

مشخصات مصالح در دمای بالا

فولاد

محل ضرب مهرهای تحت کنترل - منسوخ							۰۳
							۰۲
							۰۱
				امیر ساعدی	وحید پاچیده	مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد	۰۰
	تاریخ انتشار	تصویب	تأیید	بررسی	تهیه	شرح	REV

	مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد									
	صفحه: ۲		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
	مرداد ۹۴								۰۱	

فهرست مطالب

- ۱- ویژگی های مصالح فولاد ۳
- ۱-۱- چگالی ۳
- ۲-۱- گرمای ویژه ۳
- ۳-۱- هدایت گرمایی ۴
- ۴-۱- پخش گرمایی ۴
- ۲- مشخصه های مقاومتی فولاد ۵
- ۱-۲- مشخصات فولاد ۵
- ۲-۲- انبساط گرمایی نامقید ۷
- ۳-۲- خزش تک دما ۹
- ۴-۲- داده های خزش غیر تک دما ۹

مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد										
صفحه: ۳		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
مرداد ۹۴								۰۱		

۱- ویژگی های مصالح فولاد

۱-۱- چگالی

چگالی فولاد را می توان برابر چگالی آن در دماهای معمولی که معادل 7850 Kg/m^3 است، در نظر گرفت.

۱-۲- گرمای ویژه

$Malhorta(1982a)$ برای گرمای ویژه ی فولاد c_a ($\text{J/Kg}^\circ\text{C}$)، رابطه ی زیر را ارائه داد.

$$C_a = 475 + 6.010 \times 10^{-4} \theta_a^2 + 9.64 \times 10^{-2} \theta_a^2 \quad (1)$$

معادله ی (۱) به همراه داده های آزمایش $Thor, Magnusson, Pettersson$ (1976) و $Stirland$ (1980) که در $Malhorta (1982a)$ کپی برداری شده اند، در شکل ۱ به تصویر در آمده اند. لازم به ذکر است که به دلیل ناپیوستگی گرمای ویژه ی فولاد در دماهای نزدیک 750°C ، معادله ی (۱) تنها تا این دما معتبر است. $EN 1994-1-2$ معادلاتی را ارائه می دهد که تا دمای 1200°C معتبر هستند.

$$20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600^\circ\text{C}$$

$$c_a = 425 + 0.773\theta_a - 1.69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2.22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \quad (2)$$

$$600^\circ\text{C} = \theta_a = 735^\circ\text{C}$$

$$C_a = 666 - \frac{1302}{\theta_a - 738} \quad (3)$$

$$735^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 900^\circ\text{C}$$

$$C_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \quad (4)$$

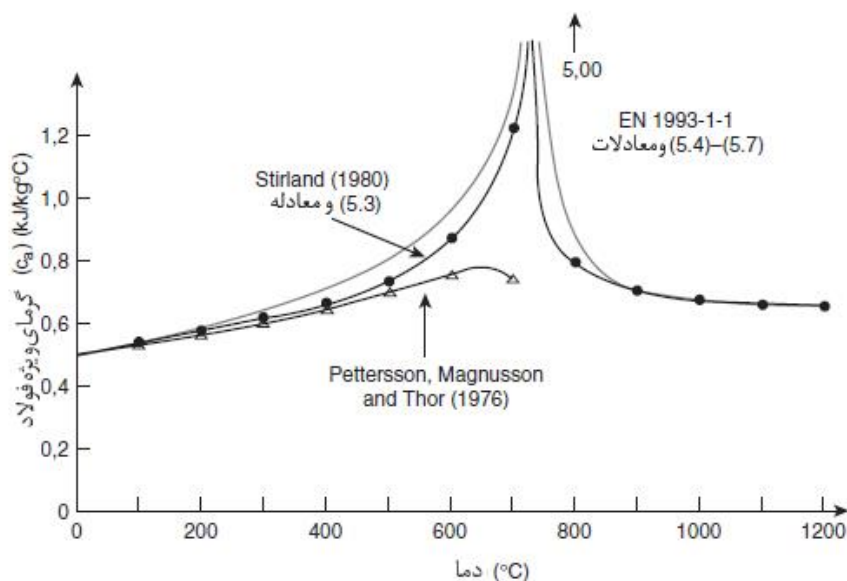
$$900^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$$

$$C_a = 650 \quad (5)$$

معادلات (۲) تا (۵) هم در شکل ۱ به تصویر در آمده اند. دقت شود که در مدل های محاسباتی ساده می توان

از مقدار ثابت 600 J/KgK استفاده کرد.

مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد									گروه مهندسين دانش
صفحه: ۴		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
مرداد ۹۴								۰۱	



شکل ۱: تغییرات گرمای ویژه فولاد با دما *Malhorta(1982a)* با مجوز

۳-۱- هدایت گرمایی

مقادیر نوعی هدایت گرمایی فولاد λ_a ($W/m^\circ C$) در شکل ۲ ارائه شده اند. لازم به ذکر است که مقادیر هدایت گرمایی تا حدودی به مقاومت فولاد وابسته هستند. علت این موضوع مشخص نیست، ولی در اکثر موارد این مساله خیلی قابل توجه نیست. EN1993-1-2 معادله ی زیر را برای λ_a ($W/m^\circ C$) ارائه می دهد:

$$20^\circ C \leq \theta_a \leq 800^\circ C \quad \text{برای}$$

$$\lambda_a = 54 - 33.3 \times 10^{-3} \theta_a \quad (۶)$$

$$\theta_a \geq 800^\circ C \quad \text{برای}$$

$$\lambda_a = 27.3 \quad (۷)$$

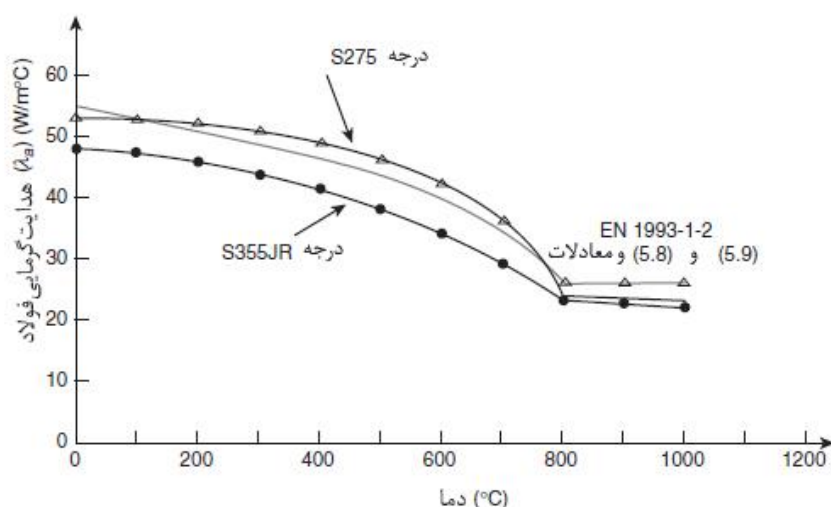
معادلات (۶) و (۷) هم در شکل ۲ به تصویر در آمده اند. توجه کنید که در محاسبات تقریبی می توان مقدار هدایت گرمایی را برابر با $45 W/mk$ در نظر گرفت.

۴-۱- پخش گرمایی

با استفاده از داده های موجود در بخش های قبل و مقادیر چگالی استاندارد، پخش گرمایی فولاد (m^2/h) تا دمای $750^\circ C$ ، با دما، رابطه ای خطی برقرار می کند که این رابطه به صورت معادله ی زیر نشان داده می شود:

$$a_a = 0.87 - 0.84 \times 10^{-3} \theta_a \quad (۸)$$

مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد									گروه مهندسين دانا
صفحه: ۵		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
مرداد ۹۴								۰۱	



شکل ۲: تغییرات هدایت گرمایی فولاد با دما

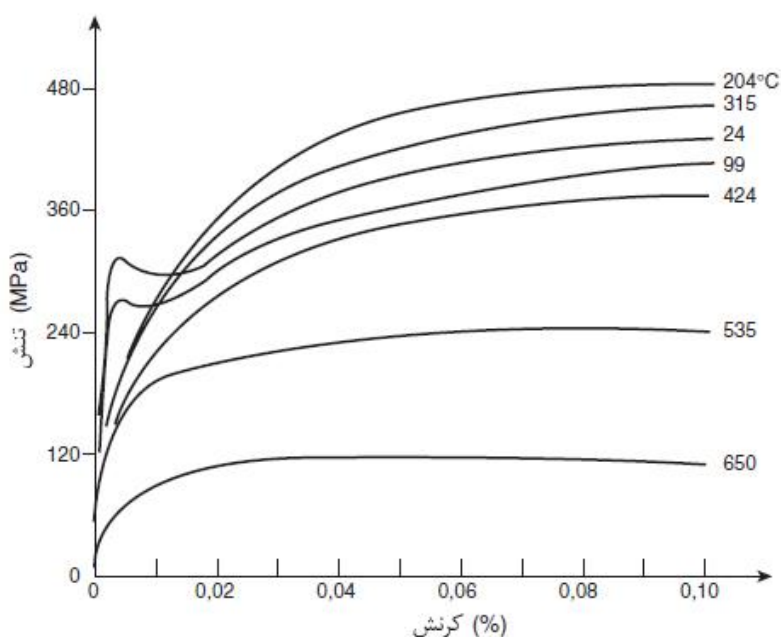
۲- مشخصه های مقاومتی فولاد

اولین مساله ای که در تعیین اثر دما روی مشخصات فولاد مورد بررسی قرار گرفت رفتار مقاومتی آن بود که با استفاده از مقاومت جاری شدن یا مقاومت معیار مشخص می شد و پس از آن منحنی کامل تنش- کرنش رسم شد.

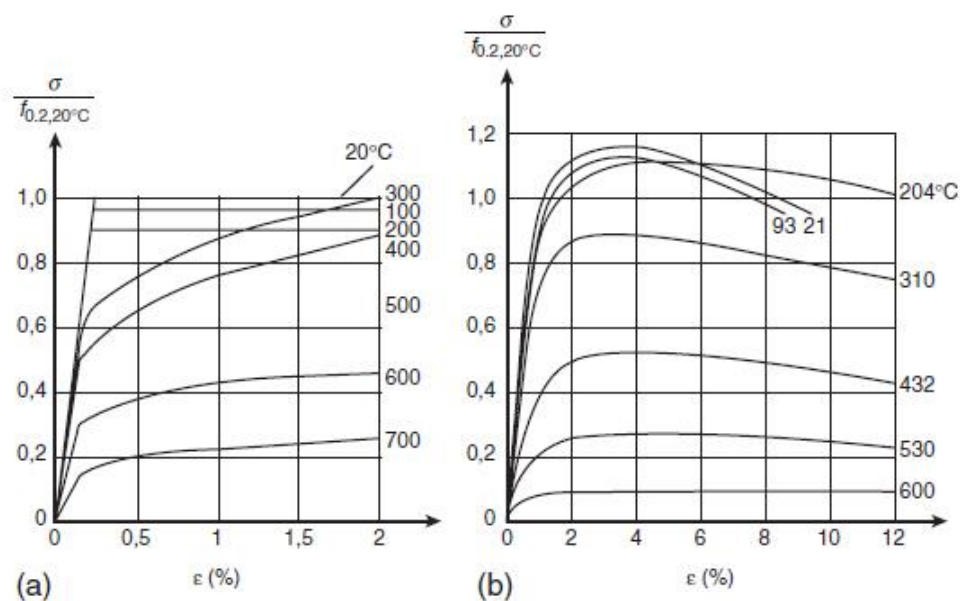
۲-۱- مشخصات فولاد

دسته منحنی های نوعی تنش- کرنش مربوط به فولاد رده آمریکائی A36 (با مقاومت جاری شدن 300Mpa) در شکل ۳ ارائه شده است. این شکل نشان می دهد که مقاومت در دماهای بالا به میزان قابل توجهی کاهش می یابد، حال آنکه در نسبت های دمای پائین کاهش مقاومت کمتر است. بعلاوه لازم به ذکر است که همان گونه که در شکل مشاهده می شود، تنها در دماهای محیطی و دماهایی که اندکی از آن بالاتر هستند، محل جاری شدن قابل تشخیص است در حالی که در دماهای بالاتر جاری شدن جای مشخصی ندارد و منحنی مشابه منحنی فولادهای با مقاومت جاری شدن بالا می شود. فولادهای تقویتی و پیش تنیده نیز از الگوی بسیار مشابهی پیروی می کنند. (شکل ۴)

مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد									
صفحه: ۶		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
مرداد ۹۴								۰۱	



شکل ۳: منحنی های تنش - کرنش برای فولاد ساختمانی در دماهای بالا

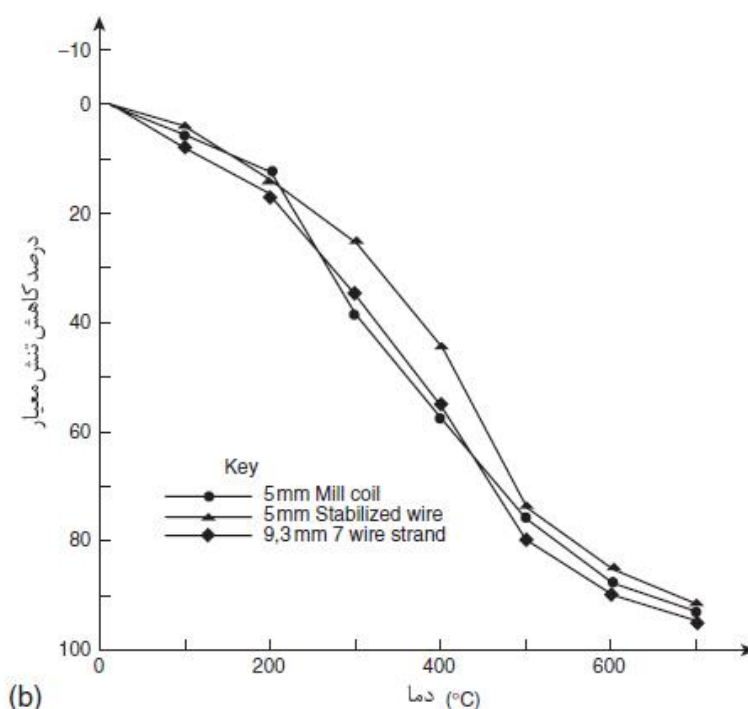
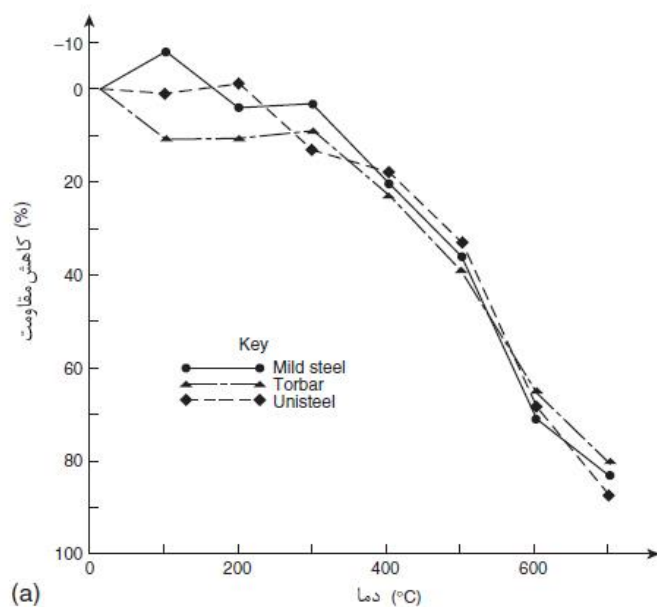


شکل ۴: منحنی تنش - کرنش مربوط به (a) فولاد تقویتی و (b) فولاد پیش تنیده، در دماهای بالا

لازم به ذکر است که با توجه به کرنش های بزرگ در دماهای بالا، در اعضایی که تحت اثر آتش قرار گرفته اند، معمول است که ۱٪ یا ۲٪ و یا در موارد خاص ۵٪ از مقاومت معیار را به جای مقدار قراردادی در شرایط عادی که ۰.۲٪ مقاومت معیار می باشد، گزارش کرد. لازم به ذکر است که وقتی بعد از نرمالیزه کردن نتایج بر اساس مقاومت محیطی برای فولادهای تقویتی و پیش تنیده، اختلاف مقاومت های معیار در نظر گرفته می شود،

مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد									 گروه مهندسیین د. م. م.
صفحه: ۷		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
مرداد ۹۴								۰۱	

کاهش مقاومت حاصل از آن تقریباً در بالای 350°C اتفاق می افتد که می توان گفت مستقل از نوع فولاد می باشد. (شکل ۵)



شکل ۵: تغییرات مقاومت نرمالیزه شده ی (a) فولادهای تقویتی و (b) فولادهای پیش تنیده، با دما

۲-۲- انبساط گرمایی نامقید^۱

^۱ (Unrestrained thermal expansion)

مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد										 گروه مهندسين ISIRI
صفحه: ۸		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
مرداد ۹۴								۰۱		

انبساط گرمایی آزاد فولاد نسبتاً مستقل از نوع فولاد می باشد. (شکل ۶) EN 1992-1-2 تعریف زیر را ارائه

می دهد:

برای فولادهای تقویتی و ساختمانی:

$$20^{\circ}C \leq \theta_s \leq 750^{\circ}C \quad (9)$$

$$\varepsilon_s(\theta_s) = -2.416 \times 10^{-4} + 1.2 \times 10^{-5} \theta_s + 0.4 \times 10^{-8} \theta_s^2$$

$$750^{\circ}C \leq \theta_s \leq 860^{\circ}C \quad (10)$$

$$\varepsilon_s(\theta_s) = 11 \times 10^{-3}$$

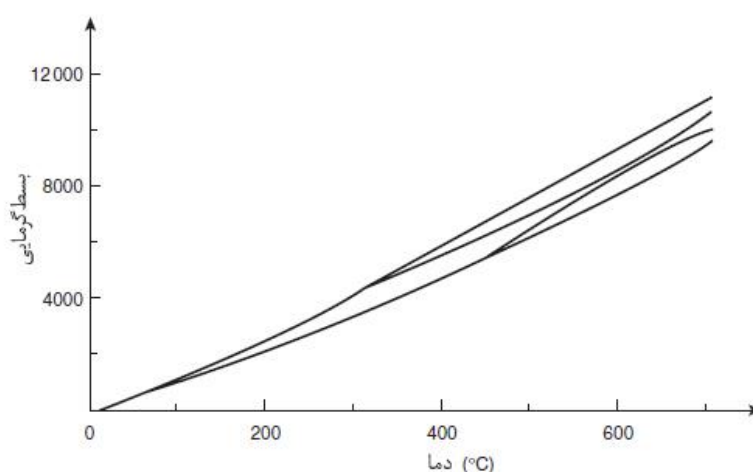
$$860^{\circ}C \leq \theta_s \leq 1200^{\circ}C \quad (11)$$

$$\varepsilon_s(\theta_s) = -6.2 \times 10^{-4} + 10^{-5} \theta_s + 0.4 \times 10^{-8} \theta_s^2$$

برای فولاد پیش تنیده:

$$20^{\circ}C \leq \theta_s \leq 1200^{\circ}C \quad (12)$$

$$\varepsilon_s(\theta_s) = -2.016 \times 10^{-4} + 10^{-5} \theta_s + 0.4 \times 10^{-8} \theta_s^2$$



شکل ۶: انبساط گرمایی فولاد

دقت شود که EN1992-1-2 از $\Delta l/l$ به جای $\varepsilon_s(\theta_s)$ برای نشان دادن کرنش گرمایی استفاده می کند.

EN1994-1-2 بیان می کند که برای روش های ساده ی محاسباتی (شکل ۶ را ببینید) کرنش گرمایی از رابطه ی

زیر بدست می آید:

$$\varepsilon_s(\theta_s) = -14 \times 10^{-6} (\theta_s - 20) \quad (13)$$

مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد									
صفحه: ۹		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	
مرداد ۹۴								۰۱	

۲-۳- خزش تک دما^۱

در فولاد خزش تک دما (یعنی خزش اندازه گرفته شده در تنش ثابت و دمای ثابت) تقریباً تنها برای دماهای بالای 450°C که در آن هم فولادهای تقویتی و هم فولادهای ساختمانی به آخرین حد ظرفیت باربری خود می‌رسند، اندازه گیری می‌شود. داده‌های نوعی مربوط به خزش تک دمای فولادها در شکل ۷ ارائه شده است. یک راه معمول آنالیز داده‌های مربوط به خزش، استفاده از روش دمای معادل زمان *Dorn* با خزش ثانویه مربوط به پارامتر *Zener-Hollomon* می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به ماهیت آزمایش از جنبه‌ی تکرارپذیری و یا مقادیر ثابت پارامترهای مورد استفاده در تحلیل خزش فولاد، از این مقادیر باید با احتیاط استفاده کرد.

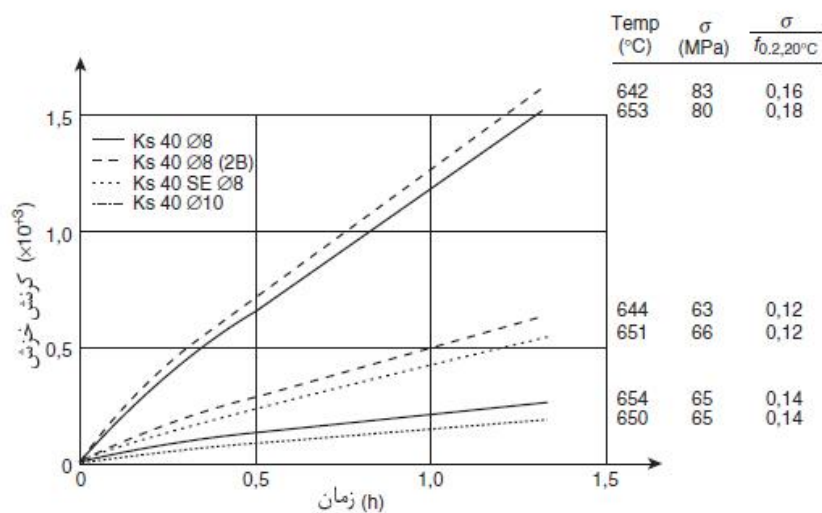
به منظور کاهش چنین مشکلی، تلاش‌هایی جهت استفاده از داده‌های مقاومتی حاصل از آزمایش‌های خزش غیر تک دما که در آنها خزش به طور ضمنی در داده‌ها موجود است، صورت گرفته است.

۲-۴- داده‌های خزش غیر تک دما

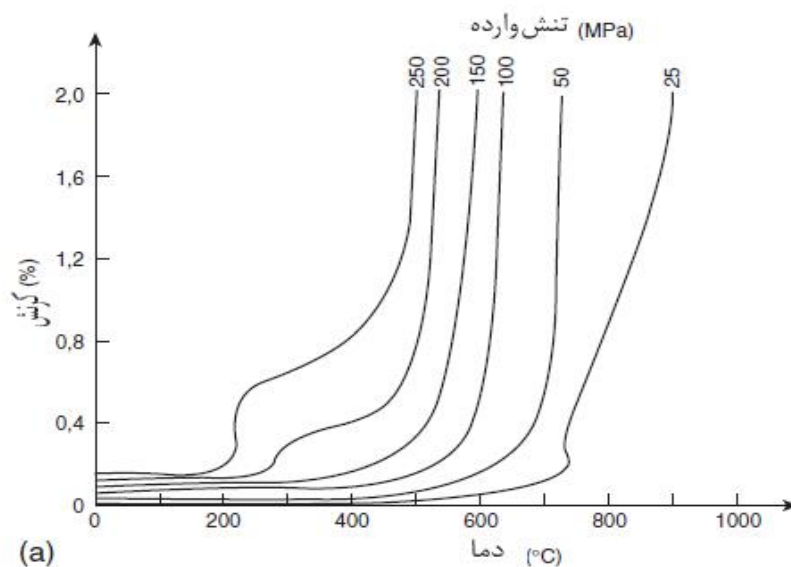
در این آزمایش، نمونه تحت تنش خاصی پیش بارگذاری می‌شود، تا دمای مشخصی که مربوط به شکست آن است، گرم می‌شود و کرنش‌های حاصل اندازه‌گیری می‌شوند. در شکل ۸ داده‌های نوعی مربوط به فولادهای ساختمانی انگلیسی رده‌ی *S275* (در اصل *43A*) و رده‌ی *S355JR* (در اصل *50B*) ارائه شده است.

^۱ (Isothermal Creep)

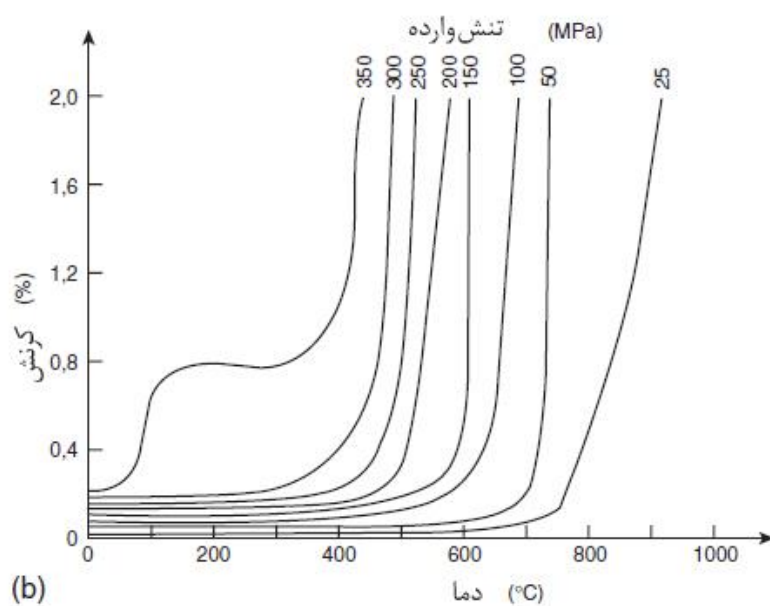
	مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد									 گروه مهندسين دما
	صفحه: ۱۰	DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
	مرداد ۹۴							۰۱		



شکل ۷: کرنش های خزشی تک دما مربوط به فولادهای تقویتی در دماهای بالا



مشخصات مصالح در دمای بالا - فولاد										
صفحه: ۱۱		DEP	PRJ	CAT	DIS	TYP	SEQ	REV	پروژه:	
مرداد ۹۴								۰۱		



شکل ۸: داده های مربوط به کرنش خزشی غیر تک دما برای فولادهای ساختمانی: (a) رده ی S275، (b) رده ی S355JR

لازم به توضیح است که نتایج آزمایشات خزش غیر تک دما نسبت به ترکیبات دقیق فولاد بسیار حساس است و بنابراین از این مقادیر (موجود در شکل ۸) نمی توان برای فولادهای دیگر هر چند که مشابه این ها باشند، استفاده کرد.