بنام آخدا

Subject:
Year Month Day

علم و مهندسی مواد

منبع اصلی : Fandamentals of Materials science and engineering
(Smith, Hashemi), 2006.

شفه فارسی ← دانشگاه تبریز

سرفصل ها :

۱- مقدمه و آشنایی با موضوع
۲- ساختار اتم و پیوندهای اتمی و مولکولی X
۳- ساختارها و هندسه کریستالی
۴- ایجاد و عیوب کریستالی
۵- نفوذ در جامدات
۶- خواص مکانیکی فلزات I
۷- خواص مکانیکی فلزات II
۸- دیاگرام فاز
۹- آلیاژهای مهندسی
۱۰- پلیمرهای مهندسی

میان ترم

میان ترم ← ۸ نمره
پایان ترم ← ۱۲ نمره

امتحان پایان ترم حذفی است. دانشجو باید در میان ترم داخل پایان ترم نیست.
حضور و غیاب ✓

فصل اول :

- مهندسی مواد : انتخاب متریال مناسب
  عملیات حرارتی یک جسم
  درس روش های تولید

خواص دوگانی های متریال
- خواص مکانیکی
- خواص فیزیکی
- خواص شیمیایی
  ⇓
  (خواص خوردگی)

روش سر
روش قراردادی

- علم مواد : تحقیق و کسب دانسته های شیمی

ادامه فصل اول

طبقه بندی کلی مواد مهندسی

روند کاربرد مواد مهندسی

Scanned by CamScanner

Subject:
Year Month Day

	شاخه‌های اصلی	ساختار داخلی	خواص مکانیکی	خواص فیزیکی	خواص شیمیایی
* فلزات	آهنی / غیرآهنی	کریستالی	استحکام بالا، شکل‌پذیری خوب	وزن حجمی بالا - هدایت - جلای فلزی	فعال و ناپایدار
* پلیمری	ترموپلاست (پلاستیک): پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، پلی‌استایرن، پلی‌وینیل کلرید (PVC)؛ ترموست: اپوکسی، فنولیک، پلی‌استر؛ الاستومر: لاستیک طبیعی، سیلیکون، پلی‌یورتان	مولکول‌های بزرگ (نامنظم یا تا حدی منظم)	استحکام پایین، شکل‌پذیری خوب	وزن حجمی پایین، عایق، شفاف یا نیمه‌شفاف	غیرفعال و پایدار
* سرامیک‌ها	اکسیدی / غیراکسیدی	تقریباً کریستالی + مواد غیرکریستالی و نامنظم	استحکام خیلی بالا، ترد و شکننده، مقاومت ساشی بالا	وزن حجمی نسبتاً پایین، عایق‌های قوی، پایداری حرارتی بالا	غیرفعال و پایدار

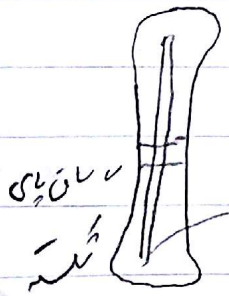
سرامیک در برابر فشار قوی است

* کامپوزیت‌ها: آمیخته‌ای از دو یا چند ماده با خواص متفاوت که ترکیب آن‌ها خواص بهتری ایجاد می‌کند.
  - ماتریس: پلیمر، فلز، سرامیک
  - تقویت‌کننده: الیاف، ذرات، پولک‌ها
  - انواع: PMC (پلیمری)، MMC (فلزی)، CMC (سرامیکی)

الیاف سرامیک در بتن پلیمری

دسته‌بندی بر اساس ماده‌ی اصلی

* مواد الکترونیک: از نظر خواص مابین فلزات و سرامیک هستند.
* مواد هوشمند: حس می‌کنند و پاسخ می‌دهند ← مشهود دارند.
* نانومواد: تقریباً نانومتر ۶ برابر مس معمولی است. تا ۱۰۰ نانو هم نانو محسوب می‌شود.



برای ترمیم استخوان‌های شکسته از فولاد زنگ‌نزن استفاده می‌کنند.

Scanned by CamScanner

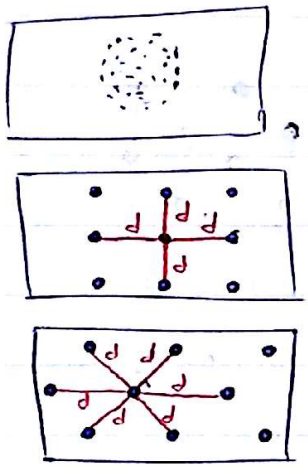
بنام خدا

جلسه ۳ - ۹۶/۷/۱

فصل سوم : ساختارها و هندسه‌ی کریستالی

- ✓ شبکه فضایی و سلول واحد
- ✓ سیستم‌های کریستالی و سلول‌های واحد برآوایس
- ✓ سیستم‌های کریستالی BCC FCC HCP و ضریب تراکم اتمی
- ✓ ارتباط نوع پیوند اتمی و ساختار کریستالی

تعریف ساختار کریستالی و مقایسه‌ی ساختار منظم با غیر منظم



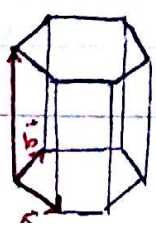
در ساختار منظم هر یک از نقاط را در نظر بگیریم ، فاصله‌ی آنها با تعدادی نقاط همسایه در کوتاهترین فاصله از آن قرار دارند ، دارند.

به این ساختارهای منظم ، ساختار کریستالی می‌گویند.

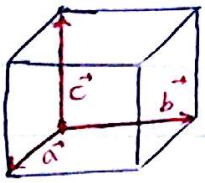
نکته : در انتخاب سلول واحد ، آنرا انتخاب می‌کنیم که در مراحل بعدی ، محاسبات ما را ساده‌تر کند.

۷ نوع ساختار کریستالی وجود دارد :

1) cubic : $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
2) Tetragonal : $a=b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
3) orthorombic : $a\neq b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$
4) Rhombohedral : $a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$
5) Monoclinic : $a\neq b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma\neq 90^\circ$
6) Triclinic : $a\neq b\neq c$, $\alpha\neq\beta\neq\gamma\neq 90^\circ$
7) Hexagonal : $a=b\neq c$, $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$



Scanned by CamScanner



ثابت‌های شبکه

$\vec{a}, \vec{b}, \vec{c} = \begin{cases} a, b, c \\ \alpha, \beta, \gamma \end{cases}$

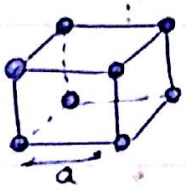
ساختارهای فلزی:

1) ساختار فلزی ساده = (Simple cubic) S.C

آبی = طبقه اول

قرمز = طبقه دوم

طبقه دوم عین طبقه اول تکرار می‌شود.



$CN = 6$

تعداد اتم‌ها در سلول واحد: $N = 8(\frac{1}{8}) = 1$

$a = 2R$

ضریب تراکم = $\frac{\text{حجم پر سلول واحد}}{\text{حجم کل سلول واحد}} = APF$

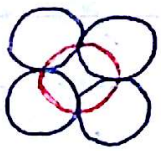
$$APF = \frac{1(\frac{4}{3}\pi R^3)}{(2R)^3} = \frac{\pi}{6} = 0/54$$

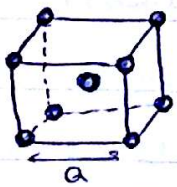
2) ساختار فلزی مرکز پر = (Body centered cubic) B.C.C

آبی = طبقه اول = ماده‌ی ملی

قرمز = طبقه دوم

طبقه سوم عین طبقه اول تکرار می‌شود.





$CN = 8$

$N = 1 + 8(\frac{1}{8}) = 2$

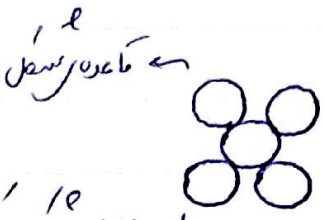
قطری $\sqrt{3}a = 4R$

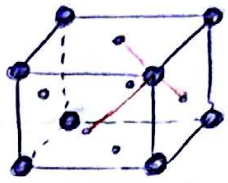
$$APF = \frac{2(\frac{4}{3}\pi R^3)}{(\frac{4}{\sqrt{3}}R)^3} = \frac{\sqrt{3}}{8}\pi = 0/68$$

Scanned by CamScanner

۴) ساختار مکعبی مرکز وجوه پر

F.C.C = (Face centered cubic)





$$APF = \frac{4(\frac{4}{3}\pi R^3)}{(\frac{4}{\sqrt{2}}R)^3} = \frac{\sqrt{2}}{6}\pi = 0.74$$

$CN = 12$

$N = 6(\frac{1}{2}) + 8(\frac{1}{8}) = 4$

$\sqrt{2}a = 4R$ ← سطح

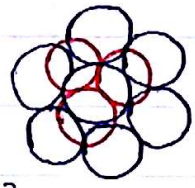
* ضریب تراکم اتمی در شکل فوق به صورت صعودی تغییر پیدا است.

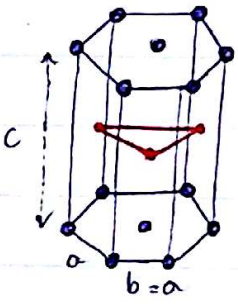
ساختار ۸ وجهی HCP = (Hexagonal closed packed)

لایه سوم عین لایه اول تکرار می‌شود

آبی = لایه اول

قرمز = لایه دوم



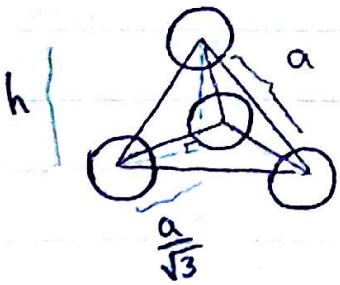


$$APF = \frac{6(\frac{4}{3}\pi R^3)}{C \times 6 \times (a^2\frac{\sqrt{3}}{4})} = \frac{6(\frac{4}{3}\pi R^3)}{24\sqrt{2}R^3} = 74\%$$

$CN = 12$

$N = 3 + 2(\frac{1}{2}) + 12(\frac{1}{6}) = 6$

$a = b = 2R$

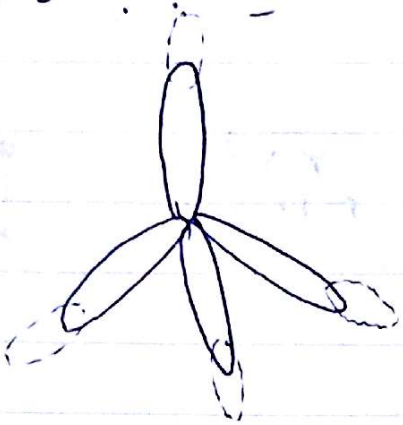


$h = \frac{c}{2} = a\sqrt{\frac{2}{3}}$

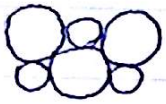
* مواردی مثل سیانوم، منیزیم، روی این ساختار را انتخاب می‌کنند.

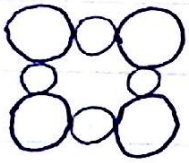
Scanned by CamScanner

* در جامدات کووالانسی ، پیوند کووالانسی جهت دار بوده و محدودیت از جانب فضای کریستالی برای ایجاد ساختار بلوری داریم.



* در جامدات یونی محدودیت جهت پیوند وجود ندارد اما ۲ شرط داریم:





۱_ شرط هندسی همسایگی : یون های هم نام با هم تماس پیدا نکنند.

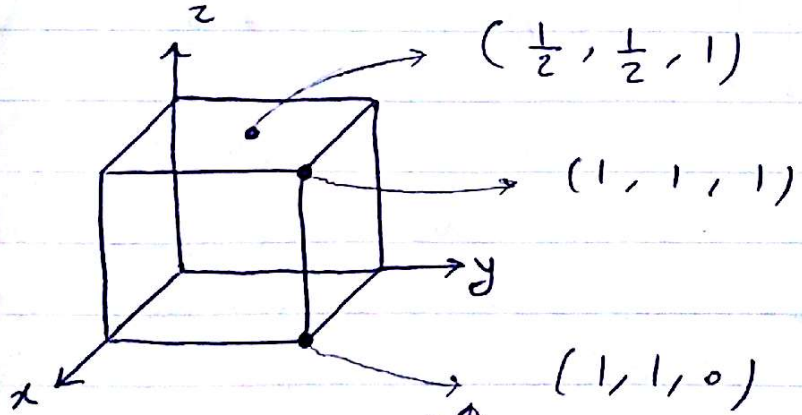
۲_ شرط خنثی بودن بار الکتریکی : تعداد بارهای مثبت و منفی برابر باشند.

* در جامدات فلزی محدودیت های دو جامد قبلی را نداریم.

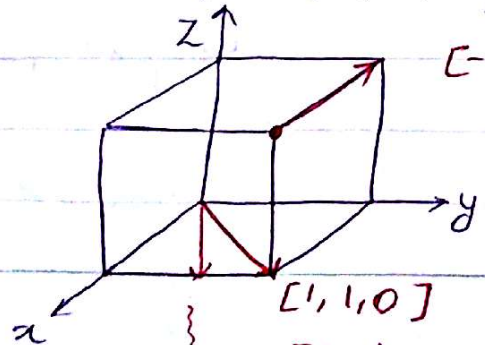
جلسه ۴ - ۹۶/۷/۳۰

ادامه فصل سوم

موقعیت های اتمی

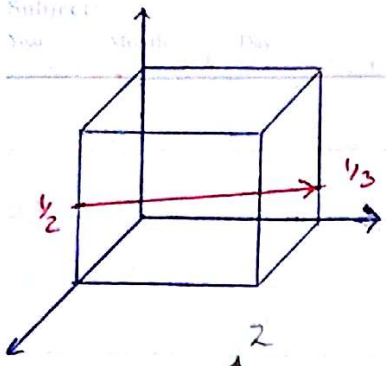


برای بردارها، باید همه‌ی اعداد به صورت کوچکترین حالت ممکن صحیح خود باشند.



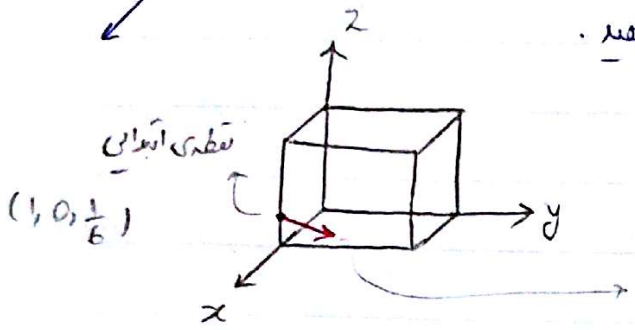
مثال ۵:

Scanned by CamScanner



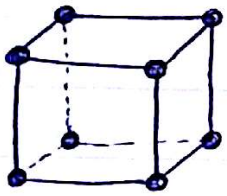
$[\bar{1}, 1, \frac{1}{6}] \longrightarrow [6, 6, \bar{1}]$

مثال: بردار $[\bar{3}, 2, \bar{1}]$ را در سلول واحد مقابل نشان دهید.



خانواده جهات: مجموعه‌ای از جهات بلورشناسی هستند که از نظر بلورشناسی هم ارزند.

مثال: سلول BCC را در نظر بگیرید.



* خانواده مال‌های شبه بلورشناسی: $\langle 1, 0, 0 \rangle$ ← 6 عضو

$[\bar{1}, 0, 0]$ ، $[0, \bar{1}, 0]$ ، $[0, 0, \bar{1}]$ ، $[0, 1, 0]$ ، $[0, 0, 1]$ ، $[\bar{1}, 0, 0]$ ، $[1, 0, 0]$

* خانواده‌ی قطرهای مکعب: $\langle 1, 1, 1 \rangle$ ← 8 عضو

$[\bar{1}, \bar{1}, \bar{1}]$ ، $[1, \bar{1}, \bar{1}]$ ، $[\bar{1}, 1, \bar{1}]$ ، $[\bar{1}, \bar{1}, 1]$ ، $[1, 1, \bar{1}]$ ، $[1, \bar{1}, 1]$ ، $[\bar{1}, 1, 1]$ ، $[1, 1, 1]$

* خانواده قطرهای وجوه: $\langle 1, 1, 0 \rangle$ ← 12 عضو

12 عضو دارد چون بعضی نشان سمتداری است و به حساب نمی‌آید. برای همین نهایتاً 12 عضو داریم.

Scanned by CamScanner

اندیس "میلر" برای "صفحات" کریستالی در سلول واحد بلوری

$(x_0, y_0, z_0) \Leftarrow \begin{cases} (x_0, 0, 0) \\ (0, y_0, 0) \\ (0, 0, z_0) \end{cases}$

① محل تلاقی صفحه با محورهای مختصات را می‌یابیم

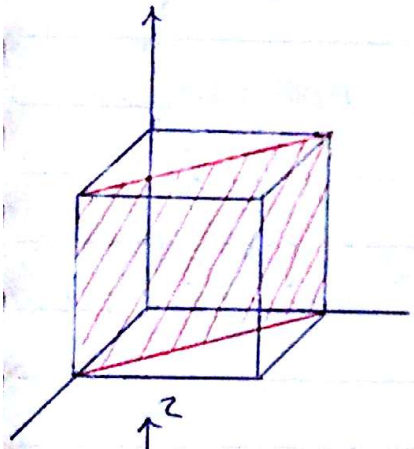
$\left(\frac{1}{x_0}, \frac{1}{y_0}, \frac{1}{z_0}\right) \Leftarrow$

② معکوس می‌نیم

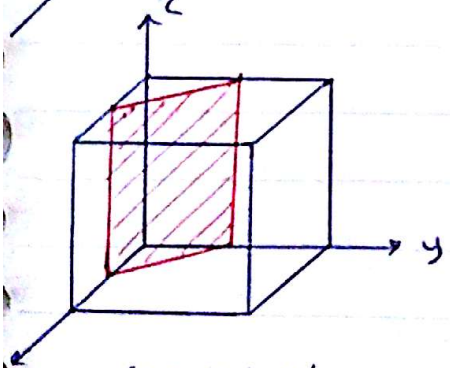
③ با ضرب در کوچکترین عدد صحیح (ندیری) به صورت اعداد صحیح درمی‌آوریم.

$A \times \left(\frac{1}{x_0}, \frac{1}{y_0}, \frac{1}{z_0}\right) = (h, k, l)$

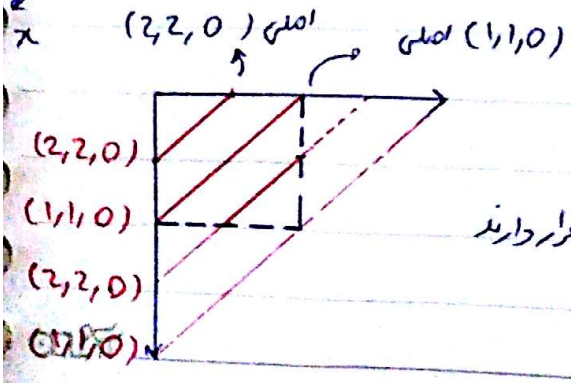
مثال: اندیس میلر را برای صفحات داده شده پیدا کنید.



$x_0 = 1$
$y_0 = 1$
$z_0 = \infty$
$\xrightarrow[\text{معکوس}]{(1,1,\infty)} (1,1,0)$ = اندیس میلر برای این صفحه



$x_0 = \frac{1}{2}$
$y_0 = \frac{1}{2}$
$z_0 = \infty$
$\xrightarrow[\text{معکوس}]{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \infty)} (2,2,0)$



اگر از بالا به صفحه‌ی yx نگاه کنیم: ←

صفحات با اندیس میلر اصلی کوچکترین فاصله از مبدأ را دارند

نسبت به بقیه‌ی صفحات.

Scanned by CamScanner

* هنگامیه می‌گوییم صفحات $(2,2,0)$ یعنی صفحاتی که با ضرب در عدد صحیح نزدیک‌ترین فاصله‌ی $(2,2,0)$ اصلی با مبدأ، از مبدأ فاصله دارند (یعنی عملاً در این صفحات، صفحات $(1,1,0)$ نیز قرار دارند)

* صفحات $(1,1,0)$ شامل صفحات $(2,2,0)$ نمی‌شوند.

نکته: در واقع اندیس میلر بردار نرمال صفحات است.

$$\frac{1}{x_0}x + \frac{1}{y_0}y + \frac{1}{z_0}z = 1$$

$$\times A \longrightarrow hx + ky + lz = A \longrightarrow \text{صفحه‌ی اصلی}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} hx + ky + lz = A+1 \\ hx + ky + lz = A+2 \\ \vdots \end{cases} \quad \text{تمام صفحات هم‌خانواده‌ی صفحه‌ی اصلی}$$

نکته: فاصله‌ی دو صفحه‌ی متوالی با اندیس میلر (h,k,l) از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$d_{hkl} = \frac{|A+1 - h(0) - k(0) - l(0)|}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}} - \frac{|A - h(0) - k(0) - l(0)}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

$$= \boxed{\frac{1}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}}$$

این فرمول برای سلول واحد مکعبی است، چنانچه طول یال a_0 باشد، داریم

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

Scanned by CamScanner

مثال: در سلول واحد مکعبی شکل به طول یال $0.361\ nm$ فاصله‌ی دو صفحه‌ی متوالی $(2,2,0)$ چه‌قدر است؟

$$d = \frac{0.361}{\sqrt{2^2+2^2+0^2}} = \boxed{0.128\ nm}$$

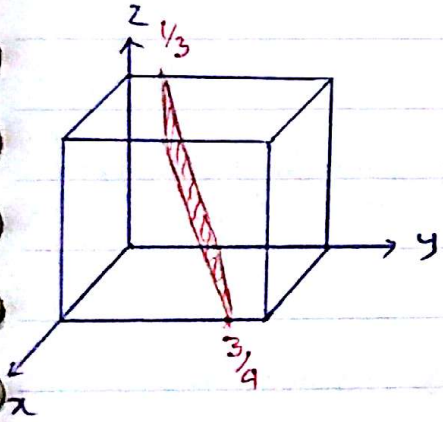
خانواده صفحات

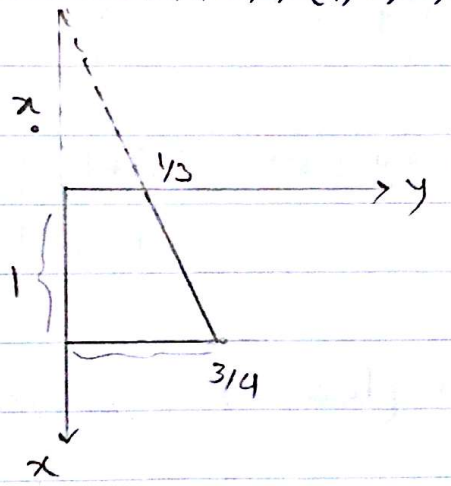
- خانواده وجوه مکعب

$\{1,0,0\}$ ⟶ $(1,0,0)$ ، $(0,1,0)$ ، $(0,0,1)$

- خانواده صفحات قطری

$\{1,0,1\}$ ⟶ $(1,1,0)$ ، $(1,0,1)$ ، $(0,1,1)$





مثال:

$$\frac{x_\circ}{1+x_\circ} = \frac{1/3}{3/4}$$

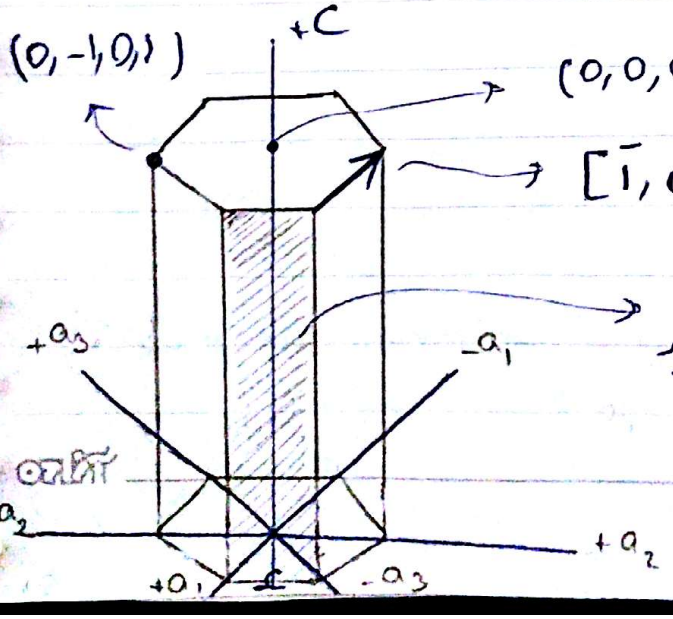
$$\Rightarrow x_\circ = -4/5$$

$$y_\circ = 1/3$$

$$z_\circ = \infty$$

$\Rightarrow$ اندیس میلر $= \left(\frac{5}{4}, 3, 0\right)$

بررسی سلول هگزاگونال



اندیس میلر $\Rightarrow (1, \infty, -1, \infty)$

$\hookrightarrow = (1,0,\bar{1},0)$

Scanned by CamScanner

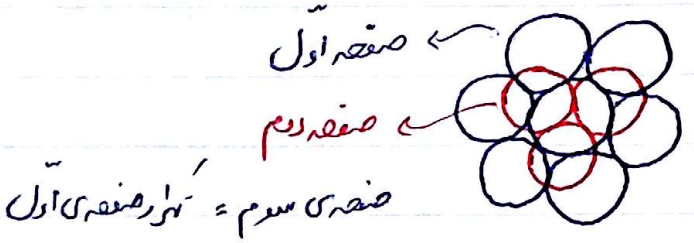
اعضای خانواده‌ی صفحه‌ی مذکور

جابجایی شود

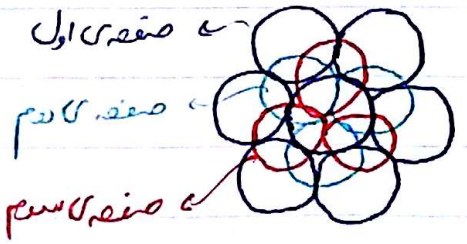
$\{1,0,\bar{1},0\} = (10\bar{1}0),(1\bar{1}00),(0,1\bar{1}0)$

جابجایی نیم

در سیستم HCP ← چینش صفحات ABAB ---



در سیستم FCC ABCABC ----



Scanned by CamScanner

بنام خدا

جلسه ۵ - ۹۶/۷/۱۰

ادامه فصل سوم

دانسیته حجمی، صفحه‌ای و خطی

پلی مورفیسم یا آلوتروپی

آنالیز ساختار کریستالی به روش پراش اشعه X

$$\rho_0 = \frac{\text{جرم هر اتم}}{\text{حجم هر اتم}}$$

دانسیته حجمی (جرم حجمی)

$$\rho_0 = \frac{\text{جرم مول واحد}}{\text{حجم مول واحد}}$$

مثال: مس دارای ساختار FCC است، شعاع اتمی 0,1278nm، جرم اتمی 63,54 gr/mol

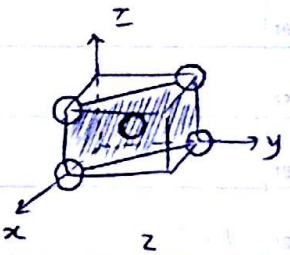
$a = 361\ nm$, $\sqrt{2}a = 4R$

$$\rho_0 = \frac{4\left(\frac{63,54}{6,02\times10^{23}}\right)\times10^{-3}}{(0,361\times10^{-9})^3} = 8980\ kg/m^3$$

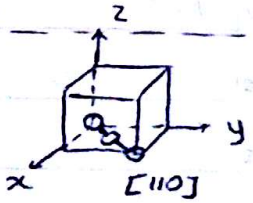
$\rho_{\text{صفحه‌ای}} P$ = تعداد مساحت‌های کامل ← تعداد معادل اتم‌هایی که مرکزشان‌ها با صفحه تقاطع می‌شود / مساحت صفحه

مثال: آهن دارای ساختار BCC است. $a = 0,287$

$$\rho_{(110)} = \frac{1 + 4\left(\frac{1}{4}\right)}{a(\sqrt{2}a)} = \frac{\sqrt{2}}{a^2} = 17,2\ atoms/nm^2$$



$\rho_{\text{خطی}} \rho_l$ = تعداد معادل اتم‌هایی که مرکزشان‌ها با خط تقاطع می‌شود / طول خط ← تعداد خط‌های کامل



$$\rho_{[110]} = \frac{1 + 2\left(\frac{1}{2}\right)}{\sqrt{2}a} = 3,92\ atoms/nm$$

Scanned by CamScanner

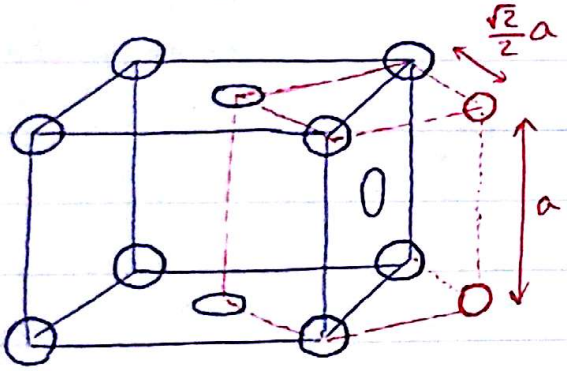
آهن	دمای معمولی	بالا $912^\circ C$	تا $1394^\circ C$
	BCC	FCC	BCC
	(α فریت)	(γ استنیت)	(δ فریت)

($1539^\circ C$)

تیاسیم: BCC ← HCP

تیانیت: BCC ← FCC

نکته: تغییر ساختار کریستالی نیاز به زمان ندارد. سریع اتفاق می‌افتد.



مثال: آهن - فرض کنیم شعاع اتمی در BCC و FCC یکی باشند. حجم حجمی در تبدیل از FCC به BCC چه تغییری می‌کند؟

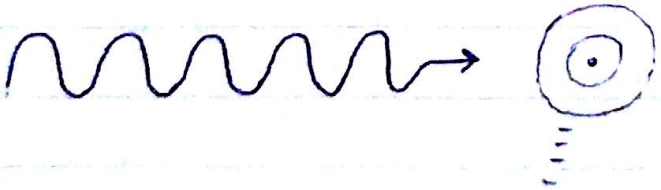
$$\rho_{\circ} = \frac{\text{جرم هر اتم}}{\text{حجم هر اتم}} \qquad \rho_{\circ(BCC)} = \frac{m}{(\frac{a^3}{2})} \rightsquigarrow V_{BCC} = \frac{(\frac{4R}{\sqrt{3}})^3}{2} = \frac{32R^3}{3\sqrt{3}}$$

$$V_{FCC} = \frac{a^3}{4} = \frac{(\frac{4}{\sqrt{2}}R)^3}{4} = 4\sqrt{2}R^3$$

$$\frac{\Delta V}{V_{FCC}} = \frac{V_{BCC} - V_{FCC}}{V_{FCC}} = 8.8\%$$

"۳" آنالیز ساختار کریستالی به روش پراش اشعه X

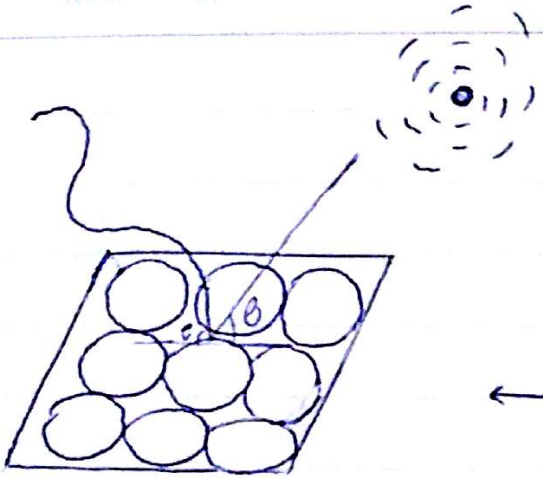
$\lambda = 0,05 - 0,25$ Å



پس از تابش اشعه X، الکترون‌های بیرونی شروع به نوسان با هم فرکانس می‌کنند و خودشان مثل یک شروع به تابش می‌کنند.

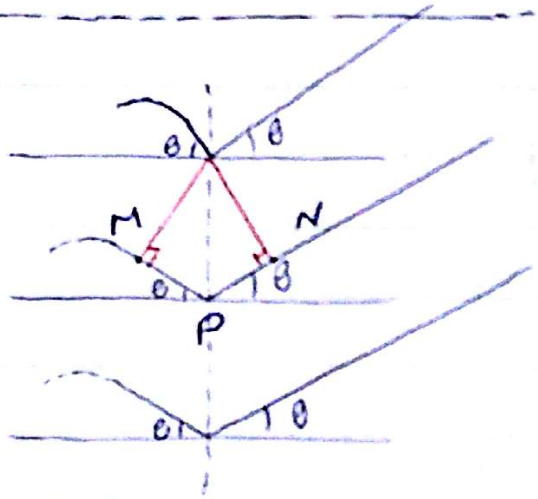
Scanned by CamScanner

* برای تک الکترون ها ، پراش متفاوت خواهد بود.



پس از برخورد به یک صفحه بلوری، با همان زاویه برمی گردد.
شبیه انعکاس است ولی در حقیقت انعکاس نیست.
البته شدت پراش مشاهده شده تقریبا با همان زاویه برمی گردد.

برای ایجاد پراش تقویت شده باید رابطه (hkl) زیر برقرار باشد.



d_{hkl}

$MP + PN = n\lambda$

$MP = PN = d_{hkl} \sin\theta$

$\Rightarrow$ **قانون براگ** $\quad 2d_{hkl} \sin\theta = n\lambda$

مثال: آهن BCC ساده‌ترین حالت
$\lambda = 0.1541$ nm طول موج تابش
{110} مرتبه اول مدنظر گرفته
$2\theta = 44.704$ می‌شود.
$a = ?$

$2d_{110} \sin\frac{44.704}{2} = (1)(0.1541)$

$d_{110} = \frac{a}{\sqrt{1^2+1^2+0^2}}$

$\Rightarrow$ $a = 0.287$ nm

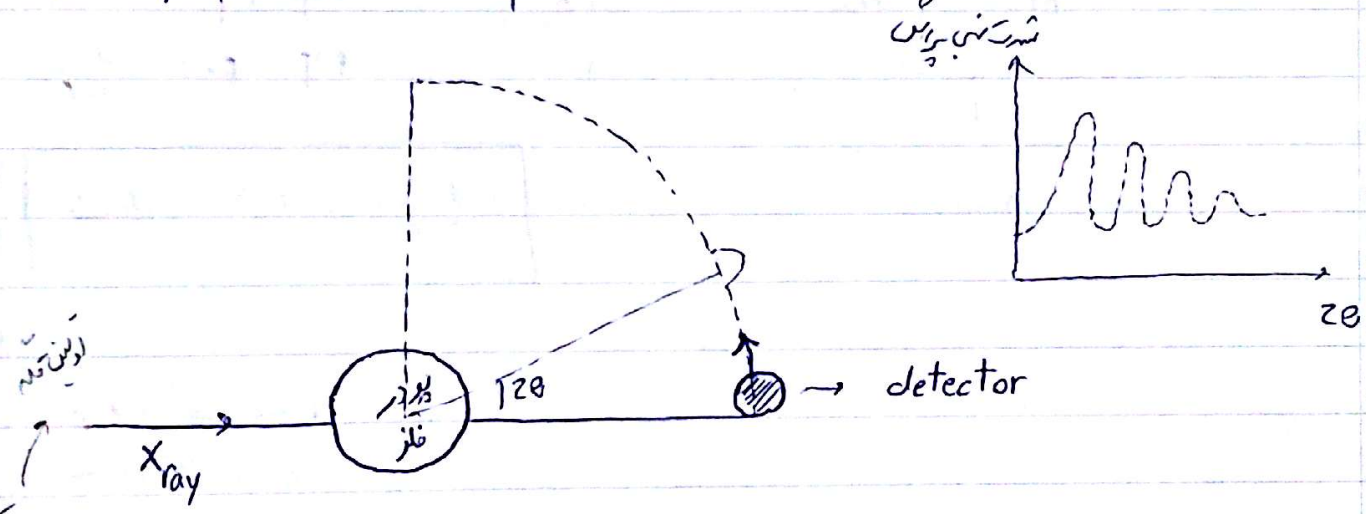
نکته: شرط دیگر در کنار قانون براگ این است که صنعه‌ی ما باید صنعه‌ای باشد که همه‌ی اتم‌ها را شامل شود.
صنعه اصلی یا فرعی

در ساختار BCC اگر ($h+k+l =$ زوج) همه‌ی اتم‌ها را شامل می‌شود.
در ساختار FCC اگر (همه زوج یا همه فرد) " " " " "

Scanned by CamScanner

$$\sin\theta = \frac{n\lambda}{2d_{hkl}} = \frac{n\lambda\sqrt{h^2+k^2+l^2}}{2a}$$

صفحات بلوری	$h^2+k^2+l^2$	
	BCC	FCC
{100}	—	—
{110}	2	—
{111}	—	3
{200}	4	4



BCC

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{2a} \quad \{110\}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{\lambda\sqrt{4}}{2a}$$

FCC

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda\sqrt{3}}{2a}$$

$$\sin\theta_2 = \frac{\lambda\sqrt{4}}{2a}$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

BCC → $\frac{\sqrt{2}}{2}$

Fcc → $\frac{\sqrt{3}}{2}$

Scanned by CamScanner

$\lambda = 0.1541\ nm$ $\begin{cases} 2\theta_1 = 40^\circ \\ 2\theta_2 = 58^\circ \end{cases}$:المطلوب

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 20}{\sin 29} = \frac{\sqrt{2}}{2} \longrightarrow BCC$$

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{2a} \Rightarrow a = \frac{(0.154)(\sqrt{2})}{2(\sin 20)} = 0.318\ nm$$

$$R = \frac{\sqrt{3}}{4}a = 0.137\ nm$$

Scanned by CamScanner

مثال:

$$\begin{cases} 2\theta_1 = 41^\circ \\ 2\theta_2 = 58^\circ \end{cases} \qquad \lambda = 0.1521\ nm$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 20}{\sin 29} = \frac{\sqrt{2}}{2} \longrightarrow BCC$$

$$\sin\theta_1 = \frac{\lambda\sqrt{2}}{2a} \Rightarrow a = \frac{(0.154)(\sqrt{2})}{2(\sin 20)} = 0.315\ nm$$

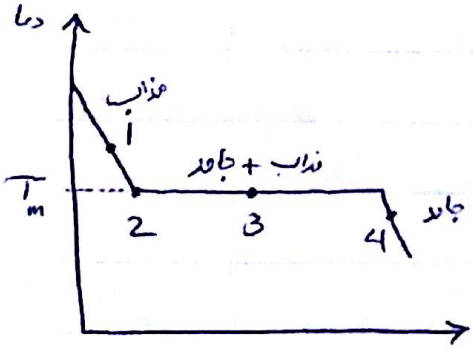
$$R = \frac{\sqrt{3}}{4}a = 0.137\ nm$$

جلسه ۶ - ۹۶/۷/۱۵

بنام خدا

فصل چهارم: انجماد در عیوب کریستالی

آهنگ انجماد فلز خالص



- آهنگ انجماد فلز خالص
- جوانه زنی
  - پایدار / ناپایدار
  - همگن / ناهمگن
  - اثر فوق تبرید
- رشد جوانه ها و ایجاد ساختار دانه ای

چون واکنش می دهند، زیر میکروسکوپ پررنگ تر هستند.

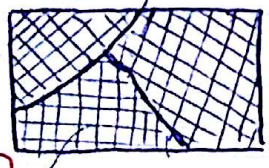
چون داخل ساختار کریستالی نشستند، انرژی بالا دارند ← تمایل شدید برای واکنش

← تا آخرین لحظات منجمد می شوند، تا آخرین لحظه مقاومت می کنند. معلق بودن

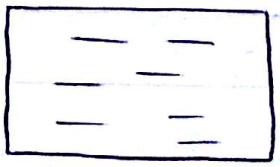
← در این حالت هر جوانه در جهت خاص خود توسعه پیدا می کند به آن دانه می گویند.

مرز دانه

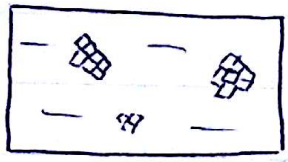
دانه



4



1

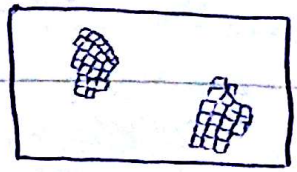


2

جوانه زنی: اتم های کم انرژی طبق ساختار کریستالی ماده به هم می پیوندند و یک جوانه تشکیل می دهند.

پایدار: هرچه بزرگتر باشد، پایدارتر است و رشد می کند.

ناپایدار: مجدداً ذوب می شوند.



3

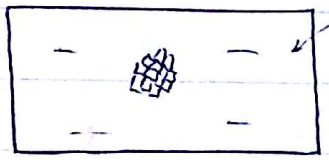
Scanned by CamScanner

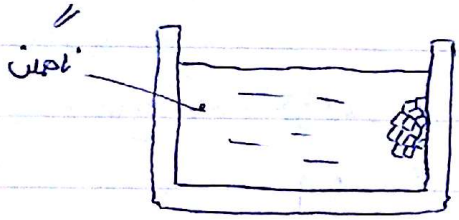
Subject:
Year Month Day

* اگر آلیاژ داشته باشیم، درصن فرایند انجماد دما ثابت نمی‌ماند. علت؟

در مذاب معمولی، در دمای انجماد، ماده در حال سرد شدن است. از طرفی داخل ماده، (در بخش 3) بخش به هم پیوسته و شکل ساختار کریستالی داده ولی بخشی نه ← بین این دو اختلاف انرژی وجود دارد، این انرژی آزاد می‌شود. بنابراین با انرژی از دست داده شده هنگام سرد شدن خنثی می‌شود. پس دما ثابت می‌ماند.

در آلیاژها این اتفاق نمی‌افتد.

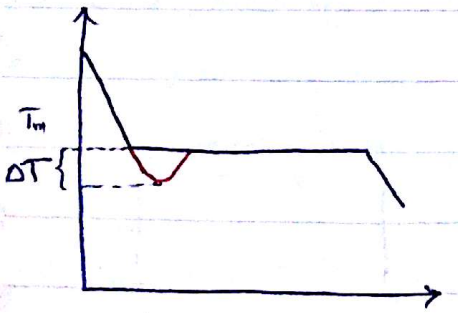




جوانه زنی:
همن ← اگر جوانه زنی در عمق مذاب صورت گیرد
ناهمن ← اگر جوانه زنی در سطح جامد (قبل از اراده) صورت گیرد.

عمدتاً ناهمن ها پایدارند در شدنی هستند.

اگر کاری نکنیم که جوانه ناهمن رشد نکنند و جوانه همن رشد کنند، خواهیم دید که دمای انجماد حتی تا 100 درجه می‌یابد.



	دمای انجماد	فوق تبرید ΔT =
آلومینیوم	660°c	530°c
آهن	1535°c	295°c

چرا جوانه زنی همن نیاز به فوق تبرید بالا دارد؟

$$\Delta G_{total} = \Delta G_{Volume} + \Delta G_{surface} = \Delta G_v \cdot V + \gamma \cdot S$$

γ: مقاومت سطح انرژی بین اتم های مذاب و جامد، در حین فرآیند ← تبدیل به آزاد می‌شود

انرژی مورد نیاز برای ایجاد سطح جدایی بین فازهای مایع و جامد ← انرژی مقادم

Scanned by CamScanner

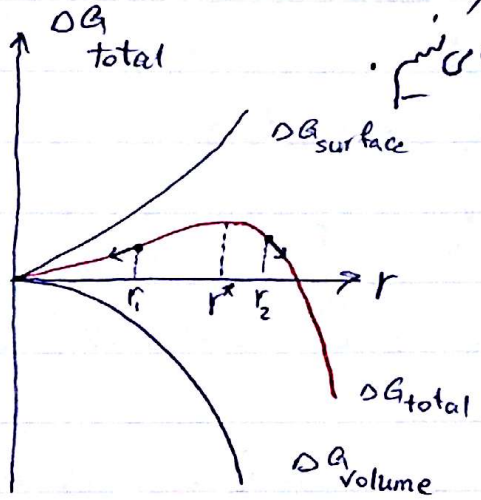
$\Delta G_r = \Delta H - T\Delta S = 0$ ⟷ در دمای ذوب

$\Delta G_r = \dfrac{-(\Delta H_f)\,\Delta T}{T_m}$ ← نوع تبرید

دمای ذوب

یک جوانه‌ی کروی را بررسی می‌کنیم.

$$\begin{cases} \Delta G_{Volume} = \Delta G_r \cdot \frac{4}{3}\pi r^3 \\ \Delta G_{surface} = \gamma \cdot 4\pi r^2 \end{cases}$$



چون آزاد می‌شود منفی

اگر r_1 باشد، چون می‌خواهد به انرژی پایین‌تر برود، به سمت چپ حرکت می‌کند و محو می‌شود.

$$\frac{d\Delta G_T}{dr} = 0 \Rightarrow r^* = \frac{-2\gamma}{\Delta G_r} = \frac{2\gamma T_m}{\Delta H_f\,\Delta T}$$

↓ شعاع جوانه

در نوع تبرید شعاع جوانه کاهش می‌یابد.

مثال: مذاب مس با نوع تبرید $\Delta T = 0.2\,T_m$ یک جوانه‌ی همگن پایدار اگر بخواهیم داشته باشیم، چند اتم باید به هم بپیوندند؟

$T_m = 1356\ K$

$\Delta H_f = 1826\ J/cm^3$

$\gamma = 177\times10^{-7}\ J/cm^2$

مس FCC

① $\Delta G_r = \dfrac{-\Delta H_f \cdot \Delta T}{T_m} = \dfrac{-1826(271)}{1356} = -364.93$

② $r^* = \dfrac{-2\gamma}{\Delta G_r} = \dfrac{-2(177\times10^{-7})}{-364.93} = 9.70\times10^{-8}\ cm$

③ $V^* = \frac{4}{3}\pi r^3 = 3.82\times10^{-21}\ cm^3$

حجم هر اتم $V = \dfrac{a^3}{4} = \dfrac{(0.361)^3}{4} = 1.175\times10^{-23}\ cm^3$ ⟶ $n = \dfrac{V^*}{V} = 325$ اتم

Scanned by CamScanner

قوی تبرید انرژی روی انرژی سطحی تاثیر نمی گذارد. عددی به سطح اضافه می شود تغییری در r^* نداریم.

نکته: در جوانه زنی ناهمگن $\Delta G_{surface}$ به علت تماس با سطح وجود ندارد. پس نیاز نیست ΔG_r ما بزرگ باشد چون ΔG ما کوچک است.

مثال: برای حالت تشکیل جوانه ناهمگن نیم کره پایدار بررسی دیواره قالب

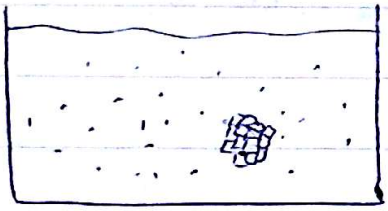
$$\Delta G_r = \frac{2}{3}\pi r^3 . \Delta G_v + 2\pi r^2 . \gamma$$

$$\frac{d\Delta G_r}{dr} = 0 \Rightarrow r^* = \frac{-2\gamma}{\Delta G_v} \quad , \quad V^* = \frac{2}{3}\pi r^3 = 1.906 \times 10^{-21}\ cm^3$$

$$\frac{V^*}{V} = 162 \quad \text{اتم}$$

تمرین: اگر 162 اتم داشته باشیم، به صورت ناهمگن، آیا قوی تبرید هست؟

نکته: اگر ذرات جامد داخل مایع باشند، به صورت ناهمگن جوانه می زنند.



۱- دمای زوب بالاتر ← ضروری

۲- کانش ندهد

۳- حجم حجمی نزدیک } اگر باشند بهتر است.

۴- ساختار کریستالی شابه

جوانه زا، پودر فلزی است که وقتی داخل مذاب می ریزیم، داخل مذاب جوانه زنی ناهمگن انجام دهد.

نسبه تعالی

جلسه ۷ - ۹۶/۷/۱۷

محلول مذاب بدون جوانه زا ⟵ دانه های درشت وستونی (جهت دار)

محلول مذاب با جوانه زا ⟵ دانه های ریز وتقریبا متقارن (بدون جهت)

* نسبه: شرایط کاربردها متفاوت است، ولی معمولا دانه ریزها بهترند.

Scanned by CamScanner

تحلیل اندازه ذرات در کاربرد آن‌ها

* مقاومت مکانیکی
  1) دمای پایین: بذر دانه‌ها بهترند چون مزرعه‌ها در برابر تغییر شکل مقاومند.
  2) دمای بالا: دانه درشت‌ها بهترند و مقاومت بالاتری از خودشان نشان می‌دهند.

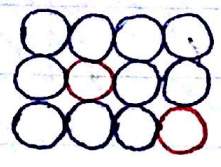
** مقاومت خوردگی ← دانه درشت‌ها مناسب‌ترند؛ چون مزرعه‌های آن‌ها بیشتر است. (در حالت کلی)
  1) فلز خالص: دانه ریزها مقاومت خوردگی کمتری دارند (دانه درشت‌ها بهترند)
  2) آلیاژ: دانه درشت‌ها مقاومت خوردگی کمتری دارند (دانه ریزها بهترند)

روش ریز دانه کردن
  1) افزایش سرعت تشکیل جوانه‌های پایدار ← افزایش جوانه‌زا / افزایش سرعت سرد کردن
  2) کاهش سرعت رشد جوانه‌ها ← کشان دادن قاب و هم زدن مذاب

- حتی می‌توان با فرایندهای خاصی تک کریستال درست کرد.

آلیاژ: کشاورزی ، محلول جامد جانشینی

اتم‌های حلال جایگزین اتم‌های فلز میزبان می‌شوند.



← ساختار کریستالی، ساختار فلز میزبان باقی می‌ماند.

Scanned by CamScanner

اولویت اصلی هم مهمترین شرط : نزدیک بودن شعاع اتم‌های فلزی به همدیگر

$r_{Cu} = 0.128^{nm}$

$r_{Zn} = 0.133^{nm}$

آلیاژ برنج (ترکیب Cu, Zn)

* اختلاف شعاع اتمی نباید از ۱۵٪ باشد، تقریباً آلیاژ به وجود می‌آید.

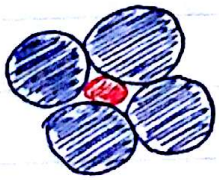
به هم زدن ساختار کریستالی فلزات

$r_{Ni} = 0.125^{nm}$ ⟶ با هر درصدی در هم حل می‌شود.

شرط قبلی : یکسان بودن ساختار کریستالی

شرط اصلی کم اهمیت : ۱) نزدیکی الکترونگاتیوی حلال و محلول ۲) یکسان تعداد الکترون ظرفیت

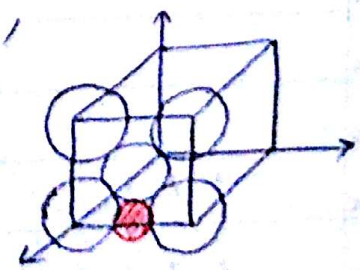
محلول جامد بین نشینی



فلز در فلز اتم‌ها بین نشینی ندارد زیرا شعاع آن نزدیک هم است

- اتم‌های بین نشینی در FCC کمتر است (نسبت به BCC) چون فضای خالی در آن متمرکز است.

$\begin{cases} r_{Fe} = 0.129^{nm} \\ r_{C} = 0.075^{nm} \end{cases}$



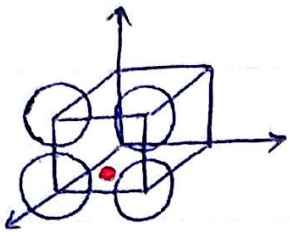
جایگاه مناسب برای C در شبکه FCC آهن، مکان $(0, \frac{1}{2}, 1)$ است.

مناسب‌ترین جایگاه $(0, \frac{1}{2}, 1)$ نسبت به $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$ فضای بزرگتری دارد.

(FCC → $a = 2r + 2R$, $a = 2\sqrt{2}R \rightarrow r = (\sqrt{2}-1)R = (\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{3}} - 1)R$) فضای خالی

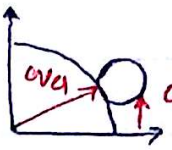
(BCC → $a = \frac{4}{\sqrt{3}}R \rightarrow r = (\frac{\sqrt{4}}{\sqrt{3}} - 1)R$)

Scanned by CamScanner



(1, 1/2, 1/4)

تحلیل مکان ← (1, 1/2, 1/4)



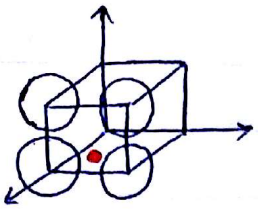
$\rightarrow r = \left(\frac{\sqrt{5}}{\sqrt{3}} - 1\right) R$

ترکیب C, Fe در ساختار آهن

$r_{FCC} = 0.053$

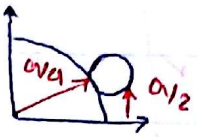
$r_{BCC} = 0.036$

Scanned by CamScanner



(1, 1/2, 1/4)

تعیین مکان (1, 1/2, 1/4) ←



$\rightarrow r = \left(\frac{\sqrt{5}}{\sqrt{3}} - 1\right) R$

ترکیب C, Fe در دو ساختار آهن

$r_{FCC} = 0.053$

$r_{BCC} = 0.036$

جلسه ۸ - ۹۶/۷/۲۲

"بسه تعالی"

عیوب نقطه ای

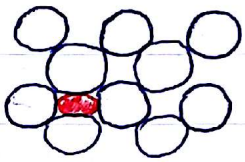
1ev

۱۵,۰۰۰ اتم

۱ تهی جای

۱) تهی جای

Vacancy

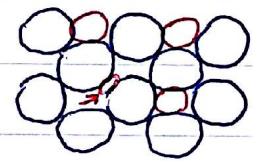


۲) بین نشینی خودی

جامدات یونی

۱- تهی جای جفت (Schottkey) : یک جفت یون مثبت و منفی در ساختار غایب باشند.

۲- تهی جای بین نشینی = (Frankel) یکی از یون ها برود



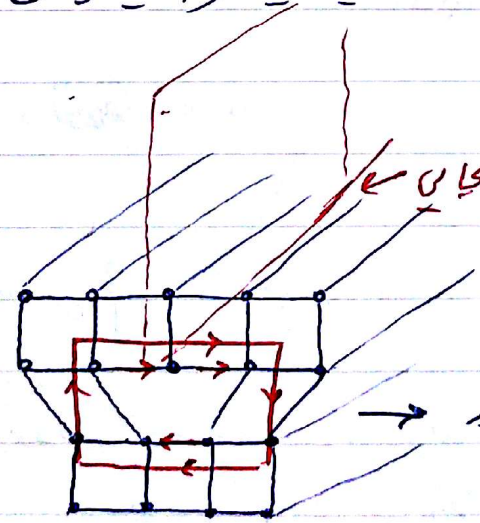
درحالت بین نشینی (هم بین نشینی رخ داده، هم تهی جای)

عیوب خطی یا نابجایی با محوریت یک خط

↓

نابجایی لبه ای

- پیچی
- مخلوط

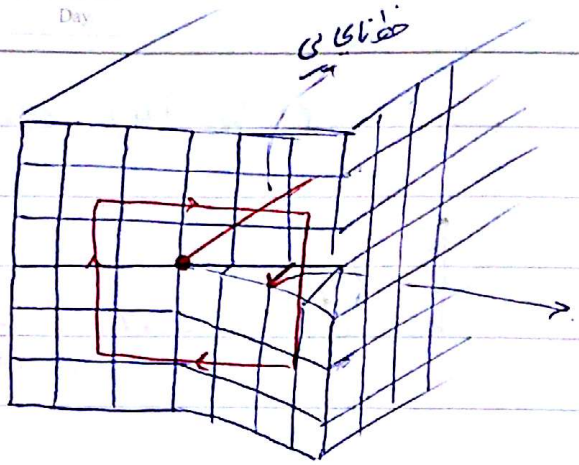


لبه ای :

بردار برگرز ⊥ خط نابجایی

Scanned by CamScanner

عیوب خطی، بابت خط تعریف می‌شوند.



ناپایی پیچشی:

خط ناپایی موازی بردار برگرز است.

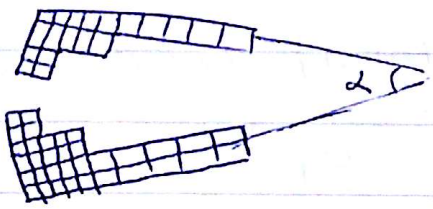
بردار برگرز

ناپایی مختلط: ترکیب دو حالت قبل

بردار برگرز نه عمود است بر خط ناپایی نه موازی آن است.

عیوب سطحی

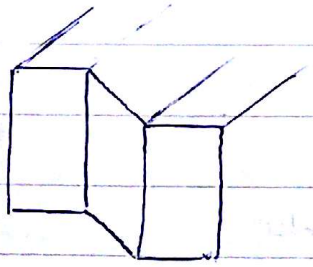
عیوب سطحی
- دو مرزدانه‌ها
- دو سطح خارجی ← خود سطح خارجی جسم چون اتم‌ها از یک سمت پیوند ندارند و انرژی بالایی دارند عیب محسوب می‌شود
- دو مرز های کم‌زاویه، شبه مرزدانه



اگر $\alpha < 20^\circ$ شبه مرزدانه می‌گوییم

اگر $\alpha > 20^\circ$ ، اصلا دو دانه‌ی جدا هستند.

ادامه عیوب سطحی
- دوقلویی‌ها



دو سطح غلط قرار گرفته. چیدن درستی شبیه هم اند

پس دوقلو اند

Scanned by CamScanner

ABCACC

ادامه عیوب سطحی { 5 - بی نظمی لایه ای
که لایه کلا اشتباه باشد.

* در فلز جامد:
درصورت بالا رفتن دما ممکن است اتم های مرزدانه ها به هم بچسبند رشدنشند خودشان دانه نشوند.

عیوب حجمی: ← باعث شکست فلزی شوند.

۱- حفره های ریخته گری: فلز لایه داخل قالب می ریزیم، چون دما بالاست، کارهای محیط داخلش حل می شوند و پس از سفت شدن، حفره های بزرگ تشکیل می دهند.

2 - رسوب های ناخالصی ها

فصل 5: فرآیندهای نرخی و نفوذ

انرژی اتم ها: انرژی متوسط یک مول گاز

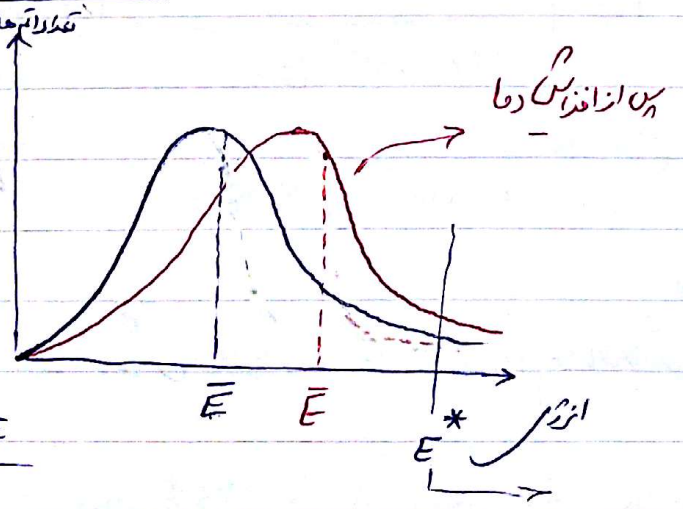
$\bar{E} = \frac{3}{2}RT$

$R = 1.987 \ cal/mol.K$
$= 8.314 \ J/mol.K$

" " اتم یا مولکول گاز

$\bar{E} = \frac{3}{2}KT$

$K = 13.8 \times 10^{-24} \ J/K$
$= 8.62 \times 10^{-5} \ eV/K$



تعداد اتم هایی که انرژی شبیه E^* دارند.

$\frac{n}{N_{total}} \propto e^{\frac{-E^*-\bar{E}}{KT}}$

سطح انرژی خیلی بالا

if $\bar{E} \ll E^*$ ⇒ $\frac{n}{N_{total}} = ce^{\frac{-E^*}{KT}}$

Scanned by CamScanner

مثال: در $500^\circ C$ از هر 10^{10} اتم Si یک اتم ژرمانیم جایگزین شده است. در $600^\circ C$ چند اتم ژرمانیم جایگزین می‌شود؟

$$\ln\left(\frac{n}{N_{total}}\right) = \ln C - \frac{E^*}{kT}$$

$$\ln 10^{-10} = \ln C - \frac{E^*}{(13.8\times10^{-24})(773)}$$

$$\ln 10^{-9} = \ln C - \frac{E^*}{(13.8\times10^{-24})(873)}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \ln C = -2.92 \\ E^* = 0.214\times10^{-19}\ J/atom \end{cases}$$

$$\ln\left(\frac{n}{N_{total}}\right) = -2.92 - \frac{0.214\times10^{-19}}{(13.8\times10^{-24})(973)} = 6\times10^{-9}, \quad E^* = 129000\ J/atom$$

$$\frac{n_v}{N} = Ce^{-\frac{E_v}{KT}}$$

نکته: سطح انرژی چقدر باید باشد که جای خالی شود؟

مثال: تعداد جای خالی‌ها در هر مترمکعب مس خالص در دمای $500^\circ C$؟ $E_v = 0.9\ eV$, $C=1$

$$\frac{n_v}{N} = 1\times \exp\left(\frac{-0.9}{(8.62\times10^{-5})(793)}\right) = 1.4\times10^{-6}$$

$$\Rightarrow \frac{n_v}{V} = 1.2\times10^{23}$$

حجم یک مترمکعب مس

$$N = \frac{8960\times10^3}{\left(\frac{63.54}{6.62\times10^{23}}\right)} = 5.419\times10^{28}\ atom/m^3$$

حجم هر اتم مس

قدرانند نرخ: هر فرایندی برای رخ دادن نیاز دارند سطح انرژی اتم‌ها بالا باشد.

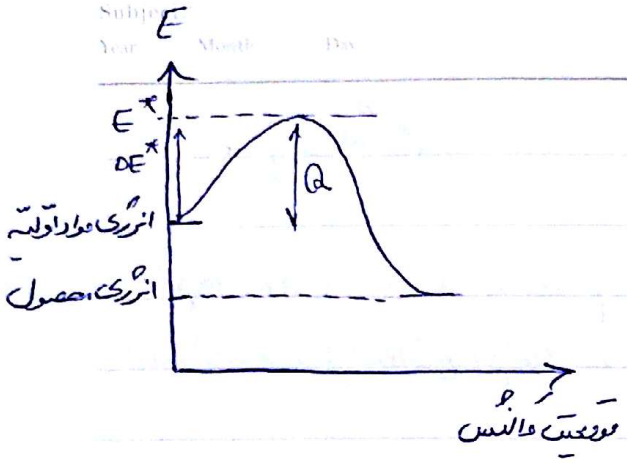
۹۷/۷/۲۴ جلسه ۹

به تعالی

گرما به افزایش سرعت فرایندهای نرخی کمک می‌کند

اما همه‌ی فرایندهای نرخی گرمایی نیستند.

Scanned by CamScanner

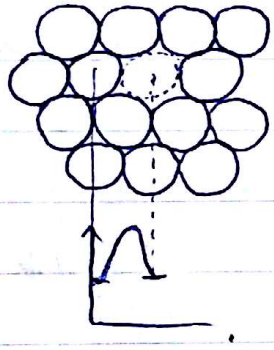


$$\frac{n}{N_{total}} = Ce^{\frac{-E^*}{KT}}$$

انرژی فعال سازی

$$\text{Rate of reaction} = Ce^{\frac{-Q}{RT}}$$

مکانیزم‌های نفوذ (Diffusion)



۱. مکانیزم تهی‌جایی یا جانشینی

"با ذاشتن داخل کوره (وقتی قصد ذوب نداریم) چون دمای ما زیاد است، اتم‌ها جابجا می‌شوند. (تهی‌جای‌ها پر می‌کنند فقط جابجا می‌شوند) امکان نفوذ را افزایش می‌دهد.

فلز	دمای ذوب	ساختار بلورین	Q (KJ/mol)
آلومینیوم	660	FCC	165
مس	1083	FCC	196
نیکل	1452	FCC	293
آهن γ	1530	BCC	240
تنگستن	2600	BCC	460

دمای ذوب مشخصه‌ی انرژی پیوند است.

دمای ذوب بالاتر باشد، انرژی پیوند بالاتر است. پس انرژی اکتیواسیون ما بالاتر است پس فرایند نفوذ دشوار است.

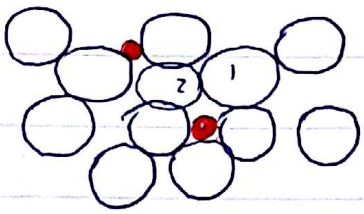
ساختار بلورین، تعداد پیوندها را مشخص می‌کند.

* باوجودانکه آهن دمای ذوب بیشتری نسبت به نیکل دارد، اما چون ساختار آن BCC است، انرژی اکتیواسیون کمتری دارد و نفوذ در آن راحت‌تر اتفاق می‌افتد.

انرژی اکتیواسیون = Q

Subject:
Year Month Day

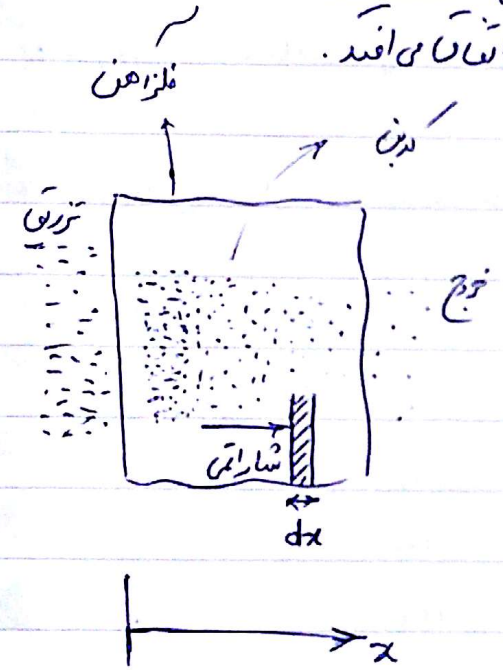
2- مکانیزم بین نشینی



اتم‌های محلول، اگر دمای بالا ببرم، می‌توانند از فرصت استفاده کنند (ارتعاش اتم‌ها) و موقعیت خود را عوض کنند.

هرچه پیوند بین اتم‌های 1 و 2 شبیه باشد (دمای زوب بالا)، این اتفاق کمتر به وجود می‌آید.

در حالت BCC چون تراکم اتمی کمتر است، نفوذ راحت‌تر اتفاق می‌افتد.



$C(x)$ → تابع تراکم $(atom/m^3)$

J → شار $(atom/m^2 s)$

$$J = -D \frac{dc}{dx}$$

ضریب نفوذ پذیری (m^2/s)

قانون اول فیک

محلول حل‌شونده	حلال	ضریب نفوذ پذیری در 500°C	ضریب نفوذ پذیری در 1000°C
کربن	آهن FCC	5×10^{-15}	3×10^{-11}
کربن	آهن BCC	10^{-12}	
آهن	آهن FCC	2×10^{-23}	2×10^{-16}
آهن	آهن BCC	10^{-20}	
مس	آلومینیم	4×10^{-14}	
مس	مس	10^{-18}	
نیکل	نیکل خالص	10^{-17}	
نیکل	نیکل مزدانه‌ای	10^{-11}	

منظم
نامنظم

نفوذ در حالت مرزدانه‌ای نامنظم راحت‌تر اتفاق می‌افتد.

دمای نفوذ تأثیر زیادی در ضریب نفوذ پذیری دارد. / در هر دو مکانیزم نفوذ در ساختار BCC که تراکم کمتری دارد، ضریب نفوذ پذیری بیشتر است.

Scanned by CamScanner

Subject:
Year: Month: Day:

$C = C(x,t)$

نفوذ حالت ناپایدار

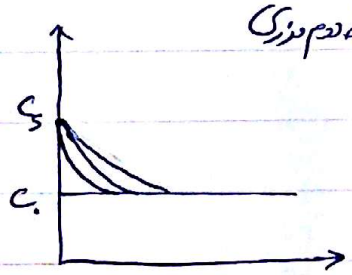
نفوذ در سطح جسم به عنوان مثال نفوذ کربن در سطح جسم باعث سخت‌تر شدن سطح جسم می‌شود.
" کشیدن " " " " خوردگی می‌شود.
به دمای بالا و حضور در دوره های خاص نیاز دارد.

$C = C(x,t)$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D \frac{\partial C}{\partial x}\right)$$ قانون دوم فیک

شرط اول مرزی: تراکم سطحی $C|_{x=0} = C_s$

شرط دوم مرزی $C|_{x=\infty} = C_0$



$C|_{t=0} = C_0$

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = erf\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

$$= \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-z}^{z} e^{-t^2} dt\right]$$ هم نیت

مثال: فولاد 1020
$C_0 = 0.2\%$
$D = 1.28 \times 10^{-11} m^2/s$

چقدر باید در دوره بماند تا $C|_{x=0.5mm} = 0.4\%$

$C_s = 0.9\%$

$$\frac{0.9 - 0.4}{0.9 - 0.2} = erf\left(\frac{0.5 \times 10^{-3}}{2\sqrt{1.28 \times 10^{-11} t}}\right)$$

$$\Rightarrow 0.7143 = erf\left(\frac{69.88}{\sqrt{t}}\right)$$

Scanned by CamScanner

Subject:
Year Month Day

جدول erf

z	erf(z)
0	0
0.025	0.6252
⋮	⋮
0.75	0.7112
0.5	0.7112
⋮	⋮

میان‌یابی

$$\frac{0.5 - 0.75}{0.7421 - 0.7112} = \frac{z - 0.75}{0.7143 - 0.7112}$$

$$\rightarrow \boxed{z = 0.755} \Rightarrow \boxed{t = 8567\ s}$$

$$\boxed{D = D_0\, e^{\frac{-Q}{RT}}}$$

Scanned by CamScanner

Subject:
Year Month Day

جدول erf

z	erf(z)
0	0
0.025	0.6252
⋮	⋮
0.75	0.7112
0.5	0.7112
⋮	⋮

میان‌یابی

$$\frac{0.5-0.75}{0.7421-0.7112}=\frac{z-0.75}{0.7143-0.7112}$$

$$\Rightarrow \boxed{z=0.755} \Rightarrow \boxed{t=5567\,s}$$

$$\boxed{D=D_0\,e^{\frac{-Q}{RT}}}$$

* تابع ۵

جلسه ۱۵ ، ۹۷/۷/۲۹

به نام خدا

فصل ششم : خواص مکانیکی فلزات

آزمون‌های مکانیکی مواد: تست کشش، تست سختی، تست خستگی

نف متحرک

سرعت $0.1\ m/sec$ ✓

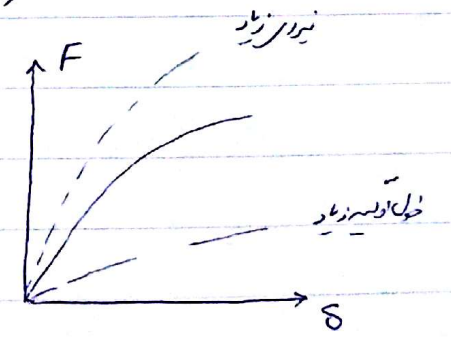
نیرو $10\ N/sec$ ×

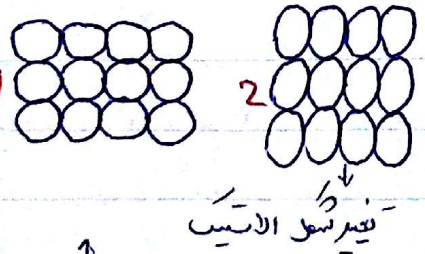
نف ثابت

تغییر طول در جهت میله اصلی اعمال می‌شود

تنش مهندسی $\sigma=\frac{F}{A_0}$

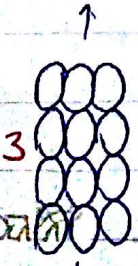
کرنش مهندسی $\varepsilon=\frac{\delta}{l_0}$





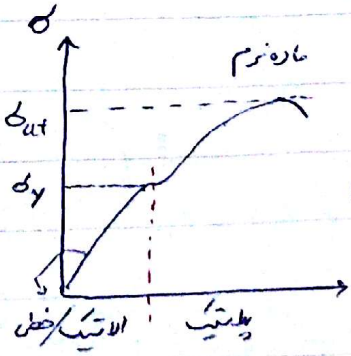
تغییر شکل الاستیک

در مرحله اول اتم‌ها سرجای خود هستند فقط در حالت بیضی درمی‌آیند.



تغییر شکل پلاستیک دائمی

اگر نیرو قطع شود ← قطعه از حالت بیضی به حالت دایره درمی‌آید.



ε_{at} = % elongation

$\sigma=E\varepsilon$

E: مدول یانگ، ضریب الاستیک

Scanned by CamScanner

به حجم ثابت باشد

ضریب پواسون ν = $\frac{\text{کرنش عرضی}}{\text{کرنش طولی}}$ = $\frac{-\varepsilon}{\varepsilon}$

برای ماده ایده‌آل 0.5

اغلب $\begin{cases} 0.25-0.4 \Rightarrow \text{اغلب } 0.3 \end{cases}$

- تنش تسلیم، تنشی است که برای مقادیر بالاتر از آن ماده رفتار تغییر شکل پلاستیک می‌شود. σ_y

- تنش نهایی = حداکثر از تنش قابل تحمل نمونه قبل از وقوع شکست

- در مواد ترد به جای σ_y از σ_{ut} استفاده می‌کنیم.

- در مواد نرم، پس از تنش ut، نمودار به سمت پایین می‌آید. چون سطح مقطع ماده کاهش یافته است.

ما همچنان داریم نیرو را بر سطح مقطع اولیه تقسیم می‌کنیم برای همین پایین می‌آید. اگر بر سطح مقطع نهایی تقسیم کنیم، نمودار بالا می‌رود.

* درصد کاهش سطح مقطع

$$\%\text{ area reduction} = \frac{A_0 - A_F}{A_0}$$ — نهایی

معیاری از شکل‌پذیری یا تردبودن ماده

$$\text{درصد تغییر شکل پلاستیک ماده} = \frac{A_0 - A_i}{A_0}$$ — سامت لحظه‌ای

درصد کار انجام شده بر روی ماده

تغییر شکل پلاستیک = کار

سختی (hardness)

↓P

Brinell — نوکی = تنبه — D

Vickers ⊠

Rakwell ⊙

d

ایجاد اثر به جا مانده را اندازه می‌گیریم.

عدد سختی برینل

$$BHN = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

قطر اثر — عمق قطعه

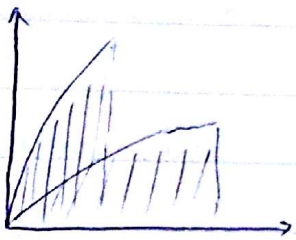
تست سختی نیمه مخرب است.

اطلاعاتی به ما می‌دهد، از سطح قطعه است.

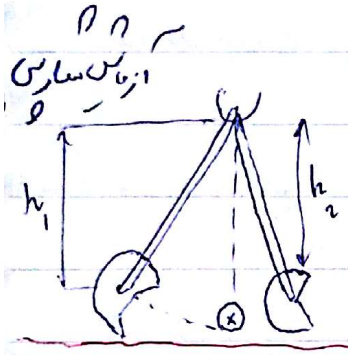
Scanned by CamScanner

تست ضربه‌ای (toughness)

$kg \cdot m/s^2 \times \frac{1}{m^2} = J/m^3$



- میزان جذب انرژی توسط ماده
- بیشتر در مواردی تنش تسلیم معنا ندارد (فولادنرم) کاربرد دارد.
- موقعی که بارگذاری به صورت ضربه‌ای با سرعت بالا انجام می‌شود، تست تنش کاربرد ندارد.



پس از برخورد به میله آن را می‌شکند و در ارتفاع h_2 قرار می‌گیرد.

میزان انرژی جذب شده توسط نمونه $mg(h_1-h_2)$ خواهد بود.

جلسه ۱۱ ۹۷/۸/۱

به نام تعالی

فرایندهای ساخت فلزات

(casting prod) *) فلزنداب ← ریخته‌گری ← Casting ← آلیاژ ریختگی casting allay

(wrout prod) *) فلزجامد ← شکل‌دهی ← Forming ← آلیاژ کارپذیر wrout allay

- کارسرد
- کارگرم ← دمای ایجاد پایینتری دارد؛

*) Casting ها دارای خواص مکانیکی بالاتری هستند.

**) در Forming ها که کارسرد روی آنان انجام می‌گیرد، کارسختی هم می‌دهند. (استحکام بیشتری دارد)

موارد با اهمیت در مورد Casting

Scanned by CamScanner

۱) نیاز به لوره

۲) نیاز به قالب ← الف) رعایت ظرفیات هندسی
ب) تحمل حرارت
ج) اجازه خروج هوا
د) امکان خارج کردن قطعه

۳) نیازهای فرایند ← الف) حداکثر حجم حفره
ب) خروج مواد ناخواسته

- ریخته‌گری در قالب دائم { تحت فشار / بدون فشار }

- ریخته‌گری در قالب یکبار مصرف ← { ریخته‌گری در ماسه / ریخته‌گری در پوسته / ریخته‌گری تعیین }

Scanned by CamScanner

۱) نیاز به لوره

۲) نیاز به قالب ← الف) رعایت ضریبات هندسی
ب) تحمل حرارت
ج) اجازه خروج هوا
د) امکان خارج کردن قطعه

۳) نیازهای فرایند ← الف) حداکثر حجم حبابی
ب) خروج مواد ناخواسته

- ریخته گری در قالب دائم { تحت فشار / بدون فشار

- ریخته گری در قالب یکبار مصرف ← { ریخته گری در ماسه / ریخته گری در پوسته / ریخته گری تعویض

۹۶/۸/۶ - جلسه ۱۲

بسمه تعالی

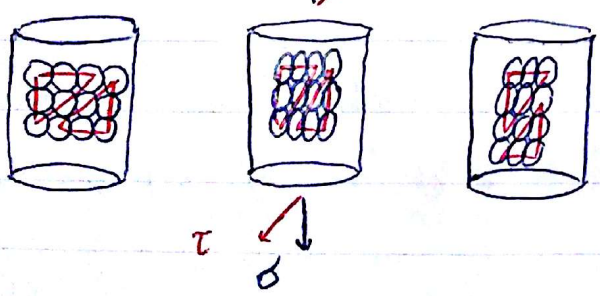
ادامه فصل ششم

بخش زیادی از طراحی = اسکلت

- مکانیزم تغییر شکل پلاستیک

تک کریستال

مؤلفه‌ی برشی .....



لغزش این جا رخ می‌دهد

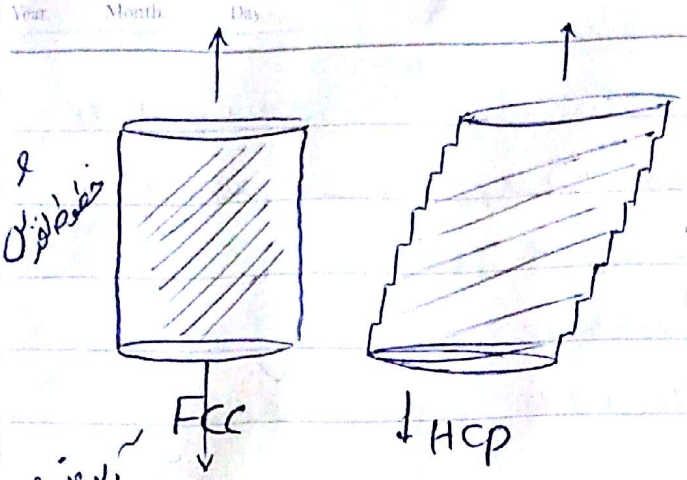
تغییر شکل پلاستیک در اثر لغزش صفحات اتمی تحت اثر تنش‌های برشی ایجاد می‌شود.

به کمک حرکت نابجایی‌ها

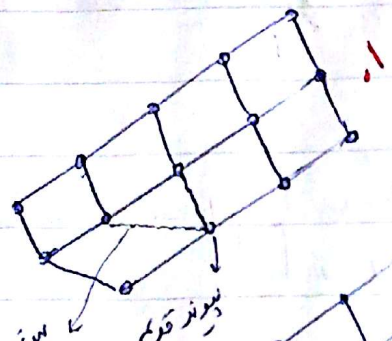
آزاد

↳ توضیح در صفحه‌ی بعد

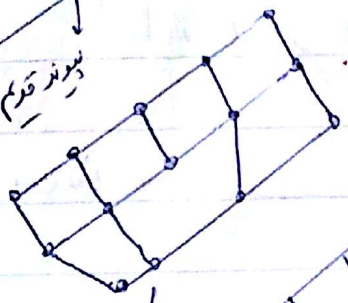
Scanned by CamScanner



ناجایی‌ها در اثر تغییر شکل پلاستیک راه آسان می‌کنند. در نتیجه آلومینیوم برای لغزش کل پیوندهای اتم‌ها قطع گردد و دوباره وصل گردد، باید مثلاً مقاومت فولاد صدهزار برابر آلومینیوم بود که الان هست.

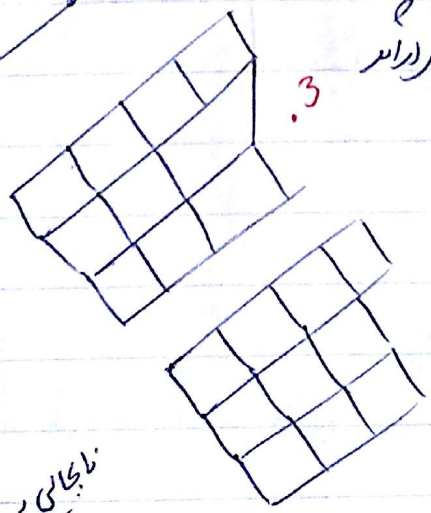


* لغزش صفحات اتمی پله پله است



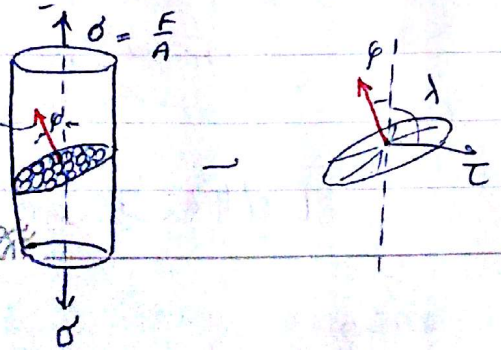
* ناجایی در اثر تغییر شکل پلاستیک به مرز رسیده.

* در یک کریستال میزان ناجایی در حین اعمال تغییر شکل پلاستیک زیاد می‌شود.



همه‌ی صفحات اتمی لغزش ندارند.

جلسه ۱۳ : تغییر شکل پلاستیک عمدتاً به دلیل لغزش صفحات اتمی در اثر تنش‌های برشی با استفاده از حرکت ناجایی‌ها اتفاق می‌افتد.



λ: زاویه‌ی هر بردار با نقطه چین قائم است

$$\tau = \frac{\text{نیروی برشی}}{\text{سطح برش}} = \frac{F\cos\lambda}{\frac{A}{\cos\varphi}} = \sigma \cos\lambda\cos\varphi$$

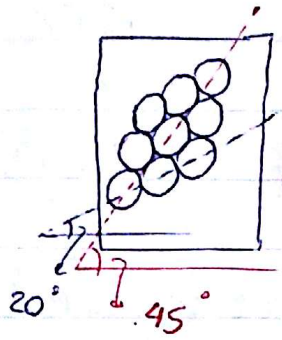
ضریب اشمید

Scanned by CamScanner

τ_c = تنشی که وقتی به این حد برسیم، شروع به لغزش می‌کند

صفحات

if $\varphi, \lambda = 45^\circ$ → بزرگترین ضریب اشمید

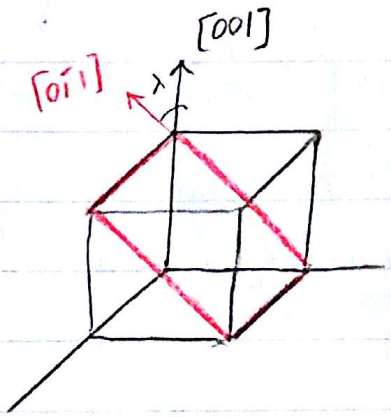


صفحات با تراکم حداکثر راحت‌تر می‌لغزند. ← احتمال لغزش (کوچک τ_c)

جهات با " " " " .

مثلاً 20° الان تراکم بیشتری دارد ولی اتم‌های در راستای 45° تراکم کمتری دارند (ناصلبی بیشتری دارند) و سخت‌تر می‌لغزند τ_c بالاتری دارند.

مثال: در نمونه تک بلوری (FCC)، $\sigma = 14\ MPa$ در امتداد [011] اعمال می‌شود.



چه تنش برشی بر روی صفحه (011) در جهت [01̄1] وارد می‌شود؟

($\tau_c = 13\ MPa$)

$$\tau = 14 \cos 45 \cos 45 = 7\ MPa$$

چه تنش برشی بر روی صفحه (111) در جهت [01̄1] وارد می‌شود؟

($\tau_c = 5.7\ MPa$)

می‌توان برای به دست آوردن زاویه‌ی φ از ضرب داخلی استفاده کرد.

$$(1,1,1)\cdot[0\ 0\ 1] = 1 = \sqrt{3}\cos\varphi \longrightarrow \cos\varphi = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\tau = 14\left(\frac{\sqrt{3}}{3}\right)\left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) = 5.715\ MPa$$

زاویه‌ی λ، 45° است.

در نتیجه τ برای دومی کمتر است و در دومی از تنش بحرانی (τ_c) بیشتر است و تنش ما

Scanned by CamScanner

ساختار	صفحات لغزش	جهات لغزش	تعداد سیستم‌های لغزش	کیفیت سیستم‌های لغزش	خواص مکانیکی
FCC	$\{111\}$	$\langle 1\bar{1}0\rangle$	$4 \times 3 = 12$ (جهت صفحه)	عالی (T_c پایین)	شکل‌پذیری بالا، تنش تسلیم پایین
BCC	$\{110\}$	$\langle \bar{1}11\rangle$	$6 \times 2 = 12$	پایین	شکل‌پذیری متوسط، تنش تسلیم بالا
HCP	$\{0001\}$	$\langle 11\bar{2}0\rangle$	$1 \times 3 = 3$	عالی	ترد، تنش تسلیم متوسط

← همسه سوال امتحانی است ← ضریب الاستیک ← انرژی پیوند ← لحاظ زوب

یعنی برای مقایسه‌ی ضریب الاستیک، باید به لحاظ زوب توجه کنیم.

همان است این‌ها نیز فعال می‌شوند: $\{112\}\langle \bar{1}11\rangle$، $\{123\}$

برای دیدن شکل‌ها به کتاب مراجعه شود.

همان جهات: $\{10\bar{1}0\}$، $\{10\bar{1}1\}$ ← صفحاتی هم هستند.

Scanned by CamScanner

ساختار	صفحات لغزش	جهات لغزش	کمیت سیستم‌های لغزش	کیفیت سیستم‌های لغزش	خواص فلزاتی
FCC	$\{111\}$	$\langle 1\bar{1}0 \rangle$	$4 \times 3 = 12$ (جهت صفحه)	عالی (T_c پایین)	شکل‌پذیری بالا، تنش تسلیم پایین
BCC	$\{110\}$	$\langle \bar{1}11 \rangle$	$6 \times 2 = 12$	پایین	شکل‌پذیری متوسط، تنش تسلیم بالا
HCP	$\{0001\}$	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$1 \times 3 = 3$	عالی	ترد، تنش تسلیم متوسط

(تراکم حداکثر)

همسیر شدن اتمی است ← ضریب الاستیک ← انرژی پیوند ← راه‌های زوب

یعنی برای مقایسه‌ی ضریب الاستیک، باید به راه‌های زوب توجه کنیم.

همین است این‌ها نیز فعال شوند:

$\{112\}\langle \bar{1}11 \rangle$

$\{123\}$

برای دیدن شکل‌ها به کتاب مراجعه شود.

جلسه چهاردهم ۹۶/۸/۱۴

"مبحث تعالی"

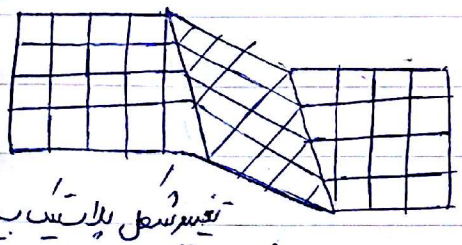
تغییر شکل پلاستیک عمدتاً در اثر لغزش صفحات اتمی با تراکم حداکثر در جهات با تراکم حداکثر (سیستم‌های لغزش)

در اثر تنش‌های برشی و با استفاده از حرکت نابجایی‌ها رخ می‌دهد.

"شکل دوقلویی"

← نیازمند انرژی خیلی بالاتری نسبت به لغزش

از طریق حرکت نابجایی است.



تغییر شکل پلاستیک بسیار خطرناک است.

اما سیستم‌های لغزش جدیدی را فعال می‌کند. یعنی اگر لغزش اثر مستقیم مهمی ندارد ولی اثر غیرمستقیم بسیار مهمی دارد.

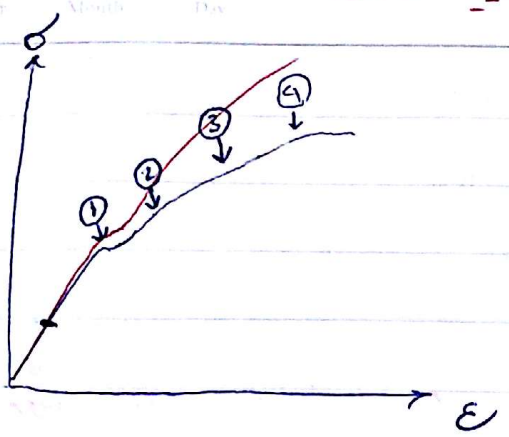
در HCP بیشتر رخ می‌دهد.

در BCC شرط دارد ← سرعت بارگذاری بالا / دماهای پایین (T_c تا نزدیک)

در FCC رخ نمی‌دهد.

Scanned by CamScanner

نمودار بالایی ← چندکریستالی
پایینی ← تک کریستالی



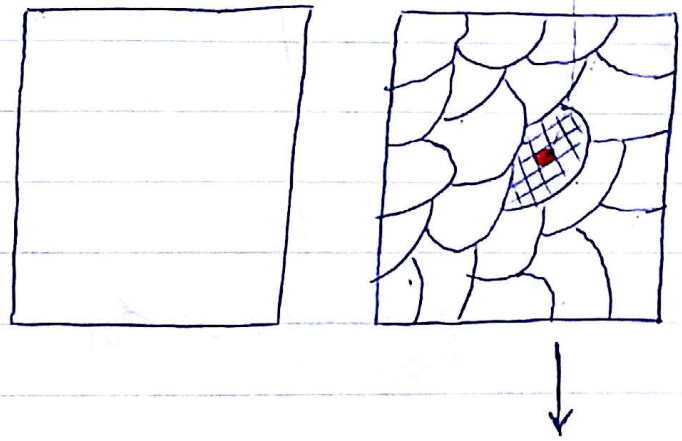
① لغزش صفحات از طریق حرکت نابجایی‌ها ،
سیستم های لغزش با امتداد مناسب

② سیستم های لغزش با امتداد نسبتا مناسب

③ تشکیل دوقلویی (اگر hcp باشد)

④ سیستم های لغزش با امتداد مناسب

نمودار تغییر شکل پلاستیک در فلز چندکریستالی



هرچقدر فلز دانه ریزتر باشد، مقاومتش بیشتر

① وقوع تغییر شکل پلاستیک در فلز چندکریستالی ،
مستلزم فعال شدن همزمان سیستم های لغزش
متعدد در دانه های متعدد است.

- اگر تنش بالا اعمال شود، نابجایی ها انرژی بالایی دارد و می‌تواند وارد دانه‌ی بغلی شود - چون امتداد اتم های دانه‌ی بغل فرق می‌کند ، با ورود نابجایی به آنجا طی عیب جدید ایجاد می‌کند.

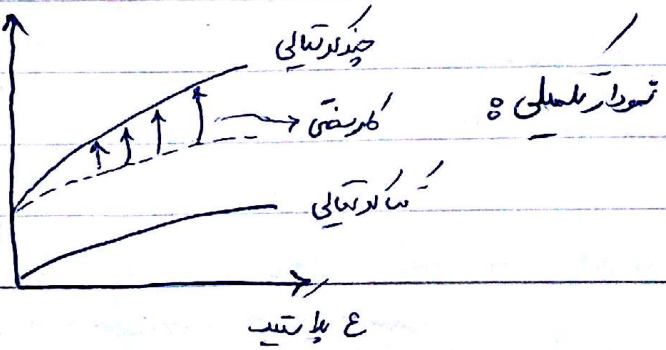
وقوع تغییر شکل پلاستیک در فلز چندکریستالی باعث افزایش تراکم نابجایی ها خواهد شد.

مانع (در مقابل حرکت نابجایی)

- خود نابجایی عیب کریستالی است ولی حرکتش نیاز مند نظم کریستالی است.

مرزدانه

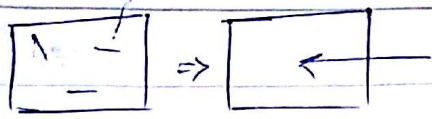
مربوط به روش‌های پایین است



نمودار تحلیلی :

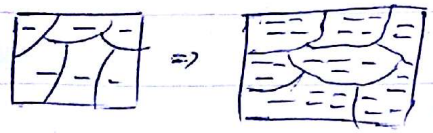
Scanned by CamScanner

Subject: عیوب
Year Month Day



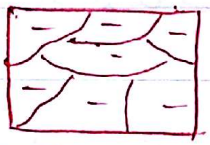
تک کریستالی

σ_{ut} تک کریستالی ص : 55 Mpa
" چند کریستالی : 220 Mpa
" " " 30٪ کارسرد : 330 Mpa



چند کریستالی ⇒ کارسرد

دانه‌ها در جهت اعمال بار کشیده‌تری شوند
و تراکم عیوب و ناپایی‌ها بیشتر می‌شود.



⇒ کارگرم

روش‌های مقاوم‌سازی فلزات

روش‌های ایجاد مانع در مقابل حرکت ناپایی‌ها
1- مرز دانه ← دانه ریز کردن
2- ناپایی‌ها ← انجام کارسرد
3- ناخالصی‌ها

باعث افزایش مقاومت می‌شوند

نواحی با تراکم بالای عیوب کریستالی و ناپایی‌ها و تنش‌های داخلی
⇓
در نهایت شکست در این نواحی رخ می‌دهد.

ادامه:
σ_{ut} ص با 30٪ روی (برنج)
0 درصد کارسرد 320 Mpa
30 " " 500 Mpa

96/8/15 جلسه پانزدهم

بسمه تعالی

ادامه فصل ششم ← بازیافت

انجام کارسرد روی فلز
- دانه بندی فلز جهت دار می‌شود.
- افزایش تراکم ناپایی‌ها و دیگر عیوب کریستالی ← کارسختی
⇓
1- افزایش مقاومت
2- کاهش شکل‌پذیری
3- افزایش تنش‌های داخلی

→ محصول نهایی (I): 1 و 2 و 3 — خوب / متوسط / بد
محصول میانی (II): 1 و 2 و 3 — بد / بد / بد
(تحت کارسرد بیشتر قرار می‌گیرد)

موارد 2 و 3 سعی‌تری می‌شوند برای محصول نهایی مناسب نیستند.

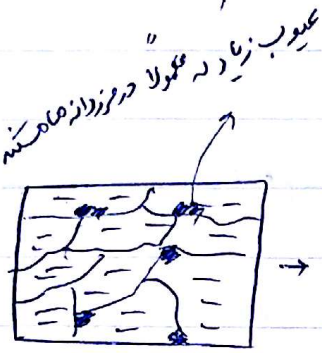
Scanned by CamScanner

Subject
Year Month Day

پس از باز :

محصول نهایی تحت ترمیم تدارک می‌بیند.

محصول میانی تحت تبلور مجدد تدارک می‌بیند.



ترمیم :

دمای کوره (زیر $\frac{1}{3}$ دمای ذوب مطلق)

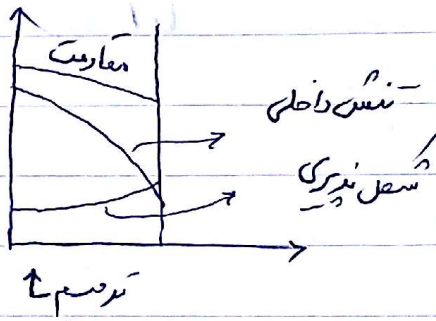
بدلیل همین انرژی حرارتی :

- اتم‌ها نشستی در تهی‌جای‌ها قرار می‌گیرند.
- ناجایی‌های معیوب همدیگر را کامل می‌کنند
- انتقال عیوب کریستالی و ناجایی‌ها به مرزدانه‌ها
- ایجاد شبه مرزدانه از توده‌های ناجایی‌ها

= کاهش عیوب کریستالی مرزدانه‌ها

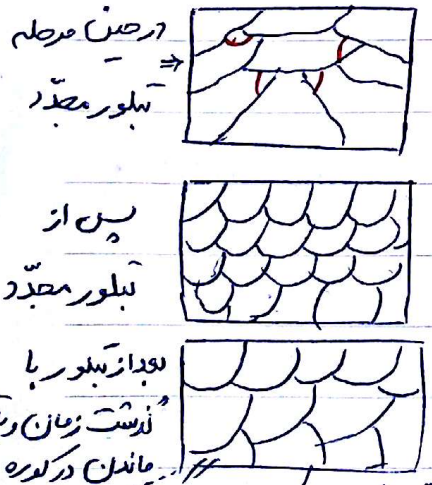
کاهش عیوب درونداخلی با تراکم بالای عیوب (تنش‌های داخلی تخلیه می‌شوند)

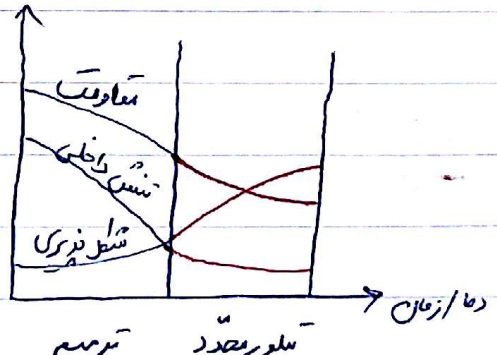
نکته‌ی مهم در کاهش چشمگیر تنش‌های داخلی در عملیات ترمیم است.



تبلور مجدد : (دمای کوره بالای $\frac{1}{3}$)

در این حالت چون دما خیلی بالاست، انرژی اتم‌ها تقریبا نزدیک انرژی اتم‌های فداب است. اتم‌ها شروع به جستن می‌کنند و جوانه‌های جدید ایجاد می‌کنند.





پس از تبلور مجدد قطعه دقیقا به همان مقاومت و تنش و شکل‌پذیری اولیه (قبل از کار) برمی‌گردد.

پس از تبلور مجدد با گذشت زمان دانه‌های ریز توسط درشت‌ها مصرف می‌شوند و ماده دانه درشت می‌شود.

Scanned by CamScanner

کار = تغییر شکل پلاستیک

عوامل مؤثر بر تبلور مجدد

$$\text{Rate of Reaction} = ce^{\frac{-Q}{RT}}$$

$$t = ce^{\frac{Q}{RT}}$$

۱- دما (و زمان)

۲- میزان کارسرد انجام شده روی فلز ← میزان کارسرد بیشتر ← دمای پایین‌تر و دانه‌بندی ریزتر

* اگر کارسرد روی فلز انجام نشده باشد، انرژی کافی برای تبلور وجود نخواهد داشت.

۳- دانه‌بندی فلز اولیه ← اگر فلز دانه ریزتر باشد، اتم‌های پرانرژی بیشتری دارد ← تبلور مجدد راحت‌تر رخ می‌دهد (دمای پایین‌تر و زمان کوتاه‌تر)

۴- وجود ناخالصی ← هرچه بیشتر باشد، سطح انرژی را بالاتر برند **امّا** باعث می‌شوند رشد جوانه‌ها سخت‌تر شود. پس به دمای بالاتر و زمان طولانی‌تر نیاز داریم.

---

* طرح کلی کار این است که دمای بالاتر از $\frac{1}{3}$ نقطه ذوب فلز رخ می‌دهد. به دلیل دمای بالا، اثرات کارسرد را خنثی می‌کند. (در آن عملاً کار سختی رخ نمی‌دهد)

* طرح کلی همزمان و همواره خوردن تبلور مجدد رخ می‌دهد و همه اثر را خنثی می‌کند.

نیکل	آهن	مس	آلومینیم	روی	قلع	سرب
600°C	450°	200°	200°	محیط	محیط	محیط

* فلزاتی چون روی، قلع و سرب اگر در دمای محیط روی آنان کار انجام دهیم، این کار، کار گرم است.

فصل هفتم - شکست ملزات

failure واماندگی: ناپایداری در اجرای عملکرد مورد انتظار

" " " " " "

- ایمن زایی
- طراحی

عملکرد مورد انتظار

واماندگی مکانیکی:

- تسلیم
- سائیش
- کاشش
- شکست