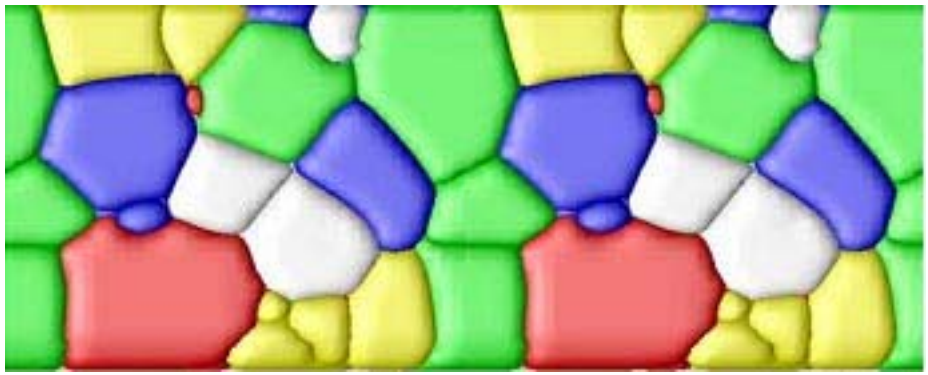
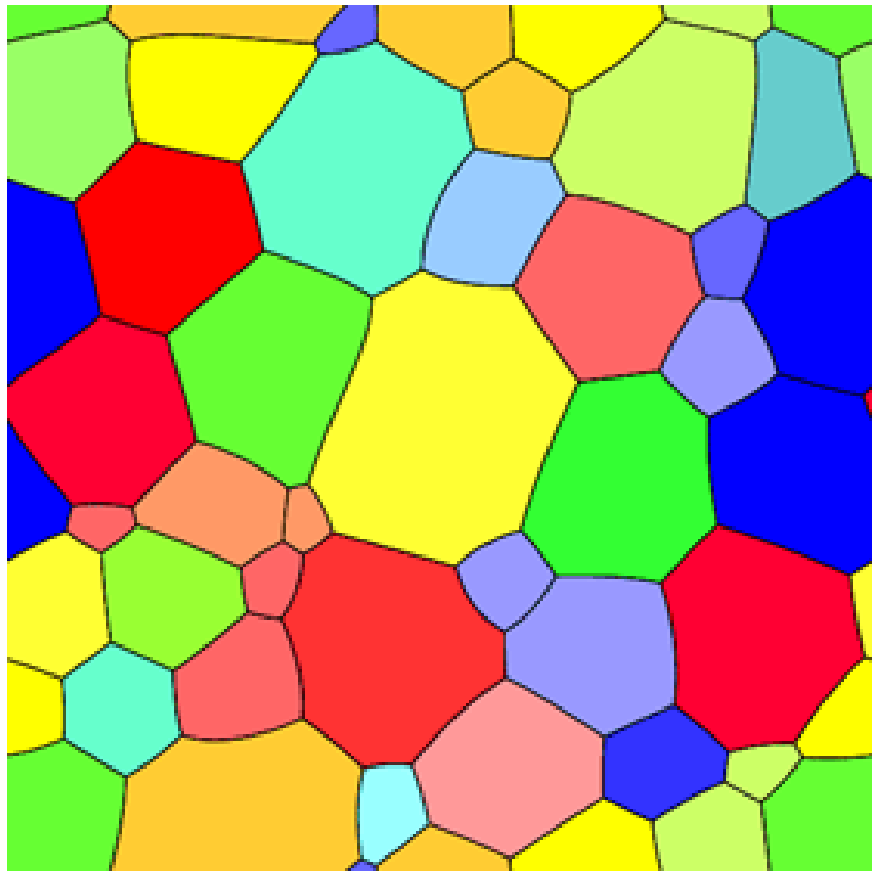
YÜZEYLER VE ARAYÜZEYLER 2. DERS

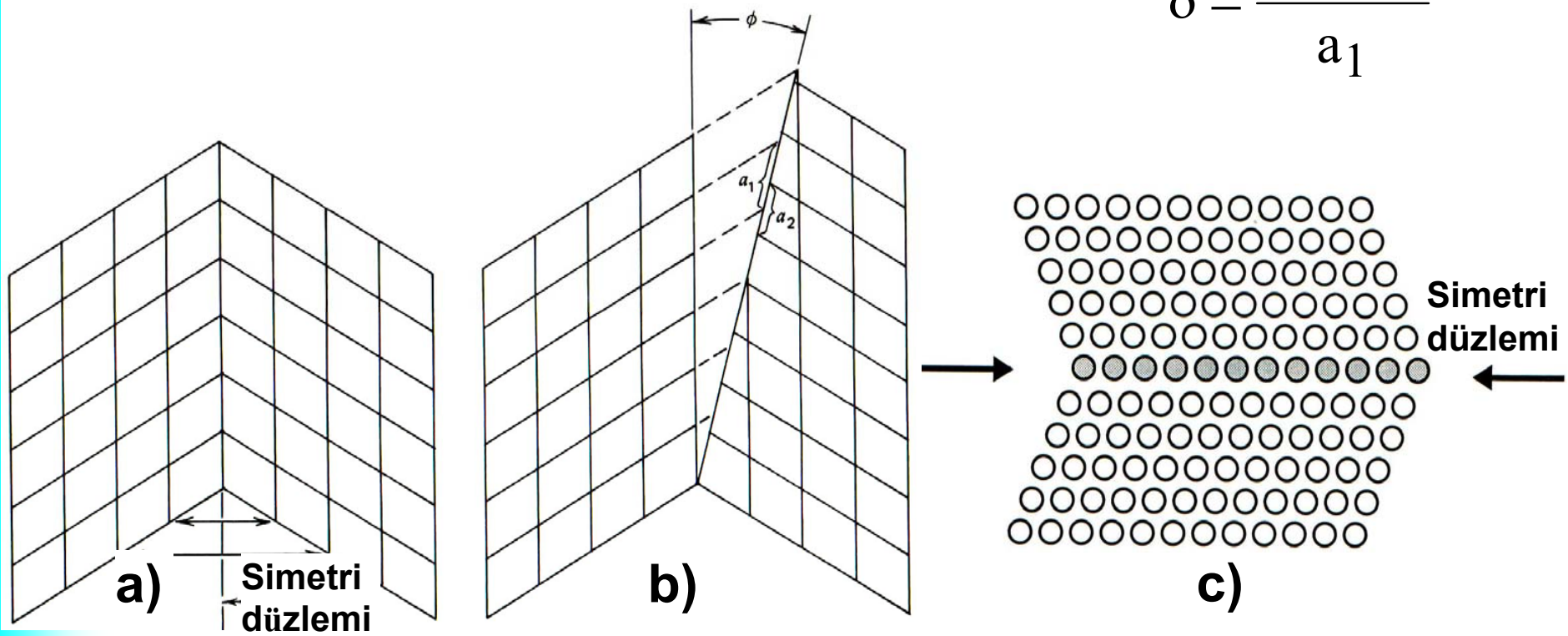




İkiz Sınırları

Kısmen uyumlu ikiz sınırında uyumsuzluk;

$$\delta = \frac{a_1 - a_2}{a_1}$$

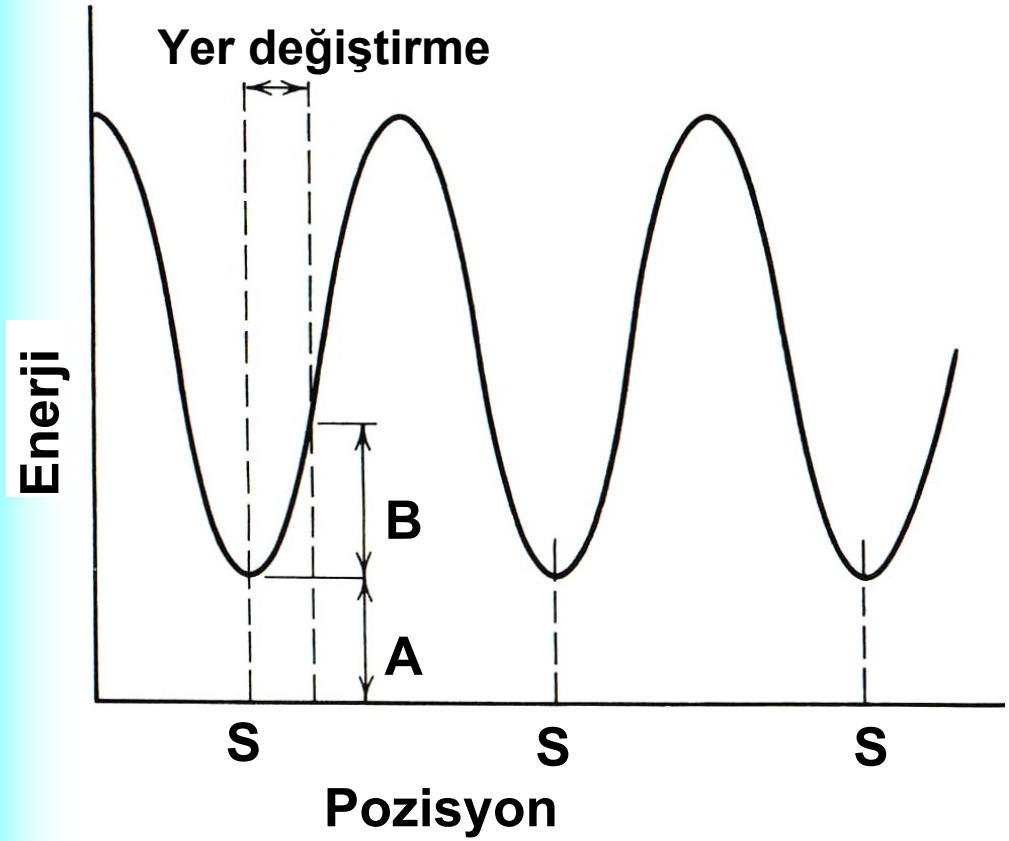


Şekil. (a) Bir uyumlu ikiz sınır, (b) kısmen uyumlu bir ikiz sınır, c) uyumlu ikiz sınırın sabit bir düzlemde atomik yaklaşımda temsili olarak çizimi.

Arayüzeylerin Enerjileri

Arayüzey enerjisi = Arayüzeyli Bölgenin Enerjisi - Arayüzeysiz bölgenin Enerjisi

- **i) Gerilim enerjisi,**
- **ii) Kimyasal enerji**



A = Kimyasal Enerji
B = Gerilim Enerjisi
S = Atom Pozisyonu

$$B = \frac{1}{2}\sigma\varepsilon$$

Şekil. Enerjinin kimyasal enerji, A ve gerilim enerjisi, B ne bölümü.

Atomlarēn sēnēr boyunca bire bir uyumluluklarēnē koruyabilmeleri i- in uĵ radēklarēyer deĵ ikimleri ve gerilimlerden dolayēy¿ksektir.

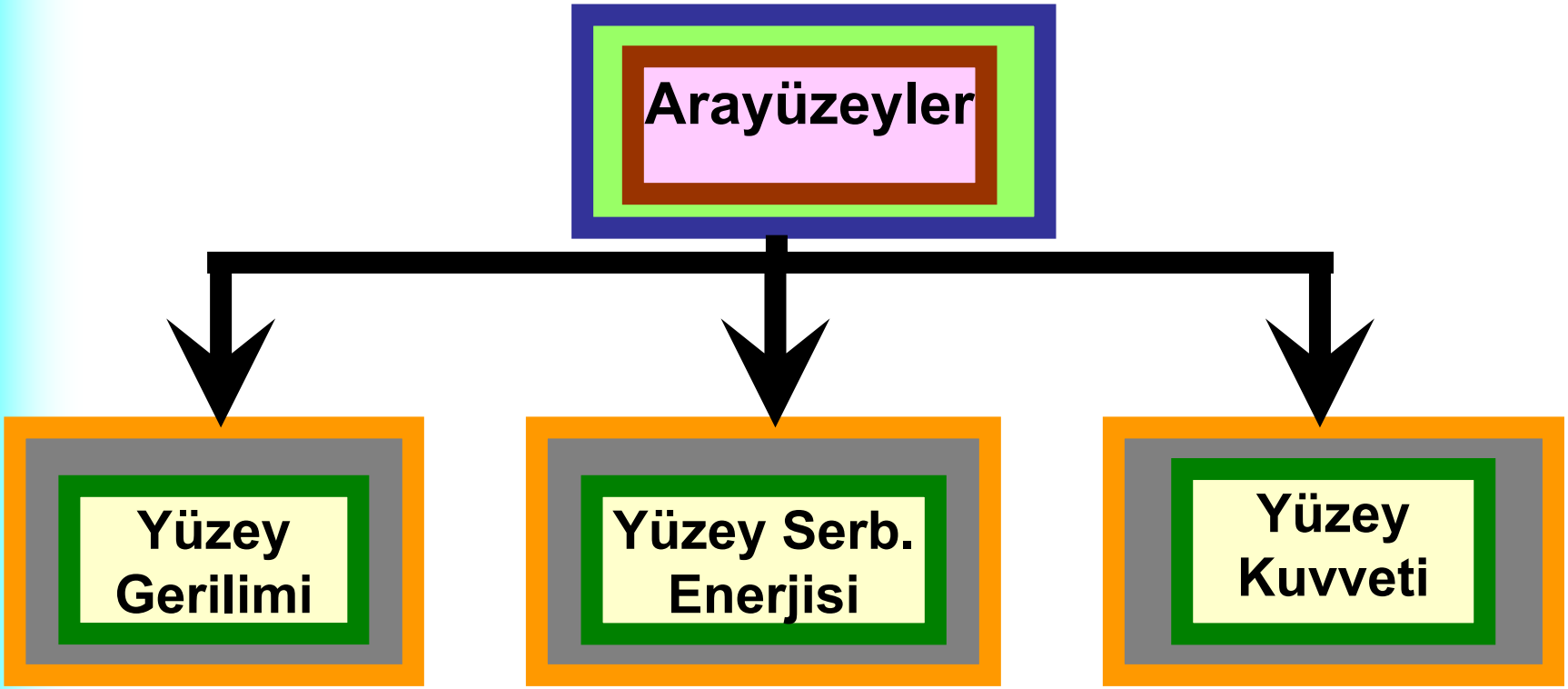
Tablo. Arayüzey enerjisinin çeşitli tane sınırlarına göre sınıflandırılması.

Arayüzey Tipi	Gerilim Enerjisi	Kimyasal Enerji
Uyumlu tane sınırı	Yüksek	Düşük
Paketleme hataları ve uyumlu ikiz sınırlar	0	Düşük
Geniş açılı sınırlar	Düşük	Yüksek

Dislokasyonlar var olan gerilim altēnda daha zor hareket edeceklerinden y¿ksek gerilimli uyumlu sēnērlarēn dislokasyon hareketlerini engellemede, genik a- ēēsēnērlara oranla daha etkilidirler.

Uyumlu sēnērlarēn deformasyon enerjileri y¿ksek olduĵ undan meydana gelen deformasyon alanē dislokasyonlarēdurdurmada etkin olmaktadēr. Genik a- ēēsēnērlarēn enerjisinin d¿к¿k olmasēndan dolayēdislokasyonlarēn kaymasēi- in az kuvvet yeterlidir.

Arayüzeylerin Gerilimi ve Yüzey Serbest Enerjileri



A- Yüzey Gerilimi (γ)

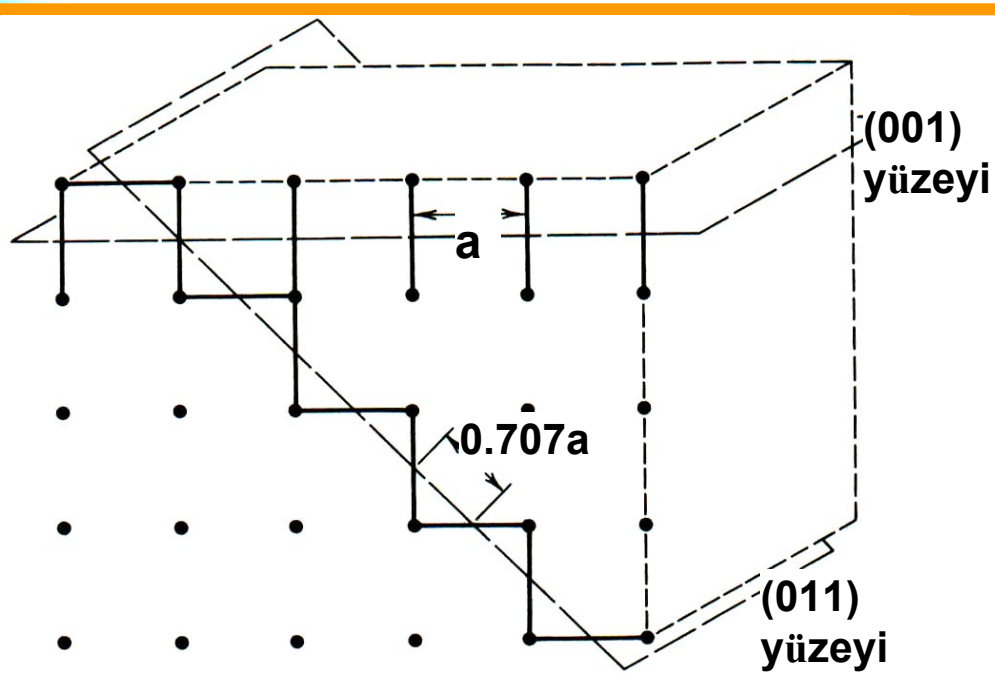
T, V ve G = Sabit sıcaklık

Yüzey Gerilimi = Yeni bir yüzey oluşturmak için gerekli iş.

$$\gamma = \left(\frac{dW}{dA}\right)_{T,V,G_i} \qquad (4.7)$$

Yüzey Gerilimi $\propto$ Yeni yüzey için kırılması gereken bağlardan kaynaklanan enerji Yüzey gerilimi yaklaşık olarak;

$$\gamma = \left[\frac{\text{Kırılan (bozulan) bağların sayısı}}{\text{Oluşan birim alan başına düşen yüzey}}\right] \cdot \left[\text{Enerji/bağ}\right]$$



Şekil. Bir kübik kristalde değişik (hkl) düzlemleri arasındaki bağlar

Örnek: Basit bir kübik kristal kafesinde (001) ve (011) yüzeyleri.

(001) yüzeyi boyunca bağlar arası mesafe = **a**

(011) yüzeyi boyunca bağlar arası mesafe = **0.707 a**

Birim alan başına düşen bağ sayısı (011) düzleminde daha fazla $\gamma 011 > \gamma 001$

İki önemli sonuç:

i) Bir kristal içinde yüzey gerilimi anizotropiktir,

ii) Yüksek atom yoğunluğuna sahip olan düzlemler en düşük γ değerine sahip.

B-Yüzey Serbest Enerjisi

Arayüzey birim alanı başına Helmholtz serbest enerjideki değişim = dA'/dA

Saf metaller için yüzey enerjisi ile yüzey gerilimi (γ) arasındaki ilişki;

$$\gamma = \frac{dA'}{dA} \qquad (4.10)$$

A'= Helmholtz serbest enerjisi, A = arayüzey alanı

Alaşımlar için ise bu ilişki;

$$\gamma = \frac{dA'}{dA} - \sum_i G_i \frac{dn_i}{dA} \qquad (4.11)$$

i = alaşımdaki bileşenlerin sayısı.
dA' / dA = Birim alan başına sistemdeki serbest enerjideki değişimi,
dn_i/dA = Atom sayısında değişim (Tane sınırı alanındaki değişiklikten dolayı)

C-Yüzey Kuvveti (stresi)

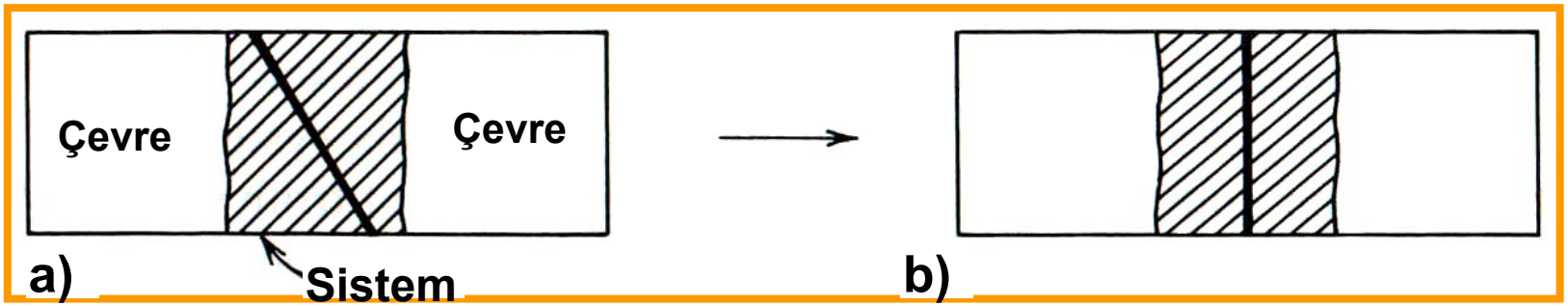
Yüzey Kuvveti = Bir yüzeyin gerdirilmesi için gerekli olan iş.

Malzemelerde üç normal gerilme bileşeni ve
üç tane kayma gerilmesi bileşeni var

Yüzey üstünde gerilme (düzlemsel gerilme) durumunda
ikişer normal ve kayma gerilmesi var.

Katılarda yüzey gerilimi ve yüzey kuvvetleri ayrımı yok
Ancak, yüzey kuvvetleri artarsa yüzey gerilimi veya yüzey enerjisi artar.

Yüzeylerin Denge Şekilleri



Şekil. İki kristal arasındaki bir tane sınırının hareketi

Tane Sınırı Hareketi,
Sistemin Helmolholtz serbest enerjisindeki değişim;

sbt P ve T' de Helmholtz serbest enerjisi minimumdur.

$$(dA')_{sist.} = \gamma dA + \sum_i G_i dn_i \qquad (4.12)$$

dA = Tane sınırı alanındaki değişim
Gi = Bileşenlerin kimyasal potansiyelleri
(dn_i)sist = Prosesin oluşumunda tane sınırından karşıya geçen atom sayısı.

Tane sınırı alanı azalır ve atomlar sistemden çevreye geçer.
Bu değişim için çevrede ortaya çıkacak Helmholtz Serbest enerjisindeki değişim;

$(dA')_{çevre} = \sum_i G_i (dn_i)_{çevre}$	(4.13)

Çevre sınır içermez, $\gamma dA = 0$ olur
Sistemi terk edecek tüm atomlar çevreye gider.

$(dn_i)_{sist.} = -(dn_i)_{çevre}$ dir.

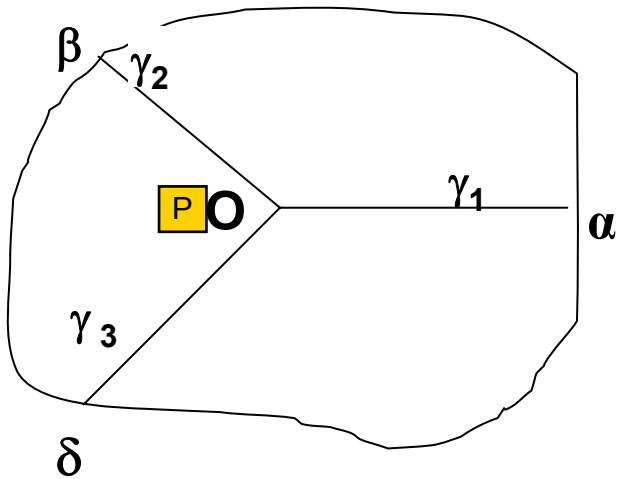
Toplam enerji değişimini;

$(dA')_{toplam.} = (dA')_{sist.} + (dA')_{çevre} = \gamma d$	(4.14)

Termodinamik denge için gerekli olan temel ilke;
Denge = Sistemdeki minimum γdA

Denge = minimum $\left[\int_{\text{Sistem alanı}} \gamma dA\right]$	(4.15)

γdA fonksiyonu = Termodinamik potansiyel ise
Denge için γ dA minimum olmalı
γ sabit ise denge sadece A' nın fonksiyonudur.



"O" kavşağı için

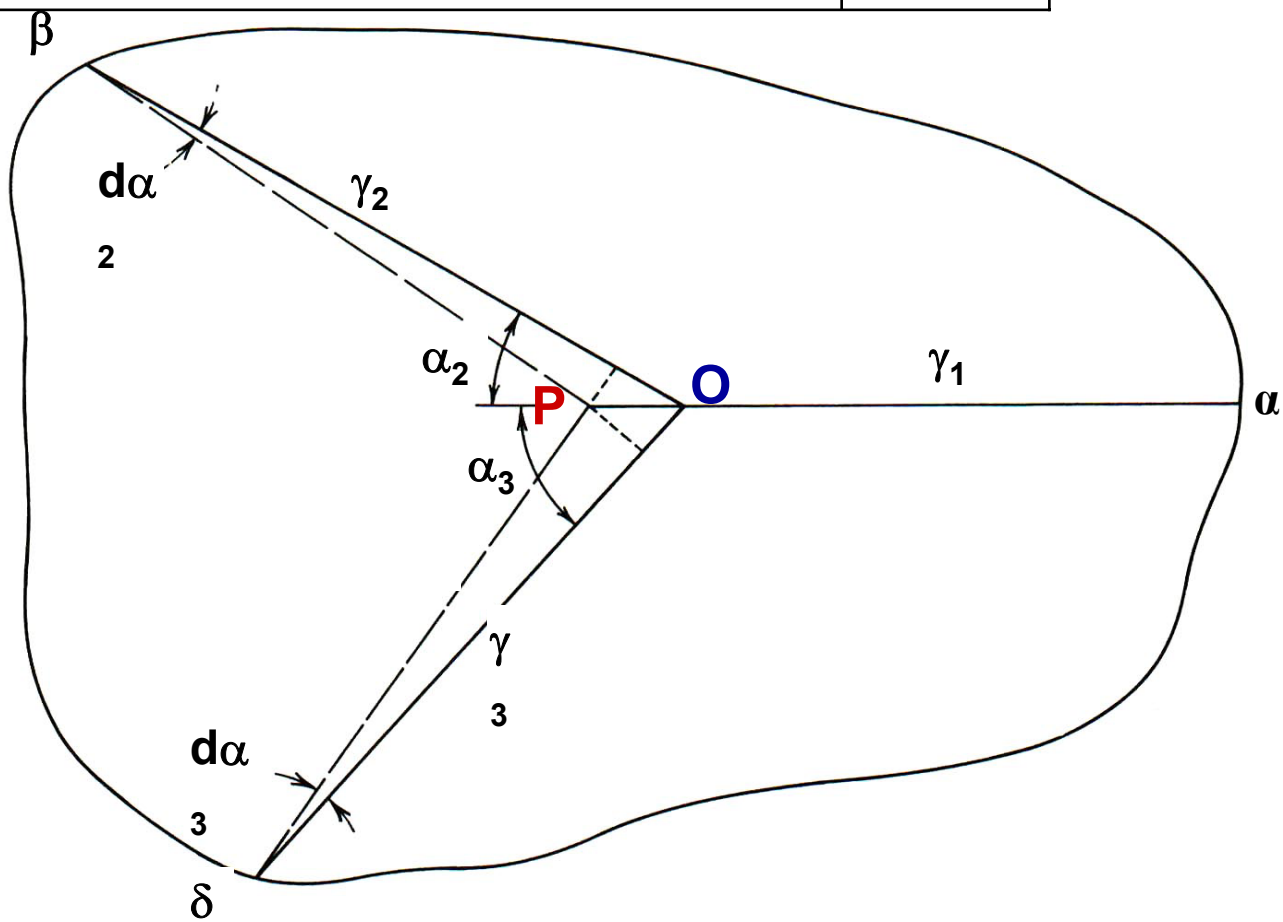
$\gamma A_{(O)} = \gamma_1 O\alpha + \gamma_2 O\beta + \gamma_3 O\delta$	(4.16)

Kavşak O' dan P' ye kaydığında,
1 ile 2 ve 1 ile 3 taneleri arasındaki tane sınırları dönmeye uğrar
Yüzey gerilimleri γ_2 ve γ_3 değerleri değişebilir.

Örnek: γ_3 değerleri için; $(\partial\gamma_3 / \partial\alpha_3)d\alpha_3$

P kavşağı için;

$$\gamma A_{(P)} = \gamma_1 P\alpha + \left[\gamma_2 + \frac{\partial\gamma_2}{\partial\alpha_2} d\alpha_2\right] P\beta + \left[\gamma_3 + \frac{\partial\gamma_3}{\partial\alpha_3} d\alpha_3\right] P\delta \qquad (4.17)$$



Şekil. Bir üçlü kavşak ve kavşağın çok küçük bir hareketi ile O' dan P' ye hareketi.

İki nokta arasındaki farkı bulmak için bu iki eşitliğin farkı alınırsa;

$$\Delta(\gamma A) = \gamma_1(P\alpha - O\alpha) + \gamma_2(P\beta - O\beta) + P\beta.\frac{\partial\gamma_2}{\partial\alpha_2}d\alpha_2 + \gamma_3(P\delta - O\delta) + P\delta.\frac{\partial\gamma_3}{\partial\alpha_3}d\alpha_3 \qquad (4.18)$$

Sonsuz küçük bir yer değiştirmenin limiti için;

$$\begin{aligned} &1.P\beta - O\beta = -OB = -OP\cos\alpha_2 \\ &2.P\delta - O\delta = -OC = -OP\cos\alpha_3 \\ &3.PB = P\beta.d\alpha_2 = OP\sin\alpha_2 \\ &4.PC = P\delta.d\alpha_3 = OP\sin\alpha_3 \end{aligned} \qquad (4.19)$$

İlişkiler ana eşitlikte yerlerine konulup eşitlik sıfıra eşitlendiğinde;

$$\gamma_1 - \gamma_2\cos\alpha_2 - \gamma_3\cos\alpha_3 + \frac{\partial\gamma_2}{\partial\alpha_2}\sin\alpha_2 + \frac{\partial\gamma_3}{\partial\alpha_3}\sin\alpha_3 = 0 \qquad (4.20)$$

1. Denklemdeki $(\partial\gamma_i / \partial\alpha_i)\sin\alpha_i$ terimi tork (dönüşüm) terimi.
   γ' da ortaya çıkacak değişime bağlıdır
   γ = izotropik olduğu zaman sıfırdır. Örnek = Sıvı sistemler.
2. Tork terimi sıfır olduğu zaman genel eşitlik;

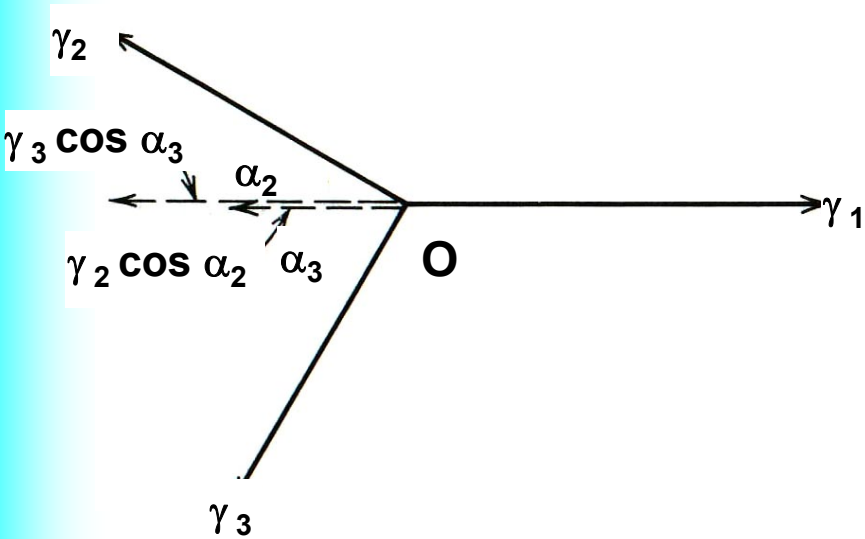
$\gamma_1 - \gamma_2 \cos\alpha_2 - \gamma_3 \cos\alpha_3 = 0$	(4.21)

3. Fiziksel metalurjide iki tane arasındaki açıyı kullanmak avantajlı,

$\gamma_{12} - \gamma_{23}\cos\theta_{13} - \gamma_{13}\cos\theta_{23} - \dfrac{\partial\gamma_{23}}{\partial\theta_{23}}\sin\theta_{23} + \dfrac{\partial\gamma_{13}}{\partial\theta_{13}}\sin\theta_{13} = 0$	(4.22)

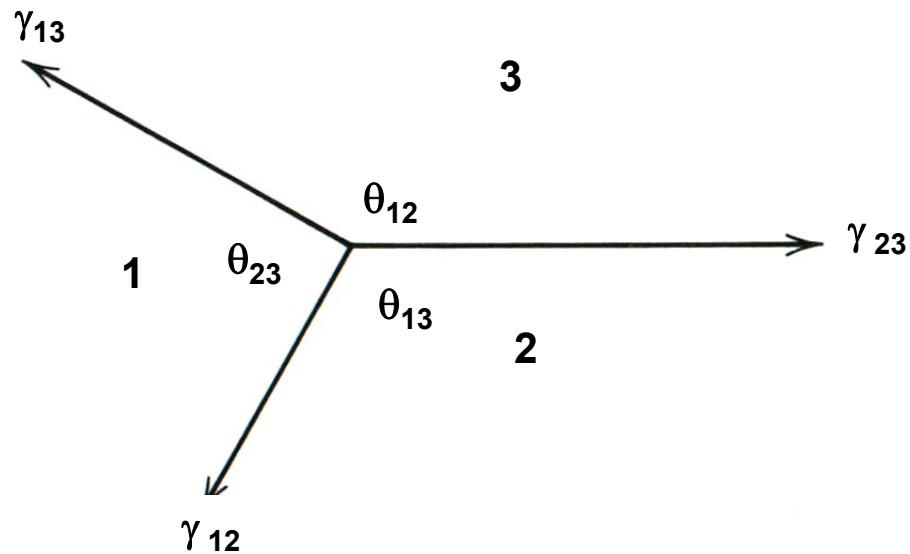
Tork terimlerinin ihmal edilirse;

$\dfrac{\gamma_{12}}{\sin\theta_{12}} = \dfrac{\gamma_{13}}{\sin\theta_{13}} = \dfrac{\gamma_{23}}{\sin\theta_{23}}$	(4.16)

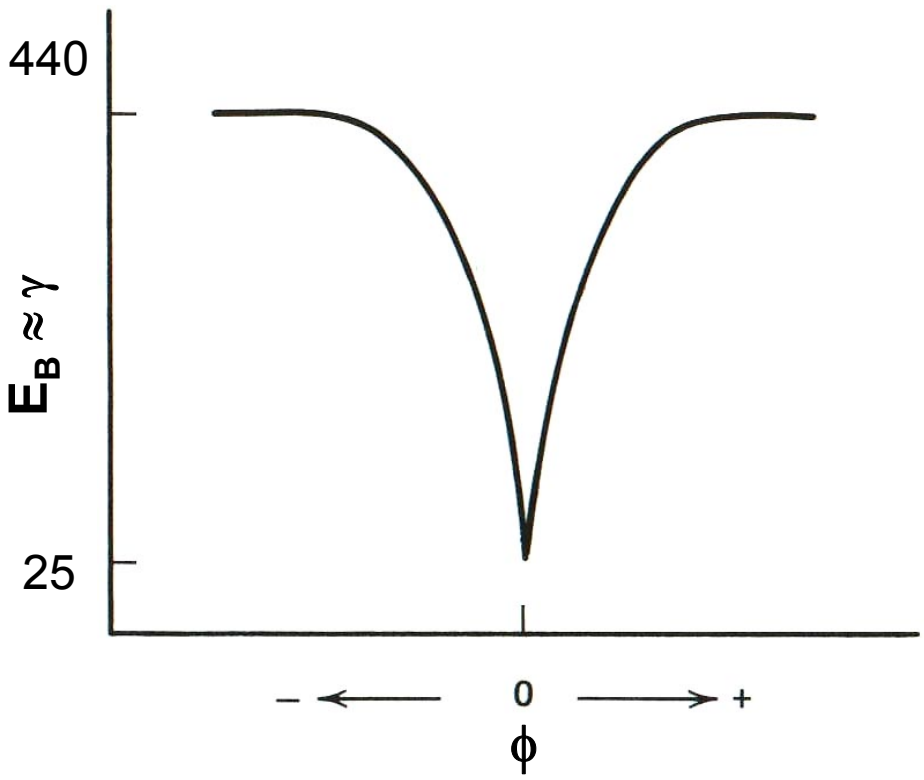


Şekil. Bir yüzey gerilim kuvvetleri dengesi.

$$\frac{\gamma_{12}}{\sin\theta_{12}} = \frac{\gamma_{13}}{\sin\theta_{13}} = \frac{\gamma_{23}}{\sin\theta_{23}}$$



Şekil. Taneler arası üçlü bir kavşağın alternatif terimlerle tanımlanması.



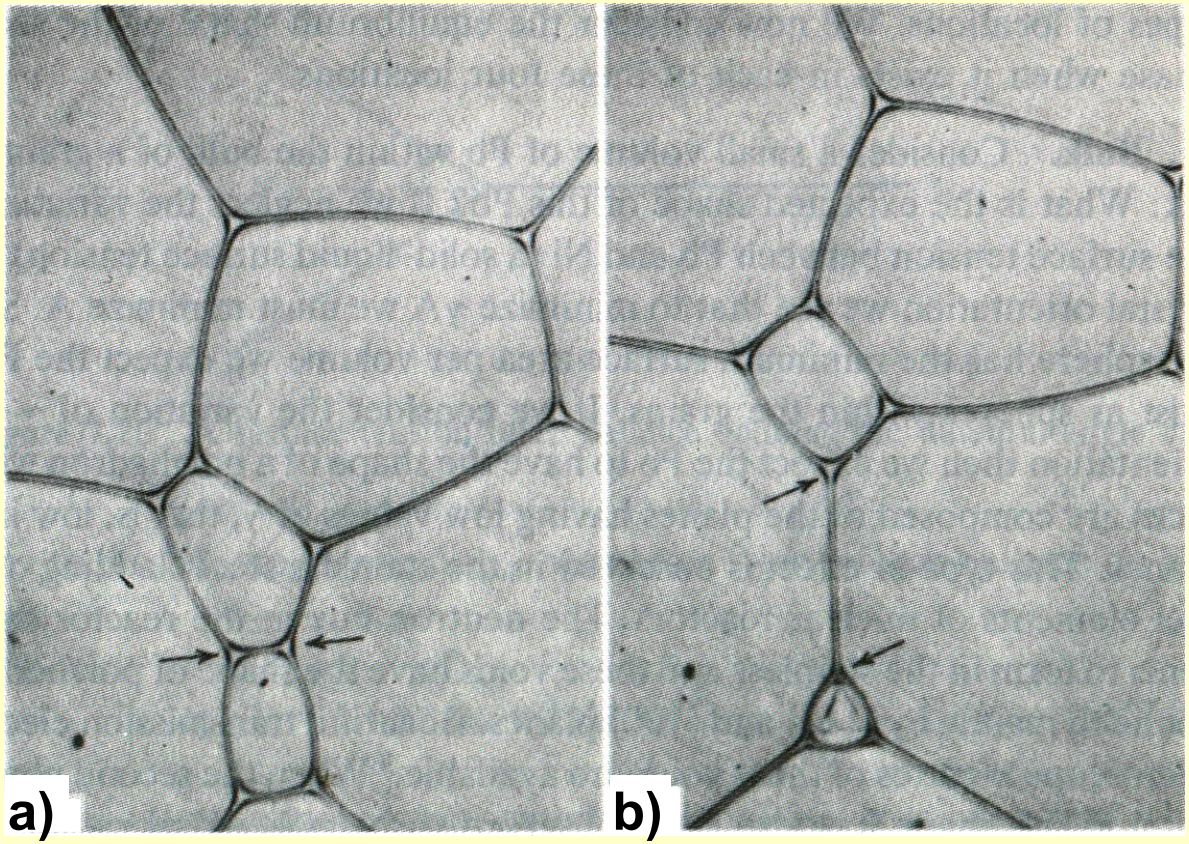
Tork terimi geniş açılı sınırlarda çok Küçük

(Çok kristalli metallerde % 90' ı geniş açılı tane sınırı)

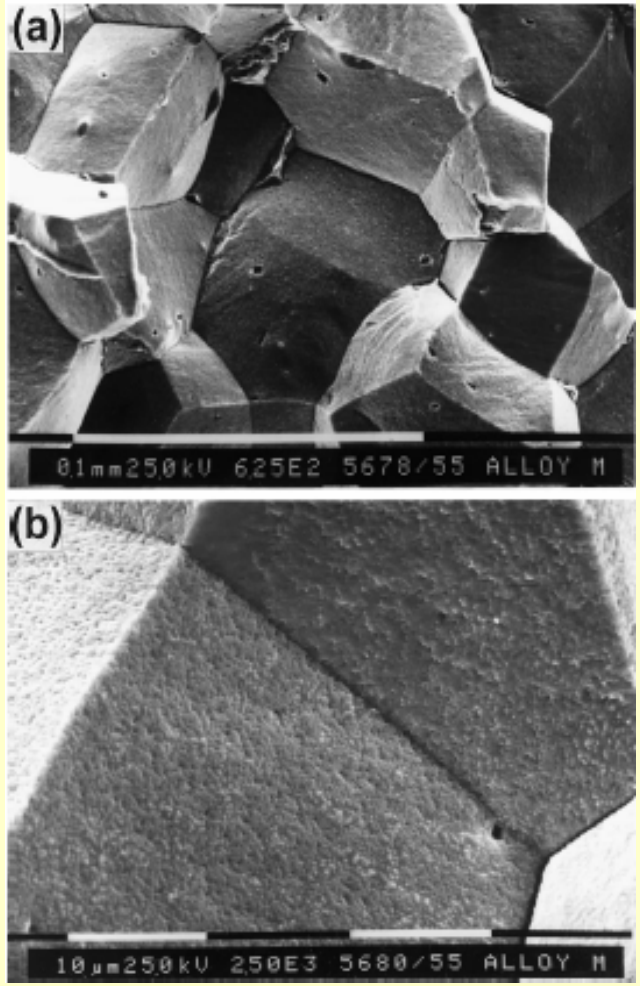
Dar açılarda ihmal doğru olmaz (Uyumlu, yarı uyumlu, ikiz sınırları)

Şekil. İkiz tane sınırı enerjisinin sınırın dönme açısı ile değişimi.

Termodinamik olarak dengede olan kavşaklar = üçlü kavşaklar



Şekil. Sabun köpüğü tanelerinin büyümeleri sırasında ortaya çıkan sınır



Şekil. 1200 °C de 2 saat tavlanan çekme deneyi uygulanan Ni alaşımında kırılmış yüzeyler, a) düşük büyütme ve b) yüksek büyütme