

が認められない。

(3) 酸性平爐鋼に於てB型介在物の清浄度はサンド分析結果と相關的に變化するが鹽基性鋼の場合はその關係が明瞭でない。

(4) B型介在物の平均厚は鹽基性の方が大で且つ中期に稍々増大する傾向が認められる。これはその脱酸方法の差異によるもので鹽基性の方が大形脱酸生成物を容易に生成するためである。従つてこれ等の實驗結果より酸性及び鹽基性兩平爐鋼の特性を概括すると次の如くである。

(1) 鹽基性平爐鋼に於ては取鍋内に於ける脱酸反應が急速に完結するものではなく相當時間も要し造塊中もこの反應が徐々に行われていることが本實驗結果から推察される。即ち鑄込後半に於ける平均厚の漸増、 $\text{SiO}_2$ の増加及び抽出サンドの形態等から  $\text{SiO}_2$ - $\text{MnO}$  系介在物の生成増加が認められる。

(2) 懸堰通過等の外的條件の變化に對する熔鋼の變化は鹽基性鋼の方が酸性鋼よりも著しい。

(3) 外的混入物は鹽基性鋼の方が酸性鋼よりも多い。以上の諸點より酸性鋼は爐内で大體脱酸反應を完了

し、各成分間のその溫度に於ける平衡が一應保持され造塊過程に於ては溫度降下によつてその平衡關係が移動變化するのみであるのに反し鹽基性鋼は取鍋脱酸のためその溫度に於て各成分が平衡に達しない状態にあるので酸性鋼に比し外的條件による熔鋼内の變化及び耐火物に對する侵蝕性が大きくなるものと考えられる。従つて特に清浄な鋼を得るためには酸性鋼又は爐内に於て脱酸反應の定結せる鹽基性鋼を用い又鑄込初期及び末期に注入された鋼塊は避くべきであると考えられる。

本實驗はその遂行上難點があり又不備な個所や獨斷的推論を下した點も多々あると思われるが目下更に實驗を行つているので何れ補足訂正を加え度いと考へている。大方の御教示、御叱正を賜れば幸甚である。

終りに本研究の發表を許可せられたる株式會社日本製鋼所室蘭製作所長鴨下克己氏に謝意を表すると共に種々教示を賜つた故吉川晴十博士並びに俵信次博士に深謝する。尙本研究遂行上御便宜並びに御助言を載いた製鋼部熔鋼工場長館野萬吉氏、顯微鏡寫眞撮影、サンド分析に協力された研究部員小笠原一雄氏に御禮申し上げる。

(昭和 27 年 12 月寄稿)

## 鋼塊の氣泡發生に及ぼす含有ガスの影響

下川 義雄\*・田上 豊助\*

(昭和 26 年 10 月 本會講演大會に於て發表)

### EFFECT OF GAS CONTENTS ON THE BLOWHOLE FORMATION IN STEEL INGOTS

*Yoshio Shimokawa and Toyosuke Tanoue*

#### Synopsis:

The effect of oxygen, hydrogen and nitrogen contents in molten steel on the blowhole formation in ingots was studied. Low carbon steels of various gas contents were melted in the induction furnace. The weight of ingots were about 50kg. Oxygen was controlled by addition of the Si, hydrogen was controlled by the vacuum heating of raw materials and blow of hydrogen gas and nitrogen was controlled by addition of the Mn nitride.

Main results are as follows:— Low hydrogen and nitrogen steels were killed by the relatively low Si content, but fully deoxidized steel became unsound according to an increase of their hydrogen or nitrogen contents. Blowhole or segregation of high hydrogen or nitrogen unsound steel ingots were similar to that of imperfectly deoxidized steel ingots.

Quantities and position of blowholes of ingots were not only affected by their oxygen contents,

\* 住友金屬工業 K.K. 鋼管製造所

that is, their deoxidized condition, but also affected by their hydrogen or nitrogen contents. High hydrogen or nitrogen steel ingots had more blowholes than the low hydrogen and nitrogen steels of the same deoxidized condition. Effect of hydrogen or nitrogen on the blowhole formation varies with degree of deoxidation, that is, rimmed steel was scarcely affected, but semikilled or killed steel, especially semikilled steel was affected strongly by their hydrogen or nitrogen contents.

## I. 緒 言

鋼塊に発生する気泡の原因には種々あるが主原因は鋼中のガスであると考えられる。筆者等<sup>1)2)</sup>は以前リムド鋼の凝固に関する研究を行いその凝固組織について検討し、リムド鋼の気泡発生には CO ガスが主役を演ずると推定した。リムド鋼の如く熔鋼の酸素濃度が凝固鋼のそれに比して著しく高く、従つて CO の発生圧が大きい場合には主として CO によつて気泡を発生すると見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るに従つて、熔鋼中の水素或いは窒素の如く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。嘗て Hibbard<sup>3)</sup>はリムド鋼の管状気泡は水素により、中間気泡は窒素により発生すると主張し、CO ガス説と長期に亘り論争した。其の後 Hultgren を中心とする瑞典鐵鋼協會の組織的な研究<sup>4)</sup>或いは Chipman 一派の研究<sup>5)7)</sup>等によりリムド鋼の気泡発生は CO によることが略明らかとなつた。併しリムド鋼の気泡生成に對し水素窒素が全然無關係であるとは考えられないが、その役割に關しては現在の處明瞭でなく、又それを直接指示する實驗もない。

又鋼塊のピンホールに對する水素説も以前から唱えられているが尙其の裏付となる實驗に乏しい。筆者等は之等の點に鑑み、熔鋼中に含有される酸素、水素、窒素がキルド鋼からリムド鋼に到る種々の脱酸段階の鋼塊の氣

泡発生に如何なる影響を與えるかを直接實驗的に明らかにしようとして企圖した。本報は主として水素及び窒素の影響を明らかにしようとした實驗の結果である。

## II. 實 驗 結 果

實驗は 50kg 高周波電氣爐で炭素鋼を熔解し Si 添加量の加減により酸素量の調節を、水素吹込により水素量の調節を、又窒化 Mn の添加により窒素量の調節を行い、リムド鋼からキルド鋼に到る種々の鋼塊を作製した。得られた鋼塊は縦斷して Sulphur Print 及び Macro-etch を行つて気泡発生狀況、内部組織等を試験し又鋼塊を横に破斷して気泡の形狀を検べた。水素、窒素の分析は學振法を、又酸素の分析はハーテイ法を用いたが N<sub>2</sub> の高いキルド鋼では AlN が Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> と共に混入して著しく豫期の値より高い値を與え眞の酸素量を決定し得なかつた。實驗は先づ單獨に CO、H<sub>2</sub>、N<sub>2</sub> 等によつて如何なる気泡が発生するかを検べ次いで之等のガスの相互の影響を求めた。

### (1) CO ガスによる気泡

先づ出来るだけ水素或いは窒素の影響をさけ純粹に CO ガスによる気泡発生を検べるため先づ最も影響の多い水素の影響を極力避ける目的で熔解材料を眞空加熱爐で 24 時間脱水素し、この材料を熔解中に大氣中の水分の影響を減ずるため乾燥空気を吹付ながら熔解した。斯くして極力水素量を減少させたリムド鋼の酸素を適當に調節するため珪素鐵を必要量添加した。斯くして得ら

第 1 表

鋼塊 記號	脱酸劑添加量 (g)		鋼 塊 成 分 (%)						凝 固 狀 況	氣 泡 狀 況
	Fe-Mn	75% Fe-Si	C	Mn	Si	O <sub>2</sub> × 10 <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> × 10 <sup>-5</sup>	N <sub>2</sub> × 10 <sup>-4</sup>		
C1	150	90	4.13	0.38	0.15	20	14	54	收り良好	なし
C2	"	60	0.14	0.43	0.08	24	17	50	引け悪し	押湯に少し
C3	"	40	0.14	0.36	0.04	26	9	42	凝固末時膨れる	鋼塊上部
C4	"	30	0.14	0.34	0.03	27	20	60	膨れ甚し	鋼塊全長
C5	"	10	0.13	0.41	0.02	27	18	57	膨れ甚し	同上
C6	"	0	0.17	0.33	0.02	30	24	43	弱い沸騰起る	鋼塊下部
C7	100	0	0.11	0.22	0.01	35	19	44	活潑な沸騰	リムになし

れ鋼の水素量は 0.0002% 程度で通常の鋼の水素量に比較して可成り低く窒素も又 0.004~0.006% で酸素量の調節も略豫定通り行われた。

第 1 表は本熔解の成分、凝固状況、気泡発生状況を示した結果である。又気泡の発生状況は第 1 圖のマクロ写真の状況の通りである。之等の結果より明かな如く 90g の珪素鐵によつて脱酸され 0.15% の Si を有する C1 は收り良く気泡は全くなく、Si 量はキルド鋼として餘り高くないに拘らず気泡の発生は全く見られない。C2 以下 C7 まで脱酸の度合に應じ Si 量が増し酸素量が増すに従つて気泡は押湯のみ (C2)、鋼塊上半 (C3)、鋼塊全長 (C4, C5)、鋼塊下半 (C6) と變り C7 に到るとリム部には全く気泡の発生は認められない。気泡の形状位置も細長い尖つた気泡が表皮近くから発生するものから (C3, C4) 先端が丸味を帯び短くなる傾向のもの (C5, C6) と變化する。尙本試験鋼塊は高さが低いため rimming action が活潑ならばリム部に気泡の発生の見られないのが普通である。

(2) H<sub>2</sub> ガスによる気泡

CO ガスによる気泡生成の結果は上述の通りであるが CO ガスについて影響が大きいと考えられる H<sub>2</sub> ガスについて實驗した。先ず CO ガスによる気泡生成の影響を減ずるため十分な Si により脱酸した。水素は熔解後吹込により 0.00027% から 0.00094% まで變化させることが出来た。窒素量は 0.004~0.006% で第 1 表の場合と略同じである。その成分凝固状況、気泡状況を第 2 表に、鋼塊のマクロ組織の一例を第 2 圖に示したが、第 2 表及び第 2 圖より明らかな如く水素の低い H1 から H4 までは何れも收り良く鋼塊中に気泡は全く見られない。然るに水素の高い H5, H6 は凝固中著しく膨脹し全長に亘つて気泡が発生した。即ち十分脱酸され CO による気泡発生は全く考えられないキルド鋼でも水素が高ければ水素單獨で管狀気泡が発生しその形状は第 1 表の C3, C4 と大差がない。

第 2 表

鋼塊記號	脱酸劑添加量(g)			鋼塊成分 (%)					凝固狀況	気泡狀況
	金屬 Mn	75% Fe-Si	C	Mn	Si	O <sub>2</sub> × 10 <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> × 10 <sup>-5</sup>	N <sub>2</sub> × 10 <sup>-4</sup>		
H1	200	250	0.13	0.47	0.50	17	27	54	收り良し	なし
H2	"	"	0.14	0.44	0.43	14	41	39	同上	なし
H3	"	"	0.17	0.48	0.43	18	54	68	同上	なし
H4	"	"	0.13	0.40	0.51	19	68	50	同上	なし
H5	"	"	0.17	0.46	0.46	17	83	51	凝固末期膨脹甚し	鋼塊全長
H6	"	"	0.15	0.39	0.47	20	94	48	同上	同上

(3) N<sub>2</sub> ガスによる気泡

CO 或いは水素によつて管狀気泡が発生し得ることは明らかとなつたが同様の気泡は窒素によつても発生し得る。窒素は熔鋼に吹込んで十分量を添加することは困難であるため豫め金屬 Mn を窒化し 4~6% 程度の窒素を含む窒化 Mn を作りこの Mn を適當に熔鋼に添加して窒素量の調節を行つた。従つて第 3 表に示した各鋼塊は Mn 量が異なるが Mn は鋼中窒素の一部を固定して窒素の気泡生成作用を減ずる可能性はあつてもこれを増す作用はないと考えられるに拘らず窒素の高い N3, N4 は注入後著しい膨脹を示し縦断面は著しい気泡が発生しその形状は水素或いは CO によるものと全く差は認められない。又 N<sub>2</sub> の少い N2 は注入後若干膨れ、押湯附近に僅かに気泡の発生を見た。N1 は普通鋼塊の 2 倍以上の N<sub>2</sub> 量を有するに拘らず收り良く気泡の発生は見られない。その状況は第 3 圖より明瞭である。

尙水素、窒素の單獨添加によつては rimming action を起すことは出来ず従つて C5, C6 の如きリムド鋼狀の鋼塊を作ることは出来なかつたが、第 4 圖に示した C4, H6, N4 の sulphur print に見られる如く共にリムとコアには夫々特徴ある偏折を示し何れもセミキルド鋼と考えることが出来、相互の區別をつけることは困難である。

(4) CO と H<sub>2</sub> が同時に作用した場合の気泡

以上の結果より CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> は夫々單獨で管狀気泡を発生しその位置形状は夫々にのガス量によつて定まり同程度と認められるもの間では何等區別出来ないことが明らかとなつたが次にこれ等のガスが相互に如何に影響するかを試験した。先ず (1) に述べた CO ガスによる気泡発生と同一条件の場合若し水素が高くなつたら如何なる影響があるかを脱酸度の異なる種々の熔鋼に水素を添加して (1) の場合と気泡発生の状況を比較した。この場合の成分、ガス量、注入後の状況及び気泡発生状況を第 4 表に示した。又鋼塊のマクロ組織を第 5 圖に示し

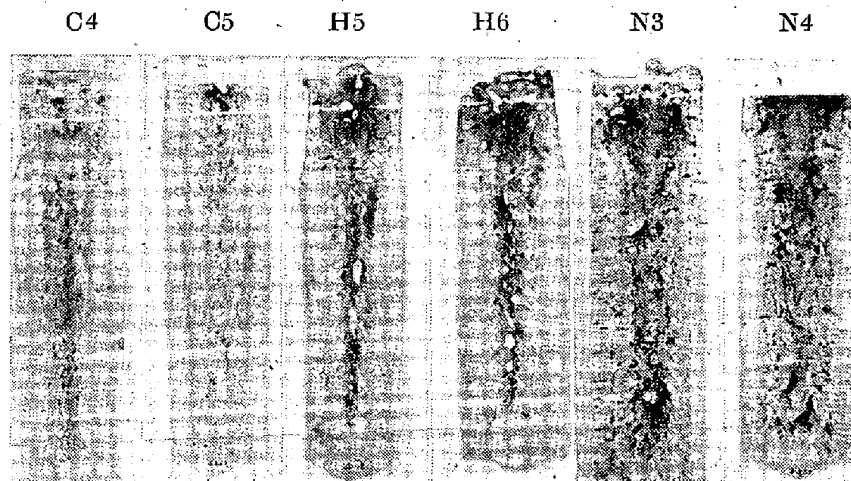
第 3 表

鋼塊記號	脱酸劑添加量 (g)		鋼塊成分 (%)						凝固狀況	氣泡狀況
	N <sub>2</sub> 金屬Mn	75%FeSi	C	Mn	Si	O <sub>2</sub> × 10 <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> × 10 <sup>-5</sup>	N <sub>2</sub> × 10 <sup>-4</sup>		
N1	200	250	0.20	0.46	0.39	分析不良*	—	120	收り良好 凝固末期僅 か膨る 膨れ甚し 同上 鑄型上より流出	なし 鋼塊上部 鋼塊全長 同上
N2	300	〃	0.28	0.73	0.44	同上	—	190		
N3	400	〃	0.23	0.85	0.38	同上	—	240		
N4	500	〃	0.20	0.89	0.29	—	—	340		

\* 分析不良は値が高く一定しないもの、この原因は AlN が Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> に混入して分析されるためであることが判明した。

第 4 表

鋼塊記號	脱酸劑添加量 (g)		鋼塊成分 (%)						凝固狀況	氣泡狀況
	金屬 Mn	75% Fe-Si	C	Mn	Si	O <sub>2</sub> × 10 <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> × 10 <sup>-5</sup>	N <sub>2</sub> × 10 <sup>-4</sup>		
CH1	200	120	0.15	0.32	0.14	15	60	53	引け悪し 凝固末期膨る 膨れ甚し 同上 普通の沸騰起る 普通の沸騰起る 同上 活潑な沸騰 同上	押湯に少し 鋼塊上部 鋼塊全長 同上 同上 鋼塊下部 同上 リムになし 同上
CH2	〃	90	0.15	0.32	0.13	18	65	52		
CH3	〃	70	0.17	0.35	0.08	23	62	53		
CH4	〃	55	0.14	0.37	0.07	25	62	56		
CH5	〃	40	0.16	0.34	0.06	27	49	51		
CH6	〃	30	0.15	0.39	0.04	27	74	54		
CH7	〃	20	0.16	0.40	0.02	29	51	47		
CH8	〃	10	0.16	0.39	0.01	29	65	56		
CH9	〃	0	0.17	0.37	0.01	33	53	51		

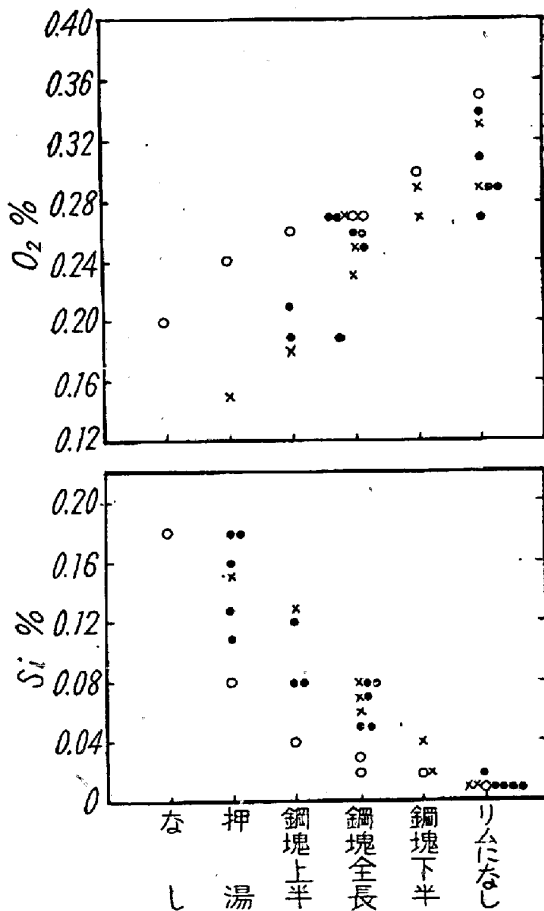


第4圖 CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> の夫々單獨ガスによつて氣泡を發生した鋼塊の硫黄の偏析狀況の比較

たがこの場合にも (1) の場合と同様に脱酸劑の添加量の減少に伴い氣泡のない鋼塊、押湯にのみ氣泡を發生した場合から、上部、全長、下部と氣泡の位置が變り最後にリム部には發生しなくなる。又氣泡の形狀も同じく表皮附近から發し針狀のものが次第に稍深い位置から發し圓錐狀のものに變化する。但し第1表と第4表との比較

或いは第7圖より明らかな如く、同一脱酸劑量、同一 Si 量同一酸素量の場合でも (1) の場合と比較して氣泡發生の傾向は著しく、而もその影響は脱酸量の多い場合程著しい。本實驗の場合は第4表に示した如く水素量は (1) の場合の 0.0002% 程度に對し 0.0005~0.0007% であるが 0.0006% 程度の水素量であれば Si 量が

0.14% で既に取り悪く氣泡の發生を見るのに對し同一 Si 量でも 0.0002% 程度の H<sub>2</sub> 量では氣泡の發生を見ることがなく、Si 量がもつと高くても水素量が 0.0008~9% 位になれば鋼塊全長に氣泡の發生を見る。即ち含有水素量の差によつて脱酸度の等しい鋼でも氣泡發生の傾向に差があり水素量の増すに従つて氣泡は發生し易くなる。併し Si による脱酸量が減じてリムド鋼に近づくに従つて管狀氣泡發生に對する水素の影響は次第に弱くなり水素量による差は認め難くなる。これは第7圖よりも推定される。



鋼塊の管狀氣泡發生狀況

- H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>共に低い場合 (H<sub>2</sub>: 2×10<sup>-4</sup>%, N<sub>2</sub>: 6×10<sup>-3</sup>% 程度)
- × H<sub>2</sub> の高い場合 (6×10<sup>-4</sup>% 程度)
- N<sub>2</sub> の高い場合 (12×10<sup>-3</sup>% 程度)

第7圖 氣泡發生位置と熔鋼ガス組成との關係

(5) CO と N<sub>2</sub> とが同時に作用した場合の氣泡  
水素ガスの影響を検べた場合と全く同様に窒素が CO による氣泡發生に如何に影響するかを次に實驗した。

(3) の場合と同じく窒化 Mn の添加により窒素量を通常の場合の約 2 倍 0.010~0.015% 程度にした。この場合の水素量は全部 0.0003% 程度或いはそれ以下で

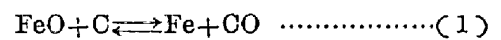
(1) の場合より稍多い程度で餘り大きな影響はないと考えられる。この結果は第5表に又鋼塊の氣泡發生狀況は第6圖に示した。この場合にも水素の場合と同様脱酸量の減少に従い氣泡は押し湯のみに發生したものから始り鋼塊上半, 全長, 更にリムに氣泡のないものと發生狀況は變化し, その形状も又全く同じ變化を示す。この場合第1表, 第4表と比較すると第1表の CO ガス單獨のものよりは氣泡發生傾向は著しくなるが第4表の水素の影響に比して若干弱い様に思われる。これは第7圖によつても明瞭である。窒素の場合も脱酸度の大きなもの程この影響は大きく, Si 量が少く本来のリムド鋼に近づくに従つてその影響が少くなることは水素の場合と全く同様である。この結果より見ると管狀氣泡の位置形状に及ぼす窒素ガスの影響は窒素量が共通の状態では斯様に高くなり得ない故に案外少いことが判る。これに對して水素は容易に實驗した値 0.0006% 程度には上昇し得る故多くの場合水素の影響が主であることが容易に推察される。

### III. 結果の考察

既に報告した如くリムド鋼に於ては注入された熔鋼自身が 1.5 氣壓程度のガス發生壓を持ち熔鋼の靜壓と大氣壓との和がこれ以下の場合には熔鋼自身から自由なガス放出が行われる。併し凝固時の氣泡生成には凝固に際して析出される δ 鐵の C, O<sub>2</sub> 従つて CO 及び H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> の溶解度が熔鋼に比して小さいため大きなガス發生壓が起りこれは凝固狀況と關連して起ると考えられる。

#### (1) CO ガスの發生壓

今 C 及び O<sub>2</sub> が平衡状態にある熔鋼が平衡状態を保ちつゝ凝固すると假定する。熔鋼及び凝固鋼の持つ CO の分壓を夫々 P<sup>e</sup><sub>CO</sub>, P<sup>δ</sup><sub>CO</sub> と表らせば



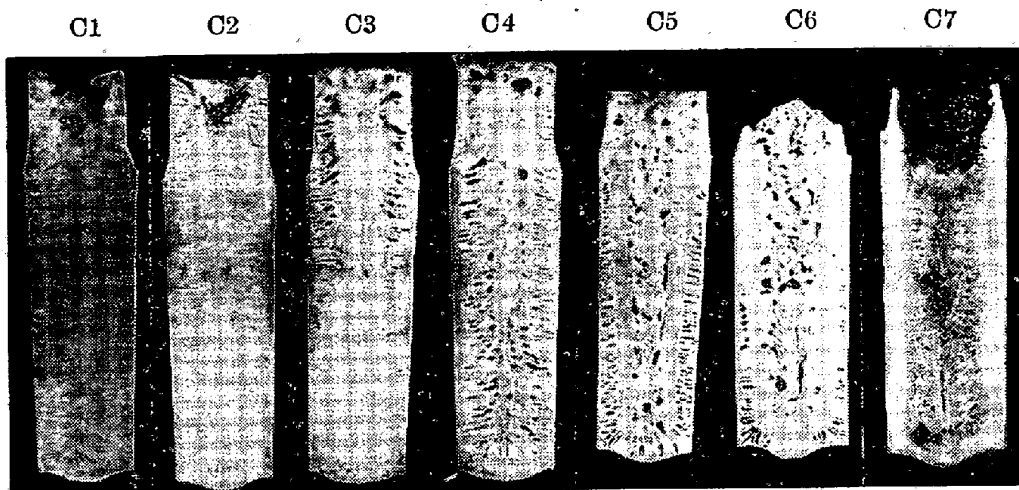
なる CO 生成反應に於て今熔鋼が C, O<sub>2</sub> 以外の不純物を含まずその活動度は 1 と考えれば

$$P_{\text{CO}}^e = K_{\text{CO}}^e [\text{C}]_e [\text{O}]_e \dots\dots\dots(2)$$

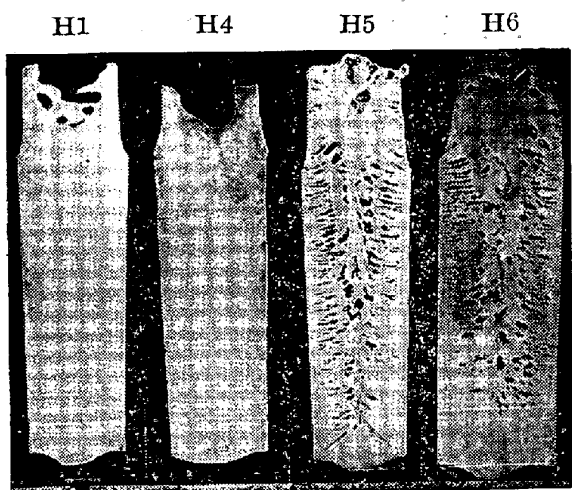
これより凝固した鐵 δ に對しては

$$P_{\text{CO}}^{\delta} = K_{\text{CO}}^{\delta} [\text{C}]_{\delta} [\text{O}]_{\delta} \dots\dots\dots(3)$$

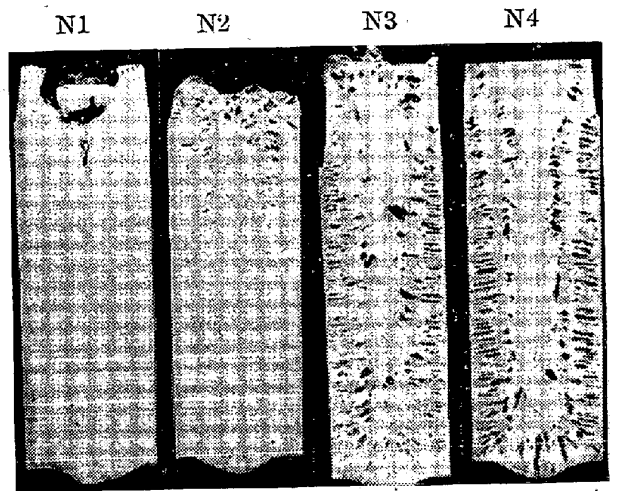
が成立する。但し [C]<sub>e</sub>, [O]<sub>e</sub> 及び [C]<sub>δ</sub>, [O]<sub>δ</sub> は夫々平衡状態に於ける熔鋼及び凝固鋼の濃度を示す。今凝固温に於て P<sup>e</sup><sub>CO</sub> = P<sup>δ</sup><sub>CO</sub> = 1 (氣壓) とすれば K<sup>e</sup><sub>CO</sub> の値は Vacher-Hamilton により 1/0.0025, K<sup>δ</sup><sub>CO</sub> の値は正確な値はないが吾々の計算結果<sup>1)</sup>では 1/0.000118 となる。従つて 1 氣壓で平衡している熔鋼が平衡状態を保つて δ 鐵に凝固するとすればその際凝固した δ 鐵の CO ガス發生 T<sub>1</sub>P<sub>CO</sub> は 20 氣壓程度となる。今實際の凝固の場合を



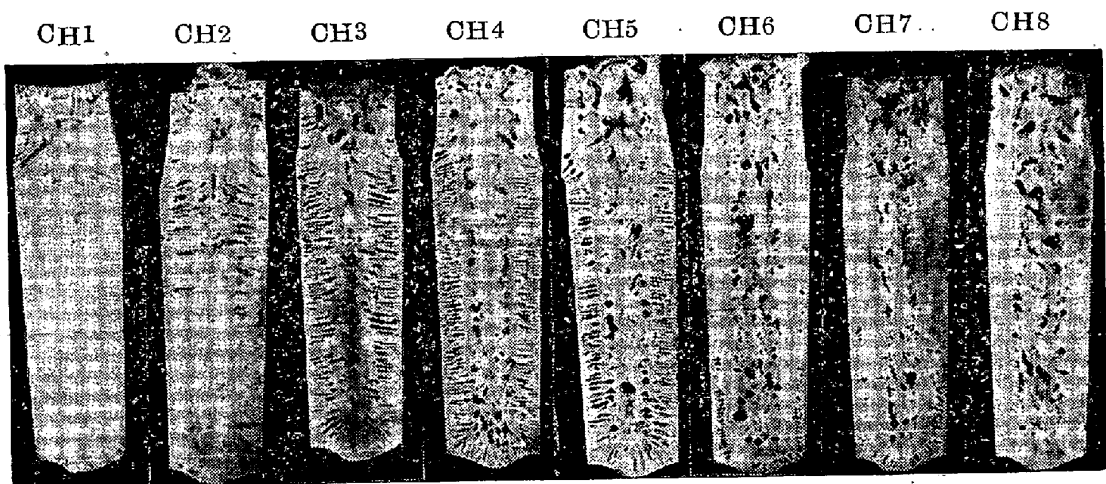
第1圖 CO ガスによる気泡の発生状況



第2圖 H<sub>2</sub> ガスによる気泡の発生状況



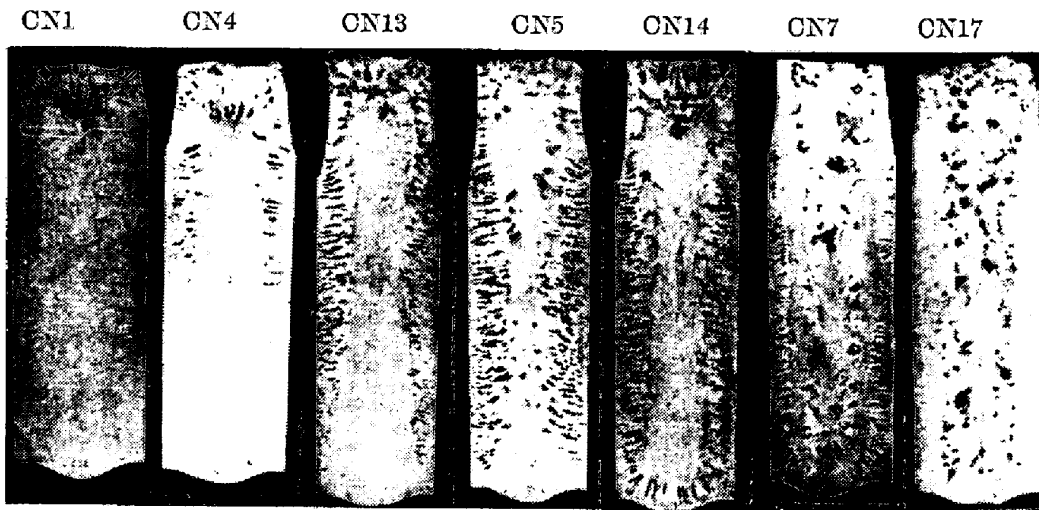
第3圖 N<sub>2</sub> ガスによる気泡の発生状況



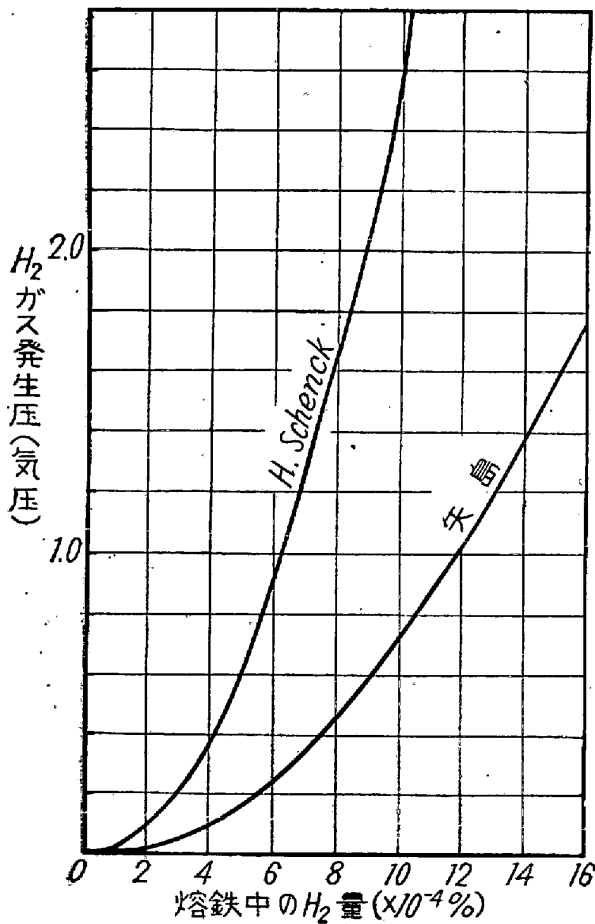
第5圖 CO と H<sub>2</sub> による気泡の発生状況

考えれば鋼の析出による撰擇凝固によつて凝固鋼と接觸する熔鋼に濃化が起る。即ち $[O]_e$ 、 $[O]_i$ の濃化によつて $P_{CO}^e$ の値が増加しCOガスを発生し得るようになる。これは熔鋼中にガスを発生しそのガスが外部へ逸出すれば気泡発生の原因とならないが例へば結晶間隙等の

如き逸出の可能性の少い處では気泡として残ることになる。この防止には通常脱酸剤が使用される。脱酸剤は熔鋼に添加されて $[O]_e$ を脱酸生成物に変化して凝固鋼の持つガス発生壓を減じ、凝固開始と共に起る $[O]_e$ の濃化を脱酸作用によつて防止し $P_{CO}^e$ の上昇は $[O]_e$ の濃



第6圖 CO と N<sub>2</sub> による氣泡の發生狀況

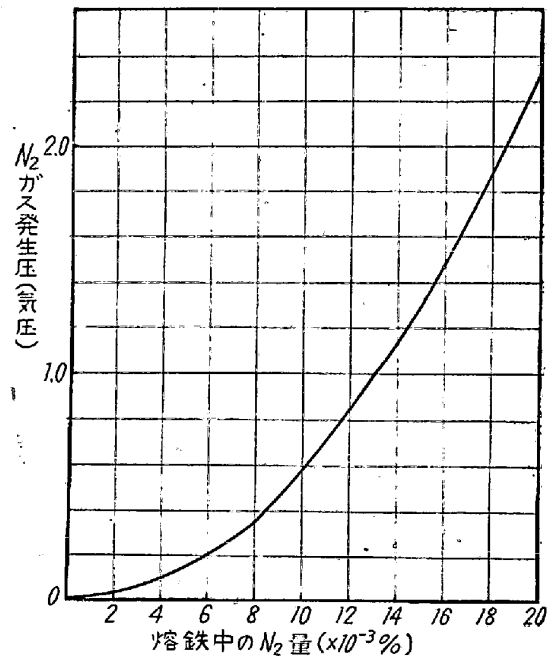


第8圖 熔鉄中の H<sub>2</sub> 量と凝固時の H<sub>2</sub> ガス發生壓との關係

化のみとなるため十分添加されれば P<sub>CO</sub> が1氣壓を越えることなく CO による氣泡の發生を防止し得る。

(2) H<sub>2</sub> の發生壓

水素も又凝固温度に於て熔鋼と δ 鐵との間に可成り溶解度の差がある。Sievert の法則と凝固點に於ける K<sub>H</sub><sup>δ</sup> により熔鋼中の水素量と凝固時の水素ガスの發生壓との關



第9圖 熔鉄中の N<sub>2</sub> 量と凝固時の N<sub>2</sub> ガス發生壓との關係

係を求めることが出来る。今 H. Schenck 及び矢島氏の測定値を用いてこの關係を求めると第8圖の如くなる。矢島氏と H. Schenck の値の間には K<sub>H</sub><sup>δ</sup> に可成り差があるため値は異なるが水素は H. Schenck の結果では 6×10<sup>-4</sup>%, 矢島氏の結果では 12×10<sup>-4</sup>% 程度で1氣壓となる。又 2×10<sup>-4</sup>% 程度では發生壓は 0.1 氣壓以下であるが 6×10<sup>-4</sup>% 位になると 0.3~1.0 氣壓となり可成りの影響を氣泡發生に及ぼすことが推察される。

(3) N<sub>2</sub> の發生壓

窒素も又水素と同様熔鋼と δ 鐵との間に溶解度に可成りの差がある。今凝固點に於ける K<sub>N</sub><sup>δ</sup> を大體從來の實驗

第 5 表

鋼塊 記號	脱酸劑添加量 (g)		鋼 塊 成 分 (%)						凝固狀況	氣泡狀況
	N <sub>2</sub> 及金屬Mn	75%Fe-Si	C	Mn	Si	O <sub>2</sub> ×10 <sup>-3</sup>	H <sub>2</sub> ×10 <sup>-5</sup>	N <sub>2</sub> ×10 <sup>-4</sup>		
CN 1	140	120	0.17	0.40	0.18	分析不良	—	130	凝固末期僅かに膨る	押 湯
CN 2	"	90	0.16	0.37	0.16	—	36	130	同 上	同 上
CN 3	"	70	0.16	0.41	0.12	19	—	120	凝固末期膨る	鋼塊上部
CN 4	"	55	0.17	0.41	0.08	21	—	110	中途より徐々に膨る	に少し
CN 5	"	40	0.15	0.36	0.08	25	—	130	膨れ甚し	同 上
CN 6	"	30	0.15	0.36	0.07	27	—	150	膨れ甚し	鋼塊全長
CN 7	"	20	0.18	0.39	0.05	27	—	140	弱い沸騰起る	同 上
CN 8	"	10	0.16	0.34	0.02	29	—	130	普通の沸騰起る	同 上
CN 9	"	0	0.17	0.37	0.01	31	—	100	同 上	氣泡短し
CN 10	"	120	0.12	0.34	0.18	分析不良	—	100	同 上	リムになし
CN 11	"	90	0.17	0.41	0.13	同上	—	130	活潑な沸騰	同 上
CN 12	"	70	0.19	0.36	0.11	同上	19	130	引け悪し	押 湯
CN 13	"	55	0.14	0.36	0.08	同上	—	120	凝固末期僅かに膨る	同 上
CN 14	"	40	0.15	0.37	0.08	26	17	120	可成り膨れる	鋼塊上半部
CN 15	"	30	0.18	0.34	0.05	26	30	120	膨れ甚し	同 上
CN 16	"	20	0.18	0.35	0.01	27	27	120	同上	鋼塊全長
CN 17	"	10	0.18	0.38	0.01	29	29	130	強い沸騰起る	同 上
CN 18	"	0	0.18	3.34	0.01	31	17	120	普通の沸騰	同 上
									活潑な沸騰	リムになし
									同 上	同 上

値を綜合して正しいと考えられる 0.013 として凝固時に依る N<sub>2</sub> の發生壓を計算すれば第 9 圖の如くなる。

これによれば 13×10<sup>-3</sup>% で 1 氣壓となり水素の場合とその含有量から見て大差がないが實驗結果によれば Mn の作用を考慮に入れても氣泡生成作用は水素に比して明らかに弱い。

(4) 氣泡生成に及ぼすガス壓

熔鋼のガス發生と同様凝固時の氣泡發生に及ぼすガス壓は CO, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 等の分壓の和と考えられる。即ちこれ等の分壓の和が外氣壓と熔鋼の靜壓の和を越えれば氣泡が發生する。その際何れのガス壓が主役を演ずるかは夫々のガスの含有量とその活動度によつて定まりガスの種類には無關係であると考えられる。

即ち十分酸素量の低いキルド鋼では CO 或いは CO<sub>2</sub> による分壓は著しく低く水素或いは窒素が氣泡生成の主役を演じ殊に通常の場合侵入の機會の多い水素が氣泡生成の主因となり易いと考えられる。併るに酸素が著しく高いリムド鋼に於ては P<sub>CO</sub> が他の分壓 P<sub>H<sub>2</sub></sub> 又は P<sub>N<sub>2</sub></sub> に比して著しく大きくその全壓の大部分を占める様な場合には氣泡生成の主役は CO であつて鋼塊の凡ゆる部分に凝固の進行と共に氣泡を發生し得る筈であるが熔鋼に自由なガス放出が起り或いは凝固時多量のガスが一時に生じそのため生じた氣泡は凝固壁から浮揚し去る傾向が

強く又之等の氣泡の上昇による熔鋼の Washing Action によつて氣泡は洗いながされて逆に消失するものと思われる。従つてリムド鋼の氣泡生成に及ぼす水素及び窒素のキルド鋼或いは後述のセミキルド鋼に比して著しく少く之等のガス量の變化は氣泡生成の上に見何等の影響を與えていないことは前章の實驗結果が示す通りである。但し凝固の全期に亘り之の關係が保たれるかどうかについては尙検討の必要があると思われる。

キルド鋼とリムド鋼の中間に位置する酸素量を有するセミキルド鋼の範囲内に於ては P<sub>CO</sub> は一般に P<sub>H<sub>2</sub></sub> 或いは P<sub>N<sub>2</sub></sub> に比して大きいと考えるべきであるがこの大きさの割合はリムド鋼に比較して著しく接近している。従つて P<sub>H<sub>2</sub></sub>, P<sub>N<sub>2</sub></sub> の大小はその全壓 P に可成り大きく影響し實際の氣泡の位置形狀に大きな影響を與える筈である。これは上述の實驗結果に明らかに示されている通りである。

リムド鋼乃至セミキルド鋼の管狀氣泡について考えて來た以上の結果はキルド鋼では表皮氣泡乃至ピンホールとして當然問題となる。即ち上述の實驗で明らかな如く水素、窒素の低い鋼では可成り低い Si 量で十分氣泡の無い鋼塊が得られるのに對し水素或いは窒素が高くなると多量の Si を用いても尙完全な鋼塊が得られ難い。併し氣泡の發生が P<sub>CO</sub>, P<sub>H<sub>2</sub></sub>, P<sub>N<sub>2</sub></sub> 等の全壓で決定される



とすれば若し水素が高く普通の窒素量普通の脱酸量では氣泡の發生を見る危険のある場合でも脱酸度が十分強く  $P_{CO}$  が著しく低い場合には氣泡は發生し難くなると考えられるもので例えば Si よりも強力で脱酸脱窒作用を有する Al, Ti 等を使用することによつて  $P_{CO}$ ,  $P_{N_2}$  を減じ表面氣泡の減少を來すであらうということは當然豫期される。従來ピンホールは水素によつて發生するということが定説であるため唯水素減少を目標として精錬造塊が行われて來たわけであるが上述の考え方からすれば著しく片手落であつて水素の減少に努力することは勿論のことながら同時に強力な脱酸剤乃至脱窒剤を用いて酸素及び窒素量を減ずることがピンホールの無い健全なキルド鋼塊を得るための條件と考えられる。

以上の結果を綜合すればリムド鋼の管狀氣泡に對しては水素窒素の影響は可なり小さいものと思われ管狀氣泡の生成消失從つて Skin の厚さ管狀氣泡の高さ等は主としてその熔鋼の持つ酸素の量によつて決定されると見るべきであるが、セミキルド鋼の管狀氣泡に對しては水素或いは窒素も大きな影響がありその熔鋼の有する水素量窒素量に應じて酸素量の調節を行わなければ同一程度の氣泡を有するセミキルド鋼は得られない。又十分脱酸されたキルド鋼に於ては氣泡發生の主原因は水素と考えるべきであるが酸素以外のガスによる氣泡發生と脱酸不足に基く氣泡發生との間に何等の區別はつけ難く、ガスが少ければ當然收るべき鋼塊もガスが多ければ脱酸不良と同様な現象を呈して氣泡發生を見る場合があり、逆に脱

酸が完全であればガスが少々多くても氣泡のない鋼塊の得られる可能性が大きくなると考えるべきである。

## V. 結 言

本報告はリムド鋼からキルド鋼に到る脱酸度の異なる鋼塊の氣泡發生に及ぼす酸素、水素、窒素の影響を検べる目的で行つた實驗であるがリムド鋼の管狀氣泡に對しては實驗上も理論上も餘り大きな影響が認められないのに對し、セミキルド鋼の管狀氣泡に對してはこれ等のガス含有量は大きな影響があり、又キルド鋼の健全性に對しても影響することが認められた。(昭和 28 年 3 月寄稿)

## 文 献

- 1) 下川義雄, 田上豊助: 鐵と鋼, 37 (1951) 503, 555
- 2) 下川義雄, 田上豊助: 扶桑金屬, 3 (1951) No.2 9, 15
- 3) H. D. Hibbard: Iron Age, 142 (1938) Oct. 13, 69
- 4) A. Hultgren & G. Phraginén: A. I. M. E. 135 (1939) 133
- 5) J. Chipman & C. R. Fon Der Smith: A. I. M. E. 125 (1937) 370
- 6) K. C. McCutcheon & J. Chipman: A. I. M. E. Metals Tech. (1938) Aug
- 7) A. Hay & J. Chipman: A. I. M. E. 135 (1939) 85