مقدمه

تعریف: زینترینگ ،فرآیندی است که درطی آن ذرات پودری یک یا چند ماده از طریق ذوب سطحی براثر حرارت، همراه با فشار یا بدون آن، به یکدیگر چسبیده و ساختار به صورت یک توده جامد درمی‌آید.

اساس کار این روش : کاهش انرژی آزاد سطحی ذرات در اثر چسبیدن به یکدیگر

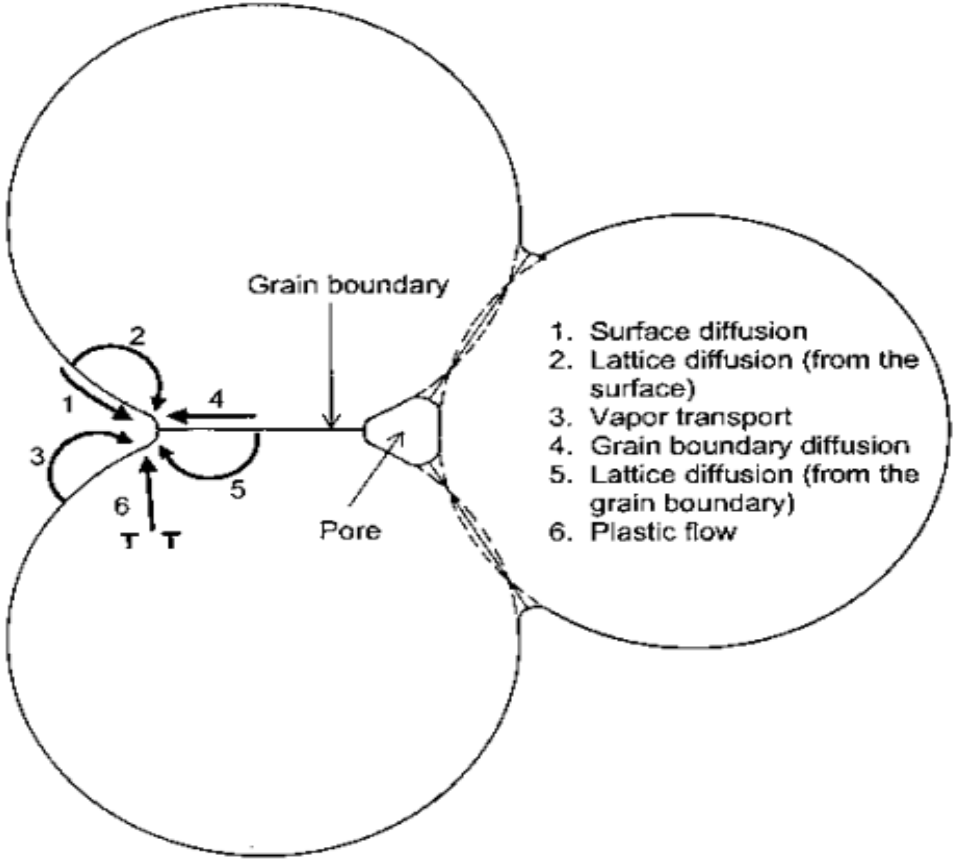
انواع زینتر:

1. زینتر حالت جامد
   - مواد بلوری ← انتقال مواد از طریق مرزدانه
   - مواد آمورف ← انتقال مواد از طریق جریان ویسکوز
2. زینتر حالت مایع
3. زینتر ویسکوزها
4. شیشه سازی

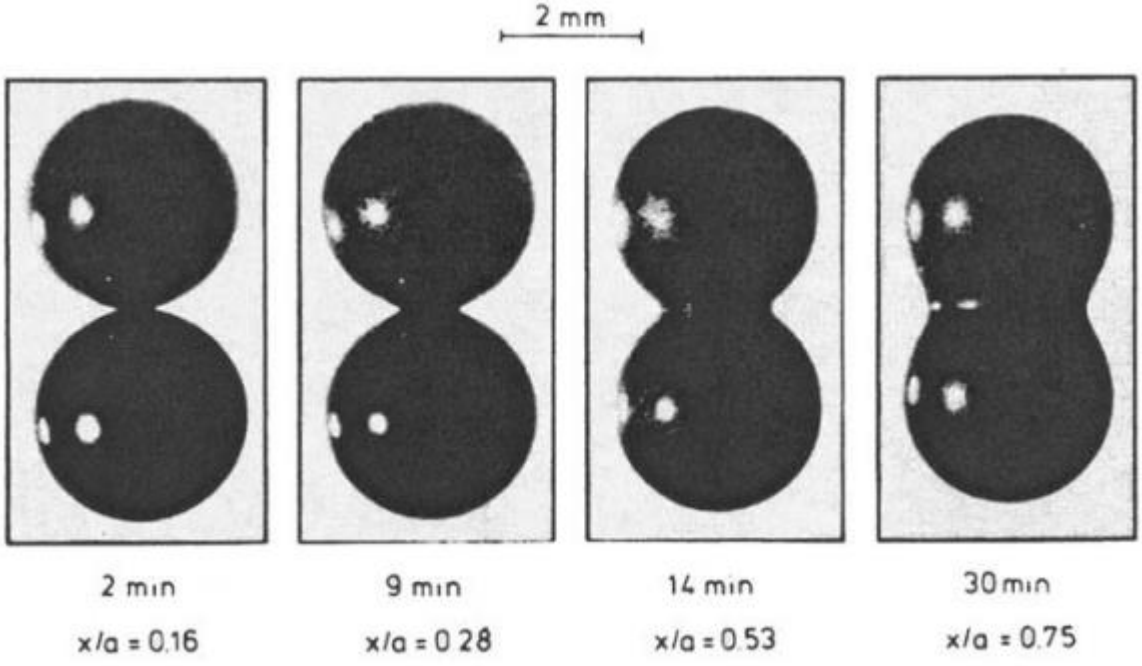
مکانیزم‌های زینتر

Type of solid	Mechanism	Source of matter	Sink of matter	Densifying	Non densifying
Polycrystalline	Surface diffusion	Surface	Neck		x
	Lattice diffusion	Surface	Neck		x
	Vapor transport	Surface	Neck		x
	Grain boundary diffusion	Grain boundary	Neck	x	
	Lattice diffusion	Grain boundary	Neck	x	
	Plastic flow	Dislocations	Neck	x	
Amorphous	Viscous flow	Unspecified	Unspecified	x	

مکانیزم‌های زینتر درمواد پلی کریستال

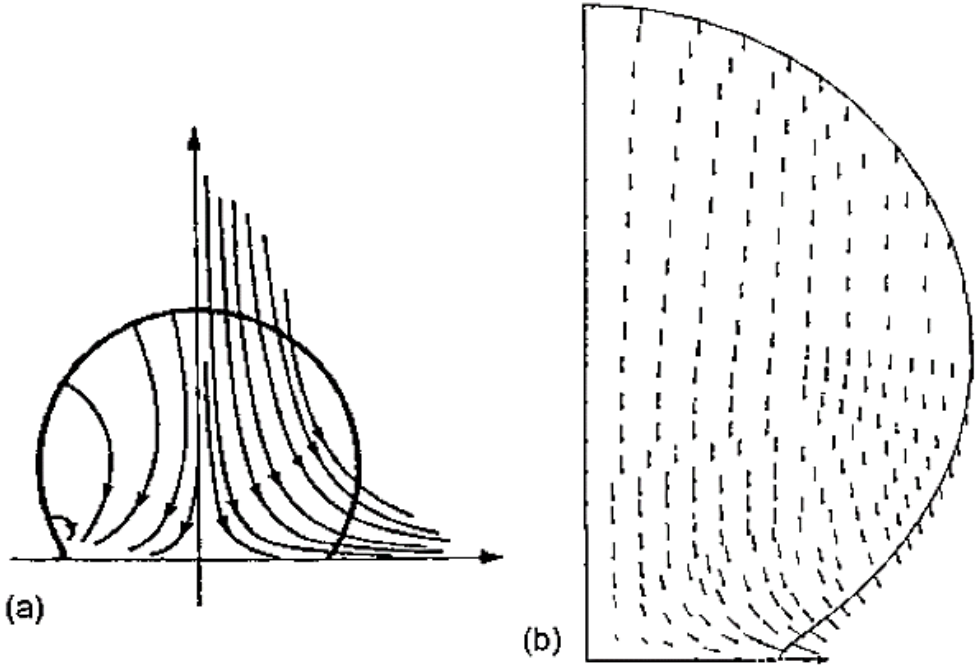


زینترینگ مواد آمورف

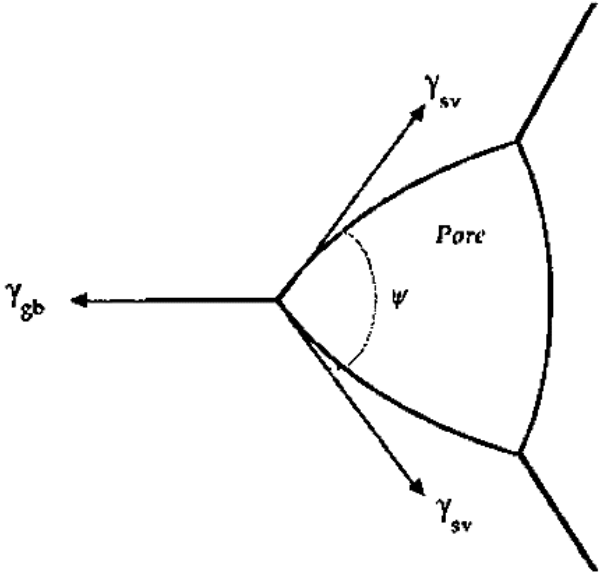


بهترین مسیر برای کنترل نرخ تراکم، کندترین مسیر نفوذ است.

زینترینگ مواد آمورف



تاثیر مرزدانه



تعادل نیروها → $\gamma_{gb} = 2\gamma_{sv}\cos\frac{\psi}{2}$

منفذ با مقطع دایره ای → $\psi = 180^\circ$ or $\gamma_{gb} = 0$

$$\Delta E = \gamma_{sv}\Delta A_{sv} + \gamma_{gb}\Delta A_{gb}$$

$|\gamma_{gb}\,\Delta A_{gb}| = |\gamma_{sv}\,\Delta A_{sv}|$ — حالت تعادلی و پایدار سیستم

$|\gamma_{gb}\,\Delta A_{gb}| > |\gamma_{sv}\,\Delta A_{sv}|$ — شرایط مهیا برای افزایش سطح جامد بخار و رشد منافذ

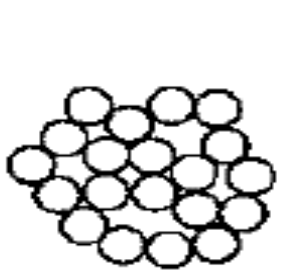
coarsening

Scaling law

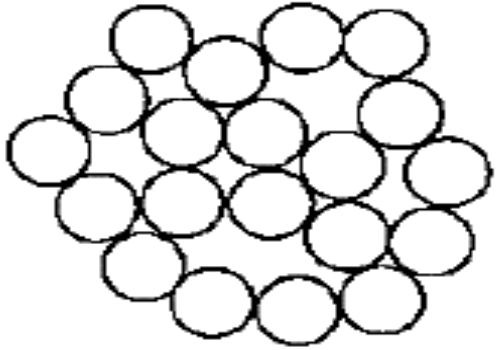
دو سیستم که از لحاظ هندسی مشابه هم هستند تعریف شده است . بطوریکه:

$$(linear\ dimension)_1 = \lambda (linear\ dimension)_2$$

$$\lambda : Numrical\ factor$$



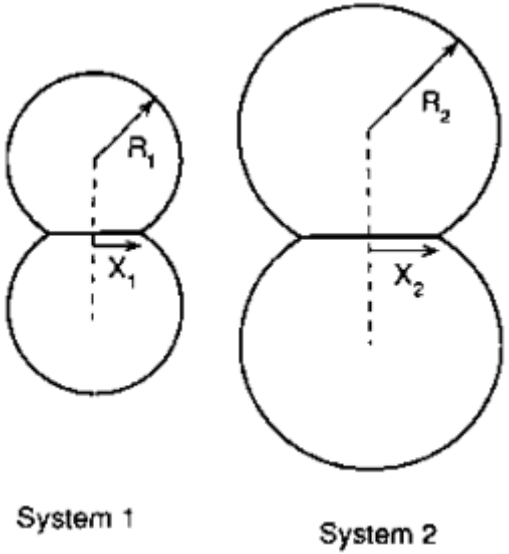
(2)



(1)

Scaling law استخراج

$$\begin{cases} R_2 = \lambda R_1 \\ X_2 = \lambda X_1 \\ \Delta t = \dfrac{V}{J\,A\,\Omega} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \Delta t_1 = \dfrac{V_1}{J_1 A_1 \Omega} \\ \Delta t_2 = \dfrac{V_2}{J_2 A_2 \Omega} \end{cases} \Rightarrow \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{V_2 J_1 A_1}{V_1 J_2 A_2}$$



Δt : زمان لازم برای ایجاد تغییر توسط جریان نفوذی ماده

V : حجم ماده ی انتقال یافته

A : مساحت مقطع عرضی که ماده نفوذ می‌کند

Ω : حجم اتمی

J : شار

Scaling Law for Lattice Diffusion

- $V_1 \propto R^3 \Rightarrow V_2 = (\lambda R)^3 \Rightarrow V_2 = \lambda^3 V_1$
- $A_1 \propto R^2 \Rightarrow A_2 = (\lambda R)^2 = \lambda^2 R^2 \Rightarrow A_2 = \lambda^2 A_1$
- $J = \nabla\mu = \nabla\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{1}{r^2} \Rightarrow J_1 = \frac{1}{r^2}$
- $J_2 = \frac{1}{(\lambda r)^2} = \frac{1}{\lambda^2 r^2} = \frac{J_1}{\lambda^2}$
- $J_2 = \frac{J_1}{\lambda^2}$

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{V_2 J_1 A_1}{V_1 J_2 A_2} \longrightarrow \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \lambda^3 = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^3$$: رابطه نهایی

Scaling Law for Lattice Diffusion

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \lambda^m = \left(\frac{R_2}{R_1}\right)^m$$ رابطه عمومی :

توان m در رابطه فوق به مکانیزم زینترینگ وابسته بوده و درجدول زیر، برای هر مکانیزم مقدار m تعیین شده است:

Sintering Mechanism	Exponent (m)
Surface diffusion	4
Lattice diffusion	3
Vapor transport	2
Grain boundary diffusion	4
Plastic flow	1
Viscous flow	1

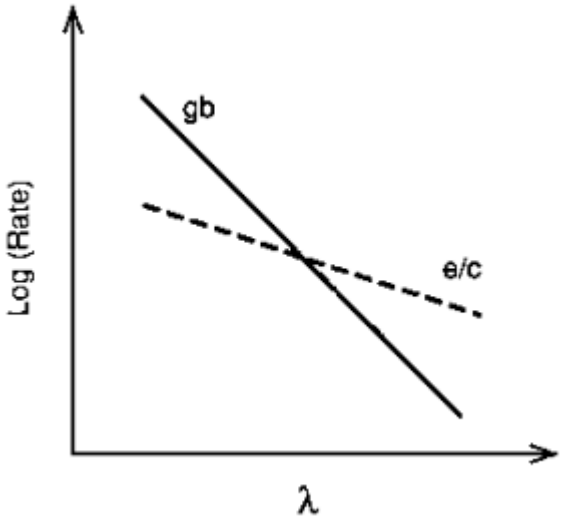
مزایا وکاربرد Scaling Law

- چگونگی تاثیر تغییر اندازه دانه روی سرعت مکانیزم زینتر
- اهمیت این قانون در ساخت سرامیک هایی با میکروساختار کنترل شده
- امکان دستیابی به تراکم بالا از طریق افزایش سرعت مکانیزم های تراکمی زینتر
- غلبه بر چندین محدودیت روش‌های تحلیلی به دلیل بکارگیری قوانین عمومی و ساده
- استفاده از ذرات با هر شکل هندسی

سرعت نسبی مکانیزم‌های زینترینگ

$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \lambda^{m} \xrightarrow{v \propto \frac{1}{t}} \frac{(\text{Rate})_2}{(\text{Rate})_1} = \lambda^{-m}$$

دو مکانیزم مهم زینترینگ در یک سیستم پودری	سرعت مکانیزم
نفوذ مرزدانه	$(Rate)_{gb} \backsim \lambda^{-4}$
انتقال بخار(تبخیر یا تصعید)	$(Rate)_{ec} \backsim \lambda^{-2}$



در λ های کمتر (اندازه ذرات ریز) سرعت مکانیزم نفوذ مرزدانه بالاتر

در λ های بیشتر (اندازه ذرات درشت) سرعت مکانیزم انتقال بخار بالاتر

محدودیت‌های Scaling Law

- ✓ تغییرات میکرو ساختاری یکسان از لحاظ هندسی
- ✓ نیازمند دو سیستم با ترکیب شیمیایی یکسان
- ✓ وقوع همزمان بیش از یک نوع مکانیزم