

جلسه ششم

ادامه مسئله ها (حل مسائل ستاره دار به عنوان تمرین بر عهده شماست)

۵. بادکنکی که در برابر پارگی رفتار کشسان خطی دارد و ضریب پواسون آن $\nu = 0.5$ باشد در نظر بگیرید.

اگر قطر اولیه بادکنک d_0 باشد، قطر d آن را در بالاترین فشار بیابید.

حل:

فشار ماکزیمم متناظر است با:

$$P = \frac{2t\sigma}{r} \rightarrow dP = 0 \rightarrow \frac{2td\sigma_1}{r} + \frac{2\sigma_1 dt}{r} - \frac{2t\sigma_1 dr}{r^2} = 0$$

با قرار دادن $d\varepsilon_1 = d\varepsilon_2 = -d\varepsilon_3 / 2$ و $dt/t = d\varepsilon_3$, $dr/r = d\varepsilon_1$ نتیجه می شود:

$$\frac{d\sigma_1}{\sigma_1} = -(3/2)d\varepsilon_3$$

با جایگزینی $d\bar{\varepsilon} = -d\varepsilon_3$ و $\bar{\sigma} = \sigma_1$ نتیجه می شود:

$$d\bar{\sigma} / d\bar{\varepsilon} = (3/2)\bar{\sigma}$$

از آنجا که رفتار مومسان خطی است داریم:

$$\sigma = E\varepsilon \rightarrow d\sigma / d\varepsilon = E \rightarrow E = (3/2)E\varepsilon \rightarrow$$

$$\varepsilon = 2/3 = -\varepsilon_3 \rightarrow \varepsilon_1 = -\varepsilon_3 / 2 \rightarrow \varepsilon_1 = 1/3 \rightarrow \varepsilon_1 = \int dr / r = \ln(d_0 / d)$$

$$\rightarrow d = d_0 e^{d\varepsilon_1} = d_0 e^{1/3} = 1.4d_0$$

فصل سوم: وابستگی دما و آهنگ کرنش

در فصل دوم اثر کرنش سختی را بر تنش شارش را مورد بررسی قرار دادی. اما تنش شارش به آهنگ کرنش و دما نیز وابسته است و معمولاً با آهنگ گردش افزایش و با دما کاهش می یابد.

در ابتدا اثر آهنگ کرنش را در دمای ثابت بررسی می کنیم

آهنگ کرنش

معمولاً تنش شارش با آهنگ کرنش افزایش می یابد و در صورت ثابت بودن کرنش این اثر را می توان با رابطه زیر تقریب زد

$$\sigma = C \dot{\epsilon}^m$$

که در آن C ثابت استحکام است که به کرنش، دما و جنس ماده بستگی دارد و m ضریب حساسیت تنش شارش به آهنگ کرنش است.

در دمای محیط اندازه m برای اغلب فلزات نسبتاً کوچک است ($0 < m < 0.03$)

نسبت تنش های شارش σ_1 و σ_2 در دو آهنگ کرنش $\dot{\epsilon}_1$ و $\dot{\epsilon}_2$ عبارت است از:

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left(\frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1} \right)^m$$

با لوگاریتم گرفتن از دو طرف این رابطه نتیجه می شود

$$\ln \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right) = m \ln \left(\frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1} \right)$$

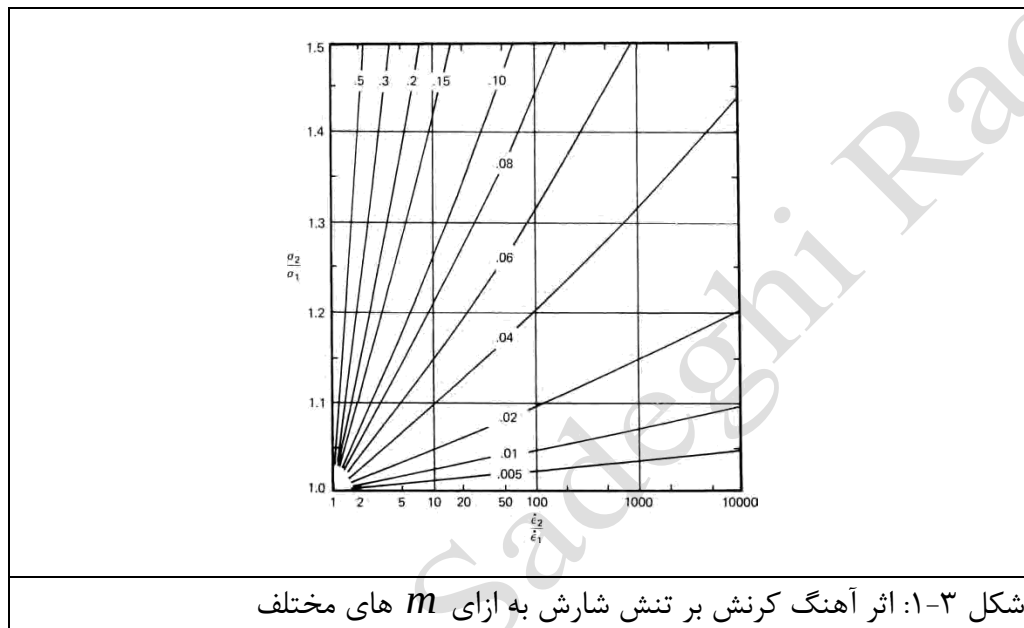
در دماهای پایین احتمال می رود σ_2 از σ_1 خیلی بیشتر نباشد و می توان معادله بالا را ساده کرد و داریم

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma} \cong m \ln \frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1} = 2.3 m \log \frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1}$$

مثلاً اگر $m = 0.01$ با افزایش آهنگ کرنش با ضریب 10، تنش شارش فقط به اندازه $2\% \cong 0.01 * 2.3$ افزایش می یابد که نشان می دهد چرا غالباً اثر آهنگ کرنش را نادیده می گیریم.

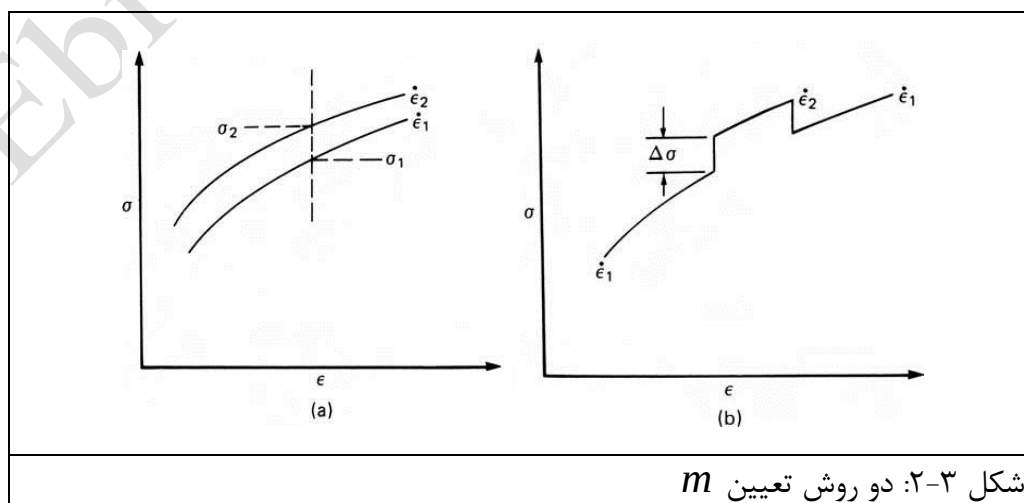
اما ممکن است در بعضی موارد خاص اثر آهنگ کرنش حائز اهمیت باشد مثلاً اگر بخواهیم بارهای شکل دادن را در کشش سیم یا نورد ورق عملیاتی که در آن آهنگ کرنش ممکن است تا $10^4 / \text{sec}$ برسد، با استفاده از داده های حاصل از آزمون کشش که در آن آهنگ کرنش ممکن است در حدود $10^{-4} / \text{sec}$ باشد، پیشگویی کنیم، تنش را باید تصحیح کرد مگر اینکه m بسیار کوچک باشد در شکل زیر نسبت های مختلف

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \text{ را با استفاده از معادله قبل به ازای نسبت های مختلف } \frac{\dot{\epsilon}_2}{\dot{\epsilon}_1} \text{ محاسبه شده است.}$$



برای اندازه گیری m دو روش متداول است یکی به دست آوردن منحنی های تنش-کرنش پیوسته به ازای آهنگ های مختلف کرنش و مقایسه تنش ها در کرنش ثابت و با استفاده از معادلات بالا روش دیگر ایجاد تغییرات ناگهانی در آهنگ کرنش در حین آزمون کشش و استفاده از $\Delta\sigma$ متناظر در معادله است.

این دو روش در شکل نشان داده شده است

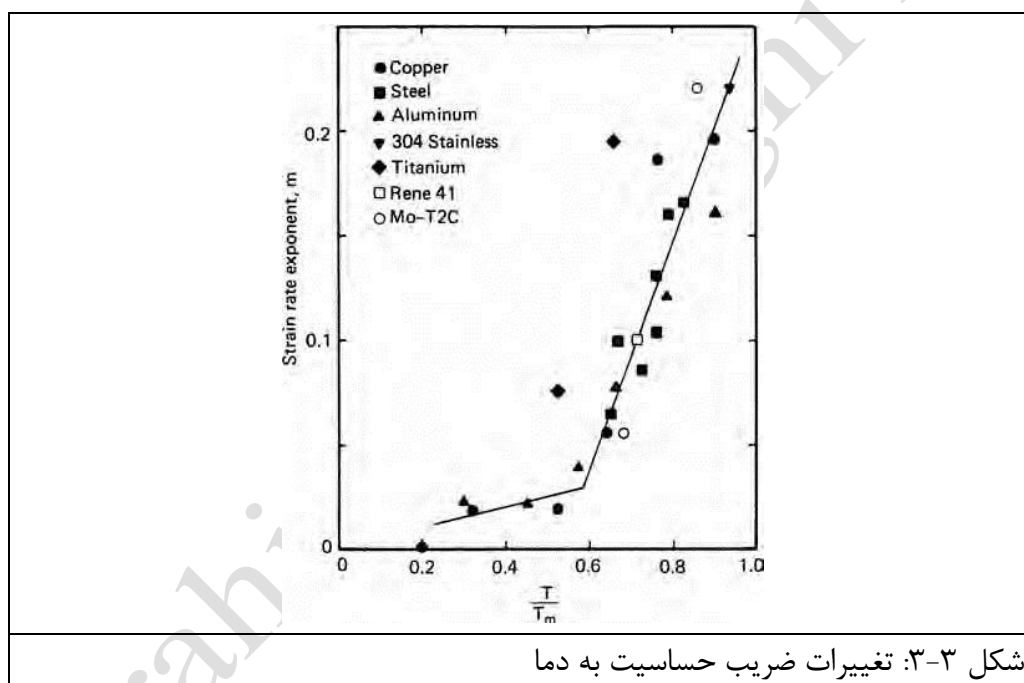


افزایش آهنگ کرنش موجب کرنش سختی بیشتر می‌شود، بنابراین با استفاده از منحنی های تنش-کرنش پیوسته در مقایسه با روش دوم مقدار بزرگتری برای m به دست می‌آید.

در روش دوم تنش‌های شارش با ساختار یکسان مقایسه می‌شوند. روش دوم این برتری را دارد که می‌توان در یک نمونه چندین بار آهنگ کرنش را تغییر داد، در حالی که در روش منحنی های تنش-کرنش پیوسته، به ازای هر آهنگ کرنش به یک نمونه نیاز است.

ضریب حساسیت به آهنگ کرنش هر ماده به دما نیز وابسته است. در دماهای گرم کاری، m معمولاً تا 0.1-0.2 افزایش می‌یابد، بنابراین این آثار آهنگ کرنش بسیار بالاتر از همین اثر در دمای محیط است.

در شرایط خاص مقدار m در فلزات مختلف تا حدود 0.5 یا بیشتر مشاهده شده است. در شکل داده های حاصل از آزمون های تنش-کرنش ثابت پیوسته، در مورد چند فلز نشان داده شده است.



در زیر $T/T_m = 1.2$ نسبت دمای آزمون به دمای ذوب فلز در مقیاس مطلق است)، ضریب حساسیت به آهنگ کرنش کوچک است، اما به ازای $T > T_m / 2$ به سرعت افزایش می‌یابد.

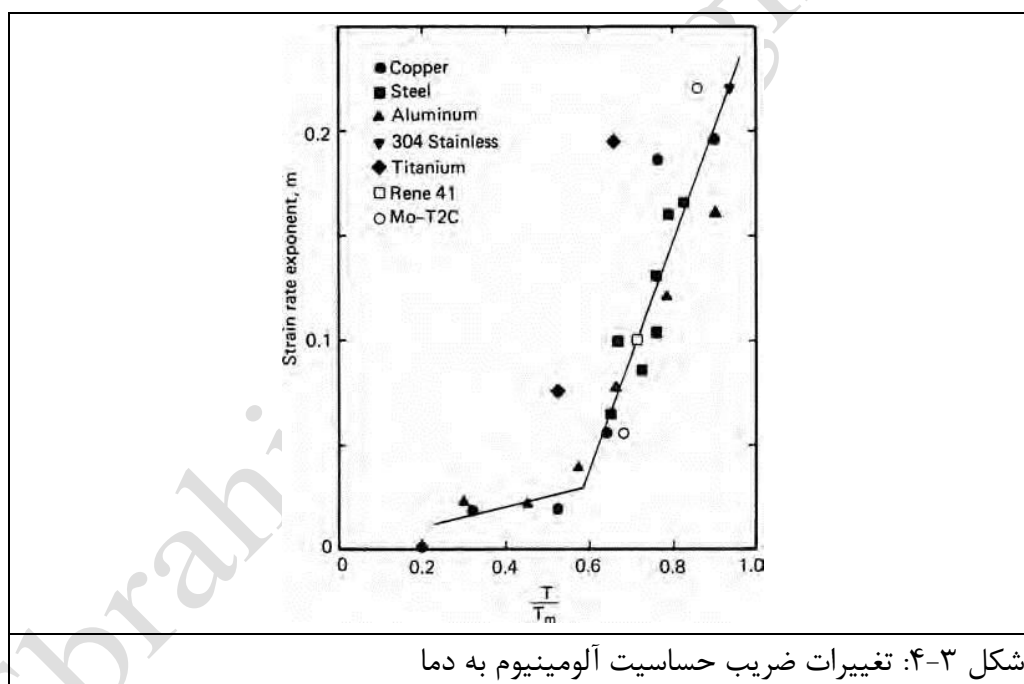
در شکل داده های مفصل تری در مورد آلیاژهای آلومینیوم ارائه شده اگرچه در این شکل تعریف m بر تنش برشی و آهنگ کرنش مبتنی است، این تعریف با تعریف به دست آمده از معادلات معادل است.

در آلیاژهای آلومینیوم و بسیاری از آلیاژهای دیگر، m در نزدیکی دمای محیط به مقدار مینیمم می‌رسد و همانطور که نشان داده شد گاهی مقدار منفی دارد.

در آهنگ های کوچک اتم های حل شده در نابجایی های جدا می نشینند در نتیجه انرژی آنها کاهش می یابد به طوری که نیروهای لازم برای به حرکت درآوردن نابجایی ها از نیروهای لازم برای به حرکت درآوردن نابجایی های عاری از اتم حل شده بیشتر می شود. اما اگر آهنگ کرنش افزایش یابد یا دما کاهش یابد، سرعت حرکت نابجایی ها از سرعت پخش اتم های حل شده بیشتر می شود. در نتیجه نابجایی های اتم های حل شده نسبتاً تهی می شوند و نیروی لازم برای به حرکت درآوردن نابجایی ها به حداقل می رسد.

اگر ضریب حساسیت به آهنگ کرنش منفی باشد، موجب تمرکز شارش در ناحیه ای باریک می شود که به صورت نوارهای لودرز در طول نمونه کششی پخش می شود. با تمرکز شارش در نواری باریک، ماده ای در حال تغییر شکل است، با آهنگ کرنش بیشتر و در نتیجه تنش شارش کمتر تغییر شکل می یابد.

بزرگتر بودن ضریب حساسیت به آهنگ کرنش در دماهای بالا را با افزایش آهنگ فرایندهایی که با گرما فعال می شوند از قبیل صعود نابجایی و لغزش مرز دانه آنها نسبت می دهند.



آبر مومسانی

چنانچه پیش از این گفته شد گاهی ممکن است ضریب حساسیت با آهنگ کرنش برابر 0.5 یا بیشتر باشد شرایط لازم عبارتند از:

- اندازه مرزدانه بسیار کوچک (چند میکرون یا کمتر) با ساختار یکنواخت دانه های متساوی المحور

- دماهای بالا $T > 0.4T_m$

- آهنگهای کرنش کوچک ($\geq 10^{-2} / \text{sec}$)

علاوه بر شرایط بالا، پایداری ریز ساختار در حین تغییر شکل بدون رشد آنها نیز لازم است. تحت این شرایط افزایش طول های فوق العاده زیاد و تنش های شارش بسیار کم در آزمون های که مشاهده می شود.

بنابراین برای توصیف این آثار از اصطلاح **ابرمومسانی** استفاده می کنند چندین مرور عالی بر ابر مومسانی و مکانیسم ها و مشخصه های آن انجام شده است.