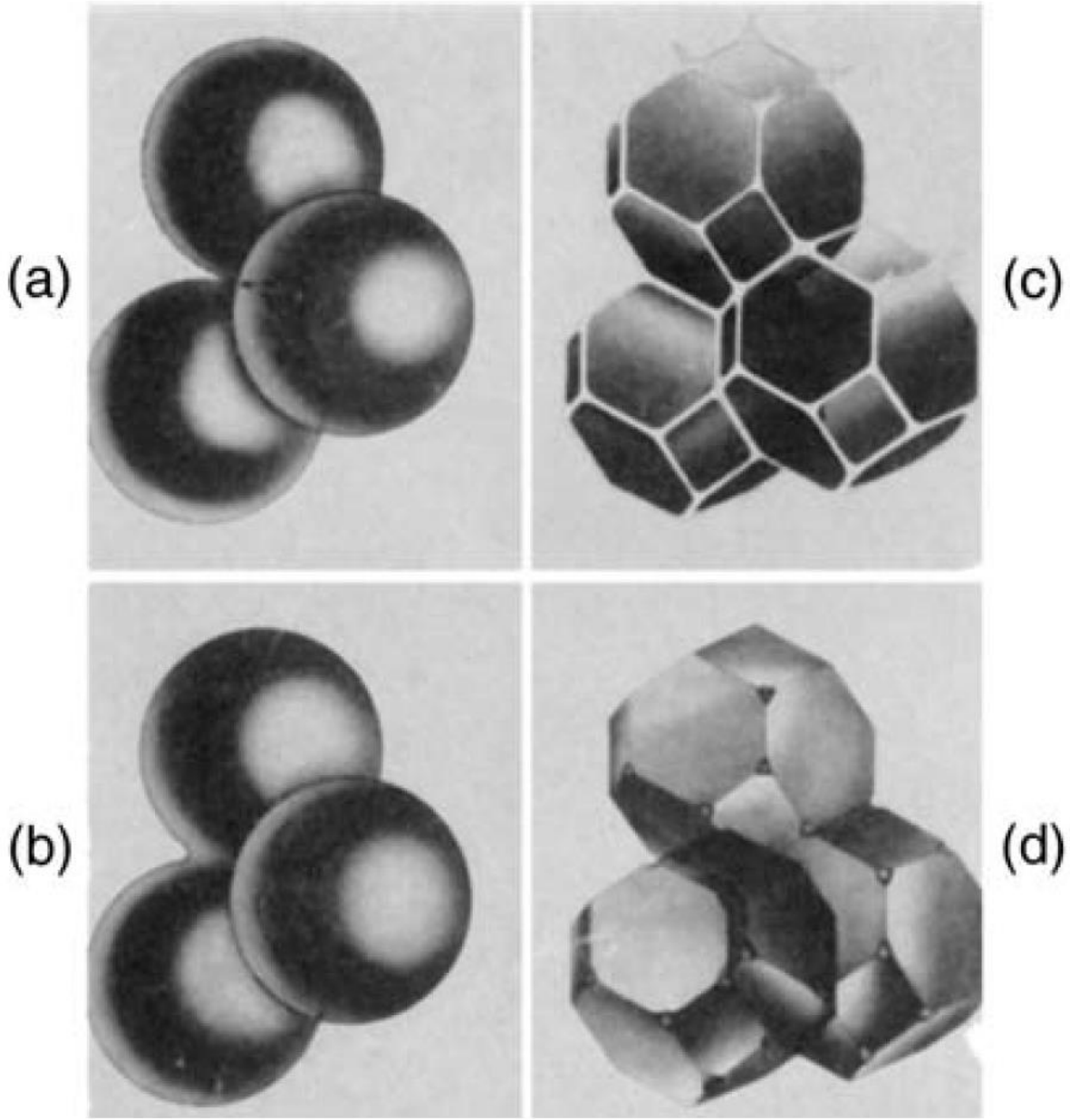
متالورژی پودر پیشرفته

ادامه فصل هشتم کتاب درسی RAHAMAN

زینترینگ حالت جامد و ویسکوز

مرحله اول

مراحل زینترینگ



مرحله اول – First Stage

۳ تا ۵ درصد افزایش چگالی

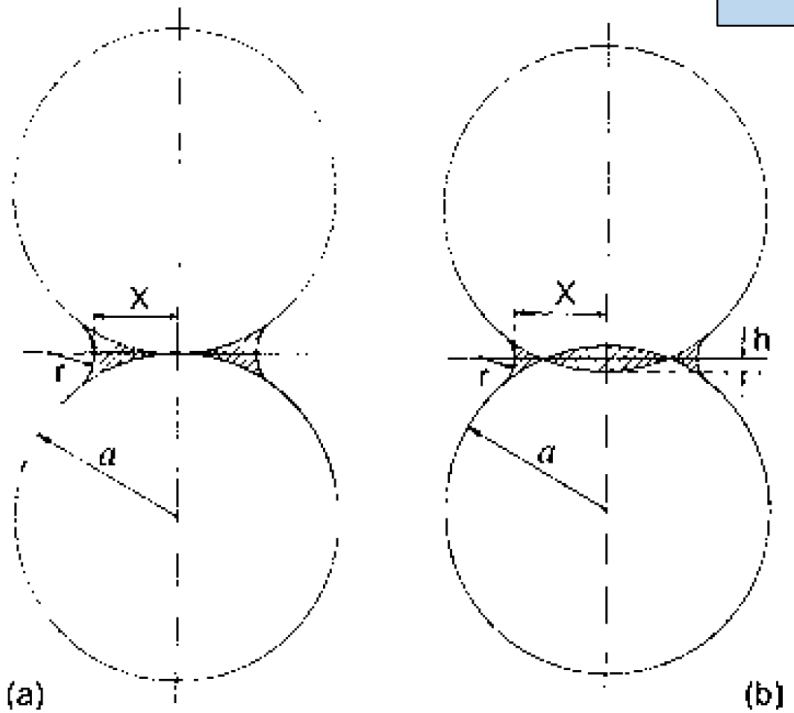
مرحله میانی – Intermediate Stage

تا ۹۰ درصد چگالی تئوری

مرحله پایانی– Final Stage

مرحله اول زینترینگ

پارامترهای مورد استفاده در بدست آوردن روابط اولیه سینترینگ در مرحله اول



شکل a مربوط به مکانیسم های انتقال جرم غیر چگالشی

شکل b مربوط به مکانیسم های انتقال جرم چگالشی

r شعاع خارجی ناحیه گلویی

A مساحت ناحیه گلویی

V حجم منتقل شده به ناحیه گلویی

x شعاع داخلی ناحیه گلویی

a شعاع ذرات کروی

$r \approx \frac{X^2}{2a}$	Radius of neck	$r \approx \frac{X^2}{4a}$
$A \approx \frac{\pi^2 X^3}{a}$	Area of neck surface	$A \approx \frac{\pi^2 X^3}{2a}$
$V \approx \frac{\pi X^4}{2a}$	Volume transported into neck	$V \approx \frac{\pi X^4}{8a}$

شار اتمی به ناحیه گردنه

$$J_a = \frac{D_v}{\Omega} \frac{dC_v}{dx}$$

نرخ انتقال حجم ماده انتقال یافته به گردنه

$$\frac{dV}{dt} = J_a A_{gb} \Omega$$

سطح مقطع ناحیه انتقال جرم

$$A_{gb} = 2\pi X \delta_{gb}$$

$$\frac{dV}{dt} = D_v 2\pi X \delta_{gb} \frac{dC_v}{dx}$$

$$\Delta C_v = C_v - C_{vo} = \frac{C_{vo} \gamma_{sv} \Omega}{kT} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right) \qquad \frac{dV}{dt} = \frac{2\pi D_v C_{vo} \delta_{gb} \gamma_{sv} \Omega}{kTr}$$

D_{gb} equal to $D_v C_{v0}$

$$\frac{\pi X^3}{2a} \frac{dX}{dt} = \frac{2\pi D_{gb} \delta_{gb} \gamma_{sv} \Omega}{kT} \left(\frac{4a}{X^2} \right)$$

$$X^5 dX = \frac{16 D_{gb} \delta_{gb} \gamma_{sv} \Omega a^2}{kT} dt$$

$$X^6 = \frac{96 D_{gb} \delta_{gb} \gamma_{sv} \Omega a^2}{kT} t$$

$$\frac{X}{a} = \left(\frac{96 D_{gb} \delta_{gb} \gamma_{sv} \Omega}{kTa^4} \right)^{1/6} t^{1/6}$$

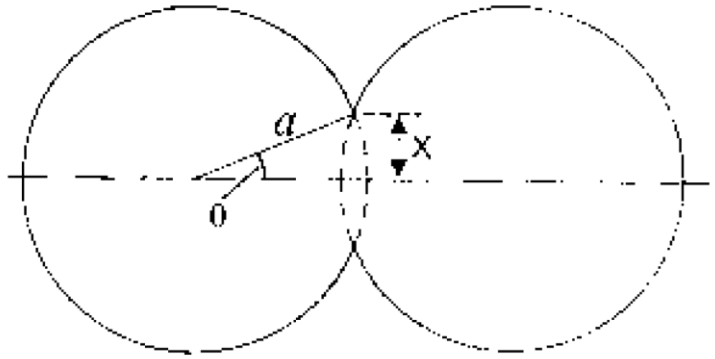
$$\frac{\Delta L}{L_0} = - \frac{h}{a} = - \frac{r}{a} = - \frac{X^2}{4a^2}$$

$$\frac{\Delta L}{L_o} = - \left(\frac{3 D_{gb} \delta_{gb} \gamma_{sv} \Omega}{2kTa^4} \right)^{1/3} t^{1/3}$$

نرخ انقباض طولی توسط مکانیسم های چگالشی

سیلان ناروان- مدل فرنکل

Rate of energy dissipation by viscous flow = rate of energy gained by reduction in surface area



رابطه هندسی مقدار کاهش سطح $S_0 - S = 8\pi a^2 - 4\pi a^2 (1 + \cos \theta)$

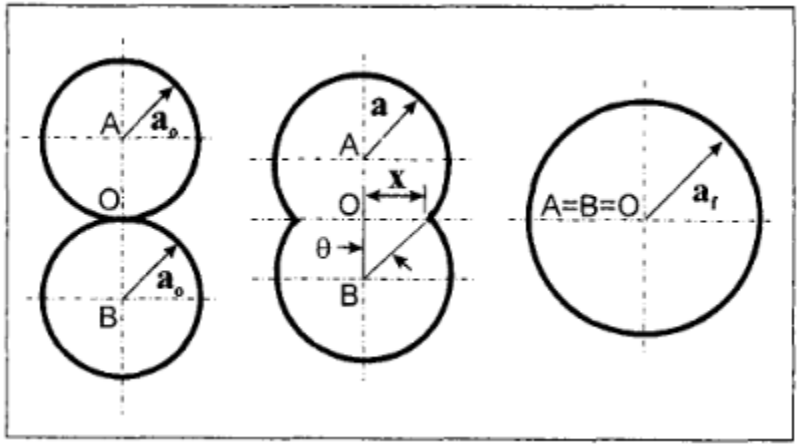
$$\cos \theta \approx 1 - \theta^2/2$$

$$S_o - S = 2\pi a^2 \theta^2$$

Modification of Frenkel's Model for Sintering ,1997

$$\dot{E}_s = -\gamma_{sv}\frac{dS}{dt} = 4\pi a^2\gamma_{sv}\frac{d}{dt}\left(\frac{\theta^2}{2}\right)$$

کاهش انرژی سطحی



$$\dot{E}_v = \frac{16}{3}\pi a^3\eta\dot{u}^2$$

انرژ جذب شده فرنکل حین سیالان

$$\dot{u} = \frac{1}{a}\frac{d}{dt}\left(\frac{a\theta^2}{2}\right) = \frac{d}{dt}\left(\frac{\theta^2}{2}\right)$$

سرعت حرکت سیال

شرایط مرزی t=0, θ=0

$$\frac{16}{3}\pi a^3\eta\dot{u}\frac{d}{dt}\left(\frac{\theta^2}{2}\right) = 4\pi a^2\gamma_{sv}\frac{d}{dt}\left(\frac{\theta^2}{2}\right) \Rightarrow \dot{u} = \frac{3}{4}\frac{\gamma_{sv}}{\eta a}$$

$$\theta^2 = \frac{3}{2}\left(\frac{\gamma_{sv}}{\eta a}\right)t \Rightarrow \frac{X}{a} = \left(\frac{3\gamma_{sv}}{2\eta a}\right)^{1/2}t^{1/2}$$

جدول ضرایب مربوط به دو رابطه اخیر برای مکانیسم های مختلف در مرحله اول زینترینگ

$$\left(\frac{X}{a}\right)^m = \frac{H}{a^n}t$$

$$\left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)^{m/2} = -\frac{H}{2^m a^n}t$$

Mechanism	m	n	H[b]
Surface diffusion[a]	7	4	$\frac{56D_s\delta_s\gamma_{sv}\Omega}{kT}$
Lattice diffusion from the surface[a]	4	3	$\frac{20D_l\gamma_{sv}\Omega}{kT}$
Vapor transport[a]	3	2	$\frac{3p_0\gamma_{sv}\Omega}{(2\pi mkT)^{1/2}kT}$
Grain boundary diffusion	6	4	$\frac{96D_{gb}\delta_{gb}\gamma_{sv}\Omega}{kT}$
Lattice diffusion from the grain boundary	5	3	$\frac{80\pi D_l\gamma_{sv}\Omega}{kT}$
Viscous flow	2	1	$\frac{3\gamma_{sv}}{2\eta}$

[a]Denotes nondensifying mechanism, i.e., $\Delta L/L_0 = 0$.

[b]D_s, D_l, D_{gb}, diffusion coefficients for surface, lattice, and grain boundary diffusion. δ_s, δ_{gb}, thickness for surface and grain boundary diffusion. γ_{sv}, specific surface energy; p_0, vapor pressure over a flat surface; m, mass of atom; k, Boltzmann constant; T absolute temperature; η, viscosity.