

鐵鋼中の含有瓦斯に関する研究 (第3報)

鋼塊内の水素分布及其の擴散に就て

(日本鐵鋼協會第16回講演大會講演)

矢 島 忠 和 ※

HYDROGEN DISTRIBUTION AND ITS DIFFUSION IN SOLID INGOT

Tadakazu Yajima.

SYNOPSIS:—By improving the vacuum fusion method apparatus, the accuracy of hydrogen analysis is so increased that it is possible to draw a distribution map of hydrogen in a solid ingot section. As a result it is found that hydrogen content is gradually increased from outer to inner part of the ingot, making nearly homocentric equiconcentration lines. The distribution is caused by the hydrogen diffusion in solid steel after solidification.

The stress set up by dissolved hydrogen in ingots is calculated using the data obtained. Under certain circumstances the pressure of hydrogen in a small fissure would increase to overcome the strength of steel, though it has a much lower value in actual cases owing to its high diffusion velocity.

The author observed the white spots in a steel billet in which practically no hydrogen was present. It is, however, confirmed that hydrogen promotes the development of the white spots, but not to be the principal cause of it.

緒 論

H. Bennek, H. Schenk 及 H. Müller¹⁾ は一定氣壓の下に於ける酸素の銀に對する溶解度に關する A. Sieverts²⁾ の結果に基いて、鋼塊内に存在する水素の内部壓力を計算し、鋼塊内に存在する白點發生の原因は専ら此の水素の内部壓力によるものであると説明した。本多博士及廣根氏³⁾ は、上記三氏の説に修整を加へ、水素の内部壓力は 300°C 附近に於て、最大値を示すものであるから、此の溫度に於ける鋼の變態によりて生ずる歪力に加へて、白點發生を助長し得るものと報告した。然しながら上記報告に於ける水素の溶解度は一氣壓の下に於ける水素の鐵に對する溶解度に關する L. Luckmeyer-Hasse 及 H. Schenk⁴⁾ の論文に基くもので實際製鋼作業の際幾何の水素を鋼塊が含有し得るかに就て正確なる測定の結果に基いたものではない。

蓋し爐の中の熔鋼の上部を掩ふ水素の分壓は、水及炭水化合物の分解により或る程度存在し、從つて熔鋼内にも A. Sieverts の法測に從つて溶解する。出鋼と同時に大氣中に於ける水素の分壓は減少するが、注型凝固の時間内に水素は全部放出せられないで其の儘鋼塊内に含有せられる。

※ 日本特殊鋼合資會社

¹⁾ H. Bennek, H. Schenk, H. Müller : St. u. E. 55 (1935) 321/328

²⁾ A. Sieverts : Z. Physik. Chem. 77 (1911) 591/613

³⁾ 本多、廣根 : 金屬の研究 13 (1936) 121/126

⁴⁾ L. Luckmeyer-Hasse, H. Schenk : Arch. Eisenhüttenwes 6 (1932/33) 209/214

又 G. Lewkonja, W. Bankloh⁵⁾ に依れば、鐵は 700°C 以上で容易に水素を通過せしむるから、凝固せる後鋼塊の冷却する途中鋼塊内に含有せられた水素は次第に減少する。

是等の事實の如く鋼塊内の水素の擴散が速かなれば水素による裂罅内の内部壓力が増大する以前に水素含有量が減少して、最早裂罅を發生せしむるが如く大なる壓力を呈する事はない。H. Schenk¹⁾ は水素の擴散による逸出よりも内部壓力の増加が速かであるとして白點發生の原因は水素の内部壓力に依るものであると説明してゐる。

著者は熔鋼及鋼塊内の水素の状態を明かにするため、先づ正確なる水素定量法が必要であるとなし、A. Sieverts の法則により眞空中に於て鐵中に含有せられたる水素は總て放出せられるものとして、眞空熔融法に依る水素の定量方法を研究し、次に熔鋼中の水素及鋼塊内に含有せられる水素を定量し、水素分布及擴散の状態を明かにした。

眞空熔融法による水素の定量

A. Sieverts に依れば

$$v = K \sqrt{p}$$

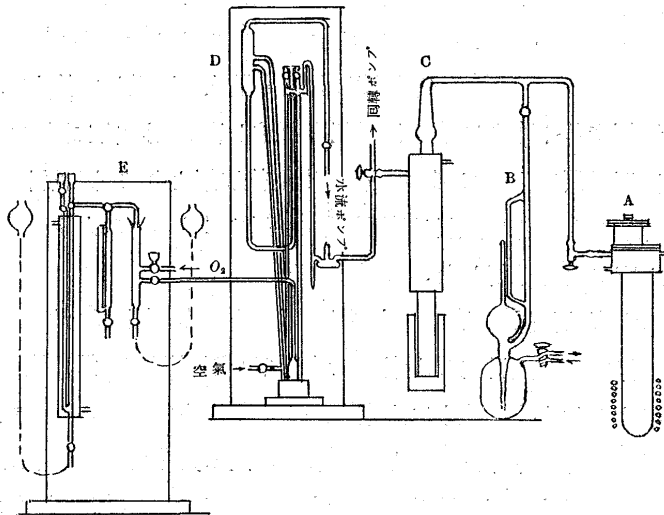
v は吸収せられたる瓦斯の濃度 p は瓦斯の壓力 K は比例恒數である。即、金屬中に溶解する瓦斯の量は壓力の平方根に比例する。從つて壓力を小にすれば金屬中に吸収せられたる瓦斯も放出せられる故、高度眞空中にては吸収

⁵⁾ G. Lewkonja, W. Bankloh : Arch. Eisenhüttenwes. 6, (1932/33) 453/458

瓦斯の殆んど全部が分離せられる。瓦斯の吸収及放出は温度が高ければ速に行はれ、金属が固体であるより熔融せる場合の方が迅速に行はれる。

真空熔融法による水素の定量は、高度真空中にて鋼を熔解し吸収せられたる水素を放出せしめ是を捕集して測定する方法である。装置は第1圖の如く、

第1圖 瓦斯分析装置



A 真空爐 B マクレオッド真空計 C 水銀擴散ポンプ
D 捕集ポンプ E 微量瓦斯分析装置

真空爐 (A) の中には黒鉛製の坩堝を収め、此の中で試料を熔解して水素を分離せしめ、水銀擴散ポンプ (C) で吸引して後捕集ポンプ (D) で捕集して一氣壓となし之をオルザット微量分析装置 (E) にて分析する。詳細は真空熔融法による酸素定量法⁶⁾と同様である。

此の際先づ試料より分離せる水素が全部抽出捕集せらるるか否かに就き Oberhoffer⁷⁾ は、水素と鋼の不純物との反應に就き研究し、水素は全部分解抽出せらるると報告してゐる。然し分離せられた水素が爐中に存在する黒鉛に吸収せらるる點に關し H. Diergarten⁸⁾ は、炭素を多量に使用せる炭素螺旋爐と炭素使用量少き高周波真空爐との水素吸収量を比較して、炭素螺旋爐では多量の水素が吸収せらるると述べてゐる。本實驗に於ては高周波真空爐を用ひて實驗したが坩堝材料たる黒鉛中には多量に水素が含有せられて居り是を充分に排氣して空値試験を少量ならしめなければ鐵鋼中に極く微量に含有せらるゝ水素を正確に定量する事は出來ない。又黒鉛を高温度で排氣して水素を驅逐し温度を下げると黒鉛よりの瓦斯發生は止んで良好なる真

空が得られる。然しながらかゝる操作を實施せられた黒鉛は再び瓦斯を吸収するに依て試料より發生せる瓦斯の抽出を完全に行ふ事が出來ない。故に黒鉛の吸収作用を除くため排氣温度を高めないで時間と共に真空爐内の壓力を減少せしめる様にして同じ温度で抽出分析を行ふべきである。

高温度で排氣して温度を下げた場合と分析温度で長時間排氣せる場合に、爐内に導入した水素の抽出率は第1表に示すが如く、高温度にて排氣せる黒鉛坩堝は温度降下と共に吸収能を生ずる事が認められる。

第1表

回数	送入瓦斯 cc			抽出瓦斯 cc			抽出率%	
	總量	CO	H ₂	總量	CO	H ₂	CO	H ₂
1.720°にて排氣して1.600°に下げたる場合								
第1回	2.15	—	2.15	1.89	—	1.89	—	92.0
第2回	1.53	—	1.63	1.61	—	1.61	—	105.0
第1回	3.11	0.80	2.31	2.71	0.70	2.01	88.0	87.6
第2回	2.80	1.00	1.80	2.75	1.00	2.75	100.0	97.4
1.650°にて排氣し同温度に保ちたる場合								
第1回	2.20	—	2.20	2.15	—	2.15	—	98.0
第2回	1.75	—	1.76	1.77	—	1.77	—	101.0
第1回	3.50	1.22	2.28	3.49	1.20	2.49	99.2	99.5
第2回	2.31	0.90	1.41	2.28	0.93	1.35	103.0	96.3

即、高温度にて排氣せる坩堝は第1回の瓦斯送入に際し少量の吸収を示すが第2回以後には吸収しない。

同一温度にて排氣及抽出を行つた場合にも多少第1回に吸収する如く見らるるが是は坩堝を出來得る限り小型ならしめる事に依り黒鉛の吸収による誤差を少くする事が出来る。第2表は H. Diergarten¹⁾の結果による炭素螺旋爐及本實驗に用ひたる高周波真空爐の瓦斯の吸収を比較したもので H₂ 及 CO の混合氣體を注入し5分間爐内に止めておいて後抽出定量したものである。但し水素は CO よ

第2表

坩堝温度 °C	送入瓦斯 cc			抽出瓦斯 cc			抽出率%	
	總量	CO	H ₂	總量	CO	H ₂	CO	H ₂
炭素螺旋爐 (H. Diergarten に依る)								
送入瓦斯 49.5% CO 50.5% H ₂								
1,450	5.82	2.88	2.94	4.40	2.83	1.70	98.0	58.0
1,450	6.25	3.10	3.15	4.55	2.82	1.92	91.0	59.0
送入瓦斯 79% CO 21% H ₂								
1,450	6.60	5.21	1.39	5.29	4.49	0.39	95.0	28.0
1,450	8.00	6.32	1.68	6.85	6.05	0.77	95.5	46.0
高周波電氣爐 (著者の實驗に依る)								
送入瓦斯 50% CO 50% H ₂								
1,700	2.83	1.50	1.43	2.80	1.51	1.39	101.0	97.5
1,700	3.21	1.66	1.55	3.20	1.65	1.55	100	100
送入瓦斯 20% CO 80% H ₂								
1,700	2.51	0.76	1.75	2.39	0.73	1.66	96.0	95.0
1,700	2.44	0.74	1.70	2.35	0.75	1.60	101.0	95.0

り抽出がおくれるものの如く CO 瓦斯のみの場合に比して真空爐内壓を以前の狀態に復せしむるまでの時間が永い。

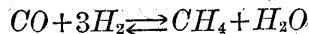
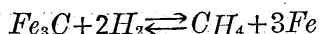
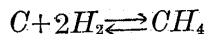
黒鉛坩堝の吸収の外に、水素と炭素又は CO 瓦斯は次

6) 矢島：學術振興會第19小委員會報告 33 昭和11年6月27日 鐵と鋼 近時上梓

7) P. Oberhoffer. : Arch. Eisenhüttenwes. 1 (1927/28) 583/600

8) H. Diergarten : Arch. Eisenhüttenwes. 2 (1928/29) 813/828

の反應を起す事が知られてゐる⁹⁾。



而して、 CH_4 は 1 氣壓に於て $850^\circ C$ 以上で完全に分解し且、 CO と H_2 との反應も $300^\circ \sim 400^\circ$ で右方へ進行する。真空爐中の壓力の減少は更に CH_4 の分解を促進するから分析の際メタン生成は考慮するに及ばない。

是は第 1 表及び第 2 表の混合瓦斯の抽出率より充分知る事が出来る。

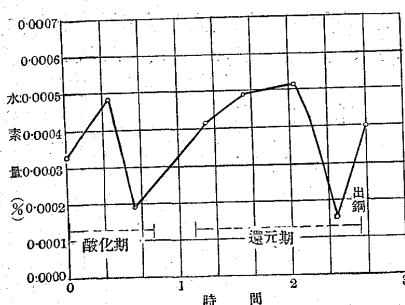
以上の事實より、真空熔融法は水素定量に適合してゐる事が知られる。

電氣爐内に於ける熔鋼の水素含有量

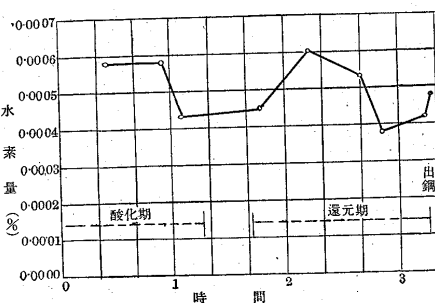
熔解せる鐵は水素を含有する大氣と接觸すると、多量の水素を吸収する。H. Schenk に依れば $1,480^\circ C$ に於ける熔鋼の水素に対する溶解恒数は $0.257 (cm^3 atm. prers. \frac{1}{2} gr^{-1})$ である。即 1 氣壓の水素の下では 1 gr の熔鋼は $0.257 cc$, 1 cc の熔鋼中には $1.75 cc$ の水素を溶解する。

電氣爐の大氣は平爐の如く瓦斯燃料を使用しないから水素の分壓は平爐内程高くないが装入物中の水分の分解により水素を生じ是が熔鋼の中に溶解する。

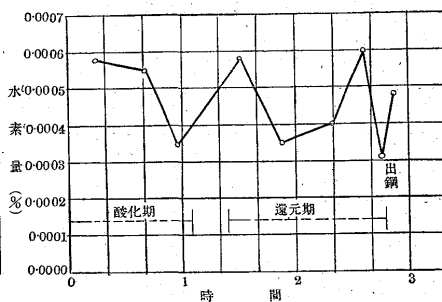
第 3 圖
熔解中に於ける水素含有量の變化
(熔解 H1)



第 4 圖
熔解中に於ける水素含有量の變化
(熔解 H2)



第 5 圖
熔解中に於ける水素含有量の變化
(熔解 H3)



而して熔鋼に含有せらるる水素の定量に際し試料採集方法は定量結果に著しい影響を與へる。

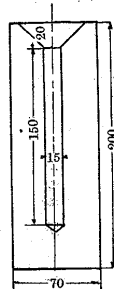
G. Lewkonja, W. Baukloh⁵⁾ の報告に依れば $700^\circ \sim 800^\circ C$ 以上で水素は鐵中を通過する。従つて熔鋼より採取する試料は急激に凝固せしむるは勿論、速かに $600^\circ C$ 以下に冷却して水素の逸出を防止せなければならぬ。

本實驗に於ては第 2 圖に示す如き銅型を用ひ電氣爐内よ

⁹⁾ M. Meyer, V. Altmeyer Ber. dtsch. Chem. Ges. 40 (1907) 2134

⁵⁾ G. Lewkonja, W. Baukloh 前掲

第 2 圖
試料採取用銅型



り採取せる熔鋼を急冷せしめた。

使用せる電氣爐は容量 8 匁で 3 回の熔解作業に就き試料を採取した、

各熔解に於ける鋼塊の分析は下記の如くである。

	C	Si	Mn	P	S
H1	0.13	0.30	0.42	0.014	0.011
H2	0.41	0.33	0.48	0.011	0.010
H3	0.57	0.32	0.56	0.012	0.010

電氣爐に材料を装入、送電して後全部熔解するや直ちに第 1 回試料を採取し酸化期の内に更に 2 回還元期に入つて 4~5 回、出鋼後取鍋より 1 回試料を採取した。採取試料は直径 8mm 長さ 20mm の丸棒に仕上げて之を分析した。

水素分析結果は第 3 圖、第 4 圖、及び第 5 圖に示す。

採取せる試料内の水素含有量はやゝ不規則で、是は後に示すが如く冷却途中に水素が逸出せるためであつて専ら試料採取時の條件に依るものである。故に實際熔鋼内に溶解せる水素量は測定結果より多量であるが一般に酸化期、還元期を通じ又各熔解を通じて大差はない。

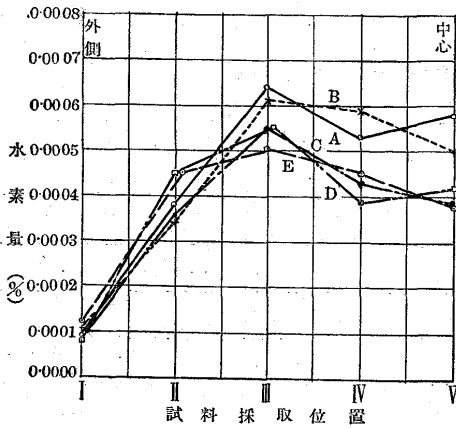
熔鋼に溶解せる水素に関しては鋼塊内の水素含有量に關聯して後に詳述する。

鋼塊内の水素分布

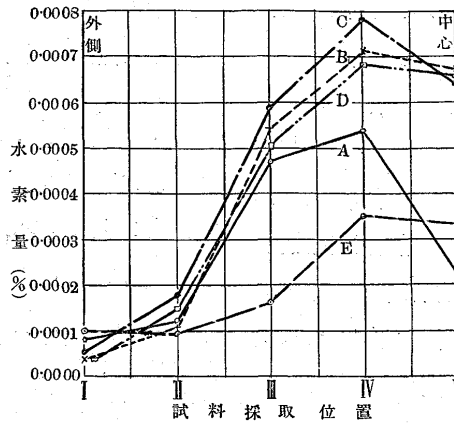
上述の熔解経過によりて得られたる鋼塊 3 種に就き内部より採取せる試料を分析せる結果を第 6 圖、第 7 圖、第 8 圖に示す。試料採取個所は上部押湯下より下部に到るまでを A, B, C, D, E, の 5 段に分ち、各段に就き外側より中心線上に到るまで 5ヶ所、合計 25ヶ所に亘つた。

試料の大きさは前述の如く直径 8mm 長さ 20mm のものである。分析結果は圖に見る如く鋼塊周邊は水素含有量極めて少く中心に到るに従つて次第に増加し中心部は略一様

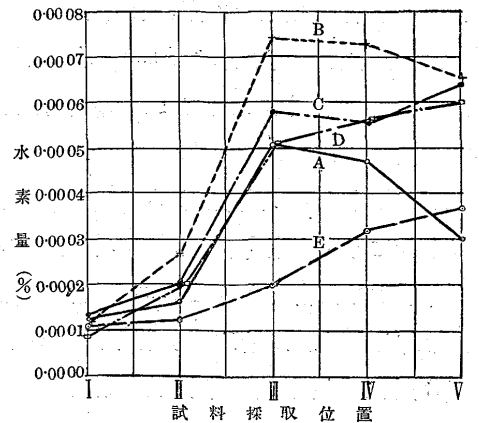
第6圖 鋼塊 H1 に於ける水素分布



第7圖 鋼塊 H2 に於ける水素分布



第8圖 鋼塊 H3 に於ける水素分布



の濃度分布を示す。即、鋼塊 H1 は外側に少く内部に向つて第 II, III 列と急激に上昇し第 III 列目以内は中心まで略相等しい濃度を有する。鋼塊 H2 は第7圖に示す如く第 I 列第 II 列まで水素含有量は左程増加せず第 III 列目に到つて急激に増加し第 IV 列より中心に向つて略同一の最高濃度を示す。

鋼塊 H3 は鋼塊 H2 と略同様の傾向を示す。

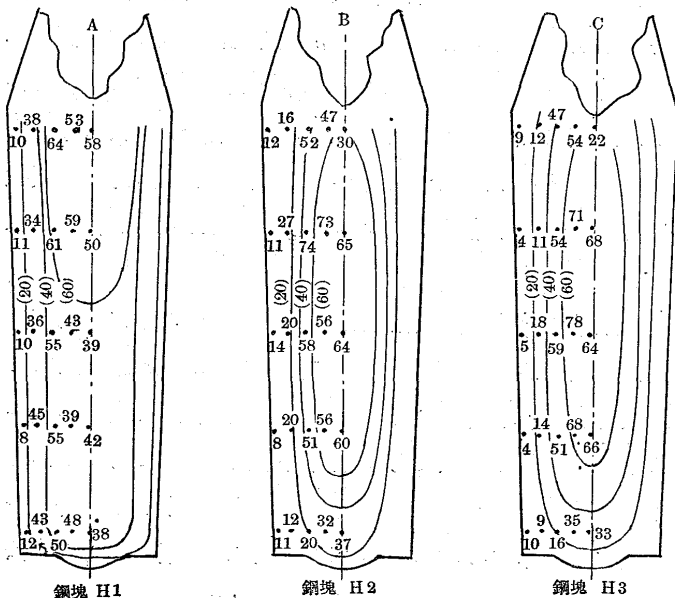
水素の分布状態を鋼塊内部の等濃度線に依て現すと第10圖 A, B, C の如く外側より中心に向つて増加する状態

と鋼塊 H2 は鋼塊 H1 に比して外週の水素含有量の少ない部分が廣い、之は外側の水素が鋼塊 H2 は鋼塊 H1 に比し多量に逸出せるを示すものである。

鋼塊中の水素の擴散

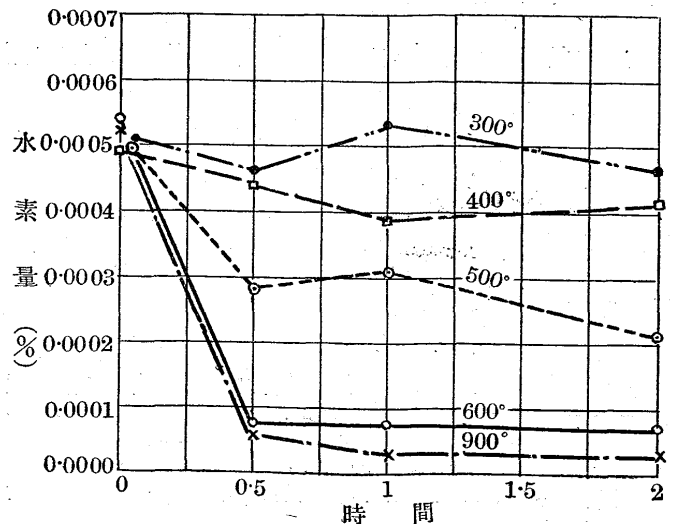
上記3種の鋼塊は鑄型内にて凝固せるものを取り出して空中にて放冷せるもので其の間に外側の水素は全部逸出せるものである。此の冷却する間に水素含有量の減少する所を見るに水素の擴散速度はかなり速なるものゝ如くである。依て次の實驗により水素擴散逸出の程度を測定した。即、鋼塊 H1 の中心部に近く水素分布が略一樣なる所より 10mm 角長さ 40mm の試料を數多切り出し大氣中にて 300° より 900°C まで各種の温度に加熱し、後直径 8mm 長さ 20mm の分析試料に仕上げて殘存せる水素量を測定した。結果は第10圖に示す如く 600°C 以上では30分で大部分の水素は擴散逸出する。500°C 以下では擴散は餘り著しくなく 300°C では最早變化しない。之を G. Le-

第9圖 鋼塊内の水素分布状態



を見る事が出来る。是はむしろ均一に分布せるものの週邊の部分より次第に擴散逸出して中心部が未だ元の状態の儘で殘留してゐると見るが至當である。内部最大含有量を示す所の濃度は3種を通して 0.0006~0.0007% 附近にあり熔鋼より採取せる試料の水素含有量の最大値に略等しい値を有する。又上記3個の鋼塊の水素分布状態を比較する

第10圖 鐵中に溶解せる水素の加熱による變化



wkonja, W. Baukloh の實驗に比較すると鋼塊内に残存せる水素の逸出は水素瓦斯が鐵板を透過する場合より容易に行はれる。即、厚さ 1mm の鐵板に對する水素の透過は 700°C で漸く認めらるゝに反し、鋼塊内の水素は 500°C で擴散する。

斯の如く水素の擴散は速かであるから僅かに冷却速度がおくれても、水素含有量は著しく減少する。熔鋼より試料を採取するに當り太さ 15mm の細長い試料は極めて速かに冷却しなければ始めの水素含有量を其の儘に示さない。第3圖、第4圖、第5圖の測定結果の不規則なるは一に此の結果に依るもので大なる鋼塊に於ても冷却中に水素の逸出せる部分の厚さは 30~40mm に及んでゐる。此處に鋼塊 H1 は他の鋼塊に比して水素分布状態は比較的均一であるのは冷却が速かに行はれた爲と思惟する事も出来るが又 G. Lewkonja, W. Baukohl の報告に依る鐵中の炭素量の増加に伴つて水素の透過速度が急激に上昇すると云ふ結果と一致してゐる。

實驗結果の考察

熔鋼に水素が溶解する場合液面に於ける水素の壓力と溶解度との關係は、前述 A. Sieverts に依れば

$$H = K\sqrt{P_{H_2}} \dots\dots\dots(1)$$

此處に H は 1gr 中の水素含有量を標準状態に於ける容積にて表はしたるもの P_H は水素の壓力を氣壓單位にて表はしたものである。

高溫度にて多量に水素を溶解した熔鋼が出鋼後冷却するに従ひ水素の溶解度は次第に減少して、熔鋼の水素含有量が 1 氣壓の水素瓦斯と平衡状態にある濃度に達すると水素氣泡を發生するに到る。水素による熔鋼の荒びは此の場合生ずるものである。

熔鋼に於ける溶解恒数は前述 (1) 式の單位にて溫度に關し次の式で現はされる。¹⁰⁾

$$K_t = 306 \cdot 10^{-6} t^\circ C - 194 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \dots\dots(2a)$$

γ 鐵に對しては

$$K_\gamma = 97 \cdot 8 \cdot 10^{-6} t^\circ C - 44 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \dots\dots(2b)$$

α 鐵に對しては

$$K_\alpha = 53 \cdot 4 \cdot 10^{-6} t^\circ C - 19 \cdot 13 \cdot 10^{-3} \dots\dots(2c)$$

であつて溶解せる鋼が凝固する場合には不連続的に溶解度

¹⁰⁾ H. Schenk, Einführung in die physikalische Chemie der Eisenhütten Prozesse Bd. I
本書に於ては K は (Wt. %, atm. press^{1/2}, gr⁻¹) の單位にて示てゐる。

を減少する故に水素を飽和せる熔鋼は凝固に際し水素氣泡を發生する。

此の氣泡の壓力 P_{H_2} は

$$P_{H_2} = \frac{[H]^2}{K^2}$$

で表はされる。此の P_{H_2} の値が 1 氣壓以上になる場合は外壓に押し勝つて水素は氣泡となつて發生し完全なる鋼塊とはならない。實際に當つては熔鋼の壓力を加へて水素氣泡の壓力は 1 氣壓以上であるが今假に 1 氣壓とする。

P_{H_2} が 1 氣壓以下なら氣泡を生じないから $P_{H_2} < 1$ なるためには

$$[H]^2 < [K]^2 \dots \therefore H < K$$

今熔鋼が 1,400°C で γ 鐵に變化するとする。1,400°C に於ける γ 鐵に對する K の値は

$$K = 0.0956 \text{ (cm}^3 \text{ atm. press}^{1/2} \text{ gr}^{-1}\text{)} \\ = 0.000860 \text{ (wt. \% atm. press}^{1/2} \text{ gr}^{-1}\text{)}$$

であるから

$$H < 0.00086$$

即、水素含有量が 0.00086% 以下なれば水素に依る湯の荒びは生じない。

本實驗に於ける各鋼塊は中心部の水素含有量 0.00070% 程度であり又鋼塊内に氣泡を有しない點より見て上記計算と矛盾する所はない。又、第3圖、第4圖、第5圖に示した熔鋼の水素量の測定値より實際には多量に含まれてゐるが水素による氣泡を生じないから水素含有量は多くとも 0.00086% 以下である。従つて計算値より推論して實驗による測定値も略實際に近い値を示してゐる事が首肯出来る。

炭素鋼に於ける實驗結果を直ちに Ni-Cr 鋼に推論する事は危險であるが、二三の測定値より Ni-Cr 鋼に於ても水素含有量は本實驗による測定結果と大體同程度であるから今、Ni-Cr 鋼に於ても水素含有量は 0.00070% であるとして此の濃度の水素が鋼塊内の細隙に集中した場合生ずる壓力を計算する。本多博士に依れば、水素の壓力 P_H は

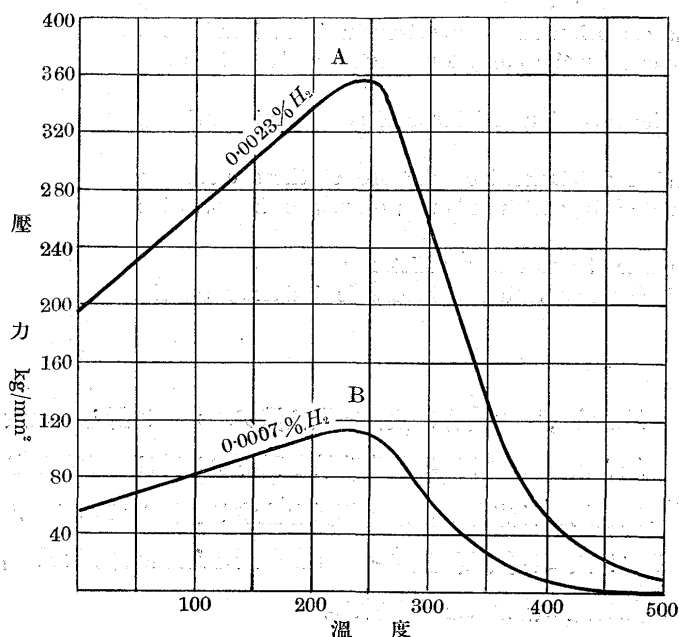
$$P_H = \frac{K_2}{4V'^2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{4vV'}{K^2}} - 1 \right\}^2 \\ V' = \frac{273 \cdot 2V}{273 \cdot 2 + \theta}$$

此處に

- θ : 溫度 °C
- V : 裂罅の容積 cm^3
- v : 水素含有量 (cm^3/gr)
- K : θ °C に於ける溶解恒數 ($cm^3 \text{ atm. press}^{1/2}, \text{gr}^{-1}$)

α 鐵に對する K の溫度による變化は (2c) 式より計算出来る。本多、廣根兩氏の計算に依れば、上式による P_{H_2} の値は溫度降下と共に急激に上昇し 300°C 附近にて極大値をとり以下の溫度では直線的に降下する。今裂罅の容積を 1 cm^3 の鋼に對して 0.1 mm^3 即、 1 gr の鋼に對して 0.0135 mm^2 とし水素含有量 0.0023% なる場合の壓力の溫度による變化は第 11 圖、曲線 A にて表はされる。上記水素

第 11 圖 溫度降下による裂罅内壓力の變化



含有量の鋼塊は完全なる鋼塊として得られない。今本實驗にて測定せる結果 0.00070% として同じ條件に於ける水素の壓力を計算すると曲線 B の如くなる。其の最大値は 115 kg/mm^2 となり裂罅の切線分應力は其の半分であるから約 60 kg/mm^2 で大體鋼の抗張力程度である。裂罅の容積が是より小なれば壓力は充分大となつてくるから鋼の抗張力に打ち勝つ事になる。

上述の如く本實驗に於て測定せる水素含有量に於ても水素の内部壓力による裂罅發生は考慮し得るも鋼塊内の水素分布状態及其の擴散速度より見て、鍛造の際の加熱の度に週邊の水素を含まない部分は擴がり中心部も濃度が減少する。又、擴散は炭素量の増加と共に増大する傾向を有する。

勿論、大鋼塊にあつては、中心部の水素の擴散には長時間を要し鍛造の後にも水素を含有する場合がある。

一方鍛造せる小片には水素の含有量は何れの部分も皆無に近く 0.00005~0.000010% 或は是れ以下を含有する。斯の如き鋼片にも完全なる白點を多數に見出す事は度々著者の經驗する所である。

斯くの如く水素含有量の少き場合此の微量の水素に依て生ずる壓力が鋼を破壊する程大となるとは考へられない。

然しながら本實驗の結果によれば鋼塊の生成せる初期には可なり水素を含有し、計算結果による壓力上昇も大であるから、水素による白點發生の機會も多い。

是等の事實を綜合すると白點發生の原因は悉く水素の存在のみにあるのでなく、水素の存在せる場合には白點の發生が助長せられると考へるのが至當である。

結 論

電氣爐熔解作業中の熔鋼及製造せる鋼塊内の水素を定量すべく鋼中の水素定量法を研究し、眞空熔融法が水素の定量に適當なる事を確めた。

三種類の電氣爐製鋼塊の熔解過程に於ける熔鋼中の水素含有量を測定した。電氣爐内の熔鋼の水素含有量は本實驗の場合 0.00086% 以下である。同じ熔解より得たる鋼塊を切断し各部分より試料を採つて分析した。鋼塊内の水素分布状態は外側は僅少で内部に到るに従つて増加し、中心部に略一様の濃度の區域があり此の部分の水素含有量は略熔鋼の其れと等しい。

鋼中に含有せられた水素は加熱すると擴散して逸出する擴散は 500°C より始まり 900°C では速かである。従つて鋼塊内の水素は、鍛造の途中次第に減少する。

本實驗の測定より得たる水素濃度にて鋼塊内部に生ずる壓力を計算した。計算の結果裂罅の内容積が小なれば、水素の壓力は鋼の抗張力以上となり鋼塊に龜裂を生ぜしめる。然し水素の擴散は可なり速かであるから鍛造せる鋼片内には水素は存在しない。依て、水素の存在は白點の生成を助長するが水素のみが白點の原因とはならない。

本實驗中、終止御指導を賜つた本多、村上兩先生並びに困難なる實驗の進行に就き直接御指導下さつた所長渡邊博士に謝意を表す。

以 上