

に粉末原料より直に高温で加圧と焼結を同時に行ふ所謂直接法に於て、特に試験の装置で清浄 H_2 ガス、 N_2 ガスを夫々吹込んだものにつき材質試験の結果、 H_2 ガス吹込のものは、一般に硬度及び比重最も高く切削能率大で、 N_2 ガス吹込のものは之に次ぎ良成績を示した。之が主因は、之等ガスの吹込により、焼結工具の表面が還元雰囲気状態に保持せられるか又は酸化を防止せられる結果によるものと考へられる。

(2) 高速度鋼浴内に N_2 ガス、 H_2 ガス及び O_2 ガスを夫々吹込んで、之等ガスの影響を検せるに、 N_2 ガス吹込のものは、硬度及び切削耐久時間概ね最大で、 H_2 ガス吹込のものは、硬度稍々大となるも、繰返打撃試験による靱性劣り、 O_2 吹込のものは多数の酸化物の生成により何れも之より更に劣る。

(3) 高速度鋼の表面にクロム鍍金を施せば、其の硬度を高め、高張力鋼を旋削の際、切削耐久時間を長からしめる。但し、この場合には刃先の研ぎ直し後使用の際、再びクロム鍍金を施す必要がある。

本研究を行ふに當り御懇篤な鞭撻を賜つた九大工學部教授谷村熙博士に厚く御禮申上げる次第である

参 考 文 献：—

- (1) 堀田秀次；鐵と鋼。第23年 第8號(昭.12.8) p.787~798.
- (2) 堀田秀次；鐵と鋼。第27年 第6號(昭.16.6) p.373~404.
- (3) 堀田秀次；鐵と鋼。第28年 第4號(昭17.4.) p.403~443.
- (4) 堀田秀次；鐵と鋼。第32年 第1~3號(昭21.1.~3) p.10~11.
- (5) 堀田秀次；鐵と鋼。第33年 第4~6號(昭22.4~6) p21~23.
- (6) Oscar E. Harder & Crove; Amer. Inst. Min. Met. Eng. 1933.
- (7) F. Rapatz u. H. Kallen; St. u. Ei. Okt. 29, 1931, S. 1139~1140.
- (8) Herbert; mech. Eng. 1930.
- (9) Cowdrey; Amer. Soc. of Test. Mat. 1930
- (10) Kinzel & Burges; Trans. A. I. M. E. 1923
- (11) F. Körber u. I. B. Simonsen; Mitt. a. d. Kaiser Wilhelm Inst. f. Eisenforschung. 1924.

白點狀缺陷に関する研究 (I)

(白點の發生機構及び防止法に関する二三の基礎實驗*)

下 川 義 雄**

STUDIES ON THE FLAKE-LIKE DEFECTS IN STEEL (I)

—Some Fundamental Experiments.—

Yoshio Shimokawa

SYNOPSIS:—Some fundamental experiments related to the forming mechanism and the preventing method of the flake-like defects in steel were performed. The main results are as follows.

(1) In this experiments the very small ingot (60mm in dia., about 100mm length and 2-3 kg in weight) was used. This small ingot casted from the molten steel was forged into a billet (forging ratio about 2.5) before the casted ingot be cooled and quenched into water after the forging. This billet was annealed several days ago and broken or macroetched to research the appearance of the flake. On the fracture of this billet flakes have found frequently.

(2) This small ingot and the normal large ingot made from the same molten steel have a similar tendency to the flake formation. Then all the experiments were performed by this method.

(3) If the hydrogen content of the molten steel be increased by any methods, that is, the blowing of H_2 gas or the addition of the calcium carbide on the molten steel, flakes appeared violently and on the contrary if the hydrogen content be decreased by some method, that is, the addi-

* 昭和18年10月第30回講演大會講演 ** 扶桑金屬工業鋼管製造所

tion of mill scale or the blowing of the N_2 gas the appearance of flakes was weakened or vanished.

(4) In the quenching testpiece flakes did not appear during the quenching, but they appeared while it is keeping in the room temperature and flakes in it became larger as the keeping time is longer.

(5) In the electric steel making the effect of the additional materials and the tapping ladle on the flakeformation was confirmed directly by this small ingot method and was confirmed that both, especially the tapping ladle promote the flakeformation.

I. 緒 言

鋼材の重大缺陷の一つである白點狀缺陷の發生機構に関しては、最近に到る迄實驗的或は理論的に多數の研究が行われているが、所謂特殊鋼の銀白點を始めとして、熔接の際の魚の目に到る迄の各種の鋼に種々の條件のもとで發生する白點狀缺陷を一元的な見地から明らかにしようとした研究は極めて少い。之等の白點狀缺陷の發生が、常に水素富化に伴つて現われるという事實は水素が重要な一因子である事を裏書するものであるが、他に之れと同等或はそれ以上の役割を演ずる因子がないか、或は常に他の因子を必要とするのでは無いかといふ様な點に關して今迄の研究で十分であるとは思はれない。即ち白點發生に關聯ありと見られてゐる諸因子中の何れが本質的な因子であるかという點に關する吟味が十分であるとは思われない。筆者は之等の點を考慮して二つの互に獨立した實驗方法、即ち小鋼塊白點實驗法及び酸洗法に從つて白點狀缺陷發生に關する検討を種々の方向より行つて、之等の夫々獨立した實驗結果より共通因子を抽出して白點狀缺陷發生に眞に必要な本質的な因子を明らかにし、それによつて白點發生機構を明らかにすると同時に從來の白點防止法をも再検討したいと考えてゐる。

本報では小鋼塊白點實驗法に關する基礎的實驗を一括して簡単に報告する。

II. 實 驗 結 果

實驗結果を要約すれば次の通りである。

(1) 小鋼塊白點試驗法 筆者は本報以下の白點試驗に際し、白點は大型の鋼材にのみ發生するという既往概念を排除し、條件に多少の差こそあれ略同一條件のもとでは小鋼材にも白點發生は可能であるという見解のもとに熔鋼より直徑 60mm 重量 2~3kg の小鋼塊を鑄造し頭部を急冷し鍛造温度迄冷却するのを待つて、それを直ちに厚さ 20mm 幅同 5~60mm の板に鍛造し鍛造後直ちに水冷して、その後之れを調質中央部より破斷或は強腐蝕して白點或は毛割れを検出した。以下多くの實驗より明らかな如く、斯る小鋼塊より得た白點試料にも明らかに白點は發生し高周波電氣爐で水素添加を行つた場合は勿論電氣爐或は平爐より採取し

た試料にも白點發生を見た。以下高周波のものを H、電氣爐のものを A、平爐のものを B と表はす。但し爐は何れも酸性である。

(2) 小鋼塊白點試驗結果と普通鋼塊による白點試驗結果との比較 小鋼塊による白點と普通鋼塊の白點との間にはそれ等が同一熔鋼より得られたものであれば兩者に或一定の關係が存在するものと見て差支ない。小鋼塊に發生した白點と大鋼塊に發生した白點が別者であるとする理由は全然なく、寧ろ同一熔鋼より得た小鋼塊に白點が發生すれば大鋼塊に白點が發生する可能性は更に大きいものと思わなければならない。

第 1 表

記號	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	H ₂ ×10 ⁻⁴ %	小 白 點 試驗結果	普通鋼塊 白點試驗
A1	0.37	2.00	1.08	0.95	—	—	白點多シ	白點多シ
A2	0.45	0.51	1.07	1.36	—	—	白點多シ	白點多シ
A3	0.75	0.43	0.76	1.25	—	—	白點ナシ	白點ナシ
A4	0.33	1.36	0.97	1.14	—	5.0	白點稍多シ	白點稍多シ
A5	0.32	1.19	0.76	1.34	—	5.4	白點多シ	白點多シ

第 1 表は小鋼塊白點試驗結果と普通鋼塊白點試驗結果の關係を示したもので兩者の間には略一貫した關係のあることが認められる。この事實は冷却速度加工法加工度其の他の條件が略一定であれば通常鋼塊の白點發生傾向を小鋼塊白點試驗法によつて代表せしめる事が出来る事を示すものであつて、普通鋼塊と異なり電氣爐或は平爐から得た小鋼塊白點試料は、その試料採取後の條件を略一定になし得る故、純粹に精練の良否判定に極めて好都合であり、採取其の他が通常の白點試驗法に比較して著しく簡單であるだけに優つてゐるものと思われる。

(3) 鍛造後の冷却速度に關する實驗 通常の小鋼塊白點試驗の場合には試料は鍛造後水冷するが鍛造後冷却速度を変更すればどうなるかを實驗した。即ち同時に同一熔鋼より 2 個以上の白點試料を採取し之れを同一鍛造比に鍛造後 1 個は從來通り水冷し他は空冷油冷或は鍛造後直ちに爐中に入れて、一定時間加熱後水冷する等の處理を行ひ、兩者の白點發生傾向を比較

第 2 表

記 號	C %	Cr %	Ni %	Mo %	O ₂ ×10 ⁻² %	N ₂ ×10 ⁻³ %	H ₂ ×10 ⁻⁴ %	冷 却 法 處 理 法	白 點 狀 況
H 6	0.39	1.86	—	0.12	1.0	1.5	5.9	水 空	冷 冷 アリ (極メテ僅カニ)
H 7	0.38	1.86	—	0.14	1.2	1.5	5.2	水 空	冷 冷 アリ (僅カニ)
H 8	0.27	1.25	1.41	0.09	1.4	0.9	6.4	水 空	冷 冷 アリ (少シ)
H 9	0.35	1.84	1.20	0.21	1.5	1.2	9.3	水 空	冷 冷 アリ (稍少シ)
H10-1	0.34	1.66	—	0.54	1.1	0.6	5.9	水 空	冷 冷 アリ (中央部ニ少量)
H10-2	0.34	1.66	—	0.56	1.2	0.6	5.4	水 空	冷 冷 アリ (中央部ニ相當)
H11-1	0.33	1.68	—	0.20	2.6	1.1	4.6	水 油	冷 冷 ナシ
H11-2	0.31	1.70	—	0.21	1.5	1.3	8.8	水 油	冷 冷 アリ (猛烈)
H12-2	0.31	2.35	—	0.26	3.0	1.6	6.7	水 水	冷 冷 アリ (水冷ヨリ少シ)
H13-2	0.29	1.91	—	0.26	2.0	1.2	7.3	900°C×5m水 冷	冷 冷 アリ (水冷ヨリ少シ)
H14-1	0.31	1.63	—	0.48	1.3	0.7	4.8	900°C×30m水 冷	冷 冷 ナシ
H14-2	0.28	1.65	—	0.50	1.6	0.7	6.8	900°C×1h水 冷	冷 冷 アリ (猛烈)
								900°C×1h水 冷	冷 冷 アリ (中央ニ1ヶ)

した。その結果は第2表に一括して示す通りであつて、水冷の際著しく白點發生を見た試料を空冷すれば、その發生傾向を著しく減じ周邊部には白點は消失し、中央部に僅かに白點を發生するのみである。同様の傾向は油冷と水冷との間にも見られ、油冷の際には周邊部にも發生するが白點数は少い。又爐冷の場合には完全に白點は消失した。又鍛造直後900°Cの爐中に入れて5分、30分、60分保つて水冷した場合には冷却條件は略兩者が同一であるに拘らず、爐中に試料を長時間保つ程白點は消失し中央部に僅かに殘留するのみとなる。この結果は白點發生に冷却應力の必要性を物語ると同時に冷却應力のみでは白點は發生しない事を物語つてゐる。

(4) 冷却後放置時間に関する實驗 前節の結果は又加熱中或は冷却中に擴散逸出するガスの存在が白點發生に必要である事を示してゐる故常溫に於ても試料よりのガス放出は當然問題となる。殊に筆者の用ひてゐる白點試験は鍛造直後水冷するため鋼中のガスは過飽和状態のまま常溫迄持來される事となる。水素が白點發生に關係ありとすれば、常溫に放置中發生する過飽和水素が白點發生に影響するものと見て差支ない。筆者は同一溶鋼より同一條件にて同時にとつた2個の白點試料或は同一試料を2個に切斷して得た白點試料の何れか一方を水冷後直ちに650°Cの爐中に入れて加熱し、他の試料は之れを一定時間常溫に放置して後、前と全く同様に650°Cに加熱した。その結果直ちに加熱し

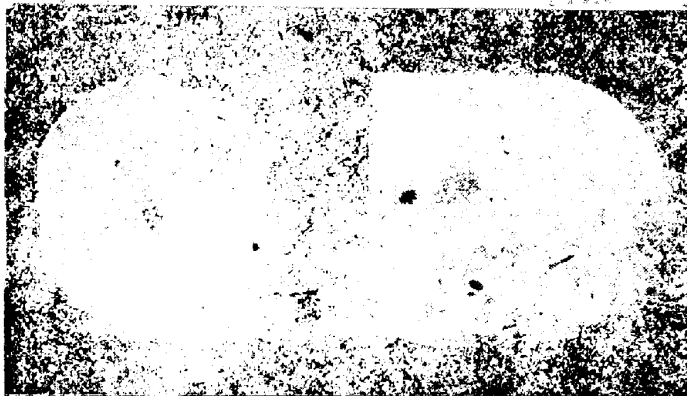
た試料には何れも白點は發生せず常溫放置後の試料には明らかに白點を發生した。この結果水冷した白點試料は冷却途上に白點を發生するのではなく常溫放置中に白點を發生して來るものである事が判る。即ち鍛造水冷した白點試料は時効現象とも云ふべき現象を呈する故筆者は本現象を「白點時効現象」と命名した。白點時効現象に關しては第2報りに詳論した。従つて白點試験は特に明記しない限り試料を數日間放置後調質し破斷試験、マクロ試験等を行つたものである。

(5) 鋼塊の粒白點との關係 鋼材に銀白點が發生する如く鋼塊に粒白點が發生する事は周知の事實であるこれに關する實驗を60mmφの小鋼塊によつて行つた通常の白點試料と比較するため同一溶鋼より2個の試料を採取し内1個は鋼塊のまま水冷他は鍛造後水冷した放置後何れも650°Cで焼戻し破斷若くはマクロ試験により白點狀況を檢査した。その結果は第3表の通りであつてその一例を第1圖に示す。この結果より見れば鋼片に白點が發生しても鋼塊に白點發生を見ない場合もあるが鋼塊に白點が發生すれば常に鋼片には白點發生を見る。之れより鋼片の銀白點と鋼塊の粒白點とは大體に於て成因を同じくし唯粒白點が抽出難いといふべきであらう。又第1圖より粒白點は何れも柱狀晶の間隙を纏つて發生してゐる事が判る。従つて白點發生位置を支配する因子の一つは鋼中の脆弱部である事が推定される。

(6) 過飽和により白點を消失せしめる實驗

第 3 表

記 号	C %	Mn %	Cr %	Mo %	H ₂ ×10 ⁻⁴ %	O ₂ ×10 ⁻³ %	N ₂ ×10 ⁻³ %	鋼 材 中 白 點	鋼 塊 中 粒 白 點
S 1	0.40	0.84	0.68	—	11.3	2.4	3.4	ア	リ
H16-1	0.32	0.34	2.02	0.15	3.4	2.1	17.1	ア	リ
—2	0.28	0.37	1.96	0.17	6.1	1.3	18.3	ア	リ
H17-2	0.29	0.52	2.73	0.25	9.3	4.6	12.1	ア	リ
—3	0.35	0.47	2.56	0.28	3.5	3.0	13.1	ア	リ
H4 —1	0.14	0.29	1.70	0.56	5.3	1.5	8.4	ア	リ
—2	0.12	0.31	1.66	0.62	8.2	1.4	10.2	ア	リ
H24-1	0.32	0.36	1.44	0.18	5.9	2.5	—	ア	リ
—2	0.32	0.41	1.35	0.18	4.2	1.1	—	ア	リ
—3	0.36	0.38	1.53	0.19	6.8	1.6	—	ア	リ



第1圖 鋼塊、白點と粒白點との關係 (圖定性平均値 Cr-Mn 例第3表S1)(上左粒白點、上右白點、下マクロエッチ)

て白點を一旦發生せしめ白點試料採取後之れにスケールを添加して再沸騰を行はしめ其の後白點試料を再び採取して白點發生の有無を檢べた。スケール添加量は20g/kg、再沸騰再脱炭後0.1%に相當する炭素を添加して脱炭の影響を除去した。その結果は第4表の如く再沸騰後は白點は消失した。再沸騰後は著しく水素が減少しているが、それ以外の点では大差がない故水素の減少により白點は消失したものと思はれる。

次に通常の電氣爐操業に於て酸化沸騰精練を行ふ程度に調しては熔解原料、爐床、添加物の水分又は水素量、還元期の狀況等關係しその決定は相當困難である。之等の狀況を無規し統計的に電氣爐操業の平均脱炭速度及び熔解炭素量と白點發生率との關係を求めた結果が第2圖であつて熔解炭素量は0.3~0.4%C、平均脱炭速度は0.3~0.4%/時の所に白點發生率の最小値がある。之の結果は Myrzimov の結果と幾分異なるがその原因については明瞭でない。併し電氣爐に於て熔解炭素量の高い事は無理な沸騰精練を伴ひ易く、急激な沸騰精練は爐床を悪化し以後の精練を不調ならしめる事も一考に値する。

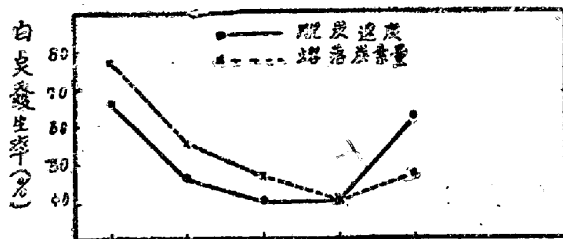
Myrzimov) の統計的研究を始め多くの研究者、現時迄報告により白點防止に酸化還元精練の有利なことが認められている。茲ではこれに關し次の實驗を行った。即ち脱炭電氣爐で精練した鋼塊に水素を添加し

(7) 窒素吹込により白點を消失せしめる實驗

前回の實驗の沸騰の代りに窒素吹込により水素を除去する實驗を以て窒素が白點發生の原因となり得ると云はれたことの反證として、又沸騰といふ機械的作用

第 4 表

記 号	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	O ₂ %	N ₂ %	H ₂ ×10 ⁻⁴ %	再 沸 騰 時 間 (分)	白 點 狀 況
H 15-1	0.28	0.27	0.41	2.57	0.23	0.002	0.016	3.4	—	ナ
—2	0.27	0.37	0.37	2.49	0.23	0.010	0.015	6.0	—	ア
—3	0.27	0.46	0.46	2.12	0.26	0.026	0.017	4.1	8	リ (多シ)
H 16-1	0.22	0.22	0.34	2.02	0.25	0.021	—	3.4	—	ナ
—2	0.23	0.21	0.37	1.96	0.20	0.018	—	6.1	—	ナ
—3	0.53	0.47	0.43	1.95	0.21	0.024	—	3.9	10	ア
H 17-1	0.50	0.15	0.32	2.57	0.23	0.021	—	3.6	—	ナ
—2	0.29	0.36	0.52	2.73	0.25	0.047	—	0.3	—	ナ
—3	0.35	0.29	0.47	2.56	0.25	0.030	—	3.5	12	ア

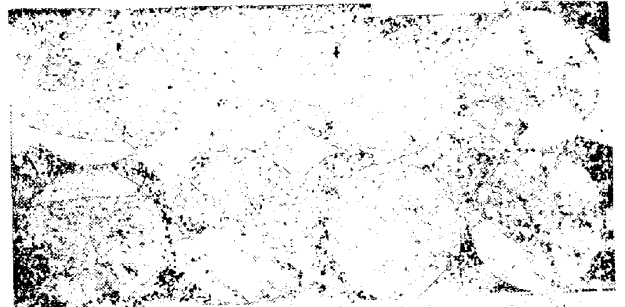


脱炭速度 0.1以下 0.1-0.2 0.2-0.3 0.3-0.4 0.4-0.5 (%C/時)
 熔落炭素量 0.1以下 0.1-0.2 0.2-0.3 0.3-0.4 0.4-0.5 (%C)

第2圖 白点と熔落炭素量、平均脱炭速度との関係

が水素除去に役立つ事を確かめるため、更に溶解ガスの分壓が相互に關聯して水素溶解度を減少せしめる事の確認として行つた。實驗結果は第5表の通りであつて窒素吹込後の熔鋼は著しく窒素が富化して水素が減少し白点は明瞭に消失した。之の結果よりも窒素の富化は白点發生に影響無く、水素の増減が白点發生を支配してゐる様に推察される。

熔鋼を用ひ脱炭後先づ白点試験を繰り、此れに石灰、カーバイト、螢石を以て表面にカーバイト鋼滓を作り一定時間放置後その鋼滓を除去して試料を採取した。その結果第3圖に見られる如く白点の發生しなかつた熔鋼に白点が發生し、同時に水素濃度が高くなり脆



第3圖 白点發生に及ぼす鋼滓中のカーバイトの影響 1.カーバイト添加前 2.カーバイト添加後

第5表

記 號	C %	Si %	Mn %	Cr %	Mo %	O ₂ %	N ₂ %	H ₂ % ×10 ⁻⁴	窒 素 吹 込 時 間 (分)	白 点 状 況
H 18-1	0.29	0.19	0.43	3.29	0.21	0.045	0.014	2.8	8	ナ シ
-2	0.28	0.17	0.38	3.17	0.24	0.025	0.011	7.6		ア リ (輕微)
-3	0.28	0.15	0.43	3.27	0.22	0.032	0.021	8.0		ア リ (少シ)
H 19-1	0.32	0.16	0.48	2.19	0.56	0.05	0.014	3.6	10	ナ シ
-2	0.32	0.11	0.47	2.19	0.55	0.023	0.010	9.7		ア リ
-3	0.31	0.15	0.49	2.31	0.55	0.07	0.015	5.3		ナ シ
H 20-1	0.32	0.22	0.40	1.20	0.18	—	0.011	3.6	12	ナ シ
-2	0.32	0.18	0.41	1.21	0.17	—	0.014	9.1		ア リ (多シ)
-3	0.28	0.26	0.43	1.23	0.16	—	0.021	2.5		ナ シ

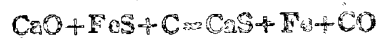
第6表

記 號	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	O ₂ %	N ₂ %	H ₂ % ×10 ⁻⁴	時間 (分)	白 点 状 況
H 21-1	0.41	0.35	0.45	0.026	0.035	1.60	—	0.22	0.018	0.013	5.7	15	ナ シ
-2	0.59	0.30	0.50	0.027	0.005	1.63	—	0.17	0.027	0.014	—		ア リ
H 22-1	0.23	0.30	0.44	0.030	0.009	1.89	—	0.18	0.027	0.015	2.9	20	ナ シ
-2	0.75	0.26	0.47	0.031	痕跡	1.93	—	0.19	0.021	0.018	6.7		ア リ
H 23-1	0.46	0.29	0.42	0.021	0.048	0.30	2.90	—	—	0.010	3.9	20	ナ シ
-2	0.47	0.24	0.46	0.029	痕跡	0.90	2.83	—	0.023	0.016	6.9		ア リ

(8) カーバイト添加により白点を發生せしめる實驗
 従來鹽基性電弧爐操業に於て強カーバイト精錬を行つた場合には、白点發生の危険が大きいと云はれてゐる。この原因として過脱炭による水素吸収のためか、生成されたカーバイトの作用に關係があるものか明らかでない。従つて白点發生に及ぼすカーバイトの影響を確かめるには熔鋼上にカーバイトを添加してその影響を見るのが捷徑である。

筆者は高周波電氣爐で熔鋼上にカーバイトを添加して直接此の影響を確かめた。即ち第6表の如き成分の

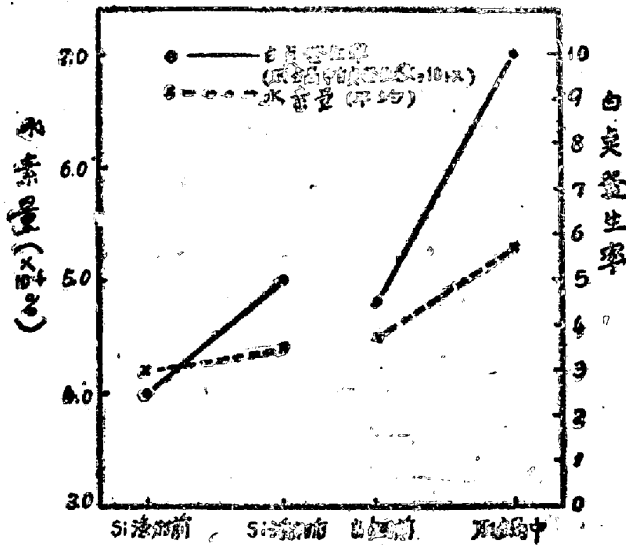
が著しく減少した。この反應を定量的に決定する事は出来なかつたが、熔鋼中にカーバイトが存在する結果大氣、熔滓、熔鋼間に次の如き反應が起り



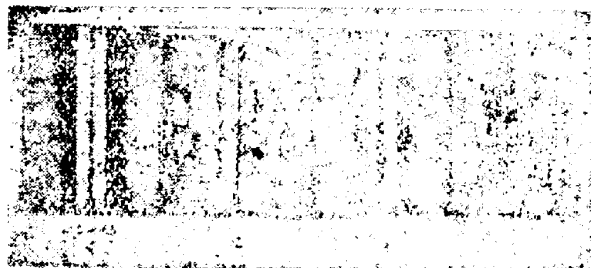
結局熔鋼中に水素が増加したものと考える事が出来る。結局白点發生に及ぼすカーバイトの作用も熔鋼への水素富化の一作用にすぎないと考えることが妥當である。

(9) 白点發生に及ぼす熔滓及び鋼の成分 小鋼塊

白点試験法を利用し、強酸性電解液に於て差物としての硫酸及び出鋼の際の取鍋が白点発生に如何なる影響を及ぼすかを試験した。即ち同一溶融の差物の前後、出鋼前後より得た白点試験の結果を比較したものである。その結果は第4圖の通りであつて何れも白点発生の危険を増大するが取鍋の影響は特に大きい。取鍋の白点発生に及ぼす硫酸試料の一例は第5圖の通りである。



第4圖 白点発生に及ぼす取鍋及び差物の影響



第5圖 白点発生に及ぼす取鍋の影響 (3=出鋼直前の試料 4=取鍋試料)

III. 結 括

以上の結果中特に注目すべき諸点は次の通りである

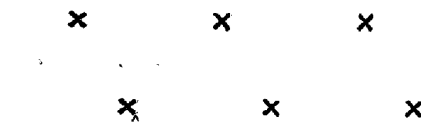
- (1) 従来白点が発生するとは考えられていなかった重量僅か2~3kgの小鋼塊にも白点が発生し、而もその白点発生傾向は通常の鋼塊の白点発生傾向と大體平行する事、従つて小鋼塊白点試験法は溶鋼の白点発生傾向の有無判定に極めて有効であると考えられる事。
- (2) 白点は溶鋼中の水素量を何等かの方法で増加させれば発生し、減少させれば消失する事。
- (3) 急冷された鋼材中では白点は常温に放置されている間に発生して来る事。
- (4) 白点発生に及ぼす差物或は取鍋の影響を直接に

明らかにした事。

此等の結果は大體従來の研究で餘り顧慮されていなかった点に關して新しい結果を得た事になるが、此等の點の詳細に關しては更に多くの研究すべき事項を残し第II報以下の基礎實驗と考えられるものである故本報に於ては實驗結果を指摘するに止め、後報の實驗結果を俟つて更に考察したいと考えている。

- 1) 下川 日本金屬學會誌 11 (昭22) No.9,28
- 2) Myrzymow: St. u. E. 58 (1938) 761

(昭.21.12月寄稿)



合金鐵・製鋼原料

電熱線・不銹鋼

タンガロイ・工具

カーバイド

新陽金屬株式會社

東京都中央区京橋一の二國際ビル

電話京橋 (56) 1444. 3044