تاثیر آرسنیک بر انعطاف‌پذیری گرم فولاد

1- دانشکده مهندسی مواد -دانشگاه صنعتی اصفهان

2- شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان

چکیده

در این تحقیق به بررسی تاثیر حضور آرسنیک بر انعطاف‌پذیری گرم فولاد پرداخته شده است. بدین منظور از شمش‌های فولادی حاوی 0/4 آرسنیک و بدن آرسنیک، نمونه‌هایی با ابعاد استاندارد جهت آزمایش کشش گرم تهیه گردید. یافته‌های پژوهشی نشان داد که حضور آرسنیک در فولاد و تجمع آن در مرز دانه‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای سبب کاهش درصد ازدیاد طول (انعطاف‌پذیری) در محدوده دمایی 700-900 ^{o}C می‌شود.

کلمات کلیدی : فولاد، آرسنیک، انعطاف‌پذیری

1- مقدمه

بررسی‌ها و مطالعات بعمل آمده نشان می‌دهد که حضور عناصر مضر[1] (ناخواسته) در فولاد تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش کیفیت محصولات فولادی دارد و لذا در طی چند دهه اخیر تحقیقات گسترده‌ای در سطح جهان در زمینه منابع ورود، تاثیر عناصر مضر بر کیفیت محصولات فولادی و روش‌های حذف این عناصر از فولاد انجام شده است.

انعطاف‌پذیری گرم پایینی در محدوده دمایی 600 تا 1000 °C در برخی از فولادهای کربنی و کم آلیاژ مشاهده شده و این امر یک مشکل مهم صنعتی است . این پدیده معمولا در ارتباط با رسوبات بین‌دانه‌ای کاربیدی، کاربونیتریدی و نیتریدی [1] ، تشکیل فیلم‌های فریتی پرویوتکتوئیدی بین‌دانه‌ای [2-3] و جدایش مرز دانه‌ای ناخالصی‌ها می‌باشد[3-6] .

انعطاف‌پذیری گرم فولادهای کربنی و کم آلیاژ تابعی از درجه حرارت و نرخ کرنش می‌باشد[1-2] . معمولا در درجه حرارت‌های بالاتر از 600 °C، انعطاف‌پذیری با افزایش درجه حرارت تا AC_1 افزایش می‌یابد. سپس در محدوده دمایی بین AC_1 تا AC_3 انعطاف‌پذیری کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند ناشی از تشکیل فیلم‌های فریتی پرویوتکتوئیدی در مرز دانه‌های آستنیتی باشد که سبب ضعیف شدن مرز دانه‌ها می‌شود. در بالاتر از دمای AC_3 مجددا انعطاف‌پذیری با افزایش دما افزایش یافته، بطوریکه استحکام آستنیت کاهش می‌یابد. اما در برخی از فولادها و در شرایط خاص، انعطاف‌پذیری پایین و ترک خوردگی شدیدی در طی تغییر شکل در درجه حرارت‌های بالاتر از AC_3 (در طی ریخته‌گری و یا عملیات کار گرم) گزارش شده است [-6]. تحقیقات و مطالعات بعمل آمده در طی دو دهه اخیر نشان داده است که کاهش انعطاف‌پذیری در طی تغییر شکل گرم در درجه حرارت‌های بالاتر از AC_3 ناشی از تشکیل رسوبات در مرز دانه‌ها و همچنین تجمع عناصر مضری نظیر Sb، As، Sn و Cu در مرز دانه‌های آستنیت در طی تغییر شکل گرم می‌باشد.

1- Tramp elements

در سال‌های اخیر تاثیرآرسنیک بر انعطاف‌پذیری گرم فولاد مورد تحقیق قرار گرفته است. بررسی‌های بعمل آمده در این زمینه نشان می‌دهد که که حضور آرسنیک بیش از حد مجاز سبب کاهش انعطاف پذیری گرم فولاد می گردد. جدایش آرسنیک در مرز دانه‌ها باعث کاهش استحکام چسبندگی مرز دانه‌ها و لذا افزایش احتمال تشکیل حفره و ترک در مرز دانه‌ها خواهد شد [7].

3- مواد و روش تحقیق

بمنظور ارزیابی تاثیر آرسنیک بر انعطاف‌پذیری گرم فولاد دو سری نمونه فولادی مطابق جدول 1 تهیه گردید، که یکی بدون آرسنیک و دیگری حاوی 0/4% آرسنیک می‌باشد.

جدول 1 . آنالیز نمونه‌های فولادی جهت بررسی تاثیر آرسنیک بر انعطاف‌پذیری گرم فولاد.

فولاد	C	Mn	Si	S	P	AS
بدون آرسنیک	0/28	0/97	0/34	0/033	0/045	0/007
فولاد حاوی آرسنیک	0/14	0/61	0/26	0/028	0/024	0/40

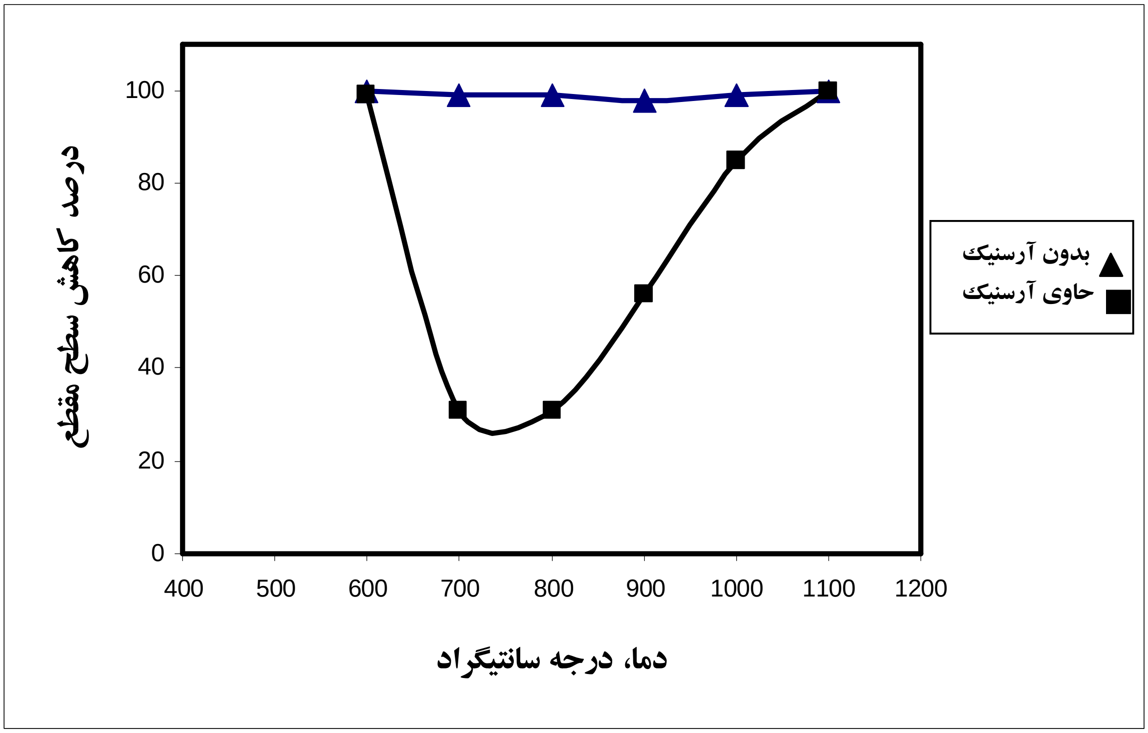
آزمایش‌های کشش گرم در محدوده دمایی 600-1100 ºC و در مجتمع فولاد آلیاژی اصفهان و با شرایط زیر انجام شده است:

- سرعت حرکت فک دستگاه کشش 15 mm/min
- در کلیه آزمایش‌ها، هر یک از نمونه‌ها ابتدا تا دمای 1200 °C گرم شده و 10 دقیقه در این دما نگهداری شده است. پس از این مرحله، هر کدام از آنها با سرعت سرد شدن 5 °C/s تا دمای مورد نظر سرد شده، یک دقیقه در آن دما نگهداری شده و سپس تحت آزمایش کشش قرار گرفته است.
- در کلیه آزمایش‌ها بایستی نتایج استحکام کششی، درصد ازدیاد طول (Elongation%) و درصد کاهش سطح مقطع (Reduction in Area) گزارش شود.

پس از انجام آزمایش کشش گرم سطح مقطع نمونه‌ها تحت بررسی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به سیستم آنالیز (EDAX) قرار گرفت.

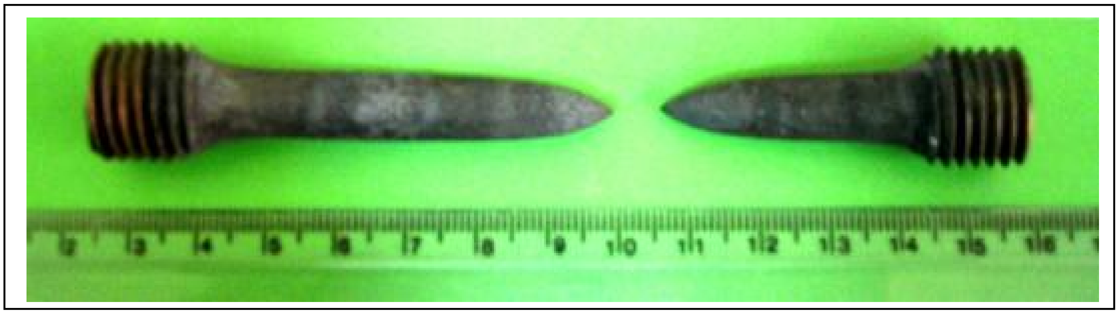
نتایج و بحث

درصد کاهش سطح مقطع به عنوان معیاری برای ارزیابی انعطاف‌پذیری استفاده شده است. در شکل1 درصد کاهش سطح مقطع دو نوع فولاد مختلف جدول 1 نشان داده شده است. همانطوری‌که مشاهده می‌شود، فولاد حاوی آرسنیک در طی فرایند کشش گرم در محدوده دمایی 700-900 ºC انعطاف‌پذیری خود را بشدت از دست داده است. همچنین در تصاویر ماکروسکوپی شکل2 (مربوط به نمونه‌های کششی دو نوع فولاد مذکور که در دماهای 800 ºC و 1100 ºC تحت آزمایش کشش گرم قرار گرفته‌اند)به خوبی می‌توان تأثیر دو عامل دما و ارسنیک را بر میزان انعطاف‌پذیری فولاد مشاهده نمود.



شکل 1 . نتایج آزمایش‌های کشش گرم بر روی دو نوع فولاد جدول 8-1 .

الف) نمونه بدون ارسنیک پس از آزمایش کشش در دمای 800 °C



ب) نمونه بدون ارسنیک پس از آزمایش کشش در دمای 1100 °C

ج) نمونه ارسنیک‌دار پس از آزمایش کشش در دمای 800 °C

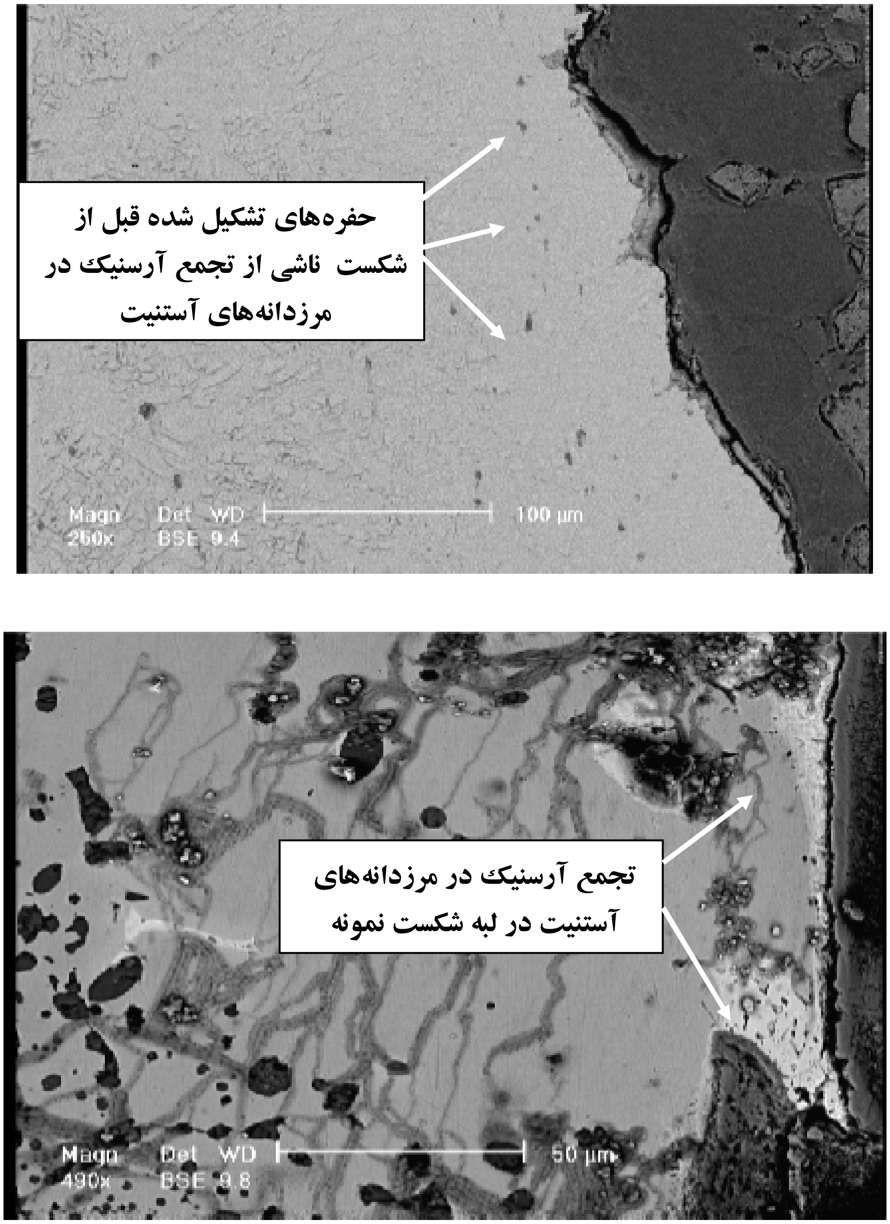
د) نمونه ارسنیک‌دار پس از آزمایش کشش در دمای 1100 °C

شکل 8-2 . تصاویر ماکروسکوپی نمونه‌ها پس از آزمایش کشش گرم.

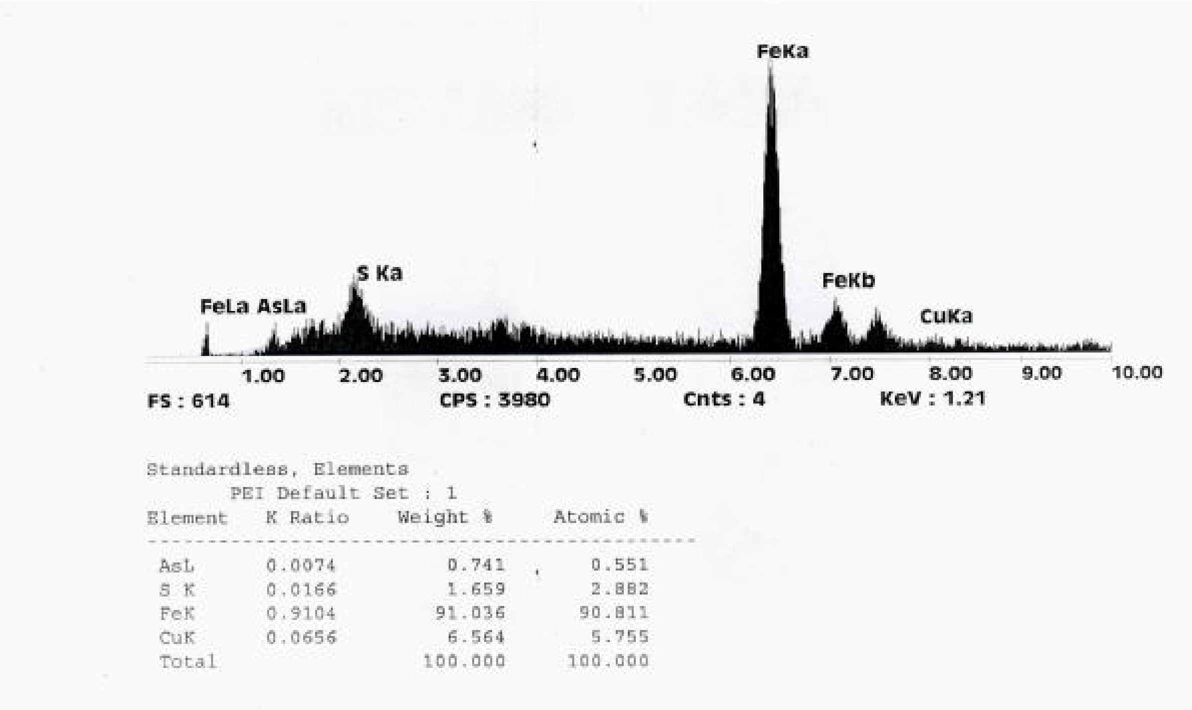
پس از انجام آزمایش کشش گرم، سطح مقطع طولی نمونه‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی مجهز به سیستم آنالیز عنصری مورد بررسی قرار گرفت. در شکل 3 ریزساختار مقطع طولی نمونهٔ کششی(حاوی ارسنیک) در دمای $800\ ^{\circ}C$ ، مربوط به نواحی مجاور سطح مقطع شکست را در دو بزرگنمایی مختلف نشان می‌دهد. با توجه به مورفولوژی ترک‌های داخلی، بنظر می‌رسد که شکست در مرز دانه‌های آستنیت توسعه یافته است. برای بررسی جدایش As و به همراه آن تضعیف نیروی چسبندگی فصل مشترک‌ها، مقطع طولی نمونه (حاوی آرسنیک)، در نواحی مجاور سطح مقطع شکست که مشتمل بر حفره‌های شکل یافته در حین آزمایش کشش بوده است، تحت آنالیز عنصری (EDAX) قرار گرفت. نتایج این آنالیز در شکل4 ارائه شده است، که به خوبی می‌تواند حضور و تجمع ارسنیک(تا حدود 0/75%) را در این نواحی مورد تأیید قرار دهد. از این‌رومی‌توان استنباط نمود که As در حین فرایند تغییر شکل گرم فولاد می‌تواند در مرز دانه‌های آستنیت تجمع یابد، بنحوی که غلظت آن در مرز دانه‌ها افزایش یافته و بدین‌سان کاهش استحکام چسبندگی بین‌دانه‌ها را موجب می‌شود. لذا این امر در نهایت می‌تواند کاهش شدید انعطاف‌پذیری فولاد و شکست آن را در درصدهای ازدیاد طول کمتر و یا درصدهای کاهش سطح مقطع کمتر، به همراه داشته باشد.

نتیجه‌گیری

بررسی نتایج آزمایش کشش گرم بر روی نمونه‌های حاوی آرسنیک و همچنین بررسی سطوح مقطع شکست آنها نشان داد که حضور و جدایش عنصر آرسنیک در مرز دانه‌های آستنیت، می‌تواند بشدت انعطاف‌پذیری گرم فولاد را (بویژه در دماهای بین700 تا $900\ ^{\circ}C$) تحت تأثیر قرار داده و افت شدید آن را به همراه داشته باشد. زیرا جدایش و تجمع آرسنیک در طی تغییر شکل گرم بر روی مرز دانه‌ها، می‌تواند باعث ضعیف شدن استحکام مرزدانه‌ها و در نتیجه شکست زودهنگام فولاد شود.



شکل8-3. ریزساختار مقطع طولی از لبه شکست نمونه‌ای حاوی 0/4%As
و تغییر شکل یافته در دمای 800 °C .



Element	K Ratio	Weight %	Atomic %
AsL	0.0074	0.741	0.551
S K	0.0166	1.659	2.882
FeK	0.9104	91.036	90.811
CuK	0.0656	6.564	5.755
Total		100.000	100.000

شکل 8-4 . نتایج آزمایش EADX در محل حفره‌ها در لبه شکست نمونه حاوی آرسنیک.

مراجع :

[1] Mintz, B., "The Influence of Composition on the Hot Ductility of Steels and to the Problem of Transverse Cracking", ISIJ International. Vol. 39, No.9, pp.833-855 , 1999.

[2] Nachtrab, W.T. and Chou, Y.T. "High Temperature Ductility Loss in Carbon-Manganese and Niobium-Treated Steels", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.17A, pp. 1995-2006, 1986 .

[3] Song, S.H. , Huan, Z.X. , Jia, J., Guo, A.M. and Shen, D.D. , "The Role of Tin in the Hot-Ductility Deterioration of a Low-Carbon Steel", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol.34A, pp. 1611-1616, 2003 .

[4] Matsuoka, H., Osawa, K., Ono, M. and Ohmura, M., "Influence of Cu and Sn on Hot Ductility of Steels with Various C Content", ISIJ International, Vol. 37 , No.3, pp. 255-262 , 1997.

[5] Nagasaki, C. and Kihara, J., "Effect of Copper and Tin on Hot Ductility of Ultra-Low and 0.2% Carbon Steels", ", ISIJ International, Vol. 37, No.5, pp.523-530, 1997. [6] Imai, N., Komatsubara, N. and Kunishige, K., "Effect of Cu and Ni on Hot Workability of Hot-rolled Mild Steel",ISIJ International, Vol.37, No.3, pp.224-231, 1997.

[7] Gabániová, M., Ševčík, A., Mareka P. and Mikolaj, D., "Influence of the Chemical Composition of Low Carbon Steels on Their Hot Ductility at Dropping Temperature into the Low Ductility Region" , *AISE*, Pittsburgh, Pa , 2003.