

能が低い元素の場合には溶鋼中で核を形成し得ない。さらに logarithm-time と過飽和度との関係からも明らかなどく、低い過飽和度では logarithm-time は急激に大きくなる。したがってこの種の元素の核の生成は hetero-geneous nucleation によると考えるのが妥当である。

Al, Ti, Siは溶解過程で核の生成があるので無数の雲状介在物群を作り、Cr や Mn の場合には、巨大な小数の介在物となるものと考えられる。

本研究の場合、溶解過程ですでに多くの介在物がみられるが、これは先に認められた  $Al_2O_3$  系酸化物が核となり成長したものと考えられる。もしクロムの場合と同様な介在物生成過程であるならば、介在物中に多量の FeO を含有すべきであるが介在物中の一部にこの種のもので認められたが、大多数は Table 2 に示した濃度の介在物であった。Cr は溶鋼中で酸化クロムを生成し Mn は Fe-Mn 中へ Fe-O が入り高 Mn 濃度のところで酸化物が生成されたと考えられる。

### 5. 結 言

脱酸剤添加時における酸化物系介在物の生成を核生成理論に基づき考察を行なった。Si, Ti, Alなど脱酸能の強い元素は溶解してゆく過程で核を生成し成長する。したがってこの種の元素は脱酸初期において雲状介在物群を生成する。

また Cr や Mn のごとき低脱酸能の元素は溶解過程で核を生成し得ないので、ルツボ壁や脱酸剤との固液界面あるいは他の酸化物などへ凝集したりして介在物として成長すると考えられる。

### 文 献

- 1) 小島, 佐野: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 22
- 2) C. E. SIMS: Electric Furnace Steelmaking, 2, p. 133, Willy & Sons New York, 1962
- 3) 小島, 高橋, 坂尾, 佐野: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 286
- 4) 泉田: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 185
- 5) W. E. GARNER: Chemistry of the Solid State, p. 169, Butterworths Scientific Pub. London, 1955
- 6) W. D. KINGERY: J. Amer. Ceram. Soc., 37 (1954), p. 42

## (117) 地疵分布関数の定数 B におよぼす製鋼要因の影響

(低炭素キルド鋼の地疵に関する研究—Ⅵ)

日本鋼管, 技術研究所

大久保益太・〇榊井 明・細田 義郎

川崎製鉄所 榎 昌久

Influence of Steelmaking Factors on the Parameter B of Sand Seam Distribution Function.

(Studies on sand seam in low carbon killed steel—Ⅵ)

Masuta OHKUBO, Akira MASUI,

Yoshio HOSODA and Masahisa TATE.

### 1. 緒 言

管用低炭素鋼の地疵の成因について、すでに数報<sup>1)~5)</sup>にわたって報告してき、地疵の分布は  $dn/dx = A \exp(-B\sqrt{x})$  として表現できることがわかった。(ここで  $n$  は地疵個数、 $x$  は地疵長さを表わす。)さらに著者らは地疵分布関数を構成している A および B の因子が何によつて支配されているかを検討したところ、A は最終介在物の量によつて支配され、B はその介在物の組成によつて決定されることが推論できるような製鋼要因で関係づけられた。しかしそこまでの報告はあるがぎられた条件下の結果であつて、より一般的なものに完成させるには一層の検討を必要とした。

当報告では地疵の強度の因子を示す B について検討し B と製鋼要因との関係およびその理論的な解析をおこなひ報告する。

### 2. 調 査 要 領

調査要領は前報<sup>5)</sup>と同様であるので省略する。

### 3. B におよぼす取鍋脱酸剤の影響

前報<sup>5)</sup>では取鍋脱酸剤を一定とした試験結果について報告した。したがって介在物組成を支配するものは出鋼酸素のみであると考えられ、B と出鋼酸素との関係を調べ、その間に精度のよい関係を得た。しかし取鍋脱酸剤を変動させると、介在物組成は出鋼酸素と取鍋脱酸剤との相互的な関係によつて決められ、B は出鋼酸素と取鍋脱酸剤の函数として与えられると考えられる。ここで対象としている低炭素キルド鋼の脱酸剤として、最も強く介在物組成を支配しているものは Al であり、他の元素で介在物組成を大巾に変動させるほど大きく変えることは、他の問題から不可能である。したがってここでは脱酸剤としては Al を代表因子として考え、他の成分は補正項として扱うことにする。介在物組成と脱酸前酸素量および Al 量との関係は前報<sup>5)</sup>で報告した通りによい関係が成立し、介在物組成は  $[O]_{Tap}/[Al]$  の函数で表わされることがわかっているので、B は次のように表わされると考えられる。

$$\ln(B^4) = \beta_0 + \beta_1[O]_{Tap}/[Al] + \beta_2[Mn] + \beta_3[Si] \quad \dots\dots\dots(1)$$

ただし  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  は定数

(1)式の各定数  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3$  を約50チャージのデータより、重回帰によつて決定したところ、この式は F 検定により 95% の信頼度をもつて表わされ、寄与率は

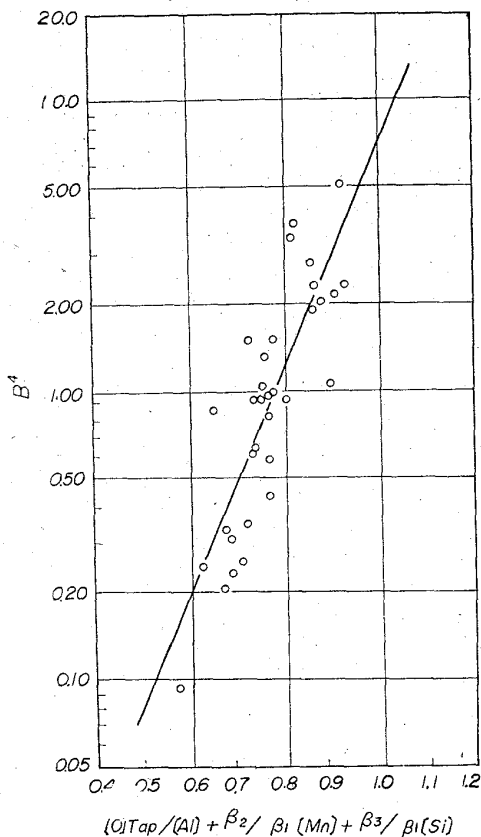


Fig. 1. Relation between B and steelmaking factors.

約 70% であつてかなり高いものが得られた。式(1)で得られる製鋼要因と B との関係は Fig. 1 に示す通りである。

ここで [Al] としては添加量 (%) を用いているが、介在物組成に作用する Al は有効に働いた Al である。したがつて、投入された Al の機械的歩留が不安定であれば、Fig. 1 のような良い関係は得られなくなる。

4. B と介在物組成との関係

介在物の組成をどのようにして表わすかという点についてはいろいろと問題となるところであろうが、地疵に最も関係深い表示は  $[O]_{Al_2O_3}/[O]_{Tot}$  であることが前報<sup>3)</sup>からも推定される。 $([O]_{Al_2O_3})$  は介在物の  $Al_2O_3$  より求めた酸素量、 $[O]_{Tot}$  は全介在物量より求めた酸素量。他方 B は  $(\beta_0 + \beta_1 [O]_{Tap}/[Al] + \beta_2 [Mn] + \beta_3 [Si])$  と関係づけられるので、 $[O]_{Al_2O_3}/[O]_{Tot}$  も同じ函数で関係づけられるはずである。しかし(1)式に用いた Al 量は現場操業に便利なように、投入 Al 量を用いているが実際に介在物に作用する Al は有効に添加された Al 量で表わさねばならない。そのためには添加された Al の機械的歩留を求めねばならないことになる。

ここで機械的歩留を  $\alpha$  とすれば、 $\alpha$  は次式

$$[Sol Al] = [Al] \times \alpha - (54/48) \quad [O]_{Al_2O_3}/[O]_{Tot} [O]_{Tap} \dots\dots\dots (2)$$

で求めることができる。ここで [Al] は添加 Al 量 (%) を示し、 $[O]_{Tap}$  は出鋼酸素量 (%) を表わす。

この式を用いて  $\alpha$  を求めると、著者らのおこなつた試験では、 $\alpha$  はほぼ一定値として求められた。すなわち著者らの行なつた試験の  $\alpha$  はほぼ一定であつたために、有

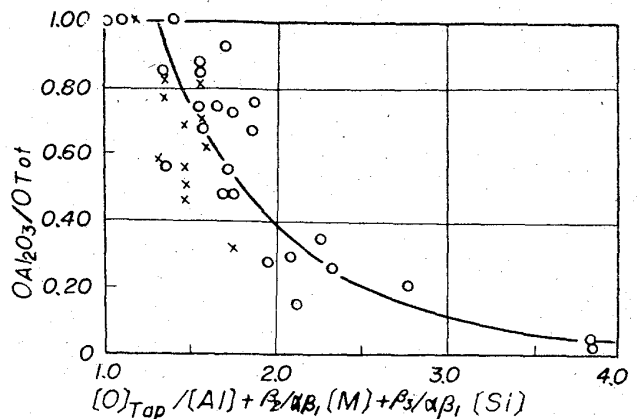


Fig. 2. Relation between inclusion composition and steelmaking factors.

効に働いた Al の代りに、添加 Al 量を用いても、B との関係は Fig. 1 にみるようにならぬ精度のものとなつた。 $\alpha$  を用いて(1)式を書きかえると、

$$\ln(B^4) = \beta_0 + \alpha\beta_1 \left( [O]_{Tap}/[Al] + \frac{\beta_2}{\alpha\beta_1} [Mn] + \frac{\beta_3}{\alpha\beta_1} [Si] \right) \dots\dots\dots (3)$$

として表わされる。ここで(3)式の右辺と  $([O]_{Al_2O_3}/[O]_{Tot})$  との関係がわかれば、B と介在物組成との関係はわかつたことになる。前報<sup>3)</sup>で使用した 50kg 高周波炉による実験データと今回の試験データとをまとめて上記の関係を求めると Fig. 2 のように示される。○印は 50kg 高周波炉の結果を示し、×印は今回の試験データを示す。Fig. 1 に用いたデータ数より Fig. 2 のデータ数が少ないのは、介在物の組成分析まで行なつたチャージが少なかつたからである。

5. B についての考察

B は地疵の強度的な因子であつて、下記に示す通り、長さ  $x$  の地疵が発生する確率を表わす。

$$(長さ x の地疵の表われる確率) = 1/2B^2 x \cdot \exp(-B\sqrt{x}) \dots\dots\dots (4)$$

すなわち大きな地疵が多いか、小さな地疵が多いかは全く B の値によつてのみ決定されてしまう。他方、地疵が大きく成長するか否かは、介在物が鋼塊の一カ所へ集合してくるか否かによつて決まる。もしも、大きな地疵が 1 つの介在物の圧延によつてでき上つたものだとすると、最初に存在していた介在物の半径は、著者らの採取したサンプル内には存在していなかつたような大きなものでなければならぬ。また、大きな地疵を顕微鏡で観察してみると、Photo. 1 のように小さな介在物の集団で成り立っていることがわかる。したがつて大きな地疵が発生しやすくなつているか否かは、1カ所へ介在物が集合しやすくなつているか否かであるといえよう。すなわち、B が小さくなると、介在物は 1カ所へ集合する度合が高まり、逆に大きくなると集合性がなくなるものと考えられる。

他方大きな地疵の発生するような溶解、すなわち B の小さな溶解の地疵発生位置は鋼塊底部の中心へ集中する傾向があり、小さな地疵が多く発生するような B の大き

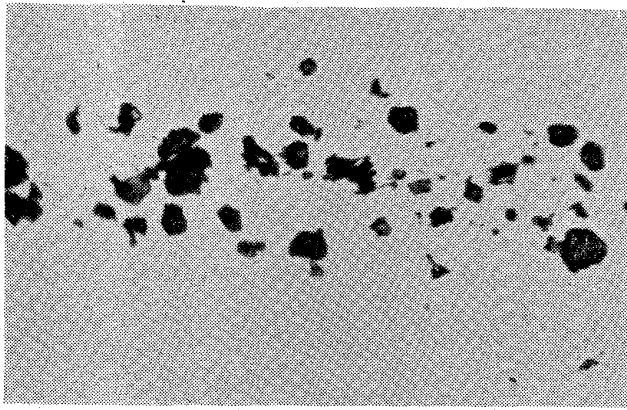


Photo. 1. Sand seam. x450

な溶解では鋼塊底部の中心は清浄で、むしろ鋼塊頭部の表層で多くの地疵が発生する。

以上の事実から地疵生成のメカニズムを考察すると、次のような考え方が成り立つ。Bが小さくなるとFig. 1およびFig. 2でわかる通りAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>に富んだ介在物となる。この場合、大きな地疵が鋼塊底部へ特に集中し、鋼塊頭部側はすこぶる清浄なものとなる。このような現象がなぜ起こるかをP. H. SALMON COX<sup>6)</sup>の報告を参考にして考えてみると次のようになる。鋼塊の凝固が進み柱状晶の発達が停止すると、不純物の多い溶鋼の中で等軸晶の核の生成が起こる。この結晶は成長するにしたがつて重くなり、鋼塊底部へと落ちてゆき、これが底部で遅れている樹枝状晶の発達を阻止する。この核の役をするものは外来の物質であり、最も可能性のあるものはこの時期に固体であるか、または固体を一部に有した介在物粒子であろう。URIE<sup>7)</sup>の説によれば、核は溶鋼と接している介在物の固体部分の界面においてのみ成長することになっている。以上の説明から、Bが小さくなると鋼塊底部へ介在物の集合する現象が高まり、大きな地疵の発生する確率が高くなることになる。ここでURIEの説明が正しいものであるならば、Bは介在物組成の液相線温度となんらかの関係を持つていなければならない。ここでMnO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>系の3元状態図を用いて、Fig. 1およびFig. 2から求めたBに対応する介在物組成から液相線温度を求めてみる。この際MnおよびSiはほぼ一定としているから、(MnO)=(SiO<sub>2</sub>)として[O]/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/[O]<sub>Tot</sub>より液相線温度を求めていくとFig. 4のaのように表わされる。代表的なBに対応する液相線温度をプロットで示し、その回帰線を実線で示してある。またFig. 3に示す1500°Cにおける状態図を用いて、介在物の固体および液体の割合を代表的なBに対して求めプロットしてみるとFig. 4, bのようになり、その回帰曲線は実線で示すように単調な関係が成立し、Bが小さくなると、介在物の固体部分が増加し、鋼が凝固するときに生ずる等軸晶の核となる確率が増大し、沈澱晶の一部へ介在物が集中してきて、これが大きな地疵の原因となる。逆にBが増大すると、このような現象がなくなり、介在物は上昇分離する傾向が強くなるが、その際発達してきている柱状晶へひつかかる確率が多くなり、小さな地疵が数多く鋼塊頭部の表層へ発生する確率が大きくなる。

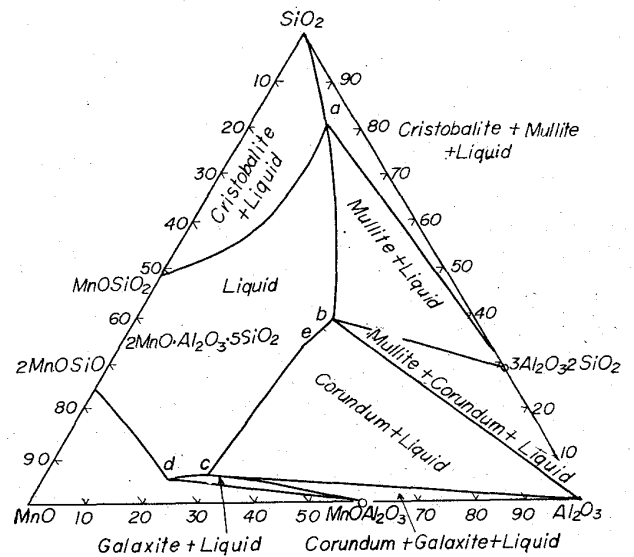


Fig. 3. Isothermal phase diagram of MnO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1500°C).

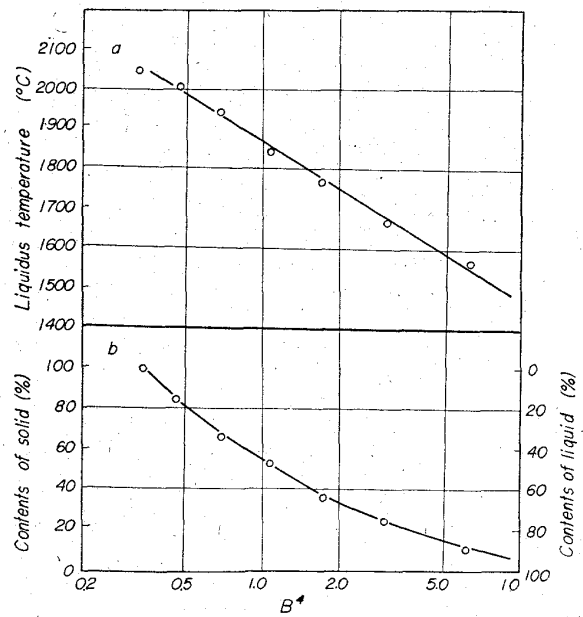


Fig. 4. Relation between inclusion properties and B.

### 6. 結 言

前報<sup>5)</sup>で報告した地疵分布函数を構成している因子のうち、地疵分布の勾配を表わしているBについて調べ、次に示すような結論が得られた。

(1) Bと製鋼要因 [O]<sub>Tap</sub>, [Al], [Mn], [Si] との間には、次式のような関係があった。

$$\ln(B^4) = \beta_0 + \beta_1[O]_{Tap} + \beta_2[Al] + \beta_3[Mn] + \beta_4[Si]$$

ここで  $\beta_i (i=0 \dots 3)$  はそれぞれの製鋼、造塊条件、圧延条件により決定する定数。

(2) 製鋼条件と介在物の組成の関係から検討して、Bは介在物組成により支配されていることがわかった。

(3) 固体部分を多く含むような介在物組成にするほど、Bは小さくなり、介在物が一カ所(特に鋼塊底部の中心)へ集合し、大きな地疵を発生させる傾向がある。

(4) 上記の現象と沈澱晶の現象とを合わせて考察す

ると地疵の成長メカニズムが説明でき、実際の発生状況とよく一致する。

文 献

- 1) 北村, 楯: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 514
- 2) 北村, 門間: 鉄と鋼, 49 (1963) 3, p. 516
- 3) 大久保, 榊井: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 480
- 4) 北村, 大久保: 鉄と鋼, 50 (1964) 3, p. 423
- 5) 大久保, 榊井: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1851
- 6) P. H. SALMON COX: J. Iron & Steel Inst. (U. K.) 201 (1963) 10, p. 863
- 7) T. URIE: Unwanted variation in steel composition—cause and effect, West Scotland ISI Conference, (1962) May, p. 45

(118) 地疵分布関数の定数Aにおよぼす製鋼要因の影響

(低炭素キルド鋼の地疵に関する研究—Ⅶ)

日本鋼管, 技術研究所

大久保益太・榊井 明・細田義郎

川崎製鉄所 榊 昌久

Influence of Steelmaking Factors on the Parameter A of Sand Seam Distribution Function.

(Studies on sand seam in low carbon killed steel—Ⅶ)

Masuta OHKUBO, Akira MASUI,

Yoshio HOSODA and Masahisa TATE.

1. 緒 言

第Ⅴ報<sup>1)</sup>に引続き、当報告では地疵分布関数のAが製鋼要因によつてどのように支配されているかを調べ、第Ⅵ報で検討したBをも含めて、地疵がどのような製鋼要因といかなる関係を持つているかを総合的に検討してみる。さらにその検討結果に基づいて、Al 添加量を一定にしておいた場合に出鋼酸素による地疵の変化、およびAl 添加量の最適量を検討した。また第Ⅲ報<sup>2)</sup>の内容を、以上の結論を用いて再検討し、一層有益な結論が得られたことを示す。

2. 調査要領

第Ⅴ報<sup>3)</sup>と同様な要領で行なつていたので省略する。

3. Aと製鋼要因との関係

第Ⅴ報<sup>3)</sup>で、Aは地疵分布関数の量的因子として取鍋下試料中のサンド量と関係づけられた。しかしその後アクションを大幅にとつたので、いろいろな条件も変わりその関係は成立しなくなつた。その理由は介在物量が直接地疵の量的因子であるAと関係づけられるのではなしに、その介在物の組成によつて地疵に成りやすさが変わり、介在物量は介在物組成を媒介としてAと関係づけられることが判つた。また介在物組成はBによつても表わされることが第Ⅲ報<sup>2)</sup>で判つていたので、Aは取鍋下試料の酸素 ( $[O]_I$ ) とBによつて表わされるはずである。またAが介在物組成によつて影響を受けるのは特にBが大きくなつた場合であつて、Bの小さな値の時にはほとんどBの影響がなかつたことから考えて、Aは次式のよ

うに示すことができると思われる。

$$A = m [O]_I (a + B^4)^n \dots\dots\dots (1)$$

ここで  $a, m, n$  は定数である。

この定数を約 35 チャージの試験結果を用いて重回帰により求めたところ、この式の寄与率は 72% でおおのこの定数の信頼度は高いものであつた。また  $a$  はいろいろな数値を用いた結果、 $a = 1$  が最も良いことが判つた。(1)式の関係は Fig. 1 に示す。

ここで第Ⅴ報<sup>3)</sup>のAがサンド量のみによつてなぜ表現できたかを考えてみると次のようになる。第Ⅴ報<sup>3)</sup>で用いたデータは取鍋添加 Al 量は一定であつたので、第Ⅶ報<sup>4)</sup>で報告したBの関係式から考えて、Si, Mn がほぼ一定であるとするときBは出鋼酸素  $[O]_{Tap}$  のみによつて表わされることになる。また  $[O]_{Tap}$  と  $[O]_I$  との間には Fig. 2 に示すような一定の関係が存在しており、

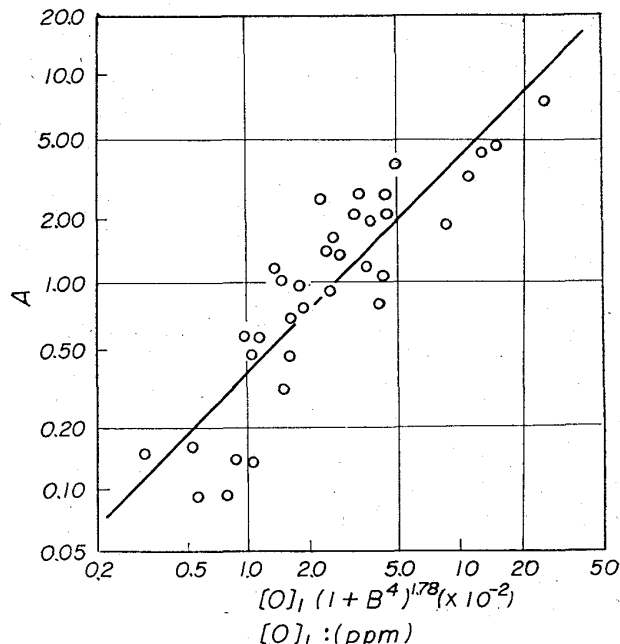


Fig. 1. Relation between A and steelmaking factor.

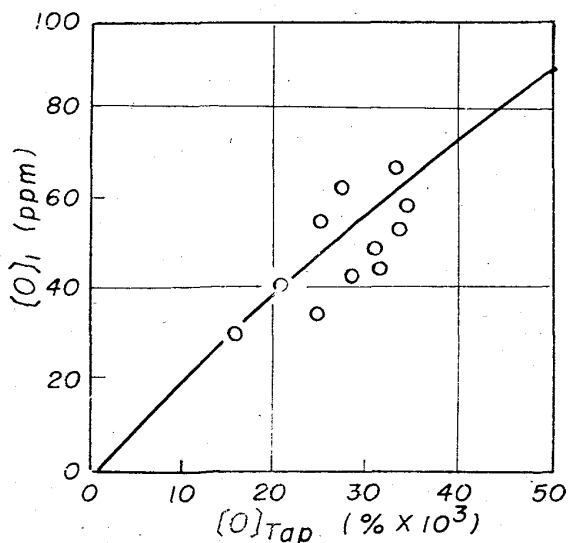


Fig. 2. Relation between  $[O]_{Tap}$  and  $[O]_I$ .