin arttığını ve artan sementasyon sürelerinde, sementasyon derinliğinin zamanla doğru orantılı artmadığını, artmanın azaldığını göstermektedir. Çizelge 2.7 'de de, tuz banyosunda semente edilmiş ve ardından ani soğutma ile sertleştirilmiş parçaların yüzeyinden itibaren çekirdeğe doğru sertlik dağılımına, sementasyon sıcaklığı ve sementasyon süresinin etkileri verilmiştir. Şekillerde verilen bilgiler, yalnızca karşılaştırma içindir, gerçekte banyo konsantrasyonuna göre farklar olabilir (Topbaş 1993).

Tuz banyolarındaki sementasyonda, katı ortama nazaran bazı üstünlükler vardır. Parçanın işlem sıcaklığına ısıtılması, katı ortamda gerekli olan uzun ön ısıtma süresi çok azaldığından, işlemin toplam süresi oldukça kısadır. İhtiyaç duyulan sementasyon zamanını ayarlamak daha kolaydır. Tuz, malzeme yüzeylerini tamamen sardığından ve kullanılmış tuzlar, diğer tuzlarla banyo içerisinde hızla karışabildiğinden dolayı, sementasyon çok bağdaşık gerçekleşir. Daha az yumuşak nokta (leke) oluşur. Sementasyon yapılan parçanın yüzeyi temiz kaldığından çok az temizleme işi olur. Parçaların tuz banyolarında asılı durmaları ve bağdaşık ısıtma sebebiyle, katı ortamdaki yerleştirmelere oranla daha az tahribat gerçekleşir. Toplam ısınma zamanının kısa olması ve sementasyonun daha hızlı yapılabilmesi, tane büyümesi riskini azaltır. Bundan başka, banyoda sementasyonun en önemli üstünlüğü, banyoda sementasyondan sonra parçaların ani soğutmayla direkt sertleştirilebilmesidir (Topbaş 1993).



Şekil 2.7 Çeşitli sıcaklıklardaki tuz banyolarında semente edilen ve yağda ani soğutulan 14 mm çapındaki yumuşak çelik parçalarda sertleşme derinlikleri

Tuz banyolarında sementasyonun en önemli dezavantajı, büyük sementasyon derinliği istenen parçaların maliyetlerinin çok fazla olmasıdır. Ayrıca siyanür tuzlarının çok tehlikeli olması da önemli bir sorun teşkil eder. Sementasyon yapılan parçaların sementasyon tuzlarından temizlenmesi de ekstra bir maliyettir. Alaşımlı çeliklerde, işlem esnasında azot geçişgenliği de olur ve artık ostenit miktarının artmasıyla, sertleştirmede maksimum sertliğe ulaşamaz. Semente edilen parçaların ağırlığı da, katı ya da sıvı sementasyon kullanılmasında tercih nedeni olmaktadır. Küçük parçalarda ve az sementasyon derinliklerinde, tuz banyoları katı ortama nazaran daha ekonomiktir. Küçük parçalarda ve az sementasyon derinliklerinde, kutularda bulunan sementasyon maddelerinin çok olması ve bunların ısıtılma ve soğutulmaları, büyük enerji kaybına sebep olur. Büyük parçalarda ise, bu maddeler için ısıtma maliyetleri fazla yüksek değildir. Büyük sementasyon derinliklerinde ve uzun sementasyon sürelerinde de katı ortam ekonomik olabilmektedir. Az sementasyon derinlikli küçük parçalarda, parçaların sepete konarak banyoya, daha sonrada sepetle sertleştirmeye uygun olması bir üstünlük sayılır. Bu tarz parçalarda odun kömürü ile sementasyon işleminde, daha fazla enerji gerektirmesi, parçaların kutuya düzgün ve belirli aralıklarla yerleştirilmesi, sementasyondan sonra soğutma, kutudan tek tek alınması ve sertleştirme için tekrar ısıtılması gerekir. Ayrıca, banyo sementasyonda parçaların bir bölümünün ısıtılarak semente edilmesi mümkündür. Buna karşın, tuz banyolarında semente edilmek istenmeyen parça yüzeylerinin şamot çamuru ya da pastayla örtülerek korunması olanaksızdır. Galvaniz bakır kaplama da, ancak kısa süreli ısıtmalarda koruma sağlayabilir. Parçalar kendi ağırlıklarıyla banyo içerisinde sallandıklarından, tuz banyoları, gerek katı ortamda ve gerekse gaz ortamda sementasyona nazaran daha az deformasyon yaparlar. Çelik parçalar tuz banyosunda sementasyondan önce yağdan, yapışmış talaşlardan ve taşlama tozlarından temizlenmiş olmalıdır. Tuz banyosuna daldırmada, parçalar ıslak olmamalıdır. Isıtma esnasında oluşan gerilmeleri azaltmak için, parçaların 300-600 °C arasında ön ısıtılması yararlıdır. Normal banyo sıcaklığı genellikle 930 °C seçilir, bazı hallerde ise 850 °C 'yi aşmaz. Sementasyon esnasında parçaların birbirleriyle temas etmesi sorun değildir. Parçalar tuz banyosundan alındığında, direkt sertleştirme yapılmayacaksa, 200 °C 'deki banyoda soğutulması yararlı olur. Parçaların açık havada soğutulmasında, siyanür tuzlarının havada okside olması ve diğer karbonsuz tuzların demirle reaksiyonu sonucu, yüzeyde aşınmalar

(korozyon) olur. Bu durum, özellikle banyo artığının fazla miktarda olması ya da parçalar arasında banyo tuzu kalmasında görülür. Soğutmanın yağda (yaklaşık 100 °C) yapılması, yapışan tuzların daha sonra temizlenmesini güçleştirdiği için uygun değildir (Topbaş 1993).

Siyanür tuzları, çalışma yerinde kilitli depolarda depolanır, kurutulur ve havalandırılır. Tuzların giriş ve çıkışı, çok sıkı kontrol edilmelidir. Atık sular da zehirli olduğundan, sertleştirme atölyesinin tabanları su ile kesinlikle temizlenmemelidir. Çalışma esnasında maske ve eldiven kullanılması zorunludur. 16 yaşından küçük çocuk ve kadınların, kesinlikle çalıştırılmaması gerekir (Topbaş 1993). Banyonun yüzeyine grafit tozu örtülerek radyasyon yoluyla ısı taşınımı ve banyodan gaz çıkışı önlenir (Oygur 1988)

Banyonun sementasyon koşullarının kontrolü, gaz sementasyonda olduğu gibi folyo yöntemi ile yapılır. Bu deney yönteminde, % 0,1 karbonlu alaşımsız çelikten, 0,05 mm kalınlığındaki folyolar banyonun içine batırılır ve semente edilir. Belirli bir sürede, tüm kesitinde ulaşılan karbon miktarı, banyonun o sıcaklıkta karbon verebilirliğinin belirtir. Bu yöntem, aktifleştirilmiş banyolarda daha çok anlam taşır. Bu banyolarda, ince folyoların karbon alması ve parçalardaki sementasyon değerlerinin karşılaştırılabilir oranları, banyo hakkında bilgi verir. Deneyde, folyolar belirli bir süre, örneğin 930 °C 'de 15 dakika boyunca banyo içinde kaldığında, bütün kesiti aynı oranda karbon miktarlarına ulaşır. Folyolar, itinalı bir şekilde tuzlarından temizlendikten sonra, karbon miktarları analizle tespit edilir. Karbonlaşma deneyinde folyolar yerine, semente edilen parçaların talaşları da kullanılabilir. (Ancak, keskin köşeli olmamalarına dikkat edilmelidir.) Bu amaçla, katı ortamda olduğu gibi teller de kullanılabilir. Ayrıca, banyonun direkt analizinin yapılması da mümkündür, hatta bu yöntem daha kesin sonuç almasını sağlar (Topbaş 1993).

2.1.3 Gaz Ortamda Sementasyon İşlemi

Katı karbon verici elementlerle yapılan sementasyon işleminde, sementasyon elementlerinden oluşan gazlar, gaz sementasyon işleminde de kullanılırlar. Katı

sementasyon elementleriyle tepkime olmaksızın, gaz haldeki karbon bağlantıları doğrudan sementasyon işleminde kullanılırlar. Gaz olarak, etan, doğalgaz, propan, metan ve havagazı kullanılabilir. Gazların sementasyon amacıyla kullanılabilmesi için, gaz jeneratörlerinde bazı ön hazırlıkların yapılması zorunludur. Bu gazlarda mevcut olan hidrokarbon, örneğin metan (CH_4) yüksek sıcaklıklarda parçalanır ve demire karbon verir. İşleme hidrokarbon girdiğinden dolayı, aynı anda birkaç tepkime birden meydana gelir :



Tepkimeye ilaveten, örneğin metanın ayrışma tepkimesi :



ve su-gaz tepkimesi :



oluşur.

Bu tepkimelerde atomar hale geçen karbon, çeliğin yüzeyinden katı ortamda yapılan sementasyon işlemine benzer bir şekilde nüfuz eder. Bu esnada, metanın çok kuvvetli parçalanmasında moleküler karbon meydana gelir ve kurum (is) halinde çelik yüzeyine yapışır, karbon verici gazı çelik yüzeyinden uzaklaştırır. Bu nedenle, gazın parçalanmasıyla meydana gelen karbon atomlarının, demirin absorbe edebileceğinden fazla olmaması gerekmektedir. Bundan başka, havagazı, kullanılan öbür gazlara nazaran önemli miktarda (CO_2) içerir. (CO_2) yüksek sıcaklıklarda karbon azaltıcı olarak rol oynar. Metan' ın parçalanmasını kolaylaştırmak ve karbonu, CO haline dönüştürmek için, gazla birlikte hava da verilir. Bu durum katalizör olarak nikel etkisiyle $1000\text{ }^{\circ}C$ 'deki jeneratörlerde yapılır. Gaz jeneratörden geçtiğinde, CH_4 yanında az miktarda CO ve hidrojen (H_2) içerir. Havagazındaki (CO_2) miktarı düşürülmelidir. (CO_2), CO 'i

redükler. Sementasyon etkisini sağlamak ve arttırmak için, bu gazlara taşıyıcı olarak propan ve az miktarda hidrokarbon ilave edilir. Sementasyon işlemi yapan küçük tesislerde, direkt hava ve propanla çalışılabilir. Bu metot da kurum oluşumunu önlemek amacıyla, hava-gaz karışımına (NH_3) ilave edilir. Katı ve sıvı sementasyon işlemleriyle kıyaslarsak, gaz sementasyonunun şu avantajları vardır :

Çeliğin karbon alması daha hızlıdır ve karbonun çelikteki dağılımı, geniş alanlarda daha iyi ayarlanabilir. Derişim değişimi sayesinde gazların etkisi, çok kuvvetli ile çok zayıf arasında ayarlanabilir. Hatta, nötr ya da karbon azaltıcı olarak düzenleme olanağı vardır. Bu ayarlama, taşıyıcı gazlardan çok, propan miktarının düzenlenmesi ile yapılır. Bu sayede, yüzey ve çekirdek arasındaki geçiş sert ya da daha yumuşak yapılabilir. Ayrıca, karbon miktarı istenilen oranda (% 0,6-0,8 C) tutulabilir. Diğer bir üstünlüğü de, sıcaklık kontrolü ve ayarlanmasının çok kolay yapılabilmesidir. Sıcaklık homojen olarak dağılır. Katı ortamda sementasyona oranla enerji gereksinmesi daha azdır, uzun sementasyon sürelerinde de bu yöntem ekonomik olabilmektedir. Isıtma fırını daha küçüktür. Gaz sementasyon yöntemi, yüzeyde imalat kalitesini bozmayan temiz bir yöntemdir. Tuz banyoları ile karşılaştırıldığında, sementasyon maddesi gereksinmesi azdır. Diğer yöntemlere göre üstün olmayan yönleri, gaz olmasıdır. Ayrıca, parçaların sementasyon öncesi çok temiz olmaları gerekir. Bu amaçla, trikloretilen ile yıkanılır. Oksitlerden kesinlikle sakınılmadığında fırın atmosferi değişir. Sementasyon süresi, diğer yöntemlere göre oldukça kısadır. Gaz sementasyonda taşıyıcı gazların üretimi, büyük işletmelerde genellikle santralde, jeneratörlerde yapılır. Karbondioksitin kontrol edilmesi önem arz etmektedir. Mevcut konsantrasyon sahasında, su buharı ve karbondioksit yaklaşık orantılı değiştiğinden, genellikle su buharının belirlenmesi yapılır. Buradan, karbondioksit bulunur. Fırın olarak, atmosfer kontrolü kapalı hücre fırın veya sürekli fırın kullanılabilir. Sürekli fırınlarda sementasyon gazı gereksinmesi daha büyüktür. Bundan başka, gaz sızdırmaz kapalı fırınlarda gaz, birçok fırına iletilebileceğinden, taşıyıcı gaz gereksinmesi azaltılabilir. Parçaların semente, edilmeyecek bölümleri, katı ortamda sementasyonda olduğu gibi, pastalarla kapatılabilir. Parçaların sertleştirilmesi, fırında direkt yapılabilir. Havada ve yağda sertleştirme olanaklıdır ve parçaların yüzeyleri çok temiz elde edilir. Yağı temizlemek için özel uygulamalara gerek yoktur (Topbaş 1993). Ayrıca Fırının yükleme yoğunluğu,

ısınma oranı ve ısı sirkülasyonu sonuçlar üzerinde oldukça etkilidir (Asil Çelik Yayınları 1982)

2.1.3.1 Katı Sementasyon Maddeleriyle Gaz Sementasyon (Granül Yöntemi)

Bu yöntemde sementasyon gazı, gaz sızdırmaz sementasyon fırınlarının içerisinde üretilir. Burada da sementasyon maddesi katı ortamda sementasyonda olduğu gibi, odun kömürü ve aktifleştirici maddelerin granül halinde olanıdır. Granüller, fırının bir bölümünde bulunur. Fırında bulunan havanın oksijeni granüllerle reaksiyona girerek sementasyon için gerekli olan karbonmonoksiti meydana getirir. Gazların fırın içerisindeki hareketi, kendiliğinden olur. Maksimum sementasyon potansiyeline birkaç saat içerisinde ulaşıldığından, granül sementasyonu 0,5 mm 'nin üzerinde sementasyon derinlikleri için daha uygundur. Aşırı karbonlaşmada, daha büyük sementasyon derinliklerine (1 mm' ye kadar) ulaşmak olanaklıdır. Granül yöntemi, çok yüksek tesis maliyeti gerektirmez, sementasyon maddesi gereksinmesi de azdır. Özellikle küçük işletmelerde, pratik ve ekonomik olarak kullanılabilir (Topbaş 1993).

2.1.3.2 Sıvı Sementasyon Maddeleriyle Gaz Sementasyon (Damla-Gaz Yöntemi)

Damla-gaz yönteminde, sıvı sementasyon maddesi (hidrokarbon) gaz sızdırmaz fırına damlatılarak ya da püskürtülerek verilir. Kapalı hücre fırın yerine sürekli fırında da uygulanabilir. Doyama sınırının altında karbon potansiyelinin ayarı biraz güç olduğundan, 0,5 ila 1 mm arasındaki sementasyon derinliklerinde aşırı karbon verme olabilir. Damla-gaz yönteminde, granül yöntemine nazaran daha çabuk yüksek karbon potansiyeline ulaşıldığı için, bu yöntem daha küçük sementasyon derinlikleri için uygundur. Bu nedenle, daha çok 0,5 mm' ye kadar sementasyon derinliklerinde, damla-gaz yöntemi kullanılır. Damla-gaz yönteminde, derin sementasyon derinliklerine engel olmak için, sementasyon süresi ayarlanabilir ve difüzyon tavlama uygulanabilir. Damlatma olayı nedeniyle fırın sızdırmazlığının sağlanması zor olduğundan, bu yöntemin uygulanması kolay değildir. Sementasyon maddesi, küçük miktarlarda ve aralıklı olarak verilmelidir. Bu nedenle, Belirli bir atmosferin sürekli sağlanması güçtür. Sementasyon maddesi ile birlikte taşıyıcı gaz kullanılması, bu güçlüğü kısmen azaltır.

(Topbaş 1993).

2.2 Sementasyondan Sonra Sertleştirme İşlemi

Çeliğin taneleri kaba olduğu ve yüzey tane sınırı sementit içerebileceğinden dolayı bu yöntem yalnızca fazla zorlanmayan malzemelerde ve küçük sementasyon derinliklerinde kullanılabilir. Gaz sementasyonundan sonra direkt sertleştirme yapılacaksa, fazla sementasyon derinliği istenmez. Alaşımlı çeliklerde de, krom gibi karbür teşekkül ettirici maddeler , yüzeyde fazla karbon zenginleşmesine ve daha az sementasyon derinliklerine neden olurlar (Topbaş 1993).

Tane sınırlarındaki sementit, alaşımsız çeliklerde difüzyon tavlamaıyla ya da E-S dönüşüm hattının üzerinde tavlama ile, tane sınırlarında azaltılabilir. Alaşımlı karbürlerin dağıtılması, çözülebilirliğin az olması ve aşırı doymuş cıvarda yeni karbürlerin oluşmasını önlemek, ancak difüzyon tavlamaıyla mümkündür. Alaşımsız çeliklerde çözülmüş sementitler de, havada soğumada tane sınırlarında tekrar kabuk formunda oluşabilir. Kabuk teşekkülü, biraz hızlı soğutmayla (yağda) önlenir. Bu uygulama, hızlı soğutmanın deformasyon meydana getirmediği, karışık formda olmayan parçalarda yapılabilir. Cıvarda teşekkül eden sementitlerin olumsuz etkisini azaltmak için en uygun tavlama sıcaklığı E-S hattının üzeri değil, karbonu az çekirdek için uygun G-O-S sıcaklığının üzeridir. % 0,1 karbon içeren sementasyon çeliklerinde, bu sıcaklık yaklaşık 900 °C ' dir. Bu sıcaklıkta tane sınırı sementitlerinin büyük bir kısmı çözülür, arta kalan tane sınırı sementitleri de yüzey gerilmelerinin etkisiyle küresel forma geçerler. Ardından yapılan hızlı soğutma, normal tavlama soğutmasına benzer şekilde, çekirdekte de tane incelmeye yarar. Bu tavlama işlemlerinin nötr ortamda yapılması ve yüzeyde karbon azalmasının önlenmesi gerekir. Sementasyon çeliklerinde sertleştirme sıcaklığından ani soğutmada erişilebilen çekirdek dayanımı, kör sertlik ile kontrol edilebilir. Kör sertlik için 80 mm kare malzemeden 5, 10, 30 (ve 60) mm kalınlıklarında parçalar kesilir ve karbon verilmiş perlitik bölge sıcaklığından ani soğutulur. Bu sıcaklık, alaşımsız ve krom alaşımlı (örneğin 15 Cr 3) sementasyon çeliklerinde 780-790 °C , krom-manganlı sementasyon çeliklerinde 860-870 °C ve krom-nikelli sementasyon çeliklerinde 820-830 °C arasındadır. Daha sonra Brinell'e göre (BSD 30)

sertlik ölçülür. Bulunan değer çekme dayanımına dönüştürülür.¹ Sertlik deneyi, numune ortası ve kenarından yapılarak ortama alınır. Sementasyondan sonra yapılabilen değişik sertleştirme yöntemlerinden birkaçı, sementasyon işlemi ile birlikte Şekil 8’de, zaman-sıcaklık diyagramları ile belirtilmiştir (Topbaş 1993).

2.2.1 Sementasyon Sıcaklığından Direkt Sertleştirme

Sertleştirme işlemi, sementasyon sıcaklığından suda, yada alaşımlı çeliklerde yağda ani soğutma ile yapılır. Tuz çözeltileri ve emülsiyonlar da ani soğutma ortamı olarak kullanılabilir. Bazı hallerde de çelik, yaklaşık 200-250 °C’deki sıcak banyoda soğutulur. Sertleştirmenin direkt yapılması, pek az zorlanan çeliklerde kullanılabilir. Ayrıca, küçük sementasyon derinliklerinde de uygulanabilir. Direkt sertleştirme için parçalara, siyanür banyolarında ya da gaz sementasyonda karbon verilmiş olması gerekir. Eğer ince taneli çelikler kullanılmazsa, sertleştirilmiş yapıda kaba taneli martensit ve büyük miktarda artık ostenit görülür (Topbaş 1993).

2.2.2 Yavaş Soğutmadan Sonra Sertleştirme

- a) Parçalar, sementasyon kutularında yavaş soğutulur. Parçalarda sertleştirme işleminde oluşan gerilmeler oldukça azdır. Ferrit primer olarak ostenitten ayrıştığı için, malzeme oldukça kaba tanelidir. Çelik yavaş soğutmadan sonra, sertleştirme (ostenitleştirme) sıcaklığına kadar tekrar ısıtılır. Sertleştirme sıcaklığı cidardaki karbon miktarına uygun olacak şekilde, perlitik yapı göz önünde tutularak seçilir. Ani soğutma suda , yağda , benzer soğutucu sıvılarda ya da sıcak banyoda yaklaşık 200 °C’de yapılır.
- b) Siyanür banyosundan ya da gaz sementasyon fırınından alınan parçalar, sakın havada yavaş soğutulur. Soğuma, normal tavlama benzer şekilde olur. Bu durumda, özellikle kalın olmayan parçalarda, kutuda soğumaya nazaran oldukça ince yapı oluşur. Bu nedenle, çekirdekteki dayanım özellikleri iyileşir. Daha sonra yapılacak sertleştirme, yukarıda belirtildiği

¹ Çelik malzemelerde, $3,5 \times \text{BSD} = R_m$ alınabilir. BSD – Brinell Sertlik Değeri, R_m – Mpa $\left[\frac{N}{mm^2} \right]$ olarak çekme dayanımı

gibi, yani Yavaş Soğutmadan Sonra Sertleştirme 'ye benzer şekilde uygulanır. Sertleştirmenin bu tarzı, iyi yüzey kalitesi ve daha az deformasyon sağlar. "Sementasyon Sıcaklığından Direkt Sertleştirmede" belirtilen sementasyon sıcaklığından direkt ani soğutma ile yapılan sertleştirmede, ani soğutma sıcaklığının yüksek olması nedeniyle martensitte büyük miktarda artık ostenit bulunacağından, bu yöntemde daha yüksek yüzey sertliğine ulaşır.

2.2.3 Ara Tavlama Sertleştirme

Sertleştirme; Yavaş Soğutmadan Sonra Sertleştirme 'de belirtildiği gibi uygulanır, ancak sementasyon sıcaklığından soğutma ve sertleştirme sıcaklığına ısıtma arasında, fırında soğutmalı, Ac_1 sıcaklığının altında bir ara tavlama yapılır. Ara tavlama ile gerilmeler azaltılır, perlit lamellerindeki sementit, taneli sementit olacak şekilde kısmen şekillendirilir. Bu tavlama işlemi, özellikle sementasyon işleminden sonra talaşlı şekillendirme için yararlıdır (Topbaş 1993).

2.4.4 Çift Sertleştirme

Sertleştirme, iki defa ani soğutma işlemiyle yapılır. Birinci sertleştirme ya çekirdek malzemesinin Ac_3 sıcaklığının üzerindeki sıcaklıkta yapılan sementasyon işleminden direkt olarak yada yeni bir ısıtmadan sonra ani soğutma ile yapılır. İkinci durumda, sementasyondan sonra soğutma, Yavaş Soğutmadan Sonra Sertleştirmede olduğu gibi, sementasyon kutusunda yada havada yavaş yapılır. Sementasyondan direkt sertleştirmede sıcaklık, sementasyon sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklıkta olabilen 930 °C 'dir. Bu durumda, çekirdekte çok ince yapı ve soğutmaya uygun sertlik elde edilir. Tane sınır sementitine de rastlanmaz. Eğer sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme yapılırsa taneler biraz kaba yapılı olarak kalır. Yüksek sıcaklıktan ani soğutmada, oldukça fazla gerilme olur. Bu gerilmeler, küçük kesitlerde banyoda sertleştirme ile azaltılabilir. Oda sıcaklığına kadar soğutmadan sonra Ac_1 sıcaklığının altında bir ara tavlama yapılması uygundur. Bu işlemle, talaşlı şekillendirme ve

doğrultma için de uygun yapı elde edilebilir. Ara tavlamadan sonra Ac_1 sıcaklığı üzerinden ani soğutmayla, cidar sertleştirilir (Topbaş 1993).

Gerilmeleri azaltmak için, ani soğutma işlemi tuz banyosunda da yapılabilir. Cidar için sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtmada, çekirdekte yüksek sıcaklıklarda menevişlenme olur. Sementasyon çeliklerinde çekirdekdeki karbon miktarı az olduğundan perlit ve ferritin çözülmesi azdır, bu esnada tane büyüklüğü de değişmez. Buna karşın, ısıtmada bekleme süresinin kısa tutulması yararlıdır. Çift sertleştirme ince taneli ve yüksek süneklilikte çekirdek ve tane sınırı sementitlerinin yok edilmesinden dolayı, sertleştirilmiş bölgede de daha iyi süneklilik sağlar. Sertleştirme sıcaklığına ısıtmadan sonra, sıcak banyoda sertleştirme de yapılabilir. $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de yapılan bu sertleştirmede, cidar ve çekirdekte çok ince yapı teşekkül eder., cidarda martensitik dönüşme olmayacağından gerilmeler ve deformasyon azalır. Sıcak banyoda tutma süresi, 500-600 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığı için 1 saat olarak yapılmalıdır (Topbaş 1993).

Sementasyon ve sertleştirme ile ilgili olarak burada verilen temel işlemlere ilave olarak, farklı bazı işlemlerin uygulanması da mümkündür. Bu tür bir işleme örnek olarak, sementasyon işleminden sonra soğutmanın izotermik dönüşme olacak şekilde uygulanması söylenebilir. Böyle bir işlemlerle, sementasyon sıcaklığından 500-600 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki sıcak banyoya ani soğutulan parçalar, perlitik ya da bainitik yapı elde edilecek şekilde izotermik dönüştürülürler, daha sonra yüzey ya da çekirdek ve yüzey sertleştirilmesi uygulanır. Böylece, çekirdek özellikleri daha da iyileştirilebilmektedir. Çizelge 2.8 'de, TS EN 10084 'e göre verilen sementasyon çelikleri ve bu çeliklere uygulanan sementasyon ve sertleştirme koşulları verilmektedir. Çeliklerin sembolleri ve bileşimleri Çizelge 2.9 'da, mekanik özellikleri ise Çizelge 2.10 'da verilmiştir (Topbaş, 1998). Sementasyon ve sertleştirme sonrasında, çeliklerde ulaşılabilecek en yüksek yüzey sertliği 67 RSD-C kadardır. Sıcak banyoda sertleştirmede bu değer daha düşük olur (Topbaş 1993).

Çizelge 2.8 Sementasyon Çeliklerinin Isıl İşlem Koşulları (Wegstl 2001)

Malzeme Numarası	Sementasyon Metotları			Sementasyondan Sonra Soğutma					Yüzey Sertleştirme Sıcaklığı ve Ortamları								
	Direk Sert.	Basit Sert.	Çift Sert.	Sementasyon Sıcaklığı	Su	Yağ	Sıcak Ben.	Tuz Ben.	Sem.Kült.	Hava	Çekirdek Sertleştirme Sıcaklığı	Ara Tavuklama	C	Su	Yağ	Sıcak Ben.	Temper (Meneviş) Sıcaklığı
1.0301	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	780-820	-	-	-	150-200
1.0302	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	780-820	-	-	-	150-200
1.0401	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	780-820	-	-	-	150-200
1.0403	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	780-820	-	-	-	150-200
1.1121/1.1207	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	6.50-7.00	780-820	+	-	-	150-200
1.1141/1.1140	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	6.50-7.00	780-820	+	-	-	150-200
1.1148/1.1208	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	780-820	+	-	-	150-200
1.5714/1.5715	-	+	+	880-980	+	+	+	-	+	+	850-890	-	780-820	-	+	+	150-200
1.5732	-	+	+	850-900	+	+	+	-	+	+	850-880	6.20-6.50	780-800	-	+	+	170-210
1.5752	-	+	+	880-980	-	+	+	-	+	+	840-880	6.00-6.30	780-820	-	+	+	150-200
1.5805	-	+	+	875-925	-	+	+	+	+	+	830-860	-	780-810	-	+	+	150-200
1.5810	-	+	+	880-980	-	+	+	+	+	+	840-880	-	780-820	-	+	+	150-200
1.5860	-	+	+	850-900	-	+	+	-	+	+	830-860	6.00-6.30	780-800	-	+	+	170-200
1.5918	-	+	+	880-980	-	+	+	+	+	+	830-870	-	780-820	-	+	+	150-200
1.5919	-	+	+	880-980	-	+	+	+	+	+	830-870	6.30-6.50	780-820	+	+	+	150-200

Çizelge 2.8 (devamı)

Malzeme Numarası	Sementasyon Metotları			Sementasyon Sıcaklığı	Sementasyondan Sonra Soğutma					Çekirdek Sertleşirme Sıcaklığı	Ara Tavlama	Yüzey Sertleşirme Sıcaklığı ve Ortamları			Temper (Meneviş) Sıcaklığı		
	Direk Sert.	Basit Sert.	Çift Sert.		Su	Yağ	Sıcak Ban.	Tuz Ban.	Sem.Kut			Hava	C	Su		Yağ	Sıcak Ban.
1.0301	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	-	780-820	-	-	150-200
1.0302	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	-	780-820	-	-	150-200
1.0401	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	-	780-820	-	-	150-200
1.0403	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	-	780-820	-	-	150-200
1.1121/1.1207	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	650-700	-	780-820	+	-	150-200
1.1141/1.1140	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	650-700	-	780-820	+	-	150-200
1.1148/1.1208	+	+	-	880-980	+	-	+	-	+	+	880-920	-	-	780-820	+	-	150-200
1.5714/1.5715	-	+	+	880-980	+	+	+	-	+	+	850-890	-	-	780-820	-	+	150-200
1.5732	-	+	+	850-900	+	+	+	-	+	+	850-880	620-650	-	780-800	-	+	170-210
1.5752	-	+	+	880-980	-	+	+	-	+	+	840-880	600-630	-	780-820	-	+	150-200
1.5805	-	+	+	875-925	-	+	+	+	+	+	830-860	-	-	780-810	-	+	150-200
1.5810	-	+	+	880-980	-	+	+	+	+	+	840-880	-	-	780-820	-	+	150-200
1.5860	-	+	+	850-900	-	+	+	-	+	+	830-860	600-630	-	780-800	-	+	170-200
1.5918	-	+	+	880-980	-	+	+	+	+	+	830-870	-	-	780-820	-	+	150-200
1.5919	-	+	+	880-980	-	+	+	+	+	+	830-870	630-650	-	780-820	+	+	150-200

Çizelge 2.8 (devamı)

Malzeme Numarası	Sıvı Sıvı Sıvı			Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı				Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı		Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı				Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı			
	Direk Sıvı	Bastı Sıvı	Çift Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı	Sıvı Sıvı Sıvı Sıvı
1.7262	+	+	+	840-880	+	+	+	+	+	+	+	+	+	820-850	650-680	810-830	+
1.7264	+	+	+	840-880	+	+	+	+	+	+	+	+	+	820-850	650-680	810-830	+
1.7271	+	+	+	900-950	+	+	+	+	+	+	+	+	+	850-880	+	+	+
1.7311	+	+	+	900-950	+	+	+	+	+	+	+	+	+	890-920	+	+	+
1.7320/1.7319	+	+	+	880-980	+	+	+	+	+	+	+	+	+	860-900	+	780-820	+
1.7321/1.7323	+	+	+	880-980	+	+	+	+	+	+	+	+	+	860-900	650-680	780-820	+
1.7325/1.7326	+	+	+	900-950	+	+	+	+	+	+	+	+	+	890-920	650-680	780-820	+
1.7333	+	+	+	880-980	+	+	+	+	+	+	+	+	+	860-900	+	780-820	+

Çizelge 2.9 Sementasyon Çeliklerinin Kimyasal Analizleri (Sağın 1994)

Malz. No.	SEMBOL	BİLEŞİMİ								
		C %	Si %	Mn %	P ≤ %	S ≤ %	Cr %	Mo %	Ni %	Diğer %
1.0301	C10	0.07 0.13	≤0.40	0.30 0.60	0.045	0.045	-	-	-	-
1.0302	C10 Pb (C10GPb)	0.06 0.12	0.15- 0.35	0.25 0.50	0.045	0.045	-	-	-	Pb 0.15 0.30
1.0401	C15	0.12 0.18	≤0.40	0.30 0.60	0.045	0.045	-	-	-	-
1.0403	C15 Pb (C15GPb)	0.12 0.18	≤0.40	0.30 0.60	0.045	0.045	-	-	-	Pb 0.15 0.30
1.1121	C10E / Ck10 (1.1207)	0.07 0.13	≤0.40	0.30 0.60	0.035	0.035	-	-	-	-
1.1141	C15E / Ck15 (1.1140)	0.12 0.18	≤0.40	0.30 0.60	0.035	0.035	-	-	-	-
1.1148	C16E (1.1208)	0.12 0.18	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	-	-	-	-
1.5714	16NiCr4 (1.5715)	0.13 0.19	≤0.40	0.70 1.00	0.035	0.035	0.60 1.00	-	0.80 1.10	-
1.5732	14NiCr10	0.10 0.17	0.15- 0.35	0.40 0.70	0.035	0.035	0.55 0.95	-	2.25 2.75	-
1.5752	15NiCr13 14NiCr14	0.14 0.20	≤0.40	0.40 0.70	0.035	0.035	0.60 0.90	-	3.00 3.50	-
1.5805	10NiCr5-4	0.07 0.12	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.90 1.20	-	1.20 1.50	-
1.5810	18NiCr5-4	0.16 0.21	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.90 1.20	-	1.20 1.50	-
1.5860	14NiCr18	0.10 0.17	0.15- 0.35	0.40 0.70	0.035	0.035	0.90 1.30	-	4.25 4.75	-
1.5918	17CrNi6-6	0.14 0.20	≤0.40	0.50 0.90	0.035	0.035	1.40 1.70	-	1.40 1.70	-
1.5919	15CrNi6	0.14 0.19	≤0.40	0.40 0.60	0.035	0.035	1.40 1.70	-	1.40 1.70	-
1.5920	18CrNi8	0.15 0.20	0.15- 0.40	0.40 0.60	0.035	0.035	1.80 2.10	-	1.80 2.10	-
1.6523	20NiCrMo2-2 21NiCrMo2 (1.6526)	0.17 0.23	≤0.40	0.65 0.95	0.035	0.035	0.35 0.70	0.15 0.25	0.40 0.70	-
1.6566	17NiCrMo6-4 (1.6569)	0.14 0.20	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.80 1.10	0.15 0.25	1.20 1.50	-
1.6571	20NiCrMoS6-4	0.16 0.23	≤0.40	0.50 0.90	0.035	0.020 0.040	0.60 0.90	0.25 0.35	1.40 1.70	-

Çizelge 2.9 (devamı)

Malz. No.	SEMBOL	BİLEŞİMİ								
		C %	Si %	Mn %	P ≤ %	S ≤ %	Cr %	Mo %	Ni %	Diğer %
1.6587	18CrNiMo7-6 17CrNiMo6	0.15 0.21	≤0.40	0.50 0.90	0.025	0.015	1.50 1.80	0.25 0.35	1.40 1.70	Al≤0.05 Cu≤0.30
1.6657	14NiCrMo13	0.11 0.17	≤0.40	0.30 0.60	0.035	0.035	0.80 1.10	0.10 0.25	3.00 3.50	-
1.7012	13Cr2	0.10 0.16	0.15 0.35	0.40 0.60	0.035	0.035	0.30 0.50	-	-	-
1.7015	15Cr3	0.12 0.18	0.15 0.40	0.40 0.60	0.035	0.035	0.40 0.70	-	-	-
1.7016	17Cr3 (1.7014)	0.14 0.20	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.70 1.00	-	-	-
1.7027	20Cr4 (1.7028)	0.17 0.23	≤0.40	0.60 0.90	0.025	0.015	0.90 1.20	-	-	Al≤0.05 Cu≤0.30
1.7030	28Cr4 (1.7036)	0.24 0.31	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.90 1.20	-	-	-
1.7131	16MnCr5 (1.7139)	0.14 0.19	≤0.40	1.00 1.30	0.035	0.035	0.80 1.10	-	-	-
1.7147	20MnCr5 (1.7149)	0.17 0.22	≤0.40	1.10 1.40	0.035	0.035	1.00 1.30	-	-	-
1.7160	16MnCrB5	0.14 0.19	≤0.40	1.00 1.30	0.035	0.035	0.80 1.10	-	-	B0.0008 0.005
1.7243	18CrMo4 (1.7244)	0.15 0.21	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.90 1.20	0.15 0.25	-	-
1.7262	15CrMo5	0.13 0.17	0.15 0.35	0.80 1.10	0.035	0.035	1.00 1.30	0.20 0.30	-	-
1.7264	20CrMo5	0.18 0.23	0.15 0.35	0.90 1.20	0.035	0.035	1.10 1.40	0.20 0.30	-	-
1.7271	23CrMoB3-3	0.20 0.25	0.15 0.35	0.70 0.90	0.035	0.035	0.70 0.90	0.30 0.40	-	B0.0008 0.0050
1.7311	20CrMoS2 (20CrMo2)	0.18 0.23	0.15 0.35	0.60 0.80	0.035	0.020 0.040	0.50 0.70	0.30 0.40	-	-
1.7320	20MoCr3 (1.7319)	0.17 0.23	≤0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.40 0.70	0.30 0.40	-	-
1.7321	20MoCr4 (1.7323)	0.17 0.23	≤0.40	0.70 1.00	0.035	0.035	0.30 0.60	0.40 0.50	-	-
1.7325	25MoCr4 (1.7326)	0.23 0.29	0.15 0.40	0.60 0.90	0.035	0.035	0.40 0.60	0.40 0.50	-	-
1.7333	22CrMoS3-5	0.19 0.24	≤0.40	0.70 1.00	0.035	0.020 0.040	0.70 1.00	0.40 0.50	-	-

Çizelge 2.10 Sementasyon çeliklerinin mekanik özellikleri

Malzeme Numarası	Mekanik Özellikler											
	Brinell Sertlik			Akma Gerilimi			Çekme Dayanımı			Uzunluk L ₀ =5d ₀		
	≤HB3 0	Ø-150 HB 30	Ø-60 HB 30	Ø11 ≥ N/mm ²	Ø30 ≥ N/mm ²	Ø63	Ø11	Ø30	Ø63	Ø11	Ø30	Ø63
1.0301	131	-	90-126	390	295	-	640-780	490-640	-	13	16	-
1.0302	131	-	90-126	390	295	-	640-780	490-640	-	13	16	-
1.0401	143	-	103-140	440	355	-	740-880	590-780	-	12	14	-
1.0403	143	-	103-140	440	355	-	740-880	590-780	-	12	14	-
1.1121/1.1207	131	-	-	390	295	-	640-780	490-640	-	13	16	-
1.1141/1.1140	143	-	156-207	440	355	-	740-880	590-780	-	12	14	-
1.1148/1.1208	156	-	175-220	-	-	-	≥800	≥600	-	-	-	-
1.5714/1.5715	217	166-217	166-217	-	-	-	≥1000	≥900	-	-	-	-
1.5732	205	180-210	137-187	735	685	685	980-1270	880-1180	830-1080	9	11	11
1.5752	229	179-229	156-207	835	785	735	1030-1320	930-1230	880-1180	9	10	10
1.5805	192	147-197	180-225	-	-	-	≥900	≥700	≥500	-	-	-
1.5810	223	170-223	156-207	-	-	-	≥1200	≥1100	≥900	-	-	-
1.5860	245	205-245	152-201	930	885	785	1270-1420	1180-1370	1080-1320	7	7	8
1.5918	229	175-229	170-217	-	-	-	≥1200	≥1100	≥900	-	-	-
1.5919	217	170-217	148-194	685	635	540	960-1270	880-1180	780-1060	8	9	10
1.5920	235	187-235	149-201	835	785	685	1230-1470	1180-1420	1080-1320	7	7	8
1.6523/1.6526	212	161-212	154-207	785	590	490	980-1270	780-1080	690-930	9	10	11
1.6566/1.6569	229	179-229	159-207	-	-	-	≥1200	≥1000	≥900	-	-	-
1.6571	229	179-229	166-217	-	-	-	≥1200	≥1100	≥900	-	-	-
1.6587	229	179-229	-	835	785	685	1180-1420	1080-1320	980-1270	7	8	8

Çizelge 2.10 devamı.

Malzeme Numarası	Mekanik Özellikler				
	Kesit Daralması		Darbe Dayanımı		
	Ø11	Ø30 ≥ %	Ø63	Ø11	Ø30 ≥ J
1.0301	35	45	-	69	69
1.0302	35	45	-	69	69
1.0401	35	45	-	48	48
1.0403	35	45	-	48	48
1.1121/1.1207	40	50	-	89	89
1.1141/1.1140	35	45	-	69	69
1.1148/1.1208	-	-	-	-	-
1.5714/1.5715	-	-	-	-	-
1.5732	40	45	45	69	69
1.5752	40	45	45	55	55
1.5805	-	-	-	-	-
1.5810	-	-	-	-	-
1.5860	35	40	40	41	41
1.5918	-	-	-	-	-
1.5919	35	40	40	41	41
1.5920	30	35	35	41	41
1.6523/1.6526	35	40	40	41	41
1.6566/1.6569	-	-	-	-	-
1.6571	-	-	-	-	-
1.6587	30	35	35	41	41

Çizelge 2.10 (devamı).

Malzeme Numarası	Mekanik Özellikler										
	Brinell Sertlik			Akma Gerilimi			Çekme Dayanımı			Uzama L ₀ =5d ₀	
	≤HB 30	Ø<150 HB 30	Ø≥150 HB 30	Ø11	Ø30	Ø63	Ø11	Ø30	Ø63	Ø11	Ø30
				≥ N/mm ²			N/mm ²			≥ %	
1.6657	241	187-241	166-217	-	-	-	1130-1430	1030-1330	880-1180	9	10
1.7012	170	131-170	-	685	635	-	690-930	540-690	-	14	17
1.7015	174	126-174	118-160	510	440	-	780-1030	690-880	-	10	11
1.7016/1.7014	174	-	-	520	450	-	800-1050	700-900	-	10	11
1.7027/1.7028	197	149-197	145-192	-	-	-	-	-	-	-	-
1.7030/1.7036	217	166-217	156-207	-	-	-	≥900	≥700	≥700	-	-
1.7131/1.7139	207	156-207	140-187	635	590	440	880-1180	780-1080	640-930	9	10
1.7147/1.7149	217	170-217	152-201	735	685	540	1080-1370	980-1270	780-1080	7	8
1.7160	207	156-207	140-187	-	-	-	≥1000	≥900	≥700	-	-
1.7243/1.7244	207	156-207	140-187	-	-	-	≥1100	≥900	≥700	-	-
1.7262	207	170-207	-	635	590	440	880-1180	780-1080	640-930	9	10
1.7264	217	179-217	-	735	685	540	1080-1370	980-1270	780-1080	7	8
1.7271	217	170-217	152-201	835	785	-	1180-1470	1080-1370	-	7	8
1.7311	207	149-207	140-187	635	590	-	880-1180	780-1080	640-880	9	10
1.7320/1.7319	217	160-205	145-185	-	-	-	≥900	≥800	-	-	-
1.7321/1.7323	207	156-207	140-187	635	590	-	880-1180	780-1080	-	9	10
1.7325/1.7326	217	170-217	152-201	735	685	540	1080-1370	980-1270	780-1080	7	8
1.7333	217	170-217	152-201	-	-	-	-	-	-	-	-

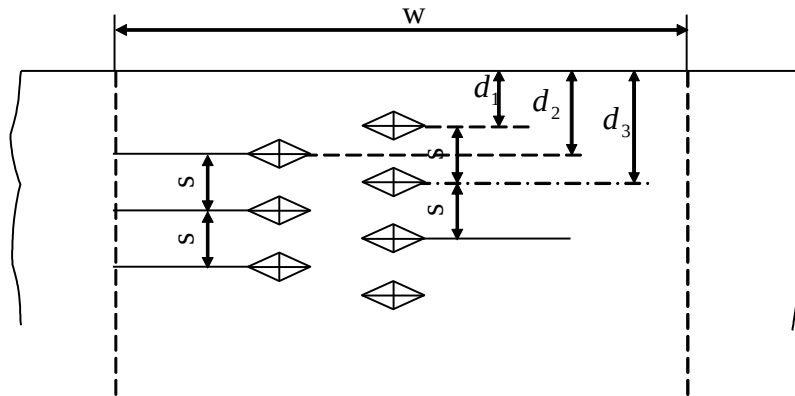
Çizelge 2.10 (devamı).

Malzeme Numarası	Mekanik Özellikler					
	Kesil Durumu			Darbe Dayanımı		
	Ø11	Ø30 ≥ %	Ø63	Ø11	Ø30	≥ J
1.6657	-	-	-	-	-	-
1.7012	35	40	-	48	-	48
1.7015	35	40	-	41	-	41
1.7016/1.7014	35	40	-	-	-	-
1.7027/1.7028	-	-	-	-	-	-
1.7030/1.7036	-	-	-	-	-	-
1.7131/1.7139	35	40	40	34	-	34
1.7147/1.7149	30	35	35	34	-	34
1.7160	-	-	-	-	-	-
1.7243/1.7244	-	-	-	-	-	-
1.7262	35	40	40	41	-	41
1.7264	30	35	35	27	-	27
1.7271	30	35	-	27	-	27
1.7311	35	40	40	41	-	41
1.7320/1.7319	-	-	-	-	-	-
1.7321/1.7323	35	40	-	41	-	41
1.7325/1.7326	30	35	35	34	-	34
1.7333	-	-	-	-	-	-

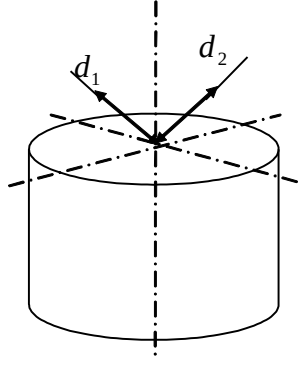
2.3 Sementasyon Derinliği ve Etkili Sementasyon Derinliği

Sementasyon derinliği teriminden, parçanın yüzeyinden itibaren parça kesitinde bileşimde karbon miktarının arttığı noktaya kadar olan mesafe anlaşılır. Sementasyondan sonra, karbon miktarı yüzeyden çekirdeğe doğru azalır. Sementasyon işleminden sonra yüzeye dik olarak kesit parlatılır ve uygun dağlama maddesi ile dağlanırsa, karbon almış bölge karbon almamış bölgeye nazaran daha koyu olarak görülür. Genel olarak, metalografik tetkikte renk değiştirmiş bölgenin kalınlığı, sementasyon derinliği olarak kabul edilir. Etkili sementasyon derinliği, sementasyon derinliği ile identik değildir. **Etkili sementasyon derinliği**, sementasyon ve

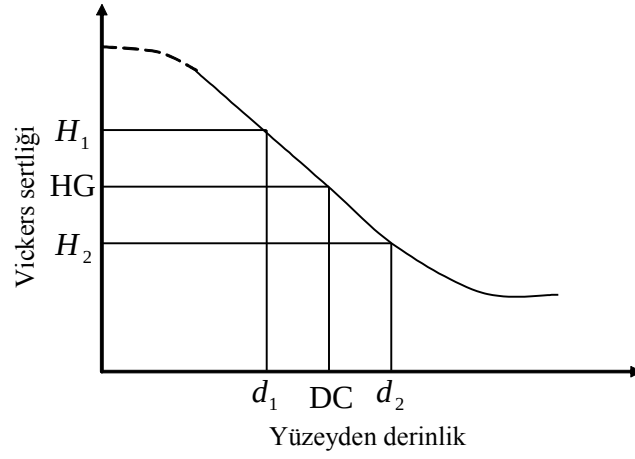
sertleştirmeden sonra, belirli bir sertlik değeri için tarif edilir. Yüzeyden itibaren karbon miktarı da farklı olduğundan, sertleştirme sonrası yüzeye dik alınan kesitte sertlik dağılımı da karbon miktarına bağımlı olarak değişir. DIN 50190 ‘da yüzey işlemleri için, TS 1719’da ise sementasyonla sertleştirme için, bu büyüklüğün tayini ve kontrolü standartlaştırılmıştır. Tüm yüzey işlemleri için yöntem yaklaşık aynı olduğundan, burada yalnızca TS 1719’a göre “etkili sementasyon derinliği” tarifi ve açıklanması yapılacaktır. “Etkili Sementasyon Derinliği”, -1 kgf (9,81 N) yük ile ölçüldüğünde Vickers sertliği 550 HV olan semente edilmiş ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklıktır” diye tarif edilir (TS 1719 1974). DC harfleri ile gösterilen etkili sementasyon derinliğinin saptanması için, test yapılacak elik parça, belirli koşullarda semente edildikten sonra, belirli koşullarda ani soğutma ile sertleştirilir. Daha sonra, yüzeyin dik kesiti taşlanarak, yüzeyden itibaren belirli aralıkla sertlik değerleri ölçülür. Sertlik izlerinin konumu, şekil 2.8 ve şekil 2.9’da gösterildiği gibi olmalı ve sertlik ölçmede uyulması gerekli kurallar gözetilmelidir. Bulunan sertlik değerleri şekil 2.10’da görüldüğü gibi yüzeyden uzaklığa bağlı olarak diyagrama işlenir (Topbaş 1993).



şekil 2.8 Düz yüzeyli parçalarda izlerin konumu.



Şekil 2.9 Silindirik parçada sertlik ölçme izlerinin konumu.



Şekil 2.10 Etkili sementasyon derinliği saptama diyagramı.

Şekil 2.10'daki diyagram çizildikten sonra 550 HV için buna karşılık gelen DC “etkili sementasyon derinliği” Absis’ten okunur. Her ne kadar sertlik değeri 550 HV için standartta esaslar açıklanmakta ise de, aynı deney öngörülebiyecek diğer sertlik değerleri içinde kullanılabilir (Topbaş 1993).

3. MATERYAL ve METOT

3.1 Deney Malzemeleri

Bu çalışmada kullanılan deney malzemeleri 5120 ve 8620 Sementasyon Çelikleri Denizli ‘de yerleşik bulunan HADİD Makine Sanayi Tic.Ltd. Şti.den temin edilmiş olup Aydın merkezde bulunan ZİRVE Kalıp Yüzey İşleme Sanayi Tic. Ltd. Şti. de işlenerek standart deney numunesi haline getirilmiştir. Standart deney numunesi haline getirilen malzemeler İzmir’ de bulunan ISILSAN Isı-Isılsan Isıl İşlem Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. de 60-120-180-240 dk. süre ile ısıtılma işlemi tabi tutulmuş ve deneylere hazır hale getirilmiştir.

Deneylerde kullanılan 5120 ve 8620 sementasyon çeliklerinin standart normları ve spektral analizleri çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan 5120 ve 8620 sementasyon çeliklerinin standart normları ve spektral analiz sonuçları

MALZEME		BİLEŞİMİ %											
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	Al	Fe
DIN	1.7131												
AISI	5120	0,2053	0,342	1,048	0,0149	0,00414	0,951	0,0212	0,117	0,251	0,005	0,033	Kalan
SAE													97,00746
EN	16 MnCr5												
DIN	1.6523												
AISI	8620	0,265	0,257	0,79	0,016	0,013	0,649	0,140	0,575	0,055	0,004	0,012	Kalan
SAE													97,224
EN	21NiCrMo2												

Deneylerde Kullanılan malzemeler, piyasaya sıcakta haddelenmiş veya dövülmüş olarak blum, slab, kütük, yuvarlak, dört köşe, altı köşe, lama şeklinde çubuk; filmaşın, sıcak çekilmiş sac, band ve geniş lama; dikişsiz boru, elde veya kalıpta dövülmüş parçalar, şeklinde verilebilmektedirler. Sıcakta şekillendiği gibi; yumuşatma tavı görmüş; belirli bir dayanım verecek biçimde su verilmiş veya belirli ferritik-perlitik yapı elde edecek biçimde tavllanmış olarak teslim edilirler (Alkın 1993). Sementasyon çeliklerinden imal

edilen başlıca ürünler; merdaneler, miller, diskler, ölçü ve kontrol aletleri, zincir dişlileri, piston pimleri, zincir makaraları, zorlamaya tabi tutulan parçalar, kesici takımları gibi parçalardır (Tabur 2003).

3.2 Sementasyon ve sertleştirme işlemi

Bu yöntemin amacı, düşük karbonlu (% 0,20 den az) çeliklerin yüzeyine dışarıdan atomsal olarak karbon (C) yayındırılması ve sonrasında dönüşüm sertleştirilmesi yapılması prensibine dayanan bu yöntemde deney numuneleri yüzeyindeki yağ, pas, ve kirler zımparalama işlemi ile temizlendikten sonra dökme demirden yapılan bir kutunun içinde bulunan odun kömürünün içine gömülürler. Odun kömürü, kutu tabanında 3-5 cm lik bir katman oluşturacak şekilde kutulara doldurulur. Malzemenin yüzeyleri 1-2,5 cm, yan kısımları 5 cm lik kömürle kapalı olacak biçimde örtülür. Kutunun ağzı iyice kapatıldıktan sonra sıcaklık kontrollü bir tavlama fırınına yerleştirilir. Fırındaki karbon miktarı ne kadar yüksek ise yayınma sonrası denge haline ulaşıldığında karbürizasyon derinliği de o derece fazla olur (Thelning 1984). Sementasyon derinliğinin miktarı malzemenin sementasyon sıcaklığında tutulma süresine bağlıdır. Fırının Karbon verme ortamı ve fırın sıcaklığı da bu derinliği etkiler (Kosgeb 1994). İşte bu sebeple iki farklı deney numunesi ve deney parametreleri olarak ta, sementasyon sıcaklığı (930°C) sabit sıcaklıkta ve sementasyon süresi (60, 120, 180, 240) dakika seçilerek gerçekleştirilmiştir. Fick kanununda belirtildiği gibi sementasyon derinliğinde etkili olan farklı karbürizasyon süreleri araştırılmıştır.

Atomların difüzyonunu tanımlayan Fick kanunu diferansiyel bağıntısının karbürizasyon için çözümü aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\frac{C_{(x,t)} - C_0}{C_2 - C_0} = 1 - \operatorname{erf} \beta \quad \beta = \frac{x}{2\sqrt{D.t}} \quad 3.1$$

Burada

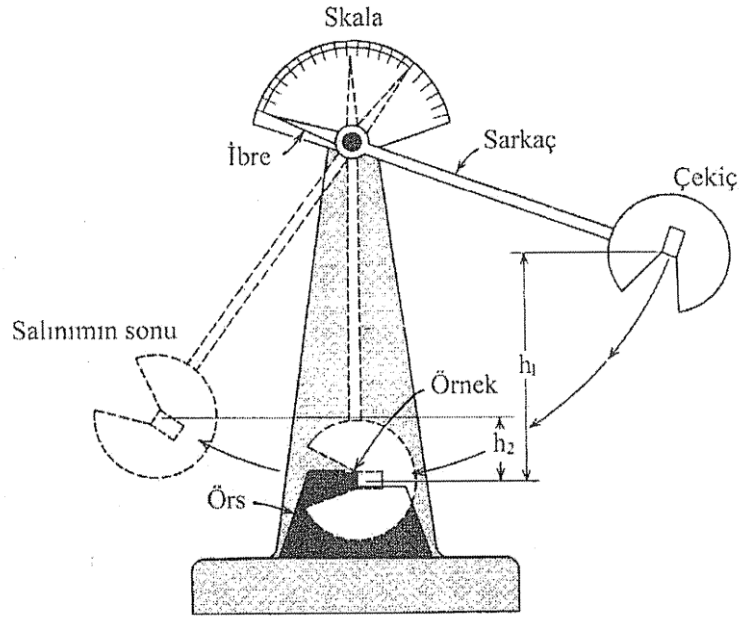
- $C_{(x,t)}$: t süresinde çeliğin yüzeyinden içeriye doğru x mesafedeki karbon bileşimi,
 C_0 : Karbürizasyon uygulanacak çeliğin başlangıç karbon içeriği,
 C_1 : Karbürleyici ortamın karbon içeriği,
 D : Koabomum çelik içerisindeki difüzyon katsayısı (cm^2/s),
 t : karbürizasyon süresi (s),
 x : Mesafe (cm).

3.3. Mikrosertlik ölçümleri

Deney numuneleri karbürleme işlemi öncesinde ve sonrasında kesit yüzeyleri üzerinden dış kabuktan içeriye doğru sertlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarından buluna Mikrosertlik cihazı kullanılmıştır. Standart ölçü aralıklarında her malzeme üzerinden 10 adet mikrosertlik ölçümü yapılmıştır. Bununla birlikte Vickers sertlik metodu ile de yüzeyin ortalama sertlik değerleri belirlenmiştir. Malzemelerin sertliğini ölçmeden önce numuneler 240-320-400-600-800-1000 ve 1200 numaralı zımparalarla zımparalama işlemine tabi tutulmuştur. Zımparalama işlemi kalından inceye doğru ve bir önceki zımparanın izi kalmayacak şekilde yapılmıştır. Zımparalama işleminin ardından yapılan parlatma işleminde ise Alümina (Al_2O_3) solüsyon kullanılmış ve optik mikroskopta incelenecek malzemeler %96 Etanol %4 Nitrikasit içeren nital ile 5-6 sn aralığında dağlanmıştır.

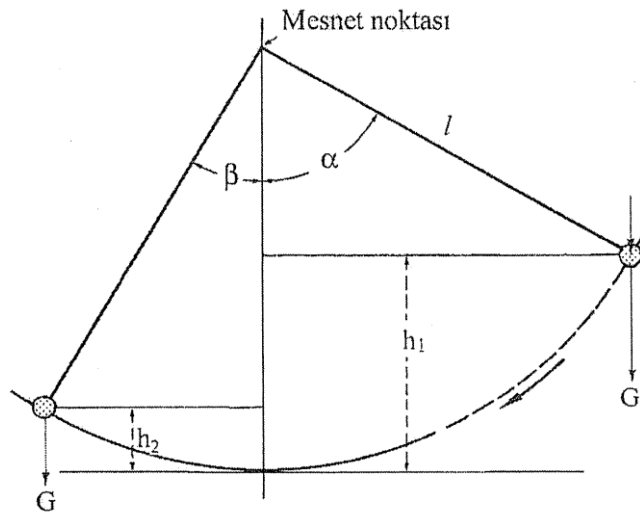
3.4 Çentik Darbe Deneyi

Malzemelerin özellikle gevrek kırılmaya uygun şartlardaki mekanik özellikleri hakkında bilgi edinmek ve deney malzemesinin dinamik bir zorlama altında kırılması için gerekli enerji miktarını (darbe direncini) tespit etmek amacıyla yapılan testtir (İnt.Kayn.4). Bu deneylerde yaygın olarak kullanılan sarkaçlı darbe deney makinesinin şematik resmi şekil 3.1 de verilmektedir.



Şekil 3.1 Darbe Deney Makinesinin Şematik Resmi

Çalışma prensibi Şekil 3.2 de gösterilen darbe testinde, ağırlığı G olarak kabul edilen bir sarkaç, h_1 yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi $G \times h_1$ değerindedir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakılırsa, düşey bir düzlem üzerinde hareket ederek deney numunesini kırar ve ters yönde h_2 yüksekliğine çıkar. Böylece, deney numunesinin kırılmasında sarkaçta kalan potansiyel enerji $G \times h_2$ seviyesinde gerçekleşir.



Şekil 3.2 Darbe Deneyi Cihazının Çalışma Prensibi

Sarkacın ilk pozisyonundaki potansiyel enerjisi ile son pozisyonundaki potansiyel enerjisi arasındaki fark deney numunesinin kırılması için gerekli olan enerjiyi, yani malzemenin darbe direncini verir.

Sürtünme kayıpları ihmal edildiğinde, sarkacın ilk enerjisi ile son enerjisi arasındaki farka eşit olan kırılma enerjisi aşağıdaki formülle belirlenir (İnt.Kayn.5).

$$\text{Kırılma Enerjisi} = G(h_1 - h_2) = G \cdot l \cdot (\cos \beta - \cos \alpha)$$

Burada;

G : Sarkacın Ağırlığı (kg)

l : Sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m)

h_1 : Sarkacın ağırlık merkezinden düşme yüksekliği (m)

h_2 : Sarkacın ağırlık merkezinden çıkış yüksekliği (m)

α : Düşme açısı (derece)

β : Yükselme açısı (derece)

Darbe direnci birimi genellikle (J) olarak verilir, ancak bazı durumlarda $\frac{J}{m^2}$, veya $\frac{kg.m}{cm^2}$ cinsinden ifade edilebilir. Kırılma enerjisi yüksek olan malzemelerin kırılma tokluğu da yüksek olur (İnt.Kayn.5).

Çentik darbe tokluk deneyinde kullanılan malzemeler standartlara uygun olarak 10x10x55 mm ölçülerinde ve 2 mm derinliğinde tek taraflı “V” çentik açılarak hazırlanmıştır.

3.5 Metalografik inceleme

930 derece sabit sıcaklıkta 60-120-180-240 dakika sürelerde sementasyon işlemi yapılan standart deney numunelerin mikroyapı incelemeleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Laboratuvarlarında bulunan optik mikroskop ile X10 ve X100 kez

büyütölerek fotoğrafları çekilmiş ve fotoğrafları çekilen mikroyapı görüntöleri tarafımdan değeriendirilmiştir.

3.6 SEM görüntölleme

SAE 5120 ve 8620 malzemelerinin charp darbe tokluk testi sonrası kırılan numunelerin kırık yüzeylelerinin topoğrafyası için Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM merkezinde bulunan SEM görüntölleme cihazında geri yansıyan ve ikincil elektron görüntöleri çekilerek değeriendirilmiştir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

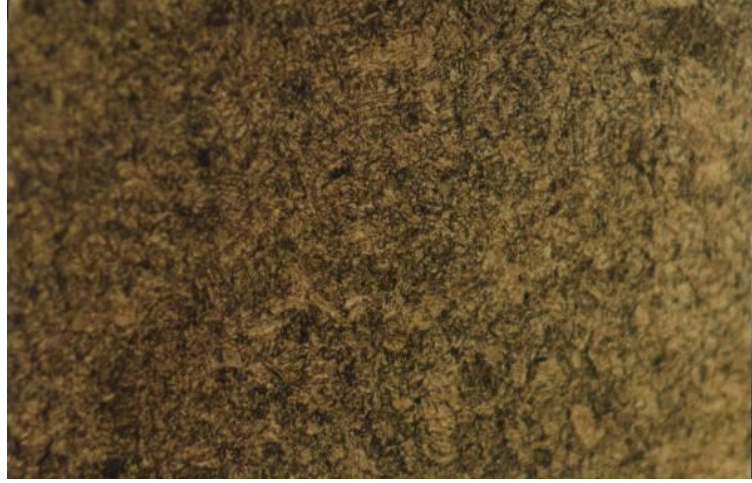
4.1 Deney Sonuçları

Bu çalışma sonucu yapılan deneylerde aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır; 60 – 120 – 180 ve 240 dakika süre ile yapılan sementasyon işleminde SAE 5120 VE SAE 8620 çeliklerinden elde edilen mikro sertlik değerleri çizelge 4.1 de verilmiştir. Çizelgeden de anlaşılacağı gibi 1 saat karbürleme süresi sonrası SAE 5120 malzemesi için kabuk yüzeyinde $826_{(0,5)}$ HV (Vickers sertlik değeri), 8620 deney numunesi için ise $946_{(0,5)}$ HV elde edilmiştir. Bu değer çizelge 4.1 görüldüğü gibi çekirdeğe doğru hızla düşmektedir. Aynı şekilde 2 saat karbürleme süresi sonrası SAE 5120 malzemesi deney numunesi için malzemenin kabuk yüzeyinde $766_{(0,5)}$ HV, SAE 8620 deney numunesi için $868_{(0,5)}$ HV elde edilmiş ve bu değerlerin de çekirdeğe doğru hızla düştüğü gözlemlenmiştir. 3 saat karbürleme işlemine tabi tutulan SAE 5120 deney malzemesinin kabuk yüzeyinde $912_{(0,5)}$ HV elde edilirken, SAE 8620 malzemesinin kabuk yüzeyinde $828_{(0,5)}$ HV elde edildiği ve bu değerlerinde çekirdeğe doğru hızla düştüğü gözlemlenmiştir. Son olarak 4 saat süreyle karbürleme işlemine tabi tutulan SAE 5120 malzemesinin kabuk yüzeyinde $965_{(0,5)}$ HV sertlik değeri elde edilirken SAE 8620 malzemesinin kabuk yüzeyinde ise $858_{(0,5)}$ HV sertlik değeri elde edilmiş ve bu değerlerinde yine büyük bir hızla çekirdeğe doğru azaldığı gözlemlenmiştir. Sertlik değerinin çekirdeğe doğru azalması deney malzemelerinin ostenit bölgesi sıcaklığında (A3) çözülebilen karbon miktarının az olduğunu ortaya koymaktadır. Sertleştirmeden sonra yeterli miktarda martenzit oluşamamaktadır. Bu sebeple malzemenin çekirdeğine doğru sertlik değeri azalmaktadır. Çözülebilen karbon miktarının, 60 ve 120 dakikalık deney numunelerinde sürenin kısa olması dolayısıyla üst kabuk bölgesindeki mikroyapıda % 8 den az olduğu sanılmakta ve düşük sertlik değerlerine neden olmaktadır. 180 ve 240 dakikalık sementasyon yapılan deney numunelerinde ise sertlik miktarının arttığı gözlemlenmektedir. Yüzeydeki karbon oranının otektoid noktasına uygun olmasına çalışılır. Ötektoid nokta alaşımsız çelikler için % 0.8 C dolaylarındayken alaşımlı çeliklerde bu oran biraz daha düşüktür. En az $700_{(0,5)}$ HV,

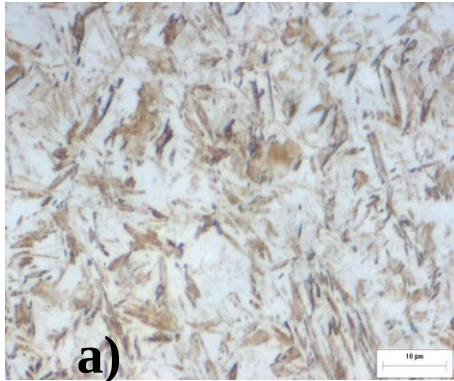
elde edebilmek için % 0.5 C oranı gerektiği halde, alaşımlı çeliklerde bu miktar daha azdır. Deneylerde kullanılan numunelerin sertleşen yüzeylerindeki karbon oranı % 0.5 C miktarını geçmemektedir. Resim 4.2 ve Resim 4.4 de görüldüğü gibi sertleşen bölgede görülen mikroyapı düz martenzit şeklindedir. Mikroyapıda perlit tanecikleri görülmektedir. Yüzeydeki karbon % 0.9 C miktarını geçmemelidir. Şayet bu miktarı geçerse, sertleşmeye ve zararlı karbon çökelmelerine sebep olur. Krom ihtiva eden çelik malzemelerde karbürizasyon sırasında karbür çökmesi görülmektedir (İnt.Kayn.1). Kısa süreli karbürizasyonda karbon miktarının bu değeri geçmesi imkan dahilinde değildir. Sementasyon süresi 2 saat olduğunda Resim 4.2 de görüldüğü gibi malzemenin yüzey kısmına yakın bölgelerinde iğneli martenzit yapı oluşmaktadır. Malzemenin iç kısımlarına doğru ise perlitik yapının üzerinde sementit oluştuğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki sertlik değerleri maksimuma ulaşmaktadır. Çekirdek bölgeye doğru yapı kabalaşmakta, perlitikbeynitik yapıya dönmektedir. Bu kısımdaki karbon yoğunluğu otektoid nokta yakınlarındadır.

Şekil 4.2 ve Şekil 4.4 de sertlik derinliği 0.3 mm derinliğe kadar maksimum düzeydedir iç bölgelere doğru sertlik değerlerinde önce hızlı bir azalma, daha sonra ise 1.0 mm sertlik derinliğine kadar aynı sertlik değerleri gözlemlenmektedir. Sertlik değerlerindeki artış 4 saatlik karbürizasyon zamanı ile her iki malzeme numunesinde maksimum değere çıkmakta ve karbürizasyon süresindeki artışlarla birlikte sertlik değerlerinin de büyük oranda arttığı gözlemlenmektedir. Burada karbürizasyon sıcaklığında çözünen karbon oranı çoğalmakta ve otektoid üstü bir değere çıkmaktadır. Aynı zamanda sertleşme derinliği ile beraber sertlik değerleri de yükselmektedir. Malzemelerin yüzeylerinden alınabilecek maksimum sertlik değerleri malzemelerin yapılarının bütünüyle martenzite dönmesiyle ilişkilidir. Malzemelerin sertlik değerlerinin değişmesinde birçok etmen rol alabilir. Karbürizasyon süresi ve karbürizasyon sıcaklığı karbürizasyon ortamlarının karbon verme potansiyeli, malzemelerin soğutma hızı ve çeliğin sertleşebilirliği en önemli etmenlerdir (İnt.Kayn.1). Östenit bölgesindeki karbon çözülme oranı ve bu söylenenlerden en önemlisi olan soğutma hızının artmasıyla birlikte sertlik değerlerinde de düşüş görülür. Soğutma hızı aynı zamanda mikroyapının oluşumunu etkileyen önemli bir etmendir. Soğutma hızının düşmesiyle karbon oranının düşmesi, ötektoid öncesi karbit katılımı, kalıntı östenit değerlerinde düşmeye sebep

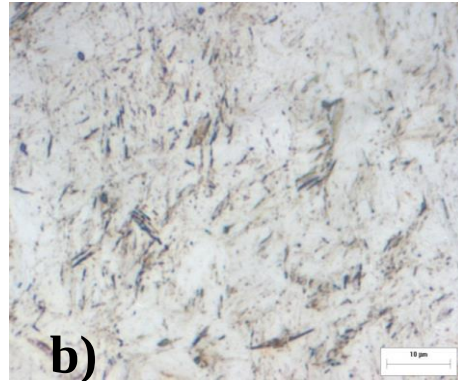
olmakta, ve bunların etkisiyle de sertlik değerleri de azalmaktadır. Bazen karbon miktarı ötektoid noktasından fazla olduğunda düşük sertlik değerleri elde edilir. Bunun sebebi yapıdaki kalıntı östenitlerin büyümesidir (İnt.Kayn.1).



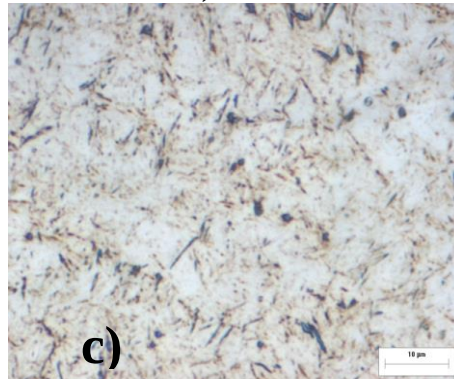
Resim 4.1 SAE 5120 Malzemesinin Sementasyon uygulanmadan önceki mikroyapısıX200



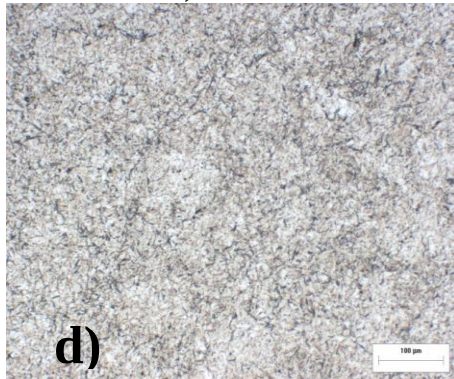
a) 1 saat



b) 2 saat



c) 3 saat

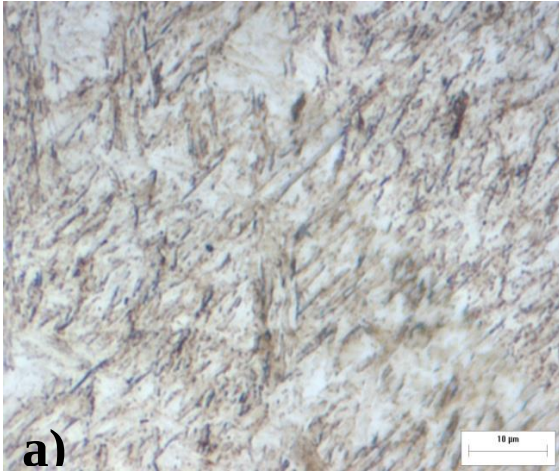


d) 4 saat

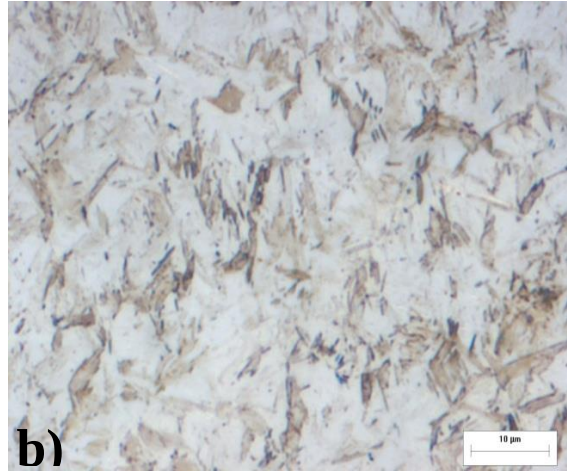
Resim 4.2 SAE 5120 Malzemesinin 1-2-3-4 saat sürelerde sementasyon yapıldıktan sonraki mikroyapılarıX10



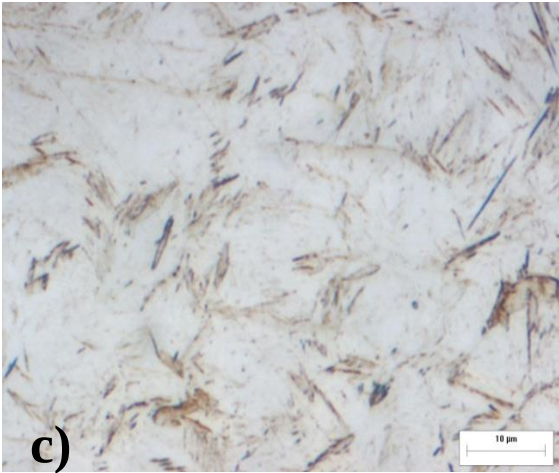
Resim 4.3 SAE 8620 Malzemesinin Sementasyon uygulanmadan önceki mikroyapısıX200



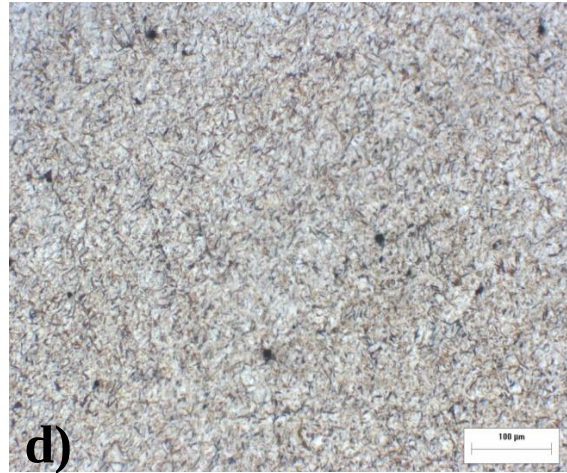
a) 1 saat



b) 2 saat



c) 3 saat



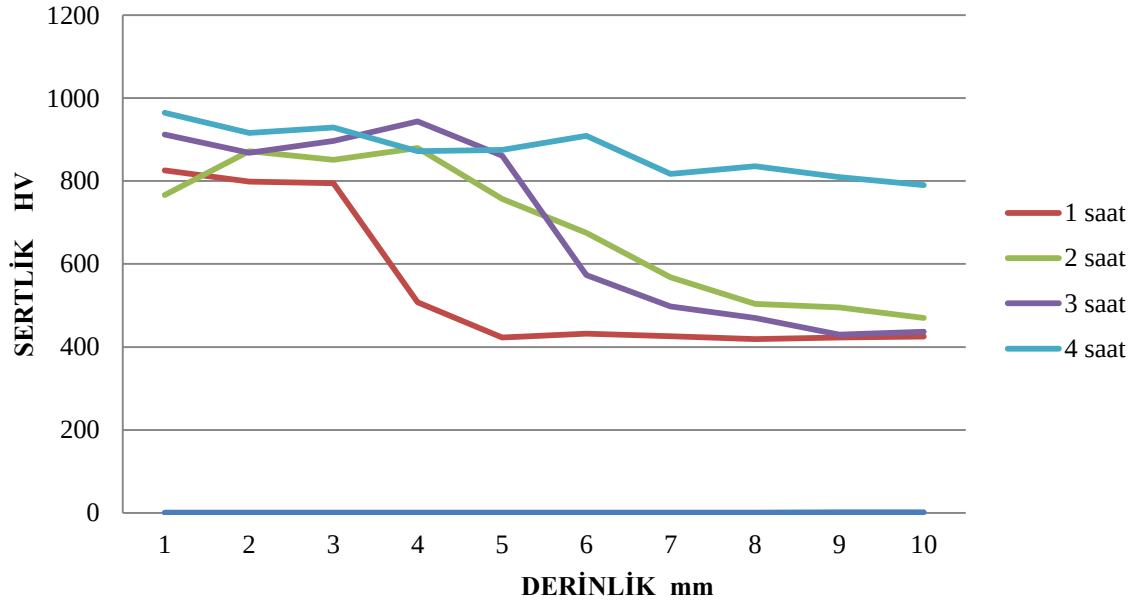
d) 4 saat

Resim 4.4 SAE 8620 Malzemesinin 1-2-3-4 saat sürelerde sementasyon yapıldıktan sonraki mikroyapılarıX10

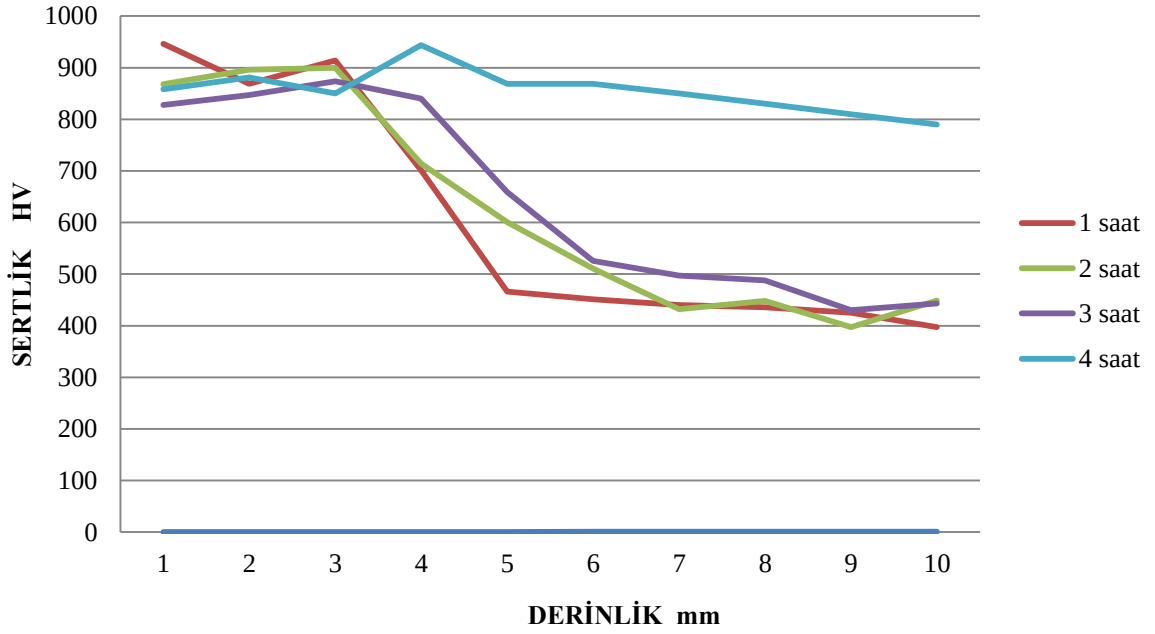
Çizelge 4.1 SAE 5120 ve SAE 8620 Malzemesinin sementasyon işlemi sonrası süreye bağlı sertlik değerleri.

Malzeme adı	5120	8620	5120	8620	5120	8620	5120	8620
Süre (dak)	60		120		180		240	
Derinlik (mm)	karbürleme süresine bağlı sertlik değerleri (HV)							
0,1	826 _(0,5)	946 _(0,5)	766 _(0,5)	868 _(0,5)	912 _(0,5)	828 _(0,5)	965 _(0,5)	858 _(0,5)
0,2	799 _(0,5)	869 _(0,5)	872 _(0,5)	896 _(0,5)	868 _(0,5)	847 _(0,5)	916 _(0,5)	881 _(0,5)
0,3	795 _(0,5)	914 _(0,5)	851 _(0,5)	900 _(0,5)	897 _(0,5)	874 _(0,5)	929 _(0,5)	850 _(0,5)
0,4	508 _(0,5)	701 _(0,5)	880 _(0,5)	714 _(0,5)	944 _(0,5)	840 _(0,5)	872 _(0,5)	944 _(0,5)
0,5	423 _(0,5)	466 _(0,5)	757 _(0,5)	601 _(0,5)	861 _(0,5)	659 _(0,5)	875 _(0,5)	869 _(0,5)
0,6	432 _(0,5)	451 _(0,5)	675 _(0,5)	511 _(0,5)	573 _(0,5)	526 _(0,5)	909 _(0,5)	869 _(0,5)
0,7	426 _(0,5)	440 _(0,5)	568 _(0,5)	432 _(0,5)	498 _(0,5)	497 _(0,5)	817 _(0,5)	850 _(0,5)
0,8	419 _(0,5)	436 _(0,5)	504 _(0,5)	448 _(0,5)	470 _(0,5)	488 _(0,5)	836 _(0,5)	830 _(0,5)
0,9	423 _(0,5)	425 _(0,5)	495 _(0,5)	397 _(0,5)	430 _(0,5)	430 _(0,5)	810 _(0,5)	810 _(0,5)
1,0	425 _(0,5)	397 _(0,5)	470 _(0,5)	449 _(0,5)	437 _(0,5)	443 _(0,5)	790 _(0,5)	790 _(0,5)
ORT.	547 _(0,5)	604 _(0,5)	683 _(0,5)	621 _(0,5)	689 _(0,5)	643 _(0,5)	871 _(0,5)	855 _(0,5)

Şekil 4.1 SAE 7131 Malzemesinin 1-2-3-4 saatlik sementasyon işlemi sonrası elde edilen sertlik değerleri.



Şekil 4.2 SAE 8620 Malzemesinin 1-2-3-4 saatlik sementasyon işlemi sonrası elde edilen sertlik değerleri.



Doğru bir ısıtma işlemine tabi tutulan çeliğin mikroyapısı genellikle temperlenmiş martenzitten oluşur. Malzemenin yüzeyinden çekirdeğine doğru martenzitin yapısı, miktarı ve özellikleri değişir. Karbürizasyon işlemi uygulanmış çeliklerin yüzey kısımlarında, malzemelerin özelliklerini ciddi olarak etkileyen farklı mikroyapılar da oluşabilir. Bu mikroyapılar; kalıntı östenit, kaba karbürler, tane sınırı karbürleri, fosfor segregasyonu ve yüzey oksitleri olabilir (Kraus G. 1991. Hyde, R.S, Krauss G and Matlock, D.K. 1994).

Sementasyondan sonra yapıdaki artık östenit miktarının mümkün olan en az seviyede olması istenir. Bunun gereği olarak ta yüzeydeki kabuk tabakasının karbon miktarı %0.6 – 0.8 arasında olmalıdır. Bu değer geçildiğinde perlit tane sınırlarında sementit oluşmaya başladığı bu durumun da martenzitin iç yapısındaki artık östenit miktarının çoğalmasına sebep olduğu görülmektedir(İnt.Kayn.1).

Çözülme miktarları ile ilgili eşitlikler literatürde vardır(İnt.Kayn.1). östenit bölgesinde maksimum karbon çözülmesi ötektoid sıcaklıkta %0.8, otektik sıcaklıkta %2 ye kadar yükselmektedir. Alaşım maddeleri karbon çözülmesini azaltmakla beraber maksimum sertliğin elde edilebilmesi için soğutmadan sonra fazlasıyla yeterli karbon verilir. Artık östenit oranı artar. Karbon miktarları %0.8-1 aralığında tutulur. Sıcaklık yükseldikçe önceden belirtilen eşitliklerin gösterdiği gibi karbürizasyon süresi azalır. Karbonun aktifliği östenitteki ağırlıkça karbon miktarıyla doğru orantılıdır. Karbon aktivite katsayısının artması ortamdaki karbon miktarına bağlıdır. Çelikte bulunan molibden, nikel, krom, silikon, manganez gibi maddelerin oranları karbon aktivite sayısının büyüklüğüne etki eder. Kabaca her 20 °C lik ısı artışı ile geçişgenlik katsayısı iki kez artar. Ayrıca östenitte fazla C çözüldüğü için karbür ve kalıntı östenit oranında fazla bir artışa yol açmaksızın yüksek sertlik değerleri elde edilir. Krom alaşımlı çeliklerde aynı sıcaklıkta östenit bölgesinde çözünecek karbon oranı alaşımsız çeliklerden daha azdır. Ayrıca Krom, Molibden, Vanadyum, Tungsten gibi karbonu, karbür oluşturmak üzere bağlayan ve böylece karbonun aktivitesini azaltan maddeler çelik yüzeyinde daha fazla karbon yoğunluğunun olmasına sebep olur(İnt.Kayn.1).

Karbürizasyon sürelerinin artması ile karbürizasyona tabi tutulan malzemelerin yüzeylerinden iç kısımlarına doğru yoğunlukları artmaktadır. Bu karbürizasyon derinliği belirli bir sınıra kadar devam etmektedir. Karbürizasyon sıcaklıkları yükseldikçe malzemenin içine doğru karbon yoğunluğunda artış olmaktadır. Literatürde(İnt.Kayn.1). belirtildiği gibi SAE 5120 ve SAE 8620 çelikleri için oldukça derine doğru karbon yoğunluğunda artış olmaktadır SAE 5120 ve SAE 8620 çelikleri 43 mm derinliğe kadar sertleştirilebilmektedir(İnt.Kayn.1). Uygun karbürizasyon derinliği ve sertlik değerleri karbürizasyon parametrelerinin kontrolü ile elde edilir. Sertleştirme işlemleri karbürizasyon sıcaklıklarının 50°C altında yapılırsa düz bir martensit yapı olur. Buna rağmen bu martenzitik yapı içerisinde %20-30 civarında kalıntı östenit ihtiva eder(İnt.Kayn.1). İnce miktarda kabuk ihtiva eden üst kabuk kısmında ise martenzit oluşturma eğilimindedir. Bu şekilde kalıntı östenit miktarı azaltılmış olur. Literatürde SAE 5120 ve SAE 8620 çeliklerine 1050 °C sıcaklıkta karbürizasyona tabi tutulduktan sonra 845 °C 'de sertleştirme yapıldığında mikroyapının aşırı derecede ince olduğu görülmektedir(İnt.Kayn.1). Yapılan testlerde 4 saatlik karbürizasyon sonunda dış kabuk yüzeyinde görülen martensit incedir. Resim 4.2 ve Resim 4.4 optik mikroskopta artık ostenit görülmemiştir. Buna karşılık karbitler parlak beyaz olarak görülmüştür. SAE 5120 ve SAE 8620 çelikleri yüksek oranlarda kalıntı ostenit ihtiva ederse yorulma çatlağının başlamasına sebebiyet verir. Şayet karbürizasyon sıcaklığından direkt olarak soğutma işlemi yapılırsa yapının kaba taneli olmasına ve dolayısıyla çatlak sayısının artmasına sebep olunur. İnce taneler az sayıda mikro çatlğa sebep olacak, sertlik değerini yükseltecek ve kalıntı ostenit miktarını düşürecek, böylece yüksek yorulma dayanımı sağlayacaktır. Karbürizasyondan sonra karbon miktarı otektoid sınırını geçtiğinde sertleştirme için bekletilen sıcaklık demir-sementit denge diyagramında ostenit-sementit fazlarının bulunduğu bölgeye gelir. Bu da mikro yapıya etki eder. Sıcaklık yüksek tutulduğunda östenit tane büyüklüğü artar. Sıcaklığın azalmasıyla ostenit tane yapısında incelme görülür(İnt.Kayn.1). Karbon, Nikel, Fosfor ihtiva eden çeliklerde Karbon ve Fosfor ostenit tane sınırlarında yoğunlaşarak tanelerin ayrılması eğilimindedir(İnt.Kayn.1). Sertlik derinliğinin artması yüzeydeki artık basma gerilmesinin minimum olduğu noktayı içeri çeker ve artık basma kuvvetinin artması, çekirdekdeki artık çekme kuvvetinin, dolayısıyla artık çekme gerilmesi akma sınırını geçtikten sonra yüzeydeki basma dayanımı düşer. Bu durum

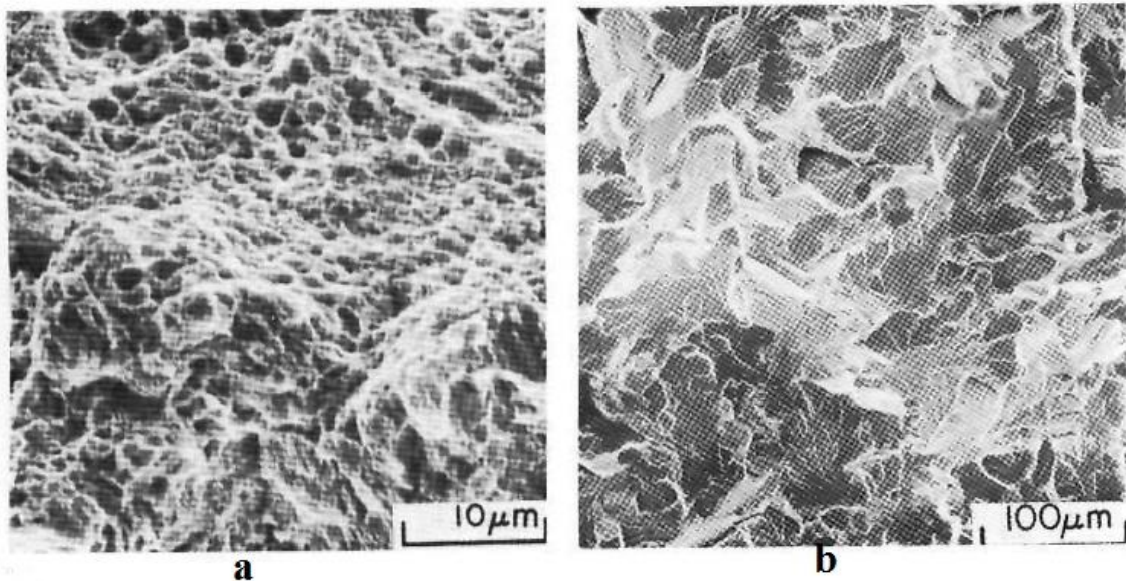
yorulma direncini olumsuz yönde etkiler. Bu durumu önlemek için çekirdek mukavemeti zayıf çeliklere sertlik derinliği fazla, mukavemeti iyi olanlara ise daha az sertlik derinliği verilmelidir(İnt.Kayn.1).

Çizelge 4.2 SAE 5120 ve 8620 Malzemelerinin 1-2-3-4 saatlik sementasyon işlemi sonrası elde edilen kopma dayanımı ve çentik darbe testi değerleri.

SAE 5120ve 8620 Malzemesinin 1-2-3-4 saatlik sementasyon işlemi sonrası elde edilen kopma dayanımı ve çentik darbe testi değerleri

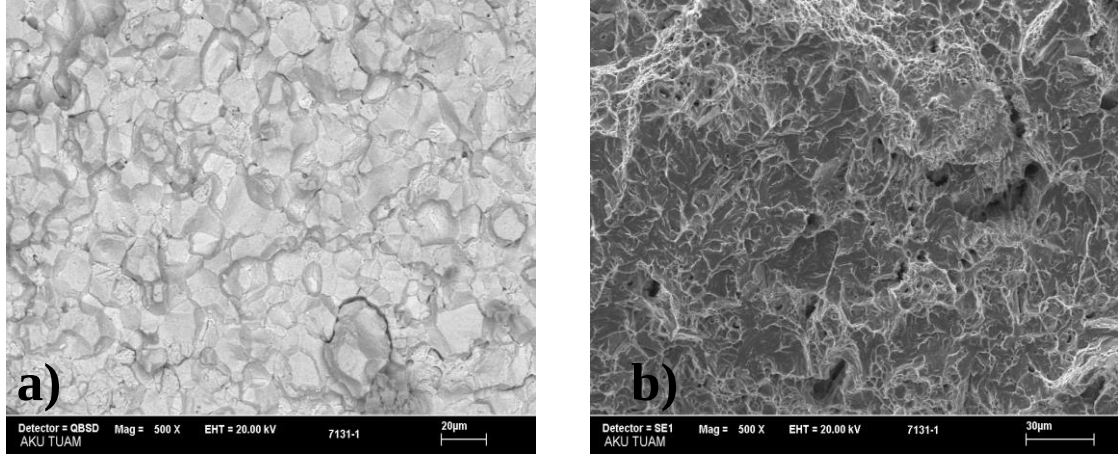
Malzeme türü	Çeşitli karbürleme sürelerinde Kopma testi (kg/f) ve Darbe dayanımı (Joul) değerleri							
	1 saat		2 saat		3 saat		4 saat	
	Kg/f	J	Kg/f	J	Kg/f	J	Kg/f	J
5120	1800	11,4	2200	8,7	1750	5,5	1453	4,8
8620	1200	10	2250	11,1	1750	8,3	1658	7,2

Resim 4.5 de görülen %99 yırtılma şeklinde sünek kırılma davranışı gösteren tamamen perlitik olan AISI 1080 çeliğine ait resim görülmektedir. SAE 5120 ve SAE 8620 malzemelerine ait SEM görüntüleri Resim 4.6-13 de AISI 1080 çeliğine göre daha az sünek Sementasyon süresi arttıkça süneklik daha da düşmektedir. Yüzeyi karbonca zenginleştirilen çeliklerin yüzey sertlikleri ve tokluklarında artış sağlanırken daha fazla sementasyon sürelerinde ise tokluk değerlerinde düşüş görülmektedir(İnt.Kayn.1).



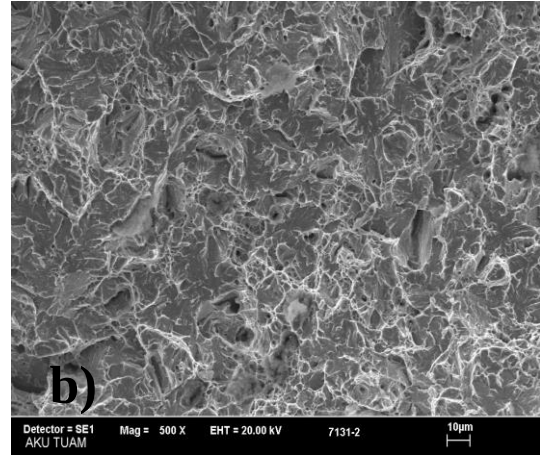
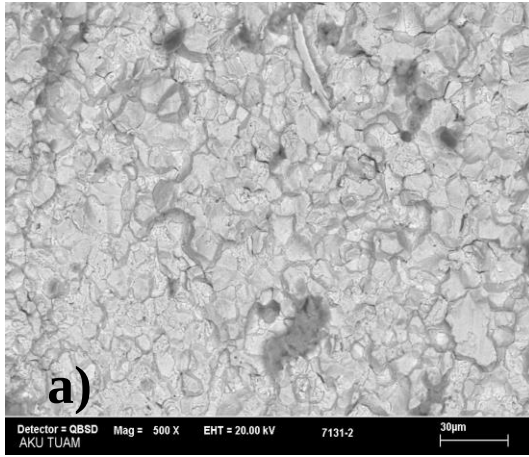
Resim 4.5 AISI 1080 çeliğine ait SEM görüntüsü yarılma çatlağı şeklinde yırtılma(İnt.Kayn.2).

Resim 4.6 da 930 °C de 1saat süreyle Sementasyon işlemine tabi tutulmuş 5120 malzemesinin charpy darbe-tokluk deneyi numunelerinin deney sonucundaki kırılma görüntülerinin SEM mikroskopundaki X500 a) geri yansıyan elektron, b) ikincil elektron görüntüleri görülmektedir. Resimden de anlaşılabacağı gibi 1 saatlik sementasyon işlemi uygulanmış deney numunesinde ortalama HV değeri 547_(0,5), darbe tokluk değeri ise 11,4 J olarak hesaplanmıştır.



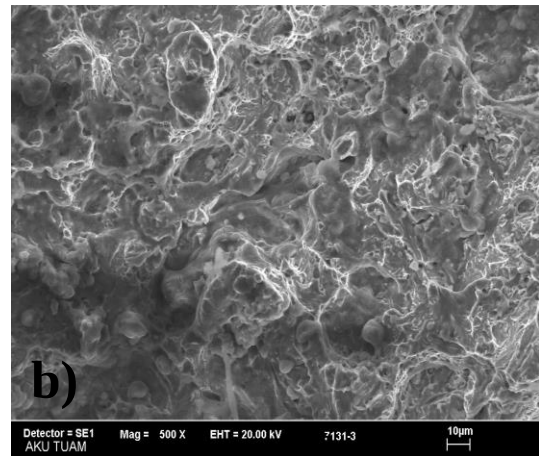
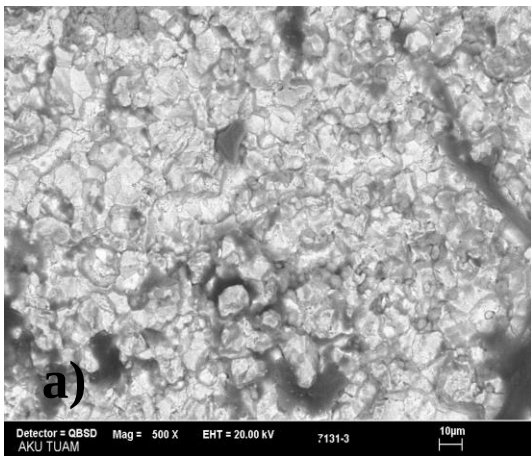
Resim 4.6 930 °C de 1 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500

Resim 4.7 de 930 °C de 2 saat süreyle sementasyon işlemine tabi tutulmuş 5120 malzemesinin charpy darbe-tokluk deneyi numunelerinin deney sonucundaki kırılma görüntülerinin SEM mikroskopundaki X500 a) geri yansıyan elektron, b) ikincil elektron görüntüleri görülmektedir. Resimden de anlaşılabacağı gibi 2 saatlik sementasyon işlemi uygulanmış deney numunesinde ortalama HV değeri 683_(0,5), darbe tokluk değeri ise 8,7 J olarak hesaplanmıştır. Bu görüntülerde bal peteği görüntüsünde meydana gelen yapılarda sünek kırılmanın oluştuğu görülmektedir.



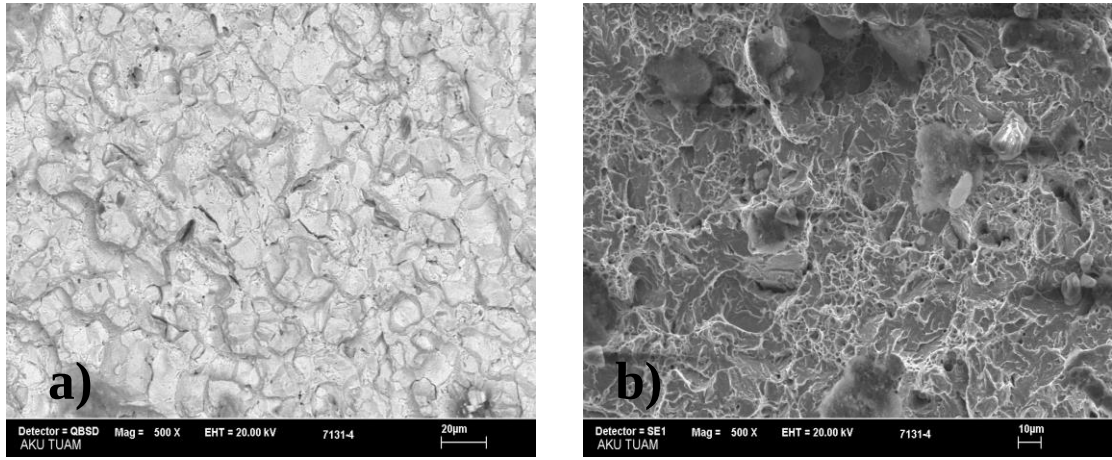
Resim 4.7 930 oC de 2 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500

Resim 4.8 de 930 °C de 3 saat süreyle sementasyon işlemine tabi tutulmuş 5120 malzemesinin charpy darbe-tokluk deneyi numunelerinin deney sonucundaki kırılma görüntülerinin SEM mikroskobundaki X500 a) geri yansıyan elektron, b) ikincil elektron görüntüleri görülmektedir. 3 saatlik sementasyon işlemi uygulanmış deney numunesinde ortalama HV değeri $689_{(0,5)}$, darbe tokluk değeri ise 5,5 J olarak hesaplanmıştır. Bu SEM görüntülerinde kırık yüzeylerde oluşan iğnemsî yapılardan uzaklaşıldığı ve daha keskin yüzeylerin oluştuğu görülmekte ve süneklik azalmaktadır.



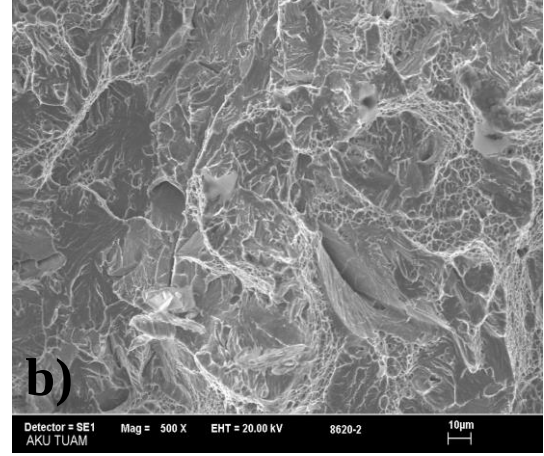
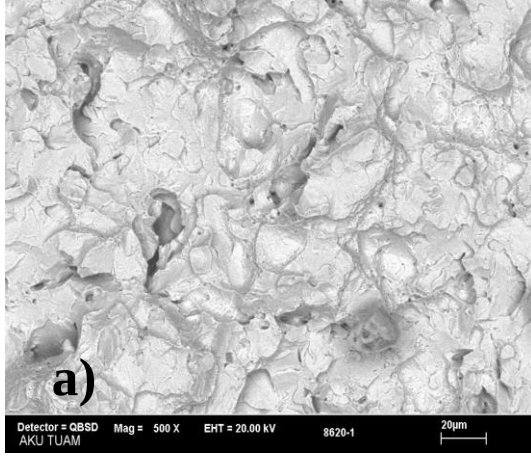
Resim 4.8 930 °C de 3 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500

Resim 4.9 da 930 °Cde 4 saat süreyle sementasyon işlemine tabi tutulmuş 5120 malzemesinin charpy darbe-tokluk deneyi numunelerinin deney sonucundaki kırılma görüntülerinin SEM mikroskobundaki X500 a) geri yansıyan elektron, b) ikincil elektron görüntüleri görülmektedir. 4 saatlik sementasyon işlemi uygulanmış deney numunesinde ortalama HV değeri 871_(0,5), darbe tokluk değeri ise 4,8 J olarak hesaplanmıştır ve tokluk değerinde düşüş olmuştur.

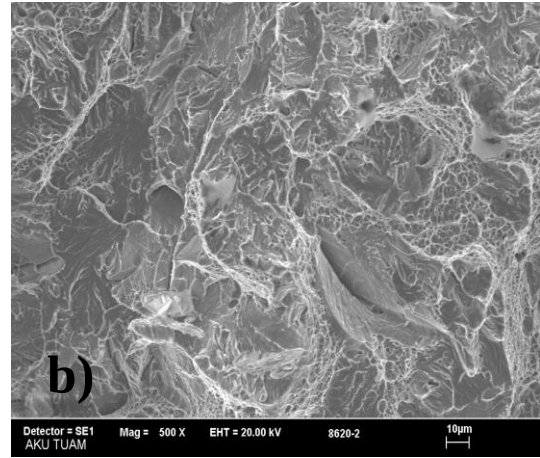
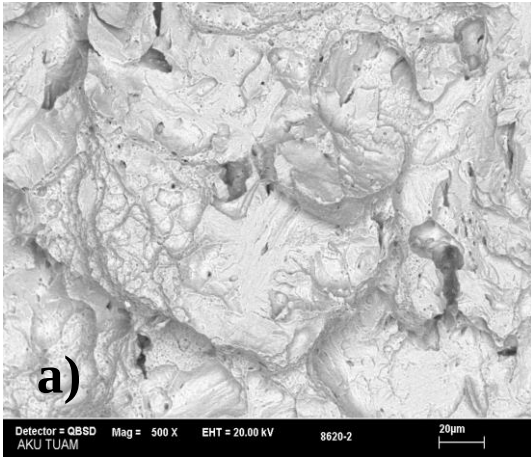


Resim 4.9 930 °C de 4 saat süreyle sementasyon yapılmış 5120 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500

Resim 4.10-11 de 930 °C de 1 ve 2 saat süreyle sementasyon işlemine tabi tutulmuş 8620 malzemesinin charpy darbe-tokluk deneyi numunelerinin deney sonucundaki kırılma görüntülerinin SEM mikroskobundaki X500 a) geri yansıyan elektron, b) ikincil elektron görüntüleri görülmektedir. SEM görüntülerinde 1 ve 2 saatlik sementasyon işlemi uygulanmış deney numunelerinde sünek kırılma oluşmuştur.

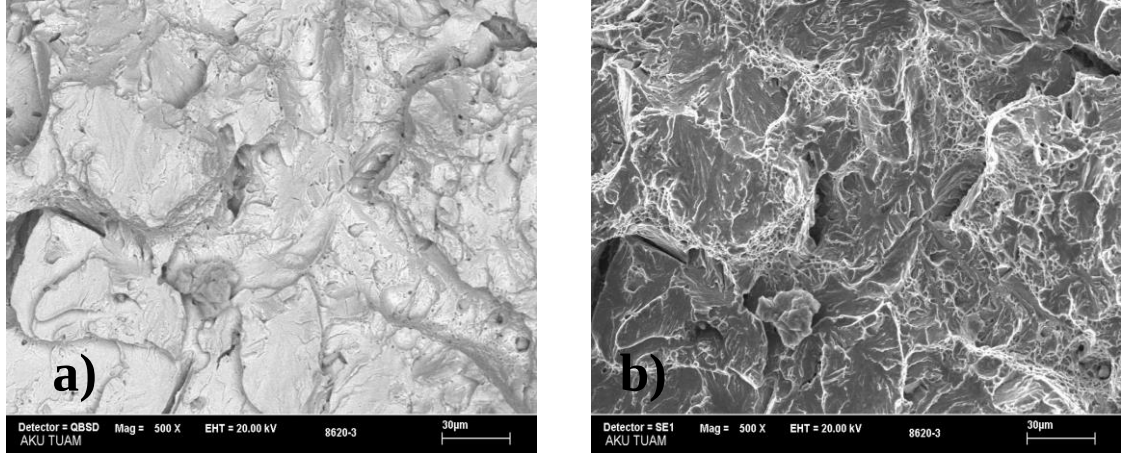


Resim 4.10 930 °C de 1 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500

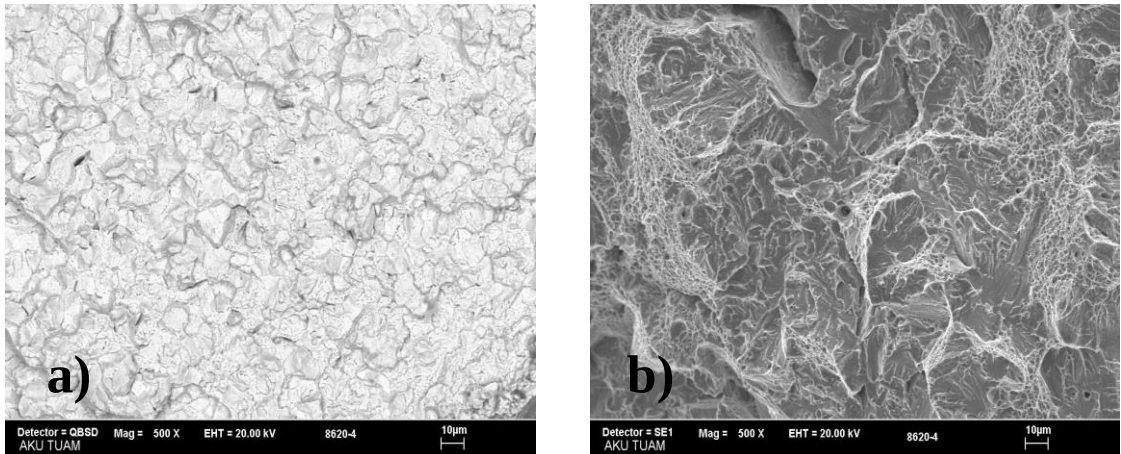


Resim 4.11 930 °C de 2 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500

Resim 4.12-13 de 930 °C de 3 ve 4 saat süreyle sementasyon işlemine tabi tutulmuş 8620 malzemesinin charpy darbe-tokluk deneyi numunelerinin deney sonucundaki kırılma görüntülerinin SEM mikroskopundaki X500 a) geri yansıyan elektron, b) ikincil elektron görüntülerinde sementasyon süresine bağlı olarak süneklik azalmakta ve tokluk düşmektedir.



Resim 4.12 930 °C de 3 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500



Resim 4.13 930 °C de 4 saat süreyle sementasyon yapılmış 8620 çeliğinin a) Geri yansıyan elektronla b) II. Elektron yapılmış SEM görüntüleri X500

Her iki deney malzemesinin SEM görüntüleri ile darbe tokluk değerlerini karşılaştırdığımızda, malzemelerde sementasyon süresi arttıkça sertlik değerleri artmaktadır. Fakat malzemelerin sünekliğinde ve tokluk değerlerinde ise sementasyon süresinin artması ile azalma olduğu ve sementasyon süresi en fazla olan malzemenin en az sünek malzeme olduğu görülmüştür.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

1. SAE5120 çeliğinin Sementasyon işlemi yapılmadan önce sertlik değeri $207_{(0,5)}$ HV iken (TS EN 10084) sementasyon süresine bağlı olarak sertlik değerleri;
1 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $547_{(0,5)}$ HV
2 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $683_{(0,5)}$ HV
3 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $689_{(0,5)}$ HV
4 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $871_{(0,5)}$ HV' olarak ölçülmüştür.
2. SAE8620 çeliğinin Sementasyon işlemi yapılmadan önce sertlik değeri $250_{(0,5)}$ HV iken (TS EN 10084) sementasyon süresine bağlı olarak sertlik değerleri ;
1 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $604_{(0,5)}$ HV
2 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $621_{(0,5)}$ HV
3 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $643_{(0,5)}$ HV
4 saatlik sementasyon süresinden sonra ; $855_{(0,5)}$ HV' olarak ölçülmüştür.
3. SAE5120 çeliğinin Sementasyon işlemi yapılmadan önce kopma mukavemeti 880-1180 MPa iken (TS EN 10084) sementasyon süresine bağlı olarak kopma mukavemeti değerleri (Kg/f);
1 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 1800 Kg/f
2 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 2200 Kg/f
3 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 1750 Kg/f
4 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 1453 Kg/f olarak hesaplanmıştır
4. SAE5120 çeliğinin Sementasyon işlemi yapılmadan önce sertlik darbe mukavemeti 34 Joule iken (TS EN 10084) sementasyon süresine bağlı olarak darbe dayanımı değerleri;
1 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 11,4 Joule
2 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 8,7 Joule
3 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 5,5 Joule
4 saatlik sementasyon süresinden sonra ; 4,8 Joule olarak hesaplanmıştır.
5. SAE8620 çeliğinin Sementasyon işlemi yapılmadan önce kopma mukavemeti 980-1270 MPa iken (TS EN 10084) sementasyon süresine bağlı olarak kopma

- mukavemeti değerleri (Kg/f) ;
- | | |
|--|--------------------------|
| 1 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 1200 Kg/f |
| 2 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 2250 Kg/f |
| 3 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 1750 Kg/f |
| 4 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 1658 Kg/f bulunmuştur. |
6. SAE 8620 çeliğinin Sementasyon işlemleri yapılmadan önce çeliğin darbe mukavemeti 41 Joul iken sementasyon süresine bağlı olarak darbe mukavemeti;
- | | |
|--|-----------------------------------|
| 1 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 10 Joul |
| 2 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 11,1 Joul |
| 3 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 8,3 Joul |
| 4 saatlik sementasyon süresinden sonra | ; 7,2 Joul olarak hesaplanmıştır. |
7. Karbürleme süresi 4 saat ve üzerine çıkıldığında, karbürlenen malzemelerin kabuk kısmının sertlik değerinde aşırı bir artış olduğu gözlemlenmektedir.
8. Deney numunelerinin mikroyapıları incelendiğinde üst kısım ötektoid üstü, iç kısımlara doğru ötektoid ve çekirdeğe yakın bölgeler ferritik ve beynitik yapılardan oluştuğu görülmektedir.
9. Sertleştirilen numunelerin dış kabuk kısmında oluşan küçük tanelerin sertlik değerleri artmakta, iç kısımlara doğru tane boyutlarında kabalaşma ve bunun sonucu sertlik değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Alkın, S.G. (1993) " Sementasyon Çeliklerinin Isıl İşlemi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul s:9-78
- Asi, O., Can, A.Ç. (2001). Sementasyon Çeliklerinde Kösertleştirilmiş ve Sementasyon Yapılmış Durumlarda Meydana Gelen Artık Gerilmelerin Karşılaştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Yıl:2001, Cilt:7, Sayı:2, S: 183-187
- Asi, Osman. (2004). Sementasyon Yapılan SAE 8620 Çeliğinde Meydana Gelen Kalıntı Östenit Miktarlarının İncelenmesi, *G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* **17(4)**: 103-113
- Asil Çelik Yayınları*, (1982)." Sementasyon Çelikleri", Cilt:5, İstanbul
- Asil Çelik Yayınları*, (2000)." Sementasyon Çelikleri", Teknik Yayınlar, Bölüm:5, Mayıs, İstanbul, 132-160
- Avcı, Canan. (1985) "Ç.1020 Çeliğinin Sementasyonunda Ortam ve Zamanın Sertleşme Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Osman Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir
- Çetinarslan, C.S. (1997). Sertleştirilmiş Soğuk-İş Takım Çeliklerinin Yorulma Dayanımlarının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Hyde, R.S., Krauss, G. and Matlock, D.K. (1994). "Phosphorus and Carbon Segregation: Effects on Fatigue and Fracture of Gas-Carburized Modified 4320 Steel", *Metallurgical and Materials Transactions A*, Volume 25 A, June 1994, 1229-1239
- Krauss, G. (1989). "Steels: Heat Treatment and Processing Principles", ASM

İnternational, Metals Park, OH, 291-305

Krauss, G. (1991). "Microstuructures and Properties Of Carburized Steels", Metals Handbook, Volume 4: Heat Treating, ASM İnternational, Metals Park, OH, 363-375

KOSGEB, (1994). "Çelik Malzemelerin Seçimi ve Standartları", Ankara Eğitim Merkezi, Yayın No:8, Ankara, S: 26-40

Oygur, A. (1988). "Alaşımsız Çeliklerde Isıl İşlem", Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, S: 14-51

Özsaraç,U. Yılmaz,R. Ekerer,F.A. Uzun,H., (2001). "Sementasyon İşlemi yapılan Çeliklerde Mikro sertlik ve Mikroyapı Değişiminin İncelenmesi", *Metalurji Dergisi*, Cilt. ,pp. 34 - 38 ,Aralık

Pamuk Özer (2001) "Yüzeyi Karbürlenmiş AISI 8620 Sementasyon Çeliğinin Merkezinde Çift Fazlı Çelik Yapısının Üretimi ve Bu Yapının Çekme Özellikleri Üzerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

Pekgöz, b., Sarıdemir, s., Uygur, İ., Aslan, Y. (2013). "Sementasyon İşleminin Farklı Çeliklerin Mikroyapı ve Sertlik Değerlerine Etkileri", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2013, **(10)** 19-24

Sağın, A. (1994) "Sementasyon ve Nitrürasyonla Sertleştirilmiş Çeliklerin Korozyon Davranışları Açısından İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Tabur, M. (2003). "Farklı Isıl İşlemlerdeki 8620 Sementasyon Çeliğinin Abrasiv Aşınma Davranışları", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara S:37

Thelning, K. E. (1984). "Çelik ve Isıl İşlemi", Bofors El Kitabı, Çeviren; Adnan TEKİN, İstanbul, 6-29, 344-373

Topbaş, M. Ali. (1993). Isıl İşlemler, 68-270.

Topbaş, M. Ali. (1998). Çelik ve Isıl İşlem Atlası, 8-10.

TS EN 10052. (2002). Demir Esaslı Mamullerin Isıl İşlemleri İle İlgili Terimler, Türk Standartları Enstitüsü

TS EN 10084. (2009). Alaşımli veya Alaşımsız Çeliklerden Üretilmiş Ürünlerin Teknik Teslim Şartları, Türk Standartları Enstitüsü

TSE 1719. (1974). Çeliklerin Sementasyon (Karbürleme) ve Sertleştirmesinde Elde Edilen Etkili Derinliğin Tayini ve Kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü

Wegst, C.W. (2001) " Stahlschlüssel" s:20

İnternet Kaynakları

1. www.metalurji.org.tr/dergi/dergi127/der127_34 Erişim Tarihi: 13.04.2015
2. Asm Handbook Volume12 Erişim Tarihi: 13.04.2015
3. www.haddemetal.com/tr/Download/Sementasyon.pdf Erişim Tarihi: 13.04.2015
4. www.metalurjiakdag.com.tr/dosya/seminer-notlari-2013.pdf Erişim Tarihi: 13.04.2015
5. www.ktu.edu.tr/dosyalar/14_14_00_d2db2.pdf Erişim Tarihi: 13.04.2015

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : MUSTAFA KAYA
Doğum Yeri ve Tarihi : KDZ.EREĞLİ 08/08/1971
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
İletişim (Telefon/e-posta) : 0 539 290 42 82 mkaya09@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kdz.Ereğli Teknik ve EML. 1990
Önlisans : Hacettepe Üniv. Alaplı MYO. Döküm Bölümü 1992
Lisans : Gazi Üniv. TEF. Metal Eğt. ABD. Döküm Öğrt. 1998
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
2015

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Milli Eğitim Bakanlığı 1998 -