



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی و علم مواد

آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد

آزمایش شماره 6 :

بررسی تاثیر اندازه دانه بر خواص کششی نمونه های فولادی

نگارش :

پیام مرادی بانیارانی

98107728

گروه :

دوشنبه ساعت 13:30 تا 16:30

اساتید :

دکتر سیامک سراج زاده

مهندس جعفر مهدی اخگر

تاریخ انجام آزمایش :

1401/02/5

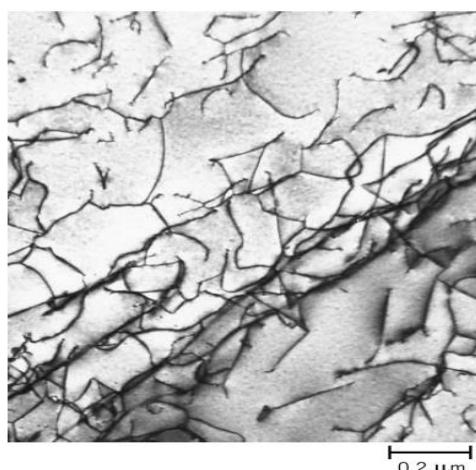
عنوان ۸ بررسی تأثیر اذاره دانه بر خواص کسیون های خودای
اکثر موقوع از مهندسین مواد متالورژ خواسته است که آلیاژ های با استحکام بالا
و در عین حال چصرمه و انعطاف پذیری مناسبی حاصله باشند، را طراحی کنند.

ما مر داشتیم را داشتن استحکام بالا باعث کاهش انعطاف پذیری ماده مام سود. این موضوع را
آن قوان با تئوری نابجایی ها توجه کرد.

همانطور که مر داشتیم عامل اصلی وهم در استحکام مواد نابجایی ها مام باشد. آن نابجایی ها از تری لازم بولی
حرکت را از کنسنتریتی پذیری بازداده اند و شود را داشته باشند. این قوانند شروع به حرکت کنند، جریان کنسنتریتی
از تری لازم بولی میگذرد. پیوندهای لامه اس موجود در نمصفحة اضافی را تا میان لکنند و باعث حرکت
نابجایی ها مام شود. هر چقدر این نابجایی ها راست تر حرکت کنند، یعنی به این ترتیب احتیاج دارند
و در نتیجه در کنسنتریتی های برشکاری شروع به حرکت می کنند.

حال قصد ما این است که بتوانیم جلوی حرکت این نابجایی ها را بگیریم تا مانع حرکت نابجایی ها شویم.
یعنی آن کاری کیم که این تری بیشتری بولی به حرکت در آوردن و ادامه حرکت نابجایی ها ایجاد کنیم، یعنی در واقع
کنسنتریتی احتیاج خواهیم داشت و در نتیجه استحکام ماده ما بالا می رود.

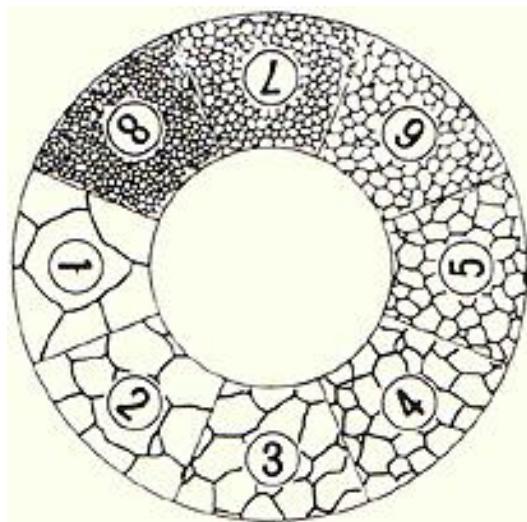
از همین جمله قوان نفعی برای آینده ماده ما هم و انعطاف پذیری را در این بایست نابجایی ها به آسانی حرکت
کنند از طرفی برسی آینده ماده ما دارای استحکام بالایی باشند، باید حرکت این نابجایی ها کند شود
این دو خاصیت ضد و یا برعکس همیلند هستند.



شکل 6.1 تصویر الکترون روبشی از آلیاژ تیتانیوم که در آن خطوط مشکی نابجایی ها هستند. بزرگنمایی $\times 50000$

راه حلی که ما و تولم هم استفاده می‌کنیم، اختلاف پذیری ماده را بجای دار
ها و یا سد البته بازیابی نمایند توجه کن که منظور از بجای دار استفاده و جایگزینی و اختلاف پذیری
معنای افزایش همه این پارامترها نیست، محل فرض کنید که خواری داشت با استفاده سلسیم 400 MPa
و استفاده کمترین 600 MPa، اختلاف پذیری 30٪ باربری داشته باشد اما تولم محل استحکام در حد
استحکام سلسیم 600 MPa، استحکام کمترین 700 MPa، اتفاقاً پذیری 27٪ داشته باشد.
(همه این اعداد فرضی هستند) می‌بینید و ۷۰٪ افزایش پذیری دارد ولی اختلاف پذیری کاهشی
جایگزینی کلیدی و قابل استفاده همان قدر اختلاف پذیری را در خود حفظ نماید که این یک
حروف دستاورده بزرگ است. برای همین خواص ماده باربری داشته باشند که این می‌باشد.

که متوسطه بیش از ۱۰ درصد از زمانهای روزانه را در میانهای این میانگین میگذرانند. این نتایج نشان می‌دهند که افرادی که میانگین میانهای روزانه را در میانهای این میانگین میگذرانند، میانگین میانهای روزانه ایشان را در میانهای این میانگین میگذرانند.



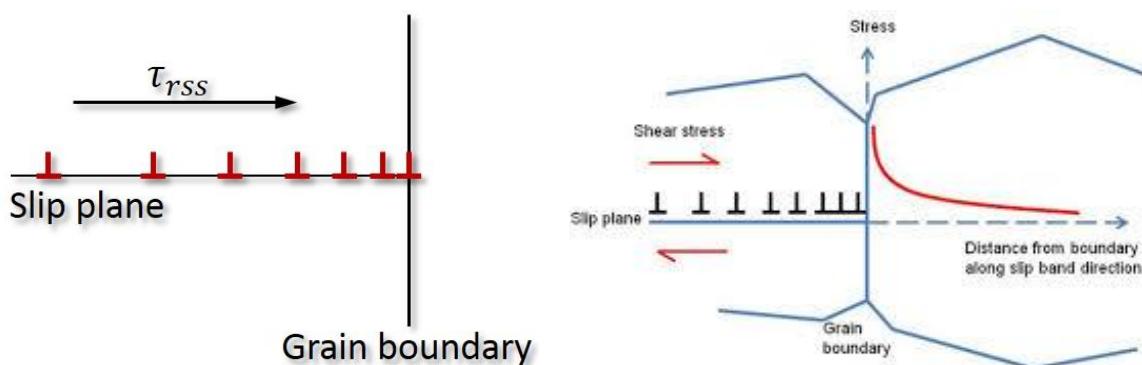
شکل 6.2 شکل شماتیک از کاهش اندازه دانه و درنتیجه افزایش مساحت مرز دانه ها

به دو دلیل می توان مرز دانه هارا عوامل حركت نابجایی ها دانست:

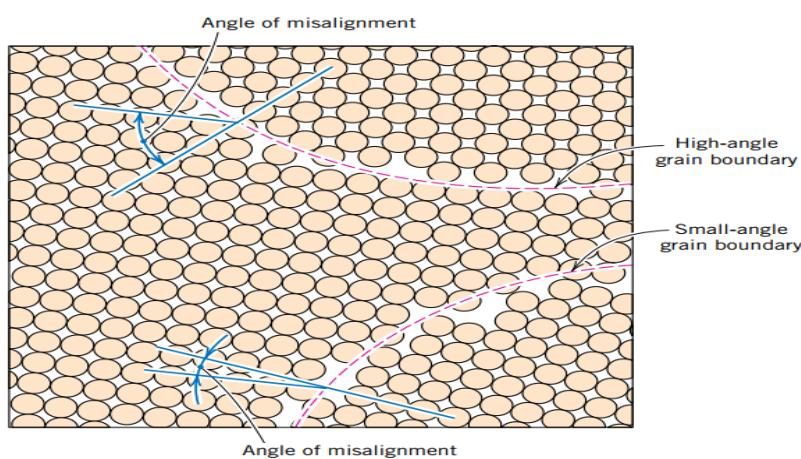
① به دلیل آینده دو دانه باشد لیه از کاظمینس افق متفاوت هستند، نابجایی بری ادعا هر کت خود بایست جهت را تغییر دهد. و دلکم دلیل از عوامل هم تغییر لفقرش ل باشد و این لفقرش باید در سیم های لفقرش که دو ویرگی هم دارند اتفاق باید کل صفحه هستره و دلیلی در جهت فضله دارد. پس حالا با رسیدن نابجایی های بزرگ دانه های نابجایی ها صفحات و جمات فتره پیشرفت داده این خود احتیاج به انحراف دارد، پس نابجایی ها پیشتر مرز دانه ها جمع شوند.

② به دلیل نامنظم بودن افق این ناحیه و انحراف بالی این ناحیه، نابجایی ها در صفحات لفقرش دچار ناپیوستگی شوند از لیک دانه دلیل. و نیاز به انحراف بیشتر برین عبور از این ناحیه دارند پس پیشتر مرز دانه جمع شوند.

به طور کلم هر چقدر زاویه این آرایش را فصل اتم هادر دانه های بسته رو، یعنی تفاوت بیشتر در جهت های همها در هر دانه، حرکت نابجایی ها سخت تر شده و در نتیجه استحکام ماده بالا رود.

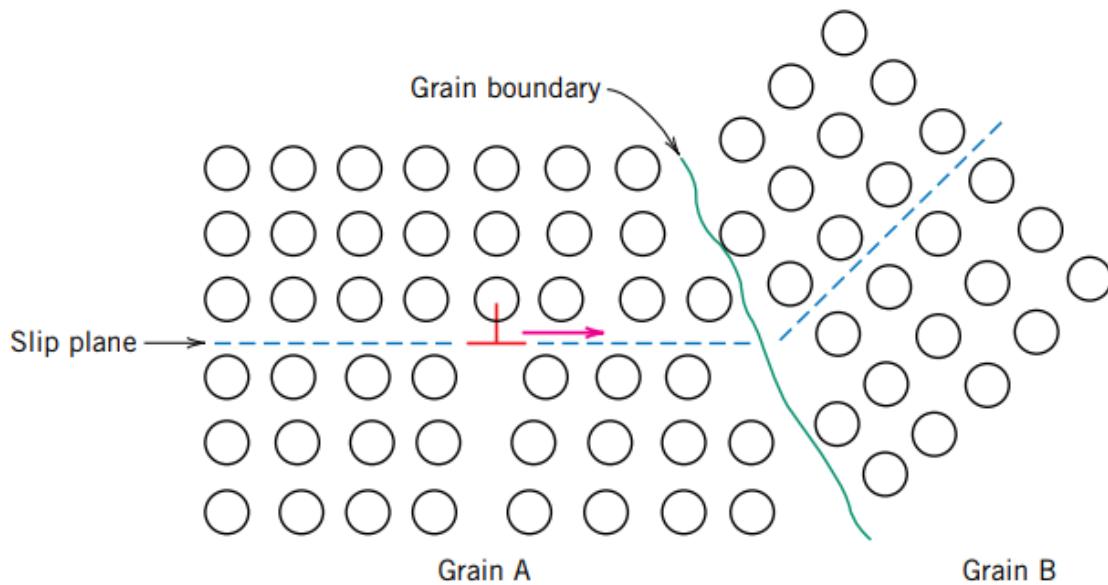


شکل 6.3 نمایش جمع شدن نابجایی ها پشت مرز دانه ها



شکل 6.4 مرز دانه ها با زاویه کم و زاویه زیاد

در نتیجه این سه اتفاق از دو دانه متفاوت با چینش متفاوت را داریم.



شکل 6.5 شماتیکی از دو دانه متفاوت با چینش های اتمی متفاوت

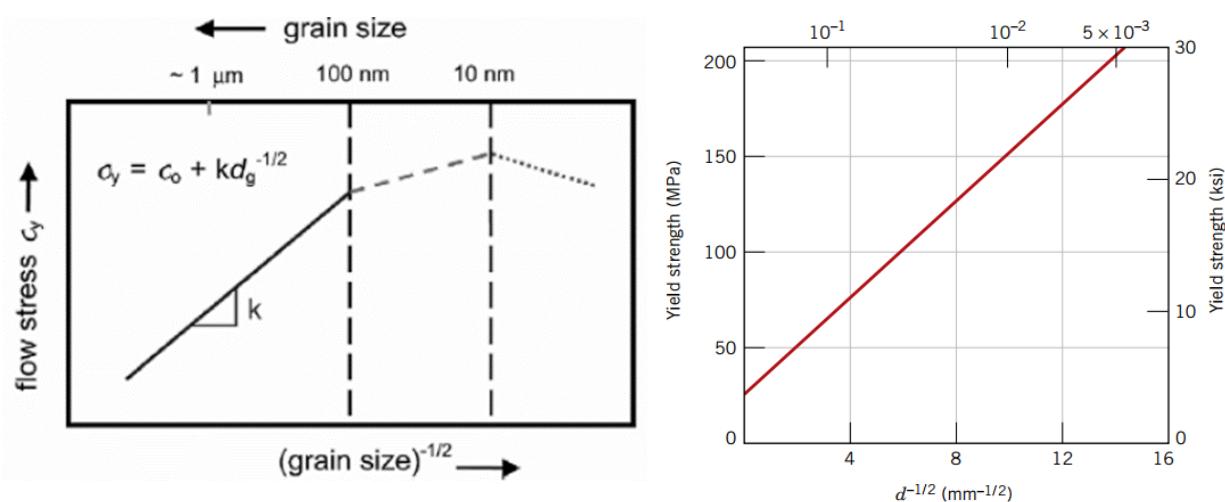
حال باز این سوال هم جواب بدیم که چگونه بازیابی دانه های مختلف همان افرایش نیست. حقیقت این است که اگر ماده در جنوب این قطب از خال است، هنین هر چیزی که ماده مقاوم تر در برابر خال است با خود ماده حفظ می شود. مکانیزم خال است، جوانشی ترک و رسوبی است. اگر ترکی جوانش بزرگ و بتواهرد کند، بازیابی دانه هادر واقع می شود اما از دانه های افرایش داده ام و این باعث شود که جلوی حرارت و رسوب ترکی که قدرت سه دیگر بر این ادامه رت نیاز به اینستی بسته و در نتیجه تنفس بالاتر است. پس ماده قبل از خال از تفاوتی باید برخورداری باشد.

برای بیشتر مواد راچد آنر احتمال اندازه دانه را بر استخدام سلسله نهان پنجه دهد را بدله، "Hall-Petch" و باشد.

$$\sigma_y = \sigma_0 + k_y d^{-1/2} \quad (6.1)$$

دانه را بدله σ_y استخمام سلسله میل کرستی، هم مقاومت تجذب دریابد حرارت نایجایها که مقدار قابلی دارد، k_y پارامتر کفایی "locking parameter"، یک سنجش، سختی نسبی بدل وجود و تحرکت لرزانهای دانه سخت نسبی او و d متوسط قطر دانه کوئی تابعی ندارد است.

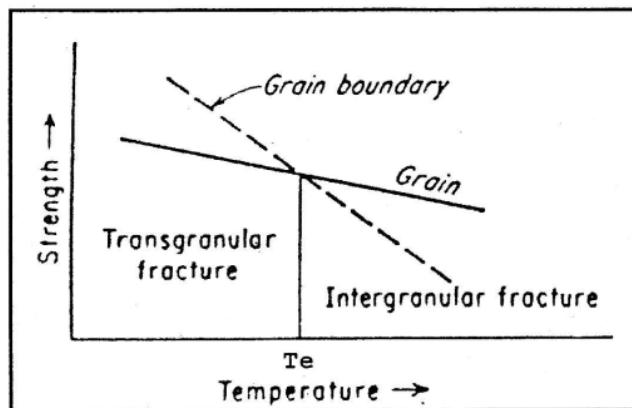
آیا با کاهش بیوسته، قطر دانهای، بعنی ریزتردن دانهای افزایش لرزانهای، همراه باعث بینود خواهد مکانیکی شد؟ خیر، محدوده هال-پچ بدل مقادیر ریزتر d و خلکوحیک d اعتبار ندارد. در کله زیر اندازه دانه را بر تنش سیلان پنجه دهیم.



شکل 6.6 اثر کاهش اندازه دانه بر تنش سیلان و نمایش محدوده مجاز

هعافلور و دلم استحکام وابسته به دماست. ما و توانیم بازیگر دانه‌استحکام خطا را افزایش دهیم، اقایت، بسیار مین است که درجه دماست. اگر دما پایین باشد استحکام بزرگ‌دانه‌ها بسیار استحکام مناطق درون دانه‌ها باشد و هرچه دانه‌ریزی باشد به علت افزایش تعداد بزرگ‌دانه‌استحکام و مقاومت به تغییر شکل نیز زیادتر است. بر عکس در دماهای بالا بزرگ‌دانه‌ها ضعیفتر از مناطق درون دانه‌بوده و دانه‌بندی نیز باعث کاهش استحکام فلنگ تندیست. در تغییر زیب استحکام دانه و بزرگ‌دانه نسبت به دما رسم شده است. T_e دمای استد استحکام دانه و بزرگ‌دانه متساوی می‌شود.

البته باید توجه داشت که T_e به سطح کمی اعمال شده به دفعه‌های سرعت تغییر شکل و خلوص آنرا بستگی دارد.



شکل 6.7 منحنی تغییرات استحکام با دما در مرز دانه‌ها و درون دانه‌ها

محاسبه اندازه دانه

اندازه دانه متوسط یک دفعونه همکله کوچک نفوذی و به وسیله شناسی تعداد دانه‌های داخل یک سطح معین، با تغییر تعداد دانه‌های که طول مخصوص از یک خط اختیاری را قطع نمایند بدست آید. برای این اندازه دانه مجموعاً از عدد اندازه دانه در استاندارد ASTM استفاده و شود که از مقایسه اندازه دانه بدست آمده با جداول استاندارد اندازه دانه در استاندارد ASTM تغییر و تغیر

هعافلور کار اسراه کریم کل از روش های اندازه لی، اندازه دانه، رسم خواسته میشون
تقریباً میتوان خلا تو سطح بزرگها است.

$$\bar{l} = \frac{L_T}{P_M} \quad (6.2)$$

در اینجا با \bar{l} متوسط طول خلا "mean intercept length" ، البته در واقعیت و بین
بزرگ نهایی. L_T طول قائم خطوط، P_M تعداد بخوردها با بزرگ نهایی.
مجموع میتوان خلا تو سطح بزرگها با اندازه دانه M بزرگ نهایی.

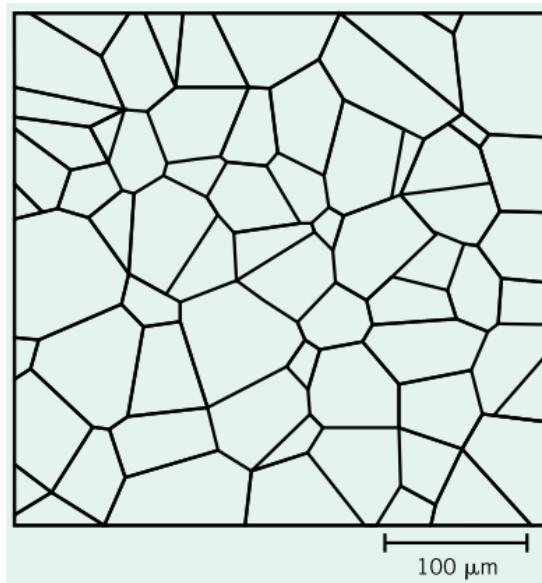
برای محاسبه M بصرت دیر عمل کنید :

- ① اندازه کری طول اکسلیل با، Scale bar با خالش بحسب صفر متر
- ② تبدیل این طول به میلیمتر

$$M = \frac{\text{طول اندازه کری شده اکسلیل با بر حسب میلیمتر}}{\text{عدیل اکسلیل بر روی آن نزدیک شده بر حسب میلیمتر}}$$

به عنوان مثال، در کعبه زیر طول اکسلیل 16 mm است، عدیل اکسلیل $100\mu\text{m}$ باشد
بزرگ نهایی را آینده حساب کنید.

$$M = \frac{16\text{ mm} \times \frac{1\text{ mm}}{10^3\text{ mm}}}{100\mu\text{m}} = 160 \times \Rightarrow 160 \text{ میلیمتر}$$



شکل 6.8 نمایش اکسلیل با در تصاویر میکروسکوپی

روش دیدکی روش مقایسه انداره دانه مورد خذلها جداول استاندارد ASTM وجود نمود. درین جدول

خطای عدرازه دانه از ۱ تا ۱۵ آورده شده و این مقایسه در بزرگ نفای $\times 100$ باشد.

با مقایسه عکس متالوگرافی خودمان با استاندار، هر کدام نزدیک قریب عدرازه دانه توکم مخصوص کم استفاده از عدرازه دانه بسته در دوره خود را کاربرد نمایم.

$$\text{از رابعه} \quad \text{نیز توکم} \quad \text{تعداد دانهای اینچ بربع در بزرگ نفای} \times 100 \quad \text{را بدست بیاوم} \\ n = 2^{G-1} \quad (6.3)$$

در رابعه خوبی n تعداد دانهای اینچ بربع در بزرگ نفای $\times 100$ ، G عدرازه دانه را باشد.

حال آن بزرگ نفای ما $\times 100$ نباشد، لذا توکم از رابعه نیز برای دلیل بزرگ نفای ها استفاده نمایم.

$$n_M \left(\frac{M}{100} \right)^2 = 2^{G-1} \quad (6.4)$$

در رابعه خوبی n_M تعداد دانهای در اینچ بربع در بزرگ نفای M را باشد.

همچنان توکم عدرازه دانه را حاصل طبق \bar{l} بدست بیاوم.

$$G = -6.6457 \log \bar{l} - 3.298 \quad (\text{for } \bar{l} \text{ in mm}) \quad (6.5)$$

$$G = -6.6353 \log \bar{l} - 12.6 \quad (\text{for } \bar{l} \text{ in in.}) \quad (6.6)$$

روش های بیان کاهش انداره دانه

روش های مختلف برای ریزکردن دانه ها موجود دارد که مقراست در اینجا صفت اهم آثار را بیان کنم.

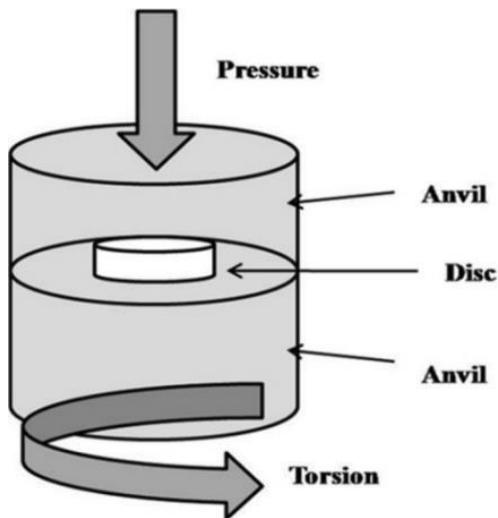
① سخ سرماسی ② تغییر شکل پلاستیک و عملیات حرارتی مناسب.

(SPD) Severe plastic Deformation نسبت شکل پلاستیک شدید

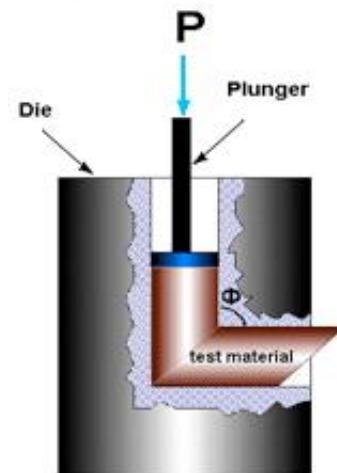
(HPT) High Pressure Torsion ① این کار را توکم به دو روش

(ECAP) Equal Channel Angular pressing ②

دستور زیر دو روشن را تواند دهد.

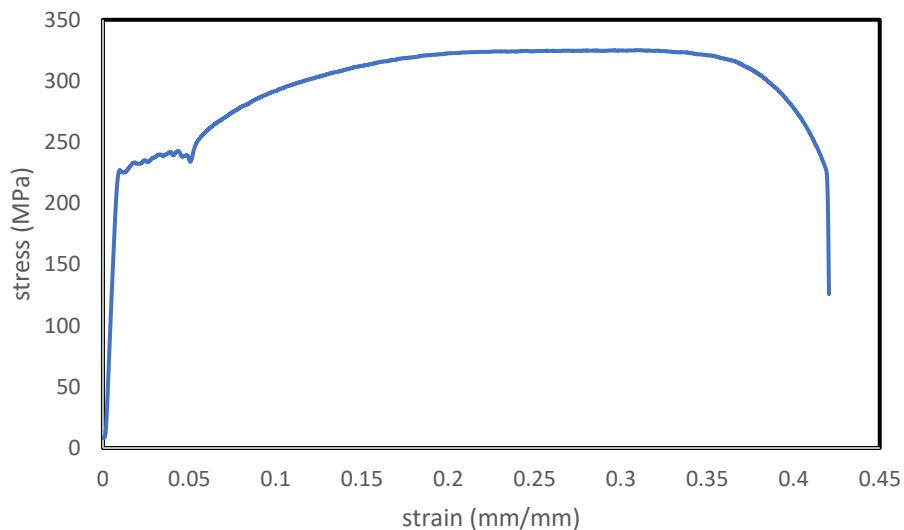


شکل 6.10 روش HPT

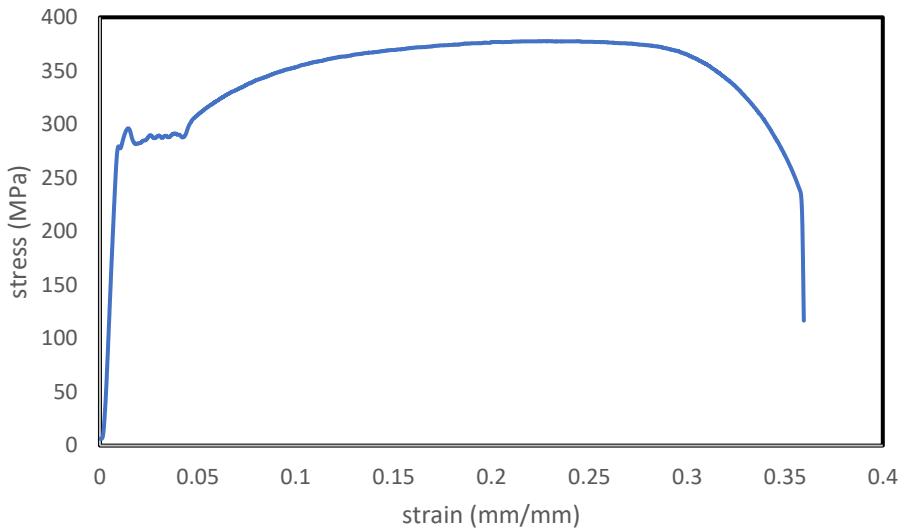


شکل 6.9 روش ECAP

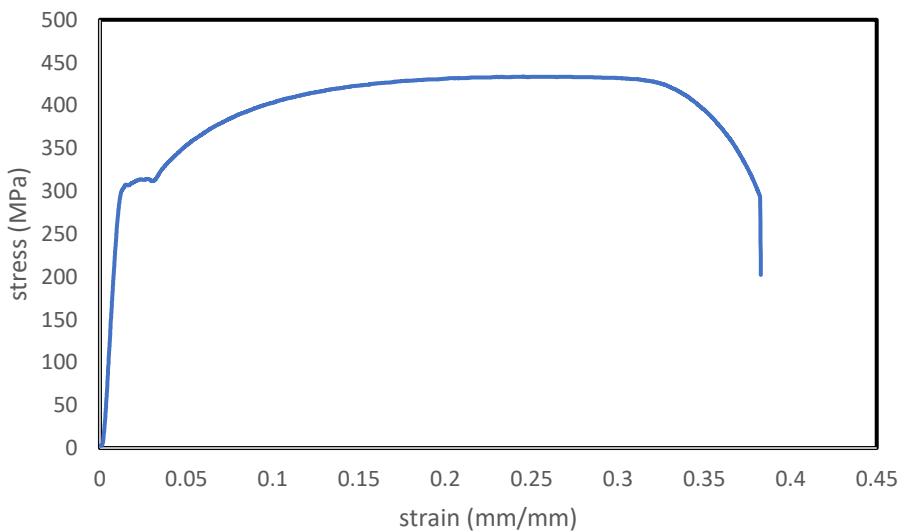
خواسته شماره 1 :



شکل 6.11 منحنی تغییرات تنش بر حسب کرنش مهندسی برای عدد اندازه 6

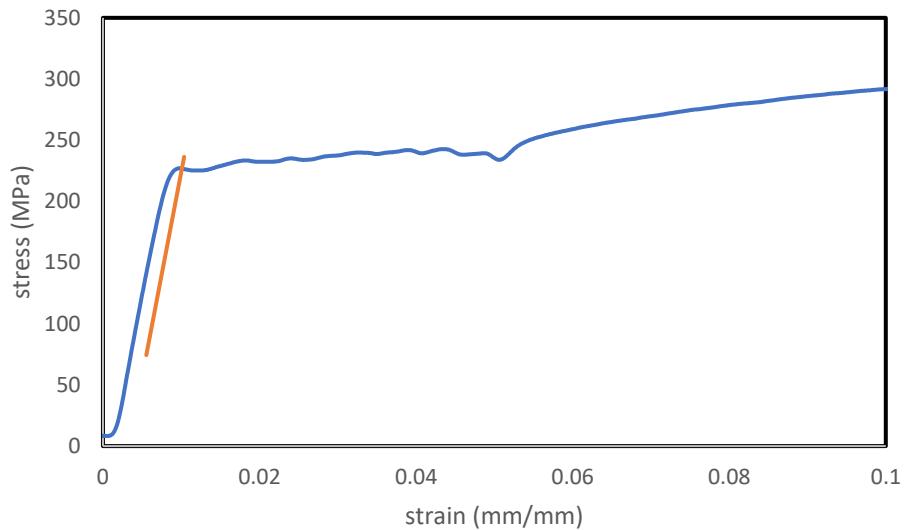


شکل 6.12 منحنی تغییرات تنش بر حسب کرنش مهندسی برای عدد اندازه دانه 7

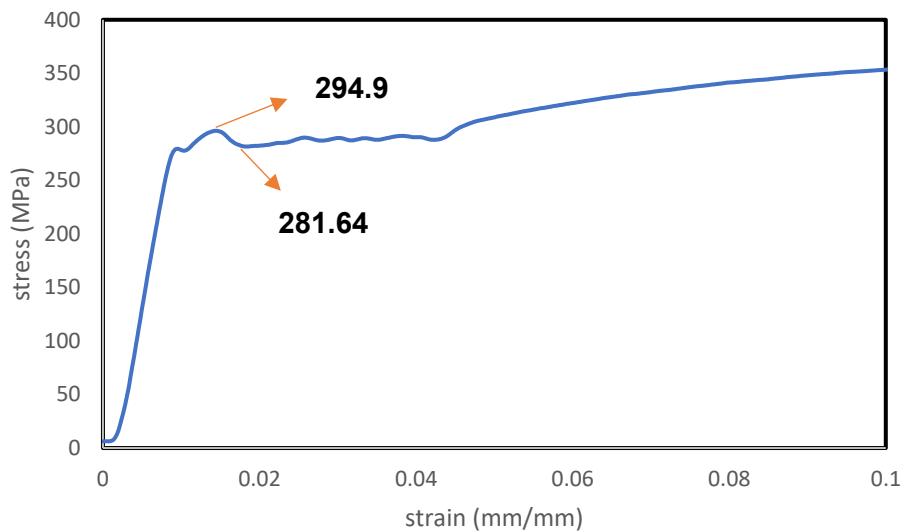


شکل 6.13 منحنی تغییرات تنش بر حسب کرنش مهندسی برای عدد اندازه دانه 8

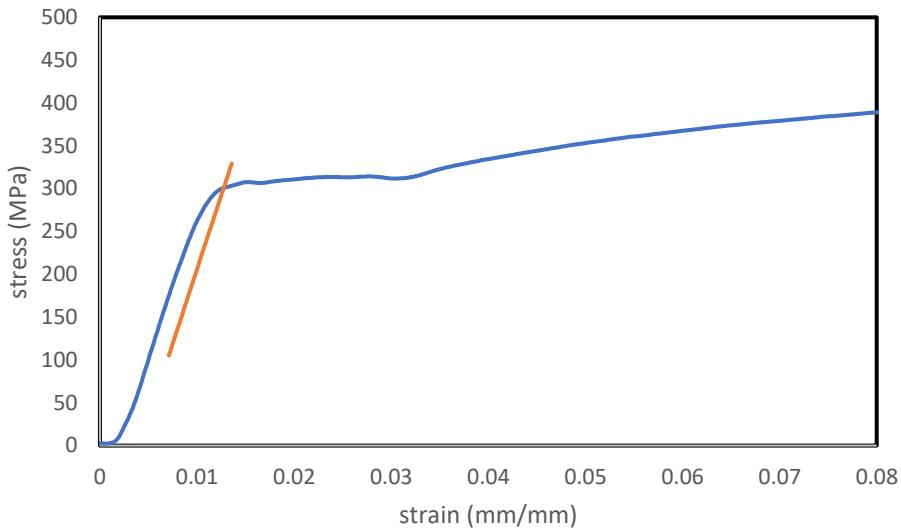
خواسته شماره 2 :



شکل 6.14 تعیین تنش تسلیم در نمونه با عدد اندازه دانه 6



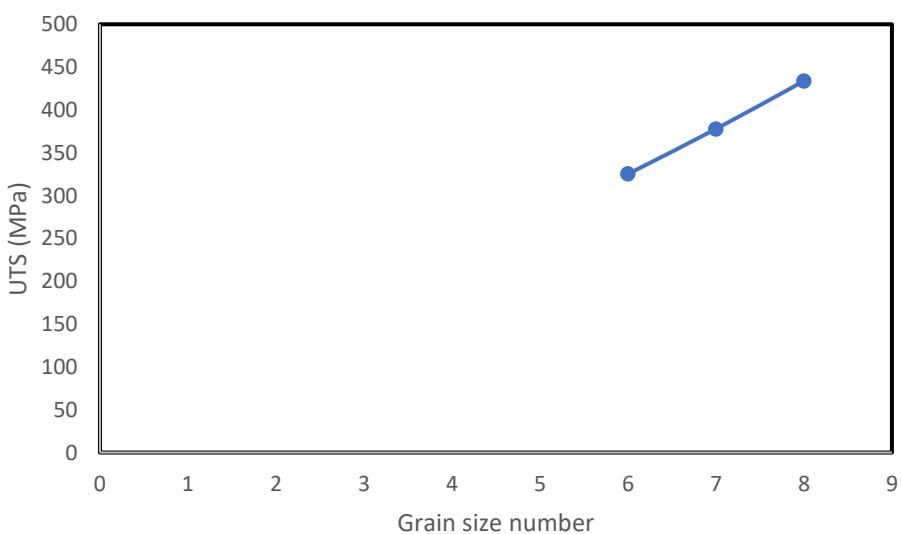
شکل 6.15 تعیین تنش تسلیم در نمونه با عدد اندازه دانه 7



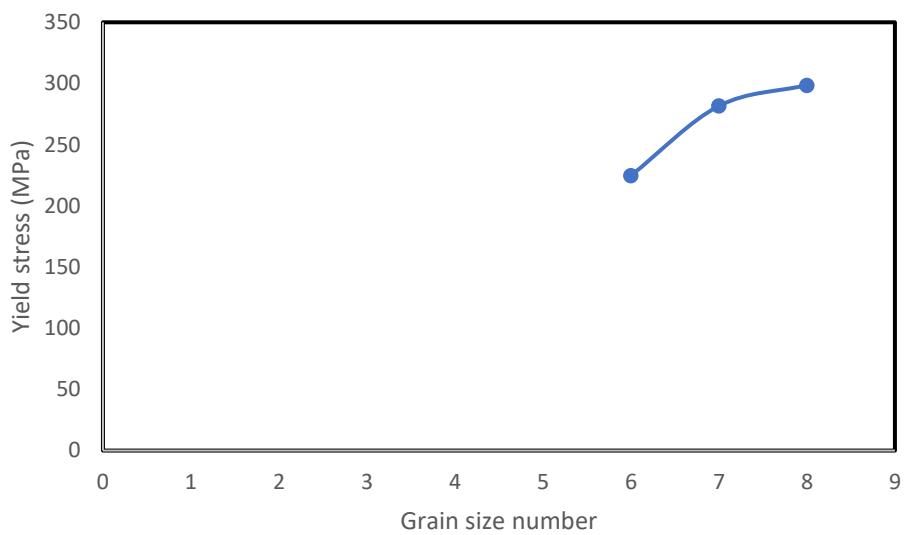
شکل 6.16 تعیین تنش تسلیم در نمونه با عدد اندازه دانه 8

جدول 6.1 تعیین مشخصات مکانیکی مواد

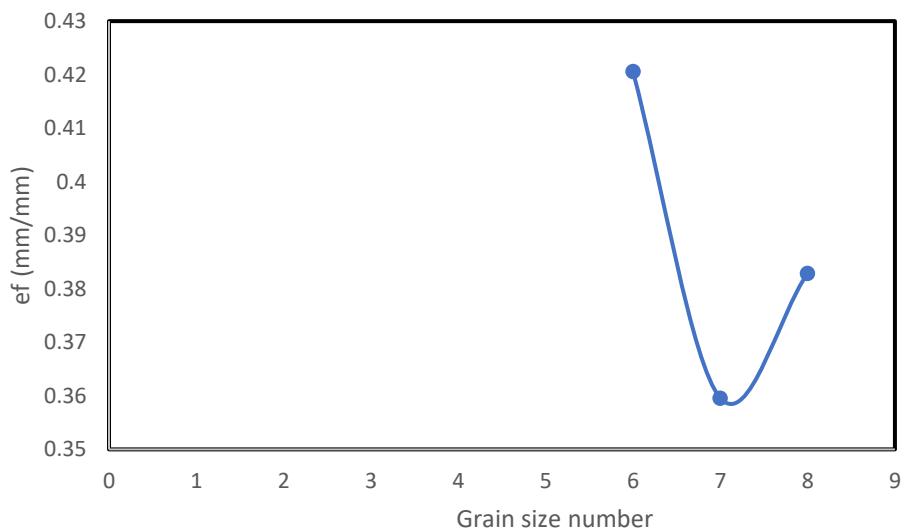
G	UTS (MPa)	Yield stress (MPa)	ϵ_f (mm/mm)
6	325.156	224.73	0.4206
7	377.763	281.64	0.3596
8	433.737	298.63	0.3829



شکل 6.17 منحنی تغییرات استحکام کششی بر حسب عدد اندازه دانه



شکل 6.18 منحنی تغییرات تنش تسلیم بر حسب عدد اندازه دانه



شکل 6.19 منحنی تغییرات کرنش در شکست بر حسب عدد اندازه دانه

هعاظلورکه از دفورار $G - UTs$ می بینم که با افزایش عد از ازه دانه صیان کنس UTs

افزایشی می پاید که عد از ازه دانه بزرگتر بمحابی تعداد دانه های سنتی در سطح مخصوصی از ماده است

با توجه به فرجه حجم نوان به این موضوع می برد $n = 2$ ، هر چقدر G افزایش دارد، n که تعداد دانه ها

در آنچه برابر دربرگ نمای 100% است بسته شود، ریاردن تعداد دانه ها یعنی زیارتی سردازها

و وظی که سردازها زیارتی موانع لجور بر سرمه حرکت نایاب جای هام زیارتی و در نتیجه حرکت

نایاب جای ها کند و راهنمایی از دانه های نایاب بزرگی هاست نایاب جای ها نایاب بزرگی بسته و این اینزی بسته

از کنس برشی بزرگ تر حاصل شود دس استخمام که افزایش می پاید.

در لورد کنس تسلیم هم نوان همان تقریب بالا را مصلاح نمود.

در لورد کنس در تحلیل، ابتدا با افزایش عد از ازه دانه کاهش و سپس افزایش یافته، هعاظلور

که قبل از کفته شود، بحسب خواص مکانیکی، استخمام و حفری لزوماً ب معنای افزایش هر دوی از این نیست

بلکه با زیردن دانه ها و افزایش میلت لزدازها، استخمام زیارتی و حفری، انفعالی بزرگی

که در اینجا با کنس در تحلیل مصلاح شده، کاهش حیثیتی که و همچن که این و جمله با افزایش

استخمام کاهش حیثیتی شمارد یعنی بحسب خواص مکانیکی.

خواسته سعارة $\frac{G}{3}$

$$G=6 \Rightarrow n = 2^{G-1} = 2^{6-1} = \underline{\underline{32}} \Rightarrow \frac{32}{100} \rightarrow \text{قدار دانه ها در هر اینچ مربع در بزرگ نفای} \times$$

$$n_M \left(\frac{M}{100} \right)^2 = 2^{G-1} \Rightarrow n_1 \left(\frac{1}{100} \right)^2 = 32 \Rightarrow n_1 = \underline{\underline{32 \times 10^4}}$$

$$\text{قدار دانه ها در هر اینچ مربع در بزرگ نفای} \times$$

$$32 \times 10^4 \times \frac{\pi}{4} D^2 = 25.4 \times 25.4 \text{ mm}^2 \Rightarrow D = 0.0507 \text{ mm}$$

$$G=7 \Rightarrow n = 2^{G-1} = 2^{7-1} = \underline{\underline{64}} \Rightarrow \frac{64}{100} \rightarrow \text{قدار دانه ها در هر اینچ مربع در بزرگ نفای} \times$$

$$n_M \left(\frac{M}{100} \right)^2 = 2^{G-1} \Rightarrow n_1 \left(\frac{1}{100} \right)^2 = 64 \Rightarrow \frac{n_1 = 64 \times 10^4}{1 \times \text{قدار دانه ها در هر اینچ مربع در بزرگ نفای} \times}$$

$$64 \times 10^4 \times \frac{\pi}{4} D^2 = 25.4 \times 25.4 \text{ mm}^2 \Rightarrow D = 0.0358 \text{ mm}$$

$$\sigma_y = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{D}} \Rightarrow \begin{cases} G=6 \Rightarrow \sigma_y = 224.73 \text{ MPa}, D = 0.0507 \text{ mm} \\ G=7 \Rightarrow \sigma_y = 281.64 \text{ MPa}, D = 0.0358 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} 224.73 \times 10^6 = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{5.07 \times 10^{-4}}} \\ 281.64 \times 10^6 = \sigma_0 + \frac{k}{\sqrt{3.58 \times 10^{-4}}} \end{cases} \Rightarrow \begin{aligned} \sigma_0 &= 581.1 \text{ MPa} \\ k &= -1.583 \times 10^{10} \end{aligned}$$

خواسته سعارة $\frac{G}{4}$

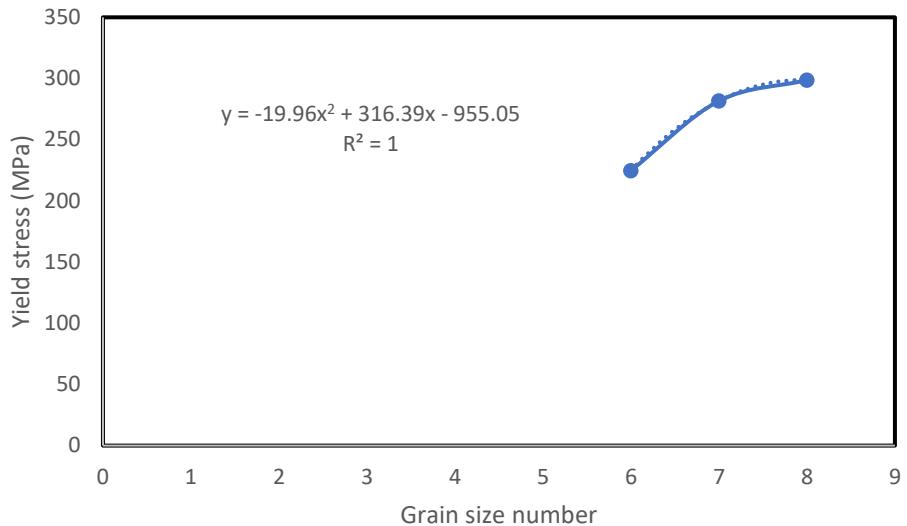
$$D = 20 \times 10^{-3} \text{ mm} \times \frac{1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} = 0.787 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \times n \Rightarrow 1 = \frac{\pi}{4} (0.787 \times 10^{-3} \text{ m})^2 \times n \Rightarrow n = 2055704$$

$$n_M \left(\frac{1}{100} \right)^2 = 2^{G-1} \Rightarrow n_{10} = 2055704 = 2^{G-1} \times 10^4 \Rightarrow G = 8.68$$

$\sigma_y = 287.381 \text{ MPa}$ پیشنهاد شده برای مقادیر جوینده، $G=8.68$ بالذات

ج



شکل 6.20 برونیابی برای تعیین تنش تسلیم از روی عدد اندازه دانه

مراجع :

کتاب کلیستر

کتاب دیتر

جزوه آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد