



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی و علم مواد

آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد

آزمایش شماره 9 :

خرش

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 :

**1401/03/2**

## عنوان و آرایش خزش

استحکام خلزات با افزایش دما کاهش پیدا می‌کند. وقتی که دما افزایش نماید آن‌گاه تمدک آنها هم بطور قابل توجهی افزایش می‌یابد. فرم اینها کشل لنته نفوذ و توان این محض به خواص مکانیکی دمای بالا دستته باشد. همین دمای بالا باعث تمدک بسترهای بارجایی‌ها با مقاومت نسبی کم می‌شود.

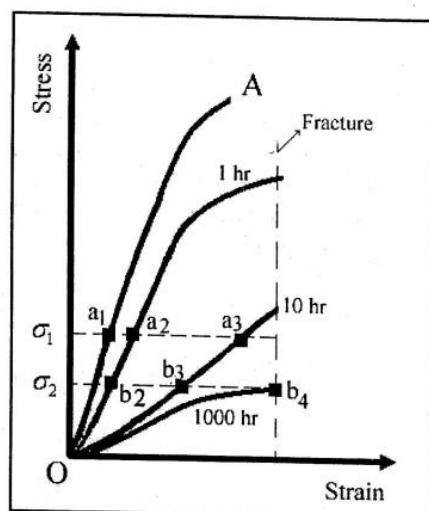
عملایت تعادلی جاهای خالیم بطور متابه با افزایش دمای افزایش می‌یابد، همین مقاومت‌های تغییر شکل جدید هم در دمای بالا نقص بازی کند، درینتی از خلزات سسته‌های لفڑش تغییر کند و روا با افزایش دما سیم‌های لفڑش جبریده اضافی به وجود آید. همین تغییر شکل در برداشتمهای هام لتواند عامل دیگری در تغییر نرم دهن بالا خلزات باشد.

در درجه بعدی که باید در قلم بکرس و آلسنی فلن را می‌بینیم در دمای بالا و باشد. آلسنی و براند نفوذ اینها به داخل نریزهای را باید انجام معلن جلوی آنها را بگیریم.

در دمای‌های بالین خواص مکانیکی بسترهای خلزات مستقل از دمای و باشد اقدار دمای‌های بالا استحکام به سرعت تغییر صاف نسبی و زمان بسته دارد. فلزی در دمای بالا نگاه نیروی تابت نسیس (نیتسن تابت) قدر کمتر در آن پیدا شرخ اتفاق می‌افتد.

شرخ، تغییر شکل تدریجی مواد نسبت پزمان تخت نسیس یا بر تابت را خوش لون نماید. مکانیست دمایی برای یک ماده دمای بالا محسوب شود در حالیکه برای یکی دیگر همین دمای جزو دمای بالای آن محسوب نشود.

در شکل زیر قوی توان اثر تنش و زمان بر نسیس را مشاهده نماید.



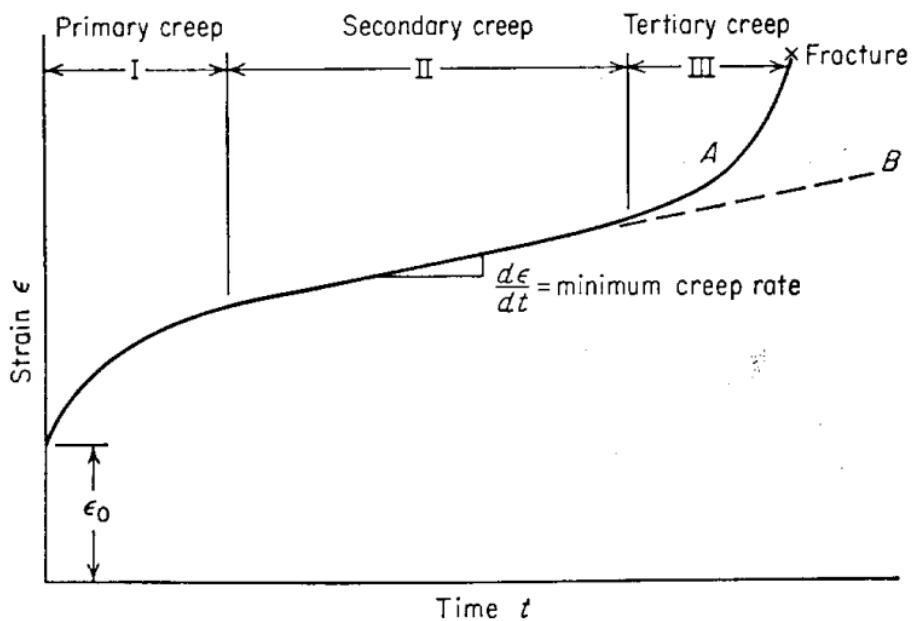
شکل 9.1 اثر تنش و زمان بر نسیس را مشاهده نماید.

هعافلور کدر نشعل و بیتم در صحنی A آر ماین در دهای پایین متوقف شده و خنجرگت کنسن طانروی ثابت باقی مانده است. در این حالت احترمی جزئی از خوش بودیار می شود.

در یک کنسن ثابت و دهای ثابت و بسته هر چقدر زمان در معرض قرار گرفتن ماده در این شرایط بسته طولانی تر باشد، کرسن حاصل هم بسته شود. جیل در زمان های طولانی مانند این کرسن های بسته هست که همین اثر کرسن را کاهش دهنده می باشد که این کرسن های ماده در یک کنسن ثابت و دهای ثابت کفراز حالت کنسن بزرگ تری باشد. و هعافلور در قسمی در کرسن کفراز در زمان های متناول شاهد کرسن کفراز در این حاده هست.

حال قصد دارم به معرفی بخش های مختلف دفعدار  $t - \epsilon$  بپردازم.

در نشعل زیر هعافلور مسماهده کم شاهد یک کرسن اولیه نامی از کرسن قرار گرفتن ماده ماز باد که آنرا با مع روش نشان داده ام. دفعدار کرسن بحسب زمان فاعل از کرسن اولیه، شامل سه بخش و باشد.



شكل 9.2 منحنی کرسن - زمان

بنچش اول و مرحله اول را خرمش اولیه و یا لذراو نامند. سرعت خرمش مرتب کاهش لافته و مقاومت خرمش  
حوال بعلت کار سختی ایجاد شده افزایش می‌پابد.

مرحله دوم که آنرا خرمش تانویه و ما حالت پایدار نمایند. این بنچش همچنان مرحله خرمش در عملیات صنعتی می‌باشد.  
درین مرحله مواد دارای سرعت خرمش ثابت هستند یعنی نزدیکی نسبت بوزان ثابت است.  
این مرحله ممکن است سماحتاً حلول دلکشد. این مرحله که در موادی خرمش بازیابی نمی‌نماید و تغییر موقعي  
خرمش دهد که سرعت بازیابی به اندازه کافی زیاد و سرعت کار سخت (سخت شدن) به این تغییر حلول نمی  
باشد که بطریل این دو بیان حالت توازن برسند، لذا درین مرحله داریم:

$$\left. \begin{aligned} d\sigma &= \frac{\partial \sigma}{\partial t} dt + \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} d\varepsilon \\ \sigma = cte &\Rightarrow d\sigma = 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = -\frac{\frac{\partial \sigma}{\partial t}}{\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon}} = -\frac{c}{h} \quad (9.1)$$

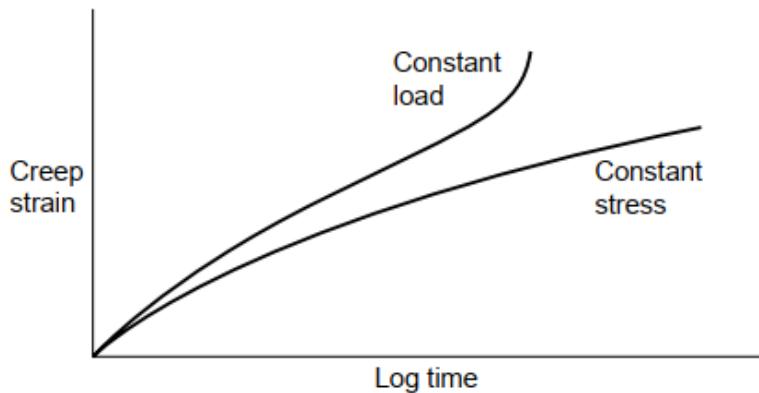
در مرحله فوق ۲ آهنگ بازیابی و  $h$  آهنگ کار سختی می‌باشد.

مرحله سوم را به عنوان خرمش سوپرین (Tertiary creep) نمایند سرعت خرمش افزایش لافته و بالآخره  
منجر به شکست فونه خواهد شد. آن درین آزماش کشش ثابت باشد، افزایش سرعت خرمش  
در منطقه سوم شدید نبوده و طبق صنعتی ۳ (نقطه جن) خواهد بود.

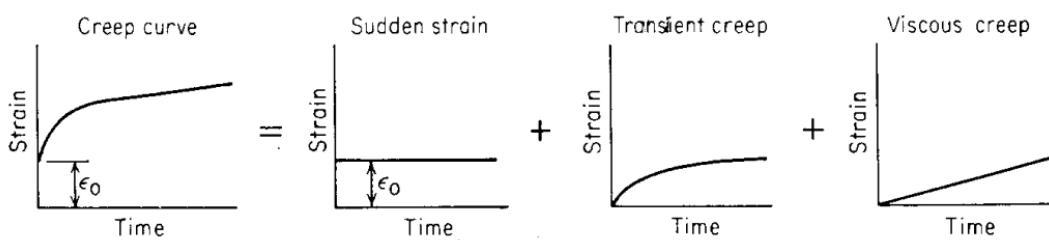
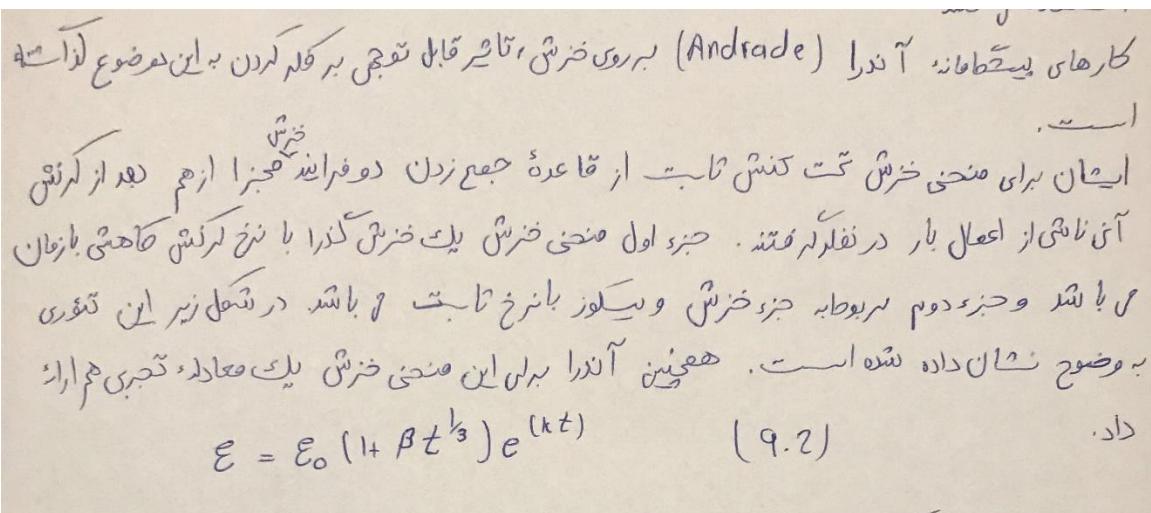
مرحله سوم اغلب با رسید ترکهای ضایعه و سلیمانی در عاده همراه است. آنچه معمولاً منحی های خرمش در  
نهایت مشاهده شده است ولی طایی صورت های دلیلی از تغییرات کرنش بوزان دیده نمود.  
بعضی مواقع سرعت خرمش از آغاز آزماش، خصوصاً وقتی که از تنشی با رعایت بالا استفاده نمود، پیوسته  
افزایش و یا بد و طایی سرعت خرمش به طور مرتب کاهش لافته و در مرحله سوم بلوں آینه مرحله دوم  
را اصلی کند به شکست منجر و شد. این موارد اغلب بر بروط به نایابی از ساختار مواد می‌باشد.  
که درین آزماش عاده سخت و یا نرم شد و در نتیجه باعث ازین رقیب مرحله دوم خرمش می‌شود.

## کنس تابت و بار تابت ۸

به عنوان یک قاعدة کل، اطلاعاتی که برای اهداف مهندسی مدنظر است از نتیجه با بار تابت استفاده کنند، در صورت داشتن روابط ریاضی بین تئوری خرسن از کنس تابت استفاده کنند.



شکل ۹.۳ منحنی کرنش خزش بر حسب زمان



شکل ۹.۴ آنالیز آندراء و تعیین منحنی کرنش - زمان

(در راجه‌له، فوق عکس در زمان  $t$ ،  $\beta$  و  $\alpha$  ثابت هستند. خرسنگ لذرا با  $\beta$  نهایی دارد) مسوده معادله (9.2) به شکل وقیعه است برآورد.

ثابت که بیانند از داد طول بروادر حلول در نیخ ثابت. همین یک معادله ای را بهتر معادله آن لذرا با تغییر همکوئی دارد، آنچه بروید تعداد محدودی از مواد امتحان شده، تو سطح کاروفلا (Garoofla)

$$E = E_0 + E_t (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (9.3)$$

مطروح شد.

که در راجه‌له، فوق عکس آنی ناشی از اعمال باراست  
۱- حد بردن خرسنگ لذرا - ۲- نسبت نیخ خرسنگ لذرا به کرنس خرسنگ لذرا - ۳- نیخ خرسنگ  
حالت پایدار.

در ادامه به عوامل محض بر خرسنگ می‌پردازم.

#### (۱) اثر دمای بر خرسنگ

اصولاً خرسنگ در داده‌های دیسکی است که به دماهای بالا رسیده و مسوده هفاظلوره قبل از  
اکتاره کردم دمای بالا عبارت رسائی نیست زیرا دمای که برای یک آلیاژ زیاد مسوب و شد

فعال است برای آلیاژ دلیم بالش. دمای که در آن خرسنگ اهست دارد، نهاده ذوب آلیاژ است  
دارد. در دماهای بالین هم تغییر افعل ناشی از خرسنگ انجام نمی‌کند اما در بیشتر موارد در دماهایین صفر مطلق  
و  $0.4 T_m$  تغییر نکننده ناشی از خرسنگ کمتر اهست دارد ( $T_m$  دمای مطلق ذوب است)  
پاره کارهای دمای این بتوییم. ولی به محض آنکه دعا از  $0.4 T_m$  فراتر برود، خرسنگ باشد  
بیشتر دور روجه قرار گیرد. بنابراین در فلزی مانند سرب که دارای نهاده ذوب  $327^\circ C$  یا  $600 K$  است  
خرسنگ در دمای اتفاق نیز اهست دارد. از طرف دلیل فولاد که در آن نهاده ذوب  $1773^\circ C$  یا  $1700 K$  است  
است تا  $300^\circ C$  پریده خرسنگ به صفت جوش مسلح نمی‌شود. با این نظر داشت آنچه نهاده ذوب از  
همین عوامل مفهوم برخرسنگ و باشد اما فقط کل از این عوامل و باشد. در دمای که خرسنگ اهست دارد  
ساختار بلوری و مثال دریل نیز نقص محس دارد. به عنوان مثال در خواهد های فریتی با ساختار  $BCC$   
خرسنگ در بالای  $300^\circ C$  اهست دارد حال آنکه در فولادهای زنگ زنگ آستینی (با ساختار بلوری  $FCC$ )  
خرسنگ تا حوالی  $500^\circ C$  مسکل (پیاد نخواهد کرد، با وجود آینه دوفولاد نقاط ذوب متابجه دارد).

او کنٹس بیر خریش

سرعت خریش بستگی به مقدار کنٹس دارد و در این سرعت خریش تأثیریه به صورت تابع قوانی از کنٹس تغییر کند که توسط معادله  $\dot{\epsilon} = k \sigma^n$  نشان داده و شود. غیره سرعت خریش، که کنٹس،  $n$  و  $k$  ثوابت مجدد. برای اس تحقیقات لوناکوون، برای بسیاری از فلزات خالص و آلدها در حود ۰-۳ و باشد با توجه به فربول فوق آلم کنٹس در خریش  $\dot{\epsilon}$  برابر سرعت خریش معمولاً ۸ تا ۳۲ برابر شود. البته این مقادیر که دارای استخناهای نیز و بالا هدایت بعنوان مثال در نزدیکی نقطه زوب پیکلت رفتار فلزات در این دفعه سرعت خریش با کنٹس به صورت خطی تغییر کند یعنی  $\dot{\epsilon} = n\sigma$  و شود. بنابراین کاملاً مخصوص است که  $n$  بستگی به دعا دارد. ضمناً بعضی از مواد دارای قوانین کنٹس بسیار بالا هستند، برای وسائل مقاومی از ۰ در حود ۵۰ نیز دیده شده است. در این صورت دلیل رابطه  $\dot{\epsilon} = k \sigma^n$  غیر صارق نیست و وابستگی سرعت خریش با کنٹس به صورت رابطه زیر درج آید.

$$\dot{\epsilon} = A \exp(B\sigma) \quad (9.4)$$

با وجود آینه این فربول غالباً برای خریش تأثیریه درستهای زیاد ذکر شده است، ولی در سرعتهای خریش و سرعتهایی که بمقابل و رسید باشد فربول فوق صارق باشد. معلم است هرگز سرعتهای تأثیریه خریش واقعی

دیده نشده و خریش سهیمن روش دهد.

حال معاوی است که بتوان مم این دعوه این کنٹس را به شرح ترکیب بیان کند به صورت زیر نوشتند و شود.

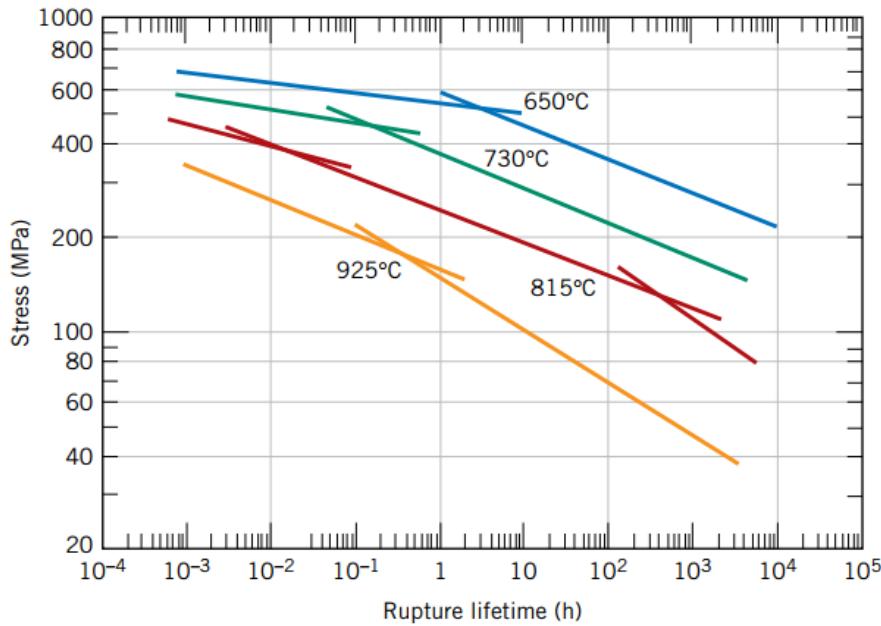
$$\dot{\epsilon}_s = k \sigma^n \exp\left(-\frac{Q_c}{RT}\right) \quad (9.5)$$

در رابطه فوق دغ. شرح ترکیب برخلاف تأثیریه،  $k$  و  $n$  مقادیر ثابت هستند.  $Q_c$  انرژی آنتروپیو می باشد این فربول در دعوهای ثابت به صورت

$$\ln \dot{\epsilon}_s = n \ln \sigma + C \quad (9.6)$$

و در کنٹس ثابت به صورت

$$\frac{d \ln \dot{\epsilon}_s}{d(\frac{1}{T})} = -\frac{Q_c}{R} \quad (9.7)$$



شکل 9.5 منحنی تنش - زمان شکست برای آلیاژ S-590  
در چهار دمای متفاوت

حال سایر از خود در مسیر باشید را بدلیم (9.6) از کجا آمد.

یک رابطه ای برای  $\dot{\epsilon}_s$  به صورت زیر تعریف شود.

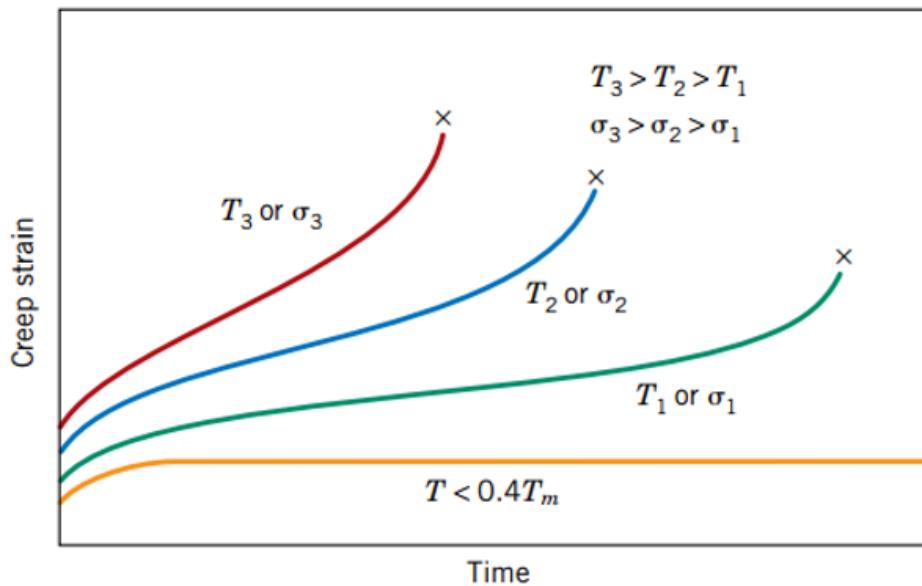
$$\dot{\epsilon}_s = \frac{AD_v G b}{kT} \left( \frac{\sigma}{G} \right)^n \quad (9.8)$$

$$D_v = D_0 \exp \left( -\frac{Q}{kT} \right) \quad (9.9)$$

$$\Rightarrow \dot{\epsilon}_s = k \sigma^n \exp \left( -\frac{Q}{RT} \right)$$

در رابطه (9.8) A و n ثابت های هستند به عبارت مرتبط و مشوند. Dr ضرب فزود خود را بدیند  
یا بالک عاره - G صدف برگی - k بردار بیلز نام جان - n ثابت بولترمن - سه نسخه اعمالی.

در نتیجه زیر اثربخش و دعا به رفتار خوب نشان داده شده است.

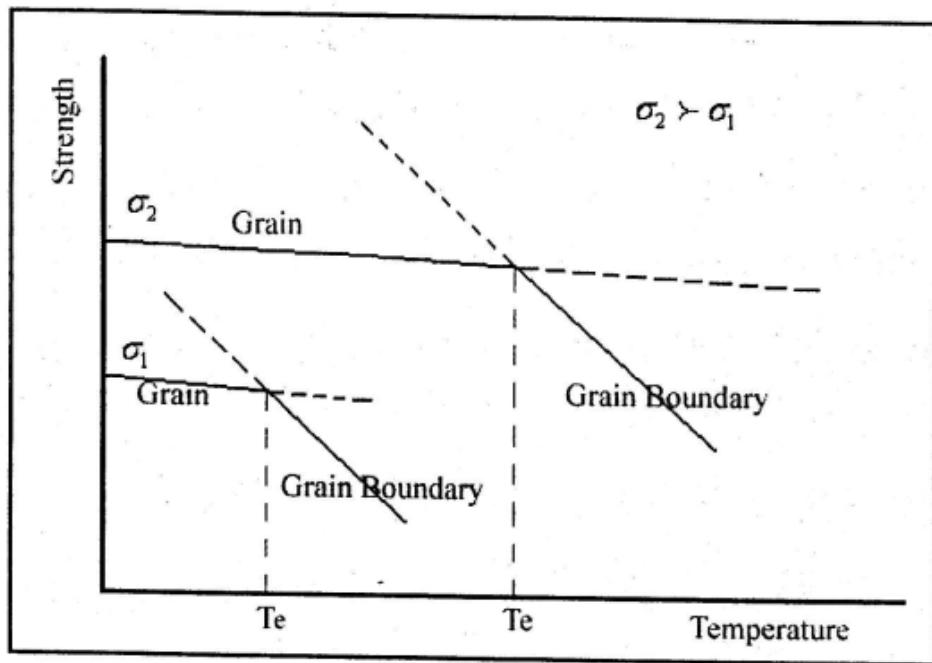


شکل 9.6 منحنی کرنش خرشی - زمان و مشاهده تاثیر دما و تنش های بالا بر این نمودار

نقیبیات استحکام دانه و بزرگانه نسبت به دما در شکل زیر دیده می شود . در این آنالیز دعا استحکام بزرگانه بیشتر از استحکام دانه کاهش و یا بد وابن دو صنی در  $T_e$  (دمایی که استحکام دانه بزرگانه باهم برابر است) همچنان را قطع کردند .

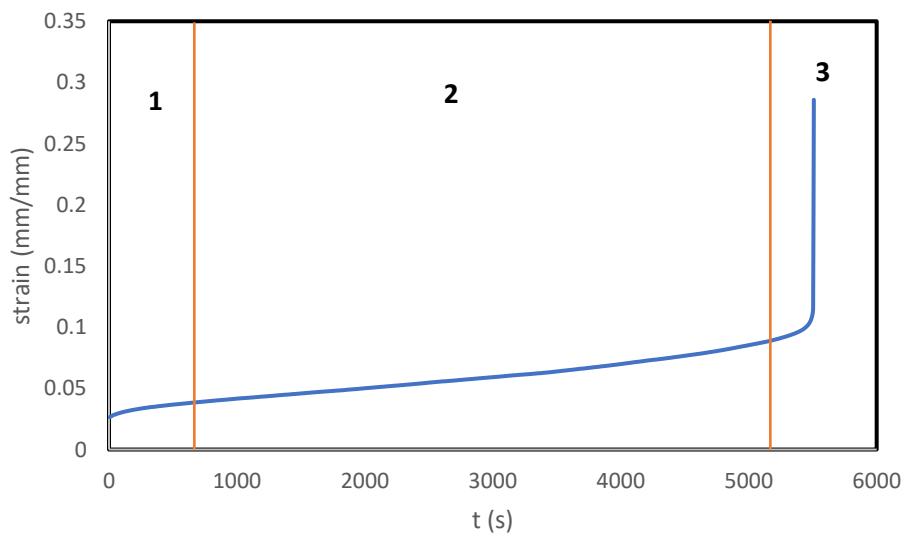
$T_e$  با این کنسنتراسیون اعماقی سرعت اعمال کرنش و خلوص ماده نقیبی می کند . هرچه کنسنتراسیون  $T_e$  نیز بالاتر است .

به آسانی میتوان دید که در دمای های بینتر از  $T_e$  استحکام بزرگانهها بیشتر بوده و هرچه بزرگانهها بیشتر بعنی دانهها کوچک شده است ، استحکام و مقاومت در مقابل نقیبی کم نیز به طور حیچ علیری زیادتر است و در دمای های بالاتر این مطلب صادق است . بعنی بزرگانه های ضعف است و دانه بزرگانه باعده کاهش استحکام خرش و سعد . به خصوص وقتی که سرعت آزمایش کم باشد .

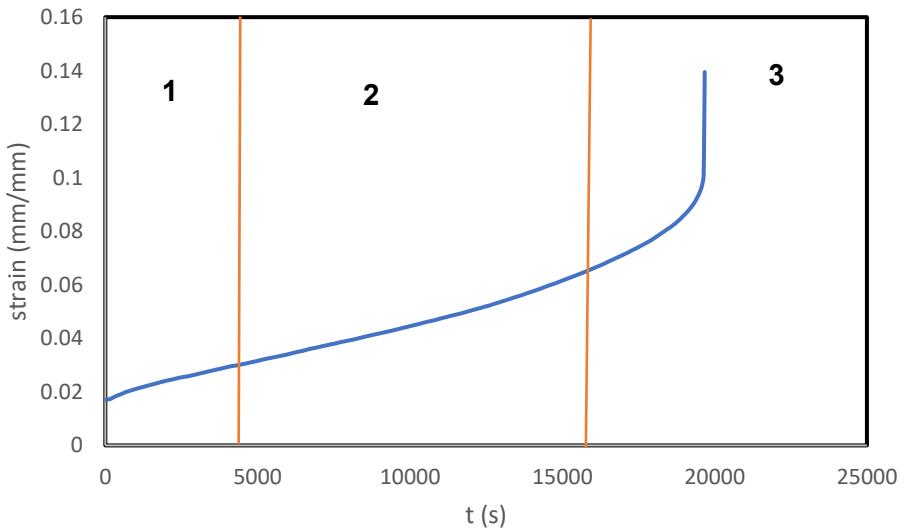


شکل 9.7 تغییرات استحکام دانه و مرزدانه نسبت به دما

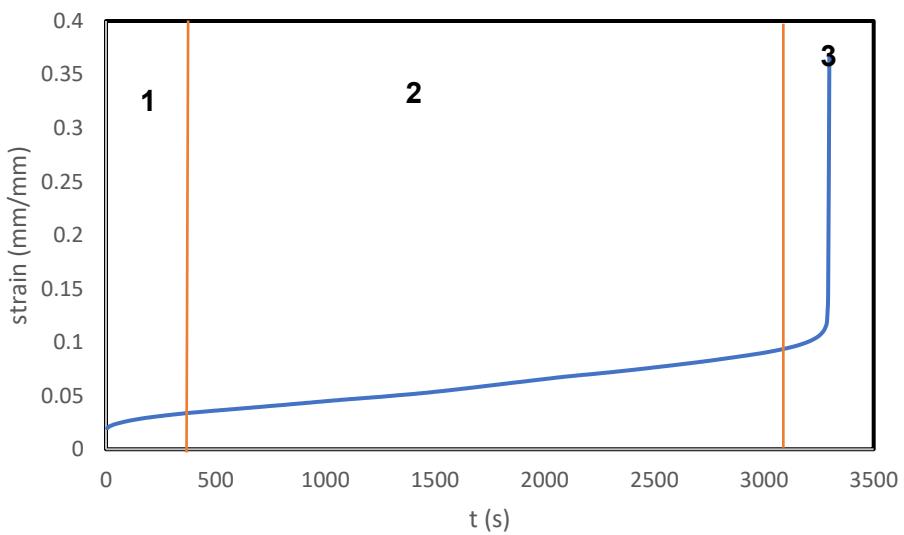
خواسته شماره 1 :



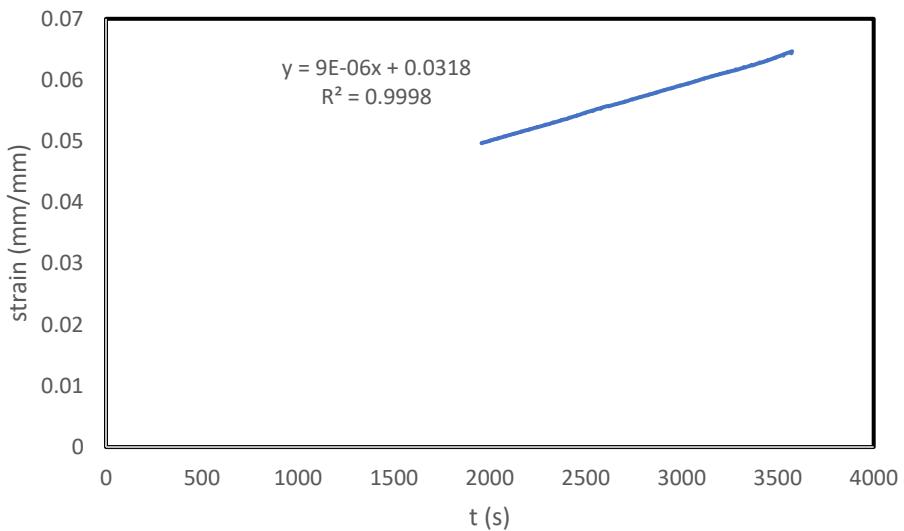
شکل 9.8 منحنی کرنش - زمان نمونه در دمای 240 درجه سانتی گراد و تنش 60 مگا پاسکال  
ناحیه 1 مربوط به خزش اولیه ، ناحیه 2 مربوط به خزش ثانویه ، ناحیه 3 مربوط به خزش سومین



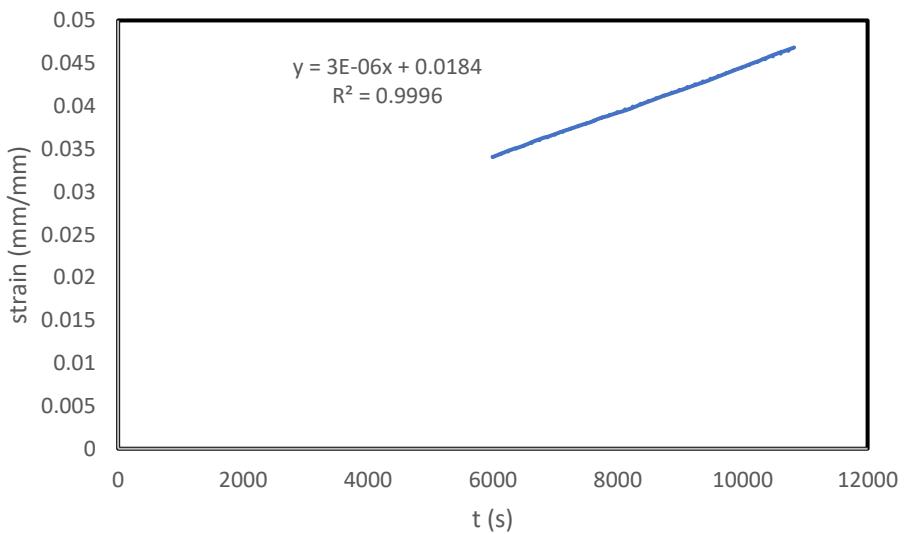
شکل 9.9 منحنی کرنش - زمان نمونه در دمای 240 درجه سانتی گراد و تنش 70 مگا پاسکال  
ناحیه 1 مربوط به خزش اولیه ، ناحیه 2 مربوط به خزش ثانویه ، ناحیه 3 مربوط به خزش سومین



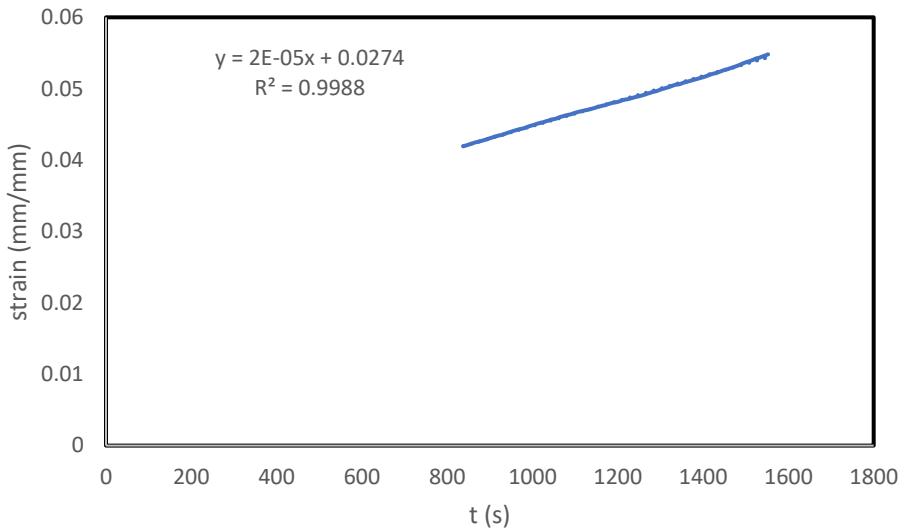
شکل 9.10 منحنی کرنش - زمان نمونه در دمای 260 درجه سانتی گراد و تنش 60 مگا پاسکال  
ناحیه 1 مربوط به خزش اولیه ، ناحیه 2 مربوط به خزش ثانویه ، ناحیه 3 مربوط به خزش سومین



شکل 9.11 تعیین سرعت خزش پایدار برای نمونه 240 درجه سانتی گراد و تنش 60 مگا پاسکال



شکل 9.12 تعیین سرعت خزش پایدار برای نمونه 240 درجه سانتی گراد و تنش 70 مگا پاسکال



شکل 9.13 تعیین سرعت خزش پایدار برای نمونه 260 درجه سانتی گراد و تنش 60 مگا پاسکال

#### جدول 9.1 تعیین سرعت خزش پایدار نمونه ها

نمونه	240 سانتی گراد و تنش 60 مگا پاسکال	240 سانتی گراد و تنش 70 مگا پاسکال	260 سانتی گراد و تنش 60 مگا پاسکال
سرعت خزش پایدار	$9 \times 10^{-6}$	$3 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-5}$

خواسته شده  $\dot{\epsilon}_1 = 9 \times 10^{-6} \text{ یا } 9 \times 10^{-6} \text{ سانتی گراد/ساعت}$  است.

برای اینکار در دو دمای متفاوت آن کار را به صورت زیر انجام دهم.

$$Q = \frac{R \ln(\dot{\epsilon}_1 / \dot{\epsilon}_2)}{\left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 = 260 + 273 = 533 \text{ K}, \dot{\epsilon}_1 = \frac{9 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-5}} \text{ یا } 450 \text{ یا } 4.5 \times 10^{-5} \text{ یا } 4.5 \times 10^{-5} \text{ سانتی گراد/ساعت} \\ T_2 = 240 + 273 = 513 \text{ K}, \dot{\epsilon}_2 = 9 \times 10^{-6} \text{ یا } 9 \times 10^{-6} \text{ سانتی گراد/ساعت} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow \dot{\epsilon}_1 = 9 \times 10^{-6} \text{ یا } \frac{1}{5} \times \frac{60 \text{ سانتی گراد}}{1 \text{ ساعت}} \times \frac{60 \text{ ساعت}}{1 \text{ روز}} = 7.2 \times 10^{-2} \text{ یا } \frac{1}{12} \text{ یا } \frac{1}{12} \text{ سانتی گراد/ساعت}$$

$$\dot{\epsilon}_2 = 9 \times 10^{-6} \text{ یا } \frac{1}{5} \times \frac{60 \text{ سانتی گراد}}{1 \text{ ساعت}} \times \frac{60 \text{ ساعت}}{1 \text{ روز}} = 3.24 \times 10^{-2} \text{ یا } \frac{1}{30} \text{ یا } \frac{1}{30} \text{ سانتی گراد/ساعت}$$

$$Q = \frac{8.314 \times \ln \left( \frac{7.2 \times 10^{-2}}{3.24 \times 10^{-2}} \right)}{\frac{1}{513} - \frac{1}{533}} = \boxed{90761.9 \text{ جول/mol}}$$

البته اگر  $9 \times 10^{-6}$  را در یک ساعت تبدیل کردیم و  
فعال گانه ی یار بود باز به عنوان جواب درستیم.

حال برای رسم نفوذی دارم

$$\theta = t \cdot \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

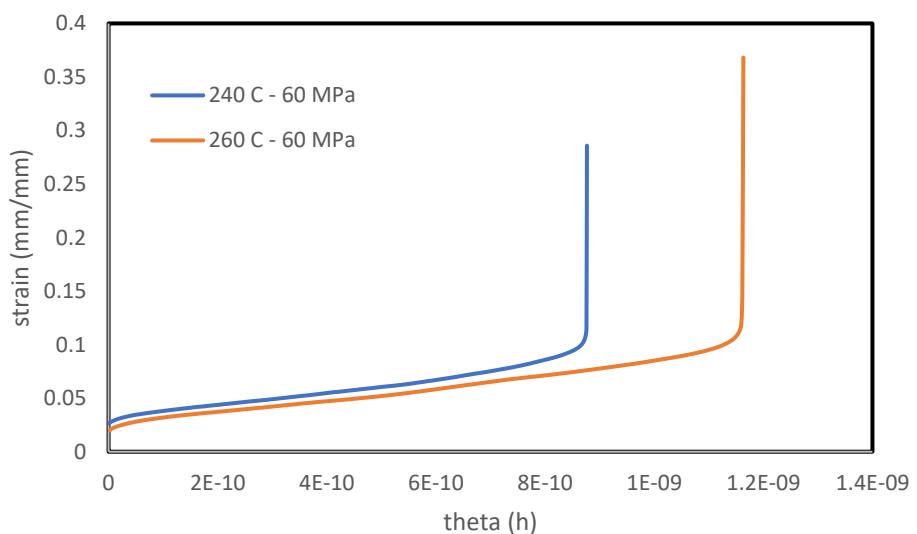
$$\exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) = \exp\left(-\frac{90761.9}{8.314 \times (240+273)}\right) = \underline{\underline{572.95}} \times 10^{-12}$$

$$\theta = \underline{\underline{572.95}} \times 10^{-12} t$$

$$\text{for } T = 533K \Rightarrow \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) = \exp\left(-\frac{90761.9}{8.314 \times (260+273)}\right) = 1.27 \times 10^{-9}$$

$$\theta = 1.27 \times 10^{-9} t$$

همانطور که از شکل پیش است این دو منحنی به همکاری منطبق نیستند چرا که در دعدهای متفاوت قرار دارند انتقال رام همین بود.



شکل 9.14 منحنی کرنش - تتا برای دو نمونه با دماهای متفاوت و تنش ثابت

خواسته سهاره ۳

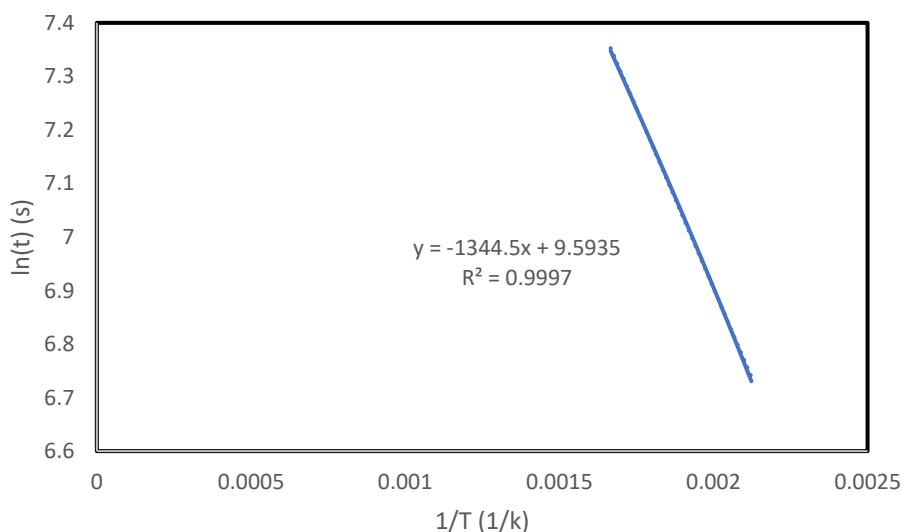
$$\theta = t \exp \left( -\frac{Q}{RT} \right)$$

$$\ln \theta = \ln t - \frac{Q}{RT} \Rightarrow \ln \theta = \ln t - \frac{Q}{R} \frac{1}{T}$$

$$\ln t = \ln \theta + \frac{Q}{R} \frac{1}{T}$$

از قسمت قبل  $t = \theta \exp \left( -\frac{Q}{RT} \right)$  آن صنعتی  
را در که از آن طریق میتوان مرا بست آورده در فریول  
 $Q = \frac{R \ln(\frac{\theta_1}{\theta_2})}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}$  از آن استفاده  
کرد و سرعت خروش را برای دو دمای  $T_1$  و  $T_2$  با استفاده از دمای آزمایش و دلیلی میان تراز آن را بست آورد.

نهاده لین بخش را برای ناصیحه دوم در نظر گیریم. و رسم منحنی را در زمانهای  $t_1$  و  $t_2$  در صنعتی، خروش خارجی هستیم انجام دهیم.  
مثال دمای آزمایش را  $260^\circ C$  در نظر گیریم حال قدر داشم بستر از  $260^\circ C$  و در  $220^\circ C$  لین دفعه را بسته بیویم پس داریم.



شکل 9.15 تعیین انرژی اکتیواسیون از روی نمودار

$$-\frac{Q}{R} = \dot{\omega} = -1344.5$$

با توجه به دفودار دام :

$$\Rightarrow Q = 10756 \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

$$Q = \frac{R \ln \left( \frac{\dot{\epsilon}_1}{\dot{\epsilon}_2} \right)}{\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_1 = 260^\circ\text{C} + 273 = 533 \text{K}, \dot{\epsilon}_1 = 7 \times 10^{-5} \text{ 1/s} \\ T_2 = 300^\circ\text{C} + 273 = 573 \text{K}, \dot{\epsilon}_2 = ? \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow 10756 = \frac{8.314 \ln \left( \frac{2 \times 10^{-5}}{\dot{\epsilon}_2} \right)}{\frac{1}{573} - \frac{1}{533}} \Rightarrow \dot{\epsilon}_2 = 7.37 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$$

$$10756 = \frac{8.314 \ln \left( \frac{2 \times 10^{-5}}{\dot{\epsilon}_2} \right)}{\frac{1}{493} - \frac{1}{533}} \Rightarrow \dot{\epsilon}_2 = 1.64 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$$

هفاضلورک صیبیم هر چقدر دما بالاتر گردد دام را دقیقاً همین استخواه می خواهد

T	220°C	260°C	300°C
$\dot{\epsilon}_s$	$1.64 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$2.37 \times 10^{-5}$

با توجه به نتیجه ۹.۶ اگر دمای دفودار و خیل (دوم) دفودار خوش-زمان باوضوح مستحضر است.

## مراجع

کتاب دیتر

کتاب کلیستر

جزوه آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد