

عناوین درسی:

۱- مقدمه

2- عیوب بلوری

3- مکانیزم های مقاوم شدن

4- شکست، چسبگی، خزش (توجیه توسط عیوب بلوری)

5- کامپوزیت ها

* Introduction to dislocations D. Hull مراجع:

* Mechanical Metallurgy Deeter

عیوب بلوری:

بلور در حالت کلی دارای نظم است. هر بی نظمی در بلور، عیب محسوب می شود.

عیب در بلور بر حسب بعدشان تقسیم بندی می شوند:

۱- عیب نقطه ای (بیون بعد) 2- عیب خطی 3- عیب سطحی

الف) عیوب نقطه ای:

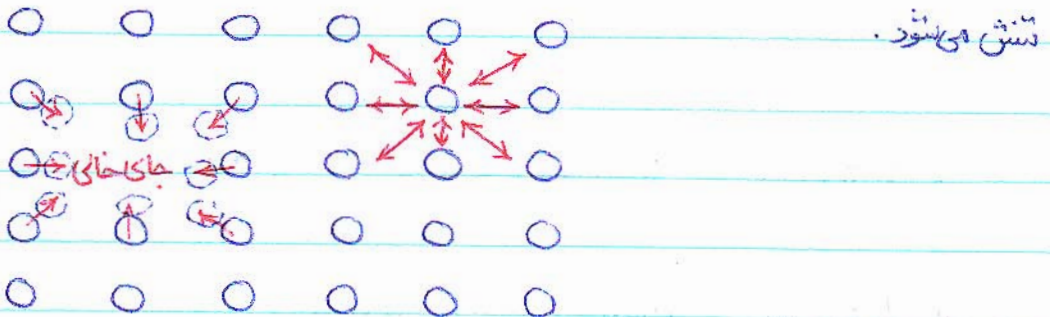
I. جای خالی (Vacancy) II. بین نشین (Interstitials)

III. اتم های ناخالصی (Impurities)

I. Vacancy :

اتم‌های شبکه در حالت عادی سر جای شان قرار دارند و انرژی \min برخوردار هستند و در

نتیجه به هم نیروی وارد نمی‌کنند. بنابراین هرگونه تغییری در این ساختار موجب ایجاد میدان



اتم‌های اطراف این جای خالی، به سمت حفره کشیده می‌شوند و در شبکه نوعی فشردگی در این قسمت

دید می‌شود. در نتیجه در این محل، میدان کرنش ایجاد می‌شود. این حرکت اتم‌ها، الاستیسیته

یعنی برگشت پذیر است نظیر اینکه اگر اتم سر جایش برگردد، عیب برطرف می‌شود.

وجود تعدادی از این عیوب می‌تواند در حال تعادل باشد؛ برای اینکه بتوانیم Vacancy ایجاد

کنیم، نیاز به صرف انرژی می‌باشد یعنی به سیستم انرژی افزوده می‌شود.

انرژی اکتیواسیون برای ایجاد یک Vacancy : E

$$\text{Vacancy } n \text{ برای : } \Delta G = nE - T \Delta S$$

در مورد Vacancy های کم : $nE < |T \Delta S|$ ← $\Delta G < 0$: تعادل

ΔS : مربوط به تعداد آرایش‌های ممکن برای vacancy هاست (انتروپی)

$$\Delta S = k \ln \omega$$

ω : تعداد آرایش‌های ممکن

رابطه‌ی تعداد vacancy های در حال تعادل:

$$n_v = N \exp\left(\frac{-E}{kT}\right)$$

n_v : تعداد vacancy های در حال تعادل در دمای T .

N : تعداد کل اتم‌های شبکه E : انرژی اکتیواسیون یک vacancy

T : دمای مطلق

k : ضریب ثابت بولتزمن

پیدا کردن ω : N (تعداد کل اتم‌ها) n (vacancy)

$$N(N-1)\dots(N-n+1)$$

vacancy اول در N جای مختلف امکان قرار گرفتن دارد و vacancy n ام در $N-n+1$

جای مختلف. چون همه vacancy ها مساوی هستند، پس تعداد بالا $n!$ بار تکرار شده

است. (vacancy سوم، $n-2$ بار تکرار شده است)

$$W = \frac{N(N-1)\dots(N-n+1)}{n!} \times \frac{(N-n)(N-n-1)\dots 1}{n!(N-n)!} = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

یک تعدادی از vacancy ها تعادل ترمودینامیکی دارند. (انرژی را کاهش می دهد $\Delta G < 0$)

مثال - مس: $T = 300^\circ\text{K} \mid \frac{nv}{N} \cong 10^{-12}$ $E \cong 0.7 \text{ eV}$

به ازای هر 10^{12} اتم، یک vacancy وجود دارد.

اگر دما را بالا ببریم، $T_2 = 1200^\circ\text{K}$ (هنوز مس ذوب نشده است) در این دما: $\frac{nv}{N} \cong 10^{-3}$

در نتیجه، تعداد vacancy ها، 10^9 برابر شده است. پس تعداد vacancy ها،

متناسب است با درجه حرارت.

عیوب نقطه ای را نمی توان مستقیماً مشاهده نمود. تعداد این عیوب را با خواص خود بلور

می سنجم. یعنی از خواص بلور به تعداد vacancy های رسمیم.

مثلاً، هدایت الکتریکی که یکی از خواص مهم فلزات است و مربوط به الکترون های آزاد می باشد.

(الکترون های واقع شده در لایه ای خاص که متعلق به هیچ اتمی نیستند ولی متعلق به همه اتم ها

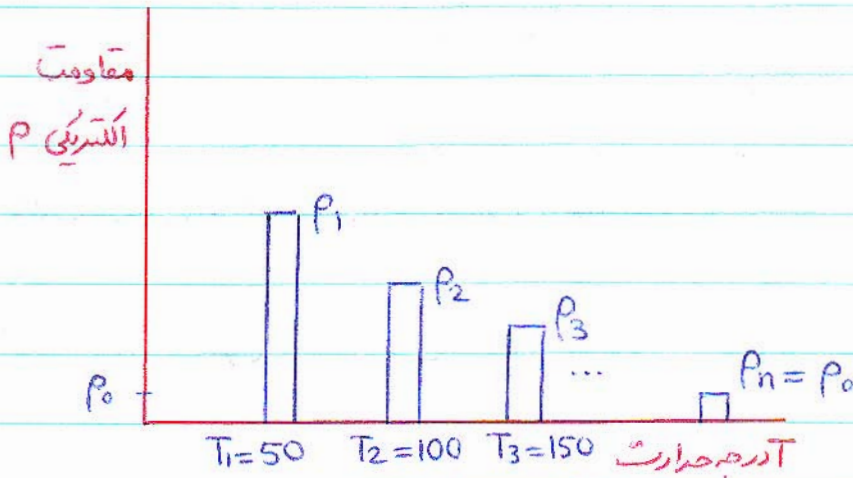
می باشند) با افزایش دما، هدایت الکتریکی کم می شود (مقاومت زیاد می شود) در حالیکه، تعداد

vacancy ها زیاد می شود. در نتیجه، vacancy ها با resistance مرتبط هستند.

ρ : مقاومت مس در دمای محیط قبل از گرم کردن و کوچ کردن.

ρ_1 : مقاومت بعد از کوچک کردن در دمای 50°C .

ρ_2 : مقاومت بعد از کوچک کردن در دمای 100°C و ...



وقتی در دمای $T=1000^\circ\text{C}$ هستیم، تعداد زیادی Vacancy وجود دارد و وقتی سریع سرد می کنیم

و به دمای $T=20^\circ\text{C}$ می رسانیم چون در این دما، تعداد Vacancy های در حال تعادل خیلی

کمتر است، در نتیجه تعداد زیادی Vacancy بصورت غیر تعادلی در $T=20^\circ\text{C}$ باقی می ماند.

در مرحله بعد، درجه حرارت را به $T_1=50^\circ\text{C}$ رسانده و بعد دوباره به $T=20^\circ\text{C}$ می رسانیم و

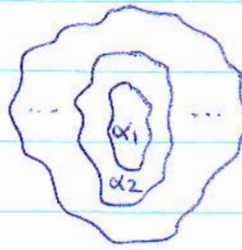
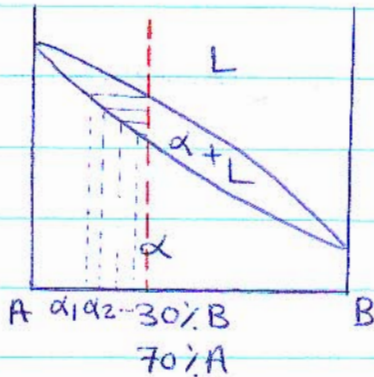
به همین ترتیب. با این سرد و گرم کردن های متوالی به حالت تعادل نزدیک می شویم (ρ_0) و در

نتیجه تعداد Vacancy ها کم تر شده و مقاومت کم می شود.

یکی از خواص مهم فلزات نفوذ است. (حرکت اتمها در داخل فلز). Vacancy هایی از

عوامل مهم نفوذ یا حرکت اتمها می باشند.

بادآوری: در سرد کردن غیر تعادلی آلیاژهای با حلالیت کامل در حالت جامد:



ترکیب در مرکز دانه با کنار دانه، فرق می‌کند. (Coring)

که همان زگرگاسیون گرمی است. آلیاژ بدین ترتیب هموژن نیست. بنابراین تا زیر منحنی

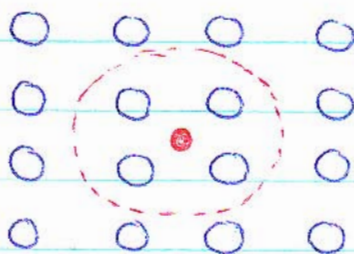
سلیدوس گرم می‌کنیم تا هموژن شود. در واقع با افزایش درجه حرارت اتم‌های A و B طوری حرکت

می‌کنند تا ترکیب بصورت یکنواخت 30 - 70 برقرار شود. علت افزایش دما این است که نفوذ

راحت‌تری شود. (تعداد vacancy ها هم زیاد می‌شود) در واقع حرکت اتم‌ها با حرکت

vacancy ها راحت‌تری شود. عبارت دیگر: حرکت اتم \equiv حرکت vacancy

ب - اتم‌های بین نشین:



این اتم بین نشین در اطراف خود یک میدان

گرنس ایجاد می‌کند. اتم‌های بین نشین از

خود تشنگی نمی‌توانند برقرار بمانند زیرا انرژی ارتعاشی اتم‌ها زیاد می‌شود.

در شرایط عادی اتم بی نشین نمی تواند از جنس اتم های شبکه باشد؛ مگر با اعمال انرژی زیاد یا بمباران با هسته سنگین مثل هلیوم.

- اتم های ناخالصی:

منظور همان محلول جامد است. solid solution

این محلول ها دو گونه اند: 1- بین نشین 2- جانشین

(در مورد محلول جانشین، اتم ناخالصی جای اتم شبکه را می گیرد و چون اختلاف شعاع اتمی

وجود دارد، بی نظمی در اطراف خود ایجاد می کند. اگر شعاع اتم ناخالصی کمتر از اتم شبکه باشد

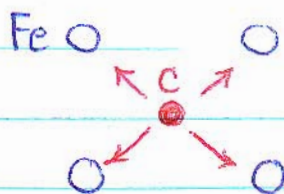
در شبکه فشردگی ایجاد می کند و اگر شعاع اتم ناخالصی بیشتر از اتم شبکه باشد، در شبکه باز شدگی

ایجاد می کند. در مورد فشردگی، اتم های ناخالصی، اتم های شبکه را به سمت خود کشیده و جمع

شدگی در یک سمت از شبکه ایجاد می کند.

در مورد بین نشین، شعاع اتم ناخالصی باید کمتر از 1 \AA باشد. این اتم گریب نیز اطراف خود را

بی نظم کرده است. (ایجاد میدان گرشتی در اطراف خود.)



در مورد بین نشین همیشه باز شدگی داریم در حالتیکه در جانشین فشردگی یا باز شدگی داریم؛

بر حسب شعاع اتم ناخالصی

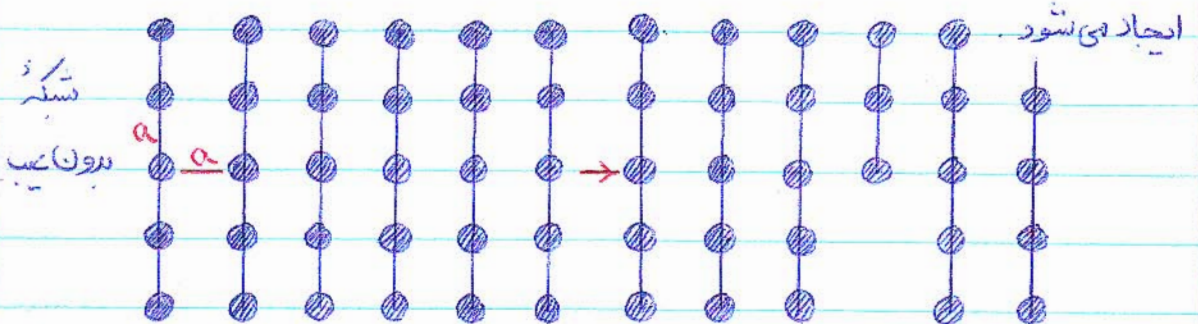
عیوب خطی:

عیوب خطی یا نابجائی (dislocation) عیوب یک بعدی هستند.

تذکره: سطوح بلوری، سطوحی هستند که روی آن ها، نقاط ماری وجود دارد. در شبکه های اتمی

ممکن است صفحه ای باشد که روی آن اتمی نباشد، این صفحه، سطح بلوری نیست.

در شبکه ای f.c.c، صفحات $\{110\}$ را در نظر می گیریم. تمام بلور از چین این صفحات



هر چه از نابجائی دورتر می شویم، نظم

شبه زیاد می شود (چه در جهت طولی و در چه

در جهت عرضی) و فاصله بین اتم ها، a می شود.

طول ↓ عرض →

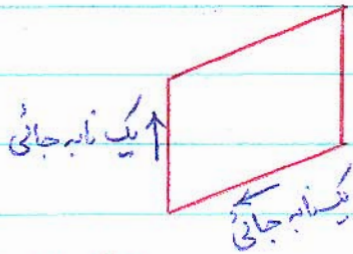
انتهای این صفحه نابه جایی یک خط عمود بر صفحه وجود دارد. (خط نابه جایی) زیرا این خط

صحیح اتی وجود ندارد. نابه جایی فوقی از نوع پله ای است. (Edge dislocation)

این خط تا بینهایت نمی رود و به سطح بلور یا مرز دانه منتهی می شود و دیگر در سطح بلور نابه جایی

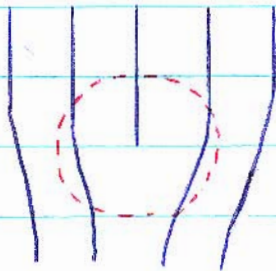
نداریم. ممکن است این نیم صفحه همراه با صفحات دیگر که بصورت کامل هستند، ادامه یابد.

در این صورت در جهت نابه جایی داریم. بعبارتی دو خط نابه جایی داریم.



1385. 11. 29

در مورد نابه جایی پله ای، در انتهای نیم صفحه، یک میدان کرنش بوجود می آید.



این منطقه در سه بعد بصورت یک استوانه تصور می شود.

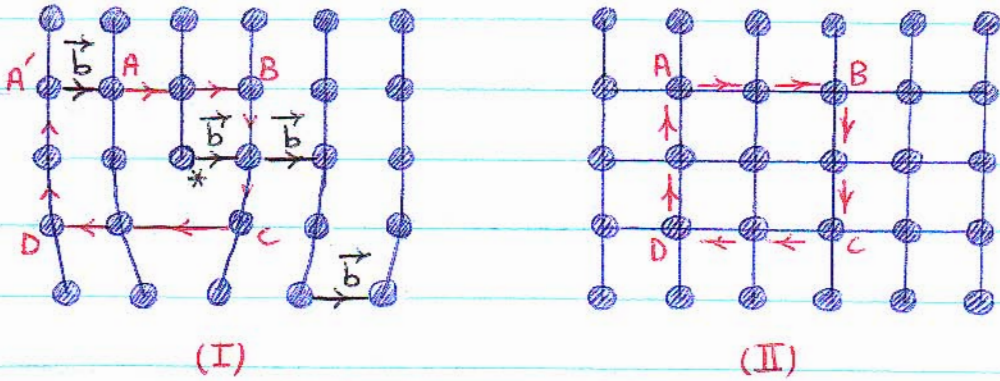
فواصل بین اتی در بالای خط نابه جایی نسبت به پائین این

خط کمتر است.

تعریف بردار برگردن: این بردار مشخصه ی نابه جایی است.

صنحات یکسانی از شبکه ی بلوری را در نظره ی گیریم. در یکی عیب خطی وجود دارد و دیگری

بدون عیب است. مثلاً هر دو $\{100\}$ است.



یک مسیر بسته در شبکه ی II در نظره ی گیریم. این مسیر را روی شبکه ی I طوری

قرار دهیم که نابه جایی داخل آن بیفتد. واضح است که مسیر در شبکه ی I بسته نخواهد شد.

برداری که این مسیر را می بندد، بردار برگرس نام دارد. این بردار دارای جهت است و محتماً این

$$\vec{AA'} = \vec{b}$$

دو اتم قرار دارد.

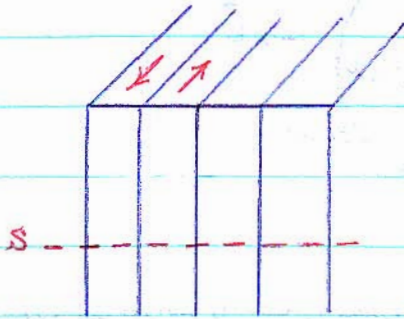
این بردار یک جهت بلوری است و مستقل از مکان است.

در حالت خاص *، بردار برگرس عمود بر خط نابه جایی است. در این حالت نابه جایی از

نوع پله ای یا لبه ای (Edge dislocation) است.

اگر بردار برگرس موازی خط نابه جایی باشد، نابه جایی را نابه جایی پیچی می نامیم.

در حالت ناب جانجی پیچی ، دو صفحه تا سطح s ، نسبت به هم لغزیده اند .



بجارتی در بالای s که نوعی بی نظمی وجود دارد و در پایین s

این بی نظمی دیده نمی شود .

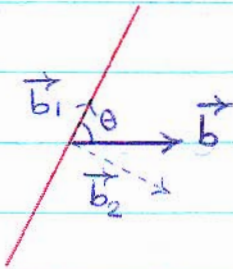
* ناب جانجی ها به سه صورت زیر هستند :

3 - ناب جانجی مختلط

2 - ناب جانجی پیچی

1 - ناب جانجی پله ای

در مورد ناب جانجی مختلط (mixed dislocation) بردار برگرس و خط ناب جانجی با هم زاویه θ



راهی سازند . ($\theta \neq 0, 90$)

$$\vec{b} = \vec{b}_1 + \vec{b}_2$$

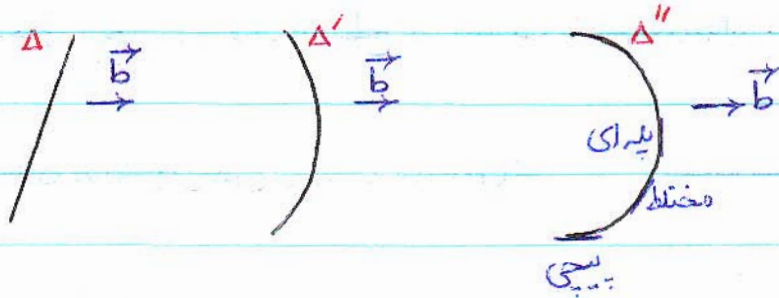
در این حالت ، ناب جانجی یک مؤلفه ی پله ای (\vec{b}_2) و یک مؤلفه ی پیچی (\vec{b}_1) دارد .

* کلیاتی در ارتباط با خط ناب جانجی و بردار برگرس :

1 - بردار برگرس جهت بلوری است و مستقل از مکان و حتماً بین دو اتم قرار می گیرد .

2 - بردار برگرس مستقل از خط ناب جانجی هم می باشد . بجارتی خط ناب جانجی می تواند حرکت کند و

در طی حرکتش تغییر شکل دهد ولی بردار برگرس آن ثابت می ماند .



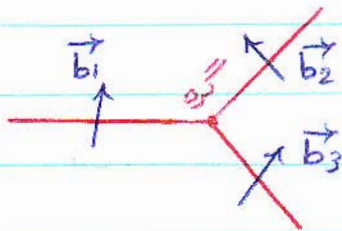
در واقع کاراکتر ناه جایی تغییر می کند ولی بردار برگرس آن تغییر نمی کند . بردار برگرس را در حالت

سکون تعریف کردیم و وقتی ناه جایی حرکت می کند هم ، همان بردار برگرس سابق را در نظر می گیریم .

3- یک خط ناه جایی در داخل بلور نمی تواند انتهای آزاد داشته باشد ، یا انتهای خط ناه جایی به سطح

بلور می رسد و یا با ناه جایی های دیگر ، تشکیل گره ناه جایی می دهد . در کریستال ، سطح بلور همان

مرز دانه است . گره وقتی تشکیل می شود که حداقل سه خط ناه جایی به هم برسند .



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

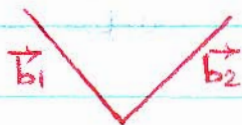
مجموع بردار های برگرس در گره صفر است بعبارتی در

گره دیگر ناه جایی وجود ندارد . (لزومی ندارد که ناه جایی ها یکسان یا از یک نوع باشند .)

$$\sum \vec{b}_i = 0$$

بعبارتی :

یک ناه جایی به ناه جایی دیگر تبدیل نمی شود بعبارتی حالت زیر وجود ندارد .



بنابراین، حداقل 3 نایب جایی تشکیل گروه می دهد. در اینجا گروه مثل گروه در مدارهای الکتریکی است

(قانون KCL)



اگر نایب جایی ها به هم متصل شوند، شبکه ی نایب جایی

ایجاد می شود. مثلاً در یک تک گردسیال که میزدانه نداریم، پس خط نایب جایی ها یا به سطح بلور می رسند

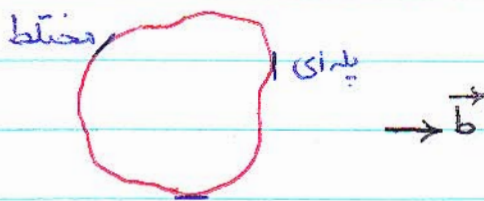
و یا به یکدیگر.



یک نایب جایی می تواند به دو نایب جایی تجزیه شود:

مجموع بردارهای برگرس منفرد می شود \rightarrow گروه

چون خطوط نایب جایی انتهای آزاد ندارند، می توانیم حلقه ی نایب جایی داشته باشیم. و بردار برگرس



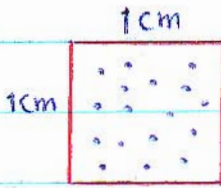
ذیر ثابت است.

برای Vacancy ها، دانسیته تعریف کردیم. در مورد نایب جایی ها بیچی

نیز این تعریف را داریم:
$$\text{دانسیته ی نایب جایی} = \frac{\text{طول کل خطوط نایب جایی}}{\text{حجم}}$$

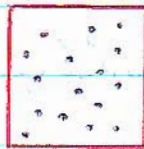
اما بطور کلی نمی توان طول نایب جایی را بدست آورد.

$$\text{تعداد خطوط نایب جایی} = \text{دانسیته ی نایب جایی} \times \text{واحد سطح}$$



تعداد ناه جای که از این واحد
سطح گذشته است $\rightarrow \frac{\text{خط}}{\text{cm}^2} = \text{cm}^{-2}$

البته این مقدار دانسیته‌ی اصلی را به ما نمی‌دهد ولی بطور نسبی می‌توان بررسی نمود.



I



II

$$d_1 > d_2$$

دانسیته‌ی ناه جای در حالتیکه هیچ تشیی و تغییر شکلی اعمال نکرده باشیم (تعداد مکانیکی) در حدود

$\frac{\text{خط}}{\text{cm}^2} 10^6$ می‌باشد. در واقع با هیچ عملیات حرارتی، از این مقدار کمتر نمی‌شود.

ناه جای‌ها برخلاف vacancy ها هیچ گاه در تعادل ترمودینامیکی نیستند. ناه جای ممکن

است تعادل مکانیکی داشته باشد (به هم نیرو وارد نکند) اما تعادل ترمودینامیکی ندارد و همواره انرژی

را افزایش می‌دهد. ناه جای حین انجماد بوجود می‌آید و وقتی بوجود آمد دیگر از بین نمی‌رود.

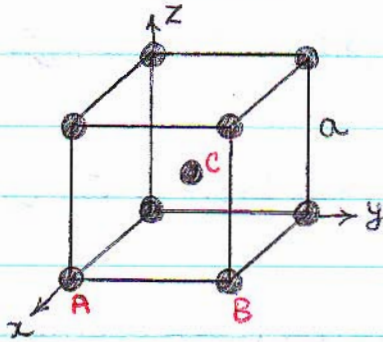
وقتی تغییر شکل می‌دهیم، $d \approx 10^9$ می‌شود و اگر بعد از تغییر شکل، آنرا کنیم d دوباره کم

می‌شود.

عامل اصلی تغییر شکل پلاستیک، ناه جای‌ها هستند. یعنی اگر ناه جای‌ها نباشند، تغییر شکل

امکان ندارد.

* بردار برگرس راهی توان بیا رامتر شبکه و جهت بلوری تعیین نمود :



مثلاً برای شبکه B.C.C :

در راستای x : $[100]$

$$\vec{b} = a[100] = \vec{OA}$$

$$\vec{b} = a[110] = \vec{OB}$$

$$\vec{b} = \frac{a}{2}[111] = \vec{OC}$$

مثلاً برای \vec{OB} : تصویر روی $x \equiv a$ ، روی $y \equiv a$ ، روی $z \equiv 0$

$\frac{a}{2}[111]$ در f.c.c وجود ندارد زیرا در مرکز مکعب برای f.c.c اتنی وجود ندارد؛ چرا که

\vec{b} باید بین دو اتم باشد.

حرکت ناب جایی:

یک خط ناب جایی تحت تأثیر تنش، روی سطح لغزش خود می تواند بلغزد (حرکت کند).

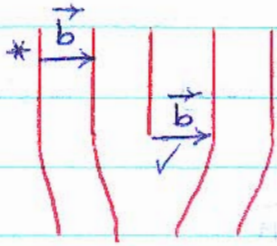
1- سطح لغزش چیست؟

2- چه شرایطی برای حرکت ناب جایی وجود دارد؟

1 ← سطح لغزش : مجموعه خط ناب جایی و بردار برگرس که یک صفحه را تشکیل می دهند.

در مورد ناب جانایی پله ای ، زمانی می توان صفحه لغزش داشت که $\vec{\tau}$ روی خط ناب جانایی واقع

شود. در نتیجه ناب جانایی پله ای سطح لغزش منحصربه فرد دارد. (فقط یک صفحه)



در حالت * ، دو خط متعامد (متانفر) داریم.

اما در مورد ناب جانایی پیچی سطح لغزش مشخصی وجود ندارد

و بنابراین سطح لغزش وجود دارد. (رواقع هر سطحی که از خط ناب جانایی عبور کنند ، سطح لغزش

است.

2 ← شرط لغزش این است که: سطح لغزش و جهت لغزش (بردار برگریس) فشرده

باشند. (رواقع لغزش روی سطح فشرده و جهت لغزش فشرده می تواند رخ بدهد.

سیستم فشرده (لغزش) = مجموعه‌ی سطح فشرده + جهت فشرده

شبه بلور	سطوح فشرده	جهت فشرده	سیستم لغزش
F.C.C	$\bar{1}11\bar{1}$	$\langle 110 \rangle$	$\bar{1}10$
B.C.C	$\bar{1}10$ or $\bar{1}12$	$\langle 111 \rangle$	$\bar{1}10$ (ظاهراً)
H.C.P	1	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$\bar{1}1\bar{2}0$

اما از لحاظ راحت تر بودن لغزش: F.C.C > H.C.P > B.C.C

زیرا ساختار F.C.C و H.C.P فشرده تر از B.C.C است.

حرکت نابجائی :

- 1- حرکت لغزشی (لغزش)
- 2- حرکت صعودی (صعود)

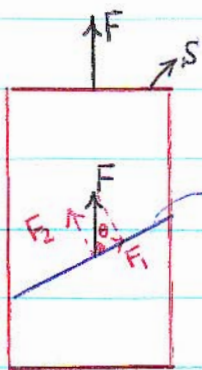
1- حرکت لغزشی :

نابجائی روی سطح لغزش می تواند بلند :

الف - شعاعی تنش مؤثر در حرکت نابجائی

ب - مکانیزم حرکت نابجائی

ج - نتیجه حرکت نابجائی



F_2 : مؤلفه نرمال

الف - F_1 : مؤلفه برشی

سطح لغزش تک کریستال

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

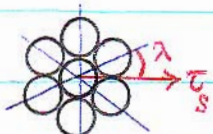
تنش کششی

$$\tau = \frac{F_1}{A} = \frac{F \cos \theta}{\frac{S}{\sin \theta}}$$

A : مساحت سطح لغزش

$$\Rightarrow \tau = \frac{F}{S} \sin \theta \cdot \cos \theta = \frac{\sigma}{2} \sin 2\theta$$

اما این تنش روی سطح لغزش باید روی جهت لغزش تجزیه شود :

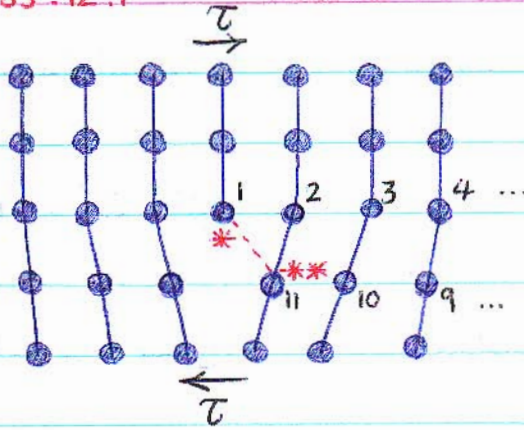


$$\tau_{rs} = \frac{\sigma}{2} \sin 2\theta \cdot \cos \lambda$$

λ : زاویه بین تنش τ_s و جهت لغزش

جهت لغزش

ب. یک نابجائی پله ای را در نظریه گیریم.

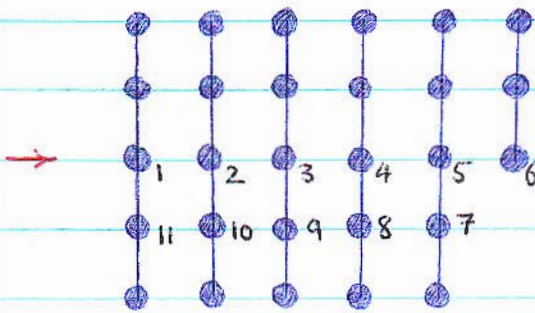


فرض می کنیم، تنش برشی τ را روی سطح لغزش

وارد می کنیم. اتم * فقط با سه اتم دیگر پیوند دارد.

نحت این تنش τ ، اتم * با اتم * * می تواند پیوند برقرار کند. در نتیجه نابجائی پله ای، یک پله

به سمت راست حرکت می کند. این پیوند جدید در لیل الاستیک بودن شبکه می تواند تشکیل شود.



در اثر حرکت این نابجائی، وقتی به انتها می رسد

یک پله درست می کند به همین دلیل نابجائی پله نام

دارد.

حرکت نابجائی بر اساس تغییر موقعیت عیب است. در واقع اتم ها منتقل نمی شوند بلکه در اثر تغییر

پیوند بین اتم ها، میدان تنش یا انرژی حرکت می کند. مثل موج، که موقع انتقال آن نقاط مادی منتقل

نمی شوند بلکه انرژی انتقال می یابد. مکانیزم حرکت نابجائی، تغییر پیوندها بصورت اتم به اتم است در

نتیجه موقعیت نابجائی روی سطح لغزش حرکت می کند. این نابجائی به سطح که می رسد یک پله ایجاد

می کند. علت اینکه نابجائی روی سطح فشرده می لغزد نیز همین است. در غیر این صورت فاصله بین

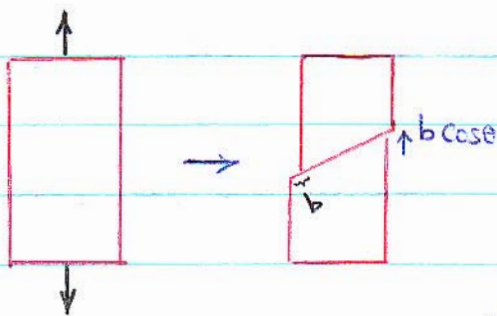
انچهها زیاد شده و برقراری پیوندهای جدید و تغییر مکان پیوندها میسر نیست زیرا انرژی زیادی می خواهد

اگر دما زیاد باشد، ارتعاشات اتمی زیاد است و پیوندها راحت تر می توانند جابه جایشوند. در نتیجه نابجایی

راحت تر حرکت کرده و شکل دادن راحت تر می شود.

ج. حرکت نابجایی یک پدیده با اندازه ی برابر برگریس خود ایجاد می کند. بنابراین در راستای لغزش (سطح لغزش)

جابجایی با اندازه ی $b \sin \theta$ است. در جهت عمودی مجموع $b \cos \theta$ ها، تغییر طول راهی دهد و مجموع



$b \sin \theta$ ها، تغییر عرض را.

اما در پدیده کریستال مسئله فرق می کند ولی باز هم

$b \cos \theta$ ها، تغییر طول راهی دهد. در نتیجه می توان

گفت حرکت نابجایی ها موجب تغییر شکل پلاستیک می شود. هرگونه حرکت نابجایی به هر اندازه ای

تغییر شکل ایجاد می کند. (ممکن است در صفری از θ باشد)

$$\text{افزایش انرژی} = \text{از دیاد طول} = \text{حرکت نابجایی}$$

تغییر شکل نابجایی تا یک حدی ($R = \frac{l}{2}$) می تواند برگردد [البته با حذف نیرو] و این دلیل کشش خطی



نابجایی است. پس تا $R = \frac{l}{2}$ ، تغییر شکل نابجایی الاستیک است.

گفته شد که نابجائی پله ای روی صفحه لغزش منحصر بفردی می تواند حرکت کند ولی نابجائی بیجی

بینهایت سطح لغزش دارد و می تواند این صفحات را تغییر دهد . در سیستم h.c.p ، نابجائی بیجی

دهی تواند سطح لغزش خود را عوض کند زیرا این صفحات {0001} موازی هستند . اما در f.c.c

صفحات {111} که صفحات لغزش هستند باهم تلاقی دارند ، نابجائی بیجی می تواند صفحه

لغزش خود را تغییر دهد . [لغزش تقاطعی]

تذکره . لغزش تقاطعی منحصر به نابجائی بیجی است .

در شکل ، نابجائی در محل تقاطع صفحات لغزش دارای

مولفه بیجی است . ← صفحه لغزش خود را عوض می کند .

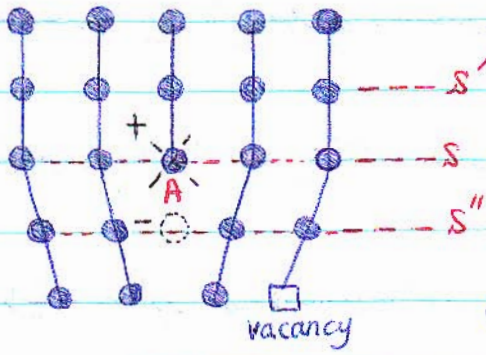
[در اثر اعمال نیرو ، حلقه های نابجائی بزرگ می شود]

نابجائی پله ای نمی تواند سطح لغزش خود را عوض کند زیرا تغییر سطح لغزش نیاز به انرژی دارد .

صعود نابجائی : [مختص به نابجائی پله ای است]

عبارةست از حرکت نابجائی پله ای عمود بر سطح لغزش خودش . ازین کل اتم های موجود در خط

نابجائی ، فقط اتم A را در نظر می گیریم .



اگر به هر دلیلی اتم A برداشته شود، سطح لغزش از

که به S' تغییر می کند. این صعود را مثبت می نامند.

اگر به هر دلیلی، یک اتم زیر اتم A اضافه شود، سطح

لغزش از S' به S'' تغییر می کند. این صعود، صعود منفی نام دارد. بنا بر این در مورد صعود، یک اتم

به یک قسمت از این نیم صفحه اضافه یا کم می شود.

مکانیزم صعود مثبت:

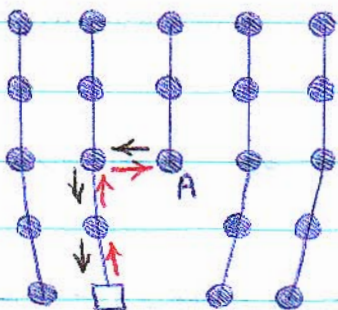
یعنی اتم A برداشته شود. دو مکانیزم راهی توان در نظر گرفت که جای اتم A خالی شود:

1- نفوذ vacancy ها به طرف خط نابجائی و جذب آن ها روی خط نابجائی.

2- تشکیل یک اتم پس نشین (اتم A) زیر خط نابجائی و حرکت آن در داخل بلور (نفوذ).

مورد 1- یک vacancy در داخل شبکه می تواند حرکت کند. اگر یک vacancy جای اتم A بنشیند

جای A خالی می شود.



مورد 2- زیر اتم A، منطقه ی بازی وجود دارد. (اشکاف یا فته)

اگر اتم A به سمت این منطقه حرکت کند و بین اتم های این

منطقه بصورت بین نشین قرار گیرد و به همین ترتیب حرکت کند جای اتم A خالی می شود اما این

مکانیزم نمی تواند صورت گیرد زیرا تشکیل فضای بین نشین از اتم های هم نوع شبکه عملاً صورت نمی گیرد

(در شرایط عاری) زیرا انرژی زیادی می خواهد.

مکانیزم صعود منفی:

مانند مورد قبلی دو مکانیزم دارد که یکی از آنها عملی نیست:

1- یک اتم بصورت بین نشین جایی دیگر از شبکه وجود دارد و این اتم به سمت فضای زیر خط ناچجائی

یا زیر اتم A حرکت می کند و بدین ترتیب صعود منفی ایجاد می شود. این مکانیزم از لحاظ هندسی

منطقی است ولی از لحاظ فیزیکی این مکانیزم عملی نیست.

2- منطقه ی زیر اتم A منبسط شده است و یک vacancy می تواند تشکیل شود و این vacancy

حرکت کند و جای خود را با دیگر اتم ها عوض کند. (در این صورت یک اتم زیر اتم A قرار می گیرد. ایجاد

vacancy نیاز به انرژی دارد.

بطور کلی مکانیزم صعود ناچجائی نیاز به انرژی دارد و معمولاً در دمای بالا انجام می شود. هم چنین

صعود ناچجائی وابسته به vacancy و حرکاتشان است.

مکانیزم حرکت $vacancy$ ، نفوذ است البته در جهت برقراری حالت تعادل.

گفته شد که صعود منفی [ایجاد $vacancy$ ← افزایش دانسیته $vacancy$] و صعود

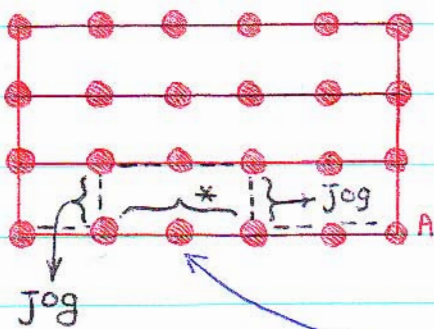
مثبت [حذف $vacancy$ ← کاهش دانسیته $vacancy$] نابجایی مربوط به جای خالی

یا $vacancy$ ها می باشد. یا بجای آن با $vacancy$ کنترل می شود.

نکته خیلی مهم: در شرایطی که تعداد $vacancy$ ها بیش از حالت تعادل است، صعود مثبت

نابجایی اولویت دارد نسبت به صعود منفی نابجایی.

حال کل خط نابجایی را در نظری بگیریم:



در مورد صعود مثبت:

حالت دید قبلی ←

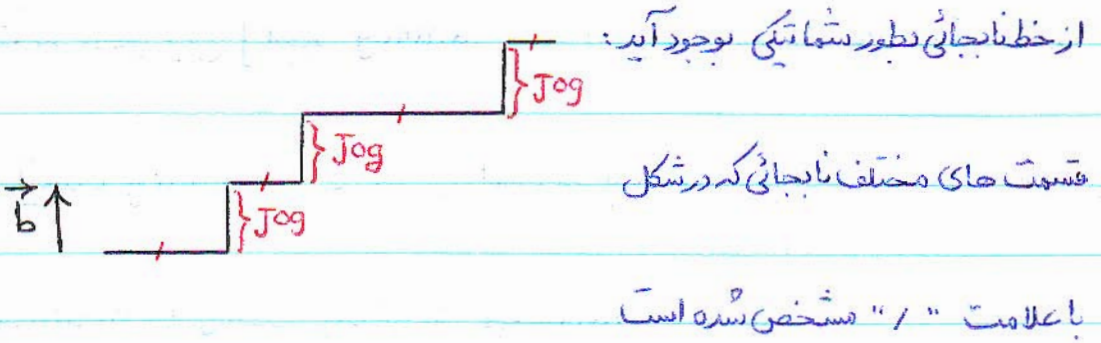
□ $vacancy$

با آمدن $vacancy$ های آتم مشخص و قسمت * حذف شده از شبکه و خط نابجایی بصورت

در می آید. بجای آن در خط نابجایی، یله ایجاد می شود یا شکسته می شود. هم چنین ملاحظه

می شود، یک قسمت از خط نابجایی صعود کرده است. $vacancy$ دوم ممکن است هر جایی

قرار گیرد ولی اگر قرار بگیرد، خط نابجائی در آن قسمت صعودی کند. وبه همین ترتیب تا شکل زیر



$$u_c = u_z + u_v + u_m$$

زلا : انرژی تولید Jog u_v : انرژی ایجاد vacancy

u_m : انرژی برای حرکت vacancy

علت وجود u_v در رابطه به این دلیل است که وجود vacancy ها خود یک انرژی دارد.

ابتدا و انتهای خط نابجائی روی سطح است و برای آن ها صعود معنی ندارد.

تذکره: Jog همیشه روی خط نابجائی وجود دارد. عبارتی قبل از صعود نابجائی، Jog ها روی

خط نابجائی از قبل وجود داشته در نتیجه از زلا در برابر u_v و u_m می توان صرف نظر کرد.

$$\rightarrow u_c = u_v + u_m$$

تذکره: Jog در برخورد نابجائی ها نیز ممکن است بوجود آید.

تذکره مهم: وجود $Jog \equiv$ از زیاد طول.

85.12.6 خواص الاستیک (کشسان) نابجائی ها:

گفته شد که نابجائی در اطراف خود میدان کرنش الاستیک ایجاد می کند. بنابراین در این منطقه

میدان تنش نیز وجود دارد. این میدان الاستیک است یعنی با حذف نیرو یا تنش اعمالی، این

میدان نیز حذف می‌شود. سؤال این است که:

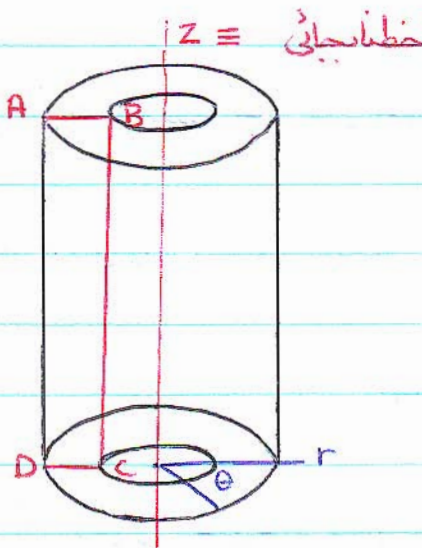
افزایش انرژی سیستم (جذب انرژی) در اثر وجود میدان تنش چقدر است؟

برحسب نایجائی (دو نوع نیرو ممکن است وارد شود: 1 - تنش اعمالی 2 - از نایجائی‌های دیگر

مقدار این نیرو چگونه است؟

بدست آوردن میدان تنش و کرنش:

برای نایجائی پیچی:



اعوجاج کشسان در اطراف یک نایجائی مستقیم

باطول نامحدود را می‌توان بوسیله استوانه‌ای

از ماده‌ی کشسان نشان داد.

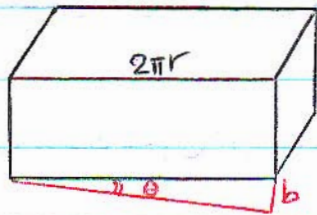
اگر استوانه را باز کنیم به یک مستطیل خواهیم رسید. (؟) استوانه روی صفحه ABCD

برش خورده و در جهت z می‌نگرانیم. (شکل صفحه ۱۰۱ کتاب) اگر یک مدار بسته حول

محور z در نظر بگیریم، در هر دور چرخش باندازه‌ی b یا $2\pi r$ یا $2\pi a$ می‌رویم.

$$\epsilon_{\theta z} = \frac{b}{2\pi r}$$

$$\epsilon_r = \epsilon_{\theta} = \epsilon_z = \epsilon_{\theta r} = \epsilon_{rz} = 0$$



$$\tan \theta = \frac{b}{2\pi r} = \theta = \gamma \quad \text{در نیروی برشی}$$

$$\Rightarrow \sigma_{\theta z} = \frac{Gb}{2\pi r} = \tau_{\theta z}$$

$$\sigma_{xz} = \sigma_{zx} = -\frac{Gb}{2\pi} \frac{y}{x^2 + y^2} \quad \text{در مختصات کارترین:}$$

$$\sigma_{yz} = \sigma_{zy} = \frac{Gb}{2\pi} \frac{x}{x^2 + y^2}$$

$$\sigma_{zx} = \sigma_{yy} = \sigma_{zz} = \sigma_{xy} = \sigma_{yx} = 0$$

در مورد نا بجا ئی پله ای:

$$\sigma_{xx} = \sigma_x = -Dy \frac{3x^2 + y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\sigma_{yy} = \sigma_y = Dy \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\sigma_{xy} = \tau_{xy} = Dx \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\sigma_z = \nu (\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\sigma_{xz} = \sigma_{zx} = \sigma_{yz} = \sigma_{zy} = 0$$

$$D = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)}$$

برای نا بجا ئی پله ای، همان استوانه را در نظر می گیریم و خط نا بجا ئی بطول بینهایت را منطبق بر z گرفته

و بردار برگردن روی محور x (افقی) است. سطح لغزش درین ترتیب، سطح xz است.

جهت برش دادن نیز درجهت ۲ است. (لغزش بعد از بریدن درجهت ۲ می باشد)

از روابط بالا مشخص می شود که اگر $\nu \rightarrow 0$ ، تنش به بینهایت میل می کند. یعنی در نزدیکی

خط نابجائی تنش بی نهایت می شود اما تنش بی نهایت در بلور معنی ندارد. بنابراین در منطقی خینی

نزدیک به خط نابجائی این معادلات درست نمی باشد. بجای آن برای مقادیر $r > r_0$ معادلات فوق

جواب درست می دهد. معادلات فوق برای محیط های ماری پیوسته نوشته شده است یعنی دور

از خط نابجائی. [این مسئله از فرض های اولیه بوده است] در نزدیکی خط نابجائی که محیط پیوسته

نیست باید اتم به اتم بررسی شود که ممکن نمی باشد. در نتیجه قانونی در بازه $r < r_0$ وجود ندارد

انرژی را نیز باید در بازه $r > r_0$ محاسبه نمود. (منطقی $r < r_0$ core of dislocation)

انرژی الاستیک نابجائی :

۱- نابجائی پیچی :

$$\frac{E}{V} = \int \frac{1}{2} \sigma \epsilon \quad (\text{چگالی انرژی}) \quad \text{در محدوده الاستیک} :$$

$$\int dE = \frac{1}{2} \int \tau \gamma \, dV \quad dV = 2\pi r \, dr \, \ell \quad \text{اگر بتواند} :$$

$$E_{el} = \int_{r_0}^{r_1} \frac{1}{2} \tau \gamma \, 2\pi r \, dr \, \ell \quad \gamma = \frac{b}{2\pi r}$$

$$\Rightarrow E_{el} = \frac{1}{2} \int_{r_0}^{r_1} b \tau \, dr \, \ell \quad \ell = 1 \quad \text{انرژی بر واحد طول} :$$

$$\Rightarrow E_{el} = \frac{1}{2} \int_{r_0}^{r_1} b \tau \, dr \quad \text{انرژی بر واحد طول نابجائی پیچی} :$$

$$E_{el} = \frac{1}{2} \int_{r_0}^{\eta} \frac{Gb^2}{2\pi r} dr = \frac{Gb^2}{4\pi} \int_{r_0}^{\eta} \frac{dr}{r} = \frac{Gb^2}{4\pi} \ln \frac{\eta}{r_0}$$

r_0 : ضریبی از b در نظر می‌گیرند بطوریکه نزدیک b باشد. ($r_0 = b$ or $5b$)

r_1 : ممکن است با انتهای بلور نیز برود (در حالتیکه یک نابجائی داریم).

وقتی که چندین نابجائی داریم، r_1 متوسط فاصله است. (فاصله متوسط نابجائی‌ها)

E_{cor} نیز باید اضافه شود که حدود چند الکترون ولت (eV) است.

۲- نابجائی پله‌ای:

$$E_{el} = \frac{1}{2} \int \tau b dr$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{\cos\theta}{r}$$

* در مورد نابجائی پچی $\tau_{z\theta} = \frac{Gb}{2\pi r}$ که دیگر به θ وابسته نیست (بر خلاف نابجائی

پله‌ای) و این مربوط می‌شود به این مسئله که نابجائی پله‌ای صفحه لغزش مشخصی ندارد.

$$E_{el}(\text{edge}) = \frac{1}{2} \int_{r_0}^{\eta} \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} b \frac{\cos\theta}{r} dr$$

Zr : سطح لغزش برای $\theta = 0$.

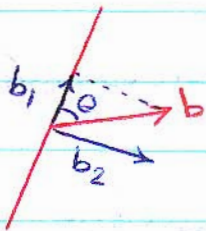
$$\Rightarrow E_{el}(\text{edge}) = \frac{1}{4} \frac{Gb^2}{\pi(1-\nu)} \ln \frac{\eta}{r_0}$$

چون $\nu < 1$ در نتیجه: $\Leftarrow 1 - \nu < 1$

علت اینکه انرژی نایجائی پله ای بیشتر از نایجائی پیچی است این است که: نایجائی پیچی

راحت تر بوجود می آید و تحرک بیشتری دارد.

۳- نایجائی مختلط:



در واقع یک مؤلفه ی پیچی و یک مؤلفه ی پله ای دارد:

$$E_{el}(\text{mixed}) = E_{el}(\text{screw}) + E_{el}(\text{edge})$$

$$= \frac{Gb^2}{4\pi(1-\nu)} (1 - \nu \cos^2 \theta) \ln \frac{n}{r_0}$$

$$E_{el} = \alpha G b^2$$

نتیجه:

G: ضریب الاستیسیته ی برشی

b: بردار برگرس

α: ضریب

$$\Rightarrow E_{el} \propto b^2$$

از این نتیجه قانون فرانک بوجود می آید که بر اساس تجزیه و ترکیب نایجائی هاست. چنانچه

این تجزیه و ترکیب در جهت کاهش انرژی باشد، انجام خواهد شد. منای کار، بردار برگرس است.

$$b \rightarrow b_1 + b_2$$

مثلاً:

اگر $b_1^2 + b_2^2 > b^2$ باشد، چون انرژی افزایش یافته است، تجزیه رخ نمی دهد ولی ترکیب می شود.

مثال 1. در سیستم F.C.C :

$$\frac{a}{2} [110] \rightarrow \frac{a}{6} [121] + \frac{a}{6} [2\bar{1}\bar{1}]$$

b_1 b_2 b_3

$$b_1: \frac{a^2}{4} (1^2 + 1^2 + 0^2) = \frac{a^2}{2} \quad b_2: \frac{a^2}{36} [1+4+1] = \frac{a^2}{6} \quad b_3: \frac{a^2}{36}$$

$$\Rightarrow b_1^2 = \frac{a^2}{2} > b_2^2 + b_3^2 = \frac{a^2}{3}$$

بنابراین تجزیه انجام خواهد شد. زیرا اثری کاهش یافته است. از لحاظ برداری نیز این

تجزیه صورت می‌گیرد: مولفه اول: $\frac{a}{2} = \frac{a}{6} + \frac{2a}{6}$

مثال 2. در سیستم B.C.C :

$$\frac{a}{2} [111] \rightarrow \frac{a}{6} [111] + \frac{a}{3} [111]$$

b_1 b_2 b_3

تذکره. بردار برگرس باید بین دو آنم باشد. در مورد $\frac{a}{6} [111]$ در صفحه (112) بین دو آنم باشد.

$$b_1: \frac{a^2}{4} [1^2 + 1^2 + 1^2] = \frac{3}{4} a^2 \quad b_2: \frac{a^2}{36} [1^2 + 1^2 + 1^2] = \frac{a^2}{12}$$

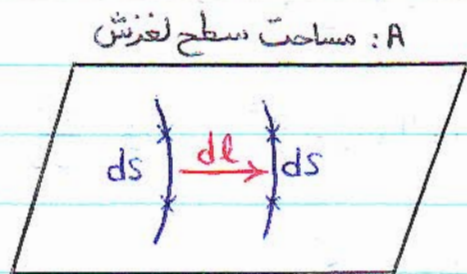
$$b_3: \frac{a^2}{9} [1^2 + 1^2 + 1^2] = \frac{a^2}{3} \Rightarrow b_1^2 > b_2^2 + b_3^2$$

تجزیه صورت می‌گیرد.

تذکره. خود بردارهای برگرس b_2 و b_3 نیز باید بین دو نقطه‌ی ماری باشد. ممکن است در صفحات

دیگر این اتفاق رخ دهد.

نیروی وارد بر خط نابجایی در تنش اعمالی:



فرض: همان نابجایی ds تحت تنش اعمالی τ

باندازهی dl حرکت کرده است:

اگر ds کل صفحه A را جارو کند، نابجایی دو صفحه نسبت به هم باندازهی b است.

$$\tau A = \text{نیروی روی سطح لغزش} \Rightarrow$$

$$\text{جانبایی} = \frac{ds \, dl}{A} \cdot b \quad (\text{علت ؟})$$

اگر ds کل صفحهی A را جارو کند، دو صفحه نسبت به هم باندازهی b می لغزند.

اگر ds باندازهی dA حرکت کند، دو صفحه باندازهی x کسری از b نسبت به هم خواهند

$$A \leftrightarrow b \quad \Rightarrow x = \frac{dA}{A} b \quad dA = ds \times dl \quad \text{لغزید.}$$

$$dA \leftrightarrow x$$

$$\begin{matrix} b \\ \rightarrow \\ dl \end{matrix}$$

سطح لغزش (A) \perp (ds: عمود بر صفحه است)

$$\Rightarrow W = \tau A \frac{dl \, ds}{A} b = \tau \, ds \, dl \, b$$

$$\Rightarrow F = \frac{\tau \, ds \, dl \, b}{ds} = \tau \, dl \, b \quad \text{انرژی وارد بر واحد طول : خط نابجایی}$$

از لحاظ دینامیکی نیز صحیح است: $F = \tau b$ نیروی وارد بر واحد طول \Rightarrow

جهت این نیرو عمود بر خط نابجائی است زیرا حرکت نابجائی در جهت عمود بر خط نابجائی است.

کشش خطی نابجائی:

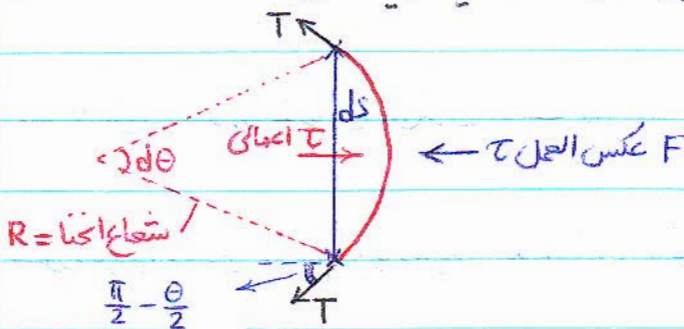
یک خط نابجائی در نظر می‌گیریم. انرژی الاستیک بر واحد طول آن $\propto Gb^2$ است. اگر دو

انتهای خط نابجائی بسته نباشد، آنقدر طول آن کاهش می‌یابد تا اینکه از بین برود. زیرا وجود

نابجائی، انرژی را افزایش می‌دهد. اگر در اثر اعمال تنش، طول نابجائی زیاد شود، نیرویی در

جهت عکس تنش اعمالی به نابجائی وارد می‌شود تا طول آن را \min کند. مانند کشش سطحی

مایعات. بعبارتی: عکس العمل در برابر افزایش طول و یا افزایش انرژی.



τb : نیروی وارد بر واحد طول نابجائی

نیروی وارد بر طول ds : $\tau b ds$

دو نیروی T متقابل دارند که طول زیاد شده‌ی نابجائی را کم کند:

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow 2T \frac{d\theta}{2} = \tau b ds = \tau b R d\theta$$

$$\Rightarrow T = \tau \cdot b \cdot R \quad \Rightarrow R = \frac{T}{\tau b}$$

اما T مشخص نیست. T را تعریف می‌کنیم: $T = \alpha G b^2$

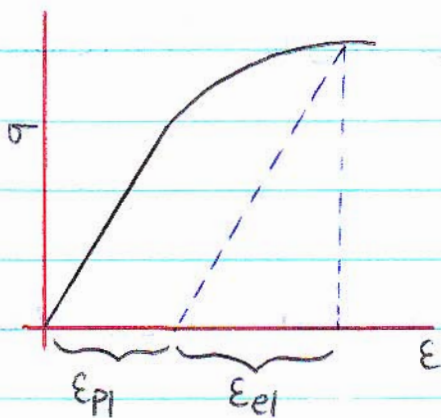
یعنی: افزایش انرژی برای افزایش واحد طول [انرژی بر واحد طول = نیرو]

افزایش طول نایجائی ← افزایش انرژی ← بر واحد طول ← کشش خطی

$$\Rightarrow R = \frac{\alpha G b}{\tau}$$

با حذف تنش اعمالی، T موجب می‌شود که این تغییر طول نایجائی به حالت اول برگردد. این

حالت الاستیک است. اگر از حد الاستیک بگذریم، میزان مربوط به الاستیک برگشته و تغییر طول



پلاستیک باقی می‌ماند. (به شرط حذف تنش اعمالی)

حد الاستیک را از روابط تجربی نمی‌توان بدست آورد اما

بطور تقریبی، وقتی به نیم‌دایره رسید، حد الاستیک است.

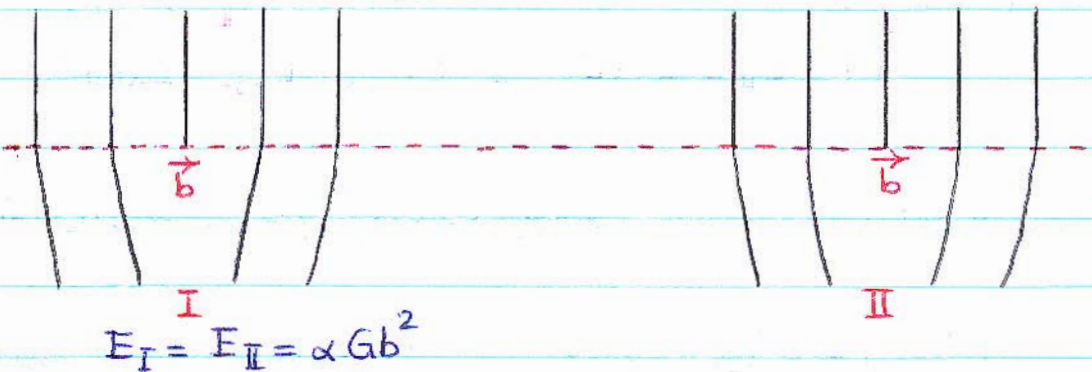
در این منحنی، در واقع علت اینکه ϵ_{e1} داریم (مقدار تغییر طولی که با حذف نیروی اعمالی

برمی‌گردد) به همان کشش خطی نایجائی مربوط می‌باشد.

نیرو بین دونا بجائی :

چرا بین دونا بجائی نیرو وجود دارد؟

حالت اول . دونا بجائی با وضعیت زیر در نظر می گیریم . این دونا بجائی خیلی از هم دور هستند .



$$\Rightarrow E_{total} = E_{sys.} = 2\alpha G b^2$$

اگر قرار باشد دونا بجائی به هم نزدیک شوند تا اینکه به هم برسند در نتیجه یک نا بجائی خواهیم

داشت با بردار برگرس $2b$. در این حالت انرژی سیستم برابر است با :

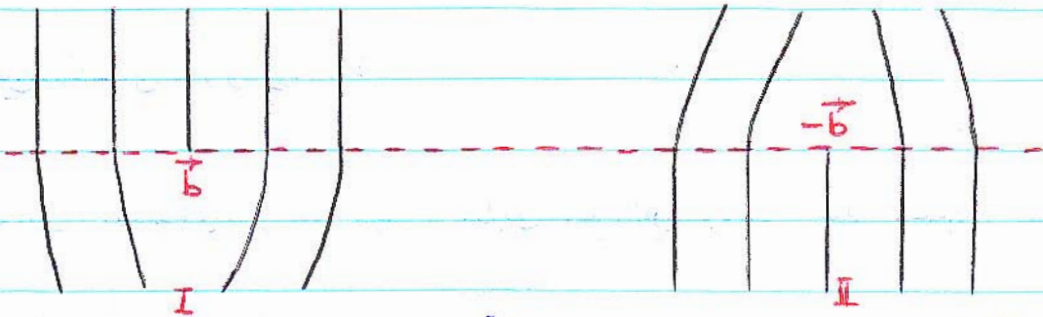
$$E_{total}^* = E_{sys.}^* = 4\alpha G b^2$$

چون انرژی سیستم زیاد شده است (دو برابر) در نتیجه این اتفاق نمی افتد و این دونا بجائی یکدیگر

را دفع می کنند .

حالت دوم : دونا بجائی با وضعیت زیر در نظر می گیریم و با فرض نزدیک شدنشان به هم ، انرژی

آن‌ها را با هم مقایسه می‌کنیم:



$$E_I = E_{II} = \alpha G b^2 \Rightarrow E_{total} = E_{sys.} = 2\alpha G b^2$$

اگر این دو نابجائی به هم نزدیک شوند، عیب خطی از بین می‌رود و شبکه‌ای کامل می‌شود.

و چون $b=0$ است در نتیجه: $E_{total}^* = E_{sys.}^* = 0$

یعنی انرژی سیستم کاهش یافته است بنابراین، این دو نابجائی همدیگر را جذب می‌کنند.

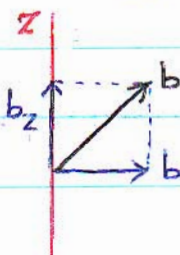
در نتیجه، نیروی جاذبه و دافعه بین دو نابجائی وجود دارد. بعبارتی بین دو میدان تنش اثراتی

بر روی هم ایجاد می‌شود.

یک نابجائی با طول بینهایت و منطبق بر محور z در نظر می‌گیریم؛ نیرو بصورت زیر می‌شود:

$$F = -(\sigma_{xy} b_x + \sigma_{yz} b_z) \hat{i} + (\underbrace{\sigma_{xx} b_x + \sigma_{xz} b_z}_{\text{تابع نیرو بر واحد طول}}) \hat{j}$$

میدان تنش تنش مؤلفه دارد: $\sigma_{xx}, \sigma_{yy}, \sigma_{zz}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}$



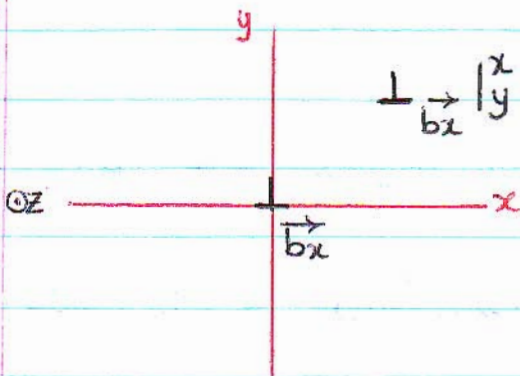
چون خط نابجائی در جهت z طول بینهایت دارد در نتیجه تغییر طول در جهت z برای آن معنی ندارد و F در این جهت مؤلفه‌ای ندارد.

اما برای نیروی دو نایجائی :

یکی از نایجائی‌ها را منبع تنش در نظر می‌گیریم و دیگری را نسبت به آن می‌سنجیم. خط نایجائی

را بر محور z در نظر می‌گیریم.

نیروی دو نایجائی پله ای :



(این دو نایجائی پله ای موازی هم هستند و بردار

برگرس های موازی دارند. \equiv ساده ترین حالت.

نایجائی پله ای در اطراف خودش میدان تنش اعمال می‌کند:

$$\sigma_{xx} = \sigma_x = -\frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} y \frac{3x^2 + y^2}{(x^2 + y^2)^2} \quad \sigma_{zz} = \sigma_z = \nu(\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\sigma_{yy} = \sigma_y = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} x \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$\sigma_{xy} = \tau_{xy} = \frac{Gb}{2\pi(1-\nu)} \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

چون بردار برگرس فقط در راستای x مؤلفه دارد، در رابطه‌ی صفحه قبل $b_z = 0$ است.

$$F_x = -(\sigma_{xy} b_x) \hat{i} = -\frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)} x \frac{x^2 - y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

$$F_y = (\sigma_{xx} b_x) \hat{j} = -\frac{Gb^2}{2\pi(1-\nu)} y \frac{3x^2 + y^2}{(x^2 + y^2)^2}$$

سطح لغزش \equiv صفحه Zx . (خط نابجایی در جهت Z و بردار برگرس در جهت x)

F_y : عمود بر سطح لغزش \leftarrow به صعود نابجایی کمک می کند.

F_x : روی سطح لغزش \leftarrow به لغزش نابجایی کمک می کند.

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

اگر در کل ، علامت نیرو منفی شد ، نیرو دافعه و اگر مثبت شد نیرو از نوع جاذبه است .

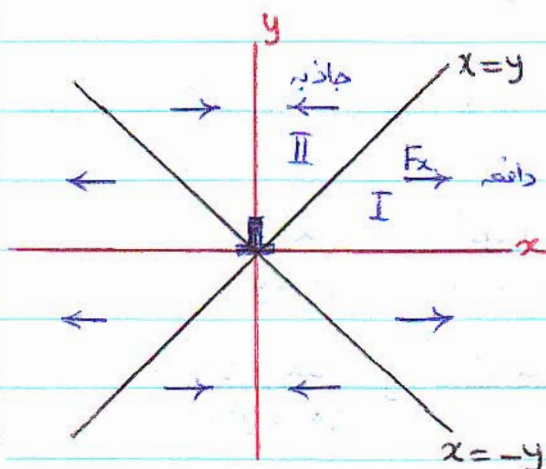
علامت F_x به سه عامل بستگی دارد : b^2 ، x و $x^2 - y^2$.

اگر یکی از بردار برگرس ها $+b$ و دیگری $-b$ باشد : $b^2 \equiv (-b)(b) = -b^2$ ؛ یعنی

b^2 منفی خواهد شد . حالات دیگر : $(b)(b) = b^2$ ، $(-b)(-b) = b^2$

$x = y$ or $x = 0 \Rightarrow F_x = 0 \rightarrow$ تعادل

فرض : $x > 0$ ، $b^2 > 0$ (دو نابجایی همنام) پس : $x < y : F_-$ ، $x > y : F_+$



اگر علامت منفی در رابطه $*$ را در نظر بگیریم :

در این حالت اگر در مناطق دافعه (I) باشیم دو

نابجایی تابش با هم دور می شوند و اگر در

مناطق جاذبه باشيم (II) دونايجائی همديگر را جذب مي کنند و نايجائی دوم (غير از منبع تنش)

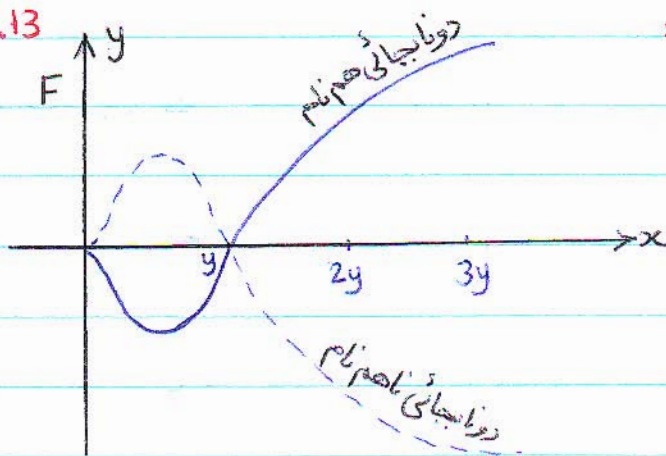
آنقدر جذب منبع شده تا به محور y برسد و به تعادل نيز برسد.

در همين حالت اگر دونايجائی ناهم نام باشند ($b^2 < 0$ شود) آنگاه در صفحه $x-y$

مشاهده مي شود که تعادل تنها در خطوط $|x|=y$ برقرار مي شود؛ يعني در زاويتي 45° .

يعني يکسري آرايش نايجائی در اين جهت بوجود مي آيد که اساس مرزدانه ي فرعي را تشكيل مي دهد.

12.13



رسم نمودار F بر حسب x و y :

نايجائی در شبکه ي $F.C.C$:

کوچکترين بردار برگرس در $f.c.c$ ، $\frac{a}{2} \langle 110 \rangle$ است. که کمترین انرژی را داشته و

متداول ترين نايجائی در اين سيستم است که مي تواند بلغزد. (سيستم لغزش فشرده $\langle 110 \rangle$)

نايجائی پله اي:

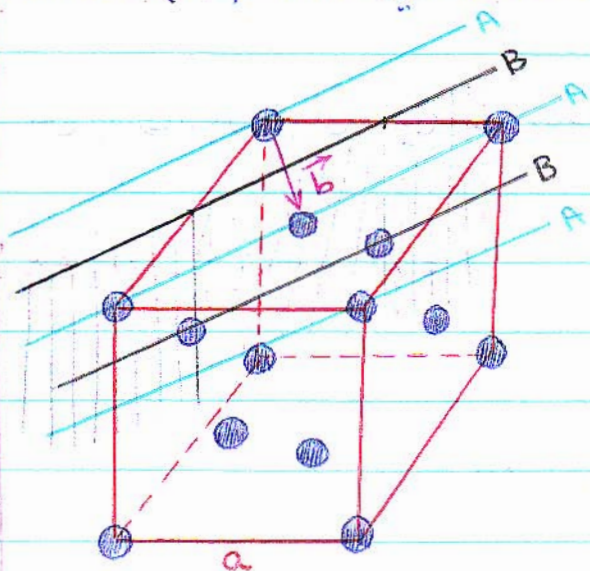
اگر بردار برگرس $\frac{a}{2} [110]$ را در نظر بگيريم ، نيم صفحه اضافي و هم چنين ديگر صفحاتي

که بلور را تشکیل می دهند دارای اندیس (110) هستند. ملاحظه می شود که بردار برگردان فوق

برای صفحات عمود است.

در کریستالوگرافی داریم که: اگر یک صفحه دارای نقاط ماری باشد، می توان کل بلور را از چین

این صفحات بصورت موازی ایجاد کرد. در Unit cell زیر صفحات {110} موازی نشان



داده شده است:

$$\vec{b} = \frac{a}{2} [110]$$

صفحات سری = از نوع (110) است.

صفحات سری = هم از نوع (110) است و

همه سری دارای نقاط ماری هستند. و از تکرار هر دو سری

کل بلور شکل می گیرد. اگر سری اول را A بنامیم، سری دوم B خواهد بود زیرا مواجعت

اینی یکسانی ندارند. بنابراین کل بلور از چین صفحات (110) بصورت ...ABAB... ایجاد

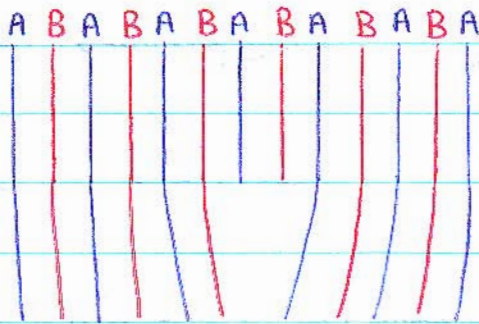
می شود. بردار \vec{b} ، بردار است که از رأس مکعب به وسط وجه می آید و بر هر دو سری صفحات

A و B نیز عمود است چون اندیس های یکسانی دارند. (110) صفحه قطر فرعی مکعب است

و صفحه (111) صفحه قطر اصلی مکعب.

برای تشکیل نابجائی از نوع $\langle 110 \rangle$ باید دو نیم صفحه داشت. یکی از نوع A و دیگری از نوع B

و چون دو نابجائی نمی تواند کنار هم باقی بمانند، از هم دور می شوند.



تذکر. واضح است که اتم های سطح A ،

با اتم های سطح B در یک صفحه نیستند.

دور شدن این دو نابجائی به معنی تقویت شدنشان نیز می باشد :

$$\frac{a}{2} [110] \rightarrow \frac{a}{6} [121] + \frac{a}{6} [2\bar{1}\bar{1}]$$

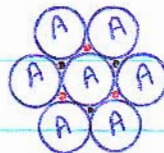
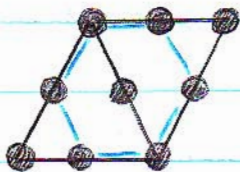
$\alpha^2/2$ $\alpha^2/3$

هر سه ی این نابجائی ها در صفحه ی (111) هستند. درین معنی که یکسر بردار روی صفحه (111)

و سر دیگر روی لایه ی (111) بگری است. بعبارت دیگر، این بردارها بین دو صفحه از نوع

(111) واقع شده اند. شبکه ی F.C.C از چین ABCABC... صفحات (111) ایجاد می شود.

یا A-A - و یا B-B ، و یا C-C است.



B .
C .

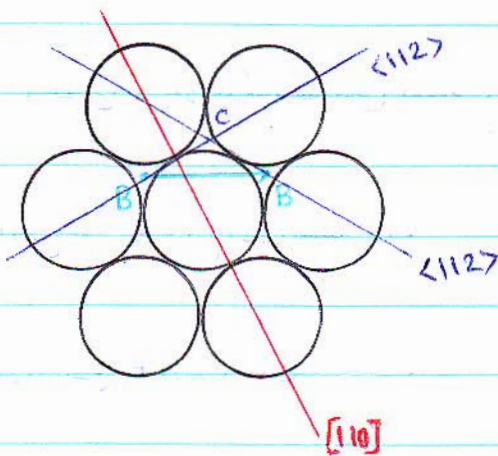
$$\vec{BB} \Rightarrow \vec{BC} + \vec{CB}$$

$$\vec{BB} = \frac{a}{2} \langle 110 \rangle$$

$$\vec{BC} = \frac{a}{6} \langle 121 \rangle$$

$$\vec{CB} = \frac{a}{6} \langle 2\bar{1}\bar{1} \rangle$$

وضیعت بردارهای $[110]$ و $[112]$ در شکل زیر نشان داده شده است.



$$\vec{BB} = \frac{a}{2} \langle 110 \rangle$$

بردارهایی که از وسط سه اتم می‌گذرند

$[111]$ بوده و بردارهایی که از وسط دو

اتم و دو جای خالی گذشته‌اند، $[112]$ هستند. از شکل هم دیده می‌شود که:

$$\vec{BB} = \vec{BC} + \vec{CB}$$

جابجایی‌های \vec{BC} و \vec{CB} با اندیس‌های $\frac{a}{6} [121]$ و $\frac{a}{6} [21\bar{1}]$ ، روابطی

جزئی هستند که در ادامه به آنها توضیح می‌دهیم.

در حرکت نابجایی، اگر اتم به همان مکان اصلی خود برود نابجایی اصلی است ولی اگر این طور نشود،

نابجایی جزئی است به نام نابجایی شوکه (shocklay).

مثلاً اتم B اول باید به موقعیت C رفته و بعد دوباره به B برود (\vec{BB}) در نتیجه، اتم B جای

اتم C را گرفته است. در غیر این صورت اتم B برای اینکه بجواید به مکان مشابه B برود باید

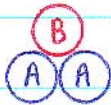
از روی اتم A رد شود که این کار صورت نمی‌گیرد زیرا مسیر راحت‌تر و با انرژی کمتر این است که اول به

C برود و بعد به B و C نیز در ولایتی (111) بصورت پشت سرهم قرار دارند. اتم B برای رسیدن به C بصورت زیگزاگ حرکت می کند.

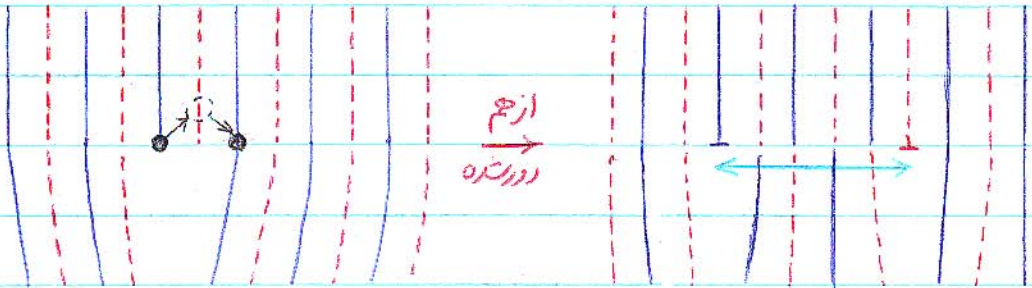
در نتیجه نابجائی <110> $\frac{a}{2}$ همیشه تجزیه شده و رونابجائی جزئی نیز با هم حرکت می کنند. به

همین دلیل است که صفحات (111) روی هم نمی لغزند زیرا برای لغزیدن باید از هم باز شده یا

فاصله بگیرند و این اتفاق رخ نمی دهد و لغزش از لایه لای اتم ها صورت می گیرد.



رفتن اتم B از C، از وسط A اتفاق می افتد:

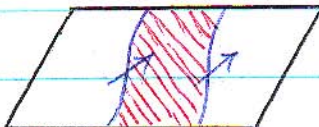


بین رونابجائی فوق، صفحات روبروی هم باید یکدیگر فرق می کنند هم چنین در یک صفحه هم

نیستند. در نتیجه می توان حد فاصل این رونابجائی جزئی یک صفحه ای در نظر گرفت به نام سطح

خطای چیده شدن. این عیب یک عیب سطحی است. در واقع اندازه ای اتم های A، اتم های

B قرار گرفته است. یکی از نابجائی ها عیب را بوجود می آورد و دیگری آنرا رفع می کند. بنابراین



بین رونابجائی شبکه، سطح خطای چیده شدن وجود دارد.

$$\frac{a}{2} [110] \rightarrow \frac{a}{6} [211] + \frac{a}{6} [1\bar{2}]$$

سطح خطای چیده شدن

ایجاد شدن این سطح خود نیاز به انرژی دارد (انرژی سطحی) ولی از طرف دیگر موجب کاهش

انرژی سیستم نیز می شود. بنابراین:

کاهش انرژی \rightarrow وجود نیروی دافعه بین دو نابجائی

افزایش انرژی \rightarrow ایجاد سطح خطای چیده شدن

در نتیجه باید حالت تعادلی وجود داشته باشد. یعنی فاصله تعادلی بین دو نابجائی پس بین

دو نابجائی فاصله ثابتی وجود دارد که در این حالت، انرژی سیستم \min است.

نیروی بین این دو نابجائی:

$$F = \frac{G(b_1 \cdot b_2)}{2\pi d}$$

↑ ضربه دافعی
↓ فاصله

انرژی بر واحد سطح خطای چیده شدن: $\gamma = F$

$$\gamma = \frac{G(b_1 \cdot b_2)}{2\pi d} \quad d = \frac{G(b_1 \cdot b_2)}{2\pi \gamma}$$

در پس، γ بزرگتر است از A . در نتیجه فاصله دو نابجائی شکله در A بیشتر است.

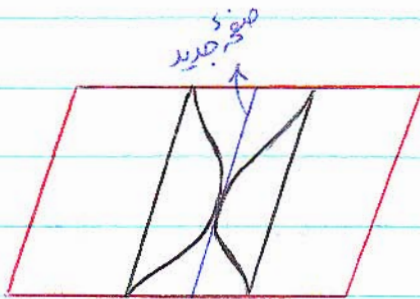
لا بستگی به فشردگی و... دارد.

زوج نابجائی شکله همیشه از نوع پله ای است؛ حتی اگر نابجائی اول پیچی باشد.

بنابراین اگر نابجائی پیچی تجزیه شد دیگر نمی تواند لغزش تقاطعی انجام دهد زیرا نابجائی های جدید پله ای هستند.

شرط اینکه نابجائی های شکله سطح لغزش خود را تغییر دهند این است که ابتدا ترکیب شده و

نابجائی پیچی ایجاد کنند و بعد سطح لغزش خود را عوض کند و دوباره تجزیه شود.



این فرایند در کل انرژی را افزایش

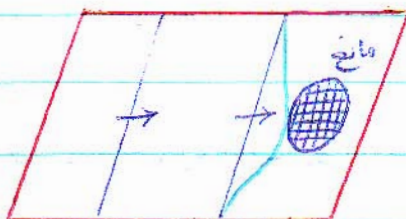
می دهد. اما سوال اینجاست که

اگر انرژی را زیاد می کند پس چرا این اتفاق می افتد و کی می افتد؟

جواب این است که وقتی نابجائی به مانعی می رسد برای ادامه حرکت خود نیاز دارد که صفحه

لغزش خود را عوض کند. هم چنین وقتی نابجائی به مانعی می رسد ما ناچاریم نیروی بیشتری اعمال

کنیم. در نتیجه افزایش انرژی این فرایند نیز جبران می شود.



در شبکه‌ی F.C.C یک چهاروجهی به نام Thompson تعریف می‌کنند و در این چهاروجهی

انواع واکنش‌ها را می‌توان مشاهده کرد.

این چهاروجهی از چهار صفحه‌ی مساوی الاضلاع (صفحات اوکتاهدال) یا $\{111\}$ تشکیل

می‌شود. هر چهار وجه این چهاروجهی با هریک از صفحات $\{111\}$ موازی است. چون

اضلاع این مثلث مساوی الاضلاع موازی جهات لغزش $\langle 110 \rangle$ است در نتیجه مشخصه‌ی

این چهاروجهی این است که:

وجه موازی صفحات لغزش و یا ل‌ها موازی جهات لغزش است. در نتیجه این چهاروجهی

بیان‌کننده‌ی کلیه‌ی سیستم‌های لغزش در F.C.C است.

اگر از هر رأس عمودی به وجه مقابل رسم کنیم، پای عمود در مرکز ثقل وجه واقع خواهد

شد. پای عمودها را α ، β ، γ و δ می‌نامیم.

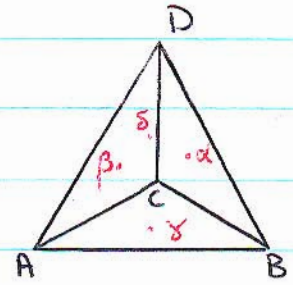
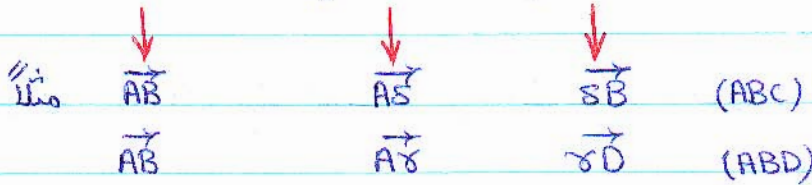
بردار برگردانی که موازی هریک از یال‌های AB، BC، BD و... که 6 تا هستند باشد، یک نابجایی

کامل است. بعبارتی هر دو حرف به کار رفته برای برداران حروف بزرگ هستند.

هر نابجایی که بردار برگردان آن شامل یک حرف بزرگ و یک حرف کوچک باشد (\vec{AB}) یک نابجایی جزئی است.

بردار برگزین لرزه‌ی ندارد روی این خطوط واقع شود بلکه باید موازی آن باشد.

$$\frac{a}{2} [110] \rightarrow \frac{a}{6} [121] + \frac{a}{6} [2\bar{1}\bar{1}]$$



یعنی اینکه برای \vec{AB} دو گونه تجزیه شدن وجود دارد زیرا \vec{AB} فصل مشترک دو صفحه‌ی ABC و

ABD است. در نتیجه می‌توان واکنش‌ها را پیش‌بینی کرد.

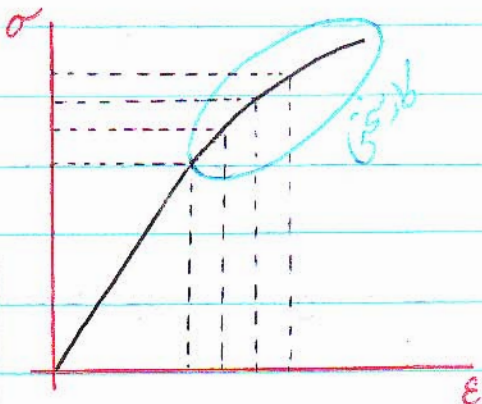
ناجایبی جزئی فرانک: (Frank)

این ناجایبی از نوع غیرمتحرک است. این گونه ناجایبی‌ها نیز مهم می‌باشند زیرا: اگر ناجایبی‌های

متحرک در طی لغزش خود که حرکت می‌کنند، به ناجایبی‌های غیرمتحرک برسند، این ناجایبی‌ها بعنوان

مانع عمل می‌کنند و موجب کارسختی می‌شوند؛ یعنی اینکه، با بیشتر لغزیدن، بازای کرنش‌های

یکسان، تنش بیشتری باید اعمال کرد. عبارت دیگر کارسختی عبارتست از: موافق جلوی حرکت



ناجایبی و به دنبال آن، اعمال تنش‌های بعدی بیشتر.

ناجایبی فرانک یک ناجایبی پله‌ای است. سطح ناقص یا

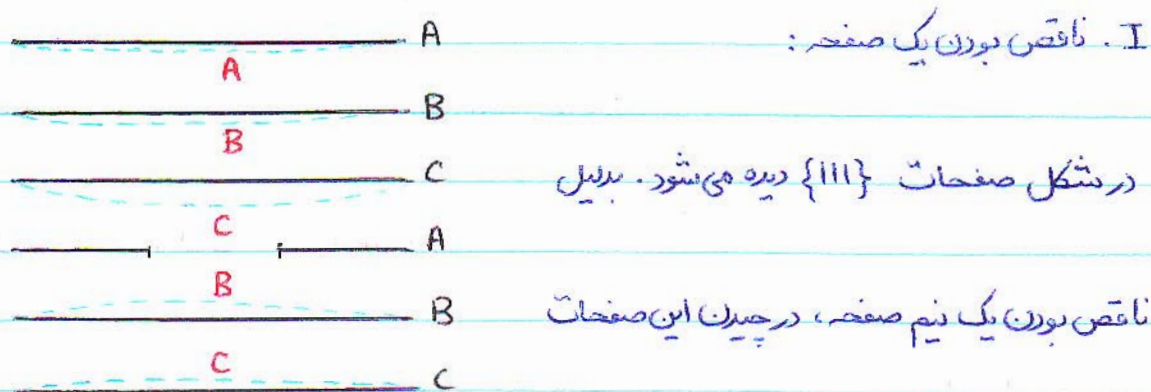
نیم صفحه‌ی اضافی از نوع $\{111\}$ است. در نتیجه بردار

برگرس آن در جهت $\langle 111 \rangle$ است.

از آنجا که تکرار سطح $\{111\}$ در شبکه $f.c.c$ ، $ABCABCA \dots$ است، بردار برگرس این

ناجائی $\langle 111 \rangle$ است. $(\frac{1}{3} \text{ قطر مکعب با طول} : \frac{a\sqrt{3}}{3})$

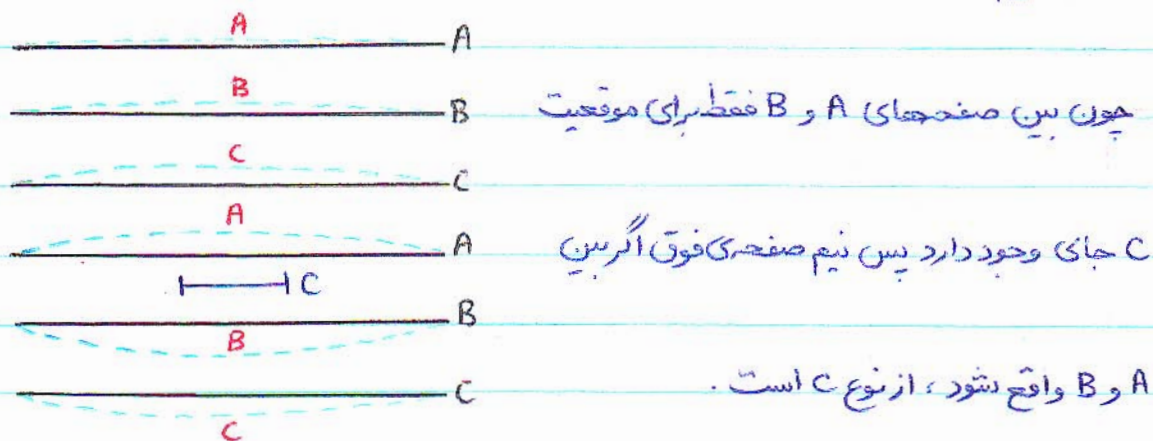
دو حالت برای ایجاد ناجائی فرآنگ وجود دارد:



که بناید $ABCABC \dots$ باشد، نقص وجود دارد و بصورت $ABCBCA \dots$ درآمده است.

این ناجائی، ناجائی فرآنگ ساده نام دارد.

II. یک نیم صفحه اضافه شود:



در این مورد هم ترتیب صفحات به جای آنکه ... ABCABC ... شود، ... ABCA/C/BCA ... خواهد
 $\begin{matrix} & C & \\ B & A & \end{matrix}$

شد. این نابجائی، نابجائی فرانک دو تایی (dabble frank - DF) نام دارد. بردار برگرس هر

دو نوع نابجائی فرانک $\langle 111 \rangle$ است. $\frac{a}{3}$

بردار برگرس نابجائی فرانک موازی ارتفاع های چهار وجهی Thompson است یعنی:

$$\vec{A\alpha}, \vec{B\beta}, \vec{C\gamma}, \vec{D\delta}$$

بنابراین چهار نوع بردار برگرس نابجائی فرانک وجود دارد.

$$\frac{a}{3} [111] + \frac{a}{6} [11\bar{2}] \rightarrow \frac{a}{2} [110]$$

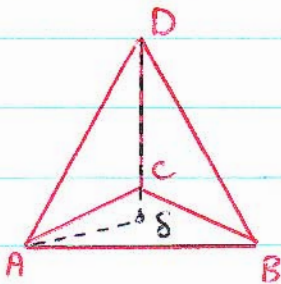
فرانک
یک جزء نابجائی
نابجائی کامل

شکل

$$\frac{3a^2}{9} + \frac{6a^2}{36} = \frac{a^2}{2} \rightarrow \frac{a^2}{2}$$

یعنی هیچ تغییری در انرژی حاصل نمی شود. اما نابجائی کامل فوق بالا فاصله تجزیه می شود.

دو نابجائی جزئی شکلی: $\frac{a}{6} [211] + \frac{a}{6} [12\bar{1}]$. یعنی دو نابجائی فرانک و شکله تبدیل می شود.



به دو نابجائی دیگر.

$$\vec{A\delta} + \vec{C\gamma} = \vec{AD}$$

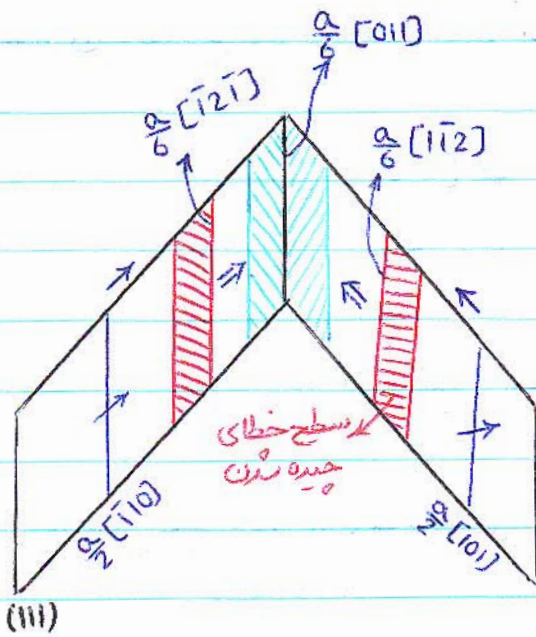
نابجائی فرانک
نابجائی کامل

برای اینکه دوبجائی فرآینک به نابجائی کامل تبدیل شود، برای هر کدام سه حالت وجود دارد یعنی

بعنوان مثال برای \vec{A} ، سه حالت \vec{A} ، \vec{B} و \vec{D} وجود دارد تا به یک نابجائی کامل مثل \vec{CB} تبدیل شود.

نابجائی فرآینک نمی تواند حرکت کند زیرا بردار برگریس آن در جهت فشرده نبوده و عمود بر جهت فشرده است.

نابجائی غیر متحرک Lomer-cottrell :



این نابجائی از فصل مشترک دو صفحه (111)

یعنی دو نوع صفحه از صفحات {111} بوجود

می آید. مثلاً دوبجائی روی دو صفحه زیر را

در نظر بگیرید :

$$(\bar{1}11) : \frac{a}{2} [101] \rightarrow \frac{a}{6} [211] + \frac{a}{6} [1\bar{1}2]$$

$$(111) : \frac{a}{2} [\bar{1}10] \rightarrow \frac{a}{6} [2\bar{1}1] + \frac{a}{6} [\bar{1}2\bar{1}]$$

این دو زوج نابجائی در اثر تنش حرکت می کنند و در فصل مشترک دو صفحه، دوبجائی جزئی

جلوئی بهم می‌رسند و با هم ترکیب می‌شوند. حاصل این ترکیب، نابجائی کامل نخواهد بود.

$$\frac{a}{6} [1\bar{1}2] + \frac{a}{6} [\bar{1}2\bar{1}] \rightarrow \frac{a}{6} [011]$$

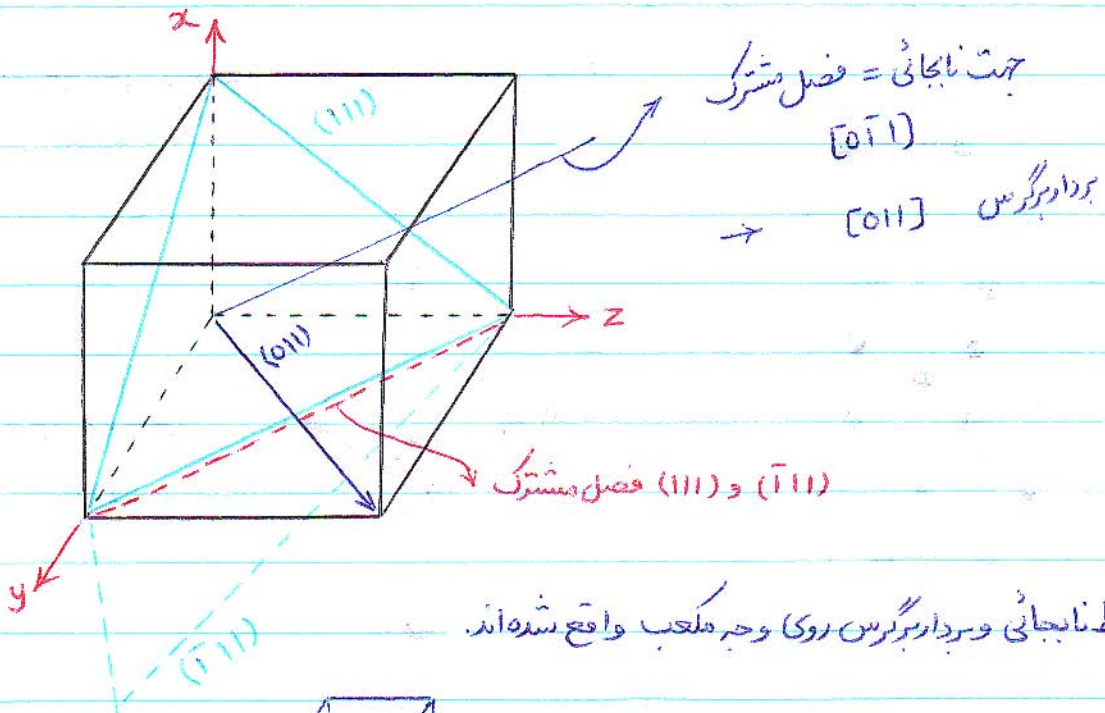
$$\downarrow \frac{a^2}{3} \quad \rightarrow \quad \downarrow \frac{a^2}{18}$$

مسهاده می‌شود که انرژی بیشتر کاهش یافته است. بنابراین دو نابجائی جلوئی شدت هم دیگر

را جذب می‌کنند و این نابجائی را بوجود می‌آورد. در دو طرف فصل مشترک نیز سطح خطای چیده

شدن وجود دارد.

قابل ذکر است که، برخورد دو صفحه‌ی $\{111\}$ در جهت $\langle 110 \rangle$ است. (جهت فصل مشترک)



خط نابجائی و بردار برگرس روی وجه مکعب واقع شده‌اند.



روی وجه (100)

جابجایی‌های دیگر نمی‌توانند به این منظمی فصل مشترک نزدیک شوند، (در نتیجه مانع) همراه

حرکت جابجایی‌های دیگر به حساب می‌آیند. در نتیجه در کارسختی اهمیت دارد.

تذکره: همیشه امکان تشکیل جابجایی lomer وجود ندارد بلکه فقط زمانیکه انرژی بیشتر

گاهس یابد امکان تشکیل آن وجود دارد.

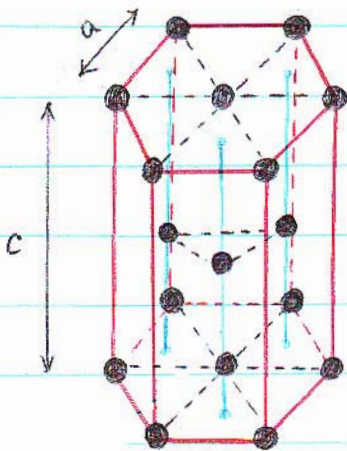
جابجایی در شبکه‌ی h.c.p :

در h.c.p، سطوح لغزش {0001} و جهات لغزش $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ است. بردار برگرس نیز

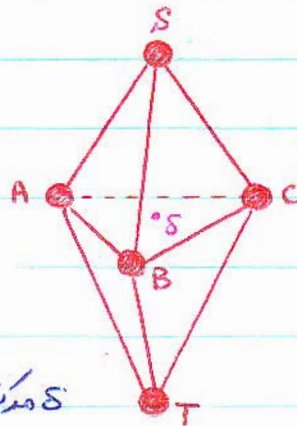


$\langle 11\bar{2}0 \rangle$ می‌باشد $\frac{a}{3}$.

در اینجا هم می‌توان چهار وجهی Thompson



در نظر گرفت.



در چهار وجهی
مماس:

S مرکز ثقل ABC است.

در جدول زیر انواع جابجایی در h.c.p آورده شده است:

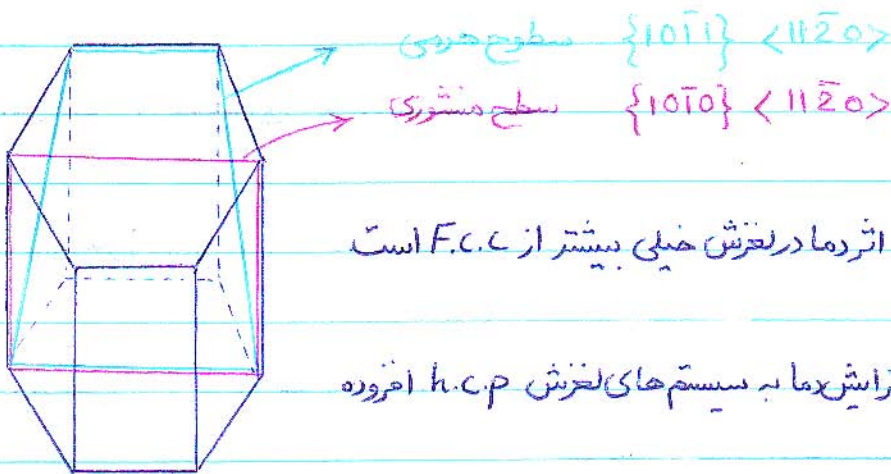
نوع نابجائی	AB	ST	AS
جهت	$\langle 11\bar{2}0 \rangle$	$\langle 000\bar{1} \rangle$	$\langle \bar{1}100 \rangle$
اندازه‌ی بردار	a	c	$\frac{a}{\sqrt{3}}$
انرژی (مناسب است یا)	a^2	$c^2 = \frac{8}{3} a^2$	$\frac{a^2}{3}$

معروفترین نابجائی در h.c.p. ، AB است . AS از نوع نابجائی شکله است .

در دمای معمولی ، لغزش در h.c.p. روی سطوح $\{0001\}$ و جهت $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ است . این

سطوح باهم موازی هستند و باید یکدیگر تلاقی ندارند . اما در دمای بالا ، یک سری سیستم های لغزش دیگر

اضافه می شوند . این سیستم ها شامل سطوح منشوری و هر بی است :



در h.c.p. اثر دما در لغزش خیلی بیشتر از F.C.C است

زیرا در اثر افزایش دما به سیستم های لغزش h.c.p افزوده

می شود . هم چنین در دمای بالا سیستم های لغزش در h.c.p. مقاطع می شوند در نتیجه امکان

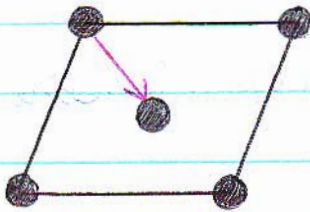
حرکت نابجائی نیز بیشتر می شود .

حرکت نابجائی نیار به یک \min تنش (T_{cr}) دارد؛ که این T را σ فراهم می کند.

افزایش دما، T_{cr} را کاهش می دهد و در σ های کمتر نیز لغزش انجام می شود.

85.12.20

نابجائی در شبکه ی B.C.C :



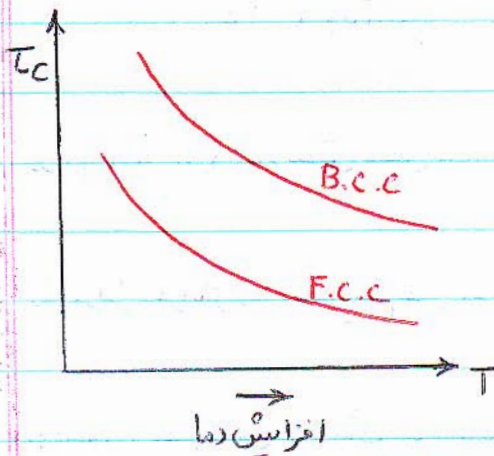
$$\vec{b} = \frac{a}{2} \langle 111 \rangle \quad \{110\} \langle 111 \rangle$$

در B.C.C مکانیزم دیگری برای تغییر فرم پلاستیک وجود

دارد. این مکانیزم، تشکیل سطوح دوقلوبی است.

T_c : تنش بحرانی روی سطح لغزش. یعنی \min تنشی که لازم است تا نابجائی حرکت کند. این

تنش برای صفه ای خاص است. T_{yield} (تنش تسلیم) برای یک ماده است. T را نیز تنش



اعمالی تعریف می کنیم. در مقایسه ی B.C.C و F.C.C

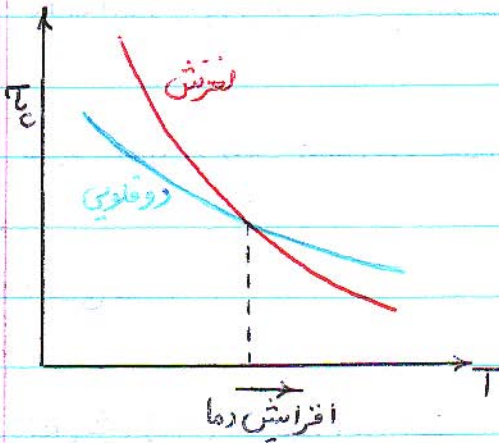
می توان گفت برای لغزش تنش بحرانی B.C.C از F.C.C

بزرگتر است. در نتیجه F.C.C راحت تر می لغزد و تغییر

شکل می دهد.

اماد مورد شبکه ی B.C.C می توان گفت که، در دماهای پائین سطوح دوقلوبی فعال تر هستند

زیرا T_2 سطوح دوقلوبی کمتر از T_1 برای لغزش است.



اما اینطور نیست که در دمای پایین اصلاً لغزشی انجام نشود.

همچنین در اینجا، منظور از دوقلوبی، دوقلوبی مکانیکی

است زیرا اعمال نیرو داریم.

سیستم تشکیل سطوح دوقلوبی عبارتست از: $\langle 111 \rangle$ و $\{112\}$. سطوح دوقلوبی در اثر

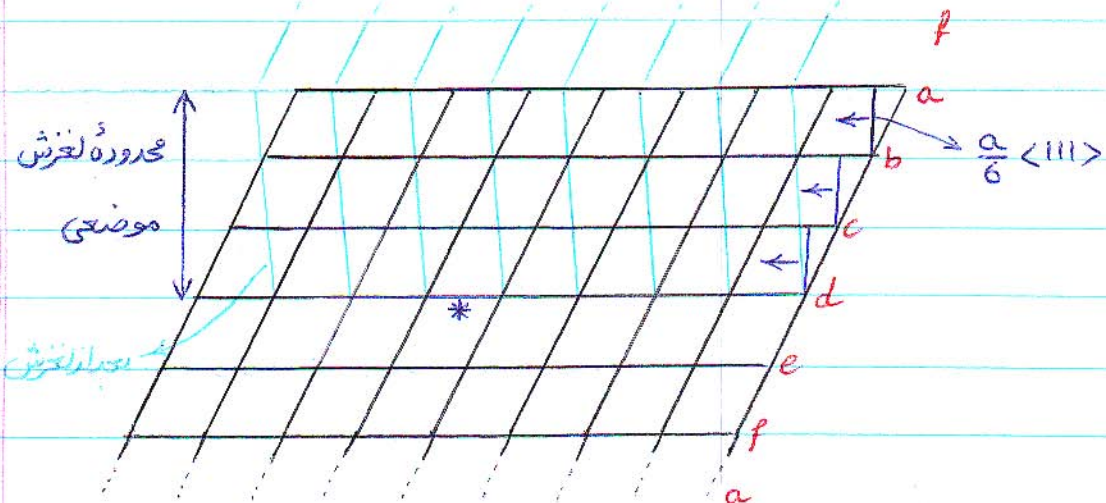
تغییر شکل یا لغزش موضعی بوجود می‌آید. این دوقلوبی از لغزش موضعی نابجایی $\frac{a}{6} \langle 111 \rangle$

روی سطح $\{112\}$ ایجاد می‌شود. تکرار سطوح $\{112\}$ در b.c.c بصورت تکرار 6 تایی

... abcdefabcdef... است. یعنی 6 تا صفحه $\{112\}$ شبکه b.c.c را می‌سازد

به همین دلیل است که نابجایی فوق دارای ضریب $\frac{a}{6}$ است. در شکل زیر مشاهده می‌شود که در

یک قسمت از بلور، سطوح $\{112\}$ حرکت کرده و در این سطح، آرایش اتم‌ها به هم خورده است



علت اینکه برخی از این سطوح حرکت می‌کنند این است که 6 نوع سطح (112) داریم که

لغزش یکسانی ندارند. مساحت سطح دوگلوبی (محدوده لغزش موضعی) بستگی به تعداد نایجائی‌ها دارد.

$$\frac{a}{2} [111] \rightarrow \frac{a}{3} [111] + \frac{a}{6} [111] \quad , \quad \frac{a}{3} [111] \rightarrow \frac{a}{6} [111] + \frac{a}{6} [111]$$

$$\Rightarrow \frac{a}{2} [111] \rightarrow \frac{a}{6} [111] + \frac{a}{6} [111] + \frac{a}{6} [111]$$

سطح لغزش $\frac{a}{6} [111]$ ، (112) است. در لغزش نایجائی، همه آنها با اندازهی \vec{b} حرکت

می‌کنند ولی در دوگلوبی، میزان حرکت بستگی به فاصله از خط \times دارد.

برخورد نایجائی‌ها:

در شبکه بر اساس تقصی که در طول انجماد بوجود می‌آید می‌توان بنهایت نایجائی تعریف کرد که هر کدام

هم سطح لغزشی دارند. ممکن است که برخی از این نایجائی‌ها حرکت نکنند. در نتیجه در حرکت

نایجائی، سر راه نایجائی‌های دیگری نیز وجود دارند. بنابراین نایجائی در حرکت خود مجبور است

با نایجائی‌های دیگر برخورد کند. این یک اصل است.

چه فرقی بین برخورد نایجائی و واکنش نایجائی وجود دارد؟

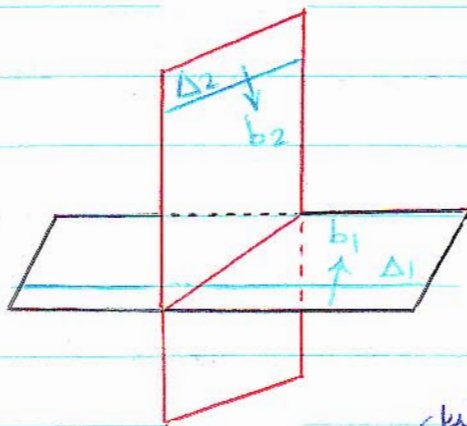
واکنش دوانبجائی معمولاً روی یک خط انجام می شود یعنی دوخط نابجائی در یک خط هم دیگر را

قطع می کنند . اما در برخورد دوانبجائی ، آن دو هم دیگر را در یک نقطه قطع می کنند . البته معمولاً این

طور می باشد . هم چنین ممکن است واکنش هم در یک نقطه یعنی محل تلاقی دوانبجائی درحالتی که

یک نقطه است ، انجام شود . زاویهی بین سطوحی که نابجائی هایشان باهم برخورد می کند ، نامشخص

است . اما ما حالت خاص زیر را در نظر می گیریم . یعنی زاویهی 90 درجه :

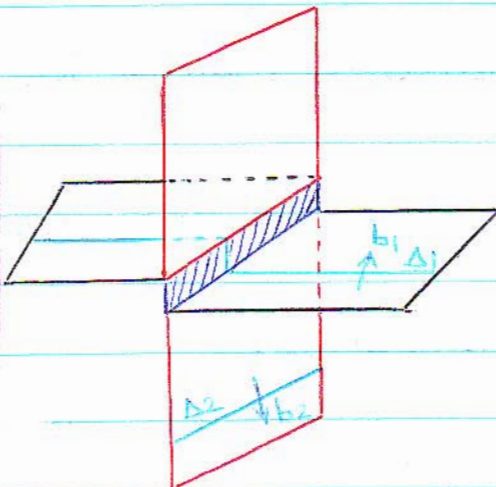


دوانبجائی پله ای زیر را در نظر می گیریم :

$$\begin{cases} b_1 \perp \Delta_1 \\ b_2 \perp \Delta_2 \end{cases}$$

بعد از لغزش نابجائی دوم شکل بالا به شکلی زیر تبدیل

می شود :



ملاحظه می شود در خط نابجائی Δ_1 ، یک Jog ایجاد

شده است .

اگر $b_2 \parallel \Delta_1$ باشد ، چون جابجائی آنها در راستای

b_2 است در خط Δ_1 تغییری ایجاد نمی شود . اما اگر $b_2 \perp \Delta_1$ باشد چون جابجائی آنها

در راستای b_2 است در خط Δ_1 شکستگی ایجاد می شود. در شکل قبلی حالت $\Delta_1 \perp b_2$

را داریم زیرا در Δ_1 شکستگی ایجاد شده است. (Jog) نتیجه :

اگر دو نابجائی هم‌دیگر را قطع کنند بسته به موقعیت b_1 و Δ_2 ؛ b_2 و Δ_1 ، Jog یا ایجاد

می شود و یا نهی شود. Jog ایجاد می شود $\rightarrow \Delta_1 \perp b_2$ or $\Delta_2 \perp b_1$

Jog ایجاد نمی شود $\rightarrow \Delta_1 \parallel b_2$ or $\Delta_2 \parallel b_1$

در شکل بالا ، Jog برای Δ_1 ایجاد شده است. اما اینکه نوع Jog بوجود آمده پیچی

است یا پله ای را با تعیین می کند.

Jog پیچی است $\rightarrow b_1 \parallel b_2$ Jog پله ای است $\rightarrow b_1 \perp b_2$

برای ما مهم این است که Jog بوجود آمده بعد از برخورد می تواند حرکت کند یا نه ؟

Jog ایجاد شده روی نابجائی پله ای می تواند پله ای یا پیچی باشد.

Jog ایجاد شده روی نابجائی پیچی حتماً پله ای است :

(شرط ایجاد Jog) $b_2 \perp \Delta_1$ (نابجائی پیچی) $b_1 \parallel \Delta_1$

پله ای $\Rightarrow b_1 \perp b_2 \rightarrow$

تنگر. زمانی شکستگی روی خط نابجایی Jog است که صفحه Jog با صفحه خط نابجایی

مقارن باشد، در غیر این صورت یعنی صفحه Jog و صفحه خط نابجایی اگر هم صفحه و

یکسان باشد، Jog نداریم بلکه kink داریم.



در نزدیکی صفر مطلق kink ها هم حرکت می کنند. در نتیجه انرژی لازم برای حرکتشان

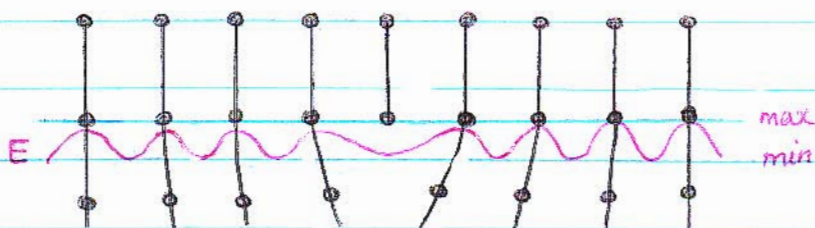
کم است. اما نتیجه حرکت kink چیست؟

قبلاً انرژی بر واحد طول را $\propto Gb^2$ بدست آوردیم و این مقدار را ثابت گرفتیم. هم چنین

محیط را نیز پیوسته در نظر گرفتیم؛ در حالی که سطح لغزش پیوسته نبوده و انرژی هم مقداری ثابت

نیست. بلکه در جاهایی اتم حضور دارد max انرژی و در جاهایی اتم حضور ندارد min انرژی

موجود است. نابجایی در موقعیت min انرژی قرار گرفته است.



با حرکت نابجائی، انرژی بر واحد طول آن تغییر خواهد کرد. در مسیر حرکت، نابجائی باید

قله‌های max انرژی را رد کند که این همان مقدار انرژی لازم برای حرکت است. انرژی

نابجائی به موقعیت آن ربط دارد. در رابطی هال، σ_0 (تشن اصطکاکی شبکه) ناشی

از همین قله‌ی انرژی است. $\sigma = \sigma_0 + \dots$

* حرکت Kink نابجائی را از یک موقعیت min انرژی به min انرژی دیگری برد.

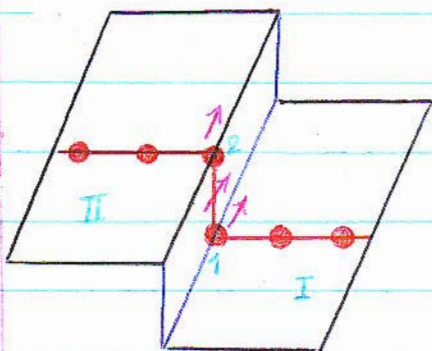
85.12.22

حرکت نابجائی همراه با Jog:

هدف بررسی تأثیر Jog در حرکت نابجائی است.

در مورد نابجائی پله ای:

I. Jog و نابجائی در یک صفحه نباشند:



در این مورد Jog نمی‌تواند حرکت کند زیرا واقع

در سطح عمود بر سطح فشرده است. در حالتیکه تنها

روانم در Jog وجود دارد (Jog سازه) اتم 1

روی سطح I و اتم 2 روی سطح II که هر دو سطح فشرده اند می‌توانند حرکت کنند. در نتیجه

Jog نیز حرکت می‌کند. بنابراین Jog در این جا برای حرکت نابجائی مانع محسوب نمی‌شود.

II. Jog و نابجائی در یک صفحه باشند:

این حالت در واقع همان kink است. در این جا هم kink مانع حرکت نابجائی نمی‌شود.

بنابراین نتیجه می‌شود که در هر دو حالت نابجائی پله ای، Jog و kink تأثیری در حرکت

ندارند.

در مورد نابجائی پیچی:

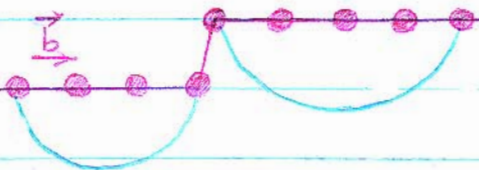
قبلاً گفته شد که Jog همواره از نوع پله ای است. نابجائی پیچی می‌تواند سطح لغزش

خود را عوض کند اما Jog که از نوع پله ای است نمی‌تواند سطح لغزش خود را عوض کند و

فقط می‌تواند صعود کند. بنابراین در نابجائی پیچی، Jog در حرکت تأثیر دارد و مانع می‌باشد

اگر نخواهیم خود Jog را بررسی کنیم

و حرکت آنرا مطالعه کنیم حالت های

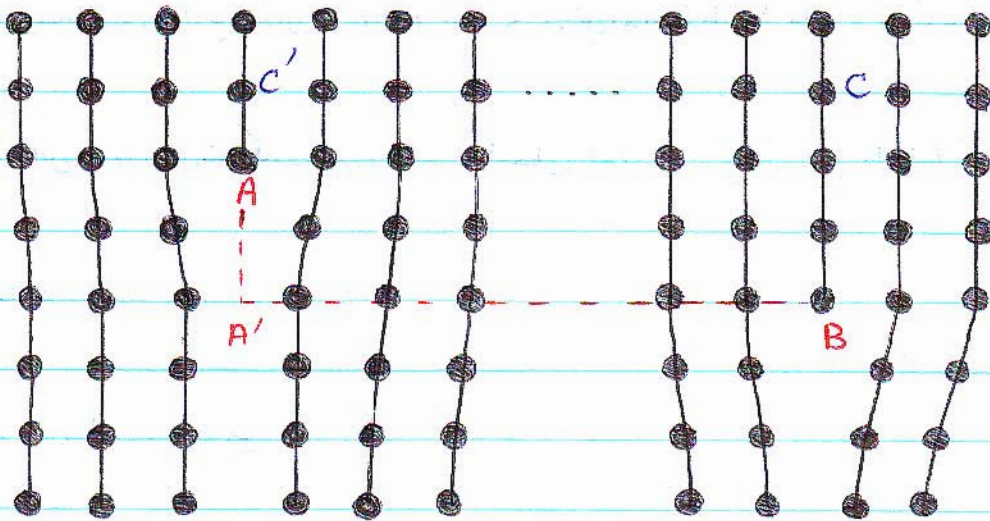


زیرا در نظر می‌گیریم:

اگر Jog بخواهد از A به B برود، به هر طریقی که بخواهد این مسیر را طی کند حالت زیر

وجود دارد: لغزش: $A' \rightarrow B$ صعود: $A \rightarrow A'$

در هر صورت تلفیقی از صعود و لغزش داریم. در مرحله صعود، تولید vacancy نیز داریم



حالت دیگر این است که موقعیت B بالاتر از A باشد مثلاً C.

لغزش: $C' \rightarrow C$ صعود: $A \rightarrow C'$

در این جا مرحله صعود جذب vacancy می کند

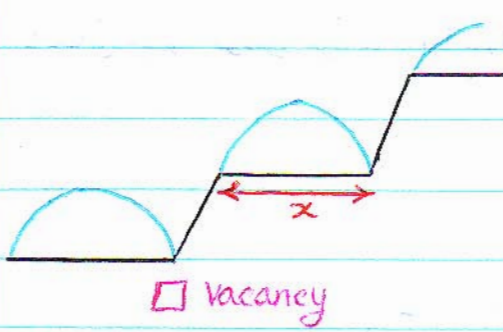
در هر دو حالت، حرکت Jog با ایجاد همراه تغییر در تعداد vacancy هاست یعنی

افزایش انرژی. در نتیجه همواره بصورت مانع عمل می کند.

تذکره: حرکت و لغزش با ایجاد می اغلب بصورت تقاطعی است.

انرژی یک Jog عبارتست از: $\alpha G b^3$ (طول Jog = b ؛ انرژی بر واحد طول) $\alpha G b^2$

می‌توان نتیجه گرفت، اثری Vacancy نیز همین است:



جابجایی تا حدی حرکت می‌کند اما اگر از یک اندازه به بعد

اثری زیادی نخواهد (چون افزایش طول نابجایی،

موجب افزایش اثری می‌شود) آنگاه vacancy

بوجود می‌آید و Jog به اندازه b حرکت می‌کند. در نتیجه حرکت نابجایی آسان می‌شود.

جابجایی: b نیرو: $\tau b x \Rightarrow x = \text{طول نابجایی}$

کار انجام شده در اثر صعود Jog: $\tau b^2 x \Rightarrow$

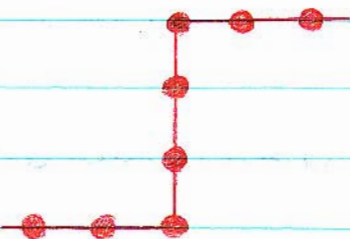
$$\tau b^2 x = \alpha G b^3 \quad \rightarrow \quad \tau = \frac{\alpha G b}{x}$$

α : فاصله Jog ها برای صعود. البته دما هم کمک می‌کند. در دماهای بالا τ

کمتر است.

ممکن است Jog دارای طولی بیش از پارامتر شبکه باشند. در این حالت با Jog مثل

جابجایی رفتار می‌کنیم و دیگر آنرا Jog در نظر نمی‌گیریم.



زیرا خود دارای بردار برگرس، سطح لغزش و... است.

منشا و تکثیر نایجائی:

نایجائی چگونه بوجود می آید و آیا طول آن زیاد می شود یا نه؟



$$V = 1 \text{ cm}^3$$

$$\text{دانشیه نایجائی} = 10^6 \text{ خط/cm}^2$$

اگر نایجائی کل سطح را جا رو کند، در اثر حرکت یک نایجائی اگر لغزش متوسط $\frac{b}{2}$ باشد،

$$\text{مقدار کل لغزش عبارتست از: } 10^6 \times \frac{b}{2} \quad \underline{b = 2 \times 10^{-8}} \quad 10^{-2} = 1\%$$

یعنی اگر همه نایجائی ها در تغییر طول شرکت کنند و همگی بلغزند، 1% تغییر طول داریم.

در صورتیکه برای Al تغییر طول خیلی بیشتر است (40%) در یک جسم تغییر شکل

یافته دانشیه نایجائی ها در حدود 10^{11} خط/cm^2 است. این نایجائی ها از کجا آمده اند

و چگونه زیاد شده اند؟

ابتدا منشا را بررسی می کنیم: همان 10^6 خط بر cm^2 از کجا آمده است؟ زیرای داریم

نایجائی تعادل ترمودینامیکی ندارد و همواره انرژی را زیاد می کند. از طرفی با هیچ عملیات

حرارتی نمی توان آن را از بین برد. نایجائی در همین فرایند انجماد بوجود می آید. و وقتی که

وجود آمد دیگر نمی توان آن را از بین برد. از سه حالت زیر نابجائی ممکن است بوجود آید:

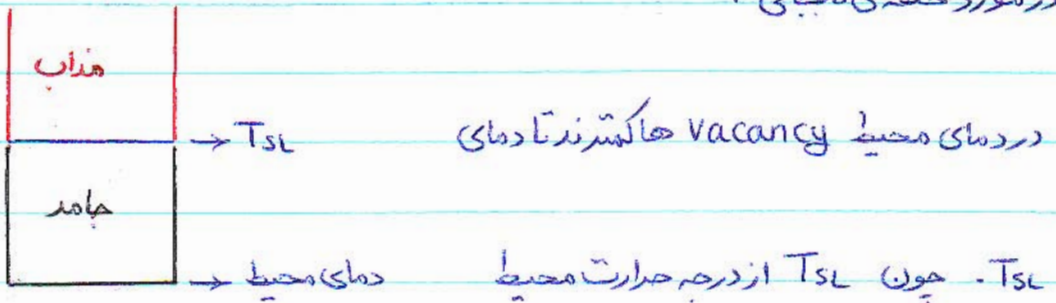
1- تراکم تنش 2- حلقه های vacancy

3- نابجائی پیچی حین انجماد.

تراکم تنش ناشی از تغییر درجه حرارت و متفاوت بودن آن در جاهای مختلف مذاب است.

در این مورد بعداً بحث خواهد شد.

در مورد حلقه های نابجائی:



بیشتر است. این vacancy ها شکلی حلقه می دهند و این حلقه ها اتصال بین دو

صفحه را از بین برده و dislocation بوجود می آورد.

رشد دانه ها در جهت سطوح فشرده است و در جهت رشد، اتم ها روی سطح می نشینند که

شبه یک جزیره است و اطراف آن مذاب می باشد. اما اطراف نابجائی پیچی اتم ها بصورت

مارپیچ قرار دارند و چون در این حالت اتم ها با هم بهتر ارتباط دارند، رشد انجماد سریع تر شده

و این نایجائی باقی خواهد ماند.

حال علت زیاد شدن نایجائی در اثر تغییر شکل پلاستیک را بررسی می کنیم :

جوانه زنی نایجائی :

I . بوجود آمدن یک نایجائی در یک قسمت بی عیب بلور در اثر تنش (که موجب شکست

صفحه شده و دو نیم صفحه بوجود می آورد) ← جوانه زنی هموزن

II . در اثر تراکم تنش در قسمت های خاص بلور، نایجائی می تواند جوانه بزند. ← جوانه زنی

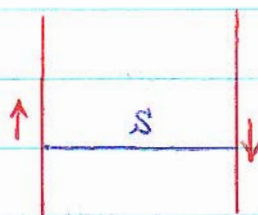
غیر هموزن .

جوانه زنی هموزن :

امکان بوجود آمدن تشکیل نایجائی درین روش راهی نسیم . نایجائی را سچی فرض می کنیم

زیرا جمله ی (۱-۷) ندارد و محاسبات ساده تر می شود . فرض دیگر این است که دو نایجائی

یعنی در یک لحظه بوجود آمده اند در خلاف جهت هم و از یکدیگر دور می شوند .



می خواهیم تنش لازم برای جوانه زنی را بدست آوریم :

$$\text{انرژی الاستیک بر واحد طول نایجائی} = \alpha G b^2$$

ΔG : تغییرات انرژی سیستم بر واحد طول نابجایی کار انجام شده: $\tau b s$

$$\Delta G = \alpha G b^2 - \tau b s = \frac{G b^2}{4\pi} \ln \frac{r}{r_0} - \tau b s$$

$$r = s$$

r_0 : Core

$$\rightarrow \Delta G = \frac{G b^2}{4\pi} \ln \frac{s}{r_0} - \tau b s$$

وقتی $s=0$ است، $\Delta G=0$ است. وقتی از یک max گذشت، انرژی (ΔG)

$$\Delta G(\max): \quad \frac{d\Delta G}{ds} = 0 \quad \text{منفی خواهد شد}$$

$$\rightarrow \frac{G b^2}{4\pi} \frac{1}{s} - \tau b = 0 \quad \rightarrow s_{\max} = \frac{G b}{4\pi \tau}$$

$$\rightarrow \Delta G_{\max} = \frac{G b^2}{4\pi} \ln \left(\frac{G b}{4\pi \tau r_0} \right) - \tau b \left(\frac{G b}{4\pi \tau} \right) \quad r_0 = b$$

$$\rightarrow \Delta G_{\max} = \frac{G b^2}{4\pi} \left[\ln \frac{G}{4\pi \tau} - 1 \right]$$

یعنی برای اینکه دوباعیاتی فوق فرم گرفته و از هم دور شوند این max انرژی باید به آن

داره شود. $\leftarrow \tau$ اعمالی باید در رابطه فوق صدق کند:

$$\tau = \tau_N \quad \text{تنش حوائزنی} \quad \rightarrow \Delta G_{\max} = 0 \quad \rightarrow \ln \frac{G}{4\pi \tau} - 1 = 0$$

$$\rightarrow \tau_N = \frac{G}{4\pi e} \sim \frac{G}{30}$$

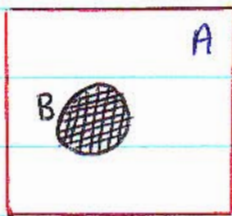
این تنش خیلی بزرگ است و ماهیچ وقت چنین تنش نداریم؛ در نتیجه جانانه زنی

هموزن امکان پذیر نیست.

جانانه زنی غیر هموزن:

فرض می‌کنیم داخل فاز A، فاز دوم B وجود داشته باشد. پس فاز اصلی A دارای

حفره‌ای با اندازه B است.



حال اگر دما با اندازه ΔT افزایش یابد:

$$\begin{cases} r_1 = r + \alpha \Delta T & \text{حفره} \\ r_2 = r + \alpha' \Delta T & \text{فاز B} \end{cases}$$

حفره و B بدلیل داشتن ضریب انبساط حجمی یا طولی متفاوت، تغییر حجم متفاوتی

دارند. به نظر می‌رسد که بین حفره و B باید فاصله افتد اما در این صورت مفاهیم اولیه

اشتباه می‌شود زیرا حفره و B پیوسته‌اند. اگر (حفره) $\alpha < \alpha(B)$ ، آنگاه B

نمی‌تواند با اندازه‌ی حفره بزرگ شود در نتیجه به فاز دوم B نیروی کششی اعمال می‌شود و

تعدادی در فاصله r_2 ایجاد می‌شود. اگر (حفره) $\alpha > \alpha(B)$ ، به B نیروی فشاری

وارد می شود. به هر حال در اثر اختلاف ضریب انبساطی (طولی یا حجمی) یک تنش بوجود

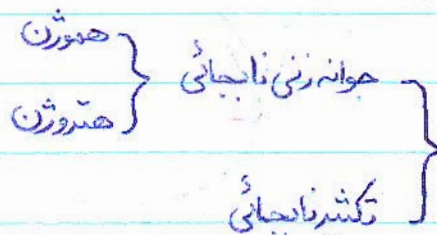
می آید و این تنش موجب ایجاد نابجایی می تواند بشود. (به نوعی انرژی آتزا فراهم می کند.)

بنابراین جوانه زنی غیر هموزن امکان پذیر است به شرط آنکه محل تمرکز تنش مثل فاز دوم

موجود باشد. اما این تنها عامل برای افزایش دانسیته نابجایی نیست زیرا ما برای جسم خالص

نیز افزایش دانسیته نابجایی داریم.

افزایش دانسیته نابجایی در اثر تغییر شکل پلاستیک: $(10^6 \rightarrow 10^{9-10-11})$ 86.1.19



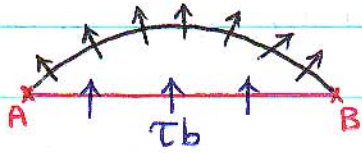
هموزن: از لحاظ تنش امکان پذیر نیست.

هتروژن: امکان پذیر است مثل فاز دوم که میدان تنش ایجاد می کند و نابجایی شکل می گیرد.

گفته شد که امکان جوانه زنی در جسم خالص وجود ندارد اما در آن افزایش دانسیته داریم.

تکثیر نابجایی:

این مکانیزم فرآینک رید نام دارد. گفته شد، با اعمال تنش τ ، به خط نابجایی نیروی پروانه

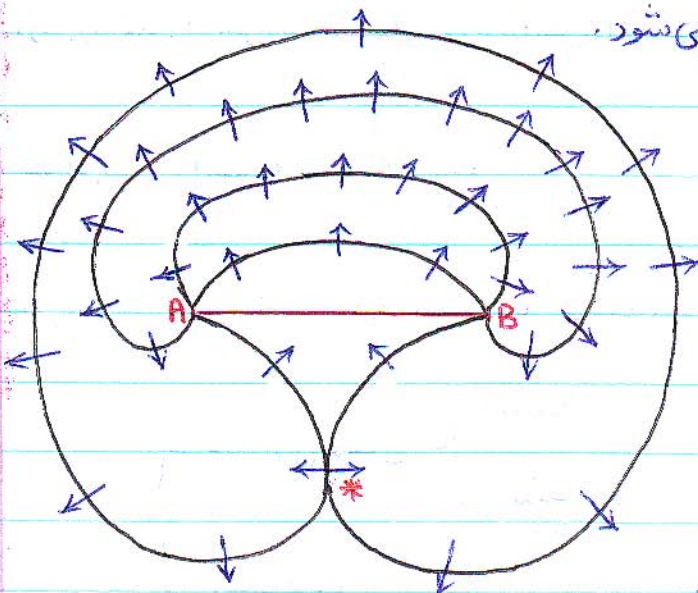


طول τ_b وارد می شود که عمود بر آن است.

چون دو انتهای خط بسته است به شکل خمیده در می آید.

هم چنین در این صورت نیروها بصورت شعاعی می شوند. (عمود بر خط نایجائی) با اعمال

تنش های بیشتر، این منحنی بزرگ تری شود.



در قسمت *، دو نایجائی از هر نوعی

که باشند، مخالف هم بوده و یکدیگر

راختنی می کنند. علت در ادامه گفته

خواهد شد. بنابراین در نهایت شکلی

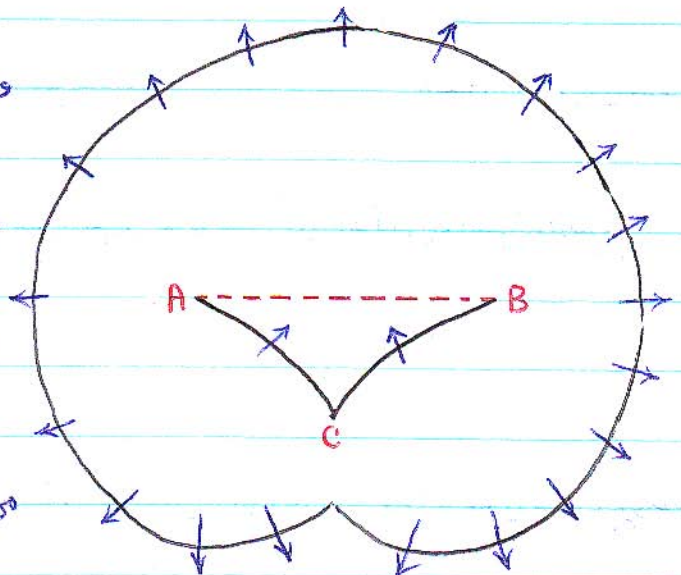
مانند شکل زیر خواهیم داشت. دو خط AC و CB با توجه به جهت نیرویی که به آنها

وارد می شود دوباره خط اولی را AB را

درست می کند و اگر باز هم تنش اعمال

شود، یک حلقه نایجائی دیگر درست

می شود و به همین ترتیب ادامه می یابد.

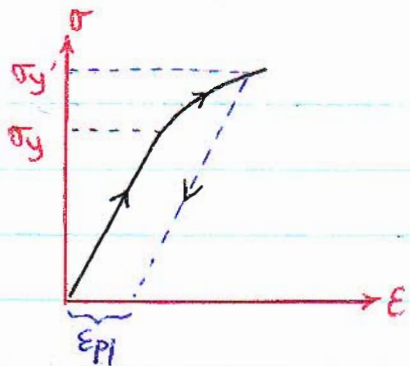


بنابراین اطراف AB موجی از نابجایی بوجود می آید و جلوه می رود -

منابع فرانگ - رید بلافاصله بعد از تنش تسلیم فعال می شوند.

$$\text{افزایش دانسیته} = \text{افزایش طول} = \text{حرکت نابجایی}$$

تأخیر از محدوددهی پلاستیک، تقریباً با حذف نیرو، دانسیته‌ی نابجایی افزایش نمی‌یابد. اما بعد از



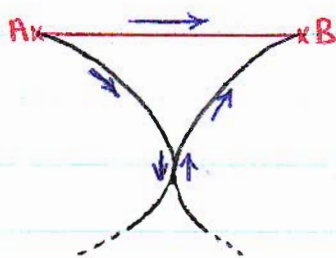
و $\sigma_{0.2}$ ، دانسیته و $\sigma_{0.002}$ جدید هر دو زیاد خواهد شد.

اما جواب سوالی که مطرح شد:

با حرکت نابجایی چون b ثابت باقی می‌ماند، کاراکتر

نابجایی عوض می‌شود. مثلاً اگر پله‌ای است، پیچی یا مصلط می‌شود. جهت بردار برگرس به

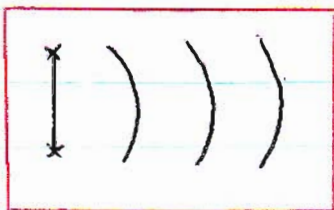
جهت دید به خط نابجایی بستگی دارد. مثلاً اگر جهت از A به B باشد، در محل برخورد *



جهت دو نابجایی با هم فرق می‌کند.

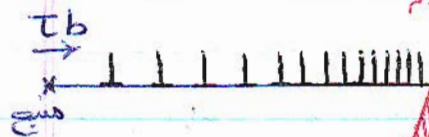
نابجایی روی یک سطح لغزش هم نام هستند. این نتیجه

منابع فرانگ رید است. بعبارت دیگر:



از منبع، نابجایی‌های یکسان خارج می‌شود.

حال اگر سرراه این نایجائی ها مانع وجود داشته باشد : *مزرانه*



چون این نایجائی ها یکسان هستند، همدیگر را دفع می کنند.

پس در این جا دو نوع نیرو داریم : ۱- نیرویی که از منبع نایجائی ها را به سمت جلوه می راند.

2- نیروی رافع بین خود نایجائی ها. اولین نایجائی که به مانع می رسد مثل مزرانه، دیگر

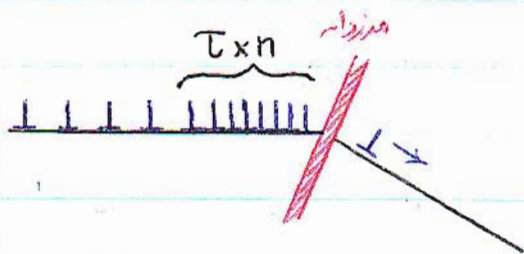
نمی تواند به حرکت خود ادامه دهد. به همین دلیل نایجائی های بعدی افزوده می شوند. به نوبه

در نزدیکی مانع، انباشتگی نایجائی بوجود می آید. و این تراکم تنش را بوجود می آورد.

اگر n نایجائی انباشته شده باشد و تنش اعمالی τ باشد، تنش که اولین نایجائی تحمل

می کند و یا به مانع وارد می کند (τ^*) برابر است با : $\tau^* = n\tau$

در نتیجه ی این تراکم تنش، یک نایجائی در طرف دیگر مزرانه، روی سطحی جدید، جوانه می زند.



تذکره نایجائی های انباشته شده از مزر عبور نکرده اند

بلکه جوانه زنی همروگن اتفاق افتاده است. با این

جوانه زنی، تراکم تنش از بین نمی رود بلکه چون ماده تغییر شکل می دهد و با عبارت دیگر،

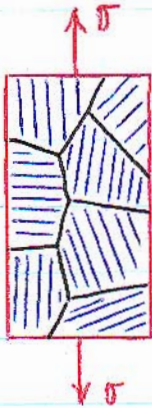
وجود داشتن خط نایجائی دیگر بدون انباشتگی تنش، از اضافه شدن میزان تنش به این منطقه

جلوگیری می کند و τ اعمالی به جاهایی وارد می شود که نایجائی می تواند حرکت کند.

مکانیزم های استحکام بخشی :

۱- مرزدانه الف - مرزدانه اصلی ب - مرزدانه فرعی

مرزدانه اصلی و تغییر شکل پلاستیک :



یک پلی کریستال در نظر می گیریم. در هر دانه سطوح لغزش

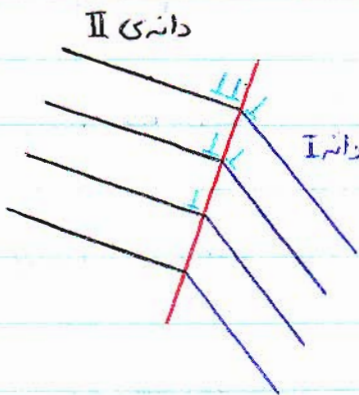
فرق می کند. در هر دانه τ_{cr} (تنش بحرانی) داریم که

برای هر دانه در زمان های مختلف فرق می کند.

بعبارتی میزان تغییر شکل پلاستیک در دودانه ای مجاور به دلیل جهت بلوری متفاوت است.

مثلاً یک دانه در جهت تنش است و بر اجزای تغییر شکل می دهد و یک دانه در جهت عمود بر σ

است و تغییر شکل نمی دهد. اما در مرزدانه داریم :



فرض : نیروی بگونه ای است که دانه I بیشتر می لغزد.

التریکی از دانه ها حرکت کند و دیگری حرکت نکند مرزدانه

چه می شود؟ برای اینکه مرز گسسته نشود باید یکسری

ناجای در مرز بوجود آید؛ که این ناجایی طوری مرزدانه را شکل می دهد که مرز گسسته نشود.

این ناجایی ها، ناجایی های لازم هندسی نام دارند. (Geometrically necessary dislocation)

* مثالی دیگر. در مورد همان فاز دوم در یک فاز زمینه:



در حالت اول (تعداد): $r = r_0$ فاز دوم $r = 2$ حفره

با افزایش دما یا تغییرات دما: r_{02} : شعاع فاز دوم r_{01} : شعاع حفره

اگر ضریب انبساط حرارتی حفره از فاز دوم بیشتر باشد نتیجه می شود که: $r_{01} > r_{02}$

اما این ها (فاز دوم و حفره) از هم جدا نمی شوند. در غیر این صورت ترک ایجاد می شود.

اینجا یک سری نابجائی بوجود می آید که از این گسستگی جلوگیری می کند. (بصورت حلقه های

نابجائی). این نابجائی، نابجائی لازم هندسی نامیده می شود. بعبارت دیگر، در یک حلقه ی

جای خالی، یک حلقه ی نابجائی ایجاد می شود.

* مثالی دیگر. اگر فاز دوم بصورت مکعب مستطیل باشد:



اگر فاز دوم تغییر شکل ندهد ولی فاز اول تغییر شکل دهد،

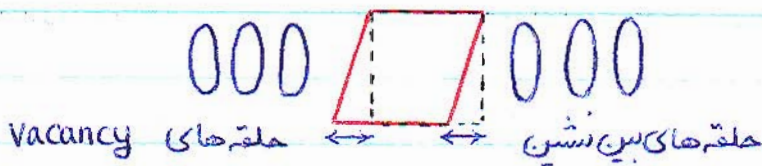
(حفره تغییر شکل دهد) مثل SiC در Al.

اگر این جسم را بیرون آوریم و به جسم اول نیروی برشی وارد کنیم شکل زیر بوجود می آید. جسم



دوم نمی تواند تغییر شکل دهد، از طرفی باید در حفره جای گیرد.

بنابراین حالت زیر بوجود خواهد آمد:



بنابراین در این جا هم یکسری نابجائی بوجود می‌آید که از گسستگی جلوگیری می‌کند. حلقه‌های بین‌نشین بصورت نیم صفحه‌ای اضافی و حلقه‌های vacancy بصورت نیم صفحه‌ای جدا شده. در این مثال عدم انطباق تغییر شکل پلاستیک داریم. اما در مثال قبلی عدم انطباق تغییر شکل حادتری. این مورد هم نابجائی لازم هندسی است.

به همین دلیل (وجود مازدوم) است که کار سختی در آلیاژها خیلی بیشتر از فلزات خالص است. بین حلقه‌های بین‌نشین و vacancy تنش زیاد است. بنابراین اتم‌ها از حلقه‌های بین‌نشین به حلقه‌های vacancy و یا vacancy‌ها از حلقه‌های vacancy به حلقه‌های بین‌نشین بر راحتی نفوذ کرده و هم دیگر را از بین می‌برند (خوشی می‌کنند). بنابراین، این مورد از نابجائی ناپایدار است. (چون تنش بالاست، نفوذ راحت‌تر است).

عموماً نابجائی‌ها دور رس‌اند :

- 1- نابجائی انباشتی تصادفی (statistically stored dislocation)
- 2- نابجائی لازم هندسی (Geometrically necessary dislocation)

86.1.19

P(76)

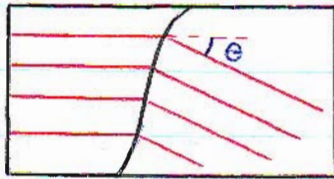
ناجیائی تصادفی انباشته شده مثل : لومرکاترل که بطور تصادفی بوجود می آید. و ناجیائی های دیگر پشت آن جمع می شود. یا مثل ناجیائی فرانک که حرکت نمی کند.

تذکره. ناجیائی های لازم هندسی زود بازیابی می شوند.

86.1.21

استحکام بخشی در اثر مزد دانه :

یک پلی کریستال با یک مزد در نظر می گیریم. استحکام را بر حسب θ بحث کرده اند. (σ_y, θ)



اگر $\theta = 0$ باشد، σ_y این پلی کریستال تقریباً

مساوی است با σ_0 مونوکریستال.

$$\sigma_y = \sigma_0 + K D^{-\frac{1}{2}}$$

رابطه ی هال - پیچ :

D : قطر متوسط دانه K : ضریب قفل شدگی برای ناجیائی

σ_0 : استحکام یا تنش اصطکاک کی شبکه

ناجیائی نمی تواند روی سطح لغزش، خود به خود حرکت کند. (σ_0) قبلاً گفته شد که در

حرکت ناجیائی، چون ناجیائی خود در موقعیت \min انرژی قرار دارد باید از یک قله ی انرژی

عبور کند که σ_0 را ایجاد می کند. (انرژی بر واحد طول ناجیائی تابع موقعیت است)

$$M : \text{عانتور جهت} \quad \tau = \frac{\sigma}{M} \quad \text{or} \quad \tau = \frac{1}{2} \sigma \cos \theta \cos \lambda \quad \text{از قبل}$$

رابطه تنش برشی در پلی کریستال:



هر دانه یک M دارد. این σ ، τ های مختلف در هر دانه ایجاد

می کند. در نتیجه کاهای مختلفی در دانه های مختلف ایجاد می کند.

$$\underbrace{\sigma}_{\text{انرژی کل}} d\epsilon = \sum_{i=1}^n \underbrace{\tau_i}_{\text{انرژی حرانه}} d\gamma_i = \tau \sum_{i=1}^n d\gamma_i$$

τ به این دلیل از \sum بیرون آمده است که

$$\rightarrow \frac{\sigma}{2} = \frac{\sum d\gamma_i}{d\epsilon}$$

یک τ میانگین وجود دارد که $\frac{\sigma}{\tau} = \bar{M}$

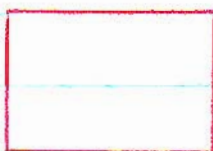
میزدانه فرعی:

اگر اختلاف جهت بین دودانه کمتر از 10° باشد، میزدانه فرعی است اما عموماً نابجائی ها

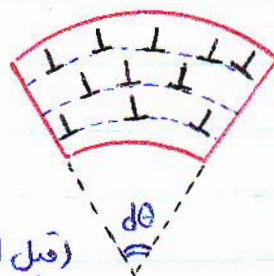
آرایشی را بوجود می آورند که میزدانه فرعی نام دارد.

در خمش، چون تغییر طول داریم، یکسری نابجائی بوجود می آید. در اثر تغییر حرارت دادن و

بالا بردن درجه حرارت، آرایش خاصی از نابجائی بوجود می آید، که میزدانه فرعی ایجاد می کند.

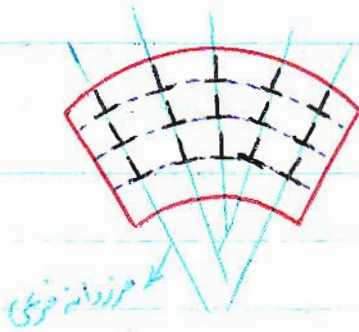


Bending →



(قبل از حرارت دادن)

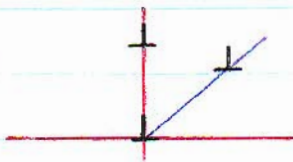
بعد از حرارت دادن :



علت این است که دو نایجائی در $\theta = 45^\circ$ و $\theta = 90^\circ$

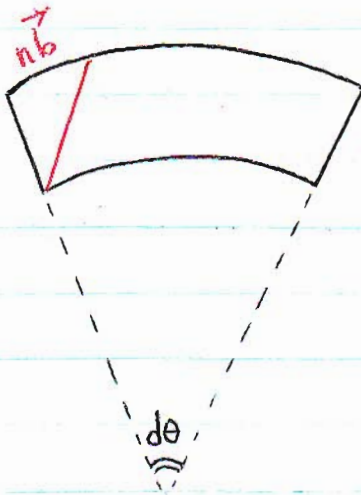
نیروی به هم وارد نمی کنند و انرژی min است. (گاه روی $\theta = 45^\circ$ و گاه روی $\theta = 90^\circ$)

این آرایش یک نوع بازیابی مکانیکی نایجائی هاست. (مزرانه فرعی)



اگر n نایجائی داشته باشیم :

چون هر نایجائی با اندازه \vec{nb} حرکت می کند و اگر نایجائی

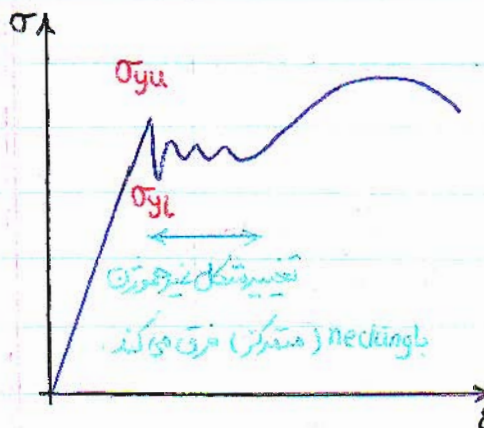


نباشد، مدار برگریز بسته است ولی اگر باشد، مدار باز

می ماند، میزان بازماندن \vec{nb} خواهد شد. چون $d\theta$

هم معلوم است، دانسته می نایجائی بسته خواهد آمد.

پدیده نقطه تسلیم:

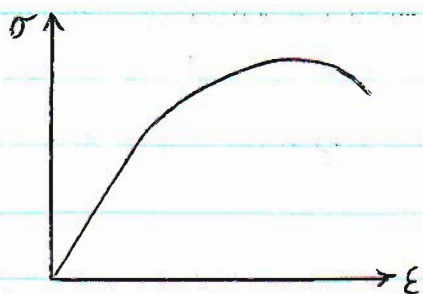


اگر نمودار $\sigma - \epsilon$ را برای فولاد کم کربن رسم کنیم

نمودار آن با سایر فلزات فرق می کند. اگر از این فولاد

کربن زدایی و نیتروژن زدایی کنیم، نمودار بصورت شکل

II در خواهند آمد . حتی اگر چند ppm کربن و نیتروژن



وجود داشته باشد ، نمودار اولی مشاهده می شود .

بنابراین می توان گفت این پدیده بدلیل وجود کربن و

نیتروژن است .

واکنش نابجائی با عیب نقطه ای :

نابجائی و عیب نقطه ای (بین نشین ، ناخالصی و vacancy) هر دو میدان تنش هستند در نتیجه

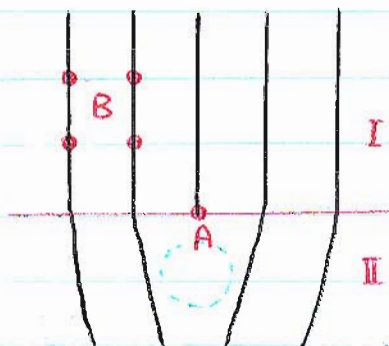
با هم واکنش می دهند . یا دافع و یا جاذبه .

یک vacancy در اطراف خود ، میدان کرنش انبساطی ایجاد می کند . یعنی اتم های اطراف خود

را به سمت خودش می کشد و این اتم ها فضای بیشتری را خواهند داشت .

در مورد نابجائی به شکل زیر میدان کرنش در بالا و پایین خط نابجائی فرق می کند . در بالا انقباضی

و در پایین انبساطی است چون فاصله اتم ها در زیر خط نابجائی از یکدیگر زیاد شده است .



پس اگر vacancy در موقعیت I باشد چون میدان

انقباضی نابجائی را تضعیف می کند و اثری را کاهش

می دهد ، جاذبه بین vacancy و نابجائی وجود دارد .

برعکس اگر vacancy در موقعیت II باشد چون میدان انبساطی نابجائی را افزایش می دهد و انرژی را بالا می برد ، نیرو از نوع دافعه است .

اگر رسوب در شبکه ی فلزی موجود باشد و از اتم های شبکه کوچکتر باشد ، میدان انبساطی ایجاد می کند .
مثل رسوب Cu در شبکه ی Al .

اتم های C و N معمولاً بین نشین هستند . بهترین جا برای این اتم ها زیر اتم A در شکل صفحه ی قبل است چون منطقی خالی است . در واقع اگر این ناخالصی از B به A آمده باشد ، انرژی را کاهش می دهد و تعادل نسبی ایجاد می کند . حرکت نابجائی یعنی هم غلبه بر σ (تنش اصطکاکی) و هم غلبه بر افزایش انرژی بخاطر اینکه موقعیت اتم C یا N باید از A به موقعیتی مثل B تغییر می کند . عبارتی دیگر این تعادل نسبی از جایگزینی اتم C یا N از بین می رود . بنابراین به نوعی C یا N نسبت به نابجائی نیروی جاذبه دارد . به همین دلیل

نسبت به حرکت نابجائی مقاومت نشان می دهد و نابجائی را قفل می کند . در مورد نابجائی پیچ

I دافعه | • N or C

II جاذبه •

هم همیشه طور است .

در حالت I ، با اعمال نیرو ، نابجائی تا حدی جلو می رود اما چون نیروی دافعه وجود دارد در یک

جایی متوقف می شود و قفل می شود .

حالت II هم بحث شد و نشان داریم این حالت هم قفل ایجاد می‌کند.

اگر کل خط نایجائی را رسم کنیم، انقصری از C و N در اطراف آن وجود دارد. با اعمال تنش، خط نایجائی حرکت می‌کند اما نمی‌تواند خیلی دور شود زیرا نسبت به ناخالصی‌ها نیروی جاذبه دارد. با اعمال

تنش‌های بیشتر این جاذبه با هم وجود دارد. با افزایش طول نایجائی، انرژی بر واحد طول آن

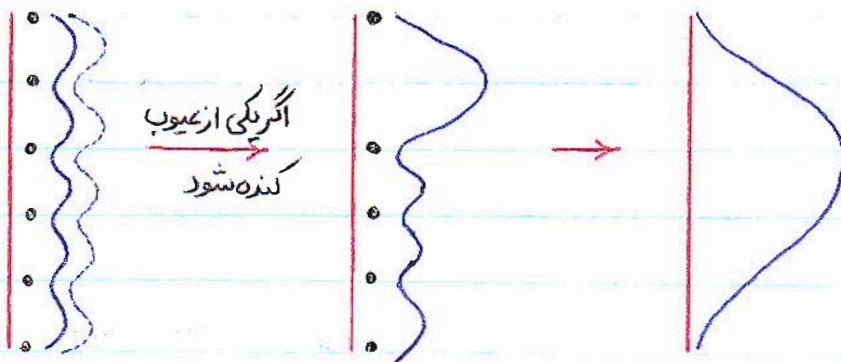
زیاد می‌شود در نتیجه کشش خطی هم زیاد می‌شود. عکس العمل این نیرو به عیب وارد

می‌شود (C یا N). پس با افزایش طول، نیروی وارد برای خنثی کردن این جاذبه بیشتر

می‌شود. اگر یکی از این عیب‌ها کنده شود چون طول یک قسمت یکباره زیاد می‌شود دوباره

نیروی وارد بر عیب زیاد می‌شود و از این به بعد کل عیوب کنده خواهند شد. و در نتیجه نایجائی

حرکت عاری خود را دنبال می‌کند.



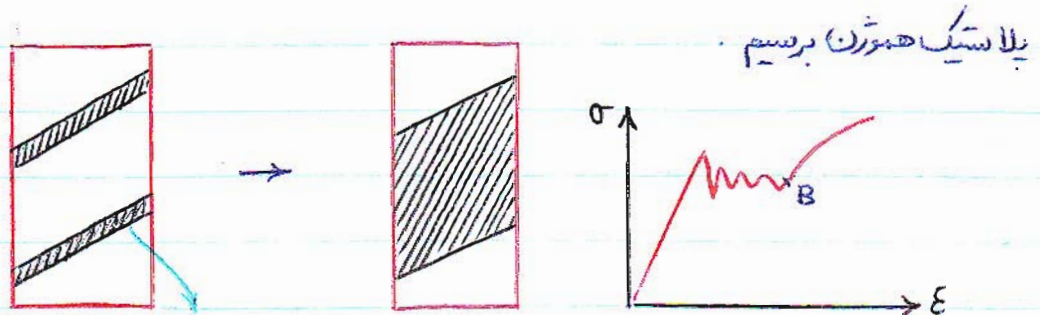
نایجائی در یک لحظه از انقصر ناخالصی رها می‌شود در نتیجه این کنده شدن موجب یک افت

تنش می‌شود. این پدیده همچون نام دارد. یعنی با کنده شدن یک ناخالصی، بقیه هم کنده می‌شوند.

در نمونه، در یکسری از جاها تغییر شکل بوجود می‌آید. (عموماً در زاویه 45°) چون

max تنش در این راستاست. این تغییر شکل غیر هموزن است بصورت غیر متمرکز. با

ادامی اعمال نیرو، این مناطق وسیعتر می‌شود تا اینکه به نقطه B یعنی شروع تغییر شکل



باندلور (Lüder)

علت اینکه در ابتدا یکسری از مناطق تغییر شکل می‌دهند این است که در همه جای قطعه اتم‌های

N و C بطور یکسان پراکنده نشده‌اند. در نتیجه یک جای قطعه تنش کمتری لازم دارد.

نقطه B: باندلور گسترش یافته است. اگر تغییر شکل با تأخیر انجام شود، اتم‌های

N و C که کنده شده بودند ممکن است دوباره در جاییشان قرار گیرند و دوباره پدیده‌ی فوق

اتفاق افتد. در غیر این صورت وقتی N یا C کنده شدند دیگر به خط نابجائی نخواهند رسید.

زیرا: سرعت نابجائی‌ها < نفوذ کربن و نیتروژن

strain aging (پیرگرفتگی):

در نمودار زیر اگر به A برسیم و بعد اعمال تنش را قطع کنیم، نمودار برمی‌گردد و به A'

86. 1. 21

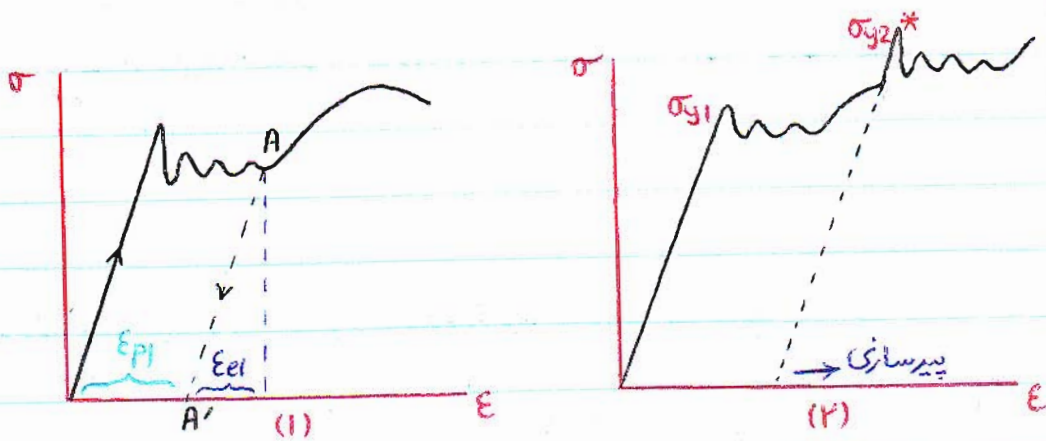
P (83)

خواهد رسید. اگر بلافاصله تنش را دوباره اعمال کنیم، نمودار ادامه‌ی راحتی که قبلاً

می‌خواستیم طی کند را می‌دهد. نمودار شکل 1.

اما اگر وقتی به A رسیدیم و اعمال تنش را قطع کردیم و بعد از مدت طولانی (پیرشدن عنصر)

دوباره اعمال نیرو کنیم نمودار شکل 2 رخ می‌دهد. یعنی پدیده‌ی لودر تکرار می‌شود.



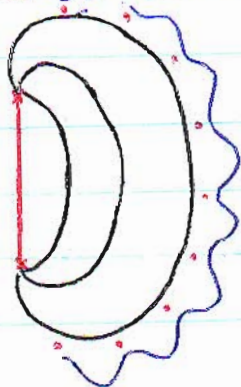
هم چنین ملاحظه می‌شود در حالت (2) تنش تسلیم نیز زیاد شده است.

86. 1. 26

در نمودار بالا $\sigma_{y2} > \sigma_{y1}$ - E_{el} در نمودار بالا، ناشی از برگشت الاستیک خط نایجائی است.

در پیرسازی، نفوذ اتم‌های کربن و نیتروژن وابسته به دما و زمان است. یعنی وقتی خط نایجائی

از آن تقسیر N و C خارج شد، در اثر پیرسازی دوباره اتم‌های N و C زیر خط نایجائی قرار



می‌گیرند و نایجائی را قفل می‌کند.

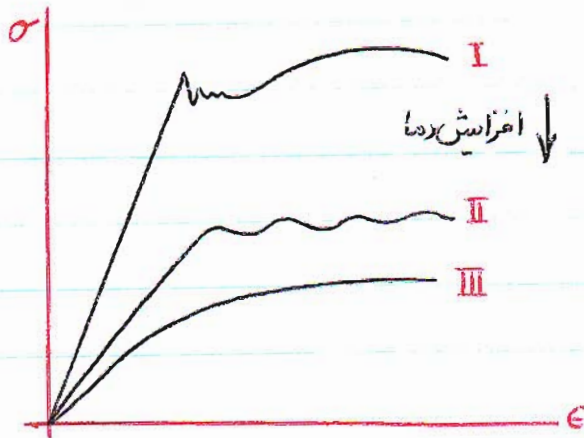
در A که نیرو بلافاصله دوباره اعمال می‌شود، اتم‌های C و N

فرصت نکرده اند که نفوذ کنند و جایگاه تعادلی خود را پیدا کنند.

در * روی نمودار با اولین افت تنش، جاهائی در نمونه بوجود می آید که تغییر شکل غیر هموزن می دهد. این محل ها، باند لودر نام دارد.

در کشش، تغییر شکل یکنواخت مطلوب است. بایک نورد اولیه یا کشش سطحی می توان با بوجود آوردن تعداد کافی از نابجائی، باند لودر را از بین برد و می توان از این به بعد کشش عمیق انجام داد.

با افزایش دما، منحنی تنش - کرنش فولاد کم کربن بصورت زیر تغییر می کند:



وقتی نابجائی از اتمسفر N و C رها شد،

سرعت نابجائی بیشتر از سرعت نفوذ اتم ها

N و C است. بنابراین دیگر اتم ها به

نابجائی نخواهند رسید. اما وقتی دما بالاست

(حالت II) نفوذ اتم ها نیز بالاست. در نتیجه سرعت نفوذ اتم ها N قابل مقایسه با سرعت

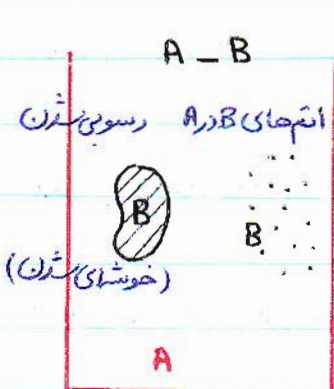
حرکت نابجائی است. بصورت متساوی، نابجائی از اتمسفر N و C رها می شود و دوباره

در این اتمسفر گیر می کند. برای حالت III که دما خیلی زیاد است، دیگر این پدیده اتفاق

نمی‌افتد. قبلاً گفتیم که خلاص شدن نابجائی از اتم‌های N و C انرژی را بالا می‌برد زیرا حالت تعادل این است که این اتم‌ها زیر خط نابجائی قرار گیرند. در جائیکه نابجائی از اتمسفر این اتم‌ها رها می‌شود، این افزایش انرژی را تنش اعمالی تأمین می‌کند. اما در دمای بالا، افزایش انرژی را دمای نیاز تأمین می‌کند. در نتیجه نابجائی بطور دائم از این اتمسفر رها می‌شود. وقتی دانسیته‌ی نابجائی خیلی بالا است، دیگر نابجائی خود به خود قفل است و دیگر نیاز به اتم‌های C و N برای قفل کردن نداریم.

سخت کردن در اثر محلول جامد:

محلول جامد یعنی اتم‌های ناخالصی که به دو صورت است: جانشینی - بین نشینی در مورد محلول جامد جانشینی بیشتر بحث می‌شود. برای داشتن فاز دوم، اول باید محلول جامد ایجاد کرد. بنابراین محلول جامد اولین قدم در سخت کردن آلیاژهاست.



بعضی اوقات اتم‌های ناخالصی بصورت اتم به اتم در A پراکنده می‌شود و بعضی وقت‌ها هم بصورت رسوب در A است. البته با افزایش درصد B، احتمال رسوب شدن بیشتر است.

چه موقع محلول جامد و چه موقع رسوب تشکیل می شود؟

مذاب $A-B$ $\frac{70}{100}$ دارد نظر می گیریم. اتم های A از فاز مذاب جدا می شود و به فاز جامد

می آید. احتمال اینکه اتم B در کنار A بنشیند و با اتم A در کنار A به غلظت A و B بستگی

دارد.

1- اگر احتمال نشستن اتم B بیشتر از غلظت آن باشد \leftarrow محلول جامد (یعنی بیش از 20%)

2- اگر احتمال نشستن اتم B کمتر از غلظت آن باشد \leftarrow خوشه ای شدن (در این مثال کمتر از

20%)

در این جا سه پیوند $A-A$ ، $B-B$ و $A-B$ مطرح است. اگر پیوند $A-A$ و $B-B$

قوی تر از $A-B$ باشد در نتیجه احتمال نشستن اتم A در کنار A و B در کنار B از غلظت

بیشتر است \leftarrow خوشه ای شدن

اگر پیوند $A-B$ قوی تر از $A-A$ و $B-B$ باشد \leftarrow محلول جامد. زیرا تشکیل پیوند

گرماده است و انرژی سیستم را پائین می آورد.

در واقع علاوه بر غلظت، این پیوندها احتمال را کم و زیاد می کند. اگر حلالیت 4% باشد تا

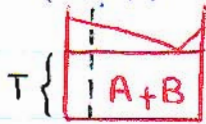
4% از B در A محلول جامد است و بیشتر از 4% خوشه ای شدن است. اما همین عناصر

تایک حدی درهم مخلوند. بعبارتی عنصر نام مخلول نداریم.

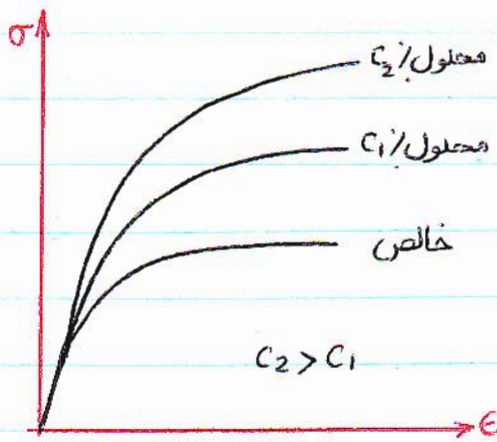
در نمودار زیر در ترکیب مشخص شده در محدوده‌ی دمایی T ، در بینهایت در ترکیب A و B عوض

ندی شود. در حالتیکه درجه آزادی در مناطق دوفازی 1 است. و این با قانون نازر هاندنی خوانند.

در نتیجه مخلول جامد همیشه وجود دارد. (ممکن است به میزان چند ppm باشد)



* ادامه بحث سخت شدن در اثر مخلول جامد :



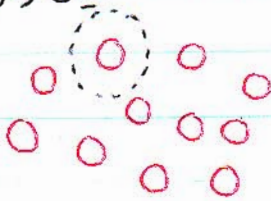
مخلول جامد، استحکام را افزایش می‌دهد. هر چه

درصد انحلال بیشتر باشد، استحکام بیشتر است.

اتم‌های حل‌شونده (فقطاً جانیشنی) با نابجائی‌ها

واکنش می‌دهند. اگر اتم‌های ناخالصی بصورت

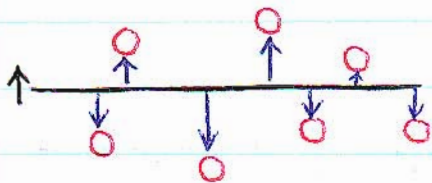
میدان کرنش



تصادفی پخش شده باشند :

هم نابجائی‌ها و هم اتم‌های ناخالصی میدان کرنش

دارند. لزومی ندارد عیب نقطه‌ای (فقطاً روی خط نابجائی



باشد. مهم این است که میدان‌هایشان با هم برخورد

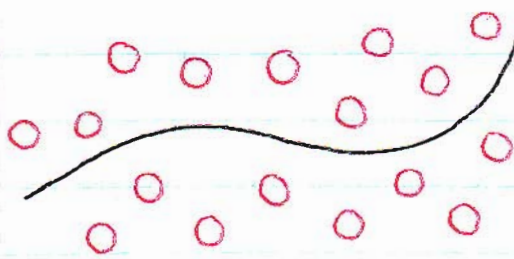
کند تا واکنش دهند. اگر فرض کنیم که واکنش از نوع جاذبه است خواهیم داشت :

86.1.26

P(88)

اتم‌های بالای خط نابجایی، خطر به سمت بالا می‌کشند. و نابجایی را به سرعت به سمت خود می‌کشند و اتم‌های پائینی این حرکت را کنده می‌کنند. چون احتمال اتم‌های بالا و پائینی خط نابجایی یکسان است، در نتیجه نیروی وارد بر خط نابجایی صفر است. و این استحکام بخشی را توجیه می‌دهد. برای دانه هم به همین ترتیب است.

حالت دوم. خط نابجایی در اتمسفر عیوب طوری قرار می‌گیرد که کمترین برخورد با این عیوب داشته باشد و انرژی \min پیدا کند. بعبارتی تعادل نسبی با اتم‌های ناخالصی دارد.



وقتی ما اعمال تنش می‌کنیم، یعنی می‌خواهیم

خطوط نابجایی را حرکت دهیم. در نتیجه این

خطوط را از حالت تعادل خارج کرده ایم. در نتیجه استحکام را بالا می‌برد و به همین ترتیب برای

حرکت خط نابجایی به تنش بالا‌تری نیاز داریم.

86.1.28

سخت شدن در اثر ذرات فاز دوم:

- تغییر شکل پلاستیک یک جسم دوفازه
- 1 - اندازه‌ی دانه‌های دوفاز با هم قابل مقایسه باشد.
 - 2 - فاز دوم بصورت ذرات ریز پخش شده باشند.

1 - تغییر شکل به درصد فازهای موجود، توزیع فازها و اتصال بین فازهای مختلف

بستگی دارد.



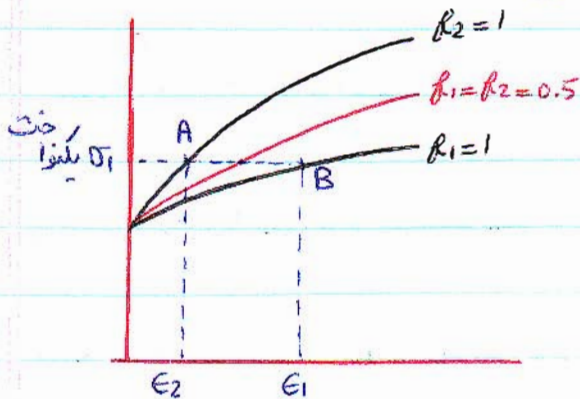
* تغییر شکل پلاستیک یک جسم دو فازه فقط بر حسب درصد

فازهای موجود ، قانون مخلوط ها :

در حالت عادی ، منحنی تنش کرنش دو فازه بین منحنی های فاز اول و دوم قرار دارد .

حالت اول : توزیع تنش در هر دو فاز یکنواخت باشد :

در نتیجه ، کرنش بر حسب درصد فازهای موجود توزیع خواهد شد .



$$\epsilon_{average} = \epsilon_1 \beta_1 + \epsilon_2 \beta_2$$

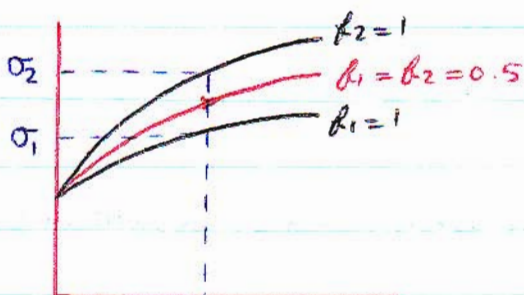
β_i : درصد حجمی فاز i

ϵ_i : کرنش فاز i

σ_1 در دو فاز کرنش های متفاوت دارد . در مخلوط $\beta_1 = 0.5$ ، نمودار از وسط AB می گذرد .

همچنین نمودار از صفر شروع نشده است و از نقطه ی تسلیم به بعد رسم شده است .

حالت دوم : کرنش بصورت یکنواخت پخش شده باشد :



$$\sigma_{average} = \sigma_1 \beta_1 + \sigma_2 \beta_2$$

σ_i : تنش فاز i

2 - فاز دوم بصورت ذرات زیر در فاز اول پخش شده است :



تشکیل رسوب چه تغییری در انرژی سیستم بوجود می آورد؟

کاهش انرژی. زیرا این رسوب بصورت فوق اشباع در فاز اول بوده است.

در نتیجه اگر رسوب تشکیل شود انرژی را کاهش می دهد. این کاهش انرژی

متناسب است با حجم رسوب (تعداد اتم های فاز دوم) از طرفی یک فصل مشترک بین فاز دوم

(β) و فاز اول (α) بوجود می آید، که انرژی را افزایش می دهد (انرژی تشکیل سطح) این افزایش

انرژی متناسب است با سطح. اگر رسوب بصورت کره باشد، کاهش انرژی متناسب است

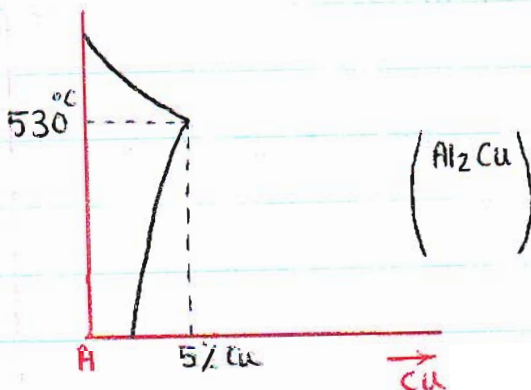
با r^3 و افزایش انرژی متناسب است با r^2 . بنابراین در هر دو مای این تغییرات انرژی به ایتیم

می رسد. (در یک شعاع r_0) بنابراین یک تعادل وجود دارد پس رسوب وجود دارد.

اندازه ی رسوب به دمای سیستم (دمای پیرسختی یا عملیات حرارتی) بستگی دارد یا بستگی به

انرژی دارد که به سیستم می دهیم.

تأثیر رسوب در سختی آلیاژ Al-Cu :



چسب رسوب از نظر تعادل باید Al_2Cu باشد.

زیرا Al_2Cu در نمودار (سمت دیگر) وجود دارد.

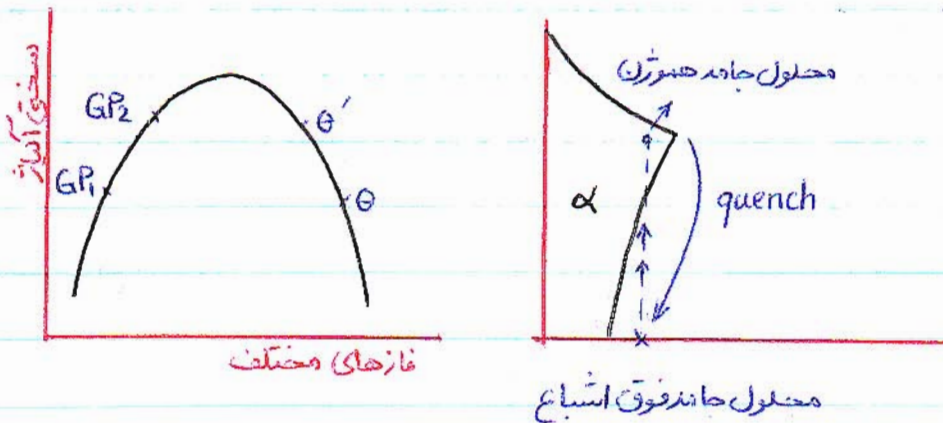
مراحل تشکیل رسوب از محلول جامد فوق اشباع :

Guinier - Preston



بنابراین فاز دوم مراحل را طی می کند . این فازها در دماهای مختلف تشکیل می شود و

نسبتاً پایدارند .

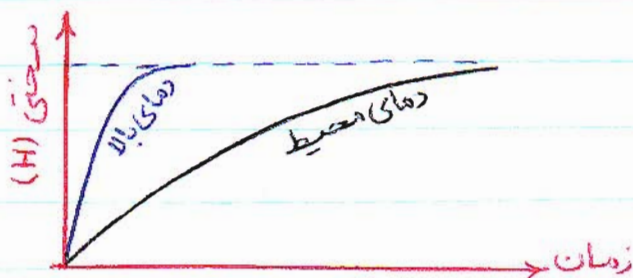


در مسیر رفت حرارت دادن نمی توان رسوبها را مطالعه کرد . زیرا فازهای گوناگونی وجود دارد

و ترتیب مشخصی ندارد .

اثر دما را روی نمونهی quench شده بررسی می کنیم .

در دمای محیط هم نمونه سخت می شود اما زمان زیادی می خواهد . هم چنین سختی از بیک



حدی بالاتر نمی رود .

در عملیات حرارتی تأثیر دما خیلی

بیشتر از زمان است . مثلاً اگر دما را 50°C زیاد کنیم، زمان سخت شدن نصف می شود .

86. i. 28

P(92)

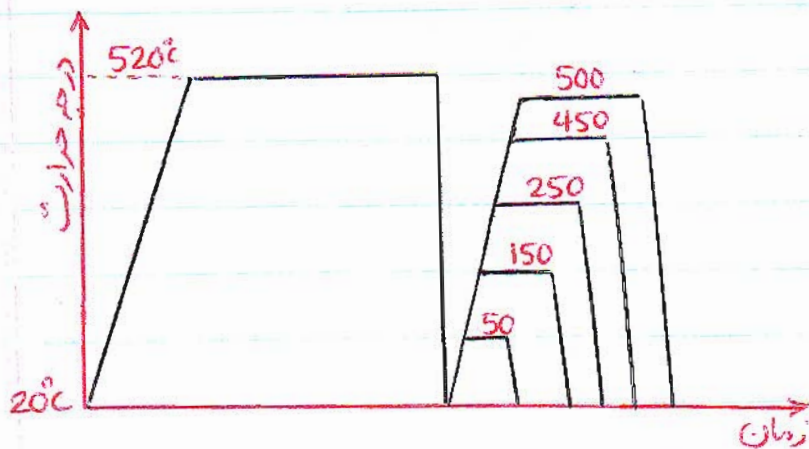
حال 5 نمونه Al-5%Cu در نظر می‌گیریم که در دمای 520°C به مدت 2 ساعت در کوره

مانده‌اند. همه‌ی نمونه‌ها را quench کرده و به دمای 20°C می‌رسانیم. در اینصورت

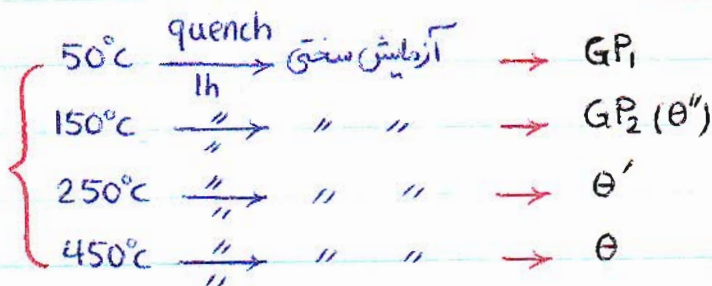
5 محلول جامد فوق‌اشباع داریم. نمونه‌ی اول را در همین دمای 20°C نگه می‌داریم. نمونه‌ی

دوم را تا 50°C حرارت می‌دهیم به مدت 1 ساعت و دوباره تا 20°C، کوئنچ می‌کنیم. همین

کار را برای نمونه‌ی دوم می‌کنیم ولی آن را تا 150°C حرارت می‌دهیم و به همین ترتیب.



مسیر انجام فرایند:

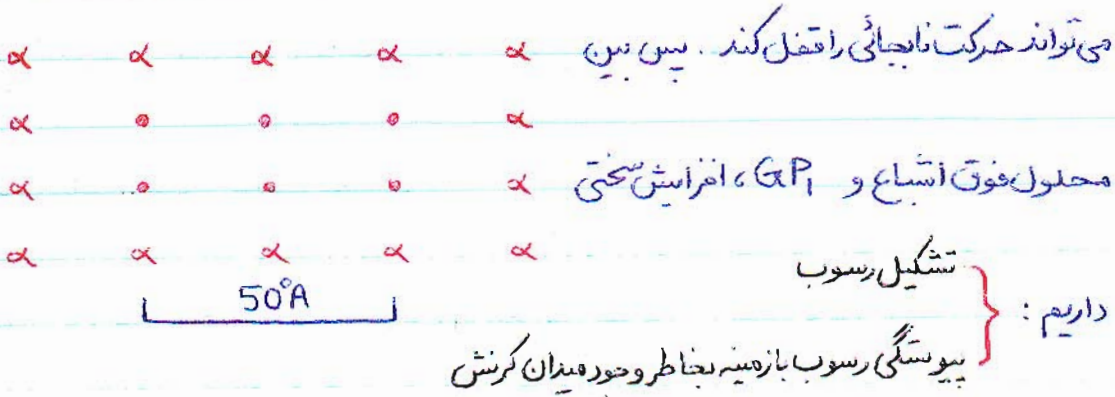


GP₁: نسبت به Cu غنی بوده و ذرات Al با ابعاد خیلی کوچک (50Å) در داخل

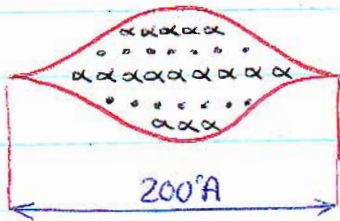
آن وجود دارد. رسوب با شبکه‌ی زمینه پیوستگی دارد (کوئورنت) چون اندازه اتم‌ها

Cu و Al یکسان نیست، میدان کرنش وجود خواهد داشت. (در اطراف رسوب)

اندازهی $Cu < Al$. از طرفی رسوب هم بازمینه پیوسته است . همین میدان کرنش



GP_2 : لایه ای از مس و Al داریم . ابعاد این رسوب در حدود $200^{\circ}A$ است .



از GP_1 به GP_2 افزایش سختی داریم :

بزرگ شدن رسوب ها } میدان کرنش پیوستگی (کوئرنیتی)

θ' : هنوز سختی بالاست . این رسوب ها ابعاد بزرگتری دارند ($1000^{\circ}A$) . در این حالت

شروع از دست دادن پیوستگی بازمینه است . یعنی از این مرحله به بعد ، پیوستگی شبکه ای

رسوب بازمینه کاهش می یابد . افزایش سختی ناشی از دو عامل است :

بزرگ شدن رسوب } پیوستگی ضعیف (با اندازه ای کوئرنیتی)

رسوب غیر پیوسته مقاومت بیشتری در برابر حرکت نابجایی دارد .

θ : (فاز تعادل ، 450°) یک فاز غیر پیوسته است با ابعاد خیلی بزرگ و اشکال مختلف .

در این حالت کاهش سختی داریم . و دلیل آن بزرگ شدن بیش از اندازه‌ی رسوب‌هاست .

تا قبل از این مرحله ، بزرگ شدن رسوب ، سختی را افزایش می‌داد . اما در این جا ، سختی

کاهش یافته‌است . علت چیست ؟

آلیاژ $Al-5\%Cu$ بود . یعنی مقدار مس محدود است . در حالت های قبلی ، رسوب‌ها

ریز بودند بنابراین تعدادشان زیاد بود و با ناچگانی‌ها برخورد می‌کردند . اما در این جا رسوب‌ها

بزرگ هستند بنابراین تعدادشان کم است . و ناچگانی‌ها می‌توانند از بین آن‌ها حرکت کنند .

بین تعداد رسوب و اجزاء آن یک حالت ایتیم وجود دارد :

ابعاد رسوب بزرگ شود ، میدان کرنش زیاد می‌شود و مقاومت بالا می‌رود .

ابعاد رسوب بزرگ شود ، از تعداد رسوب‌ها کم می‌شود و مقاومت پائین می‌آید .

بنابراین در یک حد وسطی ، مقاومت max خواهد بود .

رسوب پیوسته : در دمای پائین رسوب پیوسته بوجود می‌آید چون انرژی کمتری دارد . این

مقدار افزایش انرژی کم با اعمال تنش جبران می‌شود .

رسوب غیر پیوسته : هیچ اتصال بین رسوب و شبکه نیست . در نتیجه یک فصل مشترک

وجود دارد . هم چنین میدان کرنش را از دست می‌دهد . افزایش انرژی ناشی تشکیل سطح

با افزایش دما جبران می شود. بجای آنی افزایش دما این اثری را فراهم می کند.

نتیجه. رسوب بزرگ تعادل دارد با جدا شدن از زمینه. و رسوب کوچک تعادل دارد با پیوسته بودن

باز زمینه.

86.2.2

1- رسوب پیوسته باز زمینه
2- رسوب غیر پیوسته باز زمینه } واکنش نابجائی با رسوب

در مورد رسوب پیوسته باز زمینه، جهات کریستالوگرافی رسوب و زمینه تقریباً یکی است. در نتیجه


نابجائی در برخورد با رسوب می تواند از آن عبور کند. در این مورد مکانیزم برش رسوب و یا

Catling مطرح است. در مورد رسوب غیر پیوسته باز زمینه، دوززدن رسوب یا **looping** مطرح است.

1- در ابتدا یک حالت قفل شدگی ایجاد می شود اما به دلیل آنکه زگر شد، نابجائی از رسوب عبور

می کند. نتیجه ی این عبور چیست؟

با دور شدن نابجائی رسوب بریده می شود.



یعنی یک لغزش در صفحات رسوب دیده می شود.

یعنی دو صفحه ی رسوب روی هم می لغزند. و این لغزش دلیل حرکت نابجائی است. (برای

نابجائی پله ای شکل مثل بالا می شود.)

دور شدن نایجائی همراه با افزایش انرژی است. چون فصل مشترک رسوب و زمینه افزایش

می یابد. در نتیجه نایجائی های بجری سطح بیشتری را باید طی کند. بجای آن میدان گسترده تری

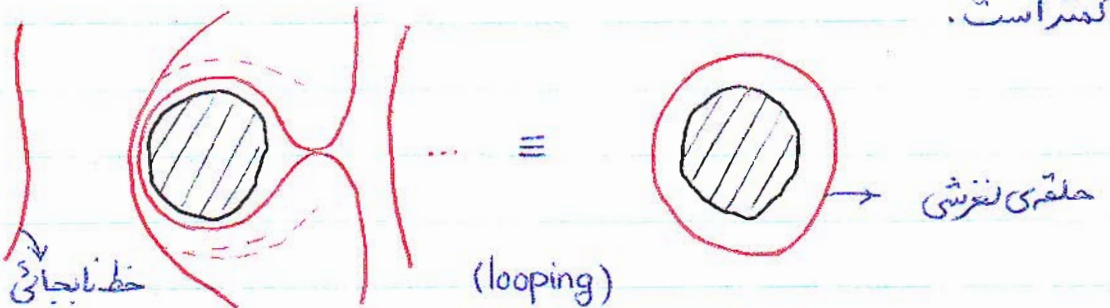
را باید طی کند.

2- رسوب غیر پیوسته باز زمینه :

در این حالت هیچ ارتباطی بین رسوب و زمینه وجود ندارد. در نتیجه نایجائی نمی تواند وارد

رسوب نشود. (اتصال بلوری وجود ندارد.) البته میدان کرنش نسبت به حالت قبلی

کمتر است.



یعنی نایجائی، یک حلقه نایجائی دور رسوب بوجود می آورد. در نتیجه نایجائی بجری رسوب

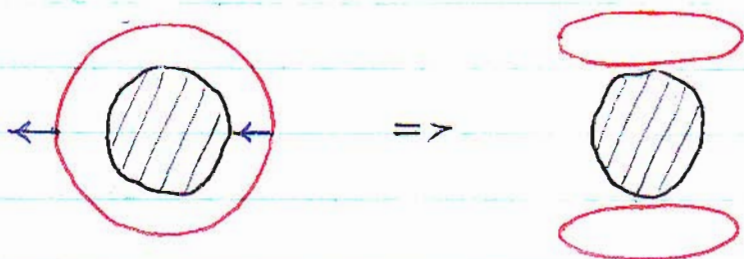
بزرگتری راهی بیند و یک حلقه دیگر دور آن بوجود می آورد. و به همین ترتیب. این حلقه

نایجائی یک میدان کرنش است که دور رسوب وجود دارد. اگر این میدان کرنش بالا تر برود ممکن

است رسوب دیگر نتواند تحمل کند. چون رسوب ها معمولاً سرد هستند. بنابراین بایک

مکانیزمی این رسوب باید از حلقه دور شود.

نابجایی چه با رسوب نیروی دافعه داشته باشد و چه جاذبه، در رسوب حلقه ایجاد می کند. بنا بر این وقتی که حلقه شده، اگر یک طرف، نیرو جاذبه باشد، طرف دیگر دافعه خواهد بود. در این صورت این حلقه، به دو حلقه می منشوری تبدیل می شود.



در واقع این نیروها، خط نابجایی را به گونه ای حرکت می دهند که یک حلقه به دو حلقه تبدیل می شود. در این صورت رسوب راحت تر می شود. واثری کاهش می یابد. با این حال، این حلقه در تابی پائین ترین سطح اثری نیست. اما اثری شروع آن کمترین است. بجای آن با کمترین اثری شروع می شود اما کمترین اثری نیست.

استحکام بخشی توسط الیاف :

کامپوزیت ها:

فاز ترد و سخت با استحکام بالا

فاز نرم

کامپوزیت از دو فاز تشکیل شده است:

مثلاً سرامیک استحکام بالایی دارد اما ترد و شکننده است و نسبت به خراش سطحی حساس

است. مثال دیگر AI است که نرم است و استحکام آن پائین است. اما وقتی الیاف

Al_2O_3 که ترداست در Al قرار می‌دهیم، سختی Al بالا می‌رود. چون Al_2O_3

در آن وجود دارد و فصل مشترک Al و Al_2O_3 نیز دیگر خیلی شکننده نیست.

کامپوزیت از دو قسمت تشکیل شده است:

1- فاز تقویت‌کننده: ذرات - الیاف 2- فاز زمینه (matrix)

روش ساخت کامپوزیت: مذاب - مذاب، مذاب - جامد، جامد - جامد (پودر)

روش ذرات سخت:

مثلاً مذاب Al را بطور مداوم توسط هیزن، هم می‌زنیم و در حین آن ذرات سخت SiC

را به آن اضافه می‌کنیم. بعد مذاب را در قالب ریخته و شیش $Al + SiC$ بزرگ می‌آید.

البته خود این ذرات باید پیش‌گرم شوند تا احتیاط راحت‌تر صورت گیرد؛ چون دمای مذاب

بالاست؛ هدف این است که فاز SiC توسط مذاب تر شود.

روش دیگر: (Squeeze Casting)

در این روش پری‌فورم ذرات یا الیاف را در مرحله‌ی اول درست می‌کنند. مثلاً برای الیاف؛

ابتدا الیاف را با فشارده کردن به درصدی می‌رسانیم که مورد نظر است. مثلاً 30٪ الیاف و بقیه

چیزهای دیگر است، از جمله هوا. این پری‌فورم ممکن است از جنس ذرات باشد. در

این حالت، ذرات رافشرده می‌کنند و از چسب کلونیتری هم استفاده می‌کنند. این چسب

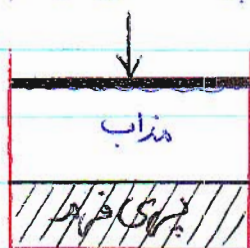
پف می‌کند. در نتیجه یک اسفنج از ذرات درست می‌دهد. در دما و فشار بالا این چسب

تبخیر می‌شود.

بعد از اینکه پری فورم آماده شد، آن را در انتهای محفظه قرار می‌دهند. به طرف چند سوراخ

وجود دارد تا هوا از آنجا خارج شود. بعد مذاب را در محفظه می‌ریزند و بعد با یک سببه فشار

اعمال می‌کنند. خود این پری فورم باید در برابر فشار ناشی از سببه و مذاب، استحکام داشته



باشد.

مثال پودری پودر:

مثلاً ۱۰ درصد پودر SiC و ۹۰ درصد پودر Al را مخلوط می‌کنیم تا توزیع یکنواخت داشته

باشند. سپس پرس می‌کنیم و بعد هم زینتر را انجام می‌دهیم. (در یک کوره حرارت می‌دهیم

بشرطی که ذوب نشود اما نفوذ هم راحت باشد.)

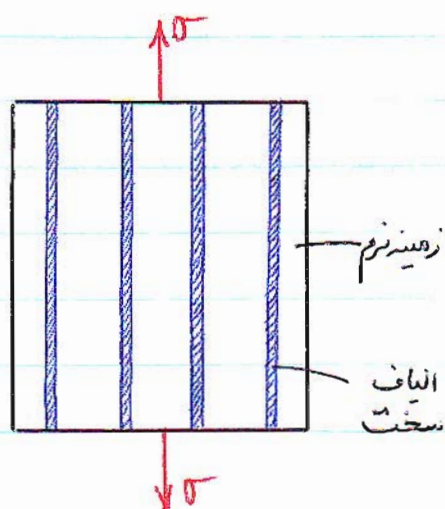
در واقع هدف رسیدن به دانسیته‌ی نسبی است. زیرا به هر حال مقداری حفره تشکیل می‌شود.

مکانیزم استحکام بخشی ذرات سخت:

تفاوت این مورد با سختی رسوبی در آن است که این ذرات با زمینه هم جنس نیستند. و ما این

ذرات راهی توانیم جدا کنیم . در نتیجه اختلاف ضریب انبساط حرارتی بین زره و محیط وجود دارد . بنابراین تعدادی حلقه های نایجائی ریا نایجائی در اطراف زره بوجود می آید . زیرا از دمای بالا به دمای محیط می رسیم . بنابراین اطراف زره ، دانسیته ی نایجائی بالاست و این خود باعث افزایش استحکام می شود . بنابراین هم خود زره و هم افزایش دانسیته ی نایجائی ها ، استحکام را بالا می برد . به همین علت ، اگر در صد ذرات زیاد شود ، سردی بالا برده و کارپذیری کم است . یک کامپوزیت زمانی ایده آل است که آرایش نایجائی ها در اطراف زره با هم تداخل نداشته باشد . بنابراین برای استفاده از کامپوزیت ، دانسیته ی ذرات محدود است . اگر آرایش نایجائی ها در اطراف زره با هم تداخل داشته باشند ، سردی بیشتر بالا می رود . مثل اینکه یک فلز را خیلی تغییر شکل دهیم ؛ در واقع سرد خواهد شد . برای همین باید یک اپتیمم را در نظر گرفت . این نایجائی ها ، نایجائی های لازم هندسی هستند .

استحکام بخشی توسط الیاف :

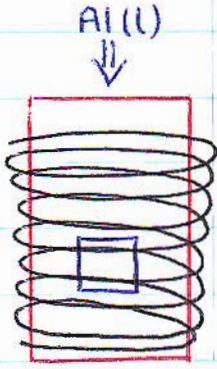


الیاف در یک جهت بوده و اعمال نیرو ننیزد

جهت الیاف است .

در روش Squeez چون الیاف فشرده شده اند، در یک جهت نیستند. اما می توان

کامپوزیت را طوری ساخت که الیاف در آن موازی باشد:



دور یک ورقه فولادی کلفت، الیاف می بچیم.

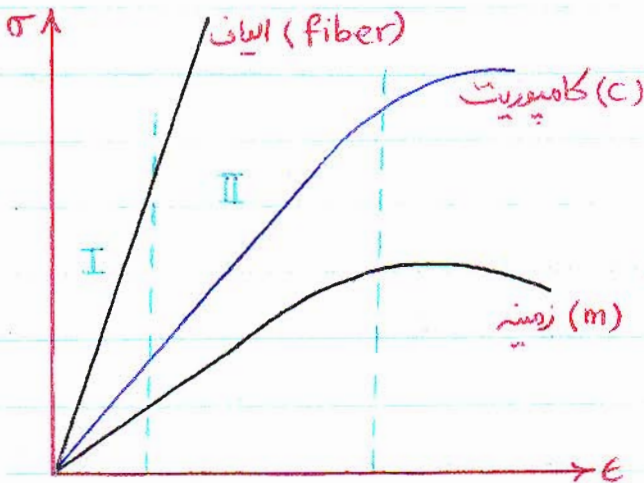
بعد از بالا مذاب (مثلاً Al(l)) را می ریزیم.

سطح ستان داده شده الیاف بصورت موازی هستند.

در کامپوزیت، زمینه نقش انتقال تنش و الیاف نقش تحمل تنش را دارند. بین زمینه و الیاف

یک فصل مشترک قوی وجود دارد و جدا نمی شوند.

کامپوزیت چسبی دوفازه است و می توان معنی تنش - کرنش آن را رسم کرد. حین منطقه



راهی توان تشخیص داد:

I الیاف و زمینه در محدوده ی

الاستیک هستند. (حد این منطقه

یک زمینه است)

II الیاف در منطقه ی الاستیک و زمینه در منطقه ی پلاستیک است.

III الیاف و زمینه هر دو در محدوده ی پلاستیک هستند. اگر الیاف کاملاً الاستیک باشد،

کامپوزیت می شکند . اگر الیاف مثل فولاد باشد می توان وارد منطقه ی III شد .

IV . الیاف شکسته میشود . در نتیجه کامپوزیت می شکند . بنابراین کامپوزیت یا در مرحله

سوم یا در مرحله چهارم می شکند و این بستگی به فاز الیاف دارد که به منطقه ی IV (بعد از پلاستیک)

می رسد یا نه . اما در کل منطقه ی I و II مهم است .

I . در این منطقه ، خود کامپوزیت هم در محدوده ی الاستیک است .

$$E: \text{ مدول یانگ} \quad v: \text{ درصدهی} \quad E_c = E_f v_f + E_m v_m$$

II . کامپوزیت نیمه الاستیک است . (شبیه الاستیک) چون زمینه موقع رفتن (کشیده شدن)

تغییر شکل پلاستیک داده ، اما الیاف تغییر شکل الاستیک . با حذف نیرو چون اتصال بین این

دو قوی است ، الیاف ، فاز زمینه را هم با خود به حالت اول می آورد . یعنی زمینه یک نیروی

فشاری را تحمل می کند .

$$\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma'_m (1 - v_f)$$

(درصدهی زمینه)

σ_c : استحکام کششی کامپوزیت (در محدوده ی II)

σ_f : استحکام کششی الیاف v_f : درصدهی الیاف

σ'_m : تنش است که زمینه در آن لحظه تحمل می کند ، چون الیاف نمی گذارند زمینه به استحکام کششی

خود برسد .

هدف از به کار بردن الیاف در کامپوزیت، قوی کردن زمینه است. بنابراین کامپوزیت

زمانی مفید است که: $\sigma_c > \sigma_u = \sigma_{uts}$ زمینه

می توان یک حجم بحرانی (V_{cr}) تعریف کرد بطوریکه در این حجم، $\sigma_c = \sigma_u$. در نتیجه

کامپوزیت مفید دارای حجم الیافی بیش از V_{cr} است.

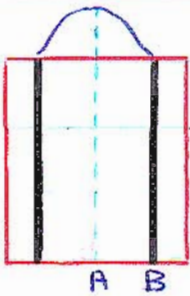
$$V_F > V_{cr} \Rightarrow \sigma_c > \sigma_u \quad ; \quad V_F = V_{cr} \Rightarrow \sigma_c = \sigma_u$$

$$\sigma_c = \sigma_F V_F + \sigma'_m (1 - V_F) = \sigma_u \quad \Rightarrow \quad V_{cr} = \frac{\sigma_u - \sigma'_m}{\sigma_F - \sigma'_m}$$

آیا می توان درصد حجمی الیافی در نظر گرفت که استحکام را کاهش دهد؟ بله. در این

حالت V_{min} از الیاف وجود دارد که حجم های کمتر از آن، زمینه را تقویت نمی کند بلکه

تضعیف می کند.



$V < V_{min}$: الیاف سرعت می شکنند:

در A تغییر شکل max است چون الیافی وجود ندارد. در B

تغییر شکل صفر است زیرا الیاف تغییر شکل پلاستیک نمی دهد و به زمینه چسبیده است.

در واقع گرادیان تغییر شکل وجود دارد. بنابراین نیروی فشاری به الیاف وارد می شود. هر چه

میزان گرادیان بیشتر باشد، نیروی وارده به الیاف نیز بیشتر است. بنابراین الیاف خواهد

شکست و در نتیجه کامپوزیت می شکند.

$$\sigma_c = \sigma'_m (1 - V_F) = \sigma_u (1 - V_F) \quad : V_F < V_{min}$$

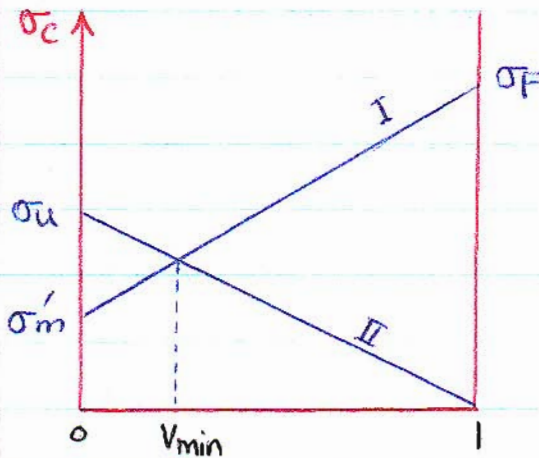
σ_F صفر است. ملاحظه می شود σ_c از σ_u کمتر است.

$$\sigma_c = \sigma_F V_F + \sigma'_m (1 - V_F) \quad : V_F > V_{min}$$

برست آوردن V_{min} :

$$\sigma_u (1 - V_F) = \sigma_F V_F + \sigma'_m (1 - V_F) \Rightarrow V_F = V_{min} = \frac{\sigma_u - \sigma'_m}{\sigma_F + \sigma_u - \sigma'_m}$$

منحنی تغییر استحکام بر حسب درصد الیاف:



$$\left\{ \begin{array}{l} V_F = 0 \rightarrow \sigma_c = \sigma'_m \\ V_F = 1 \rightarrow \sigma_c = \sigma_F \end{array} \right.$$

$$\text{I) } \sigma_c = \sigma_F V_F + (1 - V_F) \sigma'_m$$

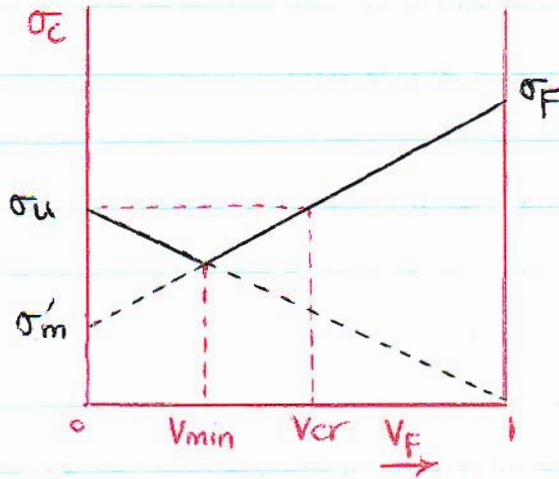
$$\text{II) برای خط } \sigma_c = \sigma_u (1 - V_F)$$

$$V_F = 0 \rightarrow \sigma_c = \sigma_u \quad ; \quad V_F = 1 \rightarrow \sigma_c = 0$$

بین V_{min} و V_{cr} با افزایش درصد الیاف، تازه استحکام به σ_u می رسد که هنوز مفید

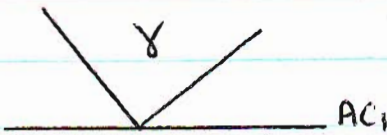
دهی باشد. از V_{cr} به بعد، افزایش استحکام مفید (بالای σ_u) شروع می شود.

از طرف دیگر ایف زیادی هم سردی را بالا می برد و مفید نمی باشد.

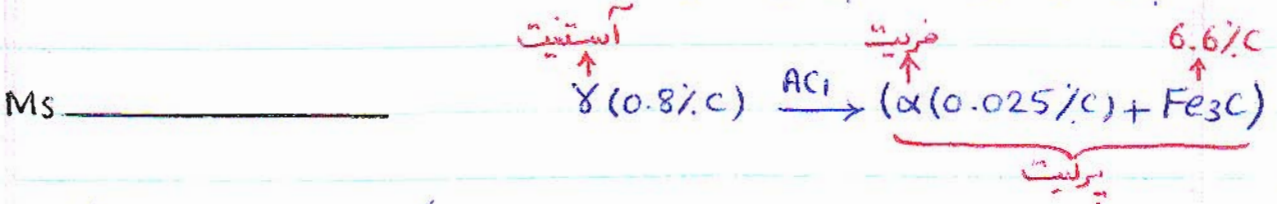


منحنی در واقع خطوط پیرنگ می باشد.

استحکام بخشی توسط فاز مارتنزیت:



برای فولاد با 0.8٪ کربن (یونکتوئید):



استحکامی که α به γ وابسته به نفوذ است. زیرا توزیع اتم کربن عوض شده است. یک فاز

کربن کم تر دارد (α) نسبت به فاز دیگر (γ). یعنی اتم های کربن باید یکجا جمع شوند تا

سختی (Fe3C) را بوجود آورد. این حرکت اتم های کربن تابع دما و درجه حرارت یا بطور

کلی نفوذ است.

اگر آلیاژ فوق از دمای آستنیت به Ms کولنج شود:

آهن از F.C.C به B.C.C تبدیل می‌شود. هم چنین نفوذ انجام نمی‌گیرد.

در دماهای بالا تا $2/2$ طول است F.C.C :

حداکثر 0.025% کربن در خود حل می‌کند B.C.C :

با کاهش درجه حرارت، میزان حلالیت بشدت کاهش می‌یابد در نتیجه این اتم‌های

اضافی کربن موجب سخت شدن مارتنزیت می‌شود. سختی مارتنزیت بدلیل دانسیته³

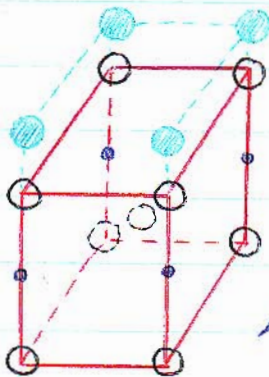
بالای نایجابائی‌ها هم می‌باشد. (بدلیل کوشنچ کردن) در تبدیل مارتنزیت نفوذ اصلاً تأثیری

ندارد. چون حرکتی صورت نمی‌گیرد.

وجود اتم‌های اضافی کربن :

در شبکه‌ی B.C.C حلالیت نسبت به اتم کربن کم است. اتم‌های کربن در این صورت

بصورت فوق اشباع در محل‌های بین نشینی قرار می‌گیرند. در این صورت شبکه‌ی B.C.C



به BCT (Body Centered Tetragonal) تغییر می‌یابد.

رواقع بخاطر قرار گرفتن اتم‌های کربن در موقعیت‌های مشخص

در یک جهت فواصل آتی زیاد شده است. خود این تغییر ساختار

استحکام را بالا می‌برد. این انبساط شبکه بخاطر یک جهت است نه در هر سه جهت

توجیه دیگر: اتم‌های کربن بصورت خوشه‌ای در می‌آیند. مثل منطقه‌ی GP.
 در کونینج‌کرون، تنش‌های داخلی زیاد می‌شود، در نتیجه دانسیته‌ی نابجائی‌ها زیاد است.

* تشکیل فاز مارتنزیت با افزایش حجم همراه است.

ساختار جسم کار سرد شده (Cold-work):

وقتی جسمی را تغییر شکل پلاستیک می‌دهیم، هم خواص فیزیکی و هم مکانیکی تغییر می‌کند:

1- افزایش دانسیته‌ی نابجائی‌ها

2- افزایش دانسیته‌ی عیب نقطه‌ای (vacancy)

در هر دو حالت افزایش بی‌نظمی داریم و در نتیجه افزایش انرژی.

تنها 10٪ از انرژی در داخل جسم ذخیره می‌شود، بقیه بصورت گرما هدر می‌رود.

بعد از این افزایش انرژی، می‌خواهیم آنرا به حالت تعادل برگردانیم. باید برای این کار، آنرا

حرارت بدهیم. (Annealing) به عبارتی خواص فیزیکی و مکانیکی بازیابی شود و به

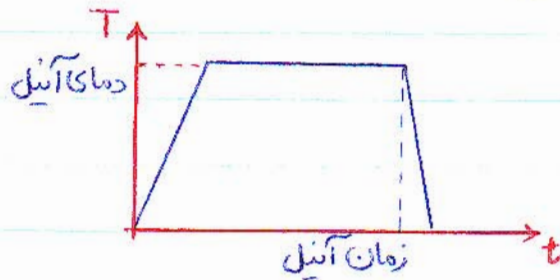
حالت تعادل برگردد. برگشتن به حالت تعادل چند مرحله دارد:

1- بازیابی: اولین قدم در برگشتن به حالت تعادل است. معمولاً برای عیب نقطه‌ای است.

دردهاها می‌باشند هم بازیابی شروع می‌شود.

2- تبلور مجدد

نسیکل آئیل کردن بصورت زیر است:



تعریف کار سرد: تغییر شکل پلاستیک در دمای که هیچگونه بازیابی صورت نمی‌گیرد.

به همین خاطر، در منحنی تنش - کرنش، دما باید ذکر شود.

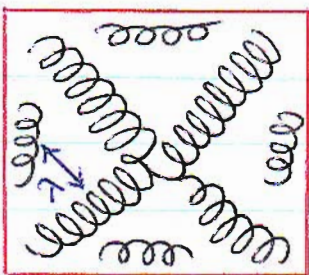
کار سرد در واقع بصورت نسبی است. AI تجارتی در دمای محیط کار سرد است اما AI

خالص در دمای محیط کار سرد نیست.

* ممکن است در حین تغییر شکل پلاستیک نیز بازیابی انجام شود.

کار سرد یعنی افزایش دانسیته‌ی نایجائی‌ها. یعنی در محل‌هایی دانسیته بالاست و در

محل‌های دیگر پائین است.



با افزایش درصد کار سردی (تغییر شکل پلاستیک)

محل‌های با دانسیته‌ی بالای نایجائی فشرده‌تر

می‌شوند. و وسعت این محل‌ها زیاد خواهد شد.

λ : فاصله‌ی هندسی لغزش . یعنی در یک فاصله‌ی خاص ، نابجایی‌ها دیگری نمی‌توانند بهم

نزدیک شوند و λ تقریباً ثابت می‌ماند .

کاربرد نتایجی دارد که عبارتست از :

افزایش استحکام - افزایش تری - افزایش سختی - کاهش شکل‌پذیری و بعبارتی

دانشیه‌ی نابجایی‌ها بالاست .

از نظر خواص فیزیکی ، افزایش مقاومت الکتریکی نتیجه‌ی کاربرد است .

بدلیل اینکه کاربرد انرژی را افزایش می‌دهد ، جسم دیگر تعادل مکانیکی ندارد .

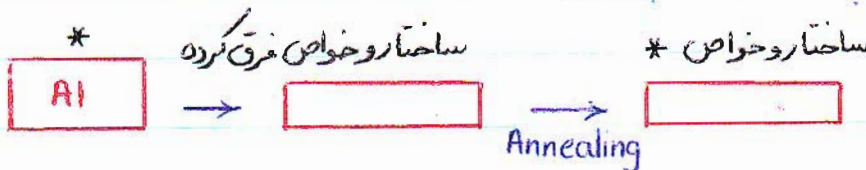
برگرداندن به حالت اول : این برگشت به‌دما و زمان بستگی دارد . این برگشتن توسط عملیات

حرارتی (آب‌اندن یا آئیل کردن) انجام می‌شود . منظور از برگشتن ، از نظر خواص است .

تغییر شکل پلاستیک ← تغییر در ساختار ← تغییر خواص (مکانیکی یا فیزیکی)

با آئیل کردن به ساختار و خواص اولیه می‌رسیم . مثلاً در تغییر شکل پلاستیک ، طول زیاد شده

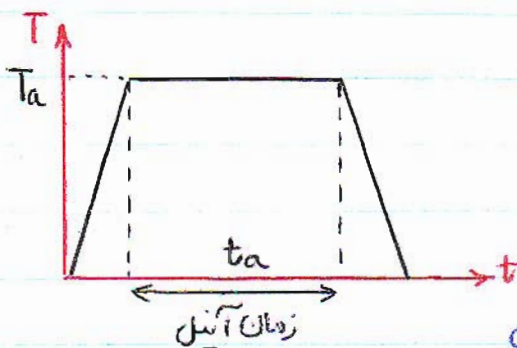
بررسی گردد بلکه خواص آن برمی‌گردد .



آیا ساختار و خواص مثل AI اولیه است ؟

ساختار، همان ساختار AI اولیه می شود اما دانه بزرگی آن فرق می کند. بعباری خواص اولیه AI را پیدا می کند که تغییر شکل پلاستیک نداشته است؛ انگار AI دیگری داریم که خواص AI اولیه را ندارد اما مانند AI می ماند که تغییر شکل پلاستیک پیدا نکرده است. در واقع اندازه دانه های این AI با AI اولیه فرق می کند. مثلاً اندازه دانه های AI اولیه در حد mm بوده ولی اندازه دانه های AI بعد از annealing در حد μm است.

آینل کلمه ای عام است. بسته به هدفی که داریم، فرایند آینل کردن عوض می شود. (T و t_a)



سیکل آینل کردن:

مثلاً برای آلیاژ Ni-Cu که دچار زنگار گسیون

کریستالی (coring) شده است یک فرایند برای

آینل داریم (هموزن کردن)

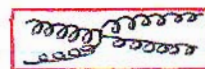
تنش زدایی خودی نوع annealing است. (ابتدا گرم کرده سپس سرد می کنیم تا بخاطر

کاهش دانسیته ی نابجایی، نرم تر شود.)

آینل کردن مورد نظر ما، رگرتالیزاسیون (تبلور مجدد) است: (Recrystallization)



تغییر شکل
پلاستیک



دانسیته ی نابجایی بالاست و انرژی و بی نظمی دانه بالا می باشد.

مراحل تجدید تبلور:

1- بازیابی ← عیوب نقطه‌ای به حالت اولیه برمی‌گردند.

2- بوجود آمدن حوانه‌های جامد جدید ← دما و زمان اثر دارد.

3- رشد حوانه‌های جدید ← " " " "

4- تشکیل دانه بندی جدید ← " " " "

5- رشد دانه

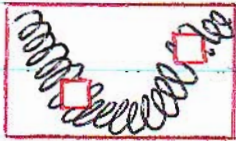
1- ← عیوب نقطه‌ای نسبت به دما خیلی حساس هستند و اولین عیوبی هستند که به تعادل

می‌رسند (Vacancy). در این مرحله خواص فیزیکی بدست می‌آید. (بازیابی خواص فیزیکی)

مثلاً مقاومت الکتریکی برمی‌گردد.

2- ← در قسمتی که بی‌نظم تر است یک حوانه جدید بوجود می‌آید که کمترین عیب را دارد. مثل

حوانه‌های انجماد. چون انرژی بالاست امکان ایجاد حوانه وجود دارد.



حالت دوم. مرزدانه از قسمت‌های پادانسیته‌ی

ناجائی کمتر به سمت عیوب بالا حرکت می‌کنند.

بکسری مناطق بی‌عیب ایجاد می‌شود.

3 ← بارشد این جوانه ها دانه بیزی جدید شروع می شود. اندازه و جهت این دانه بیزی

به دانه بیزی قبلی ربطی ندارد. در این مرحله خواص مکانیکی بازیابی می شود.

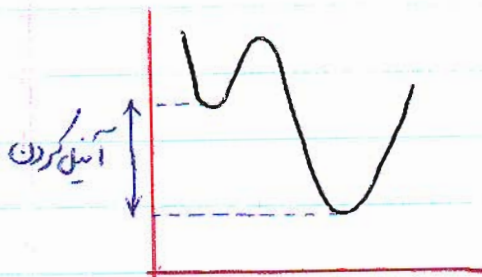
4 ← با ادامه دادن آنبیل یعنی حرارت دادن، دانه بیزی موجود رشد می کند.

کاهش انرژی → حرارت دادن → افزایش انرژی → تغییر شکل پلاستیک

مقداری از این حرارت پس داده می شود و مقداری از آن با اندازه ی انرژی تغییر شکل پلاستیک

است. در واقع ما انرژی مصرف نمی کنیم (انرژی در جسم ذخیره نمی شود) در واقع این

انرژی حرارتی، انرژی اکتیواسیون است. بجای انرژی می دهیم تا انرژی اش را پس دهد.



جوانه های جدید در جاهای بوجود می آیند که حالت

خاصی دارد. تعداد جوانه های جدید وابسته به

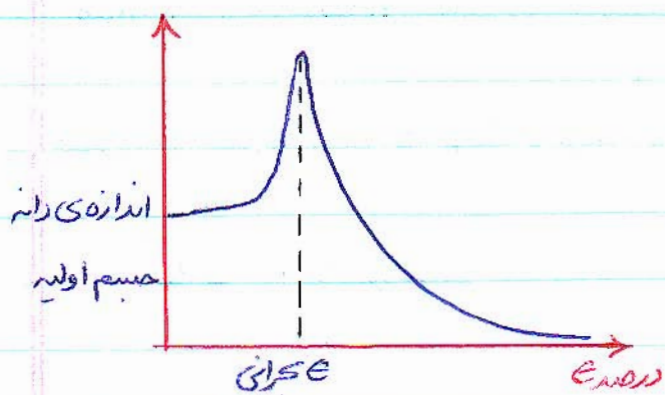
درصد تغییر شکل پلاستیک است.

بی نظمی متناسب است با درصد تغییر شکل پلاستیک. پس احتمال جوانه زنی رابطه مستقیم

با بی نظمی دارد. هر چه تعداد جوانه های جدید بیشتر شود، اندازه ایشان کوچکتر می شود. پس

اندازه ی دانه های جدید رابطه عکس با درصد تغییر شکل پلاستیک دارد.

در نمودار اندازه ی دانه ها بعد از آنبیل کردن - درصد ϵ بصورت زیر است:



تا قبل از E_{cr} بحرانی، اندازه دانه های

جسم تغییری نگرفته است. در E_{cr}

اولین جوانه ها بوجود می آید.

از E_{cr} به بعد، کاهش اندازه دانه

مشاهده می شود. درصد E باید از E_{cr} بیشتر باشد تا تجدید تبلور یا آنیل کردن

صورت گیرد. تا قبل از E_{cr} ، پلی گونیزاسیون صورت می گیرد. پلی گونیزاسیون به

معنی چندشکلی شدن است. با حرارت دادن نابجائی ها فرم خاصی می گیرند. یعنی نابجائی ها

به تعادل مکانیکی می رسند. بجای آن نابجائی ها در جهاتی قرار می گیرند که کمترین نیرو را به

هم وارد کند.



بدین ترتیب مرزهای غریبی فرم می گیرند.

پس: قبل از E_{cr} پلی گونیزاسیون داریم و بعد از E_{cr} تبلور مجدد داریم.

تذکر: در شرایط مساوی یعنی زمان و دمای آنیل یکسان، جسمی که تغییر شکل بیشتری

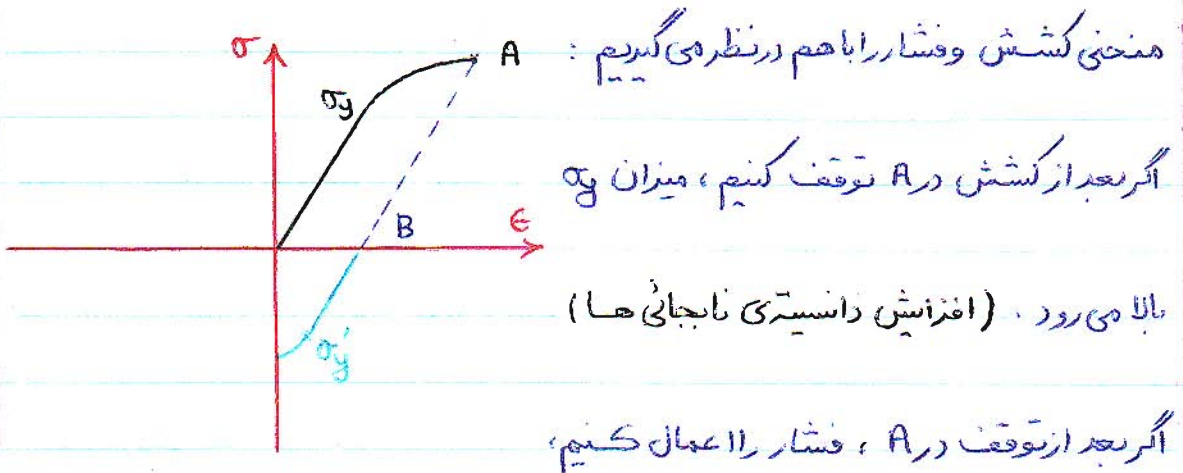
دارد، دانه های ریزتری دارد.

اثر دما در آنیل کردن خیلی بیشتر از زمان است. دما اگر 50° زیاد شود، زمان نصف می شود.

میزان دما و زمان آنیل کردن مخصوصاً دما، به خلوص نیربستگی دارد. اگر دمای آنیل کردن Al تجارتي، 450°C باشد برای Al خالص، 200°C کافی است. پس خلوص هم در شرایط آنیل تأثیر دارد.

اثر بویسینگر:

وابسته بودن تغییر شکل به جهت اعمال نیرو را نشان می دهد.



مبهم حین راحتی تر تغییر شکل می دهد (این بار منحنی از B شروع می شود).

یعنی تنش تسلیم کمتر می شود در صورتیکه اگر در B دوباره بخواهیم اعمال کشش کنیم، σ_y بالا رفته است. علت چیست؟ تنش های پسماند.

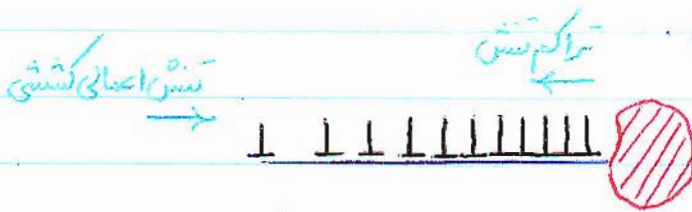
قبلاً گفتیم حرکت نابجائی ها ادامه می یابد تا به یک مانع برسند. در این صورت در اثر افزایش

تراکم نابجائی ها، نیرویی خلاف جهت، تنش اعمالی بوجود می آید.

حال اگر در جهت عکس تنش وارد شود، نایجائی‌ها برنخواهندگشت زیرا همواره با اعمال تنش طول نایجائی زیاد می‌شود. در حالت اول این تراکم تنش به سمت چپ نیرو وارد می‌کند (مخالف تنش اعمالی کشش) اما با فشار دادن، تنش در جهت تنش تراکمی است و نایجائی‌ها راحت‌تر می‌توانند حرکت کنند.

هم چنین می‌توان گفت در جهات خاصی تنش به میزان بحرانی نرسیده است و هنوز

نایجائی حرکت نکرده وجود دارد.



شکست : Fracture:

عبارة نسبت از جدا شدن یا خوردن یک قطع به چند تکه در اثر یک تنش استاتیکی در دمای پایش نسبت به نقطه‌ی ذوب .

رو نوع شکست داریم : ترد و نرم . دسته بندی بر اساس قابلیت تغییر شکل پلاستیک انجام می‌شود . مواد نرم قبل از شکست تغییر شکل پلاستیک انجام میدهند و انرژی زیادی جذب می‌کنند .

نرمی ممکن است با درصد زیاد طول در درصد کاهش سطح مقطع نشان داده شود . نرمی مابقی از دمای مادن ، نرخ کرنش ، و حالت تنش است .

فرایند شکست در پانچ به اعمال تنش ، دو مرحله دارد : شکل گیری ترک و اشاعه‌ی آن . نوع شکست به مکانیزم انتشار ترک بسیار وابسته است . شکست نرم توسط تغییر شکل وسیع در نزدیکی ترک در حال رشد ، شکل می‌گیرد . علاوه بر این فرایند با افزایش طول ترک به آرامی اتفاق می‌افتد . (ترک پایدار) این بدان معنی است که ماهنگامیکه تنش اعمالی ثابت است ، ترک گسترش نمی‌یابد . علاوه بر این بطور معمول گواهی تغییر شکل محسوس در سطح شکست است .

برای شکست ترد ، ترک هادون کوچکترین تغییر شکل پلاستیک ، بسیار سریع اشاعه می‌یابد . (ترک پایدار) و اشاعه‌ی ترک به یکباره شروع می‌شود و خود بخود بدون تغییر در اندازه‌ی تنش اعمالی گسترش می‌یابد .

به دو دلیل همواره شکست نرم برای ما برجسته است : شکست ترد بطور آنی و فاجعه بار بدون هشدار اتفاق می‌افتد که این ناشی از اشاعه سریع ترک است . از طرف دیگر در شکست نرم تغییر شکل پلاستیک به ما هشدار می‌دهد که شکست در حال اتفاق افتادن است . دوم آنکه چون مواد نرم ، چقرمه تر هستند انرژی کرنشی بیشتری نیاز است تا شکست نرم اتفاق افتد .

اکثر آلیاژها ، نرم و سرامیک ها ترد و پلیمرها نرم و ترد (گاهی نرم و برضی ترد) هستند .

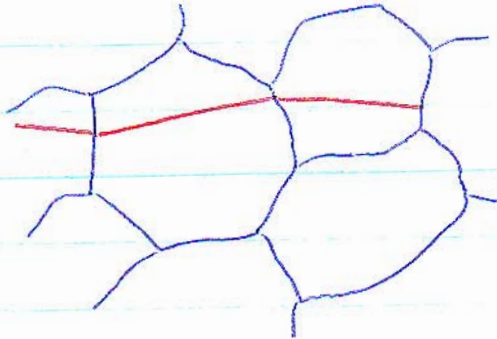
شکست ترد:

جهت حرکت ترک، تقریباً عمود بر جهت تنش کششی اعمالی می باشد و نتیجه ی آن سطوح شکستی نسبتاً مسطح است.

در سطح مقطع برخی قطعات فولادی، یک سری خطوط و علامت های V شکل ممکن است دیده شود که به سمت محل شروع ترک اشاره می کنند.

برای بسیاری از مواد کریستالی، انتشار ترک از شکستن بیایی پیوندهای اتمی در امتداد صفحات کریستالی برای معین ناشی می شود که این فرایند، cleavage نام دارد. این نوع شکست را درون دانته ای می نامند. بدلیل اینکه ترک های شکست از میان دانته ها عبور می کنند. بطور ماکرو اسکوپ، سطح شکست می تواند دانته دانته یا برش برش باشد که این ساختار ناشی از تغییر در صفحات (جهت صفحه) از یک دانته به دانته دیگر است.

در برخی آلیاژها، انتشار ترک در مرز دانته ها صورت می گیرد. (شکست مرز دانته ای)



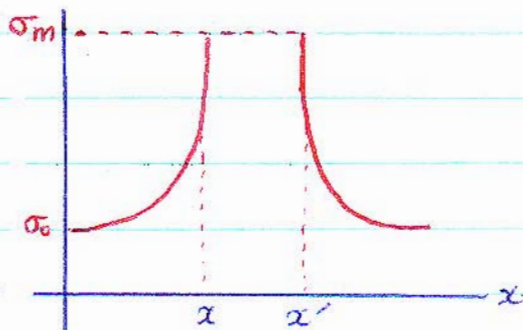
تمرکز تنش:

مقاومت در برابر شکست یک ماده ی چابده، تابعی است از نیروهای چسبندگی موجود بین اتم های آن ماده. بر این اساس استحکام چسبندگی تئوری یک چابده الاستیک ترد، حدود $\frac{E}{10}$ تقریباً رده شده است. (E: مدول الاستیسیته ی ماده)

اختلاف بین مقدار تئوری و تجربی مقاومت در برابر شکست، وجود صفحات های یا ترک های بسیار ریز

می باشد که همواره در شرایط عاری در سطح اجسام و نیز در قسمت داخلی آنها وجود دارد. این ترک ها موجب کاهش مقاومت در برابر شکست می شوند زیرا تنش اعمالی در رأس ترک متمرکز می شود.

در واقع اگر بار اعمالی σ_0 باشد در محل های وجود ترک، بار فوق مقادیر بیشتری خواهد داشت.



اگر فرض کنیم که ترک بیضی شکل است و نمودر جهت اعمال تنش قرار دارد، بیشترین تنش در انتهای ترک (σ_m) برابر است با:

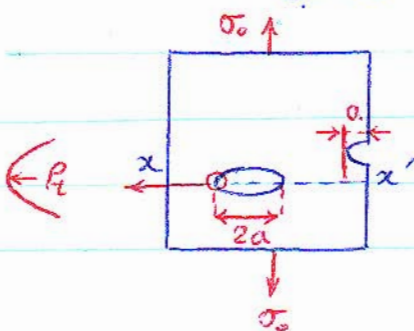
$$\sigma_m = 2 \sigma_0 \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$$

σ_0 : تنش اعمالی نامی
 ρ_t : شعاع انحنا در رأس ترک
 a : طول ترک واقع در سطح مقطع یا نصف طول ترک داخلی

برای ترک های ریز نسبتاً بزرگی که شعاع انحنا کمی دارند: $\left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$ عددی نزدیک است:

$$K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 2 \left(\frac{a}{\rho_t} \right)^{1/2}$$

K_t : ضریب تمرکز تنش. به معنای برای مقدار شدید تنش خارجی σ_0 .



تشدید تنش تنها به این ترک های میکرو کوبی محدود نمی شود بلکه این تشدید ممکن است در ناپوستگی های داخلی مثل حفره ها، گوشه های تیز و سایرهای ۲ شکل رخ دهد.

مقدار بحرانی تنش مورد نیاز برای انتشار ترک در مواد ترد:

$$\sigma_c = \left(\frac{2E\lambda_s}{\pi a} \right)^{1/2}$$

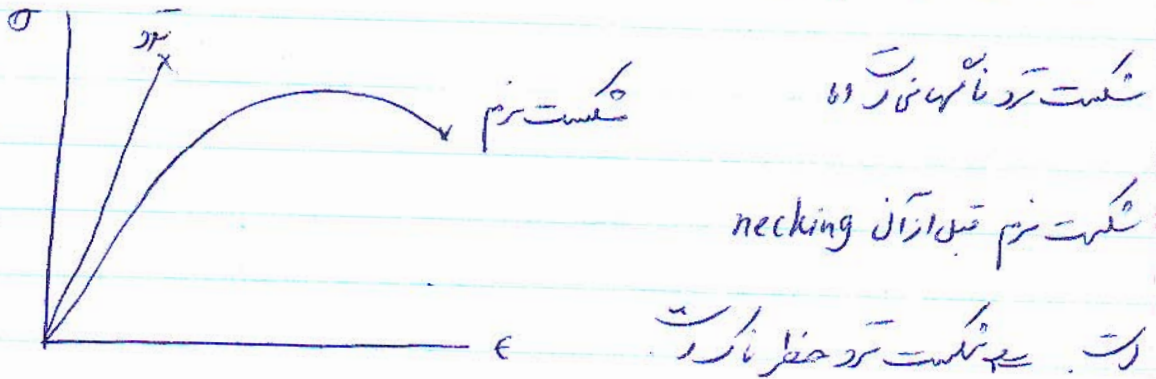
انرژی سطح: γ_s or λ_s

تذکره: اثر بالا برنده تنش بیشتر در مواد ترد محسوس تر است نسبت به مواد نرم. برای مواد نرم در صورت بالا رفتن مقدار تنش ماکزیمم از مقدار تنش تسلیم، تغییر شکل پلاستیکی رخ می دهد. در این پدیده باعث مکنواخت تر شدن در مجاورت عوامل بالا برنده تنش و وجود آدنن max ضریب تمرکز تنش به مقدار کمتر از مقدار تئوری آن میشود.

(Fracture)

شکست :

بسم الله تعالی شکل پدیده شکست انجام می‌دهیم در نوع است : نرم - ترد



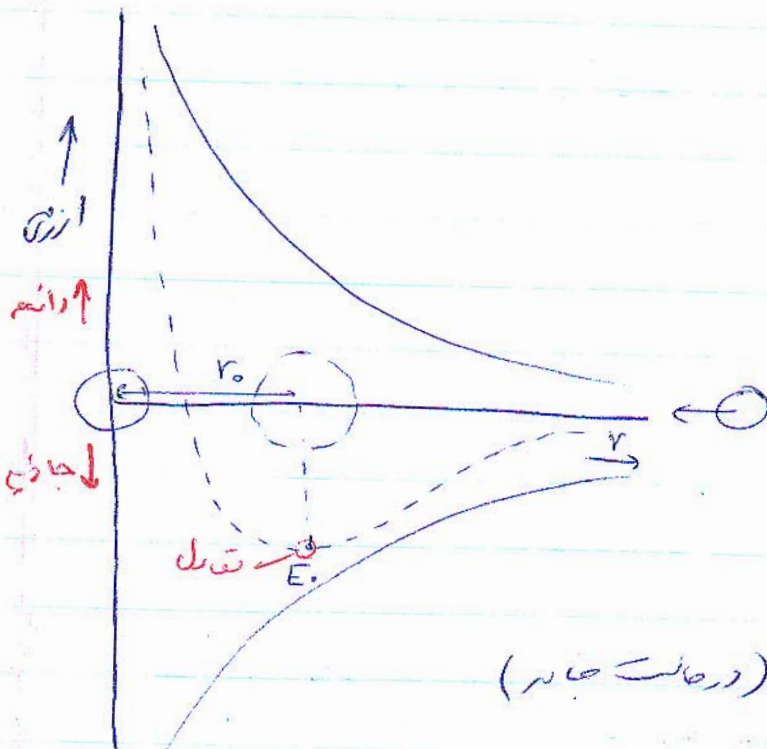
در جهت بی‌ثباتی دارد شکست جدار سطحی است

تنش تئوری شکست :



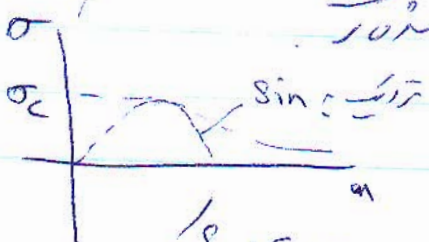
فاصله بین یون‌ها در اتم‌ها

فاصله بین اتم‌ها در هر یون‌ها



جمع نیروها به هم دارد (در حالت جدار)

این فاصله برابر هوکسلی از اتم‌ها در هر یون‌ها



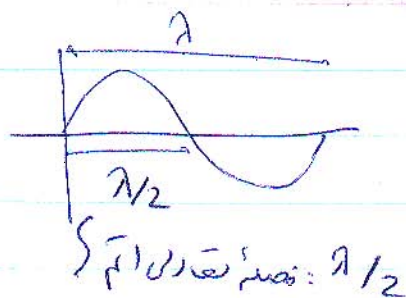
در این حالت در این در اتم

P(2)

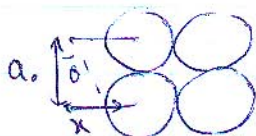
$$\sigma = \sigma_c \sin \frac{2\pi a_n}{\lambda} \approx \sigma_c \frac{2\pi a_n}{\lambda}$$

$$\frac{d\sigma}{da_n} = \frac{2\pi\sigma_c}{\lambda}$$

$$\sigma = E\epsilon$$



مکروبیات



تنگی از آن ها به اندازه x جا می آید. $\tan \theta \sim \gamma = \frac{x}{a_n}$

$$\frac{d\sigma}{da_n} = \frac{E}{a_n} \quad ; \quad \sigma = \frac{E x}{a_n}$$

$$\Rightarrow \frac{2\pi\sigma_c}{\lambda} = \frac{E x}{a_n} \rightarrow \sigma_c = \frac{E \lambda}{2\pi a_n}$$

کماند تقریبی است. (10% = 20 خطا دارد)

$$a_n \sim \lambda \quad \text{or} \quad a_n \sim \frac{\lambda}{2}$$

$$a_n \sim \frac{\lambda}{2} \rightarrow \sigma_c = \frac{E}{\pi}$$

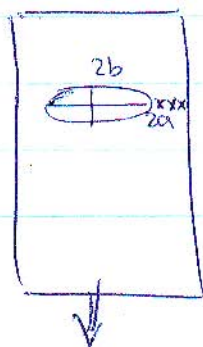
تنش حین پاره شدن

ما به این تنش نگاه می کنیم اصنام ترد در تنش های کمتر از این خواهد شکست.

$$\sigma_c \gg \sigma_F \text{ (تنش پاره شدن)}$$

σ_a (applies)

مکانیزم دیگری وجود دارد:



در شکست ترد، فاکتور تراکم تنش را تعریف می کنند.

ترد در حجم ترد، صفه ای یعنی سطح وجود دارد.

P(3)

ساده‌ترین مورد تنش موضعی صاف در انتهای استوار است $\sigma_L = 1 \sigma_a$

a: نصف قطر بزرگ $\sigma_L = \sigma_a \left(1 + \frac{2a}{b}\right)$

b: " " کوچک
 تنش موضعی در انتهای قطور بزرگ
 تنش اجمالی

$\rho = \frac{b^2}{a}$: (نسبت انحنای صاف در انتهای) / قطر بزرگ $b \leq \sqrt{\rho a}$

$\Rightarrow \sigma_L = \sigma_a \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}\right)$
 فاکتور تراکم تنش

اما در واقع چنین موضعی وجود ندارد. اما شبیه به ترک‌های استوار است. اینها ترک‌ها نه موضعی عمل

می‌کنند و در انتهای ترک تمرکز تنش موضعی آید و ترک‌ها شروع می‌شوند.

در انتهای ترک، تنش جدیدی برقرار می‌شود.

ترک، شعاع آن (ρ) مثل کوه می‌شود. طول ترک a
 کوچک: ρ شعاع انحنای انتهای ترک

$\frac{a}{\rho}$ (صورت بزرگ)
 ترک: $1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}} \sim 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}$

$\rightarrow \sigma_L = 2\sigma_a \sqrt{\frac{a}{\rho}} : \sigma_a = \sigma_L \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho}{a}}$

در لحظه شکست رابطه چنین می‌شود:
 $\sigma_c = \sigma_F \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}\right)$
 تنش موضعی (شکست) / تنش اجمالی (شکست)

$$\sigma_F = \frac{1}{2} \sigma_c \sqrt{\frac{c}{a}} \quad (\sigma_c \text{ ثابت است})$$

در مقادیر کم کمتر باشد، σ_F کوچکتر است. (نسبت شکست کمتر است) \rightarrow زودتر شکسته شود
 (ترک نیز تر باشد)

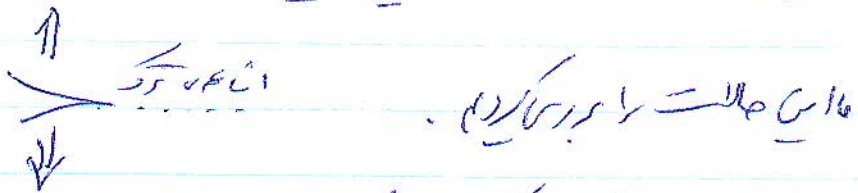
a بزرگتر است \rightarrow σ_F کوچکتر است. \rightarrow طول ترک بزرگتر باشد، زودتر شکسته شود.

حتی در یک a یکسانی، تغییرات در بزرگی نیت و قطعه می کنند.

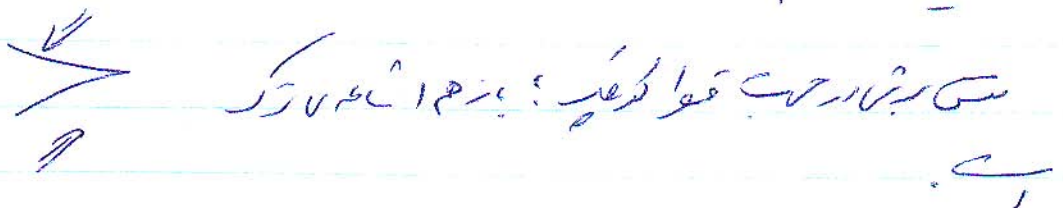
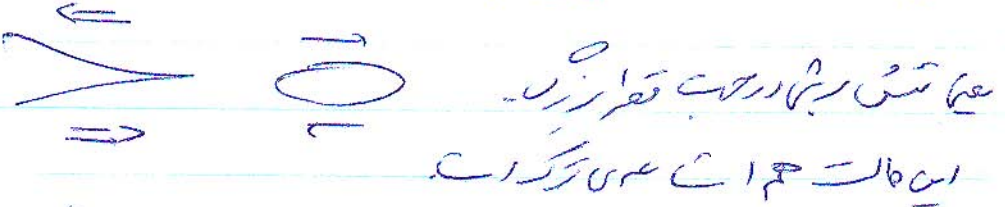
ترک: جبهه سطح (حتی در اندازه های کم) این عمل به آسانی ترک

همیشه در طول جبهه سطح.

ترک حوضی عیب منافذ است. اما همیشه ایجاد نمی شود.



اما ممکن است نسبی صورت دیگر به ترک وارد شود:



ترک در دو جهت هم دیده می شود، اما عملی است با توجه به اینکه از این جهت دارد
 و هم از جهت دیگر را نمی بینند.

ترزی دزی سنیات و ترد مطلق نزارع

مدی شکست زرد دارد اما ممکن است تغییر شکل به سید هم بدهد.

تغییر (در حدی که در کوه شکست ترزه شده). (شکست زرد، زردی)

1- و ما: صبی هم ا. حوم و ما تیر به شکست نرم تر است. (کاتدر شکست زرد)

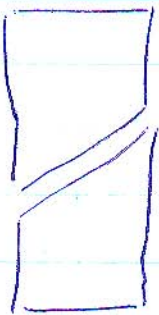
2- سرعت اعمال نیرو: (برخ کرنش) $(\frac{d\epsilon}{dt})$ حوم و ما تیر به شکست نرم تر است.

3- وجود سیمار: شکست زرد تر می کند.

(حوم و ما تغییر شکل به سید قبل از شکست تیر به شکست نرم تر است)

اندزی شکست:

ارزی ضربه به شکست و ارزی صورت سون ارتکاب ترد: تیرها ارزی ضربه شده در صوم



ارزی سطح است. چون در سطح امکان شده است.

در شکست نرم، ارزی شکست هم صرف ارزی سطح می شود.

و هم ارزی تغییر شکل به سید. در سید ترد.

در شکست ترد، فقط ارزی سطحی داریم. صوم ارزی شکست سیمار در آن

تغییر شکل به سید دارد }
تردی (مدار ارزی کمتر)
چقرمگی (در ارزی سیمار)

P(6)

بر حسب ارزش محبت و کثرت در لایه شکر است و در است یا تانف

حقیقتاً: مساوات در برابر شکر است. یعنی هر چه مفهوم قدری در است

بیت و در در برابر حقیقتی می بینم.

(حکم استقامت با در برابر، چهره می بینم است)

در وقت ترک در اثر تمرکز نشستن، تغییر شکل پیدا میکند و این اثر است

ترک صبر می کند.

پس نه آن تغییر شکل پیدا میکند صبر می کند.

انرژی شکست:

در حد انرژی جذب شده ، اجسام در نوع شکست دارند :
تندروی } toughness

انرژی در خروجی شکست اجسام:

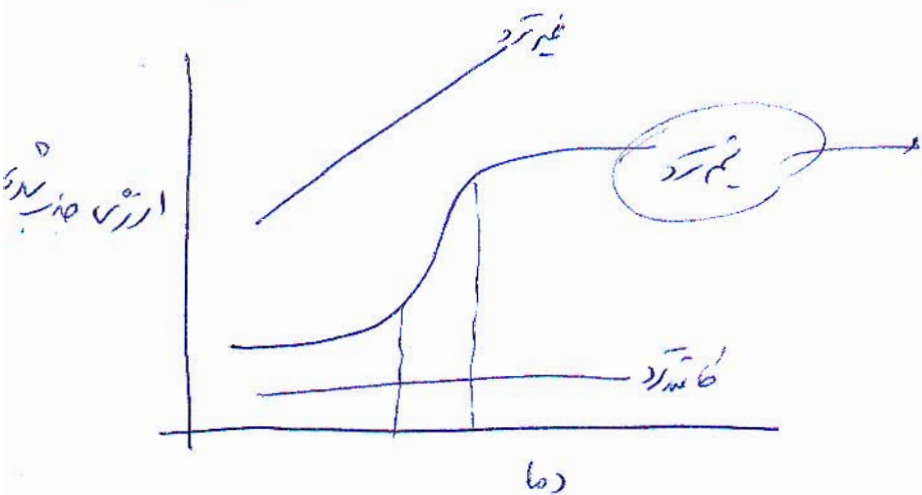
شکست اجسام

- کاملاً ترد: تغییر شکل پلاستیک قبل از شکست ندارند (حالت بیایا و صدمه ندارند)

- نیمه ترد: تغییر شکل پلاستیک کمی قبل از شکست موجود است. (تکرار)

نمایان ضربه کم است) مثل آهن b.c.c ها.

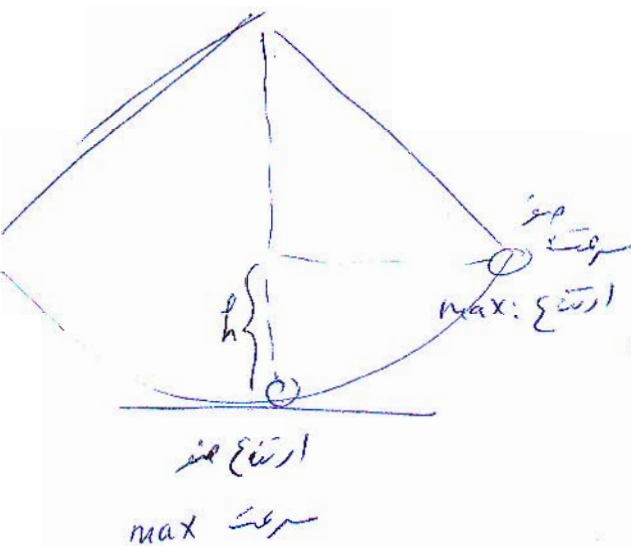
- غیر ترد: تغییر شکل خوبی قبل از شکست دارند. تکرار بیایا دارند: f.c.c ها



رنگ مگرونی امالی رد و اورنجی غیر ترد است

Transition Temperature
(در جوارت تبدیل شکست ترد به غیر ترد)

- آرایش فشر:



انرژی شکست و سرعت حرکت

ارتفاع و سرعت حرکت

سرعت تبدیل این در ارتعاش یکدیگر دارند.

این آرایش فشر است

P(2)

فردی ضرب است نه درون جابجی دارد

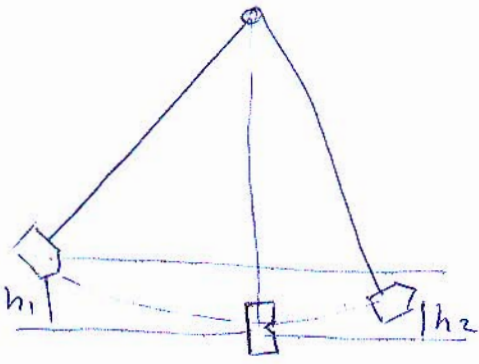


کندگی ضرب

$$W = mg (h_1 - h_2)$$

بدون سید این آلود واقع شد را بصورت مطلق موزن نمائید

اما بصورت مقایسه ای جواب بدهید.



جنبه های میکروسکوپی :

ریشه صاف

اجسام طافه در : ریز عینی بوجود نمی آید. ممکن است عیب ساختاری بوجود آید. پس

حوزه : یا آنکه از عین هم مشاهده می شود که در جاهای آنکه سطح

اجسام نیمه در : تغییر شکل به نیک به آن ضربه کم. در این جا منتهی جابجی ترک سطح

صحت این دسته ها خوش گذرد، در اثر تراکم نایب ها در جهت مدافع (در راه های کوچک نایب)

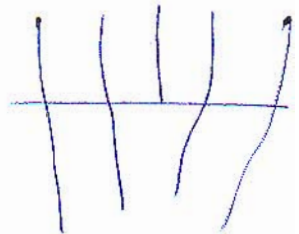
به سمت جابجی ترک می شود.

از ارقام نایب های جابجی ترک بوجود می آید.

از ارقام این نایب های جابجی ترک بوجود می آید. و این است جابجی ترک می شود

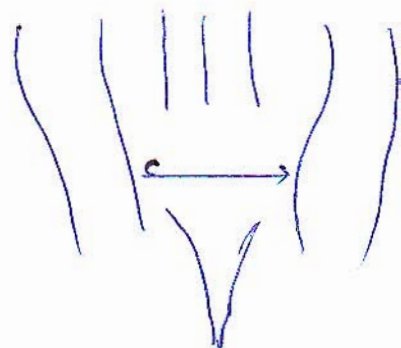
در پاره شده a بین در پاره سطح شده، فاصله بین اینها که از

در پاره شده است. با ارقام این نایب ها



فاصله بین در ارقام در پاره سطح شده زیادتر می شود

به سمت جابجی ترک



این ارقام که از این نایب های جابجی ترک می شود

بسیار با صفت می باشد این ارقام می باشد

با ایجاد ترک، انرژی جذب شده کمتر شود. حدس خود ترک میدان و حدود در (تغییر شکل پلاستیک) که اندازه عمر آن چقدر زیاد کند. این در toughness تاثیر دارد.

در دمای بالا، در نهایت پهن، منحنی منحنی پلاستیک صاف است. و تغییر شکل پلاستیک ادامه پیدا می کند.

- اصل غیر تردی :

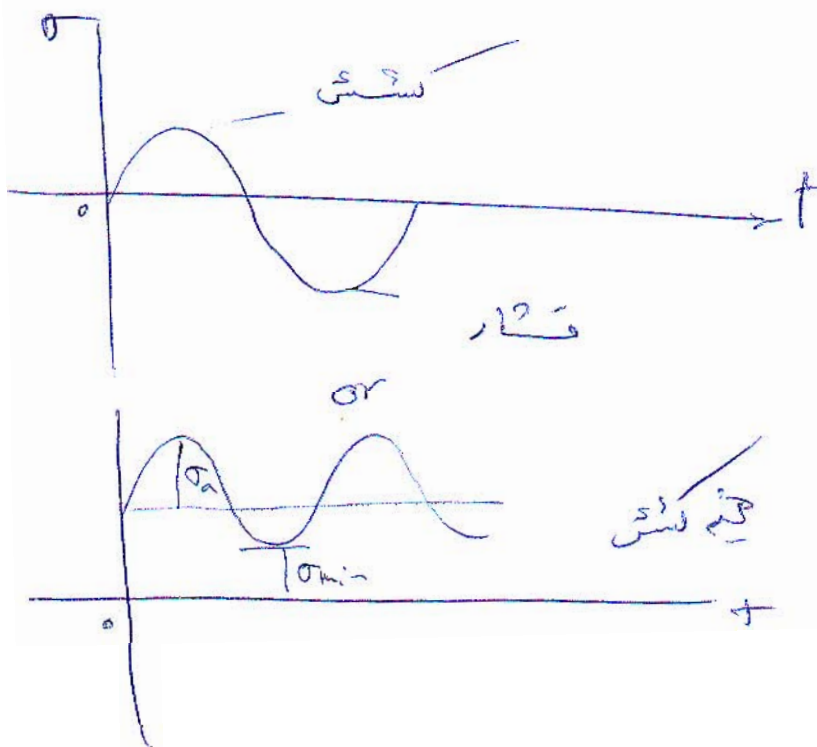
چون تغییر شکل پلاستیک انجام می شود - فزونی های نیروی کشش و برشی در جسم دارد. اصولاً در زمین لرزه، در اجزای ریب و گرزتس داریم (اعتدال در میزان تغییر شکل پلاستیک) اگر ریب بکند، حفره وجود می آید. در اکثر تنگی این حفره ها بزرگ می شوند و در تمام می سوزند و ترک این ترک ها - مقدار تنگی این فضا موجب می شود.

Fatigue : خستگی قطعات :

شکست در اثر خستگی : یک جسم تحت تاثیر تنش های متناوب به مرور زمان می شکند.

شکست در اثر خستگی، در اجزای عمیق (تایپرینال)

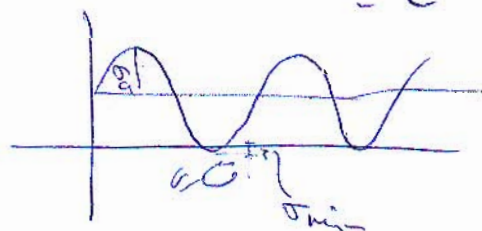
این تناوب هرگزانه توسط \sin و ارتعاش پیدا. (آزمون خستگی)



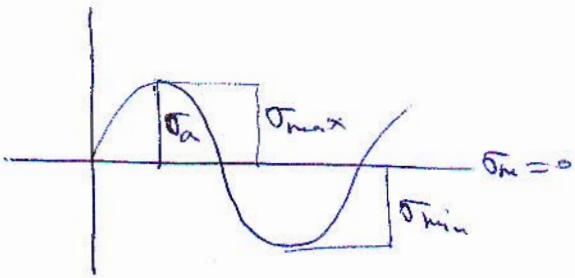
در تنش Sin :

پس از آنکه جسم متناوباً تحت تنش قرار می گیرد.

و در نتیجه ترک می آید.



Q(4)



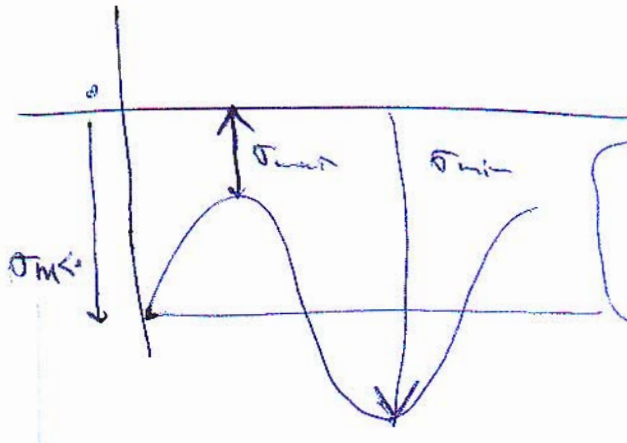
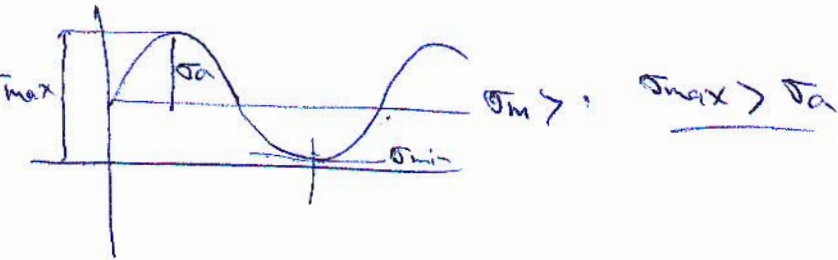
سینوس آکرناتیو : σ_a
(دائری ستن)

σ_{max} : σ_{max}

σ_{min} : σ_{min}

range of stress : σ_r

$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 2\sigma_a$$



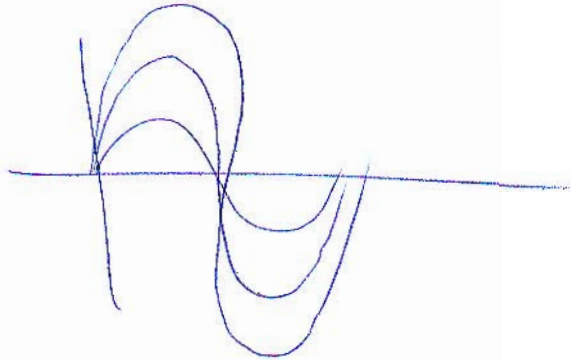
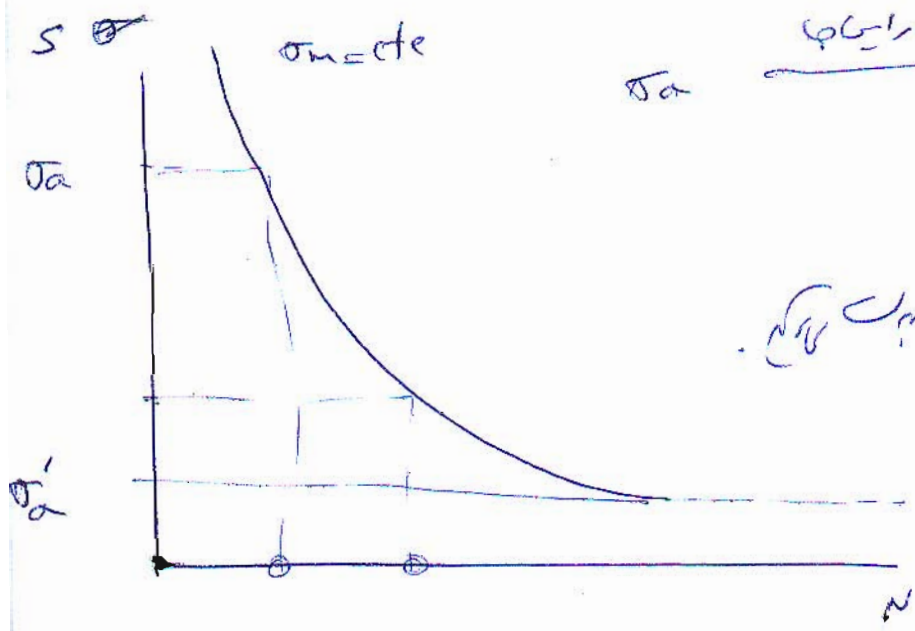
$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

سینوس آکرناتیو

σ_a , σ_m معنی دے گا

تھن : $S-N$ (تھن سائیکل)

عمر بڑھنے پر تھن سائیکل

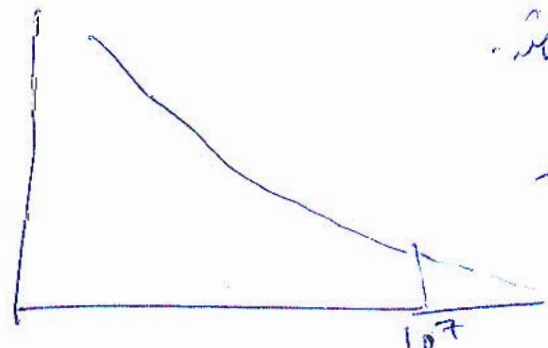


σ_a : حد تک : تھن سائیکل

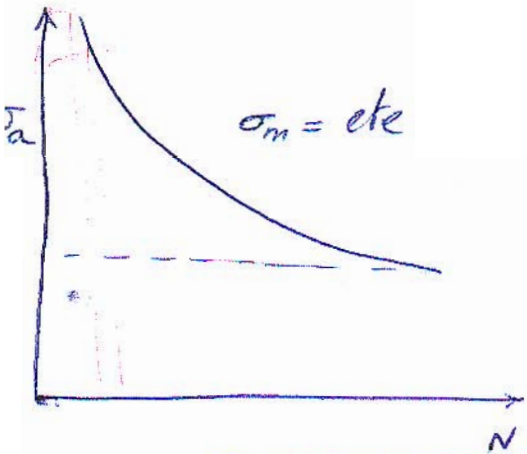
تھن سائیکل

تھن سائیکل : 10^7 سے زیادہ

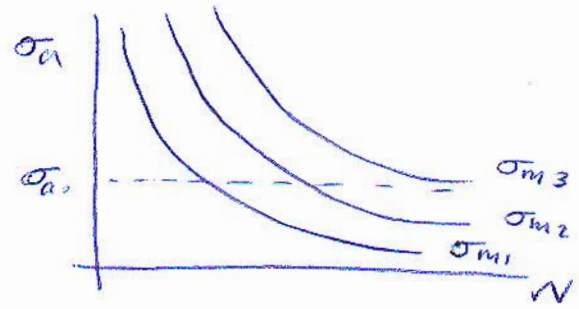
تھن سائیکل



ادام چسبی:

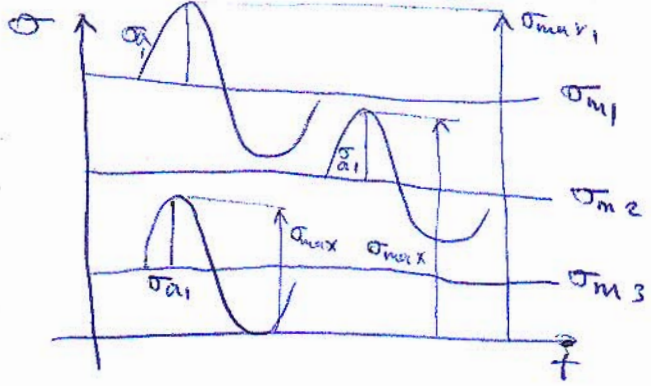


اندر تغییرات σ_m روی منحنی های S-N:



! σ_a ها برابر اما σ_m های برابر:

σ_{max} ها برابر و σ_{min} فرق می کند.

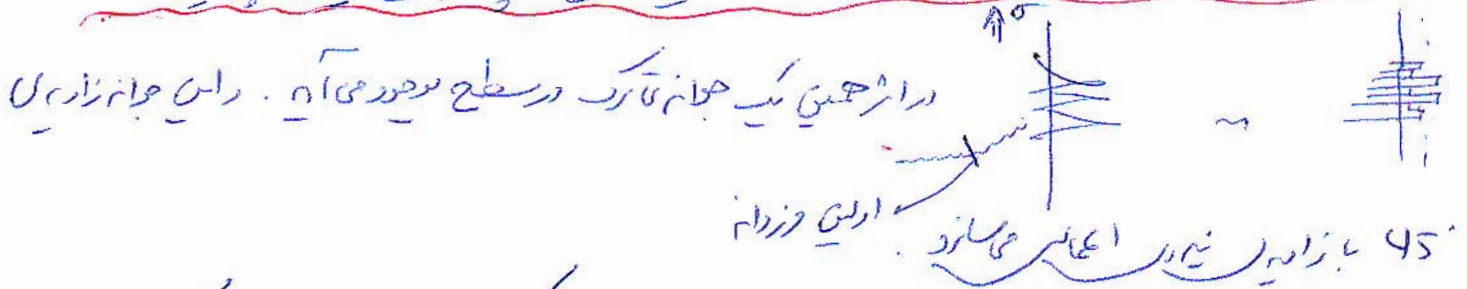


از σ_m ها که نسبت N ، هر کدام قدر بیشتر داشته باشد، هم قطع کمتر خواهد بود.

جنبه های مهندسی چسبی:

در اثر چسبی و تغییر شکل های موضعی در صورتی آید اغلب در ترک سطح.

شده در اثر حرکت نیکی آن ها، در سطح نا هم در آن ها بوجود می آید چون جفت نیکی به هم می آید.



بعد از برخورد با این وزان در جهت عمود بر نیز در اعجاز حرکت می کند. درجه عمود شکست می شود.

- عوامل:
- ایجاد نا هم در سطح
 - جواز ترک در محل نا هم
 - آت عمود تا آت این وزان
 - کشش ترک از وزان
 - آت عمود در طول عم و شکست
- همه در یک زمان دارد. مجموع این عوامل ها هم قطع است.
- حواله که در این زمان ها اتفاق می افتد، در هر قطع تا به زمان دارد.

شده چسبی نا هم: در سطح هم می آید، در هر قطع تا به زمان دارد و هم قطع می شود.

در سطح آزاد با صاف تر باشد - جابجایی ترک کوچک می کند و هر قطعه کم می خواهد شد.
 یا اینکه وصل شدن ترک از درون را در نظر بگیریم:

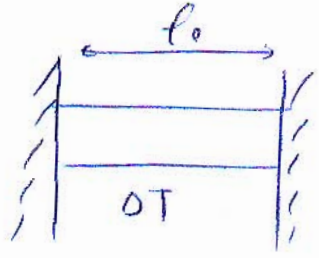
هم با دانستن درشت : کاهش روانی از سطح شیار است
 هم با دانستن ریز : ترک خوردن در درون وجود دارد.

وقتی ترک های عمیق می آید، تراکم نسبی جدید آن بویژه آید. حجم طلا ترک شیار می آید، تراکم نسبی

آدم شیار می آید
 دام درشت : ترک درشت شیار دارد در درون ریز، در زمان مانع خوبی بار و ترک

اتصال در این ریز عمر شیار است به دانستن ترک دارد

در سطح رانگت کنیم، نیکایها را می توانیم به سطح برسانیم و عمر قطعه را بزرگ می شود.



* حساس حرارتی :

مردم کرنش در وضعیت مشکل

مشکلهای مکانیکی در علم ایجاد می کنند

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta l = l_1 - l_0 = l_0 \alpha \Delta T \rightarrow \epsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} = \alpha \Delta T$$

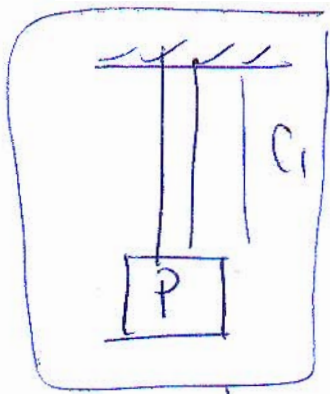
پیکریش با افتادن در این زمانه موجود آید - مردم در کرنش (حساس حرارتی) قطع می کنند.

هر قطعه ضعیفی داغ باشد آنرا باید در کرنش منتهی است قطع می کند. در این صورت این سادگی در اثر حساس است.

در محیط های خوردن، هر قطعه کم می خواهد شد (حساس تراکم با خوردن) عدد = ؟

* خزش (creep)

حرفه تقویت عمل پلاستیک تحت تأثیر تنش است - در زمانه $\epsilon(t)$

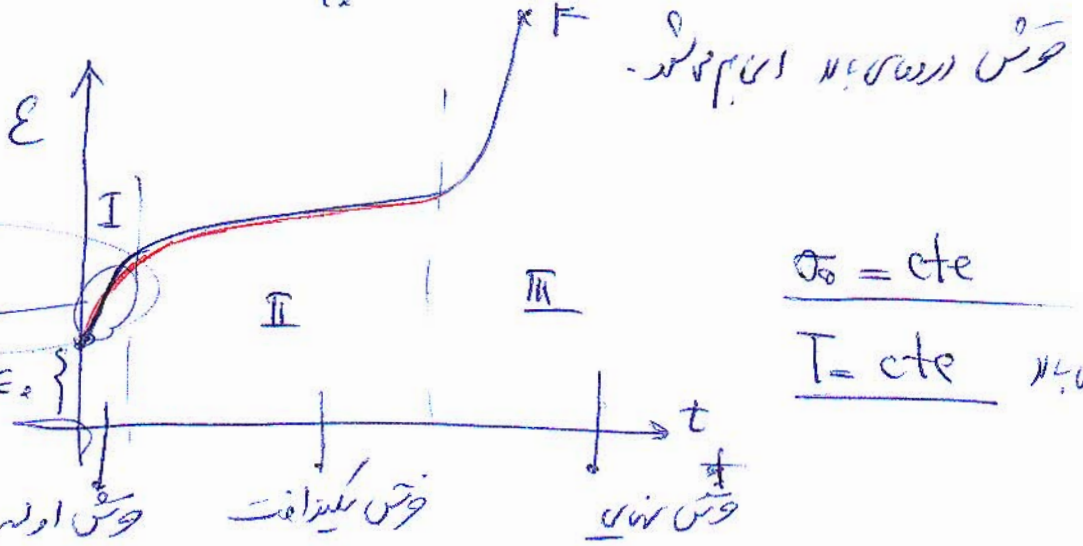


P(3)

تنش ثابت = تنش همسر ثابت

$$\epsilon_0 = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

دفعه کوره



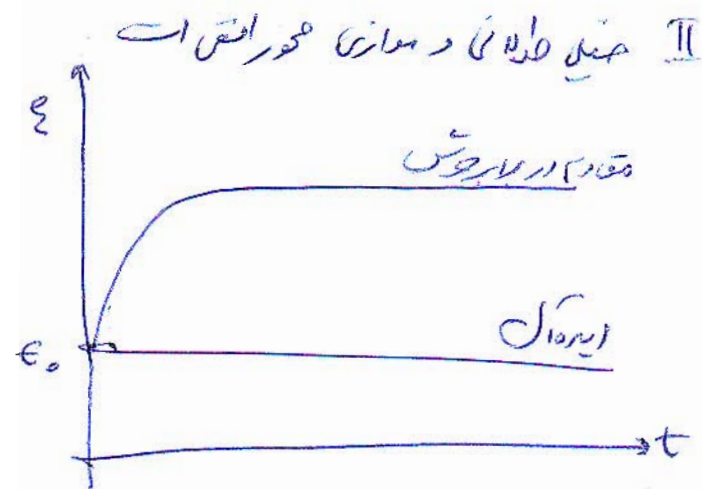
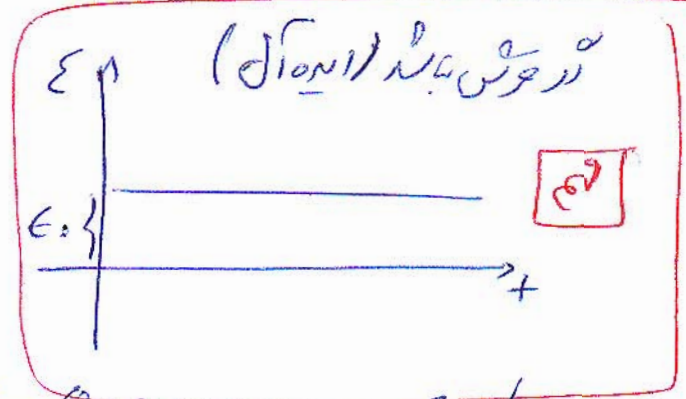
$$\sigma_0 = cte$$

$$I = cte$$

مکانیزم خوش نهایی
vacancy
نقطه

I, III زمان کوتاه است. عمر در منطقه II تعیین می‌شود.

حجم ماکزیمم مقدار در برابر خوش، دارای منطقه

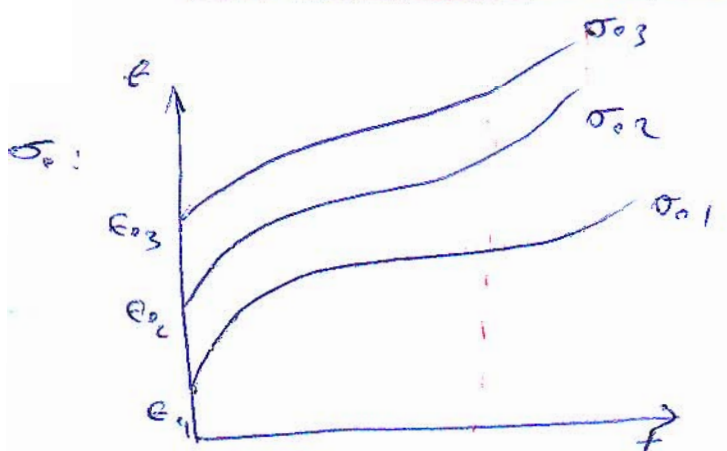


کارایی →
بازتاب →

این دو خدمت است هم هسته. اینها در این تغییر شکل را می‌تواند و دیگر اینها.

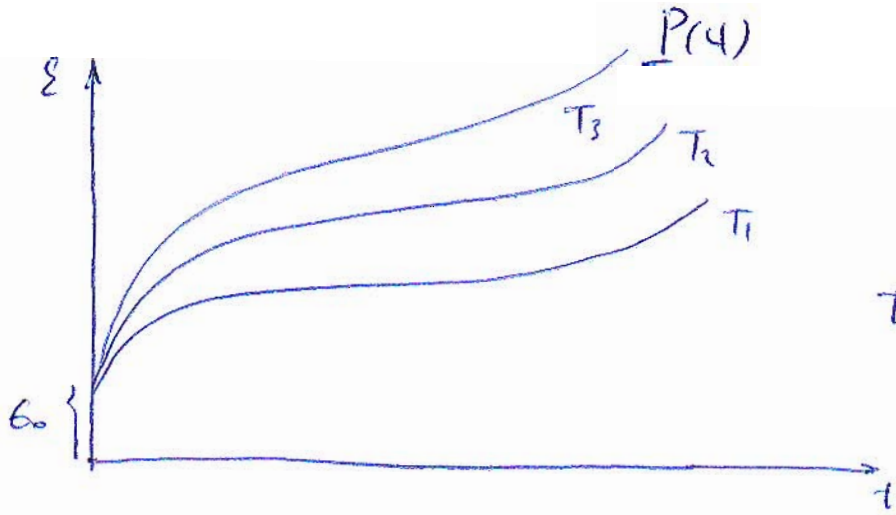
در نهایت اول کارایی کم‌تر دارد (I) اما در II این دو در مقدار یکسان نیستند.

* در σ و در زمان در همگی خوش:



$$\left. \begin{aligned} \epsilon_{03} &> \epsilon_{02} > \epsilon_{01} \\ \sigma_{03} &> \sigma_{02} > \sigma_{01} \end{aligned} \right\}$$

مقدار σ_0 نیز اینها، هر چه که خواهر



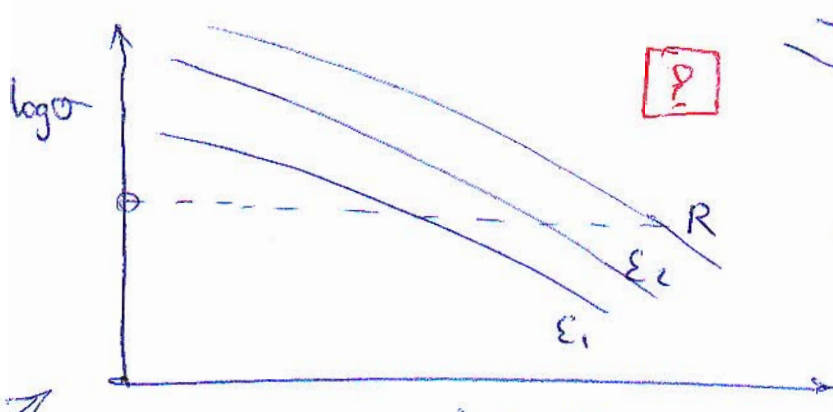
مغز دریا :
 سواب

$$T_1 < T_2 < T_3$$

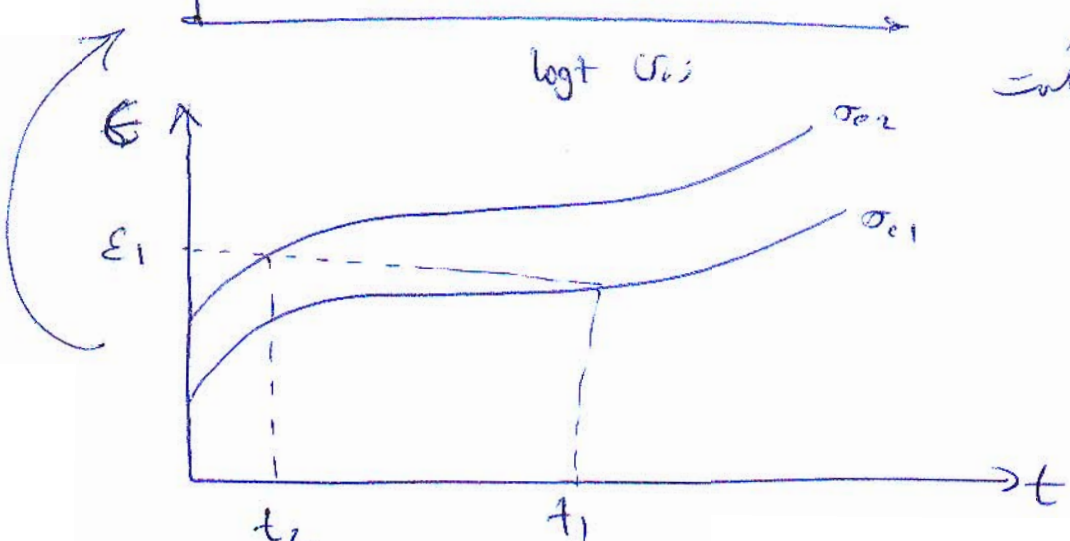
رابطه بین عمر خزش کمتر

در حوض زمانی حسی طول زمان است

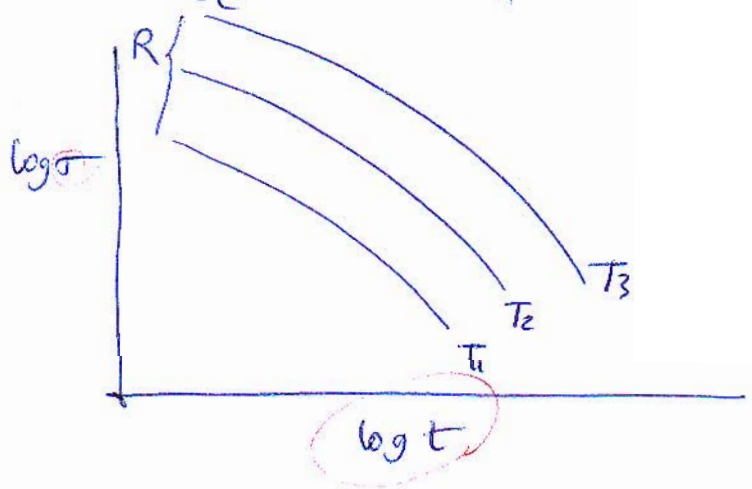
از صورت کنیم با هم اندازیم ϵ_1 که
 تغییر شکل دارد، عمر قطع کاملاً ندارد



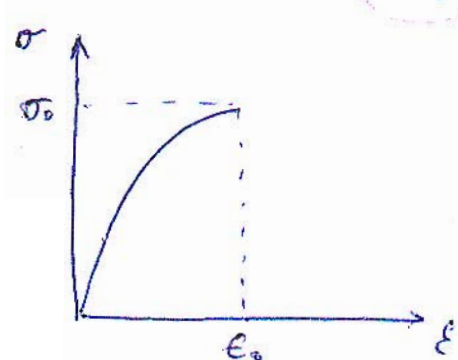
عمر قطع در تغییر شکل حاصل با کم است
 ممکن است



برای شکست :



خزش از نظر میکرو و ماکرو :



در σ_0 و ϵ_0 برای ادا وقت به پیش دریا
 پس اینها هم حرکت وقت دریا

یا پست مانع ایجاد می شود

یا میکرون زمانها حرکت درون سطح گوش هسته که سسای میجر از سسای

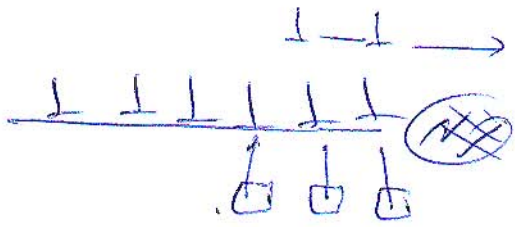


عمر و سواب است در زمان داریم :

جایگاه (15)

زمانی که تعداد را داشته باشیم و متحرک هم هست.

این جایگاه در جهت مانع از حرکت صعودی است.



این جفت‌ها هم آن توسط Vacancy است.

و هم در پایین است که توسط حرکت جایگاهها صورت می‌گیرد.