

Yüzey Sertleştirme Teknikleri

12. hafta

Yüzey sertleştirme işlemleri

Yüzey sertleştirme işlemleri iki ana gruba ayrılır:

A) Termal işlemler: iş parçasının sadece yüzeyine yönelik işlemler uygulanır. Çelik yüzeyinde bileşim değişimi olmaz; yüzey sadece faz dönüşümü ile sertleştirilir. İş parçalarının yüzeyi ostenit sıcaklığına ısıtılır ve yüzeyde ostenit dönüşümü sağlandıktan sonra (bu çok kısa bir zaman diliminde gerçekleşir) su verilerek yüzey martensit haline dönüştürülür. Yüzey sert, çekirdek ise nispeten yumuşak olur. Örnek olarak, krank muyluları bu şekilde sertleştirilir. Termal işlemler alevle, indüksiyonla, lazerle, daldırma ile uygulanabilir.

Yüzey sertleştirme işlemleri

B) Termokimyasal işlemler: Bu durumda, hem çeliğin yüzey bileşimi değiştirilir, hem de ısı işlem uygulanır. Bu durumda da yüzeyi sert ve çekirdeği nispeten yumuşak bir yapı elde edilir. Bu tür yüzey işlemi uygulamalarında, iş parçasının mutlaka yüzey bileşiminde kimyasal değişiklik olur. Bu değişiklikten önce veya sonra ısı işlem uygulaması yapılır. Dişlilere ve ekstrüzyon kalıplarına bu tür yüzey sertleştirme işlemleri uygulanır. Karbürleme, nitrürleme, nitrokarbürleme (ferritik-ostenitik) ve borlama termokimyasal yüzey işlemlerindedir.

Yüzey Sertleştirme

- Türbin kanadı, dişliler, miller, rulmanlar ve kam milleri gibi metal parçaların yüzeylerini sertleştirmek normal olarak dört yoldan biri ile mümkün olur:
- Fırında sertleştirme (elektrik veya gaz)
- Termokimyasal metotlar (karbürleme veya karbonitrasyon-carburizing/carbon-nitriding)
- Elektriksel indüksiyon
- Alevle sertleştirme (flame hardening)

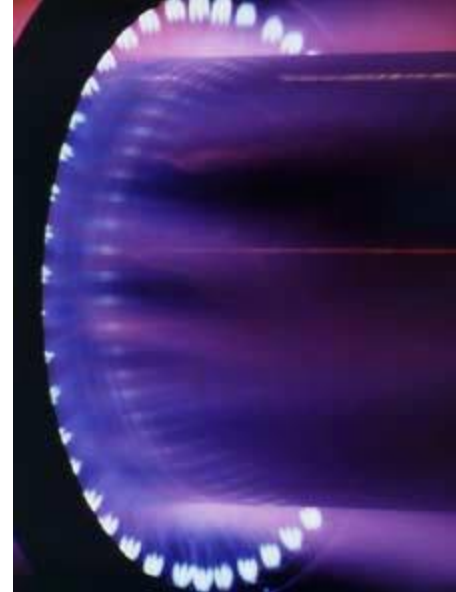
Yüzey sertleştirme işlemleri

- Tüm yüzey sertleştirme işlemleri iki ana maksatla uygulanır:
- Sertliği ve aşınma direncini artırmak,
- Yorulma direncini artırmak (yüzeyde basma gerilmeleri oluşturmak suretiyle)

Bunlar dışında, korozyon direncinde de artış sağlanabilir.

Alevle yüzey sertleştirme

- **Alevle Sertleştirme:** Yüksek yoğunluklu bir oksijen-asetilen alevi iş parçasının seçilmiş bir bölgesine uygulanır. Sıcaklık ostenit dönüşüm bölgesine çıkıncaya kadar yükseltilir. ‘Doğru’ sıcaklık, operatör tarafından çeliğin rengine göre tecrübe ile belirlenir. Isı transferi kullanılan torka bağlıdır ve iç kısım asla yüksek sıcaklıklara ulaşamaz. Isıtılan bölgeye arzu edilen sertliği kazandırmak için su verilir. Temperleme ile gevreklik ortadan kaldırılır.
- Sertleşme derinliği ısıtma zamanı arttıkça artar. 6 mm’ye ulaşan kabuklar elde edilebilir. Normal olarak bir fırına giremeyen büyük parçaların yüzeylerini bu yolla sertleştirmek mümkün olur.



Alevle yüzey sertleştirme

- Temel olarak dört farklı teknik vardır:
- Durağan alevle sertleştirme
- İlerleyen alevle sertleştirme
- Dönerek sertleştirme
- Karışık sertleştirme

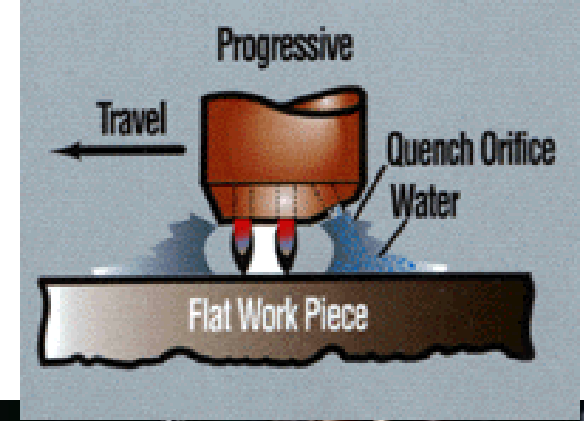
Alevle yüzey sertleştirme

- **Durağan alevle sertleştirmede** spesifik bir bölgenin ısıtılmasını gerektirir. Sonra, parçaya su verilir. Bu metot özellikle mil uçları, özel çelik döküm konfigürasyonları ve büyük parçalar için uygundur.



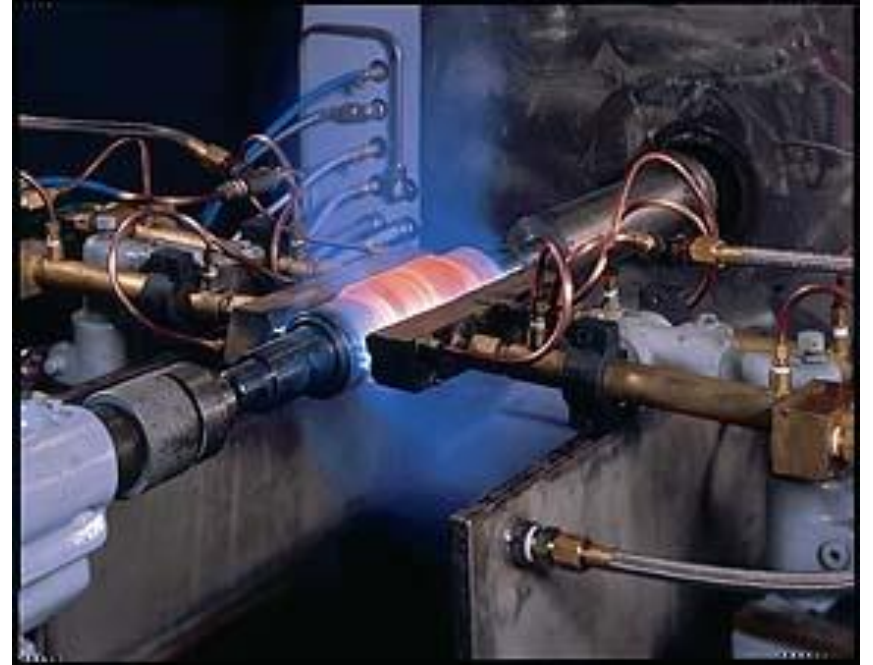
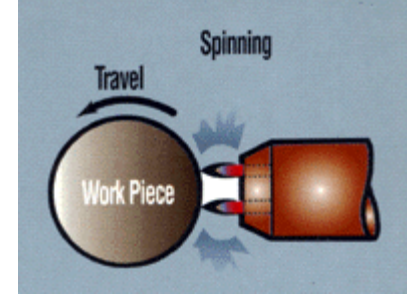
Alevle yüzey sertleştirme

- İlerleyen alevle sertleştirme
- Su verme sistemine sahip bir alev başlığı içerir. Isı / su verme başlığı hareketlidir.
- Parça boyunca hareket eder.
- Isı / su verme başlığını hareket ettirmek için çeşitli araçlar kullanılır.

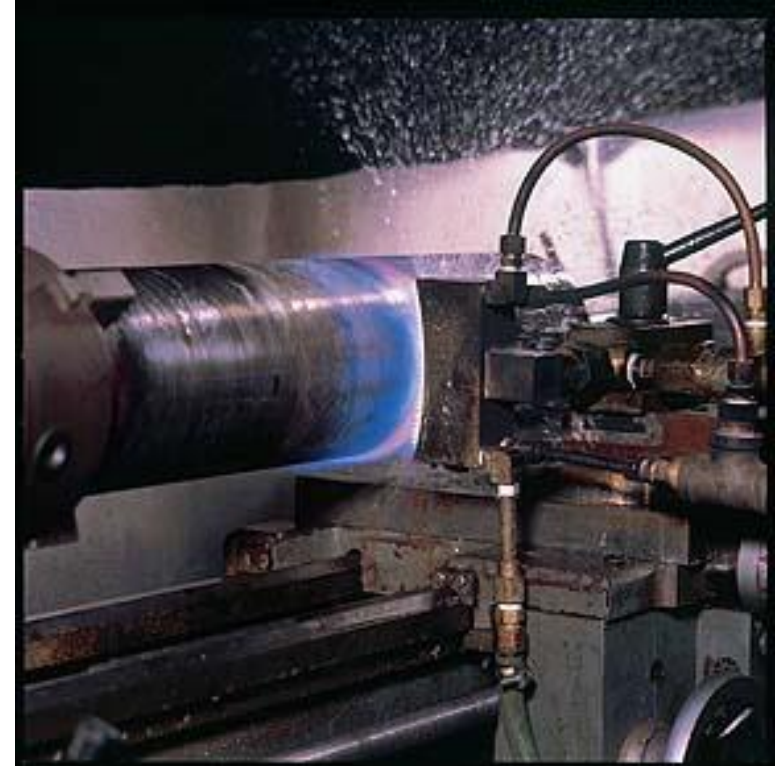
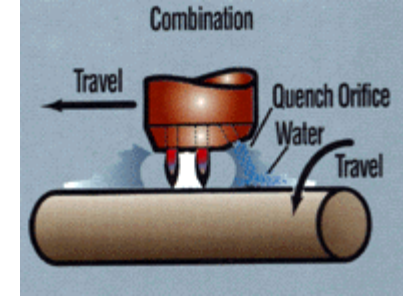


Dönel alevle sertleştirme

Spin alev sertleşmesi, belirlenen alanda alev başlıklarının önünde döndürülmesi uygulanır. Daha sonra ise parça su vermek için alınır. Bu yöntem özellikle dişliler ve tekerlekler için çok uygundur.



- **Karışık –kombine alevle sertleştirme**
- Kombinasyon alevle sertleştirme, ilerleyen ve dönen yöntemlerin birleşimidir.
- İşlem görmüş olan kısım alev / söndürme kafalarının önünde döner ve aynı zamanda alev / su verme kafalarının parça uzunluğu boyunca hareket eder.
- Bu yöntem milleri sertleştirmek için idealdir.



Alevle sertleştirilen çelikler

- **1045** 45-55HRc
- **4140/709M** 50-60HRc
- **4340** 50-60HRc
- **EN25** (0.30% C) 45-55HRc
- **EN26** (0.40% C) 55-60HRc
- **XK1340** (0.40% C). 45-55HRc
- **K245** (0.65% C). 55-65HRc

İndüksiyonla Yüzey Sertleştirme

- Sertleştirilecek parçanın çevresine, yüksek frekanslı akımla beslenen bir indüksiyon bobini yerleştirilir ve parçada indüklenen frekans arttıkça yüzeye yakın kısımlarda yoğunlaşan girdap akımlarına malzemenin gösterdiği direnç nedeniyle bu bölgeler ısınır.

- Sertleşen tabaka kalınlığı

$$\delta \approx \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu}}$$

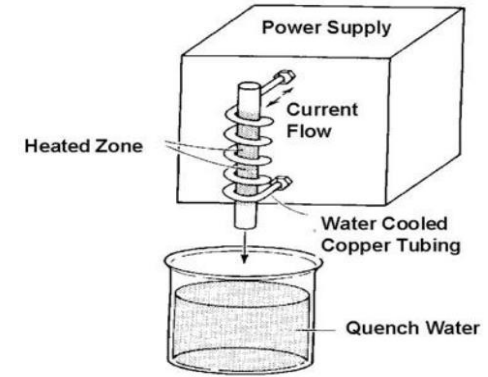
- ρ : Malzemenin özgül elektrik direnci
- f : Uygulanan frekans
- μ : Malzemenin manyetik geçirgenliği

Yöntemde ısıtma süresinin kısalığı, çarpılma, çatlama ve tane irileşmesi olasılıklarını azaltır.

Yöntem kolay ve kesin olarak kontrol edilebilir, otomasyona çok elverişlidir. Ancak, yatırım masrafı yüksektir.

Ekonomik bir üretim için, parça sayısının fazla olması gerekir.

İşlem sırasında ısının çekirdeğe kadar ulaşmasını önlemek yani çekirdeğin sertleşmesini önlemek için çelik içine ısı geçişini yavaşlatan Cr, Ni gibi elementler ilave edilmelidir.



Daldırma Yöntemi ile Yüzey Sertleştirme

- Özellikle karmaşık şekilli parçaların yüzey sertleştirilmesi için kullanılan yöntemdir.
- Parça, çok yüksek sıcaklıktaki sıvı banyosuna daldırılarak, öngörülen kalınlıktaki yüzey tabakası ostenitleme sıcaklığına gelinceye (ostenitleninceye) kadar uygun bir süreyle bekletilir. **Isının yüzeye yığılmamasını sağlamak amacıyla, ısı iletim katsayısı yüksek olan sıvılar kullanılır (örneğin Sn bronz banyosu).**
- Sıcak banyodan çıkarılan parçaya su verilerek, yüzey sertleştirilir. Sıvı banyosu, metal banyosu yanı sıra, erimiş tuz banyosu da olabilir.
- **Yöntemin alev ya da indüksiyonla yüzey sertleştirmeye göre önemli üstünlükleri :**

Girintili-çıkıntılı, karmaşık biçimli parçalar için uygun olması,
Ek donanım ihtiyacı duyulmaması,
Yatırım maliyetinin düşük olması,
Üretim hızının yüksek, bu nedenle ekonomik olması.

- **Dezavantajları:**

Sertleşen tabaka kalınlığının ayarlanması ve özellikle yeter ölçüde küçük tutulmasının zorluğu,
Metal banyolarının parça yüzeyine yapışması,
Tuz banyoları kullanımında ise yüzeyde karbon azalmasının meydana gelmesi.

Elektron Bombardımanı ve Lazer Yöntemi ile Sertleştirme

- **Elektron bombardımanı ve lazer yöntemi ile sertleştirme ; yeterli karbon içeren çelikler ile düşük alaşımlı çeliklere uygulanır. Diğer bir deyişle sertleşebilir çeliklerin sertleştirilmesi için uygun yöntemlerdir.**
- Elektron bombardımanı ile sertleştirmede vakuma gereksinim vardır.
- **Lazer ile sertleştirme yönteminde ise vakuma ihtiyaç yoktur ve sertleştirme işlemi kullanılan gaz ile yapılabilir.**
- **Yöntemin sakıncaları:**
Cihaz ve ekipmanlar pahalıdır.
Düşük alaşımlı çelikler için uygulanabilir.

Karbürleme

Karbürleme (Sementasyon-Carburizing)

- En çok kullanılan termokimyasal işlemlerden biridir.
- Esas olarak, düşük karbonlu alaşımsız veya az alaşımlı çeliklere uygulanır.
- Çeliğin yüzeyine karbon difüzyonu esasına dayanır
- Bazı uygulamalarda karbonla birlikte azot difüzyonu da yapılır (karbonitrasyon)

Karbürleme

- İş parçalarının ostenit faz bölgesinde (900-930°C civarında) karbon verici bir ortamda tutulması şeklinde gerçekleştirilir
- Ortamdaki karbon, hangi ortam kullanılırsa kullanılsın, atomik hale geçirilerek çelik yüzeyine difüze olması sağlanır
- Difüzyon ile gerçekleştiği için, işlem uzun zaman alabilir
- Kabuk kalınlığı istenirse 2-3 mm olabilir
- Karbonitrasyon uygulamalarında kabuk kalınlıkları daha incedir
- Karbonitrasyon uygulamalarında işlem sıcaklığı da bir derece daha düşüktür (850-900°C gibi)

- Yüzeydeki karbon bileşimi %0,7-0,8 gibi olabilir.
- Daha yüksek karbon içerikleri arzu edilmez.
- Çekirdek ise karbon difüzyonundan etkilenmez, orijinal karbon içeriği (0,2 gibi) korunur.
- Karbürleme işleminden sonra ısıtma işlemi uygulanır ve yüzeyde martensit tabakası elde edilir.
- Çekirdek karbonlu çeliklerde ferrit-perlit, az alaşımlı çeliklerde beynit olabilir.
- Yüzey sertliği 62-64 HRc olabilir.

- Yüzeyi yüksek karbonlu ve martensit sertliğine sahip (kabuk) çekirdeği ise yumuşak ve tok bir malzeme elde edilir
- Isıl işlem karbürlemeden sonra yapılır
- Sertleştirmeden sonra bir düşük sıcaklık menevişi iyi olur veya sertleştirme sıcak banyoda yapılırsa meneviş gerekmez

Karbürleme

- Yüksek sertlik
- Yüksek aşınma direnci
- Yorulma direnci

Distorsiyon ve kalıntı ostenite dikkat edilmelidir.

Karbürleme

- Katı ortamda (katı veya kutu karbürleme)
- Ergimiş tuz banyosunda
- Gaz ortamında
- Vakum ortamında
- Plazma (iyon) karbürleme
şeklinde gerçekleştirilir

Pack carburizing

Heat to carburizing temperature
(above the transformation temperature)

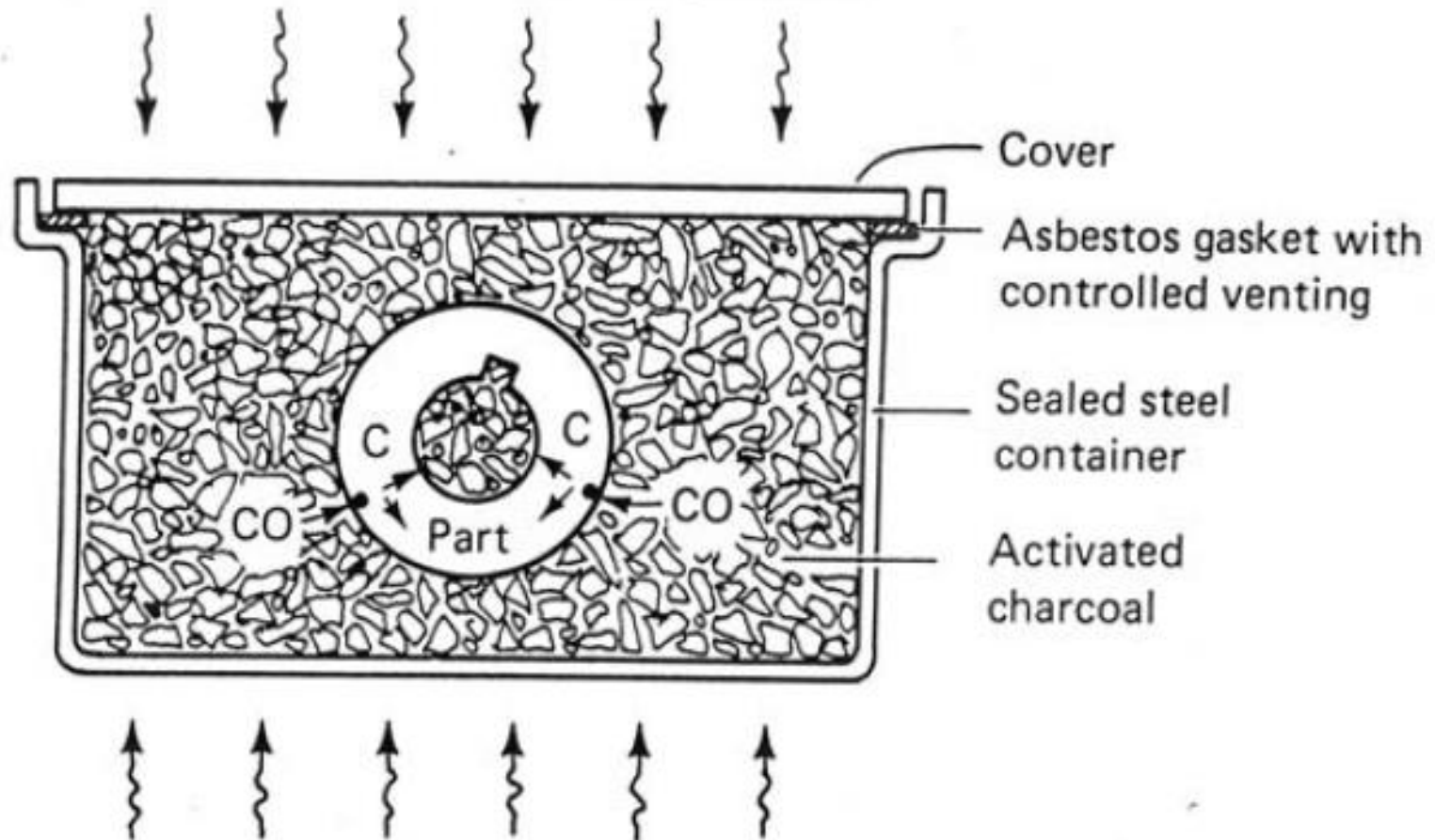
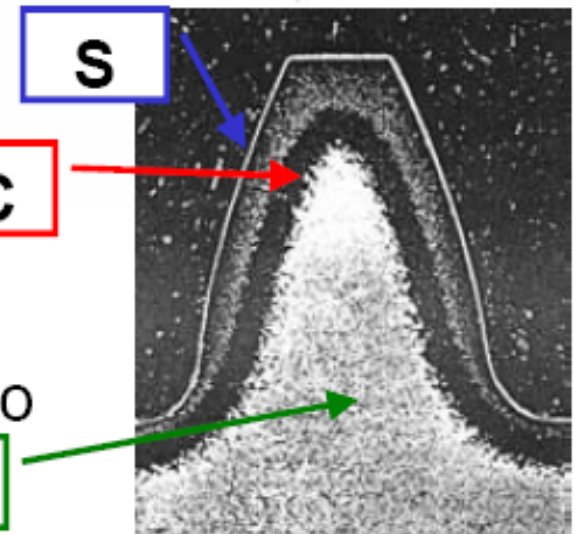
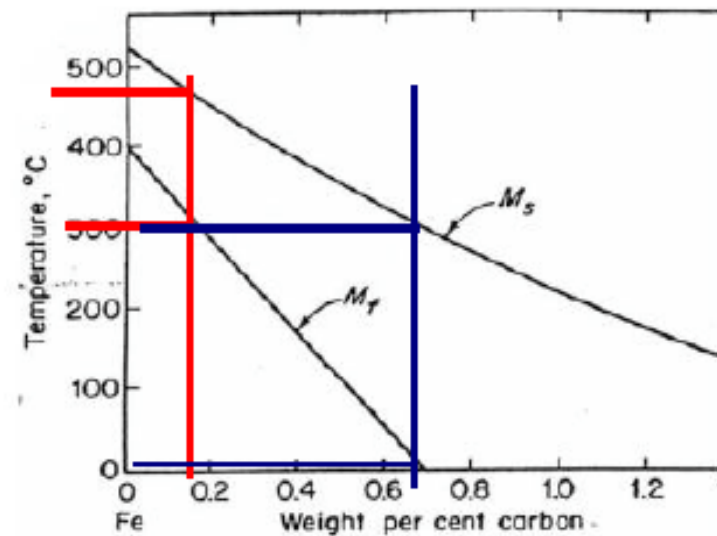
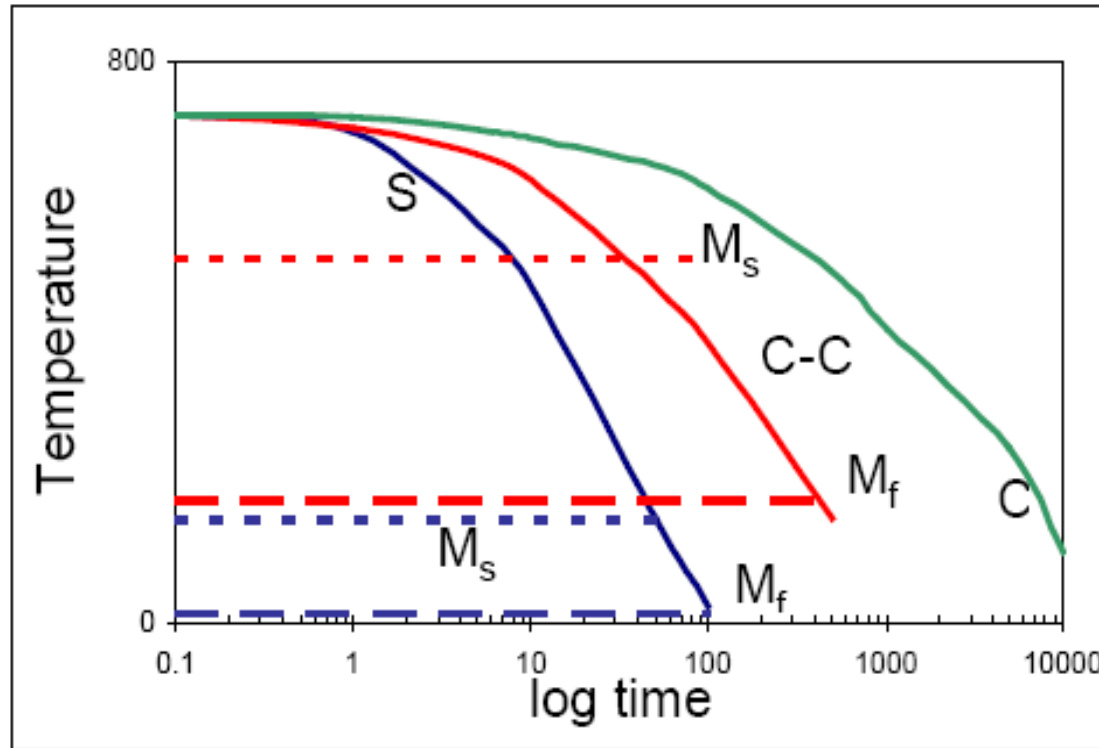


Figure 8-4 Pack carburizing.

Case hardening

4. Residual stresses



- C-C transforms to M first surface adjusts
- Surface transforms last – expands goes into compression

Properly carburized gear teeth

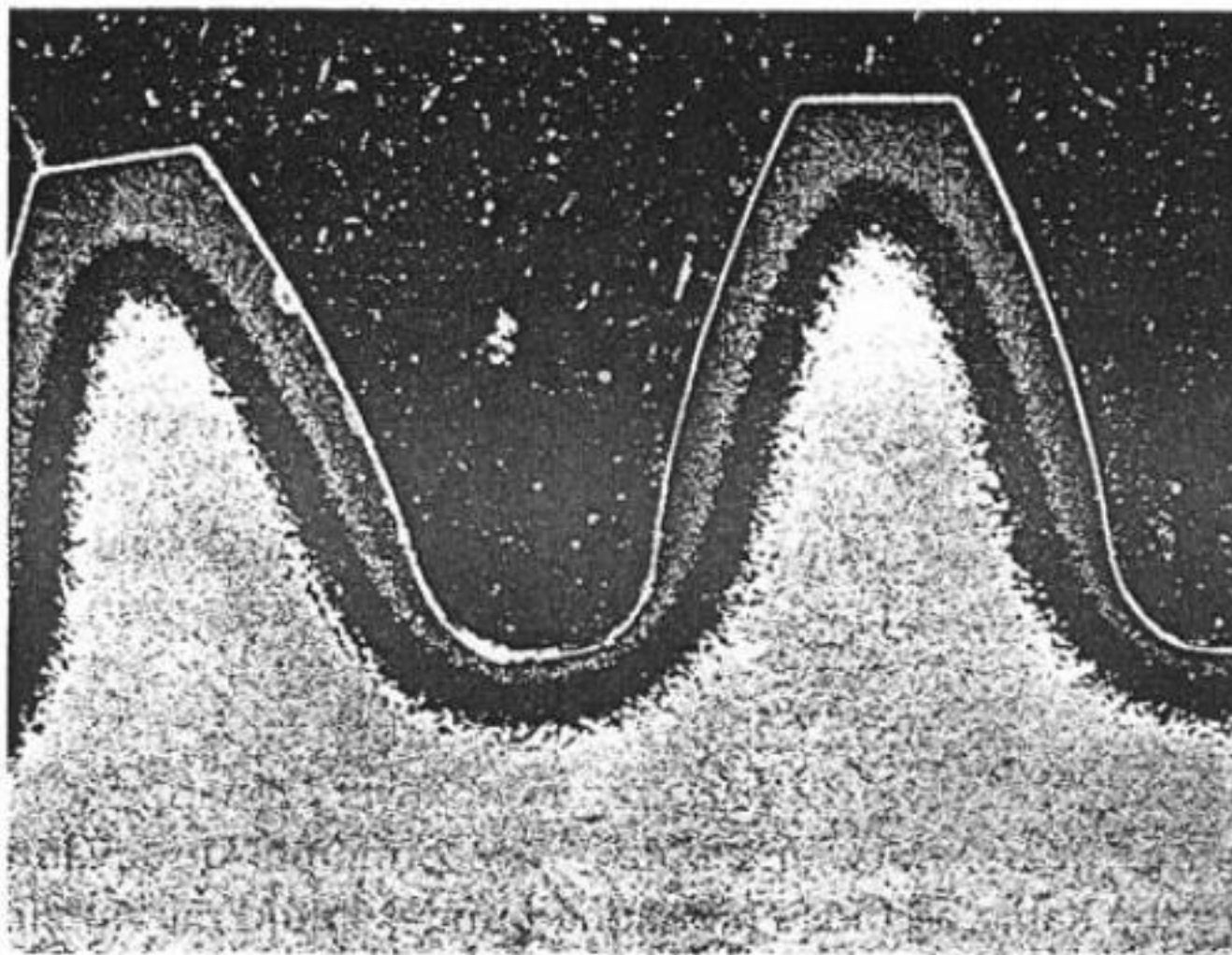


Fig. 8-75 A properly carburized, hardened, and tempered gear. Etched in 2 percent nital, 7X.

Microstructure through a carburized surface

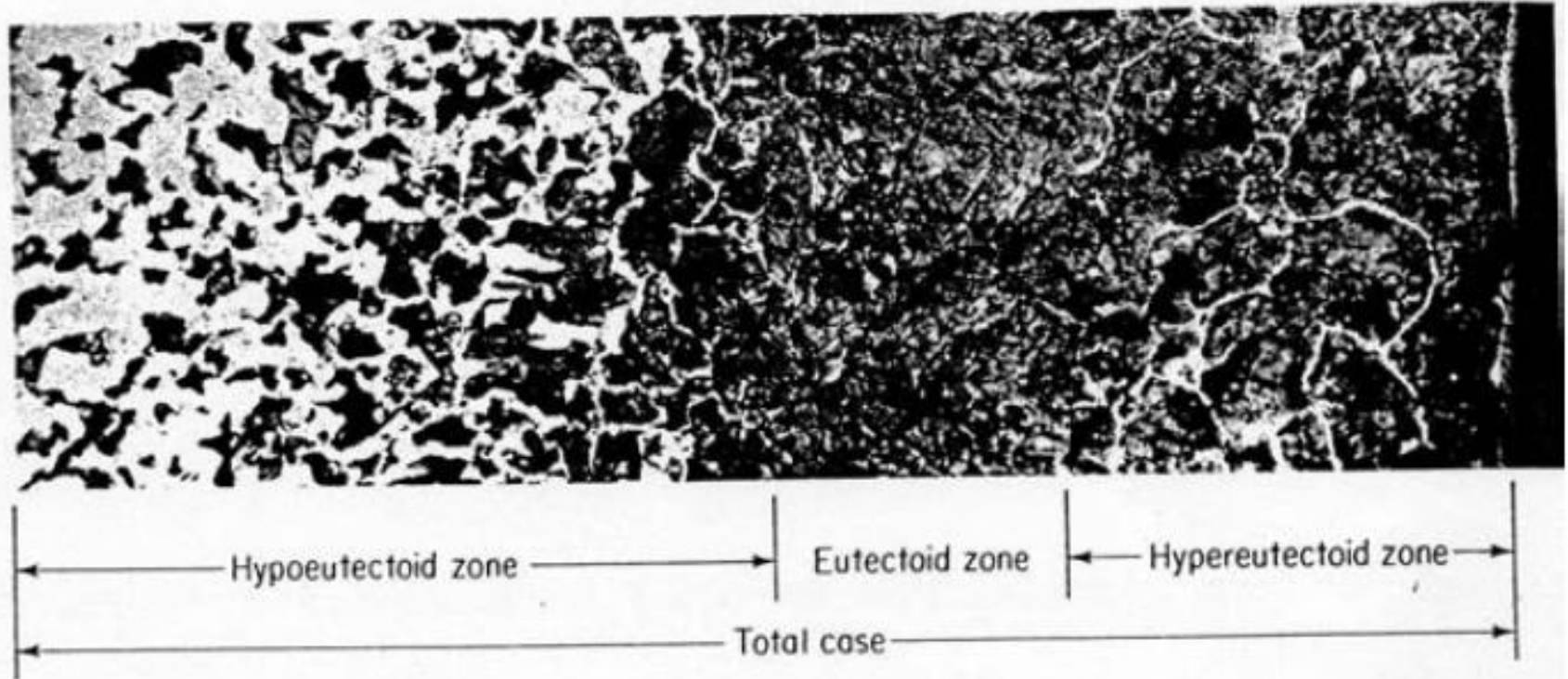
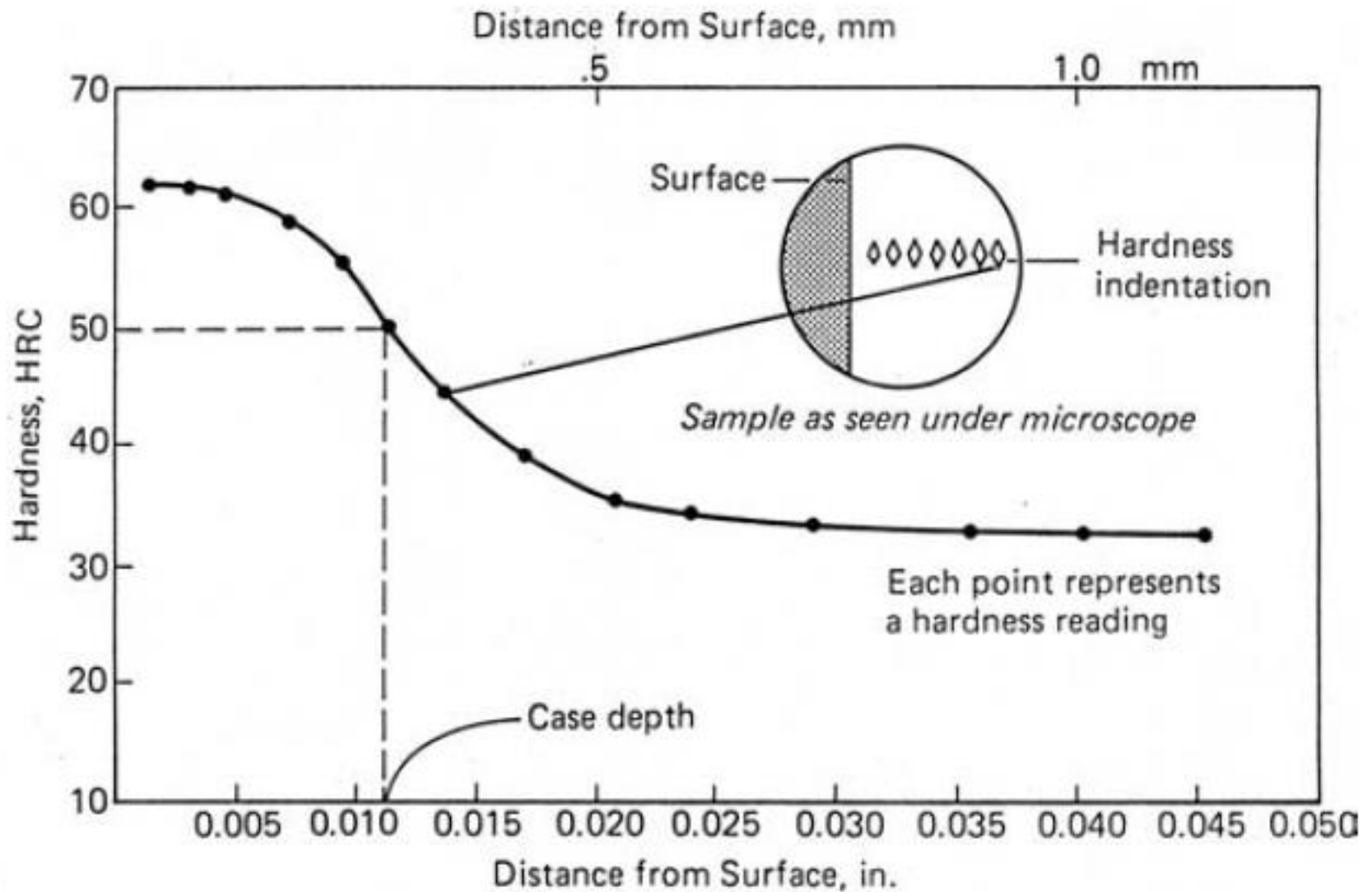


Fig. 8-70 0.20 percent carbon steel, pack-carburized at 1700°F for 6 h and furnace-cooled. Etched in 2 percent nital, 30X.

Microhardness through case depth



Nitrürlleme

Nitrüleme (Nitrasyon-Nitriding)

- Çelik yüzeyine azot difüze etme işlemidir
- Azotla birlikte bazı uygulamalarda karbon da verilir (nitrokarbürleme)
- Nitrüleme ferrit faz bölgesinde yapılır
- Yaygın olarak 500-580°C arasında
- Plazma nitrüleme daha düşük sıcaklıklarda uygulanır

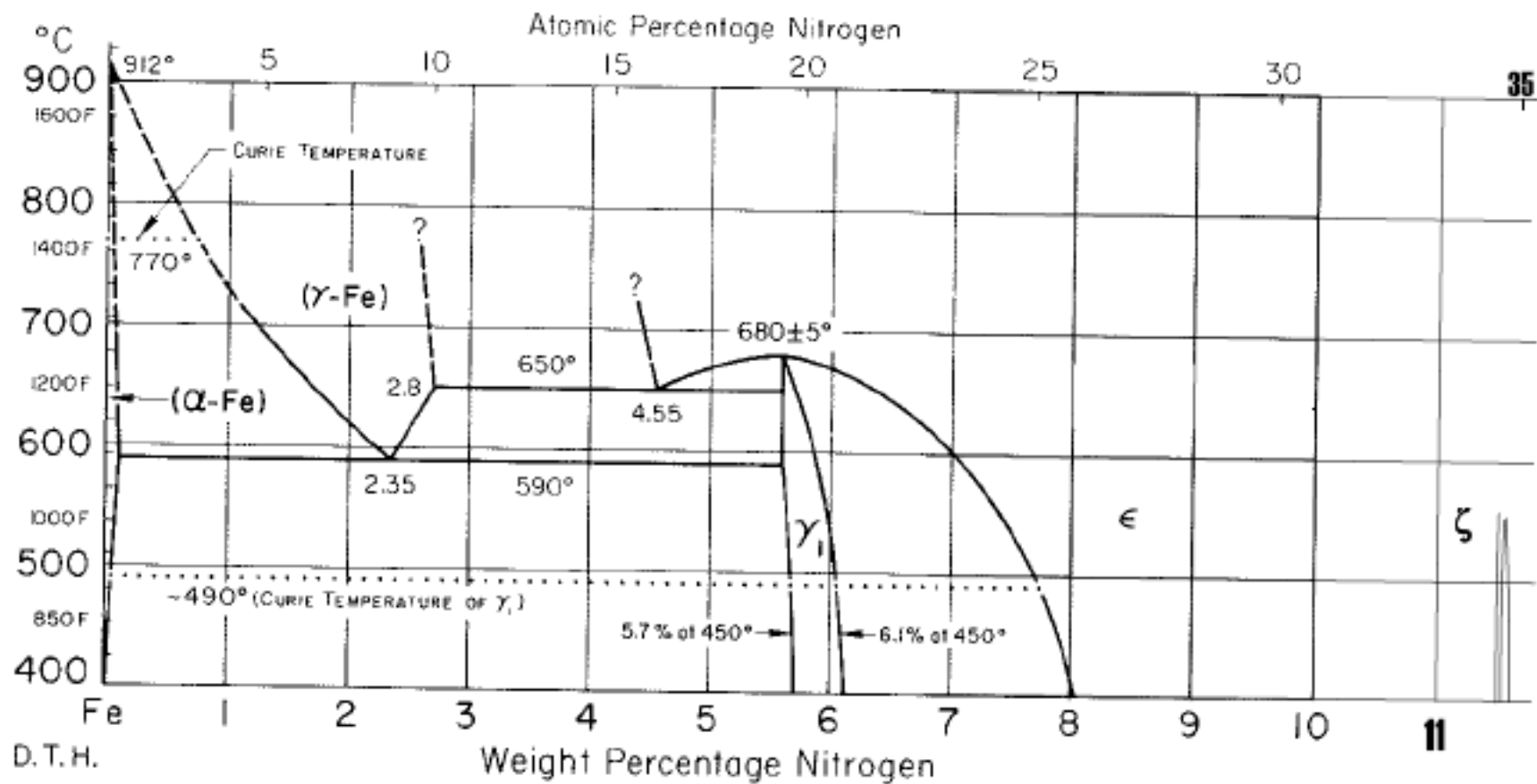
- Önce ısıtma işlemi sonra nitrürleme işlemi uygulanır
- Nitrürlemeden sonra ısıtma işlemi uygulanmaz
- Yüzeyde 5-30 mikron kalınlığında bir bileşik zonu (beyaz tabaka), altında 150-300 mikron kalınlığında difüzyon zonu meydana gelir
- İşlem süresi 2-24 saat olabilir (100 saate ulaşanlar da var)
- Beyaz tabaka seramik olup sertliği 1200 HV üzerinde olabilir
- Difüzyon zonunun yüzey sertliği 650-700 HV civarındadır
- Çekirdek sertliği 460-500 HV mertebesindedir

- Aşınma direnci
- Yüksek sertlik
- Korozyon direnci (çoğunlukla)
- Yorulma direnci

- Sıvı (tuz banyosu)
- Gaz
- Vakum
- Plazma (iyon)

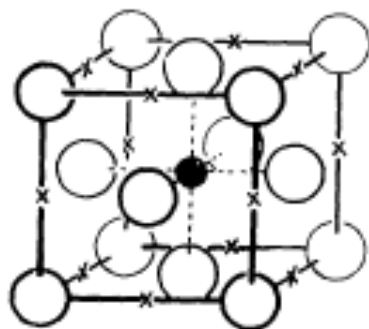
Nitrüleme mümkündür

Fe-N Iron-Nitrogen



Phases in the Fe-N system

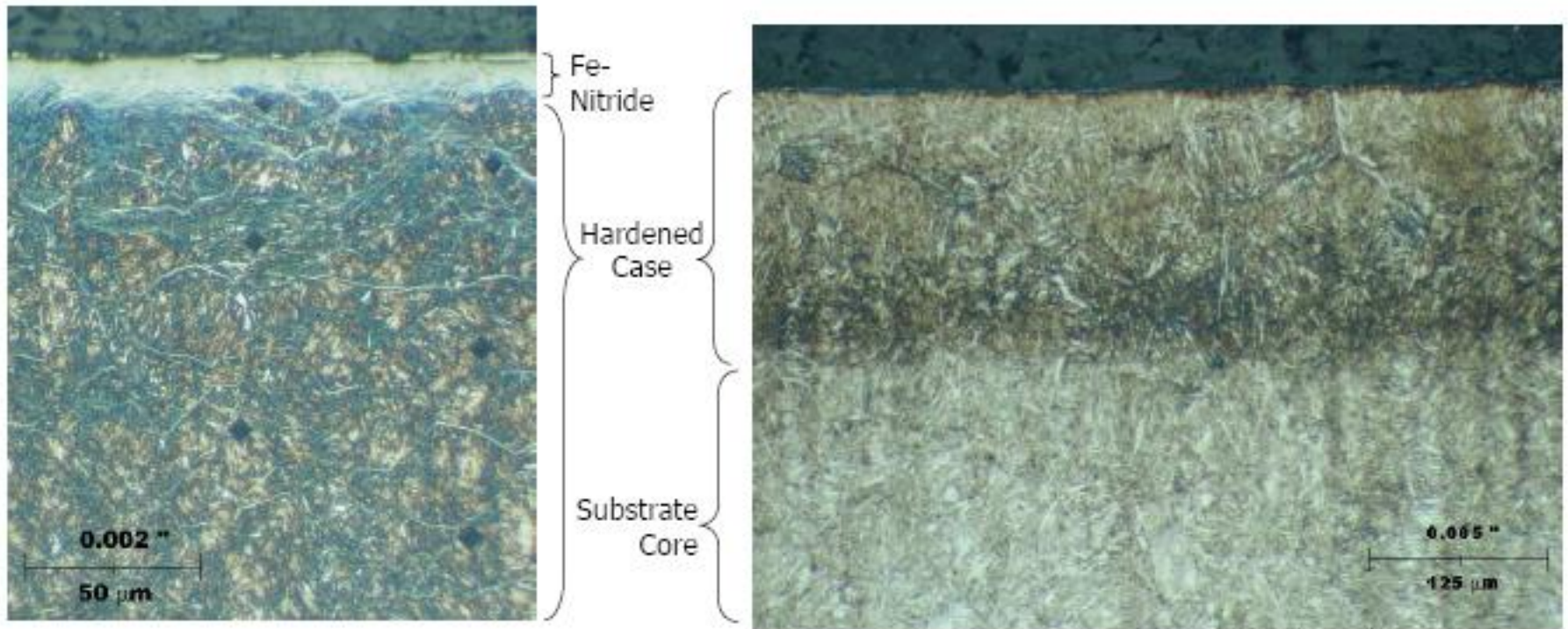
Phases	Composition	Wt. % (At. %) N	Interstitial atoms per 100 Fe atoms	Bravais Lattice
Ferrite (α)	Fe	0.10 (0.40)	-	B.c.c.
Austenite (γ)	Fe	2.8 (11)	12.4	F.c.c
Martensite (α')	Fe	2.6 (10)	11.1	B.c. tetrag.
γ'	Fe_4N	5.9 (20)	25	Cubic
ϵ	$\text{Fe}_2\text{N}_{1-x}$	4.5-11.0 (18-32)	22 - 49.3	Hexagonal
ζ	Fe_2N	11.4 (33.3)	50	Orthorhombic



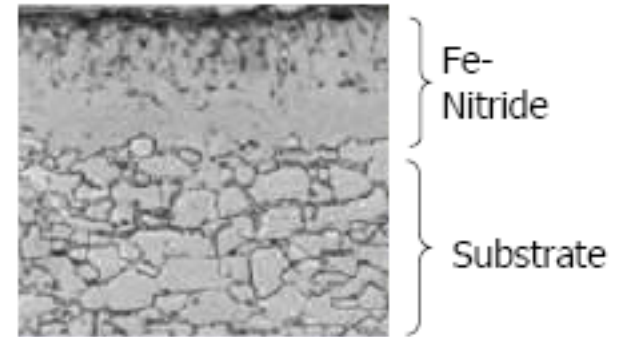
Fe₄N crystal structure

- Iron Atoms
- Nitrogen Atom
- x Unoccupied Interstices

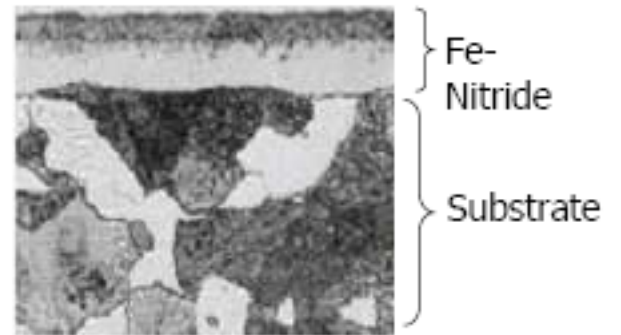
■ Microstructure of Nitralloy 135M (0.4C-0.6Mn-0.3Si-1.6Cr-0.35Mo-1.2Al), quenched and tempered, Nital etched



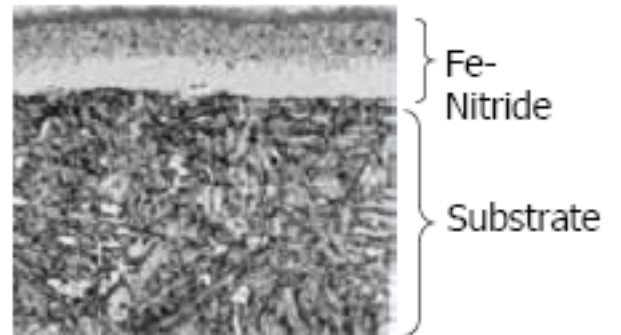
- Microstructure of SAE 1006 (0.08C-0.3Mn): Automotive Seat Rails application



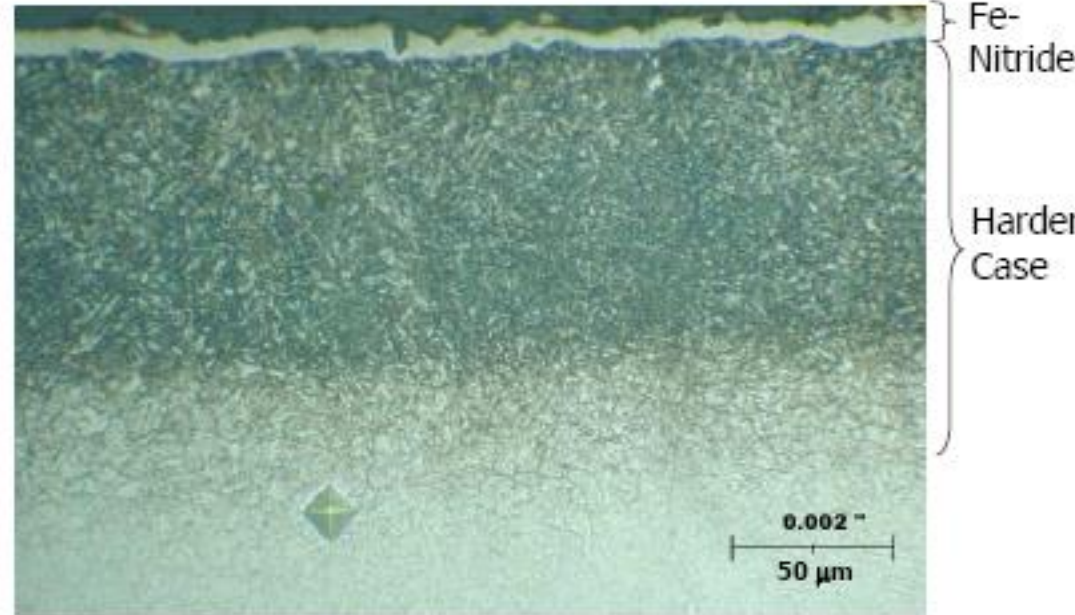
- Microstructure of SAE 1144 (0.45C-1.5Mn-0.25Si): Throttle Valves application



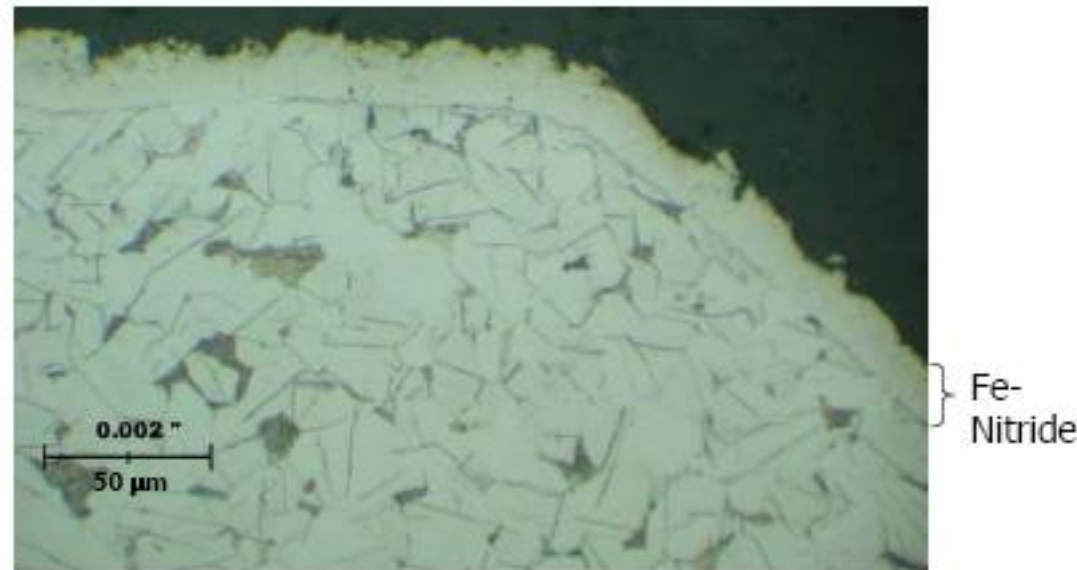
- Microstructure of SAE 4140 (0.40C-1.0Cr-0.85Mn-0.25Si-0.2Mo): Automotive Shafts application



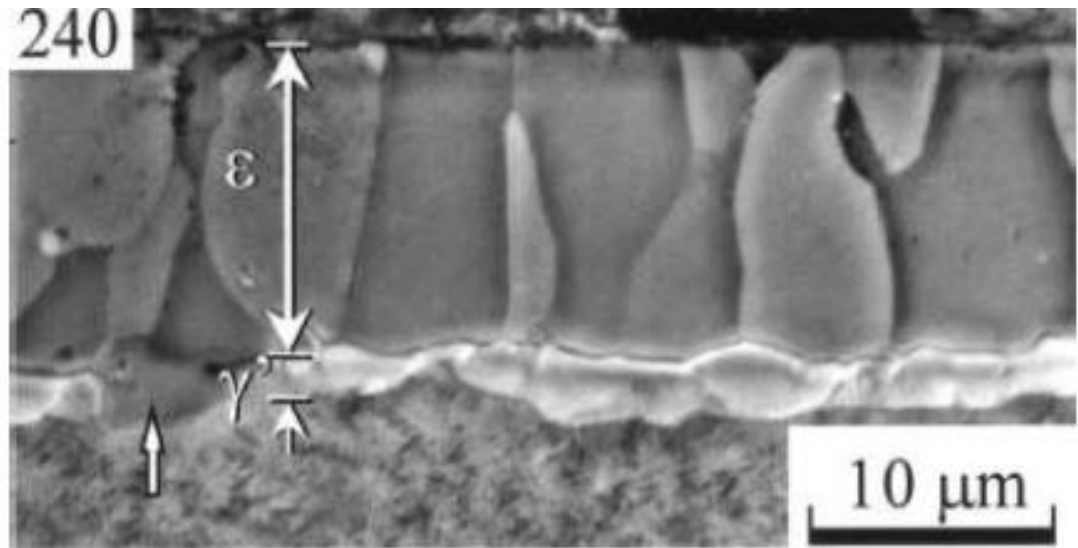
Microstructure of H13 Hot-work Tool Steel (0.4C-5Cr-1.3Mo-1V), Quenched and Tempered, Nital Etched: Forging Dies application



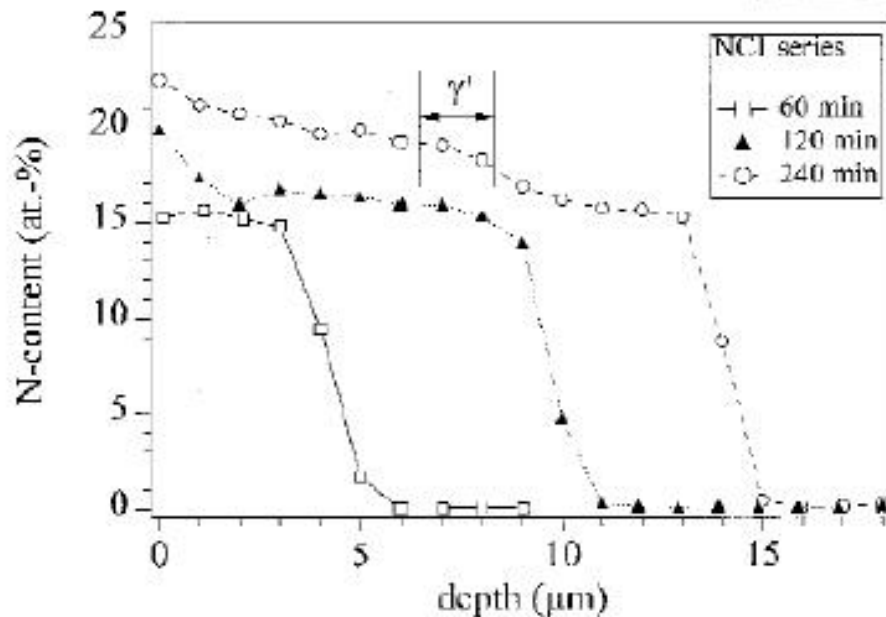
Microstructure of ASTM A1011 Commercial Steel Type B (Fe-0.04C-0.26Mn), Nital Etched: Part Manufacturing application



- Phase Identification by means of LMA with positive phase contrast microscopy of an Fe sample etched with 1 pct Nital + 0.1 vol pct HCl



(H. Du, *Microstructural and Compositional Evolution...*, Metall. Trans. A, 2000)



- Nitrogen content as a function of depth below the surface determined with EPMA in layers obtained on an Fe specimen

(H. Du, *Microstructural and Compositional Evolution...*, Metall. Trans. A, 2000)

Sıvı nitrasyon

- Sıvı nitrasyon NaCN ve KCN gibi CN⁻ iyonlarını içeren tuz banyolarında 510-590°C sıcaklık aralıklarında uygulanmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan Tufftride, Sursulf ve Sulfinuz yöntemleriyle sıvı nitrasyon yapılmaktadır.
- “Tufftride” prosesinde, Ti alaşımlı pota içindeki tuz karışımına hava enjekte yapılarak banyo homojenitesi sağlanmasıyla ve aktivitenin artırılmasıyla nitrürleme yapılmaktadır.
- “Sursulf” ve “Sulfinuz” işlemlerinde banyo bileşenlerine N₂S ilave edilerek ayrılan S'nin çelik yüzeyine girmesi ile sürtünme katsayısını azaltarak çeliklerin aşınma mukavemetini oldukça arttırmaktadır.

Tufftride QPQ Prosesiyle Nitrasyon

- Tufftride tuz banyosunda nitrürleme 580°C'de ve hazırlanmış Ti alaşımlı pota içine hava enjekte edilmesi şeklinde yapılmaktadır. Ti alaşımlı olması, korozyon direncini arttırmak suretiyle potanın çözünmesini azaltmakta ve böylece banyo bileşimi sabit kalmaktadır.
- Banyoda oluşan temel reaksiyonlar;
- $2\text{CN}^- + \text{O}_2 \longrightarrow 2\text{NCO}^-$
- $2\text{NCO}^- + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2^{-2} + \text{CO} + 2\text{N}$
- $x\text{Fe} + [\text{N}] \longrightarrow \text{Fe}_x\text{N}$
- şeklindedir.
- Banyonun N aktivitesi. metal içine difüzyonundan dolayı zamanla azalabileceğinden, belirli periyotlarda sisteme CN^- içeren katışıklar yapılmaktadır.
- Sistemde oluşan nitrür tabakası nitrasyon sıcaklığı ve zamana göre τ' ve ε -Nitrürlerini içermektedir. Alaşım elementleri ve oranına göre de beyaz tabaka kalınlığı ve sertlikleri değişmektedir.
- Buna paralel olarak da alaşım elementlerinin artması N'un daha ileriye difüzyonunu zorlaştıracığından difüzyon zonu azalmaktadır.

İyon (Plazma) nitrasyonu

- Proses, 500-1000 V arası bir voltajın vakumlu bir ortamda NH_3 , H_2 ve N gazlarını içeren düşük basınçla bir karışıma uygulanması ile gerçekleşmektedir.
- Uygulanan bu yüksek voltajla sistem içinde oluşan pozitif N iyonları (plazma halinde) katot olan numune yüzeyine negatif olarak hızla çekilmesiyle nitrüleme yapılmaktadır. Elektriksel olarak gerçekleşen çekilme hızlı bir şekilde malzeme üzerine çarpmasıyla parçalar ısınarak difüzyon sağlanmaktadır.
- Uygulanan voltajla yalnızca parça yüzeyleri 500-570°C'ye hızla ısıtılarak nitrüleme yapılmaktadır. İşlem esnasında gaz atmosferindeki C ve N potansiyelleri düzenlenerek gevrek karaktere sahip olan beyaz tabakanın oluşumu kontrol edilebilmektedir. İşlemin kolay kontrol edilebilirliği, nitrüleme hızının yüksek oluşu, beyaz tabakanın kontrolü, yüksek yorulma mukavemeti, düşük gevreklik, yüksek süneklik, yüksek aşınma dayanımı, nokta yüklere yüksek mukavemeti, üretim maliyetinin düşük olması ve çevreyi kirletmemesi en önemli avantajlarıdır. İyon nitrüleme; karbon çeliklerine, düşük alaşımlı çeliklere ısıya dayanıklı takım çeliklerine, yüksek hız çeliklerine ve paslanmaz çeliklere başarıyla uygulanmaktadır.

Gaz nitrasyonu

- Amonyak gazının 495-570 °C sıcaklıkları arasında ayrışarak çelik yüzeyine N'un difüze olmasıyla yapılmaktadır.
- $2\text{NH}_3 \longleftrightarrow 2\text{N}(\text{Fe})+3\text{H}_2$
- Bu yöntemle 0.5 mm'ye kadar nitrür derinliği elde edilebilmektedir. Yapılan deneylerde gaz nitrasyonunda maksimum sertlik 538°C de elde edilirken maksimum nitrürleme derinliği de 650°C'de elde edilebilmektedir. Sertlik değerleri 538°C'den sonra artan sıcaklıklarda azalırken, sertlik derinliği de artmaktadır.
- Gaz nitrasyonunda nitrürleme zamanı arttıkça yüzey sertliği de düşmektedir. Ancak 500°C'nin altındaki sıcaklıklarda nitrürleme yapılabilmesine rağmen, uygulamada en optimum sertlik değişimi 510 °C'de elde edilmiştir.

- **Tek Adımlı veya Çift Adımlı Nitrürleme:** Susuz (anhidro) amonyak ile nitrürleme yapıldığı takdirde, tek veya çift adımlı bir nitrürleme prosesi uygulanabilir. Tek adımlı proseste, 495 - 525°C sıcaklık aralığı kullanılır ve disosiyasyon (çözünme) hızı % 15 - 30 arasında değişir. Bu proses nitrürlenmiş tabakanın yüzeyinde beyaz nitrür tabakası olarak adlandırılan bir gevrek azotca zengin tabaka üretir.
- İki adımlı proses ise **Floe prosesi** olarak bilinir ve beyaz nitrür tabakasının kalınlığını azaltmak avantajına sahiptir. İki adımlı prosesin ilk adımı, süre hariç, tek adımlı prosesin bir benzeridir. İkinci adım ilk adım için kullanılan nitrürleme sıcaklıklarında gerçekleştirilebilir veya sıcaklık 550-565 °C'ye yükseltilebilir. Ne var ki, hangi sıcaklık aralığı kullanılırsa kullanılsın, ikinci adımdaki çözünme hızı %70-80'lere yükseltilir. Genellikle, ikinci adımda gerekli olan daha yüksek çözünme derecesini elde etmek için harici bir amonyak çözücüsü gereklidir.

Karbonitrasyon (Karbonitrürleme)

- **Gaz nitrasyona göre düşük sıcaklıkta, örneğin 570°C'de 1-3 h süreyle alaşımsız çeliklere uygulandığında, çok iyi aşınma direnci elde edilir.**
- Bu işlem, siyanatın (CNO) parçalanmasıyla serbest kalan karbonun, kısmen bağlantı tabakasına yerleşerek (karbonitrür oluşumu) ve bu tabakanın dayanım ve sertliği yükseltmesiyle tamamlanır.
- **Alaşımsız çelikler, banyo nitrasyon sonrası mümkün olduğu kadar su içinde ani soğutulurlar. Böylece, azotça aşırı doymuş difüzyon bölgesi oda sıcaklığında sertleşir.**
- **Yüksek sıcaklıklarda (780-860°C) yapılan karbonitrasyon işleminde, yaklaşık olarak sementasyonla elde edilebilecek özellikler elde edilir.**
- **Sinter çelik malzemelere karbonitrasyon işlemi uygulanır.**

Borlama

- Bugüne kadar katı ve sıvı borlama maddeleri uygulanmıştır.
- **Sıvı borlama maddesi olarak, ergimiş boraks ya da ilaveler içeren tuzlarda, genellikle parça yüzeyinde intermedial bor karbür meydana getirilir.**
- **Doğru akımın kullanılmasıyla (elektrolitik borlama) borlama etkisi artırılabilir.**
- **Daha çok boraks ve diğer katkıları içeren katı borlama maddeleri ile de öncelikle bor karbür oluşumu hedeflenir.**
- **Borlama maddelerinden bağımsız olarak borlama sıcaklığı 900-1000°C, borlama süresi ise 1h - 6 h' dir.**
- **Borlama işlemi alaşımsız ve alaşımlı çeliklere, dökme demir, demir dışı metal ve alaşımları ile sert metallere uygulanır.**
- **Alaşımsız çeliklere yapılan borlama işlemi ile 1800 HV'ye ulaşılır.**
- **Alaşımlı çelikler için ise 2500 HV'ye ulaşılır.**
- **Borlanmış parçalar, sinterlenmiş parçalara kıyasla 4 kat daha fazla aşınma dayanımına sahiptirler.**

CVD Yöntemi (Chemical Vapour Deposition)

(Kimyasal Buhar Çöktürme)

- **CVD yöntemi gaz formundaki bir kimyasal bağlantının, katı formda reaksiyon ürünü olarak çöktürülmesi ya da başka bir madde üzerinde ayrıştırılması nedeniyle, oldukça önemli bir prosestir.**
- **Kapalı bir kap içerisinde ısıtılmış malzeme (altlık) yüzeyinin, bir taşıyıcı gazın kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan katı bir tabaka ile kaplanması "kimyasal buhar biriktirme (CVD)" yöntemi olarak tanımlanır.**
- **Yöntem, temelde "buhar fazından" ve basıncı istenilen değerlere ayarlanmış bir ortamda "kimyasal reaksiyonlarla/olaylarla" katı kaplama malzemesi üretilmesine dayanmaktadır.**
- **İyi ayarlanmayan gaz debisi kaplamadan ziyade saf toz üretilmesine neden olur.**
- **Özellikle konstrüksiyon elemanlarının ve takımların aşınmadan korunabilmesi için sert metal, karbür, nitrür ve borür gibi belirli metal olmayan ya da metal bağlantıların kaplama olarak malzemeye bağlanması önem taşır.**

PVD Yöntemi

(Physical Vapor Deposition) (Fizksel Buhar Çöktürme)

- PVD (Physical Vapor Deposition) kaplama teknolojisi 1800'lü yıllardan beri bilinmekte ancak son 50 senedir kendisine endüstride bir yer bulabilmiş ince film kaplama tekniğidir.
- Günümüze kadar geliştirilen farklı kaplama işlemleri ile uygulanan bu tekniğin mekanizması basitçe şöyledir.
- Vakumlu ortamda bir ısıtıcı (rezistans lazer elektron bombardımanı vb.) ile buharlaştırılan kaplayıcı malzeme kaplanacak olan malzeme üzerinde ince bir film katmanı halinde biriktirilir.
- PVD'nin Türkçe'deki karşılığı "fiziksel buhar biriktirme" olarak tanımlanmıştır.
- PVD kaplama tekniği; katı haldeki ham maddenin yüksek enerji ile plazma haline getirilerek kontrollü olarak kaplanacak malzemenin üzerine yapıştırılması işlemi olarak özetlenebilir.
- Bilimsel anlamda ilk olarak 19. yüzyıl sonlarında çalışmalara başlanmış vakum teknolojisindeki gelişmeler ile bu çalışmalar hız kazanmıştır.
- Özellikle sanayileşmenin artması ile birlikte aşınma dayanımı ciddi anlamda bir ihtiyaç haline gelmiş ve 1960'lı yıllarda günümüzde kullanılan sistemlerin ilk adımları atılmıştır.

PVD Yöntemi

(Physical Vapor Deposition) (Fizksel Buhar Çöktürme)

- PVD kaplama tekniğinde; kaplanacak malzeme yüksek vakumlu bir kabine yerleştirilir ve yüksek enerji ile iyonlaştırılmış ve reaktif gazlarla oluşturulmuş plazma ile kaplanır.
- Kaplamanın homojen olabilmesi için kaplanacak malzemeye maksimum hareket kazandırılır.
- Yarıiletken endüstrisinin gelişimi ile kendine endüstride yer bulabilen PVD tekniği günümüzde pek çok farklı alanda kullanılmaktadır.
- Mikroelektronik tıp dekoratif amaçlı korozyona karşı direnç gerektiren uygulamalar vb. alanlarında kullanılmaktadır.
- Gittikçe büyüyen pazar payları PVD kaplamanın yaygınlaştığının bir göstergesidir. 1999 yılında PVD sert kaplamaların pazar boyutu çok büyük bir kısmı kesici takımlar olmak üzere 750 milyon dolar civarında olmuştur.
- Diğer önemli uygulamalar; şekillendirme takımları plastik kalıplama takımları makine parçaları dişli parçaları ve dekoratif parçalara uygulanan kaplamalardır.
- Son yirmi yılda pazarın büyüme hızı % 15 olmuştur ve önümüzdeki on yıl içinde de bu seviye kalacaktır.
- En yüksek büyüme hızı makine ve dişli parçaların kaplamaları için beklenirken takım kaplamaları için büyüme % 10 olacaktır.
- Seramik kaplı malzemelerin hitap ettiği temel endüstri sektörleri; güç makineleri gemi makineleri kimya endüstrisi tekstil sanayi savunma sanayi makine imalat sanayi havacılık ve uzay sanayi ve otomotiv endüstrisidir.

KAYNAKLAR

- Prof. Dr. Sakin Zeytin, Sakarya Üniversitesi, Isıl İşlemler Dersi Notları
- Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER ders notları