

元素の分析試料とした)

分析方法—Al: 湿式分析

C, Si, Mn, P, S: カントバック分析

(ハ) 地 疵: 試験鋼塊一鑄込み順, 5 本目, 15 本目計 2 本

試験片採取位置—各試験鋼塊の頭部, 中央部, 低部のそれぞれ 1 本

鋼塊寸法—120mm φ

試験方法—旧 JISGO 556 法に準ずる 4 段階地疵試験方法

III. 調査結果および考察

(1) 地疵分布函数

地疵を表わす最も一般的な表現は地疵長さとおよび個数であるが, その間にどのような関係があるかを調べた。測定された地疵をある長さの区間で分類し, その区間に入る地疵個数をその区間の巾で割り, その値 (y) をその区間の中央値 (x) の値に対しプロットすると Fig. 1 のような関係が得られた。x および y はそれぞれ長さおよび個数の指数を用いた。横軸は \sqrt{x} を用い縦軸は $\log y$ を用いているので, 地疵分布函数は次のように示される。

$$y = Ae^{-B\sqrt{x}} \dots\dots\dots (1)$$

ただし A および B は x には無関係な定数。

(1) 式は地疵分布の密度函数であり, この式を解くことにより (イ) 地疵総個数 (n), (ロ) 地疵総長さ (l), (ハ) 地疵長さ a を越える巨大地疵が表われる数 (n_a) 等の重要な問題が A および B の値のみにより求めることができる。

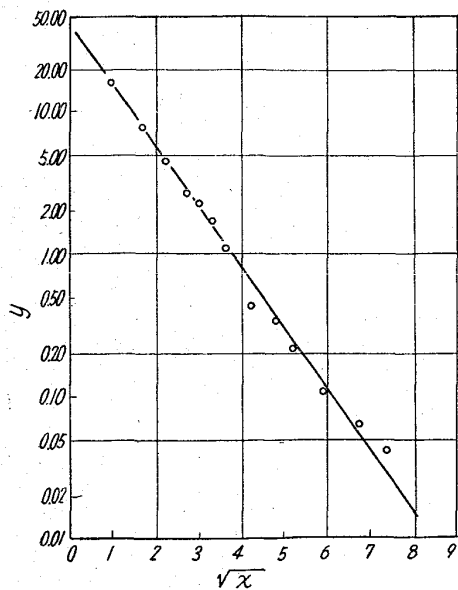
(イ) 地疵総個数 (n)

地疵個数は式 (1) から式 (2) のように示される。

$$dN = Ae^{-B\sqrt{x}} dx \dots\dots\dots (2)$$

したがって式 (2) について x=0 から x=∞ まで積分することにより総個数 n は求められる。

$$n = 2A/B^2 \dots\dots\dots (3)$$



x = length of sand seam (index)
y = number of sand seam (index)
Fig. 1. Distribution of sand seam.

(ロ) 地疵総長さ (l)

地疵総長さは式 (1) より導びかれる式 (4) により求めることができる。

$$dl = Axe^{-B\sqrt{x}} dx \dots\dots\dots (4)$$

式 (4) を x=0 から x=∞ まで積分すると地疵総長さ (l) は式 (5) のように求まる。

$$l = 12A/B^3 \dots\dots\dots (5)$$

(ハ) 地疵長さ a を越える巨大地疵の個数 (n_a)

長さ a を越える地疵の数は式 (2) を x=a から x=∞ まで積分することにより求めることができる。

$$n_a = (2A/B^2)e^{-B\sqrt{a}}(\sqrt{a}B + 1) \dots\dots\dots (6)$$

以上地疵の最も重要な問題点である 3 つの点について地疵分布函数の A および B の定数さえ定まればすべて計算により求められることを示した。したがって A および B の定数がいかなる意味の値であり, また製鋼要因といかなる関係があるかを知ることができれば, 製鋼要因を事前に制御することにより, 地疵の全ての因子を制御することができるようになる。

(2) 分布函数の A および B と製鋼要因について

Fig. 1 から分るように A は x=0 の y の値を示している。したがって A の大小は微小地疵の個数の大小であり, さらに微小地疵の個数は地疵総個数の大半を占めているので, 地疵総個数の大小と深い関係を持つ。したがって A は介在物の量と最も深い関係があると考えられたので取鍋下試料のサンド量との関係を調べた。A は地疵総長さ (l) と地疵総個数 (n) を用いて式 (3), (5) より導かれる式 (7) により求めることができる。

$$A = 3n^2/l \dots\dots\dots (7)$$

式 (7) を用いて各溶解の地疵総個数および地疵総長さより A を求め, その値とその溶解の取鍋下試料のサンド量 (Al₂O₃ と SiO₂ のそれぞれの酸素の和を使用) との関係調べた結果 Fig. 2 のように両対数グラフで直線的に示された。

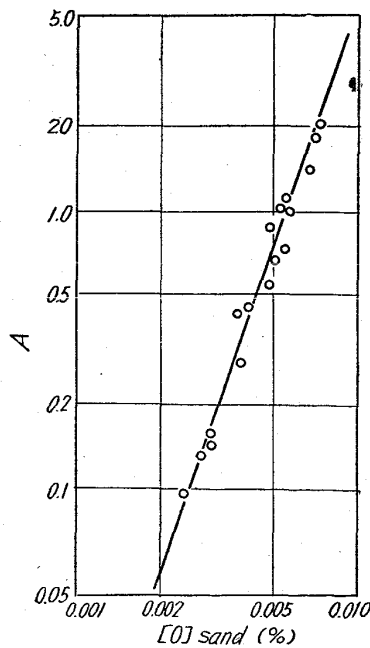


Fig. 2. Relation between [O] sand and A.

また鍋下サンドと鍋下酸素との間にも関係があるので A は鍋下酸素とも, Fig. 2 と同様な関係があつた。Fig. 2 から A とサンド量 ([O]_{sand}) との式を求めると,

$$A = 5.35 \times 10^6 \times [O]_{\text{sand}}^3 \dots\dots\dots (8)$$

ここで 5.35×10^7 の値は地疵の長さおよび個数の指数のとり方により異なる。

B は Fig. 1 から分るように地疵の大きさの分布状態を示す値で,

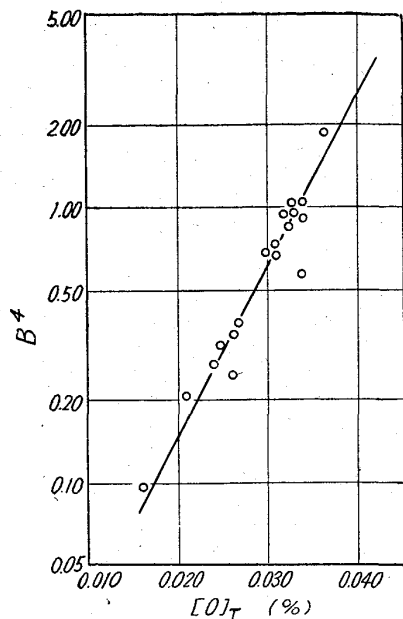


Fig. 3. Relation between $[O]_T$ and B^4 .

Fig. 1 の直線の勾配を表わしている。したがって大きな地疵になりやすいか否かを B は示しており、これは介在物の組成と最も強い関係があると思われる。この関係については X 線マイクロアナライザーおよび顕微鏡試験からも定性的に認められた。ここで介在物組成は添加脱酸剤の量が一定であるから脱酸前の酸素量によって決められると考えられるので、 B と出鋼前酸素 $[O]_T$ との関係を探った。 B は A と同様に各溶解について式(3)、(5) より求められる式 (9) により求めた。

$$B^4 = 36n^2/l^2 \dots\dots\dots (9)$$

Fig. 3 の横軸には出鋼前酸素 $[O]_T$ を用い、縦軸には $\log B^4$ を用いて示してある。ここで B を用いず B^4 を用いたのは地疵総長さを求める際に 4 乗することにより誤差が大きくなるようにするためである。

Fig. 3 より B^4 と $[O]_T$ との式を求めると次式のようになる。

$$B^4 = 0.0085e^{148[O]_T} \dots\dots\dots (10)$$

この式から分ることは $[O]_T$ が小さくなると B は小さくなり、大きな地疵の出現率が高くなることを示していると考えられる。すなはち Al_2O_3 に富むと地疵は巨大化するという結果となる。試験の範囲では大きな地疵が現われるのは底部の中心部であり、その地疵を顕微鏡で見ると地疵は大きな Al_2O_3 が点々と連らなっているものであり、1つ1つの介在物は X 線マイクロアナライザーで分析した結果 Al_2O_3 であることも明確となった。したがって $[O]_T$ を低くし Al_2O_3 に富みすぎた介在物にすると沈澱晶の生成機構により²⁾ 選択的に介在物が集積し、大型の地疵として現われることも考えられる。しかしこの理論的説明にはさらに多くの資料も必要とし今後の問題とした。

$[O]_T$ の他に B は SolAl と関係があり、SolAl が大きいほど B は小さくなった。

以上 A および B を $[O]_{sand}$ および $[O]_T$ により求められることがわかった。すなはち地疵を少なくするには $[O]_{sand}$ をできる限り少なくすればよいことがわかる。

$[O]_{sand}$ は $[O]_T$ と不明瞭であるが関係がある。この関係を Fig. 4 に示す。これより出鋼前の酸素をできる限り下げればよいことがわかる。しかし脱酸剤 (特に Al) 添加量を一定にして $[O]_T$ を下げると B の値が小さくなり、式 (5) からわかる通りに地疵には悪い影響を示す。しかし B は恐らく介在物組成により決まる値と考えられるので出鋼前酸素を下げた場合には添加 Al を少なくし、介在物組成は B の値を下げないように調節すればよい。実際にはこの鋼種には SolAl の規格があり B はおのずと定まって来る。したがって地疵を減少するには SolAl を規格に入れるようにしながら出鋼酸素をできるだけ低下させてゆけばよいことになる。この酸素を何パーセントまで下げればよいかと云うことは地疵総長さと許される地疵の大きさにより決まる。すなはち地疵総長さを L 以下、 a を越える大きな地疵の個数を N 以下にしようとするれば、式 (5) と式 (6) に $l < L$ および $n_a < N$ を条件としてつけ、同時に両不等式を満足する A を求め、Fig. 4 を利用して出鋼酸素をいくらまで下げればよいかを求めればよい。

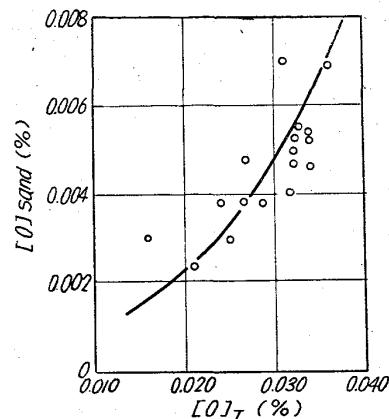


Fig. 4. Relation between $[O]_T$ and $[O]_{sand}$.

以上求めた式がどの程度の精度で地疵総長さを推定できるか否かを調べた結果 Fig. 5 のようになった。横軸は出鋼前酸素とサンド量より計算して求めた地疵総長さで、縦軸は実測値である。

IV. 結 言

- (1) 地疵分布函数を求めた。

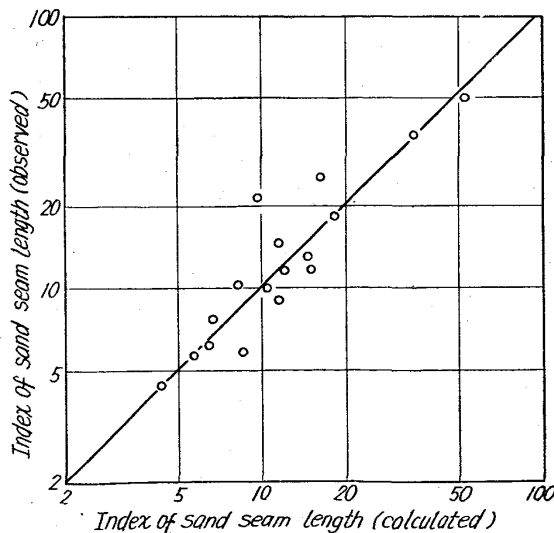


Fig. 5. Comparison between calculated and observed sand seam length (index)

(2) 分布函数を構成する因子 A および B を求めることにより地疵の特性は計算できることがわかった。

(3) A および B は製鋼要因から求められることがわかった。(ただし造塊条件は一定のものとしている。)

(4) 以上から希望する地疵の良鋼を得るためには出鋼前の酸素をいくりにすべきかも計算で求められることがわかった。

文 献

- 1) 大久保, 榎井: 鉄と鋼, 50 (1964), 3, p. 480~482
- 2) P. H. SALMON COX and J. A. CHARLES: J. Iron & Steel Inst. (U. K), (1963) Oct. p. 863~872

(121) 低 C-Cr-Mo 鋼の鋼塊内部に現出する網状硫化物の生成に関する実験

三菱製鋼, 長崎製鋼所

田代晃一・荒木良平・轟木 透

Study on the Formation of Sulphide Networks at the Center Zone of Low C-Cr-Mo Steel Ingots. pp.1854~1857

Koichi TASHIRO, Ryōhei ARAKI and Tōru TODOROKI.

I. 緒 言

高温高圧用の低 C-Cr-Mo 鋼の鍛造用鋼塊において、熱間強度の点から Al その他の強い脱酸剤を使用せず、しかも S 含量も低いにもかかわらず、鋼塊内部にかなり著しい網状硫化物が発生し、もし鍛造の際加工方法が不具合であると、これらを起点とした亀裂状欠陥が製品に残留することが確かめられた。一般に網状硫化物の生成は粒度調整を目的として Al を添加する場合などに認められる現象で、その主因は Al などの強い脱酸剤により、溶鋼の酸素含有量が減少し、これに伴ない S の溶解度が増大することによるものと説明されている。しかし一般の中炭素キルド鋼では、Al 添加を行わない場合は炭素鋼、低合金鋼を問はずほとんどこの現象が認められない。したがってこの低 C-Cr-Mo 鋼の網状硫化物

の生成原因について、1, 2 の実験を行ない、その原因を確かめてみた。

II. 実験方法

一般に鍛造品として溶製される鋼種は、中炭素の炭素鋼および低合金鋼が大多数を占め、かかる鋼種は少なくとも凝固時に包晶反応を有するか、あるいはさらに高炭素となるとオーステナイト (γ 晶) のみで凝固を終る範囲に属するものである。一方問題の高温高圧用 Cr-Mo 鋼は、例えば Table 1 No. 7 に示すように、比較的低碳素の鋼種に属するとともに Cr, Mo いずれもフェライト (α 晶, δ 晶) の安定元素であり、凝固時の δ 晶領域が広がる鋼種に属する。したがってこれらの凝固様式の相違が鋼塊内部の網状硫化物生成と関連があるのではないかと推測されたので、まず C-鋼により 30kVA 高周波炉で 6kg の小型 C-鋼塊を溶製し予備試験を行なった結果、低 C-鋼 (C=0.08%) においてかなり著しい網状組織が認められたが、中 C-鋼では C 含有量が高くなるとこれが消失することを確認した。したがって本実験として 120kVA 高周波炉により溶解を行ない、これを 120kg の菊型鋼塊に造塊した試料についてさらに実験を行なった。供試鋼塊の溶製成分を Table 1 に示す。これらの成分により C-鋼および Cr-Mo 鋼について網状硫化物の生成と C 含有量との関係を調べるとともに、併せて一般に網状硫化物生成に大きな影響を持つといわれる Al を添加した場合の影響、および溶鋼の化学成分を同一とし、S 含有量のみを変化させた場合の網状組織の生成に対する影響を調査した。

供試鋼塊は横断面および縦断面について、ダイチェック、サルファープリント、マクロ腐食、ミクロ組織を調査し、さらに C-鋼の一部については中心部の偏析状況を調査した。

III. 実験結果

(1) 成分偏析

供試鋼塊中、No. 1 (低-C), No. 4 (高-S, 低-C) No. 5 (中-C), No. 6 (高-C) のそれぞれについて、鋼塊の成分偏析を調査したがほとんど偏析は認められず、この程度の大きさの鋼塊では、マクロ的な成分偏析はないと考えられ、したがって鋼塊内部の網状硫化物は偏析による中心部の S の富化に因るものではないことを

Table 1. Chemical composition of tested ingots.

King of Steel	Mark	Chemical composition (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
C-Steel	1	0.06	0.32	0.51	0.018	0.017	—	—	—
	2	0.08	0.17	0.51	0.012	0.023	—	—	0.012
	3a	0.09	0.46	0.45	0.010	0.024	—	—	0.046
	3b	0.10	0.28	0.65	0.009	0.014	—	—	0.155
	4	0.07	0.11	0.55	0.011	0.040	—	—	—
	6	0.18	0.23	0.48	0.014	0.012	—	—	—
CrMo Steel	7	0.42	0.26	0.57	0.014	0.013	—	—	—
	8	0.08	0.36	0.34	0.013	0.012	2.90	1.06	—
	9	0.08	0.36	0.35	0.012	0.012	2.77	1.06	0.015
	10	0.17	0.27	0.47	0.015	0.022	2.04	0.96	—
		0.28	0.21	0.53	0.014	0.016	2.00	1.04	—