

بررسی پدیده پیرسختی در فولادهای کم کربن*

علی کریمی طاهری

دانشکده مهندسی متالورژی - دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در این مقاله، اثر مقدار تغییر شکل قبلی (Prestrain) بر پیرسختی فولاد کم کربن، در دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد و زمان پیرکردن ۵۰ دقیقه، و همچنین اثر دمای پیرکردن بر میزان پیرسختی در یک زمان پیرکردن و تغییر شکل قبلی ثابت بررسی می‌شود.

نتایج آزمایش‌ها مبین آن است که با ازدیاد مقدار تغییر شکل قبلی، مقدار افزایش تنش تسلیم و تنش ماکزیمم، و کاهش طول باندلودر ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابند. همچنین در صورت ثابت ماندن سایر پارامترها، دمایی وجود دارد که در آن افزایش تنش تسلیم و تنش ماکزیمم و کاهش طول باندلودر بزرگترین مقدار خود را دارا می‌شوند.

مقدمه

یافته و سپس در دمای 100°C پیر شده است نشان می‌دهد (۸) همانطور که ملاحظه می‌کنیم.

الف) تنش نقطه تسلیم افزوده می‌شود.

ب) تغییر طول نقطه تسلیم مجدداً تکرار می‌شود.

ج) تنش نقطه پاره‌گی افزایش می‌یابد.

د) تغییر طول نمونه تغییر می‌کند.

این تغییرات به میزان زیادی به زمان پیر شدن، دمای پیر شدن، تعداد عناصر بین نشینی و جان نشینی در فولاد، سرعت تغییر شکل، فرآیند تغییر شکل، و مقدار پیش کرنش بستگی دارد (۸).

یادآوری می‌شود که تغییر در خواص نامبرده در بالا، در خواص دیگر فلز مانند مقاومت در مقابل شکست، مقاومت در برابر خستگی، خزش و قابلیت شکل پذیری هم تأثیر می‌گذارد. (۱۰، ۱۱). به طوری که این تغییرات ممکن است مضر و خطرناک باشند. لیکن باید دانست که چنانچه تغییرات ایجاد شده با بصیرت و آگاهی به کار روند مفید واقع خواهند شد. به عنوان مثال در فرآیندهای شکل دادن، وقوع پدیده پیرسختی در قبل از عمل شکل دادن، از قابلیت شکل پذیری

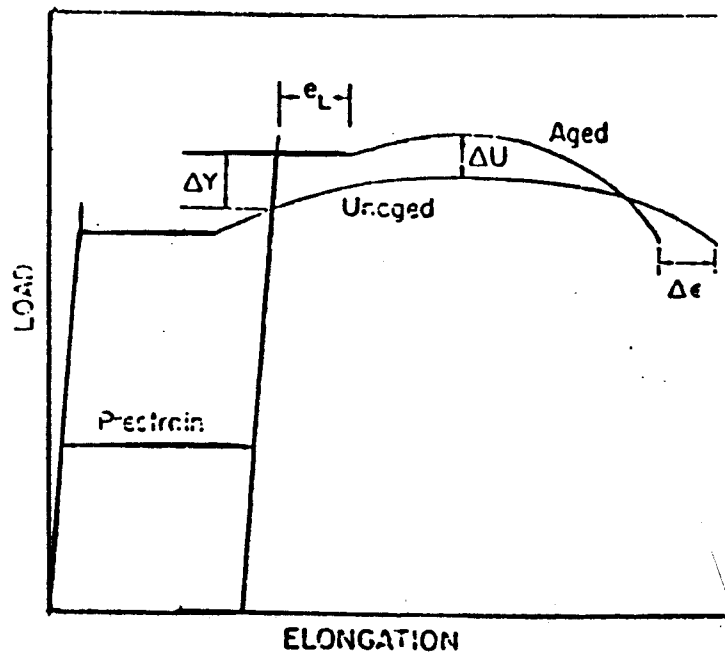
پدیده پیرسختی (۱) در فولاد کم کربن زمانی ظاهر می‌شود که فولاد را بعد از تغییر شکل و یا حین آن در دمای نسبتاً پائین حرارت می‌دهند. اگر حرارت دادن پس از تغییر شکل انجام گیرد پیرسختی، استاتیکی (۳ و ۴) و اگر در حین تغییر شکل باشد پیرسختی دینامیکی به وقوع خواهد پیوست (۱، ۵). در اثر این پدیده، نقطه تسلیم مجدداً پدیدار می‌شود و مقدار تنش تسلیم افزایش می‌یابد. خواص دیگر فلز از قبیل دمای تبدیل تردی به نرمی، استحکام کششی، قابلیت انعطاف، شکل پذیری، اصطکاک داخلی و غیره، نیز تغییر خواهد کرد.

ایجاد پدیده پیرسختی در فولاد، به میزان زیادی به علت وجود اتمهای بین نشینی مانند کربن و نیتروژن است (۶) و وجود هیدروژن و اکسیژن نیز در دماهای پائین در ایجاد این پدیده بخصوص در فلزات FCC می‌تواند مؤثر باشد. عناصر مذکور در اثر واکنش داخلی با نا همجاییها (dislocations) در طی تغییر فرم و یا بعد از آن، موجب تغییر خواص ذکر شده در بالا می‌شوند. شکل ۱، تعدادی از تغییرات فوق را برای یک نمونه فولاد کم کربن که در آزمایش کشش تغییر شکل

* نتایج مندرج در این مقاله قسمتی از نتایج پژوهشی است زیر عنوان "بررسی پدیده پیرسختی در فولادهای کم کربن"

برپیرسختی برای دودمای مختلف وزمان پیرکردن ثابت و همچنین اثر دمای پیرکردن بر پیرسختی در یک زمان پیر کردن و مقدار تغییر شکل قبلی ثابت بررسی خواهند شد .

می‌کاهد. اما اگر این پدیده بعد از ساخت قطعه به وقوع پیوندد باعث مستحکم تر شدن قطعه خواهد شد که خود یک مزیت است (۹).
در این مقاله اثر مقدار تغییر شکل قبلی (Prestrain)



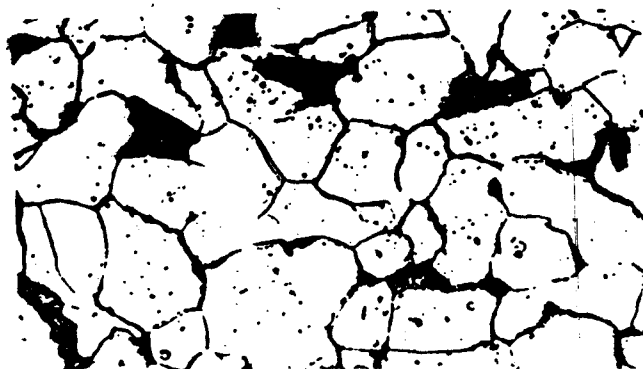
شکل ۱ - منحنی نیرو، از دیاد طول برای فولاد کم کربن در حالت پیش از پیرسختی و پس از پیرسختی

ماده مصرفی و آزمایشهای انجام شده

ماده مصرفی، میله گرد فولاد مکرینی با آنالیز شیمیائی زیر است این فولاد مصرف فراوان ساختمانی دارد .

- C = 0.16 %
- Si = 0.18 5
- Mn = 0.5 %
- P = 0.018 %
- S = 0.025 %
- Fe = rest %

شکل ۲، ساختار میکروسکپی این فولاد را نشان می‌دهد که یک ساختمان میکروسکپی فرینی پرلیتی است .



شکل ۲ - ساختمان میکروسکپی فولاد آزمایش‌شونده

شکلهای ۴ و ۵ و ۶ تغییرات پارامترهای بالا را بر حسب پیش کرنش و برای دودمای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد، و شکلهای ۷ و ۸ و ۹ تغییرات آن پارامترها را بر حسب دمای پیرکردن نشان می دهند. لازم به ذکر است که مقادیر تنش و تغییر شکل قبلی مندرج در شکلهای فوق به ترتیب با استفاده از فرمولهای تنش و تغییر شکل نسبی مهندسی محاسبه شده اند.

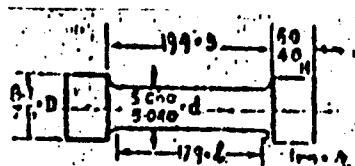
بحث

نتایج آزمایش ها بیان کننده آن است که پیرسختی آلیاژ مورد مطالعه با تغییر مقدار تغییر شکل قبلی (Prestrain) تغییر می کند.

با توجه به شکلهای ۴ و ۵ و ۶، درصد افزایش تنش تسلیم و تنش ماکزیمم تا تغییر شکل قبلی حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد و سپس روبه کاهش می گذارد لیکن درصد کاهش طول باندلور، ابتدا کاهش می یابد و سپس روبه افزایش می گذارد. دلیل این رفتار را می توان به صورت زیر توجیه کرد.

با افزایش درصد تغییر شکل قبلی، چگالی نابجاییهای موجود در نمونه افزایش می یابد که این امر باعث رسوباتهای حل شونده (مانند کربن و نیتروژن) در نابجاییهای بیشتری می شود و اتمسفر کاترل (Cottrell atmosphere) را با شدت بیشتری به وجود می آورد که نتیجه آن افزایش بیشتر تنش تسلیم (۸، ۱۶) است اما بعد از رها شدن نابجاییها از قید رسوبات و اتمسفر کاترل به علت مقاومت اصطکاکی بیشتر در برابر حرکت آنها و فعال شدن منابع جدید تولید نابجایی، تنش ماکزیمم نیز افزایش می یابد. (۸) ولی با افزایش مقدار تغییر شکل قبلی به بیش از ۱۰ درصد چگالی جاهای خالی در آلیاژ افزوده می شود (۱۲) که نتیجه آن جذب بیشتر اتمهای کربن و نیتروژن در آنها و بنابراین کاهش درصد افزایش تنش تسلیم، تنش ماکزیمم و درصد کاهش طول باندلور است. تغییرات درصد کاهش طول باندلور نیز با توجه

آزمایش سختی برنیل، سختی این فولاد را معادل HB ۱۲۸ نشان داده است. برای بررسی اثر مقدار پیش کرنش، نمونه های استاندارد آزمایش کشش با ابعاد مندرج در شکل ۳ تهیه شده اند و به وسیله ماشین کشش اینسترون (Instron) تحت آزمایش قرار گرفته اند، تا مقدار پیش کرنشهای متفاوت ۲/۶ تا ۱۹/۷ درصد در آنها ایجاد شود. سپس نمونه هادر دماهای ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۵۰ دقیقه در کوره قرار گرفته اند تا پیر شوند، بعد از گذشت زمان فوق، کوره را خاموش و نمونه ها را در کوره تادمای محیط سرد کرده ایم و بعد مجدداً "آزمایش کشش را بر روی آنها انجام داده ایم تا تغییرات ایجاد شده در خواص کششی، در اثر پیرسختی، با استفاده از منحنی نیرو و بر حسب تغییر طول هر نمونه محاسبه شود.



شکل ۳ - ابعاد نمونه استاندارد آزمایش کشش

برای بررسی اثر مقدار دمای پیرکردن، ابتدا در نمونه ها یک مقدار پیش کرنش ثابت و برابر با ۵ % پدید آورده ایم و سپس آنها را در دماهای ۱۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت پیر کرده ایم و در کوره (با خاموش کردن آن) تا دمای محیط سرد کرده ایم سپس نمونه ها را مجدداً "تحت آزمایش کشش قرار داده ایم تا با استفاده از منحنی نیرو و ازدیاد طول نمونه ها تغییر خواص کششی در اثر تغییر دمای پیرکردن بررسی شود.

نتایج آزمایش

با استفاده از منحنی های نیرو - ازدیاد طول در قبل و بعد از پیرکردن، مقادیر درصد تغییر طول باندلور، درصد افزایش تنش تسلیم و درصد افزایش تنش ماکزیمم با استفاده از روابط زیر محاسبه شده اند.

$$\text{طول باندلور بعد از پیرکردن} - \text{طول باندلور در پیش از پیرکردن} = \frac{\text{درصد کاهش طول باندلور در پیش از پیرکردن}}{\text{طول باندلور در پیش از پیرکردن}} \times 100$$

$$\text{تنش تسلیم پیش از پیرکردن} - \text{تنش تسلیم پس از پیرکردن} = \frac{\text{درصد افزایش تنش تسلیم}}{\text{تنش تسلیم پیش از پیرکردن}} \times 100$$

$$\text{تنش ماکزیمم پیش از پیرکردن} - \text{تنش ماکزیمم پس از پیرکردن} = \frac{\text{درصد افزایش تنش ماکزیمم}}{\text{تنش ماکزیمم پیش از پیرکردن}} \times 100$$

به مطالب فوق قابل تفسیر است .

سیاسگزاری

نویسنده مقاله از مسئولان دفتر معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شریف به خاطر فراهم کردن هزینه های پروژه و از مسئولان آزمایشگاه های دانشکده مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف به خاطر آماده ساختن وسایل آزمایش سیاسگزاری می کند .

نکته قابل توجه دیگر در شکل ۴ و ۵ و ۶ آن است که افزایش دما از 100°C به 200°C ، در افزایش تنش ماکزیمم مؤثرتر است تا در افزایش تنش تسلیم و کاهش طول باندلودر، این پدیده را می توان به درصد بیشتر کربن در تعادل با سمنتیت ، در دمای 200°C نسبت داد ، چون با افزایش دما از 100°C به دمای بیشتر از 200°C ، درصد کربن مذکور به علت حل شدن در کار بید افزایش می یابد (۱۵ و ۱۳) و در نتیجه اندازه رسوب قرار گرفته در حوضه تنش نابجاییها بزرگتر می شود . اگرچه این رسوبها در تولید آتمسفر کاترل قویتر موثرند لیکن به علت بزرگتر شدن ، مقاومت اصطکاکی بیشتری در برابر حرکت نابجاییها ایجاد می کنند ، به طوری که منابع جدیدی از تولید نابجایی فعال می شود (۸) و در نتیجه تنش ماکزیمم به طور موثرتری نسبت به تنش تسلیم افزایش می یابد .

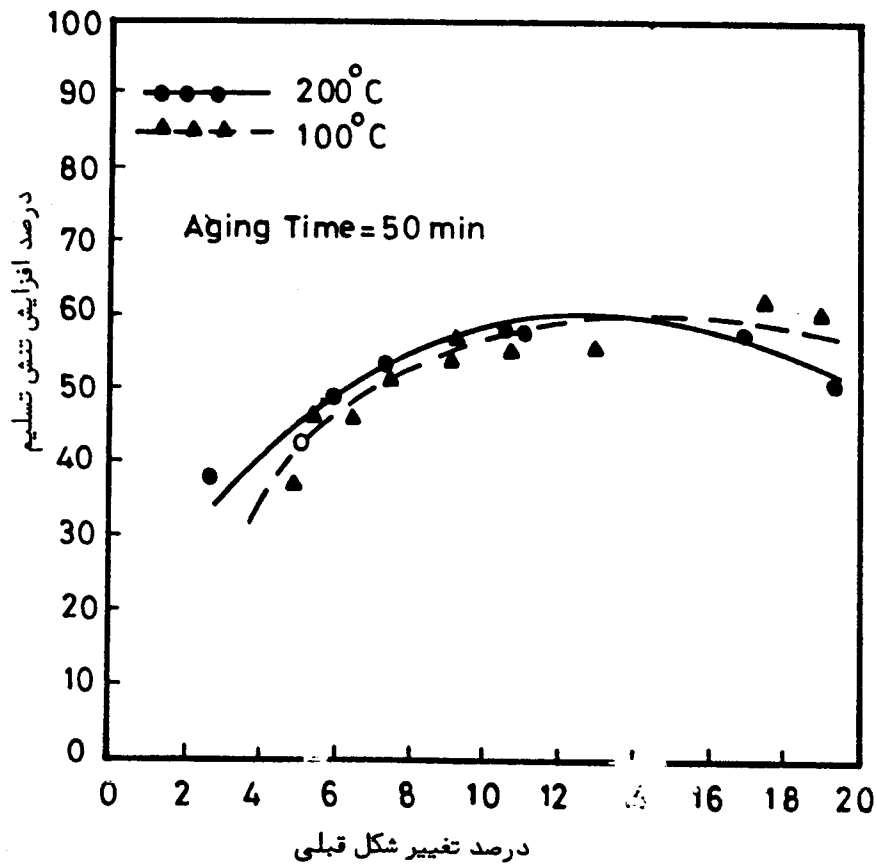
نتایج مندرج در شکل ۷ و ۸ و ۹ نیز نشان دهنده آن است که افزایش دمای پیرکردن تا ماکزیمم منحنی ها ، پیرسختی آلیاژ با شدت بیشتری انجام می گیرد (۸) و سپس روبه کاهش می گذارد . چنانکه در بالا گفته شد ، افزایش مذکور را می توان به علت درصد بزرگتر کربن در تعادل با سمنتیت ، و کاهش را به تقلیل عیوب کریستالی موجود در آلیاژ و در اثر بازیابی (Recovery) در دماهای بیشتر از ماکزیمم منحنی ها ، نسبت داد .

نتیجه گیری

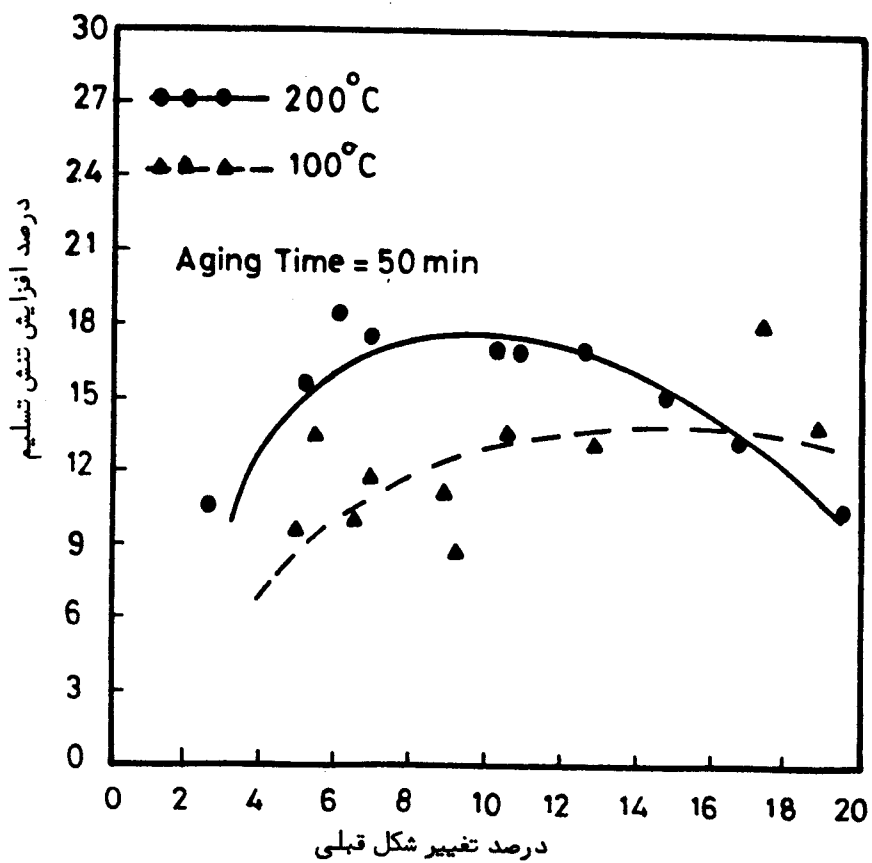
نتایج آزمایش های این پژوهش نشان می دهد که میزان پیرسختی فولاد کم کربن با تغییر مقدار شکل قبلی تغییر می کند . در صورتی که این تغییر به وسیله افزایش تنش تسلیم و تنش ماکزیمم و کاهش طول باندلودر بیان شود می توان گفت که ،

(۱) با افزایش مقدار تغییر شکل قبلی مقدار تنش تسلیم و تنش ماکزیمم و کاهش طول باندلودر ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابند .

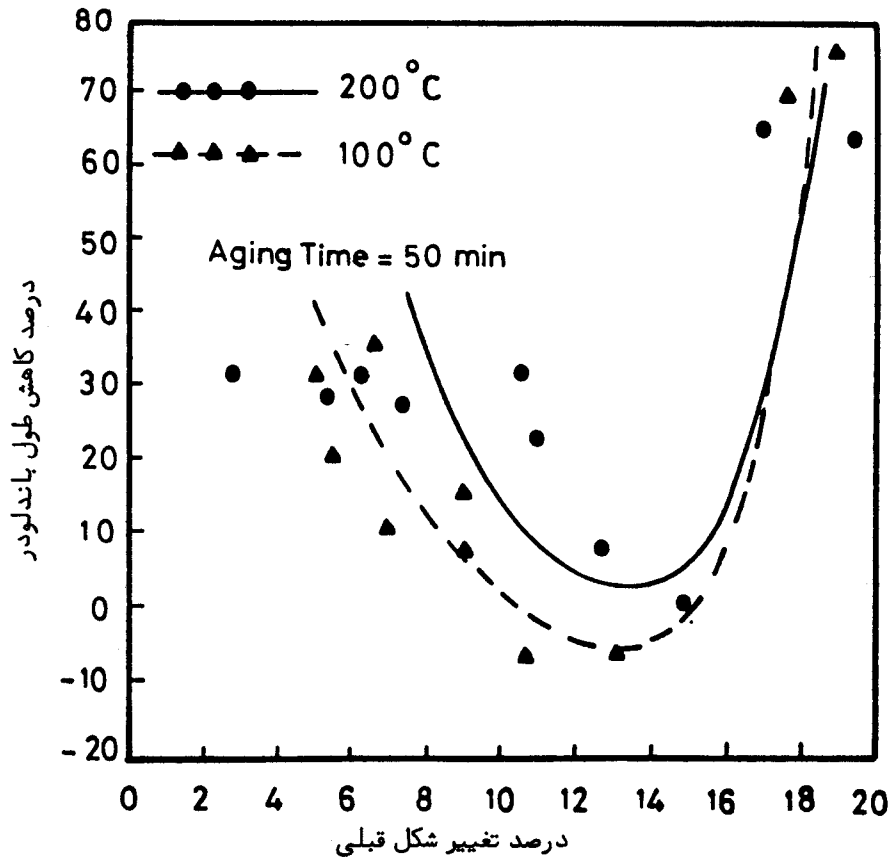
(۲) در صورت ثابت بودن مقدار تغییر شکل قبلی و زمان پیرکردن ، دمایی وجود دارد که در آن افزایش تنش تسلیم و تنش ماکزیمم و کاهش طول باندلودر بزرگترین مقدار خود را به دست می آورند .



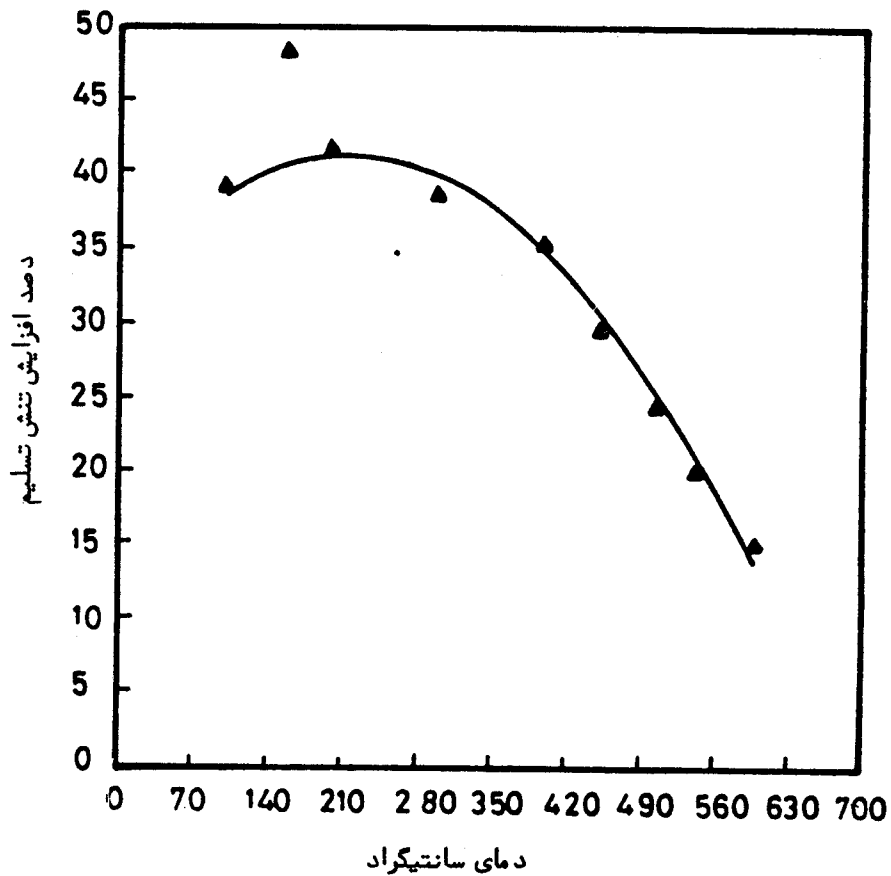
شکل ۴: تغییرات افزایش تنش تسلیم برحسب تغییر شکل قبلی



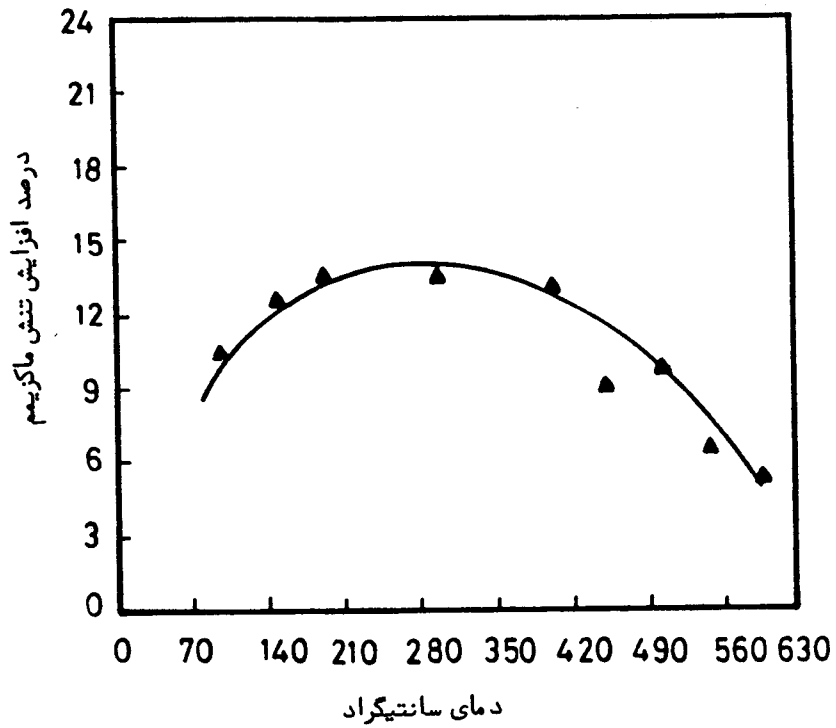
شکل ۵: تغییرات افزایش تنش ماکزیمم برحسب تغییر شکل قبلی



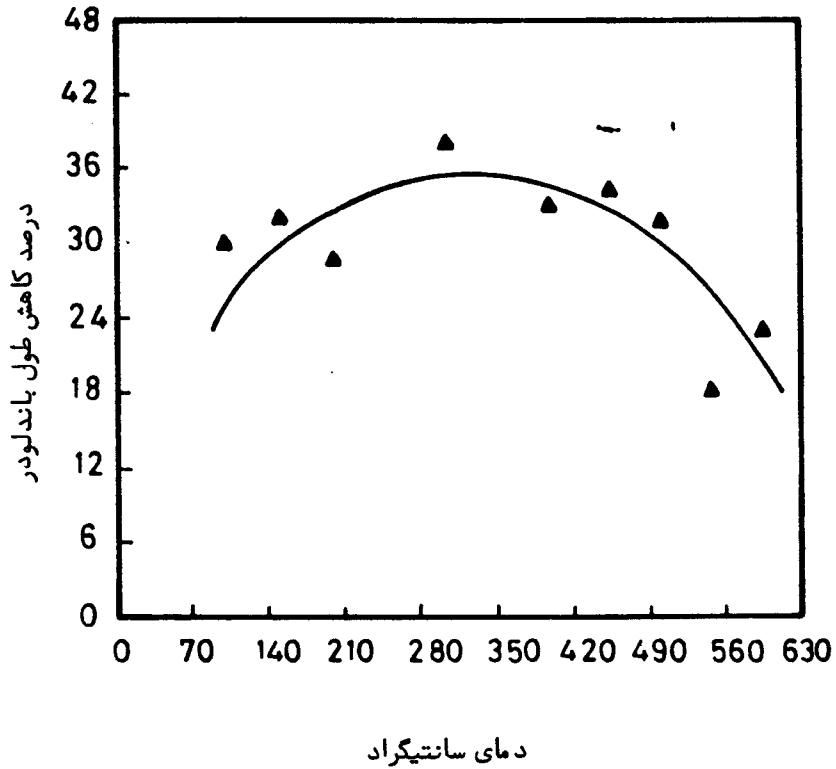
شکل ۶: تغییرات کاهش طول باندلودر بر حسب تغییر شکل قبلی



شکل ۷: تغییرات افزایش تنش تسلیم بر حسب دمای پیرکردن



شکل ۸: تغییرات افزایش تنش ماکزیمم برحسب دمای پیرکردن



شکل ۹: تغییرات کاهش طول باندلودر برحسب دمای پیرکردن

فهرست منابع

فهرست منابع

- 1- G.W. Dieter, "Mechanical Metallurgy", 1978.
- 2- B.J. Beidley and J.T. Barnby, ACTA Met., 1966, 14, 1765.
- 3- D.V. Wilson and Russell, Acta Met., 1960, 8, 36.
- 4- J.T. Barnby, J. Iron and Steel Inst., 1966, 204, 13.
- 5- D.J. Dingley and D.Mclean, Acta Met., 1967, 15, 885.
- 6- A.M. Adair and R.E. Hook, Acta Met., 1962, 10, 741.
- 7- J.D. Baird, Iron and Steel. 1963, 36, 86, 328, 368. 400, 450.
- 8- J.D. Baird, Metallurgical Reviews, Vol. 16, P. 1, 1971.
- 9- Metalworking prod, 1969, 113, (Reb.) P.8.
- 10- G.M. Sinclair, Proc. Amer. Soc. Test. Mat., 1965, 52, 743.
- 11- The Physical metallurgy of steels, by Leslie, 1985.
- 12- E.C. Oren and D.A. Karlyn, Trans. Amer Soc. Metals, 1969, 62, 554.
- 13- E.T. Stephenson and M. Cohen, Trans, Amer. Soc. Metals, 1960, 54, 72.
- 14- D.V. Wilson, Acta Met. 1957, 5, 239.
- 15- J.E. Pavlick, Trans. Amer. Soc. Metals, 1967, 60, 194.
- 16- A.H. Cottrell, and B.A. Bibly, Proc. Phys. Soc. 1949 A, 62, 49.