

造を手懸りとし、偏析線形成の際偏析小素面がその崩芽の役割りを果たす事を仮定し、これを出発点として偏析線の生成理論を確立し、偏析線の生成に及ぼす各種製造条件の影響を理論的に検討した。

他方鍛鋼品に現われる偏析きずの性状を調査し、偏析きずに及ぼす製造条件の影響を統計的に検討し、偏析線欠陥と比較対照して、偏析きずの根源が偏析線欠陥にあ

る事を結論した。終りにこの見解に基いて鍛鋼品を製造する際の偏析きずの軽減対策に就いて考察した。

終りに臨み本研究の発表を許可された三菱製鋼株式会社の上司の方々並びに研究を援助された長崎製鋼所技術部の関係社員各位に深謝する次第である。

(昭和 30 年 3 月寄稿)

鉄鋼中の気泡に関する研究 (IV)*

(キルド鋼の水素窒素による気泡の発生)

藤 井 毅 彦**

STUDY ON BLOWHOLES IN IRON AND STEEL (IV)

(The Formation of Blowholes by H₂, N₂ Gas in Killed Steel)

Takehiko Fujii

Synopsis:

Blowholes in iron and steel are due to CO, H₂, N₂ gas. In rimmed steel, blowholes are mainly due to CO gas, because oxygen content in molten steel is much higher than its solubility in solid steel, and the pressure of CO gas in molten steel is high. But in semi-killed or killed steel, hydrogen or nitrogen gas becomes a factor of blowhole formation, because the pressure of CO gas in molten steel is very low and the solubility difference of H₂ or N₂ gas between molten steel and solid steel is large.

As to blowholes caused by CO gas, the relation between formation of blowholes and Si, Mn, Al deoxidation was explained experimentally and the results of experiments were compared with calculation values from equilibrium constant (Report III). In this report, to study formation of blowholes by H₂, N₂ gas, H₂ or N₂ gas was lanced into molten steel, and the relation between blowhole formation by H₂, N₂ gas and deoxidation was explained.

Blowhole samples were melted by a 100 kg basic high frequency electric furnace similarly to Report III. When the temperature of molten steel attained to 1600°C, deoxidation reagents (Si, Al) were added in different quantities. Some time after deoxidation, H₂ or N₂ gas was lanced into molten steel for a time. 25 kg of molten steel was immediately tapped to a ladle and then poured to a 16kg ingot. In succession four ingots were cast, similarly.

The results obtained from this experiments were as follows.

1) Blowholes caused by hydrogen

a) Si deoxidation.....As hydrogen content increased, the limit of blowhole formation increased to 0.2% Si from 0.1% Si. But when Si content was more than 0.2%, blowhole by hydrogen gas did never grow under $80 \times 10^{-5}\%$ H₂.

b) Al deoxidation.....When Al content was more than 0.01%, blowhole by hydrogen gas did not grow under $80 \times 10^{-5}\%$ H₂. Accordingly when H₂ content was less than $80 \times 10^{-5}\%$ H₂, hydrogen was not the main cause to blowhole formation if the molten steel was deoxidized fully.

2) Blowholes caused by nitrogen

a) Si deoxidation.....As N₂ content increased, the limit of blowhole formation increased to 0.2% Si from 0.1% Si. But when Si content was more than 0.2%, blowhole by N₂ gas did never grow under $100 \times 10^{-4}\%$ N₂.

*. 昭和 29 年 4 月本会講演大会にて発表 ** 住友金属工業株式会社和歌山製造所 技術部研究試験課

b) Al deoxidation.....As N_2 content increased, the limit of blowhole formation increased to 0.08% Al from 0.01% Al. Accordingly, in case of Al deoxidation N_2 gas probably became the main cause of blowhole formation.

I. 緒 言

鉄鋼中に発生する気泡の原因としては CO, 水素, 窒素ガスが考えられる。リムド鋼のように熔鋼の酸素濃度が凝固鋼に比して高く, 従つて CO の発生圧が大きい場合には, 主として CO によつて気泡が発生すると考えて差支えないが, セミキルド鋼, キルド鋼と熔鋼の酸素濃度が減少するに従つて熔鋼中の水素あるいは窒素のように凝固鋼と熔鋼との溶解度に差のあるガスの影響も無視することが出来なくなると考えられる。CO による気泡の発生に関しては Si, Mn, Al の脱酸剤の種々の脱酸度と CO 気泡の発生との関係につき第 3 報¹⁾において述べ, これらの脱酸剤がある一定量以上鋼中に存在しているときには酸素含有量が減少し, 従つて CO 発生圧が低くなり CO ガスは気泡発生の原因とはなり得ないことが判明した。水素, 窒素による気泡の発生に関してはリムド鋼では管状気泡が水素により, 中間気泡は窒素により発生すると Hibbard²⁾等は主張しており, また著者は気泡発生の原因を明らかにするために気泡内のガスの分析を行い, その主成分は水素と窒素であることがわかつた³⁾。さらに下川博士⁴⁾はリムド鋼からキルド鋼に到る脱酸度の異なる鋼塊の気泡発生におよぼす水素, 窒素の影響をしらべ, これらの発生圧が大になる場合には単独でも CO と同様な気泡が発生し得ることを述べている。しかしながら工業用鋼の溶解時に含有している程度の酸素, 水素, 窒素量の場合には, いずれが凝固時の気泡発生の主原因であり, いずれが副原因であるかは現在の所明らかでない。よつて種々の脱酸度の熔鋼中に水素, 窒素ガスを吹き込み, それぞれのガスを含有させた後, 小鋼塊に casting, 気泡発生の状況をしらべ, その結果を CO による気泡の発生状態と比較してその間の事情を明らかにした。こゝにこの結果につき報告する次第である。

II. 実 験 方 法

試料の溶解は酸素を吹き込んだ場合と同じように 100 kg 塩基性高周波電気炉 (炉床剤, マグネシア) を使用した。試料 100 kg を溶解し, 熔鋼の温度が 1600°C に達したときに脱酸剤 (Si, Al) を種類および量を変えて投入した。投入後脱酸剤が十分に熔鋼中に拡散して脱酸作用をなした後, 試料採取用杓で化学分析試料, 水素分析試料ハーレー法酸素分析試料, 窒素分析試料を炉中より採取

した。その後直ちに 100 kg 熔鋼のうち, 25 kg を黒鉛製坩堝 (表面に珪砂粉を主成分とする塗型剤をぬつて黒鉛の影響を防いである) に注入し, 16 kg 鋼塊に casting, さらに残りの熔鋼に水素ガス又は窒素ガスを 30 秒吹き込み, 同様に試料採取後熔鋼 25 kg を 16 kg 鋼塊に casting 最終回も同様な操作を行う。かくして 1 溶解により水素あるいは窒素含有量を異にした鋼塊 4 本が出来るわけである。なおこの溶解中熔鋼の温度は常に一定に保つようにし, 炉中では 1600°C に, casting 温度は 1600°C ~ 1550°C に保つた。採取した化学分析試料は C, Si, Mn の分析を行い, 水素分析試料は 800°C 抽出水素分析装置で分析を行い, 酸素分析はハーレー法で, 窒素分析は比色法で分析した。casting した鋼塊は縦に切断して研磨し, 気泡の発生状況を調査した。

III. 水素, 窒素による気泡の発生状況

1. 水素吹き込み鋼塊

以上のごとき実験を行つて得られた結果のうち代表的な水素吹き込み鋼塊の気泡発生状況を Fig. 1, Fig. 2 に示す。Fig. 1 の鋼塊は Si 脱酸鋼であり, Fig. 2 は Al 脱酸鋼である。この成分では第 3 報の結果により Si 0.10% 以上, Al 0.01% 以上になれば CO により気泡が発生しないものとしてよく, また Mn, 酸素, 窒素共に量が少く, 気泡発生の直接原因になり得ないと考えてもよい。Fig. 1 の Si 脱酸の鋼塊において Si 含有量は H1 ~ H4 では 0.10 ~ 0.20%, H5 ~ H8 では 0.18 ~ 0.21% で CO による気泡は発生しない脱酸度であるが, いずれも水素を吹き込み水素含有量が $19 \sim 72 \times 10^{-5}\%$, $8 \sim 45 \times 10^{-5}\%$ と上昇するにつれて気泡が発生している。しかしながら脱酸度の大きい H5 ~ H8 の鋼塊は脱酸度の小さい H1 ~ H4 の鋼塊に比して気泡の発生は少く後者が管状気泡から内部気泡へと発達しているのに比して前者はピンホールで, しかも鋼塊上部にのみ発生している。また Si 投入量のさらに多い H9 ~ H16 では全然水素吹き込みによる気泡は発生していない。

次に Fig. 2 は Al 脱酸鋼塊であるが, Al 含有量が痕跡の H33 ~ H36 では水素含有量が $13 \sim 36 \times 10^{-5}\%$ と増加するにつれて, 上部のみの気泡から全面気泡へと発達している。Al 1g/kg 投入の H37 ~ H40 も同様である。さらに Al 2g/kg 投入の H41 ~ H44 では水素量が増加しても気泡は発生せず, 最後の鋼塊 H44 になつて

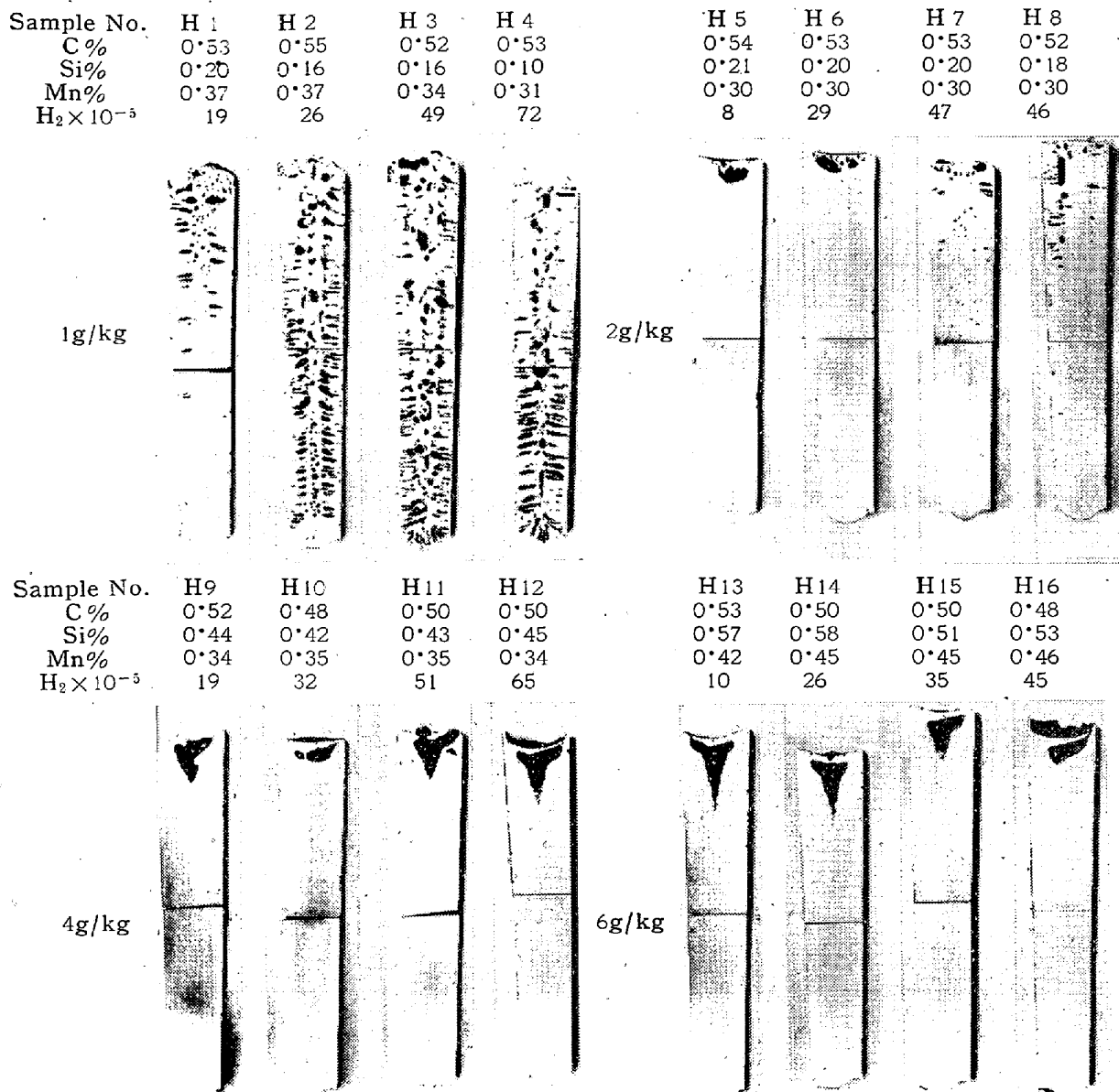


Fig. 1. Blowholes caused by hydrogen (Si deoxidation)

始めて気泡が発生し、4g/kg 投入の H45~H48 では水素量が増加しても全然気泡は発生していない。

2. 窒素吹き込み鋼塊

Fig. 3~Fig. 4 は代表的な窒素吹き込み鋼塊の気泡発生状況を示す。Mn および酸素が気泡発生と直接関係がないのは水素吹き込み鋼塊の場合と同じであり、又水素含有量も $40 \times 10^{-5}\%$ 以下で水素ガス発生圧にすれば 0.4 気圧以下で直接気泡の原因とはなり得ない。Fig. 3 は Si 脱酸鋼塊であり N1~N4 では Si 含有量が 0.10~0.17% で CO による気泡が発生しない領域であるが窒素吹き込み時間が増加するにつれて管状気泡から内部気泡へと気泡の発生状況が進行している。同様に N5~N8 も Si 含有量が 0.09~0.18% であるが窒素吹き込

み時間が増加するにつれて上部のみの管状気泡から全面管状気泡、内部気泡と進行している。さらに Si 投入量が 4g/kg, 6g/kg と増加した N9~N16 では窒素吹き込み時間が長くなっても気泡は発生していない。次に Fig. 4 は Al 脱酸鋼であるが、N17~N24 は Al 含有量が痕跡で気泡が発生しているが、同じ Al 痕跡の水素吹き込み鋼塊 H33~H40 と比較すると窒素吹き込み鋼塊の方が気泡の発生が著しい。さらに N25~N28 では Al 含有量 $20 \sim 40 \times 10^{-3}\%$ で CO によつても、水素によつても気泡が発生しない領域であるが、窒素吹き込み鋼塊では著しい気泡が発生している。

IV. 結果の考察

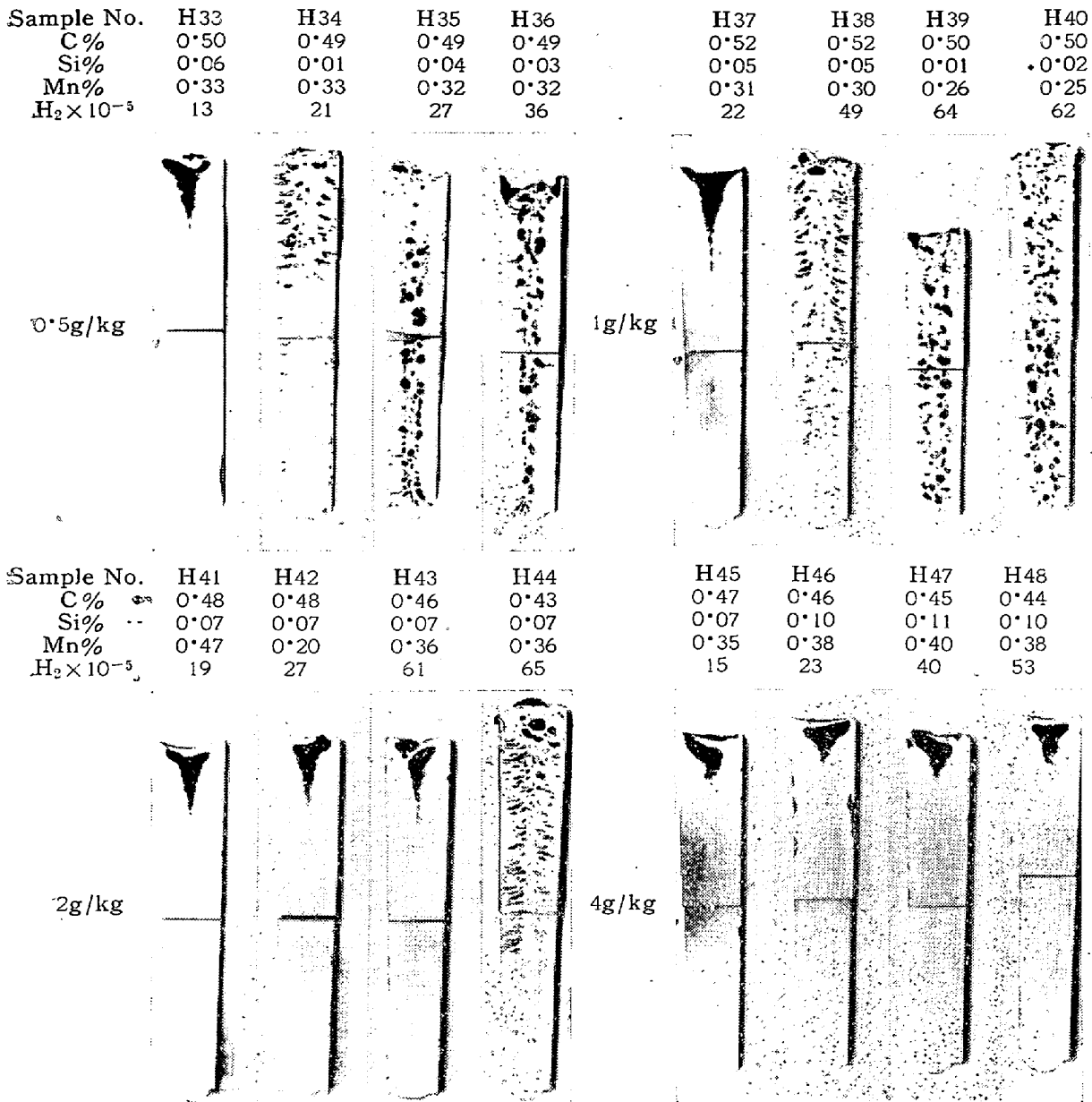


Fig. 2. Blowholes caused by hydrogen (Al deoxidation)

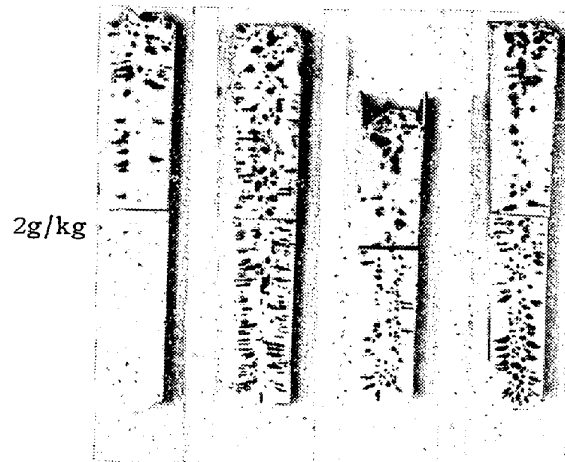
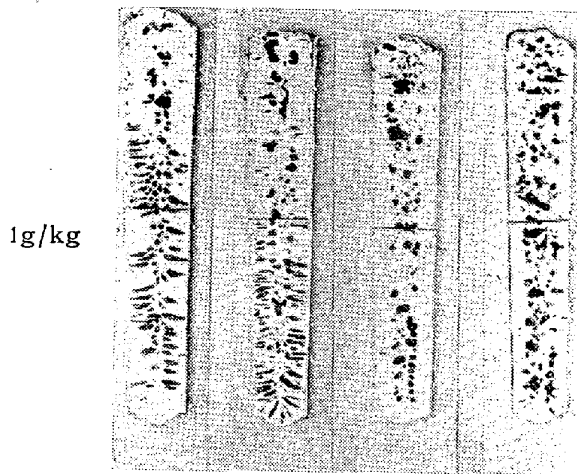
実験結果のうち Si 含有量並びに水素含有量と気泡発生との関係を示したものが Fig. 5 である。これによると CO 気泡の発生を防止する Si 量の限界は 0.10% であるが、水素を吹き込むことによつてその限界は 0.20% に迄増加している。さらに Si 含有量が増加すると水素量が多くなつても気泡は発生していない。これは Fig. 6 にも示されている通り 80×10^{-5} 以下の水素量では水素は気泡発生の主原因にはならず、脱酸が充分でない時に始めて CO の発生圧と水素の発生圧が加わつて水素量が気泡発生に影響することを示している。

次に Fig. 6 に水素並びに窒素吹き込み鋼塊の気泡発生状況と CO による気泡発生状況を比較した結果を示す。(a) は Si 脱酸の鋼塊であり (1) は CO による

気泡の発生、(2) は水素による気泡の発生、(3) は窒素による気泡の発生の実験結果である。Si 脱酸鋼塊の CO による気泡の発生は C が 0.4~0.5% 前後の時は 0.10% Si 以上で気泡の発生は認められないが、さらに C 含有量が高くなるに従つて 0.1~0.2% Si の間でも気泡が発生している。この発生状況は第 3 報に述べたごとく C-Si の平衡曲線より上の部分では気泡が発生し、下の部分では気泡が発生していないことをあらわしている。

水素による気泡の発生は Fig. 5 にも示すごとく、0.2% Si 以上では気泡は発生せず、以下では気泡が発生している。従つて水素を吹き込むことによつて気泡の発生と Si 含有量との関係が CO の 0.10% より 0.20%

Sample No.	N 1	N 2	N 3	N 4	N 5	N 6	N 7	N 8
C%	0.51	0.54	0.53	0.53	0.44	0.44	0.46	0.44
Si%	0.17	0.13	0.12	0.10	0.18	0.13	0.11	0.09
Mn%	0.29	0.29	0.26	0.26	0.22	0.25	0.23	0.22
N ₂ lance sec.	0	120	240	360	0	120	240	360



Sample No.	N 9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
C%	0.47	0.43	0.40	0.38	0.45	0.45	0.47	0.41
Si%	0.34	0.34	0.32	0.33	0.48	0.47	0.47	0.43
Mn%	0.33	0.31	0.34	0.33	0.36	0.38	0.39	0.41
N ₂ lance sec.	0	120	240	360	0	120	240	360

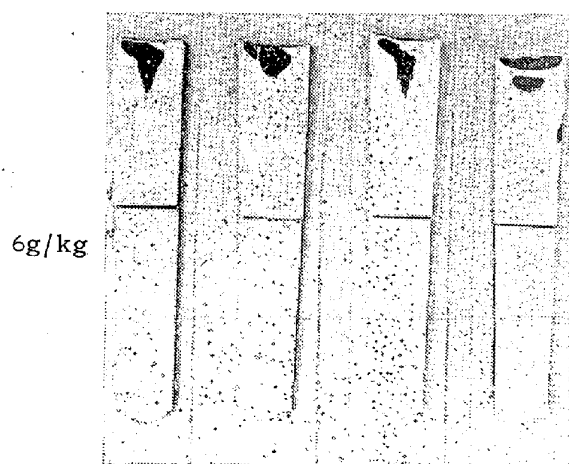
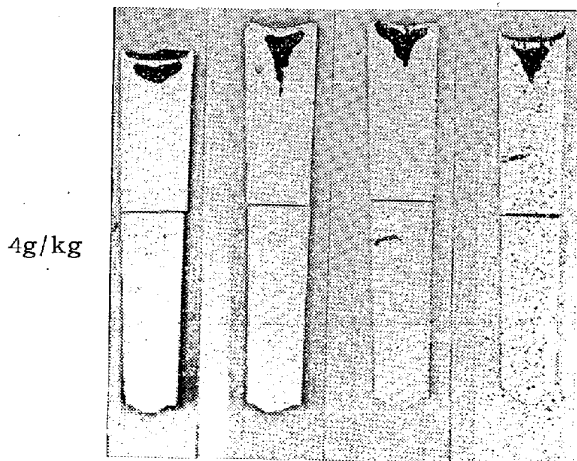
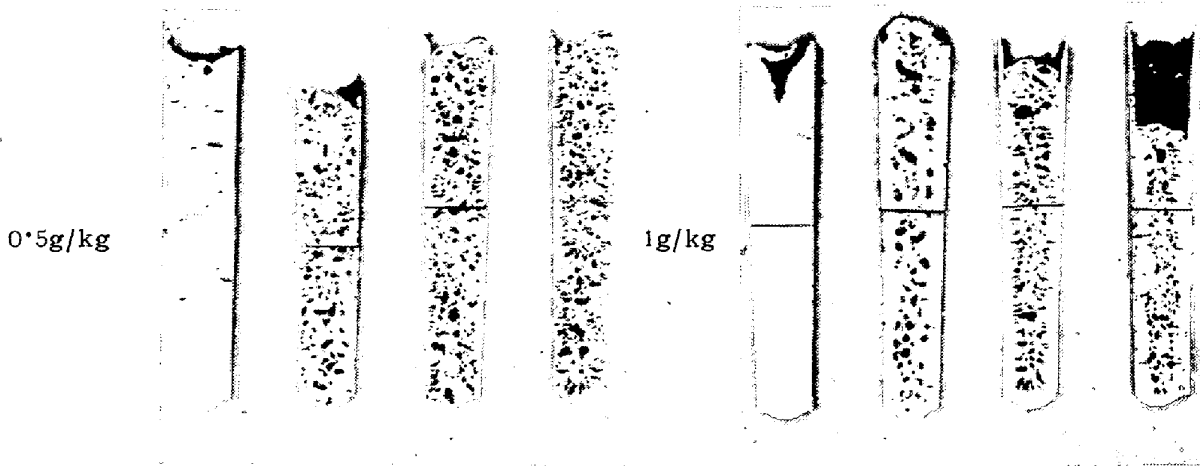


Fig. 3. Blowholes caused by nitrogen (Si deoxidation)

に上昇しているわけである。しかし水素含有量が $80 \times 10^{-5}\%$ 以下では水素含有量よりも気泡の発生は Si 含有量に左右されることがわかり、水素量が高くなつても脱酸剤さえ充分で酸素量が少なければ気泡は発生しないわけである。工業用鉄鋼中の水素量は大型鋼塊の偏析並に鑄鋼の鑄型よりの水分等により富化しない限りは $80 \times 10^{-5}\%$ 以下であり、この実験結果より、水素が直接気泡の主原因になることはないわけで、脱酸不足の場合には CO の発生圧に水素の発生圧が加わつて気泡が発生し易くなるわけである。同様のことは窒素による気泡の発生に関しても認められるので $100 \times 10^{-4}\%$ 窒素以下では気泡の発生は Si 含有量に左右され、直接窒素が気泡発生の主原因にはならない。

(b) は Al 脱酸の鋼塊であり、CO による気泡は 0.01% 以下で発生している。水素による気泡もやはり 0.01% 以下で発生しており、水素吹き込みによる気泡発生の上昇は明らかに認められず、Al 脱酸の場合も Si 脱酸の場合と同様に水素含有量よりも Al% に左右され、 $60 \times 10^{-5}\%$ 以下では含有量が高くなつても Al% が 0.01% 以上の場合には気泡は発生していない。しかしながら窒素による気泡は Al 脱酸の場合には少し異り、 0.07% Al になつても気泡は発生している。これは Al が存在する場合には窒素が CO、水素よりも気泡生成の原因になり易いことを示している。このことは Fig. 1, 2, 3, 4 の鋼塊写真によつても明らかであり、Si 脱酸の場合でもやはり H1~H4 と N1~N4, H5~H8 と

Sample No.	N17	N18	N19	N20	N21	N22	N23	N24
C%	0.48	0.48	0.49	0.53	0.40	0.45	0.47	0.48
Si%	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05
Mn%	0.15	0.16	0.20	0.22	0.17	0.19	0.23	0.23
N ₂ lance sec.	0	120	240	360	0	120	240	360



Sample No.	N25	N26	N27	N28
C%	0.51	0.49	0.49	0.46
Si%	0.06	0.04	0.02	0.01
Mn%	0.26	0.30	0.27	0.26
N ₂ lance sec.	0	120	240	360

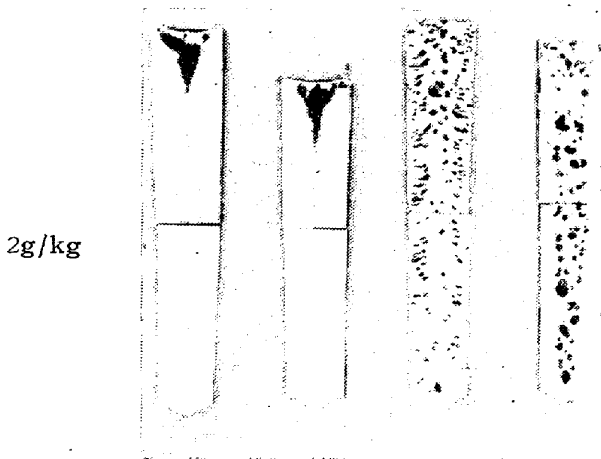


Fig. 4. Blowholes caused by nitrogen (Al deoxidation)

N5~N8を比較すると、Si量が同じでも明らかに窒素の吹き込み鋼塊の方が気泡の発生状況が進行している。さらにAl脱酸の鋼塊ではH33~H36とN17~N20、H37~H40とN21~N24では明らかに窒素吹き込みの方が気泡の発生状況が著しい。このことは気泡中のガスの成分中窒素量が多いこととも関係して、窒素が気泡生成の有力な一要素であることを示していると思われる。

V. 結 言

以上のごとく、種々の脱酸度の熔鋼に水素、窒素を吹き込んで気泡の発生状況を調査した結果次のことが判明した。

(1) 水素による気泡の発生

(a) Si脱酸の場合には水素の含有量が増加するにつれて気泡の発生領域が0.1% Si (CO気泡) から0.2% Siに増加する。しかしながら 80×10^{-5} %水素以下では0.2%以上にSiを含有する場合には水素含有量が増加しても気泡は発生しない。通常の工業用鋼は水素含有量がいずれも 80×10^{-5} %以下であるので、水素は気泡生成の主原因になり得ないわけである。

(b) Al脱酸の場合には水素含有量の増加による気泡発生領域の拡大は認められず、Al量が0.01%以上の場合には 80×10^{-5} %以下の水素量では気泡は発生しない。従つてSi脱酸の場合と同様水素は気泡発生の主原因にはなり得ない。

(2) 窒素による気泡の発生

(a) Si脱酸の場合には窒素の含有量が増加するにつれて、気泡の発生領域が0.1% Si (CO気泡) から0.2% Siに増加する。しかしながら 100×10^{-4} %窒素以下の場合、0.2%以上にSiを含有する時には窒素含有量が増加しても気泡は発生しない。

(b) Al脱酸の場合には窒素の含有量が増加するにつれて気泡の発生領域が0.01% Al (CO気泡) から0.08% Alに増加する。Alが存在する場合には窒素が気泡発生の有効な原因になるものと考えられる。

以上第3報、第4報において熔鋼中に酸素、水素、窒素を吹き込み、それぞれのガスを富化させて、凝固時に発生する気泡について種々の脱酸条件の下において考察を行つた。その結果熔鋼の気泡生成の原因となるガス発生率はCO、水素、窒素の分圧の和であると考えられる。

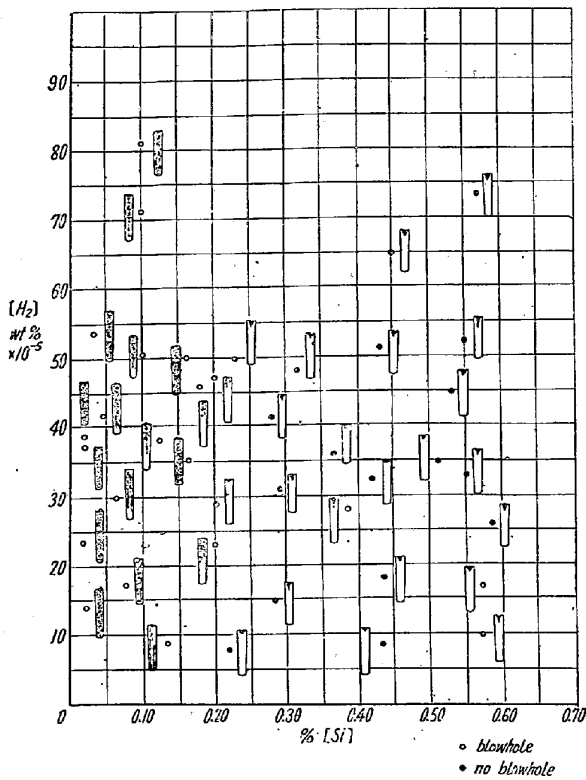


Fig. 5. Relation between blowhole formation by H₂ gas and C, Si% in steel.

が工業用鋼に含有される酸素, 水素, 窒素量の中では CO の発生圧が最も重要であり, 窒素それにつき, 従つて従来のごとく水素の減少に努力することは勿論であるが, 同時に強力な脱酸剤乃至脱窒剤を用いて酸素および窒素量を減ずることが気泡のない健全なキルド鋼を得るための条件と考えられる。 (昭和 30 年 10 月寄稿)

文 献

1) 藤井毅彦: 鉄と鋼, 第 42 年 (昭和 31 年) 293 (Ⅲ) 報

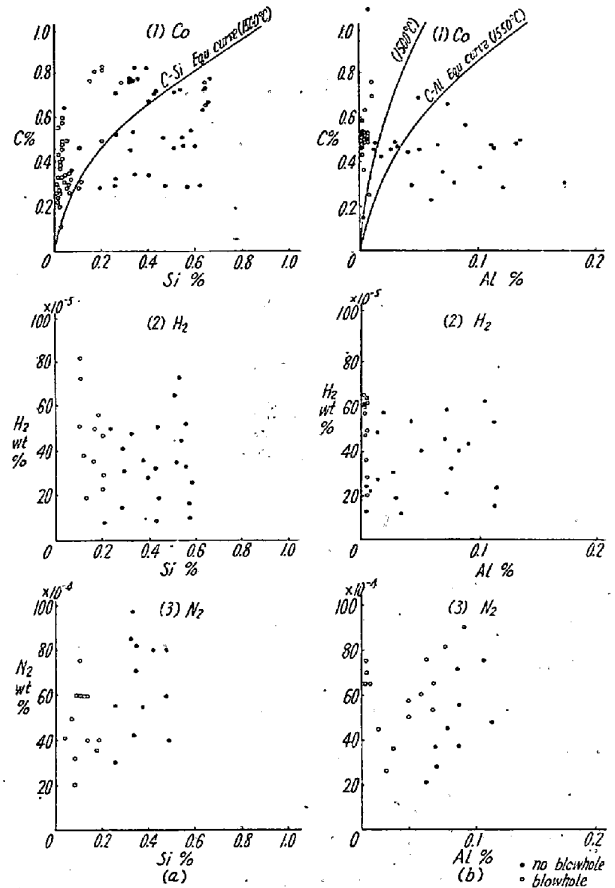


Fig. 6. Relation between blowhole formation by CO, H₂, N₂ gas and deoxidation.

2) H. D. Hibbard: Iron Age 142 (1938) Oct. 13 69
 3) 藤井毅彦: 鉄と鋼, 第 38 年 (昭和 27 年) 188 (Ⅰ) 報
 4) 藤井毅彦: 鉄と鋼, 第 42 年 (昭和 31 年) 94 (Ⅱ) 報
 5) 下川義雄, 田上豊助: 鉄と鋼, 第 39 年 (昭和 28 年) 500

正 誤

第 42 年第 3 号講演番号 (78) 平炉の空気力学的構成 (Ⅱ) p. 301, 右上より 19 行目 (第 1 報 Fig. 1 参照) 及び p. 302, 左上より 4 行目 (第 1 報 Fig. 2 参照) とあるは誤りで下に示す Fig. 1 及び Fig. 2 が正です。尚 p. 301, Fig. 3 の説明文の最下 = 26°C とあるは 26° の誤記につき訂正します。

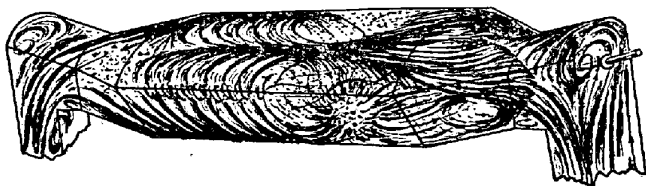


Fig. 1. Diagrammatic flow pattern in single air-uptake design.

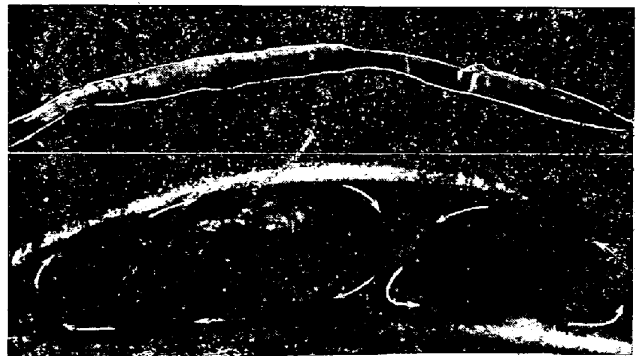


Fig. 2. A pair of vortices under the ceiling and the wear of ceiling.