

MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEYLERİN SERTLEŞTİRİLMESİ

T.C.  
MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezin Konusu: Yüzey Sertleştirme Metotları

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Ruşen GEZİCİ

Tezi Hazırlayan: Öğr. Grv. Fehmi YILDIZ

-1984-



Ö N S Ö Z

Bir makina parçasının veya herhangi bir yapı elamanının imal edilmesi düşünülürken, önce o elaman için, çalışma şartlarına en uygun olan malzemenin seçimi yapılır. Malzeme seçiminde; kolay şekillendirilme, fiziksel, kimyasal ve mekaniksel özelliklerin uygun olup olamayacağını etüdü yapılır. Özellikle metal malzemelerin kimyasal ve mekaniksel özelliklerini ısıtma işlem uygulamaları ile amacımıza en uygun bir şekilde etkilemek mümkündür.

Yüzey sertleştirme işlemleri, çelik malzemelere uygulanan ısıtma işlemlerin çok önemli bir bölümünü oluştururlar. Tez notlarında, malzemenin yüzey bileşimini değiştirerek ve değiştirmeden yapılan yüzey sertleştirme işlemleri, tamamen uygulamaya dönük bir biçimde çeşitli kaynaklardan yararlanılarak anlatılmıştır.

Notlarımın, Endüstride ısıtma işlem uygulamaları ile meşgul olan elamanlara ve Teknik Öğretim Okullarındaki öğrencilere faydalı olması dileğimdir.

15.5.1984

Fehmi YILDIZ

-İÇİNDEKİLER-

YÜZEY SERTLEŞTİRME METOTLARI:

Yüzey Bileşimini Değiştirerek Yapılan Yüzey Sertleştirmeleri

1.1. SEMENTASYON

1.1.1. Sementasyon çeliği nedir?

1.1.2. Sementasyon işlemi

1.1.3. Sementasyon metotları

1.1.3.1. Katı sementasyon (Kutada Sementasyon)

1.1.3.2. Sıvı " (Tuz Banyosunda)

1.1.3.3. Gaz Sementasyonu

1.1.4. Sertleştirme Yöntemleri

1.1.4.1. Direk Sertleştirme

1.1.4.2. Basit Sertleştirme

1.1.4.3. Basit Sertleştirme-Ara tavından sonra

1.1.4.4. Basit Sertleştirme-İzotermik dönüşüm-  
den sonra

1.1.4.5. Çift Sertleştirme

1.1.5. Menevişleme

1.1.6. Sementasyon Çeliklerinin Sınıflandırılması ve  
Çeşitli Standartlardaki Karşılıkları

1.1.7. Sementasyon Çeliklerinin Isıl İşlemleri

1.1.8. Sementasyon Derinliğine, Yüzey Sertliğine ve Çekirdek Sertliğine Tesir Eden Faktörler

1.1.8.1. Sementasyon Derinliği

1.1.8.2. Yüzey Sertliği

1.1.8.3. Çekirdek Sertliği

1.1.9. Sementasyon Çeliklerinin Sertleşebilirlik (JOMINY) bantları

1.2. NİTRÜRASYON

1.2.1. Nitürasyon nedir?

1.2.2. Nitürasyonda kullanılan gazlar ve özellikleri

1.2.3. Uygulanan malzeme cinsleri ve yerleri

1.2.4. Dişli çarkların nitürasyonu

1.2.5. Temel uygulama yerleri

1.2.6. Nitürasyonun yapılışı

1.2.7. Nitürlenmiş tabaka

1.2.8. Diğer nitürasyon uygulamaları

1.2.9. Nitürasyonun avantajları

1.2.10. Nitürasyonun dez avantajları

2. Yüzey Bileşimini Değiştirmeden Yapılan Yüzey Sertleştirmeleri

2.1. ALEVDE SERTLEŞTİRME

2.1.1. Pendel Yöntemine göre yüzey sertleştirme

2.1.2. Alın yüzeylerin sertleştirilmesi

2.1.3. İş parçasını çevirmeden ısıtarak yapılan yüzey sertleştirilmesi

2.1.4. İlerleme yöntemine göre çizgisel sertleştirme

2.1.5. İş parçasına dönme hareketi verilerek yapılan sertleştirme

2.1.6. İş parçası dönerken, çevreden ısıtan bekin parça eksenine doğrultusunda ilerletilmesi ile yapılan sertleştirme

2.1.7. Sertleştirme Yöntemine seçimi

2.2. İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME

2.3. DALDIRMA SERTLEŞTİRMESİ

### YÜZEY SERTLEŞTİRME METODLARI

Çelik yüzeylerinden ince bir katmanın sertleştirilmesi işlemine yüzey sertleştirilmesi denilmektedir.

Doku dönüşüm yoluyla çelikler çekirdeğine kadar sertleştirilir.

Ancak makina elemanlarının çalışma şartlarına göre dışı aşınmaya karşı mukavim, içi ise özlü (yumuşak) olması istenir. Bir makina elemanının özlü olabilmesi için ise, çekirdeğine kadar sertleşmemesi gereklidir. Bu nedenle çelikler yalnız yüzeyden ince bir katmanın sertleştirilmesi ile çalışma şartlarına uygun bir hale getirilirler.

Makina elemanlarının kullanma alanlarının bir kısmını belirtecek olursak dişliler, bilyalı yataklar, anahtarlar, vida başlıkları ve uçları, zincir dilimleri, eksantirikmilleri ve diğer millerde bol miktarda kullanılır. Ayrıca muhtelif ölçü aletleri, kesici takım uçları, zimbalar, egeler, bazı fireze bıcaqları, plastik kalıpları, vs. yüzey sertleştirme metodları ile sertleştirilir.

#### 1. YÜZEY BİLEŞİMİNİ DEĞİŞTİREREK YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRMELERİ

Bu yöntemle yapılan yüzey sertleştirme, çekirdeğine kadar sertleşmeyen (hiç sertleşmeyen) çeliklere uygulanır. Bu çeliklerde sertleşme için yeterli derecede karbon bulunmaz. Bunlar sünek fakat sünek fakat sertleştirilemez karakterdedir. Su verme sırasında hemen hemen hiç sertleşmezler. Ancak akma sınırları yükselir. Bu nedenle çelik yüzeyinden ince bir katmanın sertleşmesine yetecek kadar yüzey bileşimi değiştirilir.

Bu çelikler karbon oranı %0,2'nin altında olan sementasyon çelikleridir. Ve DIN 17210'a göre standartlaştırılmışlardır.

### 1.1. SEMENTASYON

Yapı parçaları olarak genellikle düşük karbonlu çelikler kullanılır. Karbürasyon adı alan bu yöntemle çelik yüzeyine atomik difizyon yoluyla karbon atomları emdirilir. Ve karbonca zengin bir katman oluşturulur. Genellikle sementasyon yapılacak çeliklerin karbon oranı başlangıçta %0,1-0,2 arasındadır. Bu orandaki karbonlu bir çelik sertleşemez. Sementasyon işlemi sonucunda yüzeydeki karbon %1,3 kadar bir değere yükseltilmiş olur. Sementasyon için çelik Ostenitten meydana gelecek şekilde yüksek bir sıcaklığa yani 911 derecenin üstüne kadar ısıtılmaktadır. Bu sıcaklıkta ostenit %1'den fazla karbon çözdürebilir. Karbon miktarına bağlı olarak, karbon atomları yüzey yapısına ve daha içlerlere doğru girer sıcaklık ne kadar yükselirse difizyon olayıda o kadar çabuk oluşur. Karbonun yapıya nüfus etme derinliğini tavlama süresi ve sıcaklık etkiler. Yapıdaki karbon miktarını ise karbürleyinci madde etkiler. Çeliğin ergitme şekli ve bileşimide difizyon olayına tesir eder. Ostenit içinde alaşım elementleri var ise, karbon atomlarının yapıya girmesi zorlaşır. Bu nedenle aynı tip çelikler karbürizasyon sırasında farklı davranabilirler.

#### 1.1.1. SEMENTASYON ÇELİĞİ NEDİR?

Sementasyon çelikleri, yüzeyde sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdekte ise daha yumuşak ve tok özelliklerin istendiği, değişken ve darbeli zorlamalara dayanıklı parçaların imalinde kullanılan, düşük karbonlu, alaşımsız veya alaşımlı çeliklerdir.



Parçaya bu özelliklerin kazandırılması, çelik yüzeyine karbon emdirilmesi suretiyle olur.

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

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

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

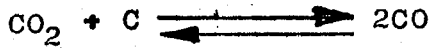
Ancak, uygun sementasyon çeliğinin seçimi ve doğru sementasyon işlemi çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir. Sementasyon işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen sementasyon derinliğine ve sertliğe ulaşılması), kullanılan çeliğin iç yapı temizliği ile yakından ilgilidir. İç yapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde erimiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve oksit, sülfür enkluzyonlarından temizlenmesi işlemidir.

#### 1.1.2. SEMENTASYON İŞLEMİ:

Sementasyon işlemi, yüzey sertleştirme metodlarından birisi olup, en eski ve en yaygın olarak kullanılanıdır.

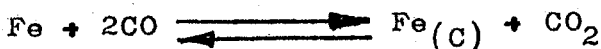
Esas itibariyle, düşük karbonlu çelik parçasının yüzeyine, karbon emdirilmesi işlemidir. Karbon emdirilmesi işlemi, çelik parçasının karbon monoksit (CO) ihtiva eden bir ortamda, ostenit faz sıcaklığına kadar ısıtılmasıyla, gaz-metal reaksiyonu sonucu oluşur. Genellikle 850-950°C arasında bir sıcaklık kullanılırki bu sıcaklığa SEMENTASYON SICAKLIĞI adı verilir.

Aşağıdaki reaksiyona göre,



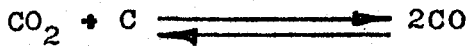
oluşan karbonmonoksit, kullanılan sementasyon sıcaklığında, ostenit faza getirilmiş olan çelik parçasının yüzeyinde parçalanır ve açığa çıkan atomik karbon (C) çelik bünyesine emilerek çözünür.

Aşağıdaki reaksiyon,

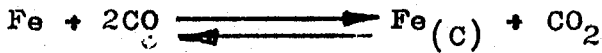


bunu göstermek için verilmiştir. Burada  $Fe(C)$  ostenit fazda çözünen karbonu ifade etmektedir.

Yukarıda verilen her iki reaksiyonda geri dönme (reversible) özelliği gösterirler. Birinci reaksiyon,

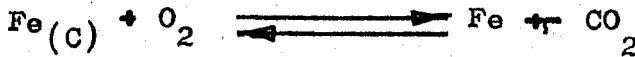
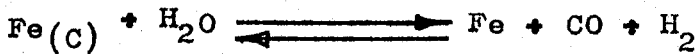


sıcaklığın azalmasıyla, sağdan sola doğru ilerleyerek karbondioksitçe zengin bir gaz atmosferi meydana getirir. Eğer çelik parça, böyle bir ortamda kalırsa ikinci reaksiyon da



sağdan sola doğru ilerleyerek, çelik parçasının yüzeyinden karbon kaybetmesine neden olur. Bu duruma DEKARBÜRİZASYON (karbonsuzlaşma) olayı denilir.

Diğer bazı dekarbürizasyon reaksiyonları da aşağıda verilmiştir.

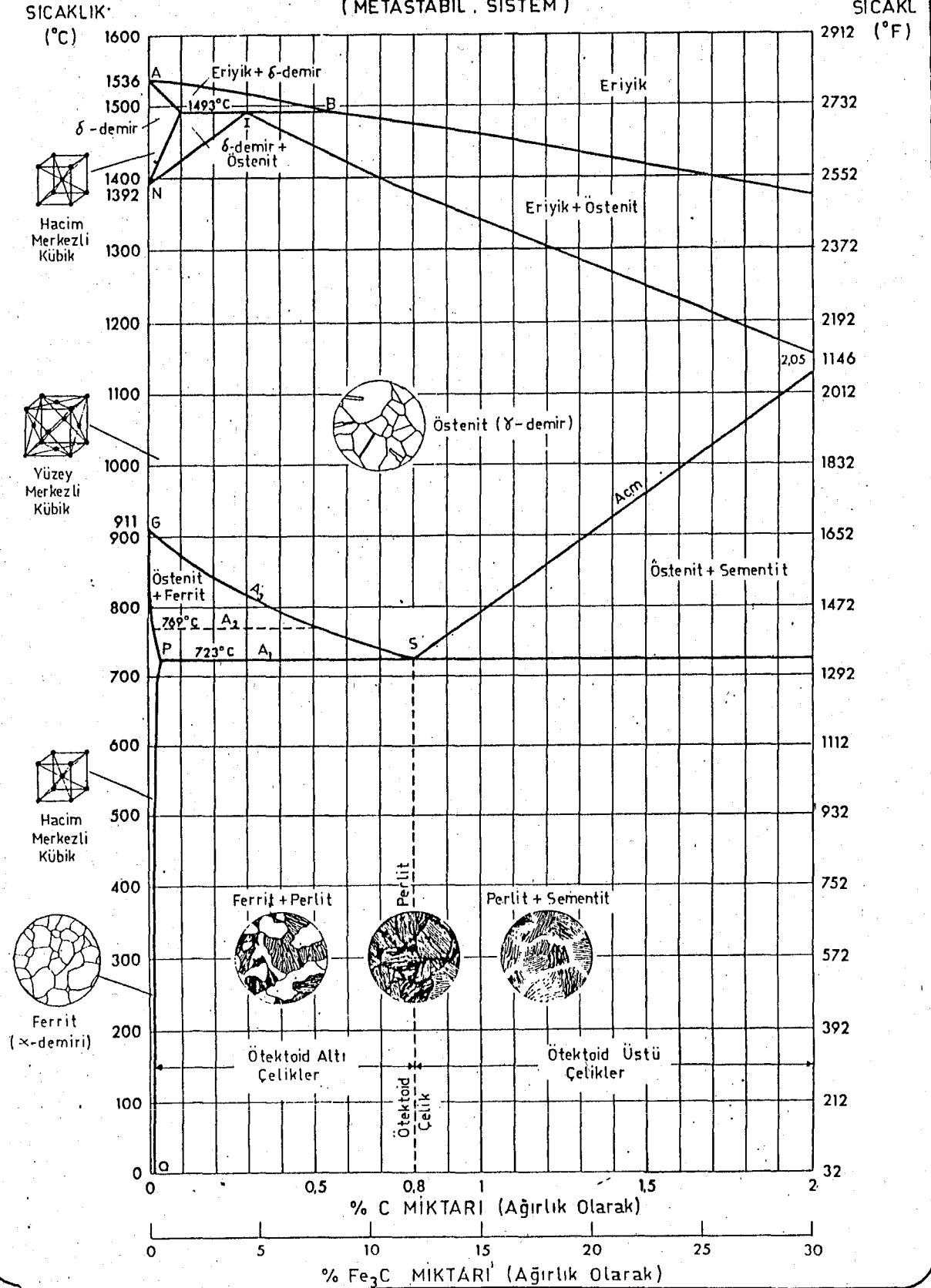


Çelik yüzeyindeki dekarbürizasyon tabakası, sementasyon sonrası yapılacak sertleştirme işleminde martenzit yapıya dönüşmeyeceği için yüzeyde yumuşak bir bölge oluşturur. Bu ise çoğu zaman arzu edilmeyen bir durumdur. Dekarbürizasyon tabakasının oluşumunu önlemek için, fırın atmosferinde endotermik gaz karışımı sağlayarak, çelik parçasının yüzeyi karbondioksit, oksijen ve su buharından korunarak sağlanabilir,

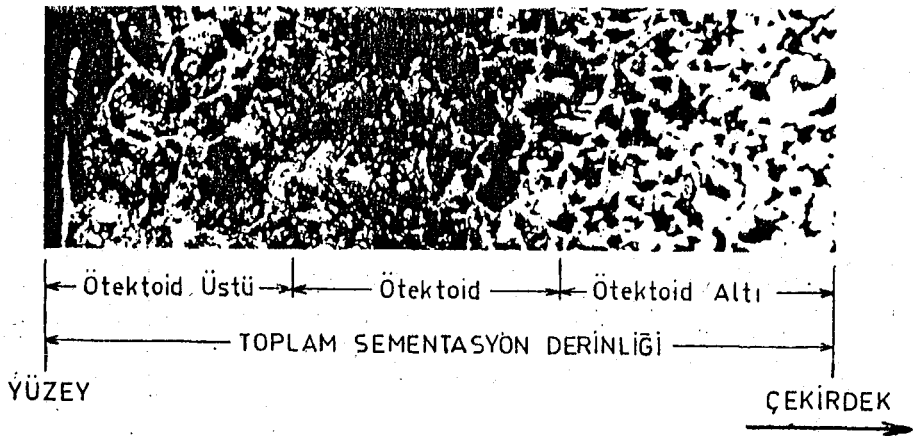
Kullanılan sementasyon sıcaklığında, ostenit fazda çözünebilen maksimum karbon miktarı demir-karbon denge diyagramında  $A_{cm}$  çizgisinden bulunabilir.

Örnek olarak,  $925^{\circ}\text{C}$  sementasyon sıcaklığı olarak seçildiğinde, ostenit fazda çözünebilen maksimum karbon miktarı %1.3 civarındadır. Bu sıcaklıkta, çelik parçanın yüzeyi yaklaşık %1.3 miktarına kadar karbon emmesi yaparken, parçanın çekirdek kısmı düşük karbon miktarını korumaya devam eder. Bu sebeple, karbon atomları parçanın yüzeyinden çekirdeğe doğru difüz ederek denge durumuna gelmek isteyeceklerdir. Ostenit fazda karbon atomlarının difüzyon hızı, verilen sıcaklıkta, çelik parçasının yüzeyinde oluşan karbon konsantrasyonuna ve difüzyon katsayısına bağlıdır.

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



Çelik parçası, 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 difüz eden karbonun ilerleme derinliğine SEMENTASYON DERİNLİĞİ denilir. Eğer çelik parça, sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulursa, sementasyon derinliği boyunca değişen karbon miktarına bağlı olarak çeşitli yapılar oluşur. Bu yapılar, çelik parçasının sementasyon sonrası, fırında yavaş soğutulmuş olarak alındıktan sonra mikroskopta incelenmesiyle açıkça görülebilir. Önce, yüzeyde teşekkül eden ötektoid üstü bölgede, sementit ve perlit yapılar görülür. Bunun altında oluşan ötektoid bölge sadece perlit yapıdadır. İçeriye doğru perlit ve ferrit yapılardan oluşan ötektoid altı bölge gelir ve çekirdeğe doğru ferrit yapı miktarı artarak devam eder. Aşağıdaki resimde, başta %0.20 miktarında karbon ihtiva eden bir çelik parçasının, sementasyon işlemi sonrasında, yüzeyinden içeriye doğru oluşan yapı değişiklikleri görülmektedir. Çelik parça, kutuda  $925^{\circ}\text{C}$  de 6 saat semente edildikten sonra sementasyon kutusu nda soğutulmuş ve %2'lik nital çözeltisinde dağlanarak mikroskopta 30 defa büyütülerek incelenmiştir.



Sementasyon sonrasında, çelik parça bir sertleştirme işlemine tabi tutularak yüzeyde yüksek sertlik elde edilir. Bu konu, "sementasyon sonrası sertleştirme yöntemleri" bölümünde geniş olarak anlatılmıştır.

### 1.1.3. SEMENTASYON METODLARI

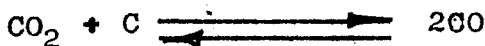
Sementasyon işlemi değişik karbon verici ortamlarda yapılabilir. Bunlar,

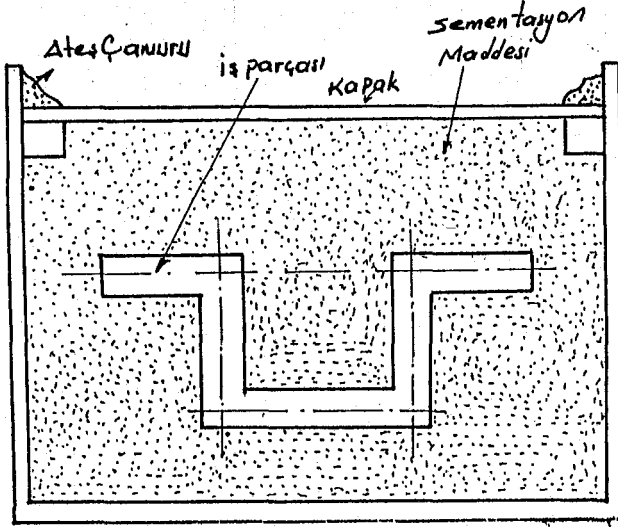
- Kutu sementasyonu (katı ortamda sementasyon)
- Tuz banyosunda sementasyon
- Gaz sementasyonudur.

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 sementasyon derinlikleri ve sementasyon sonrası uygulanan sertleştirme yöntemine bağlı olarak, farklı sertlik neticeleri verir.

#### 1.1.3.1. KUTU SEMENTASYONU

Kutuda yapılan sementasyon işlemi için karbon verici olarak genellikle odun kömürü kullanılır. Semente edilecek parçalar çelik veya dökme demirden yapılmış kutu içersindeki odun kömürüne gömülür ve kutunun ağzı sıkıca kapatılarak fırına yerleştirilir. (Şekil:1) Sıcaklığın yükselmesi ile odun kömürü, kutu içindeki havanın oksijeni ile reaksiyona girerek CO<sub>2</sub> oluşturur. CO<sub>2</sub> de tekrar odun kömürü ile reaksiyona girerek CO meydana getirir.





Şekil:1

Sıcaklığın artmasıyla, yukarıdaki reaksiyona göre CO oluşumu artar. Ortaya çıkan CO çelik yüzeyinde ayrışarak  $CO_2$  ve atomik karbon meydana getirir.

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 girer, CO meydana getirir ve reaksiyonlar aynen tekrar eder. Kutudaki oksijen miktarı giderek azalacağından ve sementasyon için gerekli CO oluşumu yetersiz kalabileceğinden, odun kömürüne yaklaşık %20 oranında bazı reaksiyon hızlandırıcı maddeler karıştırılır. Bu amaçla alkali metal karbonatları kullanılır. Bu ise çoğunlukla baryum karbonattır ( $BaCO_3$ ) ve karışıma ilave edilen toplam karbonat miktarının %50-70'ni oluşturur. Geri kalan kısım kalsiyum karbonat ve bazen sodyum karbonattır.



Kutu sementasyon metodunun en önemli avantajı, önceden hazırlanması gereken gaz atmosferine gerek olmasıdır. Bu metod çoğunlukla büyük parçaların sementasyonunda kullanılır. Ancak, çelik parçasında hassas toleranslı (0.25mm.) ince sementasyon derinliği (0.75 mm. den aşağı) istendiği durumlar için pek uygun bir metod değildir. Bu metodun kullanımındaki diğer bir dezavantaj ise, ısıtma ve soğutma için her defasında fazladan zamana ihtiyaç olmasıdır.

#### 1.1.3.2. TUZ BANYOSUNDA SEMENTASYON

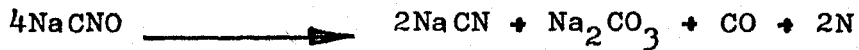
Tuz banyosunda sementasyon için, karbon verici olarak sodyum siyanür (NaCN) veya potasyum siyanür (KCN) gibi tuzlar kullanılır. Ancak, tuz seçimi istenilen sementasyon derinliğine ve buna bağlı olarak çalışılacak sementasyon sıcaklığına göre ayarlanıp yapılmalıdır.

İki türlü tuz vardır.

- İnce sementasyon derinliği veren (düşük sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuzlar. Bu durumda, tuz banyosundaki siyanür miktarı %20 civarındadır, ve çalışma sıcaklığı 843-899°C (1550-1650°F) olmalıdır. Böyle bir tuz banyosunda 0.9 mm'ye kadar sementasyon derinliği elde edilebilir.

- Sementasyon derinliğini arttıran (yüksek sementasyon sıcaklığında çalışılan) tuzlar. Bu durumda ise, tuz banyosundaki siyanür miktarı %10'dur. Ve kullanılan sementasyon sıcaklığı 899-954°C (1650-1750°F) leri arasındadır. Bu tip tuz banyosunda 3 mm'ye kadar sementasyon derinliğine ulaşılır. Hatta bazen 6 mm derinliğe kadar ilerlemekte mümkündür.

Bu metodla 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. 850-950°C de östenit fazdaki çelik, CO ile reaksiyona girerek karbonu bünyesine alır. Bu arada bir miktar azot da çelik tarafından emilir. Çeliğinkarbon ve azot emme miktarı önemli ölçüde banyodaki siyanür miktarına ve sementasyon sıcaklığına bağlıdır.

Tuz banyosu kullanımında arzu edilen kabuk derinliği küçüldükçe, elde edilen ekonomi büyür. Buna sebep ise, tuz banyosunda çelik parçaların ısınma hızının kutu sementasyonundakinden daha yüksek olmasıdır. Parçalar tuz banyosuna daldırılmadan önce 100-400°C arasında ön ısıtma yapılmalıdır. Böylece parçalar üzerindeki nem alınmış ve aynı zamanda tuz banyosu daha verimli olarak kullanılmış olacaktır.

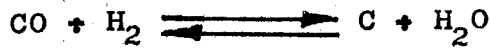
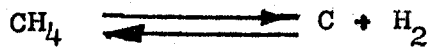
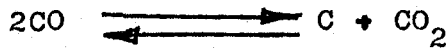
Tuz banyosu genellikle küçük ve orta büyüklükteki parçaların sementasyonu için kullanılır. Büyük parçaların tuz banyosunda sementasyonu pota büyüklüğü dolayısıyla bazı zorluklar getirir. Bu metodla yapılan sementasyon işlemi parça yüzeyinde homojen sementasyon derinliği vermesi ve tuz banyosunun yüksek ısı iletimi dolayısıyla, çelik parçaların kısa zamanda sementasyon sıcaklığına ulaşması gibi avantajlar sağlar. Bunun yanında, homojen sementasyon derinliğinin sağlanması için, banyo kompozisyonunun sık sık kontrol edilerek ayarlanması gerekir. -12-

Ayrıca, siyanür tuzları zehirli olduklarından bu metodun kullanımında dikkatli olunmalıdır.

### 1.1.3.3. GAZ SEMENTASYONU

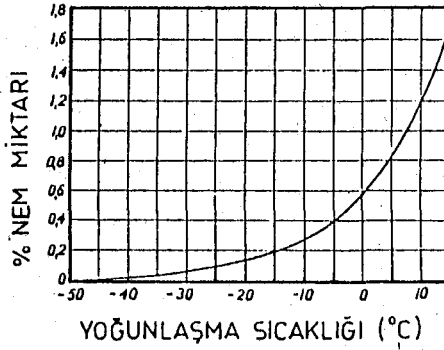
Gaz sementasyonu, son yıllarda yüzey sertleştirme metodlarının en popüler olanı haline gelmiştir. Bu metodla oldukça iyi ve güvenilir neticeler elde edilmektedir.

Gaz sementasyonu için karbon verici olarak metan ( $\text{CH}_4$ ), etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), propan ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) gibi hidrokarbonlar kullanılır. Sementasyon sıcaklığında çeşitli reaksiyonlar oluşur. Aşağıdaki reaksiyonların soldan sağa doğru ilerlemesi sonucu, ortaya çıkan atomik karbon, ostenit fazdaki çelik çelik bünyesine girerek yüzeyde karbonca zengin kabuk bölgesini meydana getirir.



Fırın atmosferinde oluşan gaz kompozisyonunun, özellikle nem miktarının çelik yüzeyinde elde edilecek karbon miktarına önemli tesirleri vardır. Nem miktarı ise, gazın yoğunlaşma sıcaklığının tesbiti ile ölçülebilir. Burada yoğunlaşma sıcaklığı olarak tarif edilen su damlacıklarının gaz karışımından çökeldiği sıcaklıktır.

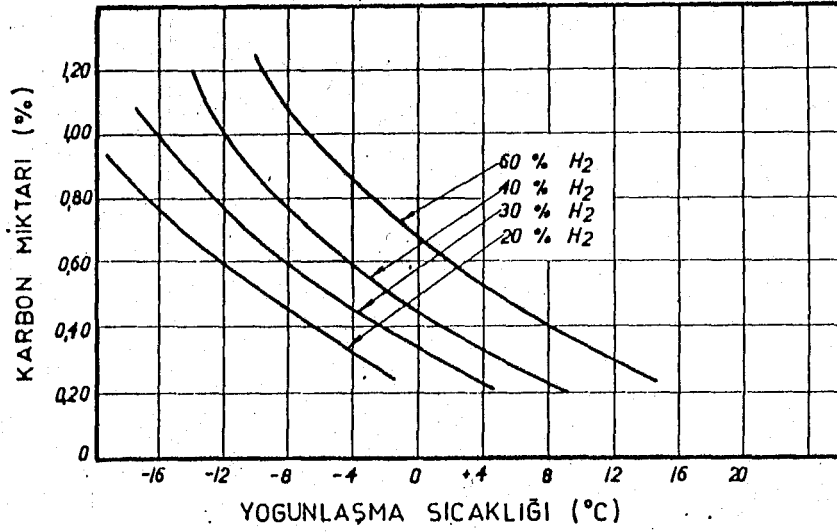
Aşağıdaki Şekil:2 de, nem miktarı ile yoğunlaşma sıcaklığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil: 2

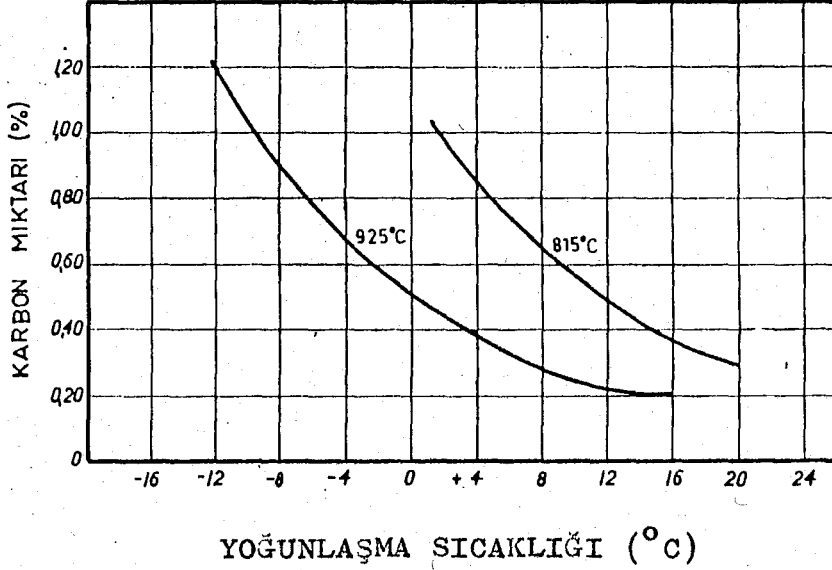
Aşağıdaki şekillerde ise, yoğunlaşma sıcaklığı kontrol edilerek, sementasyon sıcaklığı ve gaz kompozisyonunun değişimi ile yüzeyde elde edilecek karbon miktarına ait örnekler verilmiştir.

Şekil:3 de sementasyon sıcaklığı  $925^{\circ}\text{C}$  ve fırın gaz kompozisyonundaki CO miktarı %20 olarak sabittir. Çelik parçasının yüzeyinde meydana gelecek karbon miktarına, yoğunlaşma sıcaklığına ve fırın atmosferindeki hidrojen ( $\text{H}_2$ ) %'ne bağlı olarak değişmektedir. Çelik yüzeyinde %0.80 karbon miktarı elde edebilmek için, gaz karışımındaki  $\text{H}_2$  miktarı %60 iken yoğunlaşma sıcaklığı  $-3^{\circ}\text{C}$  veya  $\text{H}_2$  miktarı %20 olduğunda yoğunlaşma sıcaklığı  $-17^{\circ}\text{C}$  olmalıdır.



**Şekil:3** 925°C de yapılan sementasyon işleminde, gaz karışımındaki CO miktarı %20 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının ve H<sub>2</sub> miktarının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri.

**Şekil:4** de ise, çelik yüzeyindeki karbon miktarının sementasyon sıcaklığına bağlı olarak değişimi görülmektedir. Burada, gaz kompozisyonundaki CO miktarı %20 ve H<sub>2</sub> miktarı %40 olarak sabittirler. 925°C sıcaklık kullanıldığında, yüzeyde %0.80 karbon eldesi için, yoğunlaşma sıcaklığı yaklaşık -6°C ve aynı karbon miktarının eldesi için, 815°C sıcaklık kullanıldığında, yoğunlaşma sıcaklığı + 5°C olması gerekir.



**Şekil:4** Gaz karışımındaki CO miktarı %20 ve H<sub>2</sub> miktarı %40 olarak sabit iken, yoğunlaşma sıcaklığının ve sementasyon sıcaklığının çelik yüzeyinde oluşacak C konsantrasyonuna etkileri.

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

İşlem tamamlandıktan sonra kullanılan çelik çeşidine bağlı olarak uygun 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.

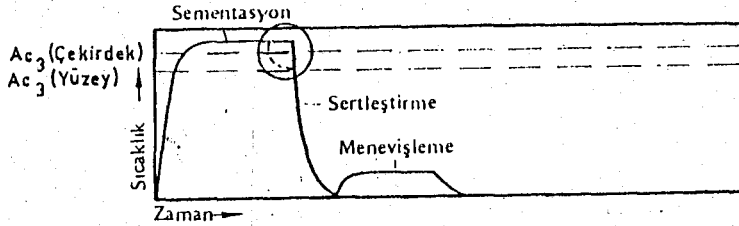
#### 1.1.4. SERTLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

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.

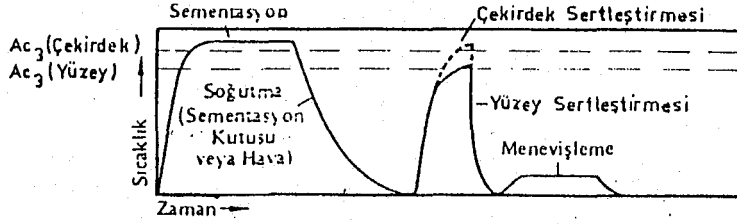
##### 1.1.4.1. DİREKT SERTLEŞTİRME



Sekil:5

Sementasyon sınırı, çelik parça sementasyon sıcaklığından direkt olarak uygun ortamda (yağ, su, sıcak banyo) soğutulularak sertleştirilir ve menevişlenir. Şekil'de 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 ince taneli yapıdaki çelikler için uygulanır. Oldukça pratik ve ekonomik bir yöntemdir.

1.1.4.2. BASİT SERTLEŞTİRME

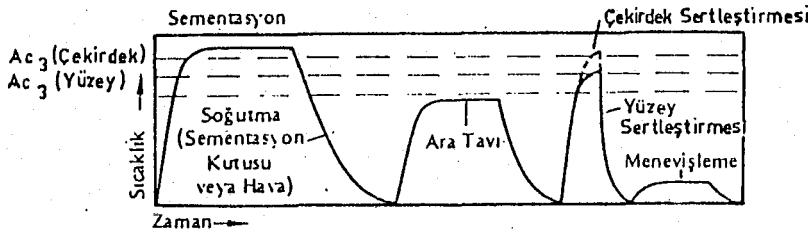


Şekil:6

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.

1.1.4.3. BASİT SERTLEŞTİRME (ara tavından sonra)

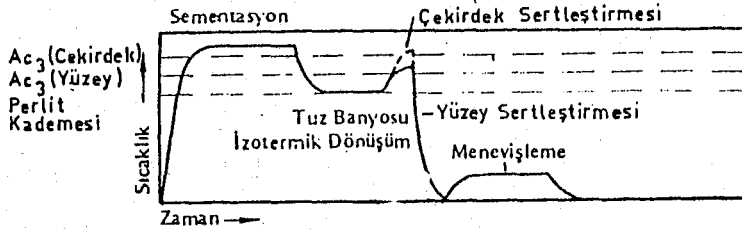


Şekil:7



Çelik parçalar sementasyon edildikten sonra, sementasyon kutusu veya havada soğumaya bırakılır. Sonra,  $A_1$  ötektoid sıcaklığı altında, genellikle  $630-650^{\circ}\text{C}$  de ara tavi yapılır. Bunu takiben yüzey veya beraberce yüzey-çekirdek sertleştirilmesi için gerekli sıcaklığa ısıtılır, uygun ortamda (yağ, su veya sıcak banyo) soğutulur ve menevişlenir.

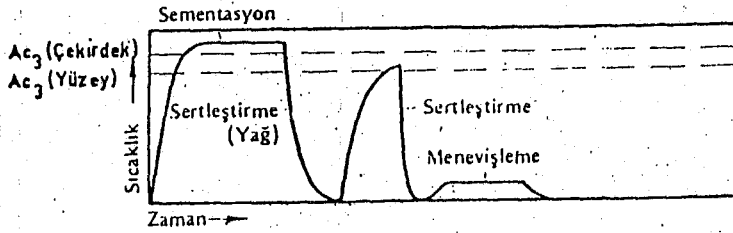
#### 1.1.4.4. BASİT SERTLEŞTİRME (izotermik dönüşümden sonra)



Sekil:8

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

#### 1.1.4,5. ÇİFT SERTLEŞTİRME



Sekil:9

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.

#### 1.1.5. MENEVİŞLEME

Bu işlemin gayesi, sertliği bir miktar düşürerek sertleştirme sonrası çelik parçadaki gerilmeleri gidermektir. Sertleştirme sonrasında çelik parçalar genellikle 160-220°C arasındaki sıcaklıklarda menevişlenirler.

Menevişleme zamanı 1-2 saattir. Eğer sonuçta parça yüzeyindeki sertlik 60 HRC den düşük istenmiyor ise, menevişleme sıcaklığı 180°C den fazla olmamalıdır.

1.1.6 SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

ÇELİK		KİMYASAL İZLENİM (% Ağırlık)							
Kısa İşareti	Malz.No	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
<b>KALİTE ÇELİKLERİ</b>									
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	-	-	-
<b>ASAL ÇELİKLERİ</b>									
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
<b>ASAL ÇELİKLER (Kükürt Miktarı Belli Sınırlar İçinde Olanlar)</b>									
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.

KISA İŞARETİ	MALZEME NO.	SICAK ŞEKİLLENDİRME SICAKLIĞI	NORMALLEŞTİRME TAV SICAKLIĞI	YUMUŞATMA TAV SICAKLIĞI	BELLİ BİR ÇEKME DAYANIMI SAĞLAYAN ISI İŞLEM SICAKLIĞI	FERRİT-PERLİT YAPISI SAĞLAYAN ISI İŞLEM SICAKLIĞI	SEMENTASYON İŞLEMİ			ÇEKİRDEK SERTLEŞTİRMESİ		YÜZEY SERTLEŞTİRMESİ		MENEVİ İŞLEM SICAKLIĞI	
							SICAKLIK	SEMENTASYON SONRASI SERTLEŞTİRME YONTEMLERİ	SOĞUTMA ORTAMI	SICAKLIK	SOĞUTMA ORTAMI	ARA TAV SICAKLIĞI	SICAKLIK		SOĞUTMA ORTAMI
C 10	1.0301	1150 - 850	890 - 920 , havada soğutulur	650 - 700 , fırında soğutulur	850 - 950 , gayeye uygun olarak soğutulur, gerektiğinde 500 - 650 C'de menevişlenir.	900 - 1000 , gayeye uygun olarak soğutulur.	950 - 900	Direkt Sertl.	S(Y)	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
C 15	1.0401							Basit Sertl.	SB,SK,H	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
Ck 10	1.1121							Direkt Sertl.	S(Y)	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
Ck 15	1.1141							Basit Sertl.	SB,SK,H	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
15 Cr 3	1.7015							Direkt Sertl.	S(Y)	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
16 MnCr 5	1.7131							Basit Sertl.	SB,SK,H	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
20 MnCr 5	1.7147							Direkt Sertl.	S(Y)	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
20 MoCr 4	1.7321							Basit Sertl.	SB,SK,H	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180	
25 MoCr 4	1.7325							Direkt Sertl.	S,Y,SB	870-900	S(Y),SB	-	-	150-180	
13 NiCr 6	1.5713							Basit Sertl.	SK,H	870-900	S(Y),SB	-	-	150-180	
14 CrNi 14	1.5752							Direkt Sertl.	Y(S),SB	850-880	S(Y),SB	-	810-840	Y(S),SB	170-210
15 CrNi 6	1.5919							Basit Sertl.	Y(S),SB	850-880	Y(S),SB	-	810-840	Y(S),SB	170-210
18 CrNi 8	1.5920							Direkt Sertl.	Y(S),SB	890-920	Y,SB	-	-	-	170-210
17 CrNiMo 6	1.6587							Basit Sertl.	Y(S),SB	890-920	Y,SB	-	-	-	170-210
21 NiCrMo 2	1.6523							Direkt Sertl.	Y(S),SB	840-870	Y(S),SB	-	800-820	Y,SB	170-210
Cm 15	1.1140							Basit Sertl.	Y(S),SB	830-860	Y(S),SB	-	780-800	Y,SB	170-210
16 MnCrS 5	1.7139							Çift Sertl.	SK,H	840-870	Y(S),SB	-	800-830	Y(S),SB	170-210
20 MnCrS 5	1.7149							Basit Sertl.	Y(S),SB	840-870	Y(S),SB	-	800-830	Y(S),SB	170-210
20 MoCrS 4	1.7323							Çift Sertl.	TB,SK,H	840-870	Y(S),SB	-	800-830	Y(S),SB	170-210
25 MoCrS 4	1.7326							Basit Sertl.	Y(S),SB	840-870	Y,SB	-	800-830	Y(S),SB	170-210
			Çift Sertl.	TB,SK,H	840-870	Y,SB	800-830	Y(S),SB	170-210						
			Direkt Sertl.	Y(S),SB	840-870	Y,SB	800-830	Y(S),SB	170-210						
			Basit Sertl.	SK,H	840-870	Y,SB	800-830	Y(S),SB	170-210						
			Direkt Sertl.	S(Y),SB	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180						
			Basit Sertl.	SK,H	880-920	S(Y),SB	-	-	150-180						
			Basit Sertl.	Y(S),SB	850-880	Y(S),SB	-	810-840	Y(S),SB	170-210					
			Direkt Sertl.	Y(S),SB	850-880	Y(S),SB	-	810-840	Y(S),SB	170-210					
			Çift Sertl.	SK,H	850-880	Y(S),SB	-	810-840	Y(S),SB	170-210					
			Basit Sertl.	Y(S),SB	850-880	Y(S),SB	-	810-840	Y(S),SB	170-210					
			Direkt Sertl.	Y(S),SB	890-920	Y,SB	-	-	170-210						
			Direkt Sertl.	Y(S),SB	890-920	Y,SB	-	-	170-210						

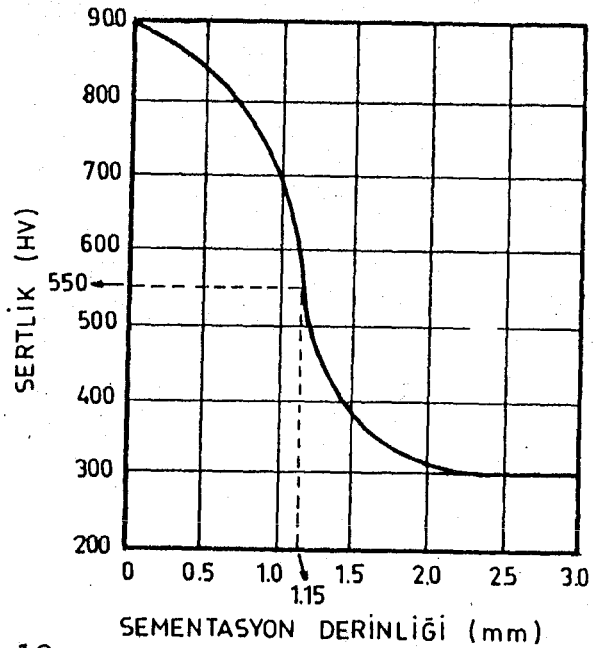
SOĞUTMA ORTAMLARI : H:Hava S:Su Y:Yağ SB:Sıca Banyo(160-250 C) TB:Tuz Banyosu(580-650 C) SK:Sementasyon Kutusu

### 1.1.8. SEMENTASYON DERİNLİĞİNE, YÜZEY SERTLİĞİNE VE ÇEKİRDEK SERTLİĞİNE TESİR EDEN FAKTÖRLER

Bu bölümde, semente edilecek çelik cinsinin, parça ebatlarının, sementasyon sıcaklığı ve zamanının, sementasyon sonrası sertleştirme metodu nun, sertleştirme sıcaklığı ve soğutma ortamının, sementasyon derinliğine, yüzey sertliğine ve çekirdek sertliğine olan etkileri incelenmiştir.

#### 1.1.8.1. SEMENTASYON DERİNLİĞİ

Sementasyon işlemi sonunda çelik parçası, yüzeyden belli bir derinliğe kadar karbon emmesi yapar. Bu derinliğe SEMENTASYON DERİNLİĞİ adı verilir. Etkili sementasyon derinliği, yüzeyden 550 HV sertliğe kadar olan bölge olarak tarif edilebilir. Aşağıda semente edilmiş bir çelik parçasındaki sertlik değişim eğrisi şematik olarak gösterilmiştir. Burada etkili sementasyon derinliği 1.15 mm. olarak görülmektedir.



Şekil:10

Difüzyon eşitliği ile ( $x = k\sqrt{t}$ ) sementasyon derinliğinin hesaplanması mümkündür.

x : sementasyon derinliği

t : sementasyon zamanı

k : sementasyon sıcaklığına bağlı sabit

k sabitinin bazı sementasyon sıcaklıkları için değerleri aşağıda verilmiştir.

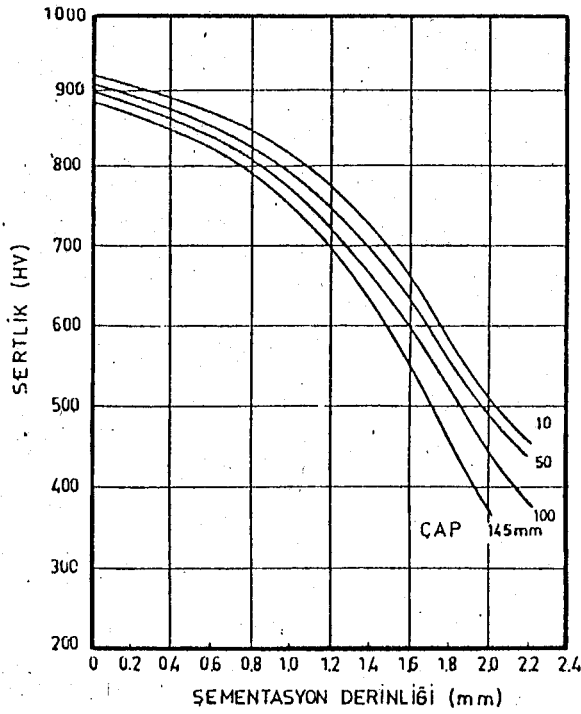
Sementasyon sıcaklığı(°C)	871 (1550°F)	899 (1600°F)	927 (1650°F)
k sabiti	0.46	0.53	0.64

Sementasyon derinliğinin, sementasyon sıcaklığı ve sementasyon zamanına bağlı olarak değişim değerleri aşağıdaki tabloda görülebilir.

Sıcaklık Zamanı (saat)	SEMENTASYON DERİNLİKLERİ (mm)				
	843 °C	871 °C	899 °C	927 °C	954 °C
1	0.38	0.46	0.53	0.63	0.74
2	0.53	0.63	0.76	0.89	1.04
3	0.64	0.79	0.94	1.09	1.30
4	0.74	0.89	1.07	1.27	1.50
5	0.84	1.02	1.19	1.42	1.68
6	0.91	1.09	1.32	1.55	1.83
7	0.99	1.19	1.42	1.68	1.98
8	1.04	1.27	1.52	1.80	2.11
9	1.12	1.35	1.6	1.90	2.24
10	1.17	1.42	1.70	2.01	2.36
11	1.22	1.50	1.78	2.11	2.46
12	1.30	1.55	1.85	2.21	2.59
13	1.35	1.63	1.93	2.29	2.69
14	1.40	1.68	2.01	2.39	2.79
15	1.45	1.73	2.08	2.46	2.90
16	1.50	1.80	2.13	2.54	2.97
17	1.52	1.85	2.21	2.63	3.07
18	1.57	1.90	2.29	2.69	3.18
19	1.63	1.96	2.34	2.77	3.25
20	1.68	2.01	2.39	2.84	3.33
21	1.70	2.06	2.46	2.90	3.40
22	1.75	2.11	2.51	2.97	3.51
23	1.78	2.16	2.57	3.05	3.58
24	1.83	2.18	2.62	3.10	3.66

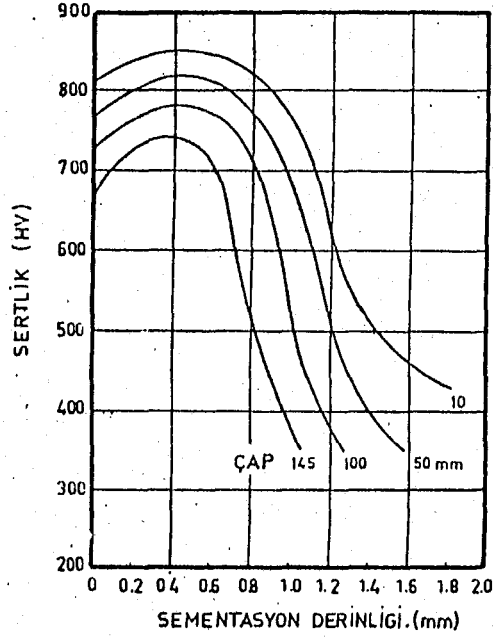
Ayrıca sementasyon derinliği, parçanın ebadına ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığı ile soğutma ortamına da yakından bağlıdır.

Aşağıdaki şekillerde, değişen ebatlı aynı kalitedeki çelik parçaların sementasyon derinliğinin, sertleştirme sıcaklığına ve soğutma ortamına bağlı olarak değişimi görülmektedir.



Şekil:11

Şekil:11 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.



Şekil:12

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

Sementasyon derinliği bir dereceye kadar çelik kalitesine de bağlıdır. İnce kesitli parçalarda bu faktör fazla önem taşımamasına karşılık, büyük kesitli parçalar için derin sertlik istendiği durumlarda, sementasyon zamanı açısından önem kazanır. Aşağıda buna örnekolarak, bir fikir vermesi amacıyla 100 mm. çaplı, değişik kaliteli çelik parçalarda, 1.5 mm'lik sementasyon derinliğinin sağlanabilmesi için gerekli sementasyon zamanları verilmiştir.

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



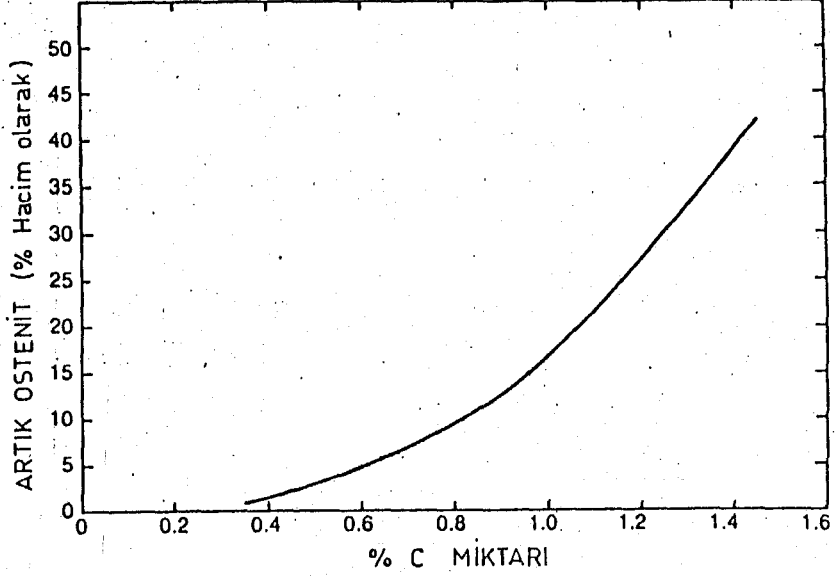
### 1.1.8.2. YÜZEY SERTLİĞİ

Ostenit fazda çözünen karbon miktarı, yüzey sertliğini belirleyen kesin faktördür.

Yüzeydeki karbon miktarı %0.80 ile %1 arasında olabilecek şekilde kontrol edilmelidir. Yüzeyde karbon miktarının fazla olmasının (ötektoid üstü bölgede), iki önemli sebepten dolayı sakıncaları vardır. Birincisi, eğer çelik parça sementasyon sıcaklığından yavaşça soğutulursa, perlit tane sınırlarında sementit ağı teşekkül edecektir. Sonra yapılacak sertleştirme işleminde, özellikle parça  $A_{cm}$  çizgisinin altında bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra sertleştirilirse, sonuçta yapıda sementit ağı olduğu gibi kalacak ve bu bazı olumsuz neticeler verecektir. İkinci olarak yüzeydeki karbon miktarı %0.70'i geçerse, sertleştirme sonrasında martenzit yapıda artık ostenit kalmasına ve sertliğin azalmasına sebep olacaktır. Özellikle yüksek alaşımlı çeliklerde yüzeydeki karbon miktarının %0.80 den fazla olmamasına dikkat edilmelidir.

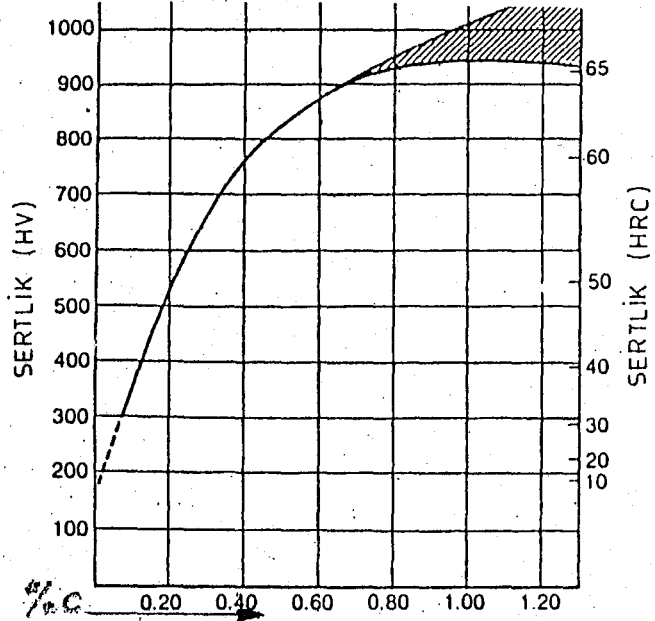
Fazla semente edilmiş çeliklerin sertleştirme sıcaklıklarının uygun seçilmesi ile, ostenit fazda çözünen karbon miktarı kontrol edilerek, sertleştirme sonucu artık ostenit miktarı azaltılarak, yüksek sertlik elde edilebilir. Fakat eğer, çelik yüzeyinde sementasyon sonucu uygun karbon konsantrasyonu sağlanırsa, maksimum sertlik için sertleştirme sıcaklığının fazla önemi kalmaz.

Aşağıdaki şekillerde demir-karbon alaşımlarında karbon miktarına bağlı olarak, sertleştirme sonrası teşekkül eden martenzit yapıda görülebilecek artık ostenit miktarı ve sertlik azalmaları görülmektedir.



Şekil: 13

Şekil:13 Demir-karbon alaşımlarında, karbon miktarına bağlı olarak martenzit yapısındaki artık ostenit değişimi.



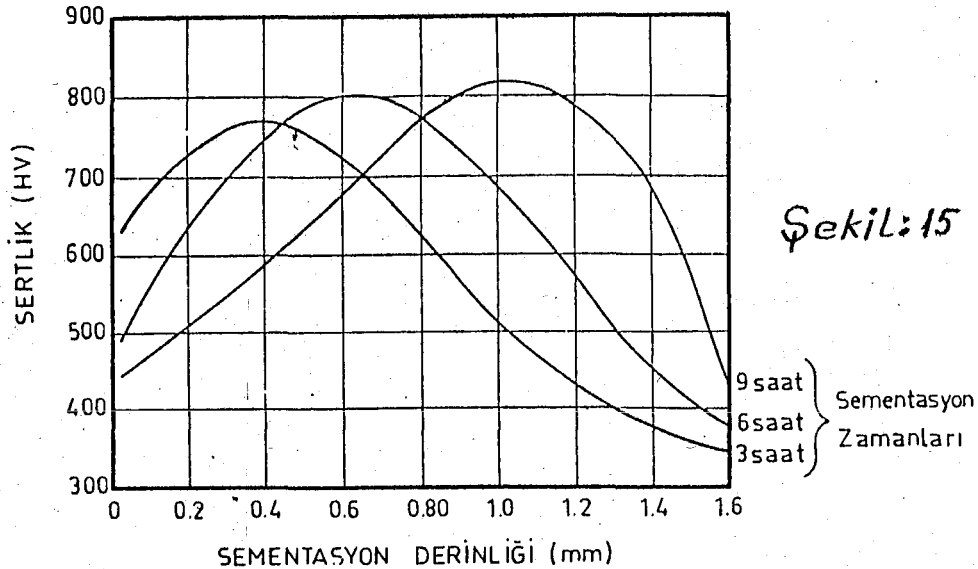
Şekil:14

Şekil:14 Martenzit yapısındaki çeliklerde, karbon miktarının sertliğe etkisi. Taranmış bölge, artık ostenitin sertlik azalmasına tesirini göstermektedir.

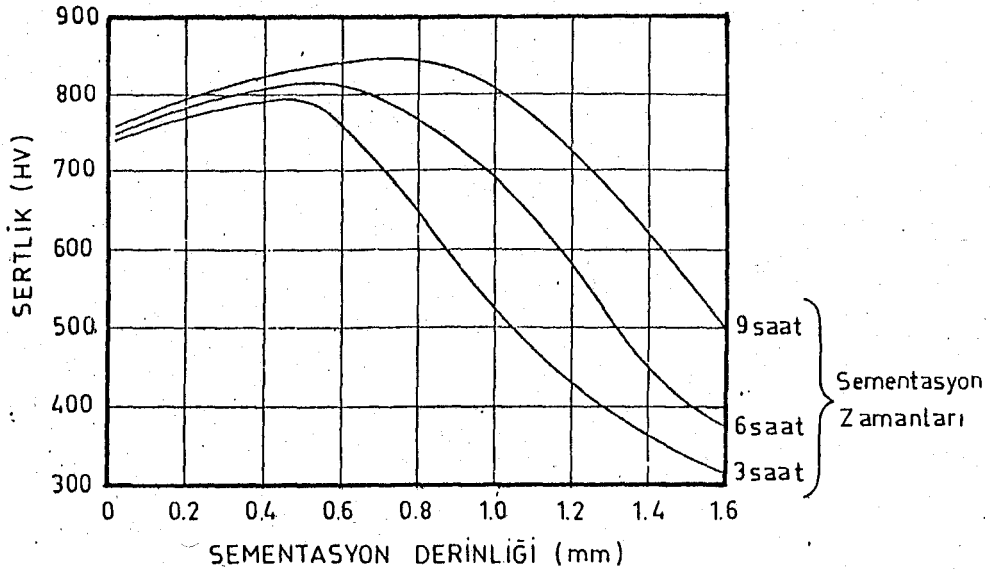
Kutu sementasyonunun uygulandığı durumlarda, karbon verici karışımın karbon aktivitesi ayarlanarak, kabuktaki karbon miktarı bir dereceye kadar kontrol edilebilir. Düşük karbon aktiviteli sementasyon karışımı ve düşük sementasyon sıcaklığı kullanıldığında, çelik yüzeyinde düşük karbon miktarı elde edilecektir.

Sementasyon zamanının uygun seçilmesi de önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Sementasyon zamanının arttırılması, ostenit fazda çözünen karbon miktarını arttıracak ve sertleştirme sonrası martenzit yapıda fazla artık ostenit kalacağından, sertlik oldukça düşecektir. Eğer parça düşük bir sıcaklıktan tekrar sertleştirilirse (çift sertleştirme), artık ostenitin azalması sebebi ile sertlik artacaktır. Hatta ince kesitli parçalara 770°C'den çift sertleştirme uygulanmasıyla 67 HRC'ye varan sertlikler elde edilebilir.

Aşağıdaki şekillerde bu konuya ilişkin olarak 13NiCr6 kaliteli çelik numuneleri ile yapılmış sementasyon örnekleri gösterilmiştir. (Şekil:15 ve Şekil:16)



Şekil:15 13 NiCr6 sementasyon çelğinin 925°C de değişik sürelerde kutuda semente edildikten sonra yağda direkt sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri.



Şekil:16

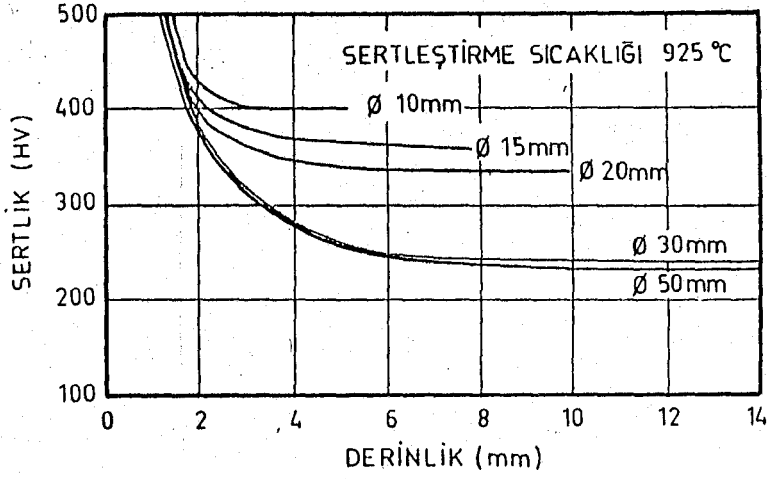
Şekil 16 13 NiCr6 sementasyon çelğinin 925°C de değişik sürelerde kutuda semente edildikten sonra 830°C den yağda basit sertleştirme sonrası sertlik değişim eğrileri.

### 1.1.8.3. ÇEKİRDEK SERTLİĞİ

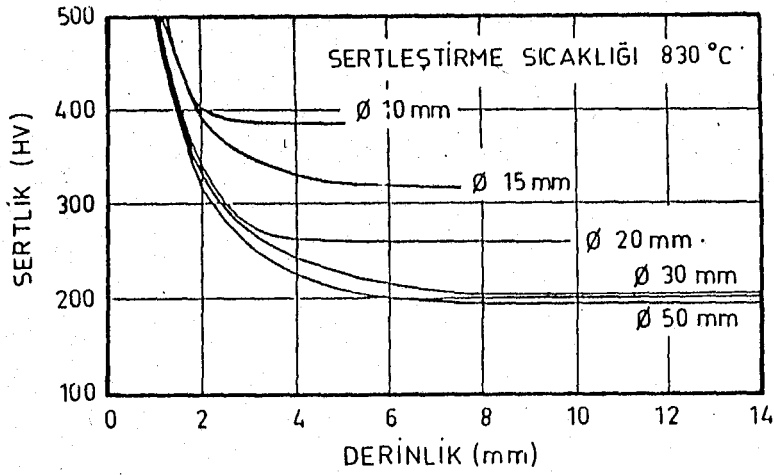
Çekirdek sertliğine, parça ebadının ve sementasyon sonrası sertleştirme sıcaklığının önemli tesirleri vardır.

Aşağıdaki şekillerde, çapları 10-50 mm. arasında değişen Ck15 kaliteli çelik parçaları için, bu faktörlerin çekirdek sertliğine olan tesirleri görülmektedir. Parçalar, 925°C de, sementasyon derinliği 1 mm. olacak şekilde semente edilmişlerdir. Sementasyon sonrası değişik sertleştirme sıcaklıkları kullanılmıştır.

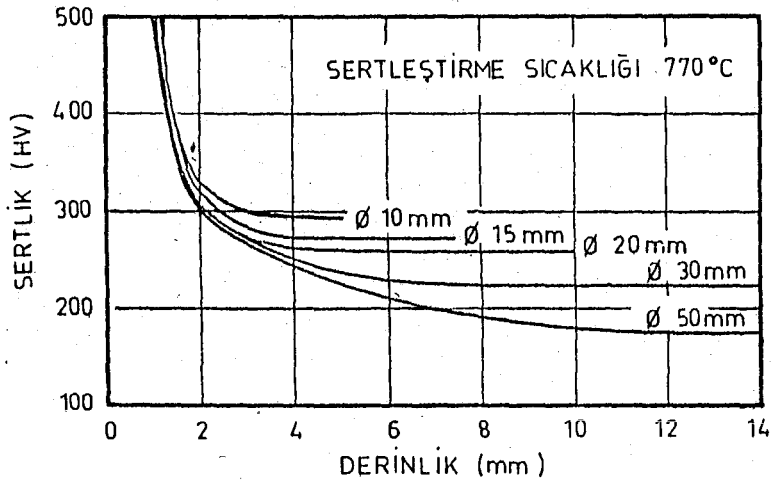
Sekil:17'deki değerler, sementasyon sıcaklığından (925°C) direkt sertleştirme sonucu elde edilmişler ve diğer şekillerdeki (Şekil 18 ve Şekil 19) değerler ise, 830°C ve 770°C den yapılan çift sertleştirme sonucu bulunmuşlardır.



Sekil:17

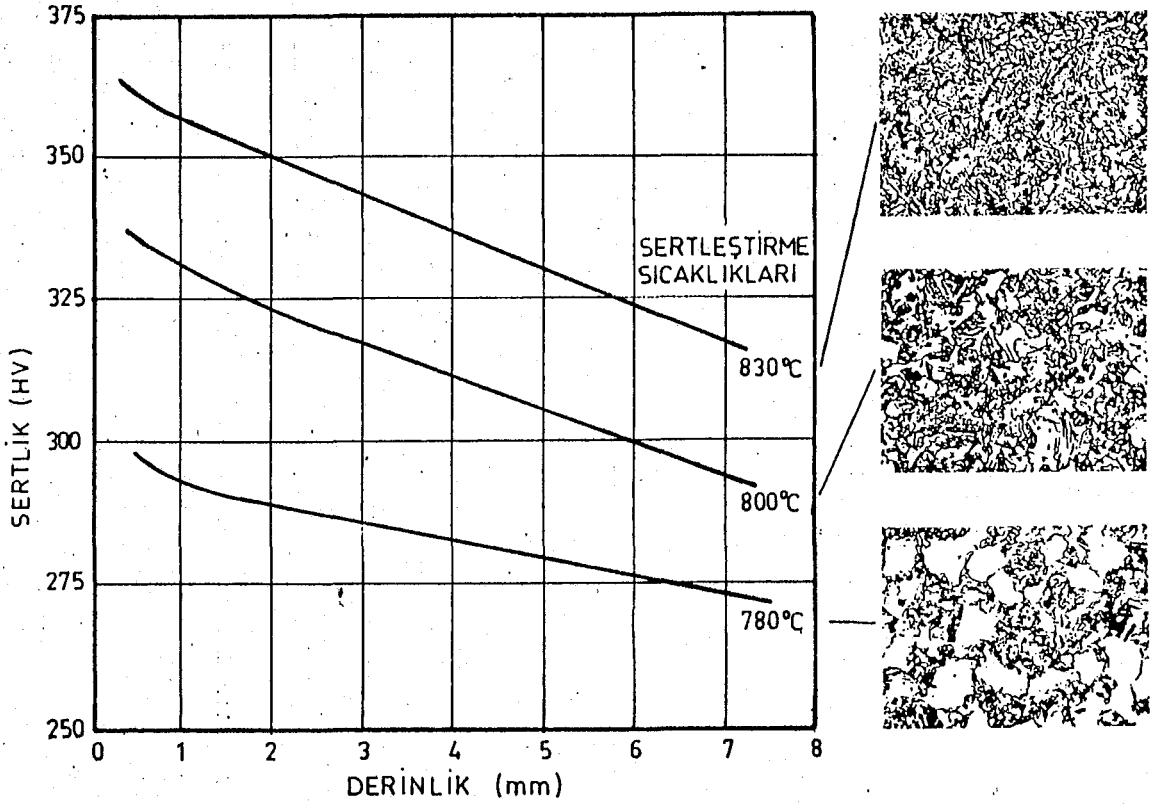


Sekil:18



Sekil:19

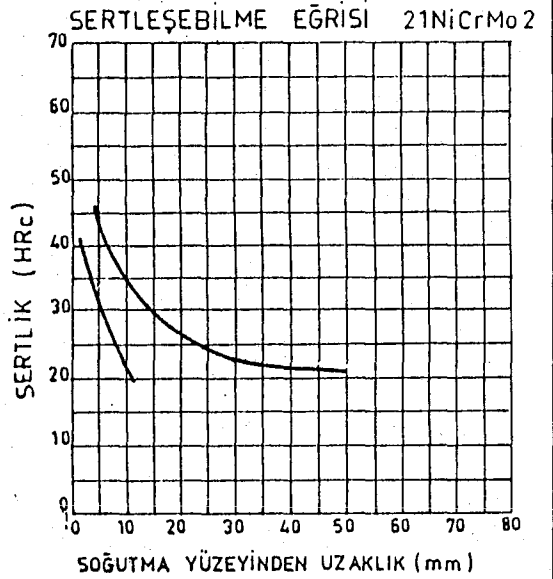
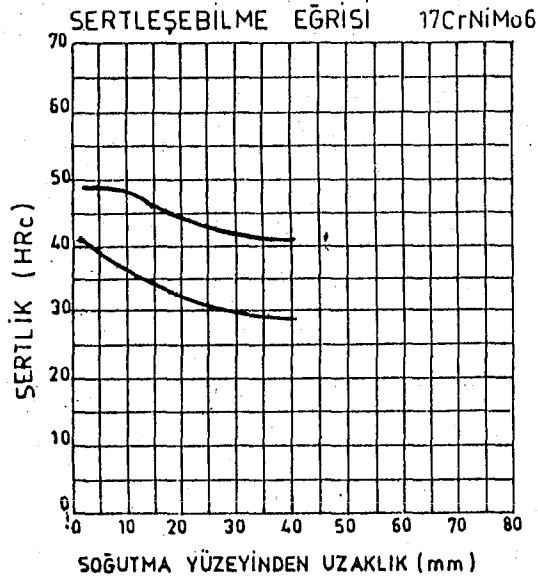
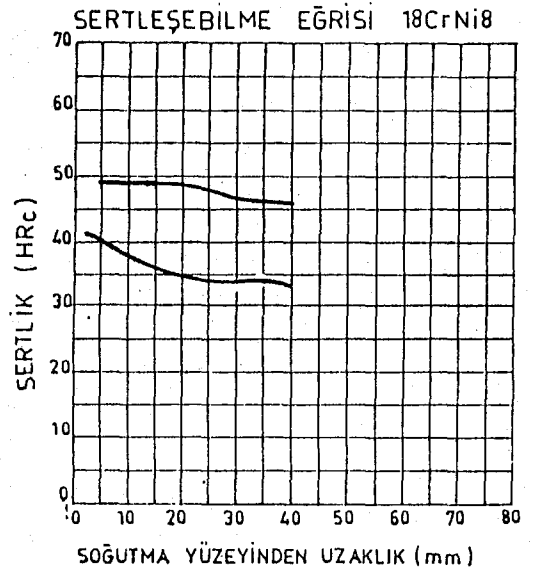
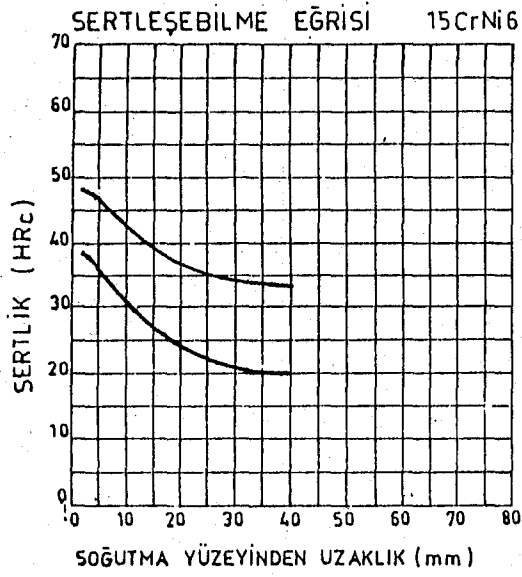
Benzer bir araştırma 13NiCr6 sementasyon çeliği üzerinde yapılmıştır. Değişik sertleştirme sıcaklıklarının, sertlik ve iç yapıya olan etkileri Şekil 20 de gösterilmiştir. 830°C den yapılan sertleştirme ile 780°C den yapılan sertleştirme arasında 60 HV'ye varan sertlik farkları görülmektedir. Yandaki 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.



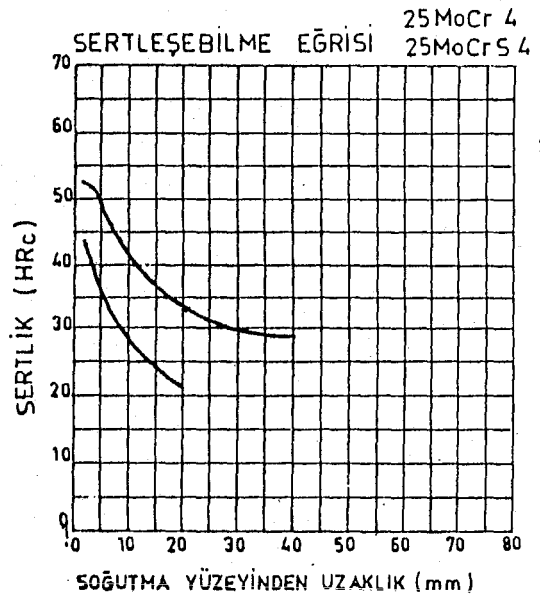
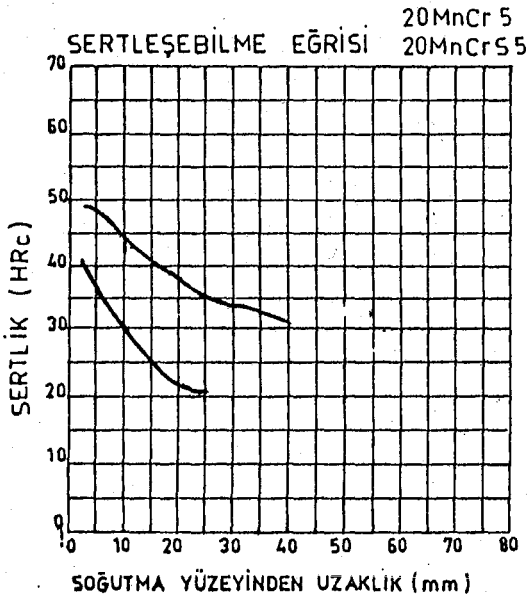
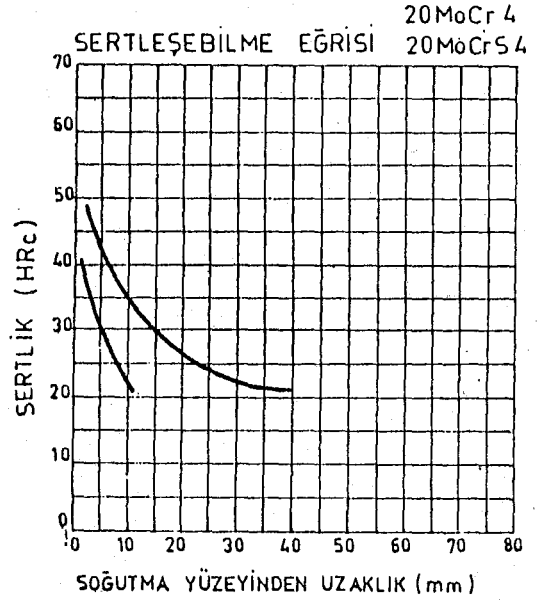
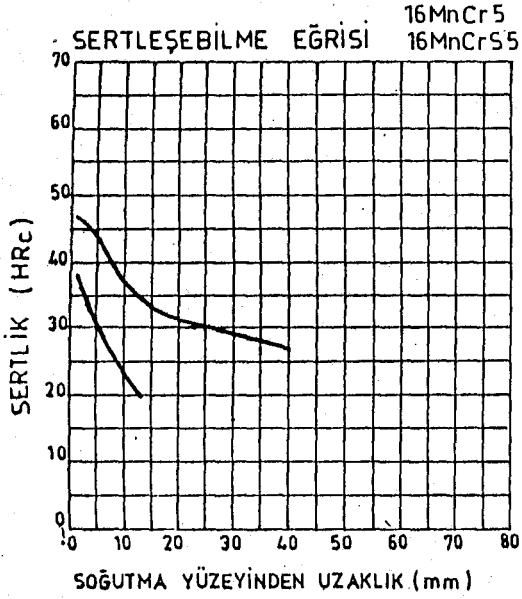
Şekil:20

1.1.9. SEMENTASYON ÇELİKLERİNİN SERTLEŞEBİLİRLİK (JOMİNY)  
BANTLARI

Aşağıda bazı sementasyon çeliklerinin sertleşebilirlik (jominy) bantları verilmiştir.







## 1.2. NİTRÜRASYON

Krom, molipden ve alüminyumlu çeliklere uygulanan bir yüzey sertleştirme yöntemidir. ADOLPH FRY tarafından bu yöntemin 50 yıllık bir geçmişi vardır. Bu yöntemle sertleştirilecek çeliklerde sertleşmeye yetecek oranda karbon yoktur. Yüzeğe karbon yerine azot atomları emdirilir. Azot atomları çelik yüzeyinde nitrür katı oluşturur. Nitrür tabakası ayrıca sertleştirmeye gerek kalmadan sert olan bir katmandır. Çelik dış yüzeyindeki nitrür tabakasının sertliği 72-80 RC kadardır. Nitrürasyon işlemi çelik ferritik yapıda iken uygulanır.

### 1.2.1. NİTRÜRASYON NEDİR?

Nitrürasyon belirli bir ısıda (sıcaklıkta) malzemenin azot atomlarına çeşitli kompozisyonlarda ara fazlar teşkil edecek şekilde çözündürülmesi olayıdır. Bu uygulama karbon vermenin (sementenin) azot atomları gibi uygulanmasının bir başka çeşididir.

Ancak sonuçları daha mükemmel ve özel amaçlıdır. Şöyleki, nitrürasyon edilen malzeme çok yüksek sürtünme aşınması temin eder.

### 1.2.2. NİTRÜRASYONDA KULLANILAN GAZLAR VE ÖZELLİKLERİ:

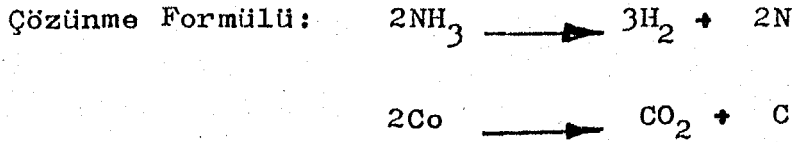
Gaz nitrürasyonu işleminde iki amaçlı gaz kullanılır:

- a- Taşıyıcı Gaz (ENDOĞAZ)
- b- Amonyak

**ENDOĞAZ (TAŞIYICI GAZ):** Gaz jeneratöründe elde edilen propan petrol gazının belirli oranda hava kullanılarak  $1000^{\circ}\text{C}$  de parçalanmış bir gaz karışımıdır. Özelliği: İdeal şartlarda ayarlanmış bir gaz jeneratöründe elde edilmiş bir gaz karışımı şöyle olmalıdır:

%23,8 CO    %31,7 H<sub>2</sub>    Kalan (N)    CO<sub>2</sub> : Az miktarda  
H<sub>2</sub>O

**AMONYAK:** Nitrürasyon işleminde kesinlikle susuz amonyak gazı kullanılmalıdır. Amonyakişlem sıcaklığında ( $570^{\circ}\text{C}$ ) azot ve hidrojen iyonlarına ayrışır. Amonyakın parçalanması ile oluşan serbest azot atomlarının çelik yüzeyine teması ile çelik tarafından çözünmesi şeklinde oluşur. Nitrürasyonun temelini bu işlem teşkil eder.



Bu iki gaz yani taşıyıcı endoğaz ve nitrojen verici gaz olan azot fırına 1/1 oranında sevk edildiğinde en iyi sonucu verir.

**İŞLEM SICAKLIĞI:** Gaz nitrürasyonunda kullanılan sıcaklık  $570^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu düşük sıcaklığın sağladığı başlıca avantajlar:

- a- Malzemenin çarpılma riskini asgariye indirir.
- b- Bitmiş nihai ölçülerdeki parçaların dahi işleme tabi tutulmasını sağlar.
- c- Malzeme nihai sertliğe temper sertliğine getirildikten sonra nitrürasyona tabi tutulabilir.

Zira genellikle temper sıcaklıkları 570°C'in üstünde olduğundan nitrürasyon sıcaklığının malzemenin nihai sertliği (çekirdek sertliği) üzerine olumsuz bir etkisi olmayacaktır.

Bu bahsedilen ana faktörler nedeniyle malzemeler düşük maliyette, seri olarak amaca daha uygun nitelikte işlem görebilir.

#### 1.2.3. UYGULANAN MALZEME ÇİNSLERİ VE YERLERİ:

Orta ve hafif derecede baskı yüklerinin uygulandığı dişli, aks, kızak, kama, kalıplar gibi parçaların yüzey işlemlerinde başarı ile uygulanır. Bu parçaların tamamında kullanma amacına en uygun çekirdek sertliği bilinen herhangi bir ısıtma işlemi kazandırıldıktan sonra nihai ölçüler ya da çok yakın ölçüler işlendikten sonra nitrürasyona tabi tutulurlar. İşlem gören malzemeler bilahare bitmiş olarak sevke veya kullanılmaya hazırdır.

Çok ağır yüklerin uygulandığı yerlerde nitrür tabakasının ince olması sonucu pek yeterli mukavemet göstermediğinden ezilme ve çökme gibi mahzurlarla karşılaşılacağından bu gibi yerlerde sementasyon ya karbonitrürasyon işlemleri tercih edilir.

#### 1.2.4. DIŞLİ ÇARKLARIN NİTRÜRASYONU:

Nitrürasyon, alaşımlı çelik dişlilere uygulanan bir yüzey sertleştirme işlemidir. Nitrürlenecek dişliye, orta derecede bir sertlik vermek için su verme ve temperleme işlemleri uygulanır. Dişli yarı mamül çelik malzeme, nihai olarak işlenir.

Nitrürleme işlemine tabi tutulmayacak kısımlar, bakır kaplama suretiyle veya uygun bir refrakter malzeme ile maskelenir. Daha sonra dişli nitrürasyon fırınına yerleştirilerek  $570^{\circ}\text{C}$ 'de ısıtılır. Nitrürleme işlemi takriben  $570^{\circ}\text{C}$  de azot ve hidrojen atomları halinde ayrılan, amonyak gazı ile yapılır.

Atomik haldeki azot, çelik yüzeyine yavaş bir şekilde, nüfuz ederek, alüminyum, krom, molibden, tungsten ve vanadyum gibi alaşım elementleriyle birleşerek çok sert nitrürler meydana getirir.

Dişli yüzey sertliği, iki ana unsur yani azot ve çelik içerisindeki alaşım elementleri tarafından sağlanır. Sade karbonlu çelik ile başarılı bir şekilde nitrürleme işlemi yapılamaz.

Nitrürleme işlemi, çeliğin kritik sıcaklığının oldukça aşağısında gerçekleştirilir. Bundan, dişlinin dönüşüm sıcaklığına kadar ısıtılmadığı ve herhangi bir moleküler değişimin meydana gelmediği kastedilmektedir. Dişli yarı mamul malzeme, nitrürleme operasyonundan evvel, en az nitrürasyon sıcaklığına eşit bir sıcaklıkta, temperleme işlemine tabi tutulur. İyi bir şekilde nitrürasyon yapılan dişlide, herhangi bir distorsiyon (çarpıklık) söz konusu değildir. Bu nedenle dişlilere, nitrürasyondan önce nihai makina işçiliği verilir.

Nitrürleme işleminden sonra yapılacak işlem genellikle sadece bakırla elektrolitik olarak kaplanan kısmın bakırını sökmek ve mil yatakları ve delikleri parlatarak istenilen ölçüye getirmekten ibarettir.

Nitrürlenmiş parçanın yüzeyinde zayıf, kırılğan ve nitrürce zengin bir tabaka oluşur. Bu tabakaya dağlandıktan sonra mikroskop altında beyaz bir görünüşe sahip olduğundan "BEYAZ TABAKA" (COMPOUND) adı verilmektedir. Beyaz tabaka kalınlığını mümkün olduğu kadar azaltmak için dişlilere iki kademeli nitrasyon yöntemi uygulanır. Bu yöntemle, beyaz tabaka kalınlığını 0,005 inç veya daha az kalınlıkta muhafaza etmek mümkündür.

İnce bir beyaz tabaka genellikle zararlı değildir. 0.001 inç veya daha fazla kalınlıktaki beyaz tabaka bir takım güçlüklerle neden olabilir. Genellikle kalın beyaz tabakanın kaldırılması için dişliler taşlama veya lepleme işlemine tabi tutulur.

Eğer nitrürasyona tabi tutulan dişliler taşlanacak olursa, taşlama payı çok düşük tutulmalıdır. Yüksek sertlikteki nitrürlenmiş tabaka kalınlığı, karbürlenmiş tabaka kalınlığına kıyasla çok daha incedir. Bunun neticesi olarak, dişlilerin taşlanmasında nitrürlenmiş dişliye uygulanan talaş derinliği, karbürlenmiş dişliye kıyasla çok daha küçük tutulmalıdır. Aksi halde fazla verilmiş bir talaş derinliği nitrürlenmiş dişliyi tahrip eder.

#### 1.2.5. TEMEL UYGULAMA YERLERİ:

- Hassas dişliler aşınmaya mukavemet ve çarpılma olmaksızın 650 mm. dış çapa kadar.

-Hidrolik pompaların parçaları (Aşınmaya karşı mukavemet)

- Fotoğraf ve film makinalarının parçaları (Fotoğraf makinalarının parçaları yağlanmadığından aşınmaya karşı mukavemetli olması istenir.) -40-

- Krank, şaft içten yanmalı motarlarda yüksek yorulma mukavemeti temin eder.
- Dikiş makinaları parçaları (aşınmaya karşı mukavemet)
- Traktörlerin tahrik şaftları (yüksek yorulma mukavemeti çarpılmaya karşı dayanıklılık.)
- Friksiyon kaynak makinaları milleri (yüksek yorulma mukavemeti)
- Bilyalı yataklar (Aşınmaya mukavemet, çarpılma yok)
- Kızak sistemleri.
- Vites kolları yatakları, dişli kolları kılavuzları
- Valflerin şaftları (parçaları)
- Kalıplar, kalıp parçaları, kum kalıplarının değişik parçaları.
- Alemnium ve çelik enjeksiyon kalıpları (Aşırı mukavemet)
- Kontaktörlerin yatakları.

#### 1.2.6. NİTRÜRASYONUN YAPILIŞI

Hazırlık: Nitrürlenecek malzeme fırına verilmeden önce yağ ve benzeri buharlaşma yoluyla fırın atmosferini bozan bulaşıklardan arındırılmış temizlenmiş olması şarttır. Bu amaçla deterjanlı sularla yıkanmasının akabinde ağır kirli malzemelerin ayrıca tiner ve benzeri çözücülerle yıkanması tercih edilir.

Nitrürlenmeyecek yer ve alanlar koruyucu kaplamalarla örtülerek kaplanır. Koruyucu olarak bakır kaplama kullanılır. Bakır ostenitik kristal yapısına sahip olduğundan nitrürasyondan etkilenmez.

**Nitrürlenme:** Nitrürasyon çok yavaş gelişen bir işlem olduğu cihetle gereğinde 18-20-24 saat işlem zamanları gerektirir. Ancak hafif yüklerin söz konusu olduğu parçalarda, örneğin sadece aşınmayı önleyici, kaymayı sağlayıcı yerlerde 3-5 saat arasında dahi yeterli randıman alınabilmektedir. Nitrürasyon süresince amonyak gazının ayrışması ve dolayısıyla açığa çıkan azot atomlarının çelikle teması olduğu cihetle ayrılmış amonyak tesbitinin yapılarak işlem zamanının buna göre tayini gerekmektedir. Ayrılmış amonyak tesbiti için fırından numune alınarak özel ölçekli analiz kabında amonyak (yani parçalanmış amonyak) uygun sıvı içerisinde çözündürülür, eritilir ve buradan ölçülen hacim azalması miktarı hareketle ayrılmış amonyak miktarı bulunur. Nitrürasyonun başarısı için amonyakın yeterli miktarda ayrışması ile gerektiğinde bunun bahsedildiği şekilde ölçülerek kontrolü hazırlanır.

#### 1.2.7. NİTRÜRLENMİŞ TABAKA:

Nitrürasyon sonucu malzemede iki tabaka oluşur:

- Üst Tabaka Beyaz Tabaka (Compound) Tabaka birleşik tabaka
- Nitrürasyon tabaka (Nitrürlenmiş tabaka)

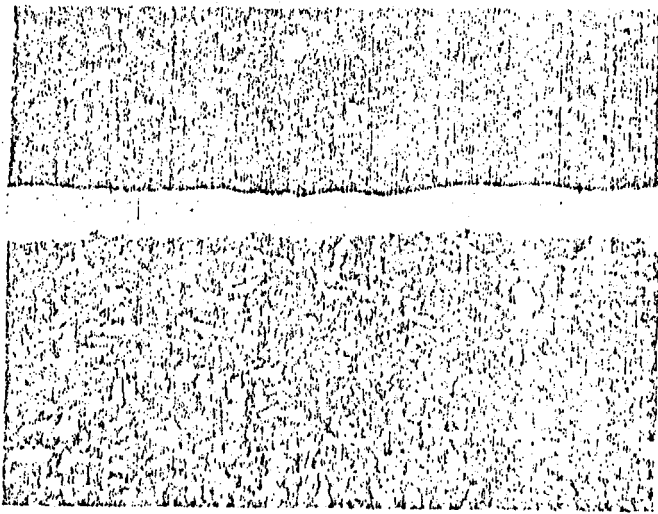
Compound Tabaka (Beyaz Tabaka):

En dışta teşekkül eden, aşırı kırılğan ve sert tabaka prosesin son iki saatinde teşekkül etmekte olup genellikle kalınlık miktarı 15-20 mikron kadardır. Bu kalınlık sıcaklıkla bağıntılıdır. 570°C'de bu sıcaklık 10° artar veya 10° azalır bu tabakanın kalınlığı da değişir. (%40-45)



Nitrürasyon işlemi bir saat olan işlemlerde ise, bu tabakanın kalınlığı 5 mikron kadardır. Beyaz tabakanın sertliği çeliğin cinsine göre değişir. Örneğin, C 15 çeliğinde 700-900 Vickers.

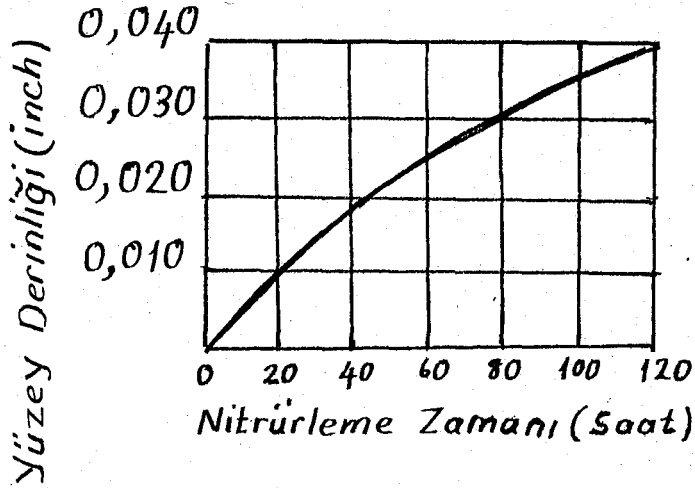
Alaşımli çeliklerde nitrit teşekkül ettiren Cr, W, V, Mo, Ti, Al. olması halinde nitrit teşekkül ettirdiği için bu kez compound sertliği 1100-1300 Vickerse kadar yükselir. Örneğin, sıcak iş çeliklerinde bu tür bir etki görülebilir. Diğer taraftan alaşım elementler nitrojenin derinliğini azaltabilir. Compound tabaka çok sert ve o derecede kırılan bir tabaka olduğundan bazı hallerde istenmez. Bu durum da taşlanarak alınır ya da iki kademeli işlem uygulanarak meydana gelmesi önlenir. Şekil:21 de Compound (Beyaz tabaka) tabaka görülmektedir.



Şekil:21

**Nitrürlenmiş tabaka:**

İçersinde çözülmüş halde azot atomları ihtiva eden tabaka olup miktarı ve dolayısıyla sertlik derinliği, derinliğe indikçe süratle azalır. Bu tabakanın kalınlığı nitrürleme zamanı ile bağıntılıdır. Ve pratik uygulamalarda bu derinlik limitlidir. Zaman olarak 24 saat kadar uzun zaman uygulamalarına rastlanır. Nitrürasyon tabakası derinliğini zamana bağlı olarak Şekil:22 diyagramda görebiliriz.



Nitrürasyon zaman derinlik diyagramı

Şekil:22

**1.2.8. DİĞER NİTRÜRASYON UYGULAMALARI:**

Gaz nitrürasyonu eskiden beri bilinen fakat yeni uygulamaya başlanan bir yöntemdir. Tuz banyosunda da nitrürasyon uygulanan diğer bir yöntemdir. Ancak yapılan araştırmalar gaz nitrürasyonunun tuz banyolarına nazaran daha kontrollü, dolayısıyla etkili (olumlu) neticeler veren bir uygulama şekli olduğunu göstermiştir.

### 1.2.9. NİTRÜRASYONUN AVANTAJLARI:

Genelde nitrürasyon fevkalade sürtünme aşınması mukavemet sağlayan, yorulma ve çentik mukavemetini artıran bir etkidir. Ayrıca 570°C'da uygulanması neticesi malzeme-  
de çarpılma riski çok düşüktür. Bu da iskonto oranını azaltır. Nitrürasyon sonucu tesviye işçiliğinin azalması yönünden önemli bir maliyet avantajı sağlar.

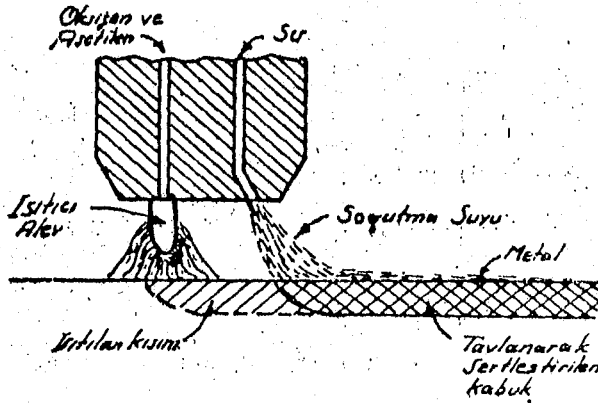
### 1.2.10. NİTRÜRASYONUN DEZAVANTAJLARI:

Nitrürasyon ağır yük şartları altında çalışan parçalarda pek netice vermediği nedeniyle, nitrürasyonun tatbik edildiği alanlar kısmen de olsa sınırlıdır. Bunun dışında nitrürasyon işlemi sırasında malzemenin hacminde bir artış olur. Bunun sonucu olarak çok hassas malzeme ebatları işlem sonrası tolerans dışına çıkarılması söz konusudur. Bu durumun tashihi taşıma işçiliğini gerektirir. Yine en dış tabakada olan compound tabaka (beyaz tabaka) çoksert ve kırılmandır. Bu nedenle istenmez ve gerekirse taşlanarak kaldırılmalıdır.

## 2. YÜZEY BİLEŞİMİNİ DEĞİŞTİRMEYEN YAPILAN YÜZEY SERTLEŞTİRMELER

Alevle yüzey sertleştirilmesi (otojen sertleştirme)  
Bu usulde sertleşebilen çelikten parçanın yüzeyi alevle sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılır ve akabinde ekşeriye su ile ani soğutulur. Isıtma ve soğutma çekirdeğe kadar ilerlemeyecek ve civarda yalnız istenen sertliği meydana getirebilecek bir şekilde olmalıdır. Alev havagazı veya asetilen ender olarak porpan veya hidrojenle oksijen karışımından yapılır.

Alevle sertleştirmede ya bütün yüzey birden ısıtılır ve soğutulur. Veya ısıtılan yüzeyler sürekli soğutulup sertleştirilir ısıtma ve sertleştirmede parça sabit veya döner halde ısıtıcıya ileri geri veya aşağı yukarı hareket eder. Bütün yüzeyin sertleştirilmesi usulü bilhassa küçük yüzeyler için uygundur. Parça şekline göre çeşitli şekillerde olabilir. Şekil:23 bunlardan biri gösterilmiştir. Hattı sertleştirmede hamaç ve duş tertibatı birbirine bağlıdır, ve ısıtmayı müteakip hemen soğutma ve sertleşme olur.



Şekil:23

Mesala: parça ya alevle göre uzunluğuna hareket eder (terside olabilir, parça sabit alev hareket haldedir.) veya parça ayrıca bir dönme hareketide yapabilir.

Alevle yüzey sertleştirmenin semantasyona nazaran faydalı tarafı çekirdek bünyesinin değişmemesidir. Bu özellikten dolayı ıslah edilmiş parçalarda bu usul tatbik edilebilir parçada kısmı yüzey sertleştirmeleri yapılabilir.

Enerji masrafı azdır. Buna mukabil mahzuru ise 1 mm. den az derinlikte sertliğe erişilememesidir.

%0,32-0,65 (0,75) C alaşımsız çeliklerde uygun analizlerdeki dökme çelik temper döküm ve kır döküm çeşitleri alevle sertleştirilebilir. Malzemenin seçimi istenecek yüzey sertliği arzulanan çekirdek özelliğine ve sertleşen kısmın derinliğine bağlıdır.

Alaşım elemanları ise bilhassa sertleşme derinliğine önemli alaşımlılarda 12 mm. ya kadar ulaşır. En az derinlik ise 1,6 ile 2 mm. dir. Derinlik ayrıca ısıtma ve soğutmadaki hareket hızına parçanın ölçülerine tatbik edilen usule ve sertleştirme tesisinin işleyiş tarzına bağlıdır. Özelliği ise çeliğin cinsine ve parçanın kesitine bağlıdır.

## 2.1. ALEVDE SERTLEŞTİRME İŞLEMİNİN YAPILIŞI

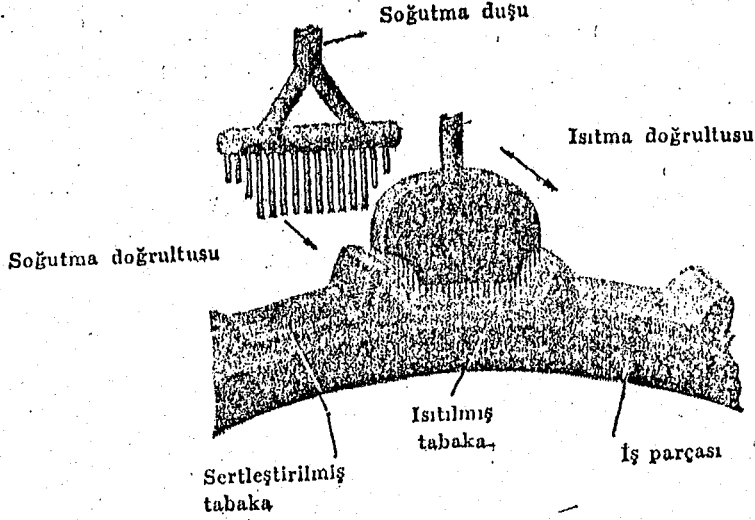
Alevde sertleştirme işleminde, önce, sertleştirilecek olan parçanın sertleştirilecek bütün yüzeyi, sertleştirme sıcaklık derecesine gelinceye kadar ısıtılır, sonra ani olarak soğutulur. Buna yüzey (Kabuk, kılıf) sertleştirilmesi denir; çünkü parçanın yalnız üst yüzeyi ısıtılmış ve soğutulmuştur. İşlemden sonra parça, bir bek alevi yardımı ile ısıtılıp, bunu arkadan izleyen bir düş düzeneği ile çabucak soğutulmaktadır. Bu şekildeki sertleştirmeye, doğrusal veya çizgisel sertleştirme adı verilir; çünkü işlem sırasında parça, bir doğru veya çizgi boyunca ısıtılmış ve soğutulmuştur.

### 2.1.1. PENDEL YÖNTEMİNE GÖRE YÜZEY SERTLEŞTİRME.

Küçük, düzlemsel ve eğrisel aşınma yüzeyleri, kaynak hamlacı (Kaynak beki, şalomesi) ile veya yüzeye uygun biçimdeki profilli bir bek ile salınım hareketi altında düzgün olarak sertleştirme derecesine kadar ısıtılıp, sonra çabucak soğutulur. Şekil:24

Parça sayısı çok fazla olduğu zaman, salınım hareketi makina tarafından oluşturulan düzenekler kullanılır. Yoksa, örneğin, vana iticileri, tesbit civataları (Setuskur), kavrama dişlileri vb. küçük parçalar çoğunlukla elle sertleştirilir. Daha küçük kesitli parçalarda ve yüzeysel biçimlendirme kalıplarında, gerekirse aynı anda iki bek birden kullanılması önerilir.

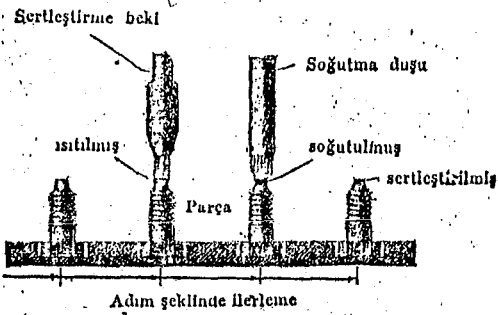
Kısa deliklerde örneğin, zincir baklalarında, alevde sertleştirme yöntemi iyi sonuç verir. Çelik dökümden imal edilen ve işlenmeden kullanılan, tekstil ve kağıt makinelerindeki liflere ayırma pervaneleri de alevde sertleştirilir. Alevde sertleştirmede ısıtma hızı, son derece düzgün olarak ayarlanabilir ve büyük sertlik derinliğine kolayca ulaşılabilir. Krank milleri ile hareket ileten millerin mayluları, daha çok yan taraftan etkileyen bekler ile, mayluyu çepeçevre saran duşu bulunan düzeneklerle soğutulularak sertleştirilir. Bu gibi durumlarda Pendel bekleri yerine, dairesel (Şekman şeklinde) beklir iyi sonuç verir.



Şekil:24 Pendel yöntemi ile zincir dişlisinin sertleştirilmesi

### 2.1.2. ALIN YÜZEYLERİN SERTLEŞTİRİLMESİ

Dar yüzeylerin sertleştirilmesinde, bekin sertleştirilecek yüzey üzerinde, salınım hareketi yapmadan sabit olarak tutulması gerekir. Bu yöntem, diğer sertleştirme yöntemlerinin başarılı olmadığı karışık şekilli parçaların sertleştirilmesinde iyi sonuç verir.



Şekil:25 Baskı civatalarının uçlarının sertleştirilmesi



Şekil:26 Manivelanın sertleştirilmesi

Isıtıcı beki sabit olan ilkel aygıtlar, çalışma koşullarını çok kolaylaştırır. Örneğin, makas bıçakları, yan keskiler, ısıtıcı bekin önünde elle tutularak sertleştirilir. Eğer iş parçası için bir destek kullanılırsa, sertleştirilecek olan yüzeyin alevden gerektiği kadar uzakta (önde veya altta) tutulması kolaylaşır. Şekil:26 daki manivela bu şekilde sertleştirilmektedir. Bu yöntem, üretimde otomasyon uygulanmasına olanak verir.

### 2.1.3. İŞ PARÇASINI ÇEVREDEN ISITILAN YAPILAN SERTLEŞTİRME

Millerin yataklar içinde kalan kısımları (Muyulular), pimler, pernelar ve miller dönme hareketi verilerek sertleştirilir. Bu yöntemde önce, milin sertleştirilecek olan muyu kısmının uzunluğunda ve onu çepeçevre saran birbek hazırlanır. Mil düzgün ve sürekli bir dönme hareketi yaparken, muyunun üst yüzeyi sertleştirme sıcaklığına kadar ısıtılır. Alevin parçaya dik gelmesi ve alev özünün olabileceğince parçanın yüzeyine yaklaşabilmesi için, bekin parçayı yakından izlemesi, fakat asla dokunmaması gerekir. Alev doğru ayarlanırsa bu aralık, 5-6 mm. arasında olur.

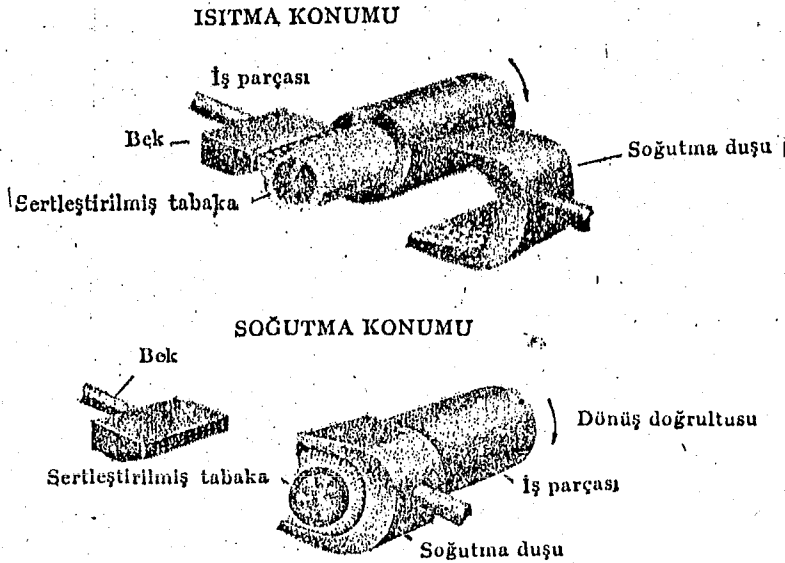
İş parçasına 120 ve 180 derecelik açılar altında etkileyen ikili bekler kullanılırsa (Şekil:28), ısıtma süresi ve enerji tüketimi, aynı güçteki tek bekli donatılardakinden %20-30 kadar daha az olur. Bu usulde, ısı alışverişi çok az olduğundan, yüzeydeki sertlik derinliği az ve çekirdekteki sıcaklık düşmesi oldukça çok olur. Büyük çaplı iş parçalarında, bütün yüzeyi örten bir alev halkası elde edebilmek için, üçlü veya daha çoklu bekler tercih edilir. Böylece parçaların üst yüzeyinde yanma olayları engellenmiş olur.



Sertleştirilecek olan iş parçasına verilecek olan dönme sayısı, iş parçasının çapına göre ençok 80-120 Dev/dak. arasında değişir. Buna karşılık, iş parçasının çevresel hızı 10 m/dak nın altında olmamalıdır. Yalnız çevresel sertleştirmede özel olarak, kademesiz bir devir sayısını değiştirme usulü düşünülebilir.

Isıtma süresi, ısıtıcının gücüne, iş parçasının çapına, sertleştirme sıcaklığına bağlı olarak değişir. Büyük parçalar için, oldukça güçlü ısıtıcılar gerektiğinden, bu yöntem, uzun yıllar ancak büyüklükleri sınırlı olan parçaların yüzeylerinin sertleştirilmesinde kullanılabilmektedir.

Bugün gaz ve sıvı yakacaklar kullanılarak, büyük enerjiler kolayca sağlanabildiğinden, daha büyük çaplı iş parçalarını sertleştirme olanağı bulunabilmiştir. Bu amaçla, 1500 mm. çapında ve 300 mm. genişliğindeki iş parçalarını sertleştirmek için, 3.000.000 Kcal/saat gücündeki yüzey sertleştirme makineleri seri olarak üretilmektedir.

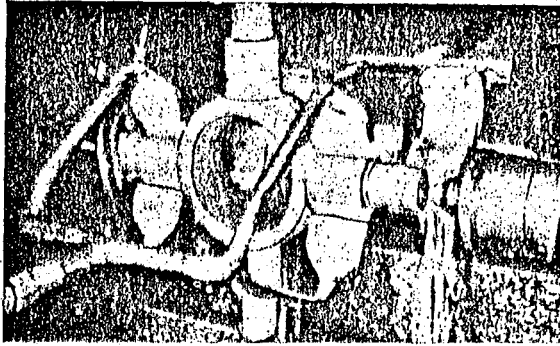


Şekil:27 Çevreden ısıtılarak yapılan sertleştirme

- 1- İşlem: Dönmekte olan milin muylu kısmının bekle ısıtılması
- 2- İşlem: Sertleştirme sıcaklık derecesine kadar ısıtılan muylunun, bek geri çekilir çekilmez bir düş aracı ile soğutulması.

Sertleştirilecek parçaların, yükleme yerinden ısıtma yerine ve oradan da soğutma yerine iletilmesi sırasında, mıknatıslı vanalar araca ile, enerjinin veya soğutma sıvısının akımı otomatik olarak ayarlanır.

Sertleştirme otomatlarının iyi yönü, bir çok muylunun aynı anda sertleştirilebilmesi ve her iş parçası için belli zaman aralıklarında birbirini izleyen, ısıtma, soğutma ve iş parçasının değiştirilmesi gibi işlemlerin, otomatın ayrı istasyonlarında aynı anda yapılabilmesidir. Otomatlarda işlem süresi, yalnız ısıtma zamanına bağlı kalmış olur. Bu da parça çapının her bir mm. si için, yaklaşık olarak 0,5-1,0 saniye alınabilir. Yalnız büyük fatüralı veya yanaklı iş parçalarında, örneğin, krank millerinde bu süre, aranan sertlik derecesine ulaşılacak şekilde ayarlanır.



Şekil: 28

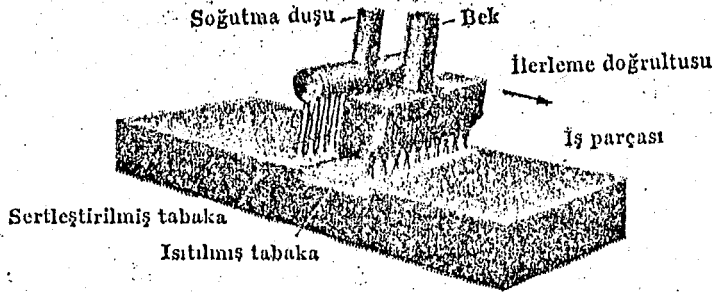
Cevreden ısıtma yönteminin uygulanması ile ilgili bir örnek. Burada, diferansiyel kroyzun (Haç şeklinde) aynı eksen üzerindeki yatak-lama kısımları (muyluları) aynı anda sertleştiriliyor.

#### 2.1.4. İLERLEME YÖNTEMİNE GÖRE ÇİZGİSEL SERTLEŞTİRME

Bu yöntem daha çok düzlemsel yüzeylerin sertleştirilmesinde kullanılır. Bu yöntemde soğutucu duş, dolaylı olarak ısıtıcı beki izlediğinden, sertleştirme yalnız dar bir yüzeyde olur. Zira yalnız bu kısım sertleştirme sıcaklığına erişir. (Şekil:29) Isıtıcı alevin özü, parça yüzeyine dokunmamakla beraber, olabildiğince yakın tutulmalıdır. Bu amaçla bek, iş parçasına 5-6 mm. ye kadar yaklaştırılabilir. Özellikle şu noktayı göz önünde bulundurmak gerekir: Eğer bir yüzeyin tamamı sertleştirilecekse, bekin ısıtma boyunun biraz kısa tutulması, bu amaçla da alevin her iki kenardan 2-3 mm. kadar uzak tutulması iyi sonuç verir. Buna karşılık, eğer yüzeyin yalnız belli bir kısmı, şerit şeklinde sertleştirilecekse, o zaman bek alevinin yan taraflarda 3-4 mm. kadar taşması gerekir. Yoksa yan taraflarda ısının yayılması yüzünden, sertleştirilen şerit daha dar olur.

Sertleştirme başlangıcında, parça yüzeyinin sertleştirme sıcaklığına kadar ısınması için, bek, parça üzerinde kısa bir süre sabit tutulur. Bu ilk ısıtma süresi, nadiyen 10 saniyenin üstünde olur, çok defa daha kısa sürer. Eğer parça sonuna kadar sertleştirilecekse, bekin, parçanın sonuna doğru gittikçe yavaşlıyacak şekilde hareket etmesi gerekir. Böylece parça kenarının aşırı derecede ısınarak, soğumadan sonra çatlaması veya pul pul dökülmesi önlenmiş olur. Duşun parçanın en uç kenarını da soğutabilmesi için, bekin parçadan yeteri kadar uzaklaşması gerekir. Bu çalışma şekli, en çok dişli çarkların sertleştirilmesinde iyi sonuç verir.

Esas olarak sertleştirme, yatay veya düşey doğrultuda yapılabilir, bütün yüzeyleri sertleştirilecek parçanın daha iyi gözetlenebilmesi bakımından, düşey olarak tutulması gerekir. Örneğin, demiryolu raylarında, briket kalıplarının pres zimbalarında v.b. işlerde bu şekilde hareket edilir.



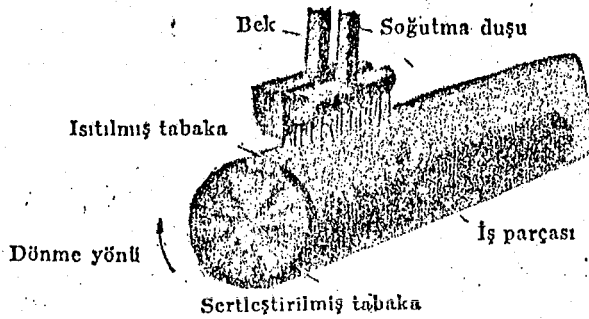
Şekil:29 İlerleme yöntemiyle sertleştirme

#### 2.1. 5. İŞ PARÇASINA DÖNME HAREKETİ VERİLEREK YAPILAN SERTLEŞTİRME

Büyük çaplı parçaların bu yöntemle sertleştirilmesinde, iyi sonuç alınır. Şekil:30 da görüldüğü gibi, bekin ısıttığı yüzey, onun hemen yakınındaki duş tarafından soğutulur. Bu usulde, sertleştirilen bölgenin başlangıç ve bitiş noktalarında, aşırı derecede ısınma olduğundan bu kısımların daha sonra meneviş yapılarak normalleştirilmesi gerekir. Bu elverişsiz durumu zararsız bir ölçüye indirebilmek için, bekin hemen arkasına soğutma duşu yerleştirilmiştir. Böylece bekin alevi, duşun suyunu sürekli olarak ittiğinden sertleştirme için gerekli olan en uygun soğutma şekli elde edilmiş olur. Bu işlem yapılırken gereçlerin meneviş gevreklikleri özellikle göz önünde tutulur.

Bu amaçla alevin ilerleme hızı milimetrik olarak ayarlanır. Böylece kayış kasnakları, vinç tekerleri, takım tezgahları ile paketieme makinalarında kullanılan iletme parçaları, kamlar v.b. parçaların yüzeylerinin alevde sertleştirilmesinde bu yöntem oldukça geniş bir şekilde kullanma alanı bulur.

Sertlik derinliğinin daha çok olaması gereken durumlarda, donatıma ek olarak bir ön ısıtma (tavlama) beki konur. Bu ön tavlama beki ile sertleştirme bekinin hareketi o şekilde ayarlanır ki; önce yalnız ön tavlama beki çalışır, sertleştirme beki ise, ancak tavllanmış bölgeye ulaşınca çalışmaya geçer. Böylece sertleştirme işlemi başlayıp, parçanın bütün çevresinde devam eder. Bu sırada sertleştirilmiş olan bölgenin korunması için, ön tavlama beki ile birlikte önde hareket eden bir duş daha kullanılır. Ön tavlama beki, sertleştirilmiş olan bölgeye gelir gelmez, önde giden bu duş otomatik olarak harekete geçer. Aynı şekilde sertleştirme beki de, sertleştirilmiş bölgenin başında söner. Parçanın hareketi ise, sertleştirme bekinin duşu, sertleştirme bölgesinin sonuna gelince kendiliğinden son bulur.

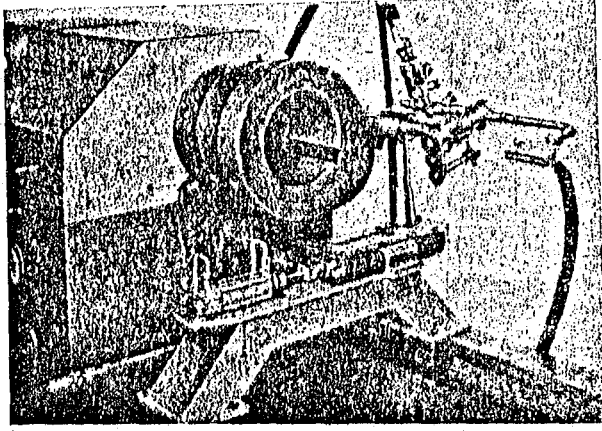


Şekil:30 Döner Hareketle Sertleştirme

Ön tavlama beki bulunan donatılar, büyük yüzey sertlikleri elde etmede veya yüksek hızlarla çalışmada çok iyi sonuçlar verir. Genellikle büyük çaplı tekerlerin sertleştirilmesi bu yolla yapılır. Aşınmaya karşı çalışan parçaların uzun ömürlü olması için, sertliklerinin yüksek olması zorunludur. Bu gibi durumlarda çevreden sertleştirme yöntemi büyük önem kazanır. Bununla beraber parçayı çevre saran alevli beklerle yapılan çevresel sertleştirmeye karşın daha geride kalır.

Alın dişlilerde, alın yüzeylerinin sertleştirilmesi, düz yüzeylerin alevde sertleştirilmesi gibi yapılır. Dişlerin yan yüzeylerinin sertleştirilmesinde, açısız hız farkının göz önünde tutulması gerekir. Bunun için ya yanma kesiti dışarıya doğru genişletilir, yahutta bekin iş parçasından olan uzaklığı içe doğru büyütülür.

Sayıları çok fazlaolan büyük kavisli parçalar ile, ayar ve iletme çubukları, kızaklar yardımı ile sertleştirilir. Bekler, amaca göre, yay veya manyetik kuvvetlerle makaralar üzerinde sertleştirilecek olan iş parçasına doğru itilir. Kavisleri düşey konumda olan, diğer bir deyişle yatayla eğimi 25 dereceden çok olan parçaların sertleştirilmesinde, alev huzmesinin sertleştirilecek olan parçaya her an dik olarak yaklaşabilmesi için, parçanın veya bekin hareketli olarak bağlanması gerekir. Şekil:31 de büyük kamların alevde sertleştirilmesinde kullanılan bir kopya donatımı gösterilmiştir.



Şekil:31 Bir gemi dizel motoru kamınının, şekil:16 da görülen yatay sertleştirme makinasında, kopya donatımı kullanılarak, alevde çevreden sertleştirilmesi.

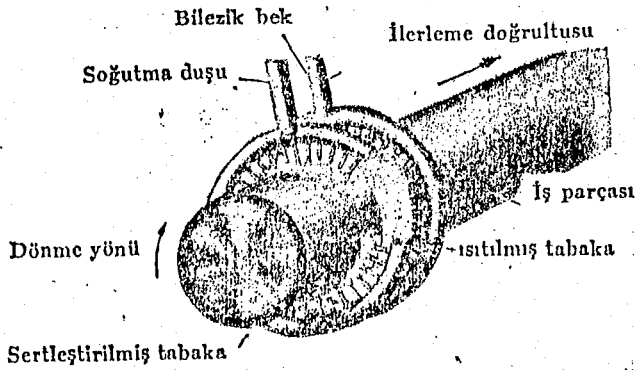
#### 2.1.6. İŞ PARÇASI DÖNERKEN, ÇEVREDEN ISITAN BEKİN, PARÇA EKSENİ DOĞRULTUSUNDA İLERLETİLMESİYLE YAPILAN SERTLEŞTİRME.

Boyu çok uzun olan millerin sertleştirilmesinde, halka veya sekman şeklindeki bekler ve bunlara bağlı duşlar kullanılır. İşlem sırasında, bek ile duş, dönme hareketi yapan milin çevresini sarar ve mili bir ucundan diğer ucuna kadar düzgün doğrusal bir hareketle izler. Böylece mil üzerindeki tek ilerleme hareketinde, sertleştirme işlemi tamamlanmış olur. (Şekil:32)

Sekman şeklindeki bekler, bilezik şeklindeki beklerden daha elverişlidir. Çünkü bilezikli beklerde, mil sertleştirme boyunca bekin içinde kaldığı halde; sekman beklerin istenildiği zaman milden kurtarılarak dışarı çıkarılması mümkündür. Bunu nla beraber, bilezikli beklerin çalışma alanı sekman beklerinkinden daha geniştir.

Bilezikli beklerde, en küçük mil ile en büyük mil arasındaki fark, 75 mm. ye kadar çıktığı halde; sekman beklerde bu fark 25 mm. yi geçmez. Kısacası, her iki usulde de, az sayıdaki bekle çok çeşitli sertleştirme olanağı vardır. Dolu millerde durum daima aynı kaldığından, ilerleme hızı daha yüksek seçilebilir. Çevreden ısıtılan beklerle yapılan sertleştirme yöntemleri, 20-1500 mm. çapındaki millerin kusursuz olarak sertleştirilmesine olanak verir. Deliklerin sertleştirilmesinde en küçük iş çapı (Delik çapı), 25 mm. kadardır. Daha küçük çaplı deliklerin sertleştirilmesinde kullanılan beklerin ömrü, özellikle sertleştirme boyu çok uzun olduğu zaman, oldukça kısa olur.

Bu yöntemle iş parçalarının içten veyadıştan güvenli olarak sertleştirilmesi için, et kalınlığının 5 mm. den az olmaması gerekir. Her iki yüzdeki sertlik tabakasının kalınlığı yuvarlak olarak 2,5 mm. ye ulaşınca parçanın çekirdek kısmı da oldukça dayanıklı bir yapıya kavuşur.



Şekil:32 Bir milin bilezik şeklindeki bekle çevreden ısıtılmak suretiyle alevde sertleştirilmesi.



### 2.1.7. SERTLEŞTİRME YÖNTEMİNİN SEÇİMİ

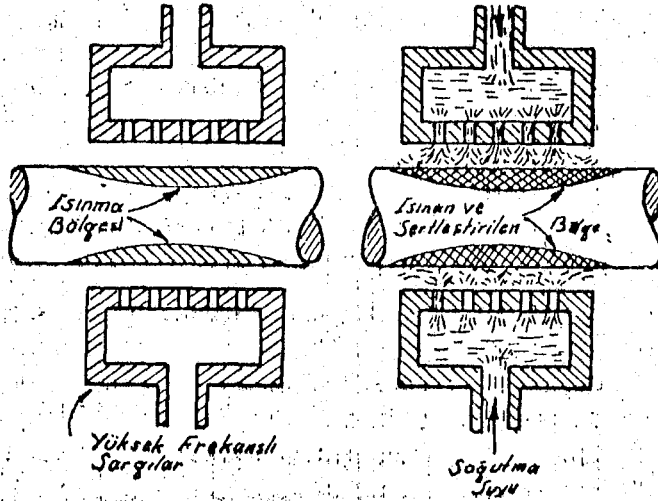
Rastgele bir seçimle en uygun yöntemin saptanması güvenli olmaz. Örneğin, kanalları düz olan kamalı bir milde, dış üstü çapı ile dış dibi çapı arasındaki fark az olduğu zaman, çevreden sertleştirme ile sonuca en kolay olarak ulaşılır. Buna karşılık, kanalları daha derin olan kamalı millerde, dış üstü çapının daha çok ısınarak kolayca bozulmasını önlemek amacı ile, çevreden doğrusal (çizgisel) sertleştirme yöntemi tercih edilir. Pratikte her iki yöntemle gecikmesiz bir sertleştirme yapılabilir. Pratikte her iki yol aynı derecede başarılı olarak kullanılmaktadır. Kamalı göbekler için, de aynı sonuç geçerlidir. Çevreden dairesel sertleştirme yöntemi, çevreden doğrusal sertleştirme yöntemine karşılık, otomatik çalışmaya daha elverişli olduğundan büyük parça sayıları için, çevreden dairesel sertleştirme tercih edilir. Bu yöntemde bekin toplam enerji tüketimi artmakla beraber, parça başına düşen tüketim değişmez.

### 2.2. İNDÜKSİYONLA YÜZEY SERTLEŞTİRME:

İndüksiyon sertleştirmesinde bobin yardımı ile magnetik alternatif alan elde edilir. Buda parçada indüksiyon akımı yaratır ve çok çabuk bir şekilde sıcaklık artması meydana getirir. Isı içe nüfus etmeden civarda kalır ve kolaylıkla daha küçük sertlik derinliklerini (abvli sertleştirmeye nazaran) temin etmek mümkün olur.

Sertleştirmederinliği frekansa bağlıdır. Frekans ne kadar yüksek olursa akım nüfusu o kadar az olur.

0,5 ile 10 KHz. lik orta frekanslar 1 mm. üzerindeki sertleştirme derinlikleri için ve 50 KHz. ile 10 Hz. yüksek frekanslarda 1 mm. den aşağı (1/10 mm) sertleştirme derinlikleri için uygundur. (Isınma bir kaç saniye hatta saniyenin bölümlerinde meydana gelir.) Diğer hususlar alevle sertleştirmedeki gibi olur. Faydaları yanında mahzurları da vardır. Tesis masraflarının yüksek oluşu ve karışık parçalarda zor nüfus edilecek yerlerdeki sertleştirmelerin yapılabilmesindeki zorluklar gibi.



Sekil:39

### 2.3. DALDIRMA SERTLEŞTİRMESİ

Burada da gaye parça 1000-1200 sıcaklıkta bir metal veya tuz banyosuna daldırarak çekirdek kısmında özelliğe tesir edecek bir değişme meydana gelmeden cidarda sertleştirme husule gelebilmesidir. Metal banyolar (mesela eriyik haldekibronz iyi ısı iletkenliklerinden daha çabuk ısıtmayı mümkün kılmaktadır).

Daldırma zamanı parça büyüklüğüne göre birkaç saniyeden iki dakikaya kadar sürer. Islah edilmiş çeliklerde tatbik edilebilir. Alev veya indüksiyon sertleştirmesine nazaran faydası masrafı ve enerji sarf masraflarının düşük olması ve zor parçalara da tatbik edilebilmesidir. Buna karşılık sertleştirme durumu (kesite intikali) o kadar iyi değildir.

K A Y N A K L A R

- "Çeliğin Sertleştirilmesi Ve Islahı"  
(Hugo HERBERS)  
Çeviren: A. Oğuz RECEPOĞLU
- "Malzeme"  
Galip BAYDAR
- Asil Çelik Teknik Yayınları
- "Alevde Sertleştirme"  
Dr. Müh. Hans Wilh GRÖNEGRESS
- "Malzeme"  
Halil KAYA
- Demirsah ÇALIŞKAN  
Ders Notları
- Fehmi YILDIZ  
Ders Notları

MARMARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ