کنترل دکربوره شدن فولاد[1]

ترجمه: محمدحسین نشاطی
شرکت توسعه فولاد آلیاژی ایرانیان

مقدمه

از نظر تاریخی، گرمایش فولاد برای شکل دادن، آهنگری یا نورد در کوره‌های گرمایش با مقاومت الکتریکی یا گاز طبیعی انجام می‌شد. وجود اکسیژن در این کوره‌ها و وقوع دکربوره شدن سطح اجتناب‌ناپذیر بود. این دکربوره شدن یا نادیده گرفته می‌شد و یا با پوشاندن فولاد با "لایه محافظ" به حداقل رسانده می‌شد. همچنین، این دکربوره شدن از طریق استفاده از کوره‌های اتمسفر نیتروژن به حداقل رسید. اما تا زمانی که پتانسیل شیمیایی کربن در اتمسفر کوره با کربن محلول در فولاد مطابقت نداشته باشد، نمی‌توان دکربوره شدن را به حدود قابل قبولی کاهش داد. صنعت کوره که تجهیزات لازم برای فرآوری فولاد را فراهم می‌کند، به دلیل دامنه‌های دمایی مربوطه، خود به دو دسته، یعنی بازگرمایش و عملیات حرارتی تقسیم می‌شود. هر یک از آنها تکنولوژی خاص خود را دارند. اما، به دلیل این تقسیم‌بندی، غالباً یک بخش از تکنولوژی مورد دیگر را نمی‌داند. در برخی موارد این امر تأسف‌آور بوده است. اگر طرف بازگرمایش این صنعت، تکنولوژی کربوره کردن طرف عملیات حرارتی را داشت، این تکنولوژی می‌توانست در موارد الزامی جلوگیری از دکربوره شدن مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین، هدف از بحث زیر جدا کردن بخشی از تکنولوژی کربوره کردن است که برای جلوگیری از دکربوره شدن در کاربردهای بازگرمایش قابل استفاده است.

مبانی

کنترل دکربوره شدن فولاد برای پایش موارد زیر استانداردسازی شده است:

- دمای فلز (دمای کوره)
- غلظت مونوکسیدکربن (CO) اتمسفر [کوره]
- غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2) اتمسفر [کوره].

با دانستن مقادیر این سه (3) پارامتر و اطلاع از موارد زیر:

- آستنیت اشباع شده در آهن
- محتوای آلیاژ فولاد
- ثابت تعادل برای واکنش شیمیایی قابل کنترل بین فولاد و اتمسفر گاز

می‌توان تعیین کرد که آیا اتمسفر [کوره] از دکربوره شدن فولاد جلوگیری خواهد کرد.

واکنش‌های قابل‌کنترل برگشت‌پذیرکه در هنگامی که متان (CH_4) هیدروکربن اضافه شده برای کنترلمحتوای کربن دراتمسفر است،عبارتند از:

$$2CO = (C) + CO_2 \text{ ---------- (1)}$$
$$CH_4 = (C) + 2H_2 \text{ ---------- (2)}$$
$$CO + H_2O = CO_2 + H_2 \text{ ---------- (3)}$$

[1]- Paul Shefsiek, CONTROL OF DECARBURIZATION OF STEEL, INDUSTRIAL HEATING 2009.

که در آن (C) میزان کربن آستنیت اشباع شده در دمای فلز (T) است.

واکنش‌های (1) و (2) افزودن کربن به فولاد از مونوکسید کربن و متان برای تشکیل محلول کربن در آستنیت و همچنین تشکیل دی‌اکسید کربن و هیدروژن را نشان می‌دهند. هر دو برگشت‌پذیر هستند و غلظت‌های گاز مورد نیاز برای حفظ تعادل با غلظت ویژه کربن سطح در دمای مشخص را می‌توان از داده‌های ترموشیمیایی محاسبه کرد.

واکنش (3) ناشی از وجود H_2 در اثر واکنش (2) است.

معادله (1) نشان‌دهنده واکنش بین اتمسفر و فولاداست و از طریق داده‌های تعادل ترموشیمیایی و با دانستن غلظت واکنش دهنده‌ها، غلظت کربن – "پتانسیل کربن"– را می‌توان تعیین کرد.

ثابت تعادل برای واکنش (1) به شرح زیر است:

$$K= (\text{فشار جزئی } CO)^2/(\text{فشار جزئی } CO_2) \text{ ---------- (4)}$$

و

$$Log_{10}K = -15966/T(R) + 9.060 \text{ ---------- (5)}$$

که در آن

$$T(R) = T(\text{in deg } F + 460.)$$

هنگام استفاده از معادله (4) و (5) برای تعیین پتانسیل کربن اتمسفر کوره، لازم است یک تابع اکتیویته [A] را به صورت درصد آستنیت اشباع شده در دمای T (R) تعریف کرد، یعنی:

$$[A] = (\text{٪ کربن در اتمسفر}) / (\text{٪ کربن در آستنیت اشباع شده}) \text{ -----(6)}$$

و [A] باید در معادلات (4) و (5) برای مقادیر پتانسیل کربن کمتر از آستنیت اشباع شده همانطورکه در معادله (6) نشان داده شده است، لحاظ شود.

$$K = \frac{1}{[A]} \frac{(\text{P.P. of CO})^2}{(\text{P.P. of } CO_2)} \quad \text{----------} \quad (7)$$

این یک تقریب خط مستقیم از اکتیویته کربن است، اما این فرض هیچ خطای قابل‌توجهی در ارزیابی پتانسیل کربن ایجاد نمی کند [1، 2].

انطباق منحنی داده‌های منتشر شده برای آستنیت اشباع شده در آهن در دماهای مختلف با دقت 1% روابط زیر را برای آستنیت اشباع شده نشان می‌دهد:

$$\text{Log}_{10}(\text{S.A.}) = 1 - \frac{1950}{T(R)} \quad \text{----------} \quad (8)$$

و معادله زیر رابطه بین کربن در آلیاژ و پتانسیل کربن یک اتمسفر تعادل بر اساس سیستم آهن–کربن را نشان می‌دهد [3]:

$$\text{Log}_{10}\frac{(\%\,C^{FE})}{(\%\,C^{A})} = +\%\,Si(0.058) + \%\,Al(0.0394) + \%\,Ni(0.012) - \%\,W(0.014) - \%\,Mn(0.018) - \%\,Mo(0.0176) - \%\,V(0.123) - \%\,Ti(0.194) - \%\,Cr(0.038) \quad \text{------} \quad (9)$$

که در آن:

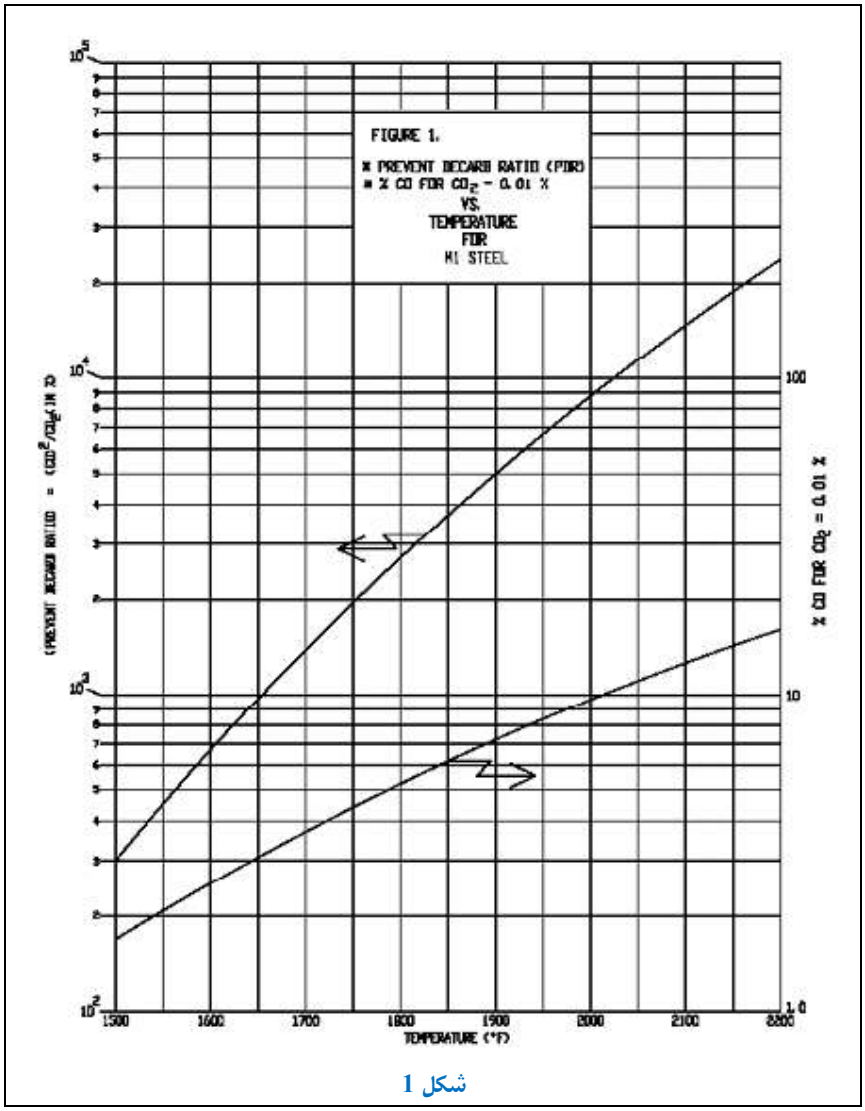
$\%\,C^{A}$ =کربن در آلیاژ

$\%\,C^{FE}$ =پتانسیل کربن اتمسفر بر اساس سیستم آهن–کربن

کاربرد

استفاده از این معادلات برای فولاد M1 با ترکیب زیر نشان داده خواهد شد:

C – 0.85 %; Si – 0.30 %; Mn – 0.40%; Cr – 4.50%; Mo – 9.00%; W –1.30%; V – 1.75%



شکل 1

استفاده از این ترکیب در معادله (9)،نشان می‌دهد که پتانسیل کربن اتمسفر که در تعادل با فولاد M1 بر اساس سیستم آهن–کربن قرار دارد، 0.372% است. با دانستن این مقدار، معادله (6) و (8) اکتیویته [A] را به صورت تابعی از دما نشان خواهد داد. معادله (5) مقدار K را به صورت تابعی از دما ارائه می‌دهد.

از ترکیب نتایج معادله (5) و (6) با معادله (7) رابطه‌ای حاصل می‌شود که مقداری برای نسبت $[(CO)^2 / (CO_2)]$ به صورت تابعی از دما برای فولاد M1 می‌دهد. این نسبت PDR (نسبت جلوگیری از دکربوره شدن = Prevent Decarb Ratio) نامیده می‌شود.

نتیجه این ارزیابی در **شکل 1** نشان داده شده است. شکل 1 نمودار نسبت جلوگیری از دکربوره شدن در برابر دما برای فولاد M1 است. همچنین در شکل 1 نموداری از درصد مونوکسیدکربن مورد نیاز (%CO) در برابر دما برای فولاد M1 نشان داده شده است اگر غلظت دی‌اکسید کربن (CO_2) مقدار 0.01%، یک مقدار حد کنترل عملا پایین‌تر را داشته باشد.

نتیجه‌گیری

روشی برای پیشگیری از دکربوره شدن فولاد در طی فرآیند بازگرمایش برای آهنگری و نورد ارائه شده است. این فرآیند شامل روش پذیرفته شده برای کنترل پتانسیل کربن اتمسفر کوره و رابطه بین کربن در فولاد آلیاژی و سیستم آهن–کربن است.

منابع:

1. Metals Handbook, Vol. 2 , 8th Edition, pp 113,114, (1964) American Society for Metals
2. Shefsiek,*et.al.,* U.S. Patent, No. 4,228, 062 (1981)
3. Moiseev,*et.al*.," Thermodynamic Activity of Carbon in Recarburizing" Central Scientific-Research Institute of Metallurgy, Translated from Metallovedenie i Termicheskaya Obrabotka, No.1, pp 21-26, Jan, 1974, UDC 536.777:669.784:699.14.018.298