

29239

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AISI 304 KALİTE PASLANMAZ ÇELİĞİNDE  
ÇÖKELMENİN ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet KARAASLAN  
METALURJİ MÜHENDİSİ

İSTANBUL-1993

## ÖZET

Bu çalışmada AISI 304 paslanmaz çeliği kullanılmıştır. Numuneler 1050°C sıcaklığında 1 saat çözeltiye alınmış ve işlem sonrası ani soğutma yapılmıştır. Çözeltiye alma işleminden sonra, numuneler 450, 550, 650, 750 °C sıcaklıklarında 6'şar saat bekletilerek çökeltme yapılmıştır. Bu işlemlerden sonra ise sertlik ve çentik darbe dayanım değerleri tayin edilmiştir. Çökeltme işleminden sonra sertlik değerlerinde artma, çentik darbe dayanımında ise azalma görülmüştür. Aynı zamanda kaynaklı konstrüksiyonlarda kullanılacak 18-8 çeliği için alternatif malzemelerin neler olabileceği konusunda bir değerlendirme yapılmıştır.

## SUMMARY

AISI 304 stainless steel was used in this study. The specimens are first subjected to annealing treatment at  $1050^{\circ}\text{C}$  for 1 hour then quenched rapidly to room temperature. Then after, specimens were heat treated for 6 hours at the temperatures of 450, 550, 650,  $750^{\circ}\text{C}$ . After these treatments hardness and charpy tests were applied. After the precipitation proces there has been an increase in the hardness and less in the charpy tests.



## İÇİNDEKİLER

Sayfa No

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. GİRİŞ                                                                             | 1  |
| 2. ÇÖKELME (YAŞLANMA, AYRIŞMA) SERTLEŞTİRMESİ                                        | 2  |
| 2.1. İdeal Sıcaklık Seçimi                                                           | 3  |
| 2.2. İdeal Bileşim Seçimi                                                            | 4  |
| 2.3. Metalsel Malzemelerde Difüzyon                                                  | 5  |
| 2.3.1. Difüzyon Olaylarının Atomar Yönden Açıklanması                                | 5  |
| 2.4. Çökeltme Mekanizmasının Yürümesi                                                | 9  |
| 3. ÇELİĞİN YAPISINA ARITILAMAYAN ELEMANLARIN VE ALAŞIM<br>ELEMANLARININ ETKİSİ       | 15 |
| 3.1. Arıtılamayan Elemanların Etkisi                                                 | 15 |
| 3.1.1. Oksijen                                                                       | 16 |
| 3.1.2. Hidrojen                                                                      | 16 |
| 3.2. Alaşım Elemanlarının Etkisi                                                     | 17 |
| 3.2.1. Krom                                                                          | 20 |
| 3.2.2. Nikel                                                                         | 23 |
| 3.2.3. Molibden                                                                      | 23 |
| 3.2.4. Karbon                                                                        | 24 |
| 3.2.5. Silisyum                                                                      | 24 |
| 3.2.6. Mangan                                                                        | 25 |
| 3.2.7. Elementlerin Kombine Olarak Çeliğe Etkileri                                   | 26 |
| 4. PASLANMAZ ÇELİKLER                                                                | 28 |
| 4.1. Genel Özellikler                                                                | 28 |
| 4.2. Paslanmaz Çeliklerin Simgelenmesi                                               | 29 |
| 4.3. Östenitik Paslanmaz Çelikler                                                    | 32 |
| 4.4. Ferritik Paslanmaz Çelikler                                                     | 33 |
| 4.5. Martenzitik Paslanmaz Çelikler                                                  | 34 |
| 4.6. Çökeltmeyle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler                                    | 34 |
| 4.7. Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler                                                   | 34 |
| 5. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA HASSASLAŞMA                                       | 36 |
| 5.1. Östenitik Krom-Nikelli Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında<br>Tanelerarası Korozyon | 36 |
| 5.2. Tanelerarası Korozyonu Önleme Metodları                                         | 38 |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR                                                              | 40 |
| 6.1. Numunelerin Oda Sıcaklığındaki Sertlik Değerle-<br>rinin Tespiti               | 40 |
| 6.2. Numunelerin Çözme Tavına Alınması                                              | 41 |
| 6.3. Çözeltiliye Alma İşleminden Sonra Sertlik Değerle-<br>rinin Tespiti            | 42 |
| 6.4. Çökeltme İşlemi                                                                | 43 |
| 6.5. Çökeltme İşleminden Sonra Sertlik Değerlerinin<br>Tespiti                      | 44 |
| 6.6. Numunelerin Oda Sıcaklığındaki ve Isıl İşlem Sonrası<br>Çentik Darbe Deneyleri | 46 |
| 6.7. Metalografik Etüt için Numunelerin Hazırlanması                                | 48 |
| 6.7.1. Kesme İşlemi                                                                 | 48 |
| 6.7.2. Elle Düzleme                                                                 | 49 |
| 6.7.3. Parlatma                                                                     | 49 |
| 6.7.4. Dağlama                                                                      | 49 |
| 6.8. Mikroyapılar                                                                   | 50 |
| 7. İRDELEME VE SONUÇ                                                                | 60 |
| 8. KAYNAKÇA                                                                         | 62 |

## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın tamamlanmasında değerli öneri ve yapıcı eleştirileriyle beni yönlendiren tez yürütücüm Sayın Doç.Dr.Nişan SÖNMEZ'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca kimyasal analizleri büyük bir titizlikle yapan Uzman Sayın Kimya Müh.Menekşe AKIN'a, mekanik deneylerde yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç.Dr.Ahmet ÜNAL'a, Sayın Yard.Doç.Dr.Cemalettin YAMAN'a, Sayın Arş.Gör. Ergün KELEŞOĞLU'na, bünye fotoğraflarının hazırlanmasındaki yardımlarından dolayı Sayın Öğr.Gör.Ömer AKDOĞAN'a, bilgilerinden yararlandığım tüm Hocalarıma ve Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bugüne kadar her türlü maddi ve manevi desteği ile bana yardımcı olan Sevgili Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde dünya paslanmaz çelik üretiminin büyük bir kısmını östenitik paslanmaz çelikler oluşturur. Östenitik paslanmaz çeliklerin içinde AISI 304 en çok tanınan tipidir.

İçeriğinde % 18-20 krom, % 8-12 nikel bulundurur. Karbon ise maksimum % 0,08 kadardır. Krom östenitik sahayı daraltırken, nikel karşı etki yapar.

% 18 krom ve % 8 nikelli çelik, hızlı soğumada 1050 °C 'de tam östenitik olarak katılaşır. Fakat yavaş soğumada  $\delta$  - ferriti de meydana gelir. Hızlı Soğuma sonucu engellenmiş  $\delta$  - ferrit ayrışması, soğuk şekillendirmeye ya da çok düşük sıcaklıklara soğutmayla kısmen ortaya çıkabilir.

Bu tür çeliklerde, çekme dayanımı ve akma sınırı arasındaki aralık çok büyüktür. Östenitik çelikler kübik yüzey merkezli kafese sahip olduklarından ve ferritik çeliklere nazaran daha yüksek difüzyon direncine sahip olduklarından dolayı, daha yüksek zaman sürekliliğine sahiptirler.

Tavlama sıcaklığının yüksek tutulması veya belirli bir tavlama sıcaklığında bekleme zamanının arttırılması tane kabalaşmasına neden olur, ancak bu durum çekme dayanımını önemli derecede etkilemez.

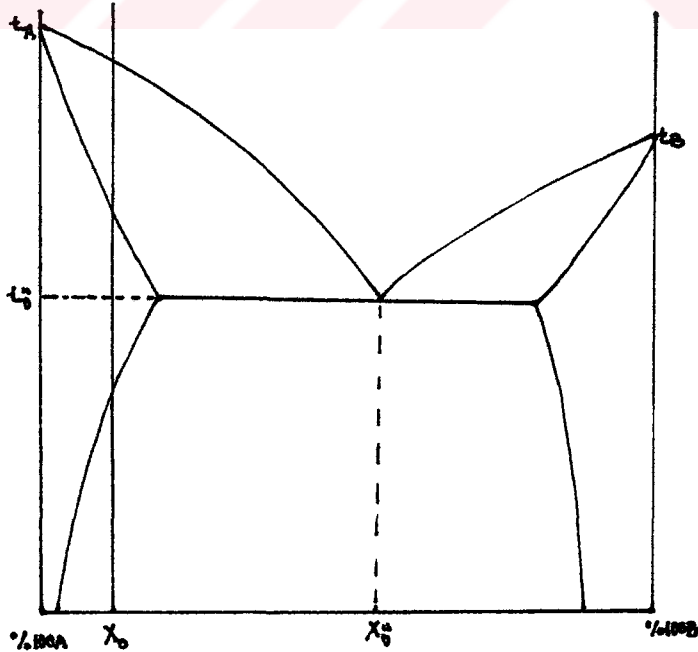
Sıcağa dayanımı daha fazla iyileştirmek için, bor, molibden, vanadyum ve kobalt ile alaşımlama yapılır. Östenitik çeliklerin kullanım sıcaklığı daha yüksek olan sıcakta dayanımları ve iyi tufallaşma dayanıklılığı nedeniyle, 600-750 °C arasındadır. AISI 304 iyi parlatılabildiği, birçok korozyon organik ve inorganik bileşiklere karşı korozyon dayanımı iyi olduğu için gıda endüstrisinde, kimya endüstrisinde aparat yapımında, buharlı, gaz türbinli ve nükleer enerjili enerji santrallerinde ve özellikle mutfak eşyası yapımında oldukça fazla kullanılır.

## 2. ÇÖKELME (YAŞLANMA, AYRIŞMA) SERTLEŞMESİ

Aşırı doymuş katı bir fazdan, zaman ve sıcaklığın etkisiyle yeni bir fazın çökmesi sonucu, malzemenin sertlik ve dayanımının artması çökeltme (ayrışma, yaşlanma) sertleştirmesi olarak tanımlanır.

Bir metalsel malzemede ayrışma sertleşmesini sağlayabilmek için, söz konusu metalin istenen bazı özelliklere sahip olması ve tatbikatında ise bazı şartlara uyulması gerekmektedir;

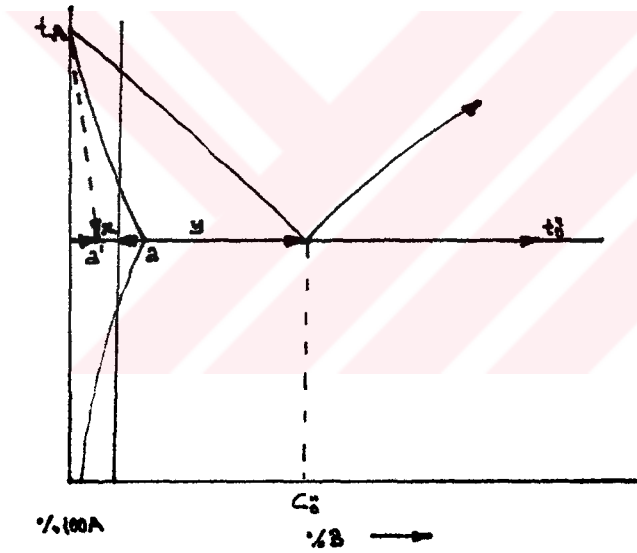
- 1) Söz konusu metal arı olmamalıdır,
- 2) Alaşım halinde bulunan metalde alaşım elemanları karışık kristal (kkr) formunda bulunmalıdır; alaşım kısmi karışmalı denge sistemine sahip olmalıdır,
- 3) Tespit edilen çözme (tutma) sıcaklığı maksimum olarak, ötektik sıcaklığın altında olmalıdır,
- 4) Malzeme bileşimi en ideal değerde olmalıdır.



Şekil 2.1.1. Kısmi karışmalı denge sistemi.

## 2.1. İDEAL SICAKLIK SEÇİMİ

Kısmi karışmalı bir denge gösteren ikilinin sisteminde (Şekil 2.1.1) dengesiz katılaşmaların olması durumunda, ötektikteki karışma boşluğunun dışında seçilen bir bileşim katılaşma sırasında ötektik sıcaklığından geçerken henüz katılaşmasını tamamlayamamış olabilir. Bunun nedeni; dengesiz katılaşmadan dolayı, katılaşma eğrisinin ötelenmiş olmasıdır. (Daha yüksek aralıktaki kkr. bileşimlerine doğru, Şekil 2.1.2).



Şekil 2.1.2. Dengesiz katılaşmadan dolayı katılaşma eğrisi ötelenmektedir.

Denge diyagramına göre, ötektikteki karışma boşluğunun sınırları genişler ve bu genişleme oranı, uygulanan soğutma hızının bir fonksiyonu olur (doğru orantılı). Denge diyagramına göre, ötektikteki karışma boşluğunun dışında olması nedeniyle  $t_0$  sıcaklığında bütünüyle kkr. dokusu göstermesi gereken ele alınan bileşim, yukarıda anlatılan dengesiz katılaşmadan dolayı kkr + erg. fazlarını içerir. Ergiyeğin miktarı

ise;  $t_{\text{ö}} \rightarrow (\% \text{ Er})_{\text{cö}} = \frac{x}{x+y} \cdot 100$  ile belirlenir.

Yaşlandırma tavlaması ya da çözeltiye alma tavlaması olarak anılan ısıtma sırasında seçilecek  $t_{\text{tutma}}$ 'nin doruk değeri bu nedenle  $t_{\text{ö}}$  altında olmalıdır (ergiyik fazın tane sınırlarında oluşup, yüzeyden başlayarak doku derinlemesine doğru çatlaklar oluşturmaması için).

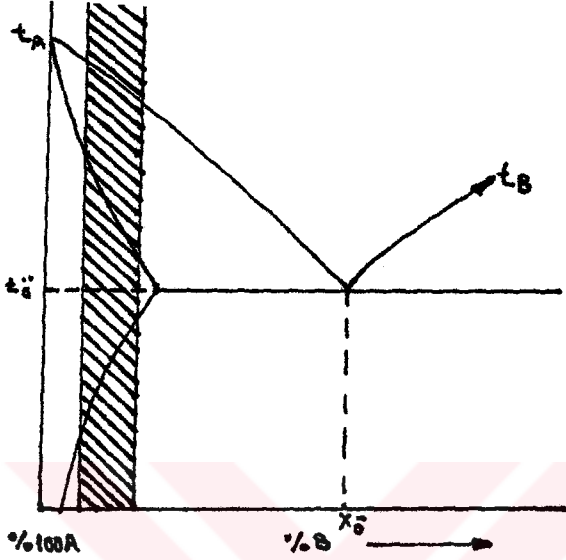
Özet olarak, adı geçen tav işleminde  $t_{\text{tutma}}$ 'nin en düşük değeri; seçilen bileşimi ilgilendiren doyma eğrisi üzerindeki sıcaklık değeridir. En yüksek değer ise  $t_{\text{ö}}$  sıcaklığından, ergiyik faz oluşturma tehlikesi yaratmayacak kadar düşük olan bir sıcaklık değeridir.

## 2.2. İDEAL BİLEŞİMİN SEÇİLMESİ

Çökeltme sertleşmesinde sertliği oluşturan etken; çözelti tavlama-sına alınan kkr içinde çözünmüş bulunan 2.elemente ait atomlardır. Bunların varlığı oranında çökelti miktarı yükselir (adet olarak) ve yeterince sayıdaki dislokasyon bloke edilerek hareketsiz kalır. Oda sıcaklığındaki karışma boşluğunun sınırlarında seçilecek bir bileşimde ise ters kaldıraç kuralından da görüleceği gibi kkr'nin çözündürdüğü 2.elemente ait atom miktarı çok düşük olur; dolayısıyla çökelti adeti az olacağı gibi, bloke edilen dislokasyonların adeti de düşük olur. Sonuçta yaşlandırmadan beklenen sertlik yükselmesi yeterince gerçekleşemez.

Oda sıcaklığındaki karışma boşluğunun sınırlarından uzaklaşıldıkça, yukarıda anlatılan sakıncalı durum giderek ortadan kalkar ve amaçlanan sertlik değerleri rahatlıkla elde edilir. Ne var ki, doyma eğrisinin gölgesinde kalan bileşimlerden en içerideki ( $t_{\text{ö}}$  sıcaklığındaki doyma olan kristal bileşimi) seçilecek olsa, böyle bir dokunun çözeltiye alma tavi sıcaklığı aralığı sıfırdır; çünkü katılaşmanın sona erdiği sıcaklık ile doyma sıcaklığı örtüşmüştür. Bu bileşim yaşlandırmaya uygun olamayacaktır. Buna bağlı olarak anılan bileşime yakın olan bileşimlerin tutma sıcaklığı aralıkları sıfır olmamakla birlikte, çok küçüktür. Böylesi küçük bir aralıkta,  $t_{\text{ö}}$  'den yeterince uzakta kalma

koşuluyla malzemeyi uzun süre tutabilmek, donatı bakımından mümkün değildir. Dolayısıyla adı geçen bu 2. sınırdan da yeterince uzak bir bileşimde çalışmak gerekli olur (Şekil 2.2.1).



Şekil 2.2.1. İdeal bileşim aralığı.(1)

### 2.3. METALSEL MALZEMELERDE DİFÜZYON

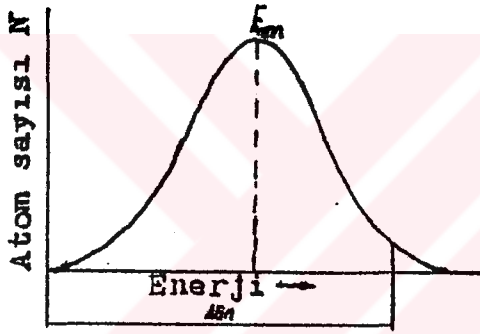
Metal ya da alaşımları, mutlak sıfırın üzerindeki bir sıcaklığa ısıtılırsa, iki tarz atomsal hareket görülür; bunlardan biri, atomların kristal kafesindeki yerini değiştirmeksizin yaptıkları titreşim, diğeri ise, bazı atomların kristal kafesindeki yerlerini değiştirerek, malzeme içinde hareket etmeleridir. Difüzyon olayı olarak adlandırılan bu durum, tek tek atomların yer değiştirmesi nedeniyle, makroskobik malzeme akışının meydana geldiği bir istatistik olaydır. Difüzyon olayları, metallerin ısı işlemlerinde birçok durumda görülür.

#### 2.3.1. Difüzyon Olaylarının Atomar Yönden Açıklanması

Makroskobik difüzyon seyrinde, ısı enerjisinin artması ile kaidesiz atom sıçramaları meydana gelir. Atomlar, durgun halden, titreşimli duruma geçerler. Titreşim genliği ise yükselen sıcaklıkla daha da artar. Şekil 2.3.1.1 'de verilen Boltzman dağılımına uygun olarak,

her bir atomun titreşim enerjileri toplamı, cismin termik enerjisini teşkil eder. Ortalama titreşim enerjisi  $E_m$  değeri;

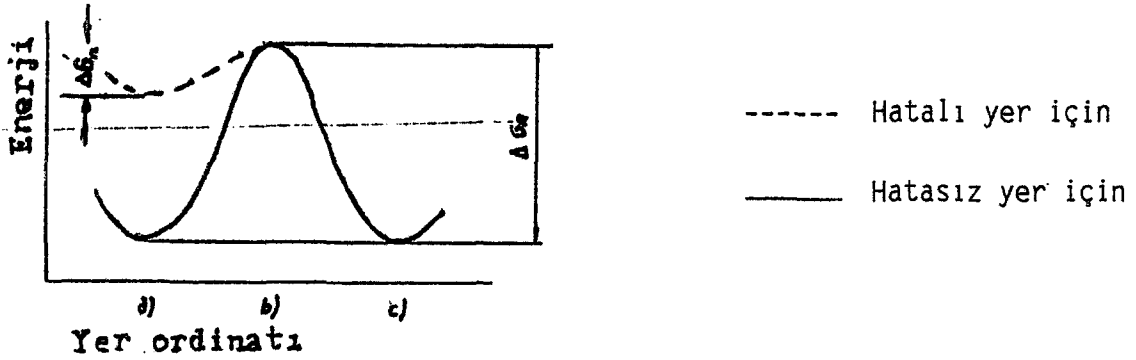
$$E_m = \frac{3}{2} RT \text{ kadardır.}$$



Şekil 2.3.1.1. Atomar enerji dağılımının şematik görünümü.

Eğer atom yeterli derecede titreşim enerjisine ulaşırsa, kolaylıkla kafeste bulunduğu yeri terk edebilir ve komşu bir yere sıçrama yapabilir. Böyle bir sıçramanın ihtimali için ölçü, sıcaklığa bağımlı olan ortalama titreşim enerjisi yanında, sıçramada aşılması gereken Şekil 2.3.1.2'de belirtilen ve serbest entalpisi  $\Delta G_n$  olan aktivasyon enerjisidir. İdeal bir kafes yapısında, bir atomun en yakın komşu atomlarının sayısı  $Z$  ve bir doğrultuda ortalama titreşim frekansı  $\nu$  ile gösterilirse, bu atomun yer değiştirme olasılığı şöyle yazılabilir:

$$H \sim Z \nu \exp (- \Delta G_n / RT)$$



Şekil 2.3.1.2. Atomun a noktasından b noktasına geçebilmesi için ideal ve hatalı kafeslerde gerekli aktivasyon enerjisi

Yer değiştirme olasılığı  $H$  değeri, ideal kafes yapısında çok yüksektir. Bu nedenle, ideal yapıdaki kafeste bulunan iki atomun karşılıklı yer değiştirmesi olanaksız gibidir. Ancak, yeterli aktifleşme enerjisine ulaşabilirse, kübik sistemde dört atom ya da hekzagonal sistemde üç atom, birbirini takiben birlikte yer değiştirmeye "çevresel difüzyon" ya da "rotasyon difüzyonu" yapabilirler.

Gerçek kristallerde bulunan boşluklar, Şekil 2.3.1.2 'de kesik çizgilerle gösterildiği gibi, yer değiştirme için gerekli  $\Delta G_n$  serbest entalpisini azalttığından, yer değiştirme olasılığı artar ve atom sıçramaları önemli ölçüde kolaylaşır. "Kafes boşluğu difüzyonu" olarak adlandırılabilen bu durumda, atom bir kafes parametresi kadar yer değiştirerek boşluğu doldurur. Bu esnada, eski bulunduğu yer boşalacağı için yeni bir atom için yer değiştirme olanağı doğar ve böylece sürekli bir şekilde zincirleme olarak yer değiştirme devam eder.

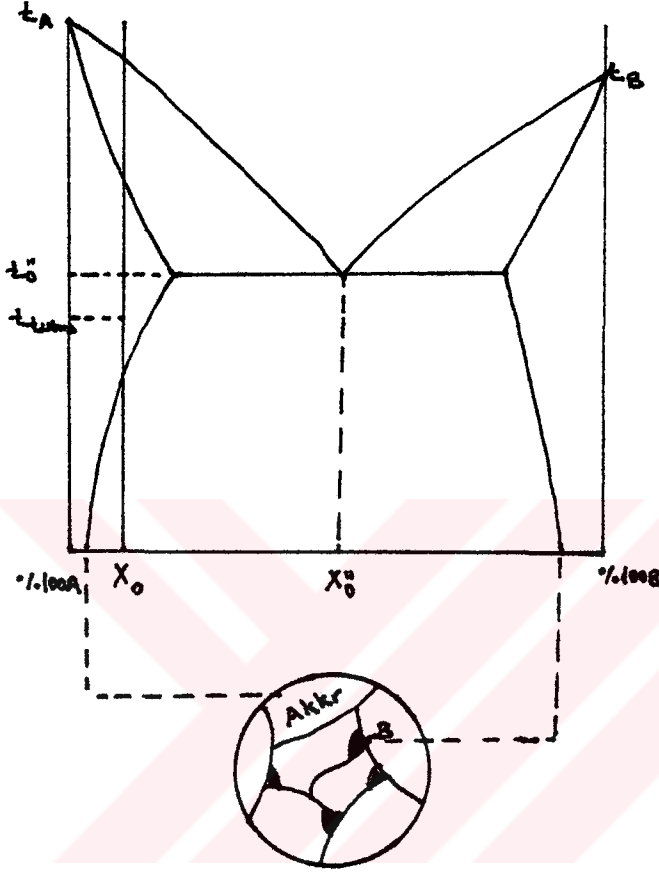
Bünyede arayer atomu bulunması halinde ise, bir kafeste bulunan arayer atomu, sıcaklığın ve titreşimlerin artmasıyla içinde arayer atomu bulunmayan diğer kafese geçebilir. Arayer atomları daha küçük çaplı olduklarından difüzyon için daha az enerji gerektirirler.

Çok kristalli metalik malzemelerde, tane içinde meydana gelen "hacim difüzyonu" ile tane sınırlarında meydana gelen "tane sınırı difüzyonu" birbirine nazaran bazı farklar içerir. Tanelerde her sıcaklık değeri için boşluk konsantrasyonunun bir dengesi vardır ve sıcaklığın artmasıyla boşluk sayısı da artar. Yüksek sıcaklıktan hızlandırılmış soğumada, bünyede normalin üzerinde boşluk kalır ve normal değere inmesi, uzun zaman içinde hacim difüzyonu ile gerçekleşir. Hem boşluk fazlalığı ve hem de çift teşekkülü, düşük sıcaklıklarda öz difüzyonu ve yabancı atom difüzyonunu kolaylaştırır. Bu nedenle, çeliklerdeki ayrışma olaylarının hızı için, soğutmadan önceki sıcaklığın yüksekliği ve ani soğutma hızı büyük anlam taşır.

Tane sınırları çevresinde, metal kafesinin en azından iki-üç bölgesinde düzensizlikler mevcuttur. Tane sınırları bu nedenle, belirli bir boş hacim ihtiva ederler ve difüzyon için ayrıca boşluğa gerek yoktur. Tane sınırları boşlukları daha büyük olduğu için, aktifleştirme enerjisi, hacim difüzyonuna nazaran yaklaşık yarı değerdedir.

Tane sınırı için belirtilen esaslar, benzer şekilde dislokasyonlar için de geçerlidir. Dislokasyonlar, yayınan atomun kolayca hareket edebildiği bir hortum gibi gösterilebilir. Tane sınırına benzer şekilde etkinliğin artmasıyla, aktifleştirme enerjisi yaklaşık yarı değerine düşer (2).

#### 2.4. ÇÖKELTME MEKANİZMASININ YÜRÜMESİ



Şekil 2.4.1. A ve B elementlerini içeren malzemenin denge diyagramı ve oda sıcaklığındaki dokusu.

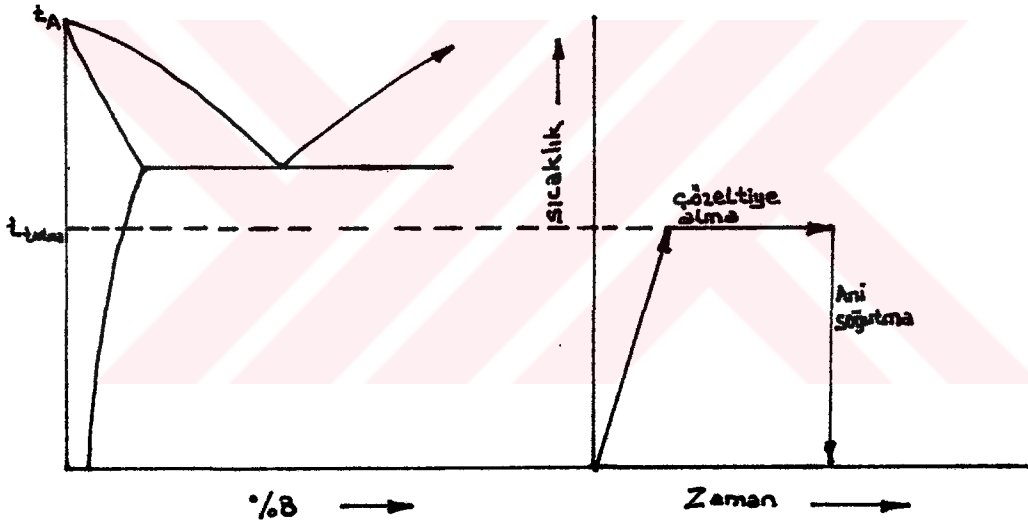
A ve B elementlerini içeren malzemenin denge diyagramı ve oda sıcaklığındaki dokusu Şekil 2.4.1'deki gibidir. Oda sıcaklığından itibaren artan sıcaklıklarla doğru orantılı olarak atom hareketlerinde de değişme olacağı için, yüksek serbest enerji bölgelerinde bulunan B atomları Akkr'ler içine doğru yayınacaklardır. Olay  $t_{tutma}$  sıcaklığına kadar devam edecek ve bu sıcaklıkta öngörülen zaman kadar beklendiğinde B atomları Akkr'lerin içinde çözünecektir.

$t_{tutma}$  sıcaklığından oda sıcaklığına kadar doku yavaş soğutulursa çözülmüş olan B atomları, çevrelerindeki en yüksek enerji bölgelerine gidip yerleşeceklerdir. Soğutma yavaş yapılırsa, B atomlarının Akkr

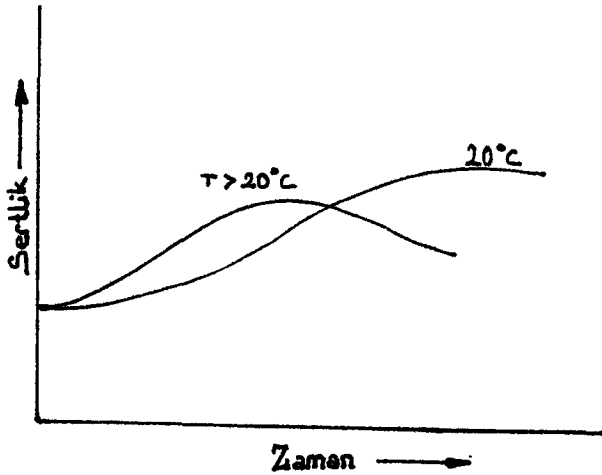
içinden en yüksek serbest enerji bölgelerine yayınmaları için gerekli zaman yeterli olmaktadır. Böylesi bir soğutmada yaşılandırma sertleştirmesinden beklenen sonuç alınamaz. Çünkü beklenen sonuç için gerekli zaman çok uzundur.

$t_{\text{tutma}}$  sıcaklığından itibaren doku oda sıcaklığına kadar ani soğutulursa, B atomlarının yayınması için gerekli zaman olmaz ve B atomları Akkr içinde sıkışmış halde kalır; A katı ergiyeği elde edilir. Ayrıca ani soğutmadan dolayı dokuda sıfır boyutlu (noktasal) hatalar meydana gelir.

Çözeltiliye alma ve ani soğutma kademelerinin diyagramları Şekil 2.4.2'de görülmektedir. (Ani soğutma ile elde edilen bileşim  $X_0$  bileşimidir).



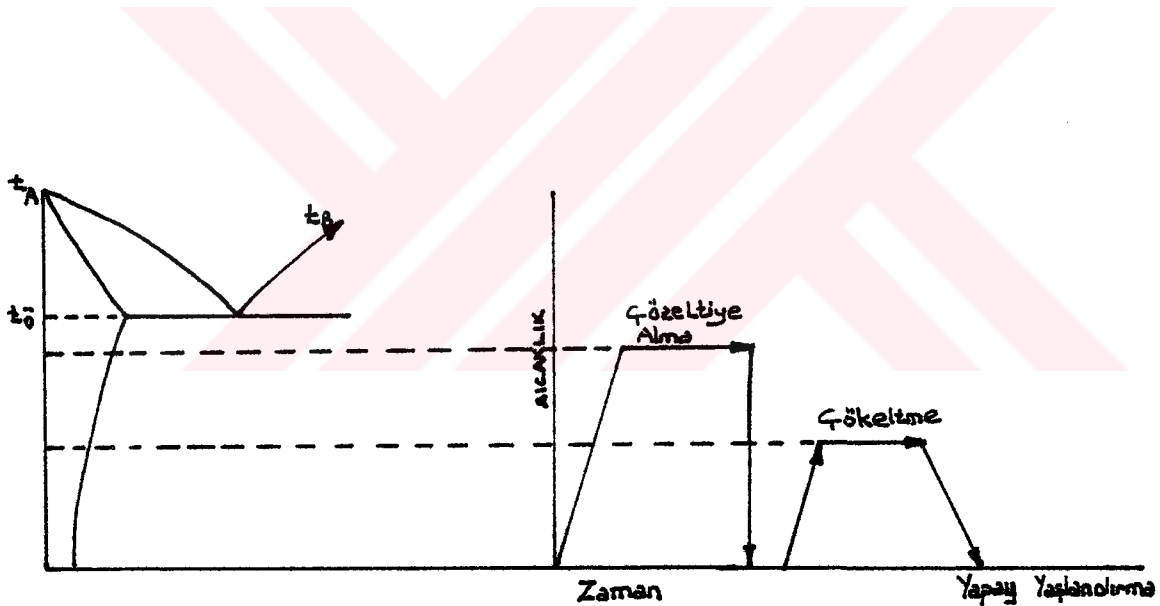
Şekil 2.4.2. B atomlarının çözeltiliye alınması ve ani soğutma.



Şekil 2.4.3. Sertliğin zamana bağlı olarak değişimi.

Alaşım eğer ani soğutmadan sonra oda sıcaklığında tutulursa difüzyon hızı çok yavaş olduğundan ayrışma çok yavaş olur. Ancak ani soğutmadan sonra termodinamik dengede olmayan yapı  $t_{tutma}$  sıcaklığının altında seçilen bir sıcaklığa ısıtılırsa, atom hareketleri, dolayısıyla difüzyon hızlanacak ve B atomları ayrışmaya başlayacaktır.

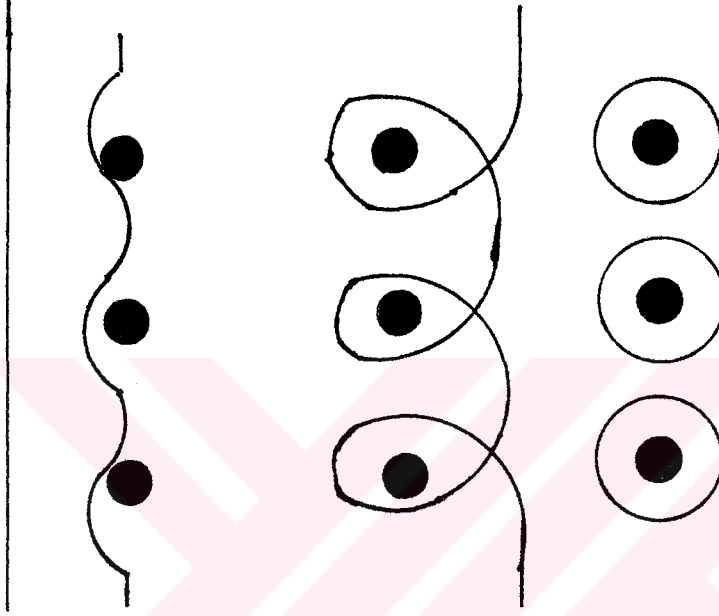
Doku oda sıcaklığında tutulursa B atomları en yakın serbest enerji bölgelerine yayınacaklardır. (Tabi yaşlanma), buna karşın  $t_{tutma}$ 'nin altındaki bir sıcaklıkta bir süre tutulduğunda ise yapıdaki B atomları en yüksek serbest enerji bölgelerine yayınacaklardır (yapay yaşlandırma). Yapay yaşlandırma aşamalarının diyagramları Şekil 2.4.4'de görülmektedir.



Şekil 2.4.4. Yapay yaşlandırma aşamaları.

Dokuda bulunan B atomlarının varlığı oranında çökelti miktarı yükselir ve dislokasyonlar bloke edilerek hareketsiz kalır. Dislokasyonların bloke edilmesi ile hareketsiz bırakılması, yapıdaki sertlik ve dayanımda artma meydana getirir.

Tane içindeki ince çökeltiiler genellikle matriksten daha sert oldukları için, deformasyon esnasında dislokasyon hareketine engel teşkil ederler. Öyle ki çökeltiiler arasında kalan dislokasyon parçası Şekil 2.4.5'de görüldüğü gibi, çökelti partiküllerini aşmak için uygulanan gerilime bağlı olarak hareket ederek, çökelti partiküllerinin çevresini sarar.



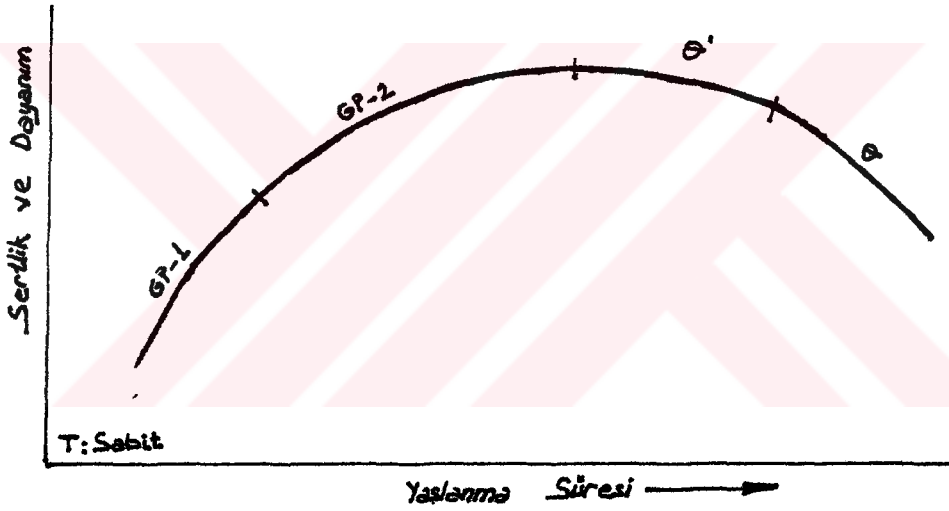
Şekil 2.4.5. Çökelti fazı içeren malzemede dislokasyonların ilerlemesi

Dislokasyonların hareketi için gerekli gerilim miktarı  $\tau$  teorik olarak

$$\tau = \frac{2 G b}{L} \quad (4.1)$$

dir. Burada G, kayma modülünü, b, Burgers vektörünü ve L çökeltiiler arası mesafeyi ifade etmektedir (4.1) bağıntısına göre çökeltiiler arası mesafe azaldıkça, yani çökeltiiler malzemede ne kadar sık dağılmışsa dislokasyon hareketini engelleyici etkileri o denli artmakta ve buna bağlı olarak da malzemenin mukavemetinde artışlar olmaktadır.

Ne var ki yaşılanma süresinin uzaması beklenen faydayı sağlamaz ve belirli bir süre sonunda sertlikte ve dayanımda düşme kaydedilir. Yaşılanma süresi arttıkça, B kümelerinin yoğunluğunun artmasına rağmen adet olarak azalması, daha az sayıda dislokasyonun bloke edilmesine neden olmaktadır. Böylesi bir sonuçta sertlik ve dayanımda meydana gelen azalmaya aşırı yaşılanma adı verilir (Şekil 2.4.6 ve Şekil 2.4.3)



Şekil 2.4.6. Yaşılanma süresine bağlı olarak malzemenin sertlik ve dayanımındaki değişim (T: Çökeltme sıcaklığı)

Şekil 2.4.6'da görüldüğü gibi yaşılanma eğrisinde, GP-1 zonunun karşılığında, mekanik özelliklerde önemli bir gelişme elde edilemez. Bunun nedeni GP-1 zonunda çökeltilerin dislokasyon hareketine engel olamayacak derecede küçük olmasıdır. Özelliklerde elde edilen az miktardaki gelişme, sadece farklı atom boyutlarının yarattığı gerilim alanından doğar (çökelen fazın atom boyutları ile matriks fazı atom boyutları arasındaki farklılık nedeni ile yapıda meydana gelen distorsiyondan dolayı).

GP-2 zonunun karşılığındaki bölgede ise çökelti dislokasyon hareketine engel olacak büyüklüğe gelmiştir ve bu durumda sertlik ve dayanımda artma olduğu kaydedilir.

Aşırı yaşlanma bölgesinde (4.1) bağıntısı geçerli değildir. Çünkü çökelti ile matriks ara yüzeyindeki dislokasyonlar öncelikle hareket ederler ve bu da mukavemetin düşmesine neden olur. Eğer çökelti aşırı derecede büyükse diğer bir olay daha meydana gelir; dislokasyonlar çökeltiyi Şekil 2.4.7'de görüldüğü gibi kesebilirler. Böylesi bir durumda ise sertlik ve dayanımda düşüş kaydedilir.

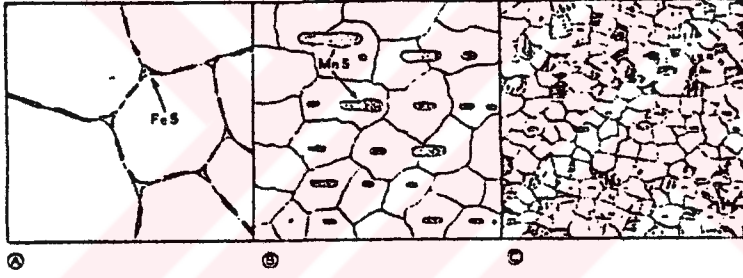


Şekil 2.4.7. İri çökeltilerin deformasyonu. (10)

### 3. ÇELİĞİN YAPISINA ARITILAMAYAN ELEMANLARIN VE ALAŞIM ELEMANLARININ ETKİSİ

#### 3.1. ARITILAMAYAN ELEMANLARIN ETKİSİ

Üretim sırasında cevherden, yakıttan veya ergitme ocaklarının as-tarlarından gelen elemanlardır; alaşım amacı ile özel olarak katılan eleman değildirler. Bunlardan sadece "Mn ve Si" nin çelikte bulunması istenirken, diğer elemanların yapıda yer alması pek istenmez. Bu ele-manlar: P, S, N, O ve H'dir.



Şekil 3.1.1. Arıtılamayan elemanların yapıdaki dağılımları

- a- Mn içermeyen bir çelikte S'nin tane sınırlarında FeS olarak dağılımı,
- b- Mn içeren çelikte S'nin Mn ile MnS olarak yapıda haddeleme doğrultusunda dağılımı,
- c- "Ghost Bandı" Gölge Bant : Perliti azalan bölgede fosfor

FeS'in ergime sıcaklığı, çeliğin ergime sıcaklığından düşüktür ( ~1000-1100°C) ve sıvı çelik banyosunda karışmış halde bulunur. Katı-laşma sırasında demirden sonra, dendritler şeklinde veya tane sınırla-rında katılaşır. Sıcak hadeleme sırasında östenit tane sınırlarında yumuşayan FeS, bu özelliğinden dolayı sıcakta çatlamaşa neden olurken, ayrıca soğukta kırılmalık da yapar.

Eğer çelikte yeterli oranda Mn varsa, Mn'nin S'ye ilgisi çok fazla olduğundan MnS oluşur; bunun da ergime sıcaklığı çelikten yüksektir. Bu nedenle ergiyik, çelikte küçük kürecikler formunda bulunur. Katılaşmadan sonra haddeme sırasında hadde doğrultusunda uzanırlar; dayanım arttırıcı etki yaparlar. Mn ayrıca sertleşebilme derinliğini de arttırmaktadır. Ne var ki, yüksek karbonlu çeliklerde Mn miktarı % 0,3'ü geçmemelidir; sertleştirme sırasında çatlamalara neden olur.

Fosfor, çelikte  $Fe_3P$  şeklinde bulunur, soğukta kırılganlık yapar. Özellikle haddelenmiş çeliklerde gölgeli alanlar (Ghost Bantları) oluştururlar. Bu nedenle kaliteli çeliklerde miktarı maksimum % 0,03-0,05' den fazla olmamalıdır.

Silisyum sıvı halde akıcılığı arttırdığı için döküm kabiliyetini iyileştirir. Fakat Si'nin artması ile dövülebilirlik ve kaynak kabiliyeti düşer; bu tür uygulamalar için istenmeyen bir eleman olarak kabul edilir.

H, O, N gibi elemanlar çelikte gevrekleştirici etki yaptıklarından, istenmezler.

#### 3.1.1. Oksijen :

Çelik üretimi sırasında geçer. Kolay ergime ( $FeO$ ) nedeniyle sıcakta kırılganlık yaratır. Mn, Al ve Ca gibi elemanlarla yapıdan çıkartılabilir.

#### 3.1.2. Hidrojen :

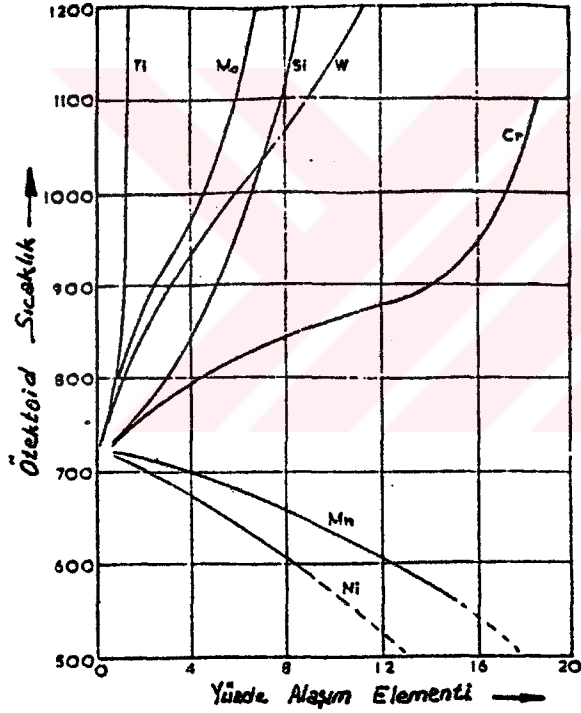
Hidrojen atomları gaz boşlukları oluşturarak kırılganlık yaratmaktadır.

#### 3.1.3. Fosfor ve Kükürt :

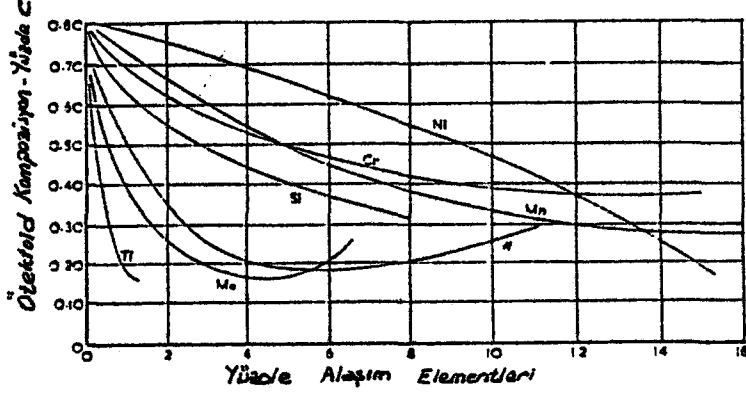
Yapıda fosfor kırılganlık yarattığı için istenmez. S ise genelde zararlıdır; sadece otomat çeliğinde S arttırılmaktadır. Bu iki element Bessemer'de fazla hava verilerek giderilmeye çalışılır.

### 3.2. ALAŞIM ELEMENLARININ ETKİSİ

Özellikleri belirli yönde iyileştirmek için yapıya alaşım elementlerinin dahil edilmesi gereklidir. Bu elementlerden "Mn" ve "Ni" ötektoid sıcaklığı düşürücü etki yaparken, diğer elementler ise ötektoid sıcaklığı arttırıcı etki yaparlar (Şekil 3.2.1). Ayrıca tüm alaşım elementleri ötektoid noktayı sola doğru kaydırırlar (Şekil 3.2.2)

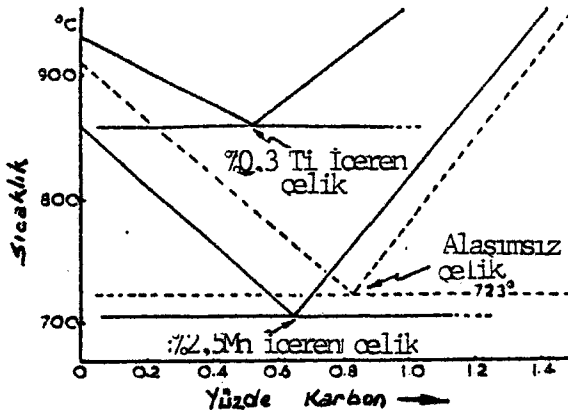


Şekil 3.2.1. Mn ve Ni ötektoid ( $A_{c1}$ ) sıcaklığını düşürürken diğer alaşım elementleri bu sıcaklığı yükseltici etki yaparlar.



Şekil 3.2.2. Alaşım elementlerinin ötektoid noktaya etkileri.

Burada çizilen eğriler, tek tek alaşım elemanlarının etkilerini göstermektedir. İki veya daha fazlası birlikte bulunduğunda etkileri birbirlerini arttırıcı yönde olur. Örneğin % 0,3 Ti içeren bir alaşımda ötektoid noktanın nasıl değiştiği Şekil 3.2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2.3. % 0,3 Ti içeren bir alaşımda ötektoid noktanın değişimi.

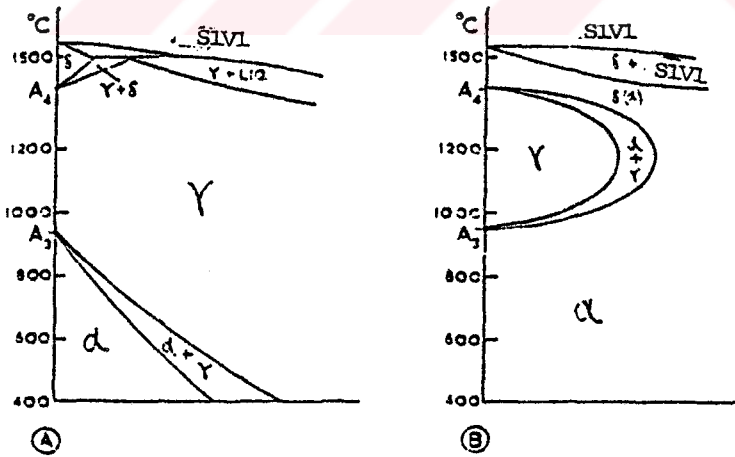
Alaşım elementlerinin östenit alanına etkisi iki değişik grupta meydana gelir :

a) Östenit Alanını Genişleten Elementler :

Mn, Ni, Co östenit alanını genişleten elemanlardır. Bazı durumlarda alaşım elemanı etkisi ile  $A_{C1}$  sıcaklığı o denli düşer ki, oda sıcaklığında bile östenitli bünye görülür; doku östenitiktir. Bu çeliklerin soğukta şekil değiştirme özellikleri iyi olup sünektirler. Isıl işlemlle sertleştirilemezler ve magnetik değillerdur (şekil 3.2.1.A).

b) Östenit Alanını Daraltan Elementler

Cr, Si, Mo, V, Ti, W ve Al östenit alanını daraltan elemanlardır. Bu elementlerin çoğu KHM kafese sahip olduklarından, bünyeye girdiklerinde de demiri KHM olmaya zorlayacaklardır. şekillendirilmeleri zor ve gevreklerler (şekil 3.2.1.B).



şekil 3.2.4. Alaşım elementlerinin östenitik sahaya etkileri,

A- Östenit alanını genişleten elementler : Mn, Ni, Co

B- Östenit alanını daraltan elementler : Cr, Si, Mo, V, Ti, W, Al

Çelik bünyesinde alaşım elementlerinin bünyede bulunuş şekilleri ve etkileri Tablo 3.2.1'de gösterilmiştir.

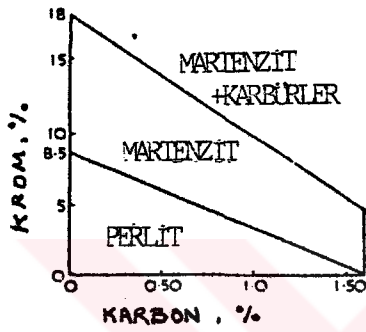
| Element   | Ferrit içinde<br>çözünme oranı | Karbür şeklinde<br>bulunma oranı |
|-----------|--------------------------------|----------------------------------|
| NİKEL     | ●                              | -                                |
| SİLİSYUM  | ●                              | -                                |
| ALÜMİNYUM | ●                              | -                                |
| ZİRKON    | ●                              | -                                |
| MANGAN    | ●                              | .                                |
| KROM      | ●                              | ●                                |
| WOLFRAM   | ●                              | ●                                |
| MOLİBDEN  | ●                              | ●                                |
| VANADYUM  | ●                              | ●                                |
| TİTAN     | ●                              | ●                                |
| NİYOBO    | ●                              | ●                                |
| BAKIR     | ⊙                              | -                                |
| KURŞUN    | -                              | -                                |

#### 3.2.1. Krom :

Çekme dayanımını arttırır. Yaklaşık olarak her % 1'lik Cr artışı, dayanımı 8-10 kp/mm<sup>2</sup> arttırır. Buna karşılık kopma uzamasında ve çentik darbe tokluğunda düşme meydana gelir. Cr oranının artışıyla paslanmazlık özelliği iyileşir; yaklaşık % 11,5 - 12'den fazla Cr içeren çeliklerin korozyon dayanımları çok iyidir. Tufallaşmaya ve oksidan etkilere karşı dirençleri de iyidir. Şekil 3.2.1.2'de yavaş soğuma sonucu Cr alaşımında elde edilecek bünyeler gösterilmiştir.

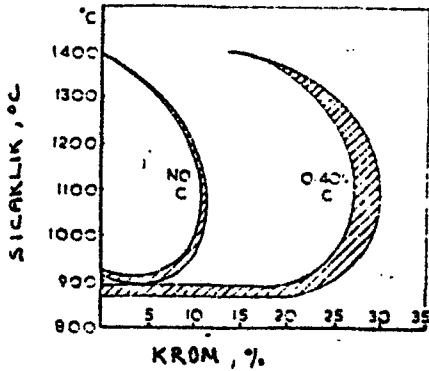


$\text{Cr}_7\text{C}_3$  karbürüne nazaran daha az stabil olduğu için çözülür.  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  ise çözülmeden kalır. Bu çözülen karbürler, sertleştirmeden sonra  $450-600^\circ\text{C}$  sıcaklıkları arasında tekrar ayrışırlar ve çelikte menevişleme esnasında sertlik artması (sekunder sertlik) meydana getirirler. Yapıda bulunan  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  karbürleri Şekil 3.2.1.1'de görülmektedir.



Şekil 3.2.1.2. Cr alaşımlarında elde edilen bünyeler.

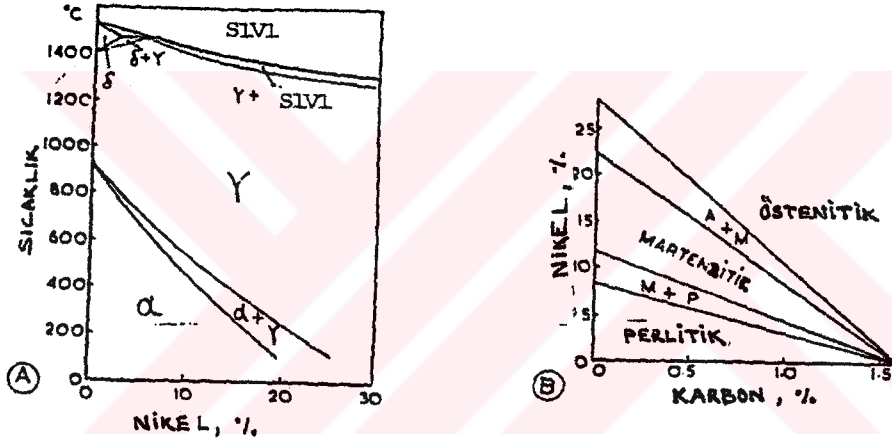
Çelikte Cr, östenit alanını daraltmaktadır. Bu durum Şekil 3.2.1.3 de gösterilmiştir.



Şekil 3.2.1.3. Cr'nin östenit alanına etkisi. Kübik yüzey merkezli  $\gamma$  karışık kristallerinin bulunduğu bölge (östenit bölgesi) kapanmıştır.

### 3.2.2. Nikel :

Nikel kromun tersine, östenit alanını genişletir. Paslanmaz çeliklerin ana alaşım elementidir. Yapıda bulunduğunda, çekme dayanımını artırır ve buna karşın özgül uzamayı biraz düşürür. Fakat çeliğe katılmasının esas amacı korozyon dayanımını arttırmak içindir. Nikelin  $\gamma$  alanına etkisi ve yavaş soğuma ile nikelli çeliklerde elde edilecek bünyeler Şekil 3.2.2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2.2.1. A- Ni'nin  $\gamma$  alanına etkisi

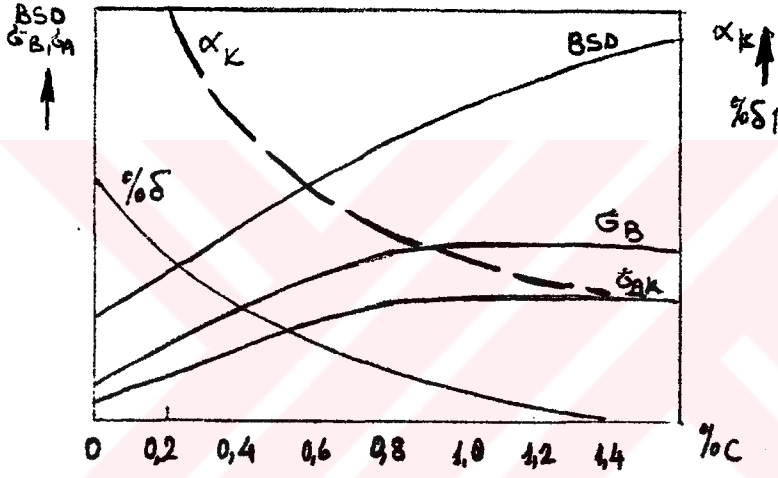
B- Yavaş soğuma sırasında oluşacak bünyeler.

### 3.2.3. Molibden :

Çekme dayanımı ve özellikle sıcakta dayanımı çok arttırır. Kaynak edilebilirliğe olumlu etkisi vardır. Genellikle Cr ile birlikte çeliğe katılır. Karbür oluşturduğu için hız çeliklerinde, sıcak iş takım çeliklerinde, östenitik paslanmaz çeliklerde, sementasyon, ıslah ve sıcağa dayanıklı çeliklerde kullanılır.

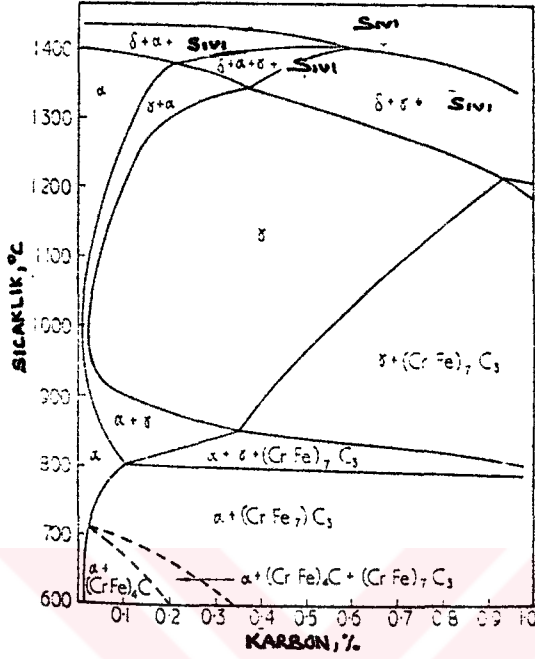
### 3.2.4. Karbon :

Karbonun % 0,8'e kadar artması çekme dayancı ve akma sınırını artırır. Kopma uzaması, derin çekilebilirlik, dövülebilirlik, kısaca plastik şekil değiştirme kabiliyeti, artan karbon oranı ile düşer. Kaynak kabiliyeti ise soğukta şekil değiştirme ile paralel özellik gösterirken, elektriksel kayıplar karbon miktarı ile artar (Şekil 3.2.4.1).



Şekil 3.2.4.1. Karbonun mekanik özelliklere etkisi.

Şekil 3.2.4.2'de % 12 Cr içeren çeliğin yapısına C'nun etkisi görülmektedir.



Şekil 3.2.4.2. % 12 Cr içeren çeliğin yapısına C'nun etkisi.

### 3.2.5. Silisyum

Çeliğin silisyumlu sayılabilmesi için en az % 0,4 Si içermesi gereklidir. Silisyumun artması ile çeliğin çekme dayanımı, akma dayanımı ve sertliği artma gösterirken, soğukta şekil değiştirme özelliğinde düşme görülür. Elektriksel kayıplar ise Si'in artması ile azalırken kaynak kabiliyetinde de azalma görülür.

### 3.2.6. Mangan :

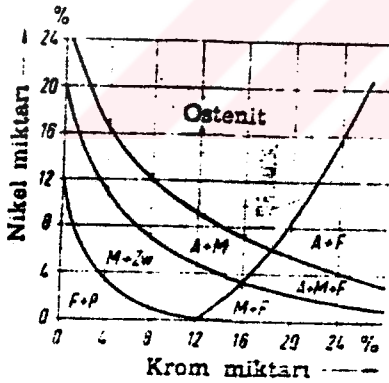
% 7'ye kadar Mn, çekme dayanımını ve akma sınırını arttırır. % 1 Mn ise dövülebilirlik ve sıcaklığa dayanıklılığı arttırır. Döküm malzemelerde  $Fe_3C$  oluşturur. Alaşımsız çelikler % 0,9 Mn içerebilirler ve kaynak kabiliyetini arttırırlar.

### 3.2.7. Elementlerin Kombine Olarak Çeliğe Etkisi

Alaşımlı çeliklerin büyük bir kısmı sadece tek bir alaşım elementi değil, iki veya daha fazla içermektedirler. Karbon çeliklerde alaşım elementi olarak ele alınmazken silisyum ve mangan da her çelikte bulunduklarından miktarları ancak % 0,5 Si ve % 0,8 Mn'yi geçerse alaşım elementi olarak sayılırlar.

Birden fazla elementin dokuya etkisi, birbirlerinin etkilerini arttırıcı yönde olabilirken, yeni etkilerin ortaya çıkmasında da rol oynayabilmektedirler. Örnek olarak krom-nikel çelikleri ele alındığında, krom, karbür oluşturan bir elementtir ve östenit bölgesini kapalı duruma getirmektedir. Nikel ise karışık kristal oluşturan bir elementtir ve östenit alanını genişleterek östenitik çelikleri oluşturmaktadır.

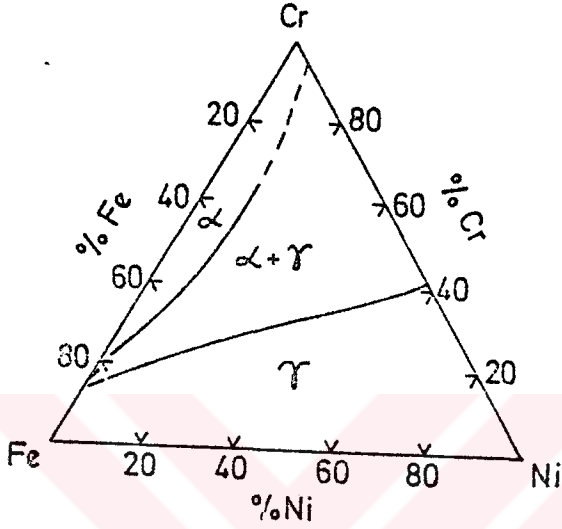
Her iki elementin çelikteki mevcudiyetinde etkileri ortadan kalkmazken aksine krom nikelin etkisini kuvvetlendirmektedir (Şekil 3.2.7.1).



Şekil 3.2.7.1. Yaklaşık olarak 1000°C de su verilmesinden sonra düşük karbon miktarlı krom-nikel çeliklerinin iç yapısı.

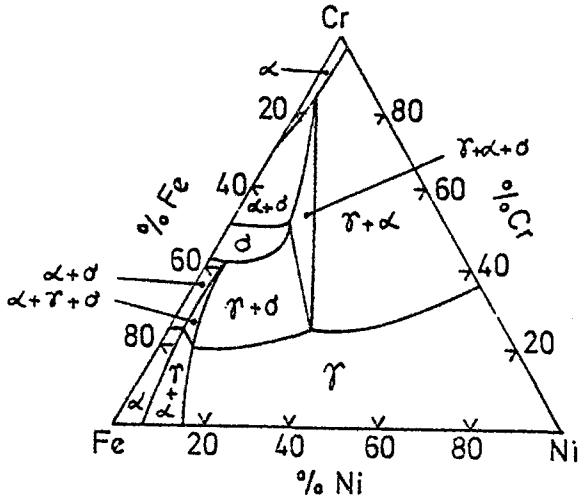
- A : Östenit
- M : Martenzit
- F : Ferrit
- Zw : Ferrit
- P : Perlit

Şekil 3.2.7.2'de Fe-Cr-Ni üçlü sistemin 1050°C'deki diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.2.7.2. Fe-Cr-Ni üçlü sisteminin 1050°C'deki faz diyagramı.

Şekil 3.2.7.3'de Fe-Cr-Ni üçlü sisteminin 650°C 'deki faz diyagramı krist yapılar görülmektedir.



Şekil 3.2.7.3. Fe-Cr-Ni üçlü sisteminin 650°C'deki faz diyagramı (3,9).

#### 4. PASLANMAZ ÇELİKLER

##### 4.1. GENEL ÖZELLİKLER

Yapılarındaki yüksek Cr oranının kazandırdığı üstün korozyon direnci ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık paslanmaz çeliklerin en önemli özelliklerindendir. Korozyon direncini sağlayan pasif film oluşumu için gerekli % 12 Cr içeriği paslanmaz çelikler için krom oranının alt sınırıdır. Artan Cr oranıyla birlikte korozyon direnci ve yüksek sıcaklık dayanımı da artar. Kroma ek olarak değişik alaşım elementleri (Ni, Si, Mn, Mo, V, W, Co) yapıda bulunmaktadır. Bunların arasında en önemli alaşım elementi Ni'dir. Kullanım için gerekli korozyon direnci, mekanik özellikler ve yüksek sıcaklıktaki tutumu belirleyen temel etmen malzemenin kimyasal kompozisyonu ve dokusudur. Buna göre paslanmaz çelikler oda sıcaklığındaki dokularına göre beş ana grup altında toplanırlar :

- a) Ferritik Paslanmaz Çelikler
- b) Östenitik Paslanmaz Çelikler
- c) Martenzitik Paslanmaz Çelikler
- d) Çökelmeyle Sertleşebilen Paslanmaz Çelikler
- e) Çift Fazlı Paslanmaz Çelikler

Paslanmaz çeliklerin her ortamda çok iyi korozyon direncine sahip olduklarını düşünmek yanlıştır. Özellikle yanlış çelik seçiminin ya da hatalı kullanımın söz konusu olduğu durumlarda paslanmaz çeliklerin alaşımsız çeliklerden daha hızlı korozyona uğradığı belirlenmiştir. Ayrıca farklı ortamlarda, farklı korozyon türleriyle karşılaşılması mümkündür. Bu nedenle paslanmaz çelik seçiminde çalışma koşullarını temsil eden deneyler yapılması veya daha önceki benzeri uygulamalarda iyi performans gösteren çeliklerin kullanılması önerilir.

Çelik grupları standard ya da standard olmayan farklı kompozisyonlardaki çeliklerden oluşmaktadır.

#### 4.2. PASLANMAZ ÇELİKLERİN SİMGELENMESİ

Paslanmaz çeliklerin dünyada ve ülkemizde en çok kullanılan standard gösterimi AISI numaralarıyla yapılmaktadır. Bu standardta paslanmaz çelikler, kimyasal kompozisyonlarına göre sınıflandırılıp, üç basamaklı sayılarla numaralandırılmaktadır.

Tablo 4.2.1'de AISI (American Iron and Steel Institute) numaralarının hangi grup çeliği gösterdiği belirtilmiştir.

Tablo 4.2.1. AISI numaralarına göre paslanmaz çelik grupları

| Seriler | Grupların Genel Özellikleri                                 |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| 2 xx    | Krom-Nikel-Mangan,Östenitik sertleştirilemez,Magnetik değil |
| 3 xx    | Krom-Nikel, Sertleştirilemez, Östenitik, Magnetik değil     |
| 4 xx    | Krom, Sertleştirilebilir, Martenzitik, Magnetik             |
| 4 xx    | Krom, Sertleştirilemez, Ferritik, Magnetik                  |
| 5 xx    | Krom, Düşük krom, sıcağa dayanıklı                          |

Herhangi bir çelikte yapılan yeni düzenlemeler standard numurasının yanında bir harf ile belirtilir. Örneğin 304 çeliğinde karbon oranının % 0,08'den % 0,02'ye indirilmesiyle elde edilen çelik 304 L olarak isimlendirilir.

Bir başka simgeleme sistemi ise UNS (Unified Numbering System)'dir. Bu sistemde paslanmaz çelikler genellikle S harfi ve beş basamaklı sayılarla gösterilir. Bu numaranın ilk üç basamağı genellikle AISI numarasının aynı olup, son iki basamak ise yeni düzenlemeler için kullanılmaktadır. Tablo 4.2.2'de bazı standard bileşimli çeliklerin AISI ve UNS numaraları ve bunların, o grubun temel kompozisyonundan farklılıkları verilmiştir.

Tablo 4.2.2. Paslanmaz Çeliklerin Simgelenmesi ve Kompozisyon Farklılıkları

| UNS     | AISI   | Ana Bileşimden Farklılığı                         |
|---------|--------|---------------------------------------------------|
|         |        | Östenitik, Krom-Nikel                             |
| S 30100 | 301    | Cr, Ni daha düşük                                 |
| S 30200 | 302    | Ana tip % 18 Cr + % 8 Ni                          |
| S 30215 | 302 B  | Daha iyi kabuklanma direnci için Si fazla         |
| S 30300 | 303    | Kolay talaş kalkması için P ve S ilavesi          |
| S 30323 | 303 Se | Talaş kaldırmayı kolaylaştırmak için Se ilavesi   |
| S 30400 | 304    | Karbür çökelmesinden kaçınmak için düşük karbon   |
| S 30403 | 304 L  | Kaynak kabiliyetini arttırmak için az karbon      |
| S 30500 | 305    | Daha düşük soğuk pekleşme için Ni yüksek          |
| S 30800 | 308    | Korozyon direnci için Cr ve Ni çok, C az          |
| S 30900 | 309    | Daha fazla Cr ve Ni                               |
| S 30908 | 309 S  | Karbür çökelmesinden kaçınmak için düşük C        |
| S 31000 | 310    | Cr ve Ni en yüksek oranda                         |
| S 31400 | 314    | Kabuklanma direncini arttırmak için Si ilavesi    |
| S 31600 | 316    | Daha fazla korozyon direnci için Mo ilavesi       |
| S 31603 | 316 L  | Kaynaklı uygulamalar için düşük karbon            |
| S 31700 | 317    | Yüksek sıcaklık dayancı için Mo ilavesi           |
| S 31800 | 318    | Karbür çökelmesini önlemek için Nb ve Ta eklenmiş |
| S 34723 | 347 Se | Talaş kaldırmayı kolaylaştırmak için Se ilavesi   |
|         |        | Östenitik Krom-Nikel-Mangan                       |
| S 20100 | 201    | Cr ve Ni az. Daha fazla soğuk pekleşme için       |
| S 20200 | 202    | Ana tip. % 18 Cr + % 5 Ni + % 8 Mn                |
| S 20400 | 204    | Karbür çökelmesini önlemek için C oranı az        |
| S 20403 | 204 L  | Kaynak uygulaması için oldukça düşük C            |

Tablo 4.2.2'nin devamı

|         |         | Martenzitik, Krom                                             |
|---------|---------|---------------------------------------------------------------|
| S 40300 | 403     | % 12 Cr özel mekanik özellikler için yapılmış                 |
| S 41000 | 410     | Ana tip % 12 Cr'lu                                            |
| S 41400 | 414     | Korozyon direncini arttırmak için Ni ilavesi                  |
| S 41600 | 416     | Daha iyi talaş kaldırma için P ve S ilavesi                   |
| S 41623 | 416 Se  | İyi talaş kaldırma için Se ilavesi                            |
|         | 416 Spc | Yüksek sıcaklıkta özellikler için W ilavesi                   |
| S 42000 | 420     | Kesme özelliklerini arttırmak için C artımı                   |
| S 42020 | 420 F   | İyi talaş kaldırmak için P ve S ilavesi                       |
| S 43100 | 431     | Korozyon direnci ve mekanik özellikler için Cr,Ni             |
| S 44000 | 440 A   | Kesme uygulamaları için yüksek C                              |
| S 44004 | 440 Se  | Talaşlı şekillendirme için Se ilavesi                         |
|         |         | Ferritik Krom                                                 |
| S 40500 | 405     | Sertleşmeyi önlemek için Al ilavesi                           |
| S 43000 | 430     | % 17 Cr ana tip                                               |
| S 43020 | 430 F   | Talaşlı işlemek için P ve S ilavesi                           |
|         | 430 Ti  | Titanyumla kararlaştırılmış                                   |
| S 44200 | 442     | Kabuklanma direncini arttırmak için C miktarı arttırılmış (4) |

#### 4.3. ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

Paslanmaz çeliklerin içine kroma ilaveten Ni ve/veya Mn eklenmesi ile östenit sahası genişletilebilir. Bu şekilde elde edilen çeliğin dönüşüm sıcaklığı oda sıcaklığının çok altına iner. Dolayısıyla oda sıcaklığındaki yapıları östenittir.

Yüksek krom oranının sağladığı yüksek korozyon direncinin yanında kübik yüzey merkezli östenitik yapının plastik şekil değiştirmesinin kolay olması, sünek bir yapıya sahip olması ve soğuk pekleşme özelliği en önemli avantajlarıdır. Magnetikliklerinin ve ısı iletkenliklerinin düşük olması da belirli uygulamalar için avantaj sayılabilir.

Arzu edilen mekanik özelliklerin tümünü üzerinde toplayan 304 paslanmaz çeliği, en yaygın kullanıma sahip paslanmaz çelik türüdür.

Artan Cr oranının işleme zorlukları çıkarması sebebiyle korozyon direncinin daha fazla iyileştirilmesi için yapıya Mo katılır. Özellikle N içeren çeliklerde Mo oranı % 6'ya kadar çıkartılabilir. Böylece korozyon direnci oldukça yükseltilir.

% 18 Cr'lu çeliklere Ni ilavesi Y halkasını büyük ölçüde genişletir. Ni oranındaki artışın yapı ve mikro yapı üzerinde iki ana etkisi mevcuttur. Bunlar;

a) Östenitleme sıcaklığında mevcut östenit miktarını arttırır, fakat Ni oranının düşük tutulması halinde mevcut östenit tamamen veya kısmen martensite dönüşebilir.

b) Ms sıcaklığını o denli düşürür ki, Ni içeriğinin % 8 olma durumunda Ms sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altında bir değere iner ve bu durumda östenitleme sıcaklığından oda sıcaklığına yapılan soğutma sonucu östenit mikro yapıda dönüşmemiş olarak kalır.

% 18 Cr - % 8 Ni'li bileşimdeki çeliğin mikro yapısında bir miktar  $\delta$  - Ferrit bulunur. C'u serbest halde olan % 18 Cr'lu çelikle 1050°C deki östenitleme sıcaklığında tamamen östenitik mikro yapı oluşturabilmek için % 12 oranında Ni'e ihtiyaç vardır. Bununla beraber C'un kuvvetli

östenit oluşturuıcı element olmasından ötürü % 0,1 C içeren % 18 Cr % 8 Ni'li çelik 900°C 'nin üzerinde tamamen östenitiktir. Bu çeliğin Ms sıcaklığı oda sıcaklığının hemen altında olup, östenitin martensite kısmen dönüşmesi ya - 78°C 'de soğutma sonucu veya soğuk deformasyon sürecinde gerçekleşir. % 0,1 C'lu çeliklerde, tipik östenitleme sıcaklıklarından (1050 - 1100°C) soğutma sonucu östenitin kararlı olmasının sağlanmasında Cr ile Ni arasındaki etkileşimin çok önemli olduğu anlaşılmaktadır;

a) Cr düşük miktarda mevcutsa;  $\gamma$  alanını,  $\gamma$  halkası içinde minimum değerine kadar genişletmek suretiyle östeniti kararlı yapıcı bir eleman olarak davranır.

b) Oda sıcaklığında kararlı olan tamamen östenitik bir mikro yapı sağlamak için % 18 Cr içeriğinde çelikteki Ni oranının minimum değerde tutulması arzu edilir.

c) % 18'den yüksek Cr içeriklerinde, Cr'un ferrit oluşturuıcı yönü çok kuvvetlidir. Bu durumda östenitin martensite dönüşümünün çok fazla kararlılığına karşın,  $\delta$  -Ferritten arınmış tamamen östenitik bir yapının oluşabilmesi için, çeliğin Ni oranının arttırılması gerekir.

#### 4.4. FERRİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

% 6-30 Cr ve % 0,05 - 0,25 C içerirler. Kromun kapalı ve dar bir östenit alanı oluşturmaması, bir başka anlatımla ferritik yapıyı kararlaştırması sebebi ile bu çelikler hiçbir dönüşüme uğramaksızın ya da kısmen dönüşüme uğrayarak sıvı faza kadar ısıtılabilirler. Dönüşüme uğramadıkları için ısıtılma işlemle sertleştirilmeleri veya normalleştirme ile tane küçültülmesi mümkün değildir. Kübik hacim merkezli ferritik yapının malzemeye kazandırdığı avantajların başında nisbeten yüksek akma sınırı ve her sıcaklıkta oldukça iyi magnetik özellikler gelir. Karbon ve azot gibi elementlerin ferritik yapı içinde çözünürlüklerinin oldukça düşük olması bu malzemelerin sünek-gevrek geçişinin çok dar bir sıcaklıkta oluşmasına sebeptir; tokluğun düşük olması, bu çeliklerin kullanımındaki en önemli sıralamayı oluşturur. Isı iletimi uygulamalarında oldukça sık kullanılırlar.

#### 4.5. MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLER

% 12-20 Cr içerirler; nisbeten düşük krom içermeleri nedeniyle korozyon dirençleri daha azdır. Ancak ısıtma ve soğutma sırasında dönüşüm uğraması sayesinde ve yüksek krom oranı nedeniyle havada soğutmada bile martenzit oluşur. Menevişleme işlemi sonucu toklukta bir miktar artış elde edilir. Bu tür çeliklerin ısıtma işleminde ısıtma kademeli uygulanmalı soğutma havada ya da yağda yapılmalıdır; böylece düşük ısıtma iletkenlikleri nedeniyle ısıtma ve soğutma sırasında sıcaklık gradyantının oluşması ve çatlamların meydana gelmesi önlenmelidir. Eğer yağda soğutma yapılırsa korozyon direnci ve tokluk yükselir, ancak çatlama riski de buna paralel olarak artar.

Bu tür çelikler, korozyonla beraber yüksek mekanik özelliklerin istendiği yerlerde kullanılır.

#### 4.6. ÇÖKELME İLE SERTLEŞEBİLEN PASLANMAZ ÇELİKLER

Bu tür çelikler krom ve nikel içeren çelikler olup, östenitik, yarı östenitik veya martenzitik yapıda olabilirler. Yaşlandırma ile dayanç artması yapıya bakır ve alüminyum gibi intermetalik çökeltici partikülleri oluşturan elementlerin ilavesiyle kazandırılır. Yaşlandırma 480-620 arasında yapılır; 44 HRC 'nin üzerinde sertlik değeri elde edilir.

#### 4.7. ÇİFT FAZLI PASLANMAZ ÇELİKLER

Bu çeliklerin kimyasal kompozisyonları, oda sıcaklığında ferrit ve östenit tanelerini içerecek şekilde düzenlenmiş malzemelerdir. Oda sıcaklığında östenitin kararlı hale getirilmesi için yapıya nikel ilavesi yapılır. Çok iyi korozyon direncinin yanında östenitik çeliklerin süneklilik, kolay şekillendirme ve soğuk pekleşme özelliklerine ferritik çeliklerin de yüksek akma sınırı gibi özelliklerine sahiptirler. Eşit oranda ferrit ve östenit içeren çift fazlı paslanmaz çelikler çok iyi tokluğa sahiptirler ve dayancısı her bir bileşeninden daha yüksektir.

İlk üretilen çift fazlı paslanmaz çeliklerde, oda sıcaklığında fazlar arası denge nikel ilavesiyle elde edilmiştir. Bu ilk çelikler oldukça iyi korozyon ve mekanik özelliklere sahip olmalarına rağmen kaynak işlemi sonrası fazlar arasında ortaya çıkan Cr ve Mo segragasyonunun korozyon direncini düşürmesi kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Yakın zamanda geliştirilen çeliklerde ise azot ilavesiyle fazlar arasındaki dengenin daha hızlı kurulması sonucu, herhangi bir tavlamaya gerek olmaksızın Cr ve Mo segragasyonu en aza indirilir. Günümüzde geliştirilen çelikler çok iyi tokluk ve yüksek dayanç, ayrıca korozyon direncine sahiptirler. Ayrıca klorürlü ortamlardaki gerilmeli korozyon çatlamasına karşı dayanıklı ve ekonomik üretim koşullarına sahiptirler (5).

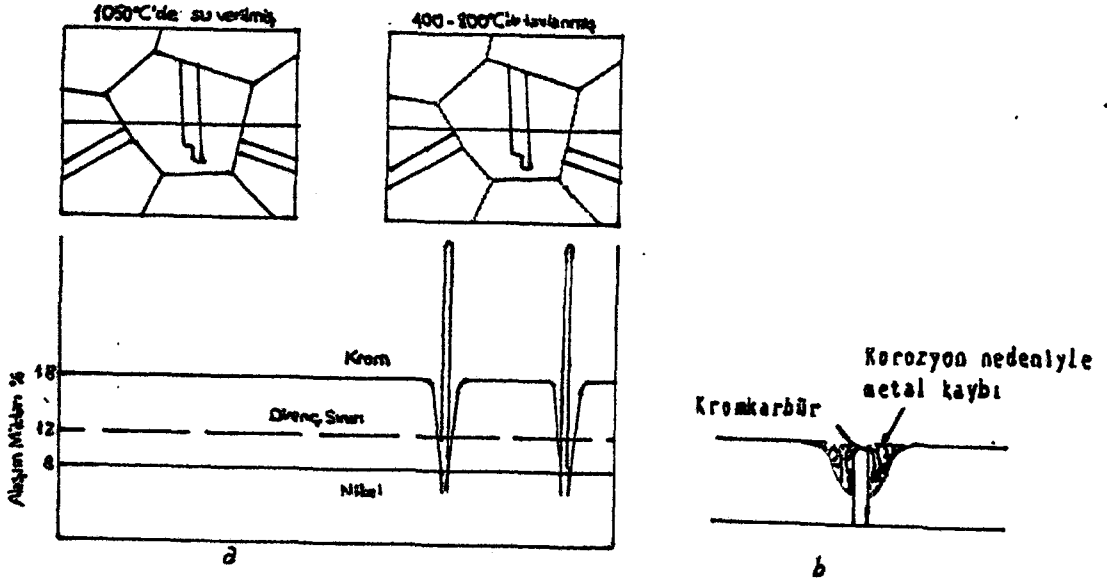


## 5. PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA HASSASLAŞMA

Paslanmaz çeliklerde sıcaklık etkisiyle tane sınırlarında krom karbürlerin çökmesi olayıdır. Östenitik paslanmaz çeliklerde bu olay 450-870°C aralığında gerçekleşir. Karbür çökme miktarı sıcaklığa ve zamana bağlıdır. Çökelen krom karbürlerin çevresinde kromca fakir bölgeler oluşur. Özellikle tane sınırında sürekli karbür çökmesi sonucu yapı, tanelerarası korozyona duyarlı hale gelir. Duyarlılaşıma sonucu, çukurcuk korozyonu, gerilmeli korozyon çatlaması ve aralık korozyonu gibi korozyonlara karşı da direnç düşer. Kaynaklı birleştirmelerde ısı etkisinde kalan bölgelerde hassaslaşmanın oluşması en çok karşılaşılan sorunların başında gelir.

### 5.1. ÖSTENİTİK KROM-NİKELLİ PASLANMAZ ÇELİKLERİN KAYNAĞINDA TANELERARASI KOROZYON

Östenitik krom nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinin 450 - 870°C sıcaklık aralığında yeterli bir süre kalması durumunda, kromkarbür çökmesi oluşur. Bu çelikler, üretimleri sırasında, krom ve karbürün östenit içinde çözündüğü 1100°C 'den itibaren hızla soğutulurlar. Bu şekilde bu elementlerin çökme tehlikesi ortadan kalkmış olur; oda sıcaklığında karbonun difüzyon hızı çok düşük olduğundan, kullanım esnasında oluşması olasılığı yoktur. Sıcaklığın 450°C'nin üzerine çıkması ile karbonun difüzyon hızı, karbonu tane sınırlarından dışarıya çıkartacak derecede artar. Tane sınırlarında biriken karbon, kroma karşı olan yüksek afinitesinden dolayı, bu bölgede krom ile birleşerek kromkarbür  $(Fe, Cr)_{23}C_6$  oluşturur. Oluşan kromkarbürün ağırlık olarak % 90'ını krom oluşturduğundan, tane sınırlarında bulunan çok az karbon bile östenit tanelerinin çevresindeki krom miktarını aşırı derecede azaltır (Şekil 5.1.1). Bunun sonucu olarak malzeme korozif bir ortamda bulunduğunda, kromca zayıflamış olan tane sınırlarında korozyon oluşur. Çeliğin karbon içeriği arttıkça bu olay şiddetlenir.



Şekil 5.1.1. Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerde tane sınırlarında krom karbür çökmesine bağlı olarak krom azalması.a)304 tipi bir östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliğin tane sınırlarındaki krom karbür çökmesinin şematik gösterimi, b)Tane sınırlarına bitişik bölgedeki tanelerarası korozyon etkisini gösteren tane sınırının kesiti

Östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin kaynağı esnasında ergiyen bölge çok kısa bir zamanda katılaşır hızla soğuduğundan ve elektrod olarak kullanılan alaşımların karbon içeriği de düşük olduğundan, kaynak metal, yani kaynak dikiyi için karbür çökmesi tehlikesi yoktur. Buna karşın ısının tesiri altındaki bölge, kaynak süresi boyunca 500-900°C sıcaklık aralığında tavlı olarak kalmakta ve aynı zamanda da bu bölge esas metalin bir parçası olduğundan, karbon içeriğinin yüksek olması halinde, östenit tane sınırlarında tanelerarası korozyona neden olacak kromkarbür çökmesi olayı ortaya çıkmaktadır. Belirli bir karbon içeriği için karbür çökmesi olayının şiddeti, sıcaklık ve zamana bağlıdır.

Çökme başlamadan önce sıcaklık ile değişen bir kuluçka periyodu vardır. Sıcaklık ve çeliğin karbon içeriğine göre en kısa sürede çökmenin başladığı bir sıcaklık vardır. Bu sıcaklığa kritik sıcaklık denir (Tablo 5.1.1)

Tablo 5.1.1. Karbon içeriği, zaman ve sıcaklığa bağlı olarak kromkarbür.

| Karbon içeriği (%) | Kuluçka periyodu (dakika) | Kritik sıcaklık (°C) |
|--------------------|---------------------------|----------------------|
| 0.03               | 11                        | 650                  |
| 0.05               | 7                         | 650                  |
| 0.06               | 2.5                       | 670                  |
| 0.08               | 0.3                       | 750                  |

Tek paso ile yapılan ark kaynağında ısının tesiri altındaki bölge, 650-750°C arasındaki sıcaklığa bir dakikadan az bir süre maruz kalır. Buna karşın çok pasolu kaynak halinde bu süre üç dakikanın üzerine çıkar ve dolayısıyla karbür çökelme tehlikesi kendini gösterir. Karbür çökmesinin oluşabilmesi için, çeliğin karbon içeriğinin belirli bir miktarın üzerinde olması gerekir. Tablo 5.1. de görüldüğü gibi karbon içeriğinin azalması, kuluçka periyodunu uzatacağından, bu tehlike ortadan kalkacaktır. Bu bakımdan, kaynak ile birleştirilmesi gereken östenitik krom-nikelli paslanmaz çeliklerin özel olarak üretilen bazı türlerinde karbon miktarı düşünülerek korozyon direncinin arttırılması amaçlanmıştır.

## 5.2. TANELERARASI KOROZYONU ÖNLEME METODLARI

Tanelerarası korozyon oluşmasını önlemek amacıyla uygulanan bir başka yöntem de, çeliğin stabilizasyonu olarak adlandırılır. Bu durumda karbonun kroma karşı olan ilgisinden daha yüksek bir ilgiye sahip bir elementin, çelik bileşimine katılması ile gerçekleştirilir. Bu şekilde çelik bileşimindeki karbon ile bu yeni element, karbür oluşturur ve dolayısıyla iç yapının bazı bölgelerinde ortaya çıkan krom azalması olayı oluşmaz.

Stabilizasyon için ilave edilen elementler titanyum, niyobyum ve tantalyumdur. Bu element karbürler, tane sınırları boyunca değil, östenit taneleri içinde, ince zerreler halinde dağılmış olduklarından, çeliğin mekanik özelliklerinde de bir değişiklik oluşturmazlar. Stabilizasyonun gerçekleşebilmesi için gerekli oranlar Tablo 5.2.1'de görülmektedir.

Tablo 5.2.1. Stabilizasyon için çelik bileşimine katılması gerekli elementlerin karbon cinsinden ifadesi

| Stabilizasyon elementi | Karbon cinsinden ifadesi |
|------------------------|--------------------------|
| Titanyum               | 4.C                      |
| Niyobyum               | 8-10.C                   |
| Tantalyum              | 16.C                     |

Elektrodlarda arktaki titanyumun fazla kaybından dolayı, çeliklerde maliyet açısından titanyum yerine niyobyum tercih edilir. Stabilize edilmiş çelikler de, tanelerarası korozyona tam anlamıyla dayanıklıdır denilemez, çünkü niyobyum, titanyum ve tantalyum karbürler, 1300°C nin üzerindeki sıcaklıklarda çözülür ve karbon serbest kalarak kromkarbür oluşturabilir. Bu sıcaklığa kadar erişen bölge, ergime çizgisine çok yakın bir yerde çok dar bir alan oluşturur ve bu bölge, korozyona karşı direncini kaybeder.

Isının tesiri altındaki bölge veya esas metalde krom karbür çökmesinin olduğu hallerde, parçanın boyutları ve konstrüksiyon uygun ise, parça 1100°C ye kadar tavlaniıp su içinde aniden soğutulursa, yüksek sıcaklıkta östenit içinde çözünmüş olarak bulunan karbürler, hızlı bir soğuma sırasında tekrar oluşmaya yeterli zaman bulamazlar. Ancak böylesi bir ısııl işlemin uygulanması pek kolay olmayabilir. Bundan dolayı, kromkarbür çökmesine eğilimli, % 0,03'den fazla karbon içeren östenitik paslanmaz çeliklerin kaynağında, kaynak bölgesinin hızla soğumasını temin etmek gerekir. (5)

## 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyisel çalışmalarda AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Tablo 6.1'de çeliğin kimyasal analiz sonuçları verilmiştir.

Tablo 6.1. Deneylerde kullanılan AISI 304'ün kimyasal analiz sonuçları

| Bileşen | C    | Cr    | Ni   | Mo   |
|---------|------|-------|------|------|
| %       | 0,04 | 17,64 | 8,37 | eser |

### 6.1. NUMUNELERİN ODA SICAKLIĞINDAKİ SERTLİK DEĞERLERİNİN TESPİTİ

Herhangi bir ısıtıl işleme tabi tutulmayan AISI 304 kalite çeliğinden 12 adet numunenin sertlik değerleri Rockwell-B cinsinden tesbit edilmiş ve Tablo 6.1.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1.1. Numunelerin herhangi bir ısıtıl işlem görmeyen önceki sertlik değerleri

| Numune No | Sertlik değerleri (HRB) |
|-----------|-------------------------|
| 1         | 75                      |
| 2         | 75                      |
| 3         | 75,2                    |
| 4         | 75,8                    |
| 5         | 75,2                    |
| 6         | 76,2                    |
| 7         | 75,4                    |
| 8         | 75,8                    |
| 9         | 75,4                    |
| 10        | 75,8                    |
| 11        | 74,8                    |
| 12        | 75,4                    |

## 6.2. NUMUNELERİN ÇÖZME TAVINA ALINMASI

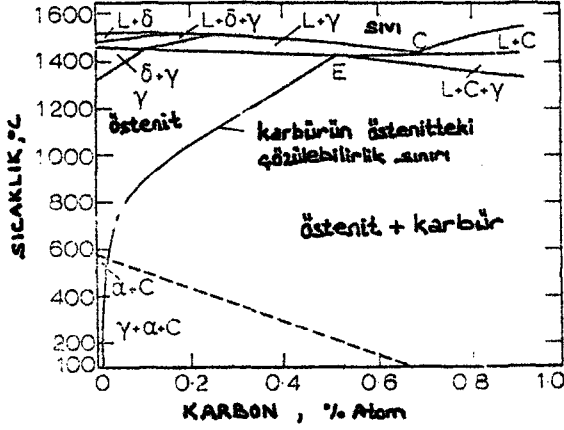
Şekil 6.2.1'de görüldüğü gibi AISI 304 kalite paslanmaz çelikte çözünme sınırı  $870^{\circ}\text{C}$ 'dir. Ne var ki, numuneler bu sıcaklığın biraz daha üstünde ısıtılmışlardır; seçilen söz konusu sıcaklık  $1050^{\circ}\text{C}$ 'dir. Çözme tava sıcaklığının  $1050^{\circ}\text{C}$  seçilmesinin iki temel nedeni vardır:

- a) Kromun bünyede değişik atomlu karışık kristal olarak bulunması, dolayısıyla difüzyon hızının yavaş olması,
- b) Karbonun difüzyon hızının yavaş olması.

Karbürlerin tamamının çözünmesi, krom ve karbonun yapıda homojen dağılması için çözme tava sıcaklığı  $1050^{\circ}\text{C}$  seçilmiştir. Bu sıcaklıkta bekleme zamanı literatürlerde 15-25 mm kalınlık veya çap için 60 dakika olduğu için, numuneler  $1050^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında 1 saat bekletilmiştir.  $1050^{\circ}\text{C}$  deki Fe-Cr-Ni üçlü sistemin faz diyagramı Şekil 3.2.7.2'de verilmiştir.

Çözünme eğrisinin üzerinde yeterli süre tavlama yapıldıktan sonra, parçalar suda hızlı soğutulmuşlardır, böylece yapıda karbür oluşum önlenmiş ve oda sıcaklığında aşırı doymuş karışık kristal elde edilmiştir.

Hızlı soğutma sırasında faz dönüşümü olmaz, yani tavlama sıcaklığında östenit olan yapı, hızlı soğutma işleminden sonra da östenit olarak kalır, bunun için malzemede sertleşme söz konusu değildir. Hatta bunun yanında, yapıda bulunan karbürler tavlama sırasında parçalandığı için malzemenin sertliğinde düşme meydana gelmektedir.



Şekil 6.2.1. % 18 Cr, % 8 Ni içeren alaşımlı çelikte demir-karbon denge diyagramı.

### 6.3. ÇÖZELTİYE ALMA İŞLEMİNDEN SONRA SERTLİK DEĞERLERİNİN TESPİTİ

Ani soğutma sonucu aşırı doymuş karışık kristalli yapıya sahip malzemede sertlik değerleri Tablo 6.3.1'de verilmiştir. Çözeltiye alma işleminden sonra, sertlik değerlerinde düşme olduğu görülmüştür.

Tablo 6.3.1. Çözme tavından hızlı soğutma sonucu malzemedeki sertlik değerleri

| Numune No | Sertlik değerleri (HRB) |
|-----------|-------------------------|
| 1         | 70                      |
| 2         | 74,6                    |
| 3         | 73,2                    |
| 4         | 71,6                    |
| 5         | 74,6                    |
| 6         | 72,4                    |
| 7         | 72,8                    |
| 8         | 74,8                    |
| 9         | 74,6                    |
| 10        | 74,4                    |
| 11        | 73,8                    |
| 12        | 74,8                    |

#### 6.4. ÇÖKELTME İŞLEMİ

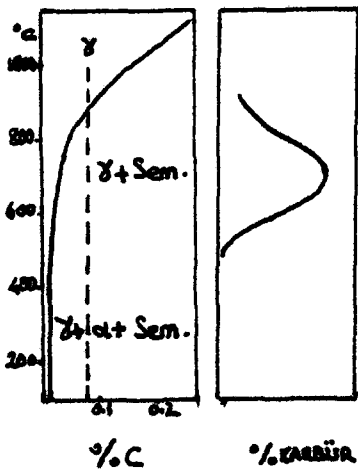
20-425°C sıcaklıkları arasında kromun ve karbonun yayınma (difüzyon) hızı çok düşüktür ve karbür oluşumu pratik bakımdan önemsizdir. Çökelmenin meydana gelebilmesi için 425°C nin üzerinde numuneleri tutmak gereklidir.

Aşırı doymuş yapıda çökteltme işlemi 450-750°C sıcaklıkları arasında yapılmıştır. 450, 550, 650 ve 750 °C sıcaklıklarında üçer numune 6'şar saat bekletilmiş, soğutma havada yapılmıştır.

Sözü edilen sıcaklıklar arasında, östenit yapıda karbon çözünürlüğü yaklaşık % 0,02 dir ve karbonca aşırı doyma değeri yaklaşık % 0,06'dır. (6)

Çökteltme sıcaklığının yükselmesiyle malzemede difüzyon hızı artacağından, sıcaklıkla doğru orantılı olarak daha fazla miktarda karbür çökelecektir.

Sıcaklığın yükselmiş olması difüzyon hızını arttırdığı için reaksiyon hızlanır. Ne var ki çökteltme sıcaklığı 650°C nin üzerine çıktığında, çözünme eğrisine yaklaşıldığı için, çekirdeklenme hızı düşer ve mevcut çekirdeklerin büyüme hızı artar. Bu durum Şekil 6.4.1'de gösterilmiştir. Şekil 3.2.7.3'de ise 650°C de Fe-Cr-Ni üçlü sisteminin faz diyagramı ve kristal yapılar görülmektedir.



Şekil 6.4.1. Çökteltme sonucunda meydana gelen karbür yüzdesinin çökteltme sıcaklığına bağlı değişimi.

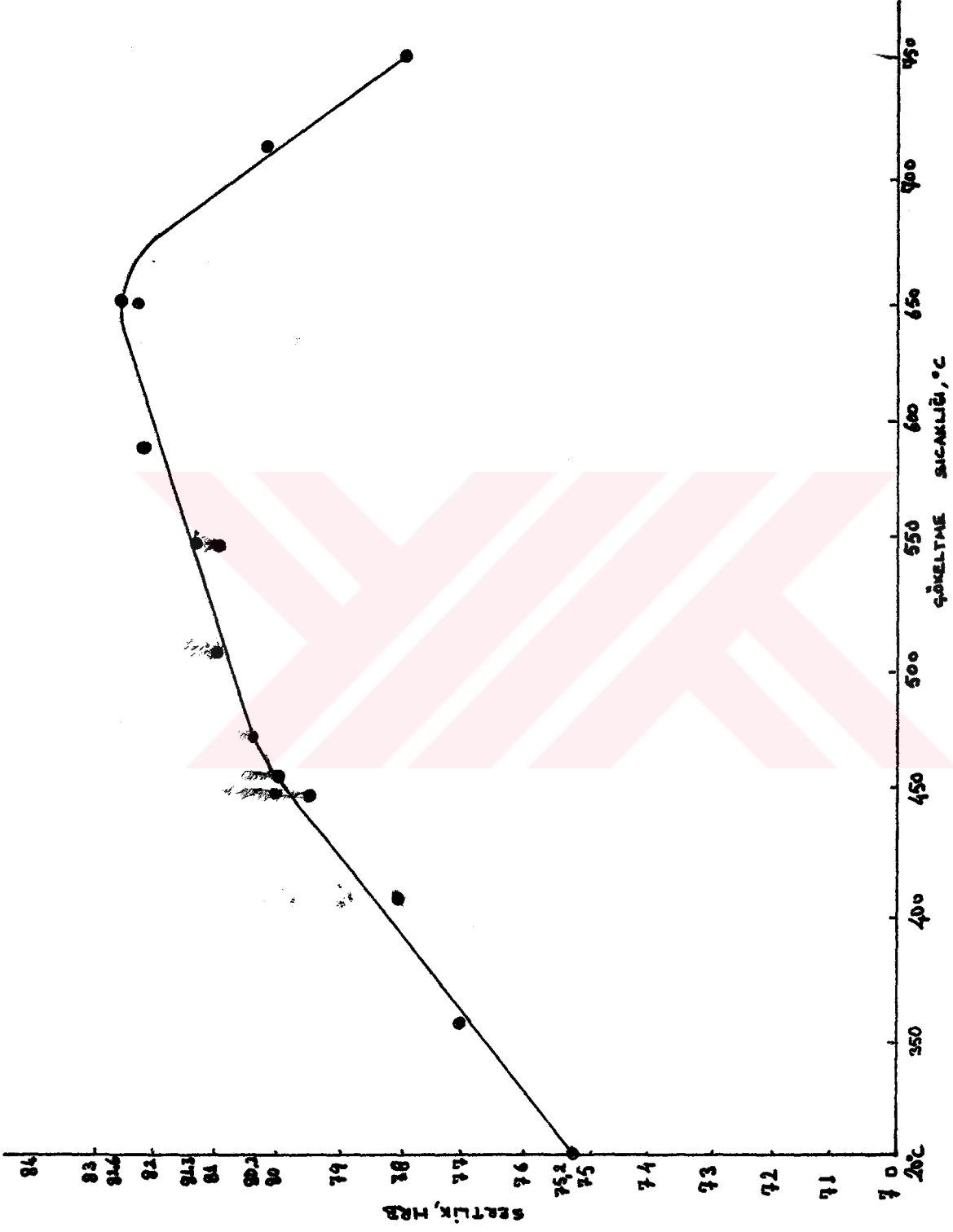
#### 6.5. ÇÖKELTME İŞLEMİNDEN SONRA SERTLİK DEĞERLERİNİN TESPİTİ

Çökeltme işleminden sonra numunelerde yapılan sertlik testine göre çıkan sonuçta, sıcaklığın 650°C'ye kadar artması ile sertlik değerlerinde artma görülürken, 750°C sıcaklığında yapılan çökeltme işlemi sonucu malzeme sertliğinde düşme olduğu görülmüştür (Tablo 6.5.1).

Tablo 6.5.1. Çökeltme sıcaklıklarına göre malzeme sertlik değerlerindeki değişim (Bekleme zamanı 6 saat)

| Numune No | Çökeltme sıcaklığı | Sertlik Değerleri (HRB) |
|-----------|--------------------|-------------------------|
| 1         | 450                | 80,6                    |
| 2         | 450                | 80,8                    |
| 3         | 450                | 80,6                    |
| 4         | 550                | 81,8                    |
| 5         | 550                | 81,2                    |
| 6         | 550                | 81,2                    |
| 7         | 650                | 83,4                    |
| 8         | 650                | 82,2                    |
| 9         | 650                | 82,6                    |
| 10        | 750                | 78                      |
| 11        | 750                | 78                      |
| 12        | 750                | 77,8                    |

Değişik sıcaklıklarda 6'şar saat bekletilerek malzemede yapılan çökeltme işlemi sonucu meydana gelen sertlik değişimi Şekil 6.5.1'de gösterilmiştir.

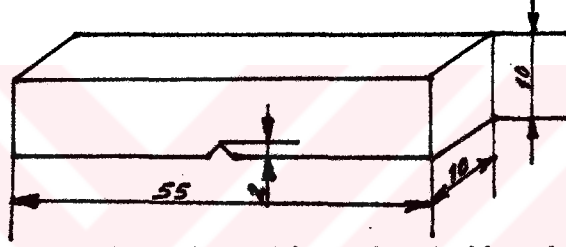


Şekil 6.5.1. Sertliğin çökeltilme sıcaklığına bağlı değişimi. 450, 550 ve 650°C sıcaklıklarında yapılan çökeltilmelerde malzemenin sertliğinde artış görülürken, 750 °C'de sertlikte düşme meydana gelmektedir.

## 6.6. NUMUNELERİN ODA SICAKLIĞINDAKİ VE ISIL İŞLEM SONRASI ÇENTİK DARBE DENEYLERİ

AISI 304 kalite çelikte karbür çökmesinin sertlikte meydana getirdiği değişikliklerin araştırılmasının yanısıra, çentik darbe tokluğunda meydana getirdiği değişiklikler de araştırılmıştır.

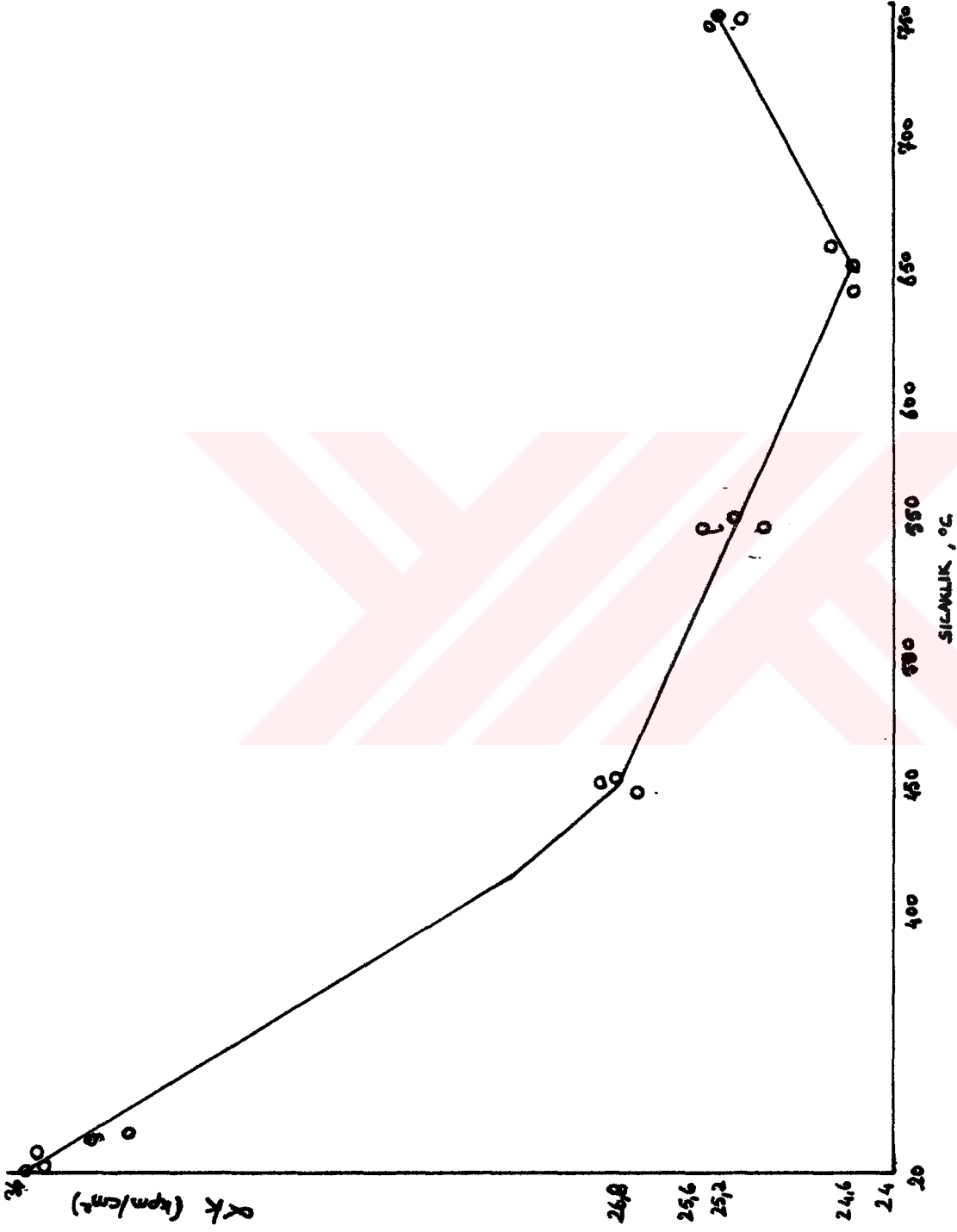
Isıl işlem öncesi hazırlanan numunelerin boyutları Şekil 6.6.1'deki gibidir.



Şekil 6.6.1. Çentik darbe tokluğunda kullanılan standard numune

Çentik darbe deneyi için Charpy makinası kullanılmış olup, darbe için 30 kg ağırlığında çekiç kullanılmıştır.

Isıl işlem görmemiş ve değişik sıcaklıklarda (450-550-650 ve 750°C) ısıtılma görmüş numunelerin çentik darbe tokluğu değerleri Şekil 6.2.2'de verilmiştir.



Şekil 6.6.2. Çentik darbe dayanımının çöeltme sıcaklığına bağlı değişimi.

Aşırı doymuş karışık kristalli yapının değişik sıcaklıklarda çökeltme işlemine tabi tutulması, malzemenin mekanik özelliklerine değişik yönde etki etmesine neden olmuştur. 650°C sıcaklığa kadar karbür çökeltmelerinin ve dolayısıyla bloke edilen dislokasyon adedinin de buna paralel olarak artmış olması, malzemenin çentik darbe tokluğunu olumsuz yönde etkilemiştir. 750°C sıcaklığındaki çökeltme işlemi ise, bu mekanik özelliğin çökeltme sıcaklığına bağlı değişimini ters yönde etkilemiştir; çentik darbe dayanımında artma görülmüştür. (Şekil 6.6.2).

## 6.7. METALOGRAFİK VE ETÜT İÇİN NUMUNELERİN HAZIRLANMASI

Metalografinin amacı, incelenmesi istenen metal ya da alaşımın, optik mikroskop ve elektron mikroskobu gibi aygıtların, yapılarını oluşturan, tane, kalıntı vb. nesnelerin, tür, büyüklük, biçim ve dağılımlarını tanıyıp, gerektiğinde ölçerek belirleyebilmektir.

### 6.7.1. Kesme İşlemi

Kesme işleminde zorunlu olmadıkça ısı kullanılmamalıdır. En uygun yöntem otomatik kesme makinaları kullanmaktır. Kesme işleminde daha çok dikkat edilmesi gereken konular;

a) Numune alınacak parçada, kesme sırasında oluşan plastik deformasyon, yapıyı yanlış yorumlara yol açacak biçimde değiştirmemelidir.

b) Sürtünmeden oluşan ısı, yapıda dönüşümlere yol açmamalı, yüzeyde yanma belirtileri bulunmamalıdır. Yanma olasılığını yok etmek için, yaş kesme işleminde bol su ya da suda çözülen soğutucu yağlar bu amaç için çok kullanılmaktadır.

Dokuları incelenecek AISI 304 kalite çelik numuneleri soğutma işlemi yaparak kesme işlemi gerçekleştirildi.

#### 6.7.2. Elle Düzleme

Numuneler üç aşamalı olarak düzleştirildi;

- a) Kaba düzleme,
- b) Orta düzleme,
- c) İnce düzleme.

İlk aşamada motorlu dönen taşda süreksizlikler giderildi ve bunu 18x-280 meshlik zımpara kağıtlarında su ile birlikte yapılan zımparalama işlemi izledi. 280-400 meshlik zımparalar kullanılarak orta düzleme işlemini ise 600 meshlik zımpara ile ince düzleme işlemi takip etti.

Düzleme işleminde SiC ihtiva eden zımpara kağıtları kullanılmıştır.

#### 6.7.3. Parlatma

Numuneler kesme işlemi ve kaba, orta ve ince düzlemeden sonra parlatma işlemine tabi tutuldular.

Parlatma işlemi için  $Al_2O_3$  ve  $Cr_2O_3$  kullanılarak gerçekleştirildi.

#### 6.7.4. Dağlama

Parlatmadan sonra, numuneler mikroskopik inceleme için hazır durumdadır. Işık mikroskopunda oluşan kontrast mikroyapı fazlarının ışığı yansıtma güçlerine bağlıdır. Genellikle fazlar arasında bu yönden farklar minimum olduğu için mikroskopta kontrast oluşamaz. Fazları ayırt etmek için mutlaka aralarındaki kontrast farkını arttırmak gerekir. Bu işlem genellikle kimyevi dağlama işlemiyle olur.

Dağlamada kullanılan dağlayıcılarla metal, anodik olarak çözünür. Çözünmede amaç, ya fazların kendi aralarında ya da değişik fazlar arasında değişik çözünme hızlarından faydalanarak ışık mikroskopisi için gerekli optik kontrastı yaratmaktır.

Dağlayıcı olarak, alkol, saf su ve gliserin gibi sıvılarda ve bunların karışımında eritilmiş organik ve inorganik asitler, alkaliler veya bunların karışık bileşikleridir. Her metal, yapısına ve bileşimine göre uygun bir dağlayıcı ile iyi sonuç verir.

AISI 304 numuneleri için uygun olan Viella dağlama ayıracı kullanılmıştır (15 cm<sup>3</sup> HNO<sub>3</sub>, 30 cm<sup>3</sup> HCl, 45 cm<sup>3</sup> gliserin). Dağlama işlemi, dağlayıcı içine batırmak ve içerde öngörülen kimyevi reaksiyon gerçekleşinceye kadar numuneyi hareket ettirerek tutmak suretiyle gerçekleştirilmiştir. Numunelerin reaksiyona geç cevap vermesi, dağlama işleminin birkaç kez tekrarlanmasına neden olmuştur. İşlem sonrası numuneler dağlayıcıdan çıkarılıp akar suda yıkandı ve etil alkolle çalkalandıktan sonra hava akımını sağlayan sıcak hava üfleci ile kurutuldu. (7,8)

#### 6.8. MİKROYAPILAR

Işık metal mikroskobunda, biyolojik mikroskobun tersine yansımış ışık kullanılır. Numune yüzeyinin çeşitli ayrıntılarının konumlarına göre, değişik açılarda yansıtılan gelen ışık, yansıma açısına bağlı olarak mikroskobun merceklerinden geçerek görüntüyü göze iletir.

Mikroskopta kontrastsız bir cismi göremeyiz. Optik mikroskopta kontrast; esas olarak ışığın farklı adsorblanmasından ve yansıma katsayılarının oluşundan dolayı meydana gelir.

Ayırma gücüne yakın bir ayırma elde edebilmek için, numuneyi hazırlarken buna özellikle dikkat edilmelidir. Aynı şekilde gözlem boyunca objektif merceğinin açıklığı da görüntünün en iyi şekilde olması için özel olarak seçilmelidir.

Numunelerin dağlama işlemleri bittikten sonra, fazlar arasında elde edilen kontrast sayesinde, numunelerin herbirinin yapıları ışık metal mikroskobunda incelendi.

Yapılar ekran üzerine aktarılıp fotoğrafları çekildikten sonra, film karanlık odada, film banyo kurallarına bağlı kalarak banyo edilip karta basıldı. Değişik ısı işlemlerden geçirilmiş olan numunelerin mikroyapı resimleri aşağıda verilmiştir.



Resim 6.8.1. Isıl işlem görmemiş AISI 304 kalite paslanmaz  
çelik (333 X)



Resim 6.8.2. Isıl işlem görmemiş AISI 304 kalite paslanmaz  
çelik (333 X)



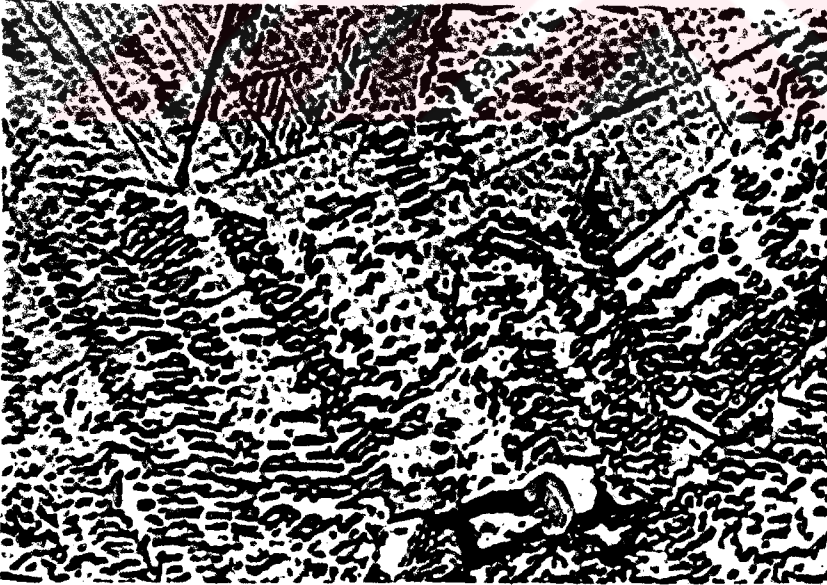
Resim 6.8.3. 1050°C 'de 1 saat tavlınmış, suda ani soğutulmuş ve 450°C 'de 6 saat bekletilmiş AISI 304 çeliğın dokusu (333 X)



Resim 6.8.4. 1050°C'de 1 saat tavlınmış, suda ani soğutulmuş ve 450°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304 çeliğın dokusu (333 X)



Resim 6.8.5. 1050<sup>0</sup>C'de 1 saat tavlanıp, suda ani soğutulmuş ve 650<sup>0</sup>C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (500 X)



Resim 6.8.6. 1050<sup>0</sup>C 'de 1 saat tavlanıp, suda ani soğutulmuş ve 650 <sup>0</sup>C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (333 X)



Şekil 6.8.7. 1050°C'de 1 saat tavlanıp, suda ani soğutulmuş ve 650°C'de 6 saat tavlanmış AISI 304'ün dokusu (333 X)



Resim 6.8.8. 1050°C'de 1 saat tavlanıp, suda ani soğutulmuş ve 650°C'de 6 saat tavlanmış AISI 304'ün dokusu (333 X)



Şekil 6.8.9. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulmuş ve 650°C 'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (333 X)



Şekil 6.8.10. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulmuş ve 650°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (333 X)



Resim 6.8.11. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulduktan sonra 650°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (333 X)



Resim 6.8.12. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulduktan sonra 650°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (333 X)



Resim 6.8.13. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulmuş ve 650°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (333 X)



Resim 6.8.14. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulmuş ve 650°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu (333 X)



Resim 6.8.15. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulmuş ve 750°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu



Resim 6.8.16. 1050°C'de 1 saat tavlanıp suda ani soğutulmuş ve 750°C'de 6 saat bekletilmiş AISI 304'ün dokusu



Resim 6.8.17. 1050°C'de 1 saat tavlaniþ suda ani soðutulmuþ ve 750°C'de 6 saat bekletilmiþ AISI 304'ün dokusu (333 X)



Resim 6.8.18. 1050°C'de 1 saat tavlaniþ suda ani soðutulmuþ ve 750°C 'de 6 saat bekletilmiþ AISI 304'ün dokusu (333 X)

## 7. İRDELEME VE SONUÇ

Karbürler intermetalik bileşik olduklarından kendilerine özgü kristal yapıları vardır; sert ve kırılmandırılar. Eğer çok küçük tanecekler şeklinde yapıda dağılırlarsa sertlik ve mukavemeti arttırıcı etki yaparlar, fakat tane sınırlarında çökerek sürekli faz oluştururlarsa sertliği arttırıcı, mukavemeti düşürücü etki yaparlar.

Karbür çökmesinin hızlı meydana gelebildiği sıcaklığa hassaslaştırma sıcaklığı denir. Bu sıcaklık AISI 304 çeliği için 425-870°C dir. Çökeltme sıcaklığı kadar, çökeltme sıcaklığında bekleme süresi de çökeltme için önemlidir.

Karbürler, tane sınır düzleminde dendritik gelişme gösterirler, tane sınırı ve ikiz düzlemi boyunca büyüme esastır, kalınlıktaki büyüme ikinci derecede önemlidir.

Çökeltme sırasında, kromun karbür oluşturmaları, tane sınırlarında serbest krom yüzdesini düşürmektedir. Serbest krom yüzdesinin % 12'nin altına düşmesi, atmosferik şartlara ve kimyasal etkilere karşı korozyon dayanımını düşürücü etki yapmaktadır.

Bir faz içinde başka bir fazın oluşumu kristal yapı hatalarının bol bulunduğu yerlerde olur. Östenitik paslanmaz çeliklerde ise çökeltme hemen hemen tamamıyla tane sınırlarında olur.

Tane sınırlarında karbür oluştuğu zaman, serbest karbon ve krom oranı düşmektedir. Bu nedenle tane sınırına karbon ve krom göçü olurken, ters yönde Fe difüzyonu olmaktadır. Çökeltme sırasında meydana gelen olaylar sonucu tam tane sınırına yakın bölgelerde bileşim değişmektedir.

AISI 304 çeliği 425-870°C hassaslaştırma sıcaklıkları arasında 2 dakika bekletilirse (Fe, Cr, Ni)<sub>23</sub> C<sub>6</sub> çökeltisi oluşur ve bunun % 51'i krom, % 45'i demir ve % 3-4'ü nikeldir. Tavlama süresi arttıkça Cr yüzdesi artarken, Fe yüzdesi düşer ve Ni yüzdesinde pek önemli bir değişiklik olmaz.

Çökelme tane sınırlarında meydana geldiği için sertliği arttırmasına rağmen, çentik darbe tokluğunu düşürmektedir. Bumparalel olarak çekme dayancını ve kopma uzamasını da olumsuz yönde etkilemektedir.

Ayrıca çökeltmeden doğan, tane sınırında serbest Cr adedinin azalması, korozyona neden olmaktadır. Ne var ki AISI 304 çeliğinin kaynağında çökelme kaçınılmazdır; kaynak sırasında, kaynaklı bölgenin iki yanında 650-800°C sıcaklıkları arasında bekleyen bölgelerde çökelme oluşmaktadır. 800°C'nin üzerinde olan bölgelerde, kaynak işlemi bittikten sonra çökeltmeye izin vermeyecek kadar hızlı soğuma olduğundan, bu durum sorun yaratmamaktadır.

Çökeltme ısıtıl işlemi, sertlik hariç, tüm özellikleri olumsuz yönde etkilemektedir. Plastik şekil değiştirmiş veya kaynak yapılmış östenitik paslanmaz çeliklerde çökelme kaçınılmazdır. Çökelme sorununu ortadan kaldırmak için aşağıdaki önlemler alınabilir.

- 1) Çökelme meydana gelmiş parça, çözeltiye alma ısıtıl işlemine tabi tutulur (ne var ki bu her zaman ekonomik değildir).
- 2) Krom oranı daha yüksek olan alaşım seçilebilir (maliyeti artar)
- 3) AISI 304 L çeliği, 304'den farklı olarak maksimum % 0,03 karbon içerir. Cr'un C ile bağlantı yapması 304 L'de C oranının düşük olmasından dolayı 304 tipine göre daha azdır; çökelme problemi ortadan kalkmaktadır, ne var ki 304 L tipi daha pahalıdır.
- 4) Malzemeye kuvvetli karbür yapıcı elementler katılabilir. Titanyum, Kolonbiyum, Tantal, Molibden gibi elementlerin karbona olan afiniteleri, kromun karbona olan afinitesinden daha fazladır (Şekil 7.1). Bu alaşım elementleri karbon ile birleştiği için, kromla birleşecek olan karbon oranı azalmış olur. Böylesi bir durumda ise, tane sınırında serbest Cr azalması önlenerek korozyona karşı direnç sağlanmış olur. (6)

### KAYNAKÇA

1. SÖNMEZ,N., "Alaşımlar Ders Notları", 1988
2. TOPBAŞ,M.A., "Lisansüstü Öğretimi Isıl İşlemler II Ders Notları" Yıldız, 1987, s.56-67
3. ANIK,S., ANIK.S.E., "Malzeme Bilgisi ve Muayenesi" İstanbul, 1977, s.61-63, 172
4. KELEŞOĞLU,E., ÜNAL, A., "META 44, Paslanmaz Çelikler" s. 59-64
5. ANIK,S., VURAL,M., "META 44, Paslanmaz Çeliklerin Kaynağında Korozyon" s.71-74
6. YAMAN,C., "4.Denizli Sempozyumu" 1991, s.272-283
7. MARŞOĞLU,M., "Malzeme Yapı ve Muayenesi Ders Notları" 1988
8. KARAASLAN,A., "Yıliçi Proje Çalışması Alüminyum ve Alaşımları" 1990
9. AVNER, "Introduction to Physical Metallurgy Second Edition, s.349-386
10. ERGİN,T., "Çökelme Sertleşmesi Mekanizması" s.78-85 "Bitirme Ödevi"

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Karaaslan  
Doğum Yeri ve Yılı : İstanbul 12.05.1968  
İlköğrenim : Çakmak İlkokulu 1975-1980  
Ortaöğrenim : Ümraniye Lisesi 1980-1986  
Yükseköğrenim : Yıldız Teknik Üniversitesi,  
Metalurji Müh.Böl. 1986-1990  
Lisansüstü öğrenimi : Yıldız Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Müh.  
Anabilim Dalı Yüksek lisans Programı 1990-1993  
Çalıştığı Yer : Y.T.Ü. Kimya-Metalurji Fak.  
Metalurji Müh.Böl. Arş.Gör.