به نام خالق هستی بخش

جزوه خواص مکانیکی مواد 1

مدرس: دکتر حسین عربی

تهیه کننده: مریم سلیمی

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

Subject: 1
Year. 87 Month. 11 Date. 12 Sat

«بنام خدا»

mechanical metallurgy Dieter - Shahidi
" hertsberg Dr. Akrami
(crystallography) wilf
English*

خواص مکانیکی با:

1. Dislocation Theory
2. concept of stress and strain at point
3. Tensile properties.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

mechanical properties
1. atomic structure
2. crystallographic structure
3. structural and microstructrual properties
4. processing tecnic, فرآوری

defects:
- I point defect
- II line "
- III surface "
- IV volume

point defect:
- vacancy
- atome (forign):
  - Interesticial بینابینی
  - substitutional جانشینی

line defect نابجایی خطی

surface defect: 1. (boundry grain) مرزدانه‌ها در صورت یک سطح است
2. عیوب انباشتگی (صفحات متفاوت)
3. سطح دوقلویی twin boundrys

PAPCO

Subject: 1
Year. 87 Month. 11 Date. 12 ( ) Sort

حفره‌ی گازی

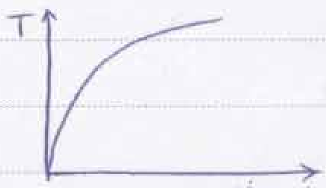
volume defect { حفره‌ها ≠ vacancy ها ، سه بعدی

(گاز حبس شده در زمینه) (ناخالصی) (به شرط آنکه در سطح اتمی نباشند) ۳. آخال‌ها

(important * line defects)

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

vacancy ها تعادلی اند



در یک درجه حرارت خاص vacancy ها fix هستند

equilibrium vacancy

افزایش vacancy ها ۱. ← افزایش دما ← سرد کردن سریع ⇐ حالت غیر تعادلی

۲. بمباران اتمی (ذره‌های اتمی) partical high

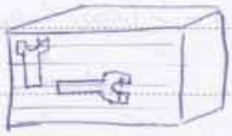
به طور غیر مستقیم در خواص مکانیکی تاثیر خواهند داشت.

atome interstitioal defect (H, B, C) ⇒ اتم‌های بین نشین قطر کوچک

(از نظر خواص مکانیکی ۱. قطعات نورد شده (هندی) ۲. قطعات فورج شده ۳. قطعات ریخته‌گری شده)

در قطعات فورج شده خطوطی ایجاد می‌شود که از بین رفتنی نیست (خطوط سیلان) (flow lines)

اما در ریخته‌گری این خطوط مثل ترک هستند که ترک را زیاد می‌کنند.

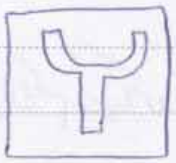


جای تاس پیچ با آچار کل اجزا نیروایست که این جای تاس یک زاویه‌ای

با خط سیلان می‌سازد (این خطوط سیلان جاهایی پرانرژی هستند)

برای آچار باید max میزان استحکام را در نقطه اتصال داشته باشیم

مزیت فورج به خاطر این است خط سیلان در آن بریده نمی‌شود اما در پیچ جایی که خط سیلان بریده شود



استحکام خیلی کم خواهد شد با تسلیح این اتفاق کمتر می‌شود.

در فورج خط سیلان توسط نیرو زیاد می‌شود. خط سیلان استحکام را بالا می‌برد

اگر شکل پیچیده باشد سیلان ماده در نواحی پیچیده امکان پذیر نیست و امکان فورج وجود ندارد.

حال می‌خواهیم از روش ریخته‌گری استفاده کنیم حل برای بهبود وضعیت در ایجاد process های مختلف را انجام بدهیم

دانه‌بندی: ۱) سرعت ایجاد (آمرانش) ۲) آلیاژسازی ۳) چدن ۴) مواد جوانه‌زا ۵) خود روش ریخته‌گری

این عکس (مثلاً جوانه‌زنی یک کره القایی ایجاد شد سایزشان کوچکتر است)

جنین → جوانه

embryo → Nucleous

فرق جنین و جوانه: جنین یعنی تعداد مولکول‌هایی که گرد هم آمدند و تلخیص جامد دارند و خوشه مولکولی دارند ولی حجم اتمی

موجود در خوشه حجم مایع است. حال اگر اینها متصل شدند و جفت کم شد جوانه تشکیل خواهد شد

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

Subject: 2
Year: 87 Month: 11 Date: 15 ( ) Tue

فصل یک کتاب ریدهیل - ۷ تا صفحه‌ات — material sceince

Vulff net تورولف — اندیس دی میلر

تبدیل زاویه به فاصله و برعکس — دانسیته s

* Hcp (نسبت ارتفاع ستون $\frac{c}{a}$ به اضلاع) — قانون دلیچ

طریقه انباشتگی Hcp ، fcc ، bcc (مشخص کردن صفحات پرتراکم)

صفحات پرتراکم در انباشتگی دخیل هستند اگر صفحات فقط در طول z بالا بیایند اسم ثابت است ولی اگر صفحات بعدی جایگاه اتم s در صفحات xy تغییر کند نام تغییر میکند.

صفحه پرتراکم را پیدا کرده xy تغییر کند نام تغییر میکند اگر z تغییر کند نام عوض نمیشود

اگر سیستم مکعبی مثل SC ، BCC ، FCC توسط اندیس دی میلر نام گذاری شود و اندیس برای Hcp استفاده نشود.

(porter and stirling *)

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

* محاسبه اندازه دانه (قاعده دلیچ) (D) — قاعده دلیچ

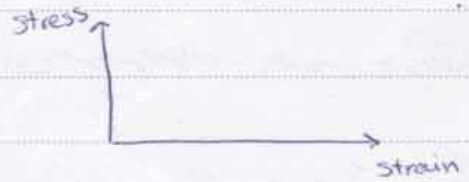
$\sigma = \sigma_0 + KD^{-1/2}$ *

از تغییر اندازه دانه می‌توان استحکام را کم یا زیاد کرد.

تست کشش:

بزرگترین عامل طراحی است

مثلاً باید شکل خزش داشته باشیم تا بتوانیم تست آن را تعریف کنیم.



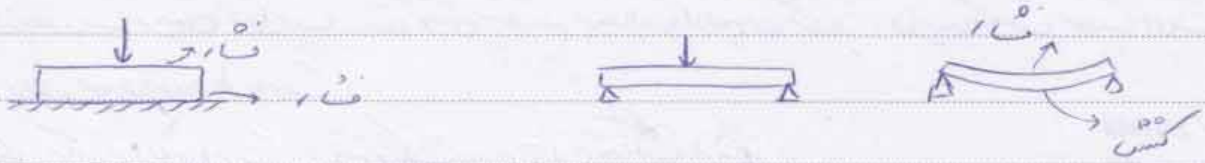
* منحنی سیلان flow curve

چقدر یک منحنی دارد.

به معنی ویژه معنی cractristic — SN — کرنش زمان تنش

تست کشش و فشار از نظر اعمال با هم فرق می‌کند. محدودیت در میزان کرنش دارد.

تست فشار و کشش این محدودیت را به ما می‌دهد. در فشار محدودیت اعمال کرنش زیادی داریم و در کشش محدودیت کمتر است. در چماندن (پیچش) هم محدودیت کمتر است.



تمام موارد تست کشش را به یاد داشته باشید.

1. (در فولاد گرانیت آزاد نداریم ولی در چدن داریم البته به استناد چدن لسفید) 2. مقدار کربن

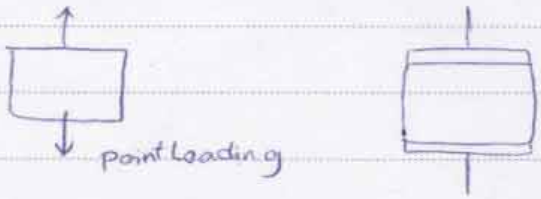
بحسب نظر گرانیت از منیزیم نوع چدن لسفید یا خاکستری فرق می‌کند.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

(کالیبره بودن دستگاه ، استاندارد)

سه اولیه تست کشش

uniform distrubiution Loading UDL



distribution Loading

$$\varepsilon = \frac{\delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \qquad \varepsilon\% = \frac{\delta l}{l_0} \times 100$$ کرنش

$$S \text{ (مهندسی)} \quad \sigma \text{ حقیقی} = \frac{F}{A}$$ تنش

Subject: 2
Year. 87 Month. 11 Date. 15 ( ) Tue

منحنی تسلیم: cractristic یک ماده.

1)

خواص الاستیک

تمام موادی که ساختار بلوری یا کوالانسی دارند این ساختار را نشان می‌دهند.

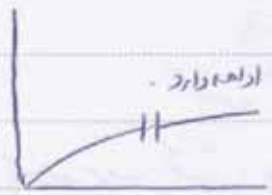
مثل سرامیک‌ها + تنگستن + حدید نسوز

چند مورد استثنا در فلزات و آلیاژها وجود دارد که همچنین ساختاری دارند

از نظر رفتار مثل فرآیند مثلاً وقتی یکشیم به حالت اولیه برمی‌گردد. در اینجا کرنش موقت است.

رفتار صد در صد خطی است.

2.



رفتار پلاستیک

یک رفتار صد در صد غیر قابل برگشت.

کل کرنش دائم است. وقتی بکشیم به همان حالت می‌ماند.

2.

کلیه مواد غیر آهنی + بعضی از فولاد + بعضی از سوپر آلیاژها

(مس، آلومینیوم، تیتانیوم).

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

3.

بعضی از سوپر آلیاژها

4.

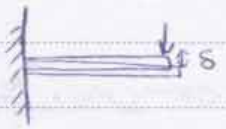
آهن + مشتقات آهن + بعضی فولاد

5.

" "

نقطه تسلیم: شروع خواص پلاستیک

stiffness : توانایی ماده برای حفظ تغییر شکلش.



در stifness تغییر شکل یک سازه مهم است.

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI}$$

مدول یانگ

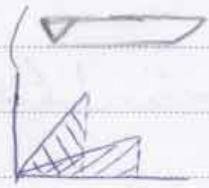
هرچقدر deflection δ بیشتر stifness کمتر.

$E \cdot I \propto$ stifness

این دو از یک جنس هستند.

با توجه stifness داریم یکی مربوط به جنس خود ماده که غالباً با همان مدول یانگ نشان می‌دهند و دیگری

stifness ناشی از شکل مقطع که با ممان اینرسی I نشان داده می‌شود (مثال کاغذ



میزان جذب انرژی در حالت فرم الاستیک با هم برابر است (مدول ریلیس)
(در مساحت با هم برابر است)

در اینجا باید مدول یانگ (شیب خط) هم معین باشد و نقطه شکست هم باید مشخص باشد.

UTS: بالاترین نقطه منحنی تنش-کرنش

مهندسی

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

لزوم

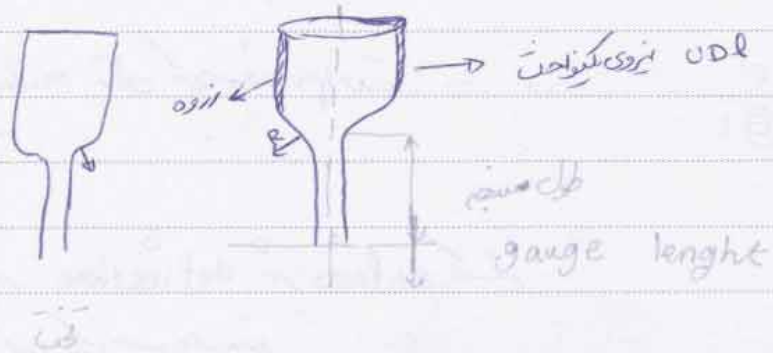
آزمایش کشش:

آزمایش کشش برای بدست آوردن استحکام ویژه ماده استفاده می‌شود. در این آزمایش نمونه تحت نیروی کششی

یک بعدی که بطور پیوسته زیاد می‌شود قرار می‌گیرد. (کلاس کی آن) Compression, torsion, Bending

نتایج آزمایش کشش در نمودار تنش و کرنش نشان داده. اگر تنش مورد استفاده نتیجه تقسیم بار وارده بر سطح مقطع اولیه نمونه

(هنوز آزمایش شروع نشده) است. *



این تست، تست Full size standard test است که اینها غالباً سه کاربرد دارند که بسته به میزان ماده مورد تست است.

بقیه تست S. تست sub size است که باید حتماً ذکر شود.

حتماً باید تکنیک و روش معین گردد.

* که به آن تنش اندازه‌ی گویند: $S = \frac{P}{A_0}$ (P → load) اگر تنش مورد استفاده نتیجه تقسیم بار وارده بر سطح مقطع

لحظه‌ای باشد تنش حقیقی بدست خواهد آمد $\sigma = \frac{P}{A}$

رابطه بین سرعت تنش و کرنش حقیقی و اندازه‌ی را می‌توان محاسبه کرد. (hertsberg diater)

کرنش مورد استفاده در منحنی تنش کرنش اندازه‌ی ε یا e نشان می‌دهند. $\% e = \frac{\delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100$

کرنش اندازه‌ی

نمودار S برحسب e یا نمودار F یا P برحسب δl به هیچ منطبق است در صورتیکه واحد رعایت شود.

و می‌توان نمودار S یا P را برحسب % e نوشت.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

یادآوری می‌شود حین تنش و کرنش هر دو از تقسیم بار وارده و از یا طول بر عوامل تأثیر بدست می‌آیند

منحنی‌ها هم منطبقند

نقطه شکست بر ماکزیمم استحکام ماده (UTS) (Ult a tensile stress) منطبق است:

همه منحنی‌های جلسه قبل برای بررسی تنش مهندسی بودند

$$E = \frac{y}{x} = m = \frac{\sigma}{e}$$

از این مرحله به بعد واحد مرحله پلاستیک داشتیم در قبل این نقطه بعد از اعمال نیرو و برداشتن آن شکل ماده به حالت اولیه برمی‌گشت

resilience (چقرمگی، حالت ارتجاعی)

(مقدار جذب انرژی در حین تغییر فرم الاستیک)

slope: $\frac{a}{b}$

Data نقطه شکست

مساحت

شیب خط

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

(مقدار جذب انرژی در حین تغییر فرم پلاستیک)

(چقرمگی ناشی از ضربه (چقرمگی دینامیک) ۲. چقرمگی ناشی از تحت کشش فشار (مدول چقرمگی استاتیک)

TT CT BT

یکی از دلایل پایه این است که مواد تنها خواص الاستیک و پلاستیک ندارد. (خواص الاستیک (خواص موقت) خواص پلاستیک (خواص دائم)) یک مقداری از خواص الاستیک تابع زمان است. وقتی ماده وارد منطقه پلاستیک شود بعد مقدار recovery در طول زمان.

از مدت زمان طولانی مقداری از روش کاهش پیدا می‌کند که به این خاصیت anelastic است.

جمع مادر عنوان این خاصیت را در نظر می‌گیریم جمع مقدار انرژی pelastic + anelastic

هم گیریم در نتیجه مقدار محاسبه شده از مساحت زیر سطح منحنی ماکمتر خواهد شد. (۹۱)

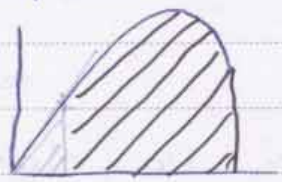
الاستیک

حین خاصیت anelastic به علت کرنش پذیری خاصیت جزو مدول UR محسوب شود و سایر جزو UT محاسبه کند.

(برای منحنی که نقطه تسلیم را خودشان نشان نمی‌دهند قرارداد تعیین شود ۰/۲ درصد کرنش (اروپا) و ۰/۱ درصد کرنش (آمریکا) معین کرده خط موازی خط محدوده الاستیک رسم می‌کنیم)

proof stress — off set yield point

(* هیچگاه نقطه الاستیک و نقطه تسلیم در این نمودار با هم منطبق نیستند.)



در اینجا در نقطه max بار نمی‌شکند

تا موارد حالت قبل مدول یانگ الاستیک و مدول UR و UT را محاسبه می‌کنیم

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

شکل منحنی به ترکیب شیمیایی، عملیات حرارتی، تاریخچه تغییر حالت

درصد ازدیاد طول استحکام کششی و استحکام تسلیم ماده. درصد استحکام

درصد کاهش سطح مقطع معرف نرمی ماده هستند. لازم به ذکر است اگر مقدار بار از استحکام تسلیم تجاوز کند تغییر شکل پلاستیک

اتفاق افتد منحنی طول مقطع که حالت تساوی نمی‌رسد از دیاد طول صفر نمی‌شود.

تنش لازم برای تولید تغییر شکل پلاستیک با زیاد شدن کرنش زیاد می‌شود.

[work hardenig ⇐ کارهای فلز انجام شده باعث سختی فلز می‌گردد.]

حجم ثابت در تغییر شکل پلاستیک ثابت می‌ماند. $A_0 L_0 = AL$

از لحاظ تئوری ثابت نیست مثلاً حضور حفره ها (با کشش و فشار کاهش و افزایش می یابد)

با زیاد شدن طول نمونه به طور یکنواخت در امتداد طول سنجه (gauge l) سطح مقطع نمونه به طور یکنواخت کم می شود

تا زمانی که به نقطه UTS برسیم در این نقطه میزان کاهش سطح مقطع به طور موضعی تغییر می کند.
(max یا)

در ابتدا کار سختی بیشتر از مقداری است که کاهش سطح مقطع را جبران کند تنش لهندسی با زیاد شدن فرش زیاد شود

سرانجام نقطه ای در سه که کاهش سطح مقطع بیشتر از افزایش بار لازم برای تغییر شکل پلاستیک است (تغییر شکل ناشی از کار سختی) حین سرعت کاهش سطح مقطع بیشتر از سرعت افزایش بار لازم برای تغییر شکل نمونه شروع به کوچک
necking
می کند (لزوماً تعداد و جای آن مشخص نیست)

جایی اتفاق می افتد که deffect، بیشتر ساختار هیدروژن بیشتر، ناپایداری موضعی

max کاهش سطح مقطع ← بیشتر تغییر فرم پلاستیک

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

حین جوانه

و بار حقیقی برای ایجاد تغییر شکل افت کرده و تنش لهندسی تا شکست نمونه کاهش جوانه ادامه دهد.

(ماده تا لحظه ای که شکند در حال سختی است
است تنش ناشی از شکل است نه ناشی از نیروی با سختی آن

در نمودار هنگامی که مقدار تنش موقت max استحکام کششی است $S_{UTS}=\frac{P_{max}}{A_{اولیه}}$ UTS یا $\sigma_u=\frac{P_{max}}{A_{در لحظه شکست}}$

مقادیر زیر بدست آمده کرنش مهندسی و کاهش سطح مقطع در نقطه شکست است.

$$e_f\% = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\%$$

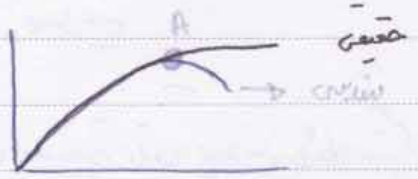
$$\%q = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$ مقدار کاهش سطح مقطع

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

منحنی تنش کرنش حقیقی:

چون منحنی مهندسی براساس ابعاد اولیه بوده و چون این ابعاد به طور مداوم تغییر می‌کنند و نمی‌تواند بیانگر تغییر شکل نمونه باشد به علاوه فلز مورد نظر در حین کشش ناپایدار شده و در قسمتی از آن گلویی ایجاد می‌شود چون در حین ایجاد گلویی سطح مقطع نمونه به سهولت کم می‌شود بار لازم برای ادامه تغییر شکل افت می‌کند ⇐ تنش مهندسی بدست آمده بر مبنای سطح مقطع اولیه کم شده، افت منحنی تنش کرنش حقیقی خواهد شد (پس از نقطه ماکزیمم)

ولی در واقع فلز در تمام نقاط کار سخت می‌شود ⇐ تنش لازم برای ایجاد تغییر شکل بیشتر باید زیاد شود اگر تنش بر حسب سطح مقطع واقعی واقعی استفاده شود منحنی تنش کرنش به طور پیوسته تا ایجاد شکست زیاد می‌شود یعنی تنش کرنش حقیقی نامیده خواهد شد.



در این منحنی نقطه max UTS نداریم.

این حالت معمولاً اتفاق نمی‌افتد چون در نقطه A ناپایداری داریم (گلویی) مساحت آن را طی می‌کند.

مقدار تنش حقیقی عبارت است از مقدار بار بر سطح مقطع در هر لحظه $\sigma = \frac{P_{\text{هر لحظه}}}{A_{\text{هر لحظه}}}$ $A < A_0$

$\sigma > S$

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \times \frac{A_0}{A}$$ فرض $A_0 L_0 = A L_0$

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \times \frac{L + L_0 - L_0}{L_0} \rightsquigarrow \sigma = S(1+e)$$

رابطه بین تنش مهندسی و حقیقی

طبق تعریف کرنش ⇐

$$\varepsilon = \int_{L_0}^{L} \frac{dl}{l} = \ln \frac{L}{L_0}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$$e = \frac{\delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

$$\frac{l}{l_0} = 1 + e \rightsquigarrow \varepsilon = \ln(1+e)$$

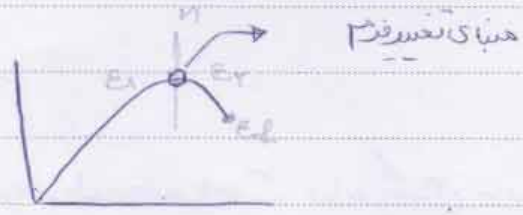
رابطه بین کرنش حقیقی و مهندسی

$$\varepsilon_f = \ln \frac{A_0}{A_f} \rightarrow \frac{A_n}{A_f} \rightsquigarrow \varepsilon_{f_{n \to f_n}} = \ln \frac{1}{1-q_n}$$

کرنش غیرهمگن

کرنش از نقطه عدم پایداری تا نقطه شکست

$$q_n = \frac{-A_f + A_0}{A_0} = 1 - \frac{A_f}{A_0} \qquad \frac{A_f}{A_0} = 1 - q_n \qquad \frac{A_0}{A_f} = \frac{1}{1-q_n}$$



مبنای تغییر فرم

$$\varepsilon_f = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

87/11/29

اگر نقطه UTS نقطه عدم پایداری باشد در آنجا necking شروع می‌شود.

(تغییر سطح مقطع) غوطه تنش مهندسی و تنش حقیقی از نقطه تسلیم

از هم جدا می‌شوند.

ناپایداری در آزمایش کشش: گلویی در بار جداکثر شروع می‌شود ولی در مواد ایده‌آل موم‌سان کار سختی بوجود نمی‌آید

بلکه این مواد در کشش ناپایدار بوده . بلافاصله بعد از رسیدن به نقطه تسلیم شروع به گلویی می کند.

در مواد موم سان ناپایداری در نقطه تسلیم اتفاق می افتد.

ذرات کار سخت می شوند به این معنی که با زیاد شدن تغییر شکل ظرفیت تحمل بار توسط نمونه زیاد می شود.

(ماده در حین کشش قوی تر می شود استحکام ماده بالاتر می رود سختی هم بالا می رود که این کار سخت شدن ناشی از کار سختی گویند)

مواد موم سان ایده آل plastic full هیچ گاه کار سخت نمی شوند.

ما اتراش طول داریم و سختی تقریباً با یک نیرو (مثل آدامس) (اتراش load زیاد نداریم)

* در این ناحیه هم کار سختی اتفاق نمی افتد چون اتراش طول با یک نیروی ثابت اتفاق می افتد.

dis ending : علتش تغییر ابعاد به طور موضعی است در این نقطه هم ماده کار سخت می شود ماده تا زمان شکست کار سخت می شود.

$e = \ln(1+e)$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

این مواد در کشش ناپایدار بوده.

کاهش تدریجی سطح مقطع نمونه که با ازدیاد طول جواب است با کار سختی مخالفت می کند.

دلای کاهش سطح مقطع load کمتر کار سختی load بیشتر)

necking در بار حداکثر که در آن زیاد شدن تنش ناشی از کاهش سطح مقطع (حتی سطح مقطع کاهش پیدا کرده و باز زیاد است ⇐ است ⇐ تنش کاهش می یابد.

تنش ایجاد شده بیشتر از مقدار مورد نیاز نمونه بیشتر از افزایش قابلیت تحمل بار توسط فلز در اثر کار سختی است شروع می شود بشرط

ناپایداری که به تغییر شکل موضعی منجر می شود توسط شرط $dp=0$ ایجاد می شود.

$P = \sigma \times A$ $\qquad dp = \sigma\, dA + d\sigma\, A = 0 \qquad -\frac{dA}{A} = \frac{d\sigma}{\sigma}$ ①

حجم ثابت با فرض $\qquad A_0 L_0 = AL \xrightarrow[\text{مشتق گرفته شود}]{\text{از این شرط}} dA\, L + dL\, A = 0$

$-\frac{dA}{A} = \frac{+dL}{L}$ ②

$\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{dL}{L}$

سطح مقطع asimetric کاهش پیدا می کند نه semetiric

یعنی شکل سطح مقطع شکل ثانوی است در نتیجه از قطعه ای نمی توان دیگر قطعه را بدست آورد.

⇐ ما سطح مقطع را معیار قرار نمی دهیم تغییر طول برای ما مهم خواهد بود.

$\frac{d\sigma}{\sigma} = d\varepsilon \qquad \boxed{\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma}$ * ⇒ برای تعیین UTS برای شرط $dp=0$

کار سختی

$\frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ ⇐ شیب خط در منحنی این شیب میزان deforability و میزان کار سختی را به ما می دهد

هر چه شیب بیشتر (برای تغییر فرم میزان تنش بیشتر)

$\boxed{\sigma = K\varepsilon^n}$ *

خیلی مهم $\qquad \boxed{\sigma = \sigma_0 + K D^{-x}}$ * هالیچ

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$\sigma = K\varepsilon^n$ * $\qquad \ln\sigma = \ln K + n\ln\varepsilon$ ، رشته یک خط است

$\text{slope} = \frac{a}{b} = n$

* این رابطه را به این صورت استفاده نمی‌کنیم معمولاً روابط نمایی را باید به صورت لگاریتمی نوشته شود. (برای تعیین K و n) دو رابطه را هم کم شود.

$$n = \frac{d\ln\sigma}{d\ln\varepsilon} = \frac{\frac{d\sigma}{\sigma}}{\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}} = \frac{\varepsilon\, d\sigma}{d\varepsilon\, \sigma} \Longrightarrow$$

توان کارسختی

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon}\cdot n$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

توان کارسختی اگر با مقدار کرنش برابر شود در آن صورت رابطه $\sigma = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ برقرار است.

$\sigma_u = K\varepsilon_u^n \Longrightarrow \varepsilon_u = n \Longrightarrow$ در نقطه UTS

$\sigma = K\varepsilon^n$ ⇐ برای آلیاژها فلزات برقرار است فرمول emperical است.

برای تست طاقچه n و ε با هم برابر است.

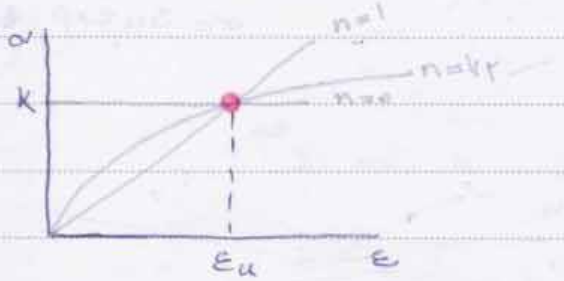
در $\sigma = K\varepsilon^n$ n: توان کارسختی K: ثابت ضریب استحکام (واحد آن با واحد MPa = واحد σ است)

K در واقع تنش حقیقی است در ε = 1. پیدا می‌شود n از n = 0 (جامد کاملاً موم سان) و صفر تا خواص

پلاستیک) تا n = 1 (برای جامد صد در صد کشسان (سرامیک)) n عددی است

پس صفر و یک غالباً برای اکثر فلزات حدود ۱/۲ است.

$\sigma = K\varepsilon^n$



$n=0 \quad \sigma = K$

$n=1 \quad \sigma = K\varepsilon$

$n=1/2 \quad \sigma = K\varepsilon^{1/2}$

* این نقطه نقطه‌ای است که خواص پلاستیک و الاستیک و خواص بین این دو بهم است.

UTS ماده بر نقطه شکست برای مواد الاستیک و UTS، شکست، نقطه الاستیک، نقطه تسلیم)

برای فلزات غیرآهنی هیچ کدام از نقاط بالا هم منطبق نیستند.

لحظه ایجاد necking بهترین میزان کرنش در ناحیه ایجاد گلوی هست ⇐ نمی‌توان کرنش کلی را از یک رابطه

حساب کرد. فرمول کرنش برای قسمت اول برحسب تغییر طول

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

و برای قسمت دوم برحسب تغییر سطح مقطع.

برای محاسبه مقدار جذب انرژی در حین تغییر فرم پلاستیک تا نقطه شکست. $K = \alpha \sigma_F \sqrt{TC}$

(σ_F برای طراحی استفاده می‌شود در قسمت کشش یا UTS یا نقطه تسلیم استفاده می‌کنیم)

میزان چقرمگی در حالت کشش با میزان چقرمگی در حالت ضربه با هم برابر نیست (یک پاندول به شکل ضربه وارد می‌کند)

اختلاف ارتفاع میزان جذب انرژی در شکل‌های Charpy

قطر طول سنج

مثال: $\varepsilon = 2 \ln \frac{D_0}{D}$

$$\varepsilon = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{D_0^2}{D^2} = 2 \ln \frac{D_0}{D_u}$$

$$S_u = \frac{P_0}{A_0} \qquad \sigma_u = \frac{P_{UTS}}{A_u} \qquad \sigma = S_u \exp(\varepsilon_u)$$

$$S_u A_0 = \sigma A \qquad \sigma = S_u \frac{A_0}{A_u} = S_u e^{\varepsilon_u}$$

$$\varepsilon = \ln \frac{A_0}{A_u} \qquad \frac{A_0}{A_u} = e^{\varepsilon_u}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

فرضیات: حجم نمونه ثابت بود. $A_0 L_0 = A L$

* تنش تا UTS ثابت و جوش نبوده است.

همگن

درنقطه تسلیم

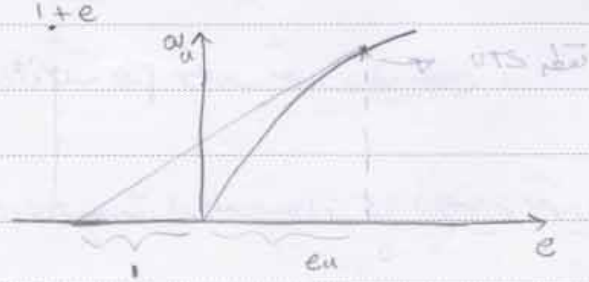
تمرین: ثابت کنید

$$\left(\frac{d\sigma}{de}\right)_u = \frac{\sigma_u}{1+e_u}$$

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma \qquad \varepsilon = \ln(1+e)$$

$$d\varepsilon = \frac{de}{1+e}$$

$$\frac{d\sigma}{\frac{de}{1+e}} = \sigma \qquad \frac{d\sigma}{de} = \frac{\sigma}{1+e} \Longrightarrow \left(\frac{d\sigma}{de}\right)_u = \frac{\sigma_u}{1+e_u}$$



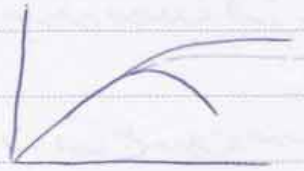
$\frac{a}{b}$

این یک خط است.

شیب منحنی درنقطه UTS

خط حقیقی *

نقطه حقیقی را می‌توان با استفاده از روابط هندسی بدست آورد. اما منحنی واقعی پایین‌تر از آن است.



آیا می‌توان آزمایش منحنی حقیقی را انجام داد؟ بله.

مثال: آیا می‌توان کاری کرد که گلوله‌ای رد نشود؟

87/12/13

کلیه مسائل مربوط به بلورشناسی (۱۴ سیستم) سیستم کریستالی ، هگزاگونال HCP, FCC, BCC

طریقه محاسبه (فاصله، سطح، حجم)

بردار برگر و پارامتر شبکه.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

سیستم HCP $\frac{c}{a}$ ارتفاع (ابعاد آن)

اندیس گذاری صفحات مختلف (HCP) مختصات miller براساس زاویه هوتقطه نسبت به محور موقعیت آن را مشخص

کند مختصات کارتزین براساس اندازه فاصله تا محور)

چرا هگزاگونال را باید عدد اندیس گذاری کنیم.

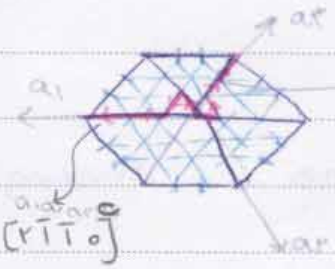
ریاضیات:

قوانین miller (۴ قانون) ۱. محل برخورد صفحه با محور را تعیین می‌کنیم

۲.

صفحه	(010)	جهت	[010]	نقطه 0,1,0
گروه صفحات	{010}	گروه جهت	⟨010⟩	

طبق قوانین miller صفحه نباید از مرکز مختصات بگذرد و هر یک از محور مختصات.



a_1 a_2 a_3 c

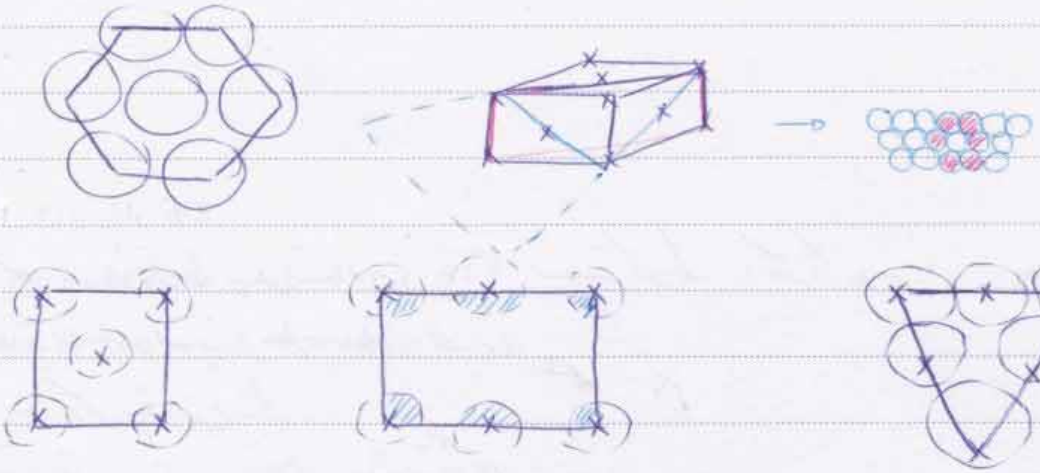
برای تعیین جهت a_1 از مرکز مختصات کوتاه‌ترین مسیر غیرمستقیم را به هم وصل می‌کنیم

Atomic packing factor APF

coordination number. CN

Subject: 5
Year. 87 Month. 12 Date. 13 ( ) Tue.

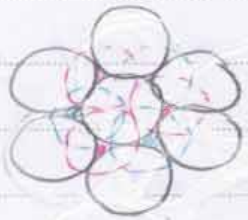
ابتا سلسله اتم برای stacking
صفحات مختلف



⟹ پرتراکم‌ترین صفحه

ابتا سلسله برای این صفحه پرتراکم است.

تفاوت بین Hcp و Fcc با هم برابر نیست (در یک صفحه) با توجه به اینکه نحوه staking در دو حالت فرق می‌کند



Hcp و Fcc دو هشت صفحات پرتراکم با هم متفاوت‌اند.

Hcp → x, y, z
Just z

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

bcc ABABAB...
Fcc ABCABCABC... → برای حالت ایده‌آل
Hcp ABABAB...

ABC|AB ABC... ABA|A|BAB stacking fait
مساحتا رحجیم حالت پرانرژی

وقتی configuration تغییر می‌کند یک فاز جدید جوانه می‌زند.

پس می‌گوییم وقتی چند اتم از یک یاخته کریستالی کنار هم قرار می‌گیرند ساختار برای ایجاد یک فاز جدید می‌بینیم.

اگر مقداری اتم یک یاخته کنار هم جمع شوند اگر configuration را تغییر ندهد یعنی هنوز همان ساختار کریستالی را داشته باشند در این صورت مثلاً اگر B در A باشد در قسمت A منطقه‌ای B داریم که به آن مناطق G.P می‌گوییم. ولی اگر configurational را تغییر دهد جوانه زده خواهد شد.

نکات:

۱. جهت $[uvw]$ موازی با صفحه $\{hkl\}$ است اگر این جهت در صفحه $\{hkl\}$ باشد و $hu+kv+lw=0$ باشد به عنوان مثال جهت $[1\bar{1}2] \parallel (111)$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

۲. دو صفحه $(h_1 k_1 l_1)$ و $(h_2 k_2 l_2)$ بر هم عمودند $h_1h_2+k_1k_2+l_1l_2=0$ باشد $(100) \perp (001)$

۳. دو جهت $[u_1 v_1 w_1]$ $[u_2 v_2 w_2]$ بر هم عمودند $u_1u_2+v_1v_2+w_1w_2=0$ باشد.

۴. زاویه بین دو صفحه $(h_1 k_1 l_1)$ و $(h_2 k_2 l_2)$ برابر است با:

$$\cos\theta = \frac{h_1h_2+k_1k_2+l_1l_2}{\sqrt{h_1^2+l_1^2+k_1^2}\cdot\sqrt{h_2^2+l_2^2+k_2^2}}$$

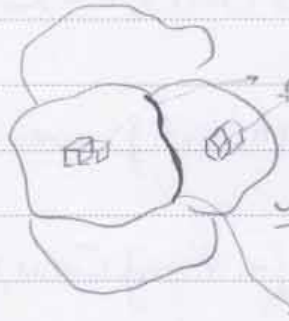
مطلوب است محاسبه مقدار تنش برشی که اگر در امتداد جهت $[1\bar{1}0]$ یک کریستال fcc باعث ایجاد سیستم لغزشی اعمال شود.

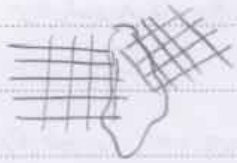
$\sigma = 14.7\,MPa$

$(\bar{1}\bar{1}1)$ در جهت خاص $[0\bar{1}1]$. تنش برشی بحرانه برابر $6\,MPa$ ؟

Subject: 5

Year. 87 Month. 12 Date. 13 ( ) Tue





بنابه‌قطع آقای مرتنگی برای بررسی استحکام تئوری یک کریستال

انرژی مرز نقاط مختلف متفاوت است.

Σ: مرزهایی که بر اساس انرژی تقسیم بندی شوند.

$\Sigma 5$ $\Sigma 11$

$\Sigma 7$ $\Sigma 13$

$\Sigma 9$ $\Sigma 49$

$\Sigma 1$ برای مرزهای فرعی

$\Sigma 3$ برای فصل مشترک دوقلویی (interface twin)

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

استحکام تئوریک کریستال:

با به نظر آمدن شکل برای بررسی استحکام تئوریک یک کریستال می‌توان یک مدل دو بعدی را در نظر گرفت.

برای کنار آمدن توپ‌ها نیاز به انرژی زیادی نداریم.

برای برقراری تعادل استقرار انرژی مینیمم

max نقطه $dG=0$
min

چون مکانیزم‌ها می‌توان یک دستی در مورد فیزیک مکانیکی نسبت داد.

اول باید جسم را از تعادل کمی تا به توان به حالت semi تعادل رسید.

پایداری نقطه‌ها به معنای بهینه لفظ شرایط است.

مثلاً اگر الاس نمونه عمر کوتاه داشت و با کمترین درجه حرارت به گرافیت تبدیل می‌شد دیگر ارزش نداشت الاس نمونه عمر حسوده

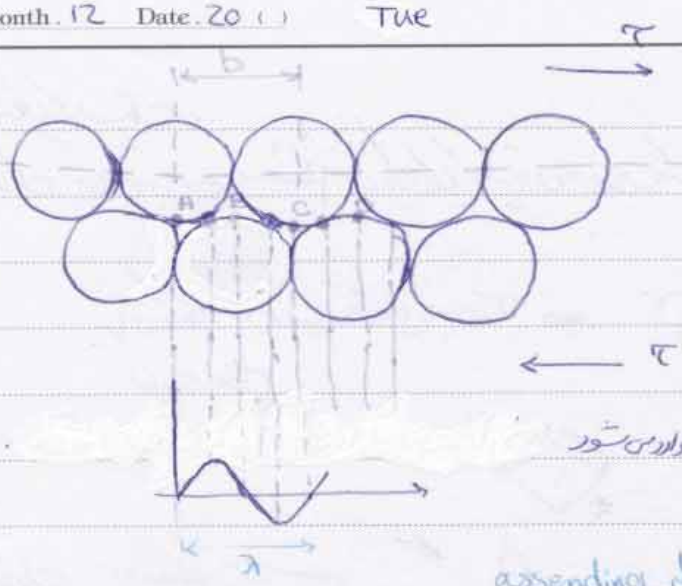
دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

چند میلیون سال است.

b برای برخی از فلزات حدود 2.9 Å است. $a \simeq b$ اگر ماده در حالت غیرتعادلی $a=b$ می‌شد

چرا یک ذره کوچک اگر در یک محیط سیال قرار بگیرد ارتعاش دارد ولی جسم بزرگ ارتعاش ندارد؟ مثلاً ذره براؤن

به حالت اینکه پودر تالک به علت سیالان آمدن آب ارتعاش دارد ولی جسم بزرگ ندارد.



فرض می‌کنیم به یک ردیف از قوب نیروی برشی τ وارد می‌شود

در قسمت اول max و min نیز است در قسمت ascending

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

* اگر فاصله بین دو صفحه inter planar spacing = a و فاصله بین مراکز اتم‌ها در جهت حرکت (لغزش) = b فرض

بکنیم و اتم‌های یک ردیف را تحت نیروی برشی τ قرار بدهیم ابتدا دو ردیف اتم در حالت تعادل و موقعیت‌های A, B, C, D

قرار دارند. اتم‌ها در موقعیت تعادلی برای حفظ تعادل نیاز به نیروی ندارند در نتیجه بین A و B یک نیروی sin وجود دارد

که عمل لغزش این دو ردیف اتم به مقدار آن بستگی دارد.

اگر مقدار جابجایی این دو ردیف اتم را در اثر اعمال تنش τ به اندازه x باشد منحنی این تنش به صورت یک تابع تناوبی

periodic (جابجایی x با تناوب b خواهد بود. (ساده‌ترین فرض تابع سینوسی است)

function

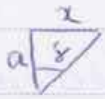
حین مقدار زاویه کوچک است

$$\tau = K \sin\left(\frac{2\pi x}{b}\right) \quad (1)$$

?

$$\tau = K \left(\frac{2\pi x}{b}\right)$$

با استفاده از قانون هوک می‌توان نوشت مقدار آن برابر $\tau = G_x \frac{x}{a}$



تنش = مدول x کرنش

بر حسب زاویه

$\sigma = E.e$ $\quad \tau = G.\gamma \rightarrow$ بر حسب زاویه

$\frac{x}{a}$ مقدار کرنش برشی . با بسط‌دادن قرارداد فوق داریم .

$$\tau = k\left(\frac{2\pi x}{b}\right) = \frac{G\,x}{a} \longrightarrow k = \frac{Gb}{2\pi a} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{Gb}{2\pi a}\sin\frac{2\pi x}{b}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

فرض می‌کنیم $a \simeq b$ و زاویه چرخش کوچک است .

$$\tau = \frac{G}{2\pi}\sin\frac{2\pi x}{b}$$

$$\tau_{max} = \frac{G}{2\pi}\sin\frac{2\pi \times \cancel{b}}{4\cancel{b}} = \frac{G}{2\pi}$$

$\tau_{max} \Leftarrow$ آنگاه $x = \frac{b}{4}$

$$\tau_{max} = \frac{G}{2\pi}$$

(تقریباً) واقعی یک ماده (تئوری پیش‌بینی می‌کند)

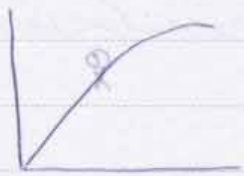
$G = 45110 \frac{MN}{m^2}$ ، $\tau = 7200 \frac{MN}{m^2}$ بنابراین با مقایسه این مقدار تنش بحرانی با تنش واقعی مس

$\tau = 1 \frac{MN}{m^2}$ می‌توان نتیجه گرفت تنش تئوری چندین مرتبه برای تغییر شکل پلاستیک بزرگتر است .

اختلاف مقدار نیروی لازم برای انجام تغییر فرم پلاستیک در عمل و تئوری منجر شده به پیدا کردن طریقه لغزش از طریق نابجایی‌های خط

الماس هم دقیقاً روی یک کریستال دارد .

مکانیزم های تغییر شکل پلاستیک در مواد فلزی



① تا اینجا هیچ اتفاقی از نقطه نظر دانشمند معیوب خاصی اتفاق نمی افتد بعد

از آن عیوب خطی گسترش می یابد.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

تئوری نابجایی خطی در سال 1934 کشف می شود.

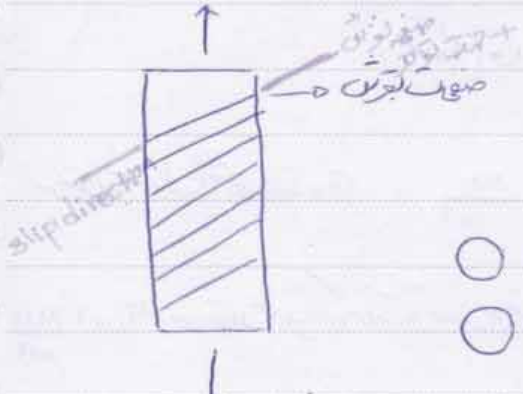
مکانیزم تغییر شکل پلاستیک در مواد فلزی:

بهتر است قادر به تغییر شکل پلاستیک بدون شکست هستند چون در غیر این صورت تولید تنش های فشاری از طریق فرآیندهای

نورد، فورج غیر ممکن بود. تغییر شکل پلاستیکی در کریستال های معمولاً به دو صورت می باشد

لغزش (slip or Glid) و یا دوقلوی یابی (twinning) صورت می گیرد.

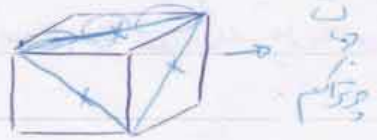
تغییر فرم پلاستیک به وسیله مکانیزم لغزش:

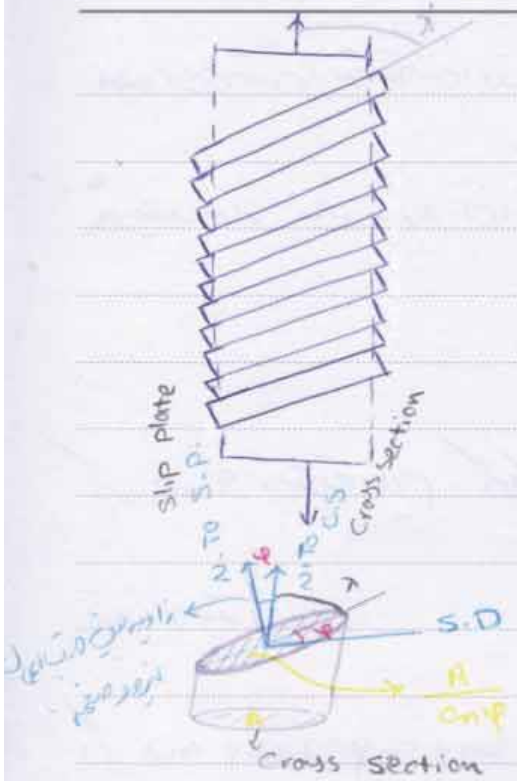


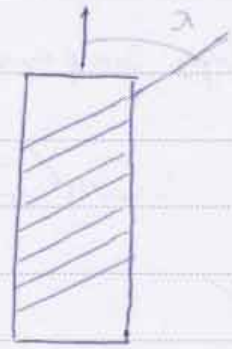
یک یک کریستال را در نظر بگیرید. اگر سطح مقطع A واحد در نظر بگیریم.

صفحات لغزش صفحات پرتراکم را در نظر می گیریم.

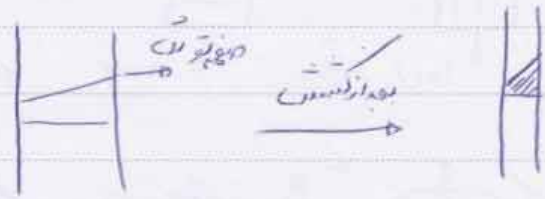
در صفحه پرتراکم FCC سه جهت تراکم وجود دارد. این صفحه را با جهت های مخصوص آن معین می کنیم







$\lambda' < \lambda$



حدود ات جهت لغزش را روی صفحه لغزش معین می کنیم.

۱. زاویه بین نیرو و جهت لغزش را می خواهیم.

تمام این جابجایی ها A° است.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

خطوط یا نوارهای لغزش: به فواصل معین به طور منظم به صورت یک سری لایه یا نوار لغزشی در سطح ماده فلزی یک کریستال به وجود می آیند. عمل لغزش معمولاً در صفحات کریستالوگرافی با بزرگترین زیاد اتفاق می افتد مولفه تنش برشی در جهت لغزش τ را باید بدست آوریم.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F\sin\varphi}{\frac{A}{\cos\varphi}} = \frac{F}{A}\sin\varphi\cos\varphi$$

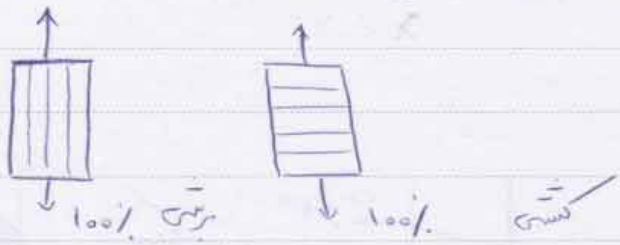
$$\tau = \sigma_0 \sin\varphi\cos\varphi$$

قانون اسمید

یادآور می شویم که لغزش موقعی اتفاق می افتد که مقدار تنش (مولفه تنش برشی) از یک حد معینی (اندازه بحرانی critical valu) بیشتر باشد.

Subject: 8
Year. 87 Month. 12 Date. 20 ( ) Tue.

اندازه بحرانی تنش برشی تابعی است از $\sin\varphi \cos\varphi$ ($\sin\varphi \sin\lambda$ یا $\cos\varphi \cos\lambda$)



هرچقدر λ از 45° به سمت برشی زیاد و کششی کم است.

اگر $\tau = 0$ ما لوتش نداریم. اگر یک سوال هگزاگونال را در نظر بگیریم. لوتش نخواهیم داشت

اگر پیچ باشد اتفاق می‌افتد.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

اگر $\cos\varphi \cos\lambda$ ($\sin\varphi \cos\varphi$) برابر با 1/2 شود یعنی دو تا زاویه φ و λ 45° باشد. در اینجا τ_{max} بیشترین خواهد شد.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_y}{2}$$

قاعده تریسکال، فون مایزز
Von mises , Tereska

اندازه بحرانی تنش برای لوتش:

(نقطه تسلیم نقطه برای مقدار است اهمی داریم و بقیه قرارداری هستند
همچون نقطه الاستیک است)

اصولاً تنش تسلیم کششی حداقل مقدار تنشی است که در آن تنش تغییر فرم پلاستیکی ماده شروع می‌شود. این تنش با

(وصفحه لوتش)
زاویه
orientation محور تنش تغییر می‌کند. اگر زاویه اولیه بین صفحه لوتش و محور تنش (φ_0) و زاویه اولیه بین صفحه لوتش

و محور اعمال تنش (φ_0) و زاویه اولیه بین جهت لوتش و محور تنش λ_0 باشد مولفه برشی تنش بحرانی جهت τ_0 است تنش

تسلیم ماده σ_0، $\tau_0 = \sigma_0 \cos\varphi_0 \cos\lambda_0$ طبق قانون اشمیت داریم.

$$\tau_0 = \sigma_0 \cos\varphi_0 \cos\lambda_0$$

قانون اشمیت برای حالت بحرانی (schmid's low)

اگر $\cos\varphi_0 \cos\lambda_0 = \frac{1}{2}$ و σ_0 و τ_0 حداقل مقدار خود را داشته باشند. این مقدار τ_0 برای یک ماده ثابت است.

که براساس قانون اشمید بدست آمده است (باشد یا اینکه تنش $\sigma_T = \sigma_0$ از تنش تسلیم بیشتر باشد آنگاه σ_0 ثابت

خواهد بود.)

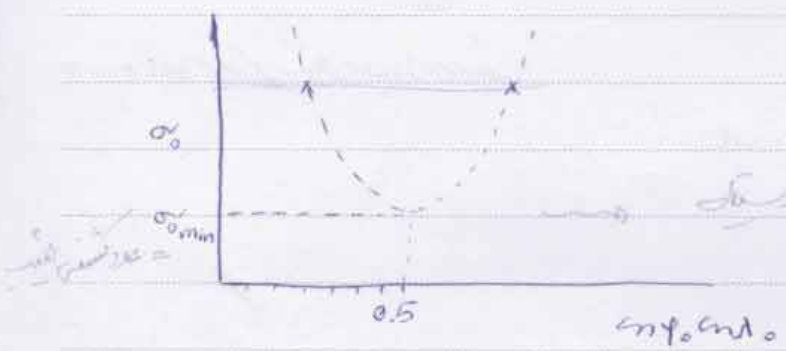
و بیشترین مقدار $\cos\varphi_0 \cos\lambda_0$ فاکتور اشمید خواهد بود. در صورتیکه اندازه σ_0 برحسب زاویه‌ای مختلف (فاکتور اشمید)

(4) از سیستم تورق‌گذاری برحاصل خواهد شد (خواص مکانیکی تک کریستال تابع جهت است. anisotropic)

⇐ خواص می‌تواند max و min داشته باشد و تغییر کند. تک کریستال‌ها در دو سه ابعاد (دو زاویه مکمل) حالت یک‌سان خواهند

داشت.

* (stereo graphic projection)
wulf net



دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

تطابقات و تئوری‌های ارائه شده در مورد لغزش فقط بر یک سلول یا بر روی یک سلول دیگری و چار یک سری نواقصی است از آن جمله

دیده شده است که نیروی که در عمل برای این لغزش لازم است بسیار کمتر است از مقدار نیروی لازم براساس تئوری

استحکام اجسام. این اتفاقات را کمدانس را پیک اندازه که یک اتفاق می‌افتد که

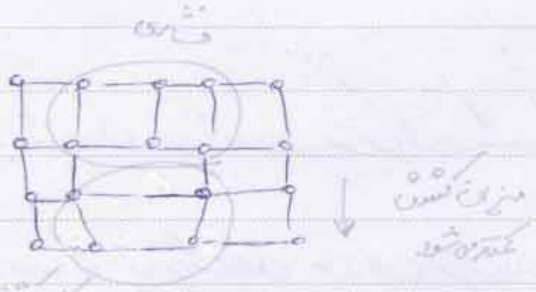
آن یک مفهوم جدیدی را تعریف کردند dislocation (نابجایی خطی) را کشف کردند. (polanyi 1934
orowan
Taylor

نابجایی خطی dislocation ارائه دهنده عدم پیوستگی بین قسمت لغزش کرده و لغزش نکرده یک کریستال است و تغییر شکل پلاستیک توسط سیر حرکت یک همچنین نابجایی تعریف می‌شود. هنگام حرکت نابجایی میدان تنش هم حرکت می‌کند. بعد از عبور کامل نابجایی اتمها خاصی روی صفحه می‌افتند موقعی که نابجایی حضور دارد اتمها روی صفحه می‌افتند. نابجایی مثل لوله‌ای به هم متصل هستند به همین دلیل به آن pipe می‌گویند.

اگر یک کریستال را مثل چند کارت کنار هم فرض کنیم که اگر یک نیم صفحه یا یک سوراخ در یکی از صفحات وجود داشته باشد نابجایی یک کریستال ایجاد می‌شود.

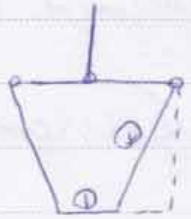
Stacking Fault

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



طول باند بیشتر از طول باند تعادلی { قسمت بالا فشاری
" " کمتر از " " { قسمت پایین کششی.

ایجاد میدان کششی و فشاری به این معنی است که انرژی داخلی افزایش می‌یابد. تغییر طول باندی برای اتم دو بلوک مختلف متفاوت است.

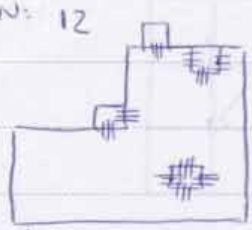


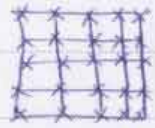
هر چه طول باند را کمتر شود طول باند را بیشتر می‌شود و برعکس که به تعادل برگشت شود.

Fcc:
C.N: 12

انرژی موجود در باند با هم برابر است. انرژی یک باند برابر $\frac{1}{12}$ انرژی مجموعه است.

* ؟ انرژی باند نیک بوند





Fcc
C.N = 12

با جابجایی اتم ها مقدار باند دستش تغییر می کند. در این صورت انرژی کریستال ثابت است ولی bunding energy

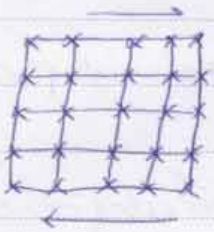
آن تغییر می کند یعنی انرژی جنبشی و پتانسیل تغییر می کند ولی مجموعاً ثابت اند. چون جرم ثابت است انرژی هم تغییر نمی کند.

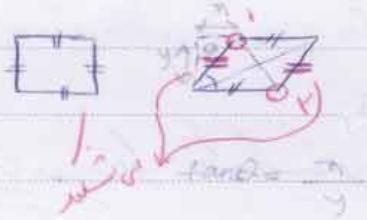
اتمی که مقدار باند کمتری دارد راحت تر می تواند از کریستال جدا شوند (اتم سطحی اتم سطحی انرژی جنبشی زیاد و

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

انرژی پتانسیل کم دارند پس راحت تر جدا می شوند.

اجزایی که از اتم تغییر می کنند یا ابر شبکه یا ابعاد اولیه گویند. پس تغییر شکل پلاستیک ناشی از تغییر ابعاد ثانویه است.





مساحت S در صورتی برابر است که تغییرات زاویه جزئی کم باشد.

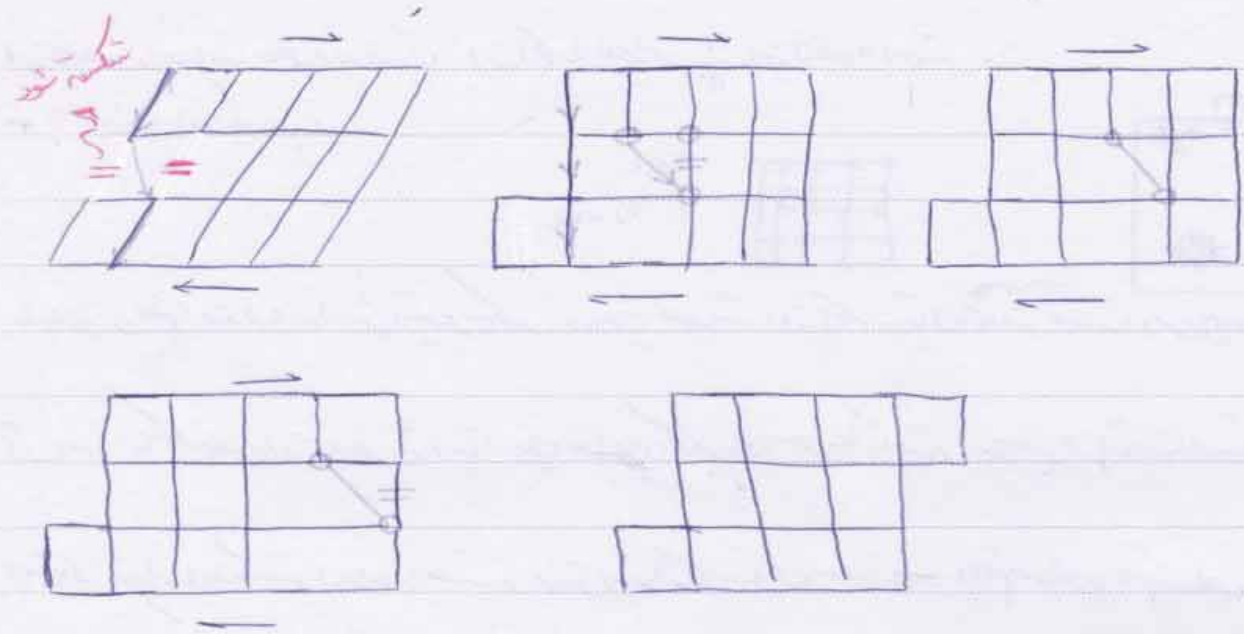
اگر تغییرات زاویه جزئی باشد مساحت دو شکل با هم برابر است.

موقعی که تغییرات زاویه جزئی کم حالت جزئی داشته باشد در آن صورت مساحت دو شکل با هم برابر است ⇐ بعلت

نزدیک شدن اتمی را در ۲ و جاذبه مغناطیسی و نزدیک شدن اندازه قطر به اندازه تعادلی بین دو اتم سنگین است که

بین دو اتم را در ۲ پیوند برقرار شود ⇐ برای برقراری این پیوند (باند) باید دو باند دیگر کشیده شود.

Subject: 7
Year: 88 Month: 1 Date: 15 ( ) Sat



قبل از شکست باید ما تغییر شکل الاستیک داریم و بعد از شکست باید تغییر شکل پلاستیک.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

این تغییر شکل نسبت اتراش طول به اندازه یک step می‌شود.

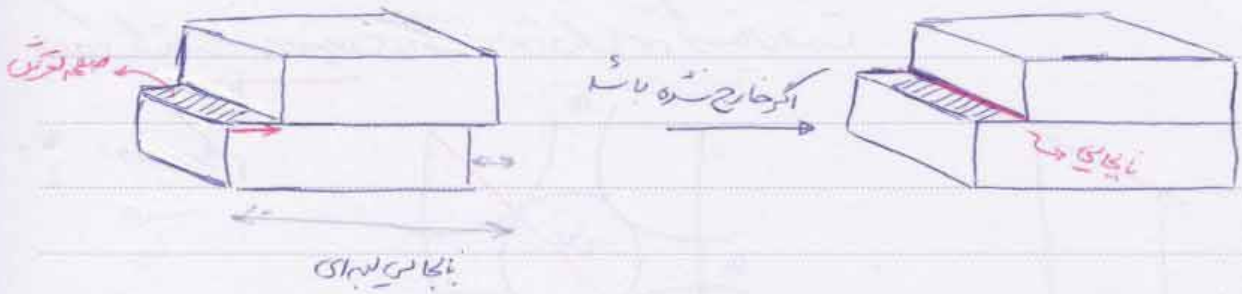
برای اینکه مردم الاده شده از نابجایی خطر اعتبار داشته باشد لازم است:

۱. مقدار تنش لازم برای حرکت یک نابجایی در یک شبکه کریستالی از تنش تئوری مربوطه آن کمتر باشد (فاکتور اشمیت بر مبنای کسل تا باندی است)

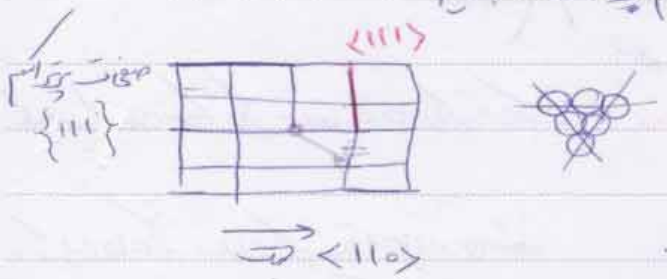
۲. حرکت نابجایی منجر به ایجاد یک استپ (step) یا (slip band) ← باند لغزشی در سطح آزاد کریستال شود، در حالت

سطح آزاد کریستال فقط سطح بیرونی آن نیست می‌تواند سطح یک حفره باشد interface بین دو فاز باشد (یعنی مرز دانه)

نابجایی‌ها در یک منطقه اتراش کرده و لغزش نکرده است. ساده‌ترین نوع نابجایی‌ها: نابجایی لبه‌ای، نابجایی پیچی



نابجایی میکروی صفحه پیرلکه حرکت می‌کند. باید دو مشکل جهت حرکت پیش داشته باشیم.



هم اتم‌ها سه‌های خفه‌ات هستند فقط باندها بریده می‌شوند.

یک موج انرژی با اعمال نیروی خارجی شروع به حرکت می‌کند.

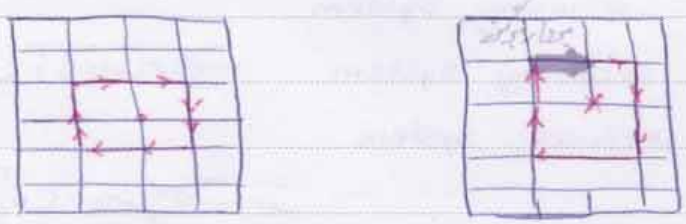
(اسمیت محاسبه کرد که نیروی کل باندها حقیقی است در واقع اثبات در نظر گرفته که کل باندها برای حرکت نابجایی بریده می‌شوند)

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

اگر صفحه از بالا وارد شد نابجایی مثبت است ⊥
" " از پایین " منفی است T

ویژگی نابجایی لبه‌ای این است که جهت حرکت آن عمود بر خط نابجایی است.

بردار برگرز تشکیل کننده مدار برگرز است.



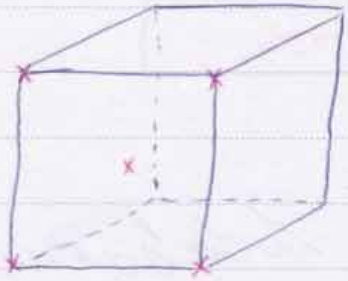
نابجایی بر بردار برگرز خود عمود است

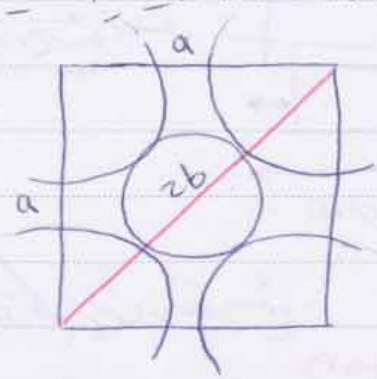
با تکرار جدا شدن در سه بعد برای پاسخون بسته تولید می‌شود

برخاستگی کوتاهترین مسیر نقل و انتقال اتمی در یک سیستم کریستالی است.

⇓

جهت پرتراکم



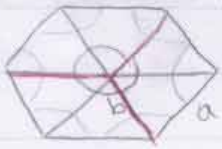


$4b^2 = 2a^2$ $\qquad b = \frac{a}{\sqrt{2}}$ ⟶ یک بلوک روی بلوک دیگر به اندازه b حرکت می‌کند.

با تکرار این حرکت سلول کریستالی ایجاد می‌شود.

در bcc $b = \sqrt{3}/2\, a$ قطر خاستگی است. قطر تصاویر مکعب.

در hcp $a = b$



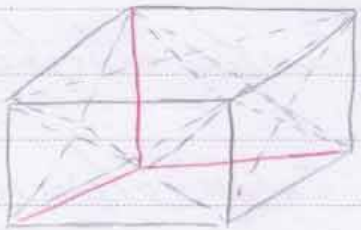
جهت پرتراکم

همچنین میزان نابجایی بیشتر لغزش سمت تر نیروی بیشتری لازم است
یعنی در hcp لغزش سخت است.

$b = a$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

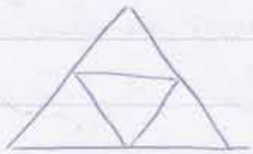
در سیستم FCC چهار صفحه پرتراکم داریم



primary system
secondary system
conjucet system

ترتیب خزش آنها براساس جهت

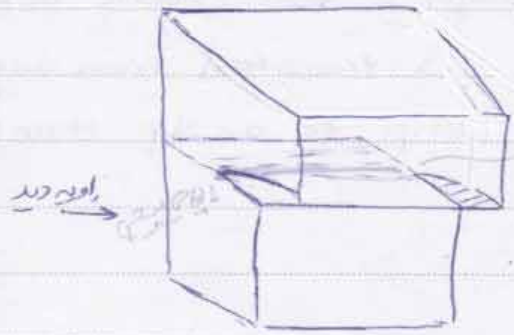
لغزش و زاویه آن با این صفحات است.

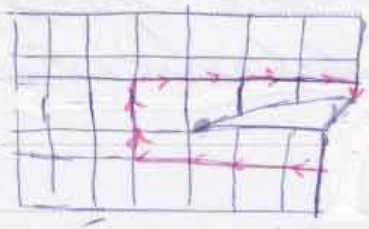


این ۴ صفحه پرتراکم تشکیل یک هرم می‌دهند.

مؤلفه نیروی برشی اعمال شده در روی ۴ صفحه پرتراکم یکسان نیست پس

dislocation روی صفحه‌ای که نیروی برشی شیب کرده ابتدا حرکت می‌کند و بعد صفحات دیگر





وقتی نیروی برشی زیاد اثر شود خط نابجایی بهمراه داخل صفحه حرکت می کند.

screw dislocation عمود بر صفحه حرکت می کند.

نابجایی پیچی مثبت

بردار برگرز جهت اعمال نیروی خارجی را نشان می دهد

" " منفی

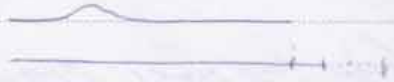
هم dislocation ها عمود بر صفحه حرکت می کند.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

دنابجایی پیچی خط نابجایی موازی با خط نابجایی است. دنابجایی پیچی جهت نیروی موازی با بردار برگرز است که خط

بردار برگرز موازی با خط نابجایی است. جهت اعمال نیرو در نابجایی لبه ای عمود بر خط نابجایی است.

خط نابجایی حرکت می کند این باند ها هستند که حرکت می کنند.



چگونگی حرکت نابجایی

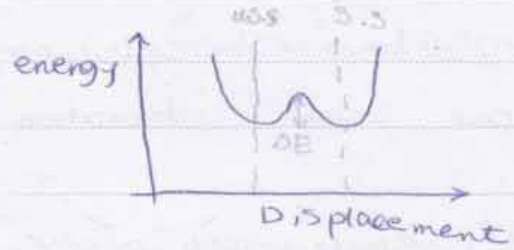
carpet effect

Edge dislocation

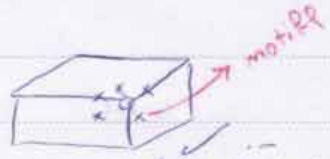
screw dislocation

تزئین توسط حرکت نابجایی توسط شخصی بنام کاترل بگونه ای خاص مورد مطالعه قرار گرفت او تغییر شکل

فرمالسیون پلاستیکی (plastic deformation) به این گونه تعریف می‌کند: «انتقال از یک حالت تعریف شده به یک حالت تعریف شده در یک کریستال»
is transition from an un slip to an slip state)



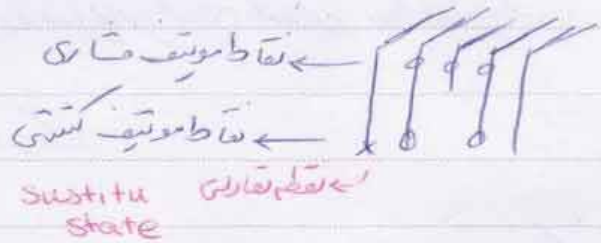
حین حرکت اتم‌ها توسط یک سطح انرژی‌ها پر می‌شود منطقه است که فرض شود حرکت اتم‌ها همزمان اتفاق نمی‌افتد.



اتم جواد در جایگاه A را خفره‌تر می‌گیرد به تعداد سطحی تعداد تقارن و طرف آن را موتیف می‌گویند.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

اتم در یک فضای خاص حرکت می‌کند.



در یک صفحه

میزان حرکت اتم‌ها همیشه از یک مقدار بیشتر

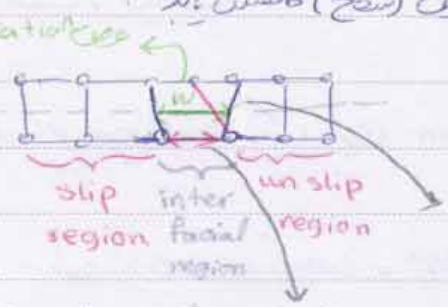
کمتر است.

اتم‌ها فقط از حالات تقارنی خود خارج می‌شوند از جای خود حرکت نمی‌کنند (در واقع مجموع حرکت‌های غیر تقارنی اتم‌ها بردار برگرد را به ما می‌دهد.

(اشمید تعداد باندهای بین دو صفحه را در نظر می‌گرفت ولی باندها انرژی‌شان را می‌سبه می‌کنند و انرژی کمتر باندها خیلی زیاد می‌شود)

برای به حداقل رساندن میزان انرژی در فرآیند حرکت باندهای اتمی بایستی منطقه لغزش داده شده در ماده توسط نیروی

سطح مشترک در منطقه لغزش گره خورده لغزش نکرده اتم‌ها باید منطقه لغزش (سطح) کاهش یابد



صفحه لغزش یک صفحه ایی است که از محل برش باندهای بین دو صفحه

پیوند اتمی عبور می‌کند

انرژی کریستال وابسته به این باند است

انرژی نابجایی انرژی مربوط به باند وابسته به این باند است.

به منظور به حداقل رساندن انرژی در جابجایی نابجایی بایستی طول مت interface کم باشد ( ) هرچه بزرگتر مقدار

انرژی interface شکسته خواهد شد و هرچقدر عرض نابجایی بیشتر باشد مقدار انرژی لازم برای شکست کریستال شکسته خواهد

شد (شبه تعادلی) (یک پیوند غیرتعادلی) چنانکه فاصله اتمی در جهت لغزش نزدیک به مقدار تعادلی می‌شود بنابراین عرض تعادلی یک نابجایی به وسیله

تعادل یا بالانس بین این دو انرژی کشسانی و انرژی مخالف هم تعیین می‌شود (در تغییر شکل پلاستیک هیچ باندی

نمی‌شکند) فقط اتصالات را به تعویض می‌کند.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

عدد dislocation از اهمیت زیادی برای تعیین کننده مقدار نیروی است که dis را به حرکت

می‌آورد این نیرو توسط Peierls - Nabarro تعیین شده است. تنشی که برای حرکت نابجایی در یک

جهت خاص لازم است به تنش برشی Peierls مقدار آن تقریباً برابر است با

$$\tau_p = \frac{2G}{1-\nu} e^{\left(\frac{-2\pi w}{b}\right)} \qquad \tau_p = \frac{2G}{1-\nu} e^{\left(\frac{-2\pi a}{(1-\nu)b}\right)}$$

a: فاصله بین صفحات توری b: بعد شبکه

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

* ۱۵ به صورت لانژی است

البته رابطه بالا چون با توجه به یک نیروی sin است. معمولاً نیروی مؤثر در حرکت dislocation پیچیده‌تر از این نیروی sin است به طور بسیار محدود اعتبار دارد. می‌توان به عنوان guide استفاده کرد.

از این معادله نمی‌توان برای بی‌نهایت دقیق حرکت نابجایی‌ها استفاده کرد. طبق معادله، مقدار انرژی لازم برای حرکت نابجایی‌ها زیاد نیست، همچنین موادی که دارای dislocation های مرضی هستند نیاز به تنش کمی دارند برای حرکت dislocation. از نظر فیزیکی دلیل آن این است که وقتی dislocation عرض است منطقه اعوجاج یافته در اطراف نابجایی‌ها (dislocation) به طور متمرکز در اطراف اتم خاص در شبکه است در حالی که عرض dislocation حدود ۱۰ برابر فاصله اتمی است. اما در سرامیک‌ها که دارای پیوند یونی و کووالانس هستند انرژی بین سطوح توری کریستالوگرافی (interfaces) بسیار زیاد است ← عرض dislocation کم است. این موضوع به چگونگی دستیابی توری سرامیک‌ها توسط نیروهای الکترواستاتیک اعمال شده است. سرامیک‌ها از نظر پلاستیکی بسیار ضعیف‌اند که این به دلیل سیستم‌های سرامیک‌ها سیستم‌های بسیار متنوع هستند (ax, abx, abx², abx³, aby)

سرامیک‌ها از نظر پلاستیکی بسیار ضعیف هستند. نیروهای الکترواستاتیک در جهات مختلف

دو مطلوب بود در سرامیک: ۱. انرژی الکترواستاتیک در یک سیستم یونی.
۲. عرض دیواره کم
dis تأثیر بهتر در خواص مکانیکی.

نکته: ماده کاهش dislocation در سرامیک شدن افزایش dislocation

دانسیته dislocation، نوع آنها، محدوده (محل تجمع dislocation) ← نشان داده شود.

سرامیک‌ها در دمای بالا نرم می‌شوند. همچنین انرژی حرارتی سبب می‌شود نابجایی‌ها بر اثر انرژی غلبه کنند و حرکت کنند.
[باندهای کریستالی زیاد شده
عضو نابجایی کم شده
باندهای دو صفحه زیاد می‌شود]

مثلاً در فولاد تعداد نابجایی‌ها 10^8 در cm^2 است. می‌تواند تا 10^{18} هم برسد. اگر هم کم شود تا 10^6 ماکزیمم شود.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

به طور کلی وقتی ساختار کریستالی یک ماده پیچیده complex و صفحه بهترین تراکم اتمی یا جهت پرتراکم در آن نباشد نابجایی‌ها در این ماده غیر قابل حرکت هستند. هر چقدر در یک ماده نابجایی‌ها کمتر باشد آن ماده ترد است.

مقاومت به کرنش برشی ایجاد شده در سطح یک
حرکت نابجایی‌ها تحت تأثیر یک نیروی خارجی سبب کرنش پلاستیکی می‌شود. این کرنش علاوه بر کرنش پلاستیکی است که با قانون هوک رابطه مستقیم دارد. رابطه بین تنش اعمال شده و کرنش پلاستیکی به درجه حرارت بستگی دارد.

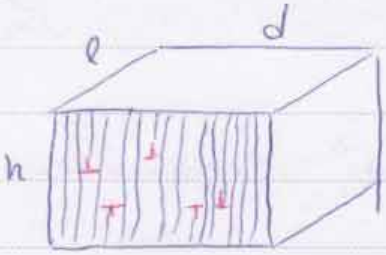
و ساختار به سبک رابطه بین دانسیته نابجایی و کرنش پلاستیکی معیشود دیده کرد . بر این مبنا است که وقتی

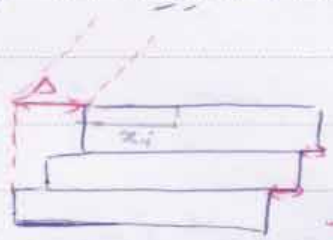
نابجایی حرکت می کند و اتم آن در صفحه لغزش نسبت به موقعیت تعادلی خود نسبت به یکدیگر جابجا می شود max این جابجایی

برابر b بردار برگرز است . حال اگر کریستالی با حجم hld در نظر بگیریم تعداد نابجایی برای بیشترین اگر

تحت تنش قرار گیرد نابجایی ها در صفحه لغزش حرکت می کنند نابجایی مثبت به سمت راست و نابجایی منفی به سمت چپ ،

با حرکت نابجایی ها سطح بالایی نسبت به سطح پایینی به صورت پلاستیکی کرنش پیدا کرده و اثر آن ظاهر می شود.

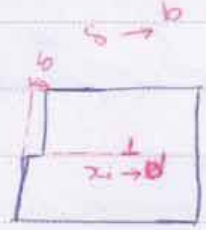




طول به اندازه b
حلقه گشته اتم ها یا نیم است .

اگر نابجایی فاصله d را طی کند x_i به اندازه b خواهد بود .

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



$$\frac{\delta_i}{b} = \frac{x_i}{d}$$

$$\delta_i = \frac{x_i b}{d}$$

حال اگر تعداد d_{is} متحرک و N باشد آنگاه معنی که این d_{is} در جهت حرکت در کریستال ایجاد می کند

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

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

بنابراین مقدار کرنش پلاستیک برشی در سطح ماکروسکوپی برابر است با :

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

حال اگر متوسط فاصله ای که dis ها حرکت کرده اند $\bar{x}$ باشد :

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

$$\Rightarrow \gamma = \frac{bN\bar{x}}{hd}$$ → سطح

کرنش برشی $\gamma = b\rho_m \bar{x}$

$$\frac{\text{تعداد}}{\text{سطح (قطع کرده)}} \Rightarrow \text{چگالی نابجایی}$$

$$\frac{\text{عدد (تعداد)}}{m^2} \qquad \frac{1}{cm^2}$$

$$\frac{cm}{cm^3}$$ ← طول خطوط نابجایی

$$\dot{\gamma} = \frac{dr}{dt} = b\rho_m \frac{d\bar{x}}{dt} = b\rho_m \bar{v} \qquad \dot{\gamma} = b\rho_m \bar{v} \quad *$$

سرعت کرنش برشی = بردار برگرز × چگالی نابجایی × متوسط حرکت

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

مقدار کرنش وابسته به چگالی dis است

deform پلاستیک ماده در سطح ماکروسکوپی را میتوان با ربط گرفتن رفتار dis متحرک بررسی کرد

۱. ساختار کریستالی ماده مشخص باشد تا بردار برگرز b تشخیص داده شود. xray : پارامتر شبکه و b ساختار کریستالی

۲. تعداد dis متحرک مشخص باشد ρ_m : از طریق FE BSEM, TEM

* (مرزدانه های اصلی) مرزدانه فرعی . مرزدانه اصلی orientation آنها ۱۵ است
مرزدانه فرعی مرزدانه کم انرژی هستند که در اثر قطع نابجایی ها در یک دانه به وجود می آیند

اسم مرز : Σ $\qquad \Sigma 1 \rightarrow$ مرز فرعی

$\Sigma 3 \rightarrow$ مرزدانه interface دو فاز

۳. مقدار متوسط حرکت نابجایی ها ($\bar{v}$) : مقدار ρ_m و $\bar{v}$ به تنش زا (دما، حرارت عملیات حرارتی و مکانیکی)

که مثلاً روی داده انجام شده بستگی دارد اندازه‌گیری سرعت حرکت dis ها در مقداری از مقدار و کریستال های مورد نظر

نشان داده‌اند. سرعت dis به شدت تنش برشی در صفحات لغزش بستگی دارد. مقدار آن از طریق

$\bar{v} = A \tau^m$

m: عدد ثابت مقدارش برای مواد مختلف فرق می‌کند. $1.5 < m < 40$

اگر مولفه برشی اعمالی از تنش برشی بحرانی مورد نیاز برای حرکت نابجایی ها خیلی به مقدار کم زیاد شود سرعت حرکت

نابجایی ها افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که بعد از مدتی سرعت حرکت نابجایی ها ثابت می‌شود و دیگر کاهش می‌یابد

برخورد با یکدیگر

مشاهده خطوط نابجایی:

تعدادی از کریستال ها مثلاً LiF در پرتو معمولی و یا مادون قرمز شفاف هستند. dis در این کریستال ها

معمولاً دیده نمی‌شوند ولی امکان قابل رؤیت کردن dis در این نوع کریستال ها وجود دارد. دو روش برای رؤیت

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

کردن وجود دارد: ۱. روش تزیینی (decoration)

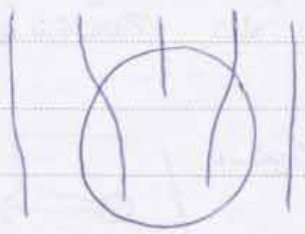
۲. روش hpit (اچ پیت) چاله در یک کریستال از طریق اچ کردن

دکوراسیون یک dis از طریق ایجاد ppt (رسوب precipitate) در امتداد خط dis

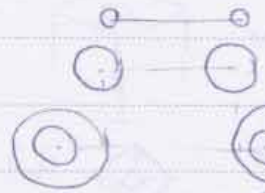
امکان پذیر است. به دلیل اعوجاج مناطق اطراف نابجایی ها این مناطق مناطق مناسب برای ایجاد ppt هستند

با ایجاد ppt بر روی خط نابجایی آن نابجایی به صورت تسبیح به نظر می‌رسد. (ماده‌ای dope می‌کنیم)

اتم های کوچک تر دارند در جهت فشاری روند و اتم های بزرگتر به جهت کششی.

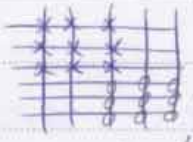


G.P.Z zone



برای ایجاد تعادل باید یک منطقه G.P.Z ایجاد کنیم که اتم های بزرگ به منطقه کشش و اتم های کوچک به منطقه فشاری می رود.

به وجود آمدن یک شبکه کریستالی از اتم های بیگانه که به شبکه ی اتم های اولیه شبکه شباهت دارند (جوانه زنی)



اتم های A به علت چسبونایی که فرصت این را به دست آورند که به شکل شبکه B درمی آیند.

به علت چسبونایی اتم های بیگانه در یک ناحیه G.P.Z جمع می شوند

در این ناحیه استحکام زیادی رخ می دهد

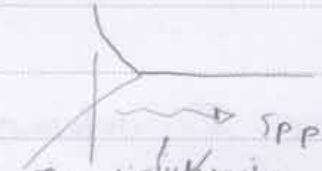
Al-Cu دیاگرام

portter sterling
face transportation
ridlit
water

این سلول که تشکیل می شود با کل شبکه کریستالی

چسبیده < کرنش دار
نیمه چسبیده < نیمه کرنش دار
غیرچسبیده < غیرکرنش دار

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



PPT اگر فشرده سرد کنیم

در مرز دانه ها تشکیل می شود ← حوض مکانیکی خواب می شود

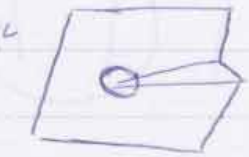
سریع سرد می کنیم تا نابجایی ها در جای خود باقی بماند به صورت محبوس.

برای مشاهده decorate با اورتوتا باسیم.

در روش دیگر مشاهده نابجایی ها محل تقاطع یک نابجایی با سطح آزاد را با یک اسیدی خواهیم. در محل تقاطع یک نابجایی با سطح آزاد را اچ کنیم می توان چاله های ایجاد کرد. با اچ الکتروپلیتی یا اچ حرارتی استفاده می کنیم. اچ حرارتی برای دانه بندی را مشخص می کند و اچ الکتروپلیتی برای همه نوع نابجایی ها استفاده می کنیم. (در درجه حرارت بالا دوش را پایین بیاوریم)

برای جداسازی اتم های سطحی در محل تقاطع اتم های سطحی با نابجایی استفاده شود.

معمولاً در کل تمامی dis باسطح یک پهن مخروطی (برای) و حاشیه دیگر تمامی dis پیچی



باسطح یک پهن spiral ایجاد می‌شود. از بالا

علت برداشت اتمی (atomi removal) کنده شدن اتمی و از شکل dis اتمی دیگر مطلع شود؟

slip = glide لغزش ازیک صفحه به صفحه دیگر (climb) 10: Tue 88/2/1

حرکت dis روی صفحات لغزش (slip) به تنش برشی اعمال شده بحجم مخصوص کریستال، دمای حرارت،

نوع dis بستگی دارد. یکی از روش‌های مستقیم برای اندازه‌گیری سرعت dis توسط Gilman-Johnston

در 1957 ارائه شده است. آنها از روش اچ پیت استفاده کرده‌اند برای آشکارسازی موقعیت dis در مراحل

مختلف deformation. آنها با اعمال مقدار کمی def پلاستیکی در سطح یک کریستال به روش puls (موج ضربه)

برای یک زمان معین این puls ها ایجاد کردند. این مقداری نابجایی‌ها در سطح یک کریستال ایجاد می‌کند و یا در صورت

وجود نابجایی آنها را حرکت می‌دهد.

نابجایی از نقطه یک به نقطه ۲ انتقال می‌دهیم سپس دوباره اچ می‌کنیم حفره نقطه ۱ بزرگتر می‌شود و در نقطه ۲ هم حفره

ایجاد می‌شود ⇐ می‌توان فاصله بین دو نابجایی را داریم مدت زمان اعمال پالس حرارتی را هم داریم ⇐ سرعت حرکت نابجایی

را بدست می‌آوریم. $v = \frac{\text{فاصله}}{\text{زمان}}$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

جانسون و کول مین سرعت حرکت نابجایی‌ها در کریستال LiF محاسبه کرده‌اند و حسب تابعی از تنش. نیروی پایس

را تغییر داده‌اند ⇐ سرعت حرکت d/dt تغییر می‌کند. آنها نشان دادند که سرعت d/dt به مقدار تنش موثر اعمال شده حساس

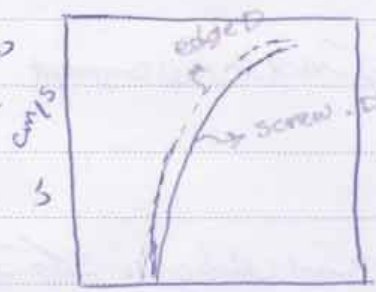
است. در سرعت‌های کم $10^{-7} - 10^{-1} \frac{cm}{s}$ لگاریتم سرعت نابجایی به طور خطی با لگاریتم تنش تغییر می‌کند.

رابطه ما رابطه‌ای است که کوچکترین تغییر نیرو و تغییرات $v \propto \tau^n$ $\quad v = \left(\frac{\tau}{\tau_0}\right)^n$

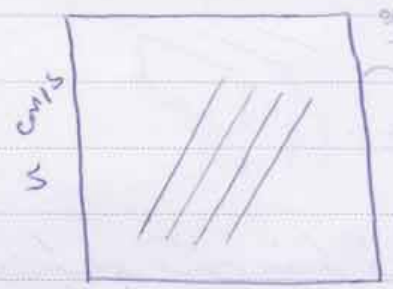
عظیم سرعت را پدید می‌آورد.

$\tau^0 \Rightarrow v = 1 \frac{cm}{s}$ تنش برشی و سرعت $\quad n =$ ثابت معادله (تجربی)

به عنوان مثال در LiF، $n=25$. آلیاژ Fe - 3.25% Si



در نرخ جنبش کم تر نابجایی سرعت بیش هم حرکت



* در هم حرکت مختلف انجام شده سرعت حرکت نابجایی‌ها به هم بستگی دارد.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

این اندازه‌گیری‌ها نشان داده در سرعت‌های کم سرعت حرکت نابجایی‌ها بهای از سرعت حرکت نابجایی پیچی حدود ۵۰ مرتبه

بیشتر است. باید توجه داشت که برای ایجاد تغییر فرم پلاستیکی همواره یک تنش برشی وجود دارد که مقدار آن حداقل تنش

مورد نیاز برای حرکت نابجایی است. این تحقیقات توسط Stein - Low انجام داده‌اند.

محققان که روی FCC و hcp کار کردند اثبات کردند سرعت نابجایی‌ها در متالهای مکعبی و تنش برشی در FCC یا hcp را

مرتبط از معادله حاصل و تکیل می تایید کند.

$v = A\tau^n$

آقای Stein-Low اگر برای آلیاژ مورد نظر در $300^\circ C$ انجام داد n برای کریستال های خالص در $300^\circ K$ تقریباً

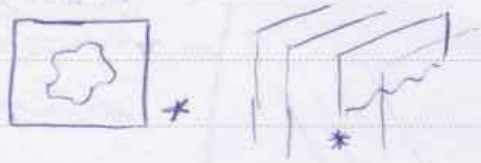
برابر است می شود مقدار n افزایش می یابد.

حلقه dis :

نابجایی های خطی (لبه ای، پیچی) که تا به حال مورد بررسی قرار گرفته اند به صورت یک خط راست در نظر گرفته ایم این

خط راست معمولاً در یک بلور کشیده و حرکت داده می شود. عملاً هیچ نابجایی به صورت یک خط راست نیست. نابجایی یک حلقه

است که بعضی Sigment های آن لبه ای است و بعضی پیچی.



دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

* در این حالت حرکت نابجایی ذاتی است چون هر نقطه نابجایی روی یک صفحه تشکیل شده که آن هم متراکم

نشده و ⇐ قابلیت تحرک ندارم. ⇐ نابجایی E_mobile

* اما این نابجایی در یک صفحه پر تراکم ایجاد شده ⇐ قابلیت حرکت هم دارد

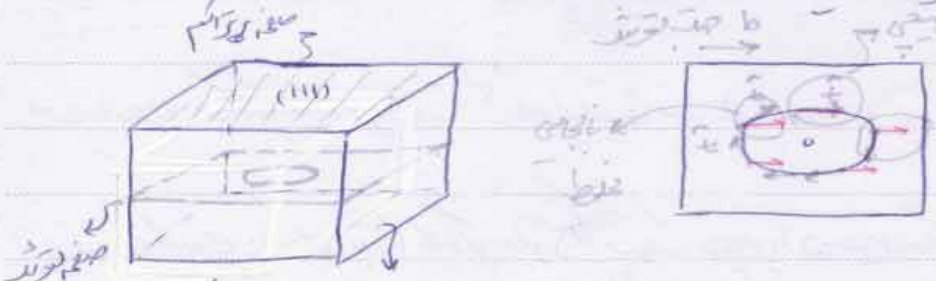
dis معمولاً به صورت یک حلقه در داخل یک کریستال در صفحه لغزش خود می توانند ظاهر شوند.

: Source ایجاد dis مثل فازدوم

بخش interface

داخل حلقه منظم لغزش کره

بیرون " " " نکره



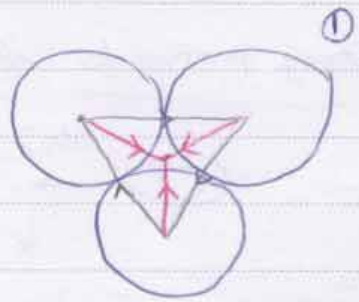
تشریح می دهیم

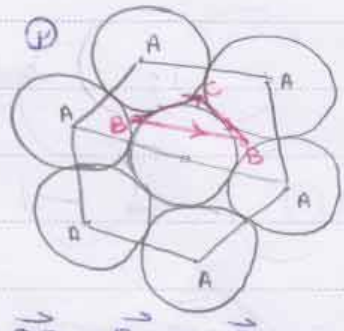
PAPCO

وقتی صحبت از جهت های کریستالوگرافی مطرح می‌شود ←

$|\hat{t}| > 1$ $\hat{t}$ متغیر و b جهت تقارن دارد ناجایی مخلوط دو مؤلفه دارد یک مؤلفه پیچی و یک مؤلفه لغزشی.
mixed

اگر زاویه بین دو بردار ما $0 < \theta < 90$ باشد ما جابجایی mix داریم (ناجایی‌های ترکیبی)





جابجایی اتم از خانه B به خانه B ≃ میزان جابجایی به اندازه B

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

<115> ? ?

صفحات جاری‌شدگی

جهت پرتراکم

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

۱. اگر یک صفحه پرتراکم در fcc داشته باشیم و بخواهیم یک اتم را از موقعیت B به موقعیت B دیگر ببریم دو حالت وجود دارد

۱. مسیر مستقیم ۲. مسیر به موقعیت c سپس به موقعیت B مورد نظر. موقعیت B دوم باید خالی باشد و ضمنا در موقعیت

چیزی از زیر اتم برداشته شده است ⇐ مقداری انرژی در موقعیت c وجود دارد که باعث می‌شود اتم مورد نظر در این نقطه

متوقف باقی بماند {برای تعادل باید بالانس را هم در دو اول به حالت کاملا نامتعادل رساند سپس به حالت تعادل می‌رسد.

موقعیت c کاملا نامتعادل است. اول باید انرژی کم ۱. بالانس انرژی‌ها داریم ۲. کدام مسیر انرژی کمتری

دارد.

اگر صفحات لغزش در یک سیستم کریستالی FCC داشته باشیم صفحات لغزش آن (111) بردار برگرز این صفحه $b=1/2\langle 110\rangle$

اگر جهت حرکتی معادل کمترین جابجایی اتمی در بردار برگرز حرکت کند یک نابجایی کامل رخ خواهد داد (perfect dis)

اتم می‌تواند فاصله‌ای کمتر از بردار برگرز حرکت کند مثلاً در نقطه c قرار بگیرد. اگر dis در مرحله حرکتش کمتر از یک

بردار کامل برگرز حرکت کند partion dis یا dislocation جزئی می‌گویند

dislocation تولید می‌شود. وقتی dis در مسیر حرکت خود به مانع برخورد می‌کند و dis دیگری را تولید می‌کند

جهات پرتراکم جهت $\langle 110\rangle$ و جهات تجزیه شده همواره $\langle 112\rangle$ هستند.

$$\underbrace{\tfrac{1}{2}\langle 110\rangle}_{b_1} \longrightarrow \underbrace{\tfrac{1}{6}[211]}_{b_2} + \underbrace{\tfrac{1}{6}[12\bar{1}]}_{b_3} \qquad b_1 \rightarrow b_2 + b_3$$

بردار برگرز

بردار حرکتی که جهت حرکت dis تجزیه شده است

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

چه چیزی نوشتیم کدام جهت $\langle 112\rangle$: تبدیل زاویه به جهت، vulknet، 3 slip system، تغییر سیستم لغزش در استنلیگرام، سیستم‌های لغزش primary، secondry، cons ...

$E \propto b_1^2$ strans: انرژی هر dis متناسب با مجذور بردار برگرز است.

$b_1^2 > b_2^2 + b_3^2$. strans یا انرژی بردار برگرز $a\{uvw\}$

$$E(a\{uvw\}) = |b| = a\left[u^2+v^2+w^2\right]^{1/2} \qquad b=\frac{a}{2}[110]$$

$|b_1| = \frac{a}{2}\sqrt{2}$

$|b_2| = \frac{a}{6}\sqrt{6}$ $\qquad$ $|b_3| = \frac{a}{6}\sqrt{6}$

$b_1^2 = \frac{1}{2} > \underbrace{\left(\frac{1}{6}+\frac{1}{6}\right)}_{b_2^2 + b_3^2} = \frac{1}{3}$ $\Rightarrow$ جایی می‌دهیم $b_2 + b_3$ اتفاق می‌افتد

نابجایی‌ای که بدون جابجایی dis در نظر می‌گیریم هیچ در صورت وقتی جابجایی‌ای به اندازه b جابه‌جایی شود دو حالت

وقتی اتم‌ها به اندازه b جابجایی می‌شود. $\Leftarrow$ میزان انرژی در دو حالت یکسان است

* باید دقت کنیم که جهت بردار انتقال حتماً در صفحه مورد نظر باشد باید جهت خاصی را انتخاب کنیم.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

Tue 88/2/15

مکانیسم نیروی وارد بر یک نابجایی:

وقتی یک بلور کریستال تحت یک تنش نسبتاً زیادی قرار گیرد نابجایی حرکت کرده و تغییر فرم پلاستیک رخ می‌دهد.

(به Lüder bands ها ، ...) کشش، پیچش، فشار، خمش

این تغییر فرم پلاستیک یا از طریق لغزش یا آن اعمال تنش در درجه حرارت بالا باشد (کشش داغ) از طریق لغزش و

climb نابجایی‌ها اتفاق می‌افتد. به عبارتی اگر نابجایی از صفحه لغزش خود خارج شود به این می‌آیند climb گویند

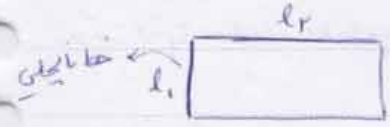
اگر به صفحه بالا رود $climb^+$ و $climb^-$ (صفحه پایین). با اعمال تنش به کریستال و حرکت dis در آن کریستال

مقدار کار انجام می‌شود بنابراین می‌توان گفت خط نابجایی نیرویی که برابر است با کار انجام شده در سطحی که نابجایی در آن حرکت می‌کند را اعمال می‌کند. تئوری دیگری را Nabarro - MOTT ارائه کردند. آنها فرض کردند یک صفحه لغزش عرض l_1 طول l_2، تحت یک تنش برشی τ قرار گیرد. نیروی وارده در صفحه لغزش برابر است با

$F = \tau L_1 L_2$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

حال اگر خط نابجایی با طول l_1 و بردار برگرز b از یک انتهای صفحه لغزش ($l_2=0$) تا ($l_2=l_2$) به انتهای دیگر صفحه



لغزش $l_2 \times l_2$ حرکت کند یک جابجایی به اندازه b در سطح ایجاد خواهد کرد. سطح مابه اندازه

$b \times l_1$ افزایش می‌یابد. بنابراین کار انجام شده برای ایجاد این جابجایی برابر است با

$(\tau l_1 l_2) b = \underbrace{\tau \times b}_{\text{جابجایی}} \times \underbrace{l_1 \times l_2}_{A}$ (F) . اگر نیرو در واحد طول نابجایی (1) F فرض کنیم. کل نیروی اعمال شده بر

خط نابجایی برابر است $F \times l_1$. کار انجام شده بر روی نابجایی برای حرکت بر روی صفحه لغزش به اندازه l_2 برابر

است با $F \times l_1 \times l_2$ ⟸ دو رابطه بدست آمده برای کار با هم برابر هستند. $F \cancel{l_1} \cancel{l_2} = \tau \cancel{l_1} \cancel{l_2} \times b$

$\boxed{F = \tau b}$ * نیروی وارد بر یک نابجایی

بنابراین نیروی موثر بر روی خط نابجایی برابر با $\tau \times b$ تنش برشی. این نیرو همواره در امتداد و جهت لغزش و

عمود بر خط نابجایی است. علاوه بر این نیرو یک dislocation line tension (dislocation line tension) وجود دارد

است این تنش را می‌توان به تنش سطحی مایعات و حباب صابون تشبیه کرد.

واحد تنش خطی یک dis یا واحد خطی (از سطح مقطع که در موقع به خطی است)

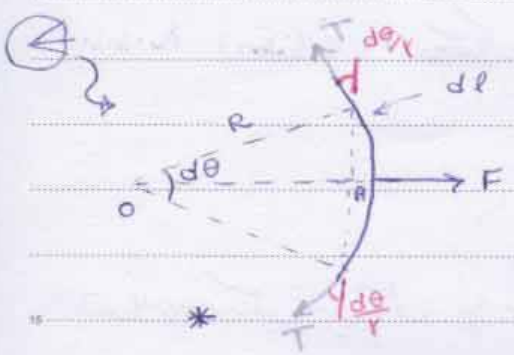
یا واحد تنش خطی یک dis نسبت واحد انرژی بر طول واحد بیان می شود per unit lenght

بنابراین تنش خطی یا مماسی است به این صورت تعریف که تنش خطی عبارت است از افزایش انرژی یک dis

به ازای افزایش طول آن dis به اندازه یک واحد طول.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

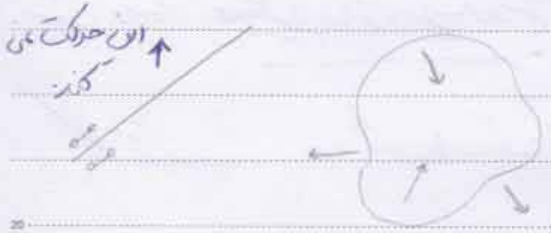
$T = \alpha G b^2$



وقتی α عددی ثابت بین 1 - 0.5 و مدول برشی ماده = G یا μ

$2T\sin\frac{d\theta}{2} = F$ $\frac{d\theta}{2}$ کوچک

$2T\frac{d\theta}{2} = F$ $F = T\,d\theta$



* اگر ما نیرو وارد نکنیم نابجایی راست خواهد شد.

$F = \tau b$

تنش خطی نابجایی سعی در راست کردن خط نابجایی دارد تا انرژی آن را کاهش دهد برآیند نیروی تنش خطی در

جهت مرکز منحنی عمود بر خط dis است. مقدار این تنش برابر با $F = T\,d\theta$ از طرفی رابطه

از طرفی $d\theta = \frac{dl}{R}$ بنابراین تنش خطی در جهت مرکز منحنی برابر است با: $\boxed{F = \frac{T\,dl}{R}}$

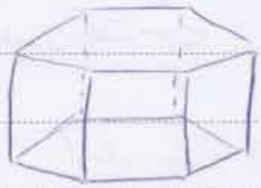
نیروی معادل در جهت OA برابر است با: $F = \tau \times b \times dl$

$T\,d\theta = \tau\, b\, dl$ $\qquad \boxed{\tau = \frac{T\,d\theta}{b\,dl}}$

برای یک سیستم τ و T، b و R ثابت است. $\boxed{\tau = \frac{T}{bR}}$

تغییر فرم از طریق دوقلوئی و بدست آمدن mechanical metallurgy bamblack material science آنیل کردن

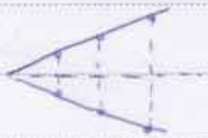
دوقلوئی (دوقلوئی) twining : دو شکل اگر بال این اتفاق می افتد



لولا

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

دوقلوئی نوع دیگر تغییر شکل پلاستیک است که در دو حالت صورت می گیرد. یکی بر اثر تغییر شکل مکانیکی در اثر اعمال تنش برشی و دیگری در اثر آنیل کردن. خود دوقلوئی مثل یک آینه است



و شکل دو طرف آن ترمیم نگه می دارند. دوقلوئی بیشتر در پلورهای HCP اتفاق می افتد زیرا که

لغزش در این پلورها بیشتر در جهت اتفاق روی (0001) اتفاق می افتد. حال اگر این صفحه عمود بر محور صفحه

باشد لغزش اتفاق نمی افتد و اگر این حالت فرآیند دوقلوئی اتفاق نمی افتاد شاید به شدت گسیخته می شود

اختلاف لغزش دو دوقلوئی زایی: در اولین تا آخر اتم در دو طرف صفحه لغزش به یک اندازه ثابت حرکت می کنند.

(militry mach)

در حالی که در مکانیزم دوم حرکت اتم‌ها متناسب با فاصله آنها به مرز دوقلویی است هرچه نزدیکتر باشد حرکت کمتر است

است و هرچه دورتر حرکت بیشتر. دوقلویی اثر در shep اتفاق می‌افتد. (شکل دوقلویی) یک صفحه با این مشخصات

صفحه بعد bcc اتفاق می‌افتد) دوقلویی در یک درجه خاص تشکیل می‌شود.

صفحه‌ی هم جابجا شده‌اند

درجه حرارت هم ممکن است نوعش را ایجاد

Thermal Twining (آنیل کنید)

می‌کند و هم دوقلویی

هر فرآیندی را می‌توان گفت که (بالبود) تمام فرآیندی که درجه حرارت recrystalization آن درجه حرارت محیط (سرب و قلع و روی)

است. هرچه درجه حرارت rec فاصله داشته باشد. میزان عامل تحمیلی انرژی ds است.

علت نرمی کاهش مقدار ds است. اگر بخواهی درجه حرارت recrystalization بالایی داشته باشد برای نرم کردن

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

آنها باید دمای بالاتر از این دما را به آن بدهیم

در ساختار fcc اصولاً دوقلو اتفاق می‌افتد اگر تابکاری (آنیل) شوند (مثلاً برای فولاد نگه داشتن آن در

کوره در دمای محدوده آن 30-50°C A3 طبق متالورژی آن بیشتر در کوره سرد کنیم کوره را خاموش کنیم)

دوقلویی ایجاد می‌شود deformation اتفاق می‌افتد. cast alloy * wrought alloy

* در ساختار fcc بیشتر دوقلویی حرارتی ایجاد می‌شود.

Subject: 11
Year. 88 Month. 2 Date. 15 ( ) Tue

سیستم های لغزش با استفاده از (الف)

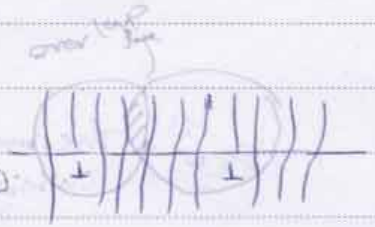
conjuction" , secondry slip" , primry slip"

تعیین تمام کریستال fcc کلیه سیستم های {111} <110> فاکتور اشمیت

ارتباط بین فاکتور اشمیت و دوازده سیستم لغزش

stero projection ، ارای نون میزرو ترسکا

نیروی بین دو نابجایی :



دو نابجایی ساده لبه ای : هر دو مثبت :

اگر فاصله بین این دو نابجایی بسیار زیاد باشد این دو مستقل عمل می کنند تاثیری روی هم ندارند مقدار انرژی الاستیک در واحد طول نابجایی در هر دو حالت $\alpha b^2 G + \alpha b^2 G$ *

ولی اگر فاصله دو نابجایی کم باشد به صورتی که اعوجاج وجود داشته باشد در این حالت مقدار انرژی الاستیک دو نابجایی برابر است با $\alpha G (2b)^2$ که بزرگتر از حالت قبل است که *

حالت دوم برای آن به علت overlap آن است

دقت شود صفحه لغزش باید یکی باشد.

اگر تعداد زیاد نابجایی با فاصله کم داشته باشیم باید مقدار overlap آنها را محاسبه کنیم اما در حالتی که فاصله آنها زیاد باشد هر نقطه نابجایی داشته باشیم ضرب در تعداد آن می کنیم

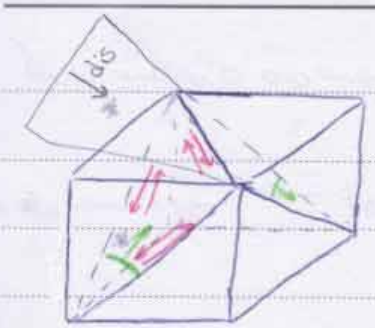
بنابراین در صورتیکه فاصله دو dis هم علامت کم باشد چون انرژی آن زیاد باشد مورد dis غیر تعادلی تری می شود.

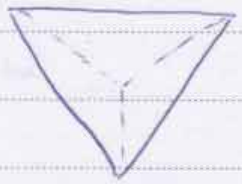
پس باید آنها همدیگر را دفع کنند تا به حالت اولیه برگردند در صورتیکه دو dis با علامت ۱۳ الف در یکدیگر هم باشند.

آنها باید به همدیگر نزدیکتر شوند تا انرژی کاهش یابد.

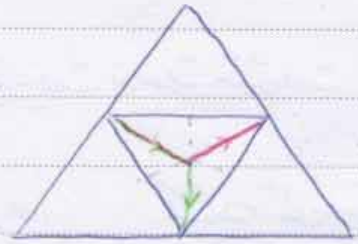
دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

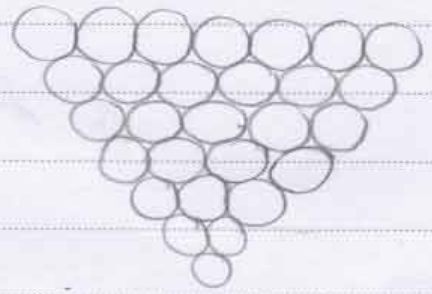
*تعیین تتراهدرال

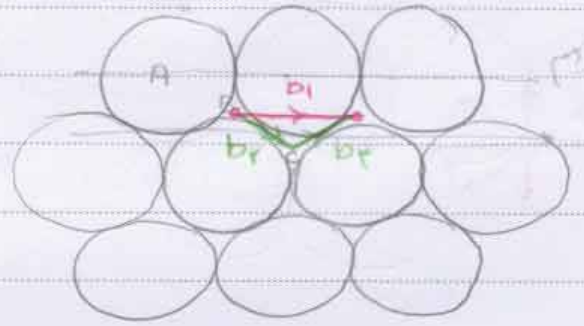




* فرض می‌کنیم این دو کاملاً جوش
با هم بر سطح وجه برابرند.







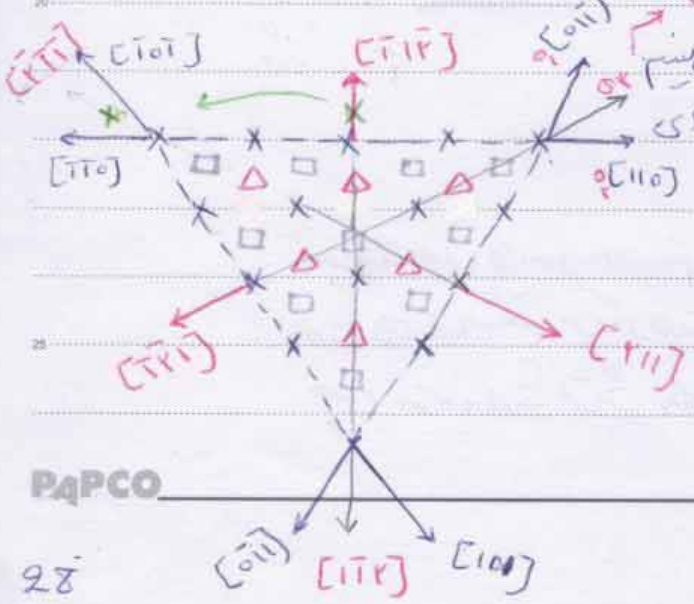
(111) Fcc
(0001) hcp
موقعیت پیوند اتم

اگر x و y و z تغییر کند فقط اسم صفحه عوض می‌شود بعلاوه تغییر موقعیت

b_1 ⟨110⟩
b_2 و b_3 ⟨112⟩

تجزیه می‌شود به ۲

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



طریقه پیدا کردن صفحه پر تراکم در Fcc ، bcc ، hcp را پیدا می‌کنیم
مسئله stacking در جهت عمود منصف آن
جهات پر تراکم در آن است

△ صفحه C
□ صفحه B

$O_1 + O_2 = O_3$

هیچ کدام زاویه‌ی ۱
درست نیست ۱

کمترین مقدار انرژی وقتی مصرف می‌شود که از A به B و بعد به A می‌رویم. پس می‌دانیم تجزیه در جهت عمود منصف است و B روی عمود منصف است. جهات عمود منصف $\langle 112 \rangle$ اند

$\frac{a}{2}\langle 112 \rangle$

(لغزش در طریق هم trace بر کریستالوگرافی)

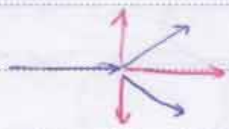
$\frac{a}{2}\langle 110 \rangle$

تجزیه جهت به صورت مثلثی است

کتاب VLIF کشیدن تمام صفحات هم ایست

نکته: آیا تجزیه‌ای که اتفاق افتاد آیا ممکن است باز هم تجزیه‌ی دیگر اتفاق بیفتد؟

بله.

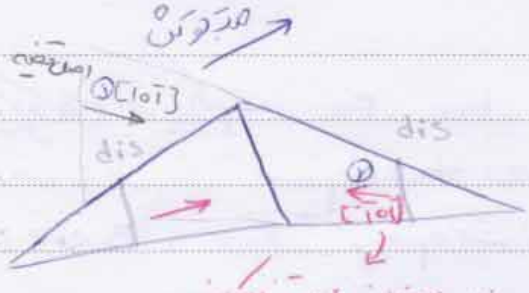


$\frac{a}{2}\langle 110 \rangle$

$h = \frac{\sqrt{3}}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{2} a = \frac{\sqrt{6}}{4} a$

$x = \frac{2}{3} \frac{\sqrt{6}}{4} a = k\langle 111 \rangle$

$\frac{2\sqrt{6}}{12} a = \sqrt{6}\, k \qquad k = \frac{a}{6}$

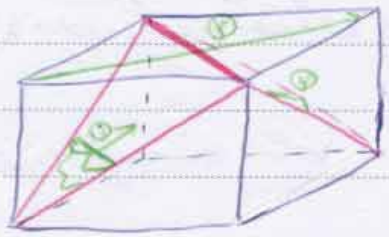


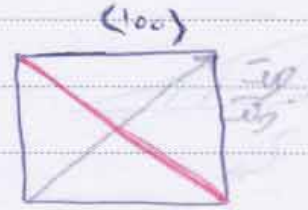
دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

چون جهت اصلی ① اصل دوم را می‌دهیم ← باید اندیس مخالف را استفاده کنیم

جهت ② را گذاشتیم پس اگر جهت ② را دادند باید آن را قرینه کنیم

چون باید توجه به جهت جوش باشد جهت ① حرکت می‌کند نه ②





از ترکیب دو نابجایی به ای یک نابجایی به ای ایجاد می شود چون جهت حرکت

نابجایی به ای بر خود نابجایی عمود است ⇐ و چون جهت حرکت جهت پرتراکم است اما خود نابجایی و جهت حرکتش در صفحه

کم تراکم است ⇐ نابجایی به ای قفل می شود تبدیل می شود به sessile

اگر انرژی ① و ② ۱۰J باشد و انرژی ③ ۱۵J باشد ⇐ به ناچار این دو نابجایی ترکیب می شوند چون کاهش

انرژی داریم ⇐ حرکت می کنند ⇐ انرژی لازم برای حرکت نابجایی ③ زیاد است.

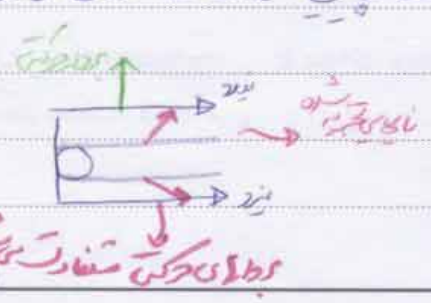
هر چقدر نابجایی ها به هم حرکت کنند و قفل شوند ماده تقویت می شود قفل مشابه سرامیک می شود

در فلز دیتریل 10mm به 5m/s ابتدا از 20kN استفاده می کنیم حدود 2 mm کاهش می یابد و می بایستی با نیروی 20kN
استفاده می کنیم 1 mm کاهش می یابد چون کار سخت می شود و نابجایی ها قفل می شود و کار سخت می گویند.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

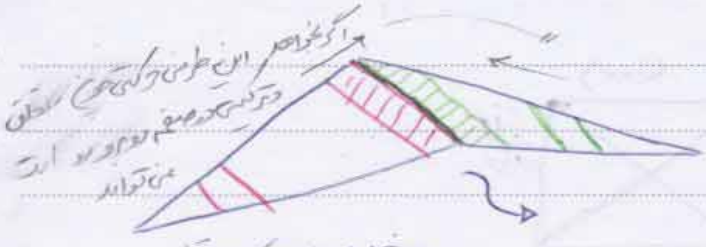
نکته:
در بالا نابجایی به وسیله نوسان نمی تواند حرکت کند اما می تواند climb کند اگر جلو دهیم از صفحه کم تراکم

خارج می شود و به صفحه ای دیگر می رود به صورت Random. در درجه حرارت پایین climb اتفاق نمی افتد.



- اگر بخواهیم نابجایی را تجزیه کنیم یک نابجایی را به دو نابجایی تجزیه می کنیم

Subject: 12
Year. 88 Month. 2 Date. 22 ( ) Tue



دو جزء حلوبی ترکیب می شود دو جزء عقبی باقی می ماند

این باید برای حرکت تغییر سیستم بدهد.
نمی تواند این قفل دائم می شود.

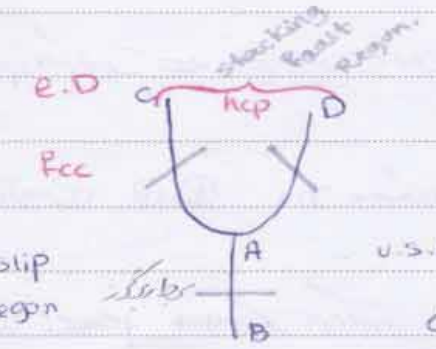
۴ جزء داشتیم شده ۳ جزء

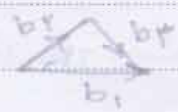
یک جزء از این ۳ جزء هم روی صفحه پر تراکم است هم روی صفحه کم تراکم.

این قفل که تشکیل شده دائم است هیچ کاری نمی شود که نمی شود حرکتش کرد

و slip نمی کند چون انرژی اش زیاد می شود

Tue 13 88/2/29

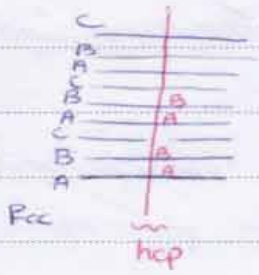




AB ناحیه ای اصلی که تجزیه شده است

اگر یکجا بی تجزیه شود به دو ناحیه تبدیل شود بین دو منطقه (دو ناحیه ای) منطقه ای

است که نقص انباشتگی ایجاد می شود.



هیچ وقت در این ناحیه BCC تشکیل نمی شود ساختارشان به انحاط Atomic packing Factor و cordination number

دارند. چون اگر غیر این باشد پیوستگی به هم می خورد و ساختاری با interface جدید تولید می شود.

AB: perfect dis

AD } partian dis
AC }

حالت تجزیه شده در حالت stack وانباشتگی است
(چون خط متصل دی صفحه (111) در Fcc)

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

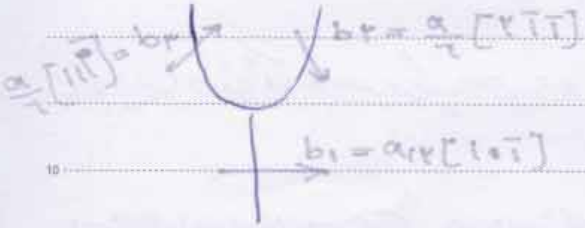
به منطقه بین دو dis تجزیه شده extended dis (نابجایی توسعه یافته) این dis دو جزء دارد که جزء دوم حرکتی

آن در یک جهت نیست. بعد از تجزیه ناصحیح این دو تا کنار هم می‌ماند. تعداد صفحات بین

و تغییر نمی‌کند. segment حرکت کند segment روی هم حرکت می‌کند.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

shockly p.D.



صفحه خاص یک جهت $(111)\langle 10\bar{1}\rangle$

پوتراکم

$[10\bar{1}]\{111\}$ یک جهت پوتراکم روی یک صفحه $\{111\}$ صفحه‌ای را

پیدا کنیم که این جهت را داشته باشد.

$\langle 101\rangle\{111\}$ نه صفحه خاص نه جهت خاص صفحه اکثریت.

زاویه بین b_2 و b_3 60° است. مثلث متساوی الاضلاع.

این دو نابجایی جزئی معمولاً در حالت تعادل با هم هستند. (semi equilibrium)

عیب انباشتگی بین دو نابجایی جزئی دارای انرژی است. موقع این انرژی به پهنای عیب انباشتگی بستگی دارد هر چقدر

این پهنا کمتر باشد عیب انباشتگی انرژی بیشتر دارد. نابجایی توسعه یافته برخلاف نابجایی‌های توسعه یافته در یک صفحه

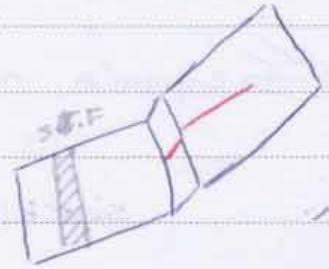
خاص (111) به صورت یک واحد نابجایی حرکت می‌کند و تعادل خود را در هر نقطه از نظر انرژی حفظ می‌کند. پهنایش

در حین حرکت ثابت است و به همین دلیل نابجایی‌های توسعه یافته می‌توانند یکدیگر را جذب دهند (تغییر سیستم)

Subject: 13
Year. 88 Month. 2 Date. 29 ( ) Tue

لغزش نمی‌تواند انجام دهند (cross slip)

اگر یک نابجایی چرخشی در یک صفحه باشد آیا امکان دارد که اینکه نابجایی دیگری به جمع کند تغییر مسیر لغزش دهد؟

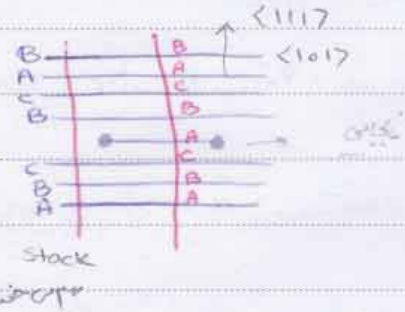


cross slip می‌کند. مگر دوباره با هم ترکیب شوند اگر دوحالت ترکیب انرژی کاهش پیدا کند این اتفاق می‌افتد. اگر انرژی بالا شد SO SO می‌تواند تغییر صفحه بدهد

نابجایی پیچ اصلاً اگر بخواهد از یک صفحه به صفحه دیگر برود می‌تواند تغییر ماهیت بدهد از خطی به پیچی سپس به خطی می‌رود

(هیچ جوابی دارد این است حتی min انرژی در کره و دیپو این اتفاق می‌افتد)

نابجایی‌های چرخشی به گونه‌ای دیگری می‌توانند stacking dis بدهند که به آن fcc می‌گوید Frank



partion dis بردار حرکت

dis برای در سیستم شاکلی $\frac{a}{6}[111]$

" " " " فرنک $\frac{a}{3}[111]$ * اثبات

inte

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

دقت کنید که بردار برگرز این نابجایی برابر مرکزی عیب انباشتگی عمود است.

چون لغزش باید روی صفحه عیب انباشتگی اتفاق بیفتد و بردار برگرز هم بر این صفحه عمود است می‌توان نتیجه گرفت علل لغزش اتفاق نمی‌افتد

به طور کلی نابجایی‌های چرخشی dis چه از نوع شاکلی چه از نوع فرنک که نمی‌توانند توسط لغزش حرکت بکنند به آن

نابجایی‌های سسیل می‌گویند. (sessile dis) یک dis سسیل نمی‌تواند به وسیله عمل تعویض اتم‌ها

یا جای‌های خالی اتمی بطور یک عیب انباشتگی یا در اثر یک تنش حرکت کند (به وسیله climb حرکت کند) از طرفی دیگر

چون لازم نیست در دمای بالا اثر بطور قاطع می‌توان گفت این نابجایی‌ها در دمای پایین حرکت می‌کنند.

dis های که عمل تنش glide ، slip) بر روی صفحه تنش خود انجام می‌دهند (dis تنش، کامل)

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

به dis های گلیسیل می‌گویند (Glissile)

dis های سسیل در شبکه FCC به وسیله عمل تنش نابجایی‌ها در محل تقاطع صفحات تنش (دو صفحه (111) به وجود می‌آیند)

اینجا دیگر (گلیسیل را به سسیل تبدیل کنیم) ماهیت dis تغییر می‌کند ماهیت glide در آن به climb

می‌کند. نابجایی‌های سسیل که به این طریق ایجاد می‌شود تحت عنوان قفل‌های Lomer - cottrel نامیده

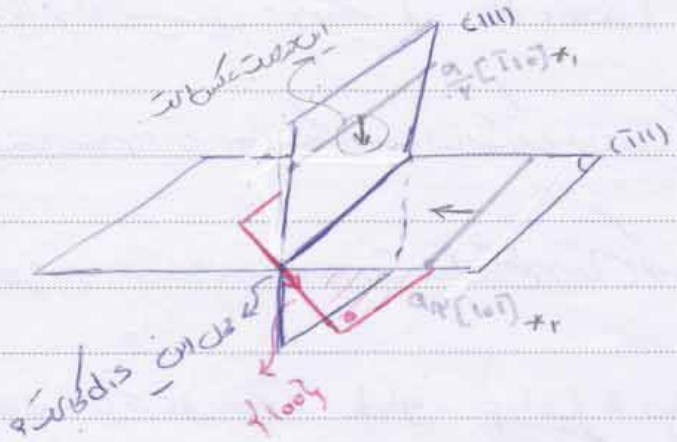
می‌شوند. البته قفل Lomer و قفل cottrel با هم تفاوت دارند.

اما اگر قفل دائم بودن این دو اختلاف است.

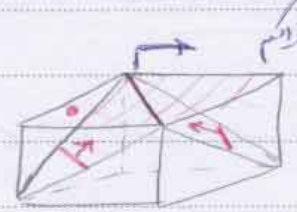
دو نابجایی کامل را در نظر بگیرید $b_1 = \frac{a}{2}[\bar{1}10]$ $b_2 = \frac{a}{2}[101]$

که این دو در دو صفحه خاص (111) و صفحه $(\bar{1}11)$ قرار دارند. و در آنجا شروع به حرکت می‌کنند و این دو نابجایی محل تقاطع دو صفحه

موازی باشند.



$$\frac{a}{2}[101] + \frac{a}{2}[\bar{1}10] \rightarrow \frac{a}{2}[011]$$

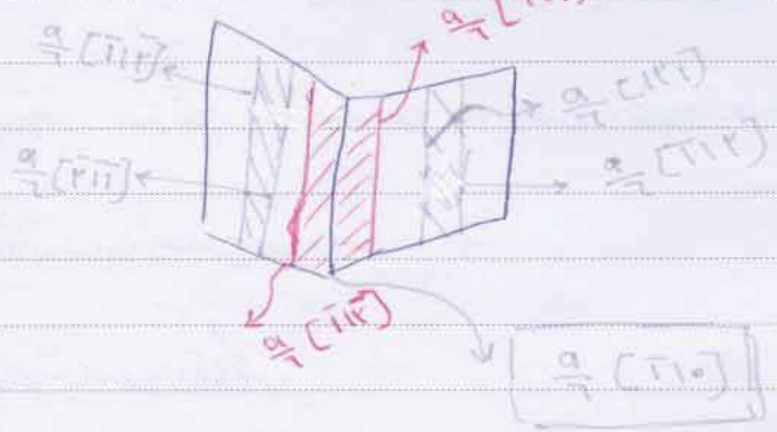


$$\begin{array}{c} 011 \\ 101 \\ \hline (1\bar{1}1) \end{array}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

ناحیه‌ای جدید موازی خط تقاطع دو صفحه لغزش در صفحه (100) قرار دارد و لایه آن ناحیه جدید زاویه بین دو صفحه را نصف می‌کند. بنابراین لبه‌ای است و چون در (100) است می‌تواند glide باشد و هیچ بسیل است.

تنها از طریق clime امکان دارد تغییر جهت داد.



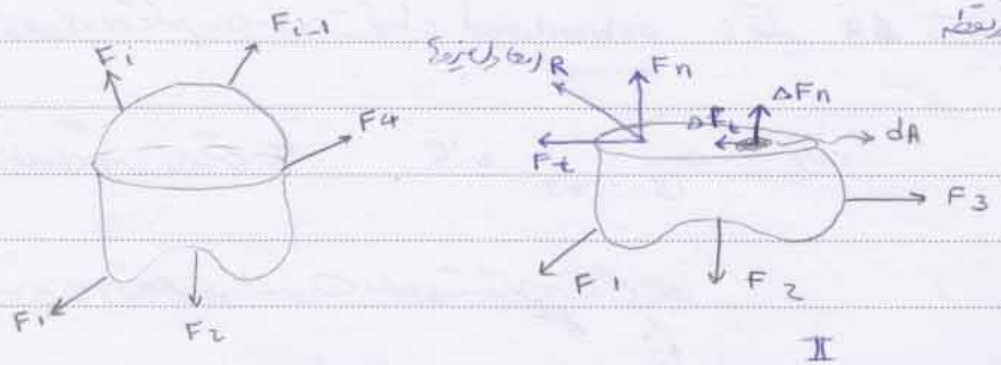
Ottrel می‌گوید اول ناحیه‌ای که تجزیه شود.

$$\frac{a}{6}[\bar{1}12] + \frac{a}{6}[\bar{1}10] + \frac{a}{6}[\bar{1}12]$$

بعد از ترکیب انرژی $\frac{12a^2}{36}$

قبل از ترکیب $2 \times \frac{12a^2}{36} = \frac{24a^2}{36}$ >

concept
تنش در نقطه
کرنش در نقطه



II

اگر قطعه ای تحت نیروی خارجی قرار بگیرد یک سیستم از نیروی داخلی در آن به وجود خواهد آمد نیروهای داخلی ایجاد شده

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

نزدیک شدن یا دور شدن ذرات آن قطعه می شود.

اگر در حالت تعادل باشد برآیند نیروی خارجی و ممان آن صفر شود.

اگر این قطعه را بصورت تقسیم بکنیم نیروهای خارجی که از یک قسمت بریده شده قطعه به آن طرف قطعه انتقال می یابد تا قطعه

در حالت تعادل باقی بماند به صورت شکل II است. نیروهای داخلی را می توان توسط برایند R یا متوسط یک کمیت در سطح

برش داده شده نشان داد. نیروی R را به صورت F_n (نرمال) F_t (shear force) در نظر گرفت.

اگر سطح برش A باشد میانگین نیروهای برشی و عمودی را می توان در واحد سطح به صورت $\frac{F_n}{A}$, $\frac{F_t}{A}$ نشان

داد این مقادیر در سطح جمع لا به طور یکنواخت نیستند و همین یکنواخت نیستند پس محاسبه تنش در هر نقطه خیلی مطلوب

است. (خطوط هم تنش را به هم وصل می کنیم) قطعه را به سری از نقطه ای تقسیم می کنیم تنش در هر کدام محاسبه کرده

Subject: 14
Year. 88 Month. 3 Date. 5 ( ) Tue

اگر نیروی عمودی و برشی که بر روی سطح کوچک (defrentional element) نظیر ΔA به ترتیب ΔF_n و ΔF_t باشد

نیروی عمودی و نیروی برشی τ ، τ یا σ_{ij} $i \neq j$ برشی σ_{ij} $i = j$ عمودی

تنش های برشی و عمودی را می توان به صورت مقابل تعریف داد.

$$\sigma = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$$\tau = \lim_{\Delta A \to 0} \frac{\Delta F_t}{\Delta A}$$

در حالت خاصی که برآیند کل مؤلفه های F_n ، F_t در سطح یکنواخت باشد. در این صورت به توان نوشت:

$$\tau = \frac{F_\theta}{A} \rightarrow \tan \qquad \sigma = \frac{F_n}{A}$$

لازم به ذکر است که نیروهای عمودی در صفحه می توانند به صورت کششی یا عمودی باشند.

tensil force → ممکن است مؤلفه برشی داشته باشد normal tensil force.

نیروی عمودی بر سطح معمولاً عامل جدایش ذرات متفاوت از یکدیگر هستند و جایی که عامل نیروی عمودی فشاری بر سطح عامل

تر و یکدیگر ذرات از یکدیگر شود (در نتیجه تغییر می کند برای یک جسم با حجم خاص)

بار زیاد → وزن کم → high AL $\rho = 6\ g/cm^3$ ⇒ تقویت آن حال در هواپیما

نیروی برشی که موازی صفحه است این نیروی برشی عامل تقویت است.

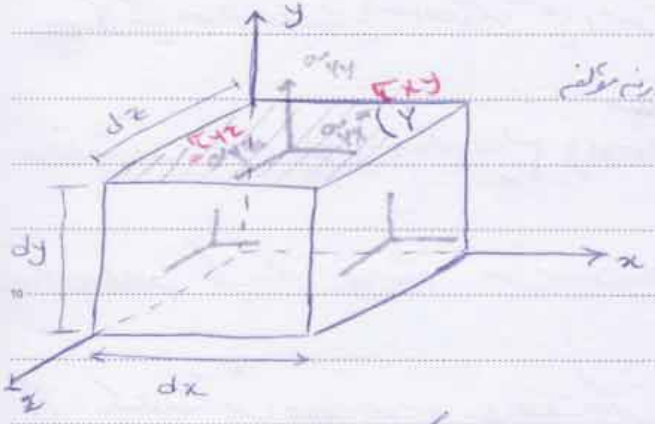
psi pound per squre inch. واحد تنش

$MNM^{-2} = Mpa$ *

مؤلفه های تنش stress component به طور کلی یک نقطه در یک قطعه می توان به صورت محل تقاطع سه صفحه عمود هم

PAPCO

نشان دهیم که تنش های عمود و برشی روی این صفحات عمل می کنند. این حالت کلی معمولاً تحت عنوان triaxial نامیده می شود. معمولاً این سه صفحه را سه صفحه عمود بر محورهای x, y, z در نظر می گیرند. و صفحات را با X, Y, Z نشان می دهند. فرض کنید این صفحات یک حجم دیفرانسیلی de Frentional volume. از یک ماده ای را که تحت تنش است شامل شود.



با توجه به شکل می توان دید برای مشخص کردن یک نقطه در فضا مجموعاً ۹ مؤلفه نیاز داریم. (یک سلول ماده حالت پایداری باشد) اگر سلول ما در حالت پایداری باشد می توانیم جای اندیس ها را عوض کنیم $\tau_{xy} = \tau_{yx}$

برای تعیین وضعیت تنش در یک نقطه باید ۶ مؤلفه ۳ تا عمودی و ۳ تا برشی را تعیین کنیم.

۱. بنابراین تراکم دو مؤلفه عمودی تنش موقعی مثبت است (دو دار بر بیرون) بطرف خارج (بیرون) صفحه مربوطه باشد.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

مؤلفه برشی تنش مثبت است اگر:

۱) در جهت مثبت محور مختصات باشد.

۲) مؤلفه عمودی تنش در آن نقطه مثبت باشد.

در غیر این صورت منفی است.

یادآوری می شود که بحالت تنش یعنی اعمال این قرارداد در مورد تنش های پیچیده موقع از این قرارداد در آنالیز مسائل تنش های سه محوره triaxial stress استفاده می شود. تنش های سه محوره در مسائل تئوری الاستیسیته استفاده می شود.

تئوری الاستیسیته و پلاستیسیته

اگر مقدار تنش در یک جهت خاص مثلاً جهت z صفر شود. کلیه مؤلفه‌های تنش در آن جهت صفر خواهد بود.

$\sigma_{zz}, \tau_{yz}, \tau_{xz} = 0$

← اگر یک جسم دو بعدی یا سه بعدی داشتیم و تنش در یک جهت آن صفر بود ۳ مؤلفه آن صفر شود برای تعیین

موقعیت آن جسم نیاز به ۳ مؤلفه داریم

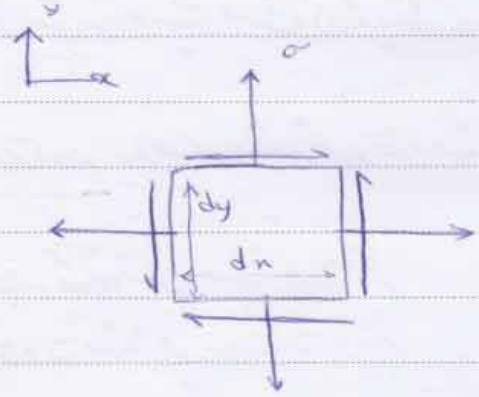
Triaxial (۳ مؤلفه) → by axial (plane stress) (۲ مؤلفه) (اندرکنش ماده در صفحه)

plane stress یک مؤلفه صفر باشد. تنش باید یک جهت صفر شد.

اگر در یک جهت تنش عمودی وارد شود در دو جهت دیگر تنش عمودی وجود ندارد ولی تنش برشی داریم.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

آنالیز تنش در صفحه:



اگر فرض کنیم تنش در z صفر است مؤلفه تنش به شکل مقابل است.

این مسئله باید در نظر باشد که آیا تنش مؤلفه‌های تنش است که از دو نقطه

عبور می‌کند که این آیا در نهایت به دو نقطه منتهی می‌شود و در نهایت dx و dy بسیار صفر شود یا در نقطه گرفتن حالت تعادل

و باید برای آن ها توضیح ثابت کنیم $\tau_{yx} = \tau_{xy}$ برای اثبات قضیه صفحه را برابر ۱ در نظر می‌گیریم.

طبق توضیح نیرو عبارت است از مقدار تنش ضرب در سطحی که نیرو بر آن وارد شود. بنابراین با جمع مقادیر moment

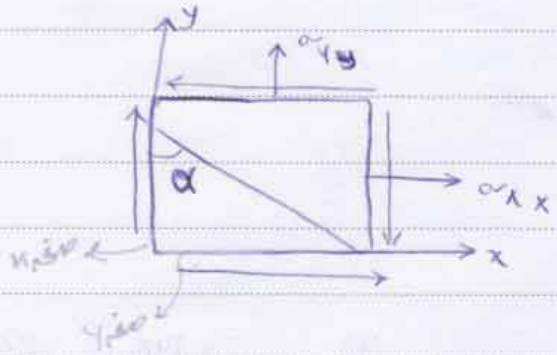
تا آخر ۵ حول محور z که از رکن مختصات گذشته است رابطه زیر بدست می‌آید:

$-\tau_{xy}(h.dy)\,dx - \tau_{yx}(h.dx)\,dy = 0$ برای تعادل

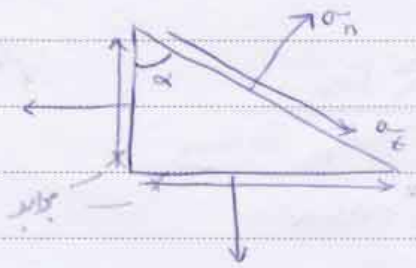
$\tau_{xy} = \tau_{yx}$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

بسیار مطلوب است که تنش های اعمالی بر روی صفحات مورب ببینیم.



F.b.d free body diagram



max, min stress σ_I, σ_{II} principle stress

فرمول σ_n و σ_t را می‌نویسیم مشتق می‌گیریم تا max و min بدست آید.

تنش های عمودی و برشی بر روی صفحه مورب به ترتیب σ_n و τ_t هستند بطور قراردادی α را مثبت در نظر می‌گیریم اگر

آن در جهت ccw از محور x های مثبت اندازه گیری کنیم در آنالیز تنش plane stress جهت قراردادی برای تنش های

عمودی به صورت زیر است:

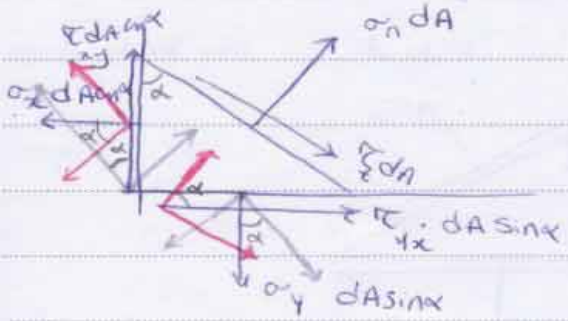
تنش برشی + اگر چرخش cw در آن سطح ایجاد کند و منفی است اگر در جهت ccw ایجاد کند تنش عمودی

اگر کششی باشد + و اگر فشاری باشد − بنابراین τ_{xy} در این صفحه x + و τ_{yx} در صفحه y منفی است.

حال یک المان تنش کوچکی در نظر بگیرید. فرض شود در جهت صفحه مورب چون dx و dy تغییر می‌کند dA باشد.

مساحت صفحات ←

بنابراین نیروی مؤثر بروی سطح کواری شکل را می‌توان برحسب dA و زاویه α بدست آورد.



15 , Tue 88.3.12

$$\sigma_n\, dA - \sigma_{xx}(dA\cos\alpha)\cos\alpha + \tau_{xy}(dA\cos\alpha)\sin\alpha + \tau_{xy}(dA\sin\alpha)\cos\alpha$$

$$-\sigma_{yy}(dA\sin\alpha)\sin\alpha = 0$$

$$\sigma_n = \sigma_{xx}\cos^2\alpha + \sigma_{yy}\sin^2\alpha - 2\tau_{xy}\sin\alpha\cos\alpha$$

$$\sin^2\alpha = \frac{1-\cos 2\alpha}{2} \qquad 2\sin\alpha\cos\alpha = \sin 2\alpha$$

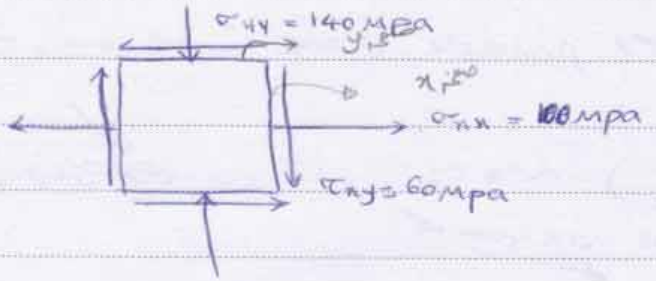
$$\boxed{\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_{xx}+\sigma_{yy}) + \frac{1}{2}(\sigma_{xx}-\sigma_{yy})\cos 2\alpha + \tau_{xy}\sin 2\alpha}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

باید صرفاً اثبات آن را بلد باشید بنویسیم

$$-\sigma_t = \tau_t = \frac{1}{2}(\sigma_{xx}-\sigma_{yy})\sin 2\alpha + \tau_{xy}\cos 2\alpha$$

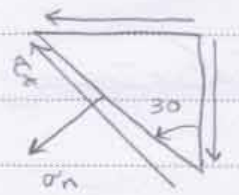
مثال: اگر تنش های صفحه یک المان تنش صفحه ای (plain stress) به صورت مقابل باشد
مشخص کنید مقادیر تنش عمودی و برشی در صورتی که صفحه مورب قطر با صفحه x در جهت c.c.w زاویه ۳۰ بسازد.
نیروهای را ثابت کنید:

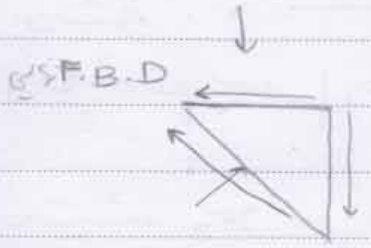


با استفاده از σ_n و τ_t مقادیر خواسته شده را محاسبه کنید

$\sigma_n = -11.97$ MPa

$\tau_t = 133.92$ MPa





principle stresses and max تنش های اصلی و حداکثر مقادیر تنش های برشی.

معادلات بدست آمده برای σ_n و τ_t نتیجه می دهد orientation صفحه مورب که توسط زاویه α مشخص شده تعیین می گردد کوشته است. تنش عمودی به ازای مقادیر معینی زاویه حداکثر یا min خواهد بود. با تنش گرفتن از معادله σ_n برحسب α:

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$$2\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{-2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}\right)$$ ① مراحل تنش کامل

$$2\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}}\right)$$ ② اگر از τ_t مشتق بگیریم

از رابطه ① دو برابر زاویه α که به اندازه 180 درجه اختلاف دارند $180+2\alpha$ و 2α یا α و $90+\alpha$
(دو مقدار برای α بدست می‌آید که 90° اختلاف دارند).

این دو صفحه به صفحات principle plane (صفحات اصلی) موسوم‌اند. تنش‌ها در این دو صفحات اصلی هستند

$(\sigma_I , \sigma_{II}) \rightsquigarrow \sigma_n$ تنش اصلی گوییم.
که مینیمم یا max است.

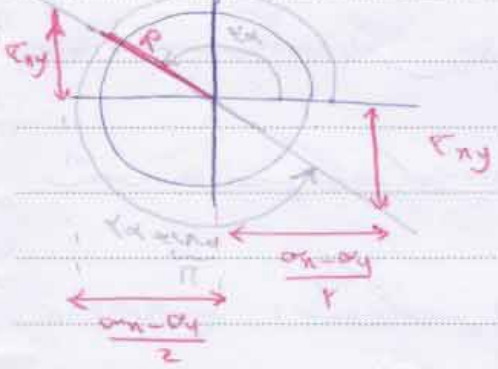
تنش‌های اصلی عبارت است که تنش‌هایی که بر روی صفحات اصلی اعمال می‌شود. تنش‌های برشی که بر روی صفحات اصلی

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

وارد می‌شود صفر است. روی صفحات اصلی تغییر شکل اتفاق نمی‌افتد.

* اگر فرض شود مقدار σ_n از $|\sigma_1|>|\sigma_2|>|\sigma_3|$ (قدر مطلق بزرگ) اگر این طور نیست باید جای دو متغیر که ما این فرض باید
عوض شود $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ می‌توان گفت $\tan 2\alpha$ (max σ_n) بدست آمده برای زاویه

در رابطه ① نتیجه است. بنابراین چنین زاویه باید یا در ربع چهارم یا در ربع دوم باشد اگر این فرض شود چه اتفاق



$$\tan 2\alpha = \frac{\tau_{xy}}{-\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)}$$

$$R = \left[\left(\frac{\sigma_x-\sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2\right]^{1/2}$$

همچنین از هندسه شکل فوق می‌توان بدست آورد

$$\sin 2\alpha = \pm\frac{\tau_{xy}}{R} \qquad \cos 2\alpha = \mp\frac{(\sigma_x-\sigma_y)}{2R}$$

با جایگزینی مکعب این معادله در رابطه (σ_n) می‌توان بدست آورد که:

$$\sigma_I = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + R = \sigma_A + R$$

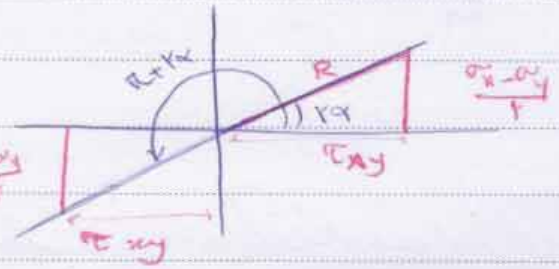
$$\sigma_{II} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - R = \sigma_A - R$$

$$\sigma_I + \sigma_{II} = 2\sigma_A \qquad \sigma_A = \frac{\sigma_I + \sigma_{II}}{2}$$

$$\sigma_I - \sigma_{II} = 2R \qquad R = \frac{\sigma_I - \sigma_{II}}{2} = \left|\tau_{max,min}\right|$$ حداکثر

برای نرمول (۲) $2\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}}\right)$ (از τ_t مشتق می‌گیریم) $\Leftarrow$ $\tan$ دوبرابر

مشتق است.



$$\sin 2\alpha = \pm \frac{\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}}{R}$$

$$\cos 2\alpha = \pm \frac{\tau_{xy}}{R}$$

اگر $\sin 2\alpha$ و $\cos 2\alpha$ را در اصل نرمول τ_t می‌گذاریم و بدست می‌آوریم

$\tau_I = R$

$\tau_{II} = -R$

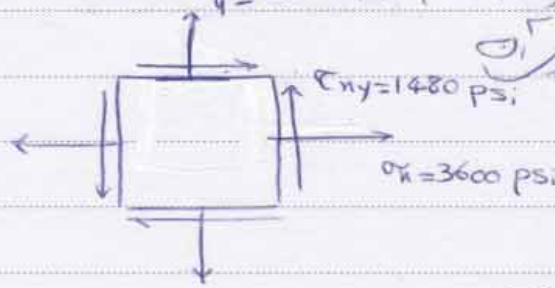
max, min تنش برشی شعاع دایره مور است. (دایره مور آنالیز)

تحت شرایط تونل می‌توانیم دایره I را رسم کنیم.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

اگر زاویه ای را که به ازای آن σ_I و σ_{II} بدست آمده در نرمول τ_t قرار می‌دهیم صفر بدست می‌آید و اگر τ_{max} و τ_{min} زاویه‌ای که به ازای آن τ_t max, min شده و در نرمول σ_n قرار دهیم σ_A بدست می‌آید.

مثال: در یک نقطه از یک قطعه تحت تنش شرایط plane stress وجود دارد $\sigma_1 + \sigma_2 = \sigma_x + \sigma_y$



۱. تنش های اصلی و تنش برشی max و min و صفحاتی که این تنش ها بر روی آن عمل می کنند

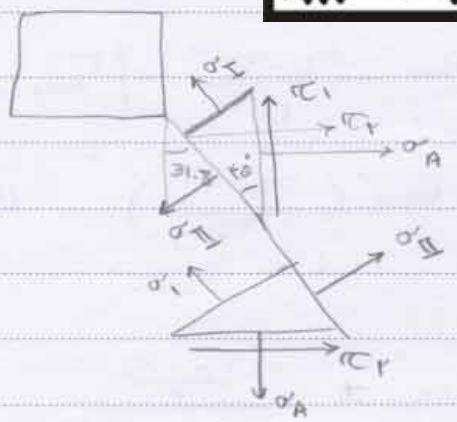
$\sigma_{II} = 1217$ psi t ← منفی

$\sigma_I = 4519$ psi t (tension)

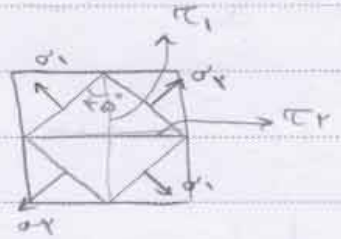
$\tau_I = +1151$ psi $\qquad \tau_{II} = -1151$ psi

زاویه 31.8° با محور x

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



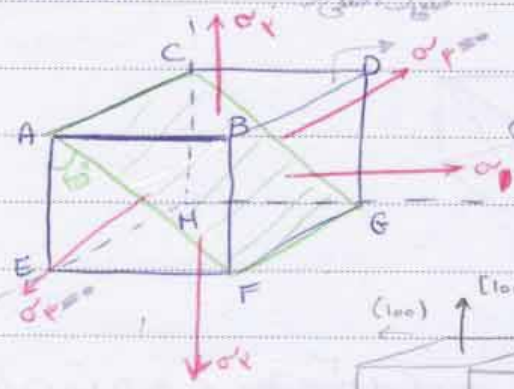
صفحه برش ۴۵ است



* اختلاف زاویه بین صفحاتی که تنش های اصلی عمودی عمل می کنند با صفحاتی که تنش های برشی max و min عمل می کنند ۴۵ است
مثل ماکتور است

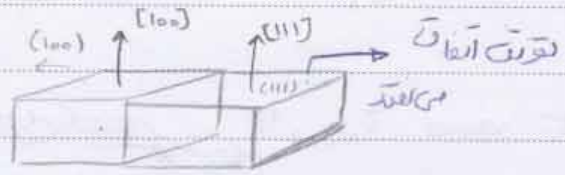
plane stress

اگر یک المان سه محوری را در نظر بگیرید



بطوری که این دارای یک صفحات آن صفحات اصلی اند که تنش در محور اصلی

وارد می شود و تنش برشی صفر است.



اگر $\sigma_3 = 0$ plane stress را ایجاد کردیم. گرچه تنش در جهت ۳ نداریم ولی جهت ۳ و ۲ در آن جهت

کرنش خواهیم داشت. می خواهیم ببینیم این 5 principle stress روی صفحات داخلی چه تأثیری می گذارند.

اقطار این صفحاتی هستند که max تنش برشی در آن اعمال می شود. عامل حرکت تنش برشی که روی ACFG وارد

می شود. max تنش برشی اعمال شده است ولی باید صفحه ACFG طوری انتخاب شود که صفحه پرتاب شود

در غیر این صورت حرکت نداریم.

قدر مطلق نداریم

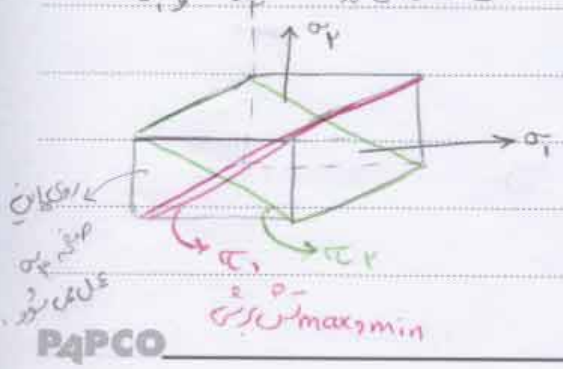
طبق قرارداد $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ اگر $\sigma_3 = 0$ یعنی σ_1 و σ_2 مثبت است. + کششی

- فشاری

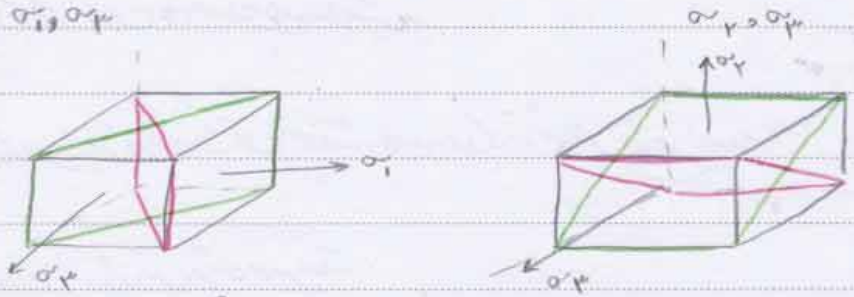
دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

برش را روی صفحاتی انجام می دهیم که تنش عمودی اصلی به آن وارد

نمی شود ⇐ ABEF



با جوانان دوتا FBD دوباره می آوریم



صفحه برش برای σ۱ و σ۳

برای هر دیاگرام دوتا F.B.D بدست می‌آوریم یکی برای τ_{max} و τ_{min} ⟸ τ max داریم از بین اینها

max تر را بدست آورده و همینطور از بین τ_{min} کدام min تر است.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

معادله تنش دو بعدی

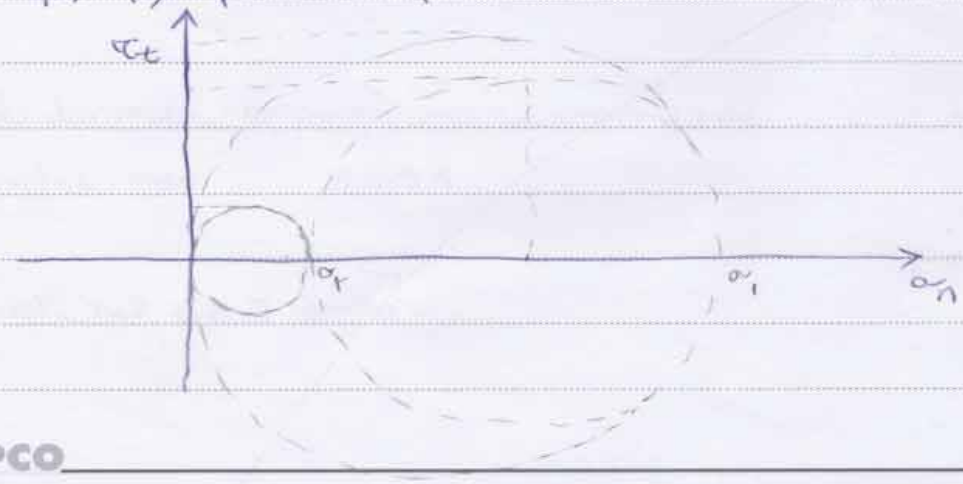
$\sigma_x \quad \sigma_y \quad \tau_{xy} \longrightarrow \sigma_I, \sigma_{II} \quad \tau_I, \tau_{II} \Longrightarrow$ حالا همان بحث را

$$\underset{\tau_{max}}{\tau_{13}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \xrightarrow{\sigma_3 = 0} \underset{\tau_{max}}{\tau_{13}} = \frac{\sigma_1}{2}$$

88/3/19

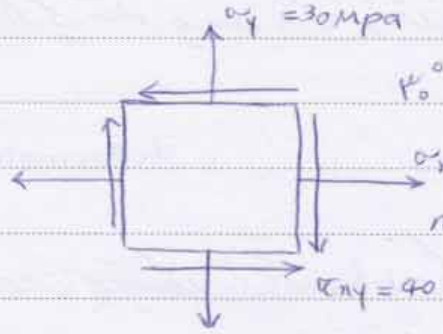
$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \qquad \tau_{max} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \qquad \tau_{max} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}$$

$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \qquad \sigma_3 = 0$



ویدیو جزوه اثبات

مثال: وضعیت تنش در شرایط plain stress در یک نقطه در شکل زیر داده شده است. با استفاده از دایره مور و



دستاوردهای: الف) مشخص کنید تنش در عمودی و برشی در صفحاتی که در جهت ۳۰° CCW با صفحه x دارد ب) تنش های اصلی را مشخص کنید و min و max

تنش های برشی. ج) مقدار max مطلق تنش برشی در یک نقطه.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

مفهوم کرنش در تک محور:

هنگامی که یک قطعه غیر صلب تحت تنش قرار بگیرد متحمل اعوجاج می‌شود (distortion) و تغییر ابعاد هندسی

(deformation) (ابعاد اولیه تغییری نمی‌کند زوایا و اقطار تغییر می‌کنند distortion) و جابجایی

اگر ابعاد هم جزئی تغییر کند به آن deformation می‌گوییم

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

چرا وقتی یک فنر را می‌کشیم بزرگ می‌شود چون ابعاد اولیه تغییر نکرده است.

در فنر آن است که deformation در این جا در الاستیک به کاهش یا افزایش

distortion و چالیکه

مشخصه تغییر شکل است. بنابراین یک المان خطی یا المان وقتی deforme شود طولش تغییر می‌کند مثلاً به اندازه δ به طول

اولیه l اضافه می‌شود. در این جا کرنش خطی یا المان آن برابر با $\frac{\delta}{L}$ است. اگر طول اولیه یک المان خطی به گونه‌ای

در نظر گرفته شود که در حد بسیار صغیر عمل کند به عبارتی دو نقطه انتهایی یک المان خطی A و B به هم نزدیک می‌شوند این المان

خطی به صورت یک نقطه در نظر گرفته می‌شود.

$$\varepsilon_n = \frac{\delta}{L} \qquad \varepsilon_n = \frac{d\delta}{dl}$$

$l \to 0$

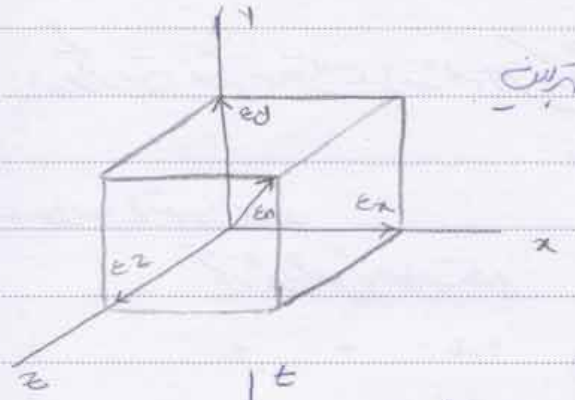
(کرنش زاویه‌ای است یا کرنش برشی. ε کرنش نرمال در حد اعمال نیرو افزایش طول اولیه l)

باید توجه داشت بنا به تعریف کرنش یک پدیده غیر ابعادی است. در بعضی از مواد بهتر است از آن به عنوان واحد طول مد

واحد طول یاد کنند چرا که کرنش یک مفهوم نیرویی را القا خواهد کرد. عادت کرنش خطی به این صورت است که اگر کرنش در اثر کشش

باشد. آن را مثبت در نظر می‌گیریم و اگر در جهت مثبت آن سمتی تلقی می‌کنیم در نظر بگیریم نظر نیز در صورت جهت

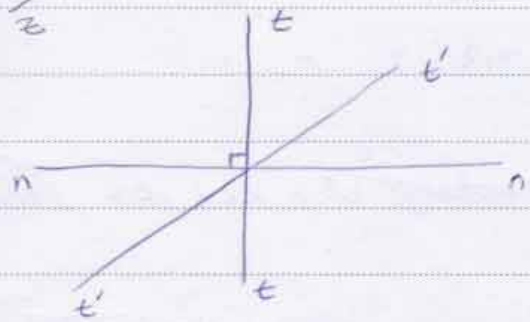
چگونه تعداد کرنش خطی را می‌توان به صورت مؤلفه ε_x ، ε_y ، ε_z در امتداد محورهای x,y,z تعریف کرد.



همانگونه که اشاره شد اگر distortion یا تغییر شکل برای یک المان

مکعب تغییر زاویه بین دو المان خطی که ابتدا بر هم عمود هستند را در نظر بگیرید

مثلاً تغییر زاویه دو المان خطی tt و nn را در نظر بگیرید



$\gamma_{nt} = -\gamma_{tn}$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

این تغییر زاویه تعیین کننده مقدار اعوجاج است این تغییر زاویه

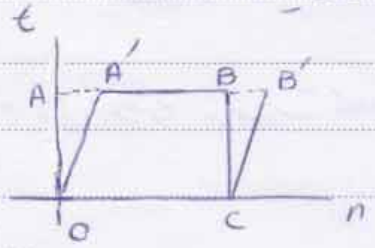
ما به عنوان کرنش برشی می‌شناسیم توجه داشته باشید که اعوجاج خط tt به چرخیدن به صورت خط t't' درآمده

است در حالی که خط nn تغییر نکرده است. کرنش برشی بین دو خط nn و tt جهت ccw از خط nn به طرف

خط tt بابت کاهش زاویه قائمه می‌شود و طبق قرارداد چنین فرض شده است که اگر زاویه قائمه کوچکتر شود + و اگر

کاهش یابد منفی است پس $\gamma_{nt} < 0$ و $\gamma_{tn} > 0$ است باید توجه داشت که کرنش برشی در حال حاضر $\left(\frac{mm}{mm}\right)$

و کرنش برشی در مقیاس رادیان. کرنش برشی را می‌توان در نظر گرفت یک چهارگوش تعریف کرد.

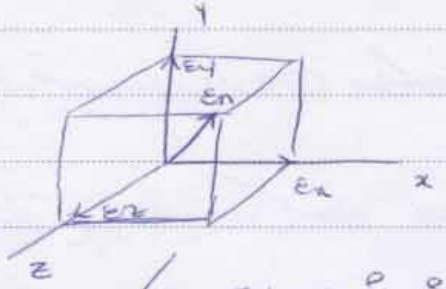


این مستطیل بعد از اعوجاج به صورت متوازی‌الاضلاع OA'B'C

مقدار اعوجاج بین دو خط on و ot را با γ برحسب رادیان مشخص می‌کنیم. به دلیل کوچک بودن زاویه می‌توانیم

$$\gamma_{nt} = \tan\gamma_{nt} = \frac{AA'}{OA} \qquad \tan\gamma_{nt} = \gamma_{nt}$$

با در نظر گرفتن نقطه می‌توانیم ۳ مؤلفه برای کرنش برش مشخص بکنیم که این بیش مولفه کرنش برش مساوی برای نقطه تنظیم



سطوح فاقد تغییر می‌دهند

$$\begin{cases} \gamma_{xy} = -\gamma_{yx} & y,x \text{ کرنش برش بین صفحات} \\ \gamma_{yz} = -\gamma_{zy} & y,z \text{ " " "} \\ \gamma_{zx} = -\gamma_{xz} & x,z \text{ " " "} \end{cases}$$

اعوجاج

فقط کرنش برش را در صفحات اعمال کردیم

و اگر εx، εy، εz داشتیم deformation داریم و اگر هم تنش برشی داشتیم و هم تنش نرمال نسبت deformation

و اعوجاج می‌شود.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

(نتیجه تنش در اعمالی بررسی می‌کنیم)

آنالیز کرنش در شرایط plain strain

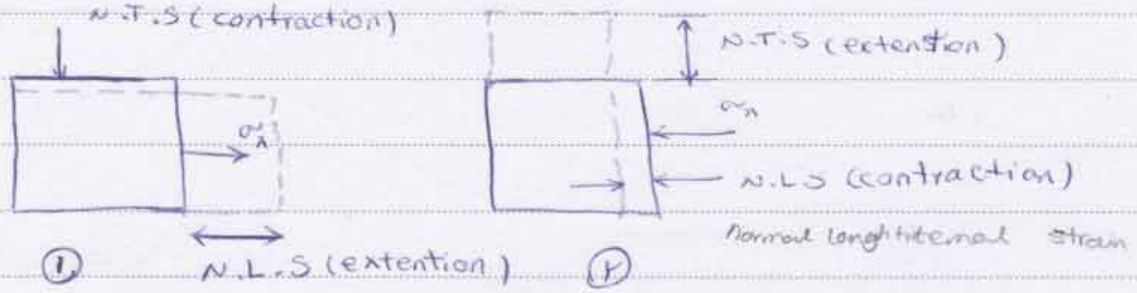
هنگامی که قطعه‌ای تحت تأثیر تنش عمودی قرار گیرد، تحمل کرنش عمودی در جهت طول در جهت تنش normal length tit nal strain

بلکه همچنین تحمل کرنش به صورتی که در جهت عمود جهت تنش خواهد شد (normal transfers strain

اگر تنش عمودی اعمالی به صورت کششی باشد کرنش عمودی مطلوبی به صورت افزایش طول extention

و کرنش عمودی عرضی به صورت کاهش طول contraction اما اگر تنش اعمالی به صورت

فشاری compression باشد عکس مطالب فوق ثابت است . تصاویر زیر این مطالب را به صورت انداز آبیزش



می‌دهد

① کرنش در اثر تنش کششی عرضی ② کرنش در اثر تنش فشاری عرضی

یادآوری: شرط کلی که plane strain نشان دهنده شرایطی است که تمام کرنش‌ها در قطعه موازی صفحه‌ای مشخص باشند

البته بایستی به این مطلب نیز توجه شود وقتی که یک قطعه تحت تنش قرار می‌گیرد متحمل تغییراتی در بعد می‌شود مگر اینکه از

تغییرات ابعادی آن قطعه در یک جهت صرفنظر شود یا جلوگیری شود بنابراین برای اینکه بتوان شرایط plane strain

را در صفحه xy در نظر بگیریم باید از کرنش در جهت z صرفنظر کنیم . این کار را می‌توان با اعمال تنش در جهت z

اعمال کرد در چنین حالتی $\varepsilon_z = 0$ $\gamma_{xz} = \gamma_{yz} = 0$ و کرنش‌های موجود در قطعه عبارت اند از $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$

البته تنش را در نظر بگیرید که تحت شرایط plane stress قرار دارد اگر فرض شود که کرنش در جهت z صفر است شرایط

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

plane strain به دست می‌آید .

Subject:

Year. Month. Date. ( )

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

PAPCO

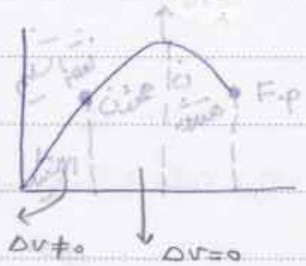
حل تمرین خواص مکانیکی:

خواص مکانیکی:

- الاستیک (برگشت پذیر)
  - $\Delta V > 0$ (تغییر حجم) + — کشش
  - $\Delta V < 0$ − — فشار
  - $\Delta V \neq 0$ تغییر حالت می‌دهد و برمی‌گردد
- پلاستیک $\Delta V = 0$ تغییر حالت می‌دهد و برمی‌گردد

⇓

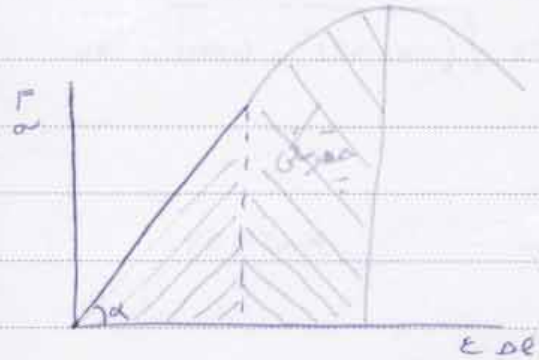
به این معنی که بعد از تغییر حالت دیگر تغییری نمی‌کند



تست کشش نمونه:

- هدور — نگه با Y
- تخت — نگه پایین

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

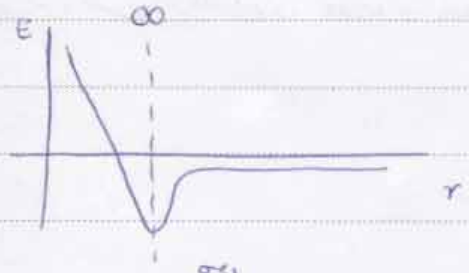


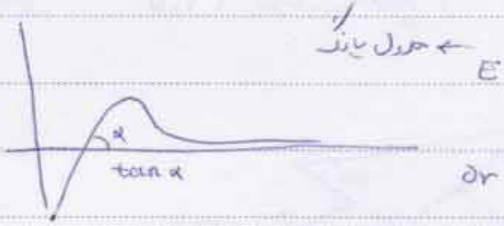
$\tan\alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E$ $\qquad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$

سطح زیر منحنی $U_R = \frac{1}{2} E \sigma$ $\qquad \varepsilon = \ln \frac{l_1}{l_2}$

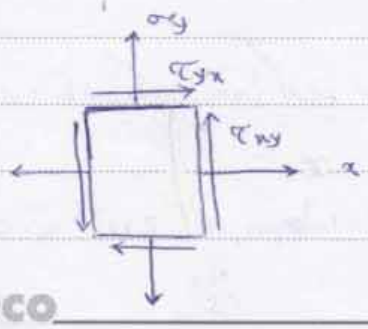
* در ناحیه الاستیک $\varepsilon = e$

سؤال: ثابت کنید $\varepsilon = \ln \frac{l_1}{l_2}$ ثابت کنید که $\varepsilon = e$ در ناحیه الاستیک؟





← مدول یانگ $\quad E = \tan\alpha = \frac{\partial^2 E}{\partial r^2}$ ← انرژی



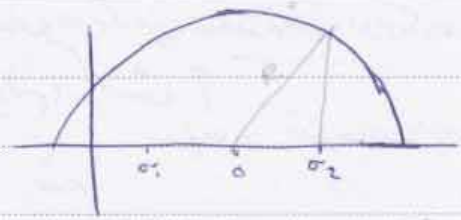
واحد مور:

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

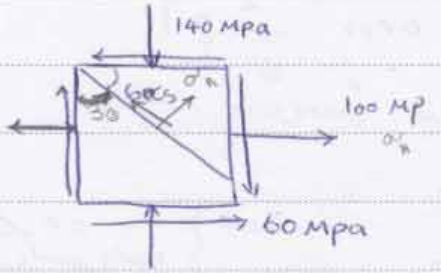
Subject: 1

Year. 87 Month. 11 Date. 26 ( ) Sat

مرکز $= \frac{|\sigma_2 - \sigma_1|}{2}$



$$R = \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$



مثال: σ_n ، τ_s

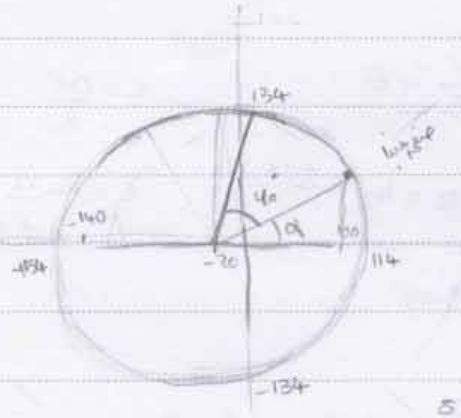
$$\sigma_n = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\cos 2\theta + \tau_{xy}\sin 2\theta$$

$$-\tau_s = \frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\theta - \tau_{xy}\cos 2\theta$$

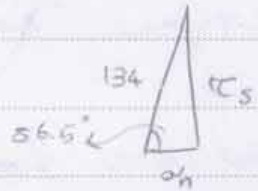
مرکز $\left(\frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y), 0\right) = (-20, 0)$

مرکز $= \frac{1}{2}(-40) = -20$ Mpa

شعاع $= \frac{1}{2}\sqrt{(100+140)^2 + 4(60)^2} = 134$



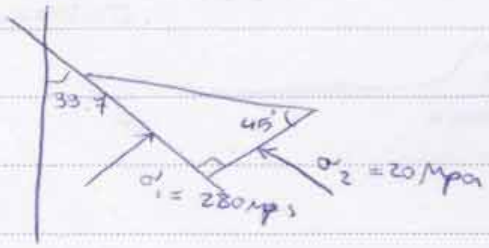
$\tan\alpha = \frac{90}{120} = \frac{1}{2}$ $\alpha = 26.56^\circ$



$\tau_s = 134$ Mp

$\sigma_n = 11.97$ Mpa

1. مثال: تنش S کاصلی و max و min تنش S را در صفحه 32.7° را بدست آورید.



دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

2. مثال: ثابت کنید در نقطه گلوی $\sigma = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ است.

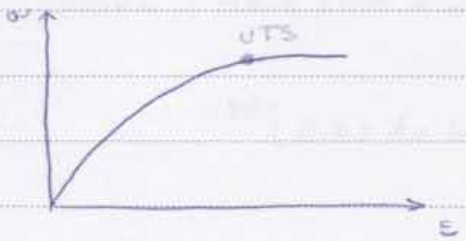
3. مثال: $\sigma_y = 20$ Mpa, $\Delta T = 2^\circ C$, $\sigma = ?$, $E = 10^9$ pa, $\alpha = 2\times10^{-2}\ {}^\circ C^{-1}$

$S = ?$

$\sigma = \frac{F}{A}$ $\quad \sigma = S(1+e)$ $\quad \varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \dots$ $\quad \varepsilon = \ln\left(\frac{l_1}{l_2}\right)$

باید ابتدا کرنش مهندسی به حقیقی تبدیل شود $\quad e_T \neq e_1 + e_2 + e_3 + \dots$

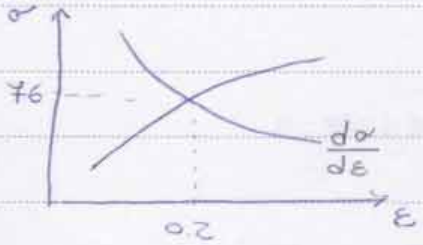
UTS $\Rightarrow$: $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma_{UTS}$, $\frac{dS}{de} = 0$



$\sigma = K\varepsilon^n$ رابطه هولمن $\quad \begin{cases} n = \text{توان کار سختی} \\ K = \text{مدول کار سختی} \end{cases} \quad 0 \leq n \leq 0.5$

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = Kn\varepsilon^{n-1} = K\varepsilon^n \Longrightarrow \varepsilon_{UTS} = n$$

مثال: تنش مهندسی ؟



$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \sigma_{UTS}$

$\varepsilon_{UTS} = 0.2 \xrightarrow{\text{اگر حقیقی باشد}} \varepsilon = n$

$\sigma = K\varepsilon^n \longrightarrow 76 = K(0.2)^{0.2} \Longrightarrow K = 104.85$ Mpa

$\sigma = 104.85\ \varepsilon^{(0.2)}$

$\sigma = S(1+e)$ $\quad 76 = S(1+0.22) \Longrightarrow S = 62.24$ Mpa

$\varepsilon = \ln(1+e)$ $\quad 0.2 = \ln(1+e) \Longrightarrow e = 0.22$

$(1+e = 1.22)$

$* \quad S < \sigma$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$q = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100$ درصد کاهش سطح $\quad e = \ln\frac{1}{1-q}$

$$\varepsilon = \ln \frac{l_1}{l_2} = \ln \frac{A_0}{A_1} = 2 \ln \frac{D_2}{D_1}$$ ⟹ اگر سطح مقطع استوانه باشد

مثال: تست در قطعه‌ای با کاهش سطح مقطع 29.5% چقدر است؟

$$\begin{cases} \varepsilon = 0.3 \\ \sigma = 57.511\ Mpa \end{cases} \qquad \begin{cases} q_{UTS} = 39.5\% \\ \sigma_{at\ q=29.5\%} = ? \end{cases}$$

$$\varepsilon_{UTS} = \ln \frac{1}{1-q} = \ln \frac{1}{1-\frac{39.5}{100}} = \ln \frac{1}{0.605} = \ln(1.65) = 0.49$$

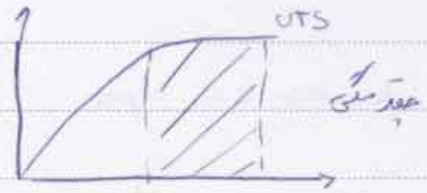
$$\varepsilon_{UTS} = n = 0.49 \qquad \sigma = k\varepsilon^n \Longrightarrow 57.511 = k(0.3)^{0.49}$$

$$\Longrightarrow \quad k = 103743.64$$

$$\varepsilon = \ln \frac{1}{1-q} = \ln \frac{1}{1-\frac{29.5}{100}} = 0.24$$

$$\sigma = k\varepsilon^n \Longrightarrow \sigma = 103743.64 \times (0.24)^{0.49} = 61148.9$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



چون ناحیه الاستیک خیلی کوچک است، اکثراً در مسائل اگر مدول اندرکنش داده نشده باشد آن را صفر در نظر می‌گیریم و چقرمگی را از ابتدای منحنی در نظر می‌گیریم.

$$\text{چقرمگی} = \int_{plastic} \sigma\, d\varepsilon$$

اگر ناحیه الاستیک خیلی کم بود

$$\text{چقرمگی} = \int_0 \sigma\, d\varepsilon$$

انرژی جذب شده در محدوده پلاستیک در واحد حجم

مدول تافنس = مدول چقرمگی

* در تغییر فرم های الاستیک باندازه ی بین اتمی بازیابسته می شوند ولی در پلاستیک و کرنش پلاستیک و دوقلویی کو ... دخیل هستند

چقرمگی $T = \int_0^{\varepsilon_f} k\varepsilon^n d\varepsilon = \frac{k\varepsilon^{n+1}}{n+1}\Big|_0^{\varepsilon_f} = \frac{k\varepsilon_f^n \varepsilon_f}{n+1} \Rightarrow$

$$T = \frac{\sigma_f \quad \varepsilon_f}{n+1} \quad *$$

این تست ترک کشش استاتیک است یعنی داده های مادر حالتی است که سرعت فک ثابت است.

مثال: $\sigma' = 8000\ \varepsilon^{0.25}$ $\quad \varepsilon_f = 0.8$ $\quad T = ?$ (انرژی بر واحد حجم)

$$T = \frac{\sigma_f \quad \varepsilon_f}{n+1} \qquad T = \int_0^{0.8} 8000\ \varepsilon^{0.25}\, d\varepsilon = \frac{8000}{1.25}\varepsilon^{1.25}\Big|_0^{0.8} = 4842.17\ J$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

مثال:

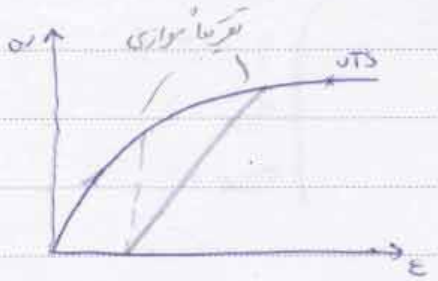
1. $\begin{cases} \varepsilon_1 = 0.2 \\ \varepsilon_2 = 0.3 \\ \varepsilon_3 = 0.4 \\ \varepsilon_{TOT} = ? \\ e_{TOT} = ? \end{cases}$ 2. $\begin{cases} e_1 = 0.2 \\ e_2 = 0.3 \\ e_3 = 0.4 \\ \varepsilon_{TOT} = ? \\ e_{TOT} = ? \end{cases}$ 3. $\begin{cases} q_1 = 20\% \\ q_2 = 30\% \\ q_3 = 40\% \\ \varepsilon_{TOT} = ? \\ e_{TOT} = ? \end{cases}$

1. $\varepsilon_T = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 0.9$

Subject: 2

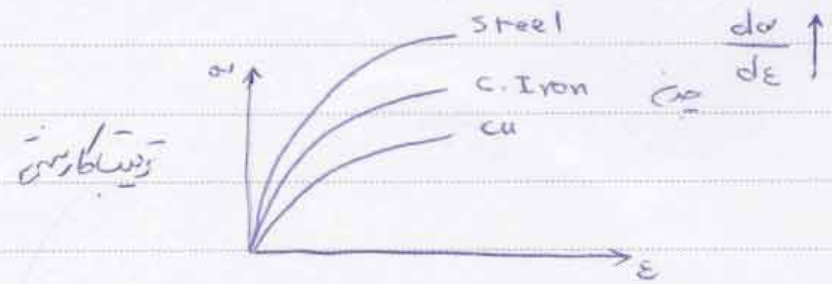
Year. 87 Month. 12 Date. 3 ( ) Sat

مقادیر σ_{UTS} و σ_p ثابت است. فقط منحنی در راستای ε کمی جابجا شده است.



۰/۲ درصد کرنش کل را در قوانین کرنش خطی به موازات منطقه الاستیک رسم می‌کنیم.

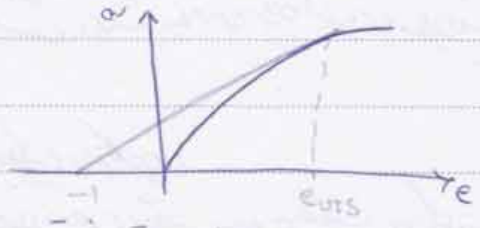
دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



در محدوده پلاستیک ماده را می‌کشند و کار کرد می‌شود.

؟ در چه مرحله‌ای از کاهش سطح مقطع

$$\varepsilon_T = n \ln \frac{1}{1-q}$$



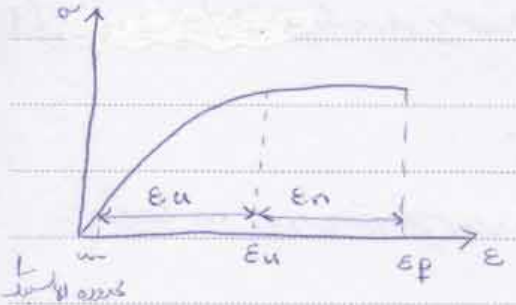
همان منحنی سینه

$$\frac{d\sigma}{de} = \frac{\sigma_u}{1+e_u}$$ * نقطه UTS

$$\sigma = B e^m$$

$$B m e^{m-1} = \frac{\sigma_u}{1+e_u} = \frac{B e^m}{1+e_u} \Longrightarrow \boxed{e_{UTS} = \frac{m}{1-m}}$$ *

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



محدوده الاستیک
سیلاریتیر

$$\varepsilon_f = \varepsilon_u + \varepsilon_n$$

$$\varepsilon_n = \ln \frac{l_f}{l_u} \qquad \varepsilon_n = \ln \frac{A_u}{A_f}$$

نرخ کرنش:

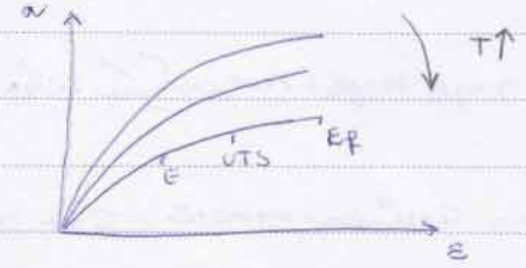
هرچقدر سرعت کشش دستگاه زیاد باشد کارسختی بیشتر می‌شود.

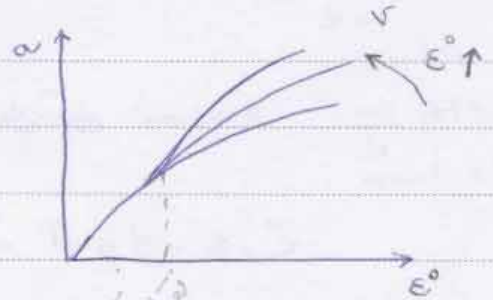
$$\dot{\varepsilon} \text{ نرخ کرنش} = \frac{d\varepsilon}{dt}$$ واحد $\frac{1}{s}$

میزان سختی ماده

$$* \quad \sigma = c\,\dot{\varepsilon}^m \quad *$$

کمی خزش





مثال:

نقطه تسلیم

تحت کشش، تحت مناسبی برای انرژیابی مواد نیست و اینکه حرکت نابه‌جایی‌ها به ناحیه کوچکی باعث necking می‌شود.

راه‌های جلوگیری از کوچک:

نوع بارگذاری عوض شود - جوی عیوب چگونه ها بگیریم از روش‌های تیز استفاده کنیم. (ESR)

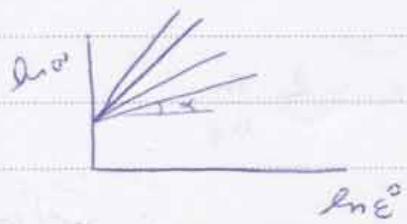
باید کاری کنیم که فرکانس ثابت باشد.

نابه‌جایی‌ها - جای خالی، stacking Fult، عیوبی هستند که درون ماده وجود دارند و نمی‌توانیم جلوی به وجود آمدنشان

بگیریم، باید از آلیاژهایی که به این صورت هستند wisker تولید کنند که در آن هم نابه‌جایی‌ها سخت‌تر و کمتر از فلز

$\sigma = C\,\dot{\varepsilon}^{m}$ $\qquad \ln\sigma = \ln C + m \ln \dot{\varepsilon}$

با افزایش دما m زیاد می‌شود چون ماده حساس‌تر می‌شود.



$\tan\alpha = m$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

سرعت تغییر دستگاه

$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{v}{l}$ $\qquad \dot{e} = \frac{de}{dt} = \frac{v}{L_0}$

$\varepsilon = \ln(1+e)$ $\qquad \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d(\ln(1+e))}{dt} = \frac{\dot{e}}{1+e}$

$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{e}}{1+e}$

مثال: در یک آزمون کشش، gage length برابر 20mm و سطح مقطع $A = 5\,mm^2$ $\quad v = 0.75\,\frac{cm}{s}$ $\quad \Delta l = 3\,mm$

مطلوب است T، n، σ، $\dot{\varepsilon}$، $\dot{e}$. $K = 5\times10^{4}\,MPa$، $m = 0.03$، $C = 4.98\times10^{4}\,MPa$

$\dot{\varepsilon} = \frac{v}{l} = \frac{0.75}{2.3} = 0.326$ $\qquad \dot{e} = \frac{v}{L_0} = \frac{0.75}{2} = 0.375$

$\sigma = C\,\dot{\varepsilon}^{m} \Longrightarrow \sigma = 4.98\times10^{4}\times10^{6}\times 0.326^{0.03} = 4.82\times10^{10}\ Pa$

$\sigma = K\,\varepsilon^{n} \Longrightarrow \varepsilon = \ln\frac{L}{l_0} = \ln\frac{2.3}{2} = 0.139$

$\sigma = 5\times10^{4}\times10^{6}\times 0.139^{n} = 4.82\times10^{10}$ $\qquad 0.139^{n} = 0.964$

$n\ln 0.139 = \ln 0.964 = -0.0366$

$n(-1.973) = -0.0366$ $\qquad \boxed{n = 0.0185}$

$T = \int_0^{0.139} K\varepsilon^{n}\,d\varepsilon = \int_0^{0.139} 5\times10^{4}\,\varepsilon^{0.185}\,d\varepsilon =$

$\boxed{\frac{J}{m^3} = \frac{N.m}{m^3} = \frac{N}{m^2} = Pa}$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

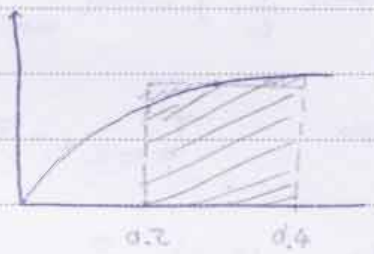
تنش تسلیم متوسط:

$\sigma = 360\,\varepsilon^{0.25}\ mpa$

$\varepsilon_1 = 0.2$

$\varepsilon_2 = 0.4$

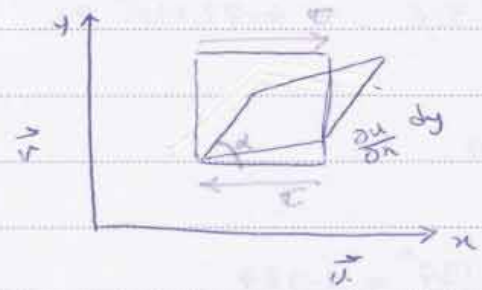
$\bar{\sigma}_y = ?$



$$\bar{\sigma}_y = \frac{\int_{0.2}^{0.4} 360\,\varepsilon^{0.25}\,d\varepsilon}{0.4-0.2} = 265.5\ mpa$$

تنش نرمال σ کرنش نرمال ε تنش برشی τ کرنش برشی γ

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} & \sigma_{xz} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} & \sigma_{yz} \\ \sigma_{zx} & \sigma_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \qquad \varepsilon_{ij} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_{yy} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}$$



$\tan\alpha = \gamma$

$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2}\gamma_{xy}$

$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)\right]$

$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\right]$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_y)\right]$

$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \Delta$ کرنش حجمی

قابلیت تراکم پذیری $B = \frac{1}{K}$

$\Delta = \ln \frac{V(l+t+w)}{V_0(l_0+t_0+w_0)}$

تغییر حجم واحد حجم

$P = K\Delta$

مدول بالک

$\Delta = \ln\left(\frac{l}{l_0}\right) + \ln\left(\frac{t}{t_0}\right) + \ln\left(\frac{w}{w_0}\right)$

مثال:

$\sigma = 240\,\varepsilon^{0.15}$ Mpa $\quad T_{\varepsilon=0.2} = ?$ $\quad$ کار ضد واحد حجم $w_{\varepsilon=0.2} = ?$

$V = 5\times10^{-7}\ m^3$

$T = \int_0^{0.2} 240\,\varepsilon^{0.15}\,d\varepsilon = 14.23\times10^{5}$ $\quad J/m^3$

$w = T\cdot V$

if $\quad m = 0.4 \quad \varepsilon_2^\circ = 6\,\varepsilon_1^\circ \quad \sigma_2 = ?$

$\sigma_1 = C\,\varepsilon_1^{\circ m}$ $\quad \ln\sigma_1 = \ln C + m\ln\varepsilon_1^\circ$

$\sigma_2 = C\,\varepsilon_2^{\circ m}$ $\quad \ln\sigma_2 = \ln C + m\ln\varepsilon_2^\circ$

$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{\varepsilon_1^\circ}{\varepsilon_2^\circ}\right)^m$ $\quad \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left(\frac{1}{6}\right)^{0.4}$ $\quad$ ارجحیت کار سخت

$\sigma_2 = 2.04\,\sigma_1$

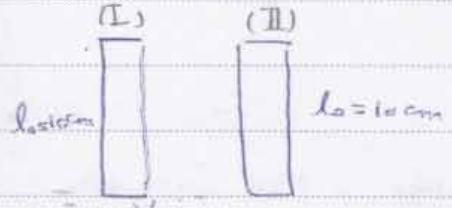
$\ln\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = m\ln\frac{\varepsilon_1^\circ}{\varepsilon_2^\circ} = m\ln\frac{\varepsilon_1}{7\varepsilon_1} = m\ln\frac{1}{7}$

مثال: ثابت الاستیک در حالت بارگذاری تک محوره :

$$k = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

مثال: ثابت کشسان در حالت پلاستیک $\nu = 0.5$ است. $\Delta V = 0$

مثال: $\dot{\varepsilon} = ?$ و e_0 در زمان یک دقیقه.



$v_1 = 5\,\frac{mm}{min}$ میزان جابجایی در دقیقه $\quad v_2 = 10\,\frac{mm}{min}$

$v \times t = \Delta l$

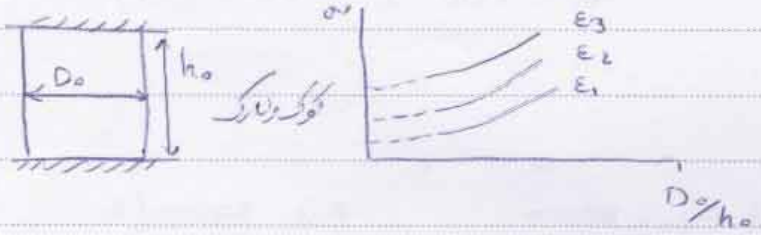
$$(I) \quad e^{\circ} = \frac{v}{l_0} = \frac{5\,mm/min}{100\,mm} \times \frac{1}{60} = \frac{5}{6000}\,\frac{1}{s} = 0.04$$

$$\varepsilon^{\circ} = \frac{e^{\circ}}{1+e} = \frac{e^{\circ}}{1+\frac{v t_1}{l_0}} = \frac{5/6000}{1+\frac{5\times 1}{100}} = 0.08\ \frac{1}{min}$$

کرنش واحد

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

آزمون فشار: (برای مواد ترد و سرامیک)



$$\sigma_y = C \exp\left(\frac{Q}{RT}\right)$$

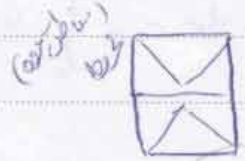
انرژی فعال سازی

ثابت گازها

ضریب کمکی

مشکل در آزمون فشار شرط اصطکاک در پایه‌های دو سطح است. اگر سطح مقطع صفحه بزرگ باشد مقطع چهار ضلعی شکل بشکه‌ای می‌شود و اگر صفحه کوچک باشد چهار ضلعی کوزه‌ای می‌شود.

برای کاهش اصطکاک $\frac{D_0}{h_0}$ را به سمت صفر میل می‌دهند.



دلیل آن هم فشار و دلیل ایجاد نوع دیگری فشار ترک در قطعه ایجاد خواهد شد.

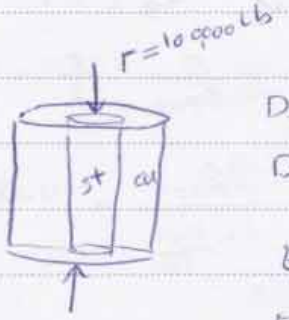
Subject: 4
Year. 87 Month. 12 Date. 10 ( ) sat

علت اینکه از استوانه استفاده می‌کنند و از مکعب مستطیل استفاده نمی‌کنند این است که اولاً سطح تیر ⇐ اصطکاک

تیر و همچنین در لوکه‌ی تیر مگر تنش داریم.

$\varepsilon = \ln \frac{h_0}{h_1}$

مثال:



$D_{st} = 2\,in$

$D_{cu} = 4\,in$

$E_{st} = 37$

مطلوب است F_{st} , F_{cu}

$\varepsilon_{st} = \varepsilon_{cu}$

87,12,17

$$F_{cu\,opt} = \frac{F_{st}\,\cancel{l}}{A_{st}E_{st}} = \frac{F_{cu}\,\cancel{l}}{A_{cu}E_{cu}}$$

$F_T = F_{st} + F_{cu} = 100{,}000\ lb$ (I)

$$\frac{F_{st}}{\pi/4\,(2)^2 \times 210} = \frac{F_{cu}}{\left(\pi/4\,(4)^2(110) - A_{st}\right)}$$

$F_{cu} = 0.47 F_{cu}$ (II)

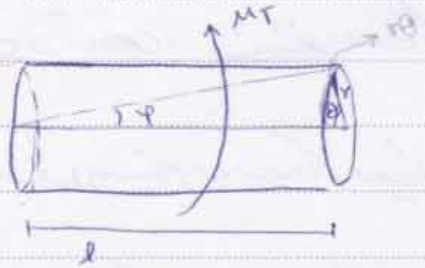
(II) → (I) : $F_{cu} + 0.47 F_{cu} = 100000$

$F_{st} = 34000\,lb$

$F_{cu} = 66000\,lb$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

تست پیچش:



$\tan\varphi = \frac{r\theta}{l}$

$J = \int_{r_1}^{r_2} 2\pi r^3\,dr$

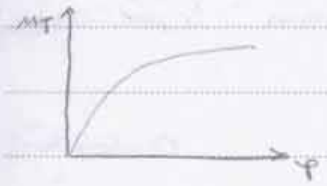
$\tau = G\cdot\gamma$

$\tau = \frac{G r\theta}{l}$

$$M_T = \int_0^r \tau\cdot dA\cdot r = \int_0^r \tau\,(2\pi r^2)\,dr = \int_0^r \frac{Gr\theta}{l}\,2\pi r\,dr\cdot r = \int_0^r \frac{G\theta\, r^3\, 2\pi\, dr}{l}$$

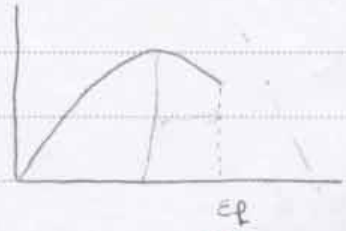
$M_T = \frac{\tau J}{r}$ $\quad M_T = \frac{G\theta}{l} J$

PAPCO



مثال: در یک تست کشش طول سنجه ۲۵mm تغییر طول تا شکست ۱۵mm گزارش شده است. اگر رابطه تنش و کرنش این قطعه از رابطه $\sigma = 250\,\varepsilon^{0.35}$ مطلوب است محاسبه سطح مقطع اولیه نمونه؟

$l_0 = 25mm$ $\quad l_f = 40mm$ $\quad \varepsilon = \ln\frac{40}{25} = \ln\frac{8}{5}$



$n = 0.35 = \varepsilon_u$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$\Delta l_{0\to u}$ $\quad \Delta l_{u\to f}$

* $\Delta l_f = \varepsilon_u l_u + \alpha f(l)$ $\quad$ ثابت بارها ≃ 0.78

$\varepsilon_f = \varepsilon_u + \frac{\alpha}{l_0}$ $\quad \alpha = \beta\sqrt{A_0}$ $\quad \varepsilon_f = \varepsilon_u + \beta\frac{\sqrt{A_0}}{l_0}$ *

$\varepsilon_u = \frac{\Delta l_u}{l_0}$ $\quad \varepsilon_f = \frac{\Delta A_{f-u}}{A_u}$

$0.35 = \ln(1+\varepsilon_{UTS})$ $\quad \boxed{\varepsilon_{UTS} = 0.41}$

$\varepsilon_f = \frac{15}{25} = 0.6$ $\quad$ جابجایی *

Subject: 4

Year. 87 Month. 12 Date. 17 ( ) Sat

(I) $e_f = 35.2\%$, $l_0 = 51mm$ $D = 14.3mm$ آزمون کشش

$e_f = 24.2\%$ $l = 60mm$ $D = 54mm$ (II)

میزان ازدیاد طول نمونه سوم $l_0 = 100mm$ سطح مقطع چهارگوش $A = 254 \times 12.7 mm^2$ (III)

$e = \frac{\Delta l}{l_0}\%$ درصد ازدیاد طول q درصد کاهش سطح مقطع

$e_f \neq \frac{l_f - l_u}{l_u}$ $\sigma_{UTS_I} = \sigma_{UTS_{II}} = \sigma_{UTS_{III}}$

$e_{f_1} = \frac{35.2}{100} = \frac{\Delta l}{l_0} \Longrightarrow \Delta l_1 = 17.952 \times 10^{-3}$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$e_{f_2} = \frac{24.2}{100}$

ماده نرم‌تر است ← تنش شکست آن بزرگتر است.

$\varepsilon_f = 2 \ln \frac{D}{D_f}$

Subject:
Year. Month. Date. ( )

ثابت کپسول در حالت بارگذاری تک محوره:

$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$ $\quad p = K\Delta$

$\Delta = (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\frac{1-2\nu}{E}$ $\quad \sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$ $\quad \Delta = 3\sigma_x \frac{1-2\nu}{E}$

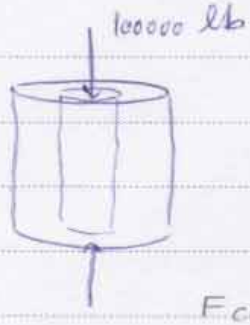
$p = \sigma_x$ $\quad K = \frac{\sigma_x \times E}{3\sigma_x(1-2\nu)} = \frac{E}{3(1-2\nu)}$

ثابت کپسول در حالت پلاستیک $\quad \Delta V = 0$ است. $\nu = 0.5$

$\Delta = \frac{\Delta V}{V_0} \xrightarrow{\Delta V = 0} \Delta = 0$ $\quad (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)\left(\frac{1-2\nu}{E}\right) = 0$

$1 - 2\nu = 0$ $\quad \nu = 1/2 = 0.5$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



مطلوب است: F_{cu} و F_{st} ؟

$D_{st} = 2in$ $\quad E_{cu} = 120\ GN/m^2$ $\quad E_{st} = 200\ GN/m^2$

$D_{cu} = 4in$

$F_{cu} + F_{st} = 100000$ $\quad \sigma_{cu}A_{cu} + \sigma_{st}A_{st} = 100000$

$\pi/4(16)\sigma_{cu} + \pi/4(4)\sigma_{st} = 100000 \Longrightarrow 4\sigma_{cu} + \sigma_{st} = 31830.988$

$1in = 0.254\ m$ $\quad D_{cu} = 1.016\ m$

$D_{st} = 2 \times 0.254 = 0.508\ m$

$\sigma_{cu} = \sigma_{st} \xrightarrow{\div l} \varepsilon_{cu} = \varepsilon_{st} \Longrightarrow \frac{\sigma_{cu}}{E_{cu}} = \frac{\sigma_{st}}{E_{st}}$

$\Longrightarrow \sigma_{cu} = \sigma_{st}\frac{E_{cu}}{E_{st}}$

PAPCO

Subject:
Year. Month. Date. ( )

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

PAPCO

مکانیزم تغییر فرم پلاستیک
- ۱. حرکت نابجایی dislocation
  - edge لبه‌ای
  - screw پیچی
  - mixed مخلوط
- ۲. دوقلویی twining

عیوب کریستالی
- نقطه‌ای: جای خالی که اتم جانشین Cu-Zn ، اتم بین نشین (B, H, N, C)
- خطی: نابجایی‌ها
- سطحی: سطح آزاد، مرز دانه، دوقلوئی
- حجمی: آخال، ترک، حفره

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

cubic , fcc , hcp , bcc

- در یک کریستال $V=1cm^3$ ، $N_{unit}=2.23\times10^{22}$ ، $r=1.25A^\circ$ شبکه بلوری این کریستال را تعیین کنید.

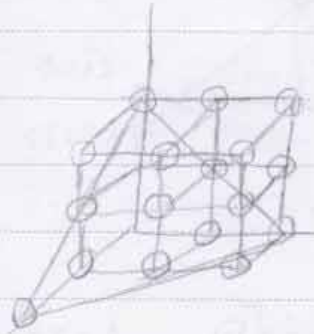
$$V_{unit\,cell}=\frac{1\,cm^3}{2.23\times10^{22}}=4.47\times10^{-23}\,cm^3$$

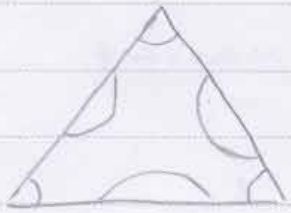
$$V_{unit\,cell}=a^3 \qquad a=3.5\times10^{-8}\,cm$$

$$\frac{r}{a}=0.35 \quad \begin{cases} fcc: \sqrt{2}/4 \ \checkmark \\ bcc: \sqrt{3}/4 \\ sc: 1/2 \end{cases}$$

ساختار fcc است.

- در یک ساختار bcc ، $a=4A^\circ$ ، $|b|=?$ ، در صفحه (۲۲۲)



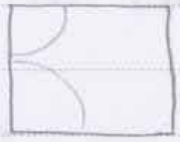


$$d=\frac{a}{\sqrt{h^2+k^2+l^2}}=\frac{4}{\sqrt{4+4+4}}=$$

$$\frac{4}{\sqrt{12}}=\frac{4}{2\sqrt{3}}=\frac{2}{\sqrt{3}}$$

- طول کوتاه‌ترین بردار برگرد در جهت [111] در شبکه آهن چقدر است؟

جهت فشرده . bcc آهن دمای پایین



$a\sqrt{3}/2 = b$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

- دانسیته نابجایی‌های متحرک در یک شبکه bcc $10^8\ cm^{-2}$ می‌باشد اگر تنش در سیستم (110) [$\bar{1}$11] سرعت کرنش $\dot{\varepsilon}^0 = 10^{-4}\ s^{-1}$. مطلوب است محاسبه سرعت متوسط حرکت نابجایی‌ها؟ $\bar{v} = ?$ ، $a = 3A^0$

$$\tau_{P.N} = \frac{2G}{1-\nu} \exp\left(-\frac{2\pi w}{b}\right) \qquad \rho = 10^8\ \frac{1}{cm^2}$$

برای $\Rightarrow$ $w = \frac{a}{1-\nu}$ سیستم لغزش (110) [$\bar{1}$11]

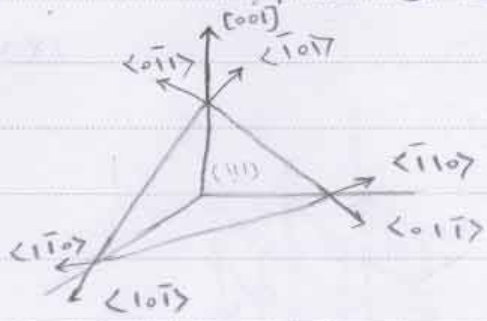
پیچی $\Rightarrow$ $w = a$ $\qquad \dot{\varepsilon}^0 = 10^{-4}\ \frac{1}{s}$ $\qquad a = 3A^0$

$$\dot{\varepsilon}^0 = b\rho_m\bar{v} \qquad b = \frac{\sqrt{3}}{2}a = \frac{3\sqrt{3}}{2}A^0 \times 10^{-8} \Rightarrow \frac{3\sqrt{3}}{2} \times 10^{-8}\ cm$$

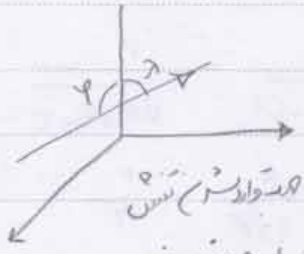
$$10^{-4} = \frac{3\sqrt{3}}{2}\bar{v} \qquad \bar{v} = 3.849 \times 10^{-4}\ cm/s$$

- در گوه مس تنش $\sigma = 500\ MPa$ در جهت [001] وارد می‌شود. مطلوب است محاسبه مؤلفه برشی تنش؟

Cu: FCC $\qquad \{111\} \qquad \langle 110\rangle$



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



زاویه بین جهت اعمال تنش و صفحه لغزش $\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{3}}$

$\varphi = 54.73^\circ$

[001] و [0$\bar{1}$1] $\qquad \cos\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}} = \sqrt{2}/2 \qquad \lambda = 45^\circ$

زاویه بین جهت لغزش و جهت اعمال تنش

$n = n_0 \exp(-\frac{Q}{RT})$ تعداد جای خالی

$\sigma_y = \sigma_0 \exp(\frac{Q}{RT})$

تعداد جای خالی در واحد سلول آهن BCC را طوری تعیین کنید که $m_{Fe} = 55.847\ g/mol$ و $\rho = 7.89\ g/cm^3$

$a = 2.866 \times 10^{-8}\ cm$ تعداد جای خالی را حساب کنید.

v در صورت نبود جای خالی v اتم آل است $v = a^3$

$\rho_{\text{اتم آل}} = \frac{2 \times 55.847}{(2.866 \times 10^{-8})^3 \times 6.022 \times 10^{23}}$

(درجه حرارتی چگالی اش ρ می‌شود) مثال

$\rho_{\text{اتم آل}} = 7.88$ درصد جای خالی $= \frac{7.88 - 7.8}{7.8} = 1\%$

دانستیم اتمی برای صفحات (100) (110 × 111) بر روی FCC و BCC رابطه آورید.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

تعداد سیستم لغزش در صفحه {110} BCC در جهت <111> چقدر است؟

{110} ۱ صفحه لغزش داریم

<111> ۴ جهت لغزش داریم $\Rightarrow 4 \times 2 = 8$ سیستم لغزش داریم.

FCC

$\sqrt{2}a = 2r$

(100)

$\rho_{\text{سطحی}} = \frac{2 \times \pi r^2}{(\frac{1}{\sqrt{2}} 2r)^2}$

(111)

$\rho_{\text{سطحی}} = \frac{2 \times \pi r^2}{\frac{\sqrt{3}}{4}(a\sqrt{2})^2}$

(110)

$\rho = \frac{2 \times \pi r^2}{a\sqrt{2} \times a}$

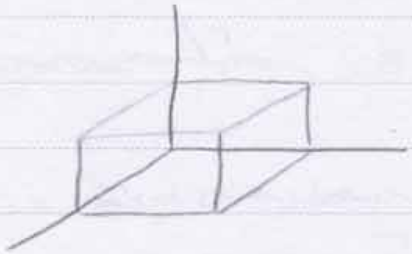
BCC

$\sqrt{3}a = 2r$

$\rho_{\text{سطحی}} = \frac{1 \times \pi r^2}{(\frac{2}{\sqrt{3}} r)^2}$

$\rho = \frac{2 \times \pi r^2}{a\sqrt{2} \times a}$

یک تک بلور به شکل مکعب مستطیل $15 \times 2 \times 2$ در جهت [100] تحت نیروی کششی $F = 1000\,kg$ تنش برشی در جهت [110] در صفحه (110) $\tau = 1.5\,kg/mm^2$ آیا لغزش اتفاق می‌افتد یا نه؟



$\cos\lambda = \sqrt{2}/2$

$\cos\varphi = \frac{\sqrt{2}}{2}$ $\qquad \sigma = \_\_\_\_$

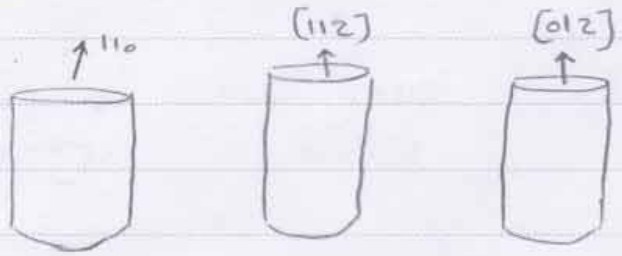
$\tau = \sigma \cos\lambda \cos\varphi = 1.25\ kg/mm^2$

سه نمونه استوانه‌ای شکل با امتداد یکسان ساخته‌ایم. که محور استوانه‌ها به ترتیب در جهت‌های [110] [112] [012] است. اگر تنش (111) در جهت [011] باشد چقدر استوانه‌ها تحت نیروی کششی محوری قرار می‌دهیم. کدام یک زودتر تسلیم می‌شوند و نیرو در این حالت چقدر است؟

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$\tau_{\text{بحرانی}} = 20\,Mpa$ $\qquad$ استوانه $D = 5\,mm$

اونیکه تنش کمتر لازم دارد زودتر تسلیم می‌شود.



φ: زاویه بین جهت اعمال نیرو و صفحه (در راستای صفحه)

λ: زاویه بین جهت اعمال نیرو و جهت لغزش

$\cos\varphi = 0$ $\qquad \cos\varphi = \frac{2}{3\sqrt{2}}$ $\qquad \cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{2}\sqrt{5}}$

$\cos\lambda = \frac{1}{2}$ $\qquad \cos\lambda = \frac{3}{\sqrt{2}\times\sqrt{2}}$ $\qquad \cos\lambda = \frac{3}{\sqrt{2}\sqrt{5}}$

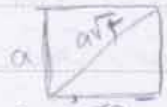
$\tau = \sigma \times 0 = 0$ $\qquad \tau = \sigma\sqrt{1/2}$ $\qquad \tau = \sigma \times \frac{\sqrt{3}}{5\sqrt{2}}$

$\dot{\gamma} = b\rho_m v$ $\qquad v = A\tau^m$ $\qquad A \simeq 1$ تک بلور $\qquad 1 < m < 4$

$\tau = \frac{1}{2}\sigma_y$ اگر برای فولاد

Subject: 7
Year. 88 Month. 2 Date. 5 ( ) Sat

اگر بلور چارچوب نابجایی باشد ← نیروی لازم برای ایجاد سطح تسلیم بیشتر می‌شود



چگالی نابجایی در یک بلور کریستال $10^9 \frac{1}{cm^2}$ اگر یک کریستال با $10^{-2} m/s$ تغییر شکل دهد در سیستم لغزش $(1\bar{1}1)$ $[\bar{1}01]$

میانگین سرعت نابجایی چقدر است؟ $a = 4.95 A^\circ$ Fcc $\rho_m = 10^9 \frac{1}{cm^2}$

$b = \frac{\sqrt{2}}{2} a$ $\quad b = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 4.95$ $\quad \sqrt{2}a = 2b$

$\dot{\gamma} = b \rho_m \bar{v}$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

$10^{-2} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 4.95 \times 10^9 \bar{v}$ $\quad \bar{v} =$

طول کل نابجایی‌ها برای یک کیلوگرم مس Cu که چگالی نابجایی آن $10^6 \frac{1}{cm^2}$ باشد را بدست آورید.

$\rho_{Cu} = \overset{100 gr}{m} V$

چگالی نابجایی = $\frac{\text{طول خط نابجایی}}{\text{حجم کل}} = 10^6 = \frac{x}{\text{جرم مس}}$

Sat 88/2/19

$v = A \tau^m$

$\dot{\gamma} = \dot{\varepsilon} = b m \rho \bar{v}$

واکنش بین نابجایی‌ها

تجزیه نابجایی‌ها.

ترکیب نابجایی‌ها

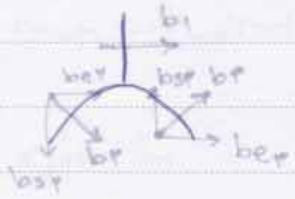
نیروهای بین نابجایی‌ها

مکانیسم‌های استحکام دهی در مواد

$b_1 + b_2 \longrightarrow b_3 + b_4$ (I) (II)

انرژی طرف دوم کمتر از طرف اول باشد (کاهش انرژی)

(ریاضی) امکان‌پذیری



$b_1 \rightarrow b_2 + b_3$

Subject: 8
Year. 88 Month. 2 Date. 19 ( ) Sat

$E \propto b^2$ $\quad E = \alpha G b^2$ $\quad b_1^2 + b_2^2 > b_3^2 + b_4^2$

هر دو شرط باید همزمان اتفاق می افتد.

$\frac{E}{l} = \alpha G b^2$ $\begin{cases} \alpha \text{ پیچی} = 0.5 \\ \alpha \text{ لبه‌ای} = 1 \text{ یا } 0.75 \end{cases}$

این مسئله به سیستم هیچ بستگی ندارد چه hcp , fcc , bcc

مثال: آیا این واکنش انجام پذیر است:

$a[\bar{1}\bar{1}0] \rightarrow a/2[\bar{1}\bar{1}1] + a/2[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$

$2 \qquad \frac{3}{4} \qquad \frac{3}{4}$

$2 > \frac{6}{4} = 3/2$ $\Rightarrow$ امکان پذیر است

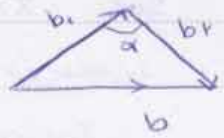
جمع جبری برقرار است.

$a[001] \rightarrow a/2[\bar{1}\bar{1}1] + a/2[111]$

$1 \qquad 3/4 \qquad 3/4$

$1 \not> 3/2$ $\Rightarrow$ واکنش در این جهت اتفاق می افتد

$\leftarrow$ جهت واکنش برعکس جهت مرجع است ترکیب نابجایی آنها می گوییم.



$b_1 + b_2 \rightarrow b$ $\begin{cases} \alpha > 90 & \text{تجزیه صورت می گیرد} \quad b \rightarrow b_1 + b_2 \\ \alpha < 90 & \text{عمل ترکیب صورت می گیرد} \quad b_1 + b_2 \rightarrow b \end{cases}$

$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\cos\alpha$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

در یک استحاله fcc ← bcT مطلوب است محاسبه تغییر حجم آلوتروپی به فاز تتراگونال (M)

fcc $\gamma \longrightarrow$ BCT = Body cente tetragonal M

فرض: حجم ثابت است.

bcT $\begin{cases} a = 0.285 \text{ nm} \\ c = 0.294 \text{ nm} \end{cases}$ $\quad$ fcc $\begin{cases} a = 0.3605 \text{ nm} \end{cases}$

PAPCO

bcT = ۱۲ اتم در هر سلول — 1 Fcc → 2 bcT

Fcc = ۴ اتم ⟹ چون جرم باید ثابت باشد ⟸ تعداد unit cell دو برابر می‌شود

$$V_{bcT} = a^2 c = (0.285)^2 \times 0.294 = 0.0238$$

$$V_{Fcc} = a^3 = (0.3605)^3 = 0.0468$$

مثال: مطلوب است: $10^8 \frac{1}{cm^2}$ در یک فلز $R = 1.25 A^\circ$ $\nu = \frac{1}{3}$ $E = 26 Gpa$

۱. تعیین فاصله متوسط نابجایی‌ها؟ — مقدار متوسط انرژی کرنش واحد طول نابجایی با فرض اینکه نصف نابجایی‌ها پیچی و نصف آن لبه‌ای باشد.

$$\tau = \frac{Gb}{2R} \longrightarrow$$ تنش برشی نابجایی

$$\tau = \frac{Gb}{\lambda} \nearrow$$ فاصله متوسط نابجایی

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

مثال: بردار برگرز ماده‌ای $3 A^\circ$ است و فاصله متوسط نابجایی‌ها $0.03 \mu m$. مطلوب است محاسبه تنش لازم برای حرکت نابجایی‌ها؟ $G = 38 Gpa$.

$$T = \frac{Gb}{\lambda} = \frac{38 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-10}}{0.03 \times 10^{-6}} = 38 \times 10$$

$$N_{100} = 2^{n-1}$$ number of Grain

$n =$ ASTM number

Subject: 8

Year. 88 Month. 2 Date. 19 ( ) Sat

مثلاً در بزرگنمایی ۱۰۰ تقریباً دانه‌ها در هر اینچ مربع نشان می‌دهد

اگر بزرگنمایی مثلاً ۲۰۰ شود:

$$N^{old}(100)^2 = N^{new}(200)^2$$

مثال: $n=4$ $b=3\,A^\circ$

$N = 2^{n-1} = 2^3 = 8$

مطلوب است محاسبه تنش لازم برای حرکت نابجایی‌ها.

$1\,in^2$ دانه در

طول یک نابجایی برابر با قطر یک Grain

فرض می‌کنیم دانه‌ها دایره‌ای شکل هستند

هر دانه سطحی معادل عدد مقابل را دارد

$$\frac{1}{80000} = (80000)^{-1}\ inch^2 \xrightarrow{\text{Grain قطر}}$$

در هر inch با بزرگنمایی ۱۰۰ ۸ دانه می‌بینیم اگر بزرگنمایی ۱ شود 80000 Grain می‌بینیم.

$(1)^2$ سطح $(100)^2$? ۸

$$\frac{\pi D^2}{4} = (80000)^{-1}$$

$$D = \lambda$$

نابجایی نمی‌تواند در هر جایی باشد آزاد هم نمی‌تواند باشد

1. باید سطح آزاد برود
2. یا loop تشکیل دهد
3. یا متصل شود.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

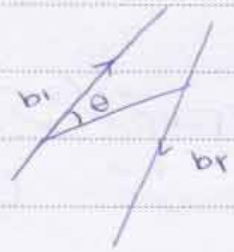
مثال: $\lambda = 0.024$ ، $b = 2.6\,A^\circ$ $G = 28.7\,Gpa$ $R = 0.024\,\mu m$ مطلوب است تنش لازم برای حرکت نابجایی‌ها.

دوناگالی پیچی:

$$F_{12} = F_{21} = \frac{G b_1 b_2}{2Rd}$$

دوناگالی پیچی موازی

دوناگالی پیچی:

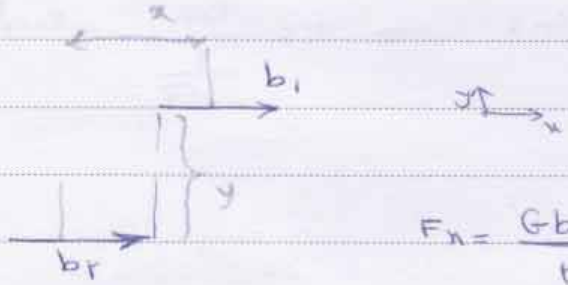


$$F_{12} = F_{21} = \frac{G b_1 b_2}{2Rd} \left[\cos\theta \left(\cos^2\theta - \sin^2\theta \right) \right]$$

دوناگالی پیچی متقاطر

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

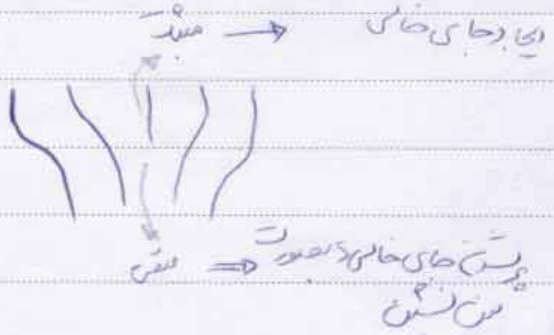
دوناگالی پیچی ای:



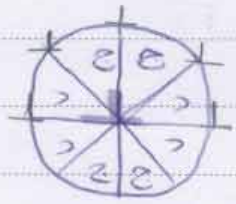
$$F_x = \frac{G b_1 b_2}{2R(1-\nu)} \frac{x(x^2-y^2)}{(x^2+y^2)^2}$$

$$F_y = \frac{-G b_1 b_2}{2R(1-\nu)} \frac{y(3x^2+y^2)}{(x^2+y^2)^2}$$

دوناگالی پیچی Field نیروی متقارن است یعنی به نامتقارن نظر ای دوناگالی پیچی ای انطور نیست.



9: 88, 2, 26 sat



مثال: نشان دهید که آیا واکنش زیر انجام پذیر است یا نه؟

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

انجام پذیر است.

$$\frac{1}{2}\sqrt{2} > \frac{2}{36}(\sqrt{6}) \Longrightarrow$$

مثال: تنش برشی لازم برای ایجاد تسلیم برای Al جهت کشش [001] سیستم لغزش دو صفحه (111) در جهت [101] تنش $\tau = 300$ psi $\sigma = ?$

$\tau = 300$ KSi

$$\sin\varphi = \frac{1}{\sqrt{3}} \qquad \tau = \sigma \sin\varphi \cos\lambda \Longrightarrow \sigma = \frac{300}{\frac{1}{\sqrt{6}}} = 300\sqrt{6} = 734 \text{ KSi}$$

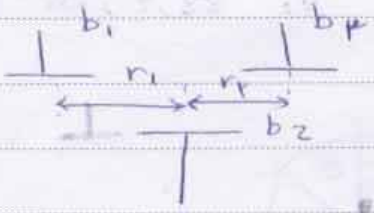
$$\cos\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

مثال: در یک بلور بدون عیب مکعبی اگر $G = 80$ Gpa تنش برشی max چقدر است؟

$$\tau = \frac{G}{2\pi}$$

مثال: نقص جایی مطابق شکل بر روی یک صفحه قرار دارند در حالت تعادل نسبت r_1 به r_2 ؟



$$F = \frac{G b_1 b_2}{2\pi(1-\nu) r}$$

$$F_{12} = \frac{G b_1 b_2}{2\pi(1-\nu) r_1} \qquad F_{24} = \frac{G b_2 b_4}{2\pi(1-\nu) r_4}$$

$$\frac{F_{12}}{F_{24}} = \frac{\frac{\cancel{G} b_1 \cancel{b_2}}{\cancel{2\pi(1-\nu)} r_1}}{\frac{\cancel{G} \cancel{b_2} b_4}{\cancel{2\pi(1-\nu)} r_4}} \qquad \frac{F_{12}}{F_{24}} = \frac{r_1 b_4}{r_4 b_1} = 1 \qquad \boxed{\frac{r_1}{r_4} = \frac{b_1}{b_4}}$$

حد تعادل

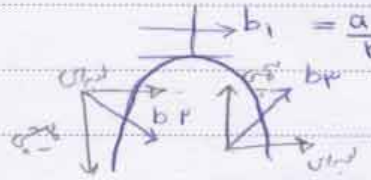
مثال: محاسبه کنید مقدار x و y

$$\frac{a}{2}[1\bar{1}1] = \frac{a}{6}[11\bar{1}] + \frac{a}{6}[111] + x \qquad x = \frac{a}{6}[11\bar{1}]$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + x_2 \qquad x_2 = \frac{1}{6} \qquad -\frac{1}{2} = -\frac{1}{6} - \frac{1}{6} + x$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} + x_1 \qquad x_1 = \frac{1}{6} \qquad x_3 = -\frac{1}{6}$$

مثال:

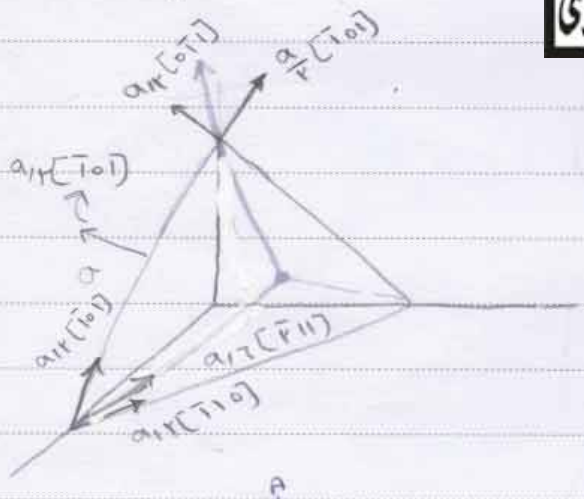


$$b_1 = b_2 + b_3$$

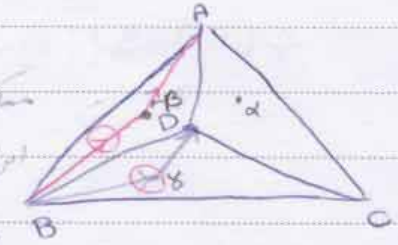
$$\frac{a}{2}[110] = \frac{a}{4}[110] + \frac{a}{4}[110]$$

مثال: $\frac{a}{12}[\bar{1}12]$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



$$\frac{a}{2}[\bar{1}01] = \frac{a}{6}[\bar{2}11] + \frac{a}{6}[\bar{1}\bar{1}2]$$



چگونه می‌توان تشخیص داد:
AD و D لاوه‌ای کدام

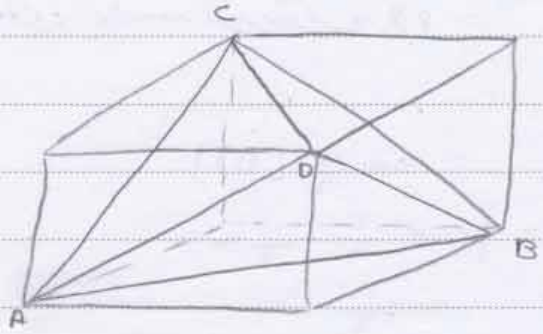
ABC (111)

ABD $(1\bar{1}1)$

ADC $(\bar{1}\bar{1}1)$

BCD $(\bar{1}11)$

Subject: 9
Year. 88 Month. 2 Date. 26 ( ) sat



در صفحه پرتو آنها آنتن می‌باشند

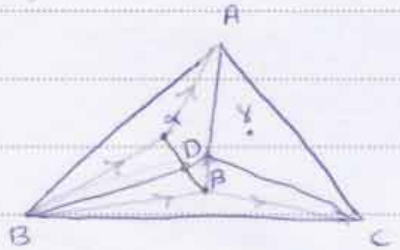
$$\boxed{\begin{aligned} A\beta + \beta C &= AC \\ A\gamma + \gamma D &= AD \\ B\alpha + \alpha C &= BC \end{aligned}}$$

$$\boxed{A\gamma + A\beta = \beta\gamma}$$

$$\boxed{C\gamma = A\gamma + AC}$$

فرودگ

Sat 10 88/3/2



جزئی

$$\begin{cases} B\beta + \beta C \\ A\alpha + \alpha\beta \end{cases}$$

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

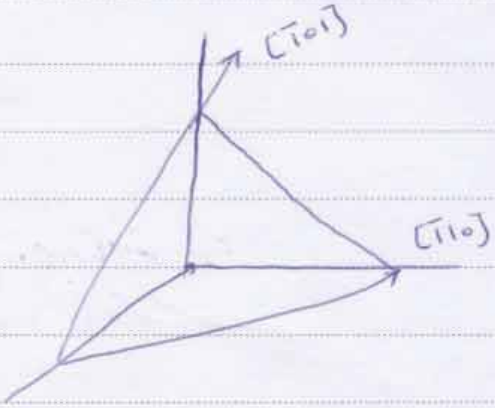
ناحیه‌ی کامل AB, AD, BD, CD, AC

$B\beta + C\beta = BC$

جزئی، ناحیه‌ی تک‌کی $B\beta + \beta D = BD$

$B\alpha + \alpha D = BD$

ناحیه‌ی مرزک $AC + C\beta = A\beta$ $\frac{a}{2}[111]$



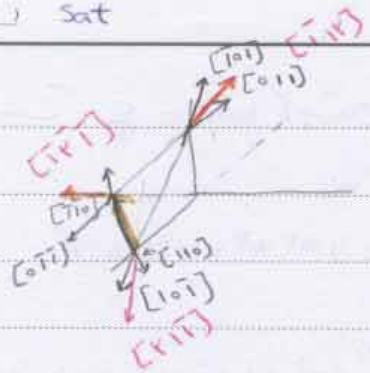
$$\begin{cases} [\bar{1}10] \\ (111) \end{cases}$$

$\frac{a}{6}[\bar{2}11]$

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

$\frac{a}{2}[\bar{1}10] = \frac{a}{6}[\bar{2}11] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$

$\left\{ \begin{array}{l} [\bar{1}\bar{1}0] \\ (1\bar{1}1) \end{array} \right.$

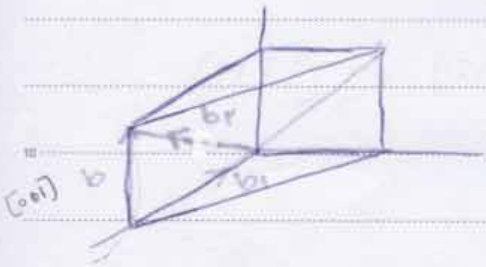


$\frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}0] = \frac{a}{6}[\bar{1}12] + \frac{a}{6}[\bar{1}2\bar{1}]$

طبق مثلث
تا مسیر صفحه مثلث

BD × βx ⟹

در کشش‌هایی که در BCC اتفاق می‌افتد

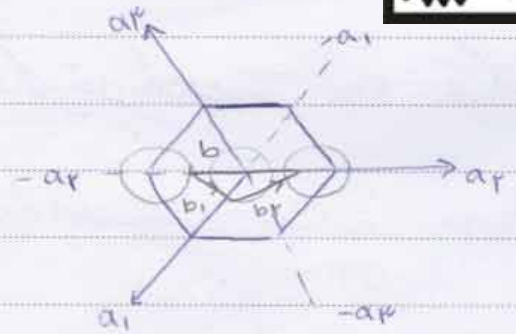


$\frac{a}{2}[\bar{1}11]$

$b_2 = \frac{a}{2}[1\bar{1}1]$ + ⟹ $b = \frac{a}{2}[002]$

$a[002]$ منجر به شکست می‌شود.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی



a_1
a_2 $\langle 2\bar{1}\bar{1}0 \rangle$
a_3

$b_1 = a_1 - a_3$

$b_2 = a_2 - a_1$

هرچه $\frac{c}{a} \uparrow$ ⟹ cross slip راحت‌تر اتفاق می‌افتد

* cross slip لغزش متقاطع در صفحه بلوری پیچی اتفاق می‌افتد

ex. $a[001] \rightarrow \frac{a}{2}[\bar{1}\bar{1}1] + \frac{a}{2}[111]$ در BCC اتفاق می‌افتد یا نه؟

مثال: $b_1 = \frac{a}{2}[1\bar{1}\bar{1}]$ و $b_2 = \frac{a}{2}[111]$ کدام مورد غلط است؟

۱) اندیس‌های بردار ترکیب شده ✓ صحیح است $\frac{a}{2}[200] = a[100]$

هم به لحاظ هندسی هم به لحاظ برداری صحیح است اتفاق می‌افتد.

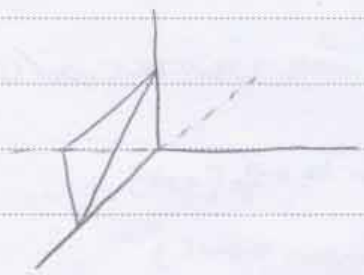
Subject:
Year. Month. Date. ( )

مثال: Ti با شبکه hcp دارای نسبت $\frac{c}{a} = 1.58$ اگر شعاع اتمی آن $1.445 A^\circ$ مقادیر c و a را بدست آورید

$a = 2r = 2 \times 1.445$

$\frac{c}{a} = 1.58 \Longrightarrow c = 1.58 \times 2 \times 1.445 \ A^\circ$

مثال: یک نابجایی پیچی در cc روی صفحه $(1\bar{1}1)$ قرار دارد و بردار برگرز آن $\frac{a}{2}[110]$ است. چنانچه این نابجایی در اثر اعمال نیرو لغزش مقاطع انجام دهد صفحه جدید کدام است؟



$\frac{a}{2}[110] \Longrightarrow \frac{a}{6}[21\bar{1}] + \frac{a}{6}[\bar{1}12]$

$\begin{vmatrix} 1 & \bar{1} & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{vmatrix}$

$(\bar{1}\ 1\ 2)$ صفحه جدید.

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

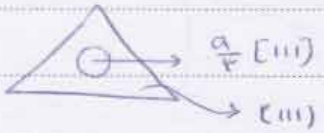
یک تک کریستال نیکل در جهت 100 تحت کشش در دمای محیط به میزان چند درصد تغییر فرم پلاستیک می‌دهد وقتی تنش برشی ایجاد شده روی صفحات لغزش 40 Mpa است در این حالت دانسیته نابجایی چند است

$b = 4.52 \times 10^{-8}$ cm $\quad G = 4.5 \times 10^{4}$ Mpa $\quad \tau = \frac{2Gb}{L}$

فاصله متوسط نابجایی $= \frac{1}{\sqrt{\rho}}$

ابتدا باید در صفحه خودش حرکت کند اما بیشتر محدودیت ندارد در صفحه موازی ها بتواند بلغزد.

فرانک



نابجایی مارپیچ + نابجایی کامل = فرانک

جاب پر تراکم نیست ولی صفحه پر تراکم است.

دو تا بردار برگرز در هم ضرب خارجی می‌کنیم تا صفحه جدید بدست بیاید.

$b_1 \times b_2 = N$ نرمال صفحه

مورد نظر

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

تست کشش:

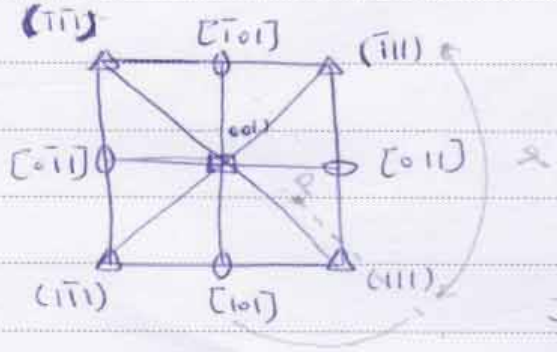
ما قبلاً فک می‌کردیم تا ثابت در نظر می‌گرفتیم اگر فک بتواند استحکام glide را انجام دهند ⇐ کوچکی تنش اتفاق نمی‌افتد.

در تک بلور:

لامه، دیاگرام X-ray

$\tau_c = 1/2\,\sigma_y$

در طرف نقطه P باید سلت خالی باشد.

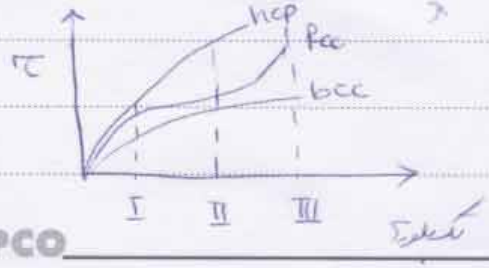


P صفحه ای که نیرو بر آن اعمال می‌گردد.

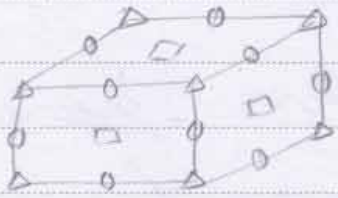
تقریباً در صفحه ای اتفاق می‌افتد که نرمال صفحه بر جهت تنش عمود باشد.

در اثر اعمال نیرو نقطه P حرکت می‌کند (در دو جهت) اول در جهتی حرکت می‌کند که m ماکس شود $m = \cos\varphi \cos\lambda$

منحنی کشش تک بلور



Subject:
Year. Month. Date. ( )



تأثیر تغییر حرارت بارگذاری و رطوبت بر سیستم های سلولی و فعال کنش و تحقیق ارتباط چه شرایط بارگذاری یک سیستم فعال

دفتر فرهنگی دانشکده مواد و متالورژی

می شود. زمانی سیستم فعال می شود که $m \neq m_x$ زیاد شود

فقط یک سیستم فعال می شود امکان تغییر سیستم توسط دو دو دارد شرط که سیستم توسط جدید

ما کتور الحدیث بهتر کار داشته باشد بعد از اینکه تمام صفحات در یک راستا در مدار قرار گرفتند

primary system

حرارت و سیستم اصلی فعال می شود.

-Secondry "

conjuct "