

よる関係を見捨てて規格範囲内の試料の機械的性質の範囲を総合すれば、常温および 600°C について下表の如くである。

	σ_S	σ_B	δ	ψ	K_b	H_s
常温	47~63	57~77	20~33	70~77	10~45	23~32
600°C	19~33	30~40	18~28	75~86	21~27	16~28

これらの結果はさらに各試験温度に対してプロットし、市販材の高温性質範囲を図示し、かつ C, Cr 量との関係および強度-靱性の関係などを求めた。

鑄鋼: この鋼種は ASTM C5 の規格に該当する鋼種を選定した。供試材の化学成分は上記規格範囲で C 0.12~0.20, Cr 4.5~6.2, Mo 0.52~0.59% である。この鋼種は拡散焼鈍による鑄造組織の破壊が極めて困難で、その程度の差が材力に大きく影響する。試料は 930°C 以上で充分焼鈍し、要すれば焼鈍を反復した後、870~900°C 空冷、630~750°C 焼戻した。

常温および 550°C の測定値の範囲は下記の如くである。

	σ_S	σ_B	δ	ψ	K_b	H_s
常温	51~78	68~76	17~25	32~67	8~15	25~31
550°C	—	38~45	17~23	49~74	10~19	18~26

鑄鋼はいうまでもなく、化学成分による以外に溶解条件、顕微鏡組織が機械的性質に大きく影響するから測定値範囲が広がっている。

これらの測定結果は常温~700°C の温度に対してプロットして文献の結果と対照し、市販材の高温性質の範囲を規定する参考資料とした。また σ_B - δ , C, Cr 量との関係、熱処理およびメーカー別による差異などを求めた。この他上記鋼種以外に若干の低炭素鋼, 1~2.5 Cr-Mo, Cr-Mo-V, C の高い Cr-Mo (SCM3), Ni-Cr-Mo (SNCM5) などを供試して比較検討し、さらに拡散焼鈍の効果、熔接性の問題を考察した。

(123) クロム鋼の珪素による脱酸限度に関する熱力学的考察

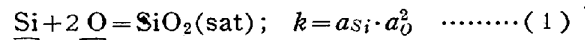
(Thermodynamical Consideration on the Deoxidation Limit of Cr-Steel with Silicon)

Hiroshi Sakao, et alius

名古屋大学工学部 佐野 幸吉
講師 ○坂 尾 弘

I. クロム鋼の珪素による脱酸限度の計算

クロムを含有する熔融鉄クロム合金を珪素で脱酸する場合の反応は次式で表わすことができる。



但し a_{Si} および a_{O} は熔融鉄クロム合金中のそれぞれの活動量を表わし、無限希釈溶液では重量%に一致するように標準をとり、かつ濃度との間には次の関係が成立するものとする¹⁾。

$$a_{\text{Si}} = [\text{Si}\%] \cdot f'_{\text{Si}} \cdot f_{\text{Si}}^0 \cdot f_{\text{Si}}^{\text{Cr}} \dots\dots(2)$$

$$a_{\text{O}} = [0\%] \cdot f_0' \cdot f_0^{\text{Si}} \cdot f_0^{\text{Cr}} \dots\dots(3)$$

ここに f'_{Si} , f_0' は Fe-Si, Fe-O 二元溶液におけるそれぞれの活動係数を示し、 f_{Si}^0 , $f_{\text{Si}}^{\text{Cr}}$ は熔融 Fe-Cr-Si-O 溶液において珪素の活動係数におよぼす酸素およびクロムの影響を示し、 f_0^{Si} , f_0^{Cr} は酸素の活動係数におよぼす珪素およびクロムの影響を示す相互作用係数である。

(1) 式の K の値については Gokcen & Chipman²⁾ により

$$\log K = -32000/T + 12 \cdot 29 \dots\dots(4)$$

なる関係が与えられている。(2) および (3) 式中の f'_{Si} , f_{Si}^0 , f_0^{Si} については後述するように若干の疑問はあるが Gokcen & Chipman²⁾ の実験結果を使用する。 f_0' については Daskur & Chipman³⁾ により濃度とは無関係に 1 であることが報告されていて既に一般に認められているところである。 f_0^{Cr} については、Chen & Chipman⁴⁾, Turkdogan⁵⁾ および Hilty, Forgeng & Folkman⁶⁾ によりそれぞれ独立に求められているが Chen & Chipman の結果と Hilty 等の結果とがよく一致しているのでこれを使用する。最後に $f_{\text{Si}}^{\text{Cr}}$ については現在のところ実験結果が見当たらないので Hilty, Rassbach & Crafts⁷⁾ の実験結果から計算により求めた値を使用する。

以上の活動係数および相互作用係数並びに (4) 式より任意の熔融鉄クロム合金中の [Si%] と [0%] との関係を求めることができる。Fig. 2 は 16.5% Cr を含有する熔湯の珪素による脱酸限度を図示したものである。16.5% Cr と同時平衡にある [Si%] は Hilty, Rassbach & Crafts によると、1600°C で 3.5% Si, 1650°C で 5.0% Si となりこれ以下の [Si%] では直接脱酸に寄与せず [0%] は [Cr%] により支配される。珪素の存在しない場合の [0%] として Hilty, Forgeng & Folkman の測定結果をとり計算値との間は点線で結んだ。図から明らかなようにクロム鋼に脱酸剤としてか

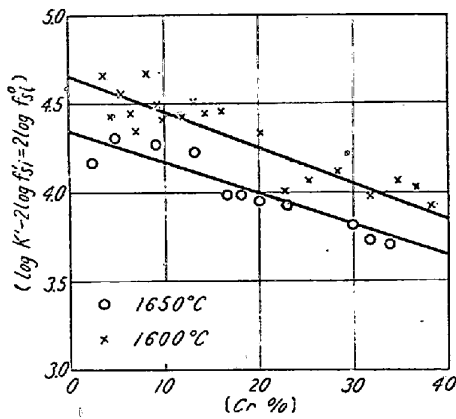


Fig. 1. Relation between $(\log K' - 2 \log f_{Si}^{Cr} - 2 \log f_{Si}^{O})$ and $[Cr \ %]$.

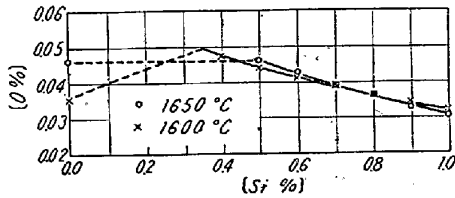


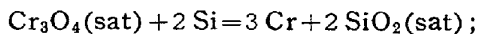
Fig. 2. 16.5% Cr-steel.

なりの量の珪素を加えてもなお相当量の酸素が残ることになり、酸素は多量のクロムにより強く拘束されていることが判る。また珪素による脱酸力は一般に温度の下降によつてかなり強くなるとされているにも拘らずクロム鋼の場合には図の如く殆んど変化がないのは主として計算に用いた f_{Si}^{O} の温度による変化によつて相殺されるものと考えられる。

ここに注意すべきはこれ等の関係は少くとも脱酸生成物が珪素で飽和されている場合に成立するもので一般の塩基性操業の如く珪酸が不飽和の場合には脱酸限度はその活動係数の低下に応じて更に低値を示すことは当然である。

II. f_{Si}^{Cr} の 決 定

Hilty, Rassbach & Crafts は石英坩堝中で酸化クロム共存の下で鉄-クロム合金を熔解し平衡に達せしめた後、金属相中に還元する $[Si \ %]$ と $[Cr \ %]$ との定量的関係を調べた。この反応は次式で示すことができる。



$$K = a_{Cr}^3 / a_{Si}^2 \dots\dots\dots (5)$$

但し、

$$a_{Cr} = [Cr \ %] \cdot f'_{Cr} \cdot f_{Cr}^O \cdot f_{Cr}^{Si} \dots\dots\dots (6)$$

$$a_{Si} = [Si \ %] \cdot f'_{Si} \cdot f_{Si}^O \cdot f_{Si}^{Cr} \dots\dots\dots (7)$$

$$K' = [Cr \ %]^3 / [Si \ %]^2 \dots\dots\dots (8)$$

(6) 式中 $f'_{Cr} \cdot f_{Cr}^O$ については Chen & Chipman⁴⁾ および Turkdogan⁵⁾ によりそれぞれのクロム酸化物に依じて 1 であることが報告されているので (5), (6), (7) および (8) 式より、

$$\log K' - 2 \log f'_{Si} - 2 \log f_{Si}^O = \log K + 2 \log f_{Si}^{Cr} - 3 \log f_{Cr}^{Si} \dots\dots\dots (9)$$

(9) 式中 K' , f'_{Si} および f_{Si}^O は既知であるから左辺の値を計算して縦軸にとり、横軸に $[Cr \ %]$ をとつて図示すると Fig. 1 の如く直線関係が成立する。その傾斜は $(2 \log f_{Si}^{Cr} - 3 \log f_{Cr}^{Si})$ に相当するのでこれより Wagner 式の関係を利用して近似的に、 $\log f_{Si}^{Cr}$ を $[Cr \ %]$ の函数として求めることができる。

III. 考 察

Gokcen & Chipman は Fe-Si-O 系平衡²⁾の測定結果から f_{Si}^{O} , f'_{Si} , f_{Si}^O の値を求める際既知の Fe-O 二元系の平衡値³⁾を基準にとつて計算したが、これは後程行つた Fe-Al-O 系平衡⁹⁾の実験結果と考え併せると疑問の点がありなお詳細な研究を要することを追加して報告した⁹⁾。更に最近 Chidman¹⁰⁾ は “Atomic Inter Action in Molten Alloy Steels” なる論文の中で f_{Si}^{O} , f'_{Si} 等の値について前とはかなり異つた値を提出している。著者等はこれ等の値を用いて前と同様な計算を行い Fig. 3 の如き結果を得た。Fig. 2 の場合とは Cr 含量が若干異なるので直接比較はできないとしても、1600°C における値は殆んど差がないものと考えられる。また f_{Si}^{O} におよぼす温度の影響は無視したので Fig. 2 の場合と異つて珪素の脱酸力は温度の低下によつて強くなつてくることが認められる。

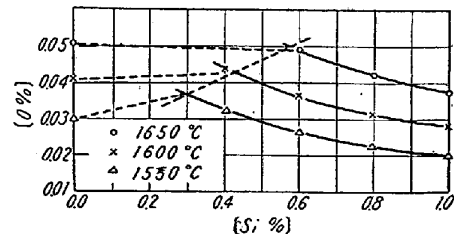


Fig. 3. 18% Cr-steel.

文 献

- 1) Fe-S 系の場合にはこの関係がかなり有効あることが実験的に確認されているが、Fe-O 系の場合には不明である。
- 2) Gokcen & Chipman: J. Metals (1952) Feb.
- 3) Dastur & Chipman: J. Metals (1949) Aug.

- 4) Chen & Chipman: Trans A.S.M. 38 (1947) 70
- 5) Turkdogan: J. Iron Steel Inst. 178 (1954) 273
- 6) Hilty, Forgeng & Folkman: J. Metals (1955) Feb.
- 7) Hilty, Rassbach & Crafts: J. Iron Steel Inst (1955) June.
- 8) Gokcen & Chipman: J. Metals (1953) Feb.
- 9) Gokcen & Chipman: J. Metals (1953) Aug.
- 10) Chipman: J. Iron Steel Inst. (1955) June.

これ等により一定炭素量の 12% Cr 系耐熱鋼においては、焼戻硬度の高いものは、大体クリープ強さもよいことを報告した。

そこで本報は各種合金元素を単独に添加した 12% Cr 系耐熱鋼に対し、次の如き 3 種類の熱処理を行い、焼戻硬度におよぼす影響を調べ、これ等から焼戻軟化抵抗の高い合金元素およびその添加量を知ることにより、強力な 12% Cr 系耐熱鋼を見出さんとするものである。

(124) 12% Cr 系耐熱鋼の焼戻硬度硬 ついて

(単独元素の影響)

On the Tempering Hardness of 12 Percent Chromium Heat Resisting Steels
(Effect of the Single Element)

Toshio Fujita, et alii.

東大教授 工博 芥川 武

東大講師 工 ○藤田 利夫

東大大学院学生 工 清水 貞一

I. 緒 言

著者等は、さきに 12% Cr 鋼に各種合金元素 (Mo, Cb, W, V, Ti 等) を単独に添加し、それらの 620°C におけるクリープ強さを測定し、一方クリープ試験と同じ条件で焼戻を行い、それ等の硬度および組織の変化を調べた。(12)。

II. 試料及びその熱処理

使用した試料の化学成分は Table 1 に示す。

これ等の試料に対し、次の如き熱処理を行い、その焼戻硬度および組織の変化を調べた。

(1) 焼入温度による影響

焼入処理 $\left\{ \begin{array}{l} 1250^{\circ}\text{C} \times \frac{1}{2}\text{h} \rightarrow \text{O.Q. (油冷)} \\ 1150^{\circ}\text{C} \times \frac{1}{2}\text{h} \rightarrow \text{O.Q. (〃)} \\ 1050^{\circ}\text{C} \times \frac{1}{2}\text{h} \rightarrow \text{O.Q. (〃)} \end{array} \right.$

これ等の 3 種類の焼入処理を行つたものに対し、次の焼戻処理を行う。

焼戻処理 $\left\{ \begin{array}{l} \text{焼戻温度 } 650^{\circ}\text{C} \\ \text{焼戻時間 } \frac{1}{2}, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100, \\ 250, 500, 1000\text{h} \end{array} \right.$

(2) 700°C の焼戻処理による影響

焼入焼戻処理 $\left\{ \begin{array}{l} 1150^{\circ}\text{C} \times \frac{1}{2}\text{h} \rightarrow \text{O.Q. (油冷)} \\ 700^{\circ}\text{C} \times 1\text{h} \rightarrow \text{A.C. (空冷)} \end{array} \right.$

この焼入焼戻処理を行つたものに対し次の焼戻処理を行う。

焼戻処理 $\left\{ \begin{array}{l} \text{焼戻温度 } 650^{\circ}\text{C} \\ \text{焼戻時間 } 5, 10, 25, 50, 100, \\ 250, 500, 1000\text{h} \end{array} \right.$

(3) 焼戻温度による影響

Table 1. Chemical composition of 12 percent chromium steel samples.

Sample name	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cb	W	V	Ti
Mo. 1	0.16	0.50	0.59	0.33	11.82	0.43	—	—	—	—
Mo. 2	0.18	0.19	0.24	0.22	11.82	0.79	—	—	—	—
Mo. 3	0.17	0.52	0.59	0.32	12.03	1.25	—	—	—	—
Cb. 1	0.17	0.58	0.53	0.31	11.73	—	0.261	—	—	—
Cb. 2	0.18	0.55	0.56	0.29	12.03	—	0.684	—	—	—
Cb. 3	0.18	0.59	0.47	0.27	12.36	—	1.389	—	—	—
W-1	0.16	0.40	0.50	0.19	11.58	—	—	0.36	—	—
W-2	0.18	0.40	0.53	0.19	11.58	—	—	0.82	—	—
W-3	0.20	0.50	0.56	0.18	11.58	—	—	1.74	—	—
V-1	0.20	0.33	0.43	0.42	11.92	—	—	—	0.32	—
V-2	0.20	0.49	0.76	0.24	11.37	—	—	—	0.46	—
V-3	0.20	0.43	0.54	0.42	12.03	—	—	—	1.02	—
Ti-1	0.15	0.44	0.62	0.21	11.79	—	—	—	—	0.21
Ti-2	0.15	0.42	0.62	0.19	11.61	—	—	—	—	0.36
Ti-3	0.15	0.74	0.72	0.19	11.64	—	—	—	—	0.38
Ti-4	0.16	0.38	0.66	0.18	11.85	—	—	—	—	0.65