

$\Delta G$ : تغییرات انرژی سیستم بر واحد طول نابجائی      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 ( $\Delta G$ )

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

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

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

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

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

داده شود.  $\leftarrow \tau$  اعمالی باید در رابطی فوق صدق کند:

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

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

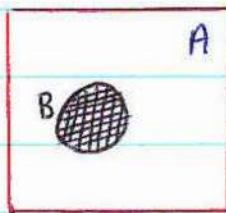
این تنش خیلی بزرگ است و ما هیچ وقت چنین تنشی نداریم؛ در نتیجه جوانه زنی

هموزن امکان پذیر نیست.

جوانه 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 در ما با اندازه  $\Delta T$  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 نیویسته‌اند. اگر  $\alpha(\text{حفره}) < \alpha(B)$ ، آنگاه B

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

تعدادی در فاصله  $r_0$  ایجاد می‌شود. اگر  $\alpha(\text{حفره}) > \alpha(B)$ ، به B نیروی فشاری



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

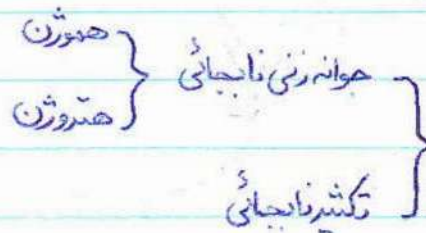
می آید و این تنش موجب ایجاد نابجایی می تواند بشود. (به نوعی انرژی آنرا فراهم می کند.)

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:  $(10^9 - 10^{10} - 10^{11}) \rightarrow 10^6$  86. 1. 19



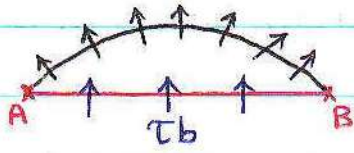
هموزن: از لحاظ تنش امکان پذیر نیست.

هموزن: 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:

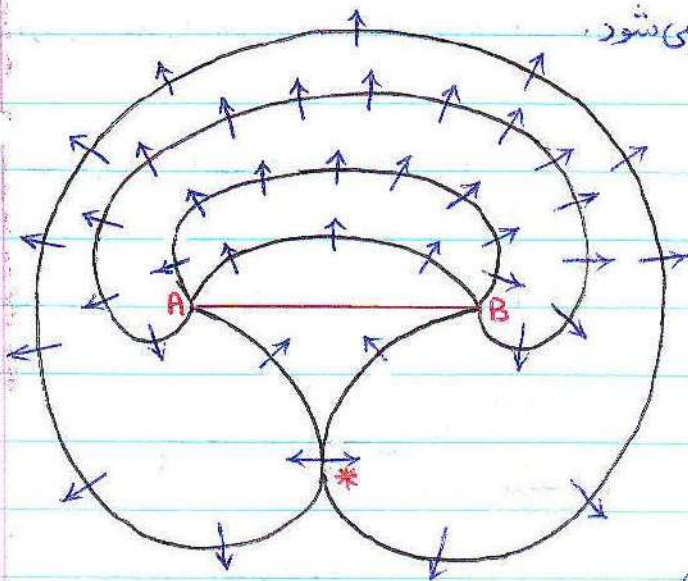
این مکانیزم فرانت-رید نام دارد. گفته شد، با اعمال تنش  $\tau$ ، به خط نابجایی نیروی پروانه



طول  $T_b$  وارد می شود که عمود بر آن است.

چون دو انتعای خط بیسته است به شکل خمیده در می آید.

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



تشن های بیسته، این منحنی بزرگ تر می شود.

در قسمت \*، دو نایجائی از هر دو

که باشند، مخالف هم بوده و یکدیگر

راحتی می کنند. علت در ادامه گفته

خواهد شد. بنابراین در نهایت شکلی

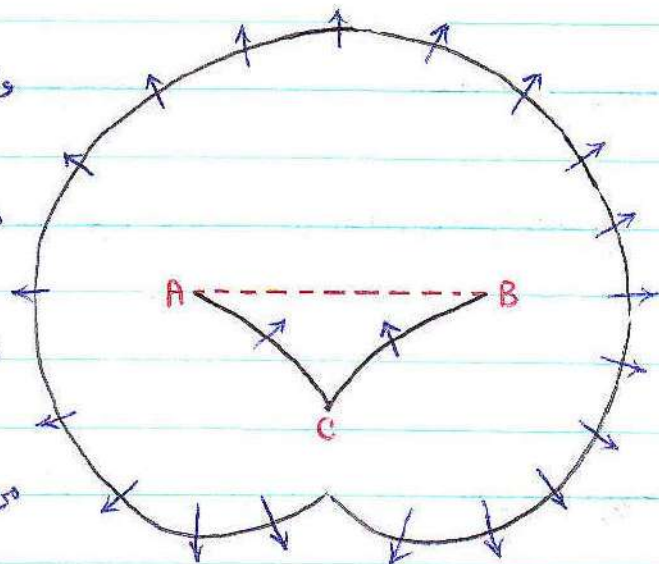
مانند شکل زیر خواهیم داشت. دو خط AC و CB با توجه به جهت نیروئی که به آنها

وارد می شود دوباره خط اولی را AB را

درست می کنند و اگر باز هم تشن اعمال

شود، یک حلقه نایجائی دیگر درست

می شود و به همین ترتیب ادامه می یابد.



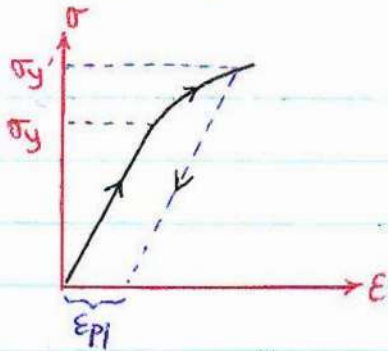


بنابراین اطراف AB موجی از نابجایی بوجود می آید و جلوه‌ی رود

منابع فرانگ - رید بلافاصله بعد از تنش تسلیم فعال می‌شوند.

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

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

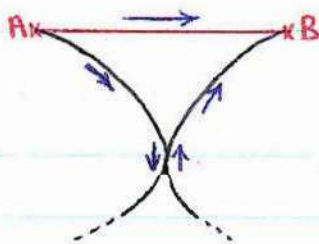


اما جواب سوالی که مطرح شد:

با حرکت نابجایی چون  $\rho$  ثابت باقی می‌ماند، کاراکتر

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

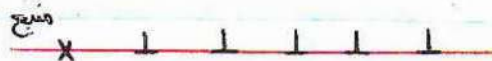
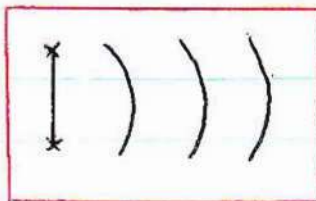
جهت دید به خط نابجایی بستگی دارد. مثلاً اگر جهت از A به B باشد، در محل برخورد \*



جهت دو نابجایی با هم فرق می‌کند.

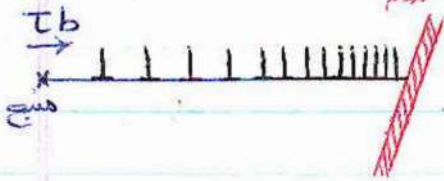
نابجایی روی یک سطح لغزش هم نام هستند. این نتیجه

منابع فرانگ رید است. بعبارت دیگر:



از منبع، نابجایی‌های یکسان خارج می‌شود.

حال اگر سر راه این نایجائی ها مانع وجود داشته باشد :



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 جلو می راند .

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

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

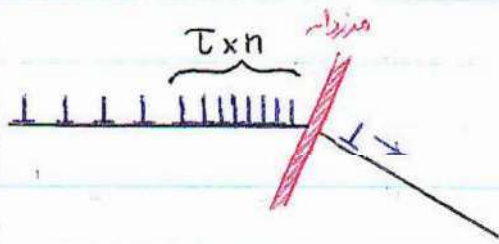
در نزدیکی مانع ، انباشتگی بوجود می آید . و این تراکم تنش را بوجود می آورد .

اگر  $n$  نایجائی انباشته شده باشد و تنش اعمالی  $\tau$  باشد ، تنش که اولین نایجائی تحمل

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

$$\tau^* = n\tau$$

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



تذکره . نایجائی های انباشته شده از مزرده عبور نکرده اند

بلکه جوانه زنی هم روگن اتفاق افتاده است . با این

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

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

جلوگیری می کند و  $\tau$  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 پل کرسیستال در نظر می گیریم. در هر دانه سطوح لغزش

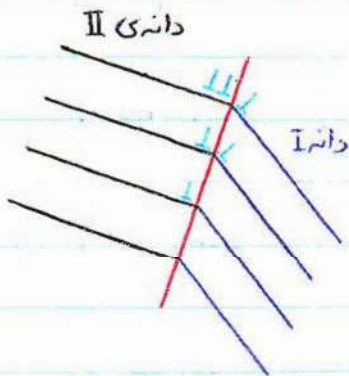
فرق می کند. در هر دانه  $\tau_{cr}$  (تنش بحرانی) داریم که

برای هر دانه در زمان های مختلف فرق می کند.

بعبارتی میزان تغییر شکل پلاستیک در دانه های 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  $\sigma$

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



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

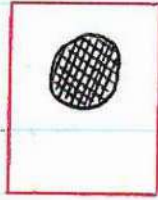
اگر یکی از دانه ها حرکت کند و دیگری حرکت نکند مرزدانه

چه می شود؟ برای اینکه مرز گسسته نشود باید یکسری

ناجا در مرز وجود آید؛ که این نایجائی طوری مرزدانه را شکل می دهد که مرز گسسته نشود.

این نایجائی ها، نایجائی 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  $r = r_0$  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 :  $r_{01} > r_{02}$

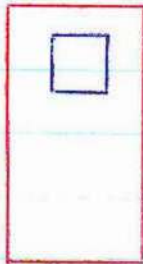
اما این ها (فاز دوم و حفره) از هم جدا نمی شوند . در غیر این صورت ترک ایجاد می شود .

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

نابجائی) . این نابجائی ، نابجائی لازم هندسی نامیده می شود . عبارت 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 .

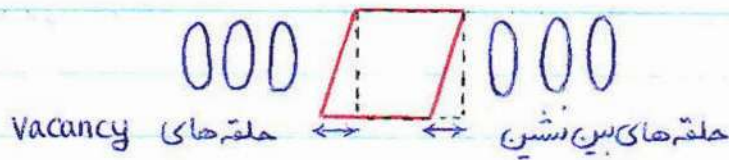
اگر این جسم را بیرون آوریم و به جسم اول نیروی برشی وارد کنیم شکل زیر بوجود می آید . جسم



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

بنابراین حالت زیر بوجود خواهد آمد :





بنابراین در این حاکم یکسری نابجائی بوجود می‌آید که از گسستگی جلوگیری می‌کند. حلقه‌های

بین نشین 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 مداری. این مورد هم نابجائی لازم هندسی است.

به همین دلیل (وجود نازدوم) است که کارسختی در آلیاژها خیلی بیشتر از فلزات خالص است.

بین حلقه‌های بین نشین و vacancy تنش زیاد است. بنابراین اتم‌ها از حلقه‌های بین نشین

به حلقه‌های vacancy و یا vacancy‌ها از حلقه‌های vacancy به حلقه‌های بین نشین

بجای نفوذ کرده و هندگیر را از بین می‌برند (خشی می‌کنند). بنابراین، این مورد از نابجائی پایدار

است. (چون تنش بالاست، نفوذ راحت تر است).

عموماً نابجائی‌ها دورسته‌اند:

1- نابجائی انباشتگی تصادفی (statistically stored dislocation)

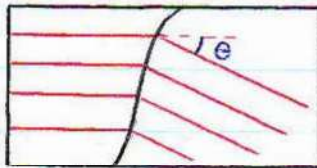
2- نابجائی لازم هندسی (Geometrically necessary dislocation)

ناجیائی تصادفی انباشته مثل : لومرکاترل که بطور تصادفی بوجود می آید . و ناجیائی های

دیگر پشت آن جمع می شود . یا مثل ناجیائی فرانک که حرکت ذنی کند .

**تذکر** . ناجیائی های لازم هندسی زود بازیابی می شوند .

یک پلی کریستال با یک مزر در نظر می گیریم . استحکام را بر حسب  $\theta$  بخت کرده اند .  $(\sigma_y, \theta)$



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

مساوی است با  $\sigma_0$  مونوکریستال .

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

رابطه ی هال - پیچ :

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

$\sigma_0$  : استحکام یا تنش اصطکاک کی شبکه

ناجیائی ذنی تواند روی سطح لغزش ، خود به خود حرکت کند . . .  $(\sigma_0)$  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  $\sigma_0$  را ایجاد می کند . (انرژی بر واحد طول ناجیائی تابع موقعیت است)

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



رابطه‌ی تنش برشی در پلی کریستال :



هر دانه یک  $M$  دارد. این  $\sigma$  ،  $\tau$  های مختلف در هر دانه ایجاد

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

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

$\tau_i$  به این دلیل از  $\Sigma$  میرون آمده است که

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

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

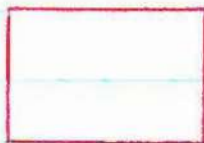
میزدانه‌ی فرعی :

اگر اختلاف جهت بین دانه کمتر از  $10^\circ$  باشد، میزدانه‌ی فرعی است اما عموماً نابجایی‌ها

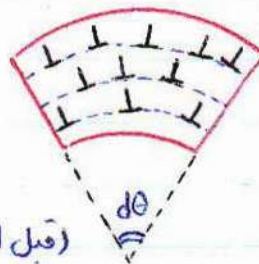
آرایش را بوجود می آورند که میزدانه‌ی فرعی نام دارد.

درخشن، چون تغییر طول داریم، یکسری نابجایی بوجود می آید. در اثر تغییر حرارت دادن و

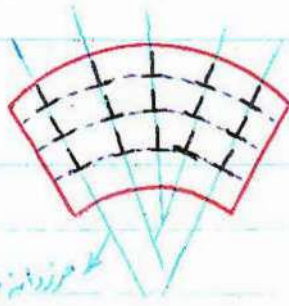
بالا بردن درجه حرارت، آرایش خاصی از نابجایی بوجود می آید، که میزدانه فرعی ایجاد می کند.



Bending  $\rightarrow$



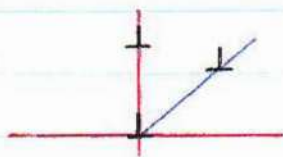
(قبل از حرارت دادن)



بعد از حرارت دادن :

علت این است که دونا بجائی در  $\theta = 45^\circ$  و  $\theta = 90^\circ$

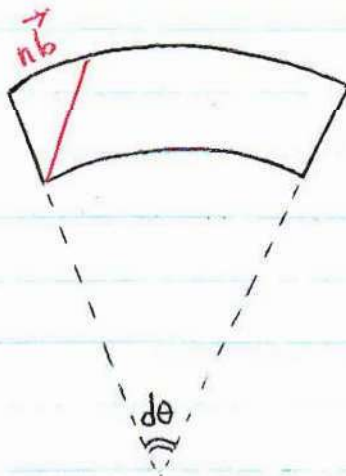
نیروی به هم وارد نمی کنند و اثری min است. (گناه روی  $\theta = 45^\circ$  و گناه روی  $\theta = 90^\circ$ )



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

اگر  $n$  نایجائی داشته باشیم :

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

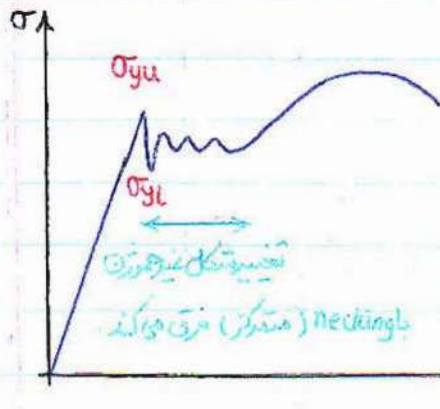


نباشد، مدار برگرس بسته است ولی اگر نباشد، مدار باز

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

هم معلوم است، دانسیته نایجائی بدست خواهد آمد.

پدیده انتقال تسلیم :



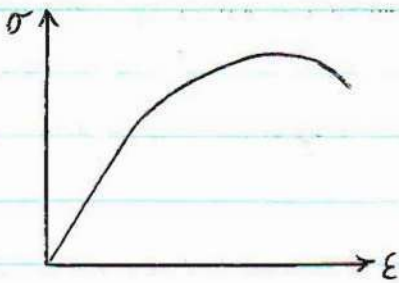
اگر نمودار  $\sigma - \epsilon$  را برای فولاد کم کربن رسم کنیم

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

کربن زدایی و نیتروژن زدایی کنیم، نمودار بصورت شکل



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



وجود داشته باشد ، نمودار آوی مشاهده می شود .

بنابراین می توان گفت این پدیده بدلیل وجود کربن و

نیتروژن است .

### واکنش نابجائی یا عیب نقطه ای :

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

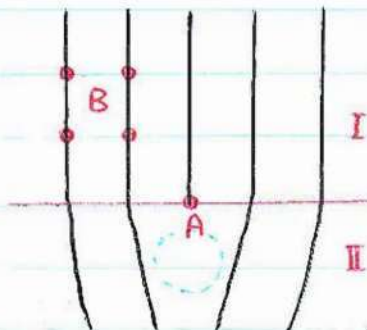
با هم واکنش می دهند . یاد افعه و یا جاذبه .

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 پائین خط نابجائی فرق می کند . در بالا انقباضی

و در پائین 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 نابجایی 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 منطقه ی 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 نابجایی یعنی هم غلبه بر

ه ( 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 . بجای آن دیگر این تعادل نسبی از جا گیر نمی اتم C یا N از

بین می رود . بنابراین به نوعی C یا N نسبت به نابجایی نیروی جاذبه دارد . به همین دلیل

نسبت به حرکت نابجایی مقاومت نشان می دهد و نابجایی را قفل می کند . در مورد نابجایی پیچی

I دافعه | ● N or C

II جاذبه ●

هم همیشه طور است .

در حالت I ، با اعمال نیرو ، نابجایی 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 نابجایی را رسم کنیم، اتمسفری از C و N در اطراف آن  
 وجود دارد. با اعمال تنش، خط نابجایی 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 نابجایی، انرژی پروانه طول آن

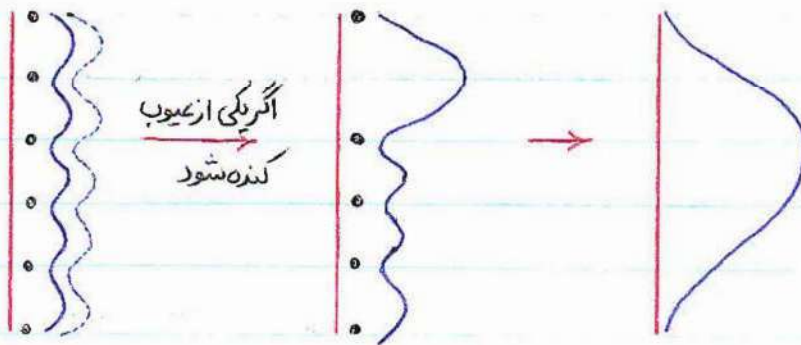
زیاد می‌شود در نتیجه کشش خطی هم زیاد می‌شود. عکس العمل این نیرو به عیب وارد

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 یکبار زیاد می‌شود دوباره

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

حرکت عاری خود را دنبال می‌کند.



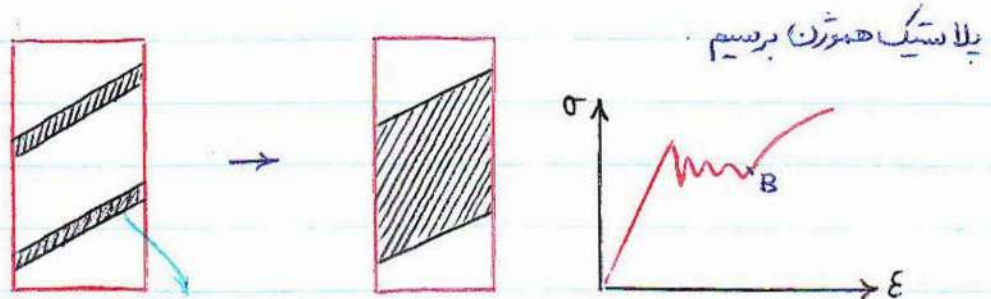
نابجایی در یک لحظه از اتمسفر ناخالصی رها می‌شود در نتیجه این کنده شدن موجب یک افت

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

در نمونه ، در یکسری از جاها تغییر شکل بوجود می آید . (عموماً در زاویه  $45^\circ$ ) چون

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

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



باندلور (Lüder)

علت اینکه در ابتدا یکسری از مناطق تغییر شکل می دهند این است که در همه جای قطعه اتم های

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

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

N و C که کنده شده بودند ممکن است دوباره در جایشان قرار گیرند و دوباره پدیده ی فوق

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

زیرا : سرعت نابجائی ها < نفوذ کربن و نیتروژن

strain aging (پیرکرنشی) :

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



86. 1. 21

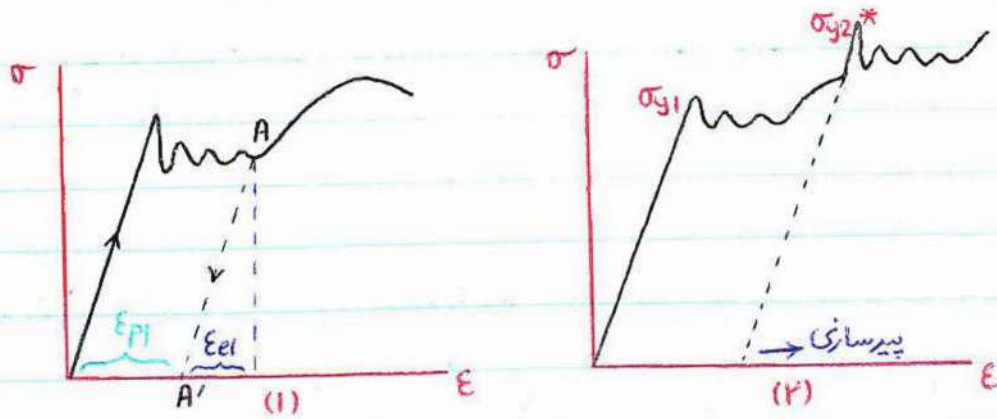
P (83)

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 لوور تکرار می‌شود.



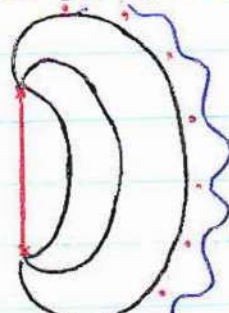
هم چنین ملاحظه می‌شود در حالت (2) تنش تسلیم نیز زیاد شده است.

86. 1. 26

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

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

از آنفسر N و C خارج شد، در اثر پیرسازی دوباره اتم‌های N و C زیر خط نابجایی قرار



می‌گیرد و نابجایی را قفل می‌کند.

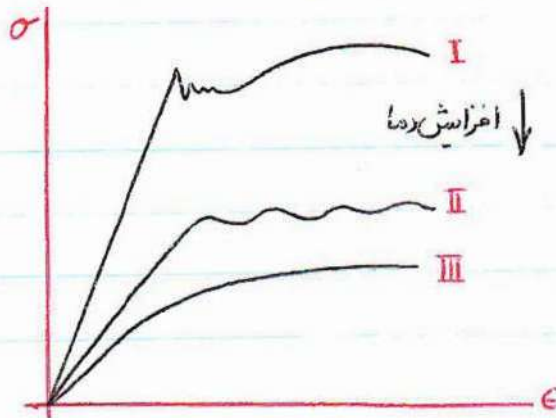
در A که نیرو بلافاصله دوباره اعمال می‌شود، اتم‌های C و N

فرصت نگرده 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 . باینک نورز 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 کرن بصورت زیر تغییر می کند :



وقتی نابجائی از اتسفر N و C رها شد ،

سرعت نابجائی بیشتر از سرعت نفوذ اتم ها - ی

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 متناوب ، نابجائی از اتسفر N و C رها می شود و دوباره

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

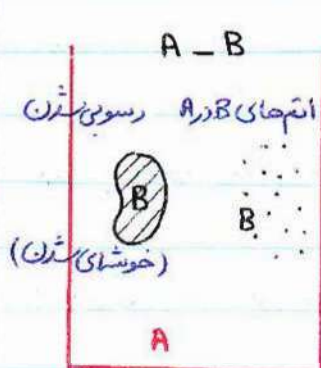


نمی افتد. مثلاً گفتیم که خلاص شدن نایجابی از اتم های N و C انرژی را بالا می برد زیرا حالت تعادل این است که این اتم ها زیر خط نایجابی قرار گیرد. درحالیکه نایجابی از اتمسفر این اتم ها را می کشد؛ این افزایش انرژی را تنش اعمالی تأمین می کند. اما دردهای بالا، افزایش انرژی را دردهای زیاد تأمین می کند. در نتیجه نایجابی بطور دائم از این اتمسفرها می کشد. وقتی دانستی نایجابی خیلی بالا است، دیگر نایجابی خود به خود قفل است و دیگر نیاز به اتم های C و N برای قفل کردن نداریم.

### سخت کردن در اثر محلول جامد:

محلول جامد یعنی اتم های ناخالصی که به دو صورت است: جانشینی - بین نشینی  
در مورد محلول جامد جانشینی بیشتر بحث می شود.

برای داشتن فاز دوم، اول باید محلول جامد ایجاد کرد. بنابراین محلول جامد اولین قدم در سخت کردن آلیاژهاست.



بعضی اوقات اتم های ناخالصی بصورت اتم به اتم در A می آید  
می شود و بعضی وقت ها 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  $\frac{70}{100}$  را در 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 یا 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 جامد 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 چیزی عناصر

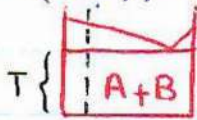


تایک حدی در هم مخلوند. بعبارتی مختصر نام مخلول نداریم.

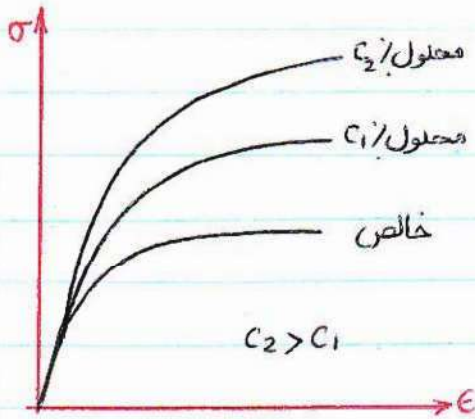
در نمودار زیر در ترکیب مشخص شده در محدوده‌ی (دمای)  $T$ ، در بسببیت دما ترکیب  $A$  و  $B$  عوض

نمی‌شود. در حالتیکه درجه آزادی در مناطق (دمازی) 1 است. و این با قانون فاز هاندلی خوانده.

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



\* ادامه بحث سخت شدن در اثر مخلول جامد :



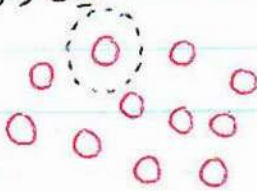
مخلول جامد، استحکام را افزایش می‌دهد. هر چه

درصد انحلال بیشتر باشد، استحکام بیشتر است.

اتم‌های حل‌شونده (فقطاً جانشین) با ناخالصی‌ها

واکنش می‌دهند. اگر اتم‌های ناخالصی بصورت

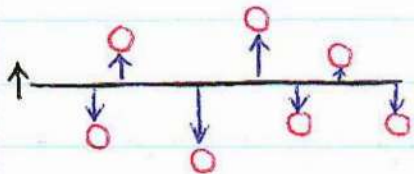
میدان کرنش



تصادفی پخش شده باشند :

هم ناخالصی‌ها و هم اتم‌های ناخالصی میدان کرنش

دارند. لزومی ندارد عیب نقطه‌ای (فقطاً روی خط ناخالصی



باشد. مهم این است که میدان‌های اسیان با هم بر خورد

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

اتم‌های بالای خط نابجایی، خط را به سمت بالا می‌کشند. و نابجایی را به سرعت به سمت خود

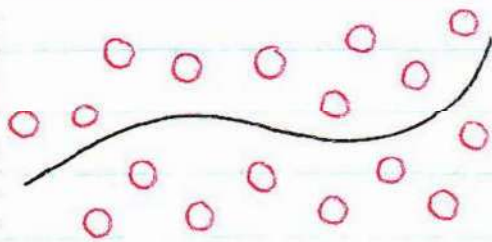
می‌کشند و اتم‌های پائینی این حرکت را کند می‌کنند. چون احتمال اتم‌های بالا و پائینی خط

نابجایی یکسان است، در نتیجه نیروی وارد بر خط نابجایی صفر است. و این استحکام بخشی

را توجیه می‌کند. برای دانه هم به همین ترتیب است.

حالت دوم. خط نابجایی در اتمسفر عبوب طوری قرار می‌گیرد که کمترین برخورد با این عبوب

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.

1 - اندازه‌ی دانه‌های دوناز با هم قابل مقایسه باشد

2 - فاز دوم بصورت ذرات ریز پخش شده باشند

تغییر شکل پلاستیک یک جسم دوفازه

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



بستگی دارد.



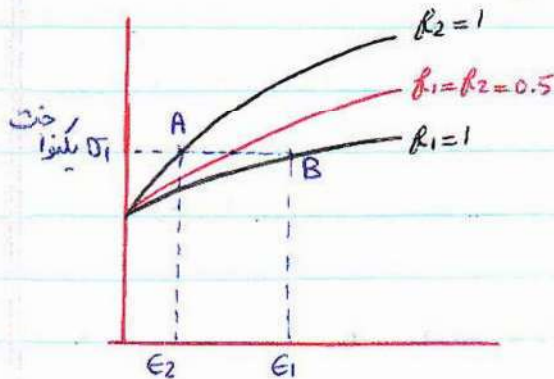
\* تغییر شکل پلاستیک یک جسم دو فازه فقط بر حسب درصد

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.



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

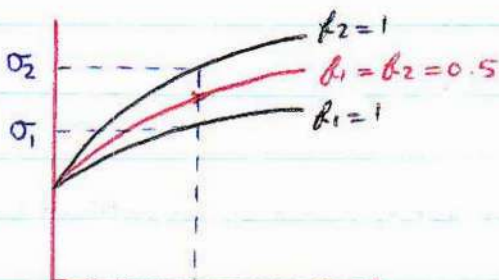
$\beta_i$ : درصد حجمی فاز  $i$

$\epsilon_i$ : کرنش فاز  $i$

$\sigma_1$  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:



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

$\sigma_i$ : تنش فاز  $i$

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



تشکیل رسوب چه تغییراتی 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

( $\beta$ ) و فاز اول ( $\alpha$ ) بوجود می آید؛ که انرژی را افزایش می دهد (انرژی تشکیل سطح) این افزایش

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

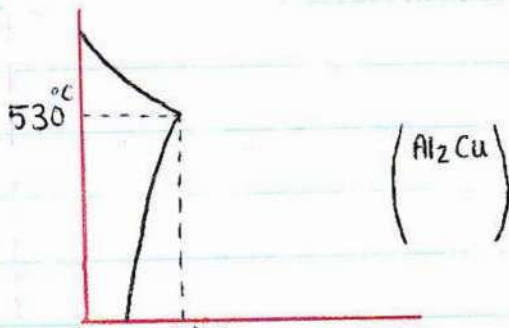
با  $r^2$  و افزایش انرژی متناسب است با  $r^2$ . بنابراین در هر دو مای این تغییرات انرژی به این سیستم

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

اندازه ی رسوب به دمای سیستم (دمای پیرمختی 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.



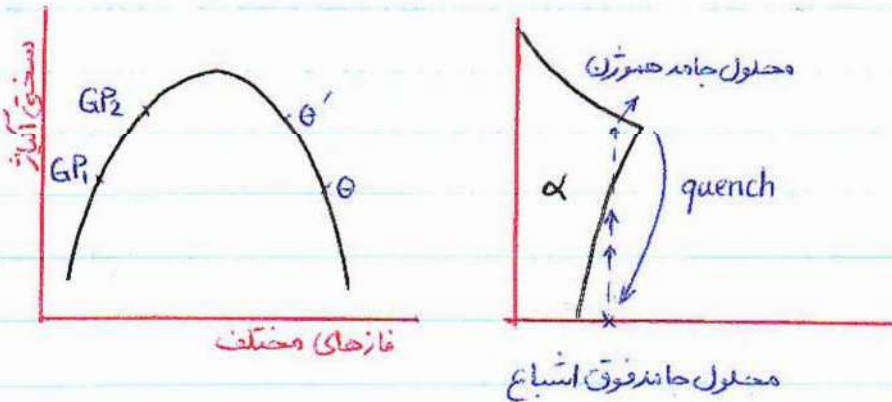
مراحل تشکیل رسوب از محلول جامد فوق اشباع :

Guinier - Preston



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

نسبتاً پایدارند .



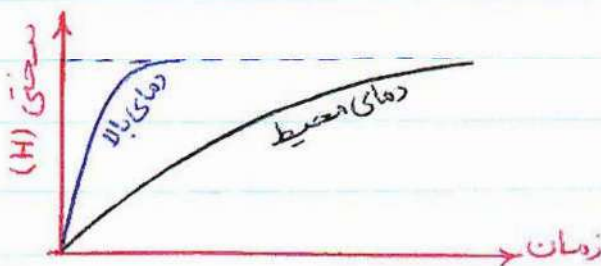
در مسیر رفت حرارت دادن نمی توان رسوبها را مطالعه کرد . زیرا فازهای گوناگونی وجود دارد

و ترتیب مشخصی ندارد .

اثر دما را روی نمونه quench شده بررسی می کنیم .

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

حدی بالا تر نمی رود .



در عملیات حرارتی تأثیر دما خیلی

بیشتر از زمان است . مثلاً اگر دما را  $50^{\circ}C$  زیاد کنیم، زمان سخت شدن نصف می شود .

86. i. 28

P(92)

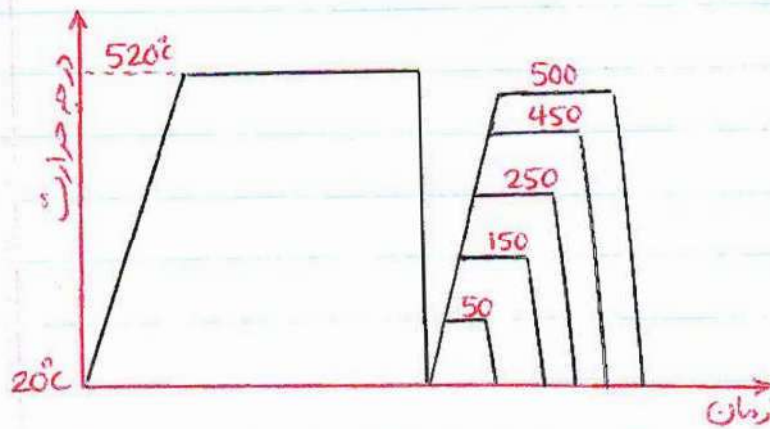
حال 5 نمونه Al-5%Cu در نظر می‌گیریم که در دمای 520°C به مدت 2 ساعت در کوره

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

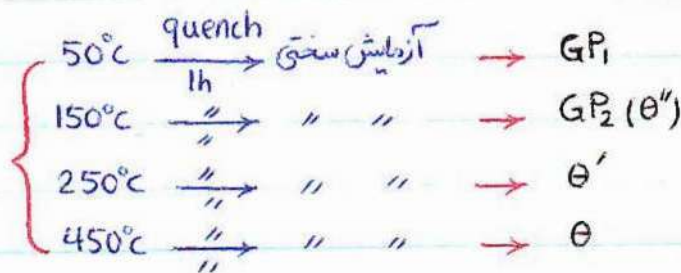
5 محلول جامد فوق‌اشباع داریم. نمونه‌ی اول را در همین دمای 20°C نگه می‌داریم. نمونه‌ی

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:



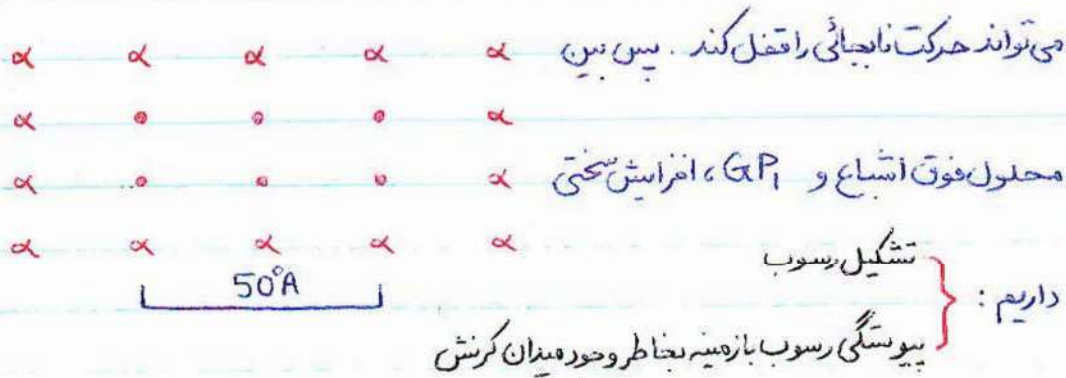
GP<sub>1</sub>: نسبت به Cu غنی بوده و ذرات Al با ابعاد خیلی کوچک (50Å) در داخل

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

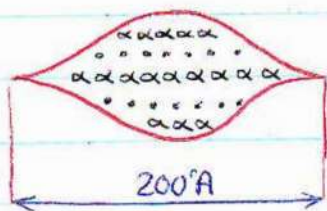
Cu و Al یکسان نیست، میدان کرنش وجود خواهد داشت. (در اطراف رسوب)



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



$GP_2$  : لایه‌ای از مس و  $Al$  داریم . ابعاد این رسوب در حدود  $200\text{\AA}$  است .



از  $GP_1$  به  $GP_2$  افزایش سختی داریم :

بزرگ شدن رسوب ها } میدان کرنش پیوستگی (کوئورنتی)

$\theta'$  : هنوز سختی بالاست . این رسوب‌ها ابعاد بزرگتری دارند ( $1000\text{\AA}$ ) . در این حالت

شروع از دست دادن پیوستگی بازه‌ی است . یعنی از این مرحله به بعد ، پیوستگی شبکه‌ی

رسوب بازه‌ی کاهش می‌یابد . افزایش سختی ناشی از دو عامل است :

بزرگ شدن رسوب } پیوستگی ضعیف (با اندازه‌ای کوئورنتی)

رسوب غیر پیوسته مقاومت بیشتری در برابر حرکت نابجائی دارد .

$\theta$  : (فاز متعادله ،  $450^\circ$ ) 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

زیاد 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 ابعاد آن یک حالت اپتیمم 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 رقیق شدن (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  
و اکثراً نایبجائی با رسوب  
2- رسوب غیر پیوسته باز زمینه

در مورد رسوب پیوسته باز زمینه، جفت کرسیالوگرافی رسوب و زمینه تقریباً یکی است. در نتیجه


نایبجائی 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، دوززدون رسوب یا **looping** مطرح است.

1- در ابتدا یک حالت قفل شدگی ایجاد می شود اما به دلیل آنکه ذرات رسوب، نایبجائی از رسوب عبور

می کند. نتیجه این عبور چیست؟

با دور شدن نایبجائی رسوب بریده می شود.



یعنی یک لغزش در صفحات رسوب دیده می شود.

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

نایبجائی پله ای شکل مثل بالا می شود.)

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

می یابد. در نتیجه نایجائی های بوری سطح بیشتری را بایر طی کند. بجای رقی میدان گسترده تری

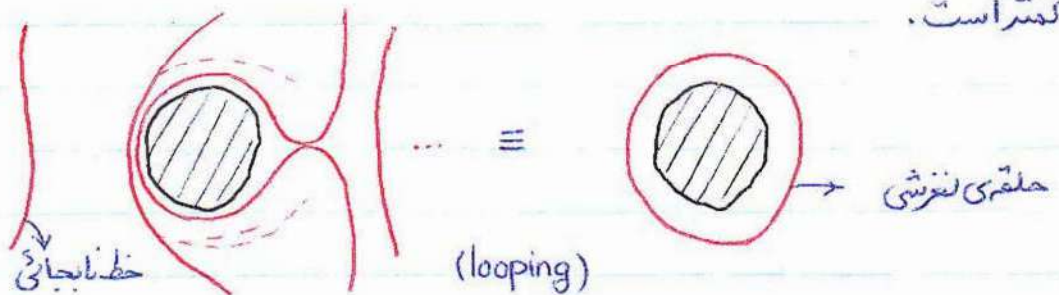
را بایر طی کند.

## 2- رسوب غیر پیوسته باز مینه :

در این حالت هیچ ارتباطی بین رسوب و زمینة 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 ی نایجائی دور رسوب بوجود می آورد. در نتیجه نایجائی بوری رسوب

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

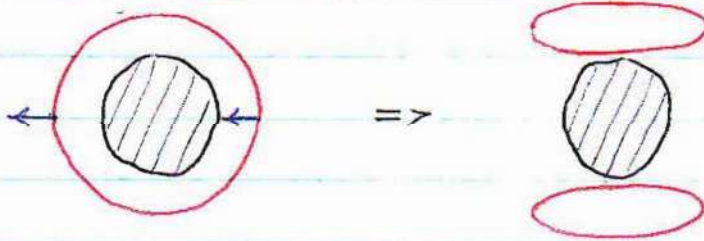
نایجائی یک میدان کرنش است که دور رسوب وجود دارد. اگر این میدان کرنش بالا تر برود ممکن

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

مکانیزمی این رسوب باید از حلقه دور نشود.



نایبجائی چه بارسوب نیروی دافعه داشته باشد و چه جاذبه، دور رسوب حلقه ایجاد می کند. بنا بر این وقتی که حلقه بشد، اگر یک طرف، نیرو جاذبه باشد، طرف دیگر دافعه خواهد بود. در اینصورت این حلقه، به دو حلقه می منشوری تبدیل می شود.



در واقع این نیروها، خط نایبجائی را به گونه ای حرکت می دهند که یک حلقه به دو حلقه تبدیل می شود. در اینصورت رسوب راحت تر می شود. و انرژی کاهش می یابد. با این حال، این حلقه می دو پای پائین ترین سطح انرژی نیست. اما انرژی شروع آن کمترین است. بجای آن با کمترین انرژی شروع می شود اما کمترین انرژی 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 پایین 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 تقویت کننده: 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 همین، هم می‌زنیم و در حین آن ذرات سخت  $SiC$

را به آن اضافه می‌کنیم. بعد مذاب را در قالب ریخته و سپس  $Al + SiC$  درست می‌آید.

البته خود این ذرات باید پیش گرم شوند تا احتلاط راحت تر صورت گیرد؛ چون دمای مذاب

بالاست؛ هدف این است که فاز  $SiC$  توسط مذاب تر شود.

روش دیگر: (Squeeze Casting)

در این روش پری فورم ذرات یا الیاف را در مرحله اول درست می‌کنند. مثلاً برای الیاف:

ابتدا الیاف را با فشارده کردن به درصدی می‌سازیم که مورد نظر است. مثلاً 30٪ الیاف و بقیه

چیزهای دیگر است، از جمله هوا. این پری فورم ممکن است از جنس ذرات باشد. در



این حالت، ذرات رافشرده می‌کنند و از چسب کلونیتری هم استفاده می‌کنند. این چسب

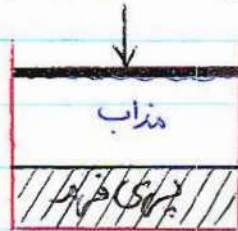
پف می‌کند. در نتیجه یک اسفنج از ذرات بدست می‌دهد. در دما و فشار بالا این چسب

تبخیر می‌شود.

بعد از اینکه پری فورم آماده شد، آنرا در انتهای محفظه قرار می‌دهند. به طرف چیدسوراخ

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.

**مقاله پوری پور:**

مثلاً ۱۰ درصد پور SiC و ۹۰ درصد پور Al را مخلوط می‌کنیم تا توزیع یکنواخت داشته

باشند. سپس پرس می‌کنیم و بعد هم زینتر انجام می‌دهیم. (در یک کوره حرارت می‌دهیم

بشرطی که ذوب نشود اما نفوذ هم راحت باشد.)

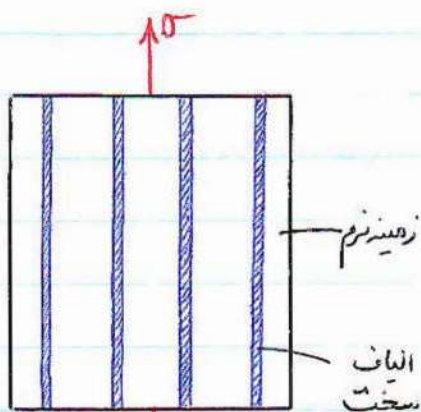
در واقع هدف رسیدن به دانسیته‌ی تئوری است. زیرا به هر حال مقداری حفره تشکیل می‌شود.

**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 را می‌توانیم جدا کنیم. در نتیجه اختلاف ضریب انبساط حرارتی بین زره و محیط وجود دارد. بنابراین تعدادی حلقه‌های نایجائی ریا نایجائی در اطراف زره بوجود می‌آید. زیرا از دمای بالا به دمای محیط می‌رسیم. بنابراین اطراف زره، دانسیته‌ی نایجائی بالاست و این خود باعث افزایش استحکام می‌شود. بنابراین هم خود زره و هم افزایش دانسیته‌ی نایجائی‌ها، استحکام را بالا می‌برد. به همین علت، اگر درصد ذرات زیاد شود، تندی بالا برده و کارپذیری کم است. یک کامپوزیت زمانی ایده‌آل است که آرایش نایجائی‌ها در اطراف زره با هم تداخل نداشته باشد. بنابراین برای استقاره از کامپوزیت، دانسیته‌ی ذرات محدود است. اگر آرایش نایجائی‌ها در اطراف زره با هم تداخل داشته باشند، تری بیشتر بالا می‌رود. مثل اینکه یک فلز را خیلی تغییر شکل دهیم؛ در واقع ترد خواهد شد. برای همین باید یک اپتیمم را در نظر گرفت. این نایجائی‌ها، نایجائی‌های لازم هندسی هستند.

### استحکام بخشی توسط الیاف:



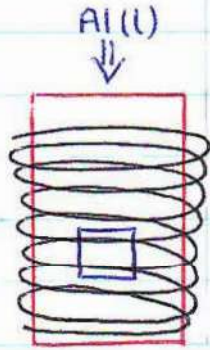
الیاف در یک جهت بوده و اعمال نیرو نیز در

جهت الیاف است.



در روش Squeeze چون الیاف فشرده شده اند، در یک جهت نیستند. اما می توان

کامپوزیت را طوری ساخت که الیاف در آن موازی باشند:



دور یک ورقه فولادی کلفت، الیاف می پیچیم.

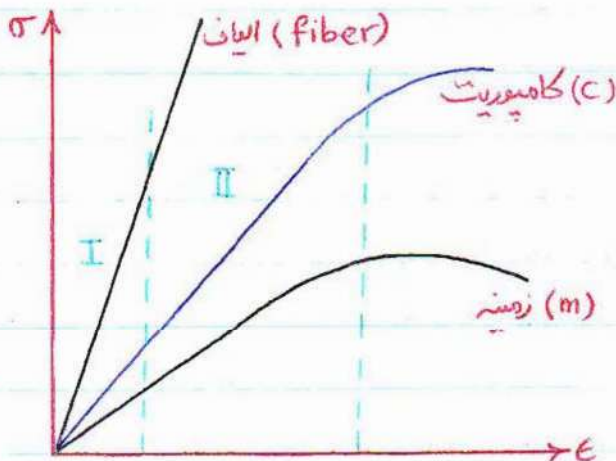
بعد از بالا مذاب (مثلاً Al(l)) را می ریزیم. در

سطح نشان 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 دوفاز است و می توان منحنی تنش - کرنش آن را رسم کرد. چند 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 باشند،

کامپوزیت می شکند . اگر الیاف مثل فولاد باشد می توان وارد منطقه ی III شد .

IV . الیاف شکسته شود . 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 .

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad \text{در صد حجمی}$$

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 توی است ، الیاف ، فاز زمینه را هم با خود به حالت اول می آورد . یعنی زمینه یک نیروی

فشاری را تحمل می کند .

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma'_m (1 - V_f)$$

در صد حجمی زمینه

$\sigma_c$  : استحکام کششی کامپوزیت در محدوده ی II .

$\sigma_f$  : استحکام کششی الیاف  $V_f$  : در صد حجمی الیاف

$\sigma'_m$  : تنش است که زمینه در آن لحظه تحمل می کند . چون الیاف نمی گذارند زمینه به استحکام کششی



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.

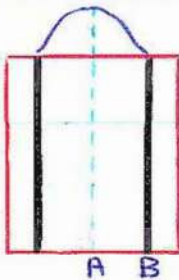
$$V_f > V_{cr} \Rightarrow \sigma_c > \sigma_u \quad ; \quad V_f = V_{cr} \Rightarrow \sigma_c = \sigma_u$$

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma'_m (1 - V_f) = \sigma_u \quad \Rightarrow \quad V_{cr} = \frac{\sigma_u - \sigma'_m}{\sigma_f - \sigma'_m}$$

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 بسرت 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 که 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.

$$\sigma_c = \sigma'_m (1 - V_F) = \sigma_u (1 - V_F) \quad : V_F < V_{min}$$

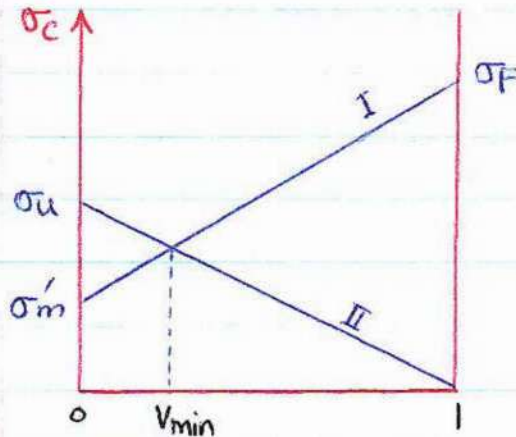
$\sigma_F$  صفر است. ملاحظه می شود  $\sigma_c$  از  $\sigma_u$  کمتر است.

$$\sigma_c = \sigma_F V_F + \sigma'_m (1 - V_F) \quad : V_F > V_{min}$$

بیش 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:



$$\left\{ \begin{array}{l} V_F = 0 \rightarrow \sigma_c = \sigma'_m \\ V_F = 1 \rightarrow \sigma_c = \sigma_F \end{array} \right.$$

$$\text{I) } \sigma_c = \sigma_F V_F + (1 - V_F) \sigma'_m$$

$$\text{برای خط II: } \sigma_c = \sigma_u (1 - V_F)$$

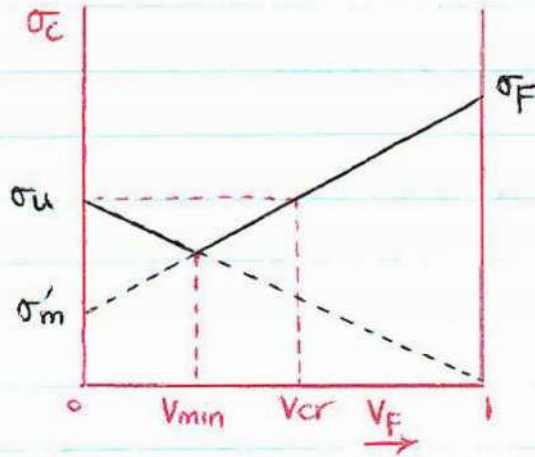
$$V_F = 0 \rightarrow \sigma_c = \sigma_u \quad ; \quad V_F = 1 \rightarrow \sigma_c = 0$$

بین  $V_{min}$  و  $V_{cr}$  با افزایش درصد الیاف، تازه استحکام به  $\sigma_u$  می رسد که هنوز مفید

دهی باشد. از  $V_{cr}$  به بعد، افزایش استحکام مفید (بالای  $\sigma_u$ ) شروع می شود.

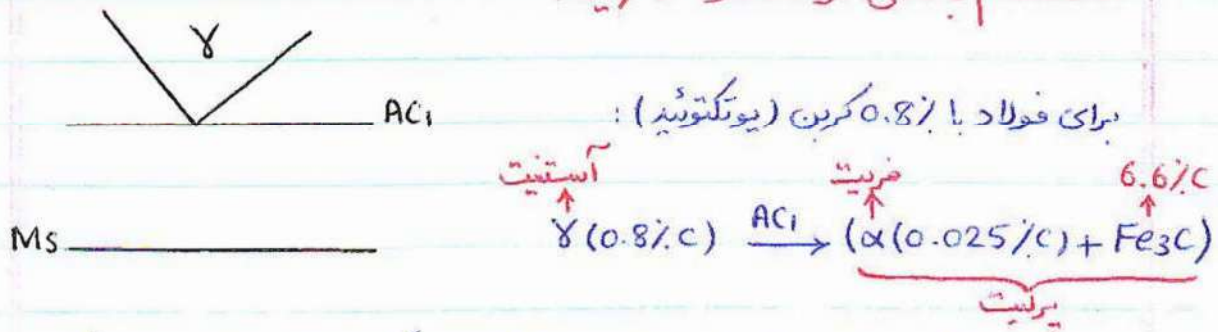


از طرف دیگر ایف زیاری هم سردی را بالا می برد و مفید نمی باشد.



منحنی در واقع خطوط پیرنگ می باشد.

استحکام بخشی توسط فاز مارتنزیت:



استحکامی لا به  $\alpha$  وابسته به نفوذ است. زیرا توزیع اتم کربن عوض شده است. یک فاز

کربن کم تر دارد ( $\alpha$ ) نسبت به فاز دیگر ( $\gamma$ ). یعنی اتم های کربن باید یکجا جمع شوند تا

سختی ( $Fe_3C$ ) 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 کوئنچ شود:

آهن از F.C.C به B.C.C تبدیل می‌شود. هم‌چنین نفوذ انجام نمی‌گیرد.

در دماهای بالا تا  $2/3$  محلول است F.C.C :

B.C.C: حداکثر 0.025٪ کربن در خود حل می‌کند

با کاهش درجه حرارت، میزان حلالیت به شدت کاهش می‌یابد. در نتیجه این اتم‌های

اضافی کربن موجب سخت شدن مارتنزیت می‌شود. سختی مارتنزیت بدلیل دانسیته

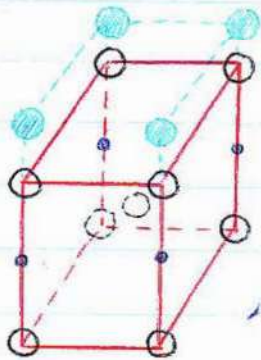
بالای نایجابی ما هم می‌باشد. (بدلیل کوئینچ کردن) در تبدیل مارتنزیت نفوذ اصلاً تأثیری

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.

در واقع بخاطر قرار گرفتن اتم‌های کربن در موقعیت‌های مشخص

در یک جهت فواصل آبی زیاد شده است. خود این تغییر ساختار

استحکام را بالا می‌برد. این انبساط شبکه تنها در یک جهت است نه در همه جهت



توجیه دیگر: اتم‌های کربن بصورت خوشه‌ای در می‌آیند. مثل منطقه‌ی GP.  
 در کوشش کردن، 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 عیوب 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 بازبازی شود و به

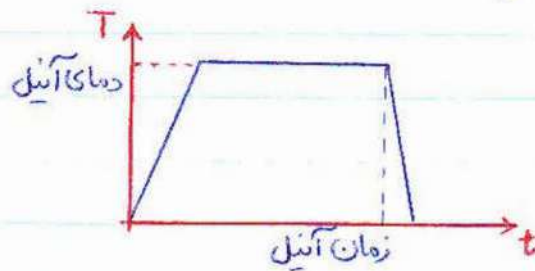
حالت تعادل برگردد. برگشتن به حالت تعادل چند مرحله دارد:

1- بازبازی: اولین قدم در برگشتن به حالت تعادل است. معمولاً برای عیب نقطه‌ای است.

در در ماه‌های پائین هم بازبازی شروع می‌شود.

2- تبلور مجدد

سیکل 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.

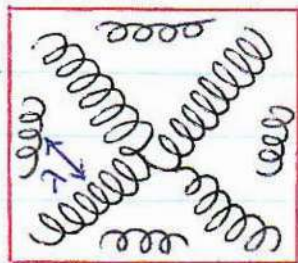
کار سرد در واقع بصورت نسبی است. AI تجارتی در دمای محیط کار سرد است اما AI

خالص در دمای محیط کار سرد نیست.

\* ممکن است در همین تغییر شکل پلاستیک نیز بازیابی انجام شود.

کار سرد یعنی افزایش دانسیته‌ی نایجائی‌ها، یعنی در محل‌های 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.



$\lambda$  : فاصله‌ی هندسی لغزش . یعنی (ریک فاصله‌ی خاص) ، نابجائی‌ها دیگری نمی‌توانند بهم

نزدیک شوند و  $\lambda$  تقریباً ثابت می‌ماند .

کار سرد نتایجی دارد که عبارتست از :

افزایش استحکام - افزایش تری - افزایش سختی - کاهش شکل‌پذیری و بعباری

دانسیته‌ی نابجائی‌ها بالاست .

از نظر خواص فیزیکی ، افزایش مقاومت الکتریکی نتیجه‌ی کار سرد است .

بدلیل اینکه کار سرد اثری را افزایش می‌دهد ، جسم دیگر تعادل مکانیکی ندارد .

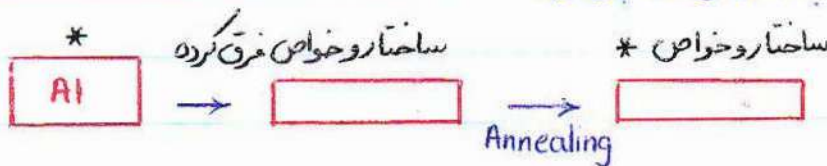
**برگرداندن به حالت اول :** این برگشت به دما و زمان بستگی دارد . این برگشتن توسط عملیات

حدارتی (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

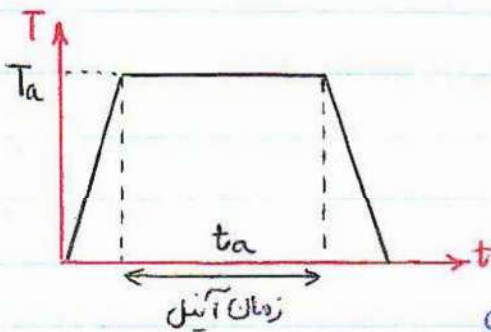
بر ذنبی گردد بلکه خواص آن برمی‌گردد .



آیا ساختار و خواص مثل AI اولیه است ؟

ساختار، همان ساختار Al اولیه می شود اما اندازه بزرگی آن فرق می کند. معبارتی خواص اولیه Al را پیدا می کند که تغییر شکلی پلاستیکی نداده است؛ انظار Al دیگری داریم که خواص Al اولیه را ندارد اما مانند Al می ماند که تغییر شکل پلاستیکی پیدا نکرده است. در واقع اندازه دانه های این Al با Al اولیه فرق می کند. مثلاً اندازه دانه های Al اولیه در حد mm بوده ولی اندازه دانه های Al بعد از annealing در حد  $\mu\text{m}$  است.

آینل کلمه ای عام است. بسته به هدفی که داریم، فرایند آینل کردن عوض می شود. ( $t$  و  $T$ )



سیکل آینل کردن:

مثلاً برای آلیاژ Ni-Cu که دچار زنگارگسیون

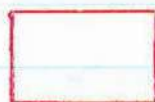
کریستالی (coring) شده است یک فرایند برای

آینل داریم (هموزن کردن)

تنش زدایی خودی نوع annealing است. (ابتدا گرم کرده سپس سرد می کنیم تا مخاطرات

کاهش دانسیته ی نابجایی، نرم تر شود.)

آینل کردن مورد نظر ما، رگریستالیزاسیون (تبلور مجدد) است: (Recrystallization)



تغییر شکل  
پلاستیکی



دانسیته ی نابجایی بالاست و انرژی و بی نظمی نیز بالا می باشد.



مراحل تعبید تبلور:

1- بازیابی ← عیوب نقطه‌ای به حالت اولیه برمی‌گردند.

2- بوجود آمدن جوانه‌های جامد جدید ← دما و زمان اثر دارد.

3- رشد جوانه‌های جدید ← " " " "

4- تشکیل دانه‌بندی 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 تراست یک جوانه جدید بوجود می‌آید که کمترین عیب را دارد. مثل

جوانه‌های انجماد. چون انرژی بالاست امکان ایجاد جوانه وجود دارد.



حالت دوم. مرزدانه از قسمت‌های با دانسیته‌ی

ناجائی کمتر به سمت عیوب بالا حرکت می‌کند و

یکسری مناطق بی‌عیب ایجاد می‌شود.

3 ← بارشد این جوانه‌ها دانه ببری جدید شروع می‌شود. اندازه و جهت این دانه ببری

به دانه ببری قبلی ربطی ندارد. در این مرحله خواص مکانیکی بازیابی می‌شود.

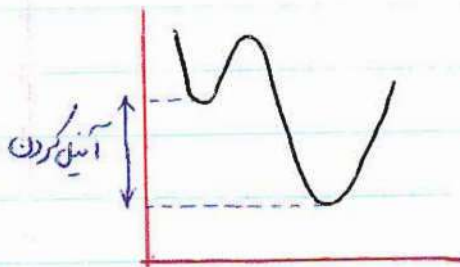
4 ← با ادامه دادن آئیل یعنی حرارت دادن، دانه ببری موجود رشد می‌کند.

کاهش انرژی → حرارت دادن → افزایش انرژی → تغییر شکل پلاستیک

مقداری از این حرارت پس داده می‌شود و مقداری از آن با اندازه‌ی انرژی تغییر شکل پلاستیک

است. در واقع ما انرژی مصرف نمی‌کنیم (انرژی در جسم ذخیره نمی‌شود) در واقع این

انرژی حرارتی، انرژی آکتیواسیون است. عبارتی انرژی هم داریم تا انرژی اش را پس دهد.



جوانه های جدید در جاهای بوجود می‌آیند که حالت

خاصی دارد. تعداد جوانه های جدید وابسته به

درصد تغییر شکل پلاستیک است.

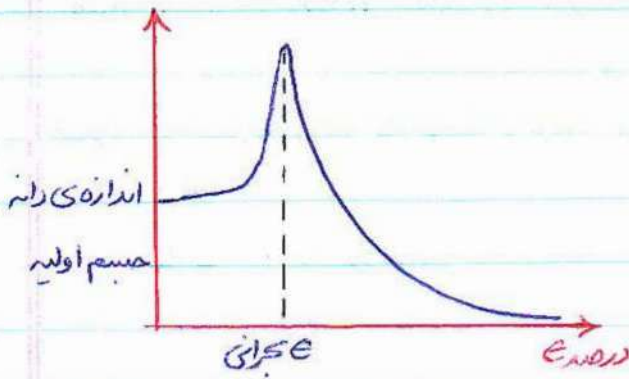
بی نظمی متناسب است با درصد تغییر شکل پلاستیک. پس احتمال جوانه زنی رابطه مستقیم

با بی نظمی دارد. هر چه تعداد جوانه های جدید بیشتر شود، اندازه ایشان کوچکتر می‌شود. پس

اندازه‌ی دانه های جدید رابطه عکس با درصد تغییر شکل پلاستیک دارد.

در نمودار اندازه‌ی دانه ها بعد از آئیل کردن - درصد ۵ بصورت زیر است:





تاقبل از  $E$  بحرانی، اندازه‌ی دانه‌های

جسم تغییری نکرده است. در  $E_{cr}$

اولین جوانه‌ها بوجود می‌آید.

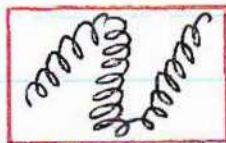
از  $E_{cr}$  به بعد، کاهش اندازه‌ی دانه

مشاهده می‌شود. درصد  $E$  باید از  $E_{cr}$  بیشتر باشد تا تجدید تبلور یا آئیل کردن

صورت گیرد. تاقبل از  $E_{cr}$ ، پلی‌گونیزاسیون صورت می‌گیرد. پلی‌گونیزاسیون به

معنی چندشکلی شدن است. با حرارت دادن نایجائی‌ها فرم خاصی می‌گیرند. یعنی نایجائی‌ها

به تعادل مکانیکی می‌رسند. بجای نایجائی‌ها در جهائی قرار می‌گیرند که کمترین نیرو را به



حجم وارد کنند.

بین ترتیب منزه‌های فرعی فرم می‌گیرند.

پس: قبل از  $E_{cr}$  پلی‌گونیزاسیون داریم و بعد از  $E_{cr}$  تبلور مجدد داریم.

**تذکر:** در شرایط مساوی یعنی زمان و دمای آئیل یکسان، جسمی که تغییر شکل بیشتری

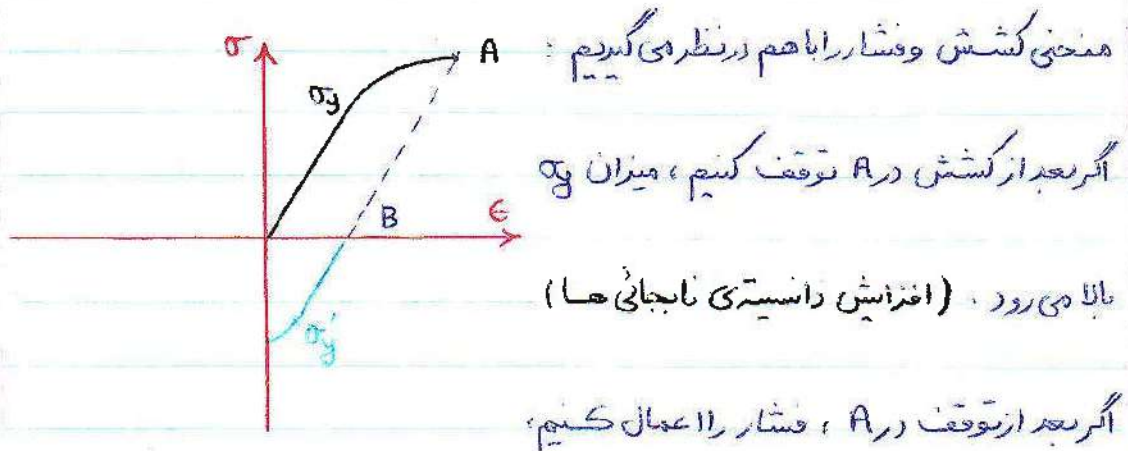
دارد، دانه‌های ریزتری دارد.

اثر دما در آئیل کردن خیلی بیشتر از زمان است. دما اگر 50° زیاد شود، زمان نصف می‌شود.

میزان دما و زمان آنیل کردن مخصوصاً دما، به خلوص نیربستگی دارد. اگر دمای آنیل کردن Al تجاری،  $450^{\circ}\text{C}$  باشد برای Al خالص،  $200^{\circ}\text{C}$  کافی است. پس خلوص هم در شرایط آنیل تأثیر دارد.

### اثر بویستینگر:

وابسته بودن تغییر شکل به جهت اعمال نیرو را نشان می دهد.



حجم خیلی راحت 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،  $\sigma_y$

بالا رفته است. علت چیست؟ تنش های پسماند.

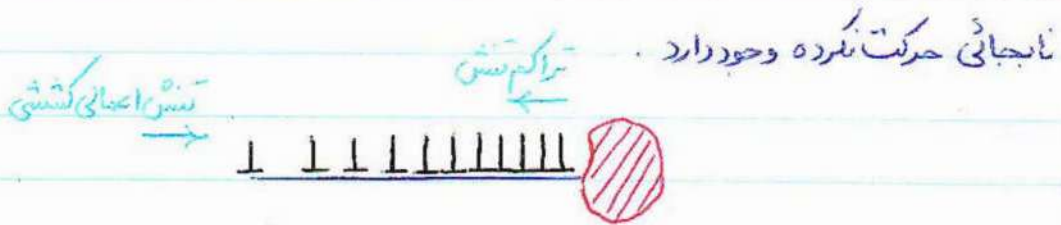
قبلاً گفتیم حرکت ناچگانی ها ادامه می یابد تا به یک مانع برسند. در این صورت در اثر افزایش

تراکم ناچگانی ها، نیروی خلاف جهت، تنش اعمالی بوجود می آید.



حال اگر در جهت عکس تنش وارد شود، نابجائی‌ها برنخواهندگشت زیرا همواره با اعمال تنش طول نابجائی 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 نابجائی‌ها راحت‌تر می‌توانند حرکت کنند.

هم چنین می‌توان گفت در جهات خاصی تنش به میزان بحرانی نرسیده است و هنوز



## Fracture:

## شکستگی:

عبا رست از جدا شدن یا فرود آمدن یک قطعه به چند تکه در اثر یک تنش استاتیکی در دمای پایین نسبت به نقطه‌ی ذوب.

دو نوع شکستگی داریم: ترد و نرم. دسته‌بندی بر اساس قابلیت تغییر شکل پلاستیک انجام می‌شود. مواد نرم قبل از شکستگی تغییر شکل پلاستیک انجام می‌دهند و انرژی زیادی جذب می‌کنند.

نرمی ممکن است با درصد ازوبار طول در درصد کاهش سطح مقطع نشان داده شود. نرمی تابعی از دمای ماده، نرخ کرنش، و حالت تنش است.

مزایای شکستگی در پانچ به اعمال تنش، دو مرحله دارد: شکل‌گیری ترک و توسعه آن. نوع شکستگی به مکانیزم انتشار ترک بسیار وابسته است.

شکستگی نرم توسط تغییر شکل وسیع در نزدیکی ترک در حال رشد، شکل می‌گیرد. علاوه بر این فرآیند با افزایش طول ترک به آرامی اتفاق می‌افتد. (ترک پایدار) این بدان معنی است که تا هنگامیکه تنش اعمالی ثابت است، ترک گسترش نمی‌یابد. علاوه بر این بطور معمول گواهی تغییر شکل محسوس در سطح شکستگی است.

برای شکستگی ترد، ترک هادون کوچکترین تغییر شکل پلاستیک، بسیار سریع انتشار می‌یابد. (ترک پایدار) و توسعه ترک به یکباره شروع می‌شود و خود بخود بدون تغییر در اندازه‌ی تنش اعمالی گسترش می‌یابد.

به دو دلیل همواره شکستگی نرم برای ما برجح است: شکستگی ترد بطور آبی و فاجعه‌بار بدون هشدار اتفاق می‌افتد که این ناشی از انتشار سریع ترک است. از طرف دیگر در شکستگی نرم تغییر شکل پلاستیک به ما هشدار می‌دهد که شکستگی در حال اتفاق افتادن است. دوم آنکه چون مواد نرم، چقرمه‌تر هستند انرژی کرنشی بیشتری نیاز است تا شکستگی نرم اتفاق افتد.

اکثر آلیاژها، نرم در سرامیک‌ها ترد و پلیمرها نرم و ترد (گاهی نرم و برضی ترد) هستند.



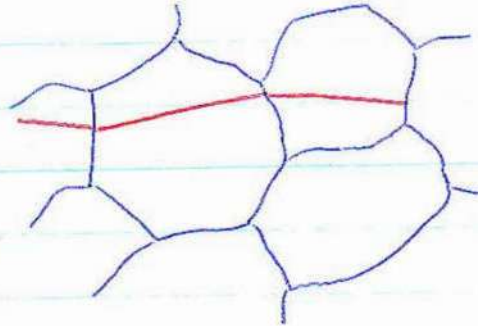
## شکست ترد:

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 کریستالوگرافیک معین ناشی می شود که این فرایند، cleavage نام دارد. این نوع شکست را درون دانه ای می نامند. بدلیل اینکه ترک های شکست از میان دانه ها عبور می کنند. بطور ماکرو اسکوپ، سطح شکست می تواند دانه دانه یا برش برش باشد که این ساختار ناشی از تغییر در صفحات (جهت صفحه) از یک دانه به دانه دیگر است.

در برخی آلیاژها، انتشار ترک در مرز دانه ها صورت می گیرد. (شکست مرز دانه ای)



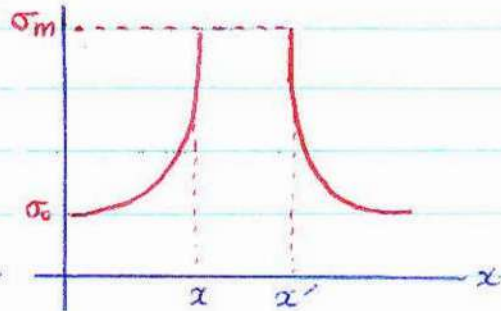
## تمرکز تنش:

مقاومت در برابر شکست یک ماده ی چانه د، تابعی است از نیروهای چسبندگی موجود بین اتم های آن ماده. بر این اساس استحکام چسبندگی تقریبی یک چانه د الاستیک ترد، حدود  $\frac{E}{10}$  تقریب زده شده است. (E: مدول الاستیسیته ی ماده)

اختلاف بین مقدار تئوری و تجربی مقاومت در برابر شکست، وجود صفحات یا ترک های بسیار ریز

می باشد که همواره در رابطه 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  $\sigma_0$  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 ( $\sigma_m$ ) برابر است با:

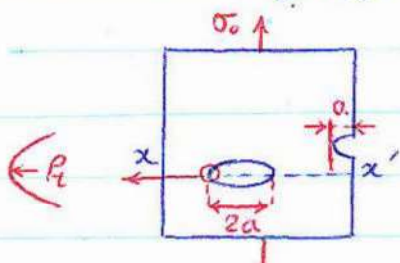
$$\sigma_m = 2 \sigma_0 \left( \frac{a}{r_t} \right)^{1/2}$$

$\sigma_0$ : تنش اعمالی نامی  
 $r_t$ : شعاع انحنا در رأس ترک  
 $a$ : طول ترک واقع در سطح قطعه یا نصف طول ترک داخلی

برای ترک های ریز نسبتاً بلندی که شعاع انحنای کمی دارند:  $\left( \frac{a}{r_t} \right)^{1/2}$  عددی نزدیک است:

$$K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 2 \left( \frac{a}{r_t} \right)^{1/2}$$

$K_t$ : ضریب تمرکز تنش. ← معیاری برای مقدار شدید تنش خارجی  $\sigma_0$ .





تشدید تنش تنها در این ترک های میکرو سکوپ محدود نمی شود بلکه این تشدید ممکن است در ناپایداری 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:

$$\sigma_c = \left( \frac{2E\lambda_s}{\pi a} \right)^{1/2}$$

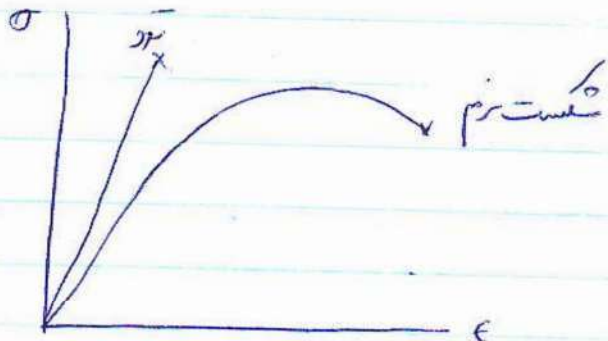
اثری سطح:  $\lambda_s$  or  $\lambda_s$

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 مینواختن تر تنش در مجاورت عوامل بالا برنده تنش در وجود آمدن max ضرب ترک تنش به مقدار کمتر از مقدار تئوری آن می شود.

(Fracture)

شکست :

بسته به اینکه تغییر شکل پلاستیک انجام شود یا نه در نوع شکست : نرم - ترد



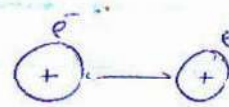
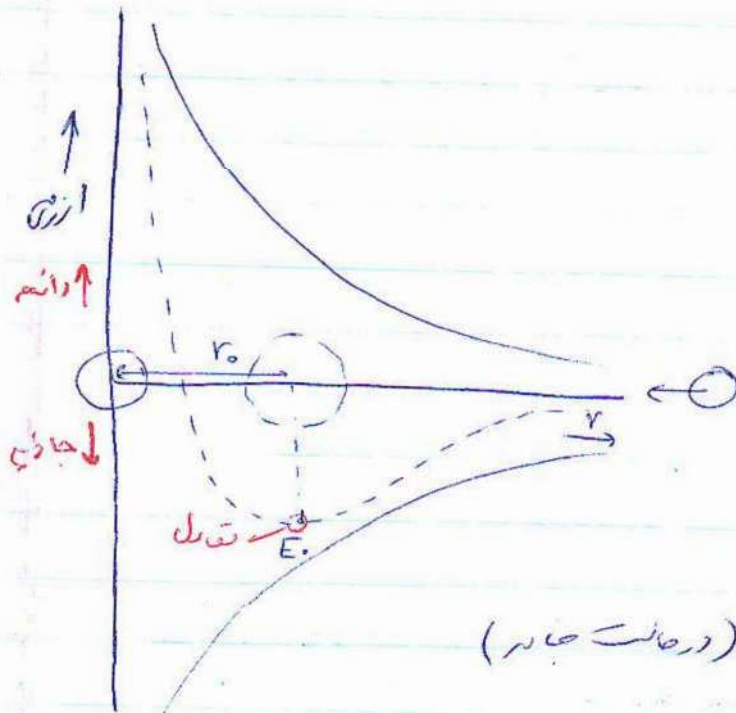
شکست ترد ناگهانی است

شکست نرم قبل از آن necking

است. شکست ترد حفره ساز است

در جهت بیستری دارد شکست حد این سطح طولی از هم ر

تشن تنوری شکست :



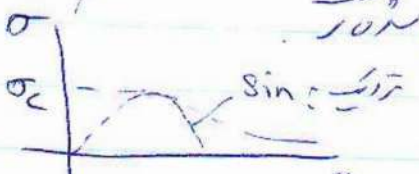
فاصله بین یون ها در آن کرون

رابطه بین آن کرون ها در یون ها

در  $r_0$  از آنجا که min است

جمع نیروی جاذبه را در آن نقطه - (در حالت جاذبه)

این فاصله برابر است با فاصله بین یون ها در حالت تعادل



فاصله بین یون ها در آن

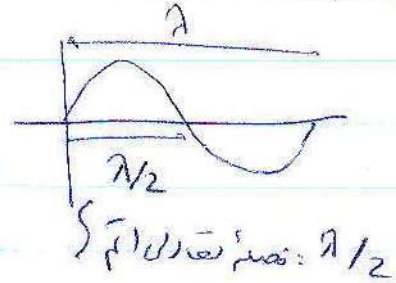


P(2)

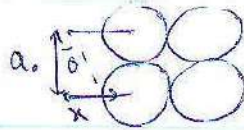
$$\sigma = \sigma_c \sin \frac{2\pi u}{\lambda} \approx \sigma_c \frac{2\pi u}{\lambda}$$

$$\frac{d\sigma}{du} = \frac{2\pi\sigma_c}{\lambda}$$

$$\sigma = E \epsilon$$



مکروبیات



تنگی از این ها به اندازه x جا می آید

$$\tan \theta \sim \gamma = \frac{x}{a_0}$$

$$\frac{d\sigma}{du} = \frac{E}{a_0} \quad ; \quad \sigma = \frac{E x}{a_0}$$

$$\Rightarrow \frac{2\pi\sigma_c}{\lambda} = \frac{E x}{a_0} \rightarrow \boxed{\sigma_c = \frac{E \lambda}{2\pi a_0}}$$

طول تقریبی اتم (10% = نصف خط دار)

$$a_0 \sim \lambda \quad \text{or} \quad a_0 \sim \frac{\lambda}{2}$$

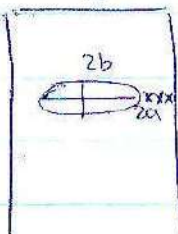
$$a_0 \sim \frac{\lambda}{2} \rightarrow \boxed{\sigma_c = \frac{E}{\pi}}$$

تنگی صغیر بالایی

با این تنگی می توانیم رسید اصنام ترد در تنگی صغیر از این خواهد بود

$$\sigma_c \gg \sigma_F \text{ (تنگی صغیر شکست)}$$

مقاومت در برابر وجود دارد :



در شکست ترد ، فاکتور تراکم تنگی را تعریف می کنند .

ترد در هم ترد ، صغیر از تنگی شکل وجود دارد

Pr 3)

تعداد مورد نیاز است  $\sigma_L$  موافق ضعیف  $\sigma_a$  است  $\sigma_L = 1 \sigma_a$

a: نصف قطر بزرگ یعنی  $\sigma_L = \sigma_a (1 + \frac{2a}{b})$

b: " " کوچک " است ایجاب تنش متوسط در انتهای قطر بزرگ یعنی

$\rho = \frac{b^2}{a}$  ( شعاع ایجنرا یعنی در انتها )  
قطر بزرگ  $b \leq \sqrt{\rho a}$

$\Rightarrow \sigma_L = \sigma_a (1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}})$

فانکشن تراکم تنش

اما در واقع چنین چیزی وجود ندارد اما شبیه به ترک صورت است. انتها ترک مانده یعنی شکل

می کند در انتهای ترک مرکز تنش وجود می آید و ترک اشعاع پیدا میکند.

در انتها ترک، تنش جدیدی برابر می شود.  $\sigma >$

در ترک، شعاع ایجنرا (  $\rho$  ) منتهی کوچک می شود. طول ترک  $a$   
کوچک (  $\rho$  ) شعاع ایجنرا ایجاب ترک

$\frac{a}{\rho} (صنعت بزرگ)$   
 $1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}} \sim 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}$  در ترک

$\sigma_L = 2\sigma_a \sqrt{\frac{a}{\rho}}$  :  $\sigma_a = \sigma_L \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho}{a}}$

$\sigma_c = \sigma_F (1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}})$  در نظم  $\sigma_c$  است لایحه چنین می شود  
 $\downarrow$  تنش ایجاب (  $\sigma_c = \sigma_F$  )  
تنش متوسط



$$\sigma_F = \frac{1}{2} \sigma_c \sqrt{\frac{P}{a}} \quad (\sigma_c \text{ ثابت است})$$

معموداً کمتر باشد،  $\sigma_F$  کوچکتر است. (نسبتاً کمتر است)  $\rightarrow$  زردتر باشد  
 (ترک نیز تر باشد)

$a$  بزرگتر  $\rightarrow$   $\sigma_F$  کوچکتر است.  $\rightarrow$  طول ترک بزرگتر باشد، زردتر باشد

حتی اگر  $a$  بزرگ باشد، اندکی بزرگتر است و قطع می‌شوند

ترک: جابجایی سطوح (حتی در اندازه حاکم) است و به اندازه ترک

بسیار بیشتر شدن طول جابجایی سطوح.

ترک موثری نیست. اما همیشه ایجاد می‌کند.

این حالت را برابری می‌گویند.  $\rightarrow$  این هم ترک است

اما گاهی است که طولی در تیر به ترک وارد شود:

این حالت هم از آن نوعی است که ترک در آن  
 ایجاد می‌شود و به جهت قرار گرفتن

نسبتاً بزرگتر است و گاهی هم ترک  
 دارد.

ترک در تیر و در هر دو جهت می‌تواند رخ دهد و این عمل می‌تواند به دلیل آن است که دارد

در هر دو جهت می‌تواند رخ دهد

مروری در زیر سبب است و ترد مطلق نداریم

بدین شکست تردد دارد اما ممکن است تغییر شکل به سبب هم بود.

تغییر در جداره در هنگام شکست نرزه شده. (شکست در زیر)

1- ما: حینی کم است. حویب و ما بیشتر به شکست نرم تر است. کاتدر شکست ترد تر

2- شکست اعمال نیرو: (زیغ کرنش)  $(\frac{d\epsilon}{dt})$  حویب و بیشتر به شکست ترد تر بود.

3- وجود بسیار: شکست را در تردی کند.

(حویب قدر تغییر شکل به سبب قبل از شکست بیشتر به شکست نرم تر است)

اندژی شکست:

ارزوی جابج شده از شکست یا ارزوی صرف شده از شکست ترد؟ تنها ارزوی جابج شده در صوم



ارزوی سطح است. چون در سطح اجزاء شده است.

در شکست نرم، ارزوی شکست هم صرف ارزوی سطح می بود.

درم ارزوی تغییر شکل به سبب. درم نبود.

در شکست ترد، فقط ارزوی سطحی داریم. صرف ارزوی شکست شما در آن

تغییر شکل به سبب داریم }  
تردی (در ارزوی کمتر)  
حقیقی (در ارزوی بیشتر)



P(6)

جذب ازین جهت انجام می‌دهد که در این صورت تعداد است یا تا

چندین: نکات در باره سستی. به تری مفهوم فزونی در سستی

بیت و تری را با چهره ملی می‌بینم.

(همه اشکام با تری، چهره ملی سستی)

در وقت ترک در اثر کم‌تر شدن، تغییر شکل پیدا می‌داریم و این اثرات در

ترک عبوری می‌کند.

پس نه آن تغییر شکل پیدا می‌کند و نه آن

انرژی شکست:

بر حسب انرژی جذب شده ، اجسام در نوع شکست دارند :  
تندی }  
toughness }

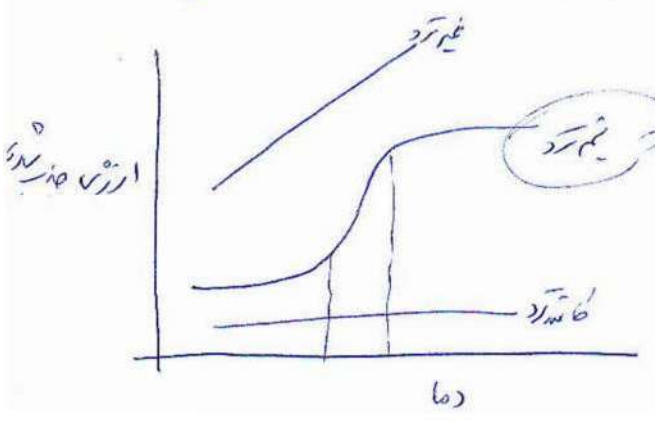
انرژی در برخوردی شکست اجسام:

- کاملاً سرد : تغییر شکل پلاستیک قبل از شکست ندارند (شوکت بیای و صدمه نزن)

شکست اجسام

- نیم سرد : تغییر شکل پلاستیک کمی قبل از شکست برودت آید . (تکرار  
نمایند ضربه کم است) مثل آهن b.c.c ها

- غیر سرد : تغییر شکل ضربه قبل از شکست دارند . تکرار با نیروی ضربه ای : f.c.c ها

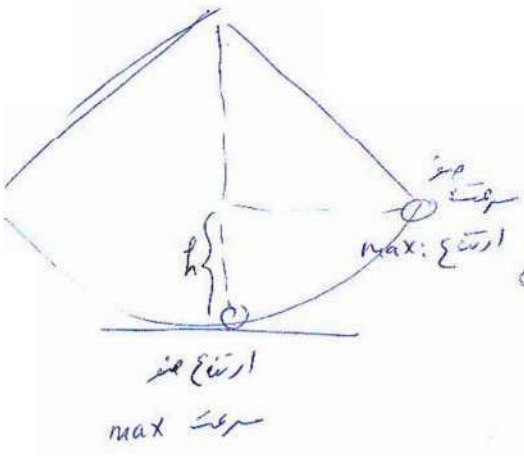


در یک نمودار ایجابی رتبه در این نمودار قرار  
دهد .

Transition Temperature

(در جوارت تبدیل)  
(گشت ترم؛ غیر سرد)

- آرایش فشرده:



انرژی شکست  $\propto$  سرعت حرکت

ارتفاع تبدیل  $\propto$  ارتفاع زلزله از سطح

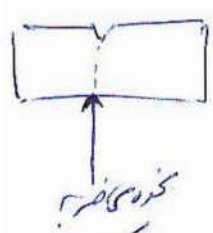
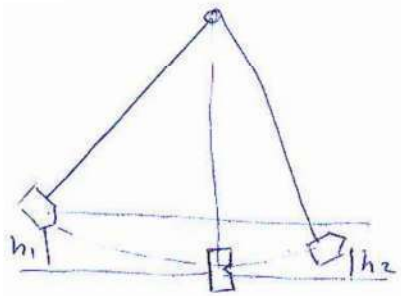
مصروف تبدیل این در این است که بیشتر در این

این آرایش فشرده



P(2)

فردی ضربه است نه دره جانش زار



$$W = mg (h_1 - h_2)$$

بدین سبب این آلوده واقع شدت را بصورت مطلق معونی نمکند

اما بصورت مشابه ای جواب میدهد.

جنبه های میکروسکوپی :

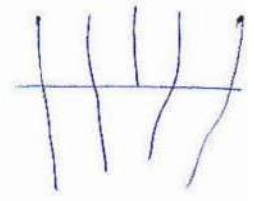
اجسام کائوچو : دیگر عینی بوجود نمی آید. ممکن است عیب ساختاری بوجود آید. پس  
 حفره یا اندک در عین هم مشاهده می شود. لایه ها آنها قطع است.

اجسام نیمه ترد : تغییر شکل + ترک به آن ضربه کم. در این جا سبب جوانه زنی ترک قطع است.  
 صلب آینه مستقیم حالتش می رود، در اثر ترک نایکلی ها در جهت مدافع (سوراخها بر این صورت می آید)  
 به سمت جوانه زنی ترک می شود.

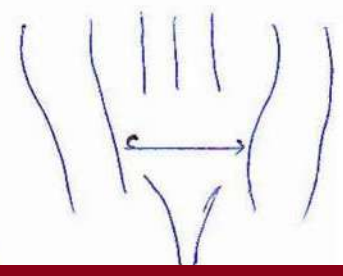
از درغام نایکالی ها یک جوانه ترک بوجود می آید.

از درغام ای نایکالی ها یک نایکالی بزرگ بوجود می آید. در این صورت جوانه زنی ترک می شود.

در بر این شبیه a می باشد در بر این سطح شده، فاصله سیاه آنها کمتر است  
 در بر این بیشتر است. با درغام ای نایکالی ها.



فاصله بین درغام در این سطح شده زیادتر می شود  
 به سمت جوانه زنی ترک



با این ترک، انرژی جذب شده کمتر شود. حد چرخه ترک میان وجود دارد (تغییر شکل پلاستیک) که اندازه عمر آن چقدر زیاد کند. این در toughness تاثیر ندارد.

در دمای بالا، در نهایت باغ، منحنی نمودار تغییرات - و تغییر شکل پلاستیک ادامه پیدا می کند.

- اجسام غیر ترد :

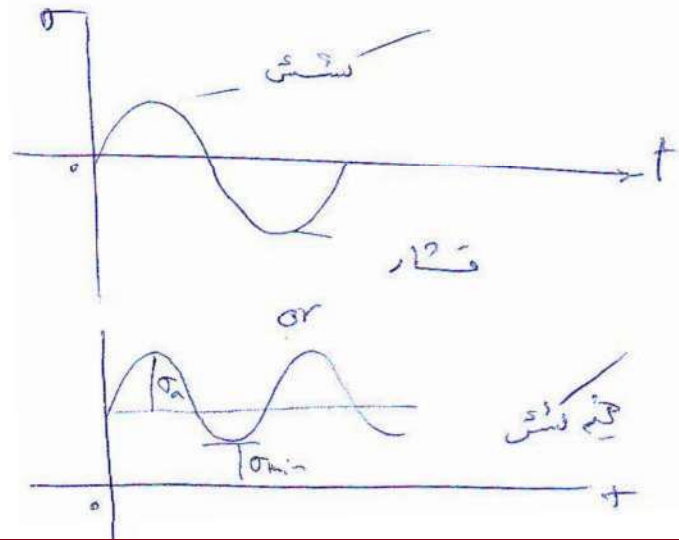
چون تغییر شکل پلاستیک انجام می دهد - حوزه های تنش و کرنش بزرگتری دارد. درجه دارایی در مواد سردتر است. در اطراف سوراخ تمرکز تنش داریم (اصناف در میزان تغییر شکل پلاستیک) اگر سوراخ بزرگتر باشد، حوزه پلاستیک بزرگتر است. در اکثر متنی این حوزه ها بزرگتر است. مهم می شود تا سوراخ ترک این را کند. مقدار تباه هم این مقدار موصوفه است.

شکل خستگی : Fatigue

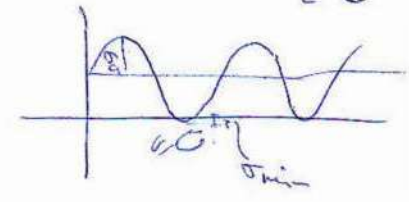
شکل خستگی : یک حجم تحت تاثیر تنش های متناوب به مرور زمان شکست می خورد.

شکل خستگی در اثر تنش، دامنه اعمال (تأثیرات)

این تناسب برآورد توسط رودریموند،  $\sigma$  - ارتعاش  $\sin$ ،  $\sigma_{max}$  (بزرگترین تنش)

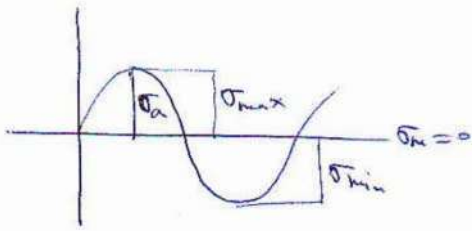


ارتعاش Sin :  
بسیار مهم تر از تنش است و به  $\sigma_{max}$  نسبت می دهیم  
و هر دو در  $\sigma_{min}$





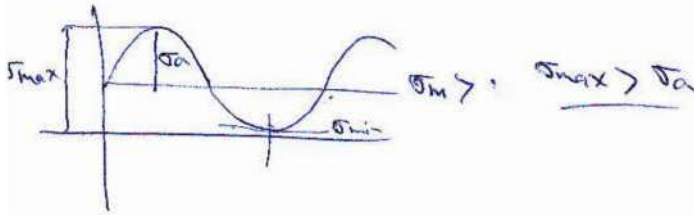
P(4)



مقدار التردد :  $\sigma_a$   
(دائری)

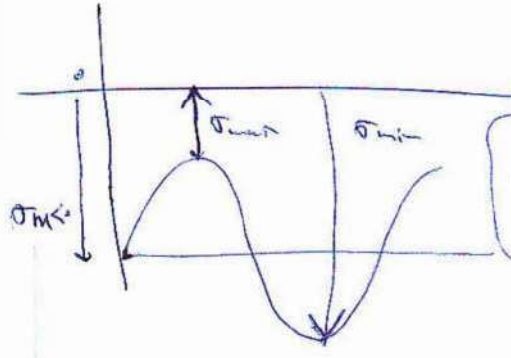
مقدار max :  $\sigma_{max}$

مقدار min :  $\sigma_{min}$



range of stress :  $\sigma_r$

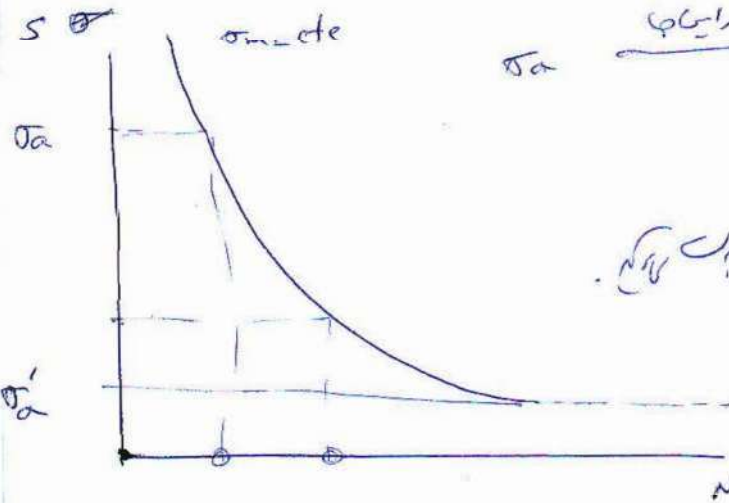
$$\sigma_r = \sigma_{max} - \sigma_{min} = 2\sigma_a$$



$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

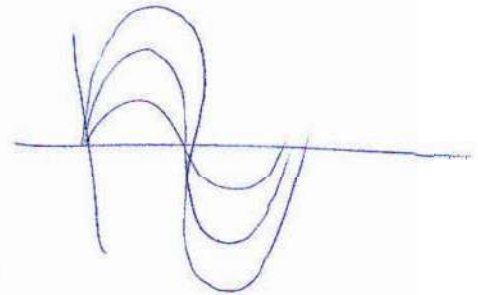
مقدار التردد :  $\sigma_m$

مقدار  $\sigma_a$  و  $\sigma_m$  مقدار بزرگتر از مقدار  $\sigma_a$



مقدار  $\sigma_a$  :  $\sigma_a$  (مقدار تنش در این حالت)

مقدار  $\sigma_m$  :  $\sigma_m$  (مقدار تنش در این حالت)

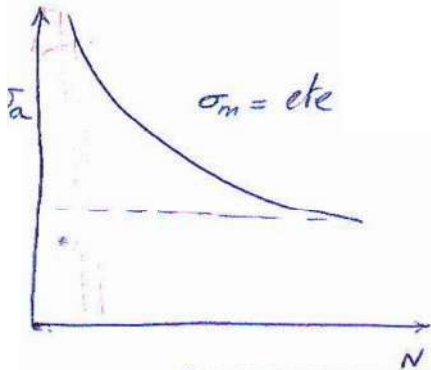


مقدار  $\sigma_a$  :  $\sigma_a$  (مقدار تنش در این حالت)

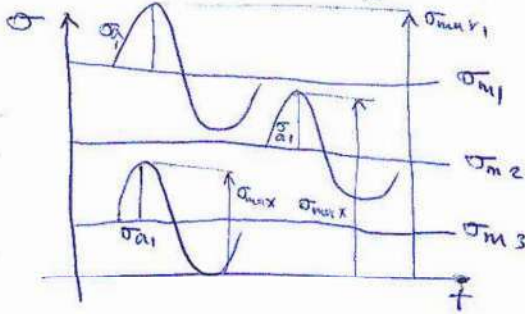
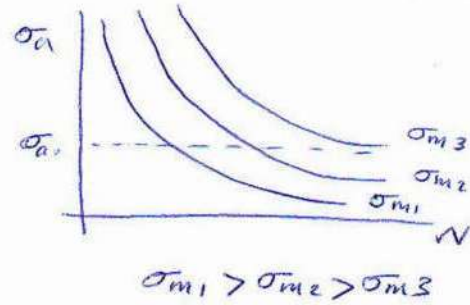
مقدار  $\sigma_m$  :  $\sigma_m$  (مقدار تنش در این حالت)

مقدار  $\sigma_a$  :  $\sigma_a$  (مقدار تنش در این حالت)

ادام چسبگی:



اندر تغییرات  $\sigma_m$  از روی منحنی های  $S-N$ :



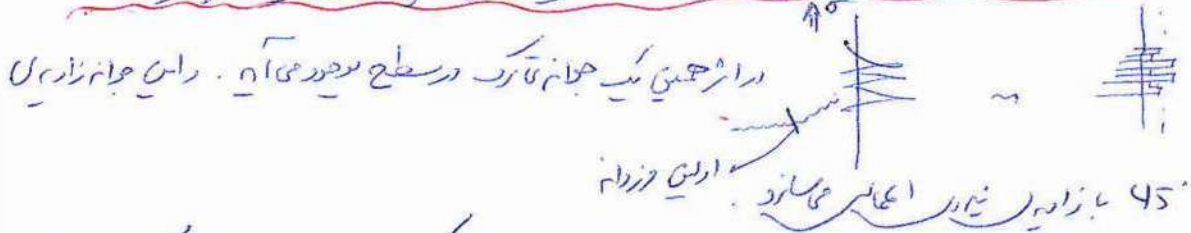
!  $\sigma_a$  ها برابر با  $\sigma_m$  های برابر  
 $\sigma_{max}$  ها برابر و طول هم فرق ندارند.

از  $\sigma_m$  ها که نسبت به  $\sigma_{max}$  کوچکترند بیشتر در دسترس است. هر چه  $\sigma_m$  کمتر باشد، هر چه  $\sigma_{max}$  بزرگتر باشد.

جنبه های میکروسکوپی چسبگی:

در اثر چسبگی، تغییر شکل های برداشتی بر روی آید اغلب در ترک سطح.

شکل در اثر حرکت نیماژها، در سطح نا همواران و در صورت نیماژها، در صورت نیماژها، در صورت نیماژها.



بعد از بر خورد، در این روزانه در جهت عمود بر نیماژ ایجاد حرکت کنند. در هر صورت شکست می شود.

- دلیل:
- ایجاد نیماژها در سطح
  - جواز ترک در محل نیماژها
  - $\sigma_a$  هم ترک تا اولین روزانه
  - $\sigma_m$  هم ترک از روزانه
  - $\sigma_a$  و  $\sigma_m$  در طول هم شکست
- هر چه  $\sigma_m$  بزرگتر باشد، هر چه  $\sigma_a$  بزرگتر باشد، هر چه  $\sigma_m$  بزرگتر باشد.
- هر چه  $\sigma_m$  بزرگتر باشد، هر چه  $\sigma_a$  بزرگتر باشد، هر چه  $\sigma_m$  بزرگتر باشد.



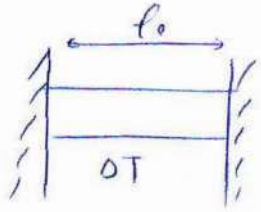
در سطح ازاد با صاف تر باشد : جواز است ترک کسک می کند و بر قطع کم خواهد شد.  
 یا اینکه وصله در سوراخ از درز را در نظر بگیریم :

هم با دانستن درشت : با هم بران از سطح شیار است  
 هم در آن ها نیز : ترک خوردن در درزها خواهد بود.

وقه ترک های عمیق می آید، تراکم نسبی صلب آن کم می آید. حجم طلا ترک شیار می آید، تراکم نسبی

آدم شیار برود  
 دان درشت : ترک درشت نیز دارد در آن ها نیز، درزها و داغ خوبی بار وقت ترک  
 است در آن ها نیز هم شیار است ؛ دان درشت دارد

در سطح ازاد نیست، با یکاها نمی تواند به سطح برسد و بر قطع بار می آید.



\* حساس حرارتی :

مردم کردن قطع در وضعیت مقابل،  
 شش ها که می آید در جسم ایجاد می کند.

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$\Delta l = l_1 - l_0 = l_0 \cdot \alpha \Delta T \rightarrow \epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \alpha \Delta T$$

پیشنهاد با اقسام در آن ها موجود است : مردم کردن (حساس حرارتی) قطع می کنند.

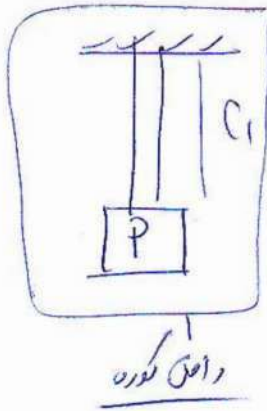
در قطع ضعیف داغ بلند در آن ها می آید مردم کنیم من است قطع می کنند. در این صورت این سبک است در اثر  
 حساس است.

عدت ؟

در محیط های خوردن ، بر قطع کم خواهد شد (حساس تراکم بار) خوردن

نه صبر کرد  
 از خوردن

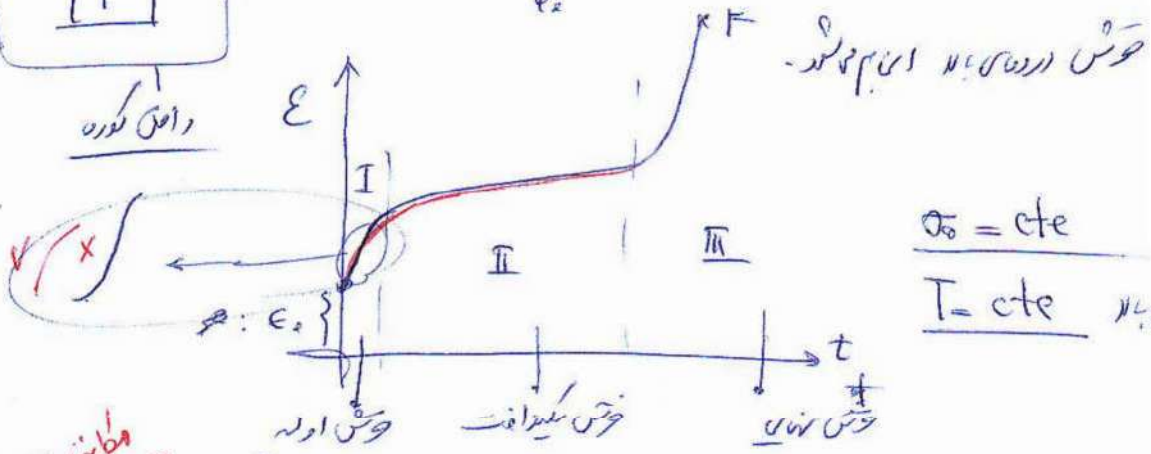
\* خزش (creep)



P(3)

تنش ثابت = تنش همسر ثابت

$$\epsilon_0 = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$



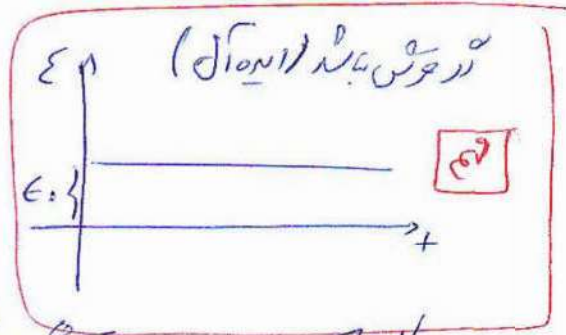
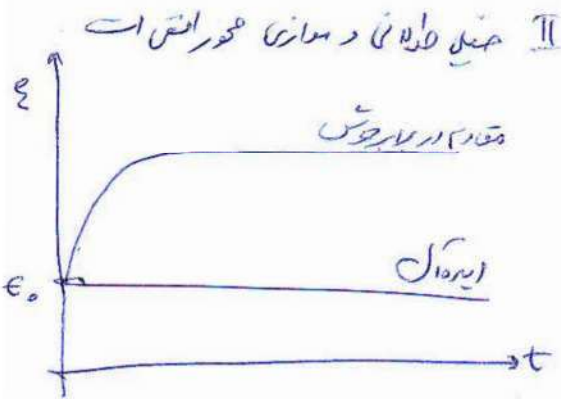
$$\sigma_0 = cte$$

$$\tau = cte$$

مکانیزم تنش (تورن)  
تغییر Vacancy

I, III زمان کوتاه است. عمر در منطقه II تعیین می‌گردد.

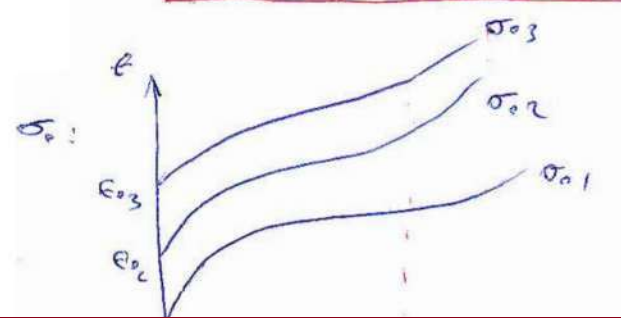
حجم کل مولکول متغیر در برابر جوش ، دارای منطقه



تغییر شکل می‌گردد → کارگزی  
بازتاب → بازتاب

این دو خدیف است هم هستند. این را در این تغییر شکل را می‌تواند و در این است.

درست اول جادگی کمزور دارد (I) آنگاه II این دو در مقدار کم هم هستند

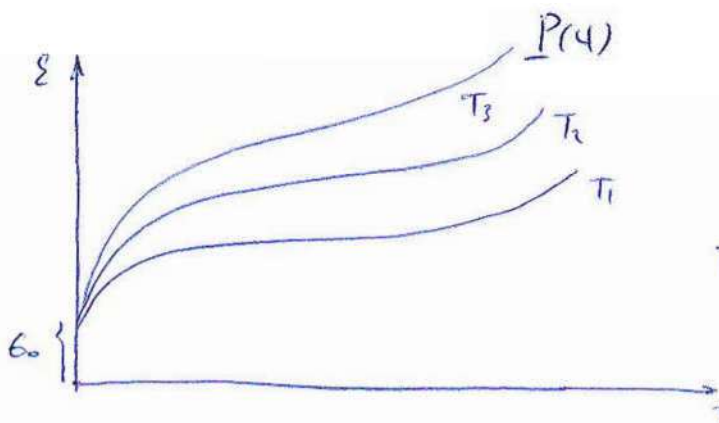


\*  $\sigma_0$  در برابر همسر تنش :

$$\epsilon_3 > \epsilon_2 > \epsilon_1$$

$$\sigma_3 > \sigma_2 > \sigma_1$$

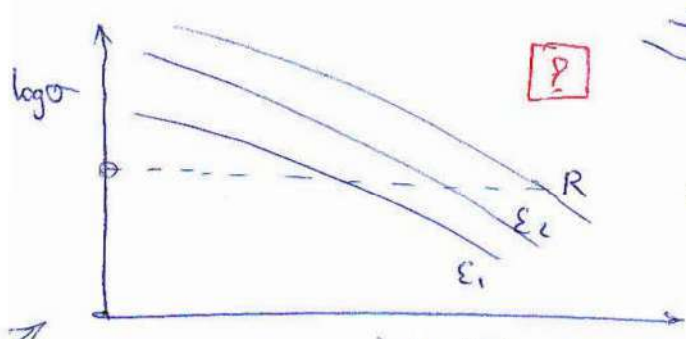




تغیر دما :  
 ε<sub>0</sub> ثابت

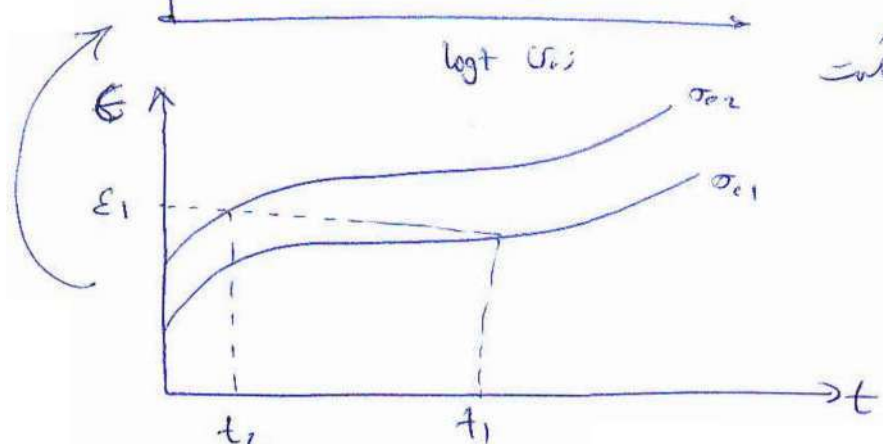
$$T_1 < T_2 < T_3$$

رابطه دما، نرخ کرنش کمتر

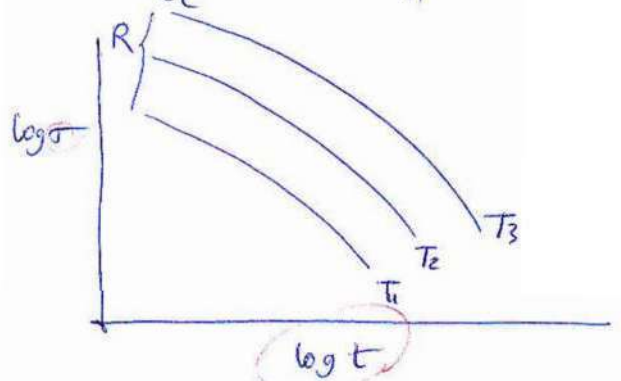


در حوض زمانی صافی ظهور می آید

از صورت کتب یادداشت که  $\epsilon_1$  که  
 تغییر شکل دارد، هر قطعه کاملاً سرد است

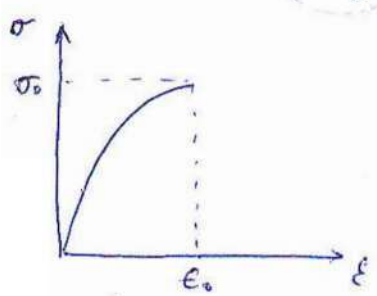


هر قطعه در تغییر شکل به طول یکسان است  
 ممکن نیست



پارامتریک است :

خزش از نظر مایکروسکوپی



در  $\sigma_0$  در  $\epsilon_0$  بر این ادا، حرکت به پیش دریا  
 پس تا میانه ها حرکت کرده اند  
 یا حرکت به سطح اولیه میماند

یا مگر تا میانه ها حرکت در سطح لوس شده که سطح به سطح میماند





# مهندسی مواد



## گروه آموزشی مواد شریف

اولین و تنها دپارتمان جامع  
و تخصصی مهندسی مواد + 

دوره های آمادگی آزمون  
کارشناسی ارشد و دکتری  
همه گرایش ها + نانو و بیومواد

برگزاری کلاس های ویژه کنکور برای دانشجویان سال دوم و سوم با پایه علمی ضعیف ، با حضور اساتید با رتبه های تک رقمی از دانشگاه های صنعتی امیرکبیر، صنعتی شریف.



۸۵%

بیش از ۸۵ درصد از رتبه های برتر کشور مواد شریف (راهیان مواد سابق) در کنکور ارشد و دکتری سال های اخیر، مقاطع کاردانی یا کارشناسی خود را در دانشگاه های آزاد و غیرانتفاعی گذرانده اند.

برای خرید بسته های آموزشی و شرکت در آزمون های آزمایشی اینترنتی مواد شریف به آدرس وب سایت ما مراجعه نمایید. [www.mavadesharif.com](http://www.mavadesharif.com)



۰۹۱۲۶۴۵۱۱۵۶  
۰۹۱۰۷۸۷۶۵۰۸  
۰۲۱-۸۸۸۵۱۲۳۷