

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KUTU SEMENTASYONUNDA KARBÜRLEME SÜRESİ, KARBÜRLEME SICAKLIĞI
VE AKTİVATÖR ORANININ ETKİLİ SEMENTASYON DERİNLİĞİNE ETKİLERİ

Ahmet Nuri YILMAZ

Yönetici : Doç. Dr. Mehmet YÜKSEL

TRABZON Haziran - 1985

Yük mak 3

ÖNSÖZ

Çeşitli mühendislik dallarında büyük kullanım alanları bulan çelik malzemeler her alanda istenilen özellikleri sağlayamamaktadır. Bu nedenle çelik malzemelere ısı işlemler uygulanmakta ve belirli şartları yerine getirmeleri sağlanmaktadır. Bu ısı işlemlerden biri de kabuk sertleştirme yöntemlerinden olan sementasyondur.

Sementasyon, malzeme yüzeyine karbon vererek sertleşmesini sağlamaktır. Bu çalışmada kutu sementasyonu yöntemi kullanılarak C15 kalitesindeki çelik malzeme ile yapılan deneyler sonucunda karbürleme süresi, karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranının etkili sementasyon derinliğini nederece etkilediği araştırılmıştır.

Çalışmalarım süresince değerli yardımlarını esirgemeyen ve yönlendirici bilgilerinden faydalandığım Hocam, Doç. Dr. Mehmet YÜKSEL'e ve yardımlarını gördüğüm arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Trabzon 1985

Ahmet Nuri YILMAZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

1.	GİRİŞ	1
2.	SEMENTASYON	1
2.1.	Karbürleme	6
2.1.1.	Tuz banyosunda karbürleme	6
2.1.2.	Gaz ortamda karbürleme	7
2.1.3.	Kutu(Parçacık) karbürlemesi	8
2.2.	Sertleştirme	15
3.	DENEYLER	19
3.1.	Deneylerde kullanılan numuneler ve hazırlanışları.	19
3.2.	Deney düzeneği(Fırın ve sementasyon kutuları) ..	22
3.3.	Karbürleme malzemeleri	22
3.4.	Deneylerin yapılışı	22
3.4.1.	Karbürleme	22
3.4.2.	Sertleştirme	23
4.	MALZEME MUAYENELERİ ve DENEY SONUÇLARI	23
4.1.	Yüzey sertliği ölçümleri	23
4.2.	Metalografik inceleme	23
4.3.	Mikrosertlik ölçümleri	26
4.4.	Etkili sementasyon derinliği hesabı	27
5.	DEĞERLENDİRME GRAFİKLERİ	61
6.	İRDELEME	71
7.	KAYNAKLAR	76

1. GİRİŞ

Dinamik yükler altında çalışan bazı makina parçalarında 'sert ve aşınmaya dayanıklı bir yüzey' ve bunun yanında mümkün olduğu kadar iyi bir 'yorulma dayanımı' istenir. Yani bu tür parçalarda istenilen özellikler değişik karakterdedir. Malzeme arzu edilen bu özellikleri verebilmek için, malzemenin şekline, boyutuna ve cinsine göre değişen çeşitli kabuk sertleştirme yöntemleri uygulanır.

Kabuk sertleştirilmesi, iç kısımlarının yumuşak kalması istenen çelik parçaların sadece dış kısımlarına yüksek sıcaklıklarda difüzyon yoluyla bir veya birkaç element katarak sertleştirmektir. Sementasyon, nitrürleme, karbonitrürleme, kromlama, sülfürleme, silisleme, borlama, vanadlama gibi kabuk sertleştirme yöntemleri arasında en yaygın olanları nitrürleme ve sementasyondur.

Kabuk sertleştirilmesi sonucunda malzeme yüzeyinde elde edilen sert kabuğun, malzemenin elastik deformasyonuna müsaade edecek kadar ince ve aşınmalardan etkilenmeyecek kadar da kalın, yani 'en az ve yeteri kadar' olması gerekir. Bu çalışmada, kutu sementasyonu yöntemi ile deneyler yapılmış, karbürleme sıcaklığı, karbürleme süresi ve aktivatör oranının kabuk kalınlığını ne derece etkilediği araştırılmıştır.

2. SEMENTASYON

Sementasyon, diğer kabuk sertleştirme yöntemleri gibi düşük karbonlu çeliklere uygulanan bir sertleştirme yöntemidir. Semente edilen çelikler, karbon oranları % 0,2 nin altında olan ve TS 2850 (DIN 17210)'e göre standartlaştırılmış sementasyon çelikleridir. (Tablo:2-1) Bu çelikler, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara maruz kalan parçaların imalinde kullanılan düşük karbonlu, alaşımsız ve alaşımlı çeliklerdir.

ÇELİK		KİMYASAL BİLEŞİM (% Ağırlık) (ağ.%)							
Kısa İşareti	Malz.No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
KALİTE ÇELİKLERİ									
C 10	1.0301	0.07 0.13	0.15 0.35	0.30 0.60	- 0.045	- 0.045	-	-	-
C 15	1.0401	0.12 0.18	0.15 0.35	0.30 0.60	- 0.045	- 0.045	-	-	-
Soy ASAL ÇELİKLERİ									
Ck 10	1.1121	0.07 0.13	0.15 0.35	0.30 0.60	- 0.035	- 0.035	-	-	-
Ck 15	1.1141	0.12 0.18	0.15 0.35	0.30 0.60	- 0.035	- 0.035	-	-	-
15 Cr 3	1.7015	0.12 0.18	0.15 0.40	0.40 0.60	- 0.035	- 0.035	0.40 0.70	-	-
16 MnCr 5	1.7131	0.14 0.19	0.15 0.40	1.00 1.30	- 0.035	- 0.035	0.80 1.10	-	-
20 MnCr 5	1.7147	0.17 0.22	0.15 0.40	1.10 1.40	- 0.035	- 0.035	1.00 1.30	-	-
20 MoCr 4	1.7321	0.17 0.22	0.15 0.40	0.60 0.90	- 0.035	- 0.035	0.30 0.50	0.40 0.50	-
25 MoCr 4	1.7325	0.23 0.29	0.15 0.40	0.60 0.90	- 0.035	- 0.035	0.40 0.60	0.40 0.50	-
13 NiCr 6	1.5713	0.10 0.17	0.15 0.35	0.40 0.70	- 0.035	- 0.035	0.65 0.85	-	1.35 1.50
14 NiCr 14	1.5752	0.10 0.17	0.15 0.35	0.40 0.70	- 0.035	- 0.035	0.55 0.95	-	3.25 3.75
15 CrNi 6	1.5919	0.12 0.17	0.15 0.40	0.40 0.60	- 0.035	- 0.035	1.40 1.70	-	1.40 1.70
18 CrNi 8	1.5920	0.15 0.20	0.15 0.40	0.40 0.60	- 0.035	- 0.035	1.80 2.10	-	1.80 2.10
17 CrNiMo 6	1.6587	0.14 0.19	0.15 0.40	0.40 0.60	- 0.035	- 0.035	1.50 1.80	0.25 0.35	1.40 1.70
21 NiCrMo 2	1.6523	0.17 0.23	0.15 0.40	0.60 0.90	- 0.035	- 0.035	0.35 0.65	0.15 0.25	0.40 0.70
Soy ASAL ÇELİKLER (Kükürt Miktarı Belli Sınırlar İçinde Olanlar)									
Cm 15	1.1140	0.12 0.18	0.15 0.35	0.30 0.60	- 0.035	0.020 0.035	-	-	-
16 MnCrS 5	1.7139	0.14 0.19	0.15 0.40	1.00 1.30	- 0.035	0.020 0.035	0.80 1.10	-	-
20 MnCrS 5	1.7149	0.17 0.22	0.15 0.40	1.10 1.40	- 0.035	0.020 0.035	1.00 1.30	-	-
20 MoCrS 5	1.7323	0.17 0.22	0.15 0.40	0.60 0.90	- 0.035	0.020 0.035	0.30 0.50	0.40 0.50	-
25 MoCrS 5	1.7326	0.23 0.29	0.15 0.40	0.60 0.90	- 0.035	0.020 0.035	0.40 0.60	0.40 0.50	-

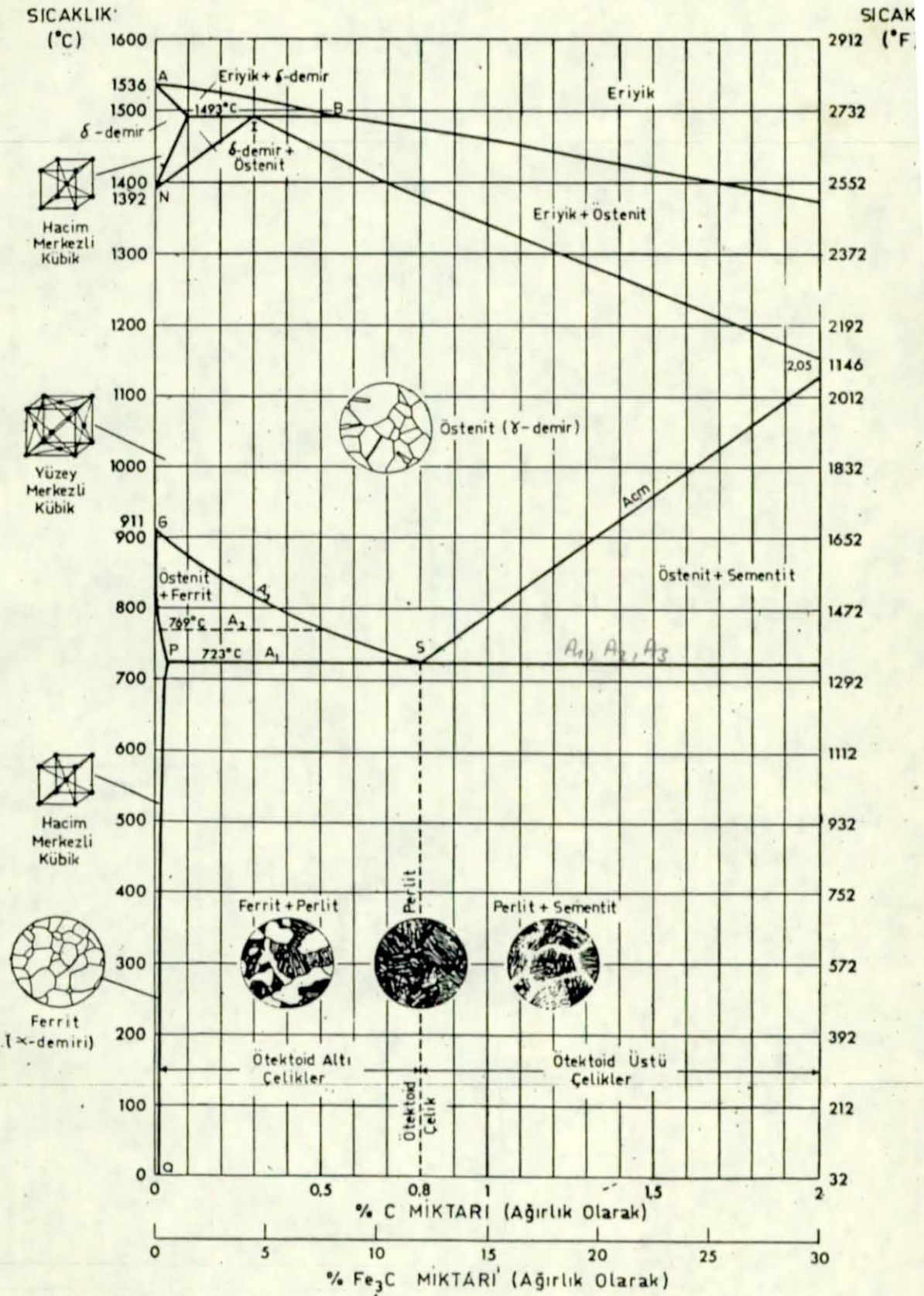
Tablo:2-1. Sementasyon çelikleri (TS 2850, DIN 17210)

Sementasyon çelikleri, dişliler, miller piston pimleri, zincir baklaları, zincir dişlileri ve makaraları, diskler, kılavuz yatakları, rulmanlı yataklar, merdaneler, bir kısım ölçü ve kontrol aletleri, orta zorlamalı veya ^{çok} zorlamalı parçalar, soğuk şişirilerek veya fışkırtılarak (ekstürüzyon) şekillendirilen parçalar, kesici takımlar gibi parçaların imalinde kullanılırlar.

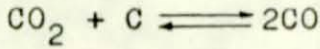
Sementasyon çeliklerinin kullanımı, yüzeyde aynı sertlik değerini verecek yüksek karbonlu çeliklerin kullanımına nazaran aşağıdaki avantajları sağlar.

- Sementasyon işlemi, parça kısmen veya tamamen son şeklini aldıktan sonra uygulandığı için, parçanın işlenmesi oldukça kolaydır.
- Parçanın yüzeyinde sonradan işlenecek, sertleşmesi istenmeyen kısımlar varsa, bu bölgeler özel pasta veya elektrolitik bakır ile kaplanarak örtülür. Sementasyon işlemi bu kısımlara tesir edemeyeceğinden sonradan kolayca işlenir.
- Sementasyon işlemi sonrasında, çekirdek bölgesi yumuşaklığını koruyacağından, sertleştirme sırasında ortaya çıkabilecek çarpılmalar oldukça azdır.
- Sementasyon çelikleri, yüzeyde aynı sertliği verebilecek çoğu zaman takım çeliği durumundaki yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuzdur.

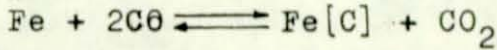
Sementasyon, esas itibarıyla düşük karbonlu çelik parçasının yüzeyine karbon emdirilme, daha sonra sertleştirme işlemidir. Karbon emdirme işlemi, çelik parçasının karbonmonoksit (CO) gazı ihtiva eden bir ortamda ostenit faz sıcaklığına (AC_3 sıcaklığının üstünde bir sıcaklığa) kadar ısıtılmasıyla, gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşur. Bu sıcaklığa karbürleme sıcaklığı adı verilir.



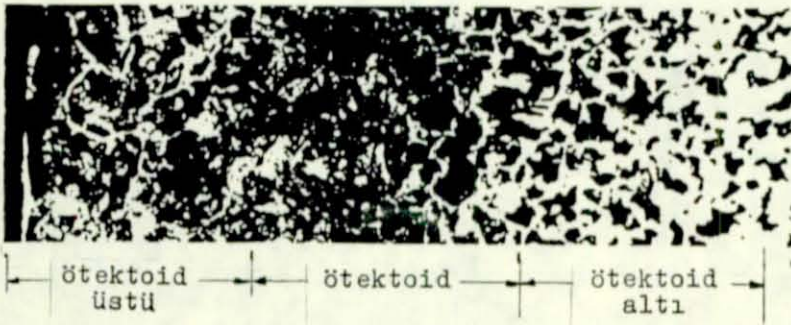
Şekil: 2.1 Demir-Karbon Denge Diyagramı (Metastabil sistem)
(Çelik kısmı)



reaksiyonuna göre oluşan karbonmonoksit, kullanılan karbürleme sıcaklığında ostenit faza getirilmiş olan çelik parçasının yüzeyinde parçalanır ve açığa çıkan atomik karbon (C), çelik bünyesine girerek çözünür. Aşağıdaki reaksiyon bunu göstermek için verilmiştir.



Burada Fe[C] ostenit fazda çözünen karbonu ifade etmektedir. Çelik parça, karbürleme sıcaklığında, karbon difüzyonunun arzu edilen derinliğe kadar ilerlemesi için yeterli süre tutulur. Bu süreye karbürleme süresi adı verilir. Karbürleme süresi boyunca, çelik parçasının yüzeyinden içeriye doğru giren karbonun ilerleme derinliğine karbürleme derinliği adı verilir. Eğer çelik parça karbürleme sıcaklığından yavaşca soğutulursa karbürleme derinliği boyunca değişen, karbon miktarına bağlı olarak çeşitli yapılar oluşur. Bu yapılar, çelik parçasının karbürleme sonrası fırında yavaş soğutulularak kesitinin mikroskopta incelenmesiyle açıkça görülebilir. Parça kesitine bakıldığında yüzeyde oluşan ötektoid üstü bölgede sementit ve perlit yapıları görülür. Bunun altında oluşan ötektoid bölge sadece perlitik yapıdadır. Daha sonra perlit ve ferrit yapılarından oluşan ötektoid altı bölge gelir ve karbürleme derinliğinden itibaren düşük karbonlu (ferrit oranı fazla) normal sementasyon çeliği iç yapısına varılır. (Şekil: 2.2)



Şekil:2-2. Karbürlemeden sonra parça kabuğunda oluşan üç değişik bölge.

Karbürleme sonrasında çelik parça uygun bir ortamda sertleştirilerek kabuk kısmında yüksek sertlik elde edilir.

Yukarıda da belirtildiği gibi sementasyon işlemi karbürleme ve sertleştirme olmak üzere iki kısımdan oluşur.

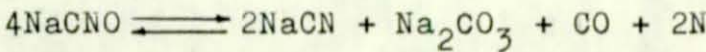
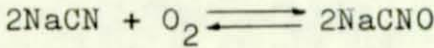
2.1. Karbürleme

Karbürleme işlemi, karbon verici ortama göre üç şekilde yapılır.

2.1.1. Tuz Banyosunda Karbürleme

Tuz banyosunda karbürleme için, karbon verici olarak sodyumsiyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) gibi tuzlar kullanılır.

Bu metodla, karbürleme işlemi aşağıdaki reaksiyonlara göre gaz fazında oluşur.



İlk reaksiyon, siyanür tuzu ile havanın oksijeni arasında olur. Açığa çıkan NaCNO ayrışarak CO ve atomik azot N verir. Ostenit fazdaki çelik CO ile reaksiyona girerek karbonu bünyesine alır. Bu arada bir miktar azot da çelik tarafından emilir.

Tuz banyosu için tuz seçimi istenilen karbürleme derinliğine ve buna bağlı olarak çalışılacak karbürleme sıcaklığına göre yapılmalıdır. Buna göre, kullanılan tuzlar iki kısma ayrılır.

1) İnce karbürleme derinliği veren (düşük karbürleme sıcaklığında çalışılan) tuzlar: Bu durumda tuz banyosundaki siyanür miktarı % 20 civarındadır. Çalışma sıcaklığı 843-899 °C olmalıdır. Böyle bir tuz banyosunda 0.9 mm ye kadar karbürleme derinliği elde edilebilir.

2) Karbürleme derinliğini artıran (yüksek karbürleme sıcaklığında çalışılan) tuzlar: Bu durumda ise tuz banyosundaki siyanür miktarı %10 dur ve kullanılan karbürleme sıcaklığı 888-954 °C olmalıdır. Bu tip tuz banyosunda 3mm ye kadar karbürleme derinliğine ulaşılır.

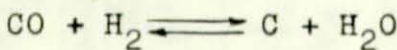
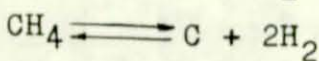
Parçalar tuz banyosuna daldırılmadan önce 100-400 °C arasında ön ısıtmaya tabi tutulurlar. Böylece parçalar üzerindeki nem alınmış ve aynı zamanda tuz banyosu kapasitesi etkin bir şekilde kullanılmış olur.

Tuz banyosu genellikle küçük ve orta büyüklükteki parçaların karbürlenmesi için kullanılır. Büyük parçaların tuz banyosunda karbürlenmesi pota büyüklüğü dolayısıyla bazı zorluklar getirir. Bu metodla yapılan karbürleme işlemi, parça yüzeyinde homojen karbürleme derinliği verme ve tuz banyosundaki yüksek ısı iletimi dolayısıyla çelik parçaların kısa zamanda karbürleme sıcaklığına ulaşması gibi avantajlar sağlar. Bunun yanında homojen karbürleme derinliğinin sağlanması için banyo konsantrasyonunun sık sık kontrol edilerek ayarlanması gerekir. Ayrıca siyanür tuzları zehirli olduklarından bu metodun kullanımında dikkatli olunmalıdır.

2.1.2. Gaz Ortamda Karbürleme

Gaz ortamda karbürleme, son yıllarda en popüler kabuk sertleştirme yöntemi haline gelmiştir. Bu yöntemde içinde parçanın bulunduğu hava sızdırmaz bir fırına karbürleyici gaz gönderilerek karbürleme işlemi gerçekleştirilmekte ve oldukça iyi, güvenilir neticeler elde edilmektedir.

Gaz ortamda karbürleme için karbon verici olarak genellikle metan (CH₄), etan (C₂H₆), propan (C₃H₈) gibi hidro karbonlar kullanılır. Aşağıdaki reaksiyonun soldan sağa ilerlemesi sonucu ortaya çıkan atomik karbon, ostenit fazdaki çelik bünyesine girerek karbonca zengin kabuk bölgesini meydana getirir.

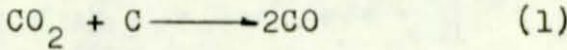


Fırın atmosferinde oluşan gazın nem miktarı, çelik yüzeyinde elde edilecek karbon miktarını önemli ölçüde etkiler. Nem

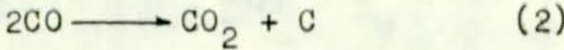
miktarı, gazın yoğunlaşma sıcaklığının tespiti ile ölçülebilir. Yoğunlaşma sıcaklığı ise su buharının yoğunlaşarak gazdan ayrıldığı sıcaklıktır.

2.1.3. Kutu (Parçacık) Karbürlemesi

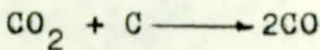
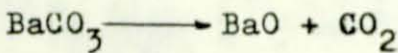
Kutu karbürlemesinde karbon verici olarak genellikle odun kömürü kullanılır. Karbürlenecek parçalar çelik veya dökme demirden imal edilmiş kutu içerisindeki odun kömürüne gömülür ve kutunun ağzı hava almayacak şekilde kapatılarak fırına yerleştirilir. Herhangibir aktive edici katalizör veya enerji koymaksızın odun kömürü ile yapılan kutu karbürlemesi, kutu içindeki mevcut oksijenin yardımıyla meydana gelir ve ısıtma sırasında CO_2 'ce zengin bir karışım oluşur. Bu karışım kömürle aşağıdaki reaksiyona girer.



Sıcaklık arttıkça reaksiyonun dengesi sağa doğru kayar ve gaz karışımı CO 'ce adım adım zenginleşir. Çeliğin yüzeyindeki CO aşağıdaki reaksiyona göre ayrışır.



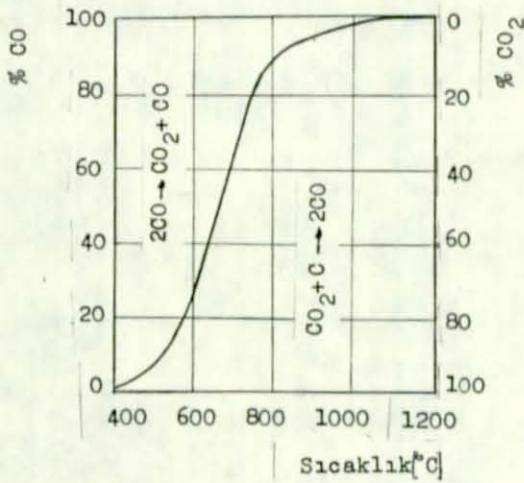
Bu reaksiyon sonucu oluşan atomik karbon **ostenit** fazdaki çeliğin bünyesine girerek karbürlerin oluşumunu devam ettirir. (2) reaksiyonunda meydana gelen CO_2 , (1) eşitliğine göre kömürle reaksiyona girer ve reaksiyonların çevrimi tekrar edilir. Kutudaki oksijen miktarı giderek azalacağından ve karbürleme için gerekli CO oluşumu yetersiz kalabileceğinden odun kömürüne ya da % 20 oranında reaksiyon hızlandırıcı alkali metal karbonatları katılır. Bu amaç için çoğunlukla kullanılan baryumkarbonat ($BaCO_3$) aşağıdaki reaksiyona göre ayrışır.



İlk oluşan karbondioksit ^{odun} kömürünün karbonu ile reaksiyona girerek aktif karbonmonoksit meydana gelir.

Karbürlemeden sonra, parça yüzeyinde oluşacak karbon oranı, karbon verici ortamın karbon potansiyeline, karbon geçiş sayısına (β) ve difüzyon katsayısına (D) önemli ölçüde bağlıdır. Karbon potansiyeli, sonsuz karbürleme süresi sonunda alaşımsız bir demirin ağırlık yüzdesi olarak alabileceği karbon miktarı olarak tanımlanır. Karbon potansiyelini belirlemek için alaşımsız bir çelik 15-30 dakika karbürlenerek karbon oranı ölçülür.

Karbon potansiyelini etkileyen en önemli parametreler karbürleme ortamındaki CO ve CO₂ oranlarıdır. CO oranı arttıkça karbon potansiyeli de artar, bu da malzeme üzerindeki karbon oranını artmasına neden olur. Örneğin 900°C'de % 6 CO₂, çelik yüzeyinde yaklaşık % 0.70 karbon, % 14 CO₂ ise % 0.30 karbon meydana getirir. Şekil:2-3 de 1 atmosfer toplam basınçta CO ve CO₂ oranının sıcaklığa bağlı olarak değişimi (Boudouard-denge diyagramı) görülmektedir.



Şekil:2-3. 1 atmosfer basınçta $2CO \rightleftharpoons C + CO_2$ reaksiyonu için verilen denge diyagramı(Boudouard denge diy.)

Karbon geçiş sayısı β [g/scm²] saniyede yüzeyin 1cm² sinden geçen gram olarak karbon miktarı ve yüzey karbon oranının karbon potansiyeline yaklaşıma hızının bir ölçüsüdür. Difüzyon

katsayısı D [cm^2/s] ise, malzemenin yüzeyi ile özü arasındaki karbon oranı farkı ve sıcaklığa bağlı olarak saniyede 1 cm^2 den geçen karbon miktarı olarak tanımlanır. Karbürleme esnasında yüzeydeki karbon oranı devamlı değiştiğinden difüzyon katsayısı da değişir. Bunun için pratikte, difüzyon katsayısını ortalama olarak aşağıdaki formülle hesaplamak yeterli olur.

$$D = \exp \left[\frac{4300 \cdot C_p^{1,5} - 18900}{T} - 2,63 C_p^{1,5} - 0,38 \right] \text{ [cm}^2/\text{s]}$$

C_p : Karbon potansiyeli

T [K]: Karbürleme sıcaklığı

Malzeme yüzeyindeki karbon oranı, karbon potansiyeli, karbon geçiş sayısı β ve difüzyon katsayısı D ye bağlı olarak dört şekilde oluşur.

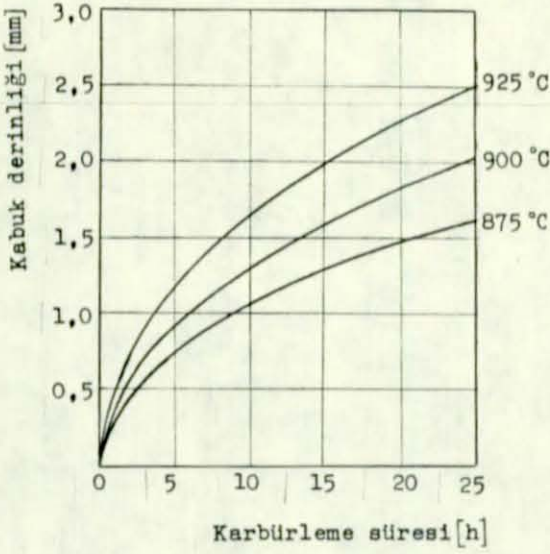
1) $\beta \gg D$ ve karbon potansiyeli \leq ostenitin karbon doyma değeri: Bu durumda, kısa bir karbürleme süresinden sonra ^{4300 C_p^{1,5} - 18900} karbon potansiyeline eşit yüzey karbon oranı oluşur.

2) $\beta < D$ ve karbon potansiyeli \leq Ostenitin karbon doyma değeri: Uzun karbürleme süresi sonunda ^{4300 C_p^{1,5} - 18900} karbon potansiyeline eşit yüzey karbon oranı oluşur.

3) $\beta < D$ ve karbon potansiyeli $>$ ostenitin karbon doyma derecesi: Uzun karbürleme süresi sonunda karbonun tamamı ostenitte çözülemeyeceği için karbürler ayrışır. (Aşırı Karbürleme)

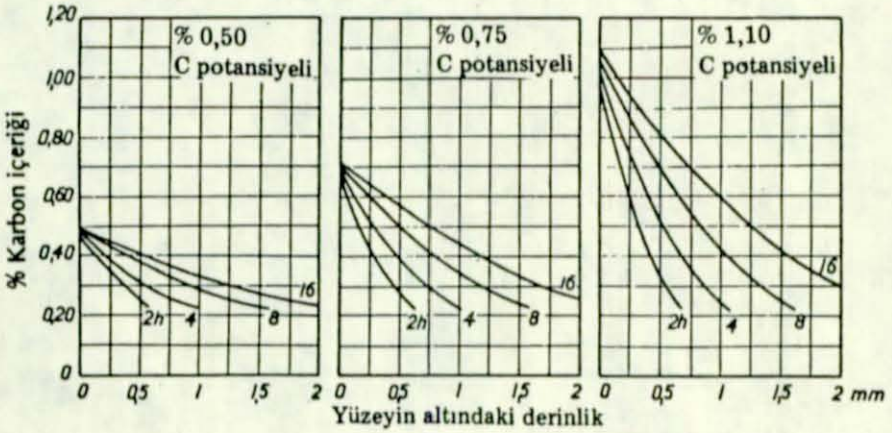
4) $\beta \gg D$ ve karbon potansiyeli $>$ ostenitin karbon doyma derecesi: Kısa karbürleme zamanı sonunda yüzeyde hemen karbürler oluşur. (Aşırı Karbürleme)

Karbürlemeden önce belirli bir karbürleme derinliği hedef alınmışsa bunu sağlamak için, genellikle karbürleme sıcaklığı veya karbürleme süresinden biri referans alınarak diğeri buna göre belirlenir. (Şekil:2-4)



Şekil:2-4. Etkili sementasyon derinliğinin karbürleme sıcaklığı ve karbürleme süresine bağlı olarak değişimi.

Karbürleme süresi ve sıcaklığının yanısıra, karbon potansiyeli ve çeliğin kimyasal bileşimi de çeliğin karbürleme derinliğinin önemli ölçüde etkiler: Şekil:2-5 de karbürleme derinliğinin karbon potansiyeli ve karbürleme zamanına bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil:2-5. 920 °C de karbürleme işlemi uygulanan düşük karbonlu çelikte, karbürleme derinliğinin karbon potansiyeli ve karbürleme zamanına bağlı olarak değişimi. 3/

Karbürleme derinliğini pratik olarak hesaplamak için:

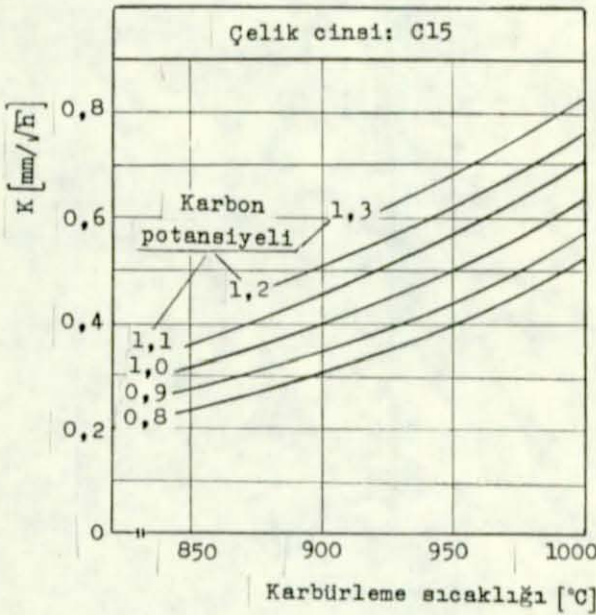
$$A_t = K \sqrt{t} \quad [\text{mm}]$$

t [h] : Karbürleme süresi

$K \left[\frac{\text{mm}}{\sqrt{\text{h}}} \right]$: karbürleme süresi, karbürleme sıcaklığı, karbon potansiyeli, iç yapı ve karbürleme yöntemine bağlı sabit.

$$[\text{mm} \cdot \text{h}^{-1/2}]$$

formülü yeterli olur. Şekil:2-6 da C15 kalitesindeki sementasyon çeliği için karbürleme sıcaklığına ve karbon potansiyeline bağlı olarak K-değerleri verilmektedir.



Şekil:2-6. K-değerinin karbon potansiyeli ve karbürleme sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

Uygulamada, karbon geçiş sayısı β , difüzyon katsayısı D ye göre çok büyük olamayacağına göre yüzeydeki karbon oranı uzun karbürleme süresinden sonra bile mevcut karbon potansiyelinde daha düşük değerde olur. Bu yüzden uygulamalarda, yukarıdaki formüle bir düzeltme faktörü (D/β) eklenir.

$$A_t = K \sqrt{t} - (D/\beta) \quad [\text{mm}]$$

Elde edilen karbürleme derinliği değeri, iç yapı etkisini göz önüne almak amacıyla Tablo:2-2 deki malzemeye bağlı sabitlerden (α) biriyle çarpılarak gerçek karbürleme derinliği aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$A_t = \left(K \sqrt{t} - \frac{D}{\beta} \right) \alpha \quad [\text{mm}]$$

A_t [mm]: Karbürleme derinliği

t [h]: Karbürleme süresi

α [-]: Çelik cinsine bağlı bir sabit

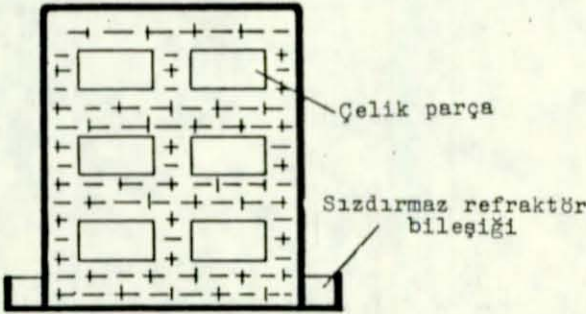
Çelik cinsi	α	Çelik cinsi	α	Çelik cinsi	α
C10	0,98	20MoCr4	1,04	17NiCrMo5	1,03
C15	0,98	15CrNi6	1,08	25NiCrMo6	1,00
15Cr3	1,04	18CrNi8	1,11	10NiCrMo7	0,98
16MnCr5	1,10	20NiCrMo2	1,03	14NiCr10	0,98
20MnCr5	1,12	SAE 8620	1,03	14NiCr14	0,95
20CrMo2	1,05	17CrNiMo6	1,10	SAE 4320	1,02

Tablo:2-2. Çelik cinsine bağlı α -değerleri

Çelik parçaları, kutu karbürlemesi yöntemiyle sürekli ve düzenli bir şekilde karbürleme işlemine tabi tutulduklarında, kutuların ısıya dayanıklı çeliklerden yapılması gerekir. Aksi takdirde kutular ısı etkisiyle zamanla tahrip olurlar. Arasına uygulamalar için yumuşak çelik saçtan yapılmış kutular da kullanılabilir.

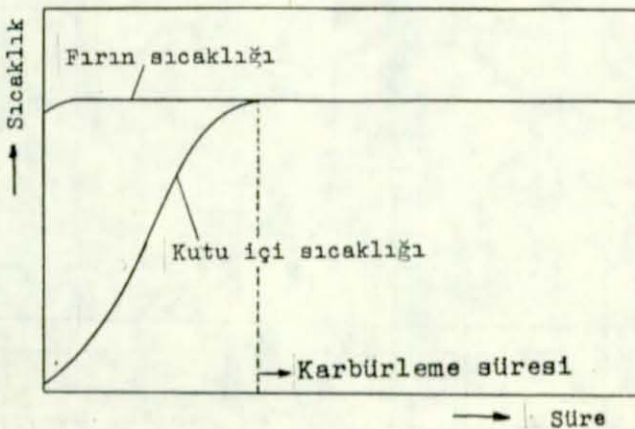
Karbürleme için, parçalar iyice temizlenip yağ ve oksitten arındırıldıktan sonra kutunun dip kısmına serilmiş karbürleyici malzeme üzerine serilir. Böylece çelik parçalar kutu ile temas etmez ve yüksek sıcaklıklarda deforme olmaları önlenir. Daha

sonra karbürleyici malzemenin kalan kısmı kutu içine dökülere yerleştirme işlemi tamamlanır. Parçanın kutu içine yerleştirilmesinden sonra hava sızdırmazlığı için kapak sıkıca kapatılır. Ek bir tedbir olarak kil veya benzeri bir malzeme ile kapağın hava geçirmesi iyice önlenir. Isıtma süresince kil kuruyarak çatlayabileceğinden kilin sızdırmazlık özelliğine tamamen güvenilmez. Bu durumu önlemenin iyi bir yolu, kutu kapağını çerçeveli ve kutudan bir miktar büyük yapmaktır. Kapak yerleştirildikten sonra kutu ters çevrilir ve kutu ile kapak çerçevesi arasındaki boşluk refrakter bir malzeme ile sıkıca kapatılır. (Şekil: 2-7)



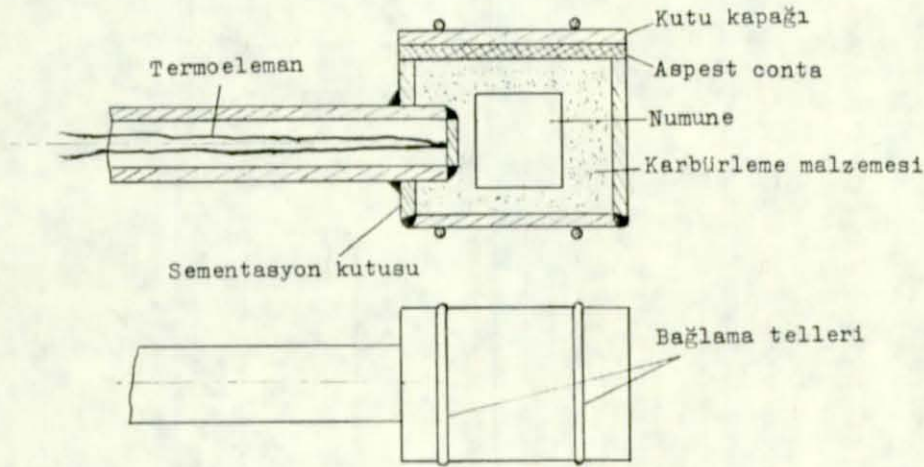
Şekil:2-7. Paketlenmiş bir karbürleme kutusu kesiti.

Karbürleme işleminde kullanılan karbürleyici bileşikler düşük ısı iletkenliğine sahiptirler. Bu nedenle kutular, fırına fırın karbürleme sıcaklığında iken yerleştirildiği halde, kutu içi sıcaklığının karbürleme sıcaklığına erişmesi belli bir zaman alır. (Şekil: 2-8)



Şekil:2-8. Fırın ve kutu içi sıcaklığının zamanla değişimi.

Kutu içerisinde karbürlenecek parçanın sıcaklığının karbürleme sıcaklığına erişmesi için belirli bir süre geçeceğinden, parçanın sözkonusu sıcaklığa eriştiği anın belirlenmesi ve karbürleme süresinin bu andan itibaren başlatılması gerekir. Bu sıcaklığın tespiti için ucu kapalı bir boru, kutunun bir kenarından dik olarak kutu içine (parçanın yanına kadar) sokularak kaynak edilir. (Şekil: 2-9) Bu boru içine konacak bir termo eleman vasıtasıyla parçanın karbürleme sıcaklığına eriştiği an tespit edilir ve karbürleme süresi o andan itibaren tutulur.



Şekil:2-9. Borulu sementasyon kutusu içine numune ve termo-elemanın yerleştirilmesi.

Karbürleme işleminde büyük sementasyon kutuları kullanılırsa, kutunun orta kısmındaki parçalar kenar kısımdakilere oranla, daha az karbürlenirler. Bu sebeple çelik parçaların kutu kenarlarına olan mesafelerin mümkün olduğunca aynı olmasına dikkat edilmelidir.

2.2. Sertleştirme

Karbürleme işleminden sonra çelik parça, kabukta yaklaşık (% 0,65 - 1,0) karbon, iç kısımlarda ise yaklaşık % 0,20 karbon içeren iki farklı iç yapıdan oluşur. % 0,20 karbon içeren iç kısmın sertleştirme kabiliyeti olmadığından sertleştirme

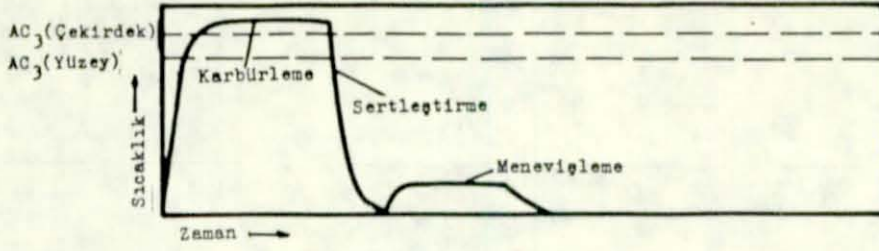
sonucu sadece çekme mukavemeti ve akma sınırı yükselir.

% 0,65 - 1,0 karbon içeren kabuk kısımda ise, (770 - 830) °C de su verildiğinde sert bir martenzit tabakası oluşur. Kabuğu selesen çeliğin çekirdeğinin nispeten yumuşak olması parçanın tüm olarak yüksek darbe mukavemeti göstermesini sağlar. Sertleştirme sonucunda yüzey tabakasında basma gerilmelerinin oluşması yüzünden çeliğin yorulma mukavemeti de artar.

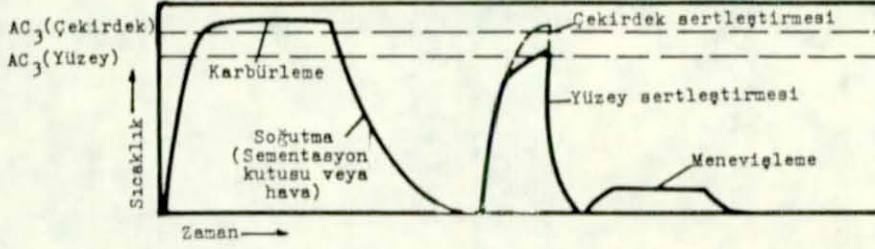
Su verme işlemi beş şekilde uygulanabilir: (Şekil: 2-10)

- a) Doğrudan su verme
- b) Tek (basit) su verme
- c) Basit su verme (Ara tavından sonra)
- d) Basit su verme (İzotermik dönüşümden sonra)
- e) Çift su verme

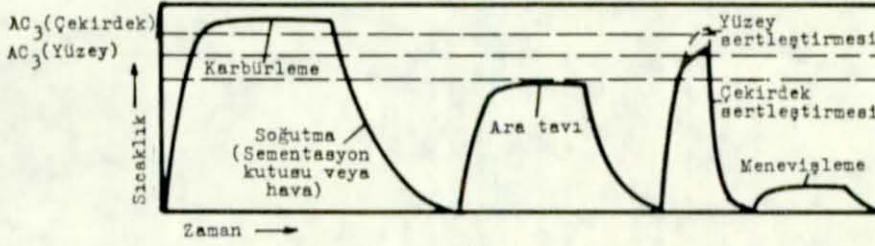
Yukarıda sıralanan sertleştirme yöntemlerine rağmen, ostenit fazda çözünen karbon miktarı yüzey sertliğini belirleyen kesin faktördür. Yüzeydeki karbon miktarının % 0,8 civarında olması istenir. Karbon miktarının bu değerden fazla olmasının iki önemli sebepten dolayı sakıncaları vardır. Birincisi, çelik parça karbürleme sıcaklığından yavaşca soğutulduğu zaman perlit tane sınırlarında sementit ağı oluşur. Sonra yapılacak sertleştirme işleminde, özellikle AC_m sıcaklığının altında bir sıcaklıktan sertleştirme yapılırsa yapıdaki sementit ağı olduğu gibi kalır ve sertlik düşüşüne neden olur. İkincisi ise, AC_m sıcaklığının üzerinde yapılacak sertleştirme sonucunda ostenit yapının tamamı martenzite dönüşemez ve iç yapıda artık ostenit olarak kalır. Bu da sertliğin azalmasına neden olur. Şekil: 2 -11 de karbon oranına bağlı olarak artık ostenit oranının değişimi, Şekil: 2-12 de ise artık ostenitin sertliğe olan etkisi görülmektedir.



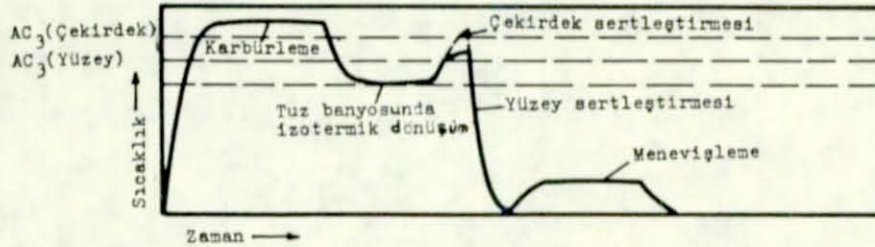
a) Doğrudan su verme



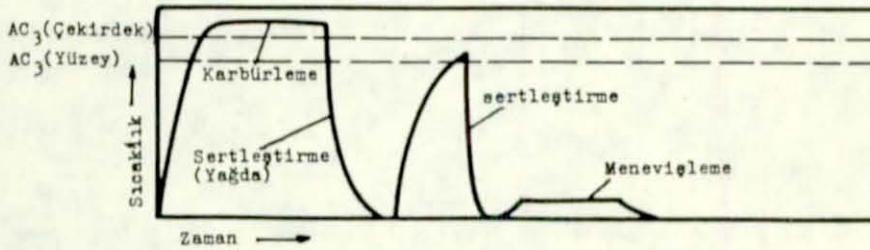
b) Tek(Basit) su verme



c) Basit su verme (Ara tavıandan sonra)

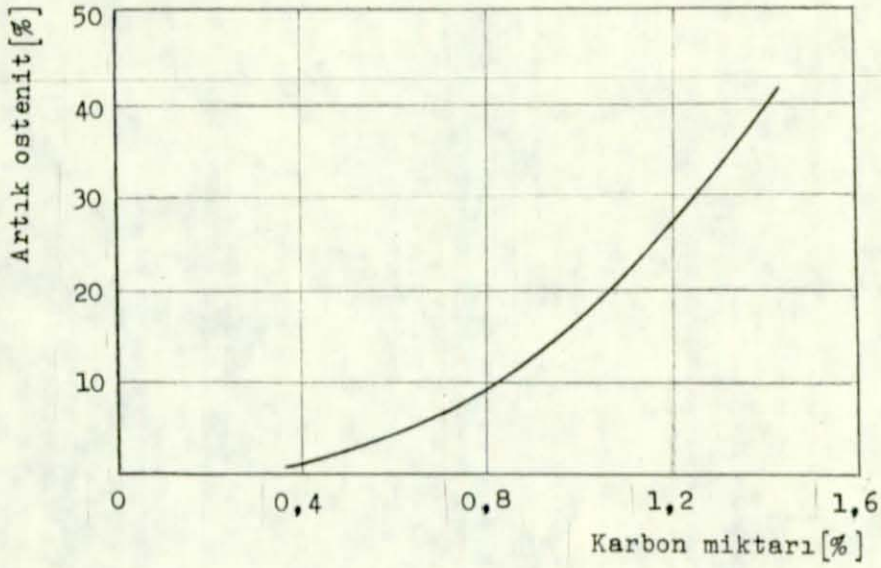


d) Basit su verme (İzotermik dönüşümden sonra)

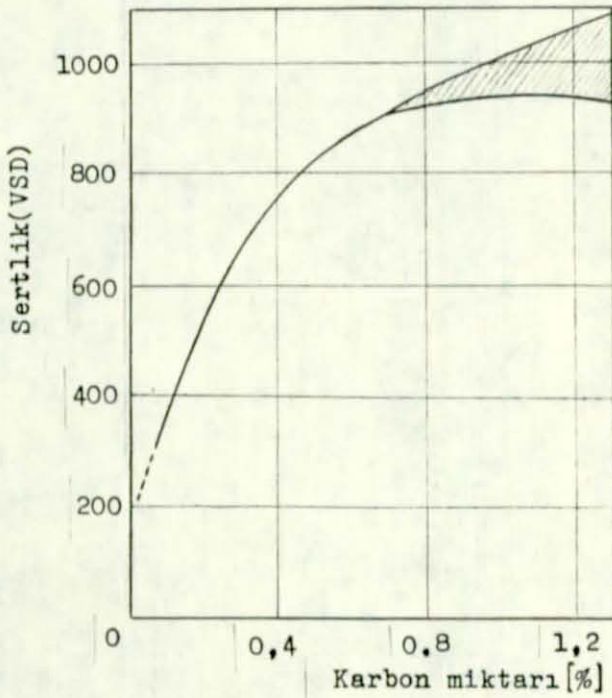


e) Çift su verme

Şekil:2-10. Sertleştirme yöntemleri.



Şekil:2-11. Demir-karbon alaşımlarında martenzit yapıdaki artık ostenitin karbon miktarına bağlı olarak değişimi.



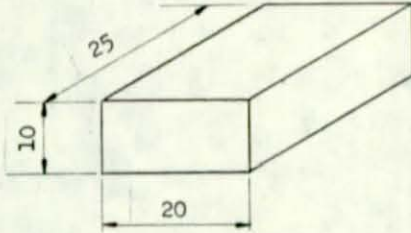
Şekil:2-12. Martenzit yapıdaki çeliklerde karbon miktarının çeliğe etkisi. Taranmış bölge artık ostenitin sertlik azalmasına etkisini göstermektedir.

3. DENEYLER

Deneyleyler, karbürleme sıcaklığı, karbürleme süresi ve aktivasyon oranı parametre alınarak kutu (toz) karbürlemesi yöntemiyle yapılmıştır.

3.1. Deneyleylerde Kullanılan Numuneler ve Hazırlanışları:

Deneyleylerde kullanılan numuneler, piyasadan alınmış C15 kaliteindeki malzemeden hazırlanmıştır. $20 \times 10 \text{ mm}^2$ kesitli uzun çubuklardan 500 mm boyda kesilen parçaların karşılıklı iki yüzeyleri daha sonra yüzey sertlik ölçülerinin hassas bir şekilde yapılabilmesi için taşlanmıştır. Taşlanan çubuklar 25 mm uzunlukta kesilerek deneyleylerde kullanılan numuneler elde edilmiştir. (Şekil: 3-1)



Şekil:3-1. Numune ^{şekli} resmi ve boyutları

Hangi işlemlerin uygulandığının belirlenebilmesi için numaralanan numuneler, (Tablo: 3-1) karbürleme işleminden önce aseton içinde bir süre tutularak tüm yağlardan arındırılmıştır. Numuneler, daha sonra, üzerlerinde oluşmuş olabilecek oksit tabakasını yoketmek için 220 numaralı zımpara ile zımparalanarak kurutulmuş ve karbürlemeye hazır hale getirilmiştir.

Numunelerin analizi hakkında kesin bir bilgiye sahip olabilmek için, İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları, Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları ve METAŞ da üç numunenin kimyasal analizi yaptırılmış ve aşağıdaki değerler alınmıştır. (Tablo: 3-2)

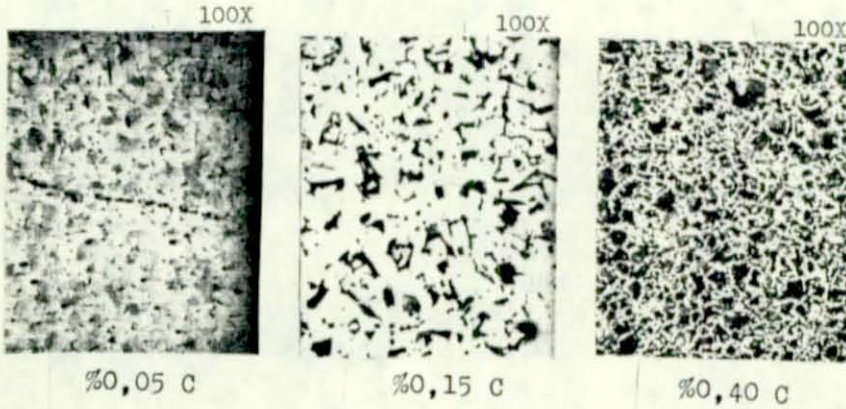
Nümune numaraları						
Karbürleme		Aktivatör oranı				
süresi	sıcaklığı	%1	%3	%5	%7	%10
0,5 h	900 °C	249	231	33	34	232
	950 °C	36	22	8	9	235
	1000 °C	41	238	43	239	240
1h	900 °C	250	47	48	233	234
	950 °C	66	67	68	236	237
	1000 °C	71	57	73	241	242
2h	900 °C	81	116	243	244	245
	950 °C	106	92	108	94	95
	1000 °C	157	112	119	99	100
3h	900 °C	151	152	153	120	155
	950 °C	78	79	128	144	130
	1000 °C	158	132	133	134	135
4h	900 °C	191	192	178	179	180
	950 °C	181	182	168	199	200
	1000 °C	186	172	203	174	159
6h	900 °C	206	160	228	246	247
	950 °C	211	212	248	214	251
	1000 °C	252	217	218	253	220

Tablo:3-1. Numune numaraları ve uygulanacak işlemler. *Deney seması*

FİRMA	% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% Ni
KARABÜK D.Ç.	0,12	-	0,82	0,023	0,030	-	-	-
İSDEMİR	0,11	0,06	0,74	0,022	0,028	0,025	0,005	0,036
METAŞ	0,09	0,06	0,79	0,016	0,022	0,030	0,022	0,040

Tablo:3-2. Numune analiz değerleri.

Karbon oranının üç firmanın analizinde de yaklaşık aynı çıkma sına rağmen deneyler sırasındaki metalografik incelemelerde değişik değerlere rastlanmıştır. Şekil:3-2 de de görüldüğü gibi aynı çubuktan kesilmiş numuneler arasında karbon oranı bakımından büyük farklar vardır. Bu oran birinde yaklaşık olarak % 0,05, diğesinde % 0,15, bir diğesinde ise % 0,40 olabilmektedir.



Şekil:3-2. Aynı çubuktan kesilmiş üç numunenin içyapısının görünüşü.

Malzemenin homojen olmayan bu iç yapısından dolayı aynı şartlarda yapılan deneylerde değişik sonuçlar ortaya çıkmıştır.

3.2. Deney Düzenegi (Fırın ve Sementasyon Kutuları)

Numunelerin karbürlenmesi ve su verilmeleri sırasındaki ısıtma işlemleri laboratuvarımızda mevcut, sıcaklığı 1050 °C ye kadar çıkabilen ve istenilen sıcaklığa ayarlanabilen HERAUS marka fırında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin içine yerleştirildikleri sementasyon kutuları ise her kutuya bir numune yerleştirilecek şekilde 30x40x45 mm³ boyutlarında 2mm lik sac tan yapılmıştır.

Numuneler kutuların içine her kenardan eşit uzaklıkta olacak şekilde tam ortaya yerleştirilerek kapaklar kapatılmış, hava sızdırmazlığını sağlamak için ise şekil: 2-9 da görüldüğü gibi kutu ile kapak arasına aspest konarak çelik tel ile iki taraftan sıkıca bağlanmıştır. Beş tane sementasyon kutusu aynı anda fırına konduğundan hepsinin karbürleme sıcaklığına ulaştığı an aynı olacaktır. Bu sebepten beş kutudan birine şekil: 2-9 daki gibi boru takılarak NiCr-Ni termo eleman vasıtasıyla sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

3.3. Karbürleme Malzemeleri:

Karbürleme malzemeleri, karbon sağlayıcı kömür ve karbürleme işlemini hızlandıran aktivatörlerdir. Kömür olarak 1-6 mm iriliğinde öğütülmüş odun kömürü, aktivatör olarak ise Na₂CO₃ kullanılmıştır. Na₂CO₃, ağırlık yüzdesi olarak değişik oranlarda odun kömürüne homojen bir şekilde katılarak, karbürleyici ortam hazırlanmıştır.

3.4. Deneylerin Yapılışı

3.4.1. Karbürleme

Numuneler, temizlenip kutulara yerleştirildikten sonra karbürlemeye hazır hale getirildi. Kutular, karbürleme sıcaklığına getirilmiş olan fırının içine konarak, kutu içindeki numunenin karbürleme sıcaklığına eriştiği an belirlendi. Bu andan itibaren karbürleme süresi kadar fırında bekletilen numuneler süre sonunda fırından dışarıya alınarak kutu içinde soğumaya bırakıldı.

Karbürleme işlemleri, karbürleme sıcaklığı, karbürleme süresi ve aktivatör oranı olmak üzere üç parametrenin değiştirilmesiyle yapılmıştır. Karbürleme sıcaklığı olarak 900 °C, 950 °C, 1000 °C, karbürleme süresi olarak 0,5h, 1h, 2h, 3h, 4h, 6h ve aktivatör oranı olarak ise %1, %3, %5, %7 ve %10 alınmıştır.

Deney programından da görüleceği gibi 90 adet numunenin deneye tabii tutulması gerekmektedir. Fakat deney sonuçlarının daha güvenilir olmasını sağlamak için aynı şartlardaki bir deney en az iki defa yapılmıştır. Yani iki aynı sonuç alınmaya kadar aynı deney tekrar edilmiştir. Bunun sonucu olarak yaklaşık 250 adet numune deneye tabii tutulmuştur.

3.4.2. Sertleştirme

Karbürleme işleminden sonra numuneler kesilerek, kesitlerin metalografik incelemesi yapılmış, inceleme sonunda %1 aktivatör ve 900 °C şartlarındaki numunelerin karbon almadığı görülmüştür. Diğer numunelerin kabuğunda, kalınlığı; sıcaklık süresi ve aktivatör oranına göre değişen, karbon oranı %0,8 civarında olan bir tabaka oluşmuştur. Buna göre karbon almamış numuneler 900 °C de, karbon almış numuneler ise 800 °C de basit (tek) su verme yöntemine göre suda sertleştirilmişlerdir.

4. MALZEME MUAYENELERİ ve DENEY SONUÇLARI

4.1. Yüzey Sertliği Ölçümleri

İşlem görmeden önce sertlikleri 122 VSD10 olarak ölçülen numunelerin, semente edildikten sonra yüzey sertlikleri VSD5 ile ölçülmüş ve değerler tablo:4-1 de verilmiştir.

4.2. Metalografik İnceleme

Numunelerde, karbürlemeden ve sertleştirmeden sonra olmak üzere ikişer defa metalografik inceleme yapılmıştır. Karbürlemeden sonra yapılan incelemenin amacı, numunelerin karbon alıp almadıklarının belirlenmesi ve aynı şartlarda karbür-

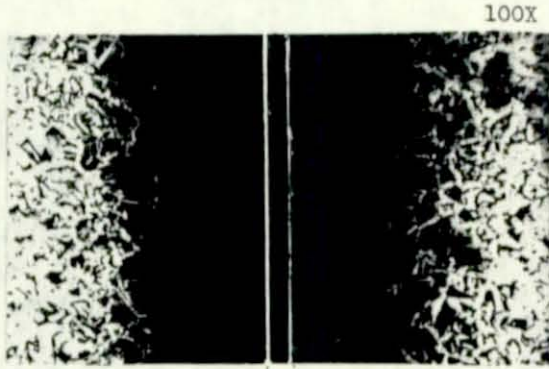
Nümune numarası	Yüzey sertliği VSD 5	Nümune numarası	Yüzey sertliği VSD 5	Nümune numarası	Yüzey sertliği VSD 5
249	566	81	550	191	362
231	928	116	928	192	928
33	928	243	928	178	928
34	928	244	928	179	928
232	928	245	928	180	928
36	928	106	840	181	928
22	928	92	928	182	928
8	928	108	928	168	928
9	928	94	928	199	928
235	928	95	928	200	928
41	928	157	928	186	928
238	928	112	928	172	928
43	928	119	928	203	928
239	928	99	928	174	928
240	928	100	928	159	928
250	460	151	460	206	362
47	928	152	928	160	928
48	928	153	928	228	928
233	928	120	928	246	928
234	928	155	928	247	928
66	928	78	928	211	928
67	928	79	928	212	928
68	928	128	928	248	928
236	928	144	928	214	928
237	928	130	928	251	928
71	928	158	928	252	928
57	928	132	928	217	928
73	928	133	928	218	928
241	928	134	928	253	928
242	928	135	928	220	928

Tablo:4-1. Yüzey sertlikleri.

(Sement taşıyandan sonra nümune)

lenen iki numunenin karbon alma derinliklerinin birbirine uygunluğunun belirlenmesidir. Bu amaçla sözü edilen iki numune aynı anda mikroskopun üzerine konarak göz ile karbon alma derinliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

(Şekil:4-1)



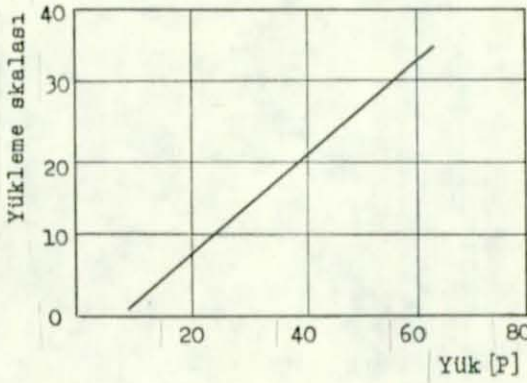
Şekil:4-1. 950°C de %7 Na_2CO_3 ihtiva eden ortamda 1h karbürleşmiş iki numunenin kesiti.

Sertleştirmeden sonra ise numunenin su alıp almadığının belirlenmesi ve mikrosertlik ölçümü için metalografik inceleme yapılmıştır.

4.3. Mikrosertlik Ölçümleri

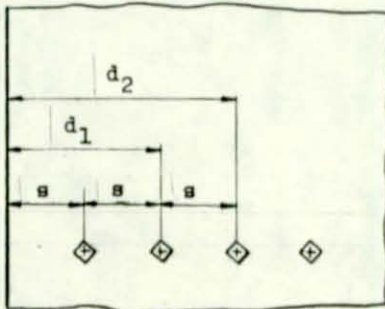
Numuneler sertleştirildikten sonra, kesilip, kesit yüzeyleri mekanik yöntemle parlatılıp dağlandıktan sonra mikrosertlik ölçümü için hazır hale getirildiler.

Mikrosertlik ölçümleri 'REICHERT' marka mikroskopta gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerden önce belirli yükler kullanılarak mikroskop skalasının gösterdiği değer ile elmas ucun uyguladığı kuvvet arasındaki kalibrasyon eğrisi çıkartılmıştır. (Şekil:4-2)



Şekil:4-2. Kalibrasyon eğrisi,

Bu eğriye göre, ölçümlerde; skaladan okunan 30 değerine karşılık gelen 0,054 kp luk yük kullanılmıştır. Mikrosertlik ölçme izlerinin konumu şekil:4-3 deki gibi olup, ölçümler dış yüzeye dik ve kesme yüzeyi üzerinde en az 0,05 mm aralıklarla 5mm derinliğe kadar yapılmıştır.



Şekil:4-3. İz konumları.

Ölçüm ucunun iz çapı mikroskoptaki görüntüden q (birim aralık) olarak ölçülmektedir.

Bir birim aralık:

$$\begin{aligned} m &= 0,0001658 \quad [\text{mm}] \\ &= 0,1658 \quad [\mu\text{m}] \end{aligned}$$

ye karşılık gelmektedir. Böylece iz çapları:

$$d = q \times 0,1658 \quad [\mu\text{m}]$$

olarak hesaplanır. Ölçülen bu iz çapları mikroskopun kitapçığında verilen

$$MS = VSDX = 1854,4 \frac{P}{d^2}$$

P : Çalışma yükü [p]

d : İz çapı $[\mu\text{m}]$

q : Birim aralık [-]

formülünde yerine konarak mikrosertlik değerleri hesaplanır. Sabit değerler formülde yerine konursa:

$$MS = VSD 0,054 = \frac{3642739,59}{q^2}$$

elde edilir. Birim aralık olarak ölçülen ve yukarıdaki formüle göre hesaplanan sertlik değerleri tablo:4-2 de verilmiştir.

4.4. Etkili Sementasyon Derinliği Hesabı

Etkili sementasyon derinliği, lkp yük ile ölçüldüğünde vickers sertliği 550 VSD1 olan semente edilmiş ve sertleştirilmiş tabaka ile yüzey arasındaki dikey uzaklıktır ve DC harfleriyle gösterilir.

Önceden belirtilerek referans yükten (lcp) değişik bir yük kullanılabilir. Değişik yük veya değişik sertlik sınırı kullanıldığında bu, DC harflerinden sonra belirtilmelidir.

Örneğin: DC 5/515 (Sertlik sınırı 515 VSD alındığında 5kp yük ile ölçülmüş sementasyon derinliği.)

Etkili sementasyon derinliği, yüzeye dik bir kesitteki sertlik değişiminden tayin edilir. Ölçme, ^{ayrıca} tersi belirtilmedikçe, parçanın ^{herhangi} bir kesitinden yapılır.

Ölçümler esnasında iki yakın iz arasındaki mesafe (s) iz köşegeninin 2,5 katından az olmamalıdır. (Şekil:4-3) Birbiri ardına gelen izlerde herbirinin yüzeyden olan uzaklıklarının farkı (Örneğin $d_2 - d_1$) 0,1 mm den çok olmamalı ve yüzeyden olan uzaklıkları $\pm 25 \mu\text{m}$ duyarlıkta ölçülmelidir.

Etkili sementasyon derinliği aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$DC = d_1 + \frac{(d_2 - d_1)(H_1 - H_G)}{\bar{H}_1 - \bar{H}_2}$$

H_G : Öngörülen sertlik değeri

H_1 : d_1 uzaklığındaki sertlik değeri

\bar{H}_1, \bar{H}_2 : d_1 ve d_2 uzaklıklarında ölçülen sertlik değerlerinin aritmetik ortalaması.

Yukarıda anlatılan yöntemle ölçülen ve hesaplanan etkili sementasyon derinliği değerleri Tablo:4-3 ve Tablo:4-4 de verilmiştir.

Tablo:4-2. Yüzeyden itibaren mikrosertlik değerleri.

Nümunne numarası	249		231		33	
	Birim <i>ölçü</i> aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim <i>ölçü</i> aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim <i>ölçü</i> aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	85	504	62	947	62	947
0,10	92	430	62	947	62	947
0,20	97	387	79	584	75	647
0,30	111	295	123	241	122	244
0,40	132	209	128	222	122	244
0,50	132	209	136	197	122	244
0,60	132	209	127	226	122	244
0,70						
0,80	132	209	127	226	122	244
0,90						
1,00	132	209	134	203	126	229
1,10						
1,20	132	209	127	226	126	229
1,30						
1,40						
1,50	132	209	132	209	98	379
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	132	209	123	241	115	275
2,50	132	209	130	215	115	275
3,00	132	209	130	215	124	237
4,00	132	209	130	215	132	209
5,00	130	215	122	245	126	229

Nümune numarası	34		232		36	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	95	404
0,30	112	244	86	492	102	350
0,40	123	241	140	186	139	188
0,50	130	215	134	203	128	222
0,60	132	209	124	237	137	194
0,70						
0,80	132	209	124	237	139	188
0,90						
1,00	123	241	124	237	132	209
1,10						
1,20	135	199	134	203	132	209
1,30						
1,40						
1,50	125	233	145	173	102	350
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	138	191	130	215	126	229
2,50	138	191	122	245	140	186
3,00	138	191	122	245	131	212
4,00	125	233	128	222	136	197
5,00	120	253	138	191	136	197

Nümunе numarası	22		8		9	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	100	364	65	862	62	947
0,40	115	275	123	241	100	364
0,50	115	275	128	222	124	237
0,60	120	253	128	222	124	237
0,70						
0,80	125	233	120	253	127	226
0,90						
1,00	120	253	114	280	115	275
1,10						
1,20	132	209	124	237	115	275
1,30						
1,40						
1,50	124	237	124	237	106	324
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	124	237	132	209	128	222
2,50	124	237	132	209	130	215
3,00	131	212	112	290	106	324
4,00	140	186	112	290	128	222
5,00	135	200	128	222	124	237

Nümune numarası	235		41		238	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	65	862	62	947
0,30	65	862	95	404	75	647
0,40	80	569	110	301	90	450
0,50	130	215	128	222	107	318
0,60	105	330	110	301	138	191
0,70						
0,80	132	209	134	203	116	271
0,90						
1,00	132	209	121	249	116	271
1,10						
1,20	117	266	140	186	116	271
1,30						
1,40						
1,50	128	222	140	186	153	156
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	95	404	136	197	135	200
2,50	132	209	112	290	135	200
3,00	132	209	157	148	115	275
4,00	140	186	132	209	126	229
5,00	140	186	130	215	135	200

Nümunе numarası	43		239		240	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	70	743	64	836	62	947
0,50	90	450	70	743	75	647
0,60	111	296	77	614	85	504
0,70						
0,80	133	206	104	337	114	280
0,90						
1,00	125	233	114	280	114	280
1,10						
1,20	133	206	124	237	106	324
1,30						
1,40						
1,50	127	226	129	219	117	266
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	138	191	98	379	117	266
2,50	138	191	130	215	133	206
3,00	138	191	122	245	125	233
4,00	120	253	132	209	125	233
5,00	128	222	140	186	125	233

Nümunne numarası	250		47		48	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	97	387	62	947	62	947
0,10	105	330	62	947	62	947
0,20	95	404	62	947	64	889
0,30	112	290	72	703	70	743
0,40	112	290	94	412	105	330
0,50	112	290	90	450	138	191
0,60	104	337	117	266	124	237
0,70						
0,80	115	275	112	290	136	197
0,90						
1,00	107	318	112	290	126	229
1,10						
1,20	123	241	120	253	126	229
1,30						
1,40						
1,50	129	219	128	222	135	200
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	120	253	128	222	128	222
2,50	107	318	128	222	140	186
3,00	107	318	132	209	134	203
4,00	107	318	128	222	134	203
5,00	110	301	128	222	140	186

Nümune numarası	233		234		66	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	70	743	62	947	70	743
0,40	95	404	85	504	99	372
0,50	120	253	115	275	120	253
0,60	120	253	130	215	132	209
0,70						
0,80	130	215	110	301	135	200
0,90						
1,00	123	241	110	301	128	222
1,10						
1,20	128	222	132	209	104	337
1,30						
1,40						
1,50	120	253	120	253	134	203
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	124	237	125	233	128	222
2,50	120	253	130	215	119	257
3,00	130	215	138	191	120	253
4,00	125	233	135	200	132	209

Nümune numarası	67		68		236	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	96	395	80	569	62	947
0,50	96	395	105	330	96	395
0,60	122	245	118	261	114	280
0,70						
0,80	125	233	128	222	125	233
0,90						
1,00	120	253	128	222	120	253
1,10						
1,20	112	290	153	156	120	253
1,30						
1,40						
1,50	120	253	130	215	120	253
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	131	212	130	215	125	233
2,50	115	275	100	364	132	209
3,00	120	253	112	290	98	379
4,00	145	173	123	241	135	200
5,00	132	209	120	253	132	209

Nümune numarası	237		71		57	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	73	683	62	947
0,40	62	947	117	266	68	788
0,50	73	683	124	237	86	492
0,60	115	275	98	379	102	350
0,70						
0,80	134	203	112	290	120	253
0,90						
1,00	140	186	115	275	100	364
1,10						
1,20	145	173	121	249	135	200
1,30						
1,40						
1,50	130	215	131	212	112	290
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	136	197	115	275	93	421
2,50	100	364	95	404	136	197
3,00	121	249	110	301	122	245
4,00	132	209	145	173	136	197
5,00	130	215	120	253	130	215

Nümunе numarası	73		241		242	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	72	703	66	836	62	947
0,60	104	337	73	683	65	862
0,70						
0,80	135	200	90	450	80	569
0,90						
1,00	125	233	100	364	115	275
1,10						
1,20	125	233	122	245	122	245
1,30						
1,40						
1,50	119	257	110	301	135	200
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	130	215	105	230	140	186
2,50	130	215	128	222	135	200
3,00	130	215	107	318	135	200
4,00	143	178	107	318	135	200
5,00	135	200	138	191	138	191

Nümunе numarası	81		116		243	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	85	504	66	836	62	947
0,10	85	504	66	836	62	947
0,20	97	387	66	836	62	947
0,30	105	330	68	788	65	862
0,40	105	330	76	631	70	743
0,50	100	364	80	569	75	647
0,60	105	330	85	504	85	504
0,70						
0,80	105	300	88	470	90	450
0,90						
1,00	105	330	90	450	90	450
1,10						
1,20	105	330	90	450	90	450
1,30						
1,40						
1,50	105	330	90	450	90	450
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	105	330	90	450	90	450
2,50	105	330	90	450	90	450
3,00	105	330	90	450	90	450
4,00	105	330	90	450	90	450
5,00	105	330	90	450	90	450

Nümune numarası	244		245		106	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	65	862
0,10	62	947	62	947	70	743
0,20	62	947	62	947	70	743
0,30	62	947	62	947	78	599
0,40	62	947	62	947	80	569
0,50	70	743	65	862	85	504
0,60	75	647	75	647	90	450
0,70	133	206	85	504	90	450
0,80	133	206	85	504	90	450
0,90						
1,00	133	206	85	504	90	450
1,10						
1,20	133	206	85	504	90	450
1,30						
1,40						
1,50	133	206	85	504	90	450
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	133	206	85	504	90	450
2,50	133	206	85	504	90	450
3,00	133	206	85	504	90	450
4,00	133	206	85	504	90	450
5,00	133	206	85	504	90	450

Nümune numarası	92		108		94	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	65	862	62	947	62	947
0,10	65	862	62	947	62	947
0,20	65	862	62	947	62	947
0,30	67	811	62	947	64	889
0,40	71	723	62	947	67	811
0,50	75	647	68	788	70	743
0,60	78	599	72	703	76	631
0,70	90	450	75	647	78	599
0,80	90	450	85	504	85	504
0,90						
1,00	95	404	85	504	92	430
1,10						
1,20	97	387	90	450	95	404
1,30						
1,40						
1,50	97	387	90	450	95	404
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	97	387	90	450	95	404
2,50	97	387	90	450	95	404
3,00	97	387	90	450	95	404
4,00	97	387	90	450	95	404
5,00	97	387	90	450	95	404

Nümunе numarası	95		157		112	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	67	811	68	788
0,50	62	947	75	647	68	788
0,60	66	836	85	504	72	703
0,70	66	836	104	337	74	665
0,80	75	647	112	290	77	614
0,90	80	569	112	290	84	516
1,00	85	504	117	266	90	450
1,10						
1,20	90	450	110	301	90	450
1,30						
1,40						
1,50	90	450	121	249	90	450
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	90	450	105	330	100	364
2,50	90	450	124	237	100	364
3,00	90	450	124	237	90	450
4,00	90	450	120	253	90	450
5,00	90	450	124	237	90	450

Nümunne numarası	119		99		100	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	62	947	62	947	62	947
0,70	62	947	62	947	62	947
0,80	65	862	62	947	66	836
0,90	69	765	68	788	66	836
1,00	75	647	76	631	70	743
1,10	85	504	78	599	75	647
1,20	85	504	80	569	78	599
1,30			90	450	80	569
1,40					90	450
1,50	100	364	90	450	90	450
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	90	450	90	450	90	450
2,50	90	450	90	450	90	450
3,00	90	450	90	450	90	450
4,00	90	450	90	450	90	450
5,00	90	450	90	450	90	450

Nümune numarası	151		152		153	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	85	504	62	947	62	947
0,10	85	504	62	947	62	947
0,20	85	504	62	947	62	947
0,30	85	504	62	947	62	947
0,40	85	504	65	862	62	947
0,50	85	504	76	631	62	947
0,60	85	504	84	516	75	947
0,70					85	504
0,80	85	504	93	421	85	504
0,90						
1,00	85	504	114	280	97	387
1,10						
1,20	85	504	114	280	97	387
1,30						
1,40						
1,50	85	504	97	387	97	387
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	85	504	106	324	97	387
2,50	85	504	97	387	97	387
3,00	85	504	97	387	97	387
4,00	85	504	104	337	97	387
5,00	85	504	104	337	97	387

Nümune numarası	120		155		78	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	65	862
0,30	62	947	62	947	70	743
0,40	62	947	65	862	75	647
0,50	64	889	65	862	80	569
0,60	70	743	73	683	90	450
0,70	78	599	80	569		
0,80	87	481	108	312	100	364
0,90						
1,00	90	450	108	312	121	249
1,10						
1,20	90	450	108	312	126	229
1,30						
1,40						
1,50	87	481	108	312	117	266
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	90	450	108	312	122	245
2,50	90	450	108	312	115	275
3,00	90	450	108	312	107	318
4,00	90	450	108	312	100	364
5,00	90	450	108	312	116	271

Nümunе numarası	79		128		144	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	65	862	62	947
0,10	62	947	65	862	62	947
0,20	62	947	65	862	62	947
0,30	62	947	65	862	62	947
0,40	62	947	65	862	62	947
0,50	62	947	65	862	62	947
0,60	66	836	65	862	62	947
0,70	70	743	65	862	65	862
0,80	75	647	68	788	70	743
0,90	92	430	72	703	75	647
1,00	109	307	78	599	80	569
1,10					80	569
1,20	96	395	104	337	85	504
1,30						
1,40						
1,50	96	395	92	430	104	337
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	90	450	100	364	87	481
2,50	85	504	94	412	114	280
3,00	109	307	111	296	110	301
4,00	100	364	100	364	110	301
5,00	100	364	100	364	100	364

Nümune numarası	130		158		132	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	65	862	62	947
0,10	62	947	65	862	62	947
0,20	62	947	65	862	62	947
0,30	62	947	65	862	62	947
0,40	62	947	65	862	62	947
0,50	62	947	72	703	62	947
0,60	62	947	78	599	62	947
0,70	62	947	80	569	65	862
0,80	62	947	80	569	65	862
0,90	70	743	85	504	75	647
1,00	80	569	85	504	75	647
1,10	80	569			83	529
1,20	80	569	90	450	97	387
1,30	85	504				
1,40						
1,50	105	330	90	450	110	301
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	110	301	90	450	100	364
2,50	85	504	100	364	90	450
3,00	100	364	90	450	100	364
4,00	105	330	90	450	90	450
5,00	97	387	90	450	105	330

Nümune numarası	133		134		135	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	65	862	62	947	62	947
0,10	65	862	62	947	62	947
0,20	65	862	62	947	62	947
0,30	65	862	62	947	62	947
0,40	65	862	62	947	62	947
0,50	65	862	62	947	62	947
0,60	65	862	62	947	62	947
0,70	65	862	65	862	62	947
0,80	65	862	65	862	62	947
0,90	65	862	65	862	62	947
1,00	70	743	65	862	65	862
1,10	70	743	75	647	65	862
1,20	75	647	73	683	65	862
1,30	86	492	79	584	75	647
1,40			79	584	75	647
1,50	90	450	85	504	75	647
1,60					85	504
1,70					88	470
1,80						
1,90						
2,00	90	450	104	337	90	450
2,50	98	379	86	492	95	404
3,00	100	364	86	492	95	404
4,00	100	364	96	395	95	404
5,00	105	330	100	364	95	404

Nümune numarası	191		192		178	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	92	430	62	947	62	947
0,10	100	364	62	947	62	947
0,20	90	450	62	947	62	947
0,30	104	337	62	947	62	947
0,40	120	253	65	862	62	947
0,50	125	233	70	743	65	862
0,60	95	404	77	614	70	743
0,70			79	584	77	614
0,80	128	222	93	421	85	504
0,90						
1,00	128	222	100	364	85	504
1,10						
1,20	128	222	112	290	90	450
1,30						
1,40						
1,50	128	222	104	337	94	412
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	128	222	109	337	94	412
2,50	128	222	104	337	94	412
3,00	128	222	99	372	94	412
4,00	128	222	112	290	94	412
5,00	128	222	112	290	94	412

Nümunne numarası	179		180		181	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	65	862	62	947	69	765
0,70	70	743	65	862	75	647
0,80	74	665	72	703	100	364
0,90	83	529	75	647	115	275
1,00	85	504	85	504	115	275
1,10						
1,20	90	450	85	504	115	275
1,30						
1,40						
1,50	90	450	90	450	115	275
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	90	450	90	450	115	275
2,50	90	450	90	450	115	275
3,00	90	450	90	450	115	275
4,00	90	450	90	450	115	275
5,00	90	450	90	450	115	275

Nümunе numarası	182		168		199	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	62	947	62	947	62	947
0,70	66	836	62	947	62	947
0,80	76	631	65	862	62	947
0,90	80	569	68	788	65	862
1,00	97	387	70	743	65	862
1,10			75	647	69	765
1,20	118	261	85	504	75	647
1,30					85	504
1,40						
1,50	120	253	90	450	86	492
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	115	275	90	450	95	404
2,50	115	275	90	450	95	404
3,00	120	253	90	450	95	404
4,00	120	253	90	450	95	404
5,00	120	253	90	450	95	404

Nümune numarası	200		186		172	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	65	862	62	947
0,10	62	947	65	862	62	947
0,20	62	947	65	862	62	947
0,30	62	947	65	862	62	947
0,40	62	947	65	862	62	947
0,50	62	947	65	862	62	947
0,50	62	947	65	862	62	947
0,60	62	947	65	862	62	947
0,80	62	947	65	862	62	947
0,90	65	862	74	665	62	947
1,00	70	743	74	665	62	947
1,10	73	683	76	631	65	862
1,20	77	614	83	529	68	788
1,30	79	584	86	492	73	683
1,40	85	504	90	450	85	504
1,50	85	504	90	450	85	504
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	93	421	90	450	93	421
2,50	115	275	90	450	93	421
3,00	115	275	90	450	93	421
4,00	115	275	90	450	93	421
5,00	115	275	90	450	93	421

Nümune numarası	203		174		159	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	62	947	62	947	62	947
0,70	62	947	62	947	62	947
0,80	62	947	62	947	62	947
0,90	62	947	62	947	62	947
1,00	65	862	62	947	62	947
1,10	67	811	62	947	62	947
1,20	70	743	64	889	64	889
1,30	70	743	64	889	64	889
1,40	75	647	67	811	68	788
1,50	75	647	69	765	68	788
1,60	85	504	71	723	71	723
1,70	85	504	79	584	71	723
1,80			85	504	75	647
1,90					85	504
2,00	95	404	85	504	85	504
2,50	95	404	90	450	85	504
3,00	95	404	90	450	85	504
4,00	95	404	90	450	85	504
5,00	95	404	90	450	85	504

Nümune numarası	206		160		228	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	95	404	62	947	62	947
0,10	90	450	62	947	62	947
0,20	100	364	62	947	62	947
0,30	100	364	62	947	62	947
0,40	128	222	62	947	62	947
0,50	125	233	67	811	62	947
0,60	125	233	70	743	62	947
0,70			75	647	71	723
0,80	125	233	95	404	76	631
0,90					125	233
1,00	136	197	108	312	114	280
1,10						
1,20	130	215	98	379	130	215
1,30						
1,40						
1,50	130	215	126	229	133	206
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	136	197	120	253	125	233
2,50	128	222	130	215	120	253
3,00	125	233	125	233	128	222
4,00	130	215	136	197	130	215
5,00	128	222	130	215	130	215

Nümune numarası	246		247		211	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	62	947	62	947	67	811
0,70	64	899	65	862	67	811
0,80	72	703	70	743	71	723
0,90	74	665	72	703	75	647
1,00	78	599	75	647	78	599
1,10	98	379	78	599	82	541
1,20	82	541	80	569	95	404
1,30	88	470	95	404		
1,40						
1,50	104	337	120	253	107	318
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	115	275	129	219	110	301
2,50	120	253	129	219	110	301
3,00	130	215	136	197	115	275
4,00	125	233	120	253	115	275
5,00	128	222	130	215	115	275

Nümune numarası	212		248		214	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	62	947	62	947	62	947
0,70	62	947	62	947	62	947
0,80	64	889	62	947	62	947
0,90	70	743	66	836	62	947
1,00	72	703	71	723	62	947
1,10	81	555	75	647	66	836
1,20	100	364	80	569	70	743
1,30			96	395	73	683
1,40					79	584
1,50	100	364	96	395	100	364
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00	118	261	106	324	104	337
2,50	90	450	114	280	110	301
3,00	122	245	126	229	110	301
4,00	110	301	120	253	125	233
5,00	126	229	104	337	115	275

Nümunе numarası	251		252		217	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	62	947	62	947	62	947
0,70	62	947	65	862	62	947
0,80	62	947	70	743	62	947
0,90	62	947	70	743	62	947
1,00	64	889	72	703	62	947
1,10	64	889	78	599	62	947
1,20	67	811	78	599	66	836
1,30	72	703	90	450	75	647
1,40	78	599	90	450	78	599
1,50	78	599	93	421	87	481
1,60	80	569				
1,70	107	318				
1,80						
1,90						
2,00	115	275	93	421	105	330
2,50	115	275	110	301	112	290
3,00	128	222	95	404	131	212
4,00	128	222	95	404	123	241
5,00	130	215	95	404	123	241

Nümune numarası	218		253		220	
	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054	Birim aralık olarak iz çapı	Sertlik VSD 0,054
0,05	62	947	62	947	62	947
0,10	62	947	62	947	62	947
0,20	62	947	62	947	62	947
0,30	62	947	62	947	62	947
0,40	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,50	62	947	62	947	62	947
0,60	62	947	62	947	62	947
0,70	62	947	62	947	62	947
0,80	62	947	62	947	62	947
0,90	62	947	62	947	62	947
1,00	62	947	62	947	62	947
1,10	62	947	62	947	62	947
1,20	62	947	64	889	62	947
1,30	62	947	64	889	62	947
1,40	62	947	68	788	65	862
1,50	67	811	70	743	68	788
1,60	70	743	76	631	70	743
1,70	73	683	78	599	72	703
1,80	95	404	78	599	77	614
1,90	100	364	90	450	81	555
2,00	100	364	115	275	84	516
2,50	112	290	125	233	109	307
3,00	116	271	128	222	109	307
4,00	128	222	112	245	125	233
5,00	120	253	123	241	123	241

Numune numarası	Etkili sementasyon derinliği DC 0,037/550 [mm]	Numune numarası	Etkili sementasyon derinliği DC 0,037/550 [mm]	Numune numarası	Etkili sementasyon derinliği DC 0,037/550 [mm]
249	-	81	-	191	-
231	0,207	116	0,515	192	0,718
33	0,220	243	0,584	178	0,765
34	0,253	244	0,616	179	0,892
232	0,288	245	0,666	180	0,941
36	0,172	106	0,415	181	0,725
22	0,271	92	0,666	182	0,905
8	0,350	108	0,741	168	1,141
9	0,381	94	0,776	199	1,234
235	0,415	95	0,965	200	1,331
41	0,237	157	0,568	186	1,140
238	0,358	112	0,833	172	1,343
43	0,440	119	1,065	203	1,541
239	0,576	99	1,215	174	1,731
240	0,584	100	1,315	159	1,834
250	-	151	-	206	-
47	0,350	152	0,580	160	0,769
48	0,357	153	0,679	228	0,822
233	0,370	120	0,742	246	1,021
234	0,384	155	0,751	247	1,206
66	0,335	78	0,516	211	1,014
67	0,371	79	0,834	212	1,101
68	0,404	128	1,051	248	1,205
236	0,467	144	1,124	214	1,408
237	0,553	130	1,224	251	1,604
71	0,335	158	0,815	252	1,223
57	0,440	132	1,085	217	1,461
73	0,530	133	1,241	218	1,752
241	0,652	134	1,421	253	1,858
242	0,815	135	1,579	220	1,956

Tablo:4-3. Etkili sementasyon derinlikleri.

Etkili Sementasyon Derinlikleri DC 0,037/550 [mm]

Karbürleme Sıcaklığı	Aktivatör oranı [%]	Karbürleme Süresi					
		0,5 h	1h	2h	3h	4h	6h
900 °C	1	-	-	-	-	-	-
	3	0,207	0,350	0,515	0,580	0,718	0,769
	5	0,220	0,357	0,584	0,679	0,765	0,822
	7	0,253	0,370	0,616	0,742	0,892	1,021
	10	0,288	0,384	0,666	0,751	0,941	1,206
950 °C	1	0,172	0,335	0,415	0,516	0,725	1,014
	3	0,271	0,371	0,666	0,834	0,905	1,101
	5	0,350	0,404	0,741	1,051	1,141	1,205
	7	0,381	0,467	0,776	1,124	1,234	1,408
	10	0,415	0,553	0,965	1,224	1,331	1,604
1000 °C	1	0,237	0,335	0,568	0,815	1,140	1,223
	3	0,358	0,440	0,883	1,085	1,343	1,461
	5	0,440	0,530	1,065	1,241	1,541	1,752
	7	0,576	0,652	1,215	1,421	1,731	1,858
	10	0,584	0,815	1,315	1,579	1,834	1,956

Tablo:4-4. Etkili sementasyon derinlikleri.

5. DEĞERLENDİRME GRAFİKLERİ

Bu kısımda, kısım:4 de tablolar halinde verilen deney sonuçları birbirleriyle daha rahat karşılaştırılabilmeleri amacı ile diyagramlar halinde verilmiştir.

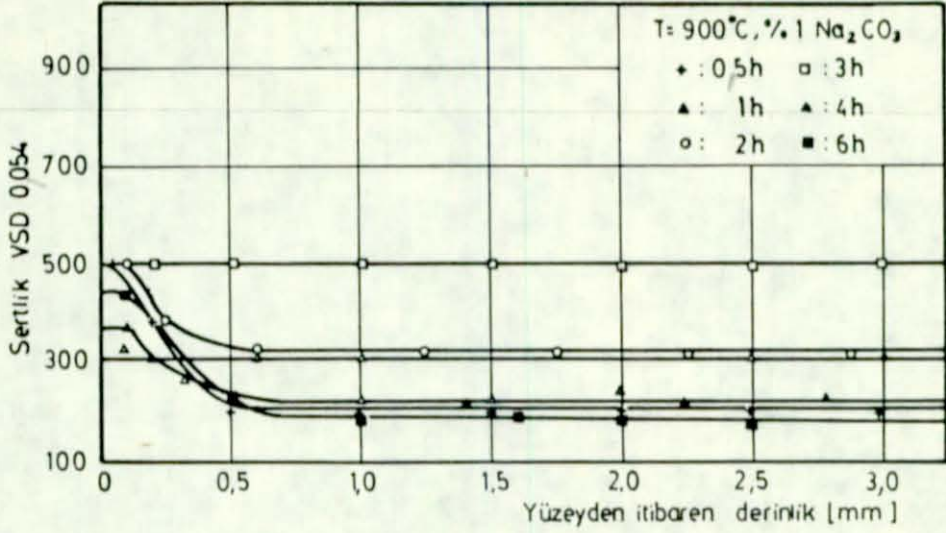
Diyagram:1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-12-13-14-15:Sabit karbürleme sıcaklığı ve sabit aktivatör oranlarında, karbürleme süresine bağlı olarak sertliğin, yüzeyden itibaren derinlik ile değişimi.

Diyagram:16-17-18:Sabit karbürleme sıcaklıklarında, etkili sementasyon derinliğinin aktivatör oranı ve karbürleme süresine bağlı olarak değişimi.

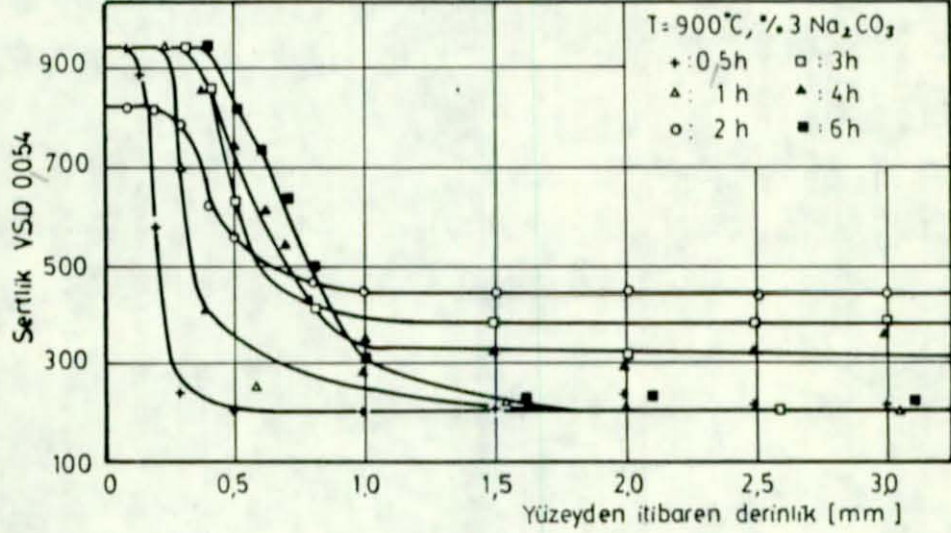
Diyagram:19-20-21-22-23-24:Sabit karbürleme sürelerinde, etkili sementasyon derinliğinin karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranına bağlı olarak değişimi.

Diyagram:25-26-27-28-29:Sabit aktivatör oranlarında, etkili sementasyon derinliğinin karbürleme süresi ve karbürleme sıcaklığına bağlı olarak değişimi.

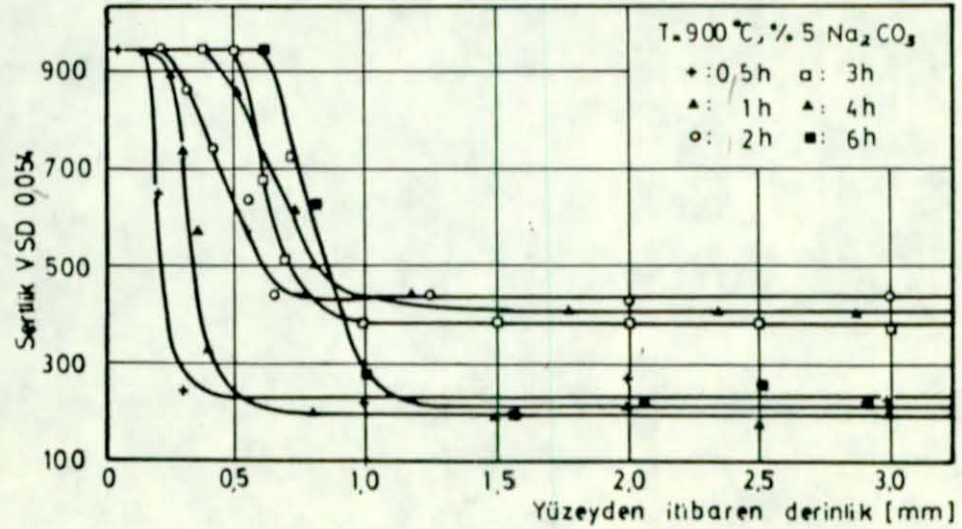
Diyagram:1

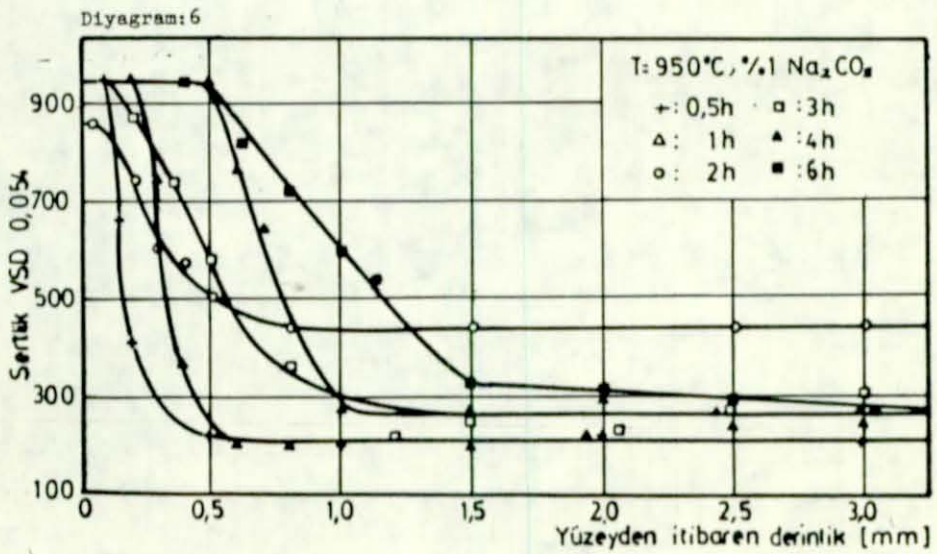
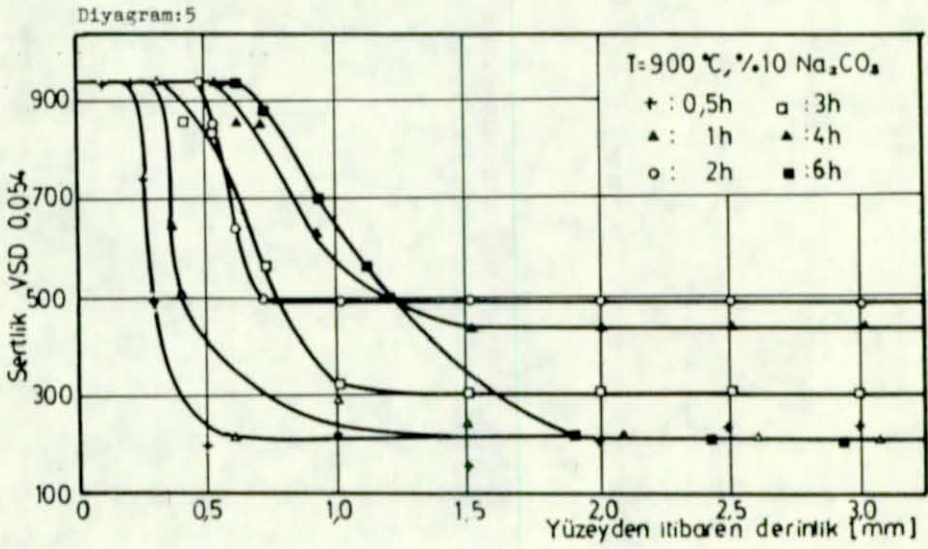
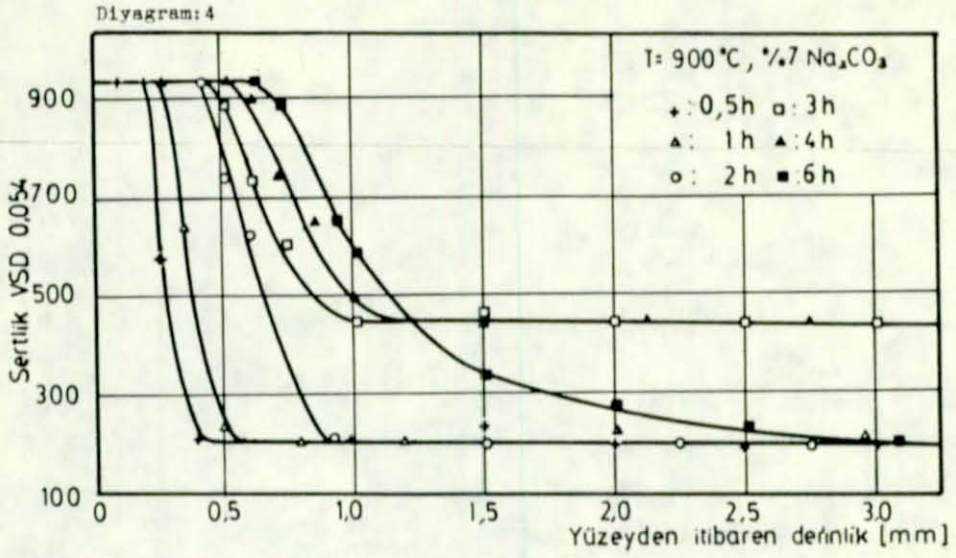


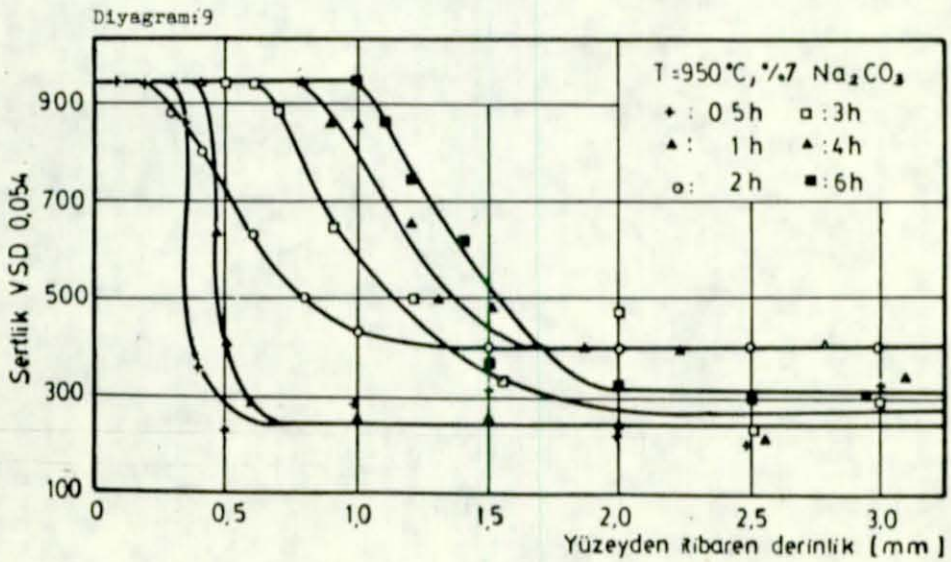
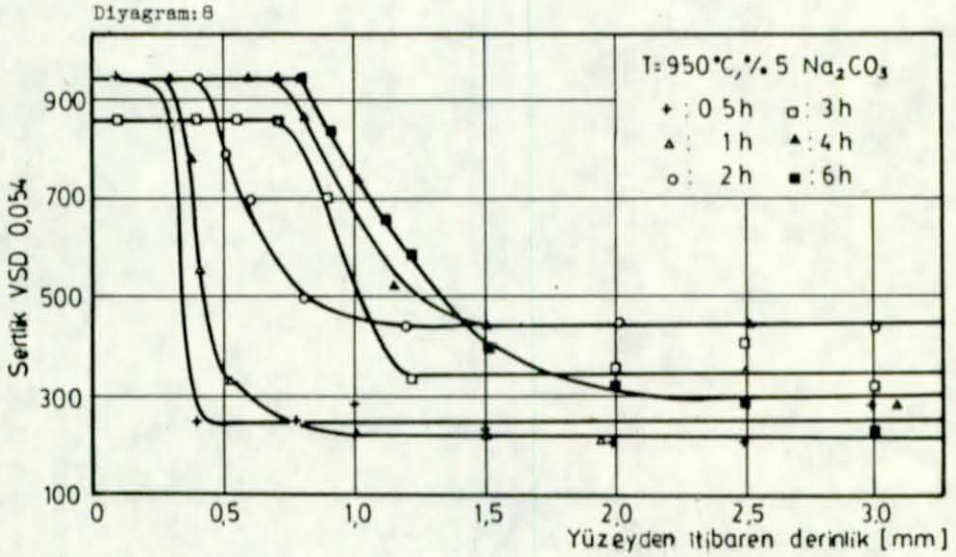
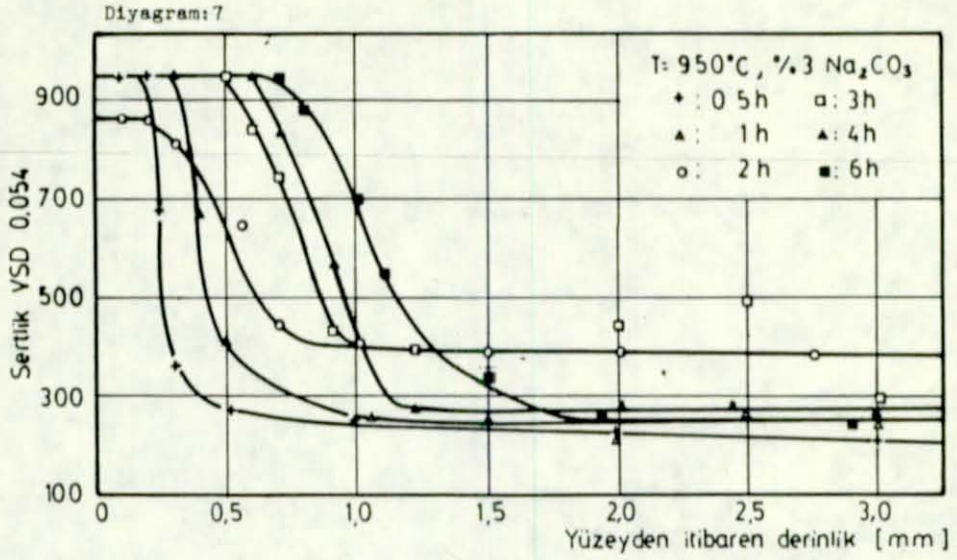
Diyagram:2



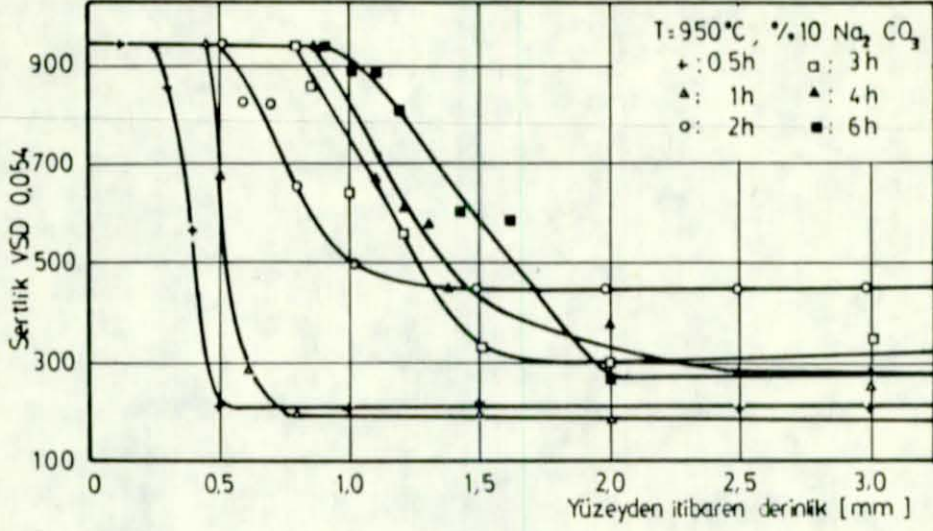
Diyagram:3



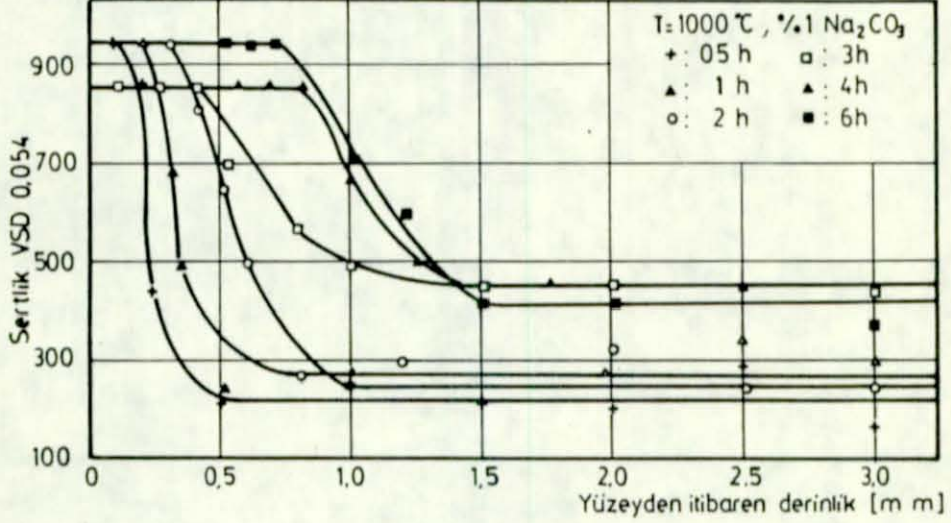




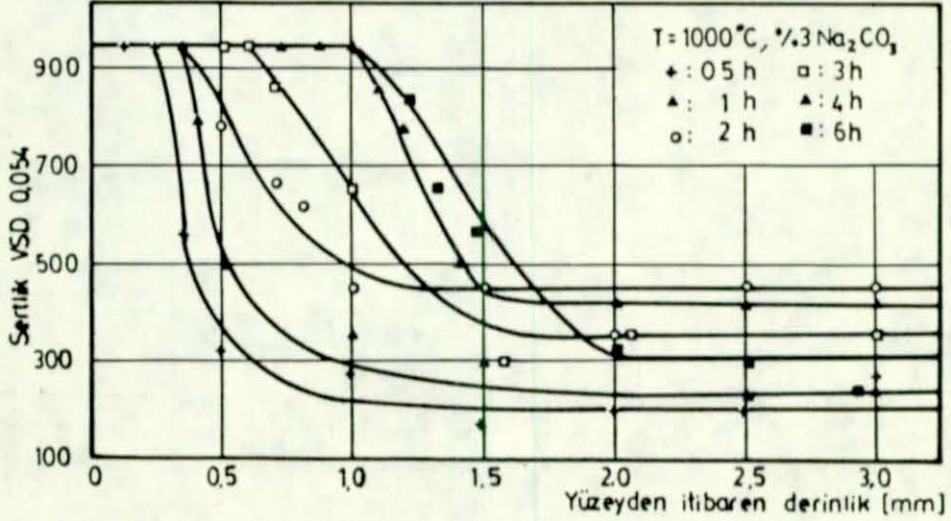
Diyagram:10

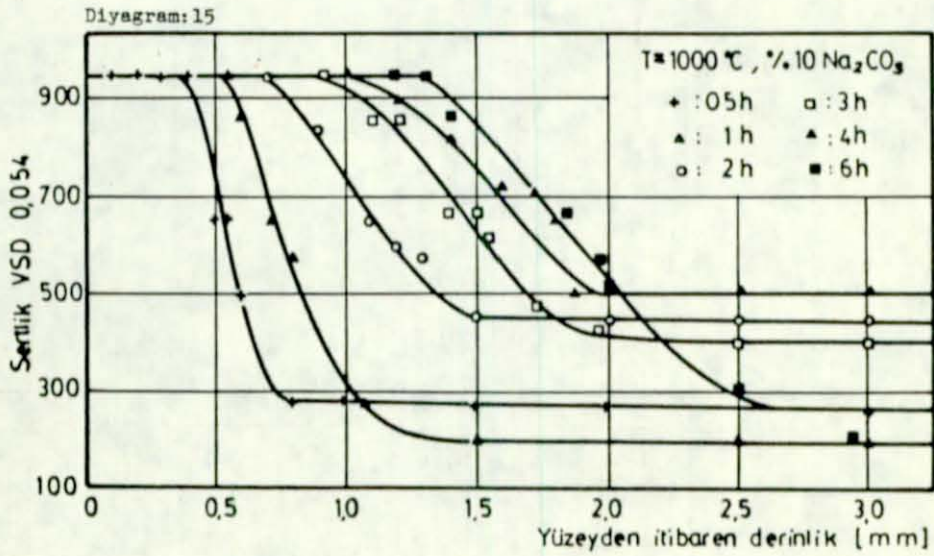
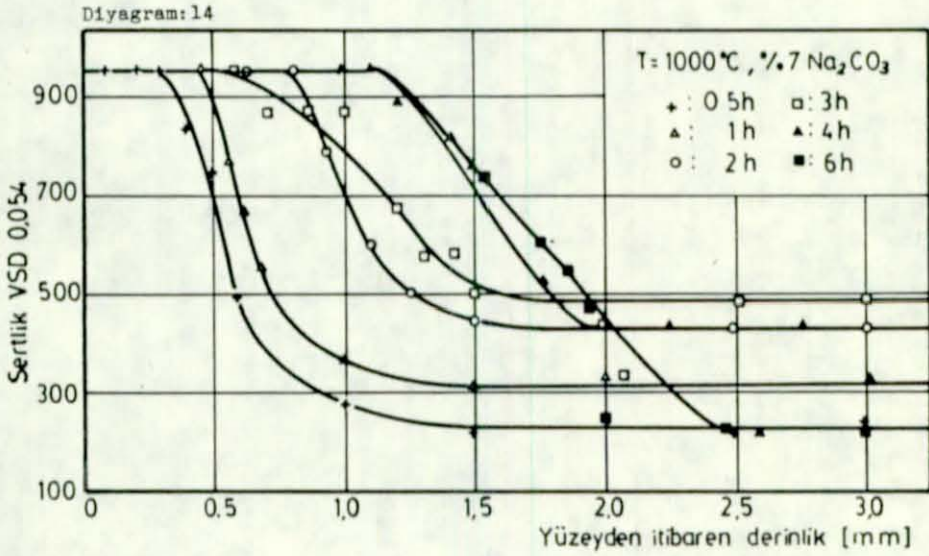
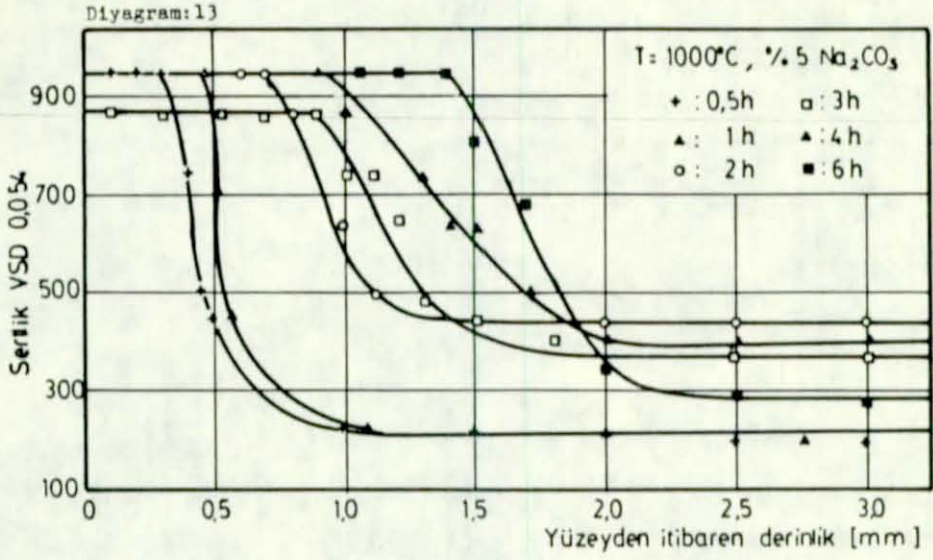


Diyagram:11

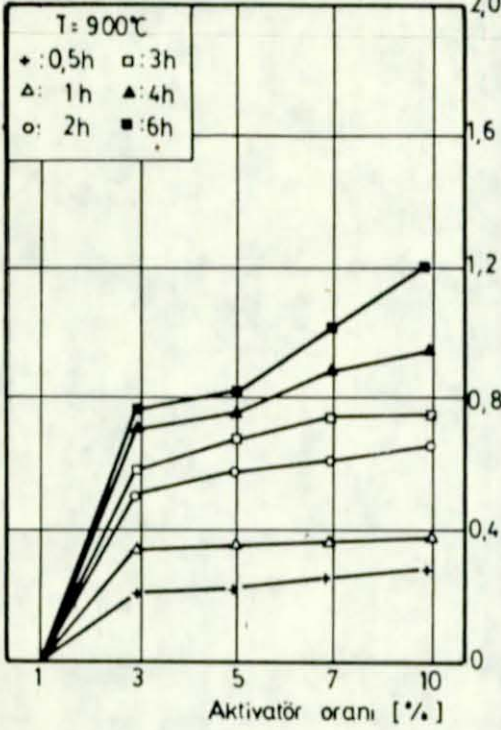


Diyagram:12

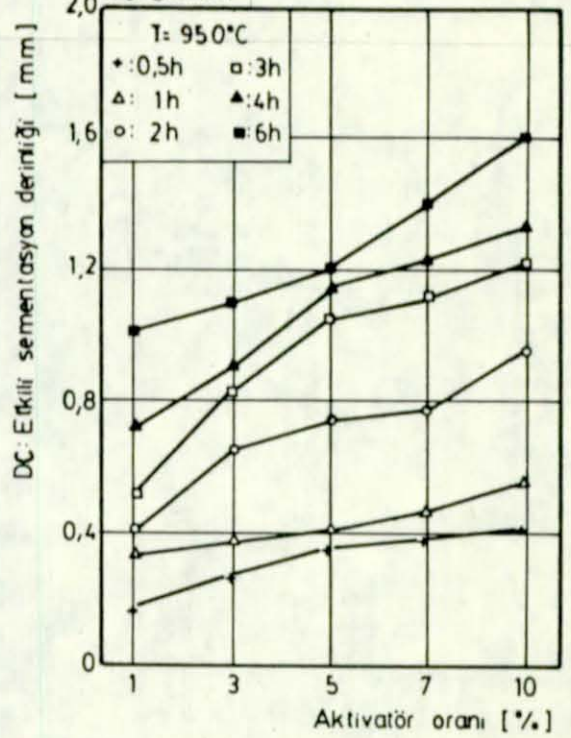




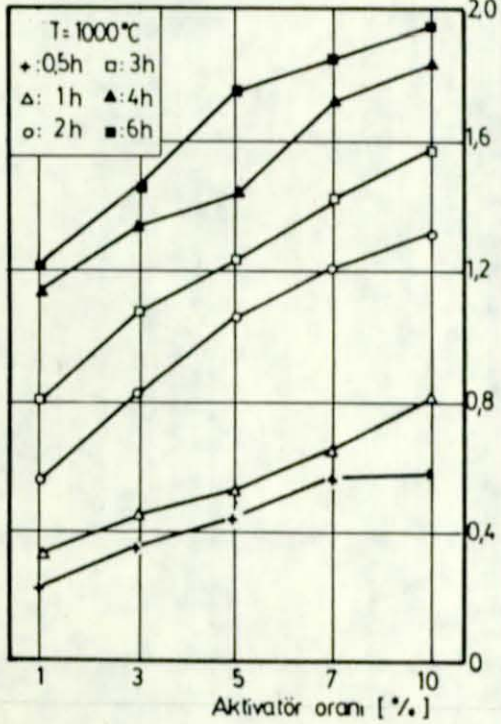
Diyagram:16



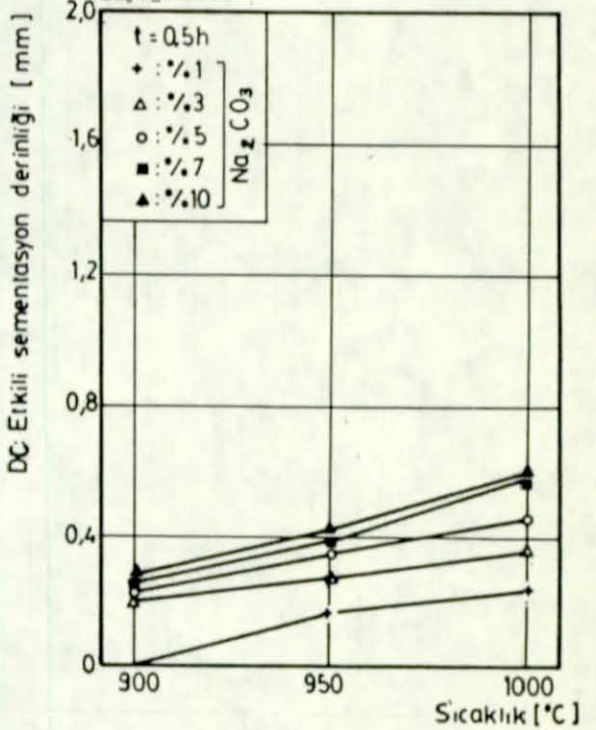
Diyagram:17



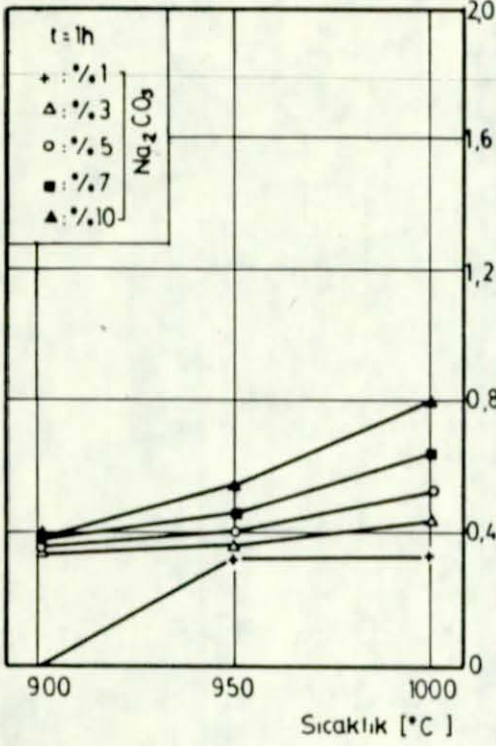
Diyagram:18



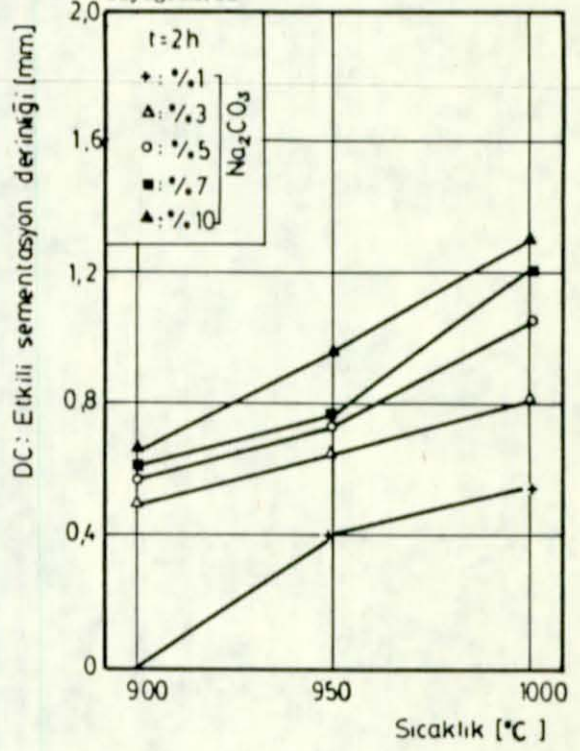
Diyagram:19



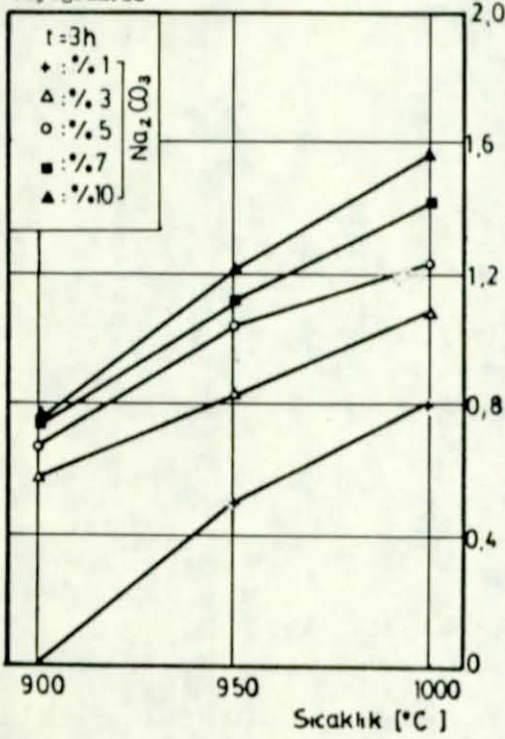
Diyagram: 20



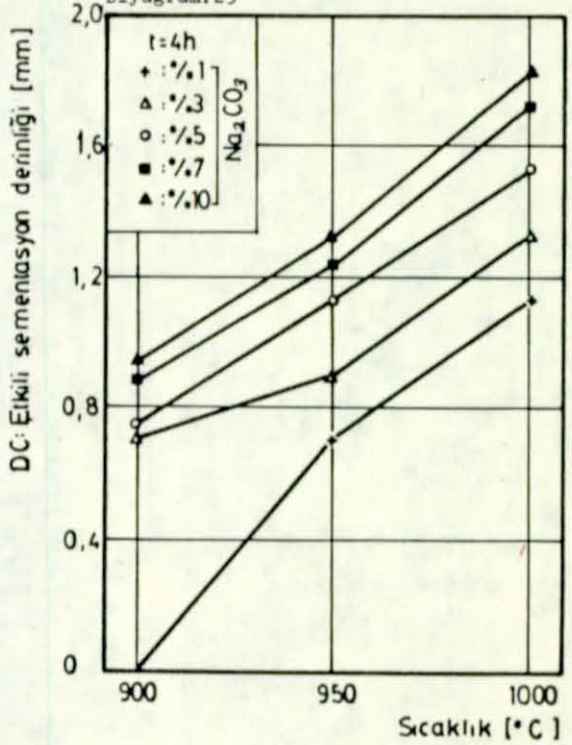
Diyagram: 21



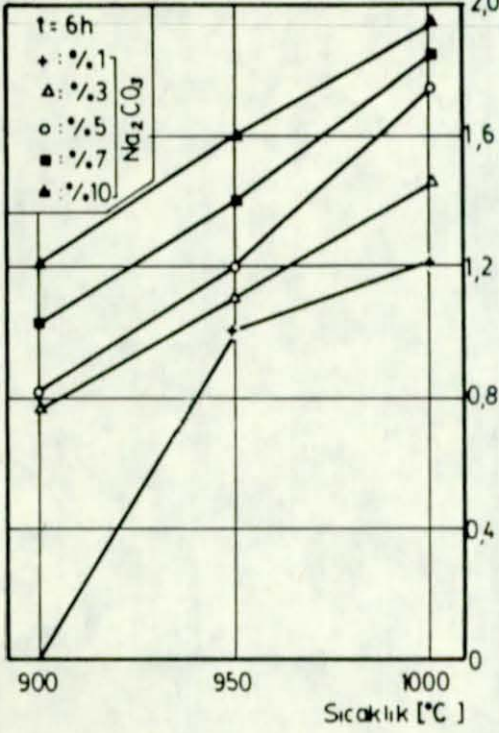
Diyagram: 22



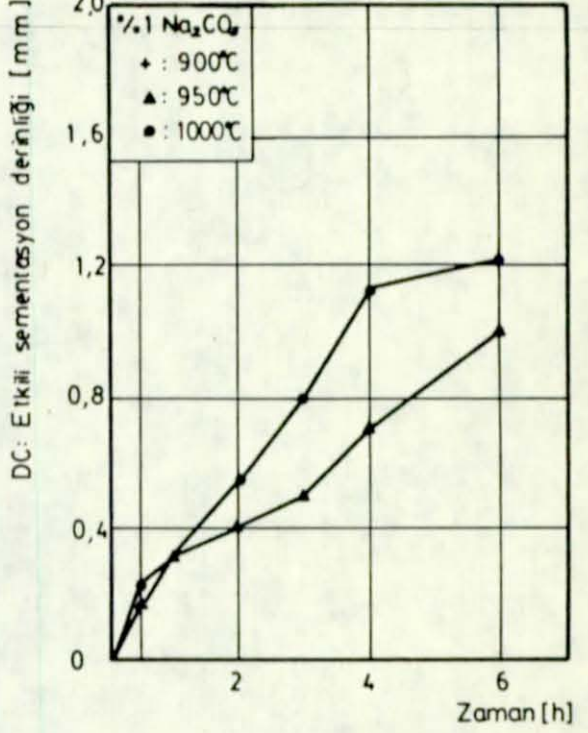
Diyagram: 23



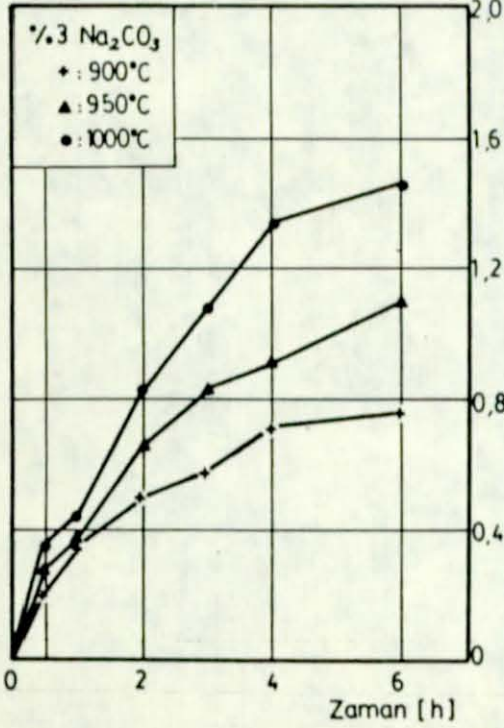
Diyagram: 24



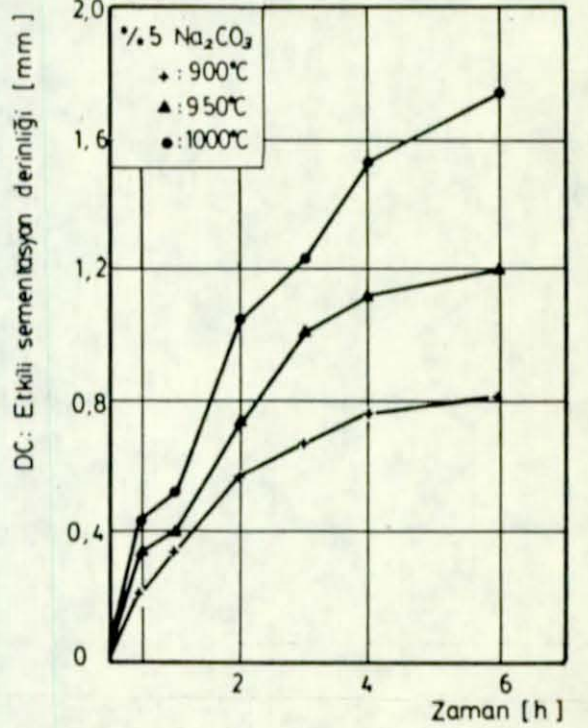
Diyagram: 25



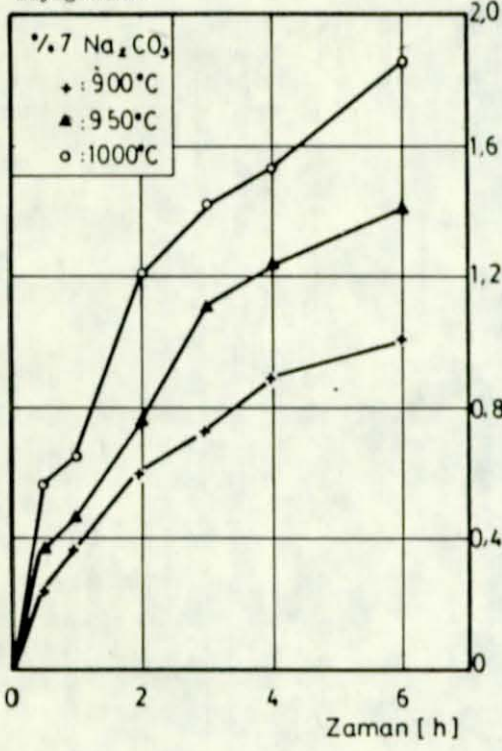
Diyagram: 26



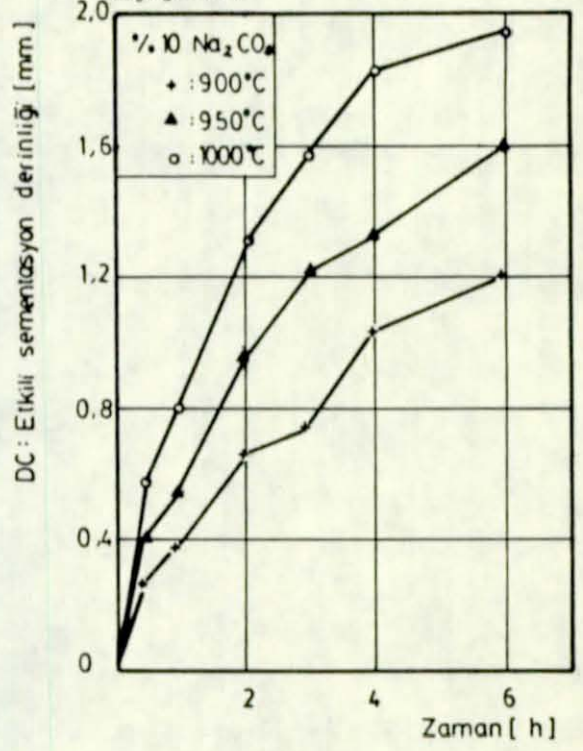
Diyagram: 27



Diyagram: 28



Diyagram: 29



6. İRDELEME

Karbürleme sıcaklığı olarak 900 °C, 950 °C, 1000 °C, karbürleme süresi olarak 0,5h, 1h, 2h, 3h, 4h, 6h ve aktivatör olarak %1, %3, %5, %7, %10 Na₂CO₃ alınarak yapılan deneyler sonucunda numune yüzeyindeki karbon oranı, karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranına göre değişik değerler almıştır.

%1 Na₂CO₃ ihtiva eden ortamda; 900 °C de karbürlenen numuneler karbon almamış, 950 °C ve 1000 °C de karbürlenen numunelerin yüzeyinde ise %0,7 dolayında karbon oluşmuştur.

900 °C de; %3, %5, %7 Na₂CO₃ ihtiva eden ortamdaki numunelerin yüzeyinde perlitik içyapı oluşmuş (%0,8 C), %10 Na₂CO₃ ihtiva eden ortamdaki numunelerin yüzeyinde ise tane sınırlarında sementit ağı oluşmaya başlamıştır. Bu da karbon oranının %0,85-0,90 dolayında olduğunu göstermektedir.

950 °C ve 1000 °C de; %1 ve %3 Na₂CO₃ ihtiva eden ortamda karbürlenen numunelerin yüzeyinde perlitik içyapı oluşmuş, (%0,8 C), %5 den daha fazla Na₂CO₃ ihtiva eden ortamdaki numunelerin yüzeyinde, tane sınırlarında sementit ağı oluşmaya başlamış, %10 Na₂CO₃ oranında ise yüzeydeki karbon oranı %1'e ulaşmıştır.

Metalografik incelemeler sonucunda alınan bu sonuçlara göre, yüzeydeki karbon oranı bakımından en uygun karbürleme ortamı 900 °C de; %1 den fazla %10'a kadar Na₂CO₃ ihtiva etmelidir. 950 °C ve 1000 °C de ise aktivatör oranı %5 den fazla olmamalıdır.

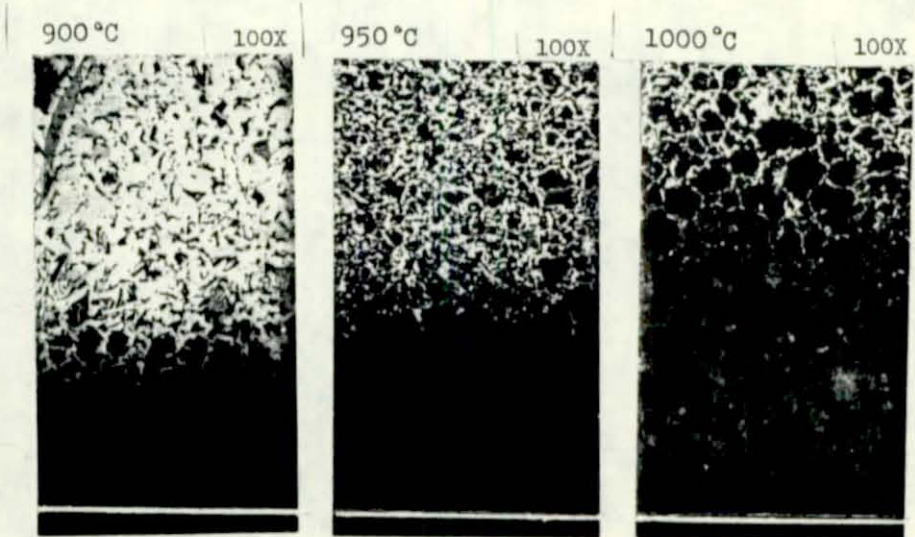
16-29 numaralı diyagramlarda karbürleme süresi, karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranının etkili sementasyon derinliğine etkileri görülmektedir. Buradan görüleceği gibi her üç parametrenin artışı, etkili sementasyon derinliğini artırmaktadır.

Deneyler sonucunda karbürleme süresinin etkili sementasyon derinliğini birinci derecede etkilediği görülmüştür. Yalnız, karbürleme süresinin etkili sementasyon derinliğini artırıcı etkisi, artan süre ile azalmaktadır. Örneğin, belirli bir karbürleme süresinde son iki saatin etkili sementasyon derinliğinde sağladığı artış bir önceki iki saatten daha azdır.

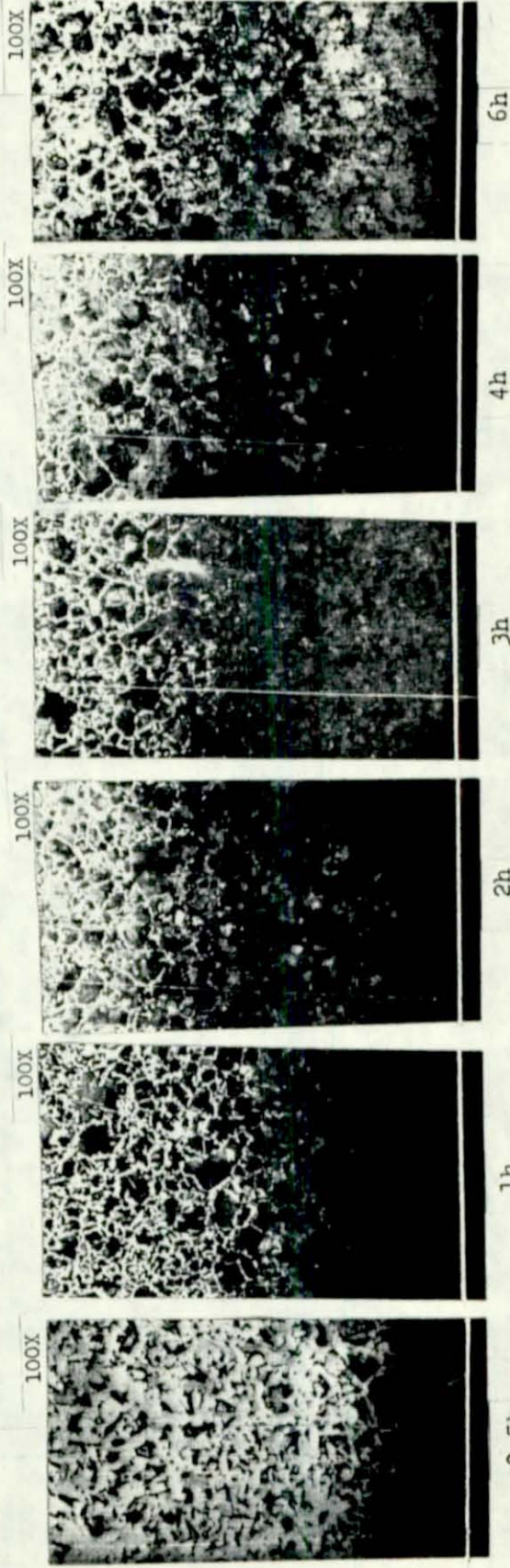
Etkili sementasyon derinliğini ikinci derecede etkileyen karbürleme sıcaklığının artışı karbürleme süresinin aksine etkili sementasyon derinliği artışını hızlandırmaktadır. Öyleki, 950°C-1000°C arasındaki 50°C lik farkın sağladığı artış 900°C-950°C arasındaki 50°C nin sağladığı artıştan daha fazladır.

Aktivatör oranının etkili sementasyon derinliğine etkisi ise karbürleme sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişmektedir. 900°C deki 0,5h ve 1h lık sürelerde değişik aktivatör oranlarının etkili sementasyon derinliği artışına etkileri arasındaki fark çok az olmuş, süre ve sıcaklığın artmasıyla aktivatör oranlarının etkileri arasındaki fark belirgin bir hale gelmiştir.

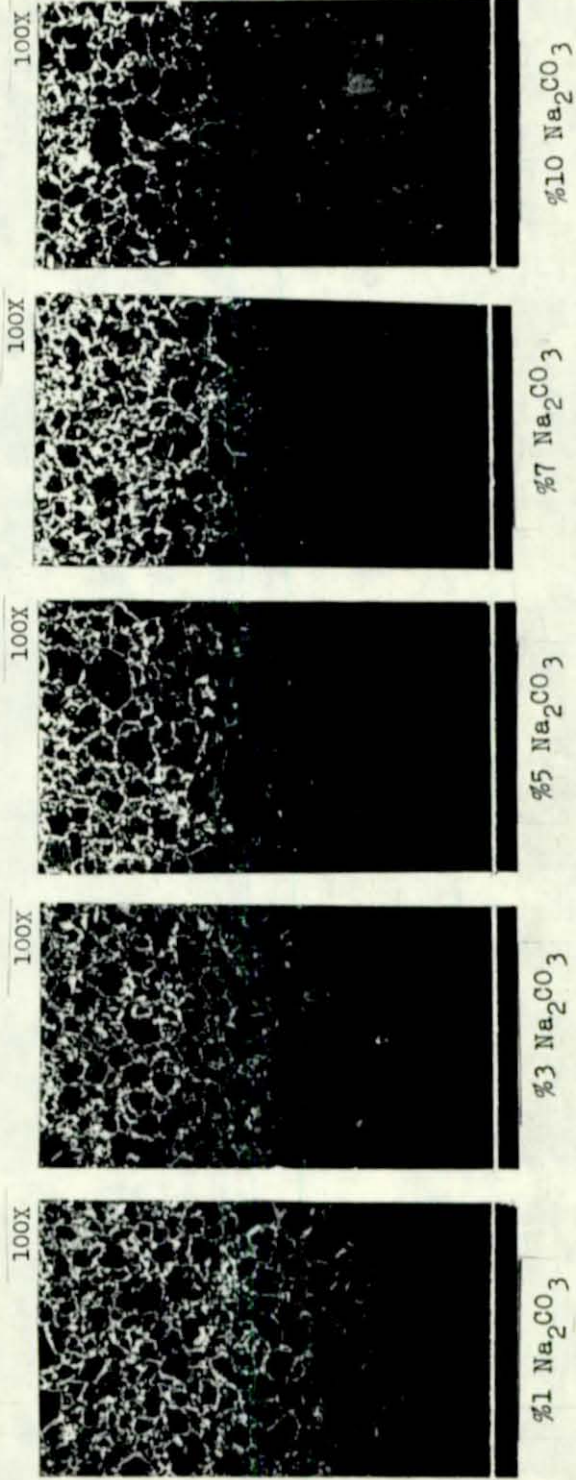
Şekil:6-1 karbürleme sıcaklığının, şekil:6-2 karbürleme süresinin, şekil:6-3 ise aktivatör oranının etkili sementasyon derinliği artışına etkilerini göstermektedir.



Şekil:6-1. %10 Na₂CO₃ ihtiva eden ortamda 2h karbürlenen numunelerde etkili sementasyon derinliğinin karbürleme sıcaklığı ile değişimi.



Şekil:6-2. 950°C de %10 Na₂CO₃ ihtiva eden ortamda karbürlenmiş numunelerde etkili sementasyon derinliğinin karbürlenme süresi ile değişimi.



Şekil:6-3. 1000°C de 2h kârbürlenmiş numunelerde etkili sementasyon derinliğinin aktivatör oranı ile değişimi.

Karbürleme süresi dışında en yüksek etkili sementasyon derinliği değerleri 1000°C karbürleme sıcaklığı ve %10(Na_2CO_3) aktivatör oranında alınmakla beraber, tablo:4-4 de görüldüğü gibi karbürleme süresi, karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranı değiştirilerek değişik şartlarda aynı etkili sementasyon derinliklerine ulaşılabilir. Örneğin, 900°C de %3 Na_2CO_3 ihtiva eden ortamda 6h karbürleme sonucunda 0,769 mm lik bir derinliğe ulaşılır. Bunun yanında, aynı derinlikten daha fazlası 0,815 mm olarak 1000°C ve %10 Na_2CO_3 şartlarında 1h karbürleme ile elde edilebilmiştir. Bunun için sementasyondan önce belirli bir etkili sementasyon derinliği hedef alınmışsa, mevcut şartlara göre karbürleme süresi, karbürleme sıcaklığı ve aktivatör oranı değiştirilerek bu değere ulaşılır.

7. KAYNAKLAR

1. Merkblatt 452:Beratungsstelle für Stanhlverwendung, Düsseldorf 1981.
2. American Society for Metals;Carbürizing and Carbonitriding,Ohio 1977.
3. Thelning,K-E:Bofors El Kitabı 'Çelik ve Isıl İşlemi'. Çeviren:Adnan Tekin,İstanbul 1984.
4. Weissbach,Wolfgang:Malzeme Bilgisi ve Muayenesi. Çevirenler:Selahaddin Anık,E.Sabri Anık,İstanbul 1977.
5. TS 2850:Sementasyon Çelikleri 1.baskı,Ankara 1977.
6. TS 1719:Karbürleme ve sertleştirmede elde edilen etkili derinliğin tayini ve kontrolü 1.baskı,Ankara 1974.
7. Asil Çelik Teknik Yayınları:Sementasyon Çelikleri, İstanbul 1982.