

Ç.1020 ÇELİĞİNİN SEMENTASYONUNDA ORTAM VE ZAMANIN SERTLEŞME
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

İÇİNDEKİLER

| | Sayfa |
|---|-------|
| ÖZET | VI |
| ABSTRACT | VIII |
| 1. GİRİŞ VE AMAÇ | 1 |
| 2. TEORİK İNCELEMELER | 2 |
| 2.1. ÇELİKLERDE YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ | 2 |
| 2.1.1. Bileşim Değiştirmeden Yapılan Yüzey Sertleştirme | 2 |
| 2.1.1.1. Alevle Sertleştirme | 2 |
| 2.1.1.2. İndüksiyonla Sertleştirme | 4 |
| 2.1.2. Bileşim Değiştirerek Yapılan Yüzey Sertleştirme | 7 |
| 2.1.2.1. Katı Ortamda Yapılan Yüzey Sertleştirme | 7 |
| 2.1.2.1.1. Kutu Sementasyonu | 7 |
| 2.1.2.1.2. Silikonizasyon | 7 |
| 2.1.2.2. Sıvı Ortamda Yapılan Yüzey Sertleştirme | 7 |
| 2.1.2.2.1. Sıvı Sementasyonu | 7 |
| 2.1.2.2.2. Karbonitrürasyon | 7 |
| 2.1.2.3. Gaz Ortamda Yapılan Yüzey Sertleştirme | 8 |
| 2.1.2.3.1. Gaz Sementasyonu | 8 |
| 2.1.2.3.2. Nitritürasyon | 8 |
| 2.2. DİFÜZYON TEORİSİ | 10 |
| 2.2.1. Difüzyon Mekanizması | 10 |

| | |
|--|----|
| 2.2.2. Isıl Enerji Dağılımı | 11 |
| 2.2.3. Atom Yayınması | 13 |
| 2.2.4. Difüzyonun Matematiksel İzahı | 13 |
| 2.2.5. Difüzyona Etki Eden Faktörler | 16 |
| 2.2.5.1. Alaşım Elemanları Ve Gayrisafiyetler | 16 |
| 2.2.5.2. Sıcaklık | 17 |
| 2.2.5.3. Derişme | 17 |
| 2.2.5.4. Kristal Yapının Etkisi | 17 |
| 2.3. SEMENTASYON | 18 |
| 2.3.1. Sementasyon Sertleştirmesinin İçeriği | 18 |
| 2.3.2. Sementasyon Çelikleri | |
| 2.3.3. Sementasyon Olayı | 20 |
| 2.3.3.1. Sementasyon Süresi Ve Sıcaklığı | 21 |
| 2.3.3.2. Sementasyon Tabakası | 23 |
| 2.3.3.3. Sementasyon Derinliği | 24 |
| 2.3.3.4. Yüzey Sertleştirme Derinliği | 24 |
| 2.3.3.5. Yüzey Sertliği | 28 |
| 2.3.3.6. Çekirdek Sertliği | 28 |
| 2.3.4. Sementasyon Yöntemleri | 32 |
| 2.3.4.1. Kutu Sementasyonu | 32 |
| 2.3.4.2. Sıvı Sementasyonu | 37 |
| 2.3.4.3. Gaz Sementasyonu | 42 |
| 2.4. SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ | 46 |
| 2.4.1. Direkt Sertleştirme | 46 |
| 2.4.2. Basit Sertleştirme | 47 |
| 2.4.3. Basit Sertleştirme (ara tavından sonra) | 47 |
| 2.4.4. Basit Sertleştirme (izotermik dönüşünden sonra) | 48 |
| 2.4.5. Çift Sertleştirme | 48 |
| 2.5. MENEVİŞLEME | 48 |
| 2.6. SU VERME ORTAMLARI | 49 |

| | Sayfa |
|---|-------|
| 2.6.1. Su | 49 |
| 2.6.2. Tuzlu Su | 50 |
| 2.6.3. Yağlar | 50 |
| 2.6.4. Su Ve Yağın Karışımı | 52 |
| 2.6.5. Tuz Banyoları | 52 |
| 2.6.6. Hava | 53 |
| 2.7. YÜZEY SERTLEŞTİRME SIRASINDA OLUŞAN BOYUTSAL DEĞİŞİMLER | 53 |
| 2.7.1. Sementasyon Sırasında Oluşan Boyutsal Değişimlere Ait Örnekler | 55 |
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 59 |
| 3.1. DENEY GENEL PLANI | 59 |
| 3.2. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER | 59 |
| 3.3. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR VE ÖLÇÜ ALETLERİ | 60 |
| 3.4. DENEYİN YAPILIŞI | 61 |
| 3.5. DENEY SONUÇLARI | 65 |
| 3.6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ | 69 |
| EKLER | 73 |
| KAYNAKLAR | 80 |

ÖZET

Bu çalışmanın konusu; Çeliklerde yüzey sertleştirme yöntemlerinden biri olan sementasyon yönteminde; Sementasyon ortamı, sementasyon zamanı ve su verme ortamının, Ç 1020 çeliği üzerindeki etkilerinin incelenmesidir.

Bu çalışma esas olarak «Teorik İncelemeler» ve «Deneysel Çalışmalar» olmak üzere iki bölümden meydana gelmiştir. Teorik incelemeler bölümünde, ilk olarak yüzey sertleştirme yöntemleri hakkında genel bilgi verilmiş, daha sonra sementasyonun esasını oluşturan «Difüzyon Teorisine» geçilmiştir. Bu çalışmanın konusu olan «Sementasyonun» ayrıntılı olarak açıklanmasıyla teorik incelemeler bölümü tamamlanmıştır.

Deneysel çalışmalar bölümünde, önce Ç 1020 çeliğinden hazırlanan numunelere; Belirli şartlarda, sıvı ve gaz ortamlarda sementasyon uygulanıp, daha sonra sertleştirme ve menevişleme işlemleri yapılarak elde edilen sertlik derinlikleri değişimi, sementasyon ortamı, sementasyon zamanı ve su verme ortamına bağlı olarak belirlenmiştir.

ABSTRACT

The subject of this study includes examination of effect of carburizing surroundings, carburizing time and quenching surroundings on Ç 1020 steel in the method of carburizing which is one of the methods of surface hardening.

This study can be divided in two parts «Theoretical examinations» and «Tests». In the section of theoretical examinations had been written knowledges about of the methods of surface hardening and then had been passed to «Theory of Diffusion». The section of theoretical examinations had been finished with explanation of carburizing that is subject of this study.

In the section of tests, first of all the samples of Ç 1020 had been prepared. The method of carburizing had been applied to this samples in liquid surroundings and gas surroundings. Also the methods of hardening and tempering had been applied this samples. The case depth which is obtained as a result of this methods had been established depending to carburizing surroundings, carburizing time and quenching surroundings.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yüzey sertleştirme işlemleri; Birçok mühendislik uygulamasında gereksinim duyulan yüzeyi sert ve aşınmaya dayanıklı, aynı zamanda darbeli çalışmalara dayanabilecek toklukta parçaların yapımında kullanılır. Yüzey sertleştirme işlemleri sonucunda, parçanın aşınma dayanımı yanında yorulma dayanımı da önemli ölçüde artar.

Tasarımlarında yüzeyi sertleştirilmiş parçalara yer veren bir mühendis, bu parçaların üretimine doğrudan katılmasa da, gereçlere ve yüzey sertleştirme işlemlerine ilişkin olanak ve olası işlem aksaklıklarının bilincinde olmalıdır.

Sementasyon sertleştirilmesinde EK.2 de verilen sementasyon çeliklerinden yapılan parçalar karbon vericiler içinde tavlansak yüzeyleri karbonca zenginleştirilir. Bu esnada parçada sementit (Demir Karbür, Fe_3C) teşekkül ettiğinden, işleme de karbon verme veya SEMENTASYON denilir. Bu işlemle karbon bakımından zenginleşen parça yüzeyi, yapılan ısı işleme sertleştirilir. Kullanılan karbon verici ortana göre, sementasyon; Katı sementasyonu, sıvı sementasyonu veya gaz sementasyonu adını alır. Uygulanan metod her ne olursa olsun, sementasyon işlemi, çelik parçanın ostenit faz sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla gaz metal reaksiyonu sonucu oluşur ve her metod kendi özel karakteristiği ile çelik yüzeyinde farklı yüzey sertleştirme derinlikleri ve farklı sertlik değerleri verir.

Sementasyonun yanısıra günümüzde uygulanan yüzey sertleştirme yöntemleri; Alevle sertleştirme, indüksiyonla sertleştirme, nitrürasyon, karbonitrürasyon ve siyanürlemedir. Bunlardan alevle ve indüksiyonla sertleştirmede yüzey sertliği, parça yüzeyinin bileşimi değiştirilmeden sağlanır. Diğer yöntemlerde ise yüzey sertliği, bileşim değiştirilerek (karbon ve/veya azot içeriği artırılarak) elde edilir.

Sıvı ve gaz ortamlarda 1020 çeliğine uygulanan işlemlerde, sementasyon zamanı ve su verme ortamına bağlı olarak, sertlik değerleri ve sertleşme derinliği değişimlerinin belirlenmesi, bu çalışmanın amacı olmuştur.

2. TEORİK İNCELEMELER

2.1. ÇELİKLERDE YÜZEY SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

2.1.1. BİLEŞİM DEĞİŞTİRMEYEN YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME

2.1.1.1. Alevle Sertleştirme

Karbon oranı % 0,35 - 0,55 olan sade karbonlu ve krom nikel, krom molibdenli çeliklere uygulanan bir yöntemdir. Prensipte olarak; yüzeyi sertleştirilecek parçalara, kısa bir sürede yüzeyden içeriye iletilemeyecek kadar fazla ısı verilerek, iç kısmında önemli bir sıcaklık artışı meydana gelmeden dolayısıyla yapı değişikliği oluşturmadan, yalnız yüzeyleri ostenit yapısına dönüştürülüp su verilir. Bu yöntemle yüzeyden birkaç milimetre derinlikteki bölge sertleştirilir. Sertleştirme derinliği 1 mm'nin altına indirilemez.

Avantajları:

1. Sınırlandırılmış bölgesel sertleştirme
2. Kısa ısıtma süreleri
3. Minimum yüzey dekarburizasyonu (karbonsuzlaşma) ve oksidasyon
4. Sadece hafif deformasyon
5. Artan yorulma mukavemeti
6. Bu proses bir üretim hattı ile beraber birleştirilebilir.
7. Düşük proses maliyetleri

Isıtma için kullanılan gaz, genellikle oksijen ile asetilen, doğal gaz veya propan gibi yanıcı gazların karışımıdır. Bu gazlar sertleştirilecek parçanın şekline uygun bir şalomo ünitesinde karıştırılır. Parçanın şekli aynı zamanda, uygulanan sertleştirme yöntemini de kontrol eder. Aşağıda alevle sertleştirme yönteminin üç şekli verilmiştir.

1. El İle Uygulanan Alevle Sertleştirme

Bu yöntemde; parça, bir kaynak şalomosu ile veya diğer bazı şalomolarla sertleştirme sıcaklığına ısıtılır ve sonra su, yağ veya havada soğutulur. Isıtılacak yüzeyin tümünde üniform bir ısı dağılımının sağlanması için operatörün şalomo ile yüzeyde süpürme hareketi uygulanması gerekir. Bu yöntem, genelde bir civatanın ucu gibi küçük yüzeylerin sertleştirilmesinde kullanılır. Büyük parçalara da elle sertleştirme uygulanabilir, ancak bu işlem için büyük şalomolar gereklidir.

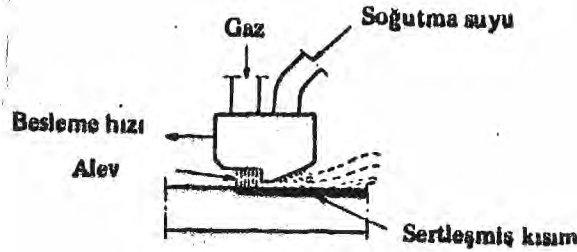
Sertleştirme; hareket eden birer tutucu içersinde bulunan parçaların şalomo önünden geçerken birkaç saniye ısıtıldıktan sonra su verme sıvısına düşürülmesi şeklinde otomatik olarak yapılabilir.

2. Spin Sertleştirme

Bu yöntem genelde dönel simetriğe sahip parçalara uygulanır. Parçalar birer döner tabla veya mengene üzerine yerleştirilir. Dönme hızı oldukça düşük, normal olarak 1 devir/ san dir. Isıtma işleminde kullanılacak üfleç sayısı parçanın boyutuna ve şekline bağlıdır. Spin sertleştirme aynı zamanda tamamen simetrik olmayan parçalara da uygulanabilir. Soğutma işlemi ya parçalara su püskürtme şeklinde yada su verme tankına daldırma şeklinde yapılır.

3. Tedrici (veya Kademeli) Sertleştirme

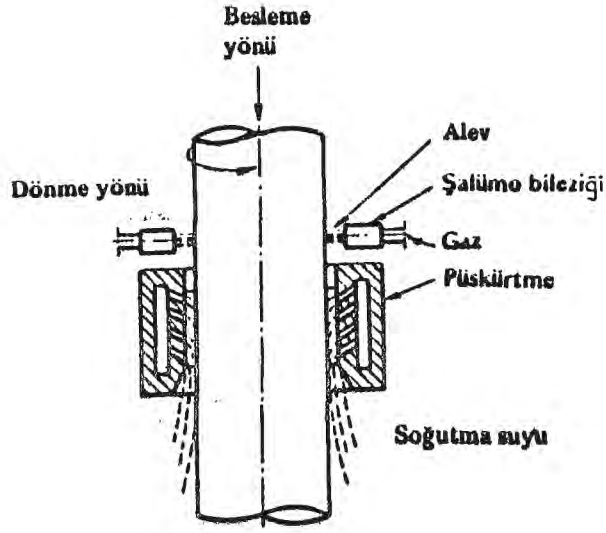
Bu yöntem, yassı bir yüzey üzerinde veya spin sertleştirme ile birleştirilerek uygulanabilir. İlk adımda, püskürtmeli soğutucu ile birleştirilmiş şalomo, ısıtılacak yüzey üzerinden geçirilir. (Şekil 2.1) Şalomonun hareket hızı oldukça düşüktür. (50 - 200 mm/ dak) Bu hız, doğal olarak, şalomonun büyüklüğüne ve sertleştirme derinliğine adapte edilmelidir.



Şekil 2.1. Kademeli alevle sertleştirmenin prensibinin şematik olarak gösterilmesi. (16)

Kademeli sertleştirme, spin sertleştirmeyele birleştirilirse (Şekil 2.2) dönme ve besleme hızı, sertleştirilen tabakanın uniformluğu için çok büyük önem taşır.

Bu yöntemle W1, O1 ve D2 türü takım çelikleri başarıyla sertleştirilebilir. Plastik üretiminde kullanılan kalıpların yapımında P20 çeliği seçilir. Bunların temas eden yüzeylerine alevle yüzey sertleştirme uygulanır ve havada sertleştirilirse sertlik 50 - 53 HRC değerine ulaşabilir.



Şekil 2.2. Kademeli spin sertleştirmenin prensibinin şematik olarak gösterilmesi (16).

2.1.1.2. İndüksiyonla Sertleştirme

Yüzey sertleştirme yöntemleri içinde en hızlı ve en temiz olanı indüksiyonla sertleştirmedir. İndüksiyonla sertleştirme elektriksel indüksiyon olgusundan kaynaklanmaktadır.

İndüksiyonla ısıtmanın yapıldığı cihazda elektrik akımını geçirmek için, kangal yada serpantin şeklinde içi boş bakır borudan yapılmış bir iletken kullanılır. Akım geçmeğe başladığı anda, kangal çevresinde yaratılan mıknatıs alanı içine, dışına yada altına yerleştirilen çelik parça ısınır. Isınmanın arkasından çeliğe bileşimine bağlı olarak suda, yağda veya havada su verilir.

Bu yöntemin en büyük üstünlüğü hızlılığıdır. Fakat burada ilk yapının önemi büyüktür. Eğer çelik normallenmiş yada su verilip menevişlenmiş ise, ısıtma çok kısadır. Fakat tavllanmış yapılardaki karbürler ostenitleme sürecinde çözüneceklerinden ısıtma süresinin uzatılması gerekir. Bu aşırı ısıtmaya neden olabilir yada ısıtma yetersiz kalabilir.

Bu yöntemle % 0,30 - % 0,50 oranlarda karbon içeren çeliklerin yüzeyleri sertleştirilir ve sertlikleri karbon oranına bağlı olarak 50 - 60 HRC arasında değişir. Bununla birlikte ısıtma koşulları çok iyi ayarlanır ve denetlenirse daha yüksek karbonlu çeliklerde indüksiyonla sertleştirme uygulanabilir. Sanayi uygulamalarında kullanılan

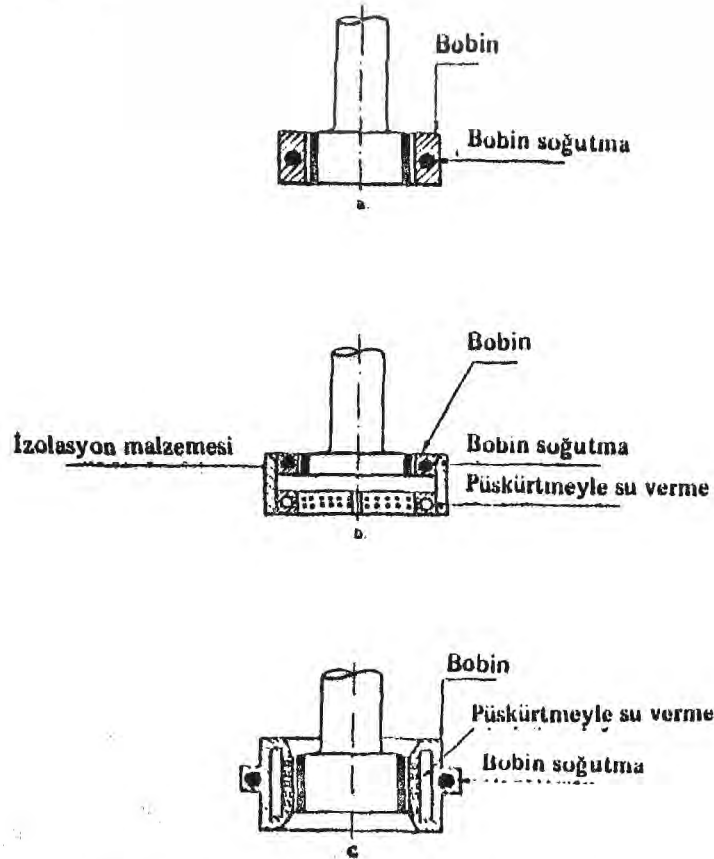
soğuk haddeme merdanelerinin yapımında kullanılan % 0,8 C lu alaşım-
lı çelikler indüksiyonla sertleştirme işlemiyle yüzeyleri sertleştirir-
ilir.

Elde edilen sertleşme derinliği uygulanan alternatif akımın fre-
kansına bağlıdır. Frekans değeri yükseldikçe sertleşme derinliği küçü-
lür. 0,5 - 50 kHz değerindeki frekans için sertleşme derinliği yakla-
şık 1 - 3 mm; 50 kHz - 10 MHz için ise 0,1 - 1 mm dir. Bu nedenle de-
rin ve tam sertleşme istendiğinde düşük frekans değerlerinde çalışıl-
ması gerekir.

Isıtma ve soğutma iki ana yöntemle uygulanabilir. Bunlar;
tek su darbesiyle sertleştirme ve kademeli (adım adım ilerleyen) sert-
leştirme yöntemleridir.

1. Tek Su Darbesiyle Sertleştirme

Bu yöntem sırasında parça bobin içersine yerleştirildikten son-
ra ısıtılır. Daha sonra Şekil 2.3 de görüldüğü gibi parçaya çeşitli
yollarla su verilir.



Şekil 2.3. İndüksiyonla sertleştirme sırasında farklı su verme yöntemleri-
ne ait örnekler. (16)

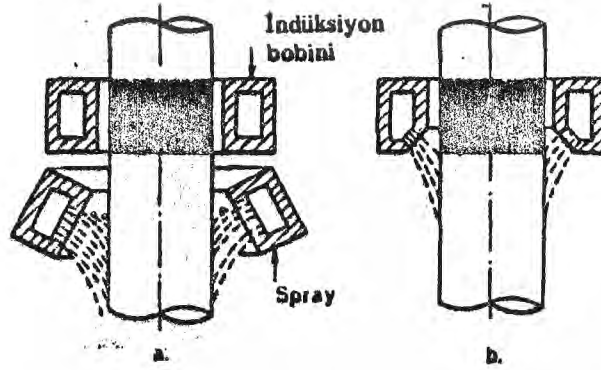
(a) Parça el ile ya su verme sıvısı içersine daldırılır veya içersine konulduğu malzemeden serbest bırakılarak sıvının içine düşürülür.

(b) Sertleştirme makinalarında, ısıtılan çelik parça, ısıtma kesildiğinde bir püskürtücü su ortamının içersine otomatik olarak beslenir.

(c) Bobin aynı zamanda yüksek frekanslı akımın kesildiği anda çalışmaya başlayan su püskürtme ortamına sahiptir.

2. Kademeli Sertleştirme

Kademeli sertleştirme, ya güç çıkışının tek -su darbesiyle sertleştirmeye izin vermemesi veya özellikle çok sığ bir sertlik derinliğinin gerekli olduğu durumlarda kullanılır. Bu yöntem çok uzun parçalar için uygulanır ve normal olarak enine kesit alanının sertleştirilmiş yüzey boyunca üniform olmasını gerektirir. Sertleştirme sırasında parça, ya dönen bir mengene üzerinde veya bir çift çene arasında sıkıca tutulmalıdır. Parçanın ısınması ve bobin ile püskürtme sıvısının içersinden geçerkende su verme işlemine maruz kalması için, parça bobin içersinden belli bir hızla ileriye doğru beslenir. Şekil 2.4 de gösterilen ayrı bir püskürtme de uygulanabilir.



Şekil 2.4. Ayrı püskürtme (a) ve iş ve püskürtme bobini (b) kullanarak yapılan kademeli sertleştirme (16)

Burada iş bobini alternatif olarak su püskürtme ile bir ünite şeklinde birleştirilebilir. Böylece su püskürtme halkasının kendisi de indüktör olarak fonksiyon gösterir. (Şekil 2.4.b) Kademeli sertleştirme, eksenel simetriğe sahip olmayan parçalarda uygulanabilir. Burada soğutma havayla yapılır.

2.1.2. BİLEŞİM DEĞİŞTİREREK YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME

2.1.2.1. KATI ORTAMDA YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME

2.1.2.1.1. K u t u S e m e n t a s y o n u

Bu yöntem ilerki bölümlerde detaylı olarak incelenmiştir.

2.1.2.1.2. S i l i k o n i z a s y o n

Silikonizasyon; % 0,10 - 0,20 C ihtiva eden sade karbonlu çeliklerin yüzeyine Si yayındırarak, orta sertlikte, korozyona dayanıklı ve % 0,14 Si içeren bir yüzey tabakası meydana getirmektir. Silikonize edilecek parça silisyumkarbür ve klor gazının etkisinde 2 saat süreyle 900 - 1000°C ta ısıtılır. Ayrıca bir ısıl işlem gerektirmez.

Yüzey tabakası 125 μ dan 2,5 mm ye kadar değişir ve tabaka kalınlığı ortama ilâve edilen Cl gazı oranı ile belirlenir. Silisyum miktarının artması malzemenin taşlanmasına daha uygun bir yüzey elde edilmesine olanak verir. Yüzey sertliği 80 - 85 RC civarındadır.

Silikonizasyon işleminde amaç; korozyon direncini arttırmaktır. Silikonize edilmiş yüzey nitrik asit, H_2SO_4 ve HCl ye dayanıklıdır. Yüzeyin yüksek sıcaklıklara dayanımı yüksektir. 980°C ye kadar oksitlenme görülmez. 650 - 850°C ler arasında çok uzun ömre sahiptir. Sürtürmeli aşınmaya dayanıklı bir yüzeydir. Fakat yüzeylerin hareket hızı çok yüksek ise dayanım düşer.

Uygulama alanları; Silindirik gömlekleri, vanalar, vana yatakları, termokupl koruma tüpleridir. Hem korozyon hem ısı hemde aşınmanın bulunduğu yerlerde avantaj teşkil eder.

2.1.2.2. SIVI ORTAMDA YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME

2.1.2.2.1. S ı v ı S e m e n t a s y o n u

Bu yöntem ilerki bölümlerde ayrıntılı olarak incelendi.

2.1.2.2.2. K a r b o n i t r ü r a s y o n

Bir tuz banyosunda veya gaz ortamda uygulanan karbonitrürasyon işleminde, karbon ve azot aynı anda çelik yüzeyine absorbe edilir. Azot karbürize tabakanın sertliğini arttırır. Karbonitrürasyon sıcaklığı normal olarak 800 - 900°C dir. Ancak bu sıcaklıklardan daha düşük ve daha yüksek sıcaklıklar da kullanılabilir. Bir tuz banyosunda uygulanan

karbonitrürasyon esas olarak siyanür banyosundaki sertleştirmeyle aynıdır.

Karbonitrürasyon denilince, azotun karbonla beraber aynı anda ortamdan alındığı karbürizasyon (sementasyon) anlaşılır. Bu işleminde azot, amonyak gazı halinde, fırına doğrudan veya sementasyon gazlarında kullanılan benzer besleyici borularla verilir. Amonyak miktarı genellikle % 3 - 4 arasında tutulur. Yüzey tabakasının normal azot miktarı % 0,4 civarındadır. Karbonitrürasyon sonrası, tıpkı alışılmalı gaz karbürizasyonunda olduğu gibi çelik sertleşme gösterir.

Amonyakın ilavesi bazı hallerde işlemin sadece son 30 - 60 dakikasında yapılır. Bunun amacı, yüzey tabakasında iç oksitlenme sonucu meydana gelecek yumuşak bir tabakanın oluşmasından kaçınmaktır. Bu tür bir oksitlenme sonucu, alaşım elementleri oksijen ile birleşirler ve dolayısıyla sertliğin düşmesine neden olurlar.

Sonuç olarak:

1. Karbonitrürasyon, alışılmalı yüzey sertleştirmeye oranla çeliğin sertleşebilirliğini ve aşınma direncini artırır..
2. Karbonitrürasyon, sade karbonlu çeliklere öyle sert ve üniform bir yüzey tabakası sağlar ki, bu çelikler su verildiklerinde yumuşak noktalar içerebilir.
3. Normal olarak suda su verilen sade karbonlu ve alaşımli çeliklere karbonitrürleme işlemi uygulandığında, bazen yağda su verilir.

2.1.2.3. GAZ ORTAMDA YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRME

2.1.2.3.1. G a z S e m e n t a s y o n u

İlerki bölümlerde ayrıntılı olarak incelendi.

2.1.2.3.2. N i t r ü r a s y o n (Nitrürleme veya Azotlama)

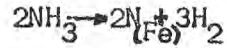
Nitrürasyon işlemi; ferritik termo-mekanik işlem olup, genellikle atomik hidrojenin 500 - 590°C sıcaklıkları arasında ferrit faza geçişini kapsamakta ve sonuç olarak, oda sıcaklığında yapılan soğutma sırasında, herhangi bir faz dönüşümünün oluşması söz konusu olmamaktadır.

Nitrürasyon işlemiyle çeliğin geliştirilen özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Menevişlenme tehlikesinin azaltılmasıyla beraber yüksek yüzey sertliği ve aşınma mukavemeti
2. Temperlemeye karşı yüksek direnç ve yüksek sıcaklık sertliği
3. Yüksek yorulma mukavemeti ve düşük yorulma çentik hassasiyeti
4. Paslanmaz olmayan çelikler için iyileşmiş korozyon direnci
5. Yüksek boyutsal kararlılıktır.

Nitrürasyon işlemi özel alaşımlı çeliklere uygulanır. Bu çelikler genel olarak % 1-2 Cr, % 1 Al, % 0,2 Mo ve bazen %1....2 Ni içerir. Karbon içeriği % 0,3....0,5 civarında değişir.

Nitrürasyon işlemi, amonyak gazı atmosferinde yada erimiş siyanür tuzlarından oluşan banyolarda yapılır. İşlem sıcaklığında amonyak,



reaksiyonuna göre ayrışır. Reaksiyon sonucu atomik olarak ayrılan azot, çelik tarafından absorbe edilir ve alaşım elementleriyle nitrür oluşturarak çelik yüzeyine çöker. Oluşan nitrür tabakası serttir, sertleştirmeye gerek olmadığı gibi oldukça yüksek sıcaklıklarda bile sertliğini kaybetmez. Ulaşılan sertlik değeri $VS \geq 1000 \text{ kgf/mm}^2$ kadardır. Azotun yayınma hızının düşük olması nedeniyle, çok uzun tav süreleri gerekir. Elde edilen sertleşme derinliği azdır. Bu derinlik nadiren 0,8 - 0,9mm olabilir. Bu da ancak çok uzun bir zamanda teşekkül eder. Sertleşen tabakanın ince olması nedeniyle bu yüzeyler ağır yükler kaldıramazlar. Buna karşılık nitrürlenmiş tabakalar yüksek sertliğinden dolayı aşınmaya karşı çok mukavimdirler.

İşlem sonunda su vermeye gerek olmaması ve düşük sıcaklıkta çalışılması nedeni ile, nitrürleme işleminde ilave iç gerilmeler ortaya çıkmaz. Hatta işlem sırasında mevcut iç gerilmeler giderilir. Mevcut iç gerilmelerin giderilmesi ise parçanın boyutlarında küçük değerlerde değişiklikler meydana getirir. Eğer nitrürlemeden sonra parçaların boyutlarının değişmemesi isteniyorsa, son şekil vermeden evvel 3 saat kadar 500-550°C de tavlama ve böylece bütün iç gerilmelerin giderilmesi gerekir. Buna rağmen, nitrürleme sonunda çok küçük değerlerde şekil değişiklikleri meydana gelir. Bu şekil değişiklikleri nitrürlü tabakanın hacmindeki artma çok azdır ve çapta ortalama % 0,1....0,5,

kalınlıkta ise 0,0005....0,002 mm civarındadır. Bu nedenle ihmal edilebilir.

Nitrürlenecek parçaların yüzeylerinin temiz, kavlanmamış, yağsız olması gerekir. Nitrülenmeyecek bölgeler kalay veya nikelle kaplanır.

Nitrürasyon işlemi; sonsuz vidalar, krank milleri piston saplamaları, tekstil makinaları parçaları ve dişlilerde kullanılır.

2.2. DİFÜZYON TEORİSİ

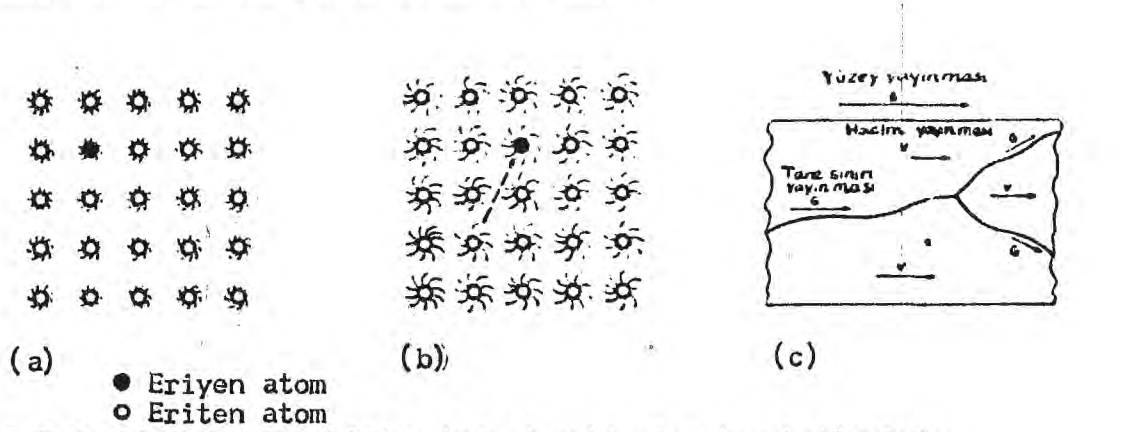
2.2.1. DİFÜZYON MEKANİZMASI

Difüzyon, malzeme içindeki atomların hareket etmesi olayıdır. Bu olay gazlar, sıvılar ve sonuç olarak çelikler ve diğer metalik sistemlerde meydana gelir. Difüzyonun ısı işlemlerin çoğunda büyük önemi vardır. Bu nedenle, difüzyon mekanizmasının ve difüzyon kanunlarının anlaşılması, sementasyon, dekarbürizasyon, nitrürasyon(nitrürlenme) ve tavlama gibi ısı işlemlerin kavranmasını kolaylaştırır.

Sıvı ve gazlarda moleküllerin gelişigüzel hareketleri sayesinde difüzyon çok kolaydır. Katılarda ise özellikle kristalin katılarda atomlar latis noktalarına oturmuşlardır. Bu durumda atomların hareketleri daha zordur.

Kristal atomları yalnız mutlak sıfırda (-273°C) hareketsizdir. Bu şartlarda atom, komşu atomlar arasında en düşük enerji katına yerleşir. Sıcaklık mutlak sıfır üzerinde bir sıcaklık derecesine yükseltirse iki türlü atomsal hareket görülür. Bunlardan birincisi; atomların billur kafeslerindeki denge konumları etrafında titreşimidir. Şekil 2.5 a`da orta sıcaklıklarda meydana gelen nisbeten hafif titreşimler her atomun denge konumundan çıkan kısa çizgilerle gösterilmiştir. Titreşim, büyük ölçüde bir yayınma, yani atomların büyük mesafelerde hareketi olmadan meydana gelir. Yayınma, yani meydana gelebilecek ikinci tip atomsal hareket, şematik olarak Şekil 2.5.b de gösterilmiştir. Yayınma sırasında bazı atomlar billur kafesi içindeki konumlarını komşu atomlara nazaran değiştirirler. Yayınma için de atomların titreşimleri gereklidir. Ayrıca, bu atomsal titreşimin genliği sıcaklık derecesi ile arttıkça yayınma hızı da artar. Şekil 2.5.c de üç tür yayınma gösterilmiştir. Hernekadar yüzey ve tane sınırı yayınmalarının özgül hızları, hacim

yayınması hızından çok daha büyük iseler de toplam yayına üzerindeki tesirleri, tane sınırı ve yüzey bölgelerinde atomların nisbeten az sayıda olması dolayısı ile genel olarak küçüktür.



Şekil 2.5. Bir alaşımın billur kafesindeki atom hareketlerinin şematik gösterilişi(2)

(a) Orta sıcaklıklarda atomların titreşimi

(b) Yüksek sıcaklıklarda atomların titreşimi arttığından yayınma hızları

(c) Yüzey, tane sınırı ve hacim yayınlamalarının şematik resmi

2.2.2. ISIL ENERJİ DAĞILIMI

Bir gazın toplam kinetik enerjisi, (E) sıcaklık derecesi T'ye bağlı olarak çoğalır ve şu denklemle gösterilir.

$$E = \frac{3}{2} RT \dots \dots \dots (2-1)$$

Bu denklemde;

R= Gaz Sabitesi = 1,987 Cal/ mol°C

Bu formülde R yerine kN kullanılırsa

$$E = \left(\frac{3}{2} kT \right) N \text{ olur} \dots \dots \dots (2-2)$$

N, Avogadro sayısı; $6,02 \cdot 10^{23}$ atom/ mol, k, Boltzman Sabiti; $0,33 \cdot 10^{-16}$ Cal/ mol°C dir. k, çoğunlukla $1,38 \cdot 10^{-16}$ erg/mol°C ye çevrilir.

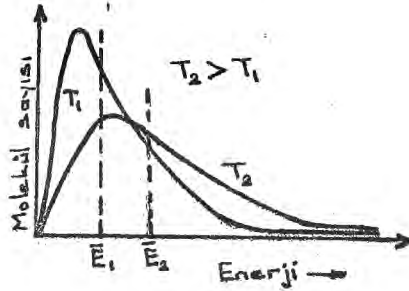
Yukarıdaki formül bir gaz içindeki bütün moleküllerin aynı enerjiye sahip olduğunu göstermez. Şekil 2.6 da görüldüğü gibi, enerjinin belli bir dağılımı vardır. Herhangi bir anda çok az sayıda molekülün enerjisi sıfıra yakın, çoğunun enerjisi ortalama enerjiye yakın ve bir

kısımınıki ise çok yüksek olacaktır.

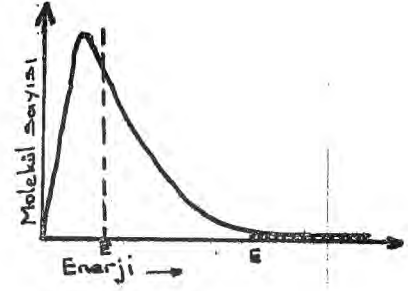
Sıcaklık derecesi yükseldikçe;

1. Moleküllerin ortalama enerjisinde bir yükselme olacak ve,
2. Belli bir değerin üstündeki molekül sayısı artacaktır.

Yukardaki durum bir gazdaki moleküllerin kinetik enerji dağılımını göstermektedir. Bir katı veya sıvıdaki atomların titreşim enerji dağılımı da aynı prensiplere dayanır.



Şekil 6. Enerji dağılımı. Sıcaklık derecesi T yükseldikçe ortalama enerji \bar{E} ve ortanın üstünde enerjisi olan atom oranı yükselir. (5)



Şekil 7. Enerji $E \gg \bar{E}$ olduğu zaman yüksek enerji atomlarının toplan sayısına olan oranı (gölgeli), $(-E/ kT)$ değerin bir kuvvet fonksiyonudur. (5)

Belli bir enerji seviyesinin üstündeki atomların örneğin Şekil. 2.7 de E enerji seviyesinin üstündeki atomların oranı Boltzmann tarafından istatistik olarak şöylece formüle edilmiştir.

$$\frac{n}{N_{top}} = f \left(e^{-\frac{E-\bar{E}}{kT}} \right) \dots\dots\dots(2-3)$$

Bu denklemden;

-16

k= Boltzman Sabiti = $1,38 \cdot 10^{-16}$ erg/°K mol

\bar{E} = Ortalama enerji seviyesini

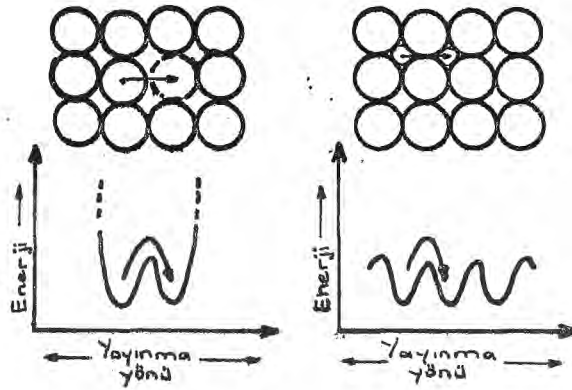
n= T sıcaklığına bağlı olarak, N_{top} atomdan kaç tanesinin E enerji seviyesinin üstünde olduğunu gösterir.

$E \gg \bar{E}$ ise, M sabit olmak üzere

$$\frac{n}{N_{top}} = M. e^{-\frac{E}{kT}} \dots\dots\dots(2-4) \text{ olur.}$$

2.2.3. ATOM YAYINMASI

Normal ortamlarda Şekil 2.8.a daki boşluk etrafında altı atomdan her birinin boşluğa geçme ihtimali eşittir. Aynı şekilde, Şekil 2.8.b deki arayer atomunun altı yerden birine kayması ihtimali aynıdır.



Şekil 2.8. Atom hareketleri (a) Boşluk mekanizması. (b) Arayer mekanizması. (5)

Atomlar yerlerini değiştirecekse Şekil 2.8.a daki "enerji duvarını" aşmak zorundadırlar. Bunları aşmak için gerekli enerjiye (hata yapımı enerjisi ile beraber) yayınmanın hareket enerjisi (aktivasyon enerjisi) denir. Şekil 2.8.a da gösterildiği gibi atomu yanındakilerden koparmak için bir enerji gerekli olduğu gibi, arayer yayınmasında da atomu diğerleri arasında hareket ettirmek için de bir enerjiye ihtiyaç vardır. Hareket enerjisi bir çok etkene göre değişir. Örneğin, bir molekülde küçük bir atomun hareket enerjisi, büyük bir atomunkinden azdır. Arayer hareketi, boşluk hareketinden daha fazla enerji ister. Yüksek ergime sıcaklığı olan, bağları kuvvetli volfram, borkarbür ve korondum (Al_2O_3) gibi malzemelerde yayınma için gereken hareket enerjisi yüksek olacaktır.

2.2.4. DİFÜZYONUN MATEMATİKSEL İZAHI

Malzeme içinde konsantrasyon gradyanı mevcutsa, yani konsantrasyon mesafe ile değişiyorsa (dc/dx) bu durum atomların bir yönde

akmasına sebep olacaktır. Bu akıma, özel olarak " Difüzyon Akımı " adı verilir. Birim zamanda birim alandan geçen madde miktarı olarak tarif edilir ve "J" harfi ile gösterilir. Difüzyon akımı, ısı ve elektrik akımı gibi genel akım denklemlerine uymaktadır.

Genel akım denklemi:

Akım = İletkenlik x Akıma sebep olan kuvvet , şeklindedir.

Difüzyon akımında; İletkenlik yerine difüzyon katsayısı kullanılır ve " D " ile gösterilir. Atomik difüzyonda akıma sebep olan kuvvet ise konsantrasyon gradyanı, yani (dc/dx) dir.

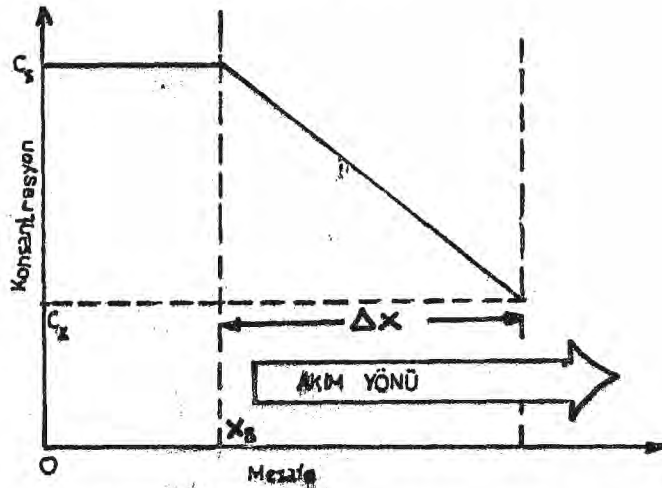
Böylece genel akım denklemi, atomik difüzyon için;

$$J = -D \frac{dc}{dx} , \dots \dots \dots (2-5)$$

şekline dönüşür ve bu bağıntı I. FİCK Kanunu olarak tanınır. Denklem birimleri;

$$\frac{\text{atom}}{\text{cm}^2 \cdot \text{san}} = \frac{\text{cm}^2}{\text{san}} \cdot \frac{\text{atom}/\text{cm}^3}{\text{cm}} \text{ dir.}$$

" D ", daima cm^2/san cinsinden ifade edilir. (2-5) denklemine uyan difüzyon en basit difüzyon durumuna tekabül eder ve literatürde " kararlı difüzyon ", olarak tanınır.(Şekil 2.9)



Şekil 2.9. Kararlı Difüzyon (Steady-State Diffusion):(5)

Bu tip difüzyonda $C_s > C_x$ olduğundan, konsantrasyon gradyanı negatiftir ve yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru difüzyon meydana gelir.

Katılarda difüzyon olayı, özel haller hariç, genellikle kararlı değildir. Yani konsantrasyon sadece mesafeye bağlı değil, aynı zamanda zamanın bir fonksiyonudur. Bu tip difüzyon literatürde " kararsız difüzyon " olarak tanınır ve belirli bir süre içinde konsantrasyonun zamanla değişimi, konsantrasyon gradyanının ikinci türevi ile orantılıdır. Yani,

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \dots\dots\dots(2-6)$$

Bu bağıntı **II. FİCK Kanunu** olarak bilinir. (2-6) denkleminin çözümleri sınır şartlarına bağlıdır.

Salt basite indirgeme açısından, C_0 karbon bileşimindeki çeliğin sementasyon işlemiyle, yüzeyinin sahip olabileceği karbon miktarının (C_1), sementasyon ortamının karbon potansiyeline eşdeğer olduğu ve yüzeyin en dış tabakasındaki karbon konsantrasyonunun (C_1) tüm işlem süresince sabit kaldığı varsayılarak belirli bir sementasyon süresi sonunda belli bir mesafedeki karbon konsantrasyonu, yukarıdaki denklemin (2-6) bu sınır şartlarında çözülmesiyle bulunur.

$$\frac{C(x,t) - C_0}{C_1 - C_0} = 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \dots\dots\dots(2-7)$$

Burada

$C(x,t)$ = X mesafesinde ve t zaman sonra oluşan karbon konsantrasyonu

C_0 = Çeliğin sementasyona başlamadan önceki karbon miktarı

C_1 = Çeliğin yüzeyinde oluşabilecek maksimum karbon miktarı

X = Yüzeyin altındaki derinlik(difüzyon mesafesi) (cm)

D = Difüzyon katsayısı (cm^2/san)

t = Zaman (sn)

erf = Hata fonksiyonu (EK.1'e bakınız)

Difüzyon katsayısı eriyen atomun cinsine, eriten metalin yapısına ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. EK.1 de çeşitli difüzyon katsayısı değerleri verilmiştir.

Belirli bir enerji üstündeki atomların sayısı, sıcaklık derecesinin bir kuvveti ile orantılı olarak artar. Difüzyon katsayısının da aynı şekilde artmasını beklemek mümkündür. Bunun sonucu olarak, difüzyon katsayısı da hesapla bulunabilir.

$$D = A \cdot e^{-\frac{Q}{RT}} \dots\dots\dots (2-8)$$

D = Difüzyon katsayısı (cm²/ san)

A = Frekans faktörü (cm²/ san)

Q = Aktivasyon enerjisi (cal/ mol.gr)

R = Gaz sabitesi (cal/ mol.gr°K) (1,987)

T = Sıcaklık (°K)

Bazı malzemeler için frekans faktörü (A) ve aktivasyon enerjisinin (Q) değerleri EK.1 de verilmiştir.

2.2.5. DİFÜZYONA ETKİ EDEN FAKTÖRLER:

Difüzyon katsayısı D genel olarak bir sabite değildir. Genelde D, yoğunluk ve kristal yapısı gibi değişkenlerin fonksiyonudur. Verilen bir örnekte bütün bu değişkenlerin belirli değerlere sahip oldukları kabul edilirse difüzyon katsayısı muayyen bir sayı olarak alınabilir. Fakat bu değere varırken genelde bir veya daha çok değişkenin teker teker etkilerini gözönünde tutmak gerekir.

2.2.5.1. Alaşım Elemanları Ve Gayrisafiyetler

Genel olarak az miktardaki yabancı atomun varlığı, eriyen atomların eriten metal içinde yayınması üzerindeki etkisi önemsizdir. Bu nedenle, yayınmanın bağlı olduğu değişkenlerden ancak biri olduğu problemlerde etüd kolaylaşır. Örneğin, alaşım elemanlarının çeliğin sertleşme kabiliyeti üzerindeki büyük etkilerinin, karbonun yayınma hızındaki

büyük değişmelerden, gayrisafiyetlerin etkisi sonucunda olması gerekir diyebiliriz.

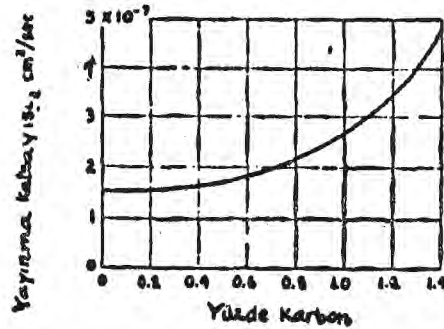
2.2.5.2. S ı c a k l ı k

Alaşım elemanlarının aksine, sıcaklığın difüzyon katsayısı üzerindeki etkisi yüksektir. Sıcaklık, difüzyon katsayısını (2-8) nolu denkleme göre arttırmaktadır. Dolayısıyla yüksek sıcaklık ile verilen bir zaman aralığında daha derin difüzyon tabakası elde edilir.

Sıcaklıktaki her 20°C artış için yayınma katsayısı iki misli artar diyebiliriz.

2.2.5.3. D e r i Ő m e

Difüzyon katsayısının derişme ile değişimi üzerine fazla bilgi yoktur. Fakat, genel olarak derişmenin değişmesi ile katsayının değerinde büyük değişmeler görülür. Derişmenin etkisi, arayer katı eriyiklerinde daha kolaylıkla görülebilir. Çünkü bu durumlarda eriten atomların yayınmasının etkisi ihmal edilebilir. Şekil 2.10 da karbonun 925°C de demir içinde arayer yayınmasına ait bilgi verilmiştir. Görüldüğü gibi gösterilen derişme bölgesinde D'nin değeri üç katına kadar değişmektedir.



Şekil 2.10. Demirde 925°C de yayınan karbonun yayınma katsayısı üzerinde derişmenin tesiri.(2)

2.2.5.4. K r i s t a l Y a p ı n ı n E t k i s i

Demirin yüksek sıcaklıklarda k.h.m`li yapıdan, k.y.m`li yapıya allotropik bir dönüşme ile geçmesinin önemi göz önünde tutularak, kristal yapısındaki bu değişimin demirde eriyen atomların yayınma hızı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Belirli bir sıcaklıkta bu yayınma

olayları ve demir atomlarının öz yayınması ferritte ostenittekinden yaklaşık olarak 100 defa daha çabuk oluşur. Kristal yapının diğer bir etkisi, yayınma katsayısının eriten metalin tek kristali içinde doğrultu ile değişmesidir. Küçük metallerde bu anizotropi, ya çok hafiftir veya hiç yoktur. Ayrıca, eğer bir kristal yapı elastik zorlamalarla veya büyük ölçüde plastik şekil değiştirme ile distorsiyona uğratılırsa, yayınmanın hızı artar.

2.3. SEMENTASYON

2.3.1. SEMENTASYON SERTLEŞTİRMESİNİN İÇERİĞİ

Sementasyon sertleştirmesinde % 0,10 - 0,25 C`lu çelikten yapılmış hemen hemen veya tamamen bitmiş bir halde olan parça, karbon verici ortamlar içinde tavllanır. Bu işleme - sementit teşekkülü dolayısı ile - karbon verme veya sementasyon denilir. Böylece parçanın yüzeyi, karbon bakımından zenginleşerek, daha sonra yapılan su verme işlemi sonunda cam gibi sert olur. Parçanın içi ve çekirdek kısmı nisbeten yumuşaktır. Sementasyon yoluyla sertleştirilmiş parçalar, sert olan dış yüzeyleri dolayısı ile aşınmaya; yumuşak ve tok olan çekirdekleri dolayısı ile de, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklıdır. Yüzey sertleştirme sırasında, yüzey tabakalarında basma gerilmelerinin gelişmesi yüzünden, çeliğin yorulma mukavemeti de artar.

Sementasyon işlemi uygulanarak sertleştirilmiş parçaların, yüksek karbonlu ve normal sertleştirilmiş parçalara nazaran şu avantajları vardır.

1. Semente edilmiş çeliklerin iç kısmı sonradan kolayca işlenebilir. Örneğin miller boyu boyuna delinebilir. Parçanın üstündeki gerekli yerler kapatılarak, sementasyon belirli yerlere uygulanacağından parçaların dış yüzeylerinin kolayca işlenmesi mümkün olur.

2. Çekirdeğin, yumuşaklığını ve sünekliğini muhafaza etmesi dolayısı ile, su verme sırasında parçalar daha az çatlar. Bu nedenle de sementasyon, formlarını muhafaza etmeleri gereken parçalar için çok uygundur.

3. Taşlama haricinde; bu parçaların işlenmesi yumuşak parçalarda olduğu gibi daha kolay ve daha ucuzdur.

4. Sementasyon çeliği, çoğu zaman takım çeliği olmak zorunda

bulunan yüksek karbonlu çeliklerden daha ucuzdur.

5. Semente edilerek sertleştirilen dış yüzey, çentik tesirlerine ve sürekli zorlama kırılmalarına karşı daha emniyetlidir.

Sementasyonla sertleştirmesinin dezavantajları şunlardır:

1. Karbon miktarı, dışarıdan içeriye doğru sürekli olarak azaldığı için çelik homojen olmayıp değişik Fe - C alaşımlarından meydana gelir.

2. Doğru ısı işlemi; hem geniş tecrübeyi gerektirir, hemde pahalıdır.

3. Taşlama sırasında sertleştirilmiş yüzeyin ancak çok ince bir kısmı alınabileceği için sertleştirilmiş çelikler, taşlanmadan önce düzeltilmelidir.

Avantajları dolayısı ile her sene parçaların büyük çoğunluğu, bilhassa; dişli çarklar, aks muyluları, küçük ve büyük miller, piston pernoları, manivelalar, diskler, kılavuz yatakları, zincir baklaları, merdaneler, rulmanlı yataklar, anahtarlar, civataların başları ve uçları, otomobil, uçak ve genel makina aksamı semente edilmektedir. Bunlardan başka iç ve dış çap mastarları gibi ölçü aletleri, istampa ve matrisler, kesici takımlarla plastik sanayinde kullanılan pres aletleride semente edilirler.

2.3.2. SEMENTASYON ÇELİKLERİ

Sementasyon işleminde kullanılan çelikler düşük karbonlu, alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir. EK. 2 de en çok kullanılan sementasyon çeliklerinin kimyasal bileşimleri, çeşitli ülke normlarındaki karşılıkları, ısı işlemleri, mekanik özellikleri verilmiştir. Bu çeliklerden alaşımsız olanlarda, ostenit alanından ani soğutma sonucu çekirdeğin sertliği ve dolayısıyla δ_A, δ_{maks} değerleri fazla yükselmez. Mn, Cr, Mo, ve Ni ile alaşımlandırılmış sementasyon çeliklerinde ise böyle bir işlemle tokluk istenilen düzeyde kalmak üzere, çekirdeğin mukavemet değerlerinde önemli artışlar elde etmek mümkündür. Bunlardan Mn - Cr çelikleri, ekonomik bakımdan üstünlük sağlarlar. Nikelli çelikler, kalın kesitli parçalarda tercih edilir. Sementasyon çeliklerine genellikle alüminyum eklenmesiyle ince tane elde edilmeye çalışılır. Böylece aşırı tav duyarlılığı azaltılarak doğrudan doğruya

sementasyon sıcaklığından su verilebilir. Özellikle düşük kromlu molibden çelikleri tane büyümesine karşı duyarsızdırlar.

2.3.3. SEMENTASYON OLAYI

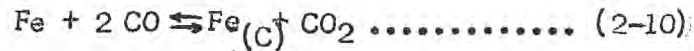
Sementasyon işlemi esas itibariyle, düşük karbonlu çelik parçanın yüzeyini difüzyon olayı sonucunda karbonca zenginleştirmektir. Bu işlem, çelik parçasının karbon monoksit (CO) ihtiva eden bir ortamda (katı, sıvı, gaz), ostenit (γ) faz sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla, gaz - metal reaksiyonu sonucu meydana gelir. Genellikle 850 - 950°C arasında bir sıcaklık kullanılırki bu sıcaklığa SEMENTASYON SICAKLIĞI adı verilir.

Aşağıdaki reaksiyona göre,



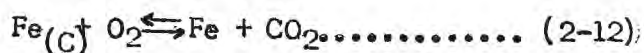
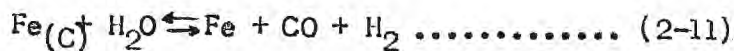
oluşan karbonmonoksit, kullanılan seimentasyon sıcaklığında, ostenit faza getirilmiş olan çelik parçasının yüzeyinde parçalanır ve ağıya çıkan atomik karbon (C) çelik bünyesine emilerek çözünür.

Aşağıdaki reaksiyon



bunu göstermektedir. Burada $\text{Fe}_{(\text{C})}$ ostenit fazda çözünen karbonu ifade etmektedir. Yukarıda verilen her iki reaksiyonda geri dönme (reversible) özelliği gösterirler. Birinci reaksiyon, sıcaklığın azalmasıyla, sağdan sola doğru ilerleyerek karbondioksitçe zengin bir gaz atmosferi meydana getirir. Eğer çelik parça, böyle bir ortamda kalırsa ikinci reaksiyon da sağdan sola doğru ilerleyerek, çelik parçasının yüzeyinde karbon kaybetmesine neden olur. Bu duruma DEKARBÜRİZASYON (karbonsuzlaşma) olayı denilir.

Diğer bazı dekarbürizasyon reaksiyonları da aşağıda verilmiştir.



Çelik yüzeyindeki dekarbürizasyon tabakası, seimentasyon sonrası yapılacak sertleştirme işleminde martenzit yapıya dönüşmeyeceği için yüzeyde yumuşak bir bölge oluşturur. Bu ise çoğu zaman arzu edilmeyen bir durumdur. Dekarbürizasyon tabakasının oluşumunu önlemek için,

fırın atmosferinde endotermik gaz karışımı sağlayarak, çelik parçasının yüzeyi karbondioksit, oksijen ve su buharından korunması gerekir.

Kullanılan sementasyon sıcaklığında, ostenit fazda çözünebilir maksimum karbon miktarı demir - karbon denge diyagramında (Şekil 2.11) kullanılan sıcaklıktan çizilen yatay doğrunun A_{cm} eğrisini kestiği noktadan inilen dikey $\% C$ koordinatını kestiği noktadaki değer olarak bulunur. Bu sıcaklıkta çelik parçasının çekirdek kısmı düşük karbon miktarını korumaya devam eder. Bu sebeple, karbon atomları parçanın yüzeyinden çekirdeğe doğru difüzyon ederek denge durumuna gelmek isteyecektir. Ostenit fazda karbon atomlarının difüzyon hızı, verilen sıcaklıkta, çelik parçasının yüzeyinde oluşan karbon konsantrasyonuna ve difüzyon katsayısına bağlıdır.

Çelik parça, sementasyon sıcaklığında karbon difüzyonunun arzu edilen derinliğe kadar ilerlemesi için yeterli süre tutulur. Bu süreye SEMENTASYON ZAMANI adı verilir. Sementasyon zamanı süresince, çelik parçanın yüzeyinden içeriye doğru difüzyon eden karbonun ilerleme derinliğine SEMENTASYON DERİNLİĞİ denilir.

Sementasyon işleminden sonra çelik parça uygun bir yöntemle sertleştirilerek menevişlenir.

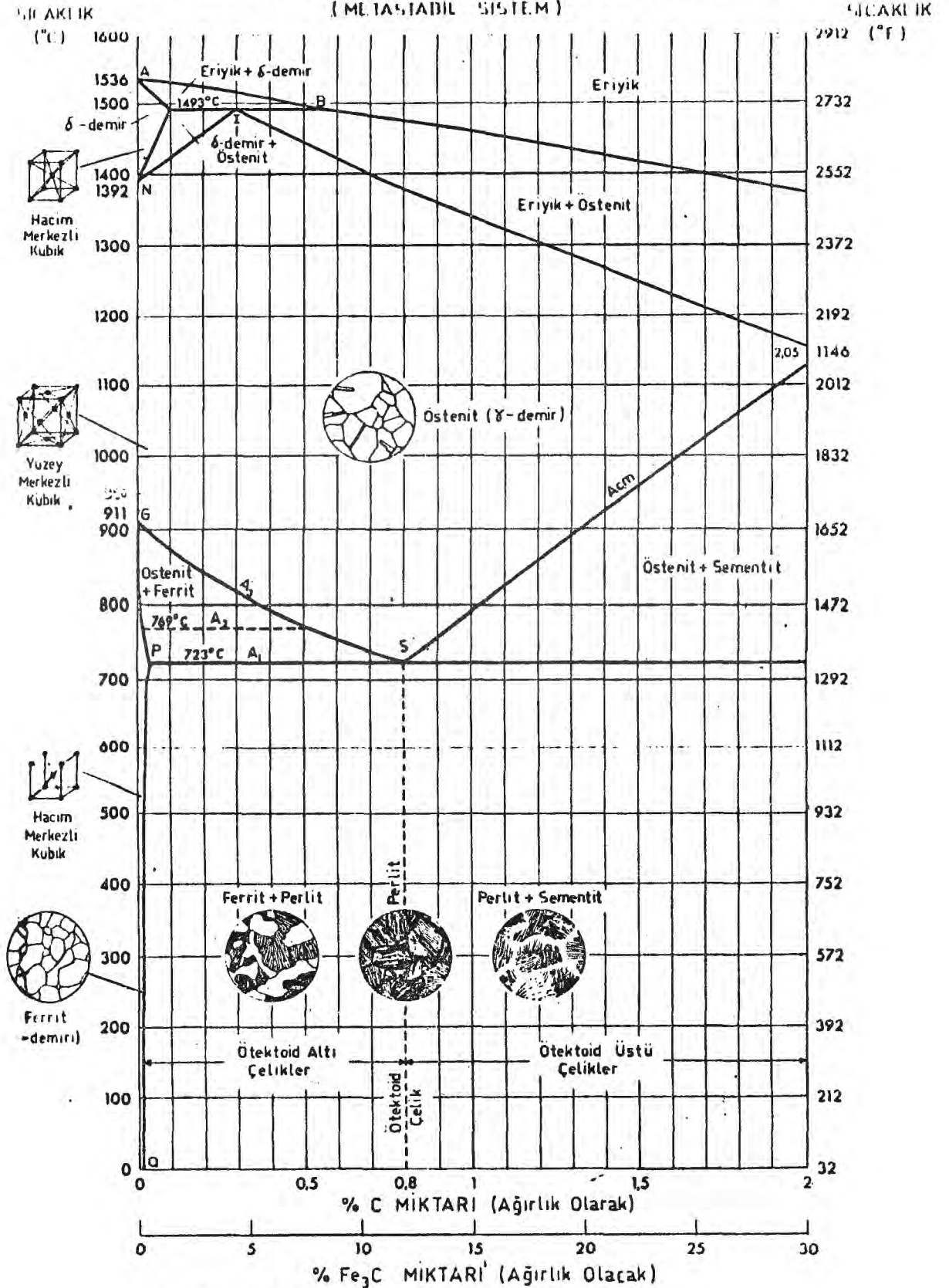
2.3.3.1. S e m e n t a s y o n S ü r e s i V e S ı c a k l ı ğ ı

Sementasyon işleminde iç yapıyı kabalaştırarak sementasyonu takip eden ısıl işlemleri zorlaştırdıklarından, çok uzun sementasyon süreleri ve çok yüksek sıcaklıklar zararlıdır. Bu nedenle arzu edilen sementasyonu elde edebilmek için, gerekli en kısa süre ve yüksek sıcaklıklardan daha yükseği kullanılmamalıdır.

Çeliğin karbon yüzdesi ne kadar düşük olursa, o kadar daha yüksek sıcaklıkları kaldırabilir.

Genel olarak, süreyi çok uzun yapmamak için, A_{c3} eğrisinin biraz üzerindeki sıcaklıklarda çalışılır. Bu süreyi daha da kısaltmak için sıcaklığı çok yüksek tutmak, hiç bir şekilde tavsiye edilmez. Bununla beraber, esas olarak sementasyon süresi arzu edilen tabaka kalınlığına göre seçilmelidir.

DEMİR - KARBON DENGİ DİYAGRAMI (ÇELİK KISMI)
(METASTABİL SİSTEM)

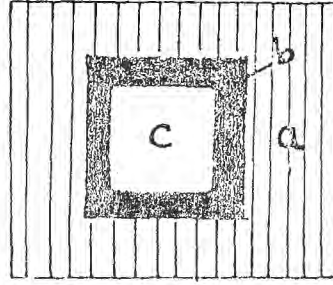


Şekil 2.11. Demir - Karbon denge diyagramı

2.3.3.2 S e m e n t a s y o n T a b a k a s ı

Sementasyon işlemi uygulanmış bir çelikte; dış tabakaların karbon alma hızları iç tabakalara karbon verme hızından daha yüksek olduğundan dış kısımlarda zengin karbonlu bir cidar tabakası oluşur. Bu tabaka, çok ince parçalar hariçinde, iç bölgelere az veya çok karbonlu bir geçiş bölgesi ile bağlıdır.

Bu, Şekil 2.12 de şematik olarak görülmektedir. En dıştaki kalın yüksek karbonlu a bölgesi, hızlı ve bol karbon aldığından sementit ve perlitten meydana gelmektedir. Geçiş bölgesi b de perlit, çekirdek kısmında ise, sertleştirmeden evvelki kesitin yapısı olan, perlit ve ferrit görülmektedir.



Şekil 2.12. Sementasyon işlemi uygulanmış bir çeliğin kesitinin şematik gösterilişi (5)

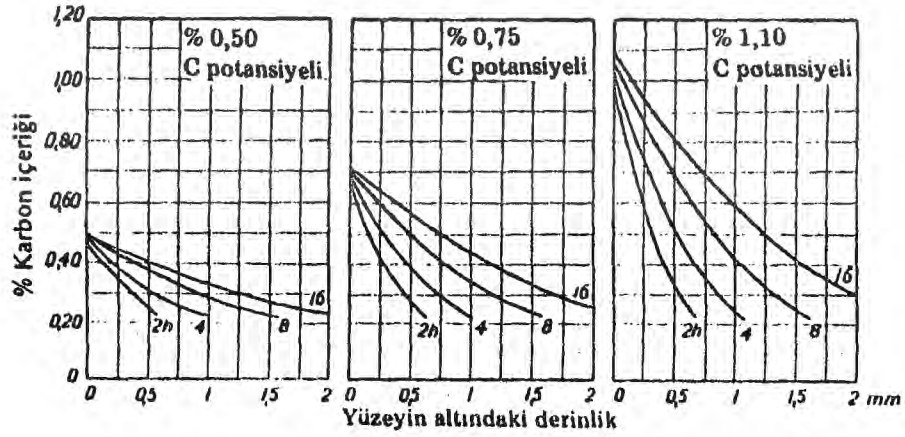
Eğer karbonlayıcı ortamın karbon potansiyeli, belirli bir karbonlama sıcaklığında ostenitte çözünen karbon oranından fazla ise, çözülemiyen karbür, serbest karbür olarak dış tabakanın tane sınırlarına yerleşir. Serbest karbürler, dış tabakayı gevrek ve sertleşmeye karşı hassas yaptıklarından zararlıdırlar. Bunun önüne geçebilmek için dış tabakanın karbon oranının % 0,7 geçmemesine dikkat etmek gerekir. Fakat sementasyon tabakasının çok kalın olması isteniyorsa, yüzeyde ajlaşmış serbest karbür meydana gelmesine hemen hemen mani olunamaz. Bu hallerde ancak karşılayıcı ikinci bir işlemle, karbürler tehlikesiz hale dönüştürülebilir. Bu işlemlerden biri tavlama dır. Fakat en emin yol parçaya bütün karbonun ostenitte çözünebilmesini sağlayacak bir sıcaklıkta su vermek, böylece bütün karbonu martensit iç yapısına bağlamak ve yeniden tavlarken taneli sementit elde etmektir.

Sementasyonu iyi yapılmış bir yüzeyin, iç tabakaya geçişinde, karbon oranları arasındaki farkın yüksek olmanası gerekir. Eğer bu farklar çok büyük olursa, parçanın homojenliği ve iç kısmı ile cidarın bağlantısı bozulur.

2.3.3.3. S e m e n t a s y o n D e r i n l i ğ i (Karbon Yayınma Derinliği)

Sementasyon derinliği, çeliğin yüzeyinin altında çekindeğin karbon konsantrasyonuna kadar olan mesafe olarak da tanımlanır. Sementasyon derinliği sıcaklık ve zamandaki artışa bağlı olarak artar. Zaman ve sıcaklığın yanı sıra sementasyon derinliğine etki eden faktörler, sementasyon ortamının karbon potansiyeli ve çeliğin kimyasal bileşimidir. Ortamın karbon potansiyeli ne kadar yüksek ise, yayınma sonrası denge haline ulaşıldığında, sementasyon derinliği de o derece fazla olur.

Karbon potansiyeli; çelik parçanın, sementasyon ortamının karbon potansiyeli ile bu parçanın arasında denge koşulları sağlandığı durumda kazanabileceği karbon miktarı olarak tanımlanır. Sementasyon derinliğinin, karbon potansiyeli ve sementasyon zamanına bağlı olarak değişimi Şekil 2.13 de gösterilmektedir.



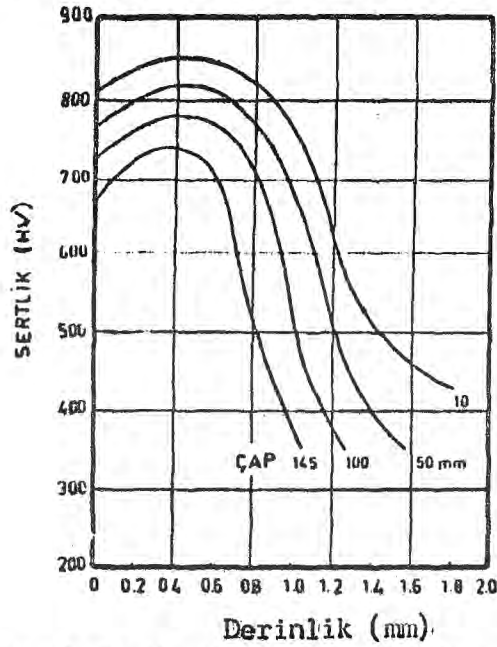
Şekil 2.13. 920°C de sementasyon işlemi uygulanan bir sade karbonlu çelikte, sementasyon derinliğinin karbon potansiyeline ve sementasyon zamanına bağlı olarak değişimi.(16)

Uygulamada sementasyon derinliğinin tanımı ve ölçümü kolay değildir. Bunun yerine, karbonlama ve sertleştirme sonunda yüzey sertleştirme derinliğinin (etkili sementasyon derinliği) ölçümü kullanılmaktadır.

2.3.3.4. Y ü z e y S e r t l e ş t i r m e D e r i n l i ğ i (Etkili Sementasyon Derinliği)

Sementasyon işlemi uygulanmış bir çelikte karbonun yayındığı tabakada su verme sonucu sadece martensit sağlanması durumunda, yüzey

sertleştirme derinliği, sementasyon derinliğine (karbonun çelikteki yayınma derinliği) eşdeğer olacaktır. Bu durum, küçük parçalar için uygundur. Ancak, parçanın kesidi arttıkça soğuma hızı azalacağı için, martensit oluşumu için gerekli koşullar değişecektir. Bu, aynı karbon yayınma derinliğine, fakat farklı boyutlara sahip çelik parçalarda elde edilecek yüzey sertleştirme derinliğinin, parçanın boyutlarına bağlı olacağını gösterir. Bu Şekil 2.14'de de görülmektedir.

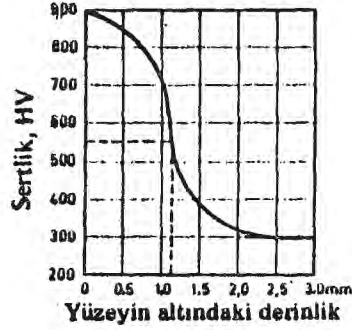


Şekil 2.14. Değişik ebatlı 13 NiCr 6 sementasyon çeliğinin, 900°C'de kutuda sementasyon edildikten sonra 820°C'de yağda basit sertleştirilmesi sonrası elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri. (12)

Burada kullanılan 13 NiCr 6 sementasyon çeliğine ait deney numunelerinin tümü beraber sementasyona tabi tutulmuşlar ve aynı anda sementasyon sıcaklığına ulaşmaları için uygun pozisyonlara yerleştirilmişlerdir. Sementasyon işleminden sonra hepsi aynı şartlarda sertleştirilmişlerdir. Görüldüğü gibi, parça çapı arttıkça sertlik düşmekte buna bağlı olarak yüzey sertleştirme derinliği düşmektedir.

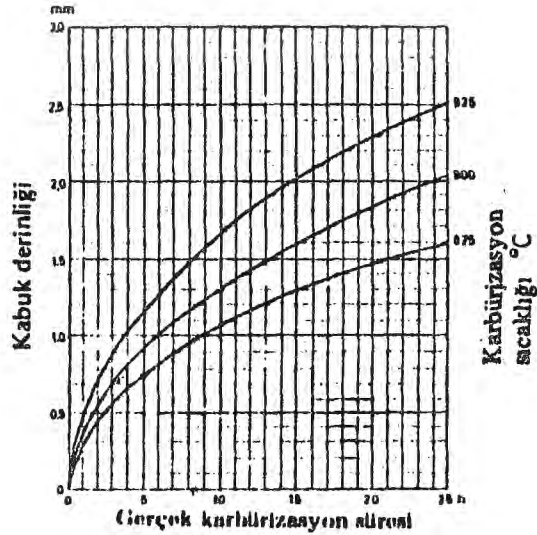
DE şeklinde gösterilen yüzey sertleştirme derinliği, SIS 117008'e göre, yüzeyden itibaren 550 HV (\sim 52HRC) sertlik değerinde olan bir düzleme kadar olan mesafe olarak tarif edilir. Bu tarif ISO (ISO 2639-1973) tarafından da aynen alınmıştır. Sertleştirme derinliği, sertleştirilmiş yüzeye dik olarak uygulanan 1kp lık yük ile elde edilen izin Vickers olarak ölçümlüdür. Şekil 2.15 de yüzeyi sertleştirilmiş bir çelikte

mesafeyebağlı olarak bir sertlik dağılım profili gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Yüzey sertleştirme derinliği (DC)=1,5mm olan yüzeyi sertleştirilmiş çelikte mesafeye bağlı olarak değişimi.(16)

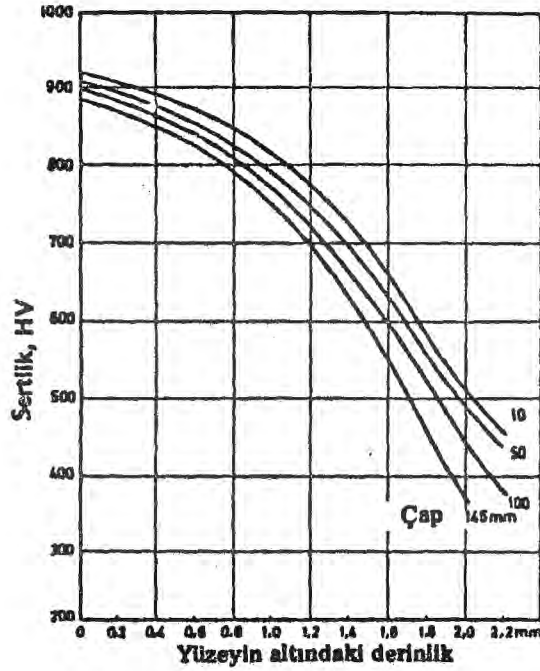
Şekil 2.16 da çeşitli tip ve boyutlarda çelikler ile uğraşan ısıl iş-lem operatörlerine yardımcı olması amacıyla oluşturulmuştur. Eğriler çok sayıda yüzey sertleştirme deneylerine dayalıdır ve katı, sıvı, gaz ortamlarda yapılacak pratik sementasyon içi için yeterli doğruluktur.



Şekil 2.16. Sertleştirme derinliğinin, sementasyon sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişimi.(16)

Eğriler, aynı zamanda, yağda su verilmiş 50 mm kalınlıktaki çelikler için uygulanmaktadır.

Yüzey sertleştirme derinliği, parça kesitinin yanısıra, aynı zamanda su verme ortamına da bağlıdır. Hızlı bir soğutma ortamı daha büyük sertleştirme derinliği verir. Büyük parçalarda suda soğutma, yağda soğutmaya oranla daha büyük sertleştirme derinliği vermektedir. Şekil 2.14 ve Şekil 2.17 parça boyutunun, sertleşen tabakanın sertlik profiline etkisini göstermekle birlikte aynı zamanda da su verme sıcaklığının ve su verme ortamının sertleştirme derinliğine etkisini göstermektedir.



Şekil 2.17. Değişik ebatlı 13 NiCr 6 sementasyon çeliğinin, 900°C de kutu sementasyonu yapıldıktan sonra 780°C den suda basit sertleştirilmesi ile elde edilen yüzey sertlik değişim eğrileri. (12)

Yüzey sertleştirme derinliğini etkileyen diğer bir faktör ise çeliğin bileşimidir. Çelikteki alaşımların miktarı arttıkça çeliğin sertleşebilirliği yani sertleştirme derinliği artar. İnce kesitli parçalarda sertleştirme derinliğindeki farklılıklar ihmal edilebilir, ancak, kalın kesitli parçalarda sertleştirme derinliği çeliğin sertleşebilirliğinden bir miktar etkilenir. Bu nedenle, kalın kesitli parçalarda, lüzumundan fazla alaşımlandırılmış çelik kullanmak yararlı olabilir. Fakat alaşım içeren çeliğe, sertleşebilirliği arttığı için, uygulanacak sementasyon süresi kısa tutulabilir. Bu konuda yapılan bir çalışma da,

100 mm çaplı 3 farklı kalitedeki çelik için 1,5 mm lik sertleştirme derinliği sağlayacak sementasyon süresi tespit edilmiştir. 21 Ni Cr-Mo li çelik için sementasyon zamanı 25 saat, 13 Ni Cr 6 çeliği için sementasyon zamanı 13 saat, 17 Cr Ni Mo 6 çeliğinde ise sementasyon zamanı 10 saattir.

Su verme sıcaklığı, sertleşebilirliği etkilediğinden, aynı zamanda yüzey sertleştirme derinliğini de etkileyen bir faktördür. (Şekil 2.14 - Şekil 2.17)

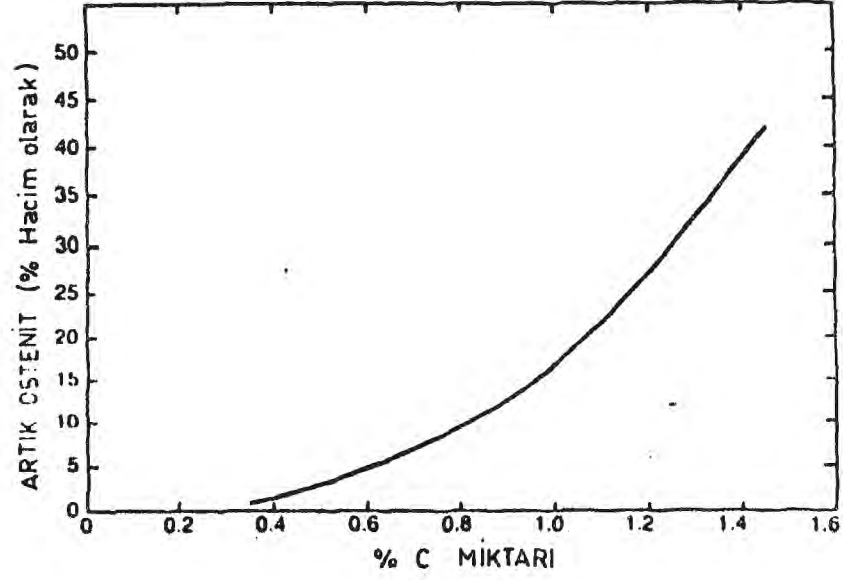
2.3.3.5. Y ü z e y S e r t l i ğ i

Ostenit fazında eriyen (çözünen) karbon miktarı, çeliğin yüzey sertliğini belirleyen önemli bir faktördür. Yüzey sertleştirme işlemi uygulanan alışagelmış alaşımlı çeliklerin yüzeylerindeki karbon miktarı % 0,7'yi aştığı takdirde, bunların Ms (martensite başlama) sıcaklığı çok fazla düşer. Ms'in düşmesi su verme sonrası kalıntı ostenit miktarının artmasına ve buna bağlı olarak sertliğin azalmasına neden olur. Çeliğin yüzey tabakası maksimum sertlik için uygun bir karbon konsantrasyonu içerdiğinde, su verme sıcaklığının sertliğe etkisi çok azdır. Aşırı sementasyona uğramış bir çeliğin su verme sıcaklığını değiştirmek suretiyle solüsyona (katı eriyik) giren karbon miktarını, dolayısıyla kalıntı ostenit miktarını ve bunun sertliğe etkisini kontrol etmek mümkündür.

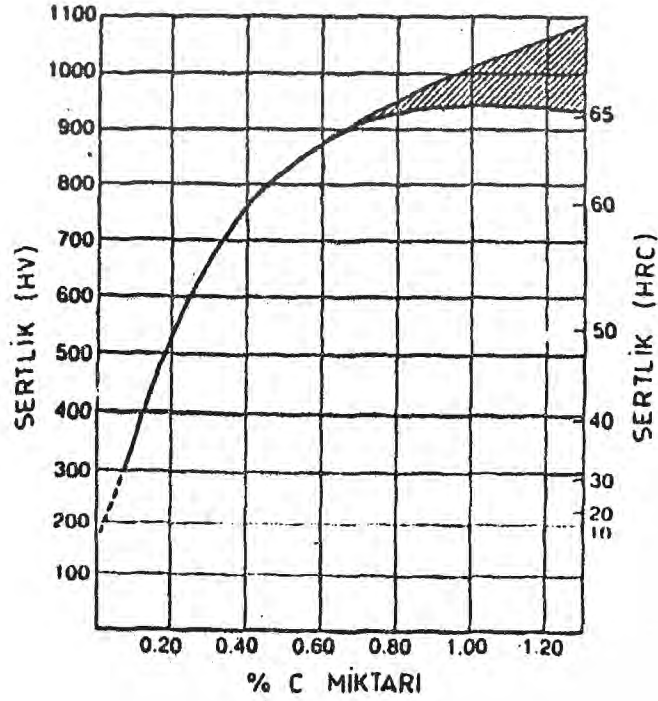
Şekil 2.18 ve Şekil 2.19 da demir - karbon alaşımlarında karbon miktarına bağlı olarak, sertleştirme sonrası teşekkül eden martensit yapıda görülebilecek artık ostenit miktarı ve sertlik azalmaları görülmektedir.

2.3.3.6. Ç e k i r d e k S e r t l i ğ i

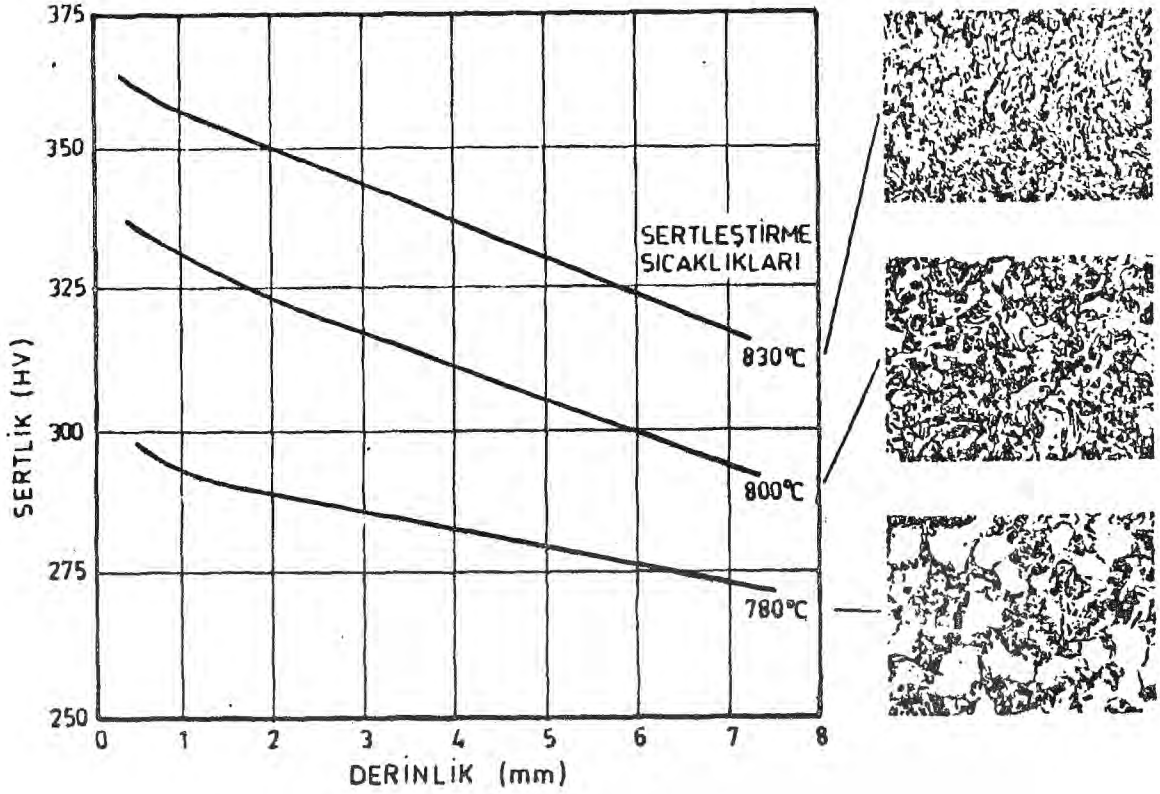
Çekirdek sertliğine, parça ebadının ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığının önemli etkileri vardır. Şekil 2.20 de, 13 NiCr-6 sementasyon çeliğine uygulanan bir işlemde, değişik sertleştirme sıcaklıklarının, sertlik ve iç yapıya olan etkileri gösterilmiştir. 830°C den yapılan sertleştirme ile 780°C den yapılan sertleştirme arasında 60 HV'ye varan sertlik farkları görülmektedir. Yandaki iç yapı fotoğraflarında ise, 830°C den yapılan sertleştirme sonunda ferrit miktarı % 5 civarında iken, 780°C den yapılan çift sertleştirme sonucu ferrit miktarı yaklaşık % 50 civarındadır.



Şekil 2.18. Demir - karbon alaşımlarında, karbon miktarına bağlı olarak martensit yapıdaki artık ostenit değişimi.(12)

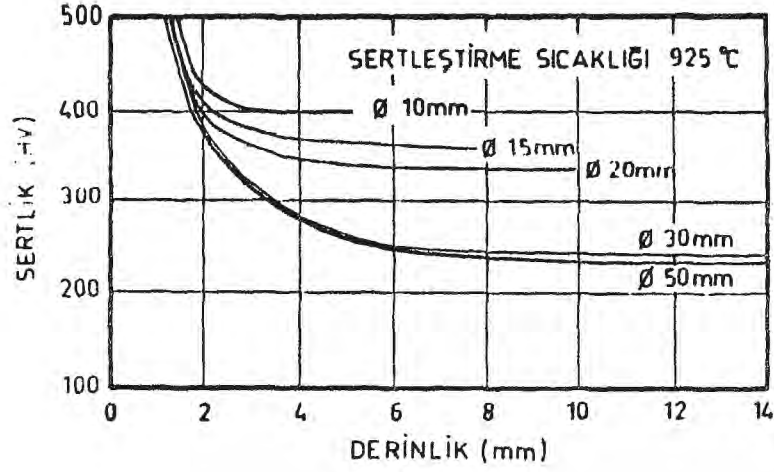


Şekil 2.19. Martensit yapıdaki çeliklerde, karbon miktarının sertliğe etkisi. Taranmış bölge, artık ostenitin sertlik azalmasına tesirini göstermektedir.(12)

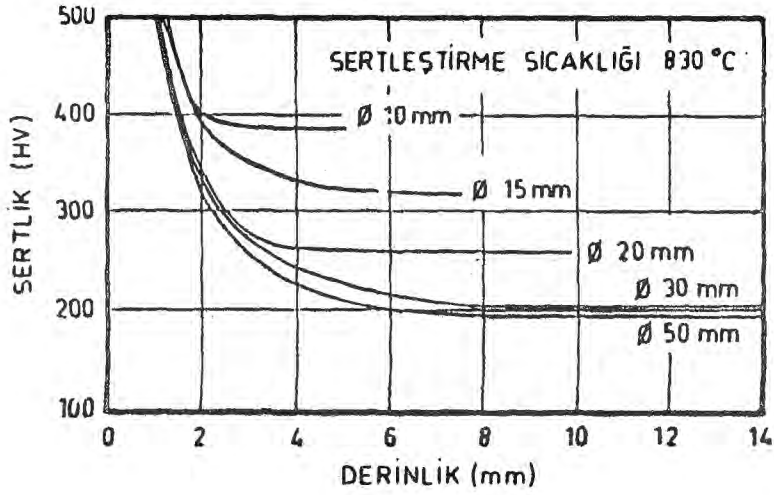


Şekil. 2.20. Değişik sertleştirme sıcaklıklarının, çekirdek sertliğine ve iç yapıya olan etkileri.(12)

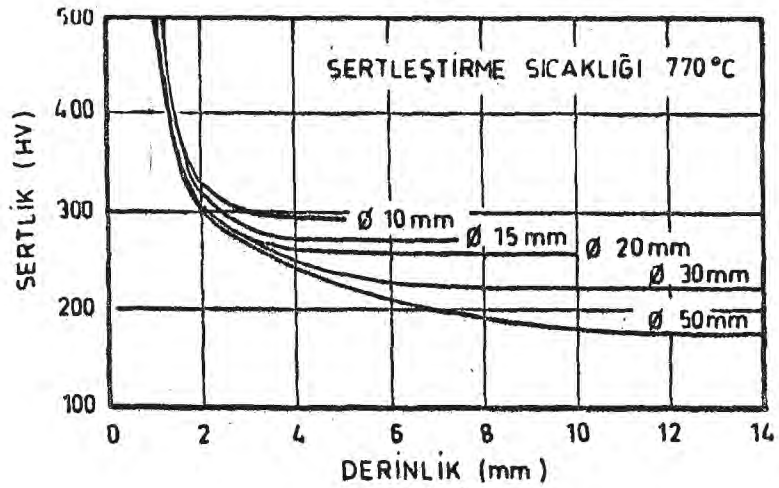
Benzer araştırma bu kez Ck 15 kaliteli çelik üzerinde yapılmıştır. Yüzeyin altında 1 mm lik bir karbon nüfuziyet derinliği sağlamak amacıyla, çapları 10 mm - 50 mm arasında değişen deney numunelerine 925°C de sementasyon uygulanmıştır. Bir takım deney numunesi, sementasyon sıcaklığından direkt olarak suda soğutulmuş, diğer iki takımdan biri 830°C den, diğeri 770°C den tekrar suda soğutulmuşlardır. Bu numunelerin enine sertlik değerleri Şekil 2.21 de gösterilmektedir. Bu şekilden açık olarak görüldüğü gibi, sertlik en çok kesit boyutuyla etkilenmektedir. Su verme sonucu en küçük ve en büyük numunelerin kesitlerinin merkezinde hemen hemen 200 HV'lik bir sertlik farkı oluşmaktadır.



(a)



(b)



(c)

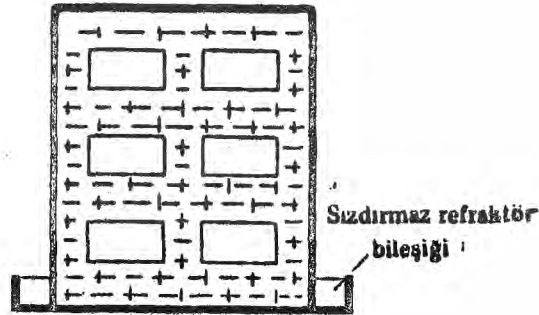
Şekil 2.21. Su verme sıcaklığının ve parça boyutlarının çekirdek sertliğine etkisi. Numunelerin tamamına 925°C de sementasyon uygulanmış. a) Direkt sertleştirme b) 830°C den suda c) 770°C den suda su verme uygulanmış. (12)

2.3.4. SEMENTASYON YÖNTEMLERİ

2.3.4.1. K u t u S e m e n t a s y o n u (Katı Sementasyon)

Kutu sementasyonunda; karbonlanacak çelik parçalar, içlerinde " karbonlayıcı " diye bilinen ve karbon karbon kaynağı görevini gören karbonlu maddelerin bulunduğu kutular içine düzenli olarak konur.

Kutu içine yerleştirilen parçalar ve parçalarla kutu iç yüzeyleri arasında enaz 25 mm, en üstteki parçalar ile kapak arasında ise 50 mm lik mesafe bulunmalıdır. (Şekil 2.22) Yerleştirilen parçaların araları ve üstleri karbonlayıcı maddeyle iyice doldurulduktan sonra kutunun kapağı kapanır ve dışarıyla teması kesmek ve hava girmesini önlemek için kapak kil veya benzer bir malzeme kullanılarak iyice sıvanır. Sıvanan kutular fırınlara konarak 900°C - 930°C aralığındaki karbonlama sıcaklığına yavaşça ısıtılırlar.



Şekil 2.22. Tam olarak paketlenmiş bir sementasyon kutusunun kesiti.(16)

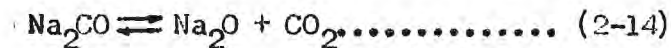
Çelik parçalar kutulara yerleştirilmeden önce yüzeylerinin yağlardan ve diğer pisliklerden iyice temizlenmesi gerekir. Bu yapılmadığı sürece, çelik yüzeyinde sertleştirmeden sonra yumuşak bölgeler kalabilir. Bazı özel durumlarda belirli bölge yada yüzeyler sertleştirilmek istenmiyebilir. Bu durumlarda " Seçmeli karbonlama " işlemi uygulanır ve karbonlanması istenmeyen yüzeyler karbonlamaya karşı kaplanır. Bunun için ateş-tuğlası kili, kum, asbest ve cam suyundan (sodyum yada potasyum silikatın su ile karışımı) oluşan bir karışım kullanılabilir. Fakat bu malzeme, ısıtma sırasında çatlamaya yatkın olduğundan etkili olmayabilir. Modern uygulamalarda yüzeyler bakır ile kaplanırlar. Genellikle tüm yüzeyler 0,03 - 0,05 mm kalınlığında bakır ile kaplanır ve

karbonlanacak yüzeylerden daha sonra taşlama yada talaş kaldırma yöntemleriyle bakır örtü kaldırılır. Kaplamanın gözenekli olup olmadığı şöyle anlaşılabilir: 10 hacim $K_4Fe(CN)_6$, 10 hacim NaCl ve 20 hacim jellatin karışımının damıtık su içindeki çözeltisi hazırlanır ve süzgeç kağıdına emdirilerek bakır kaplama üzerine serilir. Kaplama gözenekli ise, süzgeç kağıdı üzerinde mavi benekler belirir.

Kutular, birkaç kez yada uzun aralıklarla kullanılıyorsa karbonlu yada düşük alaşımlı çeliklerden yapılabilir. Fakat sürekli uygulamalar için kullanılacak olan kutular yüksek sıcaklığa dayanıklı % 25 Cr, % 20 Ni içeren alaşımlı çeliklerden yapılmalıdır.

Karbon verici olarak genelde odun kömürü kullanılır. Bölüm 2.3.3. de verilen 2-9, 2-10 reaksiyonları sonucu oluşan atomik karbon ostenit faza gelmiş olan çelik tarafından emilerek bünyede çözülür. Böylece çelik parçanın yüzeyi karbonca zenginleştirilmiş olur. Açığa çıkan CO_2 tekrar odun kömürü ile reaksiyona girerek CO meydana getirir ve reaksiyonlar aynen tekrar eder. Kutudaki oksijen miktarı giderek azalacağından ve sementasyon için gerekli CO oluşumu yetersiz kalabileceğinden, odun kömürüne yaklaşık % 6-20 oranında bazı reaksiyon hızlandırıcı maddeler karıştırılır. Bunların işlevi CO_2 üretmektir ve genellikle Ba, Ca yada Na karbonatlarından biri seçilir. Bunlardan en çok kullanılan ise $BaCO_3$ tır.

Bunlar,



türü reaksiyonlarla ortama CO sağlar ve buda



reaksiyonla daha çok CO üretir. Tablo 2.1 de kutu sementasyonunda kullanılan bazı karbonlama karışımlarının bileşim oranları verilmiştir.

Kutu sementasyonunda kullanılan karbonlayıcılar yeniden kullanılabilir. Fakat ilk kullanımdan sonra hacimce bir küçülme gösterirler. Bu küçülme oranı, orjinal hacimlerinin 1/5'i kadar olabilmektedir. Bu yüzden, ikinci bir sementasyon işlemine başlamadan önce, başlangıç hacmine ulaşmak için, yeni karbürize edici bileşikler ilave edilir.

Tablo:2.1- Kutu sementasyonunda kullanılan bazı karbonlama karışımlarının bileşim oranları (15).

| Karbonlayıcı karışımı | % |
|---------------------------------|---------|
| Odun Kömürü | 74 - 73 |
| BaCO ₃ | 12 - 15 |
| Na ₂ CO ₃ | 1 - 1,5 |
| CaCO ₃ | 3 - 5 |
| Yakıt yağı | 4,5 - 5 |
| Odun Kömürü | 90 |
| Na ₂ CO ₃ | 10 |
| Odun Kömürü | 90 |
| BaCO ₃ | 10 |
| Kok | 85 - 90 |
| Na ₂ CO ₃ | 15 - 90 |

Sementasyon işleminde kullanılan karbürize edici bileşikler, düşük ısı iletkenliğine sahiptirler. Eğer büyük kutu kullanılırsa, kutunun ortasında bulunan parçalar, kenarlardaki parçalara oranla daha az semente olurlar. Kutular ne kadar küçük iseler, parçalar üzerinde sementasyonun etkisi o derece üniform olur. Kutular fırın içinde birbirlerine çok yakın bir şekilde yerleştirilmemelidir. Aksi takdirde, ısının radyasyonla yayılması veya fırın içersindeki havanın serbestçe doluşım önlenemez. Pratikde, en yaygın uygulanan yöntemde, kutular silindirik olarak yapılmakta ve böylece kutular arasındaki boşluklar otomatik olarak yaratılmaktadır. Silindirik kutuların aynı zamanda ömürleri de uzundur ve çatlama tehlikeleride çok azdır. Hem ekonomik hemde sementasyonun üniformluğu bakımından, optimum sonuçlar, kutunun çapı veya genişliğinin yaklaşık 150 mm olması halinde elde edilmektedir.

Fırına konan kutular, sementasyon işleminden amaçlanan dejere, yani etkili sementasyon derinliğine bağlı olarak fırında tutulur.

Kabaca 0,1 mm sertleştirme için 1 saat hesap edilir. 920-930°C sıcaklıklarda uygulanan işlemlerde Tablo 2.2 de verilen deneysel değerler geçerlidir.

Tablo:2.2- Isıtma zamanına bağlı olarak karbonlama derinlikleri(15)

| Karbonlama derinliği, mm | Isıtma süresi, saat |
|--------------------------|---------------------|
| 0,4 - 0,7 | 4 - 5 |
| 0,6 - 0,7 | 5,5 - 6,5 |
| 0,8 - 1,2 | 6,5 - 10 |
| 1,0 - 1,4 | 8 - 11,5 |
| 1,2 - 1,6 | 10 - 14 |
| 1,4 - 1,8 | 11,5 - 16 |
| 1,6 - 2,0 | 14 - 19 |
| 1,8 - 2,2 | 16 - 22 |
| 2,0 - 2,4 | 19 - 24 |

Birçok uygulamada 0,5-2,0 mm sementasyon derinliği yeterlidir. Sementasyon derinliği Bölüm 2.2.4'teki (2-7) eşitliğinden hesaplanabilir. Sanayi uygulamalarında, bu hesaplamayı yapma gereği yoktur. Harris denklemi diye bilinen deneysel bir eşitliği kullanmak yeterlidir. Sementasyon derinliği= x (mm), sementasyon süresi= t (saat) ise

$$x = k\sqrt{t}$$

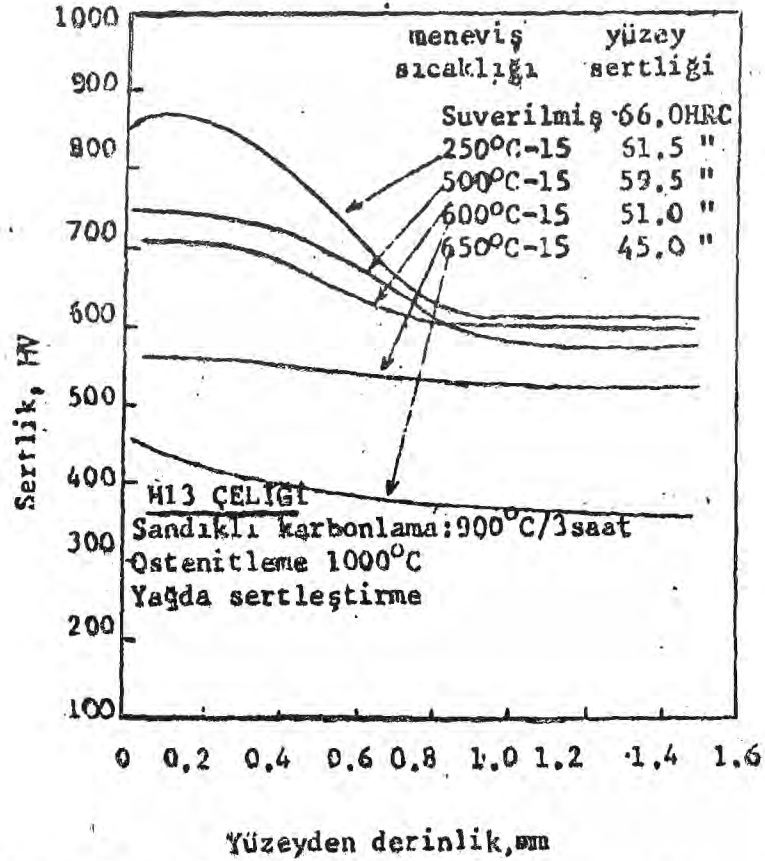
eşitliği geçerlidir. Burada k, sıcaklığa göre değişen bir çarpandır.

| Sıcaklık°C | k |
|------------|------|
| 875 | 0,34 |
| 900 | 0,41 |
| 925 | 0,52 |

Sementasyon işleminden sonra parçanın soğutulmasına geçilir. Genelde uygulanan fırında, kutu içinde soğutmadır. Soğuyan parçalar sandıktan çıkarılarak sementasyon işleminden kalan tüm toz ve döküntülerden temizlendikten sonra yeniden ısıtılırlar. İkinci ısıtma bir muf-la fırında ve koruyucu atmosfer altında yapılır. % 0,20 C lu çelikler için bu ikinci işlem sıcaklığı 860°C dir. Bu sıcaklıkta ostenitlenen parça sertleştirilmek üzere suya veya yağa atılarak sertleştirilir. Bu ikinci işlemle amaçlanan, parçanın çekirdeğinin en yüksek sertliğe ulaşmasıdır. Uygulanan sıcaklıklar kabuğun tane büyüklüğünü irileştirdiğinden bunun düzeltilmesi için 760 - 780°C aralığında bir ikinci ostenitleme ve bunun peşinden su verme işlemi uygulanır. Bu ikinci

sertleştirilmede ostenitleme sıcaklığı daha düşük olduğundan, martensit tane büyüklüğü de küçülmüş olur. Bunun yanında çekirdeğin tokluğuda artırılmış olur.

Sertleştirilme işleminin ardından, çelik parça istenilen sertliğe göre, genellikle 160°C - 220°C arasında menevişlenir. 160°C nin altındaki sıcaklıklar kesinlikle kullanılmamalıdır. Martensit yeterince menevişlenmeyeceğinden yüzey çok gevrek kalacak ve özellikle taşlama işlemi uygulanacaksa, çatlaması kaçınılmaz olacaktır. 250°C sıcaklıkların üzerinde menevişleme yapılmasının bir nedeni sertliğin düşmesi (Şekil 2.23), diğer nedeni ise 300°C - 500°C sıcaklıkları arasında gevreklik kazanmasıdır.



Şekil 2.23. Menevişleme sıcaklığının sertliğe etkisi (15)

Eğer sertlik 60 HRC değerinin altına düşün istenmiyorsa, menevişleme sıcaklığı 180°C üzerine çıkarılmamalıdır.

Kutu sementasyonu ile yüzey sertliğinin en az 60 HRC değerine ulaşması amaçlanır. Sertleşme derinliği 0,4 mm den daha az isteniyorsa,

bu durumda karbonlanan çelik parçalar, 900°C deki sementasyon sıcaklığından doğrudan su verilir. Bu derinlik 0,4 mm - 1,25 mm aralığında isteniyorsa, sementasyon işleminden sonra 800°C - 820°C ostenitleme sıcaklığından tek su verme işlemi yeterlidir. Fakat, sertleşme derinliği 1,25 mm den fazla istendiğinde mutlaka yukarıda anlatıldığı gibi çift su verme uygulanmalıdır.

2.3.4.2. S ı v ı S e m e n t a s y o n u

Sıvı sementasyonu; tuz banyosunda karbonlama, siyanürleme, sıvı karbon nitürleme gibi değişik adlarla da bilinir.

Sıvı sementasyonunda, aktif karbon verici olarak sodyum siyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) gibi tuzlar kullanılır. Karışımların çoğu % 20 - 25 oranında NaCN içerir. Bazı uygulamalarda bu oran % 5'e kadar düşer. NaCN tuzlarının tepkisiz tuzları Na_2CO_3 ve NaCl dir. Bunlar karışımın erime sıcaklığını düşürmek ve akıcılık sağlamak için katılır. Tüm tuz türleri eritilme işleminden önce iyice kurutulmalıdır.

Siyanür tuzlarının içeriğinden ötürü, sertleştirilen yüzey hem karbon hemde azot soğurur. Bu nedenle bu yüzeylerin aşınma dirençleri olağan karbonlama yöntemleriyle yüzeyleri sertleştirilmiş parçalardan daha yüksektir.

Daha sonra verilecek reaksiyonlardan da anlaşılacağı gibi, siyanürlü tuz banyolarında etkin olarak hem CO hemde azot çalışır. İstenen sementasyon derinliğine ve buna bağlı olarak çalışılacak sementasyon sıcaklığına göre iki türlü tuz banyoları uygulanmaktadır.

1 - İnce sementasyon derinliği veren (düşük sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuz banyoları: Bu durumda, tuz banyosundaki siyanür miktarı % 20 civarındadır. Çalışma sıcaklığı ise 845°C - 900°C olmalıdır. Bu banyolarla, 0,075 mm - 0,9 mm arasında sementasyon derinliği elde edilebilir.

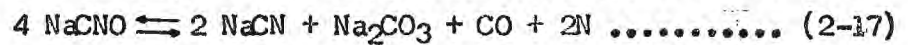
2 - Sementasyon derinliğini arttıran (yüksek sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuz banyoları: Bu banyolardaki siyanür miktarı ise % 10 dur ve kullanılan sementasyon sıcaklığı 900 - 950°C ler arasındadır. Bu tip banyolarda 3 mm ye kadar varan sementasyon derinliğine ulaşılabilir.

Her iki türün karışım bileşimleri Tablo 2.3 de verilmiştir.

Tablo:2.3- Sıvı sementasyonunda kullanılan tuz banyolarının bileşimleri (15)

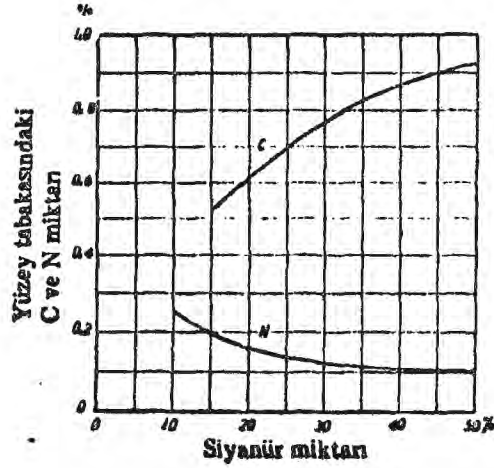
| Bileşik | % Bileşim | |
|--|-------------------------|-------------------------|
| | Düşük Sıcaklıklı Banyo | Yüksek Sıcaklıklı Banyo |
| NaCN | 10 - 23 | 6 - 16 |
| BaCl ₂ | - | 30 - 55 |
| CaCl ₂ (yada SrCl ₂) | 0 - 10 | 0 - 10 |
| KCl | 0 - 25 | 0 - 20 |
| NaCl | 20 - 40 | 0 - 20 |
| Na ₂ CO ₃ | en çok 40 | en çok 30 |
| hızlandırıcılar (MnO ₂ , BO ₂ , NaF, SiC) | 0 - 5 | 0 - 2 |
| NaCNO | en çok 1 | en çok 0,5 |
| erimiş tuzların yoğunluğu | 1760 kg/ m ³ | 2000 kg/ m ³ |

Her iki tür banyoda da sementasyon işlemi aşağıdaki reaksiyonlara göre gaz fazında cereyan eder.



İlk reaksiyon siyanür tuzu ile havanın oksijeni arasında olur. Açığa çıkan NaCNO ayrışarak CO ve atomik azot verir. 850°C - 950°C de ostenit fazdaki çelik CO ile reaksiyona girerek karbonu bünyesine alır. Bu arada bir miktar azot da çelik tarafından emilir. Çeliğin karbon ve azot emme miktarı önemli ölçüde banyodaki siyanür miktarına ve sementasyon sıcaklığına bağlıdır. Şekil 2.24 de siyanür oranı % 10 dan % 15'e yükselirken karbon konsantrasyonunun yükseldiğini, buna karşılık olarak azot miktarının düştüğünü göstermektedir.

Bazı uygulayıcılar, her iki tuz banyosunu birlikte kullanmayı yeğlerler. Önce, yüksek sıcaklıktaki banyoda işlem yapıldıktan sonra, düşük sıcaklıktaki siyanür banyosuna aktarılır. Böylece, hem karbonlama hızlandırılmış olur, hemde su verme işlemi daha düşük sıcaklıktan yapıldığından parçanın çarpılma olasılığı düşer.



Şekil 2.24. Üzeri grafitle örtülmüş bir sıvı banyosunda 950°C de 2,5 saat sementasyon işlemi görmüş alaşımsız bir çeliğin, NaCN içeriğinin bir fonksiyonu olarak, yüzeyindeki karbon ve azot konsantrasyonlarını göstermektedir. Karbon ve azot konsantrasyonlarının tahmini 0,075 mm kalınlıktaki yüzey tabakası üzerinde yapılmıştır.(16)

Düşük sıcaklık uygulamalarında, karbonlama derinliğine bağlı olarak siyanürleme süresi Tablo 2.4 de verilmiştir.

Talo:2.4- Isıtma süresine bağlı olarak karbonlama derinlikleri (15)

| Sertleştirme derinliği, mm | Siyanürleme süresi, dk |
|----------------------------|------------------------|
| 0,10 | 10 |
| 0,15 | 20 |
| 0,20 | 40 |
| 0,25 | 60 |
| 0,30 | 90 |
| 0,40 | 180 |

Tuz banyosu genellikle, sementasyon derinliği 0,5 mm den daha küçük değerler gerektiren küçük ve orta büyüklükteki parçaların sementasyonu için kullanılır. Büyük parçaların tuz banyosunda sementasyonu pota büyüklüğü dolayısıyla bazı zorluklar getirir. Bu metodla yapılan sementasyon işlemi parça yüzeyinde homojen sementasyon derinliği vermesi ve tuz banyosunun yüksek ısı iletimi dolayısıyla, çelik parçaların kısa zamanda sementasyon sıcaklığına ulaşması gibi avantajlar sağlar. Bunun yanında, homojen sementasyon derinliğinin sağlanabilmesi için, banyonun NaCN içeriğinin günlük kontrolü yapılmalı ve gerekiyorsa

yeni tuz ilavesi yapılmalıdır. NaCN miktarı, genel olarak taşınan kadar ilave edilmek suretiyle aynı miktarda tutulur. Sıvı sementasyonunun avantajlarının yanısıra tehlikeleride vardır. Siyanür tuzları zehirlidir ve patlama tehlikeleri vardır. Bu nedenle zehirlenme tehlikelerine karşı çalışma koşullarında önlük, potin, eldiven gibi özel çalışma giysileri kullanılmalıdır. Patlamalara karşı önlemler ise, su ve nemin banyodan uzak tutulması ile nitrat tuzlarıyla kesinlikle karıştırılmamalarını içerir. Bu nedenle siyanürlenecek çelik parçalara önceden 100°C - 400°C ler arasında bir ön ısıtma uygulanır.

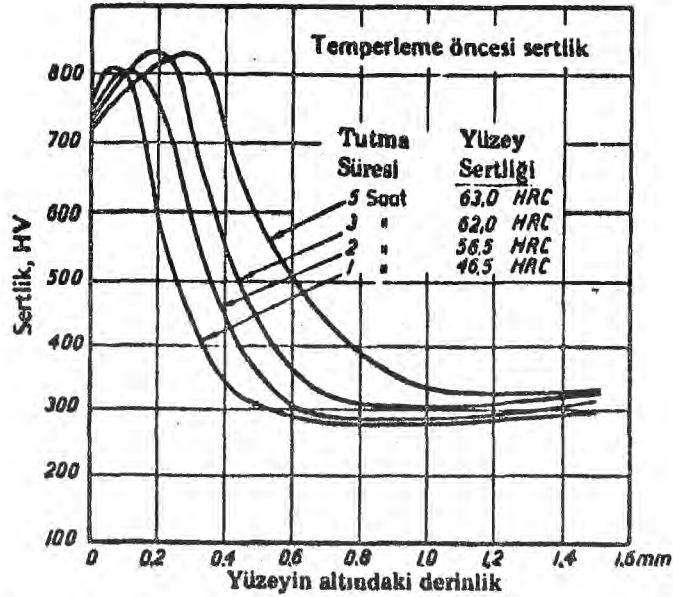
Siyanür banyosundan çıkarılan çelik parçaların yüzeyleri siyanür tuzlarından temizlenmelidir. Aksi halde kalan tuzlar zehirlenmelere neden olabilir. Temizleme işlemi % 3 - 5 FeSO₄ içeren kazanlarda 3-5 dk süreyle yapılır. Böylece temizlenen çelik 60°C - 80°C sıcaklıktaki sıcak suyla iyice yıkanıp temizlenir.

Parçalar siyanür banyosunda sementasyona tabi tutulduklarında, yüzeydeki karbon miktarı çok yüksek olabilir. Bu durumda, parçanın sementasyon sonrası su verilmesi sertliğin düşük olmasına neden olur. Bunun nedeni, yapıda çok fazla kalıntı ostenit bulunmasıdır. Karbon miktarı, sementasyon süresi ve sıcaklığı arttıkça, artış gösterir. Dolayısıyla, parçaların sementasyon sıcaklığından doğrudan su verilmeleri halinde, sementasyon sıcaklığı ne en yüksek nede en düşük seviyede seçilir. Orta derecede bir sıcaklık her zaman iyi sonuç verir. Sementasyon süresinin seçimine ait bir örnek Şekil 2.25 de verilmiştir. Bu şekilde gösterilen BS 655 M 13, En 36 A (Bofors HR 33) çeliğine ait eğrilerden yumuşak yüzey bölgesinin kalınlığının, işlem süresiyle nasıl değiştiği, açık olarak anlaşılmaktadır. Deneylede Rockwell C sertlik aletiyle numunelerin yüzey sertlikleri kontrol edilmiştir. Sertliğin 60 HRC yi aşması durumunda, sementasyon derinliğinin 0,4 mm olacağı görülmektedir. Numunelerin 180°C de temperlenmeleriyle yüzey sertliği azalır, ancak sertleşme derinliği büyük ölçüde aynı kalır.(Şekil 2.26)

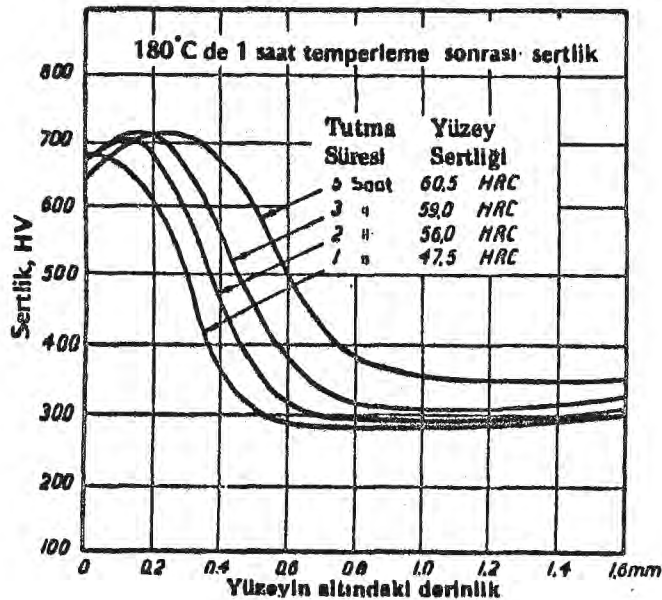
0,5 mm den az sertleştirme derinlikleri için 850°C - 870°C karbonlama sıcaklıkları kullanılır ve doğrudan su verme uygulanır. 0,50 - 1,0 mm sertleştirme aralıkları için, kutu sementasyonunda değinilen, çift su verme uygulanır. Bu durumda karbonlama sıcaklığı 900°C dir. Çift su verme uygulamalarında sertleştirme derinliği 0,50 - 0,75 mm aralığında

ise son ostenitleme sıcaklığı 820°C, 0,75 - 1,0 mm ise 800°C olarak alınır.

Alaşımli çelikler doğrudan su verildiklerinde yüzey sertlikleri oldukça düşüktür. Sertliği arttırmak için tekrar, daha düşük sıcaklıklardan, su verilirler. Bu şekilde çift su verme durumunda, ilk su verme işlemi, yağda veya bir tuz banyosunda, gerçekleştirilir.



Şekil 2.25. BS 655 M13, En 36 A (Bofors HR 33) çeliği, 870°C de çeşitli süreler siyanürleme sonrası su verilmiş halde sertlik (Temperleme yok) (16)



Şekil 2.26. BS 655 M 13, En 36 A (Bofors HR 33) çeliği, 870°C de çeşitli süreler siyanürleme sonrası sertleştirilmiş, 180°C 1/2 saat te temperlenmiş haldeki sertlik.(16)

2.3.4.3. G a z S e m e n t a s y o n u

Gaz sementasyonu, son on yıl içersinde en popüler sementasyon yöntemi haline gelmiştir. Bu metodla oldukça iyi ve güvenilir neticeler elde edilmektedir. Kullanılan fırınlar güvenilir ve kullanılması çok kolaydır.

Bu yöntemde karbon verici olarak ya metan, bütan ve propan gibi hidrokarbon gazları yada kolayca buharlaşan hidrokarbon sıvılar kullanılır.

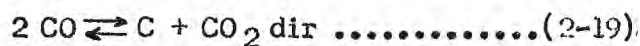
İşlem, genellikle özel karbonlama fırınlarında, dengeli bir sıcaklık dağılımı ile atmosfer dolanımı sağlanarak uygulanır. Kullanılan ve karbonlamayı sağlayan hidrokarbon gazına, seyreltici olarak ya ısı alan tür bir fırın gazı yada " taşıyıcı " olarak azot gazı karıştırılır. Hem fırına giren gaz karışımının bileşimi hemde fırından çıkıp yeniden devreye giren kullanılmış gazın bileşimi sürekli olarak denetlenir.

Sıvı hidrokarbonlar ise dipenten, benzen gibi yalın hidrokarbonlar olabildiği gibi alkoller, glikoller ve ketonlar da olabilir. Sıvılar kullanıldığında, bunlar, fırın içine yerleştirilmiş bir levha üzerine damlayacak biçimde beslenirler. Sıcak levha üzerine değen sıvı damla hemen buharlaşır ve o sıcaklıklarda ayrışarak CO, CO₂, CH₄ ve H₂O içeren fırın atmosferlerine dönüşür. Sıvının damla damla akışı otomatik olarak yada elle ayarlanabilir. Fırının üfleci (= fan) sürekli bir gaz dolanım sağladığından, kullanılmış olan gazlar " taşıyıcı gaz " görevini görür ve karbonlamayı yapan gazı seyreltir. Ayrıca, taşıyıcı gaz olarak azot ta kullanılabilir.

Gaz ortamlı karbonlama fırınları sızdırmaz fırınlardır. Hava fırına sızacak olursa atmosfer denetimi elden çıkar ve karbonlama önlenmiş olur. Karbonlanacak parça yada takım böyle bir fırına yerleştirilir ve sıkıca kapanır. Komuyucu özellikte bir taşıyıcı gaz fırını, 800 °C - 900°C sıcaklıklara kadar olan işlemlerde kullanılır.

İşleme hidrokarbon girdiği için aynı anda bir kaç reaksiyon cereyan eder.

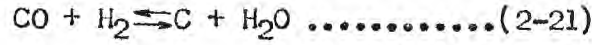
temel reaksiyon



ilave olarak aynı zamanda Metan'ın ayrışma reaksiyonu

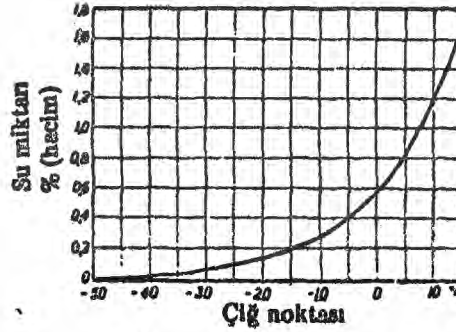


ve su - gaz reaksiyonu



meydana gelir.

Fırın gazının bileşimi analizle saptanabilir ve böylece karbon potansiyeli tahmin edilebilir. 2-21 reaksiyonunda da görüldüğü gibi, gazın nem miktarının, karbon potansiyeli üzerinde büyük bir etkisi vardır. Nem miktarı, gazın çiy noktasının tesbit edilmesiyle ölçülebilir. Çiy noktası, su buharının yoğunlaşarak gazdan ayrıldığı sıcaklıktır. Şekil 2.27 da nem miktarı ve çiy noktası arasındaki ilişki gösterilmektedir.

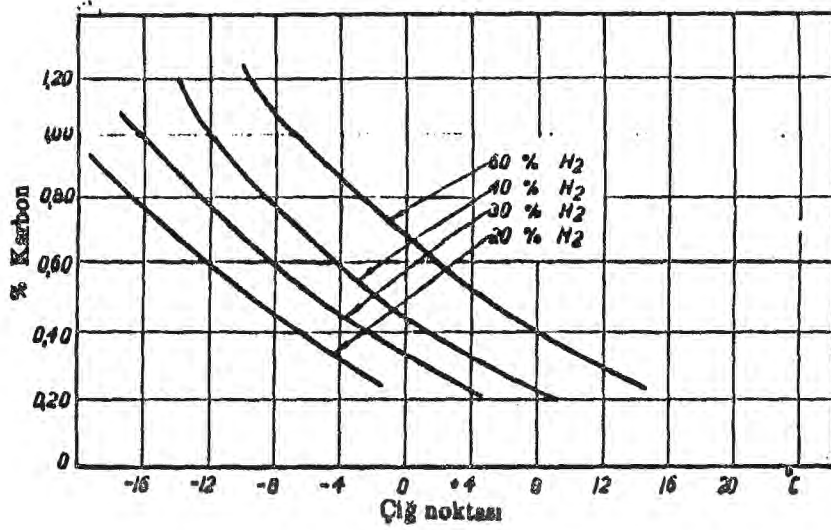


Şekil 2.27. Çiğ noktası ve nem miktarı arasındaki ilişki(16)

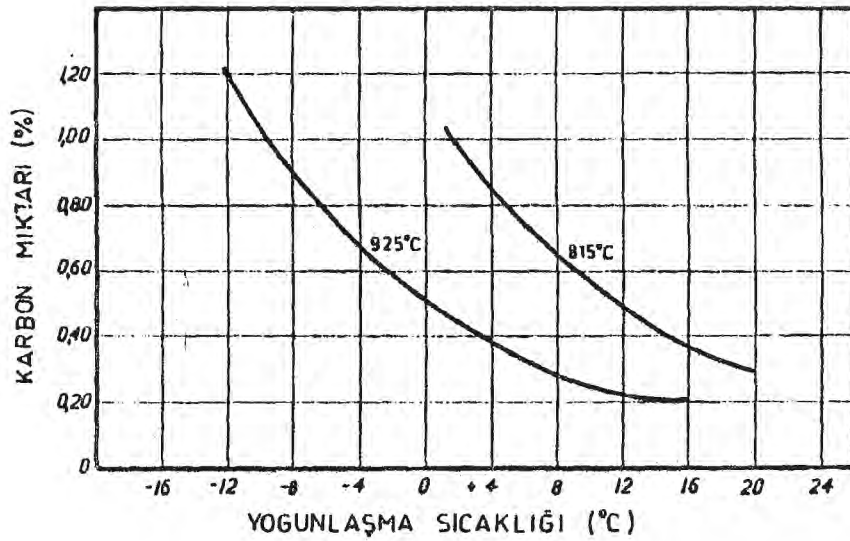
Aşağıdaki şekillerde ise, yoğunlaşma sıcaklığı kontrol edilerek, sementasyon sıcaklığı ve gaz kompozisyonunun değişimi ile yüzeyde elde edilecek karbon miktarına ait örnekler verilmiştir.

Şekil 2.28 de sementasyon sıcaklığı 925°C ve fırın gaz kompozisyonundaki CO miktarı % 20 olarak sabittir. Çelik parçasının yüzeyinde meydana gelecek karbon miktarı, yoğunlaşma sıcaklığına ve fırın atmosferindeki hidrojen (H₂) %'ne bağlı olarak değişmektedir. Çelik yüzeyinde % 0,80 karbon miktarı elde edebilmek için, gaz karışımındaki H₂ miktarı % 60 iken yoğunlaşma sıcaklığı -3°C veya H₂ miktarı % 20 olduğunda yoğunlaşma sıcaklığı -17°C olmalıdır.

Şekil 2.29 de ise, çelik yüzeyindeki karbon miktarının sementasyon sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Burada, gaz



Şekil 2.28. 925°C de yapılan sementasyon işleminde, gaz karışımındaki CO miktarı % 20 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının ve H₂ miktarının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri. (12)



Şekil 2.29. Gaz karışımındaki CO miktarı % 20 ve H₂ miktarı % 40 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri. (12)

kompozisyonundaki CO miktarı % 20 ve H₂ miktarı % 40 olarak sabittirler. 925°C sıcaklık kullanıldığında, yüzeyde % 80 karbon eldesi için,

yoğunlaşma sıcaklığı yaklaşık -6°C ve aynı karbon miktarının eldesi için, 815°C sıcaklık kullanıldığında, yoğunlaşma sıcaklığı $+5^{\circ}\text{C}$ olması gerekir.

Karbon potansiyelini kontrolde diğer bir yöntem; gaz içindeki CO konsantrasyonunu kaydetmek için kullanılan kızıl ötesi ışınlarla dayalı olandır. CO oranından CO miktarı ölçülür. Bundanda, özel ölçüm birimiyle karbon potansiyeline nümerik değer olarak geçilir. Kontrol aynı zamanda, farklı karbon konsantrasyonları için kalibre edilmiş bir çelik telin direncinin ölçülmesiyle de uygulanabilir. Ölçülen direnç karbon konsantrasyonuyla orantılıdır.

Sementasyon derinliği, çelik parçasının fırında kalış süresine bağlı olarak değişir.

Sementasyon derinliği, x , veren Harris denklemi

$$x = 660 \cdot e^{-8287/T} \cdot t$$

$x = \text{mm}$, $T = \text{K}$, $t = \text{saat}$

Sementasyon işlemi tamamlandıktan sonra kullanılan çelik çeşidine bağlı olarak uygun bir sertleştirme yöntemi seçilir. Bu metod, hassas toleranslı sementasyon derinliği istendiği haller için çok elverişlidir. Sementasyon sıcaklığından direkt sertleştirme için, hızlı hareket kolaylığı ve temiz çalışma ortamı sağlaması, gaz sementasyonunun diğer avantajları olarak sayılabilir.

Gaz sementasyonunda kullanılan gaz dört farklı yolla üretilebilir.

1 - Sementasyon sıvısının fırının içine damlatılması; Bu sıvı genellikle etil alkol ve beyaz ispirto ihtiva eder. Sıvı, fırın içinde dağılacığı ve buharlaşacağı bir plaka üzerine damlatılır. Bu yöntemle düşük karbon potansiyeli olan taşıyıcı bir gaz üretilir. Bu potansiyel, fırın içersine daha fazla aktif sıvı damlatılarak ayarlanabilir. Pratikte sadece bir sıvı kullanılır ve karbon potansiyeli, ilave edilen sıvının ayarlanmasıyla kontrol edilir.

2 - Gaz üreten bir cihazdan fırına gaz gönderilir. Gaz ekzotermik yanma ile üretilir. Bu gaz, genellikle, havayla dengeli bir şekilde karıştırılır ve gaz oluşturma ünitesinde, % 0,35 - 0,50 karbon potansiyelli bir taşıyıcı gaz oluşturmak için, yakılır. Fırına girmeden önce

taşıyıcı gaza, genellikle % 0,8 civarında istenilen karbon potansiyelini ayarlamak amacıyla, ekstra bir propan ilavesi verilir.

3 - Gaz ve havanın fırına doğrudan girişi; Sementasyon işlemini gerçekleştirecek gaz dengeli miktarlarda fırına verilen hava ile gaz arasındaki reaksiyon sonucu oluşur.

4 - Bir vakum fırınında sementasyon; Sadece hidrokarbonların havası alınmış fırına girmesine izin verilen bu yöntemde, oksijen herhangi bir reaksiyonda rol almadığı için, herhangi bir oksidasyonun oluşması söz konusu değildir. Bu proseste normalden daha yüksek sıcaklık kullanılır ve bu da sementasyon hızını arttırır.

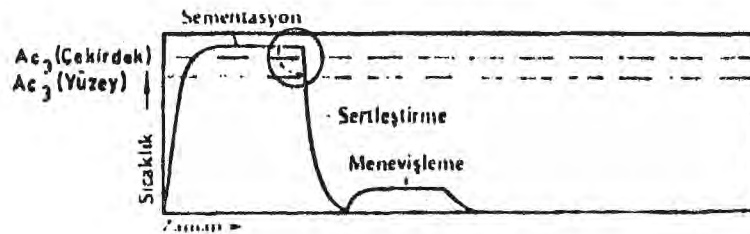
2.4. SERTLEŞTİRME İŞLEMLERİ

Sementasyon sonrasında çelik parçalar bir sertleştirme işlemine tabi tutulurlar.

Sertleştirme işlemi parçanın yüzeyinde veya çekirdeğinde veya beraberce her iki bölgesinde elde edilmesi istenen sertlik değerine bağlı olarak çeşitli şekillerde yapılır.

Aşağıda, sertleştirme yöntemleri 5 başlıkta incelenmiştir.

2.4.1. DİREKT SERTLEŞTİRME

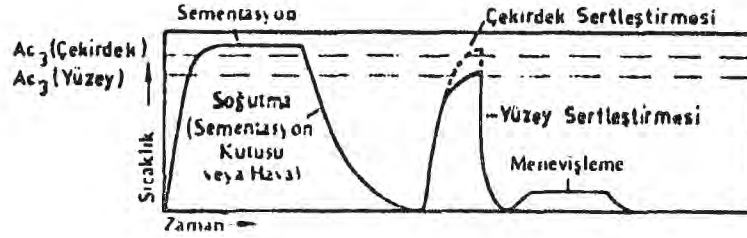


Şekil 2.30. Direkt sertleştirmede sıcaklık - zaman değişimi (12)

Sementasyon sonrası, çelik parça sementasyon sıcaklığından direkt olarak uygun ortamda (yağ, su, sıcak banyo) soğutularak sertleştirilir ve menevişlenir. Şekil 2.30 da yuvarlak içine alınmış bölgede kesik çizgi ile belirtilen yol, sementasyon sıcaklığının uygun sertleştirme sıcaklığından yüksek olduğu durumlarda parçanın çarpılmasını önlemek için yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar yavaş soğutulmasını ifade etmektedir. Bu yöntem önce sadece yapıdaki çelikten ayrı ayrı uygulanırdı. Ancak

pratik ve ekonomik bir yöntemdir.

2.4.2. BASİT SERTLEŞTİRME

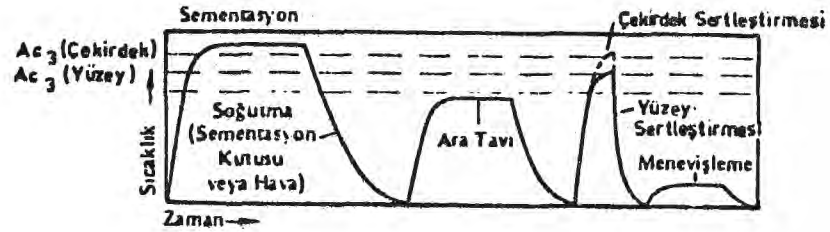


Şekil 2.31. Basit sertleştirmede sıcaklık - zaman değişimi (12)

Sementasyon sonrası parça sementasyon fırınında veya havada soğumaya bırakılır. Daha sonra, isteğe göre parçanın yüzeyinin sertleştirilmesi için, yüzey dönüşüm sıcaklığına veya yüzey ve çekirdeğin beraberce sertleştirilmesi için çekirdek dönüşüm sıcaklığına ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulur ve menevişlenir.

Bu yöntem değişik kesitli parçalarda, çarpılmaların istenmediği hallerde uygulanır.

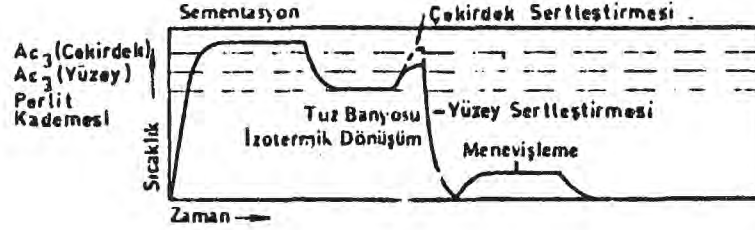
2.4.3. BASİT SERTLEŞTİRME (ara tavından sonra)



Şekil 2.32. Basit sertleştirmede (ara tavından sonra) sıcaklık - zaman değişimi (12)

Çelik parçalar semente edildikten sonra, sementasyon kutusu veya havada soğumaya bırakılır. Sonra, A₁ ötektoid sıcaklığı altında, genellikle 630°C - 650°C de ara tavlama yapılır. Bunu takiben yüzey veya beraberce yüzey - çekirdek sertleştirme için gerekli sıcaklığa ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulur ve menevişlenir.

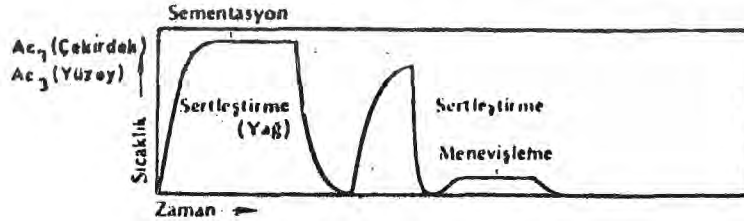
2.4.4. BASİT SERTLEŞTİRME (izotermik dönüşümden sonra)



Şekil 2.33. Basit sertleştirmede (izotermik dönüşümden sonra) sıcaklık - zaman değişimi (12)

Sementasyon sonrası, parçalar yüzey dönüşüm sıcaklığı altında ($500 - 600^{\circ}\text{C}$) perlit yapının izotermik dönüşümü tamamlanuncaya kadar bekletilir. Tekrar yüzey veya yüzey - çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa kadar ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulularak menevişlenir.

2.4.5. ÇİFT SERTLEŞTİRME



Şekil 2.34. Çift sertleştirmede sıcaklık - zaman değişimi(12)

Sementasyon fırınından çıkan malzeme, direkt sertleştirilir. Daha sonra, yüzey dönüşüm sıcaklığına kadar ısıtılarak tekrar sertleştirilir ve menevişlenir. Bu yöntemle çok iyi neticeler elde edilebilir. Ancak, ard arda yapılan sertleştirmelerle parçada çarpılmalar olabilir.

2.5. MENEVİŞLEME

Bu işlemin gayesi, sertliği bir miktar düşürerek sertleştirme sonrası çelik parçadaki gerilimleri gidermektir. Sertleştirme sonrasında çelik parçalar genellikle $160^{\circ}\text{C} - 220^{\circ}\text{C}$ arasındaki sıcaklıklarda menevişlenirler. Menevişleme zamanı 1-2 saattir. Eğer sonuçta parça yüzeyindeki sertlik 60 HRC den düşük istenmiyor ise, sıcaklık 180°C den fazla olmamalıdır.

2.6. SU VERME ORTAMLARI

Su verme işleminde amaç; Çeliğin yüzey tabakasında martensitik bir yapı elde edilerek sertliğin artmasını sağlamaktır. Bu nedenle, soğutma hızının kontrol edilerek perlit veya beynit oluşumunun engellenmesi gerekir.

Gereken su verme ortamının şiddeti, sertleştirilecek çeliğin cinsine ve su verilecek parçanın kesit kalınlığına bağlıdır. Alaşimsız yüksek karbonlu çelikler için soğutma ortamı pratik olarak genellikle sudur. Çelikte alaşım oranı arttıkça, daha sakin su verme ortamına gerek vardır. Böylece daha az şiddetli su verme ortamında distorsiyon daha az olur.

Günümüzde kullanılan çok çeşitli su verme ortamı ve sıvısı vardır. Bunların bazıları aşağıda en şiddetlisinden en sakinine göre sıralanmıştır.

- Tuzlu su
- Su
- Su ve yağ emülsiyonları
- Polimer su verme maddelerinin suda çözeltileri
- Hızlı yağlar
- Geleneksel olarak kullanılan yağlar
- Ergimiş tuz banyoları (Sodyum nitrat - potasyum nitrat)
- Kaygan yatak
- Gaz veya hava akımı
- Durgun hava
- Vacuum

Aşağıda genelde kullanılan su verme ortamları hakkında bilgi verilmiştir.

2.6.1. SU

Su, ucuz, kolay bulunabilen; kirlenme, sağlık veya yangın tehlikesi yaratmadan kullanılabilen bir sıvıdır. Saf su uygun bir soğutma ortamı değildir, çünkü saf suyun en fazla soğutucu etkisi 300°C civarındadır. Bu sıcaklık pek çok çelik için martensit dönüşümünün başlama sıcaklığıdır. Martensit oluşum sıcaklık aralığındaki bu yüksek soğuma hızı, iş parçasının dönüşüm gerilimleri ve ısıl gerilimler tarafından aynı anda etkilenmesine yol açar. Bu birleşik etki çatlak oluşumu ve bozunma olasılığını artırır.

Su verme sırasında çelikte meydana gelebilecek bu tür bir çatlak oluşum tehlikesi, 200 - 400°C ye kadar soğutulan çeliğin sudan alınarak aniden yağ banyosuna konulmasıyla azaltılabilir.

Genel fiziksel özellikleri şöyle sıralanabilir:

Özgül ağırlığı: 4°C de 1g.cm^{-3}

Isı geçirgenliği: 20°C de $13,2 \cdot 10^{-4} \text{ cal cm.}^{-1} \text{ san.}^{-1} \text{ C}^{-1}$
100°C de $16,4 \cdot 10^{-4}$

Akışkanlığı (ASTM): 20°C de 1,008 cSk (ASTM D 446 - 53)

Özgül ısısı: $1 \text{ cal g}^{-1} \text{ C}^{-1}$

Sertleştirmede suyun sıcaklığının 20 - 25°C olması gerekir.

2.6.2. TUZLU SU

Suya % 10 oranında tuz veya soda ilave edilerek, soğutma kapasitesi arttırılır ve aynı zamanda ısı çıkarma kapasitesinin de 500°C de oluşması sağlanır.

Tuzlu suyun su ile karşılaştırdığımızda gözlenen üstünlükleri:

-- Eşit derecede karıştırmada, tuzlu suyun soğutma hızı normal sudan daha büyüktür.

-- Tuzlu suda sıcaklık normal sudan daha az önemlidir. Bu nedenle daha az sıcaklık kontrolü gerekir.

-- Normal suda, buhar paketleri nedeniyle görülen sertleşmemiş nokta oluşumu olasılığı tuzlu suda daha azdır.

-- Parça şeklinin bozulması normal sudan daha azdır.

2.6.3. YAĞLAR

Yağda soğutma suda soğutmadan daha yavaştır. Yüksek karbonlu, alaşımlı çeliklerin sertleştirilmesinde genellikle ideal bir soğutma ortamıdır. Soğuma hızı, 600°C de en büyük ve martensit oluşum bölgesinde ise, oldukça düşüktür.

Yağların soğutma kapasiteleri su verme banyosunun şiddetli karıştırılması ile önemli miktarda artar. Yağların soğutma kapasitesini arttırmanın diğer bir yolu, sıcaklığının 50 ile 80°C ye çıkarılmasıdır. Sıcaklık artışı yağın akıcılığını, dolayısıyla soğutma kapasitesini arttırmaktadır.

Su verme yağları kullanılışlarına göre; Normal su verme yağları

ve hızlı su verme yağları olarak iki çeşittir.

Normal su verme yağlarında, soğutma özelliğini değiştirecek hiçbir ilave katkı yoktur.

Hızlı su verme yağları, normal su verme yağlarından daha düşük viskoziteli markalardır. Bu yağlar, soğutma özelliklerini etkileyen ve daha hızlı bir su verme özelliği veren katkıları içerir.

Normal su verme yağlarında, buhar örtü aşamasının süresi, suda olduğundan daha uzundur. Kaynama aşamasının süresi kısadır. Bu nedenle, bu yağların su verme güçleri sudan daha düşük ve hatta yetersizdir. Bununla beraber kaynama aşamasından, sıvı soğutma aşamasına geçiş daha yumuşaktır. Bu nedenle normal su verme yağlarında parçanın bozunması olasılığı çok düşüktür.

Yağlar elde edilişlerine göre:

- Hayvansal yağlar
- Bitkisel yağlar
- Mineral yağlar
- Parafin bazında olan yağlar
- Naften bazında olan yağlar
- Karışık yağlar

Yağların genel fiziksel özellikleri:

Özgül ısı: 15°C de $0,4 - 0,5 \text{ cal cm}^{-1} \text{ san}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

300°C de $0,6 - 0,8$

Buharlaştırma ısı: 90 kcal/ kg

Isı geçirgenliği: $3 - 4 \cdot 10^{-4} \text{ cal cm}^{-1} \text{ san}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

Isı geçirgenliği kat sayısında da görüleceği üzere yağlar suya göre $1/4$ oranında daha az bir soğutma şiddetine sahiptirler.

Sertleştirme ortamı olarak kullanılan yağın su miktarı devamlı kontrol edilmesi ve en çok % $0,5$ oranında olması gerekir. Bu miktarın üzerinde suyun mevcut olduğu yağlarda sertleştirme işlemi sonunda malzeme yüzeyinde sertlik değerleri arasında farklılıklar meydana gelebilir. Bu nedenle yağ banyosunun $105 - 110^{\circ}\text{C}$ ler arasında ısıtılarak buharlaştırılması sağlanır.

İşletme esnasında sorun yaratabilen bir özellik yağların alevlenmesidir. Bunun sebebi yağ içerisinde suyun mevcut olması, veya yağ

miktarının malzeme kütlesine oranının az olmasıdır.

2.6.4. SU VE YAĞIN KARIŞIMI

Su ve suda eriyebilir yağın karışımı ile, çeşitli soğuma kapasiteli soğutma ortamları elde etmek mümkündür. Ancak, böyle ortamlar yağın kendisinden düşük kalitededir. Eğer, alalede su verme işleminde kullanılan yağ içersine su ilavesi dikkatsizce yapılırsa, bu durum, eğer çelik derin sertleşebilir türden ise çatlamaya neden olabilir.

Eğer su ve yağ doğru bir şekilde emülsiyon haline getirilmezse, kullanım sırasındaki su tankın dibinde toplanabilir ve hızlı ısıtma sonucu buharlaşarak patlamaya neden olabilir. Tankın içersinde suyun var olup olmadığını anlamak için tercihan camdan yapılmış dar bir boru tankın dibine daldırılır. Cam ucu geçici olarak kapatılır. Operatör borunun içersinde yükselmesine izin verir. Boru sonra tekrar kapatılır ve dışarı alınarak içeriği incelenir.

2.6.5. TUZ BANYOLARI

Su verme amacıyla kullanılan tuz banyoları, genellikle, yarı yarıya sodyum nitrat ve potasyum nitrat içerirler. Bunlar 160 - 500°C sıcaklık aralığında kullanılırlar. Bir tuz banyosu, oldukça iyi sertleşebilirliği olan ve kesit kalınlığı fazla olmayan bir çelik parça için ideal bir su verme ortamıdır. Tuz banyolarında buhar örtü ve kaynama aşamaları olmaz.

Bir ergimiş tuz banyosunun soğutma kapasitesi 500°C ye kadar yükselir. Çeliğin sıcaklığı, bu sıcaklığın altına düştükçe soğutma kapasitesi azalır. Banyonun sıcaklığı ne kadar az ve karıştırma ne kadar fazla olursa, soğutma kapasitesi de o kadar artar.

Eğer tuz banyosu kirlenirse, banyonun soğutma verimi çok düşer. Bu nedenle tuz banyoları düzenli olarak kontrol edilmeli ve tabanda oluşan çamur sürekli temizlenmelidir.

Banyonun soğutma kapasitesi banyoya su ilavesiyle arttırılabilir. İlave edilecek su miktarı % 0,3 - 0,5 'i geçmemelidir. Bu sınırlarda su ilavesi banyonun soğutma kapasitesini iki katına çıkarabilir. Suyun sürekli olarak buharlaşarak yüzeyden ayrılması söz konusu olduğundan, zaman zaman veya periyodik olarak banyoya su ilavesi gerekir. Suyun en elverişli ilave yolu, sirkülasyon pompası ile oluşturulan girdap

içersine verilmesidir. Bu şekilde su, herhangi bir patlama tehlikesi olmaksızın, tuz banyosunda aniden erimektedir.

% 10 dan fazla siyanür içeren bir siyanür banyosunda ısıtılmış olan parçalar, patlama tehlikesinden ötürü, bir nitrit - nitrat banyosunda su verilmemelidir.

2.6.6. HAVA

İnce kesitli, az alaşımlı çelikler ve yüksek alaşımlı çelikler, basınçlı hava veya vakum havada başarılı bir şekilde sertleştirilebilirler. Havanın kullanılmasının avantajları, distorsiyonun ihmal edilebilir düzeye indirilmesi ve çeliğe soğuma sırasında doğrultma işleminin kolayca uygulanabilmesidir. Parça sabit basınçlı bir hava akımında döndürüldüğünde, düzenli bir şekilde soğuması gerekir. Havada soğutmanın bir dezavantajı, soğuma sırasında yüzeyin oksitlenmesidir.

Yüksek alaşımlı çelikler grubundan D6 çeliği, büyük boyutlarda olsa bile, havada sertleşebilecek bir sertleşebilme kabiliyetine sahiptir. Havada en iyi sertleşebilen çelik H13 dür. Bu çelikten yapılmış 200 mm çapa kadar olan kesitler vakum havada sertleşebilirler.

2.7. YÜZEY SERTLEŞTİRME SIRASINDA OLUŞAN BOYUTSAL DEĞİŞİMLER

Isıl işlemle uğraşanların karşılaştığı problemlerden en önemlisi çeliğin sertleştirilmesi ve meneviş işlemi esnasında sahip olduğu boyutsal değişikliklerdir. Bu boyutsal değişimler tabii olarak soğuma esnasında malzemede ısı - gerilimlerinin doğmasına yol açarlar. Ayrıca ısıl işlemle meydana gelen dönüşümlerin ve oluşan fazların sebep olduğu gerilimlerde mevcuttur.

Malzeme genleşme katsayısının sıcaklığa bağlı olarak değişmesi nedeni ile çeliğin ısıtma veya soğuması esnasında meydana gelen gerilimlere ısı - gerilimleri denir.

Çeliğin ısıtılması ve soğumasına paralel olarak değişik yapısal dönüşümler meydana gelir, bu fazlar, dokular, ayrı özgül ağırlıklara, dolayısı ile özgül hacimlere sahiptir.

Matematik olarak boyutsal değişimlerin saptanmasında karbon miktarının etkisinin büyük olduğu görülmektedir. (Tablo 2.5)

Çeliğin ısıtılmasında A_c1 sıcaklığına kadar doğrusal bir genleşme

görülür, bu sıcaklıkta östenit dönüşümü ile duraklama kaydedilir ve tekrar genleşme değeri artar.

Tablo:2.5- Bazı doku değişikliklerinin sebep olduğu hacimsel değişme miktarları (16)

| | Hacimsel değişme % |
|------------------------|--------------------|
| K. Perlit - Östenit | - 4,64 + 2,21 % C |
| Östenit - Martensit | 4,64 - 0,53 % C |
| K. Perlit - Martensit | 1,68 % C |
| Östenit - Alt Bainit | 4,64 - 1,43 % C |
| K. Perlit - Alt Bainit | 0,78 % C |
| Östenit - Üst Bainit | 4,64 - 2,21 % C |
| K. Perlit - Üst Bainit | 0 |

K: Küresel

Soğuma esnasında ise martensit dönüşümünün meydana gelmesi ile hacimsel bir büyüme görülür.

Östenit - Martensit dönüşümünde meydana gelecek hacimsel genleşme, karbon, artık östenit ve çözülmemiş sementit miktarları göz önüne alınarak aşağıdaki eşitlikten saptanabilir.

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{(100-V_c -V_a)}{100}(1,68xC) + \frac{V_a}{100} (-4,64 + 2,21xC) \dots\dots (2-22)$$

$$\frac{\Delta V}{V} ; \text{hacimsel değişme \%}$$

V_c : Çözülmemiş sementit miktarı % hacim

V_a : Artık östenit miktarı % hacim

$100-V_c -V_a$: Martensit miktarı % hacim

C : Östenitte çözülmüş karbon miktarı, Martensit karbon olup,

$$\% C = \frac{\%C_s - 0,067 V_c}{1-0,01 V_c} \text{ eşitliğinden elde edilir. } (2-23)$$

C_s : çeliğin ortalama karbon miktarı % ağırlığı

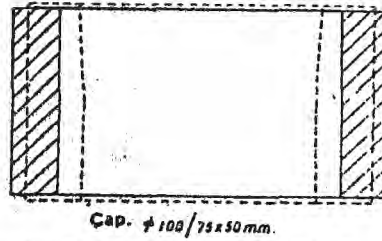
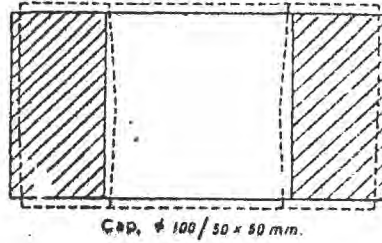
Çeliğin sertleşebilirliğinin artması ve malzeme kalınlığının azalması ile hacimsel artış artar.

Boyutsal değişimi etkileyen diğer bir faktör ise sertleştirme yöntemidir. Doğrudan sertleştirme prensip olarak en az boyutsal değişimlere ve iki kademeli sertleştirme en fazla değişime neden olur. Deformasyon, ısıtma ve soğutma işlemlerinin sayısı ile artar.

Aşağıda sementasyon işlemleri uygulanmış parçalarda oluşan boyutsal değişimlere ait örnekler verilmiştir.

2.7.1. SEMENTASYON SIRASINDA OLUŞAN BOYUTSAL DEğİŞİMLERE AİT ÖRNEKLER

Örnek 1. Dış çapı 100 mm, iç çapı 50 ve 75 mm, yüksekliği 50 mm olan bir bilezik (halka) BS 655 M13 (% 3,25 Ni - Cr çeliği), BS 637 - M17 (En 352) ve BS 805 M20 (En 362) den imal edilmiştir. Halkalara 940 °C de 1 mm derinliğe kadar gaz sementasyonu uygulanmıştır. Yağda su verme işlemlerinden önce sıcaklık 840 °C ye düşürülmüştür. (Şekil 2.35)



Boyutsal değişim ölçeri: — = 0.05 mm

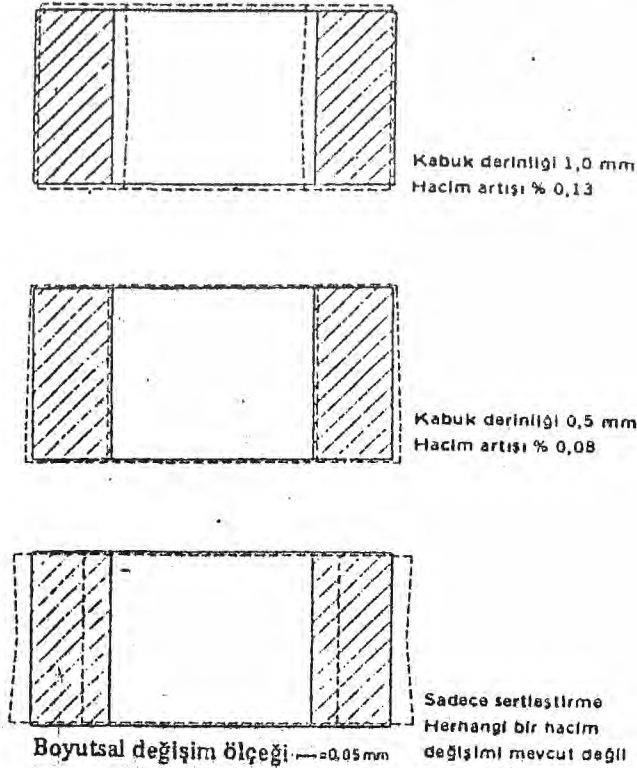
Şekil 2.35. BS 63 M17, En 352 (Bofors DR: 34) çeliğinden yapılmış halkalarda yüzey sertleştirme sonrası oluşan boyutsal değişimler. Yüzey sertleşme derinliği: 1 mm (16)

170 °C de temperleme işlemlerinden sonra halkaların boyutları kontrol edilmiştir. İç ve dış çaplarda azalma ve yükseklikte bir artış kaydedilmiştir. Farklı kalitede ki çeliklerde belirgin boyutsal değişimler gözlenmemiştir. Son işlemeden önce halkaların sırasıyla gerilimleri giderilmiş ve normalize edilmişlerdir. Sonuçta, farklı tipteki ön işlemlerin etkilerinin belirlenmesi mümkün olmamıştır.

En 352 çeliği için boyutsal değişimleri ve 18 halkanın her

boyutunun ortalama değerlerini gösteren Şekil 2.35 diğer kaliteleri de temsil etmektedir. Bununla beraber, ince et kalınlıklı halkaların hacimlerinin, kalın kesitli halkalara göre daha fazla artması yanında boyutsal deęiŐimlerinde fazladır.

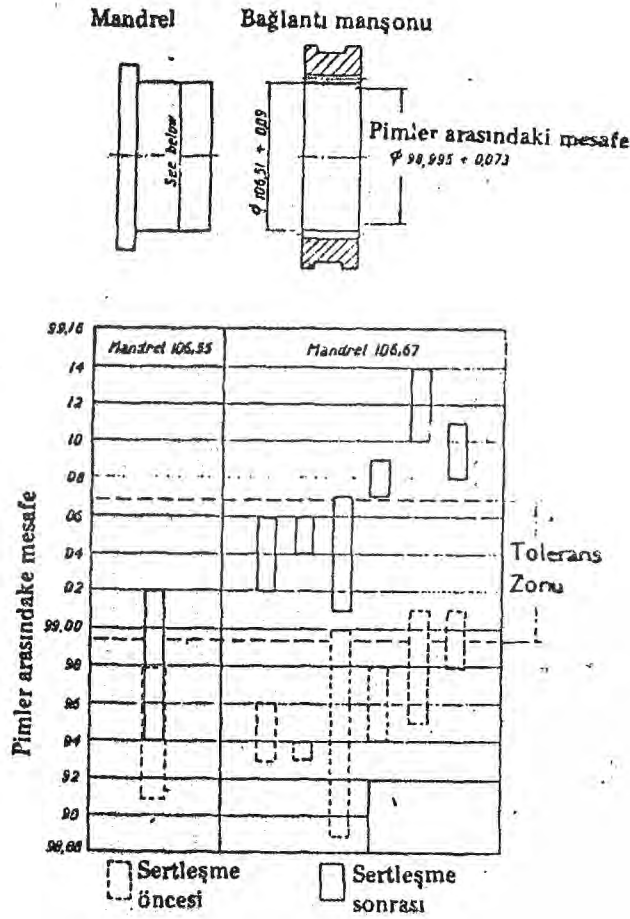
rnek 2. Bu örnekte yüzey sertleşme derinliğinin etkisi incelenmiştir. Halkalar 900°C de 1.0 ve 0,5 mm derinliğinde semente edilmişlerdir. Halkalar sonra 820°C den yağda sertleştirilmiş ve 170°C de temperlenmiŐlerdir. Bu işlemler sonucu oluşan boyutsal değişimler Şekil 2.36 da gösterilmektedir. Yüzeysel sertleştirme derinliğinin arttırılması sonucu sertleştirme sırasında fazla oranda martensit miktarındaki artıŐın yol atığı hacim artışı ile karŐılaŐılmıŐtır. KuŐkusuz, çapta ki deęiŐmeye yüzey sertleştirme derinliği hakim olmaktadır.



Şekil 2.36. Farklı sertleştirme derinliklerinde BS-637 M 17 (En 352) eliğinden yapılmış halkalarda yüzey sertleştirme sonrası oluşan deformasyon. Sementasyon sıcaklığı 900°C. Sertleştirme sıcaklığı 820°C. Temperleme sıcaklığı 170°C. Halka çapları:96/54x46 mm. (16)

rnek 3. Boyutları Şekil 2.37 de gösterilen BS 655 M17 den yapılmış bir bağlantı manŐonu, 0,7 mm sertleşme derinliği verecek Şekilde, kutu sementasyonuna tabii tutulmuŐtur. Sertleştirme 820°C den uygulanmıştır. ManŐon direkt olarak yağda su verilmeden önce, çapı tolerans

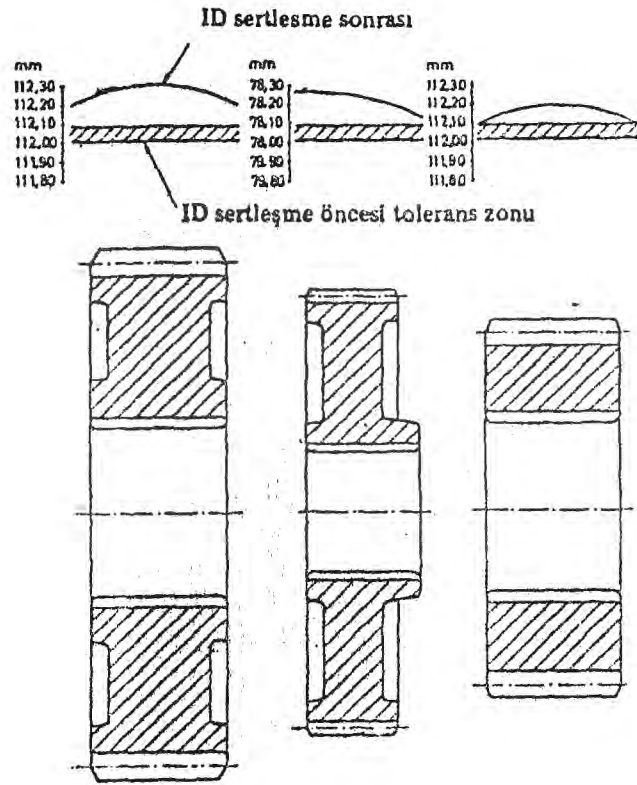
aralığının ortasında olan ($d = 106,55$ mm) bir mandrelle yerleştirilmiştir. Bir manşonun deneme sertleştirilmesi sırasında iç çap ihmal edilebilir oranda büyümüştür. Manşonların iç çapı tolerans zonunun alt ucunda iken, diğer manşonlar çapı $106,67$ mm olan bir mandrel üzerinde sertleştirilmişlerdir. Sertleştirme sonrası manşonların 3° ü tamamen toleranslar içinde iken diğer 3° ü artı tarafta olmuştur. Uygun mandrel çapı $106,60$ mm olmalıydı.



Şekil 2.37. Yüzey sertleştirme işlemi öncesi ve sonrası boyutları gösteren diyagram ile beraber SIS 2092 (Bofors SR 1755) mandrelü BS 655 M 13, Eş 36 A (Bofors-HR 33) den yapılmış bağlantı manşonunun şematik gösterilişi. (16)

Örnek 4. Şekil 2.38 de gösterilen kanalı manşonun sertleştirme öncesi dış yapının düşük tarafta ve iç kısmının da tolerans aralığının altında olduğu bulunmuştur. Sertleştirme, örnek 3'deki gibi aynı şekilde gerçekleştirilmiştir. İşlemden önce mandrelin çapı manşonun iç çapı ile

aynıdır. Manşonun boyutları Şekil 2.38 de gösterildiği gibi değişmiştir. Daralma miktarının istenilenden fazla olduğu görülmüştür. Fakat manşonlar halen kullanılabilir durumdadır. Kama çapları ölçüldüğünde birbirine dik iki yöndeki ölçümlerin en büyük olduğu ve en küçük ölçülerin bunların arkasından gelen 45 derecelerdeki açılarda olduğu görülmüştür.



Şekil 2.38. Yüzey sertleştirme işlemi öncesi ve sonrası boyutları gösteren diyagram ile beraber SIS 2092 (Bofors SR 1855) mandrelli BS 655 M13 En 36 A (Bofors-HR 33) den yapılmış kamalı manşonun şematik gösterilişi. Kabuk derinliği:0,7mm. (16)

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Sıvı ve gaz ortamlarda, 1020 çeliğine uygulanan sementasyon işlemlerinde, sementasyon zamanının, sementasyon ortamının ve su verme ortamının; Yüzey sertliğine ve sertleştirme derinliğine etkilerini araştırmak için aşağıdaki plan doğrultusunda deneysel çalışmalar yapılmıştır.

3.1. DENEY GENEL PLANI

I - Deneysel numunelerinin hazırlanması.

II - Hazırlanan numunelerin, belirlenen şartlarda sıvı ve gaz ortamlarda sementa edilmesi ve sertleştirilip, monevişlenmesi.

III - Numune yüzeylerinin hazırlanması.

IV - Hazırlanan numune yüzeylerinden, aşağıda belirtilmiş olan değerlerin ölçülmesi.

- Yüzey sertleştirme derinliği
- Sementasyondan sonraki yüzey sertliği
- Sertleştirmeden sonraki yüzey sertliği
- Sertleştirmeden sonraki çekirdek sertliği
- Derinliğe bağlı olarak sertlik değerleri

3.2. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

Deneysel 1020 çeliğinden yapılmış, 15x15 mm boyutlarında numuneler kullanılmıştır.

Aşağıda, bu malzemeye ait çeşitli özellikler verilmiştir.

ÇEŞİTLİ NORM KARŞILIKLARI

KİMYASAL ANALİZLERİ %

| MKE NORMU | DIN NORMU | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni |
|-----------|-----------|------|------|------|-------|-------|----|----|----|
| | | 0,12 | 0,15 | 0,30 | - | - | - | - | - |
| Ç 1020 | C 15 | 0,18 | 0,35 | 0,60 | 0,045 | 0,045 | - | - | - |

ISIL İŞLEM DURUMU

| | |
|-------------------------|--------------|
| Sıcak Şekil Verme | 1100 - 850°C |
| Yumuşak Tavlama | 650 - 700°C |
| Normalize | 880 - 910°C |
| Sertleştirme | 880 - 920°C |

Menevişleme 530 - 670°C
Sertleştirme Ortamı SUDA, YAĞDA

FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

SERTLEŞTİRİLMEMİŞ DURUMDA

Kopma Direnci 50 - 65 kg/mm²
Akma Sınırı 30 kg/mm²
Kopma Uzanması % 16 (5d₀)

NORMALİZE EDİLMİŞ DURUMDA

Kopma Direnci 42 - 55 kg/mm²
Akma Sınırı 27 kg/mm²
Kopma Uzanması % 27 (5d₀)
Kopmada Kesit Daralması % 55

SERTLİĞİ

Yumuşak Tavlanmış Durumda en çok 140 HB 30

SEMENTASYON İŞLEMLERİNDE, gaz ortam olarak ASETON gazı, sıvı ortam olarak ise,

BaCl₂ + NaCl + KCl + NaCN bileşimindeki tuz banyosu kullanılmıştır.

SU VERME ORTAMI olarak; Su ve Quenchtex 510 B yağı kullanılmıştır.

NUMUNE YÜZEYLERİNİN hazırlanmasında; Kaba ve ince zımparalar, Al₂O₃ kullanılmıştır.

MİKRO YAPININ tespitinde; % 5'lik nital dağlama solüsyonu ve etil alkol kullanılmıştır.

3.3. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR VE ÖLÇÜ ALETLERİ

SEMENTASYON işlemlerinde kullanılan cihazlar: Gaz sementasyonunda; Mazotla çalışan karbonlama fırını, sıvı sementasyonunda ise elektrikli ve rezistanslı tuz banyosu fırınları kullanılmıştır.

NUMUNE YÜZEYLERİNİN hazırlanmasında, incelenmesinde ve çeşitli değerlerin ölçülmesinde kullanılan cihazlar ve ölçü aletleri: Kesici, kaba ve ince zımparalama cihazı, parlatma cihazı, mikroskop ve rockwell sertlik ölçme cihazı.

3.4. DENEYİN YAPILIŞI

Deneyleerde, 1020 çeliğinden yapılmış toplam 12 adet numuneye, önce sıvı ve gaz ortamlarda, değişik şartlarda sementasyon işlemleri uygulanmıştır.

Sementasyon işleminden sonra numuneler; Gaz sementasyonunda fırın içinde, sıvı sementasyonunda ise havada soğumaya bırakılmıştır. Sertleştirme işlemi, basit sertleştirme yöntemiyle yapılmıştır. Sertleştirilecek numunelere, sementasyondan sonra bir tuz banyosunda östenitleme işlemi uygulanarak, belirlenen ortamlarda su verilmiştir. Son olarak numunelere menevişleme işlemi uygulanmıştır.

Tablo 3.1 de numunelere uygulanan işlemler gösterilmiştir.

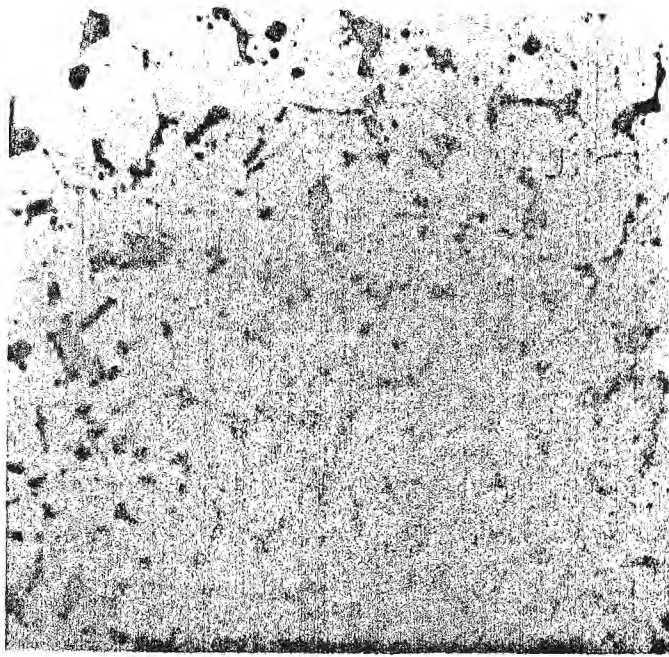
Bütün numunelerde sabit olarak kullanılan değerler:

- Sementasyon sıcaklığı: 920°C
- Östenitleme ortamı: Tuz banyosu
- Östenitleme süresi: 10 dakika
- Menevişleme sıcaklığı: 200°C
- Menevişleme süresi: 1/ 2 saat

Hazırlanmış numune yüzeylerinden çekilen fotoğraflar aşağıda görülmektedir. Bu fotoğraflardan sırasıyla, 1020 çeliğinin orjinal yapısı, sementasyondan sonraki ötektoid üstü (sementit + perlit), sementasyondan sonraki çekirdeğin yapısı ve su verme sonucu oluşan martensit yapı görülmektedir.

Tablo:3.1- Deneş numunelerine uygulanan işlemler

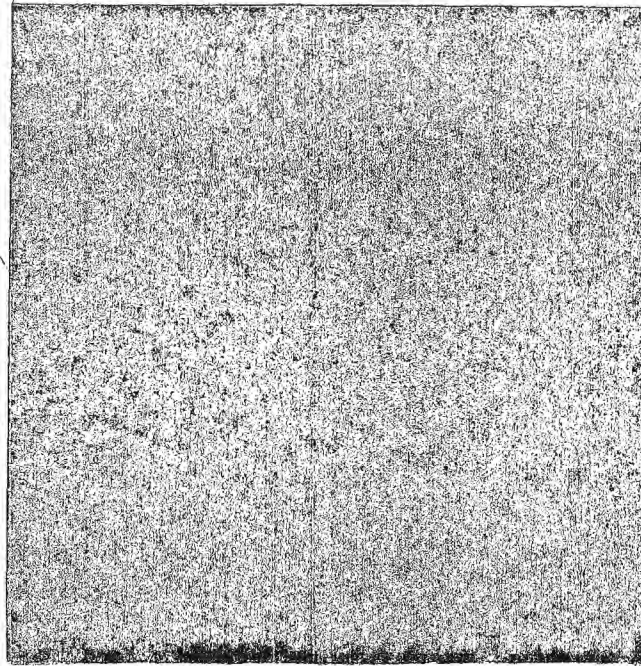
| NUMUNE NO | SIVI SEMENTASYONU (Süre) | GAZ SEMENTASYONU (Süre) | ÖSTENİTLEME (Sıcaklık) | SOĞUTMA ORTAMI | MENEVİŞ |
|-----------|--------------------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------|
| 1 | --- | 8 h | --- | --- | --- |
| 2 | --- | 8 h | 820°C | YAĞ | + |
| 3 | --- | 8 h | 820°C | SU | + |
| 4 | 10 h | --- | --- | --- | --- |
| 5 | 10 h | --- | 820°C | SU | --- |
| 6 | 8 h | --- | --- | --- | --- |
| 7 | 8 h | --- | 820°C | SU | + |
| 8 | 5 h | --- | --- | --- | --- |
| 9 | 5 h | --- | 820°C | SU | + |
| 10 | 10 h | --- | 820°C | YAĞ | + |
| 11 | 8 h | --- | 820°C | YAĞ | + |
| 12 | 5 h | --- | 820°C | YAĞ | + |



% 5 Nital

40x7

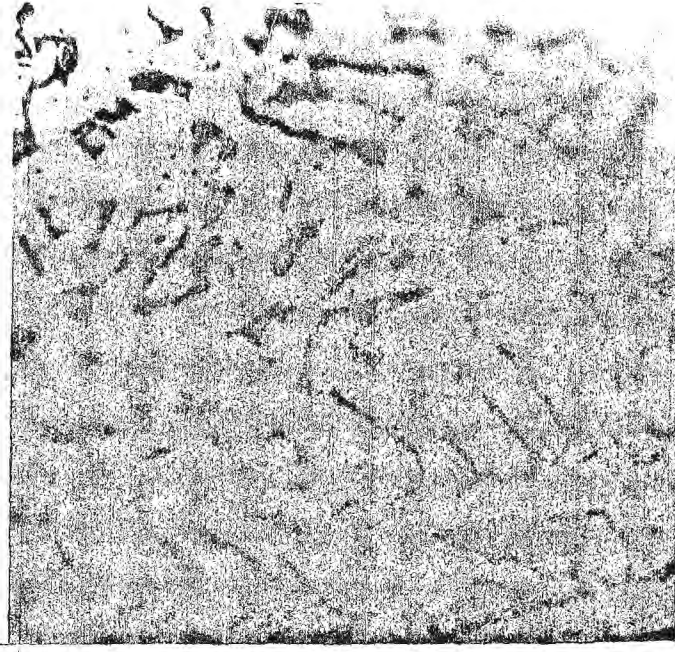
Hiç işlem görmemiş orjinal yapı. Perlit + Ferrit (Orjinal numune)



% 5 Nital

40x7

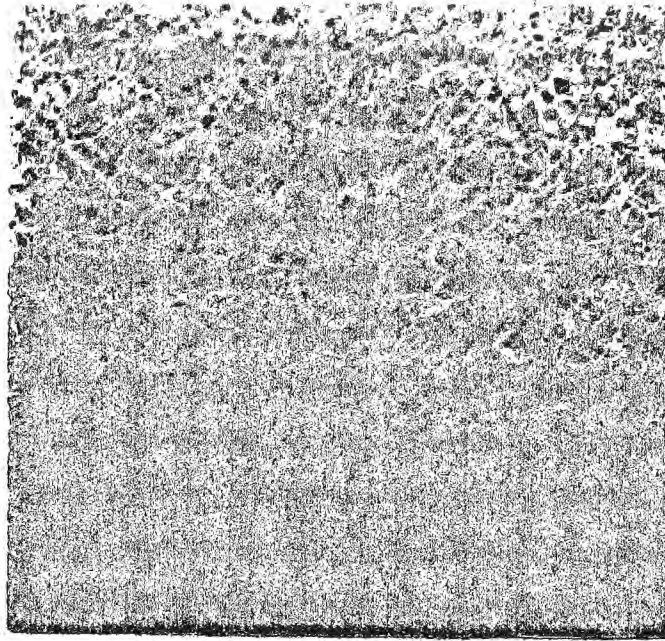
8 saat sıvı sementasyonu uygulanıp, havada soğutulmuş numunede, yüzeyde elde edilen sementit + perlitik (ötektoid üstü) yapı (Numune No:6)



% 5 Nital

40x7

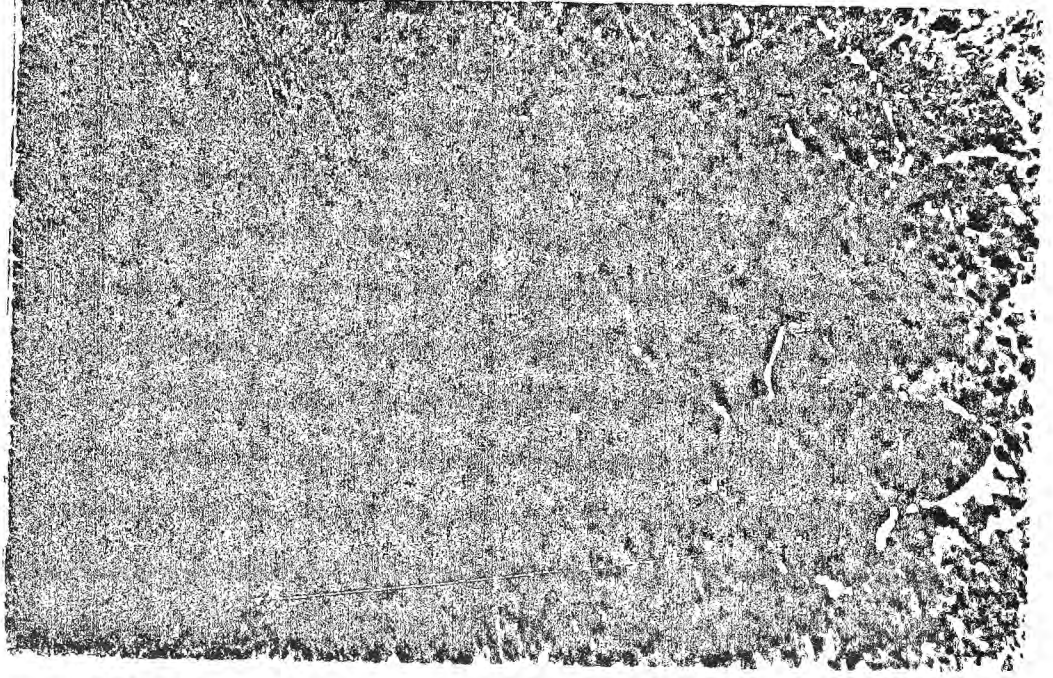
8 saat sıvı sementasyonu uygulanıp, havada soğutulmuş numunenin çekirdek yapısı. (Numune No:6)



% 5 Nital

7x6

10 saat sıvı sementasyonu uygulanıp, havada soğutulmuş numunede yüzeyde oluşan sementit + perlitik yapı. (Numune No:4)



% 5 Nital

40x7

8 saat gaz sementasyonu uygulanarak, 820°C de 10 dakika bir tuz banyosunda östenitlenip, suda su verilerek elde edilen martensit + ötektoid üstü (sementit + perlit) yapı.

3.5. DENEY SONUÇLARI

Tablo 3.1 de belirtilen işlemlere tabii tutulan deney numunelerinde, bu işlemler sonucu elde edilen çeşitli sertlik değerleri ve yüzey sertleştirme derinlikleri Tablo 3.2 de verilmiştir. Ayrıca, derinliğe bağlı olarak ölçülen sertlik değerleri ise Tablo 3.3 de verilmiştir. Ölçülen orjinal numune sertliği 51 RB bulunmuştur.

Sementasyon işlemi uygulanıp, sertleştirilmemiş numunelerde sadece yüzey sertlik değerleri ölçülmüştür. Sementasyon işleminden sonra sertleştirilip, menevişlenmiş numunelerde; yüzey sertleştirme derinlikleri iç yapı değişimlerinden, yüzey sertliği, çekirdek sertliği ve derinliğe bağlı olarak sertlik değişimleri ise rockwell sertlik ölçme cihazında yapılan ölçümlerle belirlenmiştir.

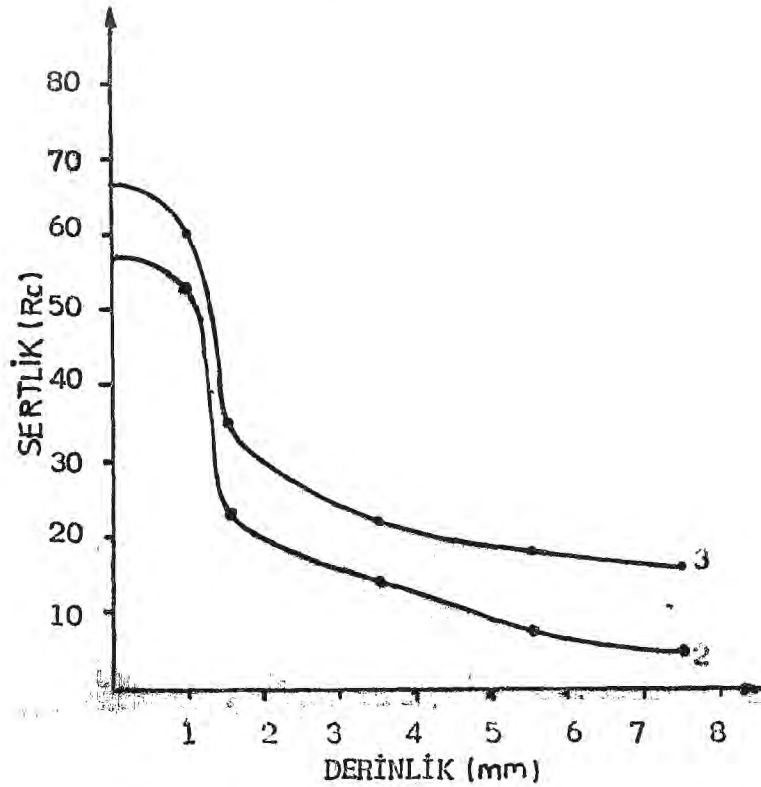
Gaz ve sıvı ortamlarda yapılan işlemlerde elde edilen sonuçlara bağlı olarak derinlik ile sertlik değişimleri Şekil 3.1- 3.2- 3.3 de gösterilmiştir.

Tablo:3.2- Deneylerin sonucunda elde edilen sertlik ve sertleşme derinlikleri

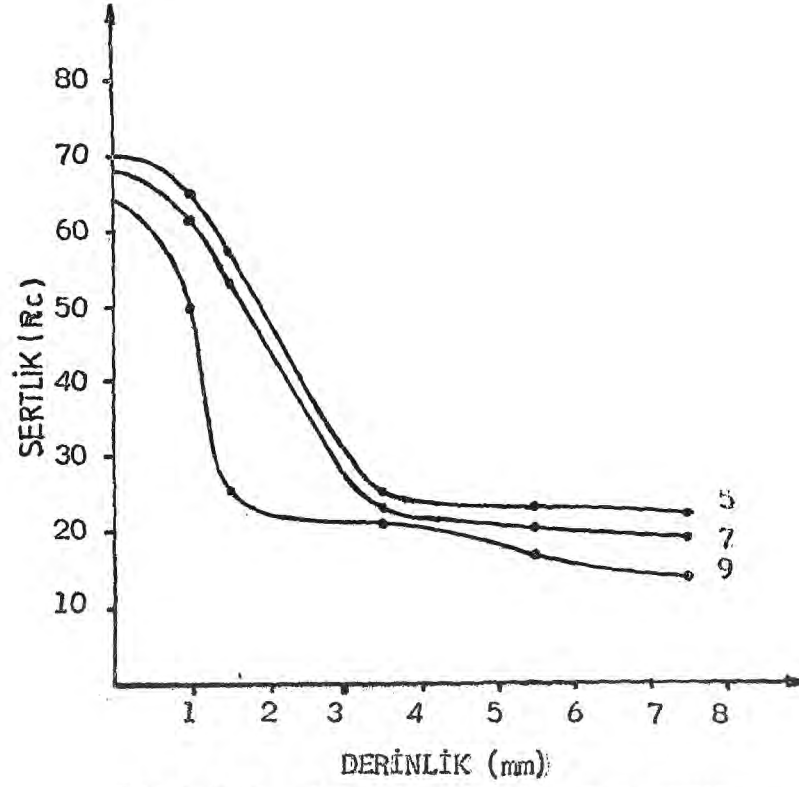
| SEMENTASYON ORTAMI | SU VERME ORTAMI | SEM. SÜRESİ | NUMUNE NO | Malzeme: Ç 1020 | Sertlik(Rc Sertlik Derinliği (mm) | |
|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|----|
| GAZ | --- | 8 | 1 | Yüzey Sertliği | 30 | |
| | YAĞ | 8 | 2 | Yüzey Sertliği | 57 | |
| | | | | Çekirdek Sertliği | 5 | |
| | | | | Sertlik Derinliği | 1 | |
| | SU | 8 | 3 | Yüzey Sertliği | 67 | |
| | | | | Çekirdek Sertliği | 20 | |
| | | | | Sertlik Derinliği | 1,3 | |
| | SIVI | --- | 10 | 4 | Yüzey Sertliği | 49 |
| | | SU | 10 | 5 | Yüzey Sertliği | 70 |
| Çekirdek Sertliği | | | | | 22 | |
| Sertlik Derinliği | | | | | 1,8 | |
| --- | | 8 | 6 | Yüzey Sertliği | 47 | |
| SU | | 8 | 7 | Yüzey Sertliği | 68 | |
| | | | | Çekirdek Sertliği | 19 | |
| | | | | Sertlik Derinliği | 1,5 | |
| --- | | 5 | 8 | Yüzey Sertliği | 43 | |
| SU | | 5 | 9 | Yüzey Sertliği | 64 | |
| | | | | Çekirdek Sertliği | 14 | |
| | | | | Sertlik Derinliği | 0,8 | |
| YAĞ | | 10 | 10 | Yüzey Sertliği | 61 | |
| | | | | Çekirdek Sertliği | 15 | |
| | | | | Sertlik Derinliği | 1,3 | |
| | 8 | 11 | Yüzey Sertliği | 58 | | |
| | | | Çekirdek Sertliği | 12 | | |
| | | | Sertlik Derinliği | 1,1 | | |
| 5 | 12 | Yüzey Sertliği | 54 | | | |
| | | Çekirdek Sertliği | 7 | | | |
| | | Sertlik Derinliği | 0,6 | | | |

Tablo:3.3- Derinliğe bağlı olarak sertlik değışim değeri

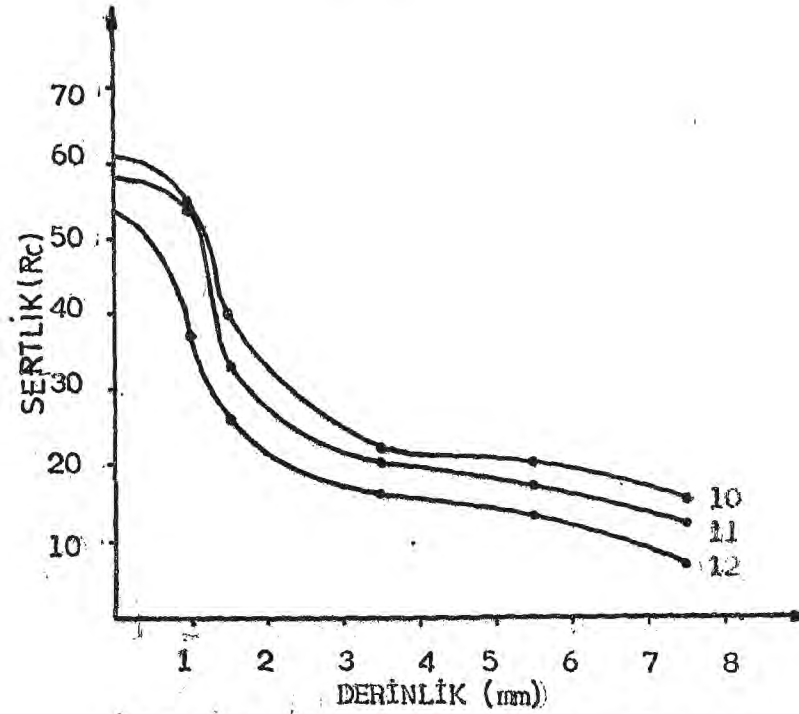
| Numune No | Sertlik Değerleri (Rc) | | | | | | |
|-----------|------------------------|-------|------|--------|--------|--------|----------|
| | Derinlik | Yüzey | 1 mm | 1,5 mm | 3,5 mm | 5,5 mm | Çekirdek |
| 2 | | 57 | 53 | 23 | 14 | 7 | 5 |
| 3 | | 67 | 60 | 35 | 22 | 18 | 16 |
| 5 | | 70 | 65 | 57 | 35 | 23 | 22 |
| 7 | | 68 | 61 | 53 | 23 | 20 | 19 |
| 9 | | 64 | 49 | 25 | 21 | 16 | 14 |
| 10 | | 61 | 55 | 40 | 22 | 20 | 15 |
| 11 | | 58 | 54 | 33 | 20 | 17 | 12 |
| 12 | | 54 | 38 | 26 | 16 | 13 | 7 |



Şekil 3.1. 8 saat gaz sementasyonu uygulanmış, yağda(2) ve suda(3) su verilmiş numunelerde, derinlik ile sertlik değışimleri.



Şekil 3.2. 10,8,5 saat sıvı sementasyonu uygulanıp, (5,7,9) suda su verilmiş numunelerde derinlik ile sertlik değişimleri.



Şekil 3.3. 10,8,5 saat sıvı sementasyonu uygulanıp, (10,11,12) yağda su verilmiş numunelerde derinlik ile sertlik değişimleri.

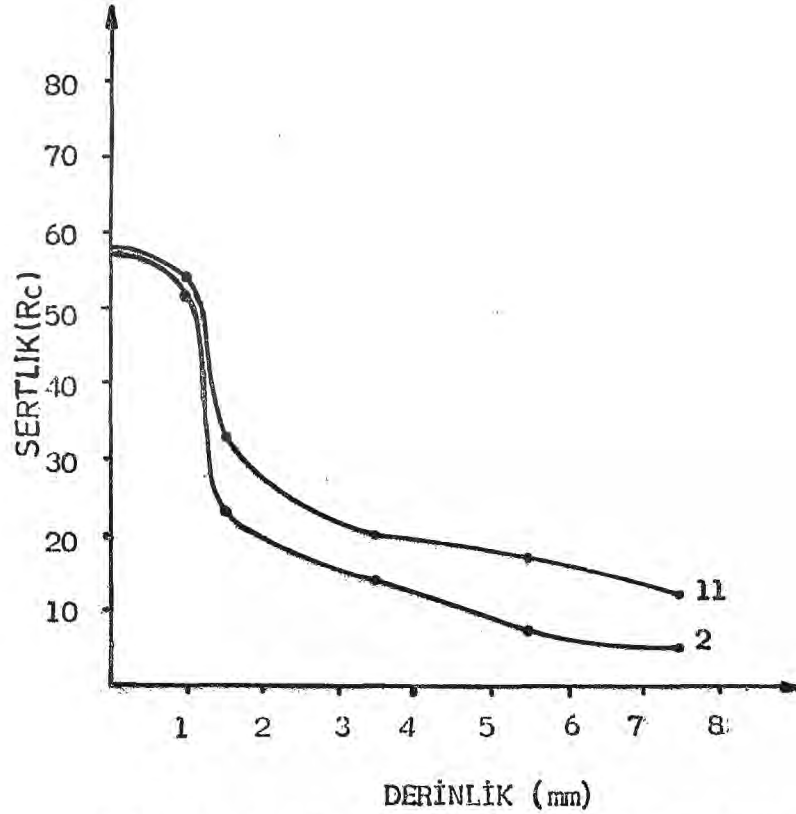
3.6. SONUÇLARIN İRDELENMESİ

Şekil: 3.4 - 3.5 incelendiğinde

a. - Sıvı ortamda elde edilen yüzey sertlikleri, gaz ortamda elde edilen yüzey sertliklerinden daha yüksektir. Aynı şekilde çekirdek sertlikleride, sıvı ortamda daha yüksektir.

Şekil: 3.1 - 3.6 - 3.7 - 3.8

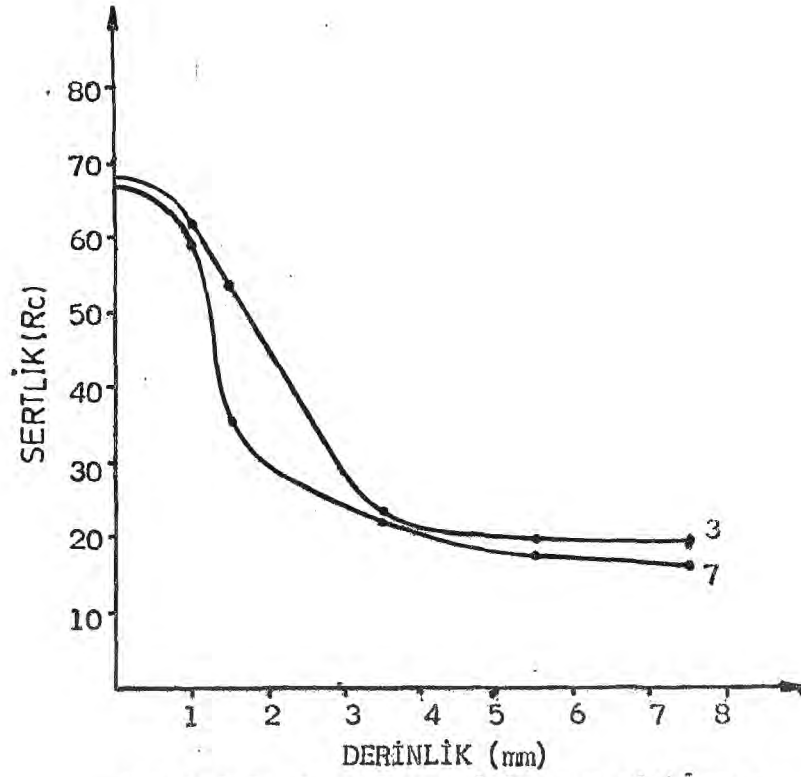
b. - Suda su verilerek elde edilen yüzey sertliği ve çekirdek sertlikleri, yağda su verilerek elde edilen değerlerden daha yüksektir.



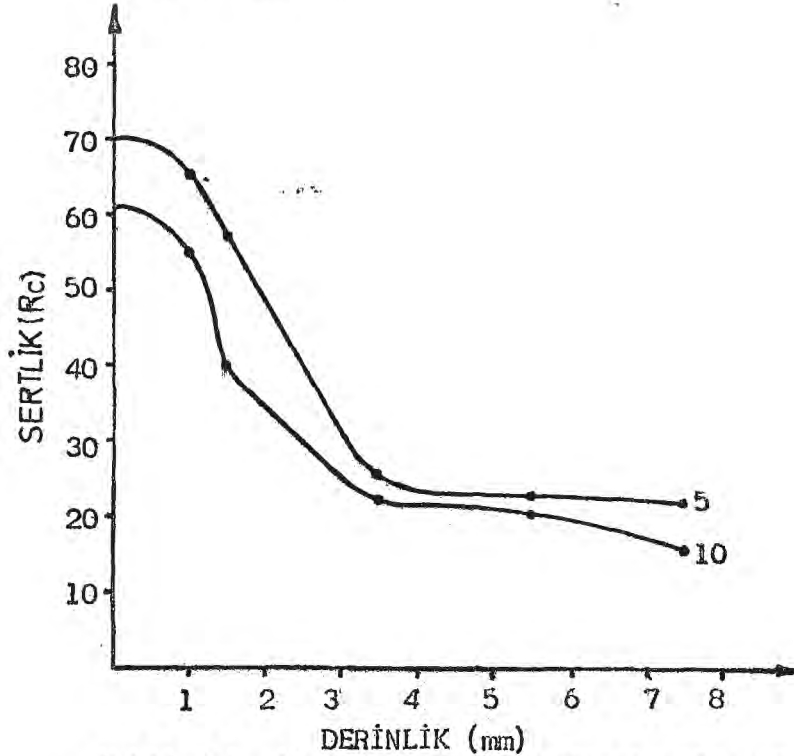
Şekil 3.4. 8 saat sıvı(11) ve gaz(2) ortamlarda sementasyon uygulanıp, yağda su verilmiş numunelerde sementasyon ortamının sertliğe etkisi.

Şekil: 3.2 - 3.3 incelendiğinde

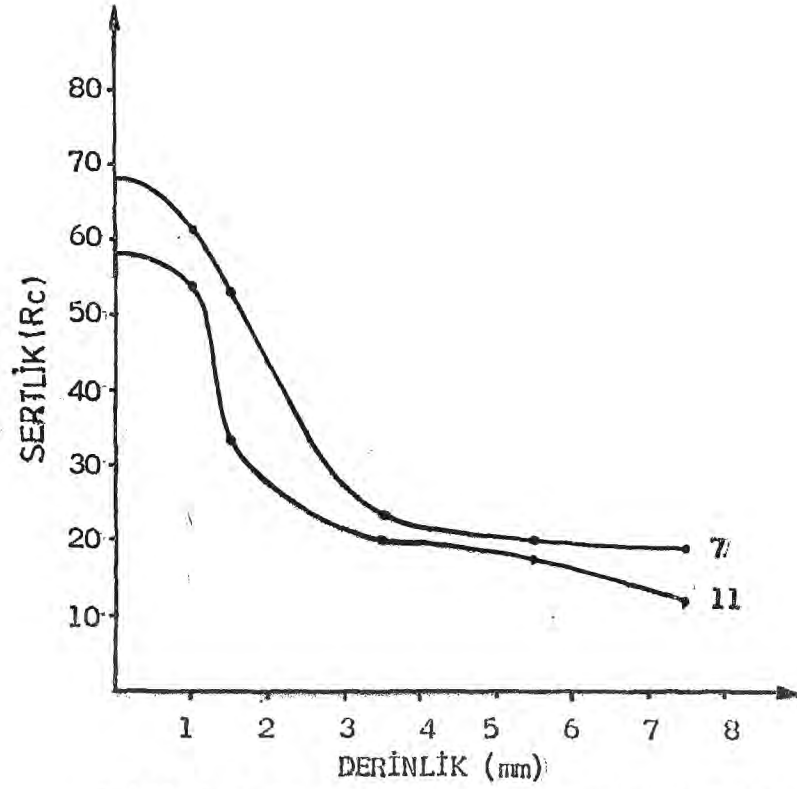
c. - Sementasyon zamanı arttıkça elde edilen çekirdek ve yüzey sertlik değerleri artmaktadır.



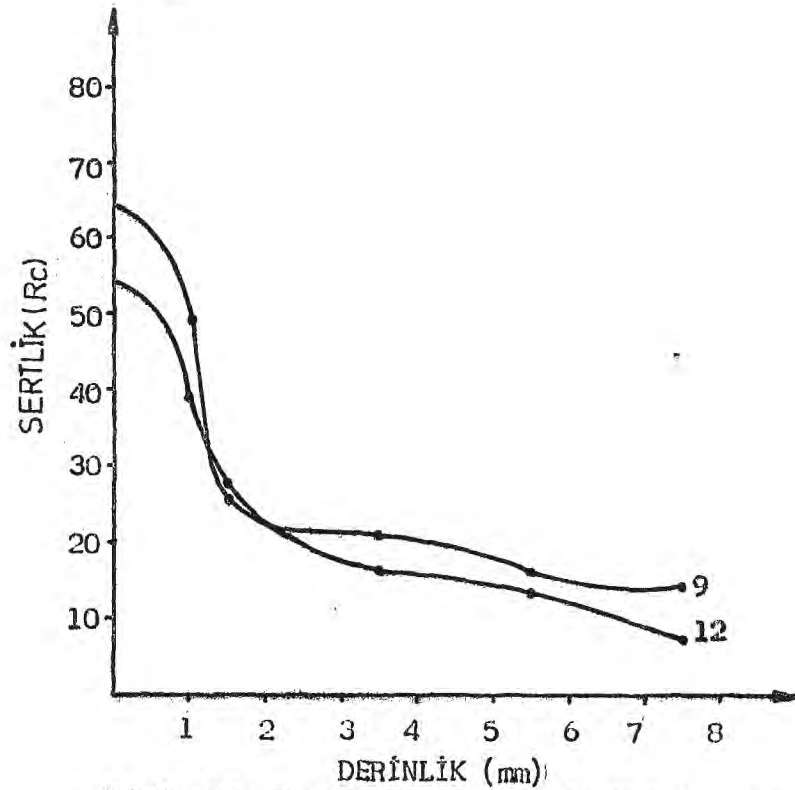
Şekil 3.5. 8 saat sıvı(7) ve gaz(3) ortamlarda sementasyon uygulanıp, suda su verilmiş numunelerde sementasyon ortamının sertliğe etkisi.



Şekil 3.6. 10 saat sıvı ortamında sementasyon uygulanıp, yağda(10) ve suda(5) su verilmiş numunelerde, su verme ortamının sertliğe etkisi.



Şekil 3.7. 8 saat sıvı ortamda sementasyon uygulanıp, yağda(11) ve suda(7) su verilmiş numunelerde, su verme ortamının sertliğe etkisi.



Şekil 3.8. 5 saat sıvı ortamda sementasyon uygulanıp, yağda(12) ve suda(9) su verilmiş numunelerde, su verme ortamının sertliğe etkisi.

Tablo: 3.2 incelendiğinde

d. - Sıvı sementasyonunda elde edilen sertleştirme derinlikleri ve sementasyondan sonraki yüzey sertlik değerleri, gaz sementasyonuna göre daha yüksektir.

e. - Sementasyon zamanı arttıkça, sementasyondan sonraki yüzey sertlik değerleri ve sertleştirme derinlikleri artmaktadır.

f. - Suda su verilerek elde edilen sertleştirme derinlikleri, yağda su verilerek elde edilen değerlerden daha yüksektir.

Sonuç olarak yapılan deneysel çalışmalar ile 1020 çeliğine uygulanan sıvı ve gaz sementasyonu işlemlerinde; Sementasyon ortamı, sementasyon zamanı ve su verme ortamına bağlı olarak sertlik ve sertlik derinliğindeki değişimler belirlenmiştir.

EK 1

DİFÜZYON TEORİSİNE AİT TABLOLAR

ERROR FONKSİYONU

| y | erf(y) | y | erf(y) |
|-------|--------|------|--------|
| 0 | 0 | 0,85 | 0,7707 |
| 0,025 | 0,0282 | 0,90 | 0,7970 |
| 0,05 | 0,0564 | 0,95 | 0,8209 |
| 0,10 | 0,1125 | 1,0 | 0,8427 |
| 0,15 | 0,1680 | 1,1 | 0,8802 |
| 0,20 | 0,2227 | 1,2 | 0,9103 |
| 0,25 | 0,2763 | 1,3 | 0,9340 |
| 0,30 | 0,3286 | 1,4 | 0,9523 |
| 0,35 | 0,3794 | 1,5 | 0,9661 |
| 0,40 | 0,4284 | 1,6 | 0,9763 |
| 0,45 | 0,4755 | 1,7 | 0,9838 |
| 0,50 | 0,5205 | 1,8 | 0,9891 |
| 0,55 | 0,5633 | 1,9 | 0,9928 |
| 0,60 | 0,6039 | 2,0 | 0,9953 |
| 0,65 | 0,6420 | 2,2 | 0,9981 |
| 0,70 | 0,6778 | 2,4 | 0,9993 |
| 0,75 | 0,7112 | 2,6 | 0,9998 |
| 0,80 | 0,7421 | 2,8 | 0,9999 |

EK 1 (DEVAM)

YAYINMA KATSAYILARI

| Ana Metal | Yayınan Metal | Yayınma Katsayısı (cm ² /sn) | |
|---------------------|---------------|---|---------------------|
| | | 500 C | 1000 C |
| KYM-demir | Karbon | 10 ^{-10,3} | 10 ^{-6,5} |
| KHM-demir | Karbon | 10 ^{-8,2} | 10 ^{-6,2} |
| KHM-demir | Demir | 10 ^{-19,5} | 10 ^{-11,8} |
| KHM-demir | Demir | 10 ^{-16,1} | 10 ^{-9,5} |
| KYM-demir | Nikel | 10 ^{-19,0} | 10 ^{-11,6} |
| KYM-demir | Manganez | 10 ^{-19,6} | 10 ^{-12,0} |
| Bakır | Çinko | 10 ^{-22,2} | 10 ^{-8,0} |
| Bakır | Alüminyum | 10 ^{-9,3} | Ergir |
| Gümüş (kristal) | Gümüş | 10 ^{-12,9} | Ergir |
| Gümüş (gren hududu) | Gümüş | 10 ^{-6,9} | Ergir |
| HCP-Titan | Karbon | 10 ^{-11,5} | 10 ^{-6,8} |

EK 1 (DEVAM)

YAYINMA SABİTLERİ

| Ana Metal | Yayınan Metal | A (cm/san) | Q (cal/molgr) |
|---------------------------|---------------|---------------|------------------|
| KYM-demir | Karbon | 0,21 | 33800 |
| KHM-demir | Karbon | 0,0079 | 18100 |
| KYM-demir | Demir | 0,58 | 67900 |
| KHM-demir | Demir | 5,8 | 59700 |
| KYM-demir | Nikel | 0,5 | 66000 |
| KYM-demir | Manganez | 0,35 | 67500 |
| Bakır | Çinko | 0,033 | 38000 |
| Gümüş (kristal) | Gümüş | 0,72 | 45000 |
| Gümüş (gren hududu) | Gümüş | 0,14 | 21500 |
| HCP-Titan | Karbon | 2,24 | 41600 |
| Alüminyum | Bakır | 2,0 | 33900 |

EK 2

SEMENTASYON ÇELİKLERİNE AİT TABLOLAR

SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN
ÇEŞİTLİ STANDARLARDAKİ
A KARŞILIKLARI

| ALMAN STANDARDI DIN | | AMERİKAN STANDARDI SAE/AISI | İNGİLİZ STANDARDI BS/En | FRANSIZ STANDARDI AFNOR |
|------------------------|----------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Kısa İşareti | Malz. No | | | |
| C 10 | 1.0301 | ~1010 | 050 A 10 | CC 10 |
| C 15 | 1.0401 | ~1015 | 050 A 15 | CC 12 |
| Ck 10 | 1.1121 | 1010 | ~040 A 10 045 M 10 | XC 10 |
| Ck 15 | 1.1141 | 1015 | ~040 A 15 | XC 18 |
| 15 Cr 3 | 1.7015 | 5015 | ~523 M 15 | 12 C 3 |
| 16 MnCr 5 | 1.7131 | 5115 | ~527 A 19 (~En 207) | 16 MC 5 |
| 20 MnCr 5 | 1.7147 | 5120 | - | 20 MC 5 |
| 20 MoCr 4 | 1.7321 | - | - | - |
| 25 MoCr 4 | 1.7325 | - | - | - |
| 13 NiCr 6 | 1.5713 | 3115 | - | 10 NC 6 |
| 14 NiCr 14 | 1.5752 | ~3316 | 655 A 12 (En 36 B) | 14 NC 12 |
| 15 CrNi 6 | 1.5919 | ~3115 | ~637 A 16 (~En 352) | 16 NC 6 |
| 18 CrNi 8 | 1.5920 | - | ~En 320 | 20 NC 6 |
| 17 CrNiMo 6 | 1.6587 | - | - | 18 CND 6 |
| 21 NiCrNo 2 | 1.6523 | 8620 | - | 20 NCD 2 |
| Cm 15 | 1.1140 | ~1015 | - | XC 15 |
| 16 MnCrS 5 | 1.7139 | ~5115 | - | ~16 MC 5 |
| 20 MnCrS 5 | 1.7149 | ~5120 | - | ~20 MC 5 |
| 20 MoCrS 5 | 1.7323 | - | - | - |
| 25 MoCrS 5 | 1.7326 | - | - | - |

B. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

| ÇELİK | | KİMYASAL İLEŞİM (% Ağırlık) | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------------|--------------|--------------|------------|----------------|--------------|--------------|--------------|
| 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 | - | - | - |
| 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 |
| 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 | - |

Not: Direkt sertleştirilecek alaşımlı çeliklerde ağırlık olarak en az % 0.02 metalik alüminyum bulunmalıdır.

D. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

| KISA İŞARETİ | MALZEME NO. | SERTLİK | | | SEMANTASYON SONRASI ÇEKİRDEK SERTLEŞTİRMESİ YAPILMIŞ DEĞİŞİK ÇAPLAR İÇİN | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|--|--|---------------------------------------|---|--------------------------|--|---------------------------------------|---|--------------------------|--|---------------------------------------|---|--------------------------|
| | | Isı İşlemi Uygulandığında | | | Ø 11 mm | | | | Ø 30 mm | | | | Ø 63 mm | | | |
| | | Yanusatma İvi HB 30 max. | Belli Bir Çekme Dayanımı HB 30 | Ferrit-Perlit Yapısı Sağlayan Isı İşlemi Sonucu HB 30 | Akma Sınırı (0.2 Sınırı) kgf/mm ² min. | Çekme Dayanımı kgf/mm ² | Uzama (L ₀ = 5d ₀) % min | Kesit Daralması % min | Akma Sınırı (0.2 Sınırı) kgf/mm ² min. | Çekme Dayanımı kgf/mm ² | Uzama (L ₀ = 5d ₀) % min | Kesit Daralması % min | Akma Sınırı (0.2 Sınırı) kgf/mm ² min. | Çekme Dayanımı kgf/mm ² | Uzama (L ₀ = 5d ₀) % min | Kesit Daralması % min |
| C 10 | 1.0301 | 131 | - | 90-126 | 40 | 65-80 | 13 | 35 | 30 | 50-65 | 16 | 45 | - | - | - | |
| C 15 | 1.0401 | 146 | - | 103-140 | 45 | 75-90 | 12 | 30 | 36 | 60-80 | 14 | 40 | - | - | - | |
| Çk 10 | 1.1121 | 131 | - | 90-126 | 40 | 65-80 | 13 | 40 | 30 | 50-65 | 16 | 50 | - | - | - | |
| Çk 15 | 1.1141 | 146 | - | 103-140 | 45 | 75-90 | 12 | 35 | 36 | 60-80 | 14 | 45 | - | - | - | |
| 15 Cr 3 | 1.7015 | 174 | 126-174 | 118-160 | 52 | 80-105 | 10 | 35 | 45 | 70-90 | 11 | 40 | - | - | - | |
| 16 MnCr 5 | 1.7131 | 207 | 156-207 | 140-187 | 65 | 90-120 | 9 | 35 | 60 | 80-110 | 10 | 40 | 45 | 65-95 | 11 | 40 |
| 20 MnCr 5 | 1.7147 | 217 | 170-217 | 152-201 | 75 | 110-140 | 7 | 30 | 70 | 100-130 | 8 | 35 | 55 | 80-110 | 10 | 35 |
| 20 MoCr 4 | 1.7321 | 207 | 156-207 | 140-187 | 65 | 90-120 | 9 | 35 | 60 | 80-110 | 10 | 40 | - | - | - | - |
| 25 MoCr 4 | 1.7325 | 217 | 170-217 | 152-201 | 75 | 110-140 | 7 | 30 | 70 | 100-130 | 8 | 35 | - | - | - | - |
| 13 NiCr 6 | 1.5713 | 190 | 145-170 | 175-220 | 85 | 110-140 | 9 | 35 | 70 | 80-110 | 10 | 40 | - | - | - | - |
| 14 CrNi 14 | 1.5752 | 230 | 190-230 | 170-210 | 85 | 100-130 | 8 | 35 | 70 | 90-120 | 9 | 40 | 65 | 70-110 | 10 | 40 |
| 15 CrNi 6 | 1.5919 | 217 | 170-217 | 152-201 | 70 | 98-130 | 8 | 35 | 65 | 90-120 | 9 | 40 | 55 | 80-110 | 10 | 40 |
| 18 CrNi 8 | 1.5920 | 235 | 187-235 | 170-217 | 85 | 125-150 | 7 | 30 | 80 | 120-145 | 7 | 35 | 70 | 110-135 | 8 | 35 |
| 17 CrNi Mo 6 | 1.6587 | 229 | 179-229 | 159-207 | 85 | 120-145 | 7 | 30 | 80 | 110-135 | 8 | 35 | 70 | 100-130 | 8 | 35 |
| 21 NiCr Mo 2 | 1.6523 | 212 | 165-210 | 150-195 | 80 | 105-135 | 7 | 35 | 60 | 85-115 | 9 | 40 | 50 | 70-95 | 11 | 45 |
| Çm 15 | 1.1140 | 146 | - | 103-140 | 45 | 75-90 | 12 | 35 | 36 | 60-80 | 14 | 45 | - | - | - | - |
| 16 MnCrS 5 | 1.7139 | 207 | 156-207 | 140-187 | 65 | 90-120 | 9 | 35 | 60 | 80-110 | 10 | 40 | 45 | 65-95 | 11 | 40 |
| 20 MnCrS 5 | 1.7149 | 217 | 170-217 | 152-201 | 75 | 110-140 | 7 | 30 | 70 | 100-130 | 8 | 35 | 55 | 80-110 | 10 | 35 |
| 20 MoCrS 5 | 1.7323 | 207 | 156-207 | 140-187 | 65 | 90-120 | 9 | 35 | 60 | 80-110 | 10 | 40 | - | - | - | - |
| 25 MoCrS 5 | 1.7326 | 217 | 170-217 | 152-201 | 75 | 110-140 | 7 | 30 | 70 | 100-130 | 8 | 35 | - | - | - | - |

KAYNAKLAR

- 1- Bullens, D.K: " Steel and its Heat Treatment " New York, 1948
- 2- Guy, G: " Fiziksel Metallurjinin Esasları " Çev. Doğan E. Gücer, 1972, S. 326-342
- 3- Harris, F.E: " Case Depth - an Attempt at Practical Definition" Met Prog, August, 1943
- 4- Herbers, H: " Çeliğin Sertleştirilmesi Ve İslahı " Çev. A. Oğuz Recepoğlu, İ.T.Ü. Türk Teknik Haberleşme Merkezi Yayını, 1969, S. 64-71
- 5- İşbaşaran, H: " Kutu Sementasyonu " Diploma Çalışması, İ.T.Ü. Metallurji Fakültesi Kütüphanesi, Haziran 1981
- 6- Lakhtın, Y: " Engineering Physical Metallurgy Nur Publishers " 1968 S. 243-250
- 7- Liscic, B: " Çelik Isıl İşlemi " Çev. Taner Mersin-Muhsin Tüfekçi, Ocak 1981, S. 107-123
- 8- Makina Mühendisliği El Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayını, No 100, Bölüm 7, S. 41
- 9- Malmberg, W: " Çeliğin Tavlama, Sertleştirilmesi ve Tedavisi " Çev. Turgut Tarıkahya, Makina Mühendisleri Odası Yayını, No 29, 1975, S. 41-45
- 10- Metals Handbook, Volume 2, 8. Baskı, American Society for Metals, 1964
- 11- Rauss, G: " Principles of Heat Treatment of Steel "
- 12- " Sementasyon Çelikleri " Asil Çelik Teknik Yayınları, Cilt 5, 1982
- 13- " Sementasyon Çelikleri " TS 2850, Ekim 1977
- 14- Sidney, H.A: " Introduction to Physical Metallurgy "
- 15- Tekin, E: " Takım Çeliklerinin Isıl İşlemi Notları " 1983, S. 259
- 16- Thelning, K.E: " Çelik ve Isıl İşlemi " Çev. Adnan Tekin, 1984, S. 338-373
- 17- Thyssen Edelstahlwerke AG. " Einsatzstähle " broşürü
- 18- Wegst, C.W, Stahlschlüssel, 1980