

%迄変えたものについて、その影響を調べたが、C量の増加によつて硬度は増加するが、靱性は低下する。高温抗張力はC量により余り変化しないが、衝撃値は低下する。

## (122) 市販 Cr-Mo 鍛鋼及び鋳鋼に関する調査

(An Investigation of the Commercial Cr-Mo Forged and Cast Steels)

Masayoshi Hasegawa, Dr. Eng.

早大助教授 工博 長谷川正義

### I. 緒 論

中温度に使用する耐熱耐圧用鋼として、古くから C-Mo, 1Cr-Mo あるいは 5Cr-Mo 鋼などが広く使用されていることは周知の通りであり、例えば ASTM 規格では鋼材として F12, F5 などがあり、鋳鋼として WC1, WC6 あるいは C5 などが規定されている。わが国ではこの種低炭素の C-Mo, Cr-Mo 鋼は以前にはほとんど生産されていながつたので、JIC 規格には管材としての規定があるに過ぎない。しかし最近に至つて化学工業用とくに石油精製工業、あるいはボイラー、加熱炉部品などに急激に需要が増大し、近くこれら鋳鋼に関する JIS 規格も制定される気運にある。

これら中温度用耐蝕耐熱鋼の性質に関してはすでに B. & W. Tube Co. その他によつて管材としてのデータは豊富に発表されているが、鍛圧材とくに鋳鋼に関する実際データの報告されたものは少い。

著者は最近東亜燃料工業 K. K. のハイドロフォーマー・プラントの新設に当つて、加熱炉、バルブ、フランジ等の各種高温耐油部品に、数種のメーカーによるこれら鍛鋼および鋳鋼試料を試験する機会を得たので、ここにその試験データを統計的に集録し、現在の本邦の該鋼種に関する技術水準を判定するための参考資料を得るとともに、化学工業関係その他の使用上の考参とすることを目的とした。

### II. 試料及び試験方法

供試材としては、C-Mo, 1~2 1/4 Cr-1/2 Mo, 5Cr-1/2 Mo 鋼のほか、比較材として低炭素鋼, Cr-Mo-V 鋼, Ni-Cr-Mo 鋼等を用いた。これら鍛鋼および鋳鋼は何れも本邦の主要メーカーより提供された一定の試験片より試料を採取したもので、供試数は約 40 チャージ、

試験片約 300 本で、このうち約半数は 5Cr-Mo 鋼である。

これらについてそれぞれ下記の試験を行った。

常温機械試験

短時間熱間引張試験

熱間硬度試験

熱間衝撃試験

顕微鏡試験

このうち、熱間引張試験は試験機にとくに設計した加熱装置を附したものを使用した。衝撃試験は予熱した試片を常温の試験機にかけて試験した。なお硬度は試片の冷却を防ぐためショア硬度計を改造して試験した。

### III. 試験結果

試験結果は個々のデータを各試料について表示し、鍛鋼および鋳鋼に別けて常温より高温にいたる測定値の平均および範囲を明示し、これより化学成分、熱処理、顕微鏡組織との関係、メーカーによる差異等を判定した。

試験結果のうち、代表的な C-Mo- および 5Cr-Mo 鋼について要約すれば下記の如くである。

#### (1) C-Mo 鋼

鍛鋼試料の化学成分は、C 0.12~0.17, Mo 0.45~0.65% の範囲にあり、鋳鋼の試料のそれは C 0.18~0.22, Mo 0.45~0.60% である。熱処理は拡散焼鈍後焼準又は焼準-焼戻を行った。

常温の機械的性質の範囲は抗張力  $\sigma_B$  50~60 kg/mm<sup>2</sup>, 降伏点  $\sigma_s$  27~40 kg/mm<sup>2</sup> の範囲にあり、鋳鋼は主としてC量の低いためこれらの下限に分布している。とくに鋳鋼試料の伸び  $\delta$  および絞り  $\psi$  の値は溶解条件によつてかなり拡がり、とくに  $\psi$  および衝撃値  $K_b$  は広い範囲に涉つている。(  $\psi$  40~75%,  $K_b$  5~30 kg·m/cm<sup>2</sup> )。

高温性質として 400°C までの強度の低下も溶解条件その他によつてかなり異なることが知られた。いま 400°C のデータを例示すれば下記の如くである

	$\sigma_B$	$\delta$	$K_b$
鍛 鋼	47~60	21~25	12~14
鋳 鋼	48~55	19~26	6~12

さらに以上の結果を文献の値と比較し、とくに鋳鋼試料について材質的差異を判定するため  $\sigma_B$ - $\delta$  の関係、あるいは熱処理、顕微鏡組織との関係を検討した。

#### (2) 5Cr-Mo 鋼

鍛鋼: 供試材の化学成分範囲は C 0.11~0.20, Cr 4.9~6.2, Mo 0.4~0.6% である。熱処理条件は 870~950°C 空冷, 630~700°C 焼戻である。いま化学成分に

よる関係を無視し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。

	$\sigma_S$	$\sigma_B$	$\delta$	$\psi$	$K_b$	$H_s$
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。

	$\sigma_S$	$\sigma_B$	$\delta$	$\psi$	$K_b$	$H_s$
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  $\sigma_B$ - $\delta$ , 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

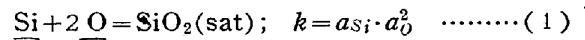
(Thermodynamical Consideration on the Deoxidation Limit of Cr-Steel with Silicon)

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  $a_{\text{Si}}$  および  $a_{\text{O}}$  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<sup>1)</sup>。

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

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

ここに  $f'_{\text{Si}}$ ,  $f_0'$  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、 $f_{\text{Si}}^0$ ,  $f_{\text{Si}}^{\text{Cr}}$  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、 $f_0^{\text{Si}}$ ,  $f_0^{\text{Cr}}$  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 & Chipman<sup>2)</sup> により

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

なる関係が与えられている。(2) および (3) 式中の  $f'_{\text{Si}}$ ,  $f_{\text{Si}}^0$ ,  $f_0^{\text{Si}}$  については後述するように若干の疑問はあるが Gokcen & Chipman<sup>2)</sup> の実験結果を使用する。 $f_0'$  については Daskur & Chipman<sup>3)</sup> 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。 $f_0^{\text{Cr}}$  については、Chen & Chipman<sup>4)</sup>, Turkdogan<sup>5)</sup> および Hilty, Forgeng & Folkman<sup>6)</sup> 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 & Crafts<sup>7)</sup> 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