

昭和十二年十二月二十五日發行

論 說

酸化沸騰精錬の效用とニッケル クロムモリブデン鋼とに就て

西 津 靄 吉*

THE EFFECT OF THE OXIDATION REFINING BY ORING IN THE
BATH AND ITS RELATION TO Ni-Cr-Mo STEEL.

Tsurukiti Nisizu.

SYNOPSIS:—

(1) In broad sense, the definition of inclusions in steel must be extended to gaseous substances such as hydrides or nitrides, not only for solids.

(2) One of the main causes of flakes or white spots in forged steels is considered to be the destructive force of free hydrogen arrested by doxidizing agents, which evolves suddenly at A_r_3 point in the case of cooling.

(3) In order to obtain clean steels free of gaseous inclusions in the melting, it is necessary to have:

a) long vigorous boil, owing to the quality of furnace charges, and b) minimum use of reducing agents.

(4) Ni-Cr-Mo steels are suitable manufactural clean steels with toughness in large ingots, as main additional elements such as nickel and molybdenum have little effect to kill the bath and are easy to get quality steel free of gaseous defects. It is advisable, however, to select 0.3% molybdenum steel in stead of usual 0.6% one in view of the diffusibility of gases for avoiding hair cracks.

I 緒 言

C. E. Sims 氏は鋼鑄物から氣泡を除去するのに次の2條件を提言して居る

1) 溶解ガス(水素 窒素 酸素等)を湯から出来るだけ減少すること

2) 技術上已むを得ず残留するガスは固溶體として安定する爲に最善の状態にもたすこと

是に對して從來鋼塊製造に要求されて居る理想は Sound と謂ふことであるが此意味が明確でないが氣泡 收縮孔 スラグ ゴースト等の少いものと解釋してよいとすれば固溶體に溶け込んで居るガス量の大小まで考へる必要がなかつた譯である 此考察を使用すると鋼鑄物で無氣泡の良品を造る溶解法は直に Sound な鋼塊を造る方針と全然一致してよい結果となる 併し成る程鋼鑄物は Sims 氏の提

言通り出来るだけ脱ガス精錬を完行し技術上残たものは氣泡にならぬ様に最後の一方法として化合或は固溶して安定せしむるのは當然の方策であるが鋼塊の場合は鍛錬によつて内在する氣泡を鍛接出来るばかりか固溶體化するガス性不純物を鑄物では到底見る事の出来ぬ大分量が擴散除去し得る機會が與へられて居るのであるから Sims 氏の鋼鑄物溶解方針中已むを得ず残たガス體の取扱方は無理に固溶化させないで熔けて居る時は凝固時に凝固後は 加熱 冷却 鍛錬時等總ての機會に無害に脱ガスを行ふことを考慮するばかりか脱ガス容易である最善の状態にもたす如く考究すべきである 例へば白點は鑄物に起らず打物に出るのであるが熔鋼法の大方針に相違ないとすれば兩者間にガス含有量に大差なき筈であるが白點が後者に限て發生するのは鍛錬によつて不安定化されたガスが一時に出て來て破壊作用を逞しうするものと考へべきで鋼に含有されて居るガス全量の多少は必ずしも大勢を動かすものではなからう 從

* 海軍艦政本部

て鍛鋼に起る白點は擴散淨化作用を一定點で完成せしめる爲と考へられるから之を漸進梯段的たらしめるには鍛鋼の徐冷法によるか熔解法に新工夫を施した特別な鋼材を選択する外に適法はないであろう

此見方を實地作業で具現するのに熔解方法としては酸化沸騰（オーリング）で精鍊して装爐材中に脱酸剤によって安定化し居る水素化物窒化物等を酸化し沸騰して除去或は不安定たらしめるばかりか其の後の処理は餘りに脱酸過鎮靜して湯の流動性を低下してガスの自然放出を妨げたり凝固造塊後も漸進梯段的な擴散を抑壓しないことが必要である 即 酸化沸騰精鍊の効用は還元鎮靜精鍊の逆作用に働く爐中での水素及窒素の酸素清淨にあつて還元仕上げを併用することに依り一種の若返り法とも謂ふべく白點水素説に従へば最も積極的な白點防止法で大型特殊鋼の製造には避くべからざる點にありと考へられる 従て装爐材の内容が處女原料或は若返りさせた精鍊鋼（脱酸剤を使用せず造たものの義）の大量を使用して新鮮味豊かである時は酸化精鍊の必要性が低下する譯で軽度に行へばよいのであるが反對に所謂新材附加の機会なき反復使用スクラップ量を増せば本操業を強行するのでなければガスの少ない鋼も白點の起らぬ鋼も得難い筈である 此點に考察して炭化スクラップの再熔解により單時間に完結する鹽基性電氣爐等でオーリングを行はず脱酸還元精鍊に終始してガスも少く白點もない特殊鋼を送り得る場合のあるは大體成品が小物である爲に鍛鍊材を徐冷法で水素を無害に擴散せしめ得るか或は極度にスラグ脱酸剤等で脱酸鎮靜を強行して水素の發生を鑄物に近く抑壓安定化せる爲と察せられ大鋼塊には此種技巧の不可能の爲に困難とされる

由來電氣爐鋼は酸性平爐鋼に比べて脱酸完全であるに拘らずガス多く勢ひ Si Al 等の強脱酸剤で一層強く鎮靜せしむるを例とするのは一見不可解とされるが前述装爐材關係及酸化沸騰精鍊により水素を除く機會に恵まれざる爲に残留せる酸素との反應に基く氣泡を除く目的に此種大量の脱酸剤を要する譯で 白點水素説に従へば電氣爐鋼に白點多しとする敢て怪しむに足らぬであろう 従て特殊鋼の不純物としては P S 量を考ふる如く Si Al N_2 の規格化は當然で少くとも Si 量を純良鋼には 0.2% 以下最大 0.3% に抑へる事は最も安全な純度判定資料であろう

尙酸化沸騰精鍊の効用を擧ぐると共に良質鋼を得る爲の適材として Ni Cr Mo 鋼を推稱するのは主要合金元素で

ある Ni 及 Mo が湯の中で鎮靜竝に造滓力なく酸化沸騰精鍊を自由にやれるので大鋼塊を使って特殊鋼を造るのに最も適材と認めるからである 此際使用する Ni Cr Mo 鋼に含む Mo 量は階段的擴散を容易化する爲には 0.3% 附近を可とし Ni 或は Cr で補足すれば物理的性質を阻害することもない

之を要するに本文に於ては白點の成因を Ar_3 點に於て發生する水素に歸し之を防止するには酸化沸騰精鍊を完行するにありとして従來酸化沸騰の効用を湯熱の上昇及夾雜物の除去に制限して考へられ居た事實を幾分押し擴げたのであるが本作業をなす爲の準備工作を考へると先づ高温度熔落が要求されるのと爐中の C Si Mn 等を酸化除去する必要があるので勢ひ装爐材中には新鮮なる多量の銑鐵を混用したり若返り精鍊鋼を使用したりすることは未だ學問化されて居ない領域ではあるが酸化沸騰精鍊方法の潜在せる効用であるとも考察し得る 尙酸化沸騰精鍊の理論的効用の一面を附言すると従來の熔解法の指針がスラグと湯の平衡状態を考へる平面的に限り居たのに對し本法はガスをも導入した立體的方法であつて其の効用の大なることは當然であるが作業を誤れば最悪な鋼材を得るに至ることも充分覺悟し置くべきであろう 追て此種研究は其の成果を求めるのに恰も眞の白點が小實驗では造り悪い様に容易でないから主として實例を掲げて理論付ける様にした事は高温度化學が科學化されてない時代には已むを得ざる便法として之を取てした次第である

II 酸化沸騰精鍊の効用と強行過鎮靜の缺陷

(1) 酸化沸騰精鍊の効用

例示の一 縁付鋼と酸性平爐製特殊鋼との類似點 高級縁付鋼熔製の原理は高温度で適當量含有されて居る湯中の C Si Mn 等を赤鐵鑛を反復投加して劇烈なる酸化沸騰作用に依て燃焼低減すると共に水素化物をも除去して鋼塊のスキンホールを根絶し鍛鍊によって無害に放出せしめられる CO 其の他のガスを大氣の酸化作用を受けない表皮部から適當なる深さに排列せしめ成るべく脱酸剤の使用を少くして固形夾雜物を残留せしめない様にして展延性に富む清淨鋼を求めるのにあるものと考へる

現在本邦に於て酸性平爐による白點防止熔解法として推稱されて居る所謂石灰法或はマンガンの法の特長も最後の仕上で脱酸完全に近く出来る爲ばかりではなく酸化沸騰精鍊

と其の後の還元精練の併用に依る全面的脱ガスに重點があるものと見られる 即 良質縁付鋼及石灰法による酸性平爐特殊鋼の操業型式は酸化沸騰精練の點では全然方法及目的を同じくするもので管仕上の場合縁付鋼は殆ど無鎮靜の状態で一酸化炭素其他のガスを氣泡として鋼塊内部に残留せしむるのに對し特殊鋼は少量の脱酸劑で氣泡を抑壓鎮靜せしむる相違があるばかりである 次に表面甚だ關係少なく見える縁付鋼及石灰熔解法に依る特殊鋼熔解法の類似點を要約摘記すると次の如くである

條件	鋼 種	
	縁 付 鋼	特 殊 鋼
爐	酸化沸騰完行の爲に最高溫度を求め得る設計	左 同
鐵 銑	(イ) 裝爐材の 30% 乃至 40%	(イ) 左 同
	(ロ) 裝爐材中の Si 量は 0.5% 以上附近	(ロ) 左 同
	(ハ) 熔銑使用の時は湯熱高き必要がある	(ハ) 左の場合なきも熔落湯熱は高きを要する
屑 鋼	裝爐材中に鎮靜した屑鋼多量の時は銑鐵の Si 量を低める	左の主義で沸騰作用の程度を調節する
熔 落 時 炭 素 量	C 量は 0.3~0.5% を可とし之れ以下の時は銑鐵を加へて加炭し各熔解毎に一定する	左と同一主義で C 量を一定標準化して各熔解を機械的に行ふ様にする

例示の二 赤鐵鑛の使用量

酸化沸騰精練の濃度は裝爐材が新しい古いで變更すべきことは前述の通であるが裝爐材が同一であつて技術が進めば或程度赤鐵鑛の使用量の多少で精練の度合を推定出来るものと考へる 任意に拾たデータであつて一例を示すだけで必ずしも適當とは考へないが石灰法の元祖である英國ヴィカース社の酸性平爐に使用された赤鐵鑛量は近年漸次其の數量が増加し石灰法の採用で急激に増して居るのは注目値する 尙數量の増加のみでなくヴィカース社が 1912 年以來理論の如何は兎に角として熔鋼適當り 30 kg を使用し續けて居ることは本邦のそれと違ひ本質的に酸化沸騰精練の效用を充分實際上認識證明して居るものと確信せられる

ヴィカース社に於ける赤鐵鑛使用量

- (a) 1912 年時代 酸性平爐の場合 鋼種 Ni Cr 鋼
全裝爐量(A)=87,818 lbs 赤鐵鑛(B)=2,500 lbs
B/A=62.5 lbs/t ≒30 kgt
- (b) 1917 年時代 酸性平爐の場合 鋼種 Ni Cr 鋼

全裝爐量(A)=83,580 lbs 赤鐵鑛(B)=3,000 lbs
B/A=70 lbs/t ≒35 kgt

(c) 1926 年時代 (石灰熔解法) 酸性平爐の場合
鋼種 Ni Cr 鋼

全裝爐量(A)=90,000 lbs 赤鐵鑛量(B)=4,000 lbs
B/A=97 lbs/t ≒48 kgt

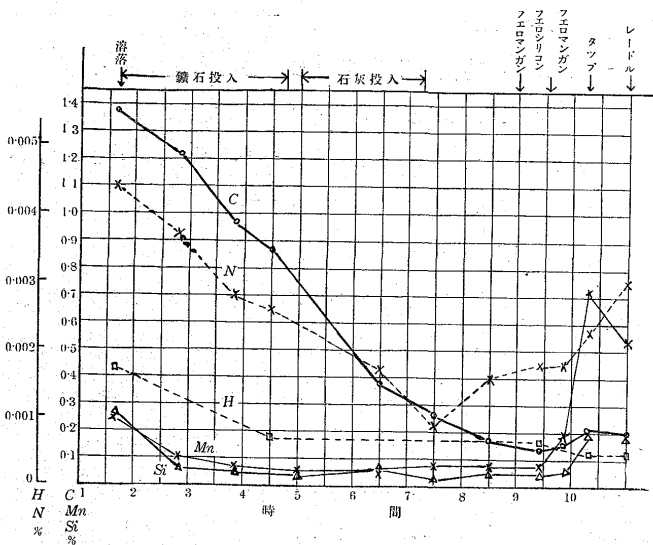
例示の三 酸性平爐に依る石灰熔解法

大型鋼塊から白點を防止する爲に石灰法が非常な貢獻をして居ることは今更述べる必要もないとは考へるが石灰法の效用を如何なる點に重點を置いて認めるかは殘された研究問題である 併し的確なる證明が出来る程度でないことを遺憾とするが白點發生が水素により影響を受けて酸素が思た程強力でないことは大分公認されて來たばかりでなく次いで述べ様として居る白點の成因の説明でも了得出来るものと思つて居る そうなると次圖に示す實驗で明瞭な様に石灰法は其の方法が適當であれば湯の中の酸素性不純物が普通の熔解法より低減すると共に水素化物 窒化物も驅逐淨化されるのである 従て白點に關する限りは水素を重要視すべき關係からしても酸化期に於ける沸騰精練に多分の效用を認めることは強ち無理な解釋ではなからう 尙次圖は C.E. Sims 氏發表文献の示唆に基いて酸化期中湯から赤鐵鑛によつて C Si Mn 等脱酸系元素を燃焼低減せしむる時に H₂ N₂ 量がどうなるか言ひ換へると湯の中に酸化物たる鑛石を投入する時之と反對の立場にある H₂ N₂ が減るかどうかを見たのであるが分析法の不完全にも拘らず大體に於て酸化沸騰で H₂ N₂ が低減し還元期で増加するのは Si 量と殆ど一致して動いて居る様で Sims 氏の謂ふ廣義脱ガスの根本は酸化期に完全なる酸化作用で鐵以外の總ての含有元素を燃焼し還元期にはこれらの復歸を防止する爲にも極端なる脱酸に偏倚しない事を要すとの學說に合つて居る様に考へられる 本成績は肝腎な分析法に疑問があるが少くとも窒素の値は正しいものに近く水素に自信なきも相對値として概ね正しく裝爐材の水分等を吟味して水素の出入量を考へれば水素は恐らく窒素と比例的に又窒素は珪素と比例的に増減するものと察せられるので本實驗はプラクティカルデータとしては相當價值あるものと認める

例示の四 ミルスケールに依る酸性平爐熔解法

前例示に明かである様にヴィカース社は酸性平爐では兎に角 30% 以上の新しい純銑鐵を使って量は別としても脱炭

熔解中にける各成分増減圖表（酸性平爐）



は赤鐵鑛を以てこれにあてて居る この理由を單に資源に恵まれて居たからであると片附けられないのは幾分磷分が高いかも知れぬが装爐純銑としては自國産ヘマタイト銑を使はず傳統的に瑞典木炭銑を愛用して居たにも分る通り必ずや技術的根據があつた爲と察せられる 本例示は石灰法以前の昭和2年頃の海軍に於ける熔解實例であるが熔解者が赤鐵鑛による酸化沸騰精鍊の效用を強く認識せず脱炭と均熱位に考へて居たもので進んで脱ガス精鍊の作用を迄考へ及ばなかつたものの如くである 従て熔鋼の精鍊理論はスラグと湯の平衡作用のみが全部となり成るべく爐を損傷しないで脱炭して過酸化を防ぐには廢物利用も加味してミルスケールが歡迎されたのも無理からぬことである 要するに動的精鍊の効果を認めず専ら小鋼塊を目的とする坩堝鋼製造に倣ひ靜的精鍊の完全を期する爲のみ酸化期還元期を通じて終始したもので資源關係と聯繫して本スケール法が稱用されたものと考へる

次表は其の熔解記録であるが特徴として氣付くことは熔落時の珪素の低いことで恰も石灰法でオーリングの終了期に近い この一事でもスケールの目標は炭素の低減のみであつて緩慢なる酸化作用では殆ど水素 窒素の除去される機會を失て居るものである 出鋼前のスラグの FeO 量は比較的低くて良好であるが Mn で置換されたに過ぎないので恐らく水素の抑制は多量に投ぜられた Mn が受持て鋼中に混留したものと察せられる 管 珪素が 0.2% 以下にあるのは湯熱及脱酸度に疑問あるも一面 水素 窒素の含有量の低きことを表示するもので白點の危險味は少なかつた熔解例と思はれこれで Al も使はず纏まつたとせばス

ケール使用になれた技術的訓練の賜であらう

ミルスケール使用酸性平爐熔解例

	鋼中(%)			鋼滓中(%)				記事
	C	Si	Mn	SiO ₂	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	
第一熔落	1.29	0.05	0.07	45.24	32.03	6.09	10.21	熔解吨數47.5 ケール 19 kg/t 鋼種 Ni-Cr 鋼
第一酸化終期	0.16	0.11	0.07	53.64	22.07	3.34	7.66	
例出鋼前	0.23	0.21	0.51	55.96	17.64	3.19	14.64	
第二熔落	1.29	0.05	0.07	46.74	28.79	6.52	11.71	熔解吨數26.5 ケール 15 kg/t 鋼種 Ni-Cr 鋼
第二酸化終期	0.12	0.05	0.08	55.36	22.32	4.36	9.37	
例出鋼前	0.19	0.15	0.43	51.88	19.87	4.24	10.86	
備考	熔解年月日 昭和 2-12-15							

例示の五 弧光式鹽基性電氣爐熔解法

酸化沸騰精鍊の效用は弧光式電氣爐の場合に最も明瞭だと考へられる 何故なれば電氣爐は熱源が電弧であるために自由に温度の調節が出来るし完全な還元氣を造り得るので脱酸が容易であるから銑鐵を使はないで屑鋼ばかりの原料で成品が小物である限りは例令鋼塊に相當量の水素系不純物が殘留して居ても概ね無害に放出し得るからで平爐が熔解のプリンプルとして必ず熔落の炭素量を1%附近にして之を脱炭するのとは相違がある 併し一般に鹽基性鋼は白點に敏感であるのは周知の事であるが電氣爐の特長を活用して脱酸鎮靜を強行しても白點防止困難である實情は白點が脱酸と關係薄く水素に重點を求めなければ説明が付かないと共に脱水素法としても適度の酸化沸騰精鍊を應用すべきは當然なりと考へる

此問題に關しても基礎實驗の及ぶ所でなく實例によつて示すことが賢明なる方法と思ふのでそれに従ふことにする

例示の五の一 英國式電氣爐製鋼法

英國の製鋼史は優良鋼製造には坩堝か酸性平爐を使用することで電氣爐の發達は一般的には立遅れの感がある而も歐洲戦争の好景氣を背景に熟練した電氣製鋼技術を誇る英國の一製鋼會社の製鋼法は英國を代表する一方式と見てよからう 大體鹽基性電氣爐は酸素や硫黃が容易に除去出来る所から由來最低級の屑鋼から最高級の鋼が出来ると謂はれたものである 然るに當製鋼所の熔解法は永年に亘て坩堝製鋼法と餘り遠くなくて所謂電氣爐の特長を知らないが如く装爐材を嚴選する外にオーリングに依て 0.1% 程度の炭素量を必ず酸化沸騰によつて低減して居ることはプラクティカルデータとして教へられることが多く其の説明は如何様にも解き得るであらう 次に熔解關係の一部のデータを提示する次第である

- (イ) 使用電氣爐 エル-型鹽基性爐にて容量7吨
- (ロ) 装爐材標準 (1) 鹽基性平爐精鍊鋼材 52%
- (2) 成品スクラップ 30% (3) 成品削屑 18%

尙精錬鋼材及成品削屑の標準純度は次の如くでこれが電
氣爐の装入物とは仲々考へにくい位良質である

	Si	S	P	Mn
精錬鋼材	0.12	0.028	0.008	0.08
成品及削屑	0.18	0.015	0.014	0.12

(ハ) 熔解作業

- (1) 總熔解量 約7 噸 (2) 赤鐵鑛 熔解噸當り
8 kg~16 kg (3) 爐中脫炭狀態分析例

試料採集期	熔落	鋼滓掻出前	差物前	取鍋試料
炭素量%	0.64	0.40	0.50	0.57

例示の五ノ二 ククラ式電氣爐製鋼法

ドイツ國エデルスタールウェルケ技師クラ氏の電氣爐製鋼法に付ては其の詳細が川崎製鋼所谷山技師に依て既に本誌に發表せられて居る所であるから敢て之を再録の必要を認めないが本法の要點が極端と考へられる程に酸化沸騰精錬萬能の如く感ぜられるので其の效用を確認するに甚だ便利であるので引例する次第である ククラ氏は其後の情報でも明かである様に同氏個人の特技ではなく概ねドイツ並に北歐の電氣製鋼技術を代表するに近いものと推察するが故に特に敬意を表し何事も善意なる解釋を以てなし得る所以でもある 今其の特徴とする點を挙げれば次の如くである

(イ) 電氣爐 劇烈なる酸化沸騰を行ふ立前から爐床の築造は特に入念であつて非常に参考になる

(ロ) 装爐材には必ず新銑鐵を配合し炭素量は成品の約0.5% 以上にする此理由は明瞭でないがオーアリングを充分やることの外に新材を使用する意義が加味されて居ると思はれる 従て平爐の操業法と非常に近似して來る

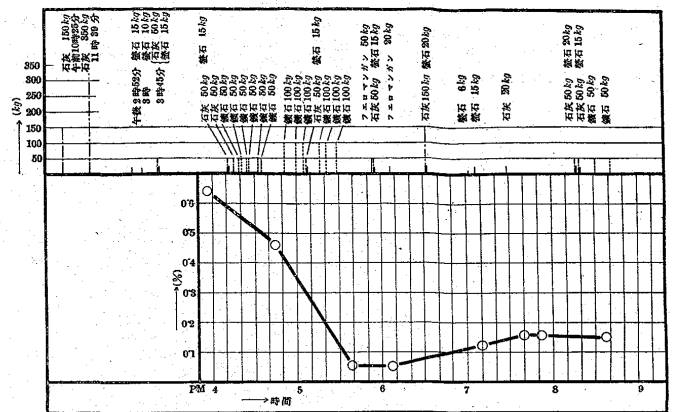
(ハ) 成品にもよるであらうが装爐材は必ずしも厳選しないがオーアリングで精錬可能との考へ方らしい

(ニ) 還元期では餘りカーバイドスラグによる脱炭を強行しない 特に特殊鋼に對して此傾向が大きい

之を要するに前例示の一による英國式と比較して考へると英國式が各種の點で坩堝法に近いのに比べてクラ氏は平爐法を多分に取入れて居る様である 何れにしても輕重の差はあるが新材又は精錬材を使ふことや劇烈なる酸化沸騰作用を行ひ熔鋼法の重點が還元期よりも酸化期及それ以前の原料關係にあることは他山の石とするに足るものと察せられる

(2) 強行過鎮靜の缺陷 物理的にサウンドな鋼塊で満足

電氣爐に於ける脱炭曲線 (クラ式熔解)



せられるなれば簡單であるが化學的に清淨鋼を要求するのであれば所謂脱炭鎮靜法では純粹を望んで反對に不純な鋼塊が得られる結果を招來するであらう 何故なれば鋼の化學的純度は既に述べた様に寧ろ鎮靜しない縁付鋼の如きものに求められるもので脱炭劑或は爐中のスラグで強鎮靜した鋼には得にくいものである 殊に湯の中での平衡關係を見るのに一般に脱炭作用で酸化物を除くか或は安定酸化物に變形させることは水素化物 窒化物等を抑留し又は吸収し易い状態にすることである 従て清淨鋼の目標は廣義の脱ガスでなくては不充分であつて例へば酸化鐵の如きを強行除去することは 水素 窒素の可溶性を高め悪結果を招く逆作用を認めるからである 今強行過鎮靜の意義を述べれば餘り化學作用の伴はない方法例へば時間効果でガスを除くとか湯の溫度を低下してガスを除くとか或は攪拌作用で分壓を造て脱ガスを最も自然的に行ふのではなく積極的に鎮靜せしむること概ね次の様な場合が考へられる

(イ) Al Si Mn V 等の脱炭劑を過量使用する

(ロ) 酸化期にオーアリングを行はずに専ら脱炭鎮靜熔解を完行する

(ハ) 酸性平爐で特殊鋼を製造するのに還元期で珪素を湯に爐床或はスラグより還元する程に鎮靜する

(ニ) 孤光式鹽基性電氣爐の還元期に於てガス脱炭の效用を過信して特殊鋼を強度のカーバイドスラグで鎮靜する

上述する如きことを行へば譬へ酸化沸騰精錬によつて脱ガス殊に 水素 窒素を除去しても其の結果は湯の流動性悪く表面張力が大となるので氣泡とはならない迄もガスの自然的逃逸を抑制して鋼塊を化學的に不純とならしめるばかりでなく鋼塊の加熱鍛錬の如き反復精錬作用に對しても擴散性が不完全となり作業を誤ると忽ち白點を現出する様な危険味を導入する惧れがある 之を稱して過鎮靜の缺陷と

假稱するのである 次に反復述べる様に水素と窒素は湯の中では大體同じ立場にあつて行動を共にするものであるから取扱及分析法の簡単な窒素によって水素量を推定することは實地の場合餘り無理ではないと考へる 唯水素は窒素に比べて鋼からの出入が一層自由であるから時々不規則な結果が得られることもあるが實驗を單純化するとそんな心配も少ない様である 次に前述する事項に對する證明の小實驗として還元氣で靜的熔解を行ふと窒素の吸収があること又湯量が少ない時には酸化性スラッグを湯面に被覆すると窒素を低減し得ること及電氣爐鋼は擴散困難だと謂ふ文献に對して酸性平爐製特殊鋼はよく擴散することを述べたいと思ふ この目的は水素が窒素と同型式で鋼中に増減する假定のもとに一層意義あらしめる爲であることは勿論である

(a) 18~8 不銹鋼に吸収せられる窒素量

(イ) タンマン式爐で蓋を使はない場合 2kg 容量のタンマン式爐で供試材としては珪素を添加しないもの及珪素1% 添加のものとの2種を選んで爐は蓋を使用せず鋼滓も殆ど出來ないので直接外氣に觸れる様にして熔解作業を行た其の結果は表示する如く窒素の吸収増量は起して居るが大量ではない此際珪素を添加せるものに窒素分稍高いのは唯一例に過ぎないが珪素と窒素の親和力から考へて當然のことであつて恐らく水素も高目であらう 供試材として高クロム鋼を選んだのは Cr が窒素との親和力大で實驗に好都合であるが爲である

(ロ) タンマン爐に蓋を使った場合 前實驗と同じ2種の資料を蓋で充分に還元氣を保持した所窒素の増加は顯著である此場合珪素とは無關係に窒素を同じ様に増して居るのは飽和點に近くなつて居るからであらう 尙本例で明かなことは高クロムを含み窒素の吸収力強き鋼質を酸化しない様にして靜に熔解すると窒素は裸鋼の表面からでも遠慮なく浸透することは確實であつて鹽基性電氣爐の還元期は概ね此状態と察せられてゐるので窒素の浸透及これと關聯して水素の湯中に増量することを考へると計畫なき還元作用の危險性を痛感させられる

(ハ) タンマン爐に蓋を用ひ酸性平爐鋼滓を被覆した場合 前2實驗と同じ試料を使ひ蓋で還元氣を造るが酸性平

爐鋼滓で湯面を被覆したのである 此時は概ね(イ)に近い値で窒素の増加は餘り高くない 従て窒素は既に述べる様に裸鋼面から容易に入りこむので之を防止するのは爐内を還元氣にする以上は酸性鋼滓で被覆することがよいことになるが實地の場合電氣爐で窒素の吸収を防ぐには酸化期の鋼滓の一部を還元期に残すことが望ましく之で全裸鋼状態を防ぐと共に其後の窒素吸収が防止出来る 併し最終に於てカーバイドスラッグを完全に造ることは曾て本誌發表の早矢止功氏の研究で明示されて居る如く鋼に窒素を吸収させる事でクラ氏の電氣爐製鋼要領から考へても避けべきであらう 窒素の増加は勿論窒素其の物の害よりも水素を吸収して白點の心配が起るからである

18~8 不銹鋼に吸収される窒素量

試料	窒素量	備考
T 923%	0.0455	(イ) タンマン爐にて蓋なし
T 923% (Si 10% 添加)	0.0536	
T 958%	0.1579	(ロ) タンマン爐にて蓋を使
T 958% (Si 10% 添加)	0.1515	ふ
T 969%	0.0475	(ハ) タンマン爐にて蓋を使
T 969% (Si 10% 添加)	0.0481	ひ酸性平爐鋼滓で被覆する

(b) 酸性平爐製 Ni Cr 鋼の窒素擴散 鹽基性電氣爐鋼の窒素擴散作用の困難性に就ては本誌上に松山氏の發表で周知の事實であるが爲に敢て批判の必要を認めないがクラ氏の説明する處からも鹽基性電氣爐鋼は酸性平爐鋼に比較して實地上擴散し難いと認めて居ると程度の差はあらうが共通した現象である 茲に述べ様とするのは酸性平爐鋼材が果して電氣爐鋼と同様窒素の擴散を起すかどうかの實驗であるが供試材に關する限りは明に擴散することを證明したのである

即一般に酸性平爐鋼の窒素含有量は裝爐材又は熔解方法 酸性平爐特殊鋼と窒素の擴散

鋼種	鋼塊重量 (t)	分析箇所 成分%	頂部			底部			記事
			T ₁	T ₂	T ₃	B ₁	B ₂	B ₃	
Ni-Cr 鋼(1)	80	N ₂	0.0009	0.0009	0.0020	0.0012	0.0003	0.0017	鍛造熱處理後
Ni-Cr 鋼(2)	70	N ₂	0.0006	0.0006	0.0006	0.0003	0.0006	0.0006	上 同
Ni-Cr 鋼(3)	70	N ₂	0.0012	0.0012	0.0018	0.0003	0.0006	0.0006	上 同

備考 鑄造状態の N₂ 量は約 0.0040% なり

で幾分の差異はあるが約 0.004% であるが分析の結果は最低量 0.0003% 最高量 0.002% であることは鍛練や加熱の反復で窒素が除去精練されることを證明するものである 而して鹽基性電氣爐鋼が擴散作用なく酸性平爐鋼が擴

散することは之又反復述べた様に脱酸程度によると見る外なく若し鹽基性電氣爐鋼でも適度に酸化沸騰精錬で脱ガスし還元期に於て強度の鎮靜を行はねば擴散は行はれ得るものと察せられる。従て清淨鋼を製造する方法としては鹽基性電氣爐鋼の如く熔解時の脱酸を強化して求むるものと酸性平爐鋼の如く脱酸度は電氣鋼に及ばぬが鍛鍊及加熱處理で擴散を行へば精鍊度を向上せしめ得る譯で此點からしても弊害を導入して迄も熔解時に限て精鍊を強行すべきものではないと考へる。熔鋼技術の幼稚であつた時代に於て日本刀の如き純良鋼を求めのに鍛えることが其の精鍊の根幹をなして居た事實から考へて歴史は反復するものにして再吟味の要がある。

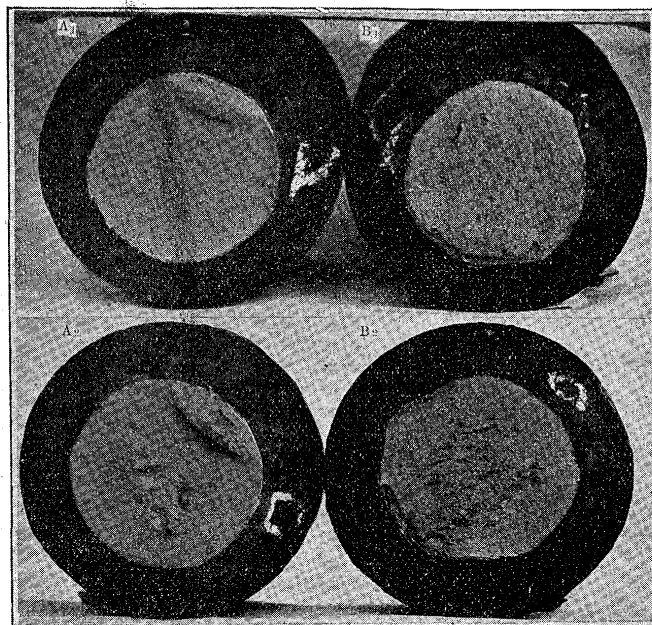
(c) Al 使用過鎮靜に依る脆性實驗 吳製鋼部の實驗の如く各種成分の鋼に水素の入り込み易い熔解法に依り白點を人工的に發生せしめると同一主義であるが一般に Al の如き強脱酸劑を過剰に使用すると白點の發生率が高いことは實地作業の場合に於て統計的事實として廣く經驗されて居る所である。唯茲に疑問の餘地は脱酸劑を過剰に使はねばならなかつた理由が熔解の失敗を補ふのが要件であるので缺陷の原因が脱酸劑直接の原因であるのか或は湯が悪かつた爲なのか區別し難い譯である。本實驗は之を明確にする爲に高周波電氣爐で熔解した Ni Cr 鋼の湯を 2 分して A 材には Al を添加せず B 材には Al を 0.1% を添加脱酸して鋼塊を造た。斯くして出來た鋼塊を鍛鍊して普通實地に行はれる方法で冷却して斷面状態によつて脆性を比較した。其の方法は次の如くである。

鋼符號	A ₁	A ₂	B ₁	B ₂
Al	添加せず	添加せず	0.1% 添加	0.1% 添加
冷却方法	灰中徐冷	空中稍急冷	灰中徐冷	空中稍急冷

4 種試材である A₁ A₂ B₁ B₂ の破斷面を寫眞によつて見て知り得ることは Al を使はず灰中徐冷せる A₁ 材に内部割れなく、次に Al を添加して灰中徐冷の B₁ 材に稍割れあり、第 3 は Al を添加せざるも空中冷却の A₂ 材に相當割れあり最後に Al を添加して空中冷却せる B₂ 材が割れ多き結果を示して居る。偕て A₁ 材と B₂ 材は良否の兩極端の成果を得て居るが何れにしても Al を使はず徐冷したものが成績よく Al を使ひ急冷したのが最悪である。此場合 Al と冷却速度との脆性に對する量的効果は明瞭でないが實驗に使用した Al 量及灰中、空中、冷却程度では兩者相匹敵すると見てよからうか。尙出現した割れは白點らしくない外觀ではあるが概ね白點と同系統のもので成因も

同じと察せられる。兎に角 Al で過鎮靜することは所謂 Soundness は鋼塊に得られるであらうが鋼材には割れが出易いことになる。

寫 眞



(d) 不純物としての珪素認許量 鋼材の不純物として燐、硫、黄量に制限を設けることは弘く考へられて居る事で清淨鋼の尺度となつて居るものである。併しガス性不純物量を考慮する時代になつて來ると酸化物の外に水素及窒化物も無視出來ないことは前述の通りである。従て要求に應じて規格を設ける必要も出て來るものと期待される。併し之が前提として珪素の認許量を今少し嚴密にすることは遙に實際的でしかもガス少き眞の清淨鋼を求める判定資料として最も有效なものとして考へるが今酸性平爐鋼及鹽基性電氣爐製兵器用鋼材にして最も代表的であるものを英國材に付いて例示する。

	珪素認許量(%)	Mn
酸性平爐鋼	0.05~0.20	—
鹽基性電氣爐鋼	0.2 以下	0.2 以下

本例示は實際の場合熔解作業としては技術を要すること及短時間に經濟生産を目標とする結果として其の牙城は保持され難い實情と思はれるが其の爲にこそ白點或は白點性罅裂疵を鋼材に發生するとせば眞剣に研究しまた實行に移すべき重要問題と思考する。

III 酸化沸騰精錬と白點成因説

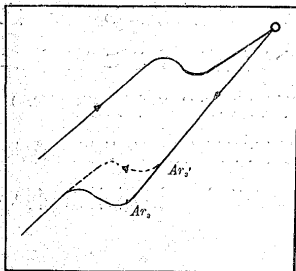
酸化沸騰精錬作用と關聯して白點の成因説を樹てるのは水素が白點發生に不可欠なガス性不純物であつて之を湯の

間に除去するのでなければ確實に白點を抑制し得ないことを前提とするのである。所が水素を湯の中で除去するのは酸化沸騰する外に方法がないことは既に例示する通りであつて屢々實用化されて居る。脱酸一方主義で鎮壓する方法は造塊後徐冷其の他で成功して居る場合もあるが大物には經濟的にも適用出来ないし小物にも餘程熟練工に取扱はせるのでなければ此種鋼塊から常に白點を抑へきる事は困難で發生しないと安心して居て成品に後から見付かる様なことがないとも限らぬのである。酸化沸騰精鍊の効用は水素除去に限られる譯ではないが本章では白點と關係深き水素問題に觸れ併て水素と無關係では發生し難い白點成因説を述べる事とする。

抑も白點の總括的成因としては質量効果を第一要素として擧げられるが之を分類すると熱勾配と擴散との2成因として考へることが自然的である。

熱勾配 熱勾配は鋼材の質量が大である程内外温度差が大きくなる機会が増し特殊鋼は炭素鋼に比べて熱傳導率が悪いので温度差の開くことも當然である。従て熱勾配を低減する爲に徐冷することは白點防止の一方法として採用されて居るが特殊鋼が炭素鋼に比して白點の出易い一原因は熱傳導率の相違に基く熱勾配の影響とも考へて差支あるまい。今熱勾配に基く白點發生機構を考察すると概ね

變態圖



次の様になる

圖の様な鋼材の冷却曲線を考へると内外部冷却速度の相違から熱勾配を起し例へば外側が Ar_3 で變態を起すものとし之に隣接する内部が Ar_3' で變態すると

假定すると外側に近い部は未だ變態せず Ar_3 點を目標に熱的に體積の縮減を續けて居るのに對し内側に近い部は Ar_3' で變態を開始して點線の示す方向に體積の膨脹を起すとせば收縮と膨脹の境界面で口を開いて白點を現出するとは容易に想像し得る所であつて冷却速度が不適當で熱勾配の發生する程度が大である程白點發生率が高いのは實地にも經驗される所である。従て白點を防止するには最徐冷か最急冷するのを一方法として居るが断面が大きくなれば徐冷は出来るが白點の發生する素質の鋼材を急冷で防止は出来ない。併し小鋼片であれば急冷で白點の防止可能であることは小物に白點がないこと大物でも表面から厚さ

20mm 位迄は概ね白點が出来ないのは柱狀結晶部に屬し凝離が少いからだと言ふ説もあるが主因は熱勾配なき急冷の爲と考へる。之を要するに鋼材内部の熱勾配に基因する抗張壓縮の内應力の相剋が白點の一成因であると認められるが引續き例示によつて説明する處であるが譬へ熱勾配が同じでも化學成分の關係で Ar_3 點を敏感に受けて之を移轉する材料と然らざるものがあるが前者は白點が出易いと考へられる。又純度の點で水素が Ar_3 點を移動せしむる事も公知の事實であるが C, Cr の凝離と共に白點發生を容易化するものとして同一理由で説明が出来る。此際附言したきことは凝離と白點との關係は變態點を移動せしむることにより凝離は白點に影響ありと考へる。

擴散 脱酸を強行した鹽基性電氣爐鋼や鑄造の儘の目の荒い鋼塊の擴散が困難であることは周知の事實であるが此種擴散の起りにくい鋼塊を荒鍛鍊して熱勾配の高い空冷でもすると俄然 Ar_3 點で大量の水素ガス其他を擴散放出する様であるが白點發生の危機は此一點に存するものと信ぜられるのである。デーフェルトの實驗によると純鐵に對する水素の可溶性は冷却に際しては γ 鐵から α 鐵に變態する Ar_3 點で急激に減少擴散するのであるが本性質は特殊鋼に對して例外とするには餘りに白點が Ar_3 點と密接な關係にある様に思はれる。即ち熱勾配に基因して白點の發生を前述したが之は水素の破壊力を加算して見積ることで一層説明が容易で實際と近いからである。此場合擴散容易である鋼材に白點の發生しにくいのは譬へ鋼塊が白點を發生するに充分である水素ガスを含有するとしても加熱或は鍛鍊中に逐次多量に擴散し得る道理で Ar_3 點をのみをねらつてガスを發生して白點を助成しなくて済むであらうし又誤て變態域で突然水素の放出があつても忽ち行場を失ふことがなくガス壓力の上昇に従て擴散性を増大して白點を出現するには至らぬものであらう。過鎮靜による擴散困難なる鋼材の製造が白點に敏感である事實はこの理由で説明出来るかと考へられる。畢竟するに熱勾配と擴散とは白點の成因と認められるが之を合併すれば質量効果に要約し得る譯で製鋼過程から考へても質量を超越して白點はなく大型爐で大鋼塊を作る時に白點發生率が向上するのであるから實驗其他で小質量物の經驗から類推して白點の成因を察するのは困難であらう。次に4例示を掲げて前述の推理を實地上から證明することとする。

例示の一 酸性平爐製特殊鋼の白點

鋼種 酸性平爐製 Ni Cr 鋼 Ni 3.58% Cr 0.75%
を含む

供試材 圓筒材を中空にする爲に出來た殘材の圓筒状
コア部を据込鍛鍊後空冷した直徑 460mm 長さ 725mm の
もの

實驗方法 供試材を 850°C に加熱し頂端部其儘とし底
端部からは噴水で急冷却して熱勾配を鋼材内部に造る

成果 圓筒材の中心線から約 100mm 半径の内心圓に
粟粒大の微小白點を密生す 本鋼材は成品の何れの部分に
も白點を見なかつた酸性平爐鋼で造たもので凝離はあつても
酸性鋼で大した事はないが鍛鍊度が方向的に觀て不徹底
の爲に更に据込鍛鍊を行つた次第であるが從來の常識では白
點の出ない筈であるに拘らずこれを見たのは極端な人工的
熱勾配の爲と考へる只据込鍛鍊後空冷した爲の熱勾配でも
幾分白點が出現し得る譯であるが其の量的分野は検査しな
かつたので不明である空冷後調べなかつたのは材料に信頼
して本實驗によつて白點が出るとは豫想して居なかつたの
による

例示の二 鹽基性電氣爐特殊鋼の白點

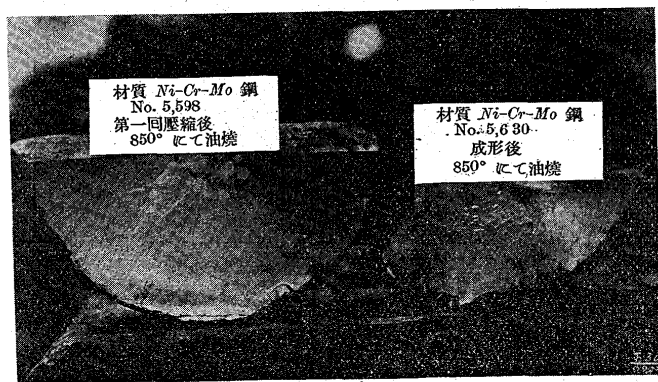
鋼種 鹽基性電氣爐製 Ni Cr Mo 鋼 Ni 3.5%
Cr 0.8% Mo 0.6% を含む

供試材 重量約 1t 鋼塊

實驗方法 寫眞 5598 番鋼は直に据込鍛鍊後 850°C で
油中急冷して熱勾配を發生せしめ

寫眞 5630 番鋼は 1 回目によつて据込鍛鍊して更に寫眞には明
白でないが内心部に穿孔鍛鍊 (ピヤシング) を行ふ

成果 唯 1 回の据込鍛鍊を行つた 5598 番鋼は油中急冷
ではあるが質量が大であるから熱勾配の起るのは必然であ
る爲に白點は明に數は少いが出て居る 茲に最も興味のある



のは据込んで押し潰した方向に直角言ひ代へると鍛鍊で出
來たであらう所の纖維組織と並列に圓形の白點が見えて居

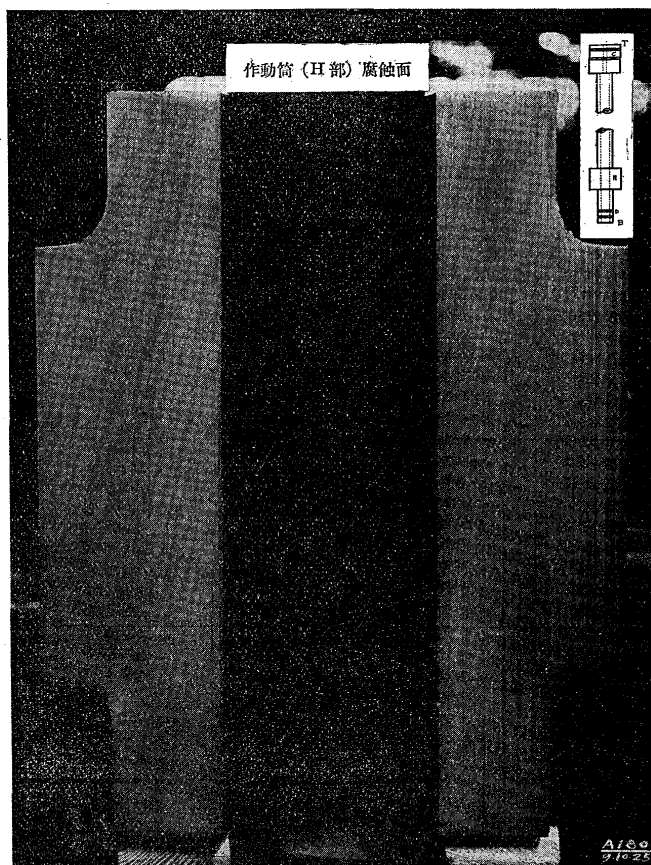
ることゝ白點發生の内應力は甚だ複雑と察せられるが纖
維を横ぎつての方向には例外は勿論あるが出にくい様によ
く一般の場合と合致して居る 次は 5630 番鋼であるが概
ね前の理由と同じく白點が出て居るが相違點は 1 回だけ鍛
鍊が利かせてあるので白點の形が稍細かくなり數を増して
來たこと散布状態はピヤシングで中空になつた爲に全く凝
離とは無關係と見える程に冷却速度の速い外側面は勿論中
空面に少く其の中間層に密集して居る外前述の様に白點の
方向はピヤシングで起き上り寫眞に正圓を示さず幾分の一
かを現して居るので分る様に白點の發生方向は原則として
は纖維組織と並列して起るもので一般に方向の複雑なのは
鋼塊の凝離或は鍛鍊の不均一等のために纖維がもまれて居
る爲と考へてよからう

例示の三 肉厚を主原因とする白點

鋼種 電氣爐製 Ni Cr 鋼 Ni 3.5% Cr 0.8% を
含む

實驗方法 寫眞に示す様に肉厚不同の成品を普通作業に
従ひ焼入焼戻をする

成果 白點は H の肉厚部に認められ D B 等の肉薄
部には發生して居ない 特に注意して考へたきは H の肉
厚部と肉薄部の境界部附近であるが熱勾配を其儘受けて白



點が漸減して居ることである 之を以て薄肉部は凝離部が餘分に取り去られて居るが肉厚部は餘肉を盛り出す爲に凝離部が残留する爲とも見られぬでもないが何れも單獨原因でなく兩者の合併によるであろう

例示の四 1/2高炭素 高クロム鋼の白點

鋼種 酸性平爐製 Ni Cr 鋼 Ni 4% Cr 2% を含む
供試材 重量 1,200kg 鋼塊

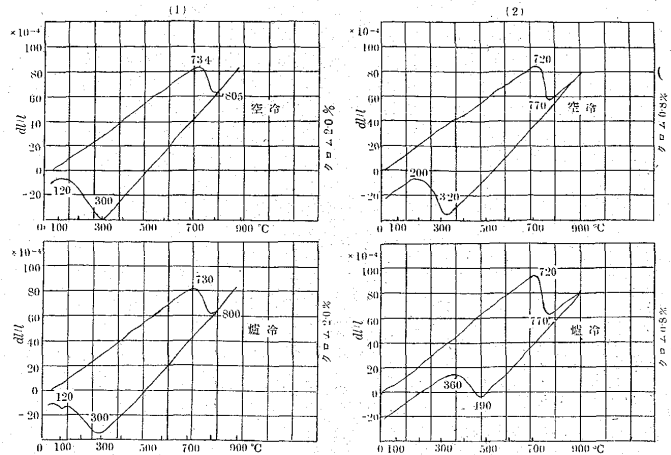
實驗方法 寫眞に示して居る様に特に冷却速度を變へて熱勾配を自造する爲に直徑 310mm 部と直徑 230mm 部との2段に荒鍛造後空冷する

成 果 鋼の自硬性が大きく肉厚不同の境界部に寫眞に黒く見える大割れを起した程に歪が大であったが何等白點の徴がなく自硬性の大きな鋼に白點が出易いとか鍛鍊歪が白點發生に重大關係ありとする疑念は一應解消した 尙本論で述べて居る質量効果も供試材に白點を作ることが出来なかつたのは勿論である 察するに大鋼塊ではないが重量 1t 直徑 300mm は白點を造るに充分な質量である し從來の經驗に徴して本例示は白點發生には最も好適な條件であるのに豫想が外れて其の事のなかつたのは本鋼塊が酸性平爐鋼であるが完全な石灰法で充分な脱酸を行はないばかりか残り湯を利用したので低温度鑄造に恵まれて居たことにもよるであらうが本供試材が高炭素で Cr 2% 系鋼種である爲に圖示する様に普通實地に行はれる爐冷空冷程度の冷却速度では Ar₃ 變態點の位置が微動だもせず本實驗の目標とする空冷による熱勾配の影響は質量効果が極小である爲に消失したものと察せられる 本例示と對蹠的なものとして例示の一の供試材があるが幾分の事情は相違するが白點の出さうでなくて出たのであるが本理論を擴張して推理すれば低 C Cr 0.8% 系 Ni Cr 鋼であるので Ar₃ の轉移が圖示の如く最も敏感に行はれるので顯著ではないが微小白點として發生したものと認められる 此點高クロム鋼はガス吸収力あり白點を發生し易き化學的素因を有しながら物理的に補足して白點を防止して居るのは此種鋼材の特長とも考へられる

IV 清淨鋼種としての Ni Cr Mo 鋼

(1) 酸化元素 1/2 水素化元素及造滓元素 特殊鋼に含有する有効元素中には熱處理を施して強靱性を發揮せしむるものと溶解時精鍊用として中間的使用されるもの及其の兩性質を併有するものがある 例へば Ni Mo Co Cu 等は熱處理に役立つ Al Ti 等は特別の場合の外は所謂脱酸

冷 却 曲 線 空冷及び爐冷



劑で中間使用金屬であり C Si Mn V 等は脱酸用に其の一部を使用する外残留量は強靱性の爲に熱處理用に供されるものである

併て嚴密な考へ方で清淨鋼を造り成分を常に揃たものとし確實なる熱處理鋼を造るには湯の清淨性能と熱處理による改善性能は完全に分野を定めて使ひ分けが必要である 若し熔解技術が著るしく優秀で毎溶解の脱酸度或は脱ガス度が不變であればよい譯であるが實際には望まれぬことで例へば珪素 1% を鋼に残して合金鋼を造るにしても必ずしも歩留が一定するものでなく寧ろ揃はないのが普通である 若し 1% に分析的中することが出来て分析が合致したとしても珪素が其儘固溶體になって居るのか SiO₂ として存在して居るのか判然するものでなくこれだけでも熱處理の結果は違て來る筈である 従て純理的には特殊鋼に配合する元素は湯の中では酸化せず 水素 窒素と反應せず造滓しない元素と脱ガス清淨作用のみを行ふ元素を最小限度に使用して成るべく湯に残留しないことが望ましいのである 此考察に従ふと Ni 鋼或は Mo 鋼が適材であるが各種の性能と歴史から觀て Ni Cr 鋼が質量大なる特殊鋼として優秀なることが周知のことであるが之れよりも一段進んだ特殊鋼となると結局 Ni Cr Mo 鋼が清淨鋼を求める爲にも適當であるとの結論に到達する 其の理由は Mo が Ni 同様 酸化 水素化せず造滓も湯中では行はないからである 此場合 Mo の代用として Si Mn V を添加するものとするれば前述の理由で出來榮に不揃の出來ることは當然である 此事柄は Ni 代用として脱酸劑系元素で置換せんとする方法にも適合する譯で考慮すべき點である 次に電氣爐製及酸性平爐製鋼材を削屑にし 50kg 高周波電氣爐で全く脱酸劑を使用しないで再熔解及再々熔解して湯の中

で酸化消失する不安定な元素と然らざるものを実験的に求めて見ると次表の通りである

電 氣 爐 製 鋼 材									
分析鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	備 考
Ni-Cr	24	22	85	016	014	179	95	53	原材料
Ni-Cr	11	tr	40	016	018	175	67	52	再熔解
Ni-Cr	05	02	17	010	023	190	35	53	再々熔解

酸 性 平 爐 製 鋼 材									
分析鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	備 考
Ni-Cr	29	20	86	027	037	181	102	52	原材料
Ni-Cr	15	02	56	022	031	175	89	55	再熔解
Ni-Cr	05	tr	23	018	026	182	37	54	再々熔解

例示の2表を吟味して明かなことは脱酸剤を使はない極端な場合にはあるが化学作用必ずしも劇烈でもない高周波電気炉熔解で不安定な元素は C Si Mn Cr 等で安定なのは Ni 及 Mo だけである此際 磷 硫黄の増減のあるのは凝離のためらしく磷の減少傾向は幾分炭素低下で除去されたものであろう 即 Ni Cr Mo 鋼は Si と Mn との低目をねらへば C と Cr だけを有効成分の目標として精錬をすると清浄鋼が容易に求められる道理である

(2) 合金元素と水素ガス鎮静作用との考察 水素ガスを大量に含有して居る電解鐵をタンマン爐で脱酸剤を使わずに熔解してガス可溶性或は鎮静力を比較試験したのであるが鑄造温度等で厳密な批判は出来ないが概ね既知の通りに所謂脱酸剤系の元素が水素の可溶性強く気泡が試料断面に少ない 此場合も所謂脱酸作用も同じであるが添加元素が気泡を消滅したからと謂ても湯から酸素或は水素を除去したと考へるのは早計で大部分は吸収溶解して不純ならしめると考へるべきで眞の全面的脱ガスは静的たり動的否動的及静的の合併作用でなくては不完全だとする見方は既に述ぶる如くである 従て本実験では切断面に気泡の多い試材は少ないものに比べて表面張力の関係で凝固前に追ひ出されたガス量が多いばかりか之に適當な鍛錬がやられると気泡中のガスも容易に外部へ驅逐されるので一層淨化される譯で縁付鋼製造原理と一致する 次に供試材の切斷寫眞に就て短評を述べると共に其の前に電解鐵の化学分析を示す

供試電解鐵分析

C	Si	Mn	P	S	Cu	H ₂
0.005	0.006	tr	0.063	0.015	tr	0.012

(容積分析=81.5%)

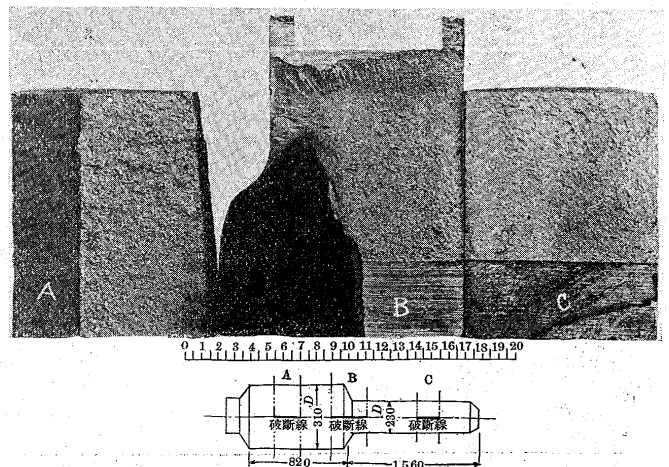
(イ) 電解鐵其の儘の熔解試材 鎮静作用ある元素を含

まざる爲に却て柱狀結晶部には気泡なく脱出しきれざる気泡が中心帯に密集して居て鍛錬するとよき鋼材が得られるであろう

(ロ) Mn 0.5% 入試材 Mn は脱酸力も弱い水素可溶性も大でない 従て縁付鋼にも酸性平爐の石灰法にも好んで使用されるのは此弱性を認め居る爲であろう 気泡の排置は全體的に擴げた外觀であつて頭部は膨れて居るが稍吹いたものと考へられる 憶ふにガスが Mn の爲に捕へられて居て凝固直前に吐出した状態である

(ハ) Mo 0.5% 入試材 曾ては Mo を脱酸剤である様に考へられた事もあるが本試材の断面に出て居る気泡排列を見れば完全に覆へされる譯で湯中で酸化損失しない事とも一致して居る 番茲に考へるべき事はガスに無関係であるべき Mo を添加した爲に電解鐵其儘のもの比べて気泡排列の違ふのは本試材は気泡が寧ろ柱狀結晶部に集中して中心部に減少した事である 此理由は Mo 添加に拘らず熔解並に鑄造温度を變へなかつた爲らしく成分的に熔解點が上昇して居るのに同じ温度であつたので柱狀結晶部が急冷され其の後に吐出した譯で中心部に少ないのは集るべきガスが柱狀結晶部に散布されたからである 何れにしても (イ) (ロ) の場合同様ガス可溶性の低いことを示すものである

(ニ) Cr 0.5% 入試材 一般に Cr は脱酸剤と考へて使用されることがないので鎮静力は餘り認識されてない 併し本実験では水素の可溶性が意外に大で Cr で湯がねばつて來る事實とよく符合する 憶ふに微細な Cr 化合物が結晶核を造り水素は其の表面を被覆する様な機構で捕集し電解鐵に含有し居る水素ガス量程度は気泡化せしめず緻密な切断面組織を造るものと察せられる 試材の右側切断面部



に小氣泡が密集して居るのが寫眞に認められるのは飽和點以上の過剩ガスを凝固前に吐出したものであろう 尙試材頭部が滑かに膨れ上て居るのは興味ある所で Cr の爲にガスが除去されたのでなくて最大限に吸収され居ることを示すものである 併し其の安定度は大したことがない反證で擴散は餘り害しないであろう

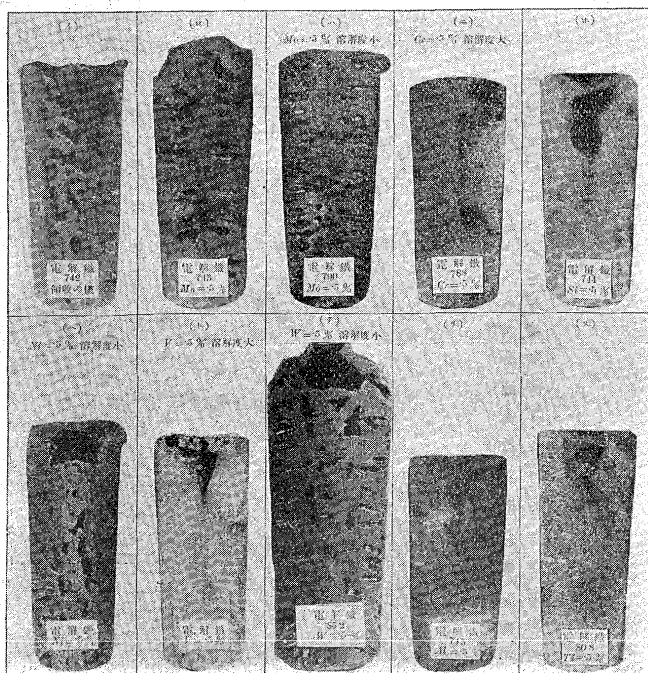
(ホ) 珪素 0.5% 入試材 珪素の脱酸効果は Mn の 5 倍とされて居るだけに水素に対しても完全に其の性能を發揮して氣泡なく中心部殊に頭部に近く收縮孔を造て居ることは外觀上サウンド鋼であるガス性不純物を除去したのではなく恐らく化合物に近い状態で吸収溶解されて居ることを考へると清淨鋼とは稱し得ないであろう 況んや此種に屬する水素ガスが Ar 點に於て發生して白點を造るものとせば充分警戒を要する

(ヘ) Ni 0.5% 入試材 還元氣中では Ni はよく水素を吸収するが湯の中では其の作用が著しく乏しい 先づ鎮靜効果なく造滓力もないので清淨鋼を造るに邪魔にならず便利である

(ト) V 0.5% 入試材 脱酸劑として効果の大きな本元素は寫眞に見える如く水素可溶力も強くサウンドな切斷面を示して居る 従て豫め酸化精鍊等で脱ガスを完全にした後添加しないとガス性不純物を増大する惧れがあることは脱酸劑系元素珪素等と同様に考へべきである

(チ) W 0.5% 入試材 W は Mo 同様に空氣中では

電解鐵に及ぼす各元素の瓦斯可溶力比較圖



低溫度でも酸化消耗するが湯の中では尙再實驗を要するが餘り酸化しない様に思はれる少くとも寫眞に示す様に水素との親和力は甚だ乏しく概ね Mo と同水準である

(リ) Al 0.2% 入試材 Al は脱酸力が珪素の 2 倍で最も強力な元素である供試材には 0.2% を添加したのみで水素を鎮靜し氣泡を消滅する目的を達成して居る Al の特徴は湯に入れると流れが悪くなり凝固後は氣泡はないがヒケが大きい特長あるアルミニウムパイプを残す 組織は脱酸生成物が微細な爲に緻密にはなるが珪素以上に水素の如きものを安全に捕抑して放さないのである Al を澤山使て白點が出るのは製鋼家の通念であるが Al 直接の影響でなく抑留されて居る水素の發生に基くと考へられるのは既に例示せる通りである

(ヌ) Ti 0.5% 入試材 Ti の脱酸力は珪素と同程度だと稱せられて居るが本實驗も大體近似した状態の切斷面である 頂部が滑かなヒケ工合は珪素の場合とよく似て居る

之を要するに本小實驗で概念的に得られる事は所謂脱酸劑と稱せられる各種元素は湯中の酸化物に働きより高級酸化物にするばかりでなく水素にも働きかけて湯の流動性を害して地金の外に驅逐することを困難ならしめ自分の持つ可溶力に相應してガスを鎮靜飽和させる様である この事は Mn の次に Si Ti を是等の後に Al と謂ふ順序に漸次強い脱酸劑で概ね失敗した水素 酸素の多い吹いて來る湯を強制鎮靜を實地行ふことのある所以であらう 併し一般には此種差物の害は知て居るが酸性爐による珪素の還元に基づく鎮靜或は鹽基性電氣爐に於けるカーバイドスラグによる脱酸が前者は珪素と共に後者は直接水素を湯に吸収せしむるであらう 危険性に就て餘り重視されざるは遺憾とされる

此際に於て Ni 及 Mo は殆ど湯中でガス鎮靜力なく酸化期還元期を通じて精鍊作用を妨げず熱處理に際してのみ效用を示すことはこれらを主要附化物とする Ni Cr Mo 鋼が Si Mn V Ti 等を添加する鋼種に比し一層ガス性夾雜物の少なき清淨鋼を造るに適當せることを熔解作業は勿論擴散容易なる點よりも推稱するに足れりと信ずる次第である

V 總 括

(1) 酸化沸騰精鍊の效用は還元精鍊と併行して意義ある

ものであるが其の重點は ガス スラグ メタル 三相間の平衡關係を基礎とする熔鋼法でガスの種類も酸素の外に水素窒素等をも同時に考究する點に於て現在考へられる最高水準の實用的精鍊法と認め之を推稱した

(2) 無氣泡鑄物製造と同主義で専ら Sound ingot を求めて却て白點を發生して混迷に陥て居るのが製鋼界の現状である 此對策としては酸化沸騰精鍊で固溶化水素を除去し適度の還元精鍊で脱酸して稍完全でない鎮靜鋼塊を造り鍛鍊後に於て擴散精鍊を非集中且梯段的に進行せしむる如き製鋼法を例示により求め之を推稱した

(3) 白點の成因は質量効果に基くものと推定出来るが發生期は鋼材の冷却時 A_{r_3} 點で集中發生する固溶化水素の積極的破壊力に由ることを例示により推論し其の防止策としては前項方法の採用を結論した

(4) $Ni Cr Mo$ 鋼がガス少なき清淨鋼を造るに好都合

であることは主要元素である Ni 及 Mo が湯の中で湯脱ガス或は造滓力なき爲であることを明かにした 尙 Mo が白點發生に敏感である事實を認め要すれば 0.3% 位の含有量に低減使用することを提案した

(5) 學術振興會に於て研究中の湯の溫度及ガス分析法の進展は例示を基調とする本論文を批判すべき大切な研究であつて一日も早く其の完成を望んでやまぬ次第である

終りに臨み本文は三年前の舊稿を温めて發表するのであるが其の後の機會に於て所説を覆す如き論文に接しなかつたので大體其儘を記載した 而して此信念を深めさせた唯一の文献は次記に盡きて居るが鋼鑄物の氣泡を鋼塊に適用して考察したに過ぎず著者に敬意を表するものである

文 獻

著 者	論 文	誌 名
C.E.Sims.	The preparation of Steel to avoid porosity in Casting.	Foundry Trade Journal May. 30 1935.

鋼の瓦斯通氣性より觀たる青熱脆性の本性に就て (第2報)

田 所 芳 秋*

ON THE THEORY OF BLUE-SHORTNESS OF STEEL, FROM AN INVESTIGATION ON THE BEHAVIOR OF THE GAS-PERMEABILITY UP TO 600°C.

Yosiaki Tadokoro.

SYNOPSIS:—From an investigation of the gas permeability of steel up to 600°C, it is shown that Steel is capable to pass various gases easily through the grain boundary, and further the space amounts to about 0.02 mm² in the area of 1 m². The specimens treated with are 13-pieces of common carbon steel and 3-stainless pieces. The gas permeability of steel up to 600°C subjects to the logarithmic decreament against the temperature rise owing to the space diminution around the grains from the grain expansion caused when heated, and there exist five points in the temperature range up to 600°C where gas is almost unable to pass through, the points were shown to be 150°C, 220°C, 300°C, 410°C and 570°C thereabout respectively for all specimens of various carbon content.

Now, it is brought to light that these gas stoppages, except at 220°C and 570°C, due to the space diminution being produced among grain boundary as both the stresses given before to the grains and the stresses caused from the grain expansion by heating, relieve in results mutually acted at these points, thus giving a dense and compact structure at these variation points. The variation point of gas passage at about 220°C and 570°C is shown to be the space diminution produced from the grain expansion at A_0 -point of steel and the recrystallization of grains respectively.

By what the gas stoppage caused, were well explained from the results obtained by this work. For an example, the blue-shortness of steel is well understood as an crack or a lack of freedom in the grain deformation when a hard external force applied to it at about 300°C, because it is put in the non space state at this temperature as above described. Further, as the effect of cold drawing, it is concluded that the space is extremely diminished especially at about 150°C, and twisting stress affords generally a space increase though it produces a gas stoppage at about 410°C where the twisting stress relieves. Next, the cause of self hardening of a springmaterial worked hard at room temperature when it is cooled from about 200°C, the nature of hardening is not yet clear up to date, can be well explained as the result of retaining yet the dense structure at 150°C when cooled down to the room temperature, and further a increament of strength at 150°C in shock and drop-hardness test can also be well cleared with this consideration. Now, from the results obtained the object of the annealing process of steel will be so understood as it is nothing but to relieve the stresses by passing through these relieving points at 150°C, 300°C, 410°C, and completed by passing these points repeatedly.

Further, in the cooling period a gas passes more easily than in the heating as well as gas stoppage in the cooling is also little, because stresses have been relieved at most part by heating through these variation points at first. Thus, after the relieving of stresses it accompanies the space increament and consequently let the gas pass easily after relieving, but the gas stoppage always occurs of cause during each relieving period.

The behavior on the gas permeability of Stainless steel up to 600°C in both the heating and cooling in well similar to that of common steel described above, for the number of gas variation points and those occuring temperatures. The permeability for stainless steel simore or less smaller than common steel.

* 八幡製鐵所