

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان  
مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



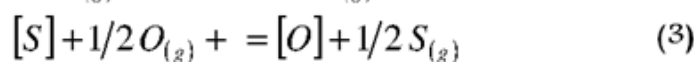
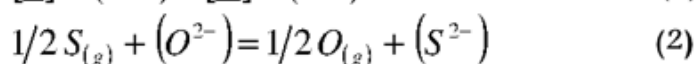
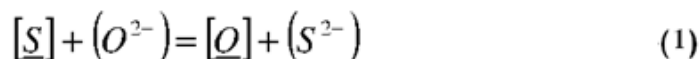
## گوگرد زدایی در فولادسازی ثانویه (LF)

### ۱- مقدمه

گوگرد از طریق شارژ فلزی، سوخت ها و یا مواد اضافه شده به حمام مذاب وارد ترکیب فلز شده و باعث آسیب رساندن به خواص مختلف فولاد می گردد. در تولید فولاد تمیز، گوگردزدایی یکی از مراحل بسیار حساس تولید است. در تولید فولادهای معمولی حداکثر مقدار مجاز گوگرد ۰.۰۲٪ است و در فولادهایی مثل فولاد خط لوله گوگرد باید در حد ۰.۰۱٪ باشد. بسته به نوع روش تولید کارخانه و نوع فولاد تولیدی گوگرد زدایی را می توان در مراحل مختلف فولاد سازی و با مواد مختلف انجام داد. شرط لازم و ضروری برای انجام خوب عملیات حذف گوگرد داشتن شرایط احیایی با اکتیویته کم اکسیژن است. حذف گوگرد در مرحله اول فولادسازی یعنی در کوره به دلیل محیط اکسیدی امکانپذیر نمی باشد. پارامترهای سینتیکی و ترمودینامیکی مختلف روی واکنش حذف گوگرد اثر گذار هستند که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره شده است.

### ۲- ترمودینامیک حذف گوگرد

با مطالعه ترمودینامیک واکنش های سرباره، مذاب و گاز در پاتیل برای حذف گوگرد واکنش های زیر مطرح می شود:



واکنش ۱ در سیستم مذاب- سرباره، واکنش ۲ در سیستم گاز-سرباره و واکنش ۳ در مذاب-گاز انجام می شود.

پارامترهای ترمودینامیکی مهم برای حذف گوگرد ظرفیت سولفیدی سرباره و نسبت توزیع

گوگرد بین مذاب و سرباره است که به صورت زیر محاسبه می شود.

## ۱-۲- ظرفیت سولفیدی (C<sub>S</sub>)

یکی از پارامترهای اصلی سرباره که نقش اساسی روی کنترل فرایند گوگردزایی دارد ظرفیت سولفیدی سرباره است. ظرفیت سولفیدی توانایی جذب گوگرد یک سرباره کاملاً همگن و مذاب است. از این پتانسیل برای تخمین توانایی ماندن گوگرد در سرباره ای با ترکیب مشخص و در شرایط فشار مشخص اکسیژن و گوگرد استفاده می شود.

ظرفیت سولفیدی سرباره از واکنش زیر محاسبه می شود. طبق این واکنش:

$$K_2 = \frac{a_{S^{2-}}}{a_{O^{2-}}} \cdot \sqrt{\frac{P_{O^2}}{P_{S^2}}}$$

$$K_2 = \frac{f_{S^{2-}} \cdot (\%S)_{slag}}{a_{O^{2-}}} \cdot \sqrt{\frac{P_{O^2}}{P_{S^2}}} \quad (4)$$

ظرفیت سولفیدی عبارت است از:

$$C_s = \frac{K_2 \cdot a_{O^{2-}}}{f_{S^{2-}}} \quad (5)$$

$$C_s = (\%S)_{slag} \cdot \sqrt{\frac{P_{O^2}}{P_{S^2}}}$$

که در این واکنش ها داریم:

[S] و [O] به ترتیب گوگرد و اکسیژن حل شده در مذاب

(S<sup>2-</sup>) و (O<sup>2-</sup>) به ترتیب سولفید و اکسید (با اکسیژن آزاد) در سرباره

a اکتیویته در سرباره

k ثابت تعادل

P فشار جزئی گاز

چون اکتیویته اکسیژن و فشار جزئی گاز را نمی توان اندازه گرفت بنابراین ظرفیت سولفیدی را

بر حسب دما و ترکیب شیمیایی که پارامترهای قابل کنترل هستند بیان می شود.

یکی از این معادلات در ادامه آورده شده است:

$$\log C_s = \left[ \frac{22690 - 54640\Lambda}{T} \right] + 43.6\Lambda + 25.2 \quad (6)$$

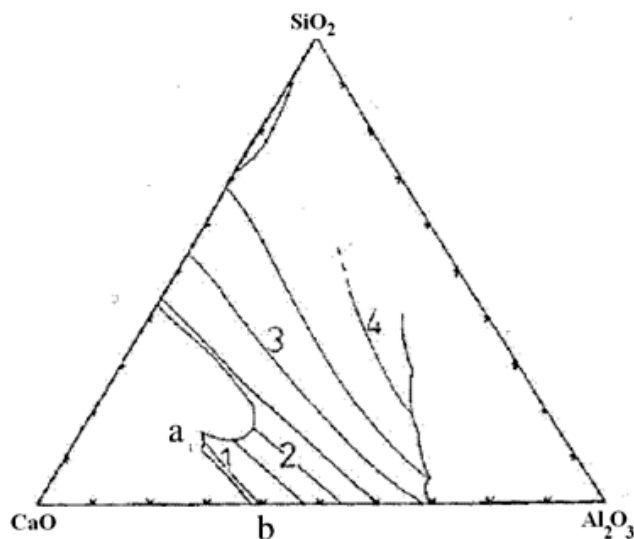
$$\Lambda = \frac{\sum X_1 n_1 \Lambda_{th1} + X_2 n_2 \Lambda_{th2} + X_3 n_3 \Lambda_{th3} + \dots}{\sum X_1 n_1 + X_2 n_2 + X_3 n_3 + \dots} \quad (7)$$

که در آن  $\Lambda$  بازسیته نوری و  $X$  کسر مولی اکسید در سرباره و  $n$  تعداد اتم اکسیژن در یک مولکول اکسید و  $\Lambda_{th}$  بازسیته نوری هر اکسید است.

طبق گزارش young و همکارانش این معادله فقط برای  $\Lambda$  معادل ۰/۸ قابل استفاده است و برای مواردی که بازسیته کمتر از ۰/۸ است برای محاسبه ظرفیت سولفیدی سرباره از معادله زیر استفاده می شود.

$$\log C_s = -13.913 + 42.84 \Lambda - 23.82 \Lambda^2 - 11710 T^{-1} - 0.2223(\% SiO_2) - (\% Al_2O_3) \quad (8)$$

شکل ۱ ظرفیت سولفیدی سرباره در سیستم  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$  را در ترکیبهای مختلف نشان می دهد.



شکل ۱- مقطع ایزوترم دیاگرام سه تایی  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$  در دمای  $1600^\circ C$  در  $C_s$ های مختلف

خط  $ab$  که ترکیب بهینه سرباره را برای گوگردزایی نشان می دهد دارای  $-\log C_s = 1$  است.

ترکیباتی نزدیک خط  $ab$  دارای بازسیته بالا هستند که برای گوگردزایی مناسب است.

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

## ۲-۱-۱- عوامل موثر روی $C_S$ :

طبق معادله شماره ۸ عوامل موثر روی  $C_S$  دما و ترکیب شیمیایی سرباره است.

### الف- دما

در فرایند گوگردزدایی دما نقش حیاتی دارد. همانطور که گفته شد واکنش عمومی حذف گوگرد

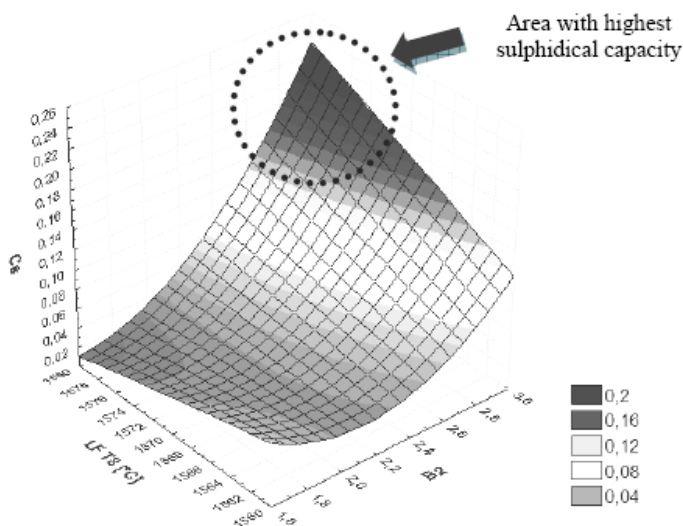
به صورت زیر است:



طبق این واکنش با افزایش دما واکنش بهتر انجام می شود. شکل زیر تاثیر دما و بازیسیته را

روی ظرفیت سولفیدی سرباره نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود بیشترین  $C_S$  در دماها

و بازیسیته های بالا به دست می آید.



شکل ۲- ارتباط بین دما، بازیسیته و  $C_S$

### ب- ترکیب شیمیایی

اکتیویته اکسیژن در سرباره مذاب و اکتیویته عناصر آلیاژی در فولاد مذاب و همچنین دمای

فرایند تعیین کننده فشار تعادلی اکسیژن هستند. برای کنترل فرایند گوگردزدایی، کنترل

اکتیویته اکسیدها در سرباره و اکسیژن حل شده در فولاد مذاب مهم است. اکتیویته اکسیدهای

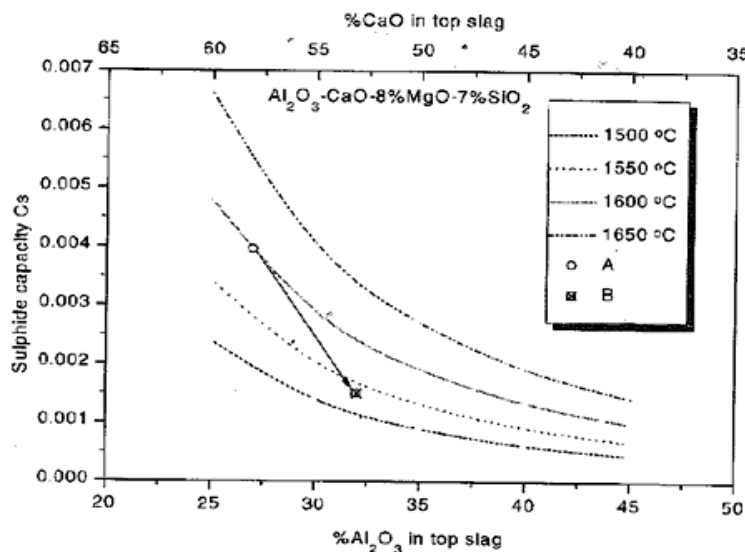
سرباره روی اکتیویته تعادلی اکسیژن در سرباره و همچنین بازیسیته سرباره اثر دارد.

[www.iran-mavad.com](http://www.iran-mavad.com)

با واکنش شماره ۸ می توان میزان  $C_s$  را بر حسب ترکیب و دما بدست آورد.

با افزایش  $CaO$  سرباره و کاهش مقدار آلومینای سرباره ( $Al_2O_3$ ) ظرفیت گوگردی سرباره

بهبود می یابد (شکل ۳).

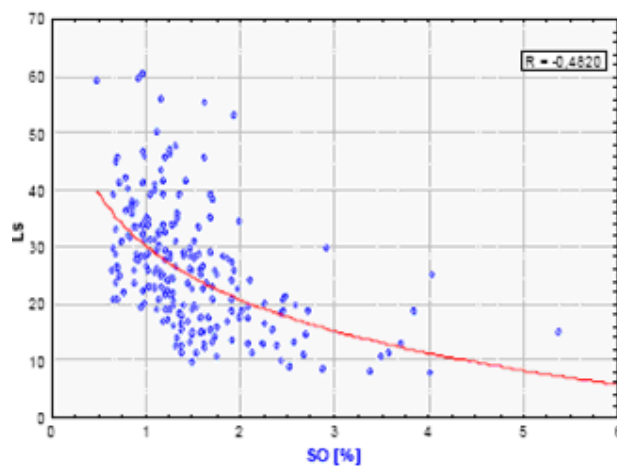
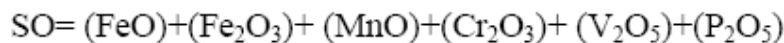


شکل ۳- اثر دما،  $CaO$  و  $Al_2O_3$  روی ظرفیت سولفیدی سرباره

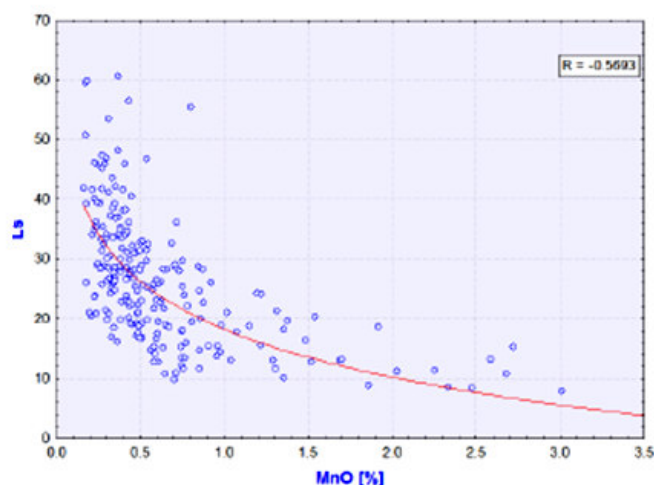
برای گوگردزدایی بهتر باید میزان اکسیدهای احیاء شونده مثل  $MnO$  و  $FeO$  در سرباره

حداقل باشد. اشکال ۴ و ۵ اثر این اکسیدها و همچنین اثر  $MnO$  سرباره را روی  $L_s$  نشان

می دهد.



شکل ۴- اثر میزان اکسیدهای احیاء شونده سرباره روی  $L_s$



شکل ۵- اثر میزان MnO سرباره روی  $L_s$

سیستم پایه سرباره  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$  است. با افزودن  $\text{MgO}$  به سیستم  $\text{CA}$  مقدار ظرفیت سولفیدی سرباره افزایش می یابد. با افزایش نسبت مولی  $\frac{\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  اثر  $\text{MgO}$  روی  $C_s$  کاهش پیدا کرده و در سرباره هایی که اشباع از  $\text{CaO}$  هستند افزودن  $\text{MgO}$  اثری روی  $C_s$  ندارد.

با افزودن  $\text{SiO}_2$  به سیستم  $\text{CA}$  مقدار  $C_s$  کاهش پیدا می کند. نسبت مولی  $\frac{\text{CaO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$  تأثیری روی نرخ کاهش  $C_s$  با افزایش  $\text{SiO}_2$  ندارد.

## ۲-۲- نسبت توزیع گوگرد ( $L_s$ )

نسبت توزیع گوگرد ( $L_s$ ) تخمینی از میزان کاهش گوگرد در فرایند گوگردزایی است. نسبت توزیع گوگرد ( $L_s$ ) و میزان حذف گوگرد طبق واکنش ۳ به صورت زیر تعریف می شود:

$$K_s = \frac{a_o}{a_s} \cdot \sqrt{\frac{P_{S_2}}{P_{O_2}}} = \frac{(\%S)}{[\%S]} \cdot \frac{a_o}{f_s \cdot C_s} \quad \text{Log } K_s = \frac{-935}{T} + 1.375$$

$$L_s = \frac{(\%S)}{[\%S]}$$

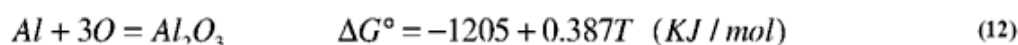
$$\text{Log } L_s = \frac{-935}{T} + 1.375 + \text{Log } C_s + \text{Log } f_s - \text{Log } a_o \quad (10)$$

ضریب اکتیویته گوگرد در فولاد ( $f_s$ ) را می توان طبق معادله واکنر به دست آورد:

$$\text{Log } f_S = \sum e_i^f \cdot [\%i] \quad (11)$$

در این معادله  $e_S^f$  پارامتر تاثیر بین گوگرد و عنصر  $i$  در فولاد است.

اکتیویته اکسیژن در فولاد ( $a_O$ ) را می توان با فرض تعادل بین اکسیژن و آلومینیوم حل شده در فولاد و آلومینای سرباره یا آخال آلومینا در فولاد به دست آورد:



$$K_{12} = \exp\left\{\frac{-\Delta G}{RT}\right\} = \frac{a_{Al_2O_3}}{[a_{Al}]^2 [a_O]^3}$$

$a_{Al_2O_3}$  اکتیویته آلومینا در سرباره یا آخال و  $a_{Al}$  و  $a_O$  اکتیویته های اکسیژن و آلومینیوم در فولاد هستند.  $a_{Al}$  را می توان با استفاده از معادله ۱۲ محاسبه کرد. اگر آخال آلومینا در تعادل با مذاب در نظر گرفته شود اکتیویته آلومینا ۱ و در غیر این صورت طبق معادله ۱۴ محاسبه می شود:

$$a_{Al} = f_{Al} \cdot [\%Al] \quad (13)$$

$$\text{Log } a_{Al_2O_3} = \frac{[-0.275(\%CaO) + 0.167(\%MgO)]}{\%SiO_2} + 0.033(\%Al_2O_3) - 1.560 \quad (14)$$

این معادله برای دماهای نزدیک به  $1600^\circ C$  و ترکیب زیر مناسب است:

$$CaO \ \%10-60, \ SiO_2 \ \%10-50, \ Al_2O_3 \ \%0-50, \ MgO \ \%0-30$$

با ترکیب معادلات بالا می توان معادله زیر را برای  $L_S$  نوشت:

$$\log L_S = \log C_S - \frac{1}{3} \log(a_{Al_2O_3}) + \frac{2}{3} \log W_{Al} + \frac{20397}{T} - 5.482$$

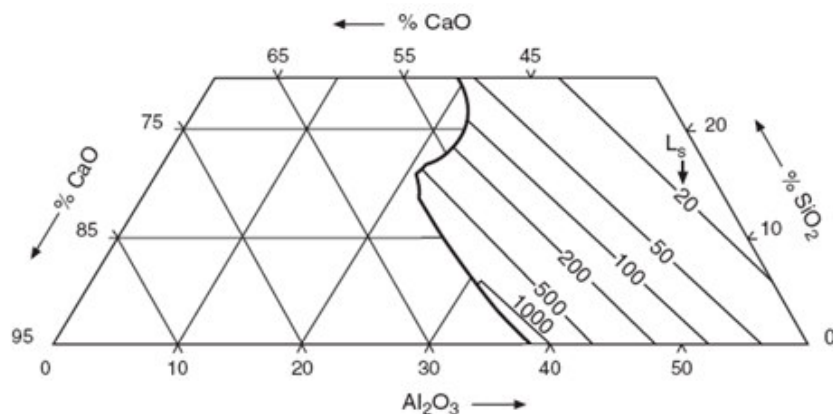
همانطور که مشاهده می شود  $L_S$  تابعی از دما، ظرفیت سولفیدی سرباره، اکتیویته اکسیژن و

میزان گوگرد فولاد مذاب است. شکل ۶ مقطع ایزوترم  $L_S$  های مختلف را نشان می دهد. با

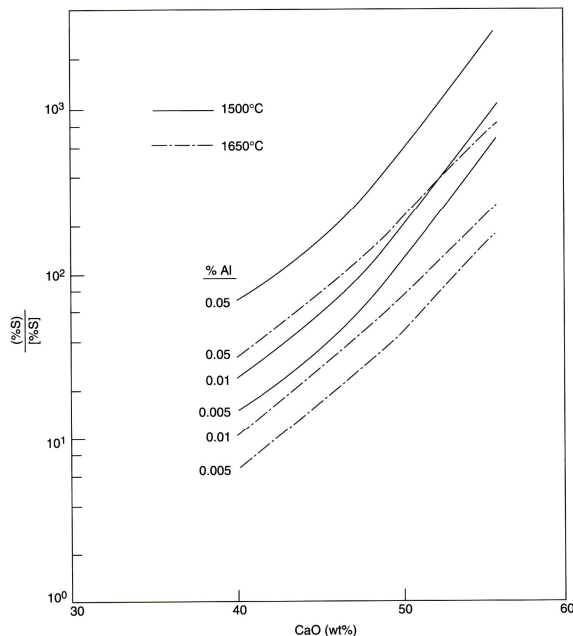
افزایش میزان آلومینای سرباره مقدار  $L_S$  کاهش می یابد.



شکل ۷ تغییرات  $L_S$  را بر حسب  $\%CaO$  سرباره و مقدار آلومینیوم مذاب نشان می دهد. هرچه مقدار آلومینیوم محلول در مذاب افزایش یابد مقدار اکسیژن مذاب کمتر شده و در نتیجه  $L_S$  افزایش می یابد. به طور کلی برای گوگردزایی خوب آلومینیوم بیش از  $0.2\%$  توصیه می شود.



شکل ۶- مقطع ایزوترم دیگرام سه تایی  $CaO-SiO_2-Al_2O_3-5\%MgO$  در دمای  $1600^\circ C$  در  $L_S$  های مختلف



شکل ۷- نسبت توزیع گوگرد با آلومینیوم حل شده در سرباره  $CaO-Al_2O_3$

### ۳- گوگردزایی با استفاده از سرباره

گوگردزایی عموماً توسط سرباره مصنوعی در کوره پاتیلی (LF) و یا در طی عملیات خلاء (VD) انجام می شود. بازده فرایند گوگردزایی به شدت به خصوصیات فاز سرباره و مقدار آن وابسته است. دما و ترکیب سرباره دو ابزار قدرتمند برای کنترل فرایند گوگردزایی است.

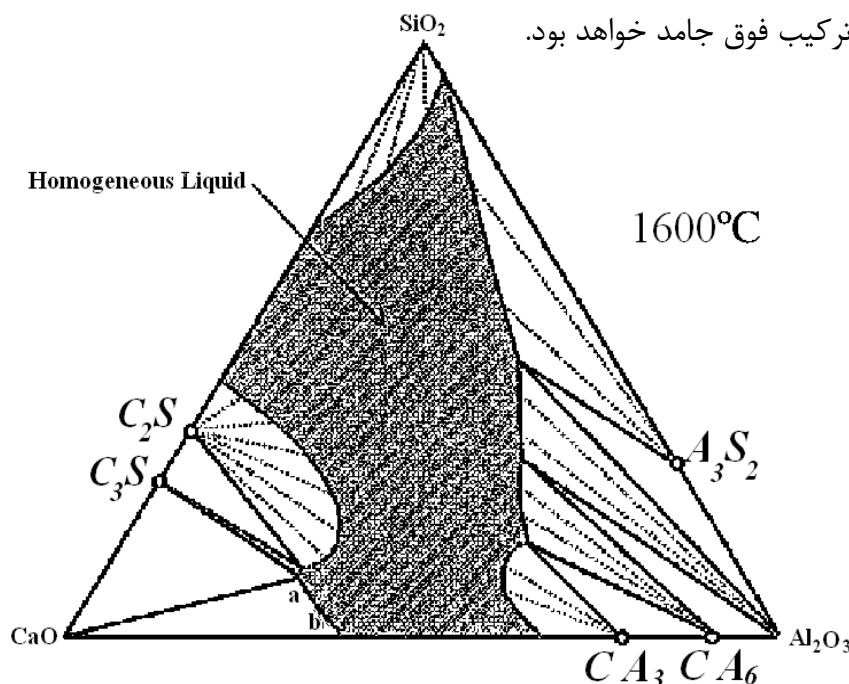
در سیستم سرباره چندین ترکیب و یا فاز مختلف مثل  $\text{CaO}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{SiO}_2$  و  $\text{CaF}_2$  وجود دارد. با تمرکز بر روی گوگردزدایی داریم:



یکی از مهمترین پارامترها در پیشبرد این واکنش اکتیویته  $\text{CaO}$  است. سرباره بهینه باید از  $\text{CaO}$  اشباع باشد یا به عبارتی دیگر اکتیویته  $\text{CaO}$  در سرباره باید نزدیک به واحد باشد تا تعویض گوگرد حل شده در فولاد با یون اکسیژن به سهولت صورت گیرد.

برای به دست آوردن ترکیب بهینه سرباره در یک دمای ثابت می توان از دیاگرام سه تایی  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  استفاده کرد. شکل ۸ ایزوترم سه تایی سیستم مذکور را نشان می دهد. ناحیه خط خطی شده ترکیب سرباره مذاب هموزن را در دمای  $1600^\circ\text{C}$  نشان می دهد. در خارج

از این نواحی ترکیب فوق جامد خواهد بود.



شکل ۸- مقطع ایزوترم دیاگرام سه تایی  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  در دمای  $1600^\circ\text{C}$

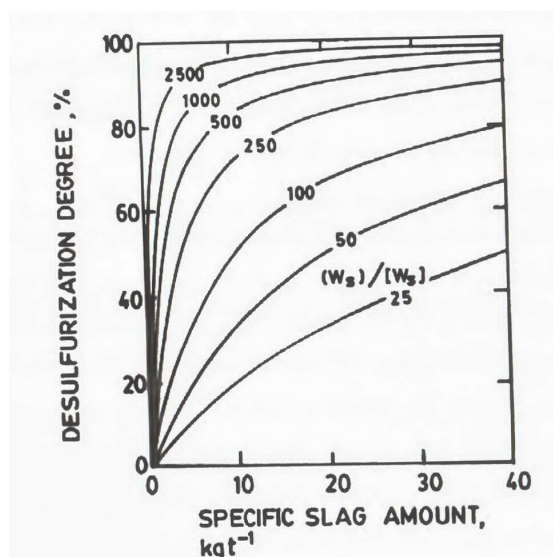
برای فرایند گوگردزدایی هر ترکیبی که در منطقه مذاب یکنواخت قرار گیرد و اکتیویته  $\text{CaO}$  در آن نزدیک به واحد باشد (خط  $ab$  در شکل ۸) مناسب است.

با استفاده از دیاگرام های سه تایی، ترکیب سرباره برای گوگردزدایی بهتر باید به گونه ای انتخاب شود که دارای بالاترین اکتیویته  $\text{CaO}$ ، بیشترین بازیسیته و سیالیت کافی باشد. نکته

قابل توجه دیگر این که ترکیب شیمیایی سرباره روی ویسکوزیته نیز اثرگذار است و اگر مقدار CaO بیشتر از ۶۰٪ باشد به دلیل اینکه سرباره غیر همگن و ویسکوز می شود سینتیک واکنش گوگرد زدایی کم شده و ظرفیت گوگردی سرباره نیز کاهش می یابد.

با توجه به مطالب گفته شده در بخش های ۲-۱ و ۲-۲ ترکیب سرباره باستی به گونه ای انتخاب شود که سرباره دارای  $C_S$  و  $L_S$  بالا باشد. نکته قابل توجه دیگر حجم سرباره مصنوعی است. تحقیقات نشان داده که وقتی حجم سرباره افزایش یابد درجه گوگردزدایی افزایش می یابد

(شکل ۹).



شکل ۹- درجه گوگردزدایی بر حسب مقدار سرباره در توزیع های مختلف گوگرد

یکی دیگر از فاکتورهای مهم سرباره نازیسته است. بازیسته را به صورت ساده می توان نسبت

تعریف کرد. تحقیقات نشان داده که با افزایش نازیسته گوگردزدایی بهتر انجام

می شود. سرباره بازی دارای اکسیدهای بازی است که این اکسیدها شکننده ی شبکه با توانایی

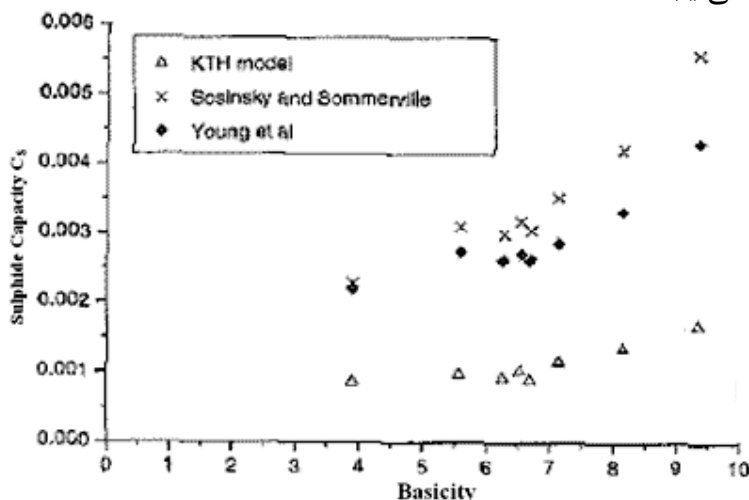
آزاد کردن یون اکسیژن ( $O^{2-}$ ) جهت جایگزینی برای گوگرد حل شده در فولاد هستند. نازیسته

کوره پاتیلی را به صورت زیر نیز می توان محاسبه کرد:

$$B_{LF} = \frac{\%CaO + 1.4\%MgO}{\%SiO_2 + 0.6\%Al_2O_3}$$

شکل ۹ بازیسیته را بر حسب  $C_S$  نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش

بازیسیته  $C_S$  افزایش می یابد.



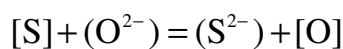
شکل ۹- ظرفیت سولفیدی بر حسب بازیسیته

تا کنون مطالب گفته شده مطالب ترمودینامیکی است که در صورت به تعادل رسیدن مذاب و سربراره به دست می آید. در شرایط فولادسازی رسیدن به حالت تعادل به دلیل انجام واکنش های مخربی چون حل شدن لایه نسوز در سربراره، جذب اکسیژن از اتمسفر و... مشکل است. بنابراین برای افزایش سرعت گوگردزدایی باید سینتیک واکنش مد نظر قرار گیرد.

#### ۴- سینتیک واکنش گوگردزدایی

واکنش گوگردزدایی شامل مراحل سینتیکی زیر است:

- ۱- انتقال گوگرد محلول در مذاب به فصل مشترک مذاب و سربراره
- ۲- انتقال  $O^{2-}$  از درون سربراره به فصل مشترک فولاد مذاب و سربراره
- ۳- انجام واکنش شیمیایی زیر در فصل مشترک



مطالعات نشان داده است که انتقال جرم کنترل کننده واکنش شیمیایی است.

انتقال اتم گوگرد از مذاب به سرباره و انتقال یون اکسیژن از سرباره به مذاب در حین فرایند گوگردزدایی به وسیله انتقال جرم از طریق نفوذ کنترل می شود. نرخ گوگردزدایی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{\ln \left\{ 1 + \frac{1}{L_S} \left( \frac{W_m}{W_s} \right) \left[ \frac{\%S_t}{\%S_s} \right] - \frac{1}{L_S} \left( \frac{W_m}{W_s} \right) \right\}}{1 + \frac{1}{L_S} \left( \frac{W_m}{W_s} \right)} = \frac{m A \rho_t}{W_s}$$

ثابت سرعت حذف گوگرد نیز به صورت زیر تعریف می شود:

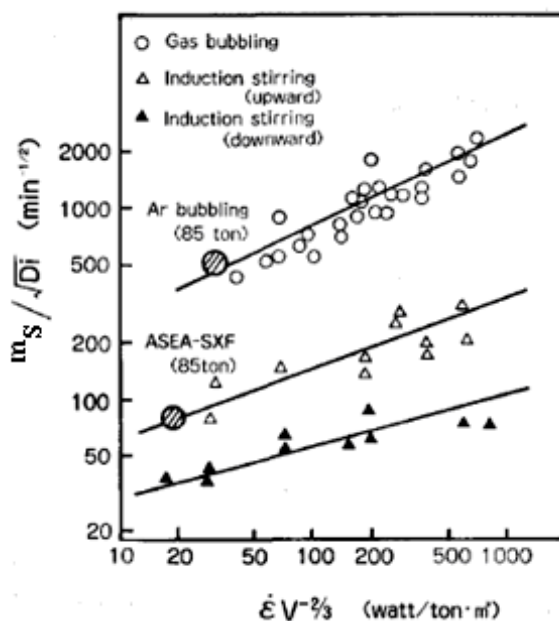
$$k_s = m_s \left( \frac{A}{V} \right)$$

که در آن  $m_s$  ضریب انتقال جرم،  $A$  سطح مشترک مذاب/سرباره و  $V$  حجم حمام مذاب است. همانطور که مشاهده می شود سطح مشترک مذاب و سرباره روی نرخ انتقال گوگرد اثرگذار است. از طرفی چون ضریب نفوذ گوگرد در سرباره ذوب شده  $(10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec})$  و فولاد مذاب  $(10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec})$  کم است لذا برای بهبود سینتیک واکنش گوگردزدایی بایستی از همزن استفاده کرد تا حداکثر تماس بین مذاب و سرباره انجام شود.

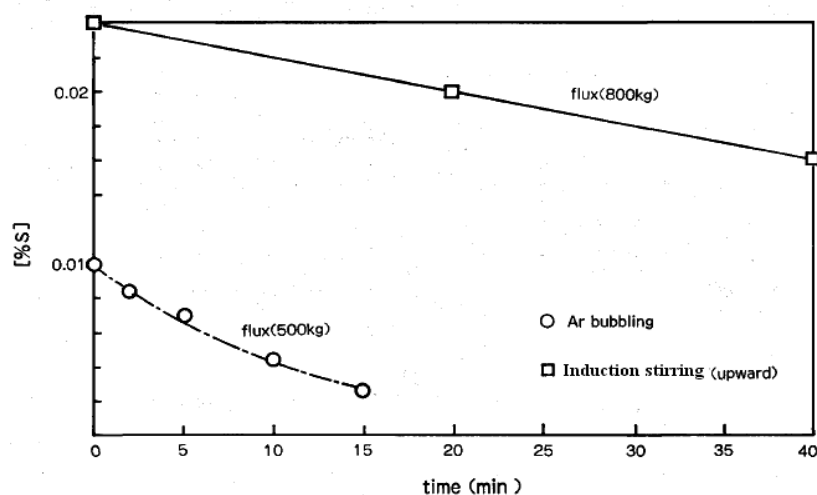
#### ۴-۱- استفاده از همزن در گوگردزدایی

بکارگیری همزن القایی و گازی در طول LF یک فاکتور مهم در کنترل فرایند گوگردزدایی است. همانطور که در سینتیک واکنش گوگردزدایی مطرح شد انتقال گوگرد در فصل مشترک مذاب/سرباره یک فاکتور کنترل کننده سرعت واکنش است. هرچه سطح مشترک مذاب/سرباره بیشتر باشد انتقال بهتر و سرعت بیشتر می شود. بنابراین چون واکنش گوگردزدایی یک واکنش کنترل نفوذی است با استفاده از قدرت همزن القایی و گازی می توان سرعت واکنش را افزایش داد.

در شکل زیر تاثیر قدرت همزن ( $\epsilon^0 V^{-2/3}$ ) و ثابت سرعت گوگردزدایی ( $m_s / \sqrt{D_i}$ ) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود با افزایش قدرت همزن ثابت سرعت واکنش نیز افزایش می یابد (شکل ۱۰). از طرفی تحقیقات نشان داده که استفاده از گاز آرگن برای همزدن فولاد بهتر از همزن القایی است و زمان واکنش برای حذف مقدار مشخصی گوگرد با آرگن کوتاهتر از همزن القایی است (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- ارتباط بین قدرت همزن و سرعت واکنش گوگردزدایی



شکل ۱۱- نمودار زمان بر حسب مقدار گوگرد ذوب

مطالعات مختلف نشان داده که با استفاده از همزن درجه گوگردزدایی بین ۴ تا ۶٪ افزایش

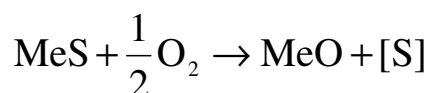
می یابد.

#### ۴-۲- ویسکوزیته

ویسکوزیته یک خصوصیت ترموفیزیکی است که روی سینتیک واکنش گوگردزدایی اثر دارد. هم ویسکوزیته مذاب و هم ویسکوزیته سرباره روی انتقال گوگرد اثر دارد. در ویسکوزیته پایین سرباره به دلیل اینکه حرکت در سرباره و فصل مشترک مذاب/سرباره آسان و افزایش یافته نرخ انتقال جرم گوگرد نیز بیشتر می شود. در شرایط فولادسازی ویسکوزیته فولاد ثابت است اما ویسکوزیته سرباره به دلیل اینکه تحت تاثیر دما و ترکیب سرباره چندتایی است متغیر است. CaO باعث افزایش ویسکوزیته و  $Al_2O_3$  باعث کاهش ویسکوزیته می شود. ویسکوزیته فولاد را با  $CaF_2$  نیز می توان کاهش داد.

#### ۵- پایداری سولفیدها

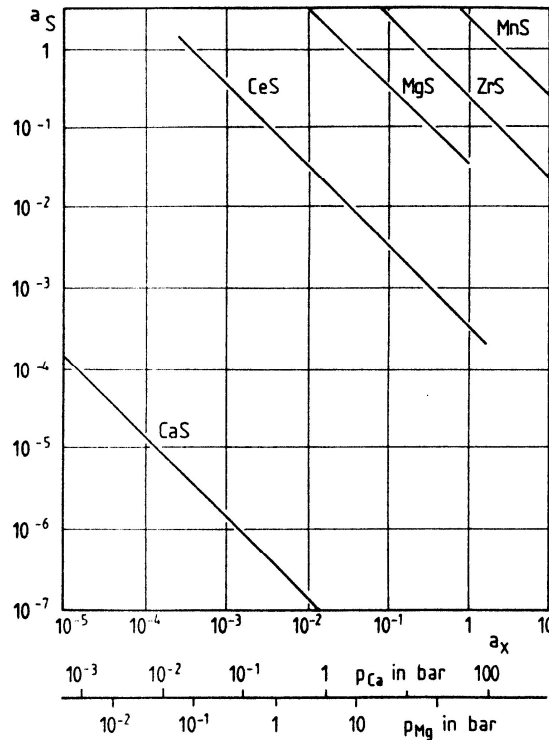
پایداری محصولات سولفیدی حاصل از واکنش گوگردزدایی در سرباره را می توان از میزان حلالیت آنها در مذاب فولاد برآورد کرد. طبق شکل زیر (۱۲) پایدارترین سولفیدها سولفید کلسیم و سولفید سرباره است. اگرچه فلزات نادر خاکی و قلیایی خاکی تشکیل سولفیدهای پایداری می دهند اما اکسیدهای این فلزات پایدارتر از سولفیدهای آنها هستند. بنابراین اگر در ذوب اکسیژن حل شده باشد سولفیدها طبق واکنش زیر دوباره تجزیه شده و تشکیل اکسید می دهند و گوگرد مجدداً به ذوب بر می گردد. بنابراین ابتدا باید با مواد اکسیژن زدا اکتیویته اکسیژن ذوب را کاهش داد تا تشکیل سولفید بهبود پیدا کند.



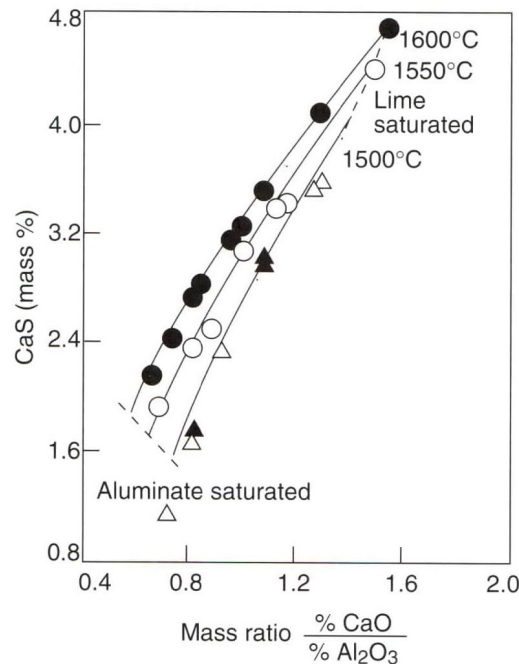
طبق شکل، حلالیت  $MnS$  از بقیه سولفیدها بیشتر و  $CaS$  از همه کمتر است. بنابراین کلسیم

بهترین ماده برای گوگردزدایی و  $Mn$  ضعیف ترین گوگردزدا است. هرچه میزان  $CaO$  در سرباره

بیشتر باشد حلالیت  $CaS$  بیشتر و گوگردزدایی بهتر انجام می شود. (شکل ۱۳).



شکل ۱۲- نمودار پایداری سولفیدهای مختلف



شکل ۱۳- حلالیت  $CaS$  در آلومینات کلسیم مذاب



## ۶- واکنش حذف گوگرد در فولادهای آرام شده با آلومینیوم

واکنش حذف گوگرد در فولادهایی که با آلومینیوم آرام شده اند به صورت زیر است:

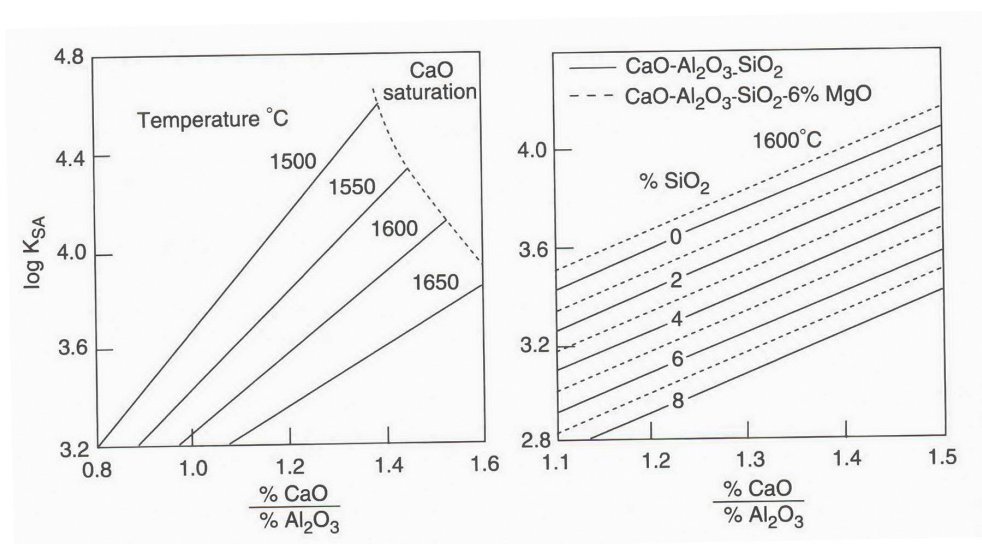


$$\Delta G^0 = -81988 - 1.25T \log T + 17.71T \quad \left( \frac{\text{Cal}}{\text{mol}} \right)$$

$$K_{\text{SA}} = \frac{(\% \text{S})}{[\% \text{S}]} [\% \text{Al}]^{-2/3}$$

شکل ۱۴ مقدار  $K_{\text{SA}}$  را برحسب  $\frac{\% \text{CaO}}{\% \text{Al}_2\text{O}_3}$  و دما نشان می دهد. همانطور که مشاهده

می شود افزایش دما و  $\text{SiO}_2$  هر دو باعث کاهش  $K_{\text{SA}}$  می شود.



شکل ۱۴- تاثیر دما و  $\text{SiO}_2$  روی  $K_{\text{SA}}$

به طور خلاصه برای گوگردزدایی خوب باید موارد زیر را رعایت کرد:

- ۱- بازیسته بالای سرباره
- ۲- پتانسیل اکسیدی پایین (مقدار FeO و MnO پایین)
- ۳- فصل مشترک زیاد مذاب با سرباره (سیالیت بالا و استفاده از همزن مناسب)
- ۴- دمای نستنا بالا برای بهبود پیشرفت واکنش (دمای بالای تخلیه)