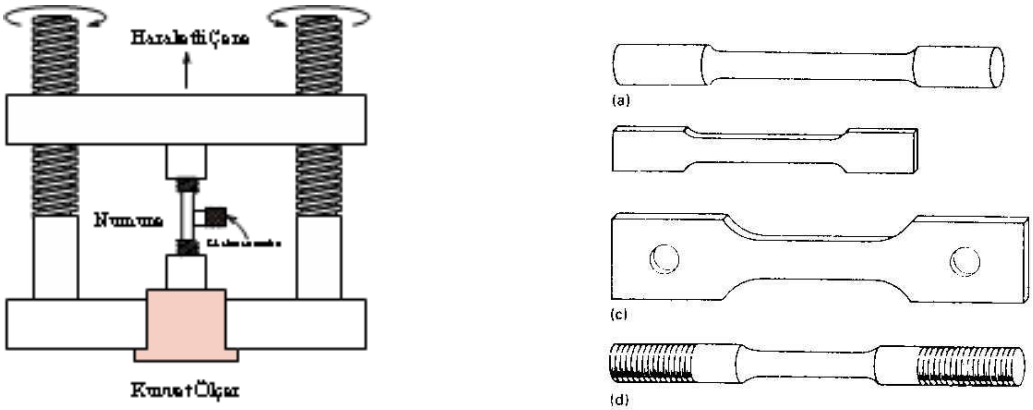
2013 Makine Laboratuarı-I (Makine Malz. Ve İmlt. Tek. ABD Deney Föyü)

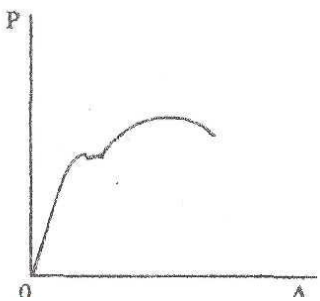
ÇEKME DENEYİ

1. **Amaç:** Çekme deneyinin incelenmesi ve metalik bir malzemeye ait çekme deneyinin yapılması
2. **Teorik Bilgi:** Malzemenin statik (darbesiz) yük altındaki mukavemet özelliklerini ortaya çıkarmak için uygulanan, mühendislik açısından çok önemli bir mekanik deneydir. Deney sonucu bulunan malzeme özellikleri mühendislik hesaplarında doğrudan kullanılır. Çekme deneyi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır.

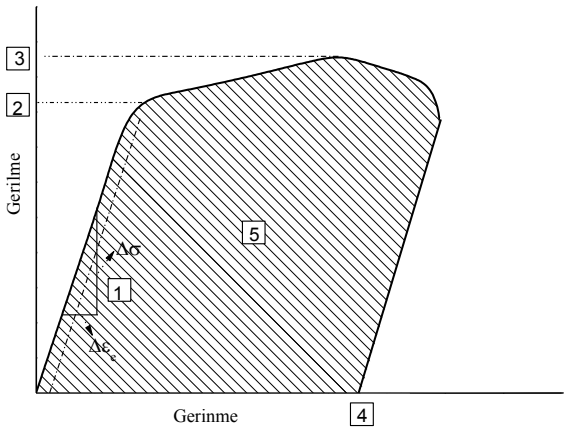


Şekil 1. Çekme deneyinin ve numune tiplerinin şematik gösterimi

Deney sonucu elde edilen yük (P) ve uzama (Δl) değerinden yararlanılarak P-Δl diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramıda denir. yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı Şekil 2 de görülmektedir.



Şekil 2 Yumuşak bir çeliğe ait çekme diyagramı



Şekil 3 Çekme testinin mekanik özellikleri: 1, Elastiklik modulu E; 2, Akma gerilmesi; 3, Çekme gerilmesi; 4, süneklilik, 100xε_{hasar} (kırılmadan sonra meydana gelen elastik geri

dönme); 5, tokluk = $\int \sigma d\varepsilon$ (Yük altında ölçülür, kesikli dikey çizgi)

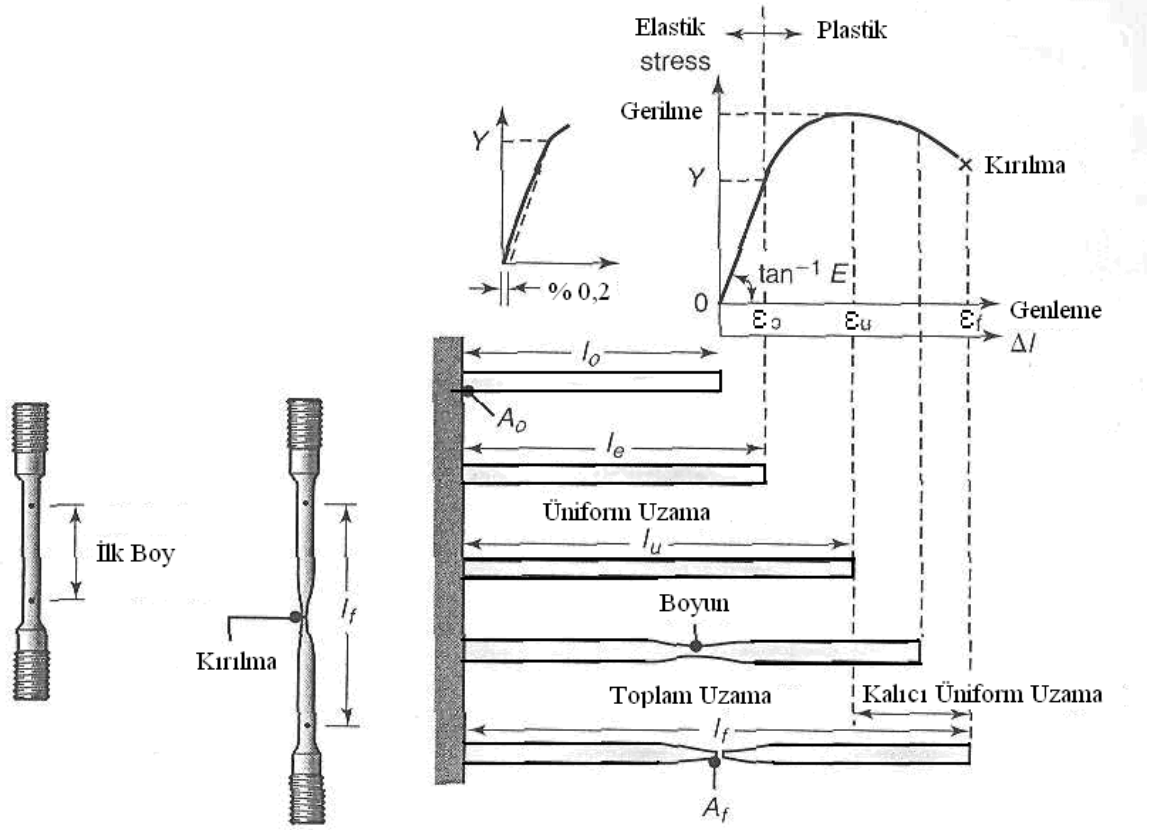
Burada;
E: Elastiklik sınırı
A: Akma noktası
M: Maksimum yük noktası
P_{Max}: Maksimum çekme yükü
K: Kopma noktası
Daha sonra bu eğrilerden yararlanılarak her noktadaki gerilme σ ve yüzde uzama ε değerleri hesaplanır.
Gerilme: Birim alana etki eden yük olup σ ile gösterilir.

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Birim uzama $\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$

Yüzde uzama $\%\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100 = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$

Bağıntıları ile hesaplanır.
Her nokta için hesaplanan σ ve % ε değerlerinden yararlanılarak, mühendislik açısından büyük önem taşıyan gerilme- yüzde uzama (σ - % ε) diyagramı çizilir gerilme değerlerinin her biri, önemli birer malzeme özelliği olarak karşımıza çıkar. Bu değerler;
Elastiklik sının σ_E), akma mukavemeti [σ_A], çekme mukavemeti σ_{max}, ve kopma gerilmesidir, [σ_K]. Çekme deneyi sonunda elde edilen diğer iki önemli malzeme özelliği de elastisite modülü (E) ve % kopma uzaması; (%δ_K) dır.



Şekil 4 Standart bir çekme test numunesinin çekmeden önce ve sonraki, orijinal ve son boyundaki değişim ile çekme testi sırasında gözlemlenen boyun oluşumunun

gerçekleşmesi

Şekil 5 Mühendislik gerilmesine karşı gerçek gerilme uzama eğrisi

Pratikte artık gerilmede önemlidir, tüm uygulanan yükler ortadan kalktıktan sonra kalan gerilme olarak ifade edilir. Kaynak ve makine işleme gibi çeşitli termomekanik işlemleri takiben meydana gelir.

Gerçek gerilme= $\sigma_g = \dfrac{F}{A}$

Gerçek gerinim boydaki küçük artışların (ΔL_1, ΔL_2, ΔL_3, vs.) ölçülerek yeni ölçü boyları L_1,L_2,L_3,vs. her bir artış için hesaplanarak toplam gerinim aşağıdaki gibi bulunur.

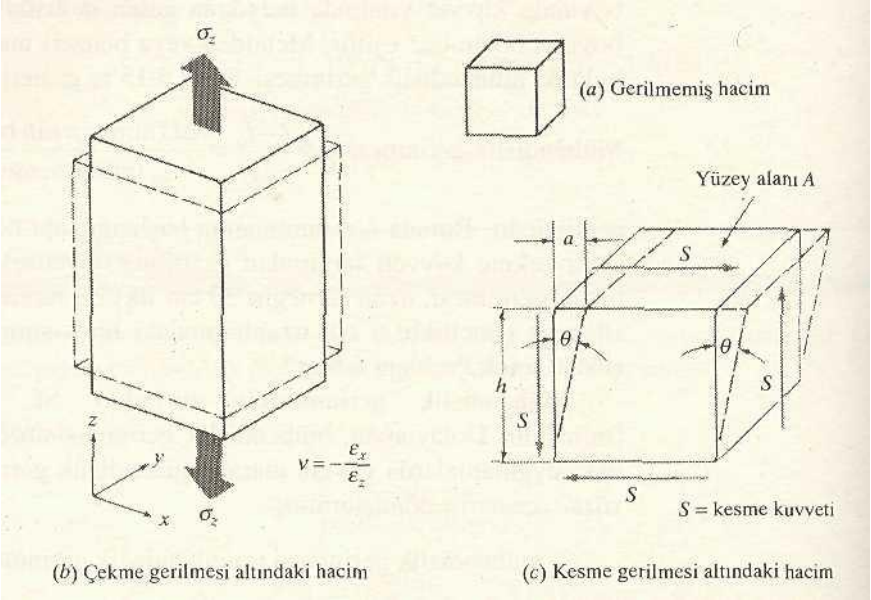
$$\varepsilon_g = \frac{\Delta L_1}{L_1} + \frac{\Delta L_2}{L_2} + \frac{\Delta L_3}{L_3} + \cdots\cdots = \sum \frac{\Delta L_j}{L_j}$$

Gerçek Gerinim= $\varepsilon_g = \int \dfrac{dl}{l_o} = \ln\left(\dfrac{l}{l_o}\right) = \ln\left(\dfrac{A_o}{A}\right)$

Burada ΔL_j lerin toplamı ΔL dir. ΔL_j ni sonsuz küçük olduğu varsayılırsa, ΔL çok küçük adımlarla ölçülüyorsa, gerçek gerinmenin tanımının integraline eşdeğerdir.

Burada son uzunluk L=Li+ ΔL dir. Mühendislik gerinmesi ($\varepsilon = \Delta L/L_i$)ile gerçek gerinme arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$\varepsilon_g = \ln \frac{L_i + \Delta L}{L_i} = \ln(1 + \frac{\Delta L}{L_i}) = \ln(1 + \varepsilon)$$



ŞEKİL 6 (a) Gerilmemiş küp cisim. (b) Çekme gerilmesine uğramış küp cisim. Çekme yönüne dik esnek büzülmenin oranı Poisson oranı v diye adlandırılır. (c) Küp cisim, yüzey olanı *A* üzerine etkiyen saf kesme kuvveti S altında. Cisim üzerine etkiyen kesme gerilmesi, S/A'ya eşittir.

Poisson Oranı Metaldeki boylamasına bir esnek biçim değiştirme yana doğru da bir boyut değişimi meydana getirir. Şekil 5 de görüldüğü gibi, bir çekme gerilmesi, eksenel gerinmeyi ve yanal büzülmelerini yaratır. Yönden bağımsız davranışta ε_x ve ε_y, birbirine eşittir.

$$v = -\frac{\varepsilon\ (\text{yanal})}{\varepsilon\ (\text{boylamasına})} = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

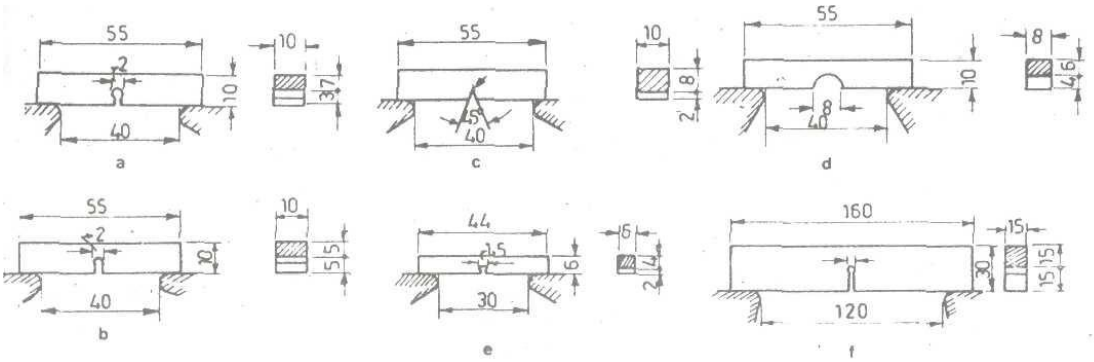
Bu oran *Poisson oranı* diye adlandırılır. İdeal malzemelerde v=0.5'tir. Fakat gerçek malzemelerde Poisson oranının örneksel değeri 0.25 ile 0.4 arasında değişir ve ortalama 0.3 civarındadır.

ÇENTİK DARBE DENEYİ

Gemiler, kazanlar, boru hatları, köprüler vb. mühendislik yapılarında, periyodik kontrollerin herhangi bir ikaza gerek duyurmamasına rağmen, ani (gevrek) kırılmaların meydana geldiği bilinmektedir. Bu tür gevrek kırılmalar, yavaş ve sürekli artan tek eksenli gerilmenin söz konusu olduğu, çekme deneyi ile elde edilen akma gerilmesi değerinden düşük bir gerilmede ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden, gevrek kırılmayı teşvik edici işletme koşullarında bile malzemenin yeterli tokluğa ve sünekliğe sahip olması gerekmektedir. Bu amaca yönelik en sık kullanılan deney tekniği "çentik darbe deneyi" dir.

1. Deney Numuneleri

Tek eksenli, kesite düzgün dağılmış gerilme halini ortadan kaldırmak için çentik açılmış numuneler kullanılmaktadır. Şekil 1' de, çeşitli çentik darbe deney örnekleri verilmiştir.



2. Deney Cihazı ve Deneyin Yapılışı

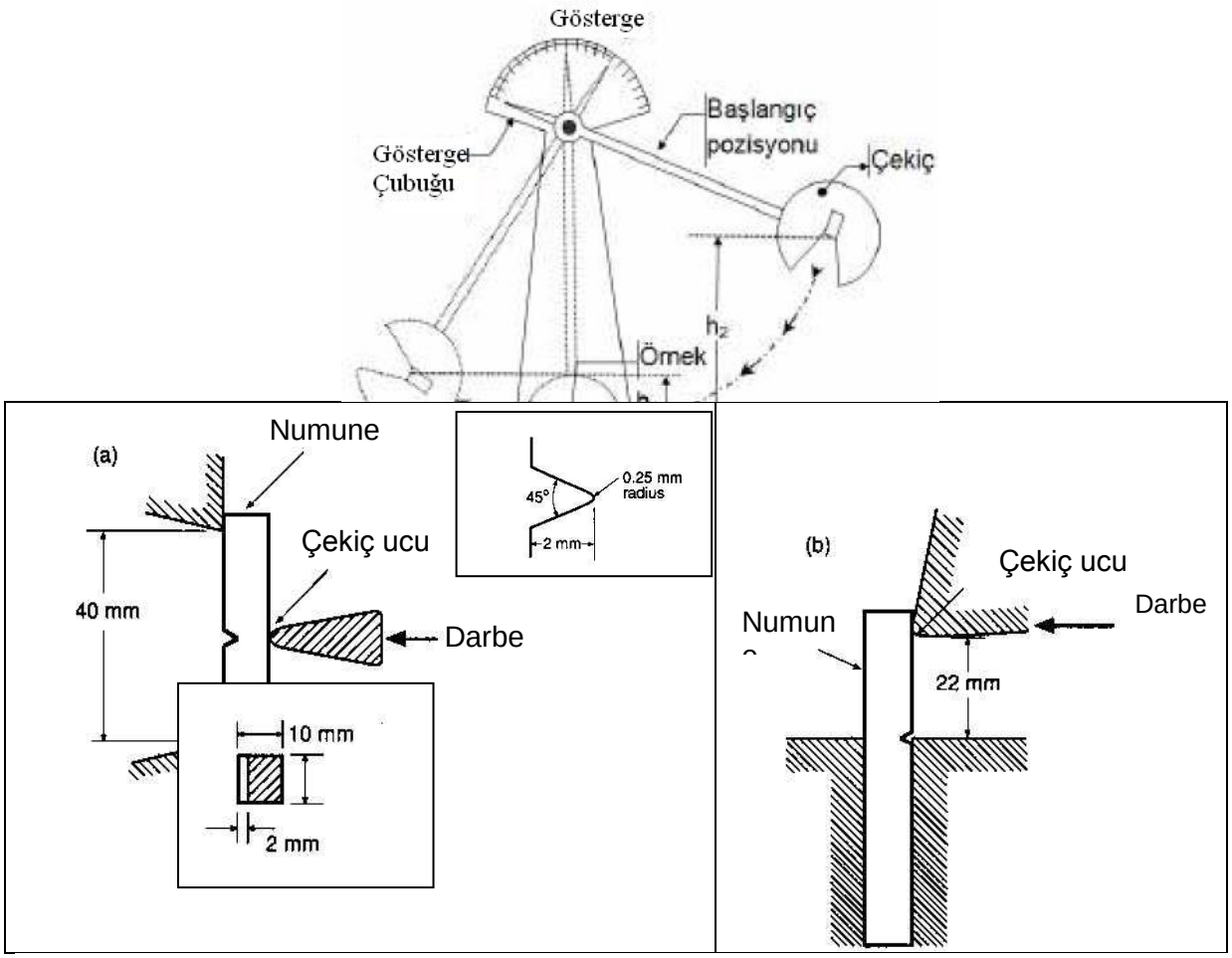
Sarkaç tipi deney cihazları kullanılır. Bunlar, sarkaç çekicinden elde edilen enerjinin büyüklüğüne göre 0,5...300 J arasında standartlaştırılmışlardır. Numune, çekicin hareket yolundaki en alçak noktada yer alan mesnetler arasına yerleştirilir. Ağırlığı G olan sarkaç h yüksekliğine çıkarılır. Bu durumdaki çekicin potansiyel enerjisi (G x h) kadardır. Çekiç serbest bırakılır, çekiç ağzı alt noktada numuneye çarpar ve numune kırılır. Çekiç, kırma sonrası sahip olduğu enerji ile hı yükseldiğine çıkar ve bu noktadaki potansiyel enerjisi (G x h) kadardır. İlk durum ile son durum arasındaki enerji farkı [(Gxh) - (Gxh_l)] numunenin kırılması için gereken enerjiyi verir ve bu değer darbe işi veya darbe enerjisi (E_k) olarak isimlendirilir.

Bu darbe işinin çentikli bölgenin alanına (A_0) etki ettiği düşünülürse, çentik darbe mukavemeti ($\alpha_ç$,) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\alpha_ç = Ek / A_o \ (J / mm^2)$$

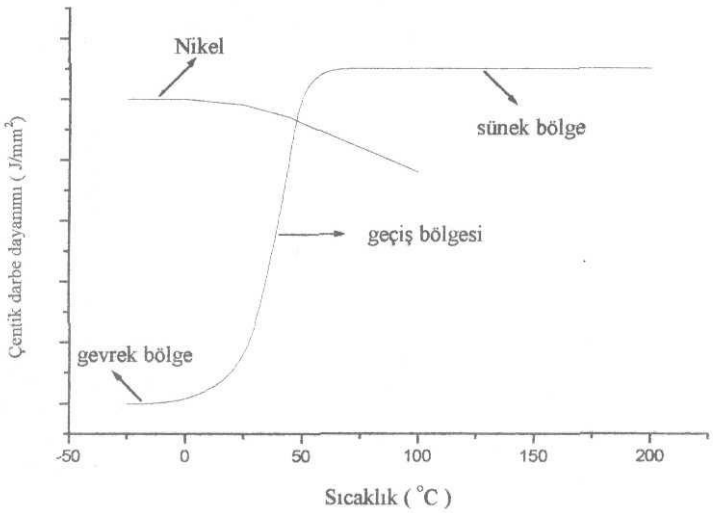
Bu deney sonucu elde edilen değerler, mühendislik formüllerinde kullanılabilecek değerler olmasa da, çeşitli malzemelerin gevrek kırılmaya karşı olan eğilimlerinin karşılaştırılması için bir fikir verecektirler.

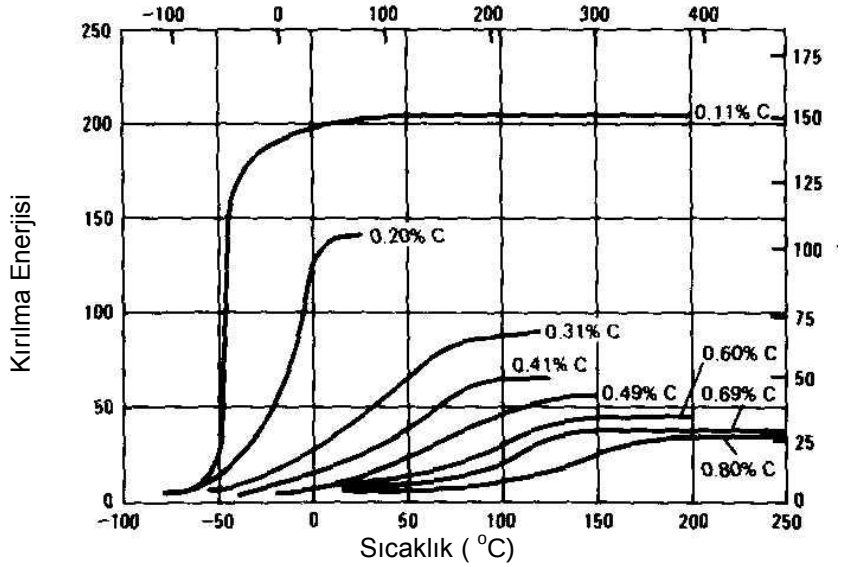
Çentik darbe deneyi, çekicin numuneye temas ettiği noktaya göre iki çeşit olarak uygulanır. Mesnetler arasına yatay olarak yerleştirilen numunede çentikli bölgenin arka tarafına çarpıyorsa Charpy, numunenin dik olarak yerleştirilmesi sonucu üst kısmına çarpıyorsa Izod adım alır.



3. Çentik Darbe Dayanımı ve Sıcaklık Etkisi

Ortam sıcaklığının çentik darbe dayanımına etkisi çok büyüktür. Numune sıcaklığı ne kadar düşük olursa şekil değiştirme kabiliyeti de o derece düşük olur. Bu durum aşağıdaki eğride verilmiştir.





Çentik darbe dayanımının küçük olduğu alt bölgede gevrek kırılma, büyük olduğu üst bölgede ise
sünek kırılma görülmektedir. Eğriden görüldüğü gibi, sünek bölgeden gevrek bölgeye bir sıcaklık aralığında geçiş olmaktadır ve bu bölgede her iki kınlma tipi de görülmektedir.
Bu tarz eğri kübik hacim merkezli (KHM) birim hücre tipine sahip çeliklerde görülmekte ama östenitik çeliklerde ve nikel, bakır, alüminyum gibi kübik yüzey merkezli birim hücre tipine sahip metallerde ise görülmemektedir.
Sünek - gevrek geçiş bölgesi bir geçiş sıcaklığı (T_g) ile belirtilir. T_g sıcaklığının belirlenmesinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan birkaçı aşağıdaki gibidir.

- Geçiş bölgesinin tam ortasına denk gelen sıcaklık
- Çentik darbe enerjisinin Örneğin 20 J gibi, bir sınır değerine denk gelen sıcaklık
- Kırılma yüzeyi incelendiğinde, gevrek olarak kınlan kısmın tüm alanın belirli bir yüzdesi (örneğin % 80) olduğu sıcaklık

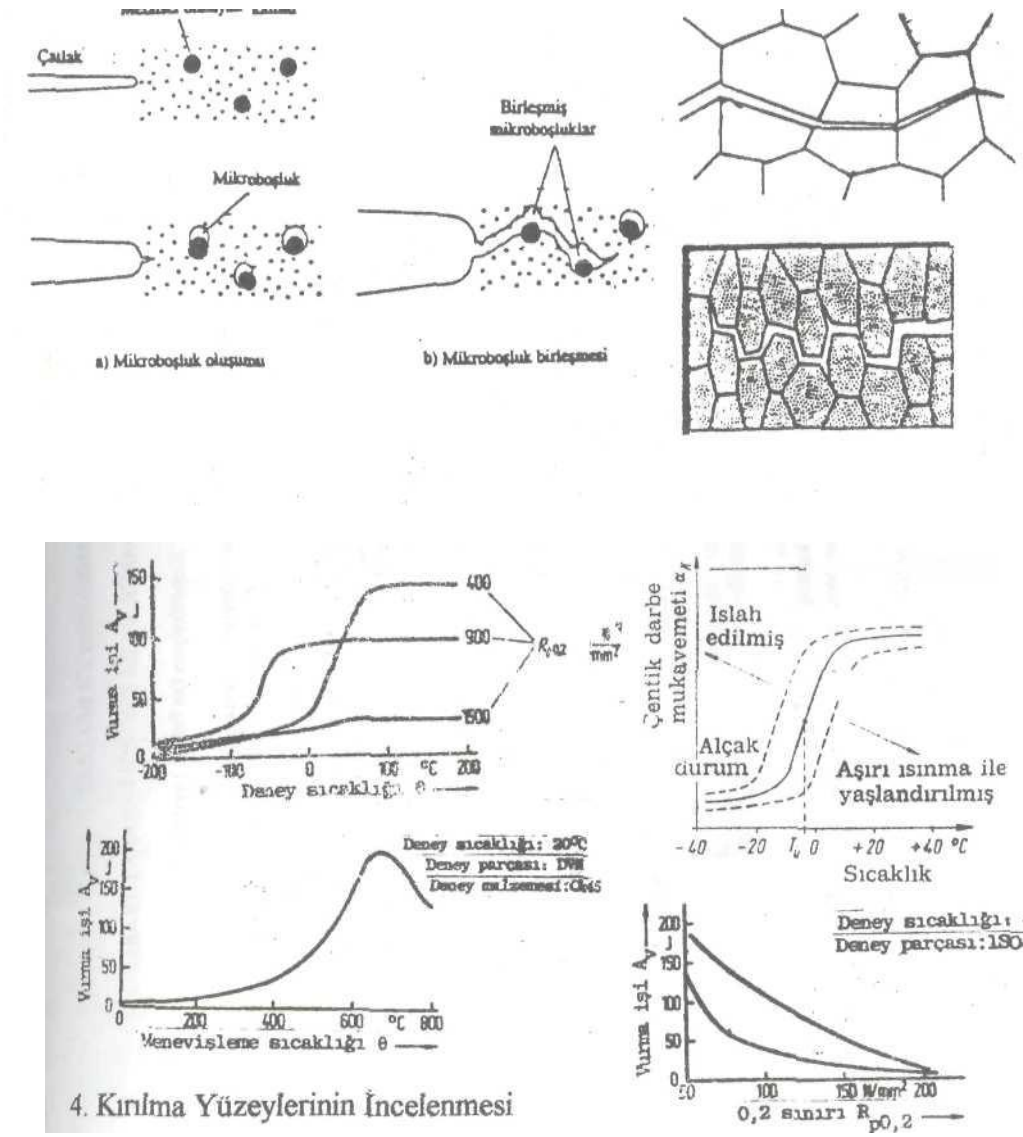
4. Çentik Darbe Dayanımına Etki Eden Diğer Faktörler

Yukarıda bahsedilen ortam sıcaklığı ve birim hücre tipi dışında çelik malzemelerin çentik darbe dayanımına kimyasal bileşim, içyapı (tane büyüklüğü, fazlar vb.), üretim öncesi ve sonrası uygulanan mekanik ve ısıl işlemler, yükleme durumu gibi faktörler etki etmektedir. Çeşitli faktörlerin çentik darbe dayanımına olan etkileri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir,

Kırılma,

- Şekil değişiminin olmadığı veya çok az olduğu gevrek kırıtma
- Şekil değişimi sonucu sünek kırılma

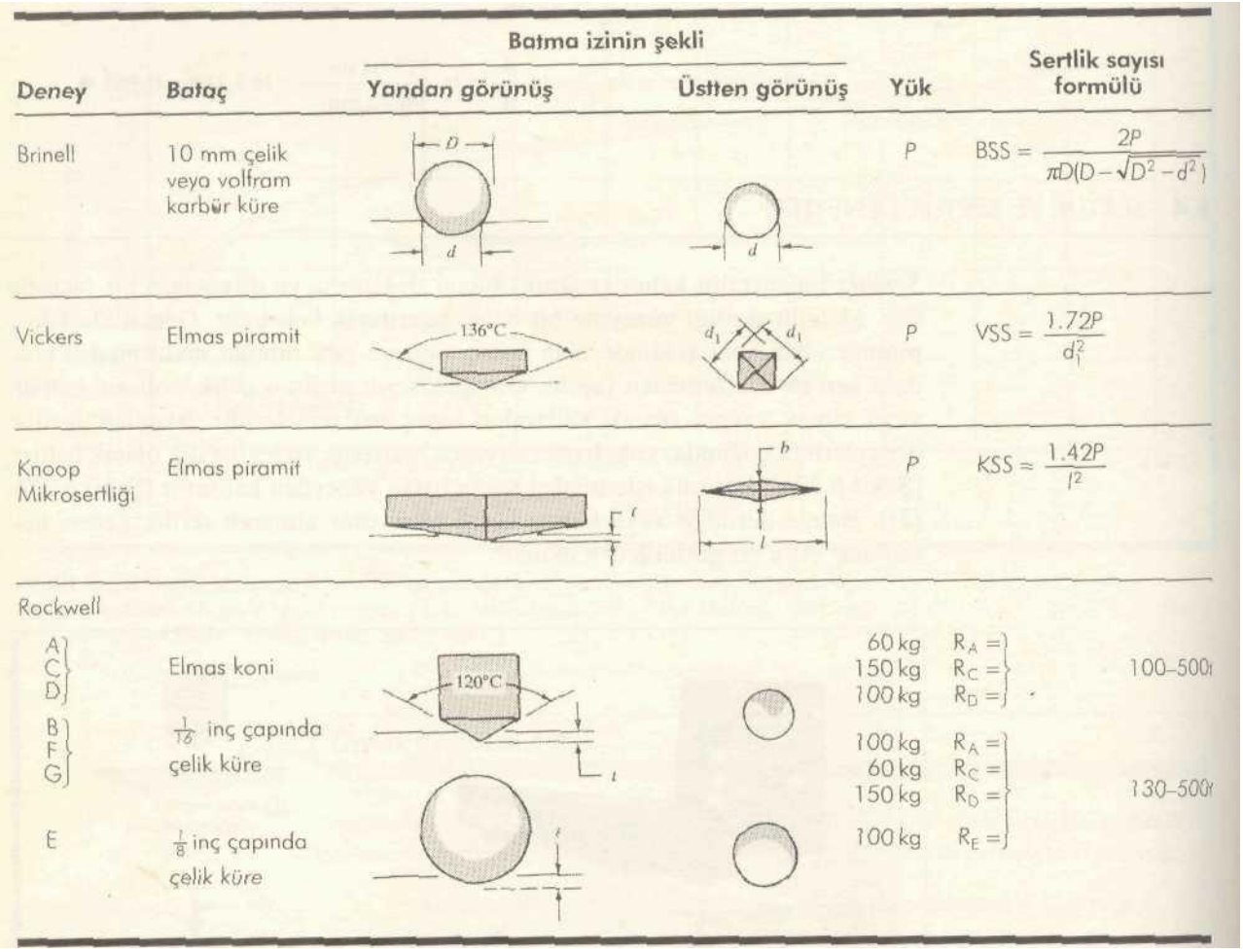
olarak ikiye ayrılmaktadır. Gevrek kırılmada kopma yüzeyi düzdür ve parlak cidara sahiptir. Sünek kırılmada kopma yüzeyi yırtılarak ayrılmaktadır. Cidarlarında ezilmeler ve çekme etkisinin görüntüleri vardır. Bu iki tip kırılmaya ait görünüşler aşağıda verilmiştir. Ayrıca, çatlak ilerleme mekanizmaları şematize edilmiştir.



SERTLİK ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Uygulamada en çok sözü edilen ve Önem taşıyan mekanik Özellikler elastiklik, mukavemet, tokluk ve sertlik olarak sıralanabilir. Bunların sonuncusu olan sertlik aslında bir tür mukavemettir. Sertlik, bir malzemenin yüzeyine batırılarak istenen sert bir cisme karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Endüstride geniş uygulama alanı bulmasının nedeni, çok uzun süreli araştırma ve tecrübe yerine daha kısa zaman alan ve ucuz deneylerle sonuca ulaşılmasıdır. Deney esnasında parçayı tahrip etmemesi diğer bir tercih nedenidir. Aynı zamanda, sertlik değerinden faydalanılarak bazı amprik formüllerle malzemeye ait mukavemet özelliklerine kolaylıkla ulaşabiliriz.

Aşağıda endüstride yoğun olarak kullanılan önemli statik sertlik yöntemlerinden Brinell, Rocwell ve Vickers ele alınacaktır.



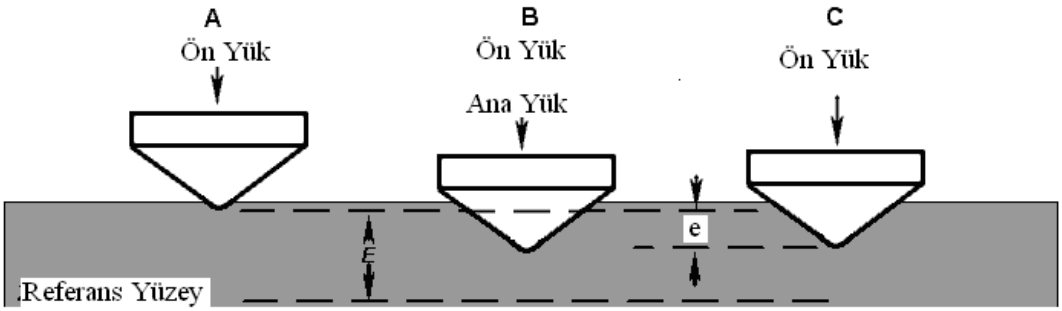
Deney	Bataç	Batma izinin şekli: Yandan görünüş	Batma izinin şekli: Üstten görünüş	Yük	Sertlik sayısı formülü
Brinell	10 mm çelik veya volfram karbür küre			P	$BSS = \frac{2P}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$
Vickers	Elmas piramit	136°C		P	$VSS = \frac{1.72P}{d_1^2}$
Knoop Mikrosertliği	Elmas piramit			P	$KSS = \frac{1.42P}{l^2}$
Rockwell					
A, C, D	Elmas koni	120°C		60 kg R_A =; 150 kg R_C =; 100 kg R_D =	100–500
B, F, G	$\frac{1}{16}$ inç çapında çelik küre			100 kg R_A =; 60 kg R_C =; 150 kg R_D =	130–500
E	$\frac{1}{8}$ inç çapında çelik küre			100 kg R_E =	

ROCKWELL SERTLİK DENEYİ:

Rockweil sertlik ölçme yönteminde yük malzemeye iki kademede uygulanmakta ve ucun malzeme üzerinde meydana getirdiği kalıcı izin derinliği malzeme sertliğini ifade eden büyüklük olmaktadır.

	Rockwell B	**Rockvvetl C**
Baskı ucu	01/16" sert çelik bilya	120° tepe açılı elmas konik
Uygulanana yük	10 kg ön yük + 90 kg ana yük	10 kg ön yük + 140 kg ana yük
Formül	HRB= 130-6/0,002	HRC = 100-e/0,002
Malzeme grubu	- Yumuşak çelikler - Alüminyum alaşımları Bakır alaşımları - Temper dökme demir	- Çelikler Titanyum alaşımları

Tablo 1 En çok kullanılan iki Rockweil sertlik yönteminin özellikleri



Deneyin yapılışı:

1 Sertliği Ölçülecek malzemenin cinsine uygun olarak Rockwell B veya C yöntemlerinden birini seçin
2 Seçilen yönteme uygun baskı ucu cihaza takıldıktan sonra cihazı yönteme uygun (bkz. Tablo -1} toplam yüke ayarlayın
3 Sertliği ölçülecek numuneyi tabla üzerine koyun
4 Ön yükleme kolu vasıtasıyla ön yükü uygulayın
5 Ön yük miktarı ölçme saatinin küçük ibresinden takip edilir. 10 kg ön yük uygulandığında küçük ibre 3 rakamının hizasında bulunan kırmızı işarette bulunmalıdır.
6 Ana yük uygulanır
7 Ucun batması durduktan sonra yani büyük ibrede hareket görülmediği takdirde ana yük kaldırılır
8 Malzemenin sertliği seçilen yöntemin skalasından okunur
9 Ön yük kaldırılarak deney sona erdirilir

Deneyde dikkat edilecek hususlar :

1 Sertliği ölçülecek malzeme için uygun Rockwell skalası seçilmelidir
2 Sertliği Ölçülecek yüzey temiz ve zımparalanmış olmalıdır
3 Yük daima yüzeye dik ve darbesiz uygulanmalıdır
4 Sertliği 100 HRB' yi geçen malzemelerde Rockwell C yöntemi, sertliği 20 HRC den küçük olan malzemelerde Rockwell B yöntemi kullanılmalıdır
5 Oluşturulan İzler parça kenarından ve diğer izlerden en az 2-3 mm uzakta olmalıdır
6 Numune yeterli kalınlıkta (genelde ucun batma derinliğinin 10 katı) olmalı ve deney sırasında esnememelidir
7 Sertlik değeri en az üç ölçümün ortalaması alınarak elde edilmelidir.

ÇELİKLERE SUVERME

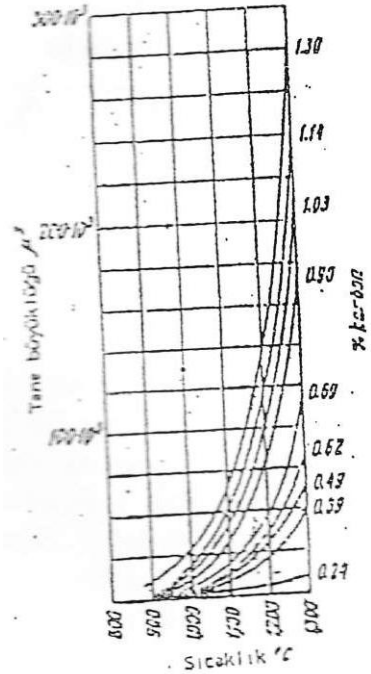
Amacı

Çeliği sertleştirmektir. Parçanın soğuma hızı, çeliğin kritik soğuma hızından büyüktür. Üç türlü suverme yöntemi vardır.

1) Direkt Suverme : Sadece " suverme " adı da verilir. Suverme sonrası çeliğin yapısı martenzit olur. Ötektoid altı çeliklerde A_3 sıcaklığının 30 – 50 ^oC üzerinde (ostenit alanında), ötektoid üstü çeliklerde ise A_1 sıcaklığının 30 – 50 ^oC üzerinde (sementit + ostenit alanında) tutma ve parçayı kritik hızdan daha yüksek hızda soğutma şeklinde yapılır. Gerekli soğutma hızını sağlayan ortamlar genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir;

a) alaşımsız çelikler için su
b) düşük alaşımlı çelikler için yağ
c) yüksek alaşımlı çelikler için hava

Suverme sırasında yapıda ostenitten başka fazlar varsa onlarda bir değişme olmaz. Örneğin ötektoid üstü çeliklerde A_{cm} sıcaklığının üstüne (ostenit alanı) ısıtma yerine A_1 üzerine (sementit + ostenit alanı) çıkılıp su verildiği zaman sadece ostenit martenzite dönüşür, sementit yapıda aynen kalır. Sementit fazı zaten sert bir faz olduğundan suvermenin amacına uygundur. Diğer taraftan daha düşük sıcaklıklarda suverilmiş olduğunda ısıl gerilmeler azalır. İlave olarak ötektoid üstü çeliklerde ostenit alanına çıkıldığında ostenit tanelerinin büyümeye meyili daha fazladır (Şekil 6).



Bu nedenlerle ötektoid üstü çeliklerde suverme sırasında ostenit alanına çıkılmaz. Ancak yapıdaki sementitin tane sınırlarında sürekli bir ağ şeklinde olması hiçbir zaman istenmez. Bu faz, sert ve çok düşük çekme dayanımına sahip olduğundan çeliğin ısıl işlem sonrası mekanik özelliklerini çok kötü bir şekilde etkiler. Bu nedenle ötektoid üstü çeliklere suvermeden önce sementitler küresel hale getirilir. Bu işlem için çelik önce normalleştirme tavına tabi tutularak sürekli sementit ağı parçalanır. Daha sonra küreleştirme işlemine tabi tutularak sementitler küresel hale getirilir. Bu halde çeliğe suverilir. Ötektoid üstü çeliklerde artan karbon miktarıyla çeliğin sertleştirilmiş haldeki sertliği artmaz. Ancak, yapıdaki sementit miktarı artan karbonla arttığından çeliğin aşınma dayanımı artar. Takım çelikleri bu nedenle yüksek karbonlu olur.

Ötektoid altı çeliğe A_1' in hemen üzerinde (ostenit + ferrit alanı) suvermek doğru değildir. Çünkü, ferrit fazı çok yumuşak olup suvermeden sonra çeliğin yapısında kalarak tam bir sertleşme elde edilmesini engeller.

2) Duraklı Suverme (Martemperleme): Bu yöntemde parça, çeliğin kritik hızından büyük bir hızla M_s (martenzit dönüşümünün başlama sıcaklığı) sıcaklığının biraz üstündeki sıcaklığa soğutulur. Diğer bir deyişle, suverme sıcaklığındaki parça aniden M_s sıcaklığının biraz üzerindeki sıcaklıktaki tuz banyosuna daldırılır. Burada yapıda beynit oluşmayacak kadar bir zaman beklendikten sonra parça havada soğutulur. Böylece parçanın M_s ve M_f sıcaklıkları arasında (martenzit oluşum aralığı) yavaş soğuması sağlanır. Sonuçta elde edilen yapı martenzittir. Bu yöntemin avantajları şunlardır: M_s

üzerindeki bekleme sırasında parçanın yüzeyi ile merkezi arasında sıcaklık farkı ortadan kalkar. Suverme sıcaklığından M_s üzerindeki sıcaklığa kadar ani soğuma sırasında ortaya çıkan ısıl gerilmeler yumuşak ostenit yapıda plastik şekil değişimi oluşturarak büyük ölçüde ortadan kalkar. M_s sıcaklığı üzerinde tutmadan sonra parça havada soğuduğu için merkez ve yüzeyi arasında bir sıcaklık farkı olmaz, dolayısıyla parçada martenzit teşekkülü sırasında ayrıca bir ısıl gerilme oluşmaz. Diğer taraftan, parçanın yüzeyi ile merkezinde aynı anda martenzit teşekkül eder. Bu nedenle martemperleme, kalan gerilmeleri en az düzeye indirerek çarpılma ve çatlama tehlikesini büyük ölçüde azaltır.
Yöntemin başarılı olması için, sıcak tuz banyosuna atılan parçanın yüzeyi ve merkezi, kritik soğuma hızının üzerinde bir hızda soğumalıdır. Sıcak tuz banyosunun soğutma şiddeti soğuk banyoya nazaran azaldığı için kalın ve büyük kütleli parçalarda parça içindeki soğuma hızı kritik soğuma hızının altına düşebilir. Bu nedenle bu yöntem 8 mm kalınlığa kadar parçalara başarıyla uygulanabilir. Alaşımlı çeliklerde kalınlık biraz daha fazla olabilir.
3) İzotermal Suverme (Ostemperleme) : Bu yöntemde parça suverme sıcaklığından itibaren kritik hızın üzerinde bir hızla M_s sıcaklığının üzerindeki biir sıcaklığa aniden soğutulur. Bir başka deyişle, M_s sıcaklığı üzerindeki bir banyoya daldırılır ve ostenitin tamamı alt beynite dönüşünceye kadar beklenir. Bekleme süresi, zaman-sıcaklık-dönüşüm (izotermal dönüşüm) diyagramından tayin edilebilir. Bu süre alaşımlı çeliklerde alaşımsız çeliklere nazaran fazladır. Beynit teşekkülü tamamlandıktan sonra parç ahavada soğutulur. Bundan sonra çeliğe herhangi bir temperleme işlemi uygulamak gerekmez. Martemperlemede açıklanan nedenle bu yöntemde ancak 10 mm kalınlığa kadar ince parçalara başarıyla uygulanır.
Bu yöntemle, 0,3 - 0,5 karbon içeren yapı çelikleri en iyi mekanik özelliklere sahip olurlar. Diğer taraftan, ostemperlenmiş çelikler suverimiş ve 250 – 400 ^oC' de temperlenmiş çeliklere nazaran aynı sertlik ve dayanımda çok daha yüksek sünekliğe ve tokluğa sahiptirler (Tablo 1). Bu nedenle, 250 – 400 ^oC temperleme sonucu elde edilecek sertlik ve dayanım gerektiren hallerde, özellikle küçük parçalarda, suverme ve temperleme yerine ostemperleme tercih edilmelidir.

Tablo 1. 4,6 mm çapında ötektoid çelik çubukta ostemperlemenin mekanik özelliklere etkisi

Özellikler	Suverme + Temperleme (345 ^oC)	Ostemperleme
RCS	50	50
Çekme dayanımı (MPa)	1790	1790
Kopma uzaması (%)	3,75	5,0
Kesit daralması (%)	26,1	46,4
Çentiksiz darbe enerjisi (J)	50	132
Eğme deneyi	45° de kırılma	150° de kırılma yok

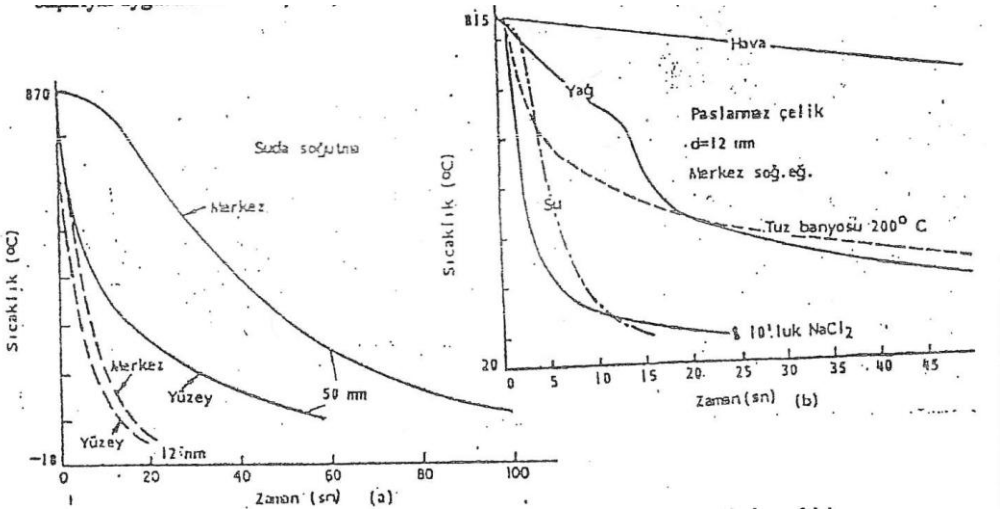
Suverme sırasında doğabilecek çatlama ve çarpılma tehlikesini en aza indirmek için başka tedbirler de almak mümkündür. Bunlardan biri parçayı kritik hızdan büyük bir hızla M_s sıcaklığının üzerine soğutmak (örneğin suda) daha sonra iç ve dış kısımlar arasındaki sıcaklık farkının dengelenmesini beklemeden parçayı martenzit oluşum aralığında daha yavaş bir hızla soğutacak ortama (örneğin yağ veya hava) koymak. Bu yönteme iki ortamda su verme adı verilir (Şekil 17 d). Yöntem, martenzit oluşum aralığında (M_s- M_f) yavaş soğuma sağladığından çatlama ve çarpılma tehlikesi azalır. Elde edilen yapı martenzittir. Bu yöntem özellikle, direkt suvermeye uygun olmayan, karşık şekilli, alaşımsız çelik takımlara uygulanır.

Diğer bir yöntem de sertleştirme ve kendi kendini temperlemedir. Bu yöntemde parça soğutma ortamında tamamen soğuyuncaya kadar tutulmaz. Aksine parça, merkezi tamamen soğumadan ve parçayı temperleyecek kadar bir ısıya sahipken soğutma ortamından çıkarılır. Parçanın martenzite dönüşen dış kısmı , bu ısıyla temperlenir. Parçanın soğutma ortamından çıkarılma zamanı deneyle bulunur. Genel olarak, parça merkezinde temperleme için gerekenden daha fazla ısı bulunur. Bu durumda parça yeniden soğutma ortamına sokulur. Bu yöntem, tok bir çekirdek ve sert bir yüzey gerektiren, keski, balyoz, çekiç, markalama zımbası gibi aletlere uygulanır.

SOĞUTMA:
Tutma sıcaklığı ostenit bölgesinde olan ısıl işlemlerde çeliğin nihai özelliklerine etki edn en önemli faktör çeliğin bu sıcaklıktan itibaren soğuma hızıdır. Verilmiş bir çeliğin soğuma hızı aşağıdaki faktörlere bağlı olarak değişir.

Parça kalınlığı (çapı) azaldıkça soğuma hızı artar (Şekil 2a)
Soğuma ortamının soğutma şiddeti arttıkça soğuma hızı artar (Şekil 2b)

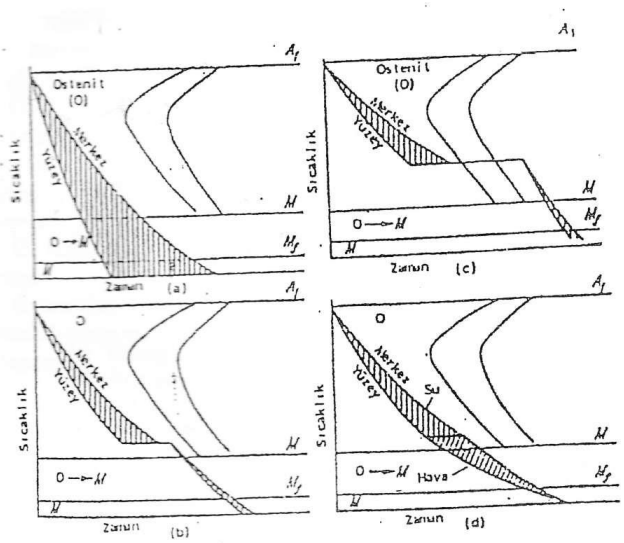
Tutma sıcaklığı yükseldikçe soğuma hızı artar.
Parça kalınlığı (çapı) arttıkça parça merkezinin soğuma hızı yüzeyin soğuma hızına nazaran giderek azalır (Şekil 2a)



Şeldi 2 a) parça çapının b) soğutma ortamının soğuma eğrilerine etkisi

SERTLEŞME KABİLİYETİ

Ostenitlenmiş çeliğin yavaş soğuduğu halde martenzite dönüşebilme kabiliyetine sertleşme kabiliyeti adı verilir. Bir çeliğin kritik soğuma hızı (V_{sk}) ne kadar küçükse sertleşme kabiliyeti o kadar yüksektir veya diğer bir deyişle çelikte sürekli soğuma diyagramı ne kadar sağa kaymışsa o çeliğin sertleşme kabiliyeti o kadar yüksektir. Sonuç olarak, sertleşme kabiliyeti düşük ve yüksek olan iki çelik aynı ortamda su verildiğinde sertleşme kabiliyeti yüksek olan çelikte sertleşen tabaka kalınlığı daha fazla olur.
Yukarıda açıklanan nedenle çeliklerin sertleşme kabiliyetini belirlemede sertleşen tabaka derinliği bir kriter olarak kullanılmıştır. Tabaka derinliği olarak % 50 martenzitik yapıya denk eden derinlik esas alınır. Ancak bu değer sadece malzemeye değil aynı zamanda soğutma ortamının cinsine ve suverilen malzemenin çapına da bağlıdır. Bu bağımlılıkları ortadan kaldırmak ve sadece malzemeye özgü bir özellik tanımlamak gerekir. Sertleşme kabiliyetini bu faktörler altında kıyaslayabilen bir yaklaşım Jominy (uçtan suverme) deneyidir.



Şekil 3 — a) Direkt su verme
b) Martemperleme
c) Ostemperleme
d) İki ortamda suverme

ISIL İŞLEM HATALARI, ÖNLEME VE GİDERME YÖNTEMLERİ

1. Aşırı Isıtma: Normal değerlerin oldukça üzerindeki sıcaklıklarda uzun süre tutma
   Özellikleri: İri taneli mikro yapı, iri taneli kırılma yüzeyi, tavlanmış çelikte widmannstaetten yapısı, sertleştirilmiş çelikte iri taneli martenzit, süneklik azalması, özellikle darbe tokluğunda azalma.
   Giderme yöntemleri: Hafif aşırı ısıtma halinde, çifte tavlama veya çifte normalleştirme tavı uygulanır (birincisi A_3+100 ^oC-150 ^oC' de tavlama veya normalleştirme tavı, ikincisi normal sıcaklıkta tavlama veya normalleştirme tavı)

2. Yanma: Oksitleyici bir atmosferde yüksek sıcaklıkta uzun süre tutmak veya erime sıcaklığına yakın sıcaklıklarda uzun süre tutmak.
   Özellikleri: I. Safha yanmada tane sınırları karbonca zenginleşir. II.safha yanmada tane sınırlarında oksitlenmemiş boşluklar bulunur. III. Safha yanmada tane sınırlarında demir oksit inklüzyonları bulunur.
   Giderme Yöntemleri: I. Safha için: Difüzyon tavında sonra çifte tavlama uygulanır.
   II. Safha için: Dövmeden sonra tavlama uygulanır.
   III Safha için: Hata giderilemez.

3. Oksidasyon: Tav fırınında oksitleyince atmosfer
   Özellikleri: Çelik parça üzerinde kalın kav tabakası
   Önleme Yöntemleri: Fırında redükleyici, nötr veya koruyucu atmosfer kullanmak. Parçayı karbon verici katı gereçlerle veya dökme demir talaşı ile paketlemek. Parçayı tuz banyosunda ısıtmak.

4. Karbon kaybı (dekarbürasyon): Tav fırınında oksitleyici atmosfer
   Özellikleri: Çelik parça yüzeyinden karbon kaybı, suvermeden sonra yüzeyde düşük sertlik, yorulma sınırında azalma.
   Önleme ve Giderme Yöntemleri:
   Önlenmesi: Fırında redükleyici, nötr veya koruyucu atmosfer kullanmak Parçayı karbon verici katı gereçlerle veya dökme demir talaşı ile paketlemek. Parçayı tuz banyosunda ısıtmak.
   Giderilmesi: işleme payı yeterli büyüklükte ise, karbon kaybı olan yüzeyi talaş kaldırma yoluyla yok etmek.

5. Aşırı Sertlik: Normal tavlamaya göre aşırı yüksek soğuma hızı veya izothermal tavlama için yetersiz tutma zamanı.
   Özellikleri: sıcak şekil verilmiş veya tavlanmış çelikte aşırı sertlik.
   Giderilmesi: Tavlamayı uygun soğutma hızında tekrarlamak.

6. Siyalı Kırılma: Aşırı tutma zamanı ve tavlamadan sonra çok yavaş soğutma
   Özellikleri: Çelikte serbest grafit inklüzyonu (tavlama karbonu)
   Giderme Yöntemleri: Çeliği yüksek sıcaklıklara ısıtma ve dövme

7. Su verme Çatlakları: Düşük sıcaklıklarda martnezit dönüşümü nedeniyle oluşan hacim artmasının ortaya çıkardığı iç gerilmeler. Martenzit dönüşümünün sertleşen parçanın her yerinde aynı anda olmayışı.
   Özellikleri: Genellikle tane sınırlarında zig-zag şeklinde ortaya çıkar. İç ve dış çatlak olabilir. Çatlaklar boyuna, yay şeklinde v.b. olabilir.
   Önlenmesi: Parçanın tasarlanmasında keskin köşelerden ve kesit kalınlığındaki ani değişmelerden kaçınmalıdır. Parça sertleştirilmeden önce iç gerilmesiz olmalı, varsa, iç gerilmeler sertleştirme öncesi bir gerilme giderme tavıyla giderilmelidir. Tutma sıcaklığı elverdiğince küçük seçilmelidir. Parça martenzit oluşum bölgesinde (M_s-M_f sıcaklık aralığı) yavaş soğutmalıdır (İki ortamda su verme; yağda suverme, martemperleme v.b. uygulanabilir.). Ostemperleme işlemi uygula. Parçayı suverdikten hemen sonra temperle.

8. Su verme deformasyonu: Martenzit dönüşümü sonucu çelik parçada hacim artması. Çeliğin sertleşme kabiliyeti arttıkça, sertleşme sonrası deformasyon da artar.
   Özellikler: Sertleşmeden sonra parçada deformasyon ve hacim (boyut) değişimi.
   Önlenmesi: Su verme ile çok az deforme olan cinsten alaşımlı çelik kullanmak. Martenzit oluşum bölgesinde çeliği yavaş soğutmak. Uygun olması halinde suverme yerine yüzey sertleşmesi yöntemini tercih etmek.

9. Çarpılma: Soğuma(Isıtma) sırasında hacim değişimi. Parçanın üniform olmayan bir biçimde ısıtılması (soğutulması). Parçada ısıtma öncesi iç gerilmelerin olması. Parçanın suverme banyosuna eğik pozisyonda sokulması.
   Özellikler: Parçanın suverme sonrası asimetrik deformasyona uğraması.
   Önlenmesi: Suverme ile çok az deforme olan cinsten alaşımlı çelik kullanmak, martenzit oluşum bölgesinde çeliği yavaş soğutmak, uygun olması halinde suverme yerine yüzey sertleştirme yöntemini tercih etmek.
   Parçayı sertleştirmeden önce tavlamak, normalleştirme tavı uygulamak ve ya yüksek sıcaklıkta temperlemek, sertleştirme için üniform biçimde ısıtmak.Sertleştirme sırasında üniform biçimde suvermek. Parçayı suverme banyosuna uygun pozisyona sokmak. Özel suverme tertibatları kullanmak. Hata, doğrultma veya taşlama payı yeterliyse, taşlama ile giderilebilir.

10. Yetersiz Sertlik: Tutma sıcaklığı çok düşük, tutma zamanı çok az, soğuma hızı çok düşük durumlarda meydana gelir.
    Özellikleri: Suvermeden sonra yetersiz sertlik.
    Giderme yöntemleri: Parçaya normalleştirme tavı veya tavlama uygulamak, sonra uygun şartlarda yeniden sertleştirimelidir.

11. Yumuşak noktalar: Su verilen parçanın yüzeyinde buhar birikmesi (habbe oluşumu) nedeniyle o bölgelerdeki soğuma hızının azalması, parça yüzeyinde yerel karbon kaybı olması, çeliğin katılaşma sürecindeki yapısının homojen olmayışından meydana gelir.
    Özellikler: Sertleştirilmiş parçanın yüzeyinde düşük sertliği sahip noktalar (bölgeler).
    Önlenmesi: Daha etkin suverme ortamı kullanmak, sertleştirmeden önce parçaya normalleştirme tavı veya tavlama uygulayarak daha üniform bir yapı elde etmek. Isıtma sırasında parçayı yüzeyinden karbon kaybına karşı korunmalı. Hatta, parçaya önce normalleştirme tavı uygulanıp sonra da yüksek hızda suvererek giderilebilir.

12. Aşırı Sertlik: Temperleme sırasında düşük sıcaklık ve tutma süresinin az olması
    Özellikleri: Su vermeden sonra yetersiz sertlik
    Giderme yöntemi: Parçaya uygun sıcaklıkta ve uygun tutma zamanında gerçekleştirilen ikinci bir temperleme yapılması.

13. Düşük Sertlik: Temperleme sıcaklığı çok yüksek.
    Özellikleri: Temperleme sonrası düşük sertlik.
    Giderme yöntemi: Parça önce tavlanır sonra yeniden su verilir ve uyun sıcaklıkta yeniden temperlenir.

14. Erozyon: Çelik tuz banyosunda ısıtıldığında klorlu tuzların kimyasal reaksiyonu ve çeliğin oksidasyonu.
    Özellikleri: Parça yüzeyinden metal kaybı nedeniyle, parça boyutlarında azalma veya şekil bozulması.
    Önlenmesi: Tuz banyosunu boraks veya ferrosilisyum ile deokside et.melidir. Elektrikli tu banyolarında parçayı elektrodlara göre uygun konumda yerleştirmeli.

15. Korozyon: Tuz banyosunda ısıtma halinde,
    Yüksek miktarda kükürtlü tuzlar (% 0,7 nin üzerinde)
    Banyo oksijen veya demir oksit bakımından zengin hale gelmiştir.
    Alev fırınlarında ısıtma halinde; üniform kav oluşumu.
    Önlenmesi: Tuz bileşimini dikkatle kontrol etmeli, banyoyu okside etmeli, alev fırınında ısıtma halinde oksitleyici atmosferi yok etmelidir.

Termik analiz deneyi

FAZ DİYAGRAMLARI

Faz

Belirli bir surumdaki bir sistemin atomsal boyutların üzerinde homojen- ve özellikleri birbirinden farklı olan her bir bölümüne faz denilir.

Bir fazda bulunan özellikler:

(a) bir fazın her yerinde yapı ve atomik dizilişler aynıdır.

(b) bir fa.z kabaca her yerinde aynı kimyasal bileşim ve özelliklere sahiptir.

(c) bitişik fazlar arasında.kesin bir arayüzey vardır.

Bileşen :Bir alaşımı oluşturan kimyasal elementlere o alaşımın bileşenleri denilir.

GIBBS faz kanunu Dengede olan çok fâzlı bir sistem için GIBBS[2] faz kanunu aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır, S + F = B +. 2

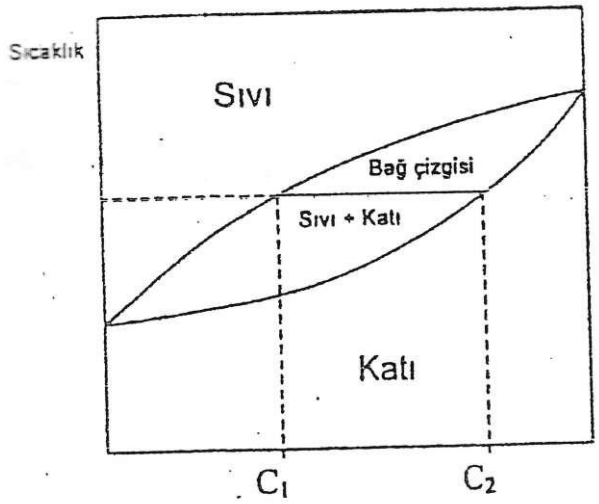
Burada S serbestlik derecesi: faz sayısı sabit kalmak koşuluyla birbirinden bağımsız olarak değiştirilebilecek durum büyüklüklerinin sayısıdır. Durum büyüklükleri derken sıcaklık, basınç Gibi fiziksel büyüklükler kastedilmektedir - F: fazların sayısı. B: bileşenlerin sayısı.

uygulamada katılaşma olayları genellikle sabit basınç altında (genellikle atmosfer basıncında) olduğundan serbestlik derecesi bir azalır ve GIBBS faz kanunu aşağıdaki şekli alır,

$$S + F = B + 1$$

Bağ çizgisi kuralı

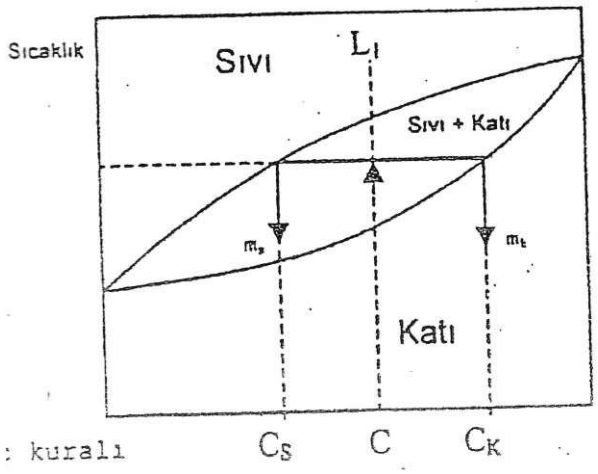
İkili faz diyagramlarının iki faz bölgesinde serbestlik derecesi bir olduğundan belirli bir sıcaklıkta, iki fazında . bileşimi bulunabilir. Bağ çizgisi, ilgili sıcaklıkta iki faz bölgesinde çizilen yatay bir çizgidir (Şekil-8).. Bağ çizgileri
tek faz bölgesinde kullanılmazlar.



Şekil-8 Bağ çizgisi kuralı

Kaldıraç kuralı

Fazın miktarını hesaplamak için, hesaplanan fazın bulunduğu kısma zıt olan manivela kolu, manivelanın toplam uzunluğuna çizgisi uzunluğuna) bölünür. Bu kural genel olarak şu şakilde yazılabilir (Şekil 9).



Şekil-9 Kaldıraç

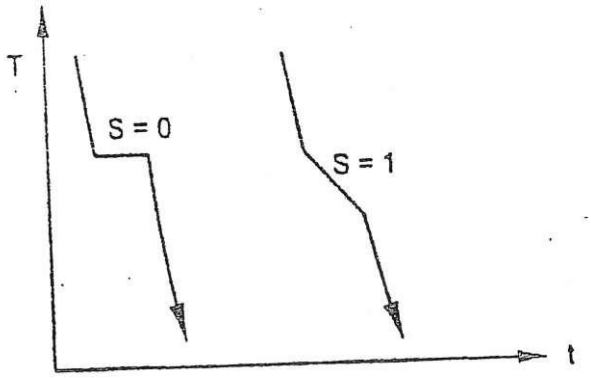
İkili faz diyagramlarında tek.faz bölgelerinde kaldıraç kuralı uygulanmaz·. Çünkü tek faz bölgelerinde faz yüzdesi % 100' dur.

Termik analiz-yöntemiyle ikili faz diyagramlarının belirlenmesi

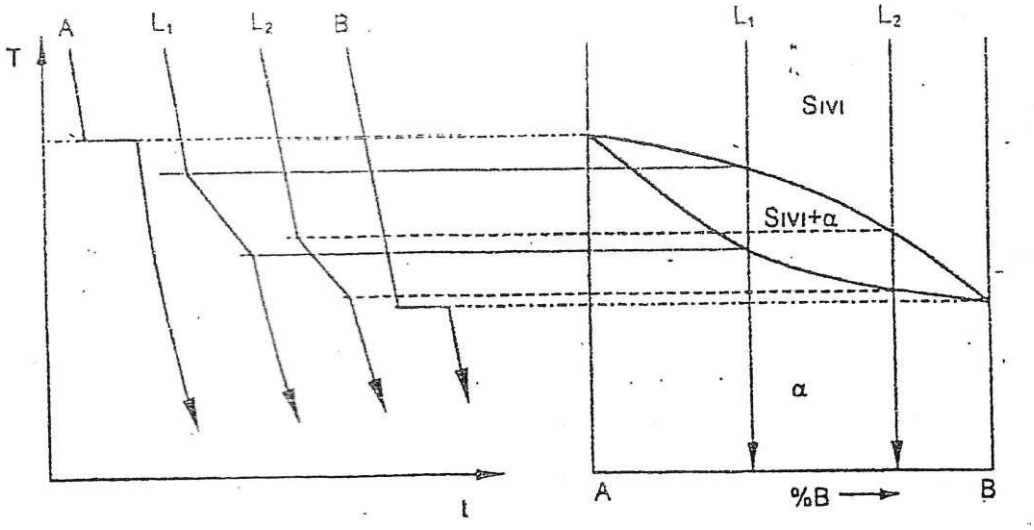
Faz diyagramlarının belirlenmesi için dilatometre, elektrik direnci manyetik duyarlılık gibi yöntemler kullanılmaktadır. Termik analiz yöntemi de bunlardan biridir.

Sabit sıcaklık noktaları: Bu duruma sistemin faz dönüşümü tamamlanıncaya kadar sabit sıcaklık noktasına durak noktası denilir. S = 0 dır.

Kırılma noktaları: Alaşımlarda sıvı ve katı fazların birlikte bulunduğu faz alanlarının sınırlarına karşılık soğuma eğrilerinde belirgin kırılma noktaları görülür. Bunlar katılaşma sırasında ortaya çıkan ergime gizli ısısı nedeniyle oluşurlar. Bu durumlarda serbestlik derecesi S = 1 dır.



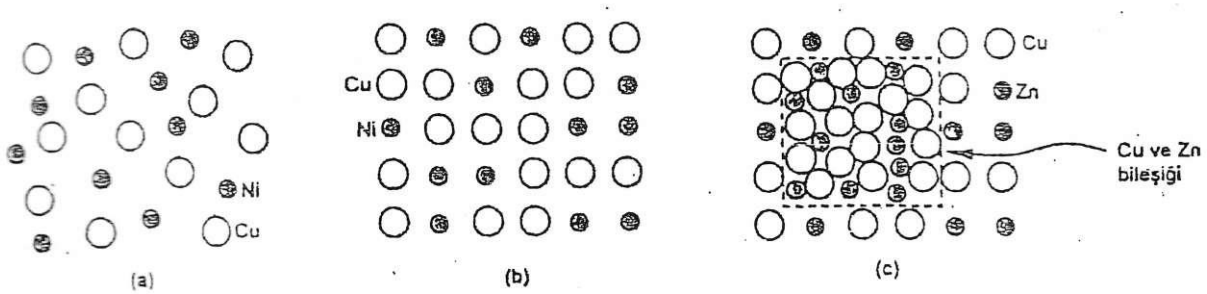
Şekil-10 İki bileşenli alaşımlar için durak ve kırılma noktası



Şekil-11 İkili faz diyagramının soğuma eğrileri yardımıyla belirlenmesi

İkili faz diyagramlarının türleri
Çözülebilirlik

Sınırsız çözülebilirlik
Bir kap sıvı bakır ve bir kap sıvı nikel kargış tır ılırsa, sadece bir sıvı faz oluşur. Her yerde sıvı alaşımın bileşimi ve yapısı aynıdır (şekil-12a). Sıvı nikel ve bakır oranlarına bakılmaksızın, sınırsız çözülebilirliğe sahiptir· ve sadece bir faz oluşur.
Sıvı bakır-nikel alaşımı katılaşır ve oda sıcaklığına soğutulursa, sadece bir katı faz oluşur. Katılaşmadan sonra bakır ve nikel atomları ayrılmaz bunun yerine yüzey merkezli kübik kafes noktalarına rastgele yerleşirler. Katı faz içerisinde yapı ve özellikler üniformdur ve bakır ve nikel atomları arasında arayüzey yoktur.
Yukarıda anlatılanlara göre bakır ve nikel birbirleri içerisinde sınırsız çözülebilirliğe sahiptirler ve katı fazları katı çözelti olarak adlandırılır (Şekil-12b).



Şekil-12 (a) Sıvı bakır-nikel alaşımları birbirlerinin içerisinde tamamen çözülebilir.
(b) Katı bakır-nikel atomları kafes noktalarını rastgele doldurarak katı çözelti oluştururlar
(c) % 4 û' tan fazla çinko içeren bakır-çinko alaşımlarında, çinkonun bakır içerisinde sınırlı çözülebilirliğinden dolayı ikinci bir faz oluşur.

Sınırlı çözülebilirlik
Küçük bir miktar sıvı çinko sıvı bakıra katılırsa bir tek sıvı eriyik elde edilir. Bakır-çinko eriyiği soğuyup katılaştığında hacim merkezli kübik yapıya sahip normal kafes noktalarında bakır ve çinko atomlarının rastgele yerleştiği yapı ortaya çıkar. Buna karşın sıvı eriyik %40' tan fazla çinko içerirse fazla: çinko atomları bir kısım bakır atomları ile birleşerek CuZn bileşiği oluştururlar (Şekil-12c). Bu durumda %40 çinko ile doymuş bir katı bakır eriyiği ve ek olarak CuZn bileşiği olmak üzere iki çeşit faz vardır. Böylece çinkonun bakır içerisinde eriyebilirliği sınırlanır. Diğer bir sıra dışı durum ise bir. malzemenin diğer malzeme içerisinde çözülebilirliğinin olmamasıdır. Örneğin yağ-su ve bakır-kurşun gibi.

Metallerde sınırsız katı çözünebilirlik şartları

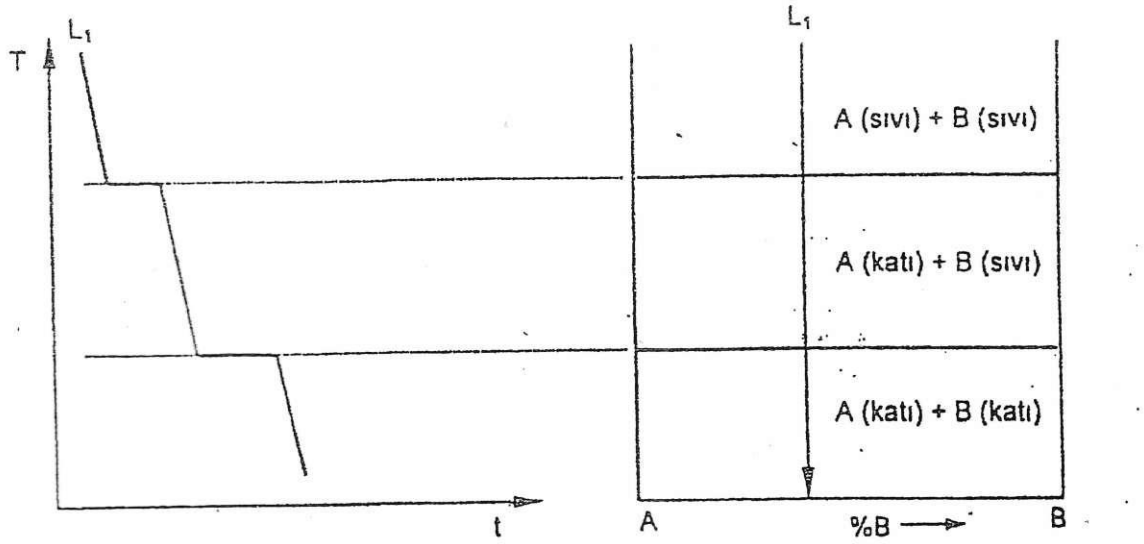
1- Metal atomlarının yarıçap farkları %15' ten büyük olmaması gerekmektedir. Aksı halde farklı atom boyutlarının kafeste meydana getirdiği genleşme. sınırsız çözülebilirliğe imkan vermemektedir.
2- Metaller kristal yapaya sahip olmak>zorundadır. Eğer böyle değilse belli bir noktada bir fazdan değişik yapıda diğer bir faza geçiş vardır.
3- Metal atomları aynı valansa sahip olmak .zorundadır. Aksi takdirde değişik .valans elektronları katı çözelti yerine daha çok fcj.ileşik oluşturmayı teşvik ederler.
4~ Metal atomları yaklaşık aynı elektronegatiflige sahip olmak zorundadırlar. Eğer elektronegatiflikleri önemli düzeyde farklı olursa bileşik' oluşturma eğilimi artar.

Sıvı ve katı durumda tam çozünmezlik

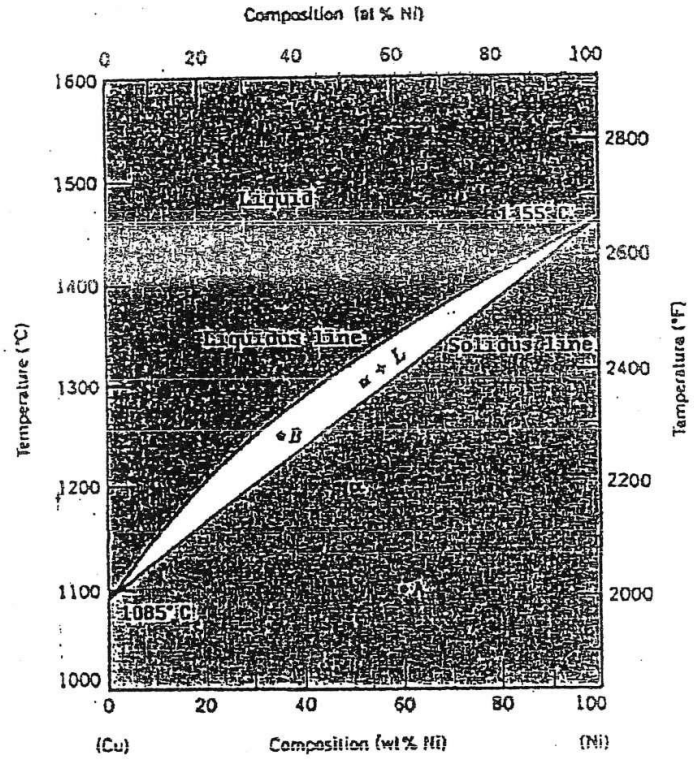
Fe-Pb ve Cu-Pb alaşımlarının tümünün soğuma eğrileri Şekil-13 a' da görüldüğü gibidir. Bundan faydalanılarak Şekil-13b' deki faz diyagramı çizilebilir.

Sıvı ve katı durumda tam çözünürlük

• Bakır-nikel alaşımlarında olduğu gibi %100 bakır veya %100 nikel bileşimlerinin dışında tüm bileşimlerde sabit sıcaklık noktası görülmez. Cu-Ni alaşımının faz diyagramı Şekil~X4 te gözükmektedir.

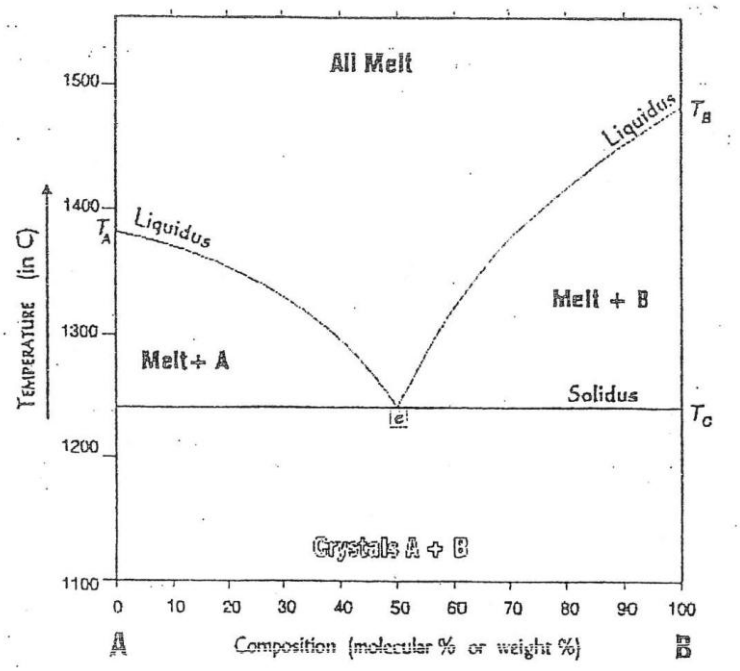


Şekil-13 (a) Fe-Pb ve Cu-Pb alaşımlarının soğuma eğrileri
(b) Sıvı ve katı durumda tam çözünmezlik durumundaki faz diyagramı



Şekil-14 Cu-Ni alaşımının faz diyagramı

Sıvı durumda tam çözünürlük kati durumunda tam çözünmezlik Böyle bir duruma ait faz diyagramı Şekil-15' te görülmektedir.



Şekil-15 Sıvı durumda, tam çözünürlük katı durumda tam Çözünmezlik

Sıvı durunda tam çözünürlük katı durumda sınırlı çözünürlük

Pb-Sn alaşımları bu duruma örnek olarak verilebilirler. Pb-Sn alaşımına ait faz diyagramı Ek-1' de verilmiştir,

DENEYİN YAPILIŞI

Deneyde kullanılan cihaz ve malzemeler 1- Değişik bileşimlerde Pb-Sn alaşımları

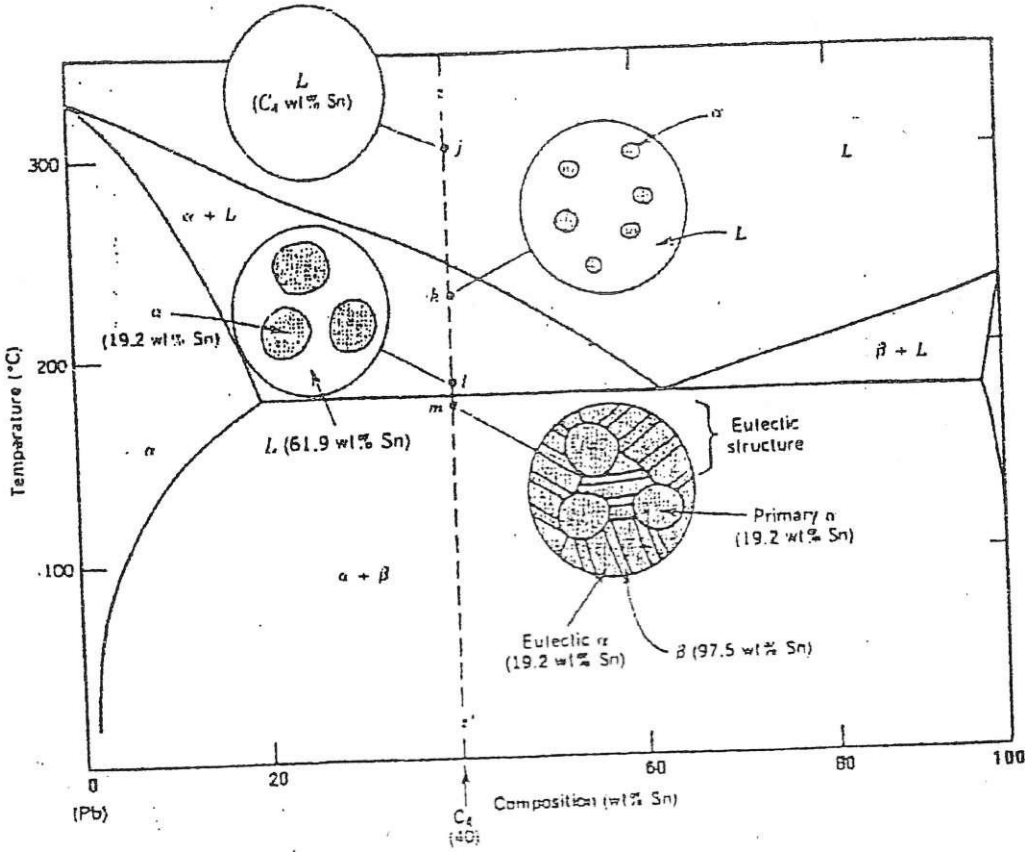
Deney için uygun maksimum ölçme sıcaklığına sahip cıvalı cam termometre. Bu alaşım için kurşunun ergime sıcaklığı olan 327 °C referans alınarak 360 °C lik termometre seçilmiştir.

Alaşımı ergime sıcaklığına yükseltmek için sıcaklık kontrollü fırın

Alaşımı fırında tutmak için porselen pota ve daha sonra fırından çıkarıldığında yüksek sıcaklığından dolayı çevreye zarar vermemesi için ısı iletimi düşük porselen potanın içerisine sığabileceği büyüklükte bir başka pota

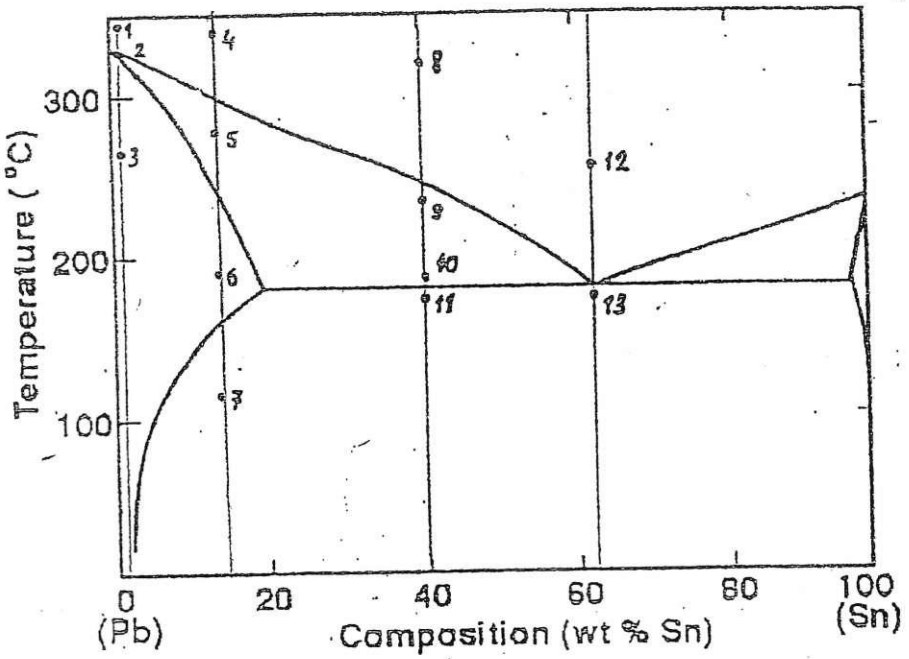
Potayı fırından çıkartmak için maşa
Zamanı ölçmek için saat veya kronometre Ölçülen' sıcaklıkları kaydetmek için tablo. Bu tablo Ek 2 de bulunmaktadır. Deneyin yapılışı Fırın yaklaşık 400 °C' ye ısıtılır Daha önceden bileşimi belirlenmiş olan alaşım potaya Pota maşa vasıtasıyla fırına yerleştirilir ve alaşımın erimesi beklenir Ergiyen alaşım yine maşa yardımıyla fırından çıkarılarak ısı geçirmez potanın içerisine yerleştirilir
1- İşlemin bundan sonraki bölümü üç kışı tarafından gerçekleştirilmelidir. Bu kişilerin görevlen, zamanı kontrol etmek, sıcaklığı ölçmek ve ölçülen sıcaklığı tabloya kaydetmektir.
2- Zamanı kontrol eden kişi başlama işaretini verdiğinde termometreyi kontrol eden kişi birinci ölçümü okur. Bu sırada zaman 0 s' dir. Diğer kişi ise okunan değeri tabloya kaydeder.
3. Deneyde dikkat edilmesi gereken hususlar
1- Deneyde kullanılan fırın ve alaşımların yüksek sıcaklıkları nedeniyle çok dikkatli olunmalıdır. Aksı takdirde kaza ve yanıklara sebep olunabilir.
2- Deney sırasında cam termometreyle ölçüm yaparken termometre sürekli yukarı-aşağı ve sağa-sola salınım hareketleri yaptırılarak katılaşma sırasında potada sıkışması önlenmelidir. Aksi takdirde cam termometre katılaşmış alaşımın içerisinde sıkışacak ve çıkarılması Mümkün olmayacaktır.
3- Cıvalı' cam termometre kırılmaya karşı son derece duyarlıdır. Bu nedenle çok dikkatli olunmalıdır. Aksı takdirde cam termometre kırılacaktır ve civanın akmasına neden olacaktır. Bilindiği gibi alaşım oldukça yüksek sıcaklıklarda bulunmaktadır. -38 °C'de eriyen civa bu sıcaklıklarda buharlaşacaktır ve buharı insan sağlığı için çok tehlikelidir. .
4- Katılaşma tamamlandıktan sonra bile alaşım yüksek' sıcaklıkta bulunmaktadır.

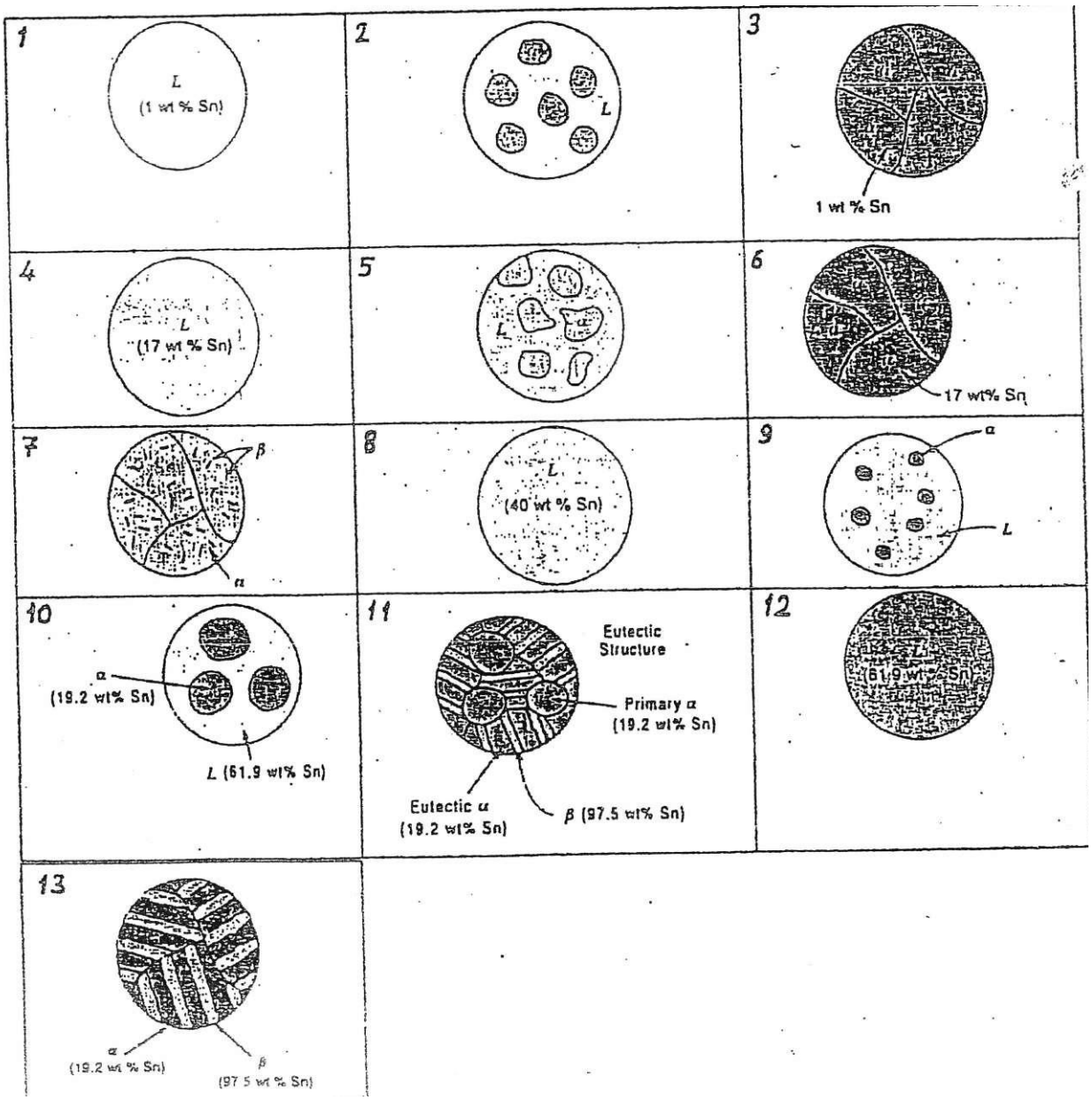
Ek-1 Kurşun (Pb) - Kalay (Sn) İkili Far Diyagram



Ek-2 Ölçülen sıcaklıklar

Ölçüm no	Zaman* [s]	Sıcaklık [°C]__	Ölçüm no	Zaman [s]	Sıcaklık [°C] 1
T 1	0		16		
2			17		
3			18		
4			19		
5			20		
6			21		
7			22		
8			23		
9			-24		
10			25		
11			26		
12			27		
13			28		
14'			29		
15			30		


Temperature (°C)
300
200
100
0
(Pb)
20
40
60
80
100
(Sn)
Composition (wt % Sn)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13


1
L
(1 wt % Sn)
2
L
3
1 wt % Sn
4
L
(17 wt % Sn)
5
L
6
17 wt% Sn
7
β
α
8
L
(40 wt % Sn)
9
α
L
10
α
(19.2 wt% Sn)
L (61.9 wt% Sn)
11
Eutectic
Structure
Primary α
(19.2 wt% Sn)
Eutectic α
(19.2 wt% Sn)
β (97.5 wt% Sn)
12
L
(61.9 wt % Sn)
13
α
(19.2 wt % Sn)
β
(97.5 wt % Sn)