

$$\left. \frac{A \exp(-nA/H)}{H} E_i(Y_n) \right\} \dots\dots\dots (13)$$

ここで $y_n = nA/h_s$, $Y_n = nA(h_s^{-1} - H^{-1})$, さらに $E_i(y)$ は積分指数関数である。これより (5) 式に対応して次式を得る。

$$\ln \frac{C_x^s}{C_x^L(0)} = \ln \frac{B}{B + \exp(-A/h_s)} - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{-1}{B} \right)^n \left\{ E_i(y_n) - \frac{A \exp(-nA/H)}{H} E_i(Y_n) \right\} \dots\dots\dots (14)$$

これが凝固速度が変化する場合の濃度分布を与える式である。

V. 溶質間相互作用の影響

次に溶質の濃度が増加して相関効果が現われる場合を考える。最も直接に影響のあるのは K_x^* である。すなわち熱力学的計算を行なうと

$$K_x^* = K_{x0}^* (1 + a_2 C_x^L + \frac{(a_2 C_x^L)^2}{2} + \dots\dots) \dots (15)$$

と書ける。ここで K_{x0}^* は HENRY の法則の成立する範囲での平衡分配係数、 a_2 はそのずれを示す定数である。 a_2 の一次項までを考慮した (15) 式を基本方程式 (4) に入れ、 C_x^s を求めると次式のように計算できる。

$$C_x^s = \frac{1}{4K_{x0}^* a_2} \left[K_{x0}^* + \frac{2K_{x0}^* a_2 (1 - K_{x0}^*)}{a_2 K_{x0}^* \{1 - g(h_s/H)\} - y} \left(1 - \frac{h_s}{H} \right) K_x^* - 1 \right] \dots\dots\dots (16)$$

ただし $y \equiv (K_{x0}^* a_2 C_x^L(0) + K_{x0}^* - 1) / C_x^L(0)$ これは溶質間の相関によつて HENRY の法則からはずれる場合の濃度分布を与える式である。

ここで新たに得られた式 (14) および (16) 式についての具体的な計算例を Fig. 1, 2 に示す。(14)式では、DUFLOT と RICHARD⁴⁾ の実測結果より $a^2 = 0.1 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ とし、また $\sigma/D_x = 10^3 \text{ cm}^2 \text{ s}$, $H = 50 \text{ cm}$ として $K_x^* = 0.5$ および 2.0 の二つの場合について計算した。また (16) 式の計算例では Fe-C 2 元系の炭素の活量

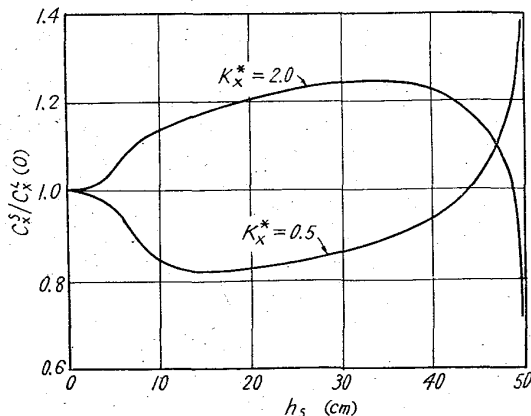


Fig. 1. Solute distribution after natural freezing. (calculated using eq. (14); where $H=50\text{cm}$ and $A=10\text{cm}$ are adopted)

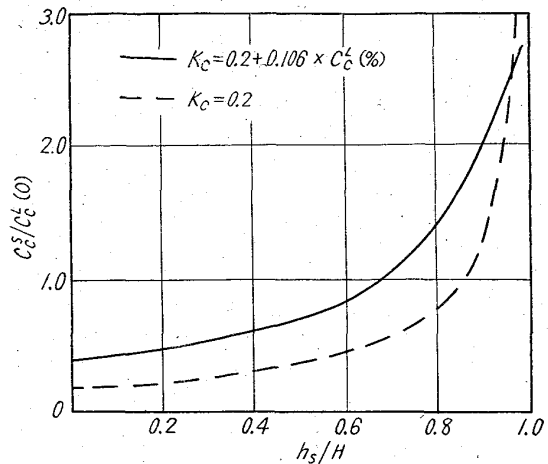


Fig. 2. Carbon distribution after freezing at a constant rate. (Solid curve is obtained from Eq. (16) and dashed curve, from Eq. (5))

に対する RIST と CHIPMAN⁵⁾ の測定結果を用いて、 $a_2 \cong 0.53$, また FISCHER, et al⁶⁾ の編集値より $K_{x0}^* = 0.2$ として計算してある。

文 献

- 1) PFANN, G. W.: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 194 (1952) p. 747
- 2) BURTON, J. A., PRIM, R. C., and SLICHTER, W. P.: J. Chem. Phys. 21 (1953), p. 1987
- 3) LIGHTFOOT, N. H. M.: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 119, (1929), p. 364
- 4) DUFLOT, J. and RICHARD, A.: Rev. mét, 51 (1953), p. 523
- 5) RIST, A. and CHIPMAN, J.: "Physical Chemistry of Steelmaking", John Wiley and Sons, Inc., New York (1956)
- 6) FISCHER, A. W., SPITZER, H. and HISHINUMA, M.: Archiv. Eisenhüttenwesen, 31 (1960), p. 365

669,14-412:621,746,628:620,192
(91) 凝固速度と偏析との関係について、43
の予備的実験結果 6309/

(鋼塊の凝固に関する研究-I)
日本製鋼所室蘭製作所 459~461
前川静弥・中川義隆・百瀬昭次

Results of Preliminary Experiments on the Relation between Solidifying Rate and Segregation.

Dr. Shizuya MAEKAWA,
Dr. Yoshitaka NAKAGAWA and Akitsugu MOMOSE.

I. 緒 言

鋼塊が大型になると凝固速度が著しく遅くなるので凝固過程中残存溶鋼に溶質原子の濃化が著しく進行し鋼塊内部に偏析を生ずる。この濃化現象はいわゆる単なる偏析のみならずその条件のいかんによつては介在物を生成

せしめることが認められている。従つて凝固状況と濃化の問題は健全鋼塊の製造上きわめて重要な問題の一つとなつている。

鋼塊や大型鋳物において偏析および偏析に起因する欠陥を防止するため攪拌凝固法、遠心鋳造法などの特殊な方法を考案したが、最も古く考えられた方法は凝固速度を調整することである。このように特殊な方法について検討を加えることも必要であるが、根本的問題点の一つとして凝固速度と偏析との関係を明らかにしこれを把握することが必要と考える。さいわいこの問題については理論的にかなり詳細に検討されているので、実験上の諸点を考慮して多数の実験データが得られれば問題の解決にかなり役立つものと思われる。

本研究は溶鋼の主要成分について先づ Fe との 2 成分系の偏析と凝固速度との関係を明らかにする目的で行なつた。

その中、本報告では Fe-S, Fe-P 系について行なつた実験結果について述べる。

II. 実験方法

(1) 要旨

実験は Fig. 1 に示すごとく装置により、坩堝内の溶鋼を高周波コイルを上昇させることにより底部より凝固速度と残存溶鋼中えの溶質成分の濃化状況を調べた。

(2) 装置の細部

- i) 高周波炉………10kV, 400kC, 真空管式
- ii) 使用坩堝………径 30mm, 高さ 150mm, アルミナ製
- iii) 溶解材料………母材, 電解鉄, 附加剤, Fe-S, Fe-P,
- iv) 高周波コイル昇降装置
0.2~1.0mm/mnの範囲で調整作動可能
- v) 温度計………光高温計, Pt-Pt-Rh 熱電対で補正

(3) 実験順序

電解鉄 500g をアルゴン気流中で溶解後、1550~1590°C で 40mn 間水素ガスを通じ、脱酸を行う。Fe-S 0.85g (0.05% S) または Fe-P 2.2g (0.1% P) をそれぞれ添加後均一に攪拌する。次に高周波コイルを種々の速度で上昇せしめ坩堝の底部より溶鋼を種々の速度で凝固せしめる。

10mn 間隔で径 3mm の不透明石英管で溶鋼表面より約 20mm 以下の位置より約 2g の溶鋼試料を採取しついで同様の石英管を用いて凝固位置を測定する。なお

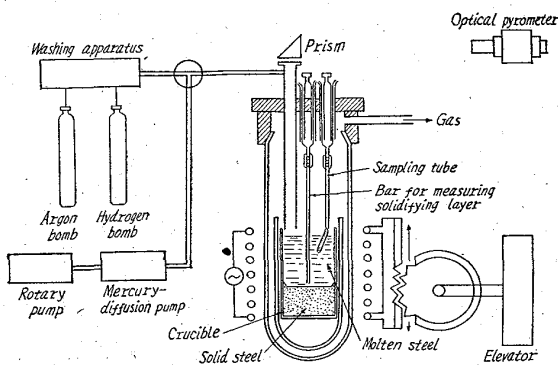


Fig. 1. Experimental apparatus.

溶鋼の温度は光高温計により表面温度を 1590°C に保持した。このため凝固進行にともない温度勾配が大になり実験上の支障となるので、その影響が少ないと思われる全体の約 1/3 のところまで凝固が進行した際にそのまま冷却し実験を打切つた。

一方凝固後の試料は得られた鋼塊を縦断しサルファブリントと凝固位置の測定結果を参考にして、位置を決定し採取した。

III. 実験結果ならびに考察

実験から溶鋼中の溶質成分 C_X^S , 固体鋼中の溶質成分 C_X^L , 凝固速度 U の値が得られるので溶質の濃化の割合を示めず実効分配係数 $K_X = C_X^S / C_X^L$ と U との関係が得られる。Fig. 2 および 3 は sulphur の実効分配係数 K_S と U , phosphorus の実効分配係数 K_P と U との関係をプロットしたものである。図中の各点は本実験で実際に測定された値であり、また実曲線は後述する (1) 式にもとづきこれらの点が収まるとと思われる範囲を破曲線は FISCHER らにより得られた結果をそれぞれ示している。実験結果はいづれもバラツキているので本結果から K_X-U 曲線を求めることは困難であつた。従つてほぼどんな範囲に収まっているかを調べた。一般に HENRY の法則に従う稀薄溶液においては平衡分配係数 K_X^* は一定とされており、sulphur, phosphorus についてはおおよそそれぞれ 0.05 および 0.15 が得られている。以下本実験結果もこの条件を満足するものとして処理した。

凝固速度が有限の場合には濃化は不平衡で進行し実効分配係数 K_X は K_X^* からずれて凝固速度の函数として次のような関係式⁹⁾で表示される。

$$K_X = \frac{K_X^*}{K_X^* + (1 - K_X^*)e^{-u\sigma/D_X}} \dots\dots(1)$$

ここでは拡散層の厚さ、 D_X は溶質原子の拡散速度をそれぞれ示す。いま sulphur の平衡分配係数を $K_S^* =$

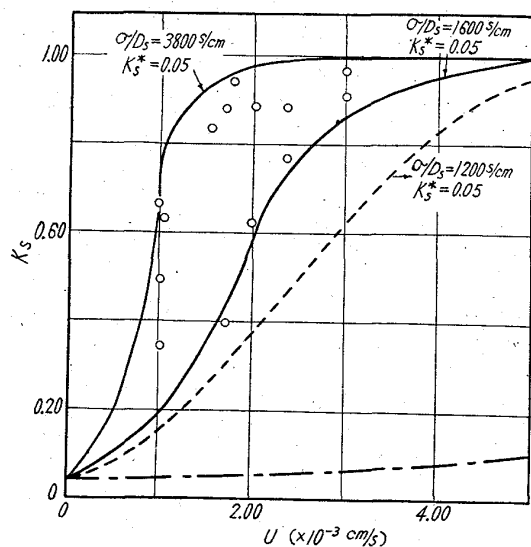


Fig. 2. Relation between the distribution coefficient of sulphur and solidifying rate.

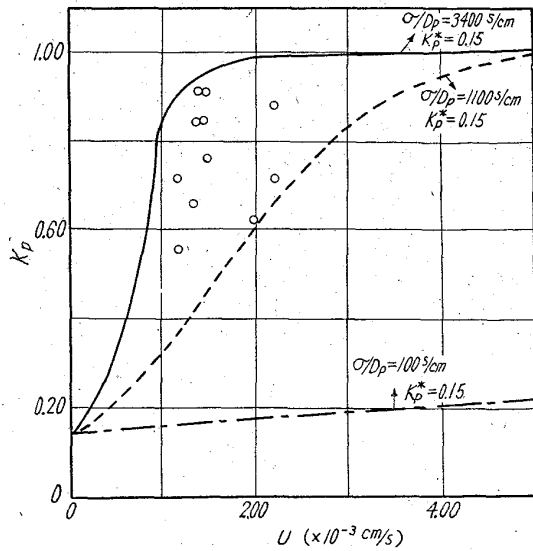
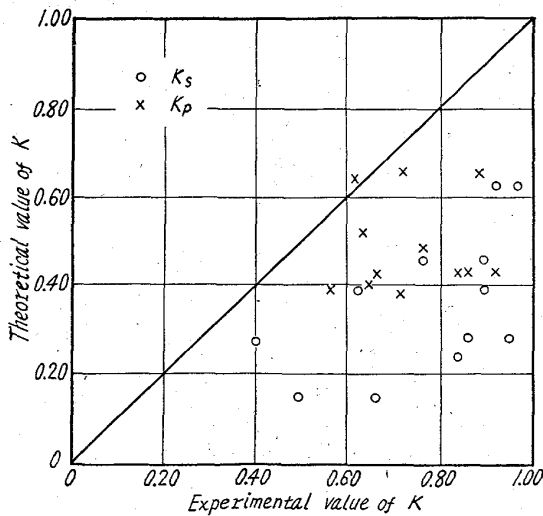


Fig. 3. Relation between the distribution coefficient of phosphorus and solidifying rate.

0.05 とし (1) 式を使用し本実験結果の範囲を調べてみると Fig. 2 に示されるように $\sigma/D_S=1600$ s/cm, $\sigma/D_S=3800$ s/cm としたときの 2 曲線の間に乗っていることが判る。これは FISCHER らにより求められた $\sigma/D_S=1200$ s/cm としたときの曲線よりいずれも高くなっている。一方 phosphorus の場合には平衡分配係数を $K_P^*=0.15$ とし (1) 式から同様に求めてみると本実験値は Fig. 3 に示されるように FISCHER らにより求められた $\sigma/D_P=1100$ s/cm としたときの曲線と $\sigma/D_P=3400$ としたときの曲線の間に乗っていることが判る。従つて本実験結果から Fe-S, Fe-P 系における偏析を防止するための凝固速度を推定すると sulphur, phosphorus いずれの場合も $U=1.8$ mm/mn 以上で凝固させることが必要と思われる。また σ/D_S , σ/D_P の値は本実験および FISCHER らの結果からいずれも



(When sulphur $K_S^*=0.05$ $\sigma/D_S=1200$ s/cm)
" phosphorus $K_P^*=0.15$ $\sigma/D_P=1100$ s/cm)

Fig. 4. Comparison between experimental value and theoretical value of K.

10^3 のオーダーと思われる。

次に $\sigma/D_S=1200$ s/cm (FISCHER らの値)¹⁾, $K_S^*=0.05$ および $\sigma/D_P=1100$ s/cm (FISCHER らの値)¹⁾ $K_P^*=0.15$ をそれぞれ (1) 式へ代入して得た K_S および K_P の値と本実験結果との比較を Fig. 4 に示す。

Sulphur, phosphorus いずれの場合も実験値の方が高くなっているが、これは K_X の値が拡散層 σ の値に著しく依存しているため実験時の攪拌条件の差異が大きく影響しているものと思われる。

IV. 結 言

Fe-S, Fe-P 各 2 元系について凝固過程における sulphur phosphorus の偏析が凝固速度とどんな関係にあるかを調べた。その結果 Fig. 2 および Fig. 3 に示すごとく sulphur, phosphorus いずれの場合も偏析を防止するためにはこのような凝固状態では凝固速度を 1.8 mm/mn 以上で凝固させねばならぬことが示された。また実験結果から σ/D_S , σ/D_P の値を求めると、それぞれ $\sigma/D_S=1.6\sim 3.8 \times 10^3$ s/cm, $\sigma/D_P=1.1\sim 3.4 \times 10^3$ s/cm の範囲にあることが判つた。

(文献省略)

669, 14, 018, 24-41 2: 627
621, 746, 628: 620, 192, 43
(92) 軸受鋼の凝固速度と偏析の関係

について

(造塊の研究-I) 63092

日本特殊鋼

工博 沢 繁樹・西村富隆・○木村徳治

Relation between Solidification Rate and Segregation in Ball Bearing Steel.

(Study on the casting of ingots-I)

Dr. Shigeki SAWA, Tomitaka NISHIMURA, and Tokuji KIMURA.

I. 緒 言 461~463

鋼塊において成分偏析を生ぜしめる原因は多くあるが、その中で特に重大な因子は凝固速度と考えられる。一般に大型鋼塊になると凝固速度がいちじるしくおそくなるので、その凝固過程が複雑となり、成分的な偏析とか、不健全なマクロ組織が発生し易いことは周知のことである。したがって健全鋼塊を作るためには、凝固速度の問題は非常に重要な事柄と思われる。よつて本報告は、凝固速度と偏析および柱状晶生成との関係を明らかにする目的のために、軸受鋼のごとき比較的単純成分系の鋼について、簡単な装置を用いて実験したものである。

II. 実験方法

軸受鋼 (SUJ2) 約 3 kg を高周波誘導炉で溶製し、これを Fig. 1 のごとく堅型エレマ炉中で約 1500 °C に加熱したアルミナ坩堝中に出鋼した。しかる後、坩堝を支持しているギャー付き軸をベルトで無段変速電動機に連結し、これの回転によりエレマ炉中の坩堝の降下速度、従つて、凝固速度を加減して、種々の凝固速度の鋼塊 (45 mm ϕ \times 140 mm) を铸造した。これらの鋼塊を縦割りし一方の試料はその断面のマクロ組織により柱状晶の生成状況を、他方のものは、これから分析試料を採取し