Subject: ساختار و عیوب

Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۱۰ (۱)

مراجع:

۱ـ آشنایی با نابجایی (اکرامی) introduction to dislocation

۲ـ تغییر شکل و مکانیک شکست مواد و آلیاژهای مهندسی (اکرامی) Deformation and fracture michanics ~~Metallurgy dieter~~ of Engineering

۳ـ متالورژی مکانیکی (دیتر) Mechanical Metallorgy dieter

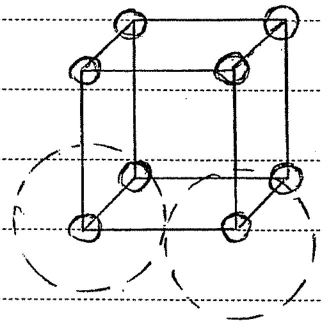
۴ـ plastic deformation Honeycombe

۵ـ Mechanical behavior of Materials

ساختار بلوری:

ساده‌ترین ساختار مکعبی (cubic) می‌باشد

1. s.c



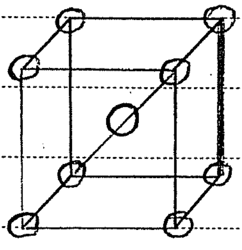
⟨۱00⟩

$a=۲R$

$۸\times ۱/۸ = ۱$ atom in u.c

$$P.F = \frac{\text{حجم اتمی}}{\text{حجم کل u.c}} = ۰/۵۴$$

2. bcc



⟨۱۱۱⟩

$a\sqrt{۳} = ۴R$

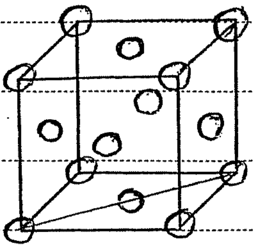
$۸\times ۱/۸ + ۱ = ۲$ atom in u.c

$P.F = ۰/۶۸$

Subject: ساختارها، صفحات و جهات

Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۱۰ (۲)

3. fcc



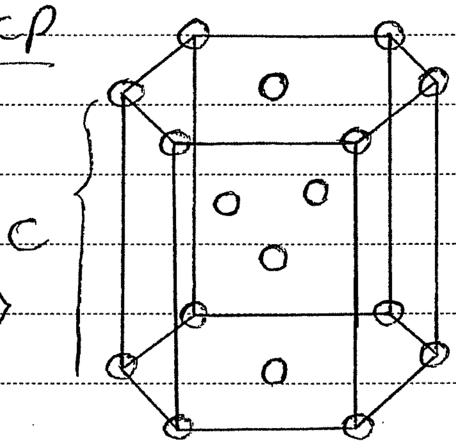
$8\times\frac{1}{8}+6\times\frac{1}{2}=4$ atom in u.c

$\langle 110\rangle$

$a\sqrt{2}=4R$

$P.F=0/74$

4. hcp



$12\times\frac{1}{6}+2\times\frac{1}{2}+3=6$ atom in u.c

$P.F=0/74$

$\langle 11\bar{2}0\rangle$

$a=2R$

$c/a\simeq 1/57$

جهات و صفحات :

مجموعه جهات را با < > نمایش داده و یک جهت خاص را با [ ] نشان می دهند بطور مثال مجموعه جهات ⟨۱۰۰⟩ و جهت [۱۰۰] .

مجموعه صفحات را با { } نمایش داده و یک صفحه خاص را با ( ) نمایش می دهند بطور مثال مجموعه ~~[illegible]~~ صفحات {۱۱۱} و ~~[illegible]~~ صفحه (۱۱۱) .

برای hcp :

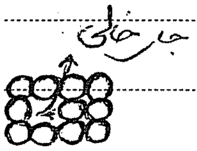
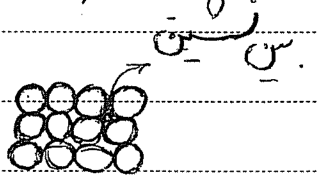
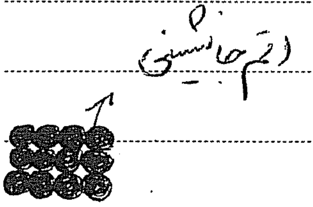
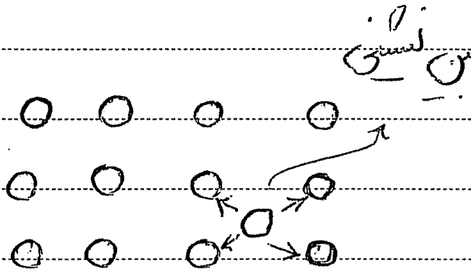
$hkil \Longrightarrow i=-(h+k)$

Lattic deffects — نواقص شبکه :

۱- نقص نقطه‌ای → نقص ذاتی (خودی) / نقص خارجی

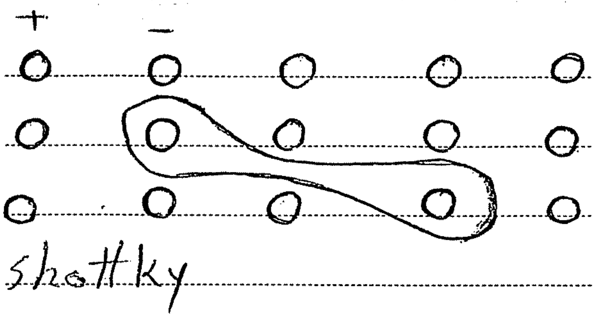
نواقص → نقص نقطه‌ای / نقص شبکه‌ای

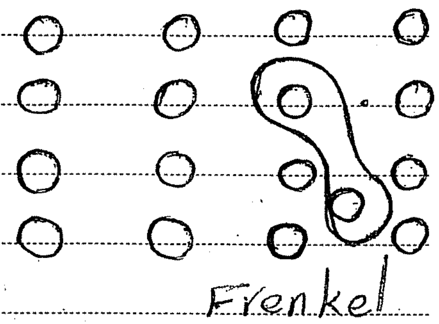
۲- نقص شبکه‌ای → نقص خطی / نقص سطحی / نقص حجمی

~~~

نقص نقطه‌ای :

به نقصی گفته می‌شود که انحراف آن از حالت ایده‌آل در محدوده چند اتم باشد.





نقص ذاتی (خودی) → جای خالی / اتم بین نشین خودی





نقص خارجی → اتم جانشین / اتم بین نشین

vacancy انرژی تشکیل

$$n = N e^{-\frac{E_f}{kT}}$$

T → دما

k → ثابت بولتزمن

n ↓ مقدار جای خالی — تعداد کل جای اتمی جا

نقص در شبکه یونی → شاتکی (shottky): نبود یک یون مثبت و یک یون منفی.
→ فرنکل (Frenkel): نبودن یک یون و بودن آن در جای دیگر بصورت بین نشین.
~~~

Subject: نواقص شبکه

Year. ۸۵ Month. ۳ Date. ۱۰ (۴)

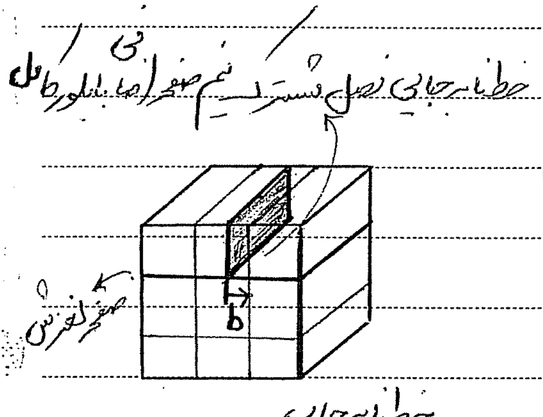




روش‌های تشکیل نواقص نقطه‌ای ← درحین ساختن (ذوب یا انجماد)
← تغییر شکل پلاستیک

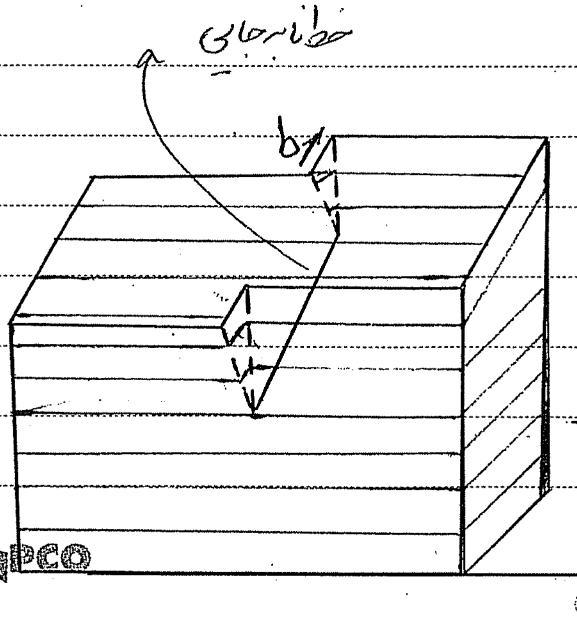
* * *

نقص شبکه‌ای ← نقص خطی ← نابجایی ساده (لبه‌ای یا پله‌ای)
← نابجایی پیچی
← نابجایی مخلوط


خط نابجایی (محل فصل مشترک نیم صفحه اضافی با بلور کامل)
صفحه لغزش
b

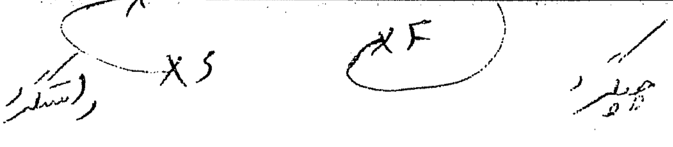
نابجایی ساده:

← اگر نیم صفحه اضافی بالای صفحه لغزش بود نابجایی مثبت (⊥) و اگر پایین صفحه لغزش بود نابجایی منفی (⊤) است.


خط نابجایی
b

نابجایی پیچی:

برای تشخیص راستگرد و چپگرد بودن نابجایی با رسم بردار برگرز در جهت عقربه ساعت و در اطراف خط نابجایی چنانچه نقطه خاتمه یک صفحه نسبت به داخل پیشرفت کرده بود نابجایی راستگرد و چنانچه به سمت خارج پیشرفت کرده بود (به اندازه یک فاصله اتمی) چپگرد می‌نامیم.


xF
Sx
XS
xF
راستگرد
چپگرد

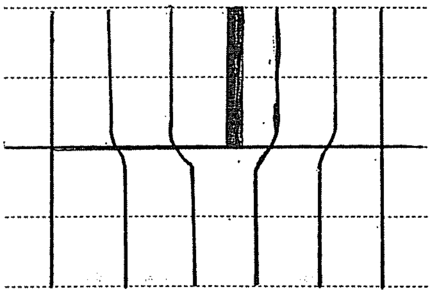
Subject: نواقص شبکه

Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۱۰ ۵

بردار برگرز:

فاصله اتمی در جهت حرکت نابجایی را بردار برگرز می گویند.

ساده:



خط نابجایی و بردار برگرز برهم عمود هستند.

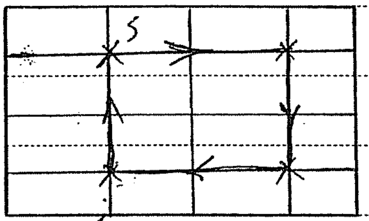
جهت حرکت نابجایی با بردار برگرز یکسان است.

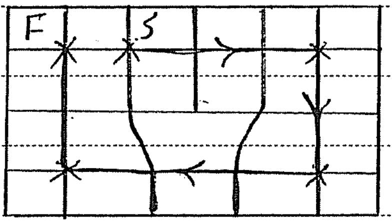
پیچی:

خط نابجایی و بردار برگرز با هم موازیند.

جهت حرکت خط نابجایی عمود بر بردار برگرز است.

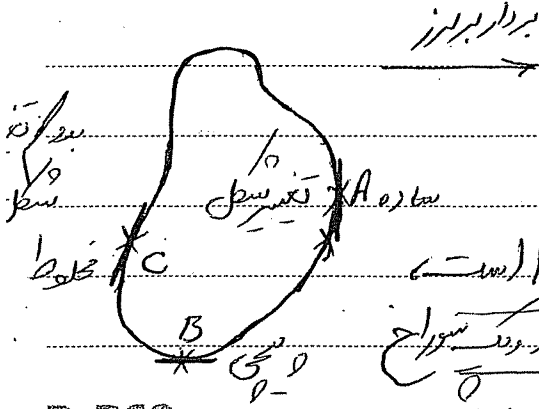
مدار برگرز:





به دلیل وجود نابجایی نقطه شروع و پایان یکی نشده است. — نقصی وجود ندارد زیرا نقطه شروع و پایان یکی است

بردار که نقطه خاتمه را به شروع متصل می کند بردار برگرز است و یا به عبارتی برداری که باعث تکمیل مدار شود.



نابجایی مخلوط:

نابجایی که نه ساده و نه پیچی باشد.

روشهای مختلفی برای دیدن نابجایی وجود دارد که یکی از آنها روش H است

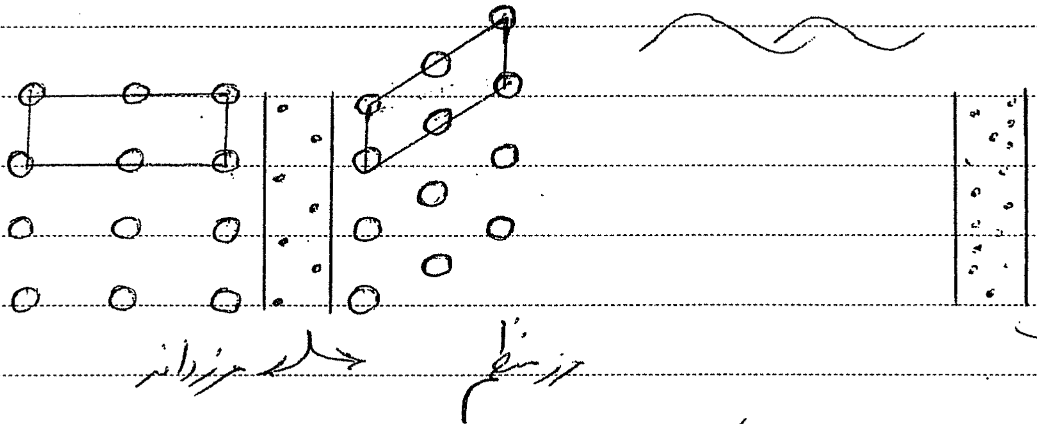
در روش دیگر ماده را آنقدر نازک می کنیم که الکترون و نور از آن عبور کند و یک سوراخ کوچک در آن ایجاد می شود که در اطراف آن سوراخ نابجایی مشاهده می شود.

نواقص شبکه

Subject:
Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۱۰ (۶)

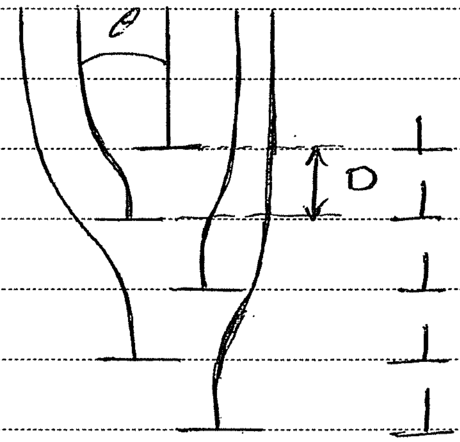
نقص شبکه ای ← عیوب سطحی ←
- مرز دانه
- مرز دوقلویی
- نقص در چیدن صفحات اتمی
- سطوح آزاد

مرز دانه:


مرز دانه
مرز منظم
مرز نامنظم

۱- مرز دانه ← فرعی: مرز کم زاویه ← اگر اختلاف آرایش اتمی کمتر از ۵ تا ۱۰ درجه باشد.
اصلی: مرز پر زاویه ← اگر اختلاف آرایش اتمی بیش از ۵ تا ۱۰ درجه باشد.

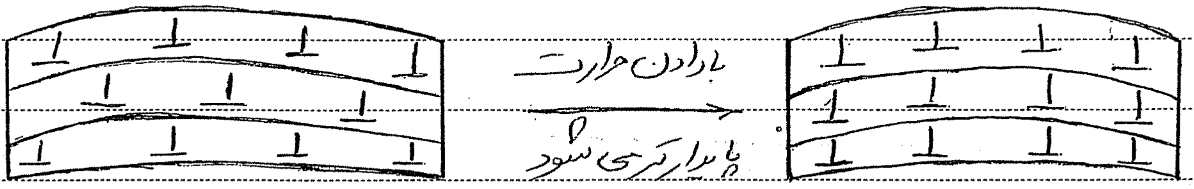
مرز پر زاویه ← برای دیدن آن باید ماده را پولیش کرده، H کرده و زیر میکروسکوپ آن را ببینیم.



مرز کم زاویه ← بصورت روبرو دیده می شود.

۱- آرایه ای از نابجایی است

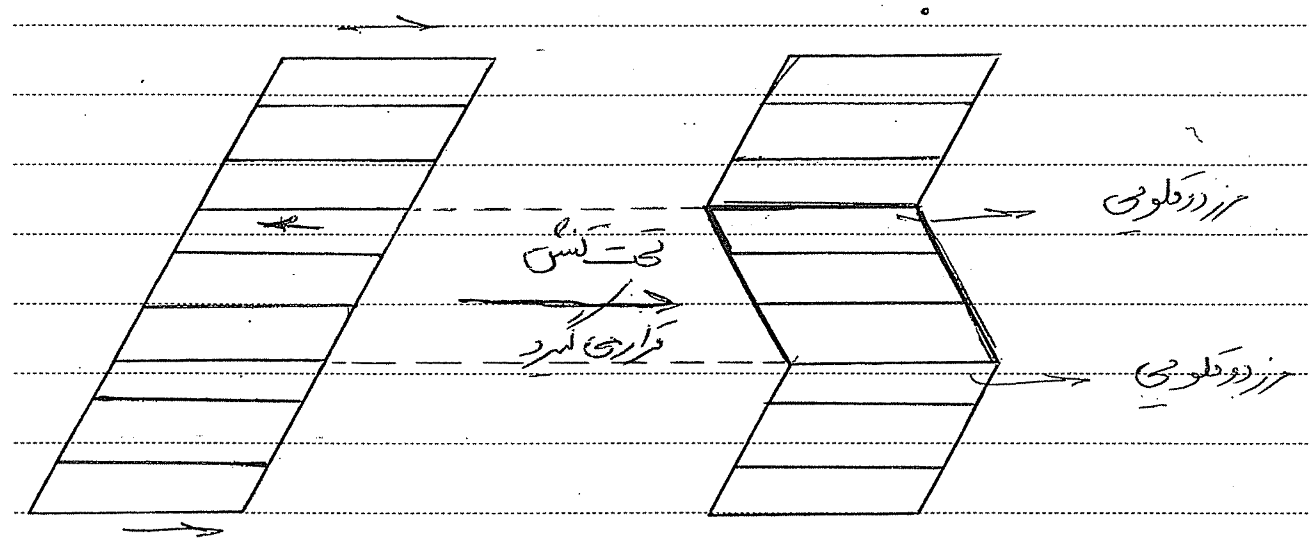
$$D = \frac{b}{\theta}$$


با دادن حرارت
پایدارتر می شود

Subject: نواقص شبکه

Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۱۰ (۷)

مرز دوقلویی:


تحت کشش
قرار می‌گیرد
مرز دوقلویی
مرز دوقلویی

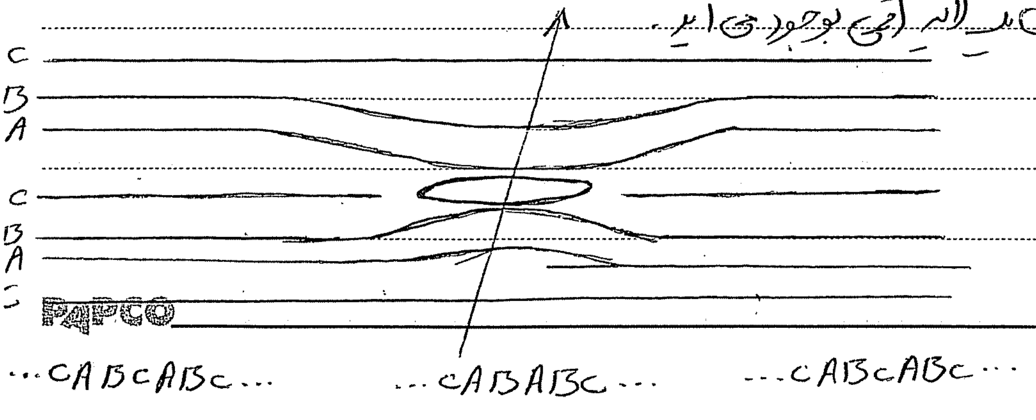
- اگر اتمها در یکسطر بصورتی جابجا شوند که تصویر آینه‌ای اتمها در قسمت تغییر شکل یافته باشند دوقلویی می‌نامیم.

- صفحه‌ای که جابجایی اتمها روی آن انجام می‌شود صفحه دوقلویی می‌نامیم، تصویر صفحه در زیر میکروسکوپ بصورت یک خط مشخص می‌شود که مرز دوقلویی نام دارد.

- مرز دوقلویی در زیر میکروسکوپ بصورت دو خط موازی است.

نقص یا خطای چیدن (انباشتگی) ← نواقص ذاتی (داخلی) { در fcc: دوقلویی می‌کند / در hcp: fcc می‌کند
↙ نواقص خارجی ← در fcc: hcp می‌کند.

نقص ذاتی: در اثر حذف شدن یک لایه اتمی بوجود می‌آید.

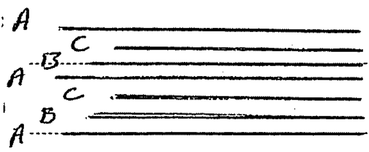

C
B
A
C
B
A
...CABCABC...
...CABABC...
...CABCABC...

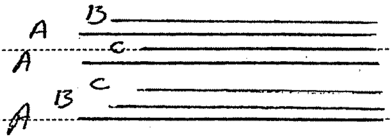
Subject: نواقص شبکه

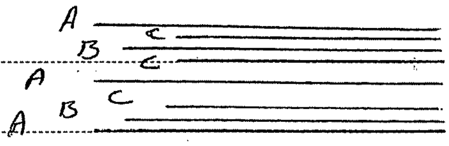
Year. ۸۵ Month. ۲ Date. ۱۷ (۸)

← نقص ذاتی (خودی یا داخلی) معمولاً در اثر لغزش ممکن است ایجاد شود.

در fcc :   A → B ⇒ B → C ⇒ C → A







...ABCABCA...   ....ABCACAB...   ...ABCACBCA...

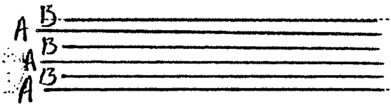
hcp

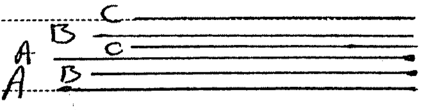
← اگر صفحه لغزش جابجا شود صفحات به صورت بالا با یکدیگر تعویض می گردند. (شکل ۲)

← در شکل (۳) صفحه (C) صفحه لغزش است و در آن حالت دوقلویی ایجاد شده است.

[ACBCA] → صفحه دوقلویی

در hcp :

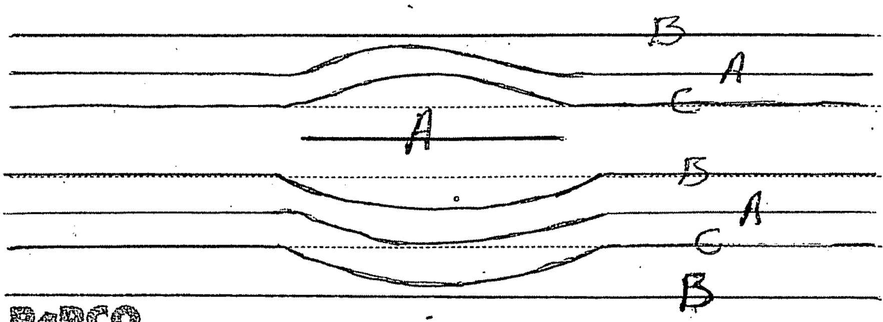




...ABABAB...   ...ABACBC...

fcc

نقص خارجی: با اضافه شدن یک لایه اتمی بوجود می آید.

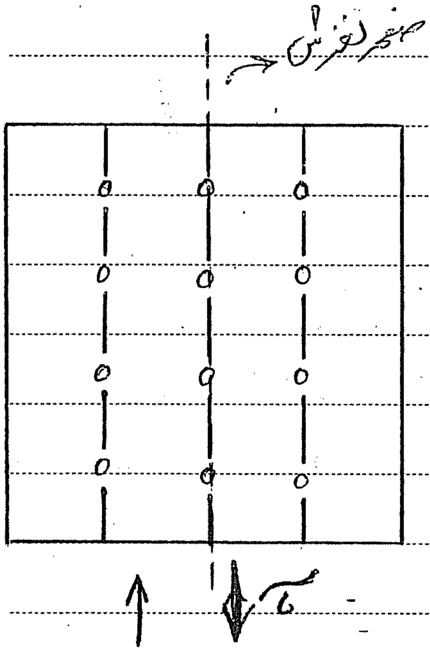


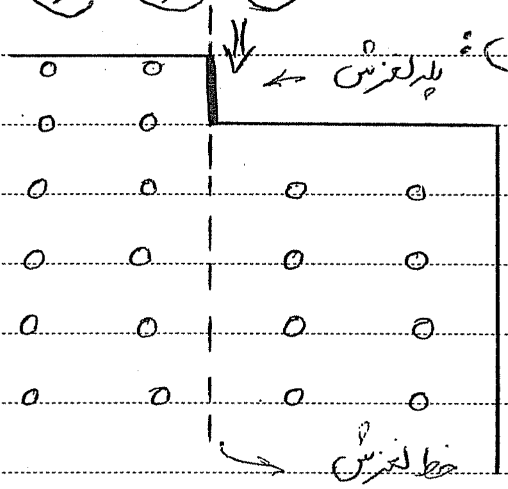
...ABCABACABC...

نقص شکل ← نقص حجمی :

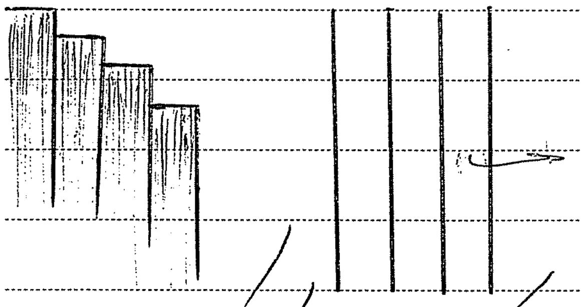
مانند حفره‌ها، ترک‌ها و ... که اینها معمولاً یا در حین ساخت و یا در حین تغییر شکل پلاستیک بوجود می‌آید.

تغییر فرم بوسیله لغزش :





تصویر پله لغزش توسط میکروسکوپ از بالا به صورت خطی است که خط لغزش نام دارد.



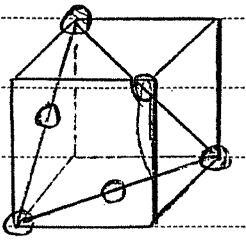
دیگر این پله‌ها افزایش یابد تعداد پله‌های لغزش افزایش یافته و وقتی از بالا نگاه کنیم به صورت خطوطی موازی دیده شده که باند لغزش نام دارد.

خطوط لغزش ممکن است صاف یا منحنی وار یا زیگزاگ باشند. (در fcc و hcp صاف / در bcc موجدار)

معمولاً لغزش در یک جهت خاص که اتم‌ها کمترین فاصله را دارند که جهت لغزش نام دارد و همچنین در یک صفحه خاص که صفحه لغزش نام دارد اتفاق می‌افتد.
← جهت متراکم

به یک صفحه لغزش و یک جهت لغزش، سیستم لغزش گفته می‌شود.

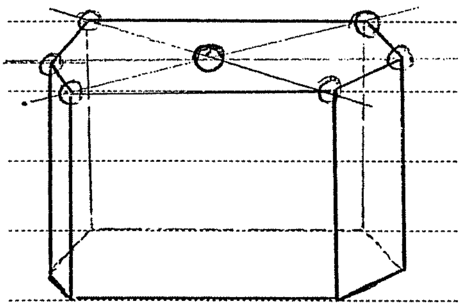
Subject: لغزش
Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۱۷ (۱۵)



لغزش در fcc:

- (۱۱۱) که صفحه متراکم fcc.
- {۱۱۰} که جهت متراکم fcc (روی صفحه).

- در حالت fcc ۴×۳=۱۲ سیستم لغزش وجود دارد.



لغزش در hcp:

- صفحه متراکم قاعده بالا و پایین است.
- در حالت hcp ۳ سیستم لغزش وجود دارد.

لغزش در bcc:

در bcc صفحاتی که لغزش در آنها دیده شده {۱۲۳} و {۱۱۲}، {۱۱۰} است ولی جهت متراکم در آن <۱۱۱> است، در bcc ۴۸ سیستم لغزش وجود دارد.

نوع صفحه	hoo	hhh	hho	hhl	hk0	hkl
تعداد صفحات مشابه	۶	۸	۱۲	۲۴	۲۴	۴۸

✓

N_s: تعداد سیستم‌های لغزش
N_p: تعداد صفحات مشابه
N_d: تعداد جهات مشابه

$$N_s = \frac{1}{2} N_p \cdot N_d \quad ✓$$

فاصله بین صفحات مشابه
a_0: پارامتر شبکه (فاصله اتمی)

$$d = \frac{a_0}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}$$

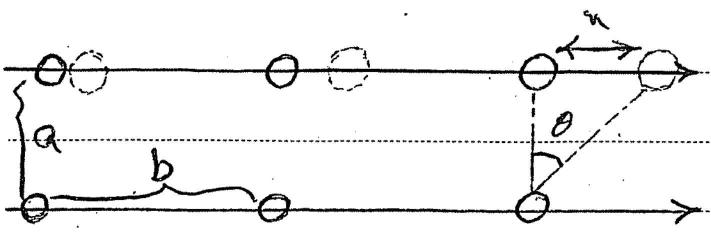
زاویه بین صفحات مشابه:

$$A \cdot B = |A||B| \cos\alpha \Rightarrow \cos\alpha = \frac{x_1x_2+y_1y_2+z_1z_2}{\sqrt{x_1^2+y_1^2+z_1^2} \cdot \sqrt{x_2^2+y_2^2+z_2^2}}$$

لغزش

Subject:
Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۱۷ (۱۱)

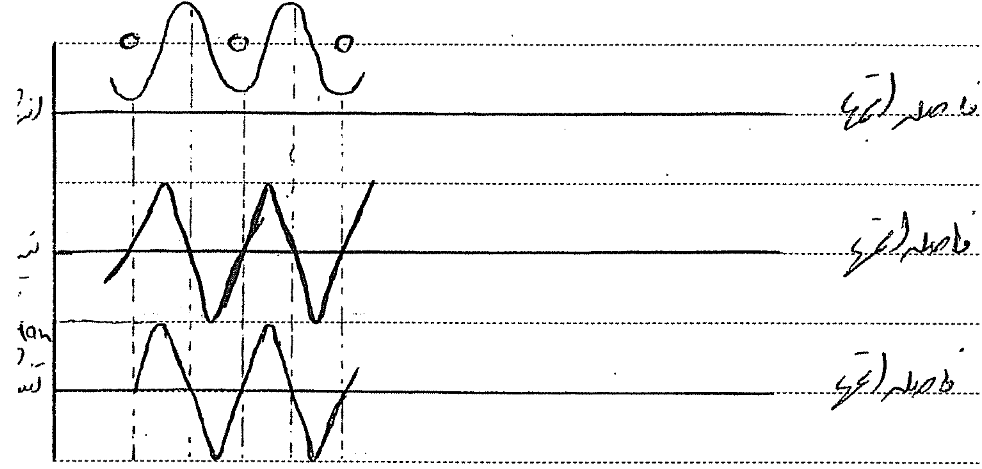
لغزش در شبکه کامل: (بدون نابجایی)



a : فاصله صفحات اتمی.

b : فاصله اتمی در صفحه لغزش.

نیرو = d(انرژی)



$$\tilde{\tau} = \tilde{\tau}_{Max} \sin\frac{2\pi x}{b} \quad , \sin\frac{2\pi x}{b} \longrightarrow 0$$

$$\Longrightarrow \tilde{\tau} = \tilde{\tau}_{Max} \cdot \frac{2\pi x}{b} \Longrightarrow \begin{cases} G\gamma = \tilde{\tau}_{Max} \cdot \frac{2\pi x}{b} \\ \gamma = \tan\theta = \frac{x}{a} \end{cases} \Longrightarrow \begin{cases} G\frac{x}{a} = \tilde{\tau}_{Max} \cdot \frac{2\pi x}{b} \\ \tilde{\tau}_{Max} = \frac{G}{2\pi} \cdot \frac{b}{a} \end{cases}$$

$$\text{if } b = a \Longrightarrow \tilde{\tau}_{Max} = \frac{G}{2\pi} \simeq \frac{G}{7}$$ ⟵ درحالت غیرسینوسی

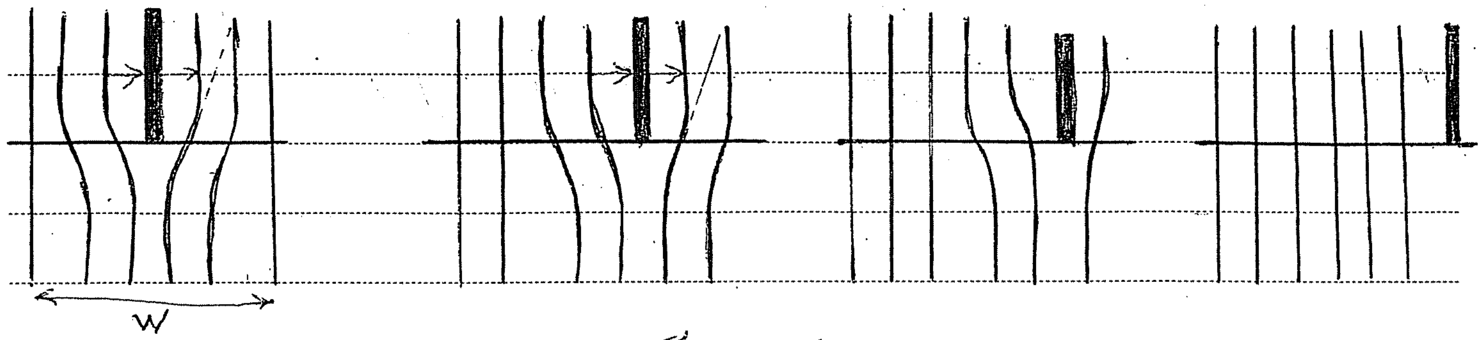
$$\tilde{\tau}_{Max} = \frac{G}{10}$$ ⟵ اگر در یک بلور کامل رخ می‌دهد و حالت سینوسی را در نظر بگیریم که مقدار بزرگی است.

درحالت سینوسی

نکته: در حالی که می‌بینیم تنش در عمل برای تغییر شکل مواد مقدار کمی است و $\frac{G}{10}$ بسیار بزرگ است به دلیل وجود نواقص ساختاری می‌باشد.

لغزش بوسیله حرکت نابه‌جایی:

مکانیزم حرکت نابه‌جایی در اثر ایجاد تنش یا نیرو.



(محدوده‌ای که در آن اتم‌ها جا عوض کرده‌اند عرض نابجایی)

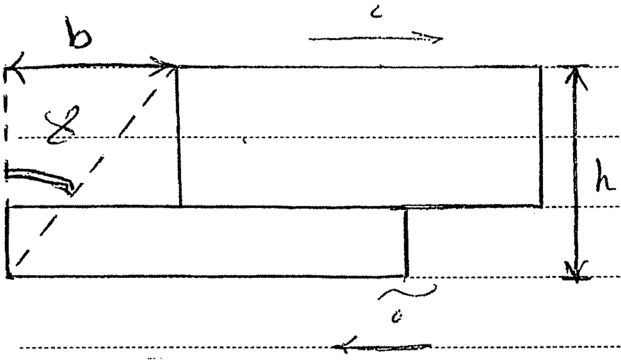
$$\tau_p = \frac{2G}{1-\nu} e^{-\frac{2\pi W}{b}} \longrightarrow \frac{2G}{1-\nu} e^{\frac{-2\pi a}{(1-\nu)b}}$$

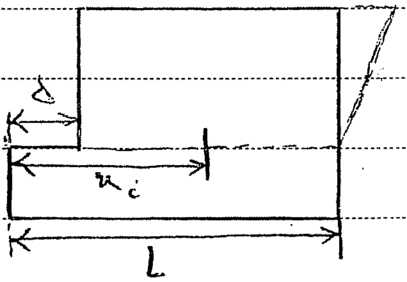
ν ضریب پواسون

$۰/۲۵ < \nu < ۰/۷$

W در مورد فلزات حدود ۱۰ فاصله اتمی است و در سرامیک خیلی کم است و W در حالت الاستیک حدود صفر است.

$$\tau_p = \frac{2G}{1-\nu} e^{-20\pi} \ll \frac{G}{10}$$





$$\gamma = \frac{b}{h}$$

$$L \longrightarrow b$$

$$x_i \longrightarrow \delta = \frac{b}{L} x_i$$

$$\Delta = \sum \delta_i = \frac{b}{L} \sum_{i=1}^{N} x_i$$

$$\gamma = \frac{\Delta}{h} = \frac{b}{hL} \sum_{i=1}^{N} x_i$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i}{N}$$

Subject: تنش برشی بحرانی

Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۲۲ (۱۳)

$$\gamma = \frac{bN\bar{x}}{hL} \Rightarrow \gamma = b\rho\bar{x}$$

چگالی نابجایی

$$\frac{d\gamma}{dt} \Rightarrow \dot{\gamma} = b\rho\bar{v} \Rightarrow \boxed{\dot{\varepsilon} = b\rho\bar{v}}$$

سرعت حرکت نابجایی

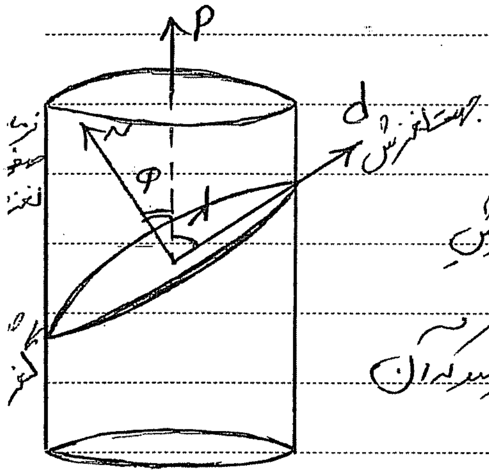
آهنگ تغییر شکل

$$\rho = \frac{N}{hl} \quad , \quad \rho = \frac{\text{مجموع طول خطوط نابجایی}}{\text{حجم}}$$

$$\boxed{v = k\tau^m}$$

m و k ثابت است

تنش برشی لازم برای لغزش (قانون اشمید schmid)



میزان تغییر شکل (لغزش) در یک بلور بستگی به میزان تنش برشی ایجاد شده در صفحه لغزش، شکل هندسی، ساختار بلورین و جهت صفحه لغزش اعمالی دارد.

لغزش وقتی شروع می شود که تنش برشی در صفحه لغزش به حد معینی برسد که آن را تنش برشی بحرانی می نامند.

میزان تنش برشی بحرانی بستگی به ترکیب شیمیایی، دما و نواقص دارد.

برای محاسبه تنش برشی از فرمولهای زیر می توان استفاده نمود.

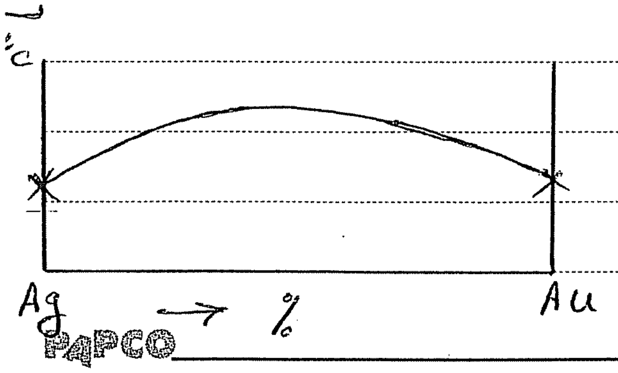
$$\tau = \frac{P\cos\lambda}{A/\cos\varphi} = \frac{P}{A}\cos\varphi\cos\lambda = \sigma\cos\varphi\cos\lambda$$

مساحت صفحه لغزش

$$\Rightarrow \tau = \sigma\cos\varphi\cos\lambda$$

$$\text{if } \varphi = \lambda = 45^\circ \Rightarrow \tau_{Max} = \frac{1}{2}\sigma$$

تنش برشی بحرانی:



$$\tau = \sigma\cos\varphi\cos\lambda$$

تنش برشی بحرانی

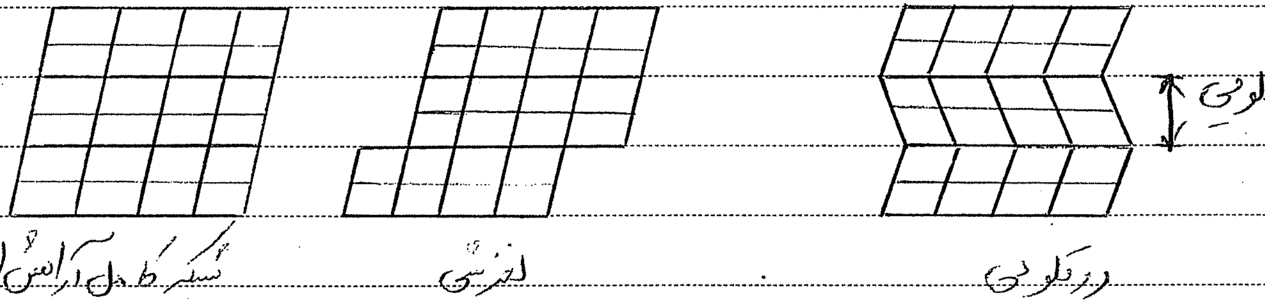
Subject:
Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۲۲ (۱۴)

یکی از پارامترهایی که بر تنش برشی بحرانی تأثیر گذار است عناصر آلیاژی هستند و با افزایش عناصر آلیاژی تنش برشی بحرانی افزایش می یابد.

ناخالصی بیشتر باعث می شوند تنش برشی بحرانی افزایش یابد و همچنین با افزایش دما تنش برشی بحرانی کاهش می یابد، چگالی یا درصد نواقص نیز در این تنش تأثیر گذار است.

با وجود نواقص در شبکه کامل تنش برشی بحرانی نسبت به تنش برشی بحرانی شبکه کامل کاهش یافته اما با افزایش چگالی نواقص تنش برشی بحرانی افزایش می یابد.

تغییر فرم توسط دوقلویی (پلاستیک):



دوقلویی در صفحات خاص و در جهات خاص کریستالوگرافی اتفاق می افتد.

به عنوان مثال:

در fcc در صفحات {۱۱۱} و در جهات <۱۱۲>.
در bcc در صفحات {۱۱۲} و در جهات <۱۱۱>.
در hcp در صفحات $\{10\bar{1}2\}$ و در جهت $\langle\bar{1}011\rangle$.
مشاهده می شود مانند روی (Zn) و کادمیوم (Cd).

دوقلویی زمانی رخ می دهد که تنش برشی بحرانی به دلایلی افزایش یابد.

دو نوع دوقلویی داریم :

۱ـ دوقلویی مکانیکی (تغییر شکل) : دوقلوییهایی که در حین تغییر شکل پلاستیک بوجود می‌آید .

۲ـ دوقلویی حرارتی (آنیل) : برای تشکیل این دوقلوییها ابتدا تغییر شکل پلاستیک نیاز داریم و سپس حرارت .

اختلاف بین شکل دوقلویی و لغزشی :

۱ـ اولین اختلاف در آرایش اتمی است، در لغزش تغییر شکل آرایش اتمی قبل و بعد از لغزش یکسان است اما در دوقلوییها در قبل و بعد در آرایش اتمی تغییر پیدا شده است .

۲ـ در تغییر شکل توسط لغزش حرکت اتمی مضرب صحیحی از فاصله اتمی است و در دوقلوییها تغییر شکل کسری از فاصله اتمی است و با فاصله از صفحه دوقلویی افزایش می‌یابد .

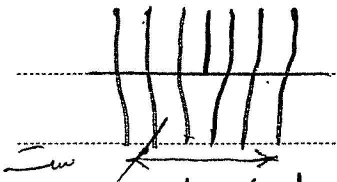
۳ـ در تغییر فرم توسط لغزش، لغزش در صفحاتی که فاصله آنها زیاد است انجام می‌شود اما در دوقلویی تمام صفحات منطقه دوقلویی در تغییر شکل شرکت می‌کنند .

چند نکته :

ـ زمان تشکیل لغزش معمولاً در حد چند میلی ثانیه است اما تغییر فرم توسط دوقلویی در حد میکرو ثانیه است

ـ معمولاً تشکیل دوقلویی همراه با صدای خفیفی است . (فریاد قلع)

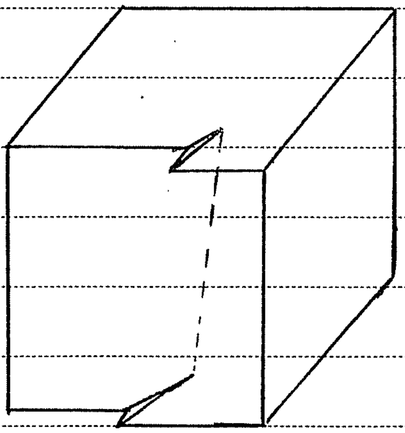
ـ معمولاً تغییر فرم توسط دوقلویی نسبت به لغزش توسط حرکت نابجاییها خیلی کمتر است اما تغییر شکل توسط دوقلویی ممکن است آرایش اتمی را طوری تغییر دهد که لغزش توسط نابجاییها راحت‌تر صورت گیرد .

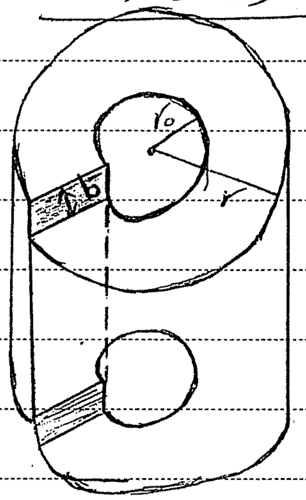


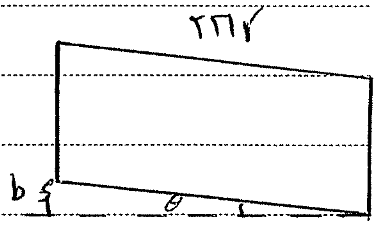
تئوری نابجایی‌ها:

میدان تنش و انرژی نابجایی:

در اثر ورود نابجایی به شبکه یک میدان تنش بوجود می‌آید که این میدان تنش از نوع الاستیک است که تأثیر در خواص مکانیکی مواد خواهد داشت.







$$\gamma = \tan\theta = \frac{b}{2\pi r}$$

$$\tau = G\gamma \Longrightarrow \boxed{\tau = \frac{Gb}{2\pi r}}$$

میدان تنش در اطراف هسته نابجایی

انرژی نابجایی:

$$\frac{dE}{dV} = \frac{1}{2}\tau\gamma = \frac{1}{2}G\gamma\gamma = \frac{1}{2}G\gamma^2$$

$$V = \pi r^2 l \longrightarrow dV = 2\pi r l\, dr$$

$$\longrightarrow dE = 2\pi r l \frac{Gb^2}{8\pi^2 r^2} dr \longrightarrow dE = \frac{lGb^2}{4\pi}\frac{dr}{r}$$

$$\longrightarrow \underset{\text{E کل}}{E} = \int_{r_0}^{r} dE = \underset{\text{E هسته نابجایی}}{\frac{lGb^2}{4\pi}} \ln\frac{r}{r_0}$$

$$E_t = E + E_c \longrightarrow \underset{\text{انرژی هسته نابجایی}}{E_c} \simeq \frac{1}{15}\underset{\text{انرژی کل}}{E_t}$$

Subject: نیروی وارد بر نابجایی

Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۲۲ (۱۷)

$$E_\perp = E = \frac{lGb^2}{4\pi}\ln\frac{r}{r_0} \longrightarrow \frac{E}{l} = \underbrace{\frac{Gb^2}{4\pi}\ln\frac{r}{r_0}}_{\to\alpha}$$ پیچی

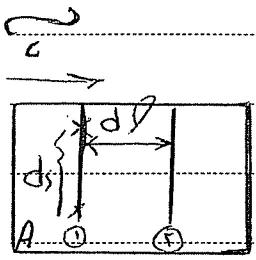
$$\frac{E}{l} = \frac{Gb^2}{4\pi(1-\nu)}\ln\frac{r}{r_0}$$ ساده (لبه‌ای)

محدوده‌ای به شعاع r_0 به عنوان هسته نابجایی اطلاق می‌شود.

$$\Longrightarrow \frac{E}{l} = \alpha G b^2$$

✓ انرژی نابجایی ساده تقریباً ۱٫۵ برابر نابجایی پیچی است.

نیروی وارد بر نابجایی:



A b

$ds.dl$: ۹۸ $= \dfrac{ds.dl.b}{A}$ ← میزان جابجایی شکل نسبت به حرکت نابجایی به اندازه $dsdl$

$F = \tau . A$

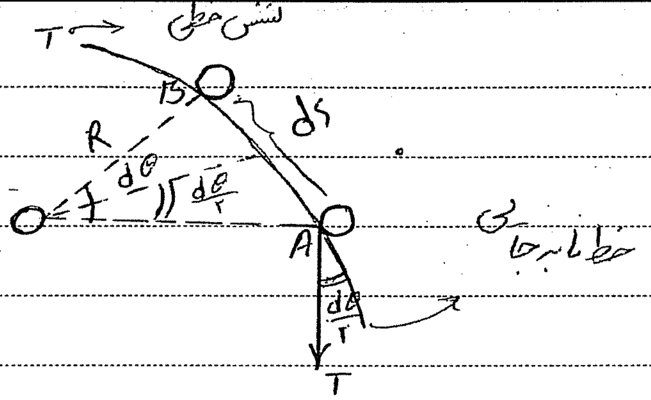
$$dW_1 = \tau . A . \frac{ds.dl.b}{A} = \boxed{\tau b (ds\,dl)}$$

$W_1 = W_2$

$$F = \frac{dW_2}{dl} = \tau ds . b \longrightarrow \boxed{\frac{F}{ds} = \tau . b}$$ نیروی وارد بر نابجایی بر واحد طول

Subject: واکنش بین نابجایی‌ها

Year. ۸۵ Month. ۱۲ Date. ۲۲ (۱۱)



کشش خطی نابجایی:

$$d\theta = \frac{ds}{R}$$

$$\tau b\, ds$$

$$2T\sin\frac{d\theta}{2} \simeq T\,d\theta$$

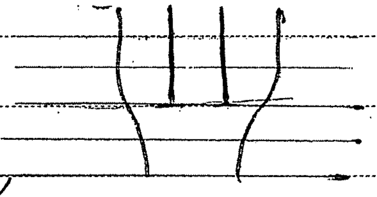
$$\rightarrow \tau b\, ds = T\,d\theta$$

$$\Rightarrow \tau = \frac{T\frac{ds}{R}}{b\,ds} = \frac{T}{bR} \longrightarrow \boxed{\tau = \frac{T}{bR}} \qquad T = \alpha G b^2 \qquad \Rightarrow \boxed{\tau = \frac{\alpha G b}{R}}$$

← برای ایجاد تعادل برآیند نیروها در راستای n صفر باشد.

واکنش بین نابجایی‌ها:

$\frac{1}{b}$ $\frac{1}{b}$



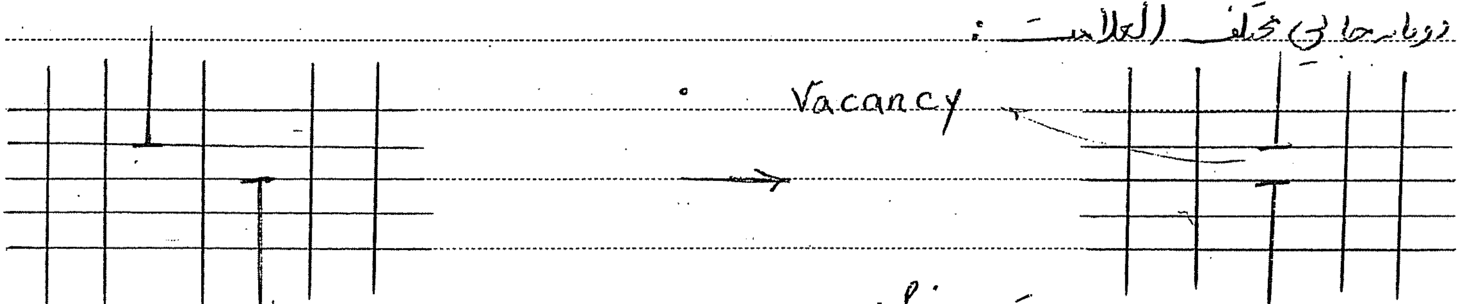
$$\frac{E}{l} = \alpha G b^2 + \alpha G b^2 = 2\alpha G b^2 \rightarrow$$ درصورتی که دو نابجایی از هم دور باشند.

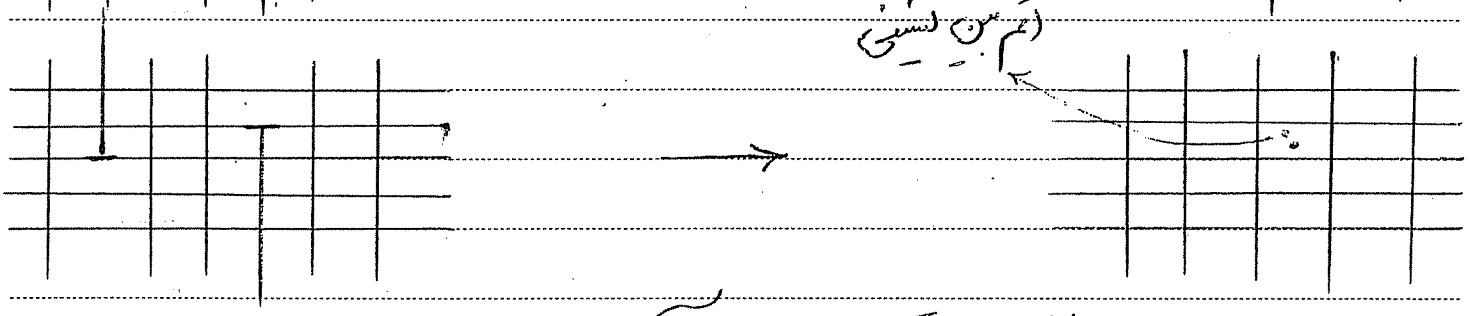
$$\frac{E}{l} = \alpha G (2b)^2 = 4\alpha G b^2 \rightarrow$$ درصورتی که دو نابجایی به هم نزدیک باشند.

↳ حالت ناپایدار

نتیجه:
دو نابجایی ساده هم جهت و هم علامت همدیگر را دفع می‌کنند.

دو نابجایی مختلف العلامت:





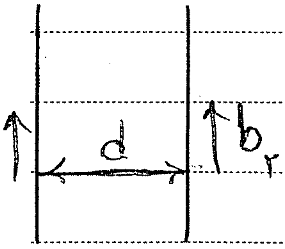
- جذب و دفع در حین انجام نیرو و کشش بوجود می‌آید و نه بصورت خود به خودی.

- در نابجایی پیچی اگر هر دو راستگرد و چپگرد باشند همدیگر را دفع می‌کنند و اگر یکی چپگرد و دیگری راستگرد باشند همدیگر را جذب می‌کنند.

- در نابجایی ساده اگر هر دو مثبت و یا هر دو منفی باشند همدیگر را دفع می‌کنند و در صورت غیر هم علامت بودن برای کاهش انرژی همدیگر را جذب می‌کنند که در اثر آن یا یک منطقه‌ی جاخالی یا بین نشین بوجود می‌آید و یا بصورت شبکه کامل در می‌آید.

نیروی بین نابجایی‌ها:

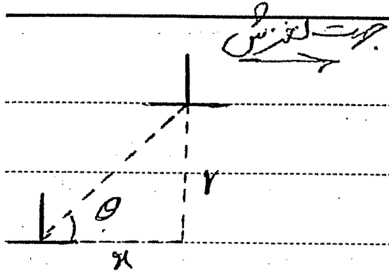
نابجایی پیچی:



$$F = \tau \cdot b \quad , \quad \tau = \frac{G \cdot b}{2\pi r}$$

$$F = \tau \cdot b_1 \Rightarrow \tau_{1\to 2} = \frac{G b_1}{2\pi d}$$

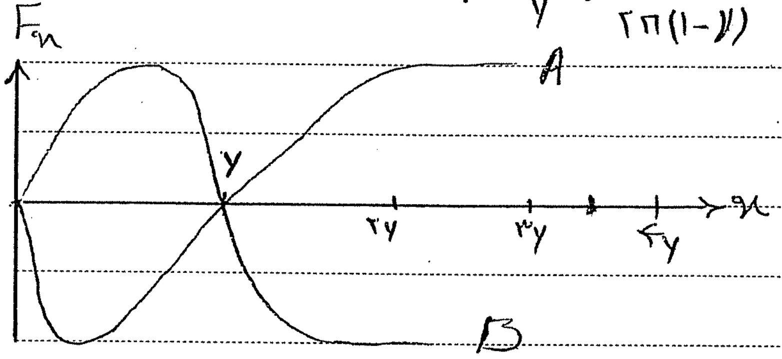
$$F_{1\to 2} = \frac{G b_1}{2\pi d} \cdot b_2 \qquad \text{if } b_1 = b_2 = b \Rightarrow F_{1\to 2} = \frac{G b^2}{2\pi r}$$



نابجایی های ساده:

$$\checkmark\ F_x = \frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)} \cdot \frac{x(x^2-y^2)}{(x^2+y^2)^2}$$

$$\checkmark\ F_y = \frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)} \cdot \frac{y(3x^2+y^2)}{(x^2+y^2)^2}$$

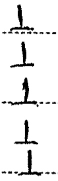


A هم علامت | $x>y$ یا $\theta<45$ دفع
| $x<y$ یا $\theta>45$ جذب

B غیر هم علامت | $x>y$ یا $\theta<45$ جذب
| $x<y$ یا $\theta>45$ دفع

in $x=0 \longrightarrow F_x=0$

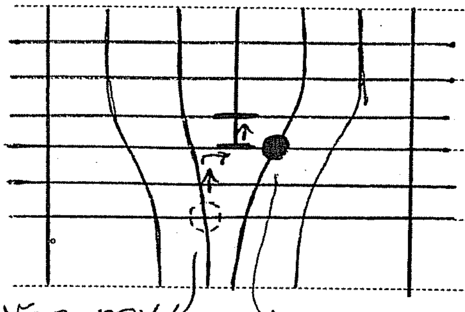
in $x=y$ یا $\theta=45 \longrightarrow F_x=0 \longrightarrow$



$\Rightarrow$ حالت پایدار در این حالت رخ می‌دهد

climb

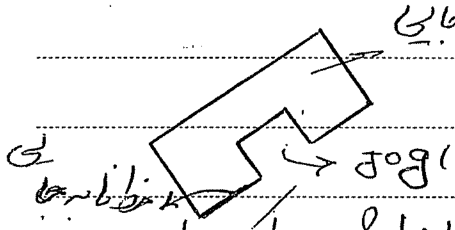
صعود نابجایی ساده: (لبه‌ای ، لبه‌ای)



← اگر نابجایی یک یا چند صفحه به سمت بالا (↗) حرکت کند صعود مثبت و اگر یک یا چند صفحه به سمت پایین حرکت کند صعود منفی گویند.

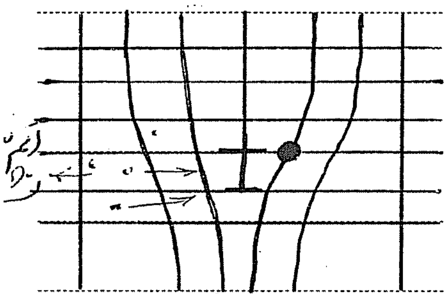
Subject: نابجایی
Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۱۶ (۲۱)

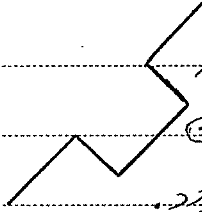
- شرایط صعود مثبت این است که vacancy در شبکه موجود باشد و جای خالی نیز در شرایط خاص (دما و زمان) وجود دارد، vacancy حرکت کرده و جای اتم نابجایی را می‌گیرد و نابجایی یک پله صعود می‌کند.



- به دلیل سه بعدی بودن ماده قسمتی از نابجایی صعود می‌کند.

- انرژی این خط نابجایی بیشتر است به دلیل اینکه طول آن افزایش پیدا کرده است.



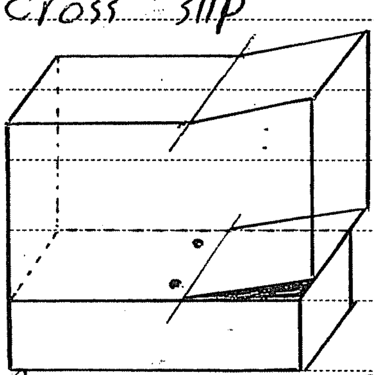


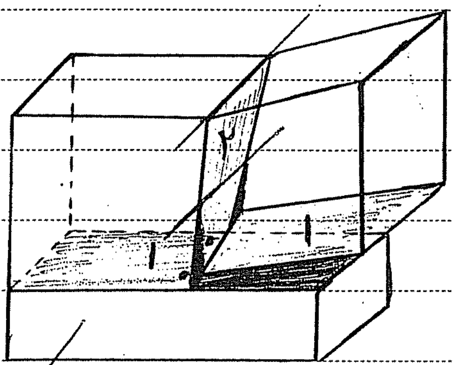
- شرط صعود منفی این است که اتم بین نشین در شبکه وجود داشته باشد تا با شرایط خاص برای کاهش انرژی به نابجایی پیوسته و باعث صعود منفی نابجایی گردد.

- در کل صفحه لغزش را در نظر می‌گیریم اگر نابجایی بالا رفت صعود مثبت و اگر پایین آمد صعود منفی است. پس نوع صعود به نابجایی بستگی ندارد فقط تفاوت آن در این است که در نابجایی منفی برای صعود مثبت که به اتم بین نشین نیاز است و برای صعود منفی به vacancy.

لغزش تقاطعی:

cross slip



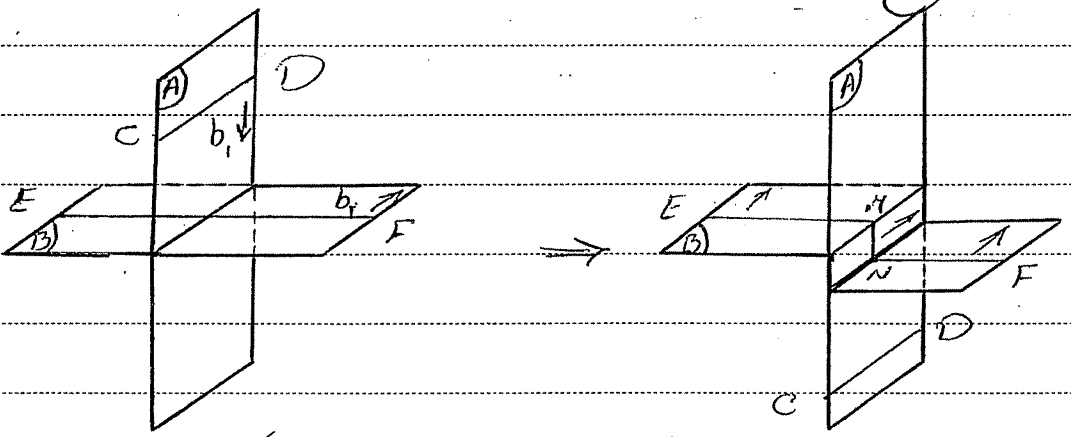


اگر یک نابجایی پیچی در حین لغزش به مانع برخورد کند تنش لازم برای لغزش در این صفحه (صفحه لغزش اولیه) بالا است، چنانچه صفحه‌ای متقاطع با صفحه لغزش اولیه وجود داشته باشد و تنش برشی لازم برای لغزش در [illegible] این صفحه (صفحه دوم) کمتر از تنش برشی لازم برای لغزش در صفحه لغزش

PAPCO

اولیه (یا جانبی) باشد نابجایی وارد صفحه دوم شده و لغزش در این صفحه ادامه می یابد این تغییر صفحه لغزش به عنوان لغزش متقاطع نامیده می شود.

برخورد نابجایی:

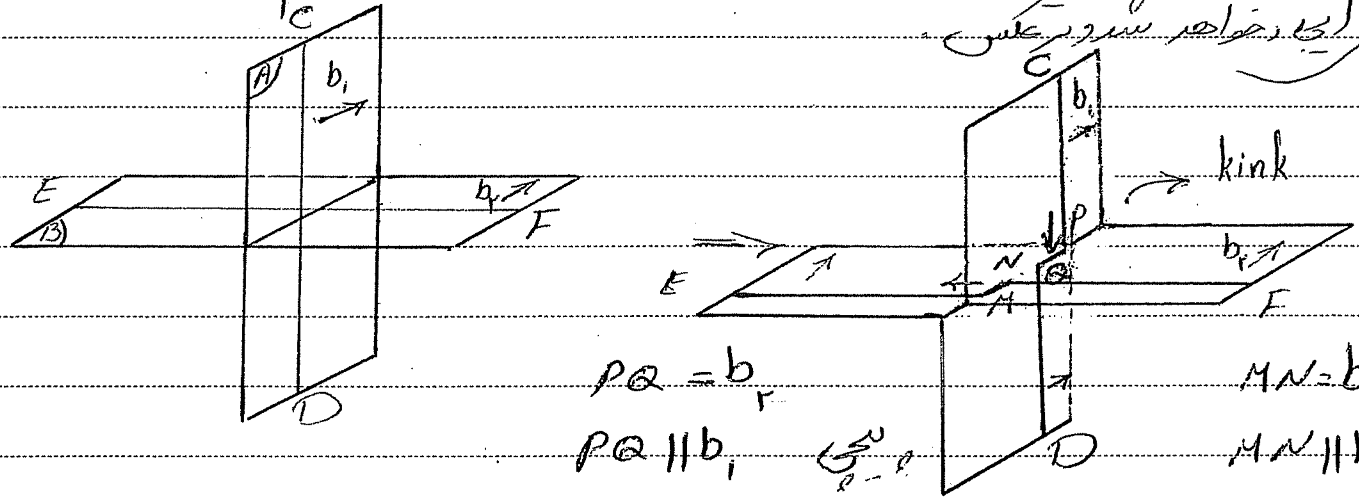


$MN = b_1$

$MN \perp b_2$ ل،

این پله تاثیری بر حرکت نابجایی ندارد بلکه قطعه jog در آن ایجاد می کند

در برخورد نابجایی پیچی اگر بردار برگرز نابجایی بر خط نابجایی دوم عمود باشد در نابجایی دوم پله ایجاد خواهد شد و بر عکس.



$PQ = b_2$

$PQ \parallel b_1$ پیچی

$MN = b_1$

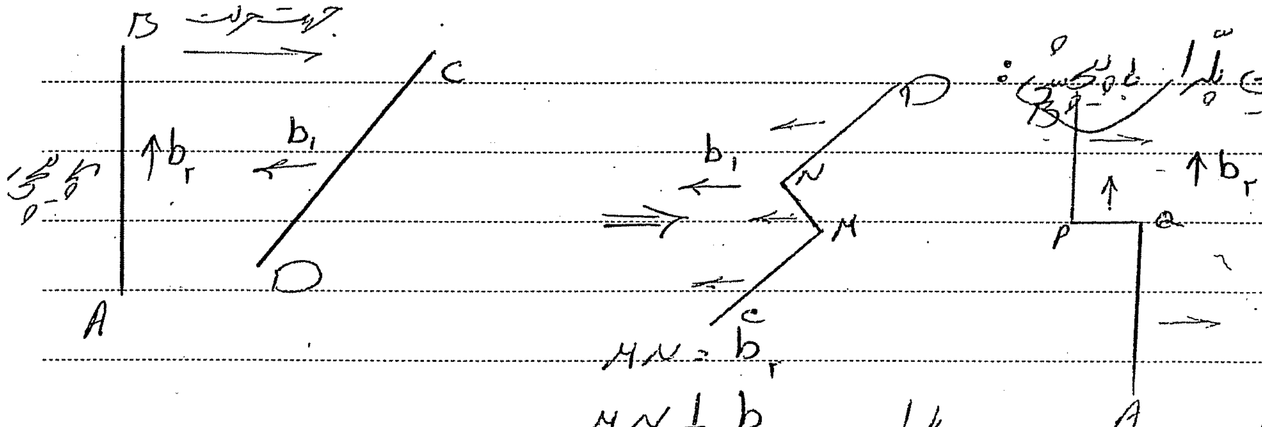
$MN \parallel b_2$ پ

چون پله های ایجاد شده از نوع پیچی هستند و جهت عمود بر بردار برگرز هستند موقتاً مانع حرکت نابجایی می شود. کلاً کینکی (kink) مانع حرکت نیستند چون [illegible] از بین می روند.

Subject: نابه جایی

Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۱۶ ۲۳

برخورد دو نابه جایی پله‌ای با پیچشی:

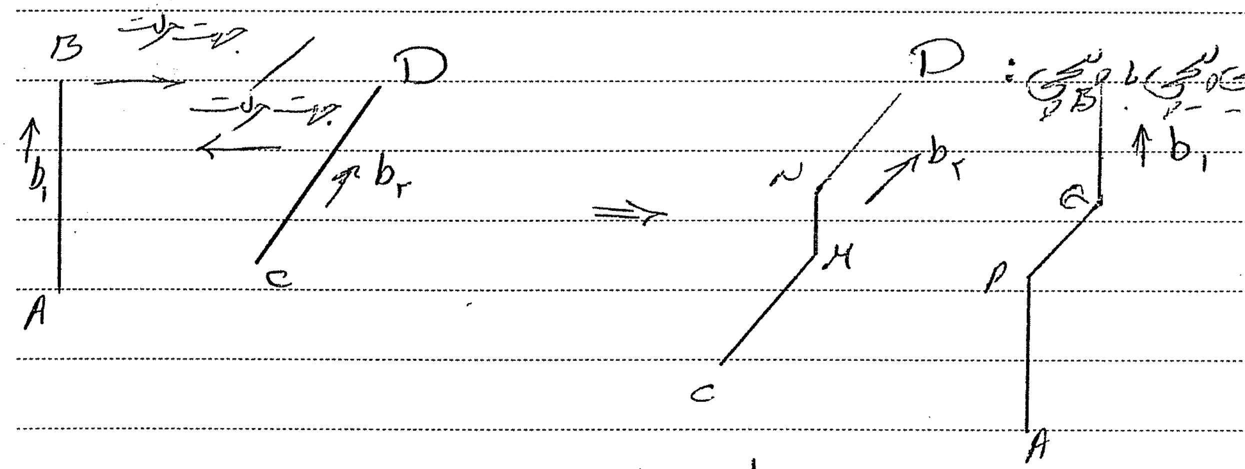

B
جهت حرکت
C
نابه جایی پیچشی
b_2
b_1
D
A
D
b_1
N
M
C
B
b_2
P
Q
A

$MN = b_2$ $PQ = b_1$

$MN \perp b_1$ پله‌ای $PQ \perp b_2$ پله‌ای

این پله مانع حرکت نمی‌شود این پله مانع حرکت است

برخورد دو نابه جایی پیچی با پیچی:


B
جهت حرکت
جهت حرکت
D
b_1
b_2
C
A
D
N
b_2
M
C
B
b_1
Q
P
A

$MN = b_1$ $PQ = b_2$

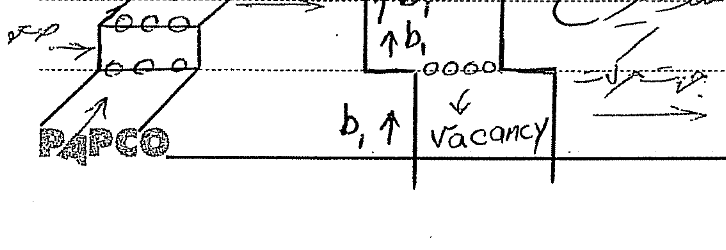
$MN \perp b_2$ پله‌ای $PQ \perp b_1$ پله‌ای

هر دو پله ایجاد شده مانع حرکت است.

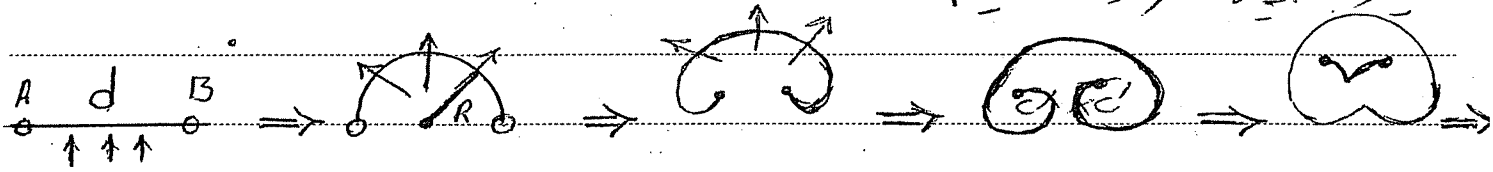
نکته: نتیجه می‌گیریم پله‌ی ایجاد شده توسط نابه جایی پیچی دائمی و مانع حرکت است.

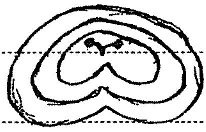
نکته: طول نابه جایی ایجاد شده برابر با بردار برگرز ایجاد کننده است مثل $PQ = b_2$.

نکته مهم: اگر نابه جایی پیچشی، پله‌ای را که توسط آن ایجاد شده بخواهد حرکت کند و حذف شود باید شرایط صعود برای قسمت Jog مهیا شود و اگر مهیا نشد دیگر مانع از بین رفتن است.


جهت حرکت
صعود
b_2
b_1
b_1
vacancy
جهت حرکت

تکثیر نابجایی: (فرانک رید)





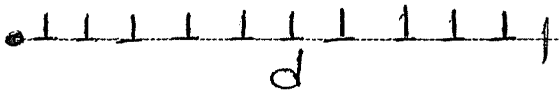
$$\tau = \frac{\alpha G}{R} b \qquad R = \frac{d}{2} \Rightarrow \tau_{Max} = \frac{2\alpha G b}{d}$$

← هرچه فاصله ذرات کمتر باشد طبق رابطه بالا استحکام بیشتر خواهد بود.

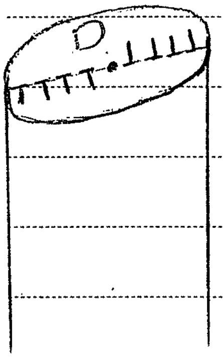
$\alpha = d$ ⇒ نابجایی پیچی

$$\tau = \frac{Gb}{d}$$

تعداد نابجایی که می‌توانند از یک منبع صادر شوند:



$$n = \frac{k\pi\tau d}{Gb} \qquad k = 1-\nu$$ لبه‌ای

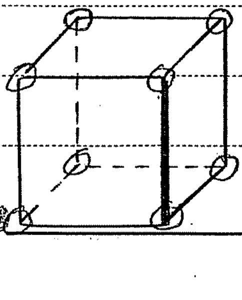


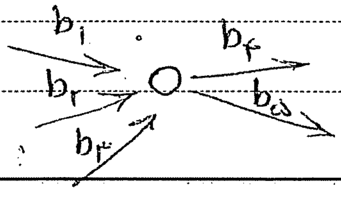
$$n = \frac{k\pi\tau D}{Gb} \qquad k = 1$$ پیچی

تجزیه و ترکیب نابجایی‌ها:

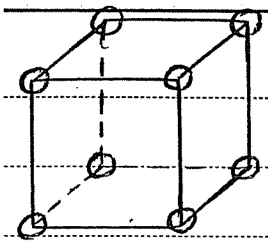
مجموع بردار برگرزهایی که به یک نقطه وارد می‌شود باید برابر باشد با مجموع بردار برگرزهایی که از آن نقطه خارج می‌شود.

که شرط آن جهت کاهش انرژی می‌باشد.





$$\vec{b}_1 + \vec{b}_2 + \vec{b}_3 = \vec{b}_4 + \vec{b}_5$$



$\frac{E}{l} = \alpha G b^۲$

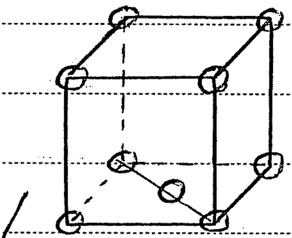
$E \propto b^۲$

s.c

⟨100⟩	⟨110⟩	⟨111⟩
$a^۲$	$۲a^۲$	$۳a^۲$

← در s.c ترجیح نابجایی برای کاهش انرژی در جهت ⟨100⟩ بیشتر است حرکت می‌کند.

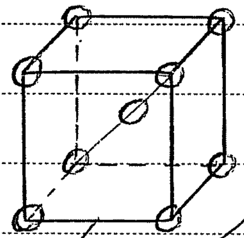
fcc



⟨100⟩	⟨110⟩	⟨111⟩
$a^۲$	$\frac{a^۲}{۲}$	$۳a^۲$

← در fcc ترجیح نابجایی برای کاهش انرژی در جهت ⟨110⟩ بیشتر است حرکت می‌کند.

bcc



⟨100⟩	⟨110⟩	⟨111⟩
$a^۲$	$۲a^۲$	$\frac{۳a^۲}{۴}$

← در bcc ترجیح نابجایی برای کاهش انرژی در جهت ⟨111⟩ بیشتر است حرکت می‌کند

⟸ در کل هر چه طول بردار برگرز کمتر باشد نابجایی در آن جهت حرکت می‌کند

۷ نکته مهم:
نابجایی‌هایی که بردار برگرز روبرو وجود دارند نابجایی کامل گویند.

Fcc:

$$\begin{cases} a \rightarrow \langle 100 \rangle \\ \frac{a}{۲} \rightarrow \langle 110 \rangle \\ a \rightarrow \langle 111 \rangle \end{cases}$$

Subject: نابجایی
Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۲۳ ۲۶

تجزیه و ترکیب نابجایی:

(۱۱۱) ضرب اینها صفر می‌شود

$b_۱ = \frac{a}{۲}[۰۱\bar{۱}]$

$b_۲ = \frac{a}{۲}[\bar{۱}۰۱]$

$b_۳ = \frac{a}{۲}[\bar{۱}۱۰]$

$b_۱ + b_۲ = \frac{a}{۲}[۰۱\bar{۱}] + \frac{a}{۲}[\bar{۱}۰۱] = \frac{a}{۲}[\bar{۱}۱۰]$

$\frac{۲a^۲}{۴} + \frac{a^۲}{۲} = \boxed{\frac{a^۲}{۲}} \leftrightarrow \boxed{a^۲}$

در جهت کاهش انرژی است پس واکنش انجام می‌شود.

$b_۱ + b_۳ = \frac{a}{۲}[۰۱\bar{۱}] + \frac{a}{۲}[\bar{۱}۱۰] = \frac{a}{۲}[\bar{۱}۲\bar{۱}]$

$\frac{a^۲}{۲} + \frac{a^۲}{۲} \underset{<}{\Longrightarrow} \frac{۶a^۲}{۴}$

که این واکنش انجام نمی‌شود چون در جهت افزایش انرژی پیشرفت می‌کند.

(۱۱۱)

$b_۱ = \frac{a}{۲}[۰۱\bar{۱}]$

$b_۲ = \frac{a}{۲}[\bar{۱}۰۱]$

$b_۳ = \frac{a^۲}{۲}[\bar{۱}۱۰]$

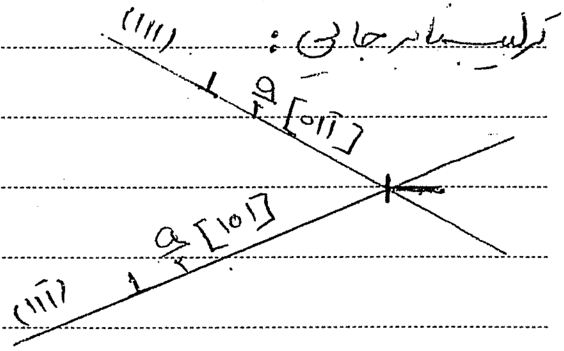
$(۱\bar{۱}۱)$

$b_۴ = \frac{a}{۲}[\bar{۱}۱۰]$

$b_۵ = \frac{a}{۲}[۱۰\bar{۱}]$

$b_۶ = \frac{a}{۲}[۰۱۱]$

ترکیب نابجایی:



$b_۱ + b_۵$

$\frac{a}{۲}[۰۱\bar{۱}] + \frac{a}{۲}[۱۰۱] \longrightarrow \frac{a}{۲}[۱۱۰]$

$\Longrightarrow \frac{a^۲}{۲} + \frac{a^۲}{۲} > \frac{a^۲}{۲}$

ضرب خارجی دو صفحه:

$[\bar{۱}۱۰]$

$\frac{a}{۲}[۱۱۰] \longrightarrow$ نابجایی در فصل مشترک $\Longrightarrow$ نابجایی پله‌ای

PAPCO

Subject: نابجایی

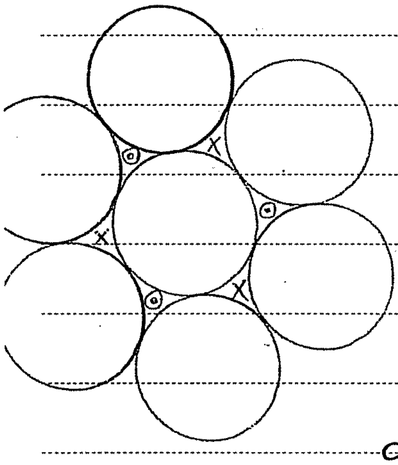
Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۲۳ (۲۷)

- نابجایی پدید آمده از دو نابجایی بالا متعلق به صفحه لغزش (001) است و چون این صفحه لغزش fcc نمی باشد در نتیجه نابجایی ثابت و ساکن می ماند که به آن قفل لومر گویند.

Lumer lock

- اگر ضرب داخلی نابجایی و صفحه لغزش صفر شود نابجایی متعلق به صفحه لغزش است.

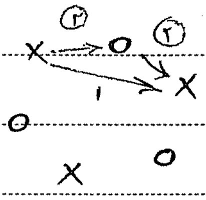
تجزیه نابجایی



o → لایه A

x → لایه B

• → لایه C



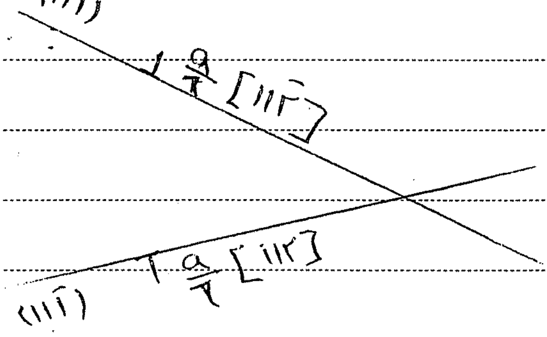
اگر لایه A را در نظر بگیریم لایه B به جای اینکه مسیر ① را طی کند برای کاهش انرژی مسیر ② را به صورت زیگزاگ می پیماید.

(111)

$$\frac{a}{2}[\bar{1}01] \longrightarrow \frac{a}{2}[\bar{2}11] + \frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}2]$$

$$\frac{a^2}{2} > \frac{6a^2}{36} + \frac{6a^2}{36} = \frac{a^2}{36}$$

نابجایی جزئی شاکلی



$$\frac{a}{6}[11\bar{2}] + \frac{a}{6}[112] \longrightarrow \frac{a}{6}[220] = \frac{a}{3}[110]$$

این واکنش از نظر انرژی امکان پذیر است.

$$\frac{a}{6}[11\bar{2}] + \frac{a}{6}[\bar{1}21] = \frac{a}{6}[03\bar{1}]$$

این واکنش از نظر انرژی انجام نمی شود.

PAPCO

$$\frac{a}{2}[0\,1\,\bar{1}] \longrightarrow \frac{a}{6}[\bar{1}\,2\,\bar{1}] + \frac{a}{6}[1\,1\,\bar{2}] \qquad (111)$$

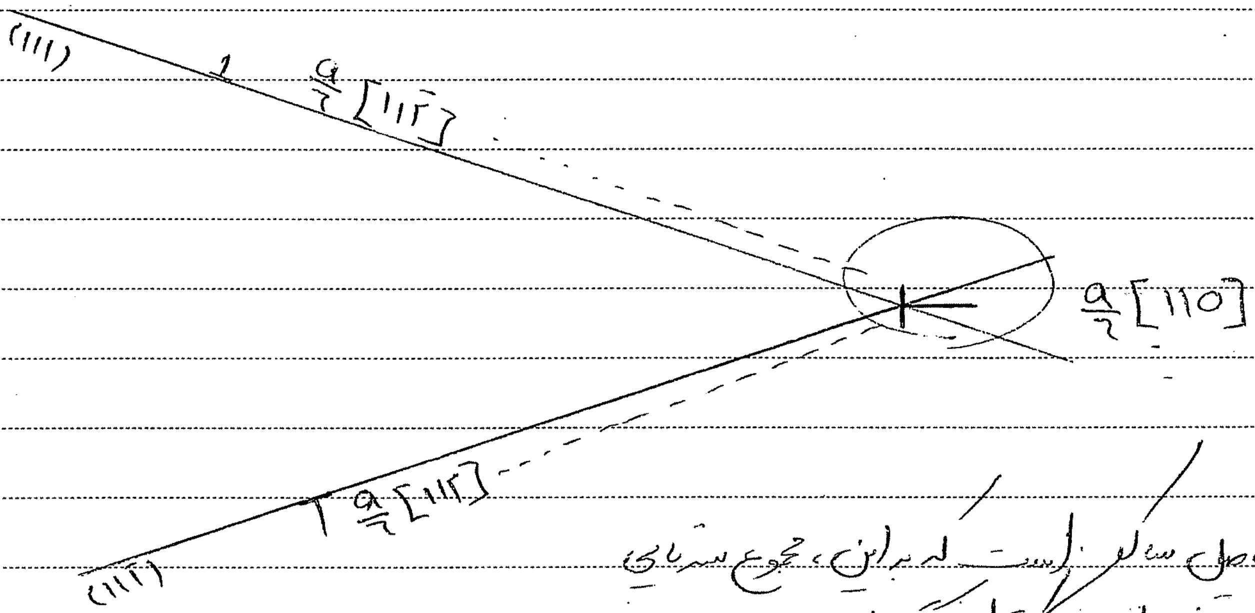
$$\oplus \qquad \longrightarrow \frac{a}{6}[\bar{1}\,2\,\bar{1}] + \frac{a}{6}[2\,\bar{1}\,1] \longrightarrow \frac{a}{6}[1\,1\,0]$$

$$\frac{a}{2}[1\,0\,1] \longrightarrow \frac{a}{6}[2\,\bar{1}\,1] + \frac{a}{6}[1\,1\,2] \qquad (1\,1\,\bar{1})$$

$$\frac{a}{2}[1\,1\,0] \rightarrow \frac{a}{6}[1\,1\,0] + \frac{a}{6}[1\,1\,\bar{2}] + \frac{a}{6}[1\,1\,2]$$

$$\frac{a^2}{2} > \frac{2a^2}{36} + \frac{6a^2}{36} + \frac{6a^2}{36} = \frac{14a^2}{36}$$

انجام پذیر است ک



نابجایی حاصل ساکن است که به این، مجموع بسته‌ای
گویند که از اصل قفل لومر - کاترل گویند.

ن
" پایان نابجایی "

کار سختی: Work hardening or strain hardening

Subject: تنش و کرنش

Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۲۳ ۸۹

یادآوری:
پاسخ مواد به تنش و کرنش:

تنش:

حقیقی
$$\sigma = \frac{P}{A_i} \rightarrow$$ سطح مقطع لحظه‌ای

مهندسی
$$S = \frac{P}{A_0} \rightarrow$$ سطح مقطع اولیه

کرنش:

حقیقی
$$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$$

مهندسی
$$e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

از مزایای کرنش حقیقی:

$$l_0 \xrightarrow{\varepsilon_1} l$$
$$l_1 \xrightarrow{\varepsilon_2} l_2 \longrightarrow l_0 \longrightarrow l_2$$

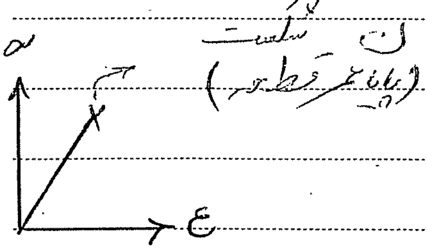
$$\boxed{\begin{array}{l} \varepsilon_1 = \ln \frac{l_1}{l_0} \\ \varepsilon_2 = \ln \frac{l_2}{l_1} \end{array} \Rightarrow \varepsilon_1 + \varepsilon_2 = \ln \frac{l_2}{l_0}}$$

در تغییر شکل plastic اگر از کرنش حقیقی استفاده کنیم:

$$\boxed{\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0}$$
$$\boxed{(1+\varepsilon_x)(1+\varepsilon_y)(1+\varepsilon_z) = 1}$$

انواع منحنی تنش کرنش:

نوع I: پاسخ کشسان (الاستیک)
(بیشتر در مورد سرامیک‌ها)



قانون هوک (hook) $\boxed{\sigma = E\varepsilon}$

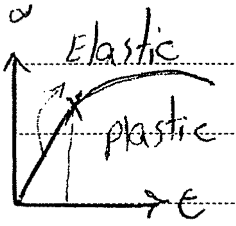
تنش و کرنش
Subject:
Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۲۳ ۳۰)

E : ۱ـ مدول یانگ (الاستیسیته)

۲ـ شیب خط

۳ـ بر پارامترهایی همچون زمان و نوع پیوند اتمی بر آن تأثیر گذار است اما به ساختار حساس نیست.

← موادی که دارای رفتار کشسان هستند در جاهایی که کشش لازم است به کار نمی‌روند بلکه در جاهایی که فشار لازم است به کار می‌روند.



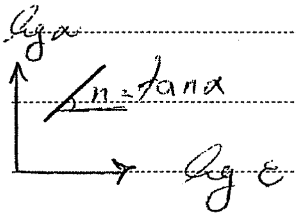
نوع II : پاسخ کشسان و مومسان همگن (پلاستیک)

توان یا نرخ سختی ۰<n<۱ ← $\boxed{n}$ ضریب استحکام یا استحکام در ε=۱

$\sigma = \boxed{k}\varepsilon$

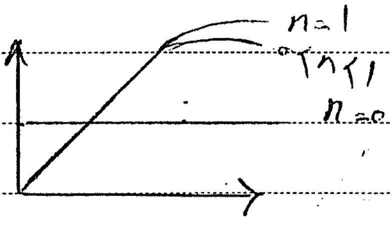
قانون هولمن (holloman)

$\sigma = \sigma_0 + k\varepsilon^n \longrightarrow \sigma = k(\varepsilon + \varepsilon_0)^n$



if $n = 0 \longrightarrow \sigma = k$ ... یک ماده plastic ایده‌آل

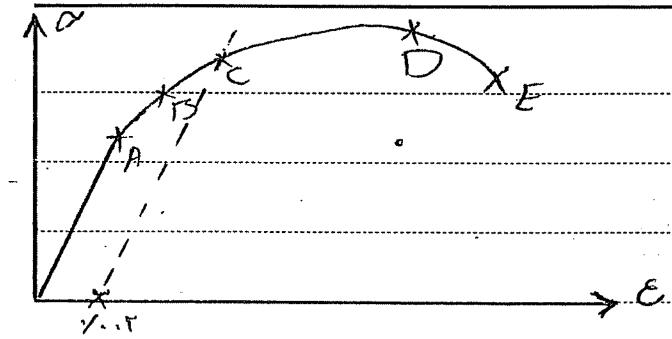
if $n = 1 \longrightarrow \sigma = k\varepsilon$ ... یک ماده الاستیک



مثال : (حفظ شود)

آهن n = ۰/۱۵

فولاد زنگ‌نزن ۰/۴ < n < ۰/۵



مرز بین الاستیک و پلاستیک وجود ندارد به همین دلیل باید مرز بین آن را پیدا نمود.

← بین A و B رابطه وجود ندارد.

Proportional limit:

۱_ حد تناسب: بالاترین تنشی که در تنشهای کمتر از آن ارتباط بین تنش و کرنش خطی است نقطه A

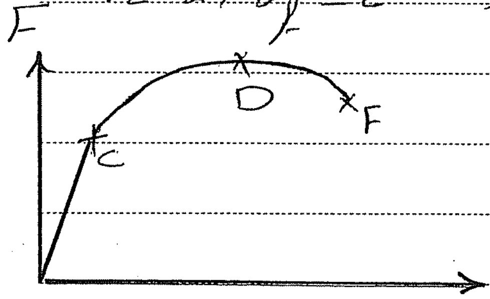
۲_ حد الاستیک (کشسان): بالاترین تنشی است که در تنشهای کمتر از آن ماده دارای رفتار کشسان یا الاستیک است نقطه B.

۳_ تنش تسلیم قراردادی: نقطه‌ای است در نمودار تنش کرنش که نمودار را قطع کرده و تنش تسلیم قراردادی را دارد نقطه C.

σ_y (۰٫۲٪) ← به ازای $\varepsilon = 0.002$

۴_ استحکام کششی: تنش مربوط به بالاترین نیرو و یا بالاترین تنشی که ماده می‌تواند تحمل کند نقطه D.

۵_ تنش شکست: آخرین تنشی که در منحنی اتفاق می‌افتد. $\sigma_f = E$ نقطه E



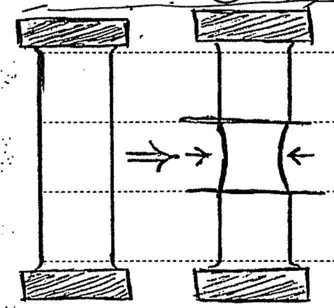
← هرچند با کاهش سطح مقطع می‌بایست نیرو کاهش یابد اما به دلیل آنکه کار سختی در فاصله C تا D داریم، کار سختی باعث افزایش نیرو خواهد شد.

← با افزایش طول سطح مقطع کم شده پس باید نیرو کم می‌شد اما به دلیل غلبه کار سختی بر کاهش مقطع، نیرو افزایش پیدا خواهد کرد (C تا D).

Subject: تنش و کرنش

Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۳۰

← بین D تا F نیرو کاهش می‌یابد نقطه D به عنوان نقطه ریسمانی شدن یا گلوئی شدن necking می‌نامیم که علت آن این است که در نقاط ضعف قطعه، تمرکز تنش بوجود می‌آید و این تمرکز تنش باعث می‌شود که تغییر شکل در آن نقاط رخ دهد به علت متمرکز شدن تنش پلاستیک در نقاط خاص، کاهش سریع در سطح مقطع بوجود آمده و نیرو بشدت افت پیدا می‌کند و در نتیجه نیرو بر کار سختی غلبه پیدا می‌کند.



$$\begin{cases} P = Max \\ dP = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} P = \sigma \cdot A \\ dP = \sigma \cdot dA + A d\sigma = 0 \end{cases} \Rightarrow \frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{-dA}{A} \quad ①$$

در مرحله تغییر شکل پلاستیک:

$$\begin{cases} V = cte \\ dV = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} V = Al \\ dV = A\,dl + l\,dA = 0 \end{cases} \Rightarrow \frac{dl}{l} = \frac{-dA}{A} \quad ②$$

$$\frac{dl}{l} = \underset{\text{برابر کرنش}}{d\varepsilon} \xrightarrow{\text{و}} \frac{d\sigma}{\sigma} = d\varepsilon \qquad \Rightarrow \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma \quad ③$$

← شرط necking یا همان شیب منحنی تنش - کرنش با آهنگ کار سختی باهم برابر باشند.

$$\sigma = k\varepsilon^{n} \rightarrow d\sigma = nk\varepsilon^{n-1} d\varepsilon \rightarrow \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = nk\varepsilon^{n-1}$$

$$③ \rightarrow \sigma = nk\varepsilon^{n-1} \rightarrow k\varepsilon^{n} = nk\varepsilon^{n-1} \rightarrow$$

$\varepsilon = n$ → نقطه Max کرنش برابر با n یا همان توان کار سختی می‌باشد

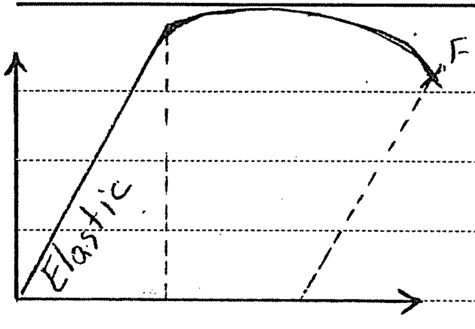
$\varepsilon_{UTS} = n$ → در نقطه D

استحکام کششی

Subject: تنش و کرنش

Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۳۰

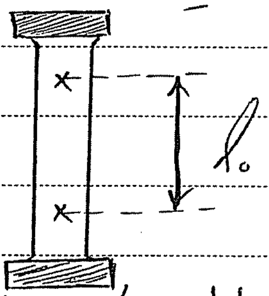
تبدیل منحنی نیرو ـ تغییر طول به منحنی تنش ـ کرنش:



l_0

l_F

$\Delta l = l_F - l_0$

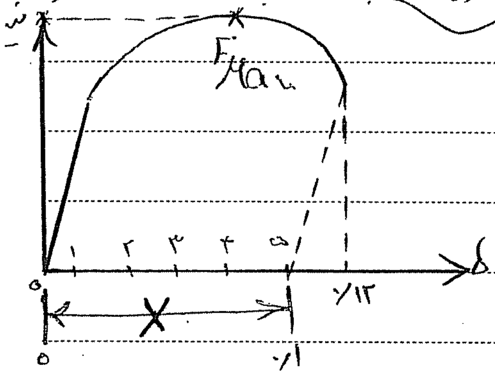


ابتدا طول اولیه (سنج طول) gaug length (l_0) را اندازه گرفته، اگر مقطع دایره‌ای باشد D و اگر مربعی باشد طول و عرض اولیه را بدست آورده. بعد از تغییر شکل فاصله دو نقطه را اندازه گرفته تغییر طول نهایی را l_F نامیده، از تفاضل آن‌ها تغییر طول را بدست می‌آوریم

در نمودار از نقطه شکست به موازات منطقه Elastic به محور افقی خطی را وصل می‌کنیم

تبدیل تنش کرنش مهندسی:

ابتدا $e = \frac{\Delta L}{L}$ را محاسبه کرده و دوباره فاصله بین دو خط موازی تا ابتدا را به عدد بدست آورده زیرا نقطه شکست ادامه می‌دهیم مقدار بدست آمده e است.

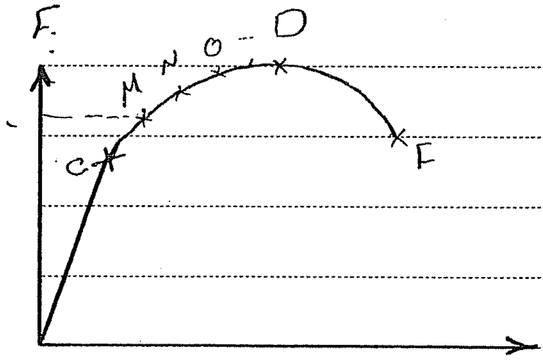


فاصله X را با مقیاس e مندرج کرده $\frac{X}{e}$ = مقیاس محور افقی

F_{Max} نیرو را بر سطح مقطع تقسیم کرده $\frac{P}{A_0} = \overset{\text{تنش}}{\sigma}$ بعد حاصله را در محور عمودی مندرج می‌کنیم.

تبدیل تنش و کرنش حقیقی:

$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_0}$



l_0

l_F

ε مقیاس مندرج کردن محور افقی (کرنش) در محدوده C تا D

$A_0 L_0 = A L$

محاسبه شد C ⟶ D

$\varepsilon = \ln \frac{l_m}{l_0} \rightarrow l_m = a$

PAPCO

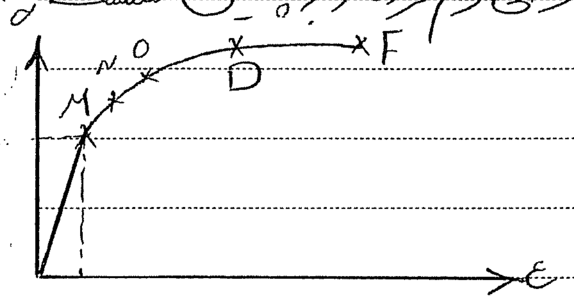
Subject: تنش و کرنش

Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۲۰ ۳۴

نقطه فرضی M را در نظر گرفته: (از نمودار مشخص است)

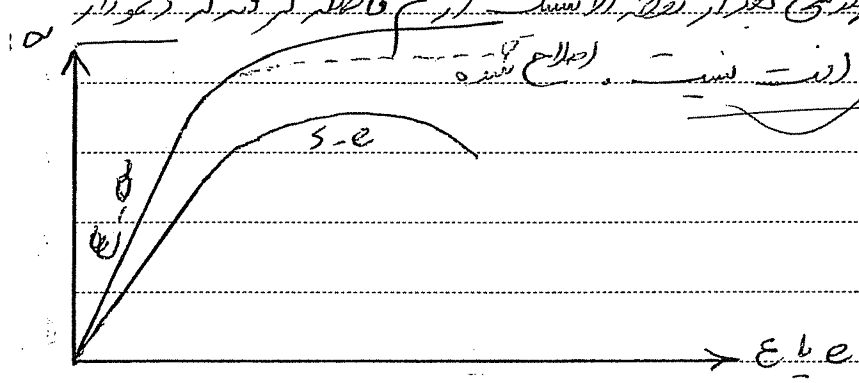
$A_m = \frac{A_0 L_0}{L_m}$ — σ_m به نقطه اول $= \frac{P_m}{A_m}$.

همچنین نقاط دیگر چون (N، O و ...) را نیز بدست آورده و این نقاط را در نمودار تنش-کرنش مشخص کرده و سپس نقاط را به هم متصل می کنیم و سپس از نقطه M به مبدأ مختصات وصل می کنیم. در منطقه D تا F می توان در حین آزمایش با گرفتن چند نقطه این نمودار را بدست آورد با گرفتن طول و نیرو در آن نقطه دیگر با گرفتن نیرو و قطر قطعه نمودار را فرضی رسم کرده و به پایان شکست متصل می نماییم.



نکته:

بطور خلاصه در نمودار تنش-کرنش حقیقی و مهندسی بعد از نقطه الاستیک از هم فاصله گرفته که در نمودار حقیقی به دلیل وجود کار سختی نمودار دارای افت نیست.



با استفاده از رابطه پایین در ناحیه D تا C را که تنش از حالت یک بعدی به چند بعدی می رود را اصلاح کنیم.

σ_{app} → تنش اعمالی

$$\sigma_{True} = \frac{\sigma_{app}}{(1+\frac{2R}{a})(\ln(1+\frac{a}{2R}))}$$

2a: قطر نمودار در ناحیه necking

R: شعاع necking

روابط بین تنش - کرنش مهندسی و حقیقی:

$$\begin{cases} \sigma = s(1+e) \\ \varepsilon = \ln(1+e) \end{cases}$$

toughness

چقرمگی:
انرژی مصرف شده برای کار خاص. (تغییر شکل، شکست)

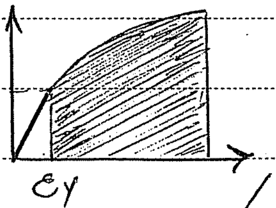
$$\frac{W}{V} = \int_0^{\varepsilon_f} \sigma \, d\varepsilon$$

$$dW = P\,dL = \sigma A . dL = \sigma \overset{V}{\boxed{AL}} \overset{d\varepsilon}{\boxed{\frac{dL}{L}}} \longrightarrow \int dW = \int \sigma V d\varepsilon \Longrightarrow$$

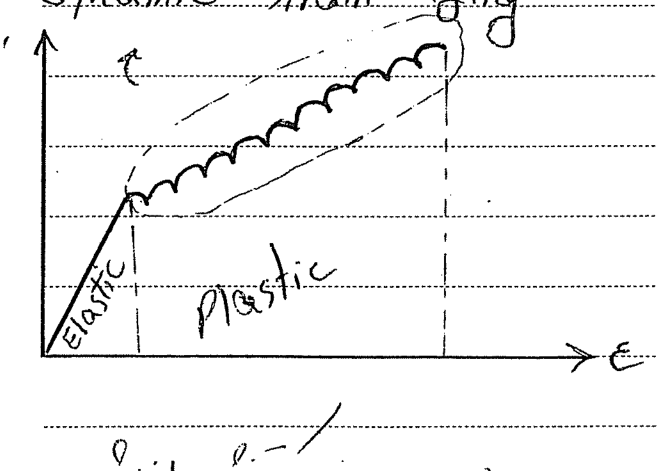
$$\frac{W}{V} = \int \sigma d\varepsilon$$

← چقرمگی برابر است با سطح زیر منحنی تنش - کرنش در منطقه plastic و در رابطه منحنی Elastic.

$$\frac{W}{V} = \frac{1}{2} \sigma_y \varepsilon_y + \text{plastic مساحت زیر منحنی}$$



dynamic strain aging



نوع III: پاسخ نوسان - نوسان ناهمگن:
معمولاً این رفتار در فلزات hcp اتفاق می‌افتد زیرا در دماهای متفاوت تحت آزمایش کشش قرار بگیرند تغییر شکل در این دماها ترکیبی از لغزش (توسط حرکت نابجایی‌ها) و دوقلویی می‌باشد.

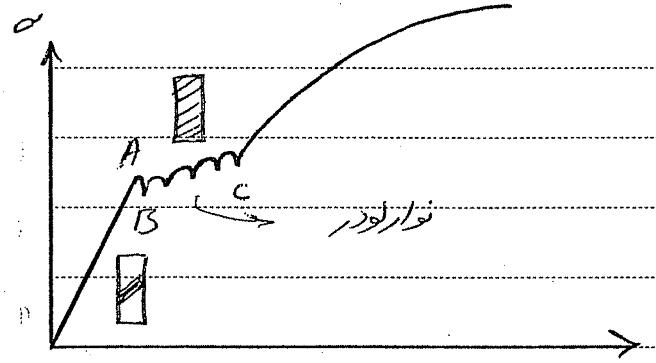
← در منطقه plastic تغییر شکل توسط لغزش آغاز شده و به جایی می‌رسد که تنش لغزش

خیلی بالا است، بنابراین تغییر شکل توسط دوقلویی انجام می‌شود که افت تنش را به دنبال خواهد داشت و دوباره تغییر شکل به صورت حرکت نابجایی انجام می‌شود و دوباره تنش افت پیدا کرده که این حالت افت و خیز تنش تا پایان نمودار ادامه پیدا می‌کند.

← این حالت در فلزات bcc در دماهای پایین اتفاق می‌افتد ولی در فلزات bcc که دارای اتم‌های محلول جامد بین‌نشین هستند در دماهای بالاتر این رفتار را از خود نشان می‌دهند به دلیل آن نفوذ اتم‌های بین‌نشین در دمای بالا است یا به عبارتی علت آن قفل شدن و آزاد شدن نابجایی توسط اتم‌های بین‌نشین است.

← در این حالت در fcc لغزش آسان است ولی در دماهای خیلی پایین و آهنگ تغییر شکل بالا این اتفاق می‌افتد و یا به طور کلی وقتی شرایط لغزش مشکل شود.

نوع IV : پاسخ نوسان هوسا ناهمگن ـ هوسا همگن :



A (upper yield point)

B (lower yield point)

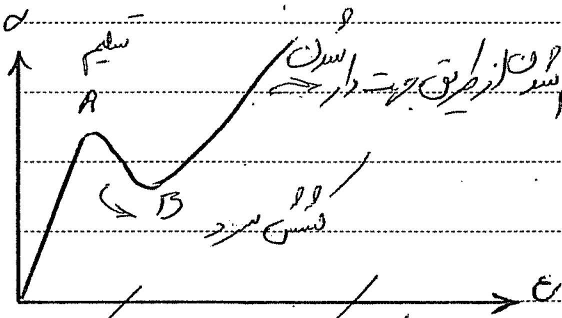
← بعضی از مواد از جمله فولاد کم کربن دارای این رفتار هستند که با افزایش تنش در نقطه A رفتار نوسان خواهیم داشت. نقطه A به عنوان نقطه تسلیم بالا در نظر گرفته شده که وقتی تنش به نقطه A می‌رسد نابجایی از موانع آزاد شده یا نابجایی جدید به وجود می‌آید که باعث می‌شود برای حرکت نابجایی به تنش کمتری نیاز باشد و تنش به نقطه B افت کند که نقطه B را تنش تسلیم پایین می‌نامیم. با ادامه تغییر شکل B تا C بر تعداد نوارهای باند (لودرز) افزوده شده و در نقطه C کل نمونه را این نوارها در بر می‌گیرد، کرنشی که بین نقطه B تا C اتفاق می‌افتد را به عنوان کرنش لودرز نام می‌برند.

تنش و کرنش

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۱ Date. ۳۰

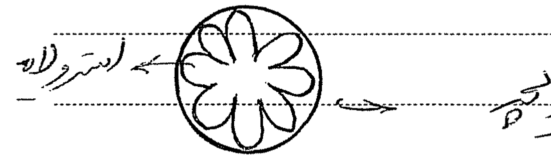
فولادهای کم کربن دارای اتمهای بین نشین نیتروژن و کربن هستند. فولادها در فاصله بین تولید تا مصرف، اتمهای نیتروژن و کربن به زیر نابجایی نفوذ می کنند و باعث قفل شدن نابجایی می شوند که در شروع ما برای تغییر شکل نیاز داریم تا نابجایی آزاد شوند و یا نابجایی جدید بوجود آید. (نقطه A)

نوع V: پاسخ لغزان جوسازهملن _ جوساهملن: مستحکم شدن از طریق جهت دار شدن



بعضی از پلیمرهای بلورین دارای این نوع رفتارند. قسمت اول تغییر شکل الاستیک است در ادامه نقطه تسلیم (A) شروع افت کردن می کند تا نقطه (B)، منطقه بین A و B را منطقه کشش سرد می نامند. از نقطه B به بعد کشش افزایش یافته که آن را استحکام شدن از طریق جهت دار شدن می نامیم.

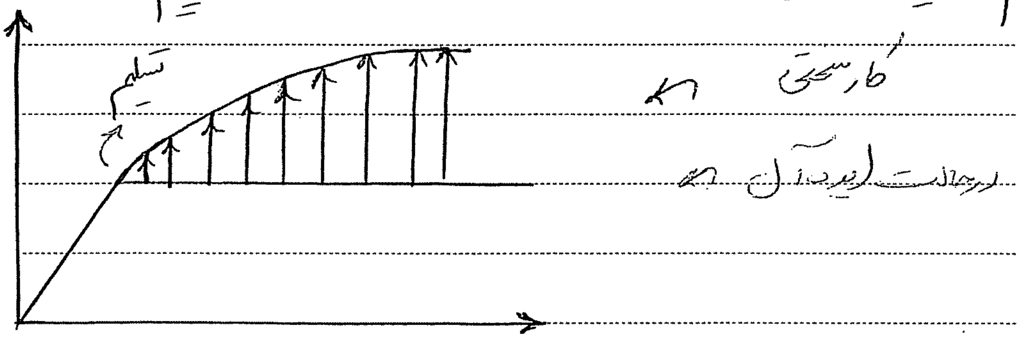
هنگامی که تنش به نقطه A می رسد زنجیره های پلیمر شروع به شکست می کنند که بر این علت نیرو و تنش افت پیدا می کند. در بعضی از پلیمرها در همین نقطه پلیمر می شکند و نمودار متوقف می شود ولی در بعضی از پلیمرهای آن زنجیره ها شکسته شده و تمایل به طرف اعمال تنش و نیرو دارند که در آن جهت قرار گرفته و تنش و نیرو را افزایش می دهند.



عوامل موثر بر افزایش استحکام:

کارسختی: work harding or strain harding

در مواد کلاً نابه‌جایی داریم وقتی این نابه‌جایی‌ها شروع به حرکت کردن می‌کنند در مسیر حرکت به موانعی برخورد می‌کنند نابه‌جایی در پشت این [illegible] موانع ممکن است متوقف شود، با ادامه بارگذاری تعداد نابه‌جایی بیشتر پشت این موانع جمع می‌شوند و این باعث می‌شود که ما برای حرکت نابه‌جایی‌ها نیاز به تنش بیشتر داشته باشیم که این افزایش تنش را به عنوان کار سختی در نظر می‌گیریم



← موانع در برابر حرکت نابه‌جایی زیاد است اولاً خود نابه‌جایی‌ها مسائلی است که با مکانیزم‌های مختلفی چون Jog و ... بوجود می‌آیند و همچنین اتم‌های بین‌نشین، اتم‌های جانشین، مرزدانه‌ها، ناخالصی‌ها آخال‌ها، رسوب و ...

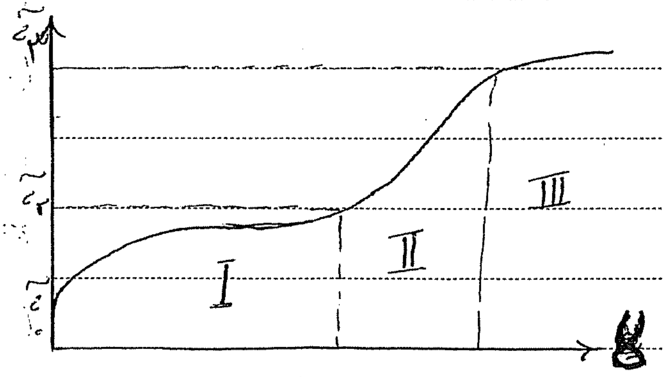
علت کارسختی:

اثر باوشینگر:

اگر ماده را تحت بار در جهت بارگذاری قرار دهیم یعنی یک بار کشش و سپس فشار دهیم این بار نقطه تسلیم و تنش تسلیم کم می‌شود.

منحنی تنش - کرنش تک بلوری:

در Fcc



منطقه I: (منطقه لغزش آسان)

در این منطقه کارسختی ایجاد شده کم است و علت آن اینست که نابجایی‌ها به راحتی از سطح بلور خارج می‌شوند.

منطقه II: (تقریباً خطی)

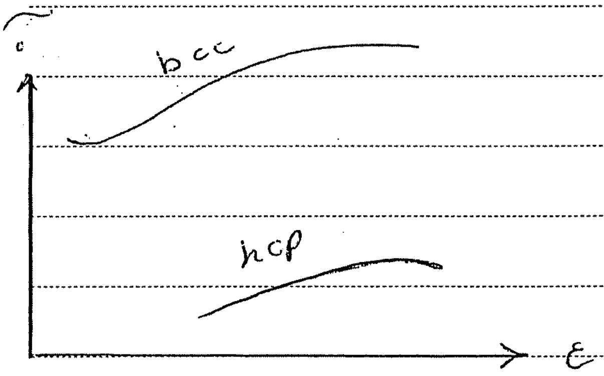
در این مرحله کارسختی سریعاً افزایش یافته و علت آن اینست که لغزش در بیش از یک صفحه اتفاق می‌افتد و قفل‌های کاترل - لومر بیشتر این اتفاق بوجود می‌آید و تنش برشی را می‌توان از رابطه زیر بدست آورد.

$\tau = \tau_0 + \alpha G b \rho^{1/2}$ α = cte ← برای فلزات fcc و bcc متفاوت است.

τ_0 ← تنش برشی لازم برای حرکت یک نابجایی در غیاب* سایر نابجایی‌ها

منطقه III: (مرحله کاهش سرعت کارسختی)

در این مرحله سرعت کارسختی کم شده و علت آن وقوع پدیده‌ای به نام بازیابی دینامیکی است و یا به عبارتی تنش به حدی است که نابجایی‌ها می‌توانند در فرایندهایی شرکت کنند که در تنش‌های پایین امکان‌پذیر نیست مثل لغزش متقاطع.



در bcc و hcp

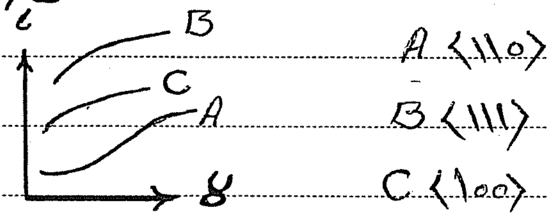
← در مورد فلزات bcc منطقه I یا وجود ندارد و یا خیلی کوتاه است که علت آن اینست که در bcc سیستم لغزش آسان وجود ندارد.

← در مورد hcp فقط مرحله I است و علت آن اینست که در hcp فقط سیستم لغزش آسان وجود دارد.

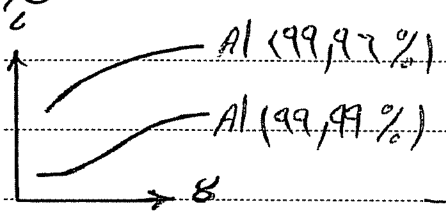
Subject: اثر پارامترهای مختلف بر منحنی $\gamma - \tilde{\tau}$

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۶ (۴۰)

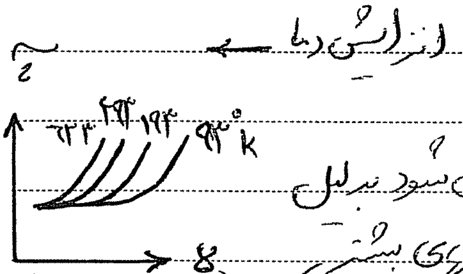
اثر پارامترهای مختلف بر منحنی $\gamma - \tilde{\tau}$ در تک بلورها



۱- جهت: اولین پارامتر اثر جهت است. جهت منظور جهت کشش است در B و C. هرچه جهت کشش از جهت لغزش دورتر شوند (B و C) چون جهت موجود در چند سیستم لغزش تفاوت زیاد ندارد (چند سیستم با هم لغزش می کنند) بنابراین کار سختی زیاد است و منطقه یک (I) حذف می شود.

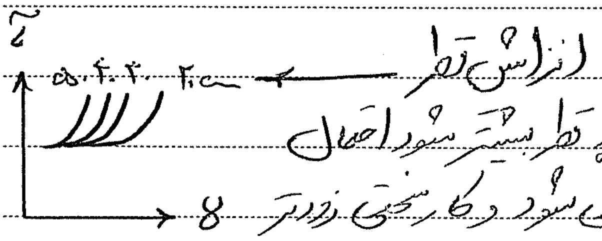


۲- ناخالصی: با افزایش ناخالصی منطقه یک (I) حذف و یا کوچک می شود و علت آن اینست که ناخالصی ها مانع حرکت نابجایی شده و باعث افزایش کار سختی می شوند.



۳- دما: با توجه به شکل می بینیم که با افزایش دما منطقه I کوتاه و یا حذف می شود به دلیل اینکه با افزایش دما تنش برشی کاهش پیدا کرده و بنابراین تعداد سیستم های بیشتری لغزش پیدا می کنند و در نتیجه کار سختی افزایش پیدا می کند.

۴- شرایط سطحی: به علت وجود اکسیدها، نابجایی ها نمی توانند از سطح خارج شوند پس کار سختی افزایش می یابد.



۵- ابعاد: با افزایش قطر می بینیم که منطقه I حذف می شود چون هرچه قطر بیشتر شود احتمال حضور نواقص بیشتر است بنابراین احتمال برخورد بیشتر می شود و کار سختی زودتر اتفاق می افتد.

PAPCO

اثر پارامترهای مختلف بر منحنی $\tau - \gamma$

Subject:

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۶ ۴۱

۶- اثر مرز دانه‌ها (چندبلوری‌ها):

$\tau = \sigma \cos\varphi \cos\lambda$ و $\cos\varphi \cos\lambda = m \Rightarrow \tau = \sigma . m$

فاکتور جهت

$\bar{M} = \frac{1}{m}$

$$\sigma d\varepsilon = \sum_{i=1}^{n} \tau_i d\gamma_i \longrightarrow \sigma d\varepsilon = \tau \sum d\gamma \longrightarrow \frac{\sigma}{\tau} = \frac{\sum d\gamma}{d\varepsilon} = \bar{M}$$

مشتق گرفته و تقسیم بر هم می‌کنیم

آهنگ کار سختی پلی کریستال

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma = \bar{M} \tau \\ \varepsilon = \frac{\gamma}{\bar{M}} \end{cases} \longrightarrow \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \bar{M}^2 \frac{d\tau}{d\gamma} \rightarrow$$

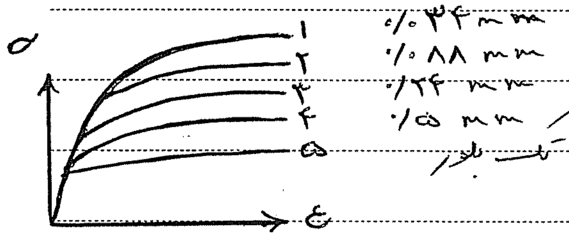
آهنگ کار سختی در تک کریستال

① سیستم‌های لغزش در هر دانه نسبت به جهت کشش متفاوت است.

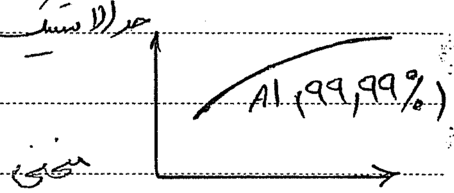
② پیوستگی در حین تغییر شکل باید حفظ شود و بخاطر پیوستگی در هر دانه چند سیستم لغزش (حداقل ۵ سیستم) باید فعال شود.

$\bar{M} \xrightarrow[\text{fcc}]{\text{در}} ۳,۱$

← آهنگ کار سختی پلی کریستال‌های fcc برابر ۹,۵ برابر آهنگ کار سختی در تک کریستال‌های fcc است.



منحنی (۱)



منحنی (۲)

← منحنی (۱) منحنی تنش - کرنش Al با دانه‌بندی متفاوت است که با ریز شدن دانه منحنی به سمت بالا میل می‌کند یعنی استحکام افزایش می‌یابد.

← منحنی (۲) هرچه تعداد دانه‌ها در واحد سطح بیشتر شود حدالاستیک افزایش می‌یابد.

نظریه‌های مختلف در مورد نابه‌جایی‌ها و مرزدانه

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۶

چرا مرزدانه‌ها باعث افزایش استحکام یا کارسختی می‌شوند:

۱ـ مرزدانه‌ها موانعی هستند در مقابل حرکت نابه‌جایی‌ها.

۲ـ اثر مرزدانه‌ها بر جابجایی نابه‌جایی‌ها که در اثر آن هرچه دانه ریزتر جابجایی دانه بیشتر و در نتیجه برخورد بیشتر و کارسختی افزایش می‌یابد.

نظریه هال ـ پچ: hall _ petch

به علت تجمع نابه‌جایی‌ها در پشت مرزدانه‌ها، تمرکز تنش بوجود می‌آید و اگر میزان تمرکز تنش بالا باشد می‌تواند باعث عبور نابه‌جایی‌ها از مرزدانه‌ها باشد.

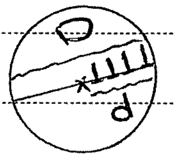
هرچه دانه‌ها ریزتر باشد تنش تسلیم بیشتر خواهد بود.

تعداد نابه‌جایی‌ها در محل تجمع

تنش برشی در جهت لغزش

$$n = \frac{\alpha d \tau_a}{G\frac{b}{\pi}}$$ Eshelby

$$\begin{cases} \alpha = 1 & \text{نابه‌جایی پیچی} \\ \alpha = 1-\nu & \text{نابه‌جایی لبه‌ای} \end{cases}$$



$D = 2d$

$n\tau_a \geq \tau_c$ حداقل تنش لازم برای عبور نابه‌جایی‌ها از مرزدانه

$$\frac{\alpha D \tau_a}{2G\frac{b}{\pi}}\tau_a \geq \tau_c \longrightarrow \tau_a^2 \geq \overbrace{\frac{\tau_c \cdot 2Gb}{\alpha\pi}}^{k^2}\frac{1}{D} \longrightarrow \tau_a \geq kD^{-1/2}$$

$\tau_a \geq \tau_0 + kD^{-1/2}$ — τ_0 تنش اصطکاکی / تنش لازم برای شروع حرکت در غیاب مرزدانه

$\sigma_y = \sigma_0 + kD^{-1/2}$ برای تنش تسلیم بکار می‌رود

نظریه کاترل: katrell

مشابه نظریه هال پچ است ولی تفاوت آن این است که نابه‌جایی‌ها از مرز عبور نمی‌کنند بلکه تمرکز تنشی که در اثر تجمع نابه‌جایی‌ها در مرزدانه بوجود می‌آید باعث می‌شود که در دانه دوم منبع نابه‌جایی فعال شود و یا به عبارتی دانه دوم تسلیم شود.

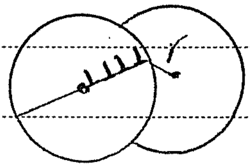
نظریه‌های مختلف در مورد نابجایی و مرزدانه

Subject:

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۶ ۴۳

برای محاسبه تنش برشی آقای کاترل فرض کرده که تجمع نابجایی در مرزدانه مساوی است با ترک که در تنش برشی قرار گرفته.

$$\tau = (\tau_a - \tau_0)\left(\frac{D}{4r}\right)^{1/2} \qquad r < \frac{D}{2}$$



$$\tau_c = (\tau_a - \tau_0)\left(\frac{D}{4r}\right)^{1/2}$$

$$\tau_a = \tau_0 + 4\tau_c r^{1/2} D^{-1/2}$$

$$\Rightarrow \tau_a = \tau_0 + K D^{-1/2}$$

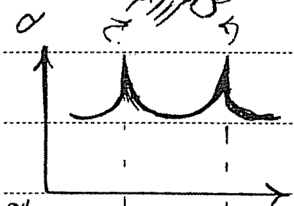
نظریه لی: Li

فرض شده که نابجایی از مرزدانه‌ها وارد دانه‌ها می‌شوند و به عبارتی مرزدانه‌ها منبع نابجایی هستند و شروع تسلیم معادل است با فعال شدن منابع.

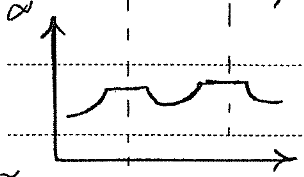
$$\tau = \tau_0 + \alpha G b \sqrt{\rho} \qquad \rho \propto \frac{1}{D}$$

$$\Rightarrow \tau = \tau_0 + \underbrace{\alpha G b}_{k} D^{-1/2}$$

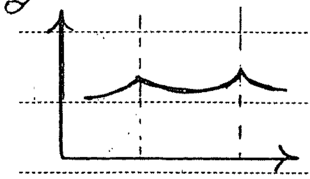
نظریه Meyers-Ashworth



در مرزدانه‌ها تنش بیشتر است نسبت به بقیه جاهای دانه.



ابتدا در نواحی مرزدانه تنش تسلیم اتفاق می‌افتد.



در این مرحله کل شکل وارد تسلیم می‌شود.

اثر پارامترهای مختلف بر منحنی σ - ε

Subject:

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۶

$$\sigma_y = \sigma_{fB} + 8k(\sigma_{fGB} - \sigma_{fB})D^{-1/2} - 16k^2(\sigma_{fGB} - \sigma_{fB})D^{-1}$$

← تنش مرز دانه ← تنش کل دانه

اگر تنش به حدی برسد که تنش در منطقه مرز دانه به (σ_{fGB}) برسد، در اینصورت تغییر شکل پلاستیک در این منطقه انجام می‌شود (تنش تسلیم در مقیاس جلد و ا) . در طی این مراحل کار سختی بوجود می‌آید که باعث می‌شود اختلاف تنش در مرز دانه و دانه کم شود و یا به عبارتی کل جسم وارد تسلیم می‌شود.

← هرچه دانه ریزتر تنش تسلیم بیشتر خواهد شد.

۷- اثر زیر دانه : subgrain

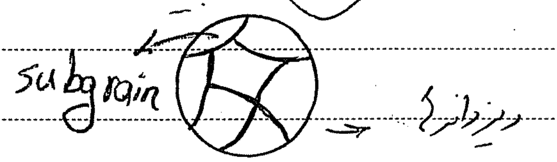
تنش سیلان ←

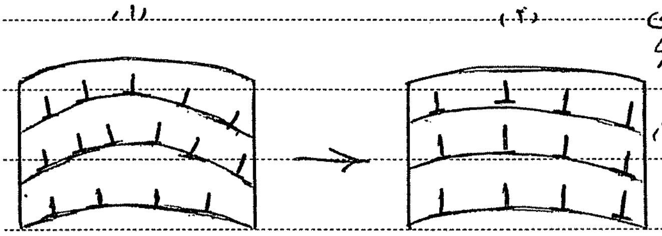
$$\sigma_f = \sigma_0 + kd^{-m}$$

$m = 1$

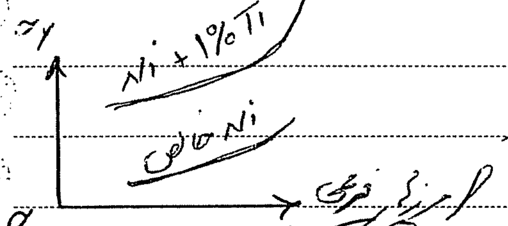
$m = 1/2$

با تبدیل ساختار دانه‌ای به زیر دانه‌ها، اثر دانه‌های اصلی از بین می‌رود و اثر زیر دانه‌ها مؤثر خواهد بود.

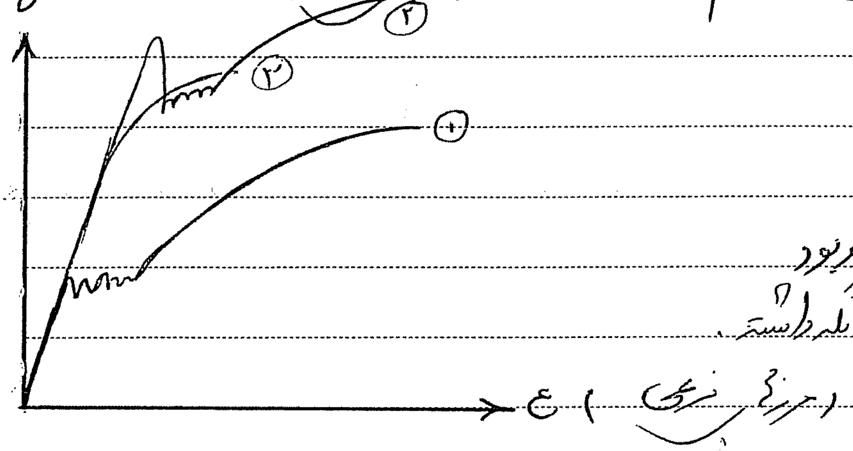




شکل (۱) یک ورق است که خم شده و در اثر خم شدن نابجایی‌ها نابجایی‌های هم علامت را بوجود می‌آورد و برای کم شدن انرژی به شکل (۲) تبدیل می‌شود.



در نیکل خالص هرچه چگالی مرزهای نرمی بیشتر بشود تنش تسلیم افزایش می‌یابد، همچنین در آلیاژ نیکل این اثر شدت یافته است که مرزهای نرمی باعث افزایش استحکام می‌شود.

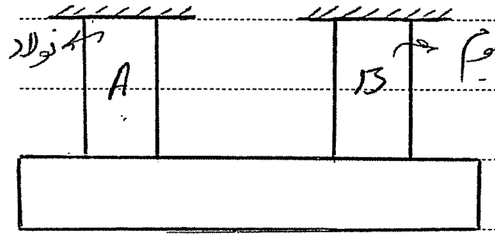


۱- آنیل شده . دارای کمترین استحکام خواهد بود

۲- ۸% تغییر فرم + ۳۰ min در ۱۲۷۵°F نگه داشته.

۳- فقط ۸% کار سرد انجام شده.

مسئله ۱-۱۱:



قطر: $A = 1{,}28\ cm$
$B = 1{,}28\ cm$

A میله: ($\sigma_{ys} = 855\ MPa$, $E = 210\ GPa$) [Q+T(650°C)] 4340

B میله: ($\sigma_{ys} = 505\ MPa$, $E = 70\ GPa$) [7075 − T6]

یک صفحه مسطح که به دو میله A و B آویزان شده، میله A فولادی و میله B آلومینیومی با مشخصات بالا در نظر داریم.

- قبل از اینکه تسلیم رخ دهد چه نیروی حداکثری را می‌توان به صفحه اعمال کرد؟
- کدام میله ابتدا تسلیم می‌شود؟ (هر دو میله سطح مقطعشان یکسانی دارند)

$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow F = 505\left(\frac{(12{,}8)^2\,mm \times \pi}{4}\right) = 64950\ N$ B میله

$\sum F = 2 \times 64950 = 129900\ N$

ب) میله آلومینیوم

مسئله ۱-۲۲:

میله‌ای از فولاد زنگ نزن با مشخصات روبرو داریم:

- دیگر میله ۲۸٪ ازدیاد طول داشته باشد به صورت یکنواخت نیرو را در شروع گلویی شدن بیابید.
- تنش و کرنش حقیقی را در شروع گلویی بیابید.

$\Delta L = 35\%$

$\Delta L_u = 28\%$

$L_0 = 10\ cm$

$d_0 = 2\ cm$

$\sigma_y = 275\ MPa$

$\sigma_{uts} = 515\ MPa$

$F_{necking} = ?$

$\sigma, \varepsilon = ?$

$\Delta L_{necking} = 10 \times \frac{28}{100} = 2{,}8\ cm$ $L_{necking} = 10 + 2{,}8 = 12{,}8\ cm$

[illegible]

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۶ ۴۶

$A_\circ L_\circ = AL \rightarrow ۱۰ \times \left(\frac{۲^۲ \times \pi}{۴}\right) = A_\circ \times ۱۲٫۸ \rightarrow A = ۲٫۴۵\ cm^۲$ $_{necking} = ۲۴۵\ mm^۲$

[illegible] $\sigma_{uts} = \frac{F}{A_\circ} \Rightarrow ۵۱۵ = \frac{F}{۳۱۴\ mm} \Rightarrow F = ۱۶۱۷۰۰\ N$

$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{۱۶۱۷۰۰}{۲۴۵} = ۶۶۰\ MPa$

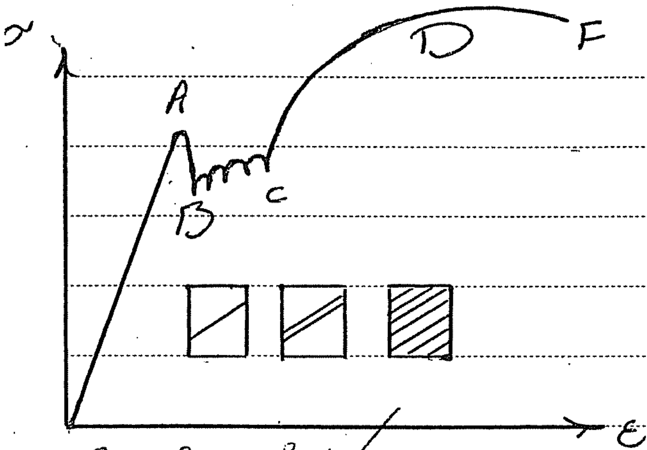
$\varepsilon = \ln \frac{l}{l_\circ} = \ln \frac{۱۲٫۸}{۱۰} = ۰/۲۵\ mm$

$\varepsilon = \ln(۱ + e^{۰/۲۸}) = \ln(۱/۲۸) = ۰/۲۵$ ✓ [illegible]:

PAPCO

اثر حرارت و پدیده تسلیم

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۱۳ ۴۷



پدیده تسلیم و اثر حرارت:

نظریه ۱:

در مورد فولادهای کم کربن: فولادها دارای اتم‌های بین نشین کربن و نیتروژن هستند که نقش نیتروژن بیشتر از کربن است. چون نفوذ این دو در دمای اتاق نیز رخ می‌دهد. این عناصر به زیر خط نابجایی رفته و باعث قفل شدن نابجایی می‌شود (می‌دانیم که نفوذ به دما و زمان بستگی خواهد داشت که در فرصت تولید تا مصرف فولاد این اتم‌ها به زیر خط نابجایی نفوذ می‌کنند)

← تنشی برابر با تنش A نیاز است که نابجایی جدید بوجود آید و یا نابجایی‌های قفل شده آزاد شوند

← منطقه B تا C را منطقه Luder می‌باشد و کرنشی که در این منطقه بوجود می‌آید کرنش Luder می‌گویند.

نظریه ۲:

نقطه تسلیم بالا

$$\dot{\varepsilon} = b\rho\bar{v} \longrightarrow \dot{\varepsilon}_u = b\rho_u\bar{v}_u$$

$$\longrightarrow \dot{\varepsilon}_L = b\rho_L\bar{v}_L$$

← نقطه تسلیم پایین

$$\dot{\varepsilon}_u = \dot{\varepsilon}_L \longrightarrow \frac{\rho_L}{\rho_u} = \frac{\bar{v}_u}{\bar{v}_L}$$

$$\bar{v} = k\tilde{\tau}^m \Rightarrow \left(\frac{\tilde{\tau}_u}{\tilde{\tau}_L}\right)^m = \frac{\rho_L}{\rho_u} \longrightarrow \frac{\tilde{\tau}_u}{\tilde{\tau}_L} = \left(\frac{\rho_L}{\rho_u}\right)^{1/m}$$

← هر چه چگالی متحرک بالاتر باشد نسبت تنش تسلیم بیشتر خواهد بود همچنین m نیز به همین صورت تاثیرگذار است.

شروط لازم برای دیدن نابجایی

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۱۳ ۴۸

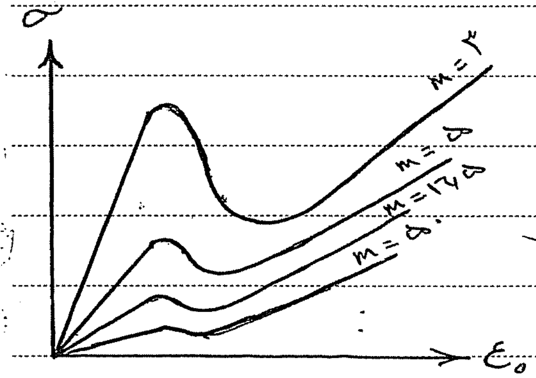
☑ در فولادهای کم‌کربن نیز به دلیل وجود اتم‌های بین‌نشین و قفل نابجایی‌ها h_u کم است.

شروط لازم برای دیدن نابجایی‌ها: (نقطه تسلیم بالا و پایین)

۱- چگالی نابجایی اولیه خیلی کم باشد.
۲- سرعت کارسختی هم کم باشد.

← اگر سرعت کارسختی زیاد باشد در اثر حرکت نابجایی‌ها و ایجاد کارسختی تنش زیاد شده و بر کاهش تنش ناشی از آزاد شدن نابجایی‌ها غلبه خواهد کرد بنابراین تسلیم بالا و پایین مشاهده نمی‌شود اما اگر سرعت کارسختی کم باشد افت تنش ناشی از آزاد شدن نابجایی‌ها غلبه می‌کند بر افزایش تنش ناشی از کارسختی بنابراین تسلیم بالا و پایین دیده می‌شود.

← در فولادهای کم‌کربن سرعت کارسختی کمتر از سرعت کارسختی در فولادهای پرکربن است به همین دلیل تسلیم بالا و پایین در کم‌کربن دیده می‌شود ولی در پرکربن دیده نمی‌شود با وجود اتم‌های بین‌نشین C و N در هر دو.



$\rho_0 = 10^3 \frac{1}{cm^3}$ چگالی اولیه برای مواد

← نمودار تأثیر m بر روی تنش تسلیم مواد مختلف

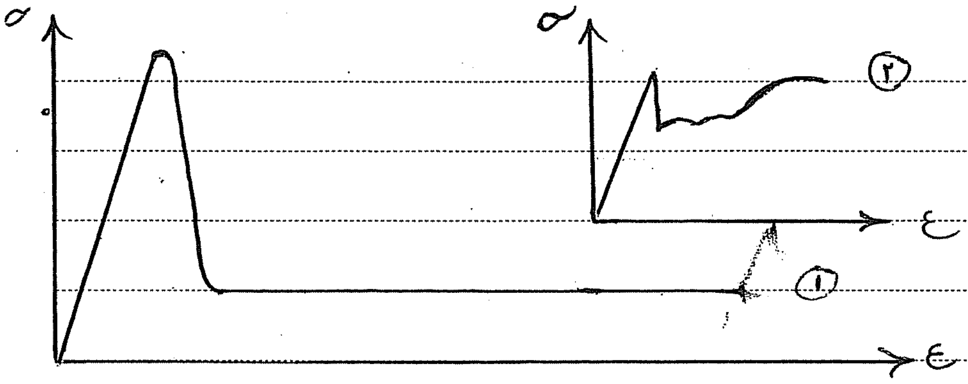
نکته:

۱- $N = 0$ ← $\rho = 0$ ← دیده می‌شود.
۲- $N > 0$ ← $\rho = 0$ ← دیده می‌شود.
۳- $N > 0$ ← $\rho > 0$ ← ممکن است دیده شود یا نه، بستگی به ρ دارد که اگر کم باشد می‌بینیم و اگر زیاد باشد آن را نمی‌بینیم.

N: کل نابجایی‌ها
ρ: چگالی نابجایی‌های متحرک

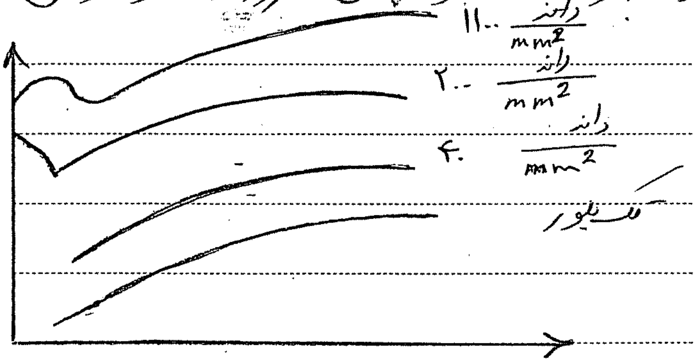
PAPCO

۹/
پیرکرنشی



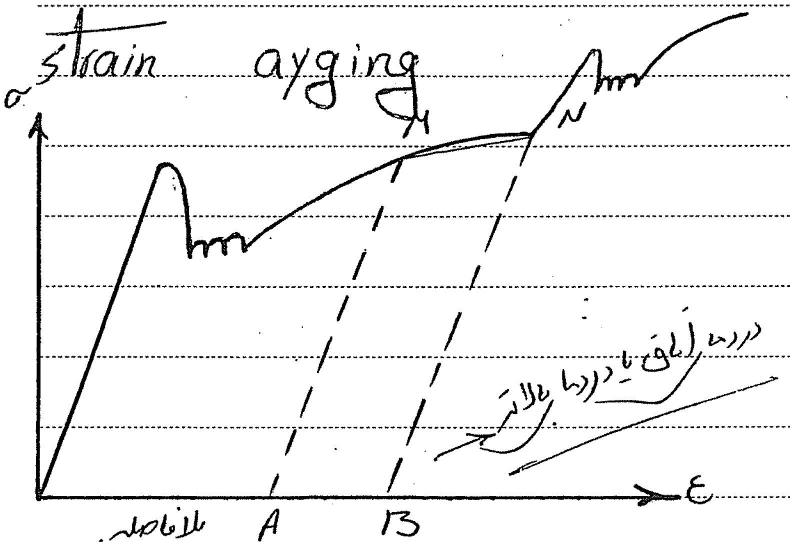
تأثیر اندازه دانه بر تسلیم بالا و پایین:

هرچه دانه‌ها ریزتر باشد اختلاف تسلیم بیشتر خواهد شد و بهتر دیده می‌شود چون مرز دانه‌ها خود موانعی هستند در مقابل حرکت نابجایی.



پیرکرنشی:

strain ayging



باربرداری از نقطه M و بارگذاری مجدد از A باعث شد منحنی در امتداد منحنی قبلی برود جلو، بدون اینکه تسلیم بالا و پایین در آن ببینیم و دلیل آن وجود چگالی بالا در نقطه M است.

← در مواد دیده می‌شود که تسلیم بالا و پایین دارند

پیرکرنشی

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۳

- علت اینکه با بارگذاری در نقطه M تسلیم بالا و پایین واقع بشیم، تغییر شکل plastic انجام شده تا نقطه M باعث افزایش چگالی نابجایی موجود در ماده می شود.

- در نقطه B نفوذ زیاد می شود و نابجایی متحرک توسط C و N قفل می شوند.

- از نقطه N تنش تسلیم افزایش می یابد و چگالی نابجایی ها کاهش می یابد. این پیرکرنشی، پیرکرنشی استاتیکی است.

- در پیرکرنشی دینامیکی تغییر شکل و قفل شدن را با هم داریم.

- هر چه قطعه نازک تر باشد نوار لودر آشکارتر است.

- ظاهر شدن مجدد نقطه‌ی تسلیم بخاطر سطح ناصاف (نوار لودر) است.

- برای زیباتر شدن قطعه بهتر است پدیده بالا را نداشته باشیم برای این کار یک نورد مختصر انجام می دهیم که تنش تسلیم را برد کند و راه حل دوم اینست که در ساخت فولاد عناصر اضافه کنیم که با کربن و نیتروژن ترکیب شود مثل (Al، V، Ti، Cd، B)

- اگر دما را بالا ببریم (۷۰۰ـ۷۵۰) نفوذ حرکت می کند و قفل می کند ولی پیرکرنشی بوجود نمی آید چون افزایش استحکام نداریم

اثر آهنگ تغییر شکل بر منحنی تنش - کرنش:

$$\dot{e} = \frac{de}{dt} \qquad \dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$$

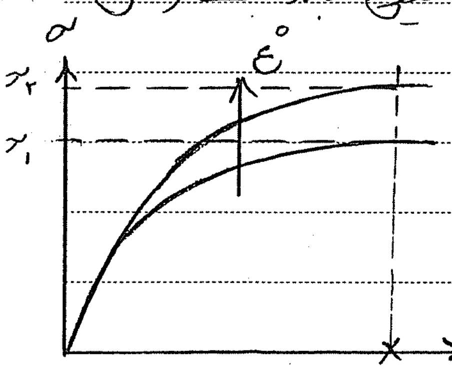
اثر آهنگ تغییر شکل و دما بر منحنی ی σ-ε

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۱۲ ام

$$\dot{e} = \frac{de}{dt} = \frac{d(\frac{\Delta L}{L_0})}{dt} = \frac{1}{L_0}\frac{dL}{dt} = \frac{v}{L_0}$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d(\ln(\frac{L_0}{L}))}{dt} = \frac{1}{L}\frac{dL}{dt} = \frac{v}{L}$$

← آهنگ تغییر شکل مهندسی ثابت خواهد بود ولی آهنگ تغییر شکل حقیقی با گذشت زمان تغییر می‌کند.



m ← ضریب حساسیت به آهنگ تغییر شکل

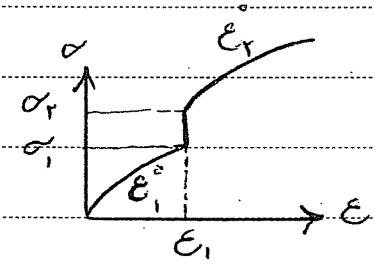
$$\sigma = C(\dot{\varepsilon})^m$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{v}{L}$$

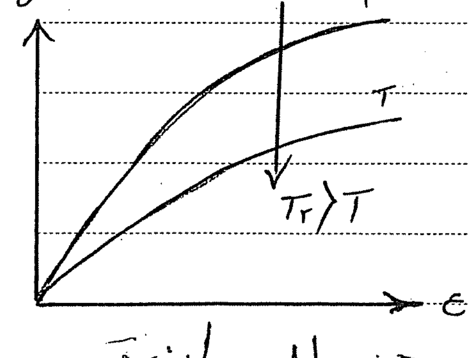
← با افزایش آهنگ تغییر شکل استحکام افزوده شده و قابلیت تغییر شکل کم می‌شود.

شیب خط

$$m = \frac{\Delta(\log\sigma)}{\Delta(\log\dot{\varepsilon})} = \frac{\log\sigma_2 - \log\sigma_1}{\log\dot{\varepsilon}_2 - \log\dot{\varepsilon}_1}$$



اثر دما بر منحنی تنش - کرنش:



دما باعث می‌شود که تنش برشی بحرانی کم شود بنابراین استحکام کم شده و قابلیت انعطاف افزایش می‌یابد.

در قسمت Elastic تنها پارامتری که بر آن تأثیر دارد دما است به همین دلیل در این قسمت

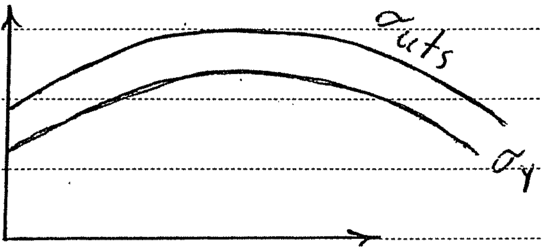
Subject: محلول‌های جامد

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۱۳ ام

قسمت Elastic آن‌ها از هم جدا است بنابراین هرچه دما بیشتر شود نیروی کمتری برای تغییر شکل نیاز داریم.

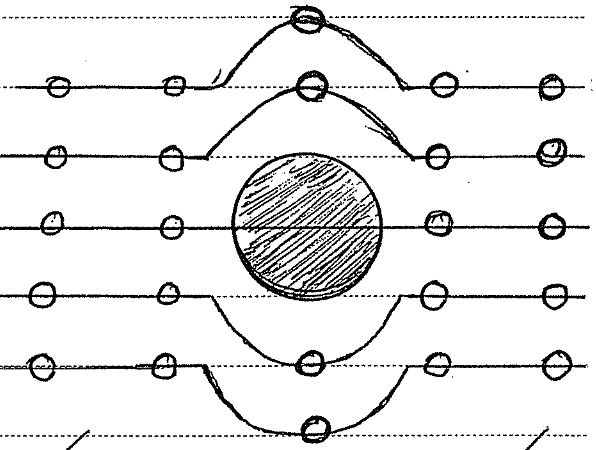
* * *

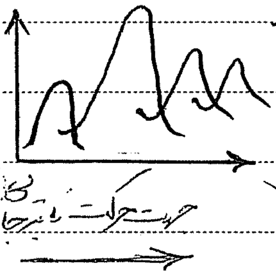
مقاوم شدن از طریق محلول جامد: solid solution hardening



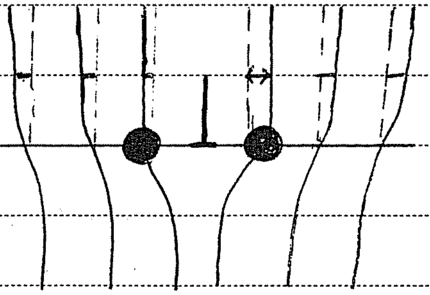
این خواص می‌توانند ناشی از والانسی متفاوت از جمله والانسی، کشسان الکتریکی و شیمیایی باشد.

اتمی بصورت جانشین قرار گرفته که در اطراف آن تنش و کرنش بوجود می‌آید و اطراف این اتم از حالت یکنواخت خارج شده و باعث می‌شود در حرکت نابجایی تأثیر داشته باشد.





این پیک‌ها در حقیقت نیروهایی است که ما باید برای عبور نابجایی اعمال کنیم که هرچه نابجایی به اتم نزدیک‌تر باشد استحکام بیشتر بوده است. در نتیجه پیک بزرگتر مربوط به نابجایی که بر روی خطی است که خود جانشین بر روی آن قرار دارد.



قبل از اینکه اتم محلول جامد داشته باشیم شکل روبرو به صورت خط ممتد است وقتی این محلول را اضافه می‌کنیم سیستم برای کاهش انرژی در اطراف نابجایی قرار می‌گیرد و سیستم را به سمت تعادل می‌برد که به صورت خط منقطع در نظر گرفته شده است.

✓ اگر شبکه اتم‌های بین‌نشین نداشته باشد در اثر وجود نابجایی صفحات اتمی از حالت تعادل

PAPCO

دور می شوند. اضافه کردن اتم‌های محلول به شبکه باعث می شود که این اتم‌ها به حالت تعادل نزدیکتر شوند، اگر در محلی که نابه‌جایی قرار گرفته رسوب کنند اتم‌های جانشینی در اطراف نابجایی و اتم‌های بین نشینی زیر نابجایی) در اثر اعمال تنش و یا نیرو و با توجه به مکانیزم حرکت نابجایی، نابجایی به اندازه (ΔL) بیشتر حرکت می کند نسبت به حالتی که اتم‌های محلول جامد در شبکه وجود نداشته باشد بنابراین بر این میزان باید کار اضافی انجام شود. (کار سختی یا افزایش استحکام)

میزان تأثیر به چند پارامتر بستگی دارد:

۱- میزان تنش ایجاد شده: اگر میزان تنش ایجاد شده در شبکه متقارن باشد مثل جایگزینی یک اتم کروم به جای یک اتم آهن و ... شبکه میزبان تحت تنش ناسازگاری متقارن قرار می گیرد که ناشی از اختلاف اندازه اتم‌های محلول و زمینه است.

بی نظمی ایجاد شده در شبکه در این حالت در همه جهات و به طور مساوی می باشد، میزان افزایش استحکام متناسب است با کرنش ناسازگاری

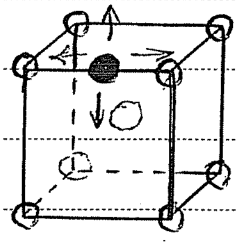
$$\varepsilon \propto \frac{da}{dc}$$

$da \rightarrow$ پارامتر شبکه

$dc \rightarrow$ غلظت اتم‌های حل شونده

ε کرنش ناسا

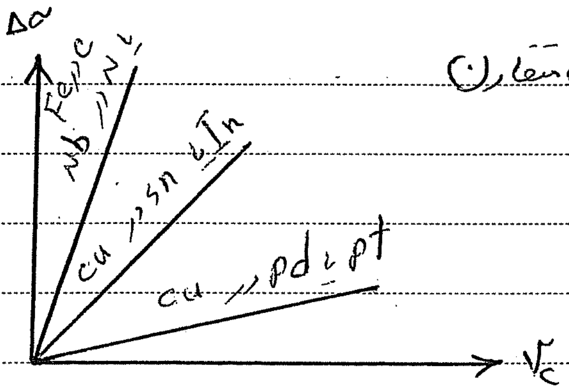
میدان تنش ایجاد شده با میدان تنش هیدرواستاتیکی نابجایی‌های لبه‌ای واکنش انجام می دهد امّا با میدان تنش اطراف نابجایی پیچی واکنشی انجام نخواهد شد. امّا اگر میدان تنش بصورت نامتقارن باشد هم با نابجایی پیچی و هم با نابجایی لبه‌ای واکنش انجام می دهد. مانند:



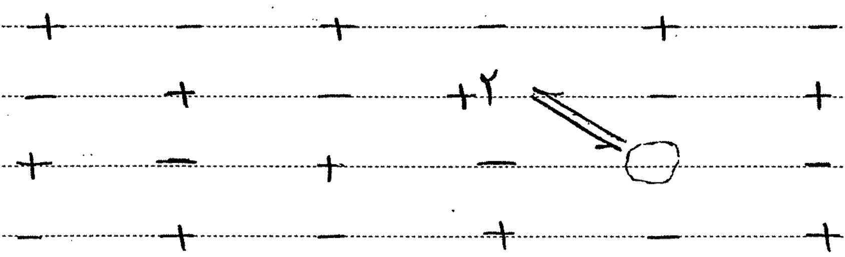
در این مثال یک اتم بین نشین قرار گرفته که در جهت $\langle 100 \rangle$ میدان تنش بیشتری اعمال می کند تا سایر نقاط که این تعریف میدان تنش نامتقارن است.

Subject: محلول جامد

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۱۳ [illegible]

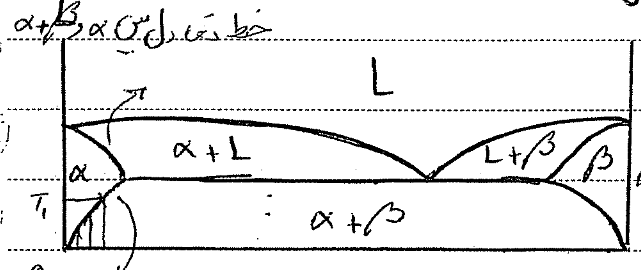


اثر C و N بیشتر است به دلیل اینکه به صورت بین‌نشین اند و نامتقارن ولی دو مورد دیگر به صورت جانشین اند و متقارن.



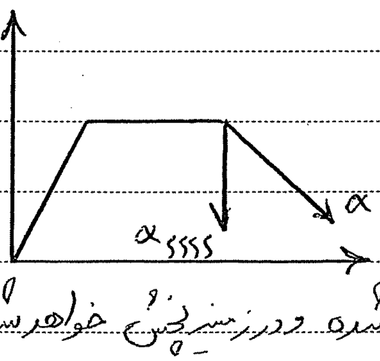
اگر در یک شبکه یک یون دو ظرفیتی به جای یک یون یک ظرفیتی قرار گیرد باید در شبکه یک جای خالی به وجود آید تا این شبکه از نظر بار خنثی باشد یعنی در یک جا یک اتم (+) نباید باشد که ایجاد میدان تنش نامتقارن می‌کند

رسوب سختی: precipitation hardening



باید دما زیر این ناحیه تعادلی باشد

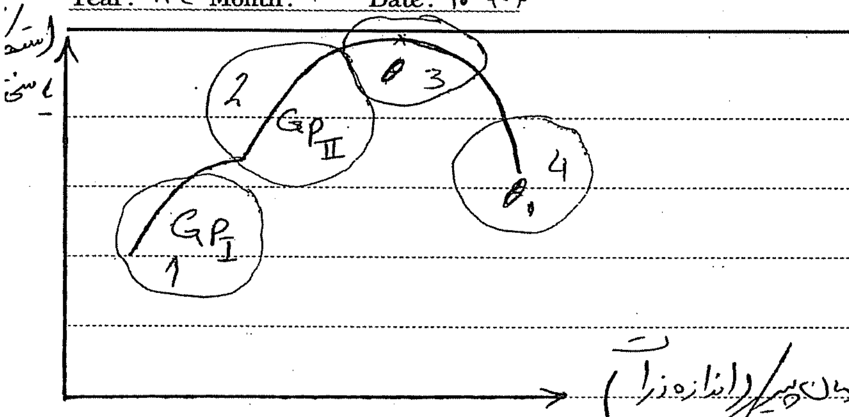
اگر آلیاژ a در دمای T را به آهستگی در دمای اتاق سرد کنیم α+β خواهیم داشت ولی اگر سریع سرد کنیم محلول جامد فوق اشباع خواهیم داشت و این به دلیل این است که فاز β فرصت لازم را برای جدایی ندارد



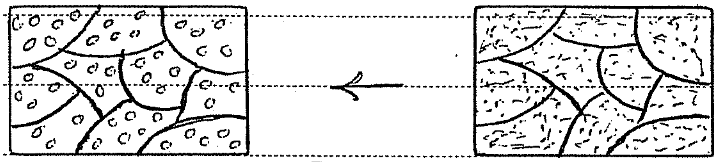
اگر α_{ssss} فوق اشباع در دمای اتاق به مدت زمان طولانی و یا دمای بالاتر در مدت زمان کمتر حرارت دهیم به تدریج رسوبهای β از α جدا شده و در زمینه پخش خواهد شد.

PAPCO

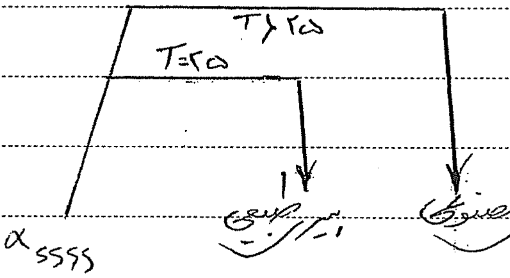
محلولهای جامد



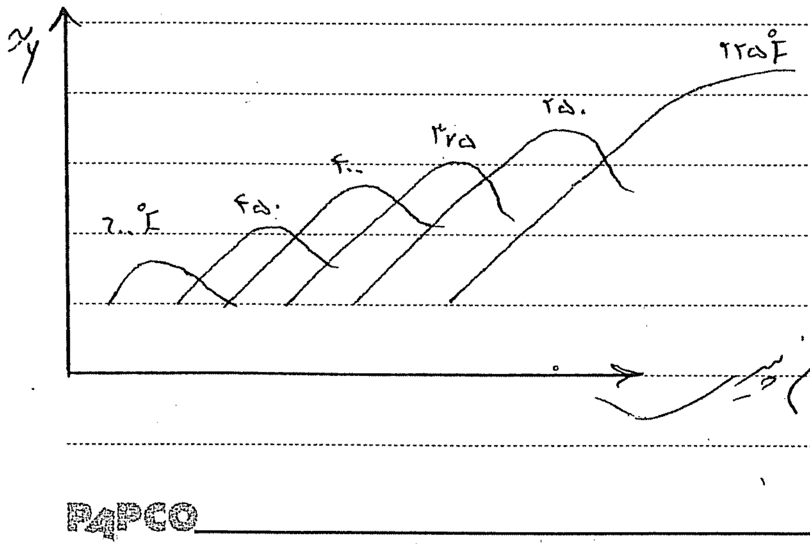
1. ذرات ریز و مناطق کوچکتر.
2. ذرات بزرگتر و منطقه بزرگتر.
3. Max رسوب β در α.
4. اگر حرارت ادامه داده شود ذرات کوچکتر حل شده و به ذرات بزرگتر می‌پیوندند و رسوب انجام می‌شود و هرچه ذرات بزرگتر شوند استحکام کم می‌شود.



اگر α_{ssss} را در دمای اتاق قرار دهیم که با زمان رسوب در آن ایجاد شود به آن پیر طبیعی می‌گویند ولی اگر در دمای بالاتر از دمای اتاق قرار دهیم تا رسوب کند به آن پیر مصنوعی می‌گویند.



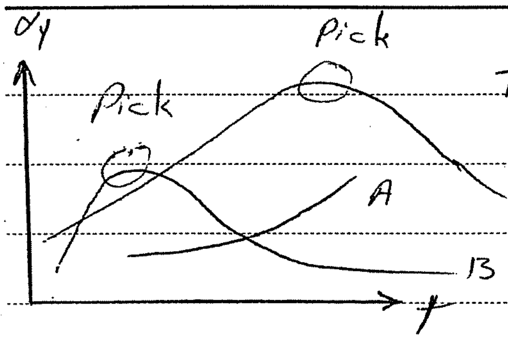
زمان شروع رسوب گذاری بستگی به دمای پیرسازی دارد، اگر دما نزدیک به دمای حلالیت باشد اگرچه حرکت نفوذ سریع است امّا نیروی محرکه رسوب گذاری کم است و برعکس اگر دما خیلی کمتر از دمای حلالیت باشد نیروی محرکه جوانه زنی زیاد است امّا فرآیند نفوذ محدودتر می‌شود بنابراین تشکیل رسوب به تدریج خواهد بود.



PAPCO

محلول جامد

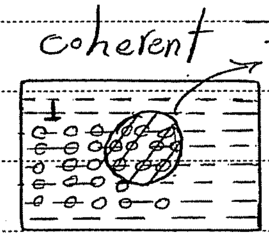
Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۱۷ ام



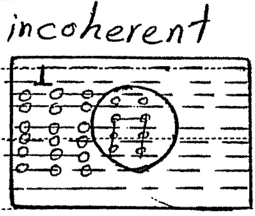
$T_B > T_C > T_A$

هرچه دما خیلی پایین باشد هرگز به Pick منحنی نمی رسیم مثل A و اگر دما خیلی بالا باشد زودتر به Pick می رسیم ولی استحکام خوبی ندارد مثل B پس باید دما را طوری انتخاب کنیم که به یک استحکام مناسبی برسیم که این دماست.

نرخ تغییرات استحکام نسبت به زمان و همچنین میزان استحکام به چند عامل بستگی دارد از جمله کسر حجمی ذرات، توزیع ذرات، ماهیت رسوب ها و ماهیت مرز بین فازها (رسوب و زمینه) پس با ثابت بودن سایر پارامترها هرچه کسر حجمی بیشتر باشد اثر استحکام بیشتر خواهد بود و دیگری توزیع ذرات است که هرچه توزیع ذرات همگن تر باشد اثر ذرات بر استحکام بیشتر خواهد بود. دیگری مرز بین رسوب و زمینه است که به چه صورت باشد و همچنین اثر ماهیت است که از چه جنسی باشد مثلاً فولاد که رسوب کاربید چه فلزی باشد.

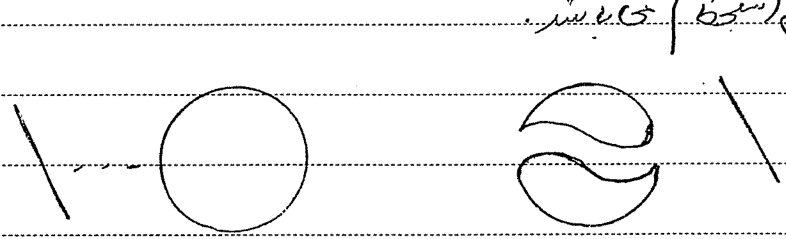


کورنت یا همدوس: در این حالت جهت گیری اتم صفحه زمینه و رسوب یکی است پس نابجایی در امتداد آن حرکت کرده و وارد رسوب می شود و آن را رد کرده و به دو قسمت تبدیل می کند.



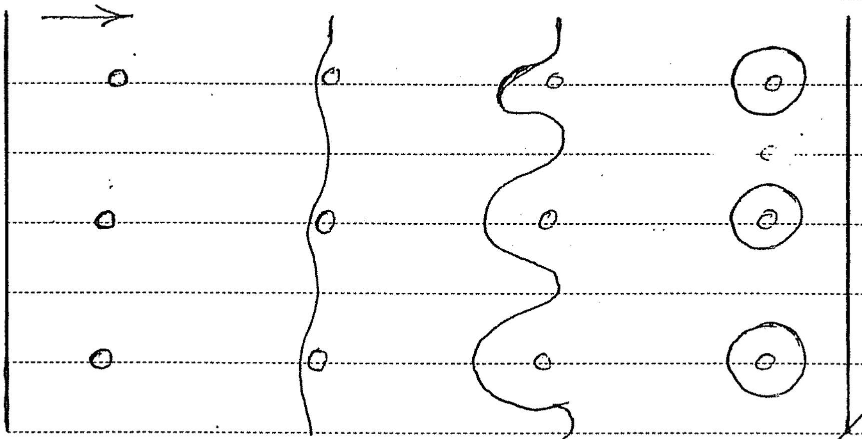
ناهمدوس: در این حالت جهت گیری رسوب و زمینه متفاوت است پس نابجایی از آن عبور نمی کند.

در قسمت همدوس پس از رد کردن و به دو قسمت تبدیل کردن رسوب باعث افزایش سطح رسوب می شود که برای تأمین انرژی سطحی نیاز به افزایش استحکام می باشد.



محلول جامد

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۲۷

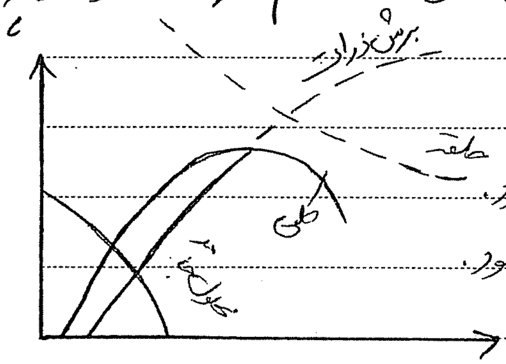


← درصورتی که نابجایی نتواند از رسوب عبور کند در حالت ناهمدوس به صورت بالا می باشد.

Gb

← در اینجا فاصله بین ذرات تاثیر زیادی بر افزایش استحکام دارد و هرچه فاصله کم‌تر شود استحکام زیاد و تنش کم می شود.

← در اینجا حلقه نابجایی فاصله بین ذرات را کم‌تر می کند که با افزایش تنش استحکام منفی می شود.



کلی: ناشی از چند عامل هم زمان است (مجموع سه نمودار)

محلول جامد: در ابتدا محلول جامد استحکام زیادی دارد ولی به تدریج با زمان پیری آن کم می شود.

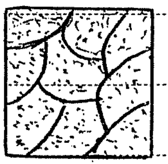
برش ذرات: هرچه زمان بیشتر شود تعداد برش بیشتر و استحکام زیادی می شود.

حلقه: مقدار زیادی دارد و به مرور ذرات درشت‌تر شده و آن نیز با زمان پیری کم‌تر می شود

Dispersion hardening

پراکنده سختی:

منظور پخش کردن ذرات ریز و استحکام بالا در زمینه نرم که معمولاً بیشتر از ذرات اکسید استفاده می کنند مثل ذرات Al_2O_3 در زمینه آلومینیوم و یا ذرات ThO_2 برای زمینه نیکل.



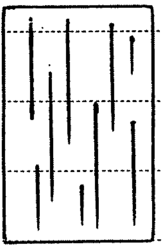
← اگر ما از این ذرات استفاده کنیم اثر از رسوب سختی بیشتر است مخصوصاً در دما بالا زیرا در دما بالا این ذرات مقاوم‌تر هستند زیرا محیط حل شدن و درشت شدن ذرات دیرتر اتفاق افتاده و آلیاژ ما که با این روش مستحکم می شود به مدت طولانی‌تر استحکام خود را در دمای بالا حفظ می کند.

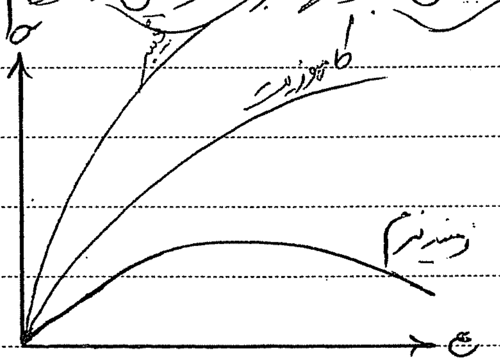
Subject: محلول‌های جامد

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۲۷

استحکام بخشی از طریق فیبرها: Fiber strengthening

از فیبرها و رشته‌های سخت استفاده شده در زمینه نرم که همواره از زمینه B، W، C و ... استفاده می‌شود به صورت رشته‌های زمینه نرم مثل میل گردهای داخل بطونی برای افزایش استحکام.





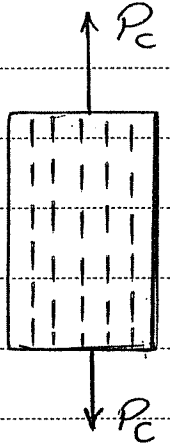
← ممکن است چند مرحله تغییر شکل داشته باشیم که در مرحله اول زمینه و فیبرها تغییر شکل Elastic می‌دهند در مرحله دوم تغییر شکل Elastic زمینه و فیبرها و در مرحله سوم بسته به اینکه فیبرها قابلیت تغییر شکل plastic داشته باشند یا نه که اگر داشته فیبر و زمینه هر دو تغییر شکل plastic می‌دهند و اگر نداشته قسمت شکست فیبر است.

تأثیر پارامترهای مختلف بر کامپوزیت‌ها:

استحکام یک ماده کامپوزیتی بستگی به خواص زمینه و فاز اضافه شده (فیبر)، درصد حجمی آنها، طول فیبرها، جهت فیبرها نسبت به جهت تنش اعمالی دارد.

تجزیه و تحلیل تک کرنشی:

فرض می‌کنیم فیبرها ممتد بوده و موازی با جهت تنش اعمالی.



کامپوزیت ← $P_c = \overset{\text{فیبر}}{P_f} + P_m$ → زمینه

$$\sigma_c \cdot A_c = \sigma_F \cdot A_F + \sigma_m \cdot A_m$$

$\frac{A_f}{A_c} = V_f$ → درصد حجمی فیبرها و $\frac{A_m}{A_c} = V_m$ → درصد حجمی زمینه $(1 - V_F)$

$$\Rightarrow \frac{\sigma_c \cdot A_c}{A_c} = \frac{\sigma_F \cdot A_F}{A_c} + \frac{\sigma_m \cdot A_m}{A_c} \rightarrow \sigma_c = \sigma_F V_F + \sigma_m V_m$$

فیبر و کامپوزیت

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۲۷ ۴۹

$$\sigma_C = E_F \varepsilon_F V_F + E_m \varepsilon_m V_m \longrightarrow \boxed{E_C = E_F V_F + E_m V_m}$$

$\sigma_C \to E_C \varepsilon_C$

$$\frac{P_F}{P_m} = \frac{E_F \varepsilon_F V_F}{E_m \varepsilon_m V_m} = \frac{E_f}{E_m} \cdot \frac{V_f}{V_m}$$

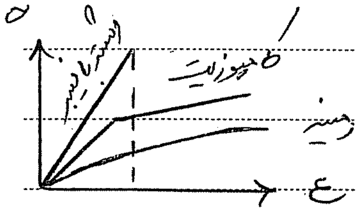
← تمام فرمولها برای قسمت تک کرنشی و Elastic می‌باشد

تنش با استحکام زمینه در حالت کرنش شکست

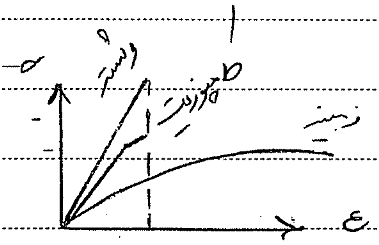
برای قسمت plastic :

به فیبر که

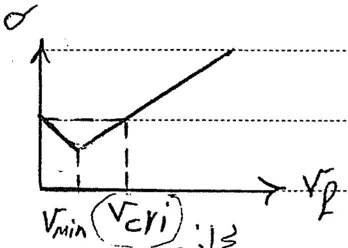
$$\sigma_C = \sigma_F V_f + \sigma'_m \overbrace{(1 - V_F)}^{V_m}$$



در حالت Elastic



فیبر Elastic و زمینه plastic



اثر کسر حجمی فیبر بر استحکام :

در اینجا یعنی اگر کسر حجمی کمتر از V_{cri} باشد از کسر حجمی زمینه کمتر است و کاربرد ندارد چون از V_{cri} به بالا استحکام زیاد می‌شود.

در صورت ممتد نبودن فیبر ها : (در عمل به اینصورت است)

$L_c = cte$

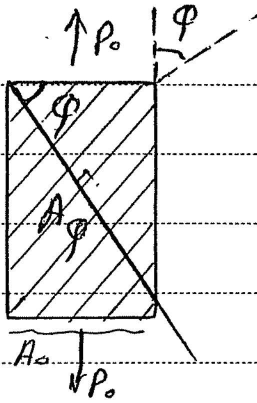
(طول بحرانی)

حداقل طول مناسب برای فیبر

$$\sigma_C = \sigma_F \left(1 - \frac{L_c}{2L}\right) V_F + \sigma'_m (1 - V_F)$$

فیبر در کامپوزیت

اثر جهت الیاف (رشته):



$P_f \rightarrow$ نیروی اعمالی بر فیبر

$$A_\varphi = \frac{A_0}{\cos\varphi}$$

$$P_f = P_0 \cos\varphi$$

$$\sigma_c = \frac{P_0\cos\varphi}{\frac{A_0}{\cos\varphi}} = \sigma_0\cos^2\varphi$$

$$\rightarrow \underbrace{\boxed{\sigma_c = \sigma_0\cos^2\varphi}}_{\text{تنش اعمالی بر کامپوزیت}}$$

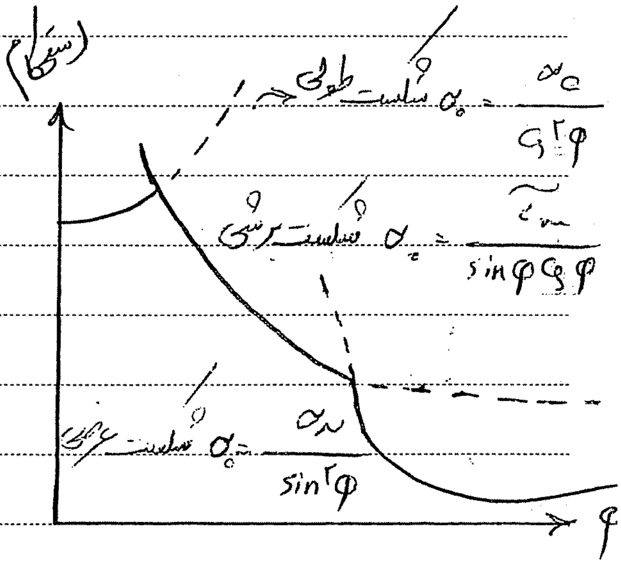
سطح مقطع برشی

$$A_s = \frac{A_0}{\sin\varphi}$$

$$\tau_m = \frac{P_0\cos\varphi}{A_0/\sin\varphi} \rightarrow \tau_m = \sigma_0\cos\varphi\sin\varphi$$

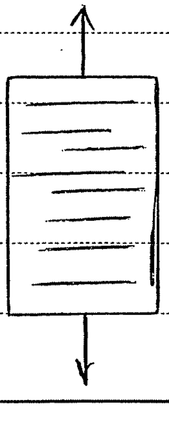
در جهت عمود بر الیاف

$$\sigma_N = \frac{P_0\sin\varphi}{A_0/\sin\varphi} \rightarrow \sigma_N = \sigma_0\sin^2\varphi$$



زمانی که شکست برشی رخ می‌دهد: $\tan\varphi < \frac{\tau_m}{\sigma_c}$

تجزیه و تحلیل تک کرنشی:



$$P_c = P_f = P_m$$

* مجموع کرنش زمینه، کرنش فیبرها و کرنش کامپوزیت را به ما می‌دهد.

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f V_f + \varepsilon_m V_m$$

$$E_c = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + (1-V_f)E_f}$$

مثال:

لوله‌ای به قطر ۴۰ cm از کامپوزیت پلی استر با شیشه استفاده می‌شود الیاف شیشه به طور پیوسته دور لوله قرار دارد برای مقاومت در مقابل فشار داخلی ۴ MPa . حداقل ضخامت لازم چقدر است.

$d = ۴۰\,cm \Longrightarrow r = ۲۰\,cm$

نکته: برای استوانه جداره نازک

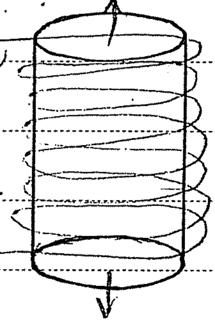
$\sigma_{\parallel} = ۷۵۰\,MPa$

$\sigma_{\perp} = ۲۵\,MPa$ تنش طولی $\sigma_L = \dfrac{Pr}{2t}$ P: فشار داخلی استوانه.

$V_f = ۰/۵$ r: شعاع داخلی.

$P = ۴\,MPa$ تنش عرضی یا مماسی $\sigma_t = \dfrac{Pr}{t}$ t: ضخامت جداره.

$t = ?$



$$\sigma_t = \frac{Pr}{t} \longrightarrow ۷۵۰ = \frac{۴ \times ۲۰}{t} \longrightarrow t = \frac{۸}{۷۵}\,cm$$ حداقل ضخامت

$$\sigma_L = \frac{Pr}{2t} \longrightarrow ۲۵ = \frac{۴ \times ۲۰}{2t} \longrightarrow t = \frac{۸}{۵} = ۱٫۶\,cm$$

مثال:

برای کامپوزیت اپوکسید با بیش از ۷۰٪ حجمی الیاف شیشه مدول کشسان کامپوزیت را در دو حالت موازی و عمود بر محور الیاف محاسبه کنید.

$E_{\text{اپوکسید}} = ۳\,GPa$

$V_f = ۷۰\%$

$E_{c\parallel} = ?$

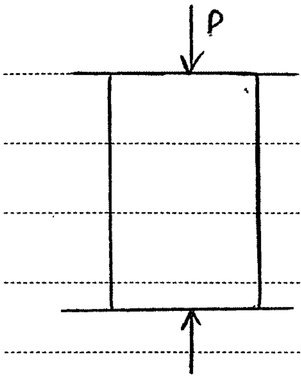
$E_{c\perp} = ?$

$E_{\text{شیشه}} = ۸۵\,GPa$

$$E_{c\parallel} = E_f V_f + E_m \overset{(1-V_f)}{V_m} \longrightarrow E_{c\parallel} = ۸۵ \times ۰/۷ + ۳ \times ۰/۳$$

$$\longrightarrow E_{c\parallel} = ✓$$

$$E_{c\perp} = \frac{E_f \cdot E_m}{V_f E_m + (1-V_f) E_f} = \frac{۸۵ \times ۳}{۰/۷ \times ۳ + ۰/۳ \times ۸۵} \longrightarrow E_{c\perp} = ✓$$

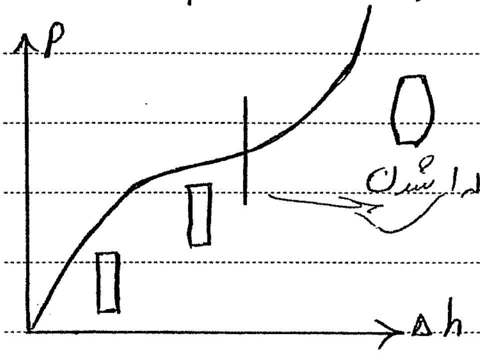


آزمایش فشار:

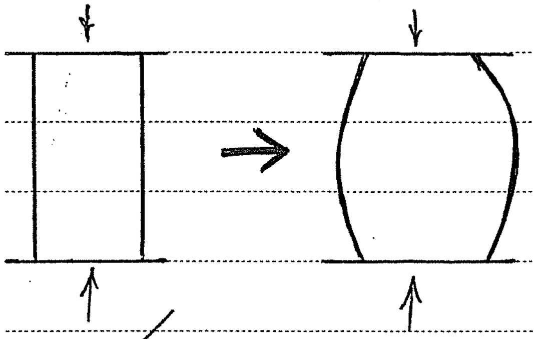
$$\varepsilon = \ln \frac{h_0}{h}$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad S = \frac{P}{A_0}$$

- آزمایش فشار در مورد موادی استفاده می‌شود که مقاومت کششی آنها کم است مثل سرامیک.

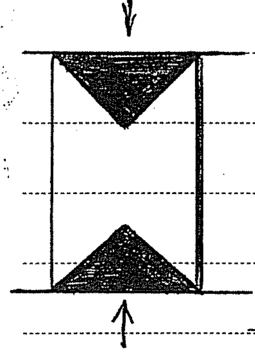


در این منطقه به بعد شروع بشکه‌ای شدن است.



- در اثر اعمال تنش زیاد در حالت plastic شکل به صورت بشکه‌ای در می‌آید.

- به دلیل بشکه‌ای شدن و افزایش اثر اصطکاک نیرو بشدت افزایش یافته و نتیجه‌ای که از آن به بعد حاصل می‌شود در آزمایش قابل قبول نیست.

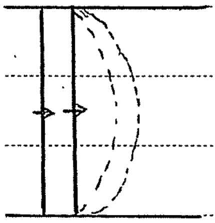


- مناطق زیر به دلیل اصطکاک میان فک و دستگاه تغییر شکل نمی‌دهد که به آن منطقه مخروطی فشاری گویند.

- با افزایش تغییر شکل مناطق مخروط فشاری به هم نزدیک شده و اثر اصطکاک بیشتر خواهد شد.

- در آزمایش کشش مسئله اصطکاک وجود ندارد ولی در فشار نیز اثر زیادی دارد لذا باید به همین نسبت، $\frac{D_0}{h_0}$ یک نسبت مهم مشخص است که اگر این نسبت کم باشد عمل بشکه‌ای اتفاق نمی‌افتد

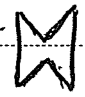
ماده خم شده و اگر زیاد باشد به دلیل اصطکاک زیاد به نیروی زیادی نیازمندیم.



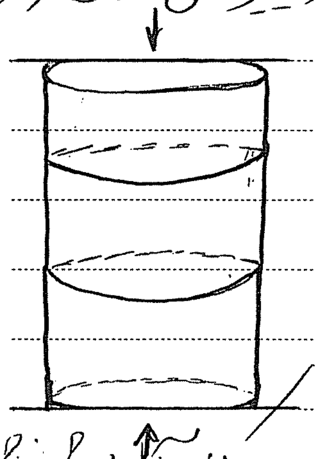
$\frac{D_0}{h_0} \ll \Longrightarrow$ Bucking

روش کاهش اصطکاک:

۱- روغن‌کاری بین سطح مقطع و فک.

۲- ساخت قطعه به صورت  برای خارج کردن مخروط فشار، که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

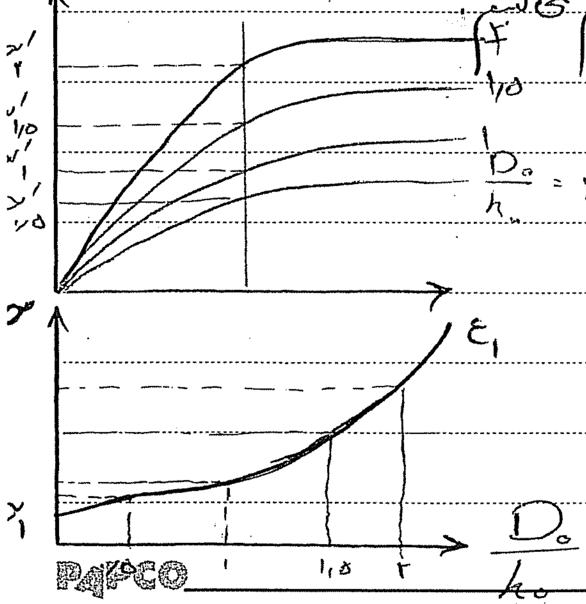
۳- قرار دادن چند استوانه بر روی هم و تنش در استوانه وسطی را در نظر گرفته و تغییر شکل در آن را در نظر بگیریم.



۴- روش کوک و لارک: در این روش چند نمونه با $\frac{D_0}{h_0}$ بین ۰/۵ تا ۲ آماده می‌کنیم، آزمایش فشار را انجام می‌دهیم، منحنی تنش و کرنش را در یک دستگاه محور مختصات رسم می‌کنیم و سپس با توجه به این منحنی‌ها منحنی بدون اصطکاک را برای تنش و کرنش رسم می‌کنیم.

سپس (σ_1) مربوط به هر $\frac{D_0}{h_0}$ را به دست آورده و سپس یک محور مختصات دیگر بر حسب $\frac{D_0}{h_0}$ و σ می‌کشیم که یک منحنی به ما می‌دهد، این منحنی را ادامه می‌دهیم تا محور σ را در نقطه‌ای قطع کند که به آن σ_1 می‌گوییم.

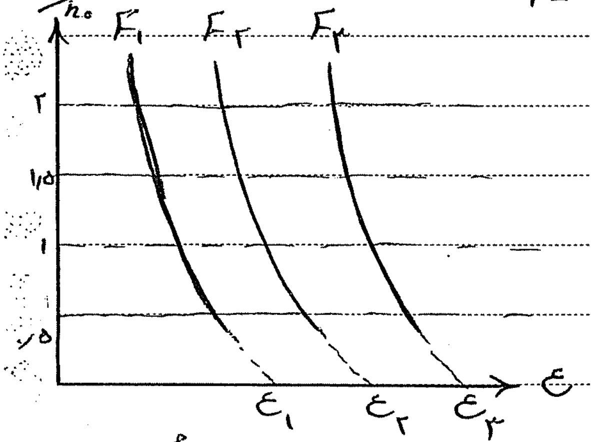
σ_1 برابر است با تنش لازم برای ایجاد تغییر شکل در ε_1 در غیاب اصطکاک.



روشهای کاهش اصطکاک

مثلاً روش کوک و لارک :

نمونه‌هایی با نسبت $\frac{D_0}{h_0}$ بین ۰/۵ تا ۲ انتخاب می‌کنیم و سپس همه را تحت نیروی F ثابت قرار می‌دهیم کرنش‌های متفاوت بدست می‌آید این خط را به محور ε ادامه می‌دهیم ε بدست می‌آید یعنی کرنش بدون اصطکاک بدست می‌آید.



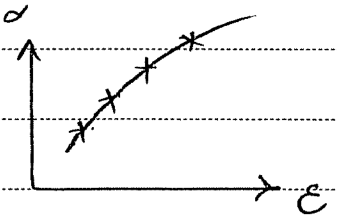
← چون کرنش بدون اصطکاک داریم حال تنش را حساب می‌کنیم :

$$\varepsilon_1 \xrightarrow{\text{معلوم}} = \frac{h_0}{h_1} \longrightarrow h_1 = \checkmark$$

$$A_1 h_1 = A_0 h_0 \longrightarrow A_1 = \checkmark$$

حال : $\sigma_1 = \frac{F}{A_1} \longrightarrow \boxed{\sigma_1 = \checkmark}$

بعد از اینکه F_1 را بدست آوردیم نمونه‌ها را اصلاح می‌کنیم تا به D_0 اولیه برگردیم و سپس با نیروی F_2 این کار را تکرار کرده تا ε_1 و ε_2 و ... بدست آید که متناظر با هرکدام σ_1 و σ_2 و σ_3 و ... بدست می‌آید که در نهایت نمودار تنش ـ کرنش بدست می‌آید.



سختی

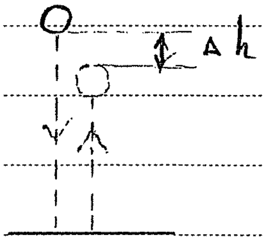
Subject:
Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۰ ۶۹

سختی: hardness

مقاومت در برابر تغییر شکل امّا در مورد فلزات تغییر شکل در قسمت plastic.

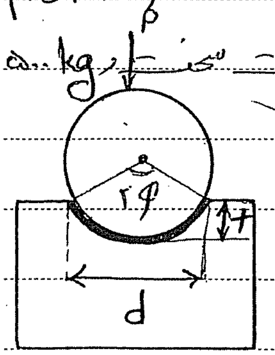
مقاومت در مقابل فرورفتگی: Intentation hardness
مقاومت در مقابل نیروی ضربه‌ای: rebound hardness
مقاومت در مقابل خراش: scrutch hardness
مقاومت در برابر سایش و ...

مقاومت در برابر نیروی ضربه‌ای:
از یک ارتفاع معین ساچمه‌ای را بر روی ماده‌ای رها کرده بسته به اینکه ماده چقدر بتواند انرژی ساچمه را جذب کند ساچمه تا ارتفاعی برمی‌گردد که هرچه اختلاف ارتفاع کمتر باشد ماده سخت‌تر است.



مقاومت در برابر خراش:
آزمایش خراش را با جدول سختی (moh) انجام می‌دهیم که درجه سختی از ۱ تا ۱۰ است که نرم‌ترین مربوط به تالک و سخت‌ترین برای الماس است. امّا فلزات بین ۳ تا ۷ قرار می‌گیرند.

مقاومت در برابر فرورفتگی:
۱- روش برینل: Brinell (BHN)
از ساچمه‌ای فولادی با قطر 10mm استفاده می‌کنند و نیرو 3000 kg برای فلزات سخت و 1500 kg برای موادی با سختی متوسط و 500 kg برای موادی با سختی نرم



سختی برینل

$$BHN = \frac{P}{\pi D t} = \frac{P}{\frac{\pi D}{2}\left[D - \sqrt{D^2 - d^2}\right]}$$

قطر ساچمه

$d = D \sin\varphi$

PAPCO

سختی

Subject:
Year. ۸۶ Month. ۴ Date. ۱۰ (۷۵)

$$BHN = \frac{P}{\frac{\pi D^2}{2}(1-\cos\varphi)}$$

در این روش سختی به عنوان نیرو تقسیم بر سطح اثر ایجاد شده تعریف شده.
برای آنکه ساچمه استفاده شده در قطعه اثر با خطوطی ایجاد نکند که موجب تمرکز تنش و شکست شود از ساچمه کوچکتر متناسب با استاندارد استفاده کنیم که دارای یک استاندارد است که عبارتند از:
۱-۱,۲۵-۲,۵-۵-۱۰ mm

جنس ساچمه معمولاً کاربید تنگستن است.

برای آنکه بتوان از ساچمه کوچکتر استفاده کرد شرط این است که جواب بدست آمده توسط ساچمه بزرگتر یکسان باشد در نتیجه نیرو را باید کم کنیم.

$$(BHN)_1 = \frac{P_1}{\frac{\pi D_1^2}{2}(1-\cos\varphi)}$$

$$(BHN)_2 = \frac{P_2}{\frac{\pi D_2^2}{2}(1-\cos\varphi)} \rightarrow \boxed{\frac{P_1}{D_1^2} = \frac{P_2}{D_2^2} = k}$$

- در مورد فلزات و مواد سخت k را برابر با ۳۰ می‌گیرند مثل فولاد، چدن و ...
- برای فلزات نرم مثل سرب و روی و ... از k=۱ استفاده می‌کنند.
- k=۵ برای فلزاتی مثل مس و آلومینیوم است.
- k=۱۰ و ۱۵ برای آلیاژ فلزات نسبت به سختی آنها است.

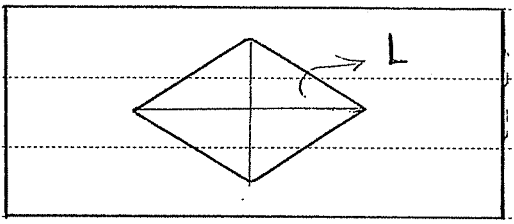
۲_ ~~[illegible]~~ روش مایر Meyer (MHN)
سختی برابر نیرو تقسیم بر تصویر سطح اثر ایجاد شده.

$$MHN = \frac{P}{\pi d^2/4}$$

۳- روش ویکرز : Vickers (VHN)

از هرمی با مقطع چهار وجهی و از جنس الماس است که زاویه بین صفحات متقابل هم ۱۳۶° است و سختی هم تعریف می شود بر عنوان نیرو تقسیم بر سطح اثر ایجاد شده.

$$VHN = \frac{1.854P}{L^2}$$



در این روش نیرو از ۱ تا ۱۲۰ کیلوگرم متغیر است. با توجه به اینکه جنس ماده الماس است می توانیم سختی سخت ترین و نرم ترین ماده را بیابیم.

۴- روش راکول Rockwell (RHN)

از مخروط الماس با زاویه راس ۱۲۰° و یا ساچمه فولادی به قطر ($\frac{1}{8}$ و $\frac{1}{16}$ in) استفاده می شود در این روش بسته به نیرو و فرو رونده ای که استفاده می کنیم اسامی مختلفی داریم که از راکول A شروع شده تا راکول در اینجا سختی بر مبنای عمق اثر اندازه می شود.

R_A : از مخروط الماس با نیرو ۶۰ kg استفاده می کنند برای مواد با سختی متوسط. ✓
R_B : از ساچمه فولادی به قطر $\frac{1}{16}$ in و نیرو ۱۰۰ kg استفاده می کنند برای مواد نرم. ✓
R_C : از مخروط الماسی و نیرو ۱۵۰ kg استفاده می کنند برای مواد سخت. ✓
R_D : مخروط الماس و نیرو ۱۰۰ kg.
R_E : ساچمه $\frac{1}{8}$ in و نیرو ۱۶۰ kg.
R_F : ساچمه $\frac{1}{16}$ in و نیرو ۶۰ kg.
R_G : ساچمه $\frac{1}{16}$ in و نیرو ۱۵۰ kg.
R_H : ساچمه $\frac{1}{8}$ in و نیرو ۶۰ kg.

$$R_B = 130 - \frac{\text{عمق اثر (mm)}}{0.002\ \text{mm}}$$ ← برای ساچمه

$$R_C = 100 - \frac{\text{عمق اثر (mm)}}{0.002\ \text{mm}}$$ ← برای الماس

Subject: سختی

Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۰ ۷۲

← در روش راکول خود دستگاه مستقیم عدد سختی را می دهد و یا به عبارتی سرعت عمل در این روش زیاد است دوم اینکه خطای اندازه گیری از بین می رود.

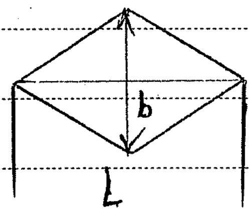
← در تمام روشهای راکول یک ۱۰kg ابتدایی داریم تا تمام نفوذ زیر دستگاه تنظیم شده و سپس نیروی بعد را اعمال کند.

۵ـ روش میکروسکوپی Micross cop (KHN)

برای مواد ترد و نازک از روشهای قبلی استفاده نمی شود و از این روش استفاده می شود که اعمال نیرو در حد گرم و بین ۲۵ تا ۳۶۰۰ گرم است. فرو رونده نیز مانند ویکرز چهار وجهی و از جنس الماس است. در این روش سختی برابر است با نیرو تقسیم بر سطح اثر ایجاد شده.

$$KHN = \frac{P}{L^2 C}$$

← C ثابتی است که بسته به فرو رونده که توسط سازنده اعمال می شود.



نکاتی که هنگام سختی سنجی باید رعایت کنیم:

۱ـ دو سطح قطعه را باید پولیش کرده تا موازی باشند تا نیرو عمود بر سطح قطعه وارد شود.
۲ـ نزدیک به لبه‌ها سختی سنجی نکنیم چون در آنجا تغییر شکل راحت است و خطا دارد.
۳ـ حداقل باید چهار بار سختی سنجی کنیم که میانگین آن بدست آید که فاصله‌ای که باید در هر بار از هم در نظر بگیریم ۳ تا ۵ برابر قطر اثر است.
۴ـ ضخامت قطعه حداقل ۱۰ برابر عمق اثر باشد.
۵ـ از قطعاتی که باریک شده اند حتی الامکان سختی سنجی نکنیم چون قسمتی از نیرو صرف تغییر شکل جانبی می شود.

Subject: آزمایش ضربه

Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۰ ۲۳

آزمایش ضربه: impact test

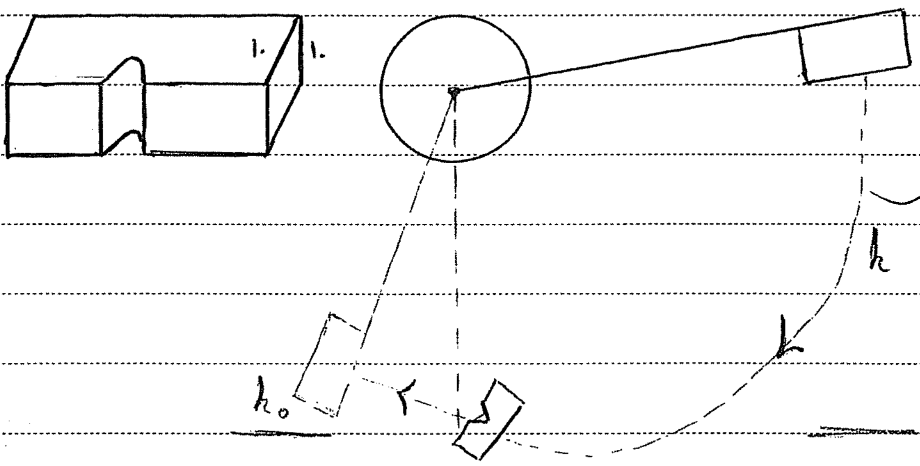
این آزمایش تحت نیروی دینامیکی است پس سرعت اعمال نیرو مهم است.

۱ـ روش شارپی charpy

۲ـ روش ایزود Izod

①

در روش شارپی نمونه‌ای با ابعاد (۱۰×۱۰×۵۵) میلی‌متر یک فاق ایجاد می‌کنیم به عمق ۲mm که زاویه صفحات آن ۴۵° و انتهای آن هم تو‌سی دارد به شعاع ۲۵/۰ میلی‌متر.

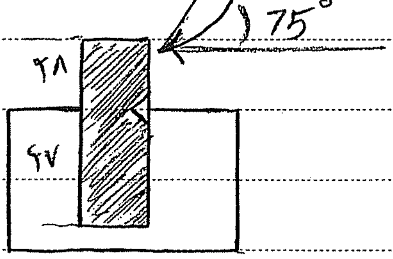


از روی اختلاف ارتفاع پاندول قبل و بعد از برخورد می‌توان انرژی شکست را بدست آورد.

ضربه دقیقاً پشت فاق برخورد می‌کند.

②

در روش ایزود ابعاد قطعه (۱۰×۱۰×۷۵) میلی‌متر است که قطعه را با اندازه معین در داخل دستگاه قرار می‌دهیم و ضربه را به قسمت بالایی می‌زنیم با ارتفاع و زاویه مشخص که قسمت بالایی جدا شود و انرژی شکست از آنجا بدست می‌آید.

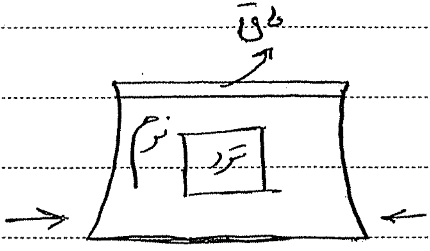


از آزمایش ضربه چه نتیجه‌گیری می‌توان گرفت:

۱ـ بدست آوردن انرژی شکست

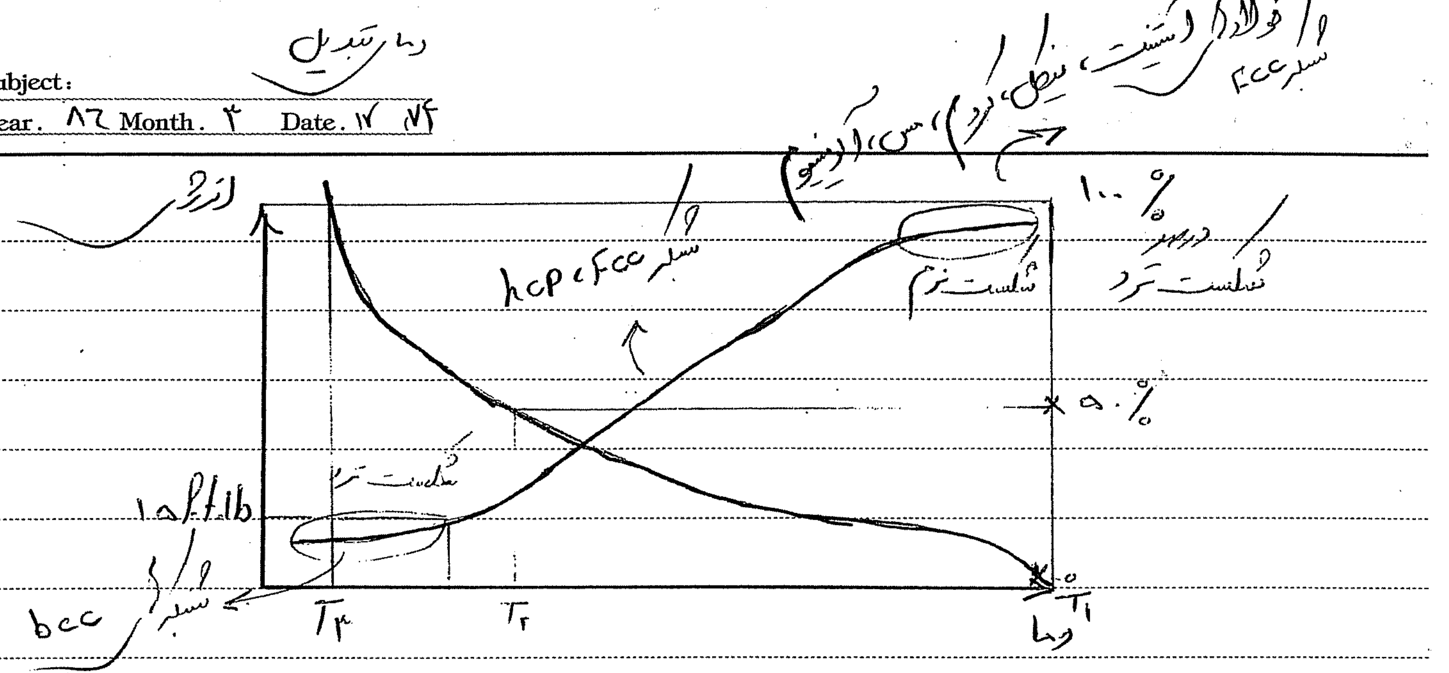
۲ـ تعیین میزان شکست ترد یا نرم

۳ـ انبساط قطعه



Subject: دمای تبدیل

Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۷ ۷۴



Fracture Transition plastic : FTP : T۱

دمای که در آن شکست ۱۰۰٪ نرم است و یا به عبارتی ۰٪ ترد.

Fracture appearance Transition plastic : FATT : T۲

دمای که ۵۰٪ شکست نرم است و ۵۰٪ شکست ترد.

Nil ductility ~~tempre~~ temperature : NDT : T۳

دمای که در آن شکست ۱۰۰٪ ترد است و یا به عبارتی ۰٪ نرم

T۴:

میانگین دمای T۱ و T۳ است.

$T_4 = \frac{T_1 + T_3}{2}$

T۵:

دمایی که در آن انرژی شکست برابر ۱۵ ft.lb است

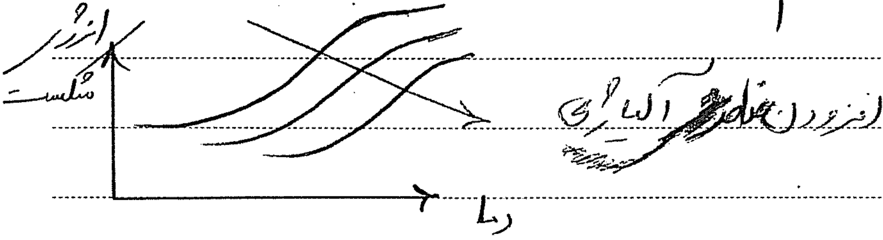
از لحاظ مهندسی دماهای T۴ و T۵ مهم است چون در این دماها باید به سمت شکست نرم برویم زیرا شکست نرم با چشم قابل دیدن است و اگر تغییری در قطعه دیدیم آن را عوض می‌کنیم اما شکست ترد قابل دیدن نیست و خطرناک می‌باشد، پس باید از دمای ترد دوری جوییم. توصیه می‌شود که از

Subject: دمای تبدیل
Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۷ ۸۶

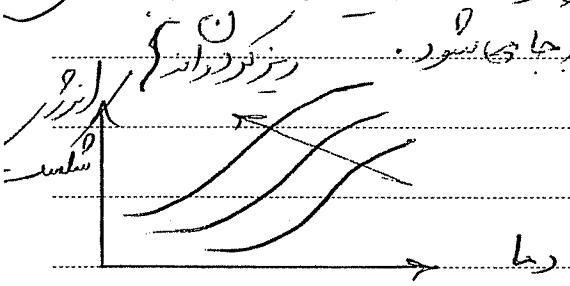
T_{cs} استفاده نشود زیرا بستگی به استحکام تسلیم دارد پس بهتر است از T_{μ} استفاده کنیم.

عوامل موثر بر دمای تبدیل : (به T_{μ})

۱_ عناصر آلیاژی :
افزایش عناصر آلیاژی باعث می شوند که نمودار به سمت راست حرکت کند و باعث افزایش انرژی شکست شود و دلیل آن افزایش استحکام است.
به استثناء* Ni و Mn .

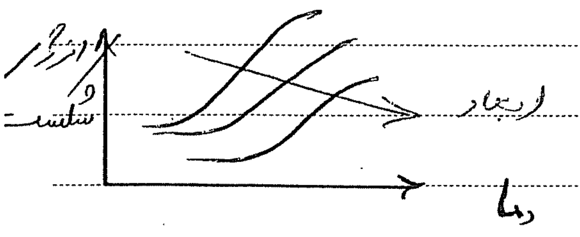


۲_ اندازه دانه :
هرچه اندازه دانه ریزتر باشد استحکام بالاتری دارد در عین حال چقرمگی افزایش یافته و در نتیجه دمای تبدیل کاهش می یابد و نمودار برعکس تصور به سمت چپ جابجا می شود.



چون مرز دانه موانعی در برابر حرکت نابجایی (ترک) هستند، در نتیجه هرچه تعداد این موانع را زیاد کنیم (تعداد دانه را افزایش دهیم) شکست دیرتر اتفاق می افتد.

۳_ ابعاد دانه :
هرچه ابعاد دانه را بزرگتر کنیم به سمت شکست ترد میل می کند و چون نواقص ماده بیشتر خواهد بود نمودار به سمت راست میل می کند.

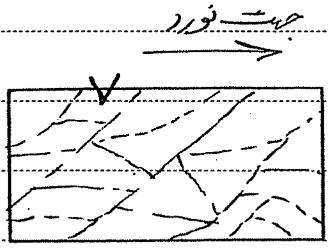


آزمایش خستگی

Subject:
Year. ۸۶ **Month.** ۳ **Date.** ۱۷ ۷۶%

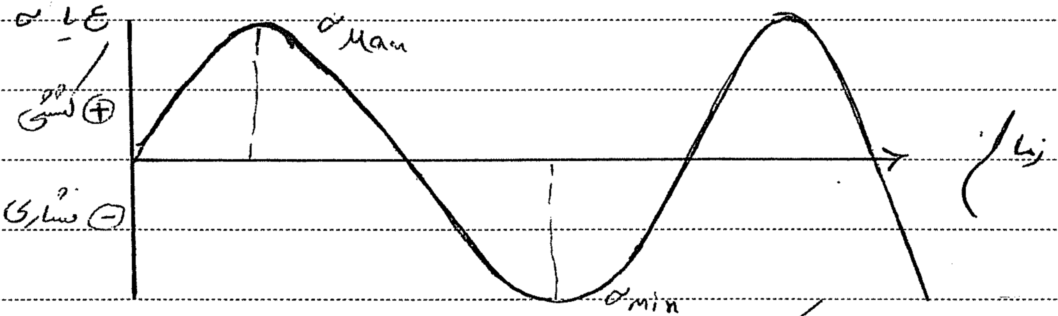
۴ـ جهت نمونه:

- در پروسه طراحی و ساخت (در اثر ماشینکاری، نورد و ...) جهت را تغییر کرده و بر آزمایش تأثیر می‌گذارد یعنی نمونه برید در جهت نورد زودتر از نمونه برید در جهت عمود بر ترک است می‌شکند.

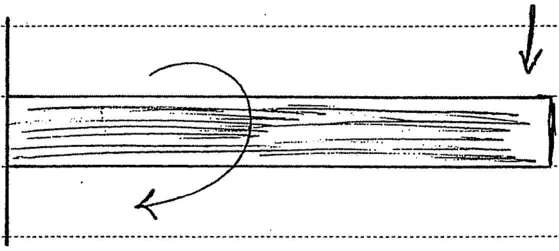


آزمایش خستگی:

وقتی یک پاره تحت تنش و یا کرنش تناوبی و یا تکراری قرار بگیرد شکستی که در آن ایجاد می‌شود را خستگی می‌نامند که حدوداً تا ۹۰٪ شکست‌ها در حال کار مربوط به خستگی است.
معمولاً تنشی که برای شکست خستگی مورد نیاز است کمتر است از تنشی که برای شکست کشش نیاز است.



$\sigma_{Max} = |\sigma_{min}|$

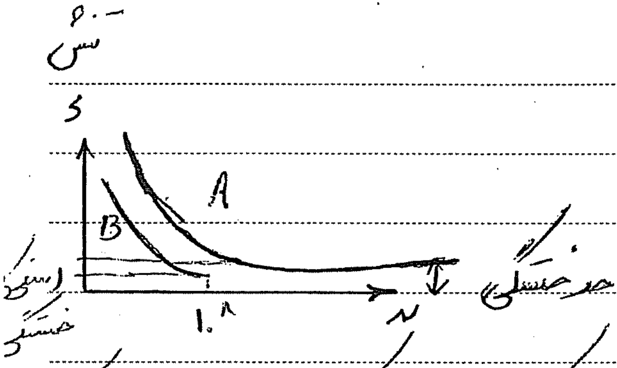


با اختلاف دما و با انقباض و انبساط پیدا کردن پاره، نیز خستگی ایجاد می‌شود.

آزمایش خستگی

Subject:

Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۷ ۷۲



از آزمایش خستگی چه چیزی می‌فهمیم:

منحنی
- تنشی → S-N (N ← تعداد سیکل تا شکست)
- کرنشی → ε-N

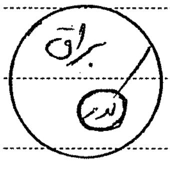
حد خستگی: می‌توان به عنوان تنشی تعریف کرد که در تنش‌های کمتر از آن شکست مربوط به خستگی نداریم.

← حد خستگی در مورد فولادها بین ۳۵٪ تا ۶۵٪ استحکام کششی (σ_{UTS}) است که اگر آن را نداشتیم ۵٪ می‌گیریم.

استحکام خستگی: تنش لازم برای شکست در 10^8 سیکل است، این در مواردی که حد خستگی نداریم تعریف می‌شود.

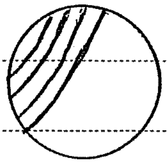
سطح شکست خستگی:

معمولاً موادی که تحت خستگی می‌شکنند با دیدن آن از طریق میکروسکوپ می‌توان فهمید از طریق خستگی بوده یا نه، در شکست دو منطقه براق و کدر داریم که منطقه براق مربوط به خستگی است و منطقه کدر مربوط به شکست نهایی است که براقی در اثر سایش در نیرو تکراری بوده است.



خطوط خستگی:

با میکروسکوپ SEM و یا TM می‌توان این خطوط را دید. خطوط خستگی چیزی به جز اختلاف سطح ناشی از شکست (ترک) توسط خستگی نیست که آنها را در مقطع خستگی می‌توان دید.



striation خطوط خستگی

PAPCO

Subject: خزش

Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۷ ۲۸

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{M D/2}{\frac{1}{64}\pi D^4} \rightarrow \sigma = \frac{M}{\pi \frac{D^3}{32}}$$

M ← ممان (خمشی یا پیچشی)

D ← قطر نمونه

خزش: creep

تغییر شکل تدریجی یک ماده را در دما بالا و تحت تنش ثابت را گویند.

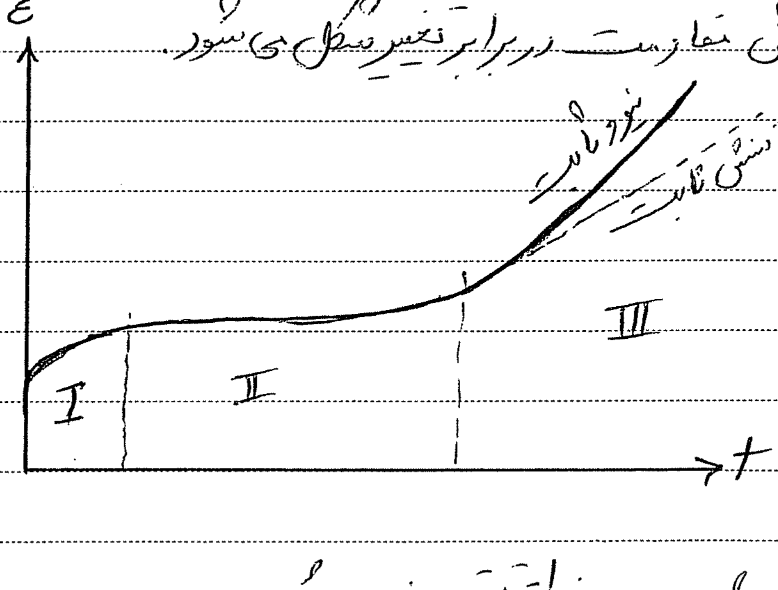
← در دما بالا خزش وابسته به زمان است.

← دما بالا دمایی است که در حدود $0/4\,T_m$ به بالا باشد.

← با افزایش دما لغزش راحتتر و تعداد سیستم‌های لغزش افزایش یافته و سیستم‌ها موجب سختی کمتری شود و ممکن است تغییر حالت فازی نیز داشته باشیم. در دما بالا صعود نابجایی راحتتر و همچنین لغزش راحتتر صورت می‌گیرد.

فرآیند کارسختی: فرآیندهایی که منجر به افزایش مقاومت در برابر تغییر شکل می‌شود.

فرآیند بازیابی: فرآیندهایی که منجر به کاهش مقاومت در برابر تغییر شکل می‌شود.

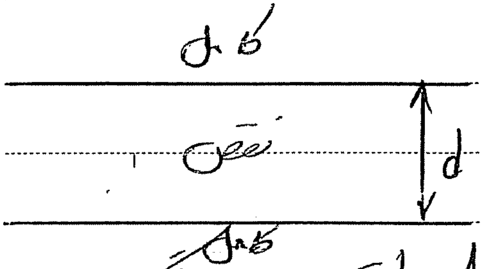


ε_0: تغییر شکلی است که به محض اعمال تنش یا نیرو در جسم بوجود می‌آید و جزء تغییر شکل خزش بحساب نمی‌آید*

← بعد از تغییر شکل آنی که با ε_0 مشخص شده به سه منطقه تقسیم‌بندی می‌شود:

Subject: خزش

Year. ۸۶ Month. ۲ Date. ۱۷ (۸)



جزئی به هم نزدیکترند و انرژی بیشتر است بنابراین احتمال ترکیب نابجایی جزئی و ایجاد نابجایی کلی بیشتر شده چون نابجایی جزئی نمی‌تواند در لغزش تقاطعی شرکت کند اما نابجایی کلی می‌تواند بنابراین وقتی انرژی نقص بیشتر باشد احتمال رانش بیشتر و لغزش تقاطعی راحتر صورت میگیرد.

ص ۲۸

Au : FCC

$\tau = \alpha G b \rho^{1/2} \longrightarrow \boxed{\rho = ?}$

$\tau = ۴۵ MPa$

$\rho = ?$

$G = ۲۷ GPa$

$\alpha = ۰/۵$

$b = \frac{a}{۲}[۱۱۰]$

Subject: خزش

Year. ۸۶ Month. ۳ Date. ۱۷ ۲۹

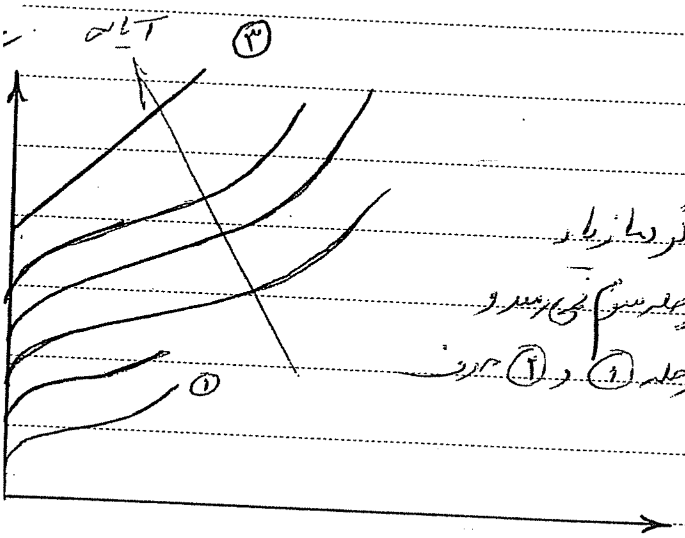
مرحله اول: خزش گذرا (خزش لگاریتمی) در شیب منحنی ($\frac{d\varepsilon}{dt} = \dot{\varepsilon}$) با گذشت زمان کم می‌شود آن این است که کار سختی بر بازیابی غلبه می‌کند.

مرحله دوم: خزش پایدار: طولانی ترین مرحله است و ممکن است سالها طول بکشد. شیب منحنی در این مرحله ثابت است و یا به عبارتی ماده با آهنگ ثابت تغییر شکل می‌دهد که در این مرحله کار سختی و بازیابی به تعادل می‌رسند.

مرحله سوم: خزش شتابان: در این مرحله با آهنگ زیاد تغییر شکل موجب شکست خواهد شد که علت آن تأثیر ترک‌ها و حفره‌ها در مرز دانه است.

← این حفره‌ها ممکن است از اول وجود داشته باشند ولی در ادامه رشد کرده و به هم می‌پیوندند و در آخر اثر خود را در مرحله سوم می‌گذارند.

← در مرحله آخر هم ممکن است necking داخلی داشته باشیم و هم necking خارجی که باعث کم شدن سطح می‌شود و تنش را بالا می‌برد.



اثر تنش و دما بر منحنی $\varepsilon - t$:

اگر دما خیلی کم باشد مانند ۱ است و وارد منطقه دوم شود و اگر دما زیاد باشد وارد منطقه دوم می‌شود ولی هنوز شکسته به مرحله سوم نمی‌رسد و اگر دما خیلی بالا باشد یکباره وارد منطقه سوم شده و مرحله ① و ② حذف می‌شود.

← سؤال ۳ امتحان:

چون عرض منطقه نقص نقش اثری است $\varepsilon \propto \frac{1}{d}$ پس هر چه عرض کمتر باشد جابجایی

PAPCO