

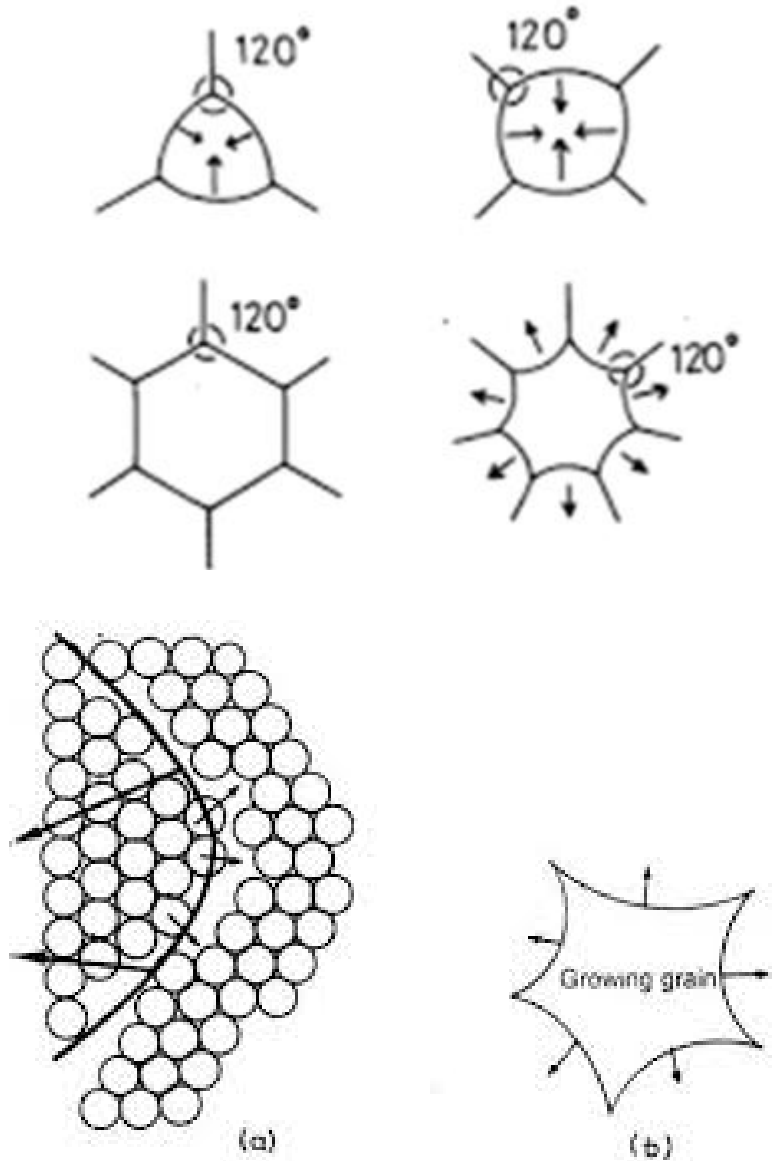
متالورژی پودر پیشرفته

فصل نهم کتاب درسی RAHAMAN

رشد دانه



نیروی محرکه رشد



طبق هندسه مجموع زوایای داخلی چند ضلعی $(n-2) \times 180$ درجه است.

طبق قانون تعادل استاتیکی در گوشه همه زوایا بایست 120 درجه باشد.

برقراری هر دو شرط بالا منجر به خمیدگی اضلاع چند ضلعی می شود.

برای چند ضلعی با کمتر از ۶ ضلع خمیدگی به بیرون ایجاد می شود.

همچنین برای چند ضلعی با بیش از ۶ ضلع خمیدگی اضلاع به داخل است.

اتم های سطح محدب دارای باند شکسته بیشتری نسبت به مقعر هستند.

پس اتم ها بهتر است از طرف محدب به سمت مقعر مهاجرت کنند.

بنابراین نیروی محرکه این مهاجرت همان کاهش انرژی سطح حدب است

مانند نیروی کاپیلاری در لوله موئین نیروی کشش به سمت بیرون تقعر و داخل محدب است.

رشد افراطی و نرمال

تفاوت در توزیع اندازه دانه

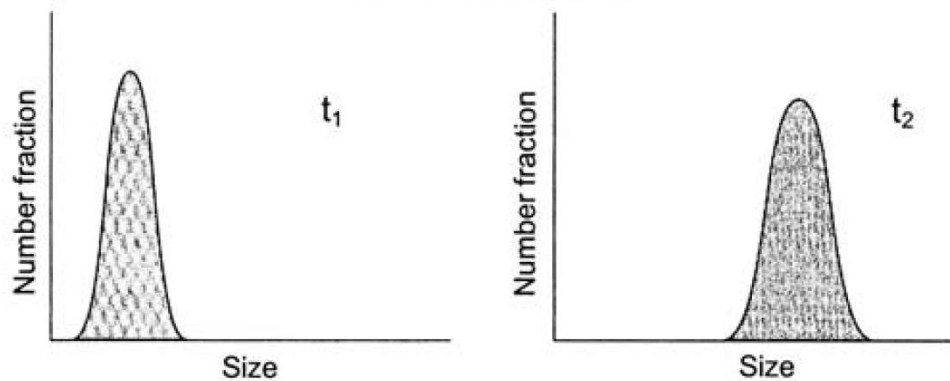
تفاوت در اندازه دانه ها

مقدار تخلخل و چگالی نهایی

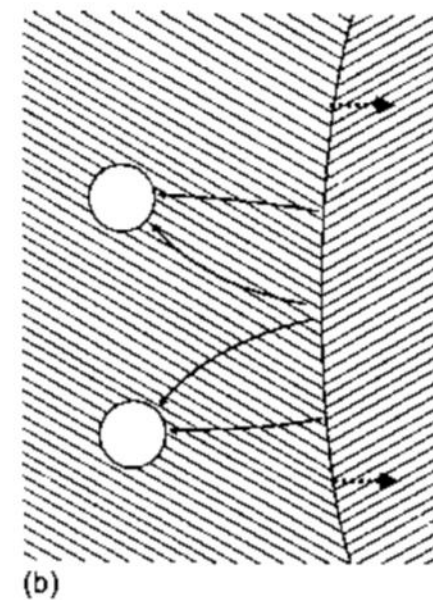
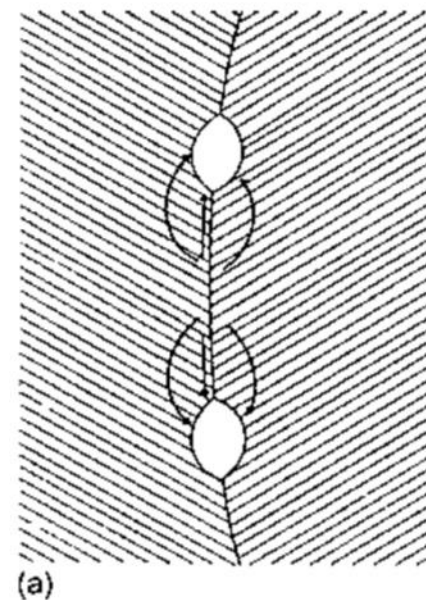
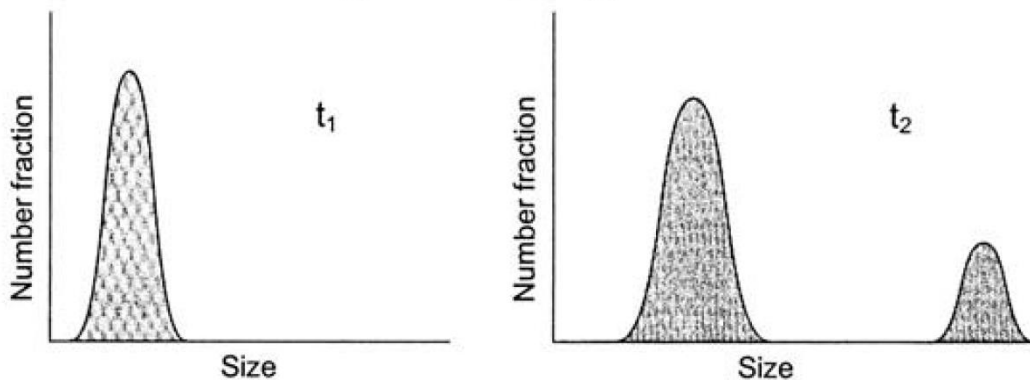
نوع تخلخل درون یا مرز دانه ای

استحکام و سختی قطعه نهایی

(a) Normal grain growth



(b) Abnormal grain growth

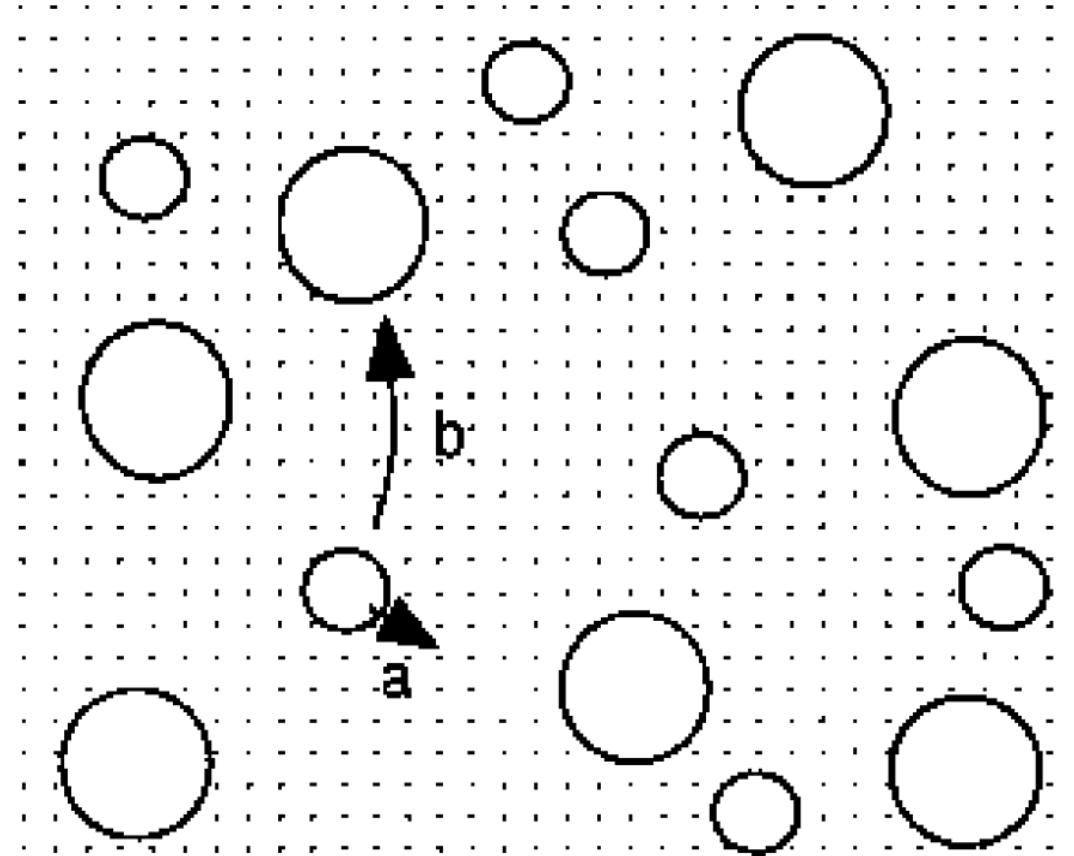


OSTWALD RIPENING: THE LSW THEORY

بیان نحوه انتقال جرم از ذرات ریز به درشت در یک زمینه

پتانسیل شیمیایی $\mu = \mu_0 + \frac{2\gamma\Omega}{a}$

شعاع انحنا سطح



OSTWALD RIPENING: THE LSW THEORY

غلظت اتمی در اطراف ذره با شعاع a

غلظت اتمی در سطح صاف

$$kT \ln \left(\frac{C}{C_0} \right) = \mu - \mu_0 = \frac{2\gamma\Omega}{a}$$

غلظت اتمی در اطراف ذره با شعاع کوچک بیشتر از غلظت اتمی در اطراف ذره با شعاع بزرگ است. پس جریان فلاکس اتمی از اطراف ذره کوچک به بزرگ برقرار شده و باعث درشت شدن بیشتر آن می شود.

$$\frac{\Delta C}{C_0} = \frac{2\gamma\Omega}{kTa}$$

The LSW Theory

1. The growth rate of a precipitate is equal to the atomic flux at the precipitate surface.
2. The distribution of precipitate sizes is continuous.
3. Mass conservation in which the total volume (mass) of the precipitates is conserved.

تغییر در شعاع ذره a با زمان

$$\frac{da}{dt} = -\alpha_T \Omega (C_a - C^*)$$

قانون حجم کل ماده ثابت

$$4\pi \sum_i a_i^2 \frac{da_i}{dt} = 0$$

Ostwald Ripening Controlled by the Interface Reaction

$$\frac{da}{dt} = \alpha_T \Omega \left[(C^* - C_o) - (C_a - C_o) \right]$$

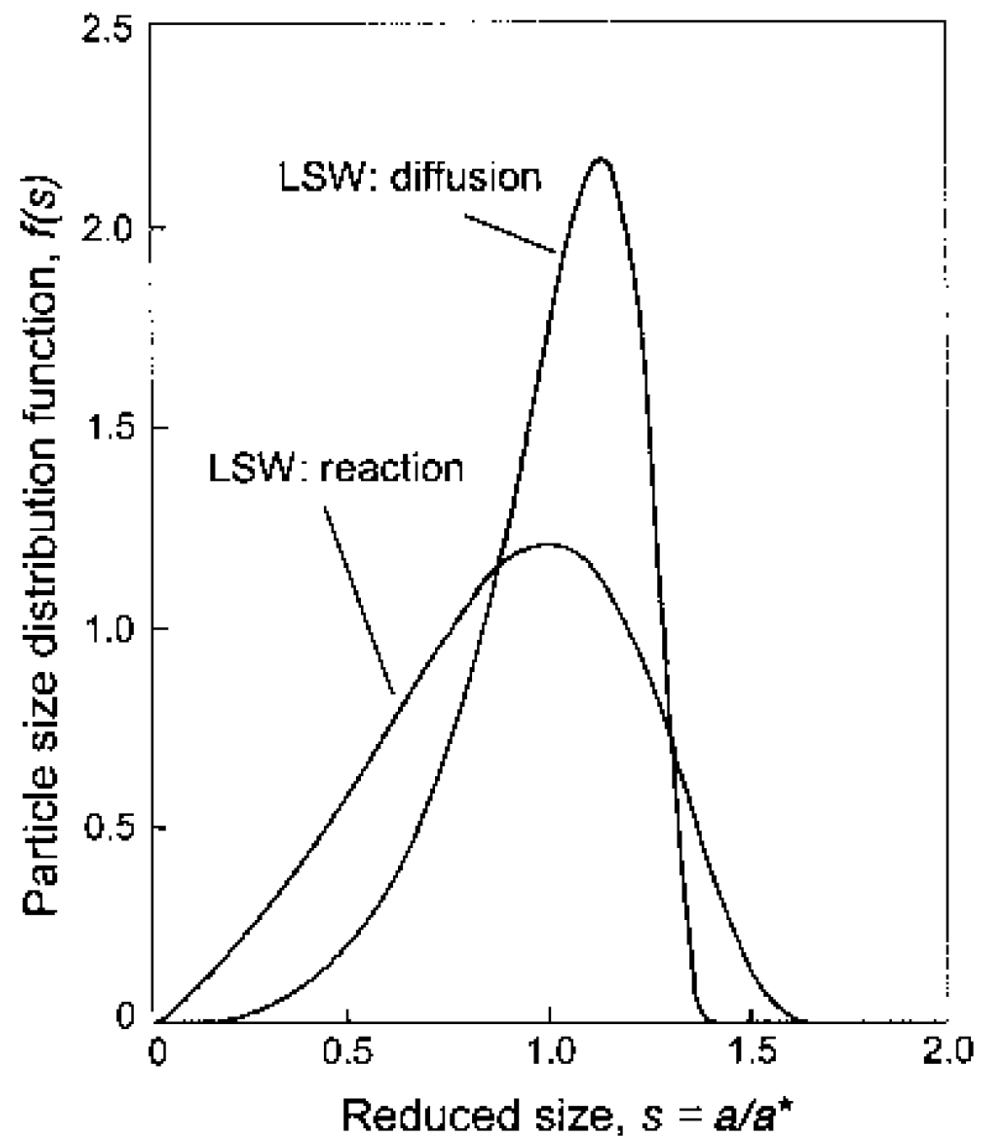
$$\sum_i a_i^2 (C^* - C_o) = \sum_i a_i^2 (C_{a_i} - C_o)$$

$$C^* - C_o = \frac{2\gamma\Omega C_o}{kT} \left(\frac{\sum a_i}{\sum a_i^2} \right)$$

$$\frac{df}{dt} + \frac{\partial}{\partial a} \left[f \left(\frac{da}{dt} \right) \right] = 0$$

$$f(s,t) \begin{cases} \approx s \left(\frac{2}{2-s} \right)^5 \exp \frac{-3s}{2-s} & \text{for } 0 < s < 2 \\ = 0 & \text{for } s > 2 \end{cases}$$

$$\left(a^* \right)^2 - \left(a_o^* \right)^2 = \left(\frac{\alpha_T C_o \gamma \Omega^2}{kT} \right) t$$

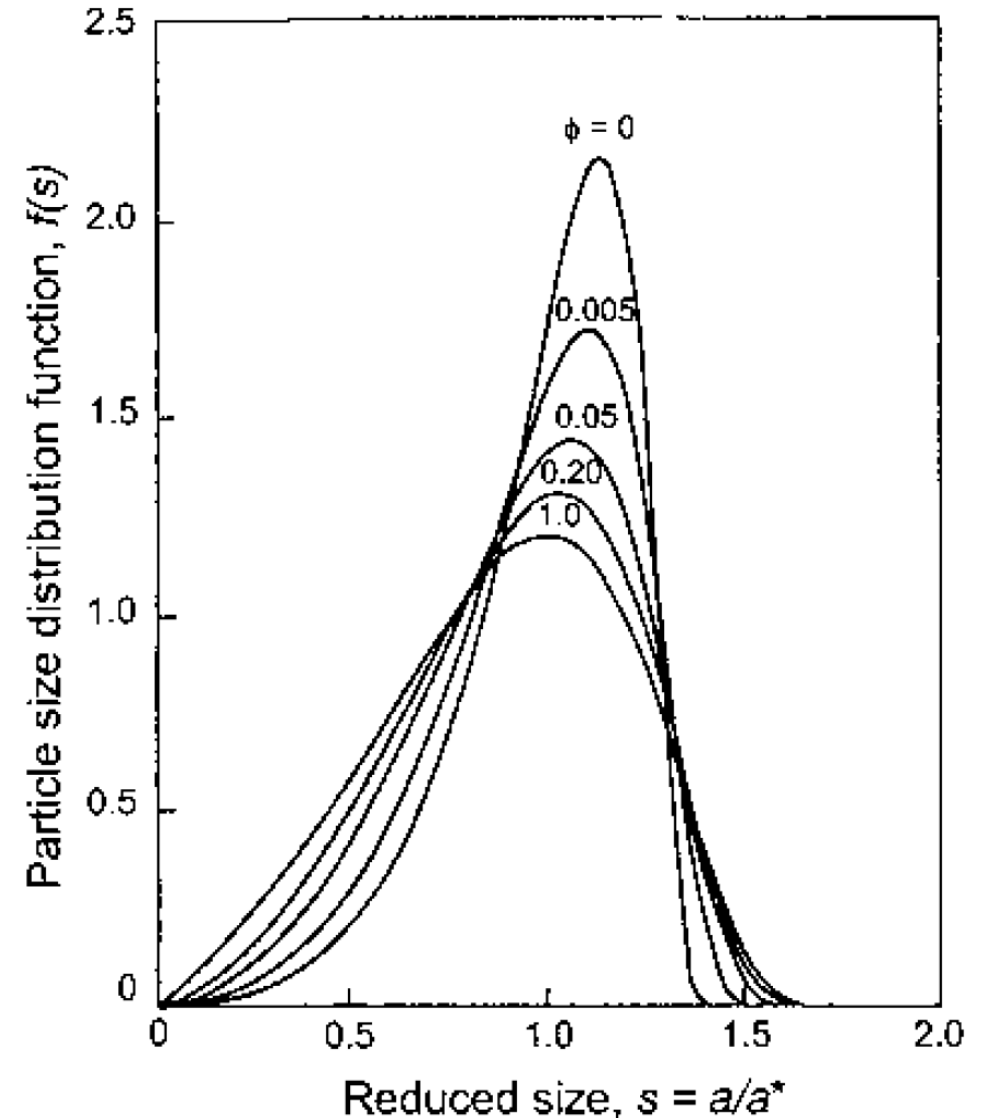


Ostwald Ripening Controlled by Diffusion

$$\frac{da}{dt} = -D\Omega \frac{dC}{da}$$

$$\frac{da}{dt} = D\Omega \frac{(C^* - C_a)}{a} = \frac{2DC_o\gamma\Omega^2}{kTa} \left(\frac{1}{a^*} - \frac{1}{a} \right)$$

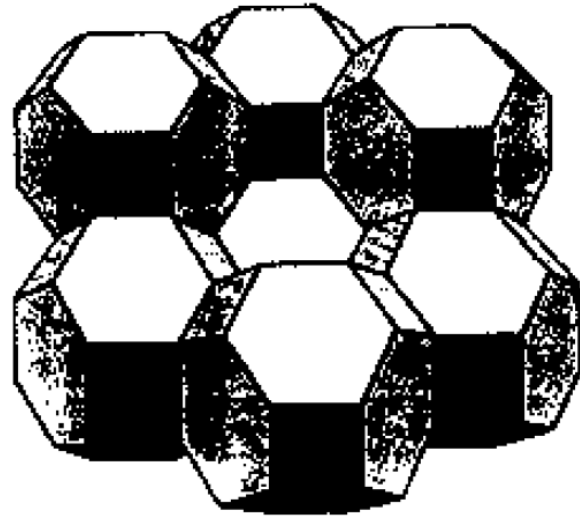
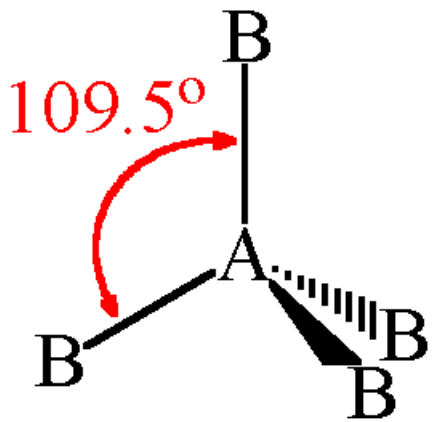
$$(a^*)^3 - (a_o^*)^3 = \left(\frac{8DC_o\gamma\Omega^2}{9kT} \right) t$$



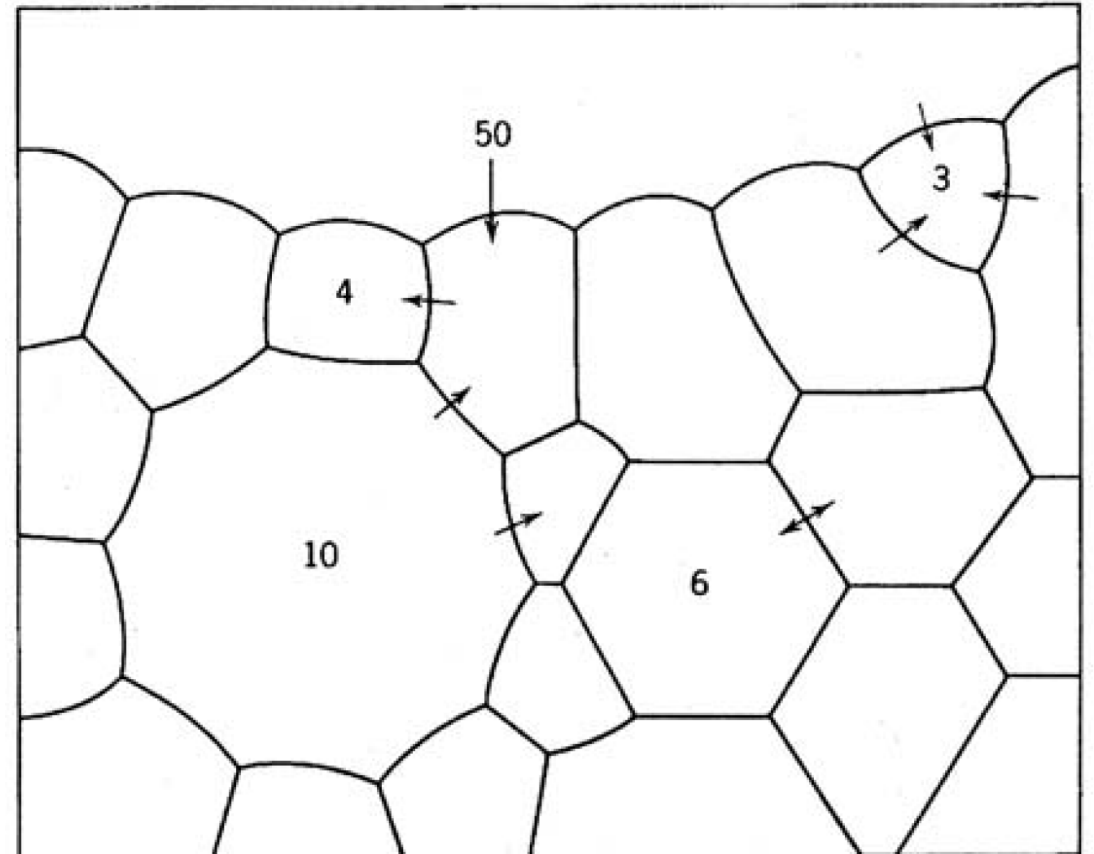
TOPOLOGICAL AND INTERFACIAL TENSION REQUIREMENTS

$$F - E + V = 1$$

$$F - E + V - C = 1$$



No regular polyhedron with plane sides has exactly this angle between its edges



The Model of Burke and Turnbull

Burke and Turnbull modeled the grain growth process as occurring by transport of atoms across the grain boundary under the driving force of the *pressure gradient* across the grain boundary.

More correctly, the *chemical potential gradient* across the boundary should be used.

- ✓ the grain boundary energy γ_b is assumed to be isotropic and independent of the crystallographic direction.
- ✓ the grain boundary width δ_b is assumed to be constant.

the average rate of grain boundary migration v_b
(sometimes called the grain boundary velocity)

driving force for boundary migration F_b
boundary mobility M_b

$$v_b \approx \frac{dG}{dt}$$


$$v_b = M_b F_b$$

$$\Delta p = \gamma_{gb} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \quad \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} = \frac{\alpha}{G}$$

$$F_b = \frac{d\mu}{dx} = \frac{d}{dx}(\Omega\Delta p) = \frac{1}{\delta_{gb}} \frac{\Omega\gamma_{gb}\alpha}{G}$$

$$J = \frac{D_a}{\Omega kT} \frac{d\mu}{dx} = \frac{D_a}{\Omega kT} \frac{\Omega\gamma_{gb}\alpha}{\delta_{gb}G}$$

$$v_b \approx \frac{dG}{dt} = \Omega J = \frac{D_a}{kT} \frac{\Omega}{\delta_{gb}} \frac{\alpha\gamma_{gb}}{G}$$


$$v_b \approx \frac{dG}{dt} = M_b \left(\frac{\alpha \gamma_{gb}}{G} \right) \quad M_b = \frac{D_a}{kT} \left(\frac{\Omega}{\delta_{gb}} \right)$$
$$G^2 - G_o^2 = Kt \quad K = 2\alpha \gamma_{gb} M_b$$

It is the parabolic grain growth law that has the same form as the LSW equation for interface reaction-controlled Ostwald ripening.