

## 鹽基性電弧爐製鋼法と白點問題

(日本鐵鋼協會第 17 回講演大會講演 昭和 12 年 4 月)

久 芳 道 雄\*

## STEEL-MAKING WITH BASIC ELECTRIC ARC FURNACE AND PROBLEM OF FLAKES.

Michio Kuba.

**SYNOPSIS:**— Various researches and discussions have hitherto been made for the problem of flakes, and also various schemes for the prevention of the generation of flakes have been proposed. It seems, however, that the problem is not yet completely solved. The growth of the flakes is not due to a single cause, but is related to the combined result of many factors. As the causes of the generation of flakes and their properties are different, the prevention should naturally be devised in accordance with this fact, so that the solution becomes very difficult.

In this paper, the author discusses mainly the steel-making process using a basic electric-arc furnace, and considers that the causes of flakes exist generally before the production of ingots. Consequently in his view that the flakes are made by melters, the forging and heat treatment are not widely dealt with in this paper.

In considering the relation between each steel-making process and flakes, crucible and acidic open-hearth furnaces are most insensitive for the growth of flakes, whilst basic open-hearth and basic electric arc furnaces are the most sensitive.

The problem is, however, solved by the lime process for acid open-hearth furnaces, whilst for basic open-hearth furnace, special processes such as the "duplex acidic and basic open-hearth process" are used in Germany and Austria. However, there is no distinct measures for basic electric-arc furnaces either at home or abroad.

The author examined this problem, and explains the steel-making process using a basic electric arc furnace, with which the prevention of flakes was experimented. He hopes that the paper may become a reference to people engaging in the steel-making industry and may invite their discussions.

## 目 次

## I 緒 言

## II 白點に関する概論

## (1) 白點に関する文獻

(A) 酸化説 (B) 偏析及結晶粗鬆説 (C) 水素説 (D) 過脱酸説附收縮龜裂 (E) 鍛造後の冷却内應力説 (F) 非金属介在物説 (Sonims) 瓦斯氣泡説其他

## (2) 白點防止と製鋼上之一般智識 (3) 鋼の成分と白點との關係 (4) 各種製鋼法と白點との關係

(A) 坩堝爐 (B) 酸性平爐 (C) 酸性電弧爐 (D) 酸性高周波電氣爐 (E) 鹽基性平爐 (F) 鹽基性電弧爐

## III 鹽基性電弧爐製鋼法に於ける白點防止の研究

## (1) 白點の検出法 (2) 鹽基性電弧爐の基準的製鋼法

## (3) 鹽基性電弧爐鋼の白點生成の眞因

(A) 酸化期に於ける熔鋼の過酸化及其防止法 (B) 還元期に於ける熔鋼の過脱酸及其防止法 (C) 熔鋼中に攝取する水素の影響及其防止法

## IV 結 論

## I. 緒 言

白點の防止は製鋼作業中最も困難なる問題の一つとして

數へられ、其の本質の探求及び之が除去に關しては世界冶金家の擧て頭を悩まして居る所であるが、其の結果漸次解決の曙光を認むるに至れるは同慶の至りである

即ち酸性平爐法に於ては石灰法の應用となり、又鹽基性平爐に對しては獨塊等に於ては酸性配合鹽基性平爐法 (Acid charge basic open-hearth process) と云ふ可き特殊製鋼法を採り之に對應するに至れるは人の知る所である。尤も後者は他に特殊の目的を持つものと考へ得るも事實上白點の解決に向て一步を速めたる事は疑を容れない。然し乍ら近來特殊鋼製造に最も廣く適用さるゝ鹽基性電弧爐製鋼法に關しては未だ此の目的に向て的確なる對策は發表されて居ない様である

而も白點には種々ありて夫々性状を異にせる如く其の成因も亦異なるものと觀察さるゝのであるが之等の點に就ては未だ文献にも的確に説明されたものがないやうである。從て吾人が白點を防止せんとするには夫々の場合に應じて白點の成因を洞察し以て製鋼作業の方法を研究して行くのが適當と考へる。著者は久しく鹽基性電弧爐にて特殊鋼の製造研究に従事し最近漸く白點防止に對する曙光を認むる

\* 神戸製鋼所

に至たので従来文献に現はれたる白點に関する諸説に就て私見を述べ併せて著者の今日到達せし實驗經過に就て記述して見度いと思ふ。

## II. 白點に関する概論

白點は「鋼の破面の一部が光輝ある斑點を生ずるのを云ふ」と云ふ位の程度で確然たる定義を與へられて居ない様である。而して白點は粒間龜裂 (Intercrystalline Crack, Korngrenzenrisse) に起因するものと貫粒龜裂 (Intracrystalline Crack, Intrakristallinrisse) に起因するものとに區別し得るが Houdremont 氏 (Sonderstahlkunde s. 284) の如きは前者を特に貝殻狀破面 (Muscheligerbruch) と名付けて未だ鍛造されない鋼塊の初晶粒間に生ずる龜裂 (Primarkorngrenzenrisse) より來るとなし。後者は鋼が鍛造後冷却する途中に於て發生する貫粒龜裂に起因するもので特に Flocken と名付けて居る。余は便宜上前者を粒間白點後者を貫粒白點と呼ぶ事とする。

凡そ白點は常識的に考へても既に鋼塊製造中に生成するか然らざれば鋼塊製造中より遺傳されたる弱點が鍛造其他爾後の作業中に課せらるゝ應力に抵抗する事能はずして龜裂を生ずるものなれば之を防止する爲には先づ鋼塊製造中に龜裂を生じ又は之を生ず可き弱點を植付けざる事を第一條件とし其後の鍛造其他の作業に於ては鋼塊は常に弱點を藏するものと心得て此の弱點が龜裂を生ずるに至らしめざる様適切なる加熱及加工を施す事が第二の條件である。此の意味に於て白點に関する限り熔解技術者の責任が最も大であると認むるものである。

(1) 白點に関する文献。白點に関する文献は國の内外を通じ其數極めて多く百數十を以て數ふる事が出来るであらう。然し之等を讀破するに其の論ずる所甚だ徹底せざるものあるは遺憾とする所であるが、之は問題の性質上其の關聯する所多岐に互り其の原因が單一でなく數多の素因の綜合的結果である場合が多いから其の重點を何れに置く可きかに迷ふのである。

終りに掲ぐる文献は其の論ずる所が余の見解と一致するもの及び余が他の意味に於て關心を持てるものである。

(A) 酸化説。F. Giolitti 氏<sup>1)</sup> の論文を通讀するに白點に就き相當多岐に互り記載せるが、重點は配合原料を選択し還元焰の下で精鍊し酸化物を含有せしめざれば白點を發生しない。白點は酸化鐵がエマルジョンの形又は超顯微

鏡的物質の形に於て存在することに起因するものでこれ等の酸化鐵の周圍に遊離フェライトを生じ之が弱點となるといふのである。

同氏は従来酸化原因が總て鋼の缺點を生ずる事を信じ同氏著“Heat Treatment of Soft and Medium Steels”に於ても屢之を強調して居る。

J. H. Whiteley 氏<sup>2)</sup> は鹽基性平爐鋼塊より壓延した軌條鋼中の毛割れに就て研究した結果この原因の一つとして高壓瓦斯を含有して居る鋼中の多數の微孔に歸し此の含有瓦斯の大部分は CO であるとし、之は壓延中炭素と鐵の氧化物との作用に依て生成するものなる故根本的に熔鋼の脱酸を充分行ひ其中に含む鐵の氧化物の量を少くする事が肝要であると結論して居る。

E. E. Thum 氏<sup>3)</sup> は砲身鋼に就て研究したのであるが結論として白點は錆びた削屑又は過剰の鑛石を使用する事或は熔解途中に沸騰を中止する事、精鍊不充分なる鋼を注入する事等に起因するのであるから之を防ぐ爲には歐洲式熔解法の如く原料を嚴選し還元焰下にて熔解し最少限度の鐵鑛石を使用する様にすれば大部分は減少される。然し鐵の高氧化物 (Higher oxides) が極少くても鋼中に這入ると白點を生ぜしめる恐れがある。即ち酸化物は極く少量ありても部分的に脱炭を起し元の樹枝狀結晶の表面に薄いフェライトの縁を形成し弱點を生ずると云て居る。

凡そ酸素は  $FeO$  の形に於て固溶體として鋼中に存在し得る事並に過酸化鐵に於ては結晶粒間に酸化膜を生じ熱間脆性を起す事等は一般の熟知する所にして、余も平爐製鋼法及轉爐製鋼法の關する限りに於ては其生産鋼中に生成する白點は酸化起源に負ふものなる事を信ずるもので、此の原因に依るものは粒間白點を生じ易いのである。其他鹽基性電弧製鋼に於ても其の酸化期に於て過酸化に陥れる鋼は白點を誘起する事は後章に於て詳述する通りである。

(B) 偏析及結晶粗鬆説。偏析と結晶粗鬆とは相伴ふ場合が多いから一項に纏める事とした C. Y. Clayton 氏<sup>4)</sup> 等は鹽基性電氣爐及平爐製のニッケル鋼について研究したのであるが白點は鋼塊の不均一性特に炭素、磷等の偏析に起因するものであつて鍛鍊時の加熱の不適當により發生を誘致するものであるとしてゐる。P. Bardenheuer 氏<sup>5)</sup> は白點は Ni-Cr 鋼の如きマルテンサイトの發生し易い様な鋼質のものに多く此の原因は凝固に際して起る炭素、クロム等の偏析に起因する所謂結晶偏析 (Kristallseigerung)

に歸す可きものにして龜裂は放冷時に起るパーライト地質及偏析部のマルテンサイト間に於ける收縮の相違より招來さるゝとして居る

W. Eilender & H. Kissler 氏<sup>6)</sup>は *Ni-Cr* 鋼に就て種々の研究を行ひ結論として鋼滓含有は白點とは関係ないが結晶偏析が白點生成に甚大なる関係を有するを以て高温度で永く保持することは擴散作用の結果偏析を減ずるを以て白點を防止する一方法なりとしてゐる

F. Mauer & H. Korshan 氏<sup>7)</sup>は *Ni-Cr-Mo* 鋼に就て研究し白點は鍛鍊後放冷の途中に於て熱應力及變態應力の爲に生ずる應力龜裂で烈しい偏析のある様な部分即ち應力に對し抵抗の最も弱い部分に現れる 而してマクロ及び檢鏡に依り白點は最後に凝固した偏析多き部に生ずる貫粒或は粒間龜裂であると見てゐる

F. Sauerwald, H. Gross 氏<sup>8)</sup>等は *Ni-Cr* 鋼について調べた結果白點は樹枝狀結晶に合金成分が不均一に偏析する事が主因であつて白點の防止には先以て凝固中に於ける結晶偏析を出来る限り避けねばならぬとして居る

F. Rapatz & H. Pollack 氏<sup>9)</sup>は白點と初晶との關係は初晶が大であれば夫れ又弱き部分も多くなり 又夫れ又白點發生の素因を與へる事になるから自らこの兩者間に關係があると云へる 然し白點の主成因は偏析にあるから之を擴散する爲長時間適當なる高温度に保持するがよいと云ふて居る 偏析が白點の主原因であると認むる人は甚だ多い様である 而して偏析は非金屬元素たる *P, S, C* 等の偏析と金屬元素例へば *Ni, Cr, Mo* の如き物質の不均一分布を併せて考へる必要があるが前者は或程度迄擴散作用に依て輕減さるゝも後者は擴散困難なるのみならず冷却時加熱時に於ける收縮膨脹の相違による應力を生じ易きを以て白點の發生には特に注目す可きものなりと考へられる 而して偏析は先づ以て偏析す可き物質たる *P* 及 *S* 並に他の合金元素を少くする事が第一の防止策で 第二は鑄込温度の調節であるが鑄込温度の高き場合は偏析作用を強く起すと同時に結晶の粗鬆を助長し又鑄造歪 (Casting Stress) を生じ易く全般的に弱點を多からしめる事となり白點の素因を作るのである されば高温度注入によつて生れたる鋼塊より作れる鍛造物は粒間白點と貫粒白點を共に含む場合が多い 之を要するに偏析が白點の起因として或場合には重要な役目をなす事は疑ふ餘地はないが製鋼法との關係を考へて見れば *P, S* 等の非金屬元素の偏析より考へて此

種の偏析の關する限り不純物少き鹽基性電弧爐鋼には此の缺點が最も少い筈である 此の問題に關しては後章更に論ずる所があらう

(C) 水素説 水素説は H. Bennek, H. Schenck & H. Müller 氏<sup>10)</sup>等に依り始めて唱へられたる所であるが結論としては鍛鍊鋼中の白點は固溶體になつて居る水素瓦斯の發生壓力に依るものなる事を確め又水素を故意に鋼中に含ましめる事により白點を作り得たと云てゐる 窒素 酸素は鋼中に於ては一種の貝殻狀破面を生ずるのみであつて水素とは全然作用を異にして居る されば初晶粒間龜裂 一般の貝殻狀破面 内應力龜裂等の如きは冷却の際水素の分離により支配さるゝものであると推論してゐる だから白點を減少せしむるためには適當なる熔解法 或は注入法 水素少き塗料を使用し而して鍛鍊後徐冷 徐加熱或は鍛鍊前の長時間加熱等により鋼中の水素を充分擴散せしむる事にあると云ふのである

Houdremont 氏<sup>11)</sup>が彼の著書 *Sonderstahlkunde von Ed. Houdremont, s. 521~524* に水素と鋼との關係を記し白點發生の機構に論及せる所は大いに我が意を得て居る 一般に水素は鋼溶解中多少共其中に溶け込む事は疑ふ餘地はなく其の溶解度は鋼質 温度及其處に存在する水素の分壓に關係するもので *Ni, Mn, Co* 等は溶解度を高め之に反して *Al, Cr* 及び *C* はこの度を減ずる傾向がある *Si* は鋼が熔體より凝固する時に水素の發散を妨げるのである 又温度の低下に正比例して其の溶解度は低下し鋼が凝固する時は急激に溶解度を減ずる 而して凝固せる直後は尙相當多量の水素を固溶體として保持し得ると雖も温度の低下に従ひ之を吐出して漸減す  $\gamma$  鐵より  $\alpha$  鐵に變化する時は亦急激に水素を吐出するもので換言すればオーステナイトはフェライトより多くの水素を溶解保持し得るのである 種々の温度に於ける溶解水素の量は大体に於て水素の壓力の平方根に正比例すると云はれて居る 而して常温で規定壓に於ては鋼中に保持され得る水素の量は比較的小である 大なる鋼片が大氣中にて急冷さるゝ場合の如きは外部は水素が少くなれ共内部は相當量之を殘留して居り 又鋼を水素中にて熱すれば其の壓力と温度に相當するだけの水素を吸収する 然れども常温に於ても發生期の水素中に鋼片を置けば水素はこの中に擴散攝取され鋼中に或る空間を見附れば其中に分子の形に於て滯留し其壓は數百氣壓にも達し得ると云はれて居る

Schenck は前述の如く鋼が溶解中に攝取せる僅少なる水素は冷却に際して非常なる壓力を鋼中に生ずる事を得るものなることを證し尋で H. Müller は鋼中の水素と白點との關聯性を研究し Bennek は鋼に水素を含有せしむる事により白點を誘起せしめ得る事を實驗し白點水素説を裏書したのである。大體水素は熔鋼作業中鋼中に侵入し來り凝固に際しては他の元素と同様析出分離するが一部は固溶體の形を取り又一般瓦斯の一部として氣泡中にも存在する。然るに今水素を固溶體として保持する鋼塊が鍛造或は壓延後放冷さるゝ場合には水素は其の溫度に適應する量丈漸次離脱して鋼中に或壓を生ず。若しこの場合放冷が充分緩漫にして且鋼片が比較的小なる時は水素は滲透作用に依り外部に逃避し鋼中に大なる害を與へずと雖も急冷すれば擴散は全断面に及ばず内部に於て壓力増大し  $200^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{C}$  の限界溫度に於て鋼は此壓に堪へず白點を生ずるのである。而して水素の一部は鋼塊中の巢及小孔中に高壓の下に集るも再加熱し鍛造する場合には再び鋼中に溶解し鍛造後の放冷が急激なる時は白點を生成するに至るのである。斯く水素は白點生成の一次的原因であつて各種の應力例へば冷却應力、變態應力等が之を助長する事は否む事は出來ない。偏析及介在物等を有する部は鋼塊の最も弱い部分を形成するを以て此點より見るも此等の場所には白點が多く出來る譯である。

鋼浴が水素を攝取する機構を見るに熔鋼上に來る水素の分壓が大なる程侵入量が多く又熔鋼中に他の瓦斯の分壓が弱い程大である。即ち例へば鋼浴が酸化烈しくして  $\text{CO}$  瓦斯の發生盛なる時は水素の攝取さるゝ量は少ない。從て鹽基性電弧爐製鋼法の如く長き脱酸期を經過する様な場合は水素を攝取するに最も好都合なのである。即ちこの種の鋼に最も白點の生じ易い理由の一つと見る事が出來る。水素を多く含める鋼が凝固する時を見るに一度は普通に鎮靜して引けて行くが Solidus 點に達すれば急激に水素が發散し始めこの爲鋼面膨れて内部の熔鋼を吐き出して來る。之に反して過酸化に起因する不鎮靜鋼は  $\text{CO}$  瓦斯を發散しつゝ最初より最後迄沸騰状態に於て凝固して行く。又電解ニッケルを脱酸後に鋼浴中に投加する事は差控へねばならぬ何となれば良く脱酸され鎮靜せる鋼浴中に電解ニッケルの如き水素を含有するものを入れば其の水素は浴中に解け中々分離せず凝固に際して粒間龜裂を誘發するからである。水素説は電氣爐の如き還元熔解に於て主として問題とな

て來るので平爐の如き酸化熔解に於て果して之が適用出來るや否やと言ふ事に對しては余は多分の疑問を持て居る。余が鹽基性電弧爐製鋼法に於て白點を防止するに至れる熔解法の理論的根據の一部は畢竟水素説に存するのである。水素説は吾が國に於ても今や白點問題の中心として研究されつゝあるも現今の所其の試料採取法と分析法に不備の點ありて計數的に水素と白點問題を解決するには尙不充分の感があるが然し余の如く實地の仕事に携はるものは只如何にして水素を鋼中に侵入せしめざるかについて最善の努力を拂へば事足るのである。

(D) 過脱酸説 附 收縮龜裂 この過脱酸説は鹽基性電弧爐製鋼に生ずる一部の白點素因に對して余の主張する説であつて之に關しては適當の文献を見附け得ないが要は鹽基性電弧熔解法の如き還元熔解に於ては特に強カーバイド性鋼滓を生ずる如き場合には鋼が過脱酸状態に陥る爲收縮龜裂を生じ易いと云ふのであるが之については後章に於て詳しく述べる。

(E) 鍛造後の冷却内應力 鍛造中或は鍛造後の加熱或は熱處理に依て生ずる白點に就ては余は之を全然二次的のものとするがこれは放冷内應力、變態内應力、變形による残留内應力等に分けて考究する必要があらう。而してこれに就ては文献が最も多い。其理由は實驗が割合に手輕で小仕掛に出來るからであらう。C. E. Margerum 氏<sup>12)</sup> は  $\text{Ni-Cr}$  鋼に就て研究して次の如く結論して居る。即ち白點の發生する素因は熔解法及び注入法に關係がある。然し鋼塊が其全長に亘り鍛鍊係數の異なるに拘らず白點の輪廓は圓いから其の發生時期は鍛鍊終了後であり又鍛鍊物が冷却するや否や白點が認められる點より見れば其の發生時期は冷へる途中である。尙又白點を誘起せしめた内應力が一時的であつたことは裂痕の面を分離した距離の小さい事から想像出來ると云ふのである。W. P. Benter 氏<sup>13)</sup> は鋼片が鍛鍊を終たばかりの時には全體が可なり同一溫度にあるが之を自由に冷却させると外側は急冷し内部に至る程緩冷する。即ち冷い外側は熱い内部の周圍に收縮する。然るに鋼が漸次冷却して變態域に入ると外部は反對に膨脹し内部は益々收縮する状態にあるから外部が内部を引張る理屈となる。此場合に若し變態點が低い時は鋼は既に粘性を失て居るからこの内應力を消散するために裂痕を發生する事となると云てゐる。Ed. Houdremont & H. Korshan 兩氏<sup>14)</sup> は鍛造後の鋼片を其仕上溫度と同溫度なる  $900^{\circ}\text{C}$  の爐中に入

れ一時間後空中冷却したもの次に爐の溫度を下げて700°Cの時に爐中より引出し空中冷却したものと斯くの如く順次に600°Cより100°C迄同様にして得た試験片を夫々比較して見たがC 0.3~0.45, Ni 3.5, Cr 0.5~0.7と云ふ様な成分のものでは200°C以上より爐外に出したるものに白點を生じ100°C又は室温迄爐中で冷したるものには白點を認めなかつたこれに依て之を見れば白點の發生は約200°C附近だと断定して居る而して之は窒素の析出が200°Cで起り此際鋼が脆くなる事及び水素の關係をも附言して居る T. M. Service 氏<sup>15)</sup>はC 0.24~0.29, Mn 0.4~0.58, Ni 3.4~3.8, Cr 0.52~0.82と云ふ成分の酸性平爐鋼を使用して種々の實驗をした結果要するに毛割れは異状の冷却に依る歪に原因して發生する龜裂であつて發生方向は主として縦方向である鍛鍊後の放冷に注意し焼鈍を丁寧にするれば防止出來ると云て居る

A. L. Baboshin 氏<sup>16)</sup>は變態點に於ける冷却速度又は加熱速度の急緩は白點の出現と大なる關係を有し例へば冷却速度が普通であつても容積變化の急激に起る場合並に鍛鍊中に内外不同の熱勾配又は冷却速度を有する場合は發生を誘導されると云てゐる A. Hultgren 氏<sup>17)</sup>は白點は最後の熱間加工後の冷却中に發生するもので冷却速度を減少する事に依て防止する事が出来る而して之は主に鋼片の内部と外部との冷却速度の相違に依て生ずる内力であつて冷却中に發生する歪力と高温加工の残留歪とが合成され材料の粘着力の相互關係に基いて割れが生ずるのであると云てゐる

凡そ各種の應力關係に依て鋼材に白點を生ずるのは後天的であつて其生成の素因は既に鋼塊と共に生れて居るのである従て鋼塊製造後加工の各階梯に於て歪力を最少限度に保つ様考究する事は常識的の白點防止法で又比較的實行し易い事に屬する従て此の問題はこれ以上検討するだけの價値を認めない

(F) この外に非金屬介在物説 (Sonims) 瓦斯氣泡説其他が唱へられて居るが余はこれ等は極めて例外的のものと考へるを以て省略する事とした

(2) 白點防止と製鋼上の一般智識 下に掲ぐる諸條件は製鋼上の一般的智識であつて即ち製鋼技術者の常識であり皆夫々白點の防止の眞隨に關聯した問題であるけれども今更説明する必要もないから只列記するに止める

(a) 鋼塊製造迄の作業

- |               |                   |
|---------------|-------------------|
| (1) 原料の選擇     | (5) 鋼塊の形狀         |
| (2) 適當なる酸化と脱酸 | (6) インゴットケースの好適溫度 |
| (3) 高熱熔解低熱注入  | (7) 鋼中の不純物を少くする事  |
| (4) 注入速度の調節   | (8) 鋼塊の徐冷         |

(b) 其後の作業

- |                  |                 |
|------------------|-----------------|
| (1) 鋼塊の徐熱        | (4) 正しき鍛鍊度及鍛鍊系数 |
| (2) 鋼塊の均熱及擴散加熱   | (5) 鍛鍊後の徐冷      |
| (3) 正しき鍛鍊初溫度及終溫度 | (6) 正しき熱處理      |

これ等は吾々の常識であるが而も實地作業では所謂言ふに易く行ふに難い事が多く例へば適當なる酸化と脱酸と云ふも之が中々實際には困難な事でこの條件だけでも自由自在に調節出來得るならば最早白點問題の大部分は容易に解決出來ると信するのである

(3) 鋼の成分と白點との關係 今鋼と白點との關係について考へて見れば一般に炭素鋼には殆んど白點は出ないと言て差支へないCr鋼は1% Cr程度迄は鈍感であるが1%以上になると稍感じて來る一般的に言へばNiが最も白點に敏感である R. A. Hayward 氏<sup>18)</sup>はNi 3%までは白點が急激に増加すると言てゐるが余も同意するNi-Cr鋼となれば一層鋭敏となり所謂低Ni-Cr鋼Ni 1.5, Cr 0.6乃至普通Ni-Cr鋼Ni 3.5, Cr 0.6程度のもので何れも白點を生じ易い特にMoを含むNi-Cr-Mo鋼で所謂バイブラック (Vibrac) 系となれば最も白點に鋭敏になつて來る夫れ故如何なる製鋼法でもバイブラック系統の鋼熔解に於て自由自在に白點を防止出來るに非んば夫れが完全なる方法とは言ひ難い Houdremont はWを含むものに白點が多いと云ふが之はMoに類するからであらうC, Mnの比較的高いものは白點に鋭敏になつて來る又オーステナチックの鋼は白點を生ずる事は少ないTi, V等は多少共白點防止に役立つ様である之は其の脱酸力に負ふ所があるのであらう何故にNi, Cr, Mo等の合金鋼が白點に鋭敏なりやと云ふ問題が起るがF. Sauerwald 氏<sup>19)</sup>は樹枝狀結晶に之等の合金元素が不均一に存在する事が主因なりとしSchenck 氏<sup>20)</sup>はFe, Ni, Cr, Mn及び之等の合金の水素溶解度が溫度の降下と共に低下するに依るものとしてゐる又Mauer & H. Gummert 兩氏<sup>21)</sup>は白點は合金金屬の含有異なる場所ある時は急冷の場合其の含有相異の爲變態點に相違を來じA<sub>3</sub>點通過に際して時間的に異なる膨脹の變化を來し材料の抗力が之に堪へざる時は龜裂を發生すると云て居る之を要するに合金鋼が白點に鋭敏なるは其中に含む合金元素たるNi, Cr, Mo等が顯微鏡的或は超顯微鏡的に不均一に

存在する事に歸するもので特に *Mo* の如き高熔融點を有する金屬は不均一性を生じ易き事は想像に難からず この爲變態點通過の際其の間に不均一なる膨脹收縮を來し其の應力に依りて他の白點發生の諸因を助長する爲なりと考へる尙序ながら白點は大なる鋼塊に生じ易く小なる鋼塊には少い 600 kg 以下の鋼塊は餘程條件の悪い場合の外は白點の發生は稀である

(4) 各種製鋼法と白點との關係 各種製鋼法は各々其の特徴ありてこの爲白點の發生に就ても其の機構が異なり鋭敏さが異なるのである Ed. Houdremont (Sonderstahlkunde) は白點と製鋼法との關係に於て鈍感さの順序換言すれば白點に最も安全なる順位を次の様に置いてゐるが余の經驗より云ふも全然同意見である 而して余は尙酸性電弧爐を酸性平爐の次に置きたいのである

- |           |              |
|-----------|--------------|
| (1) 坩堝爐   | (4) 酸性高周波電氣爐 |
| (2) 酸性平爐  | (5) 鹽基性平爐    |
| (3) 酸性電弧爐 | (6) 鹽基性電弧爐   |

(A) 坩堝爐 坩堝爐は其の原料の精選及び爐自體の構造及び溶解方法より考へて白點發生の主因たる瓦斯との接觸過酸化等の恐れ少く又製造する鋼塊は普通小さいから偏析も少く白點には鈍感だと云ふ事に對しては異論のない處である

(B) 酸性平爐 酸性平爐にも以前は相當白點の惱みはあつたが近來石灰法の採用に依て大いに改善された事は喜ばしい 石灰法の主眼は鑛石加入に依り沸騰を生じ熔鋼の内燃作用を短期間に起さしめ之に依て湯に心熱(Body heat) を持たしめ且瓦斯を驅逐し尋で石灰石を投入して沸騰時期に鋼滓中に存する酸化鐵の過剰を置換しつゝ脱酸期に入る事により脱酸を特に脱酸剤を使用せずして自然的に最も合理的に行はんとする所に要諦があるのであつてこの場合に唯深甚の注意を拂はねばならぬ事は鑛石投入の時期に湯を過酸化せしめざる事である この爲に特に熔落の *Mn* 及 *Si* を比較的高位に保つ事が必要であり又鑛石投入開始に當り相當熱を昇げ置く事が必要だと考へる

近時 白點水素説のみを考へて過酸化に依て白點を生じ得る事に對して之を忽諸に附せんとする人もあるが余は後述するが如く過酸化のみに依て白點が起り得る場合を明確に認めたるが故に之を強調して置きたいのである 而して酸性平爐製鋼の白點の問題に於て この過酸化に起因する尙廣義に云へば酸化系白點を全然無視するならば何故に石灰法が白點を防止し得たかと云ふ疑問が解けなくなる一

般に水素が白點の一大原因であると考へる事は最早疑ふの餘地はあるまい 而して酸性平爐鋼が所謂 Dead Melting の状態に入り珪素が鋼滓より還元して熔鋼中に入り來る様な脱酸の十二分に行はれつゝある場合には水素が鋼中に入り來る事も肯定出來ぬ事はない 然し乍ら一般的に見て平爐の如き酸化精鍊に於て左様に容易に水素が鋼中に入り得るや否やは尙研究の餘地があらう

(C) 酸性電弧爐 酸性電弧製鋼法は酸性平爐に比べて爐内の雰囲気 鋼滓等の性質より考ふれば白點防止には理想的の製鋼法と考へる 然れども電弧製鋼法は熱源を電弧に置く關係上鋼浴が電極に接する局部だけ過熱さるゝ事となり爐熱の不均一を生じ易く又鋼浴が電弧の作用を受けるを以て局部的に成分の差異を生じ易き恐あるのみならず爐底が鍋狀をなしてゐるから鋼浴の表面と底部との差異も生じ易く又電弧の爲窒素の固定さるゝ機會も生じ易いのである 而して熱及成分の不均一なる鋼が取鍋中に受入れられ鋼塊に鑄造さるゝ場合は完全に均一となる暇なく鑄造歪(Casting Stress)を生ずる恐あり且窒素の攝取と相俟て白點の遠因をなすと考へらるゝされば電弧爐に於ては常に鋼浴の攪拌を充分にして成る可く均一となる状態に保たしむる事に注意す可きである 獨逸の Demag 社には爐體を 60° 回轉し得る仕掛としこれを時々動かして三極が鋼浴に均等に當る様に設計せる電氣爐を作てゐる これは勿論爐體の電極に近き部分丈けが熔減する傾向を是正する目的もあるが爐熱の均一が達成出来る點に於てこの目的にも叶ふものと考へる

(D) 酸性高周波電氣爐 酸性高周波電氣爐に就ては別に述べない

(E) 鹽基性平爐 鹽基性平爐法に於ける白點は前述の如く全然酸化系統の素因に歸す可きもので酸性平爐の場合よりも鋼滓の活性が烈しい爲である 歐洲大陸殊に獨逸及びチェッコでは酸性配合鹽基性平爐法に依て盛に特殊鋼を製造して居る これは余が便宜上命名したものであるが要するに鹽基性平爐に瑞典銑 スチリア銑の如き低磷銑と低磷 低硫の特撰スクラップを裝入し極端なる酸化抑制法によりて高級の鋼材を製造して居るのである 余は一昨年獨逸の Deutsche Edelstahl Werke. チェッコの Poldi Hütte, 奥の Shoeler Bloeckman, Böhler 等でこの方法を見た 其の詳細は不明なりしも最近 St. u. Eisen に“鹽基性平爐に於てマンガンに附加せず製鋼する法”



(Erzeugung von Weichen unlegiertem Stahl im basischen Siemens-Martin ofen aus Alteisen ohne besonderen Manganzusatz von Horst Wilhelm St. u. Eisen 1936) が發表されて居るがこの法が前記の酸化抑制法と一脈の通するものあるを知り大體了解出來た

(F) 鹽基性電弧爐 鹽基性電弧爐製鋼法は白點に對する感受性最も大なる事は周知の事實である この方法に就ては後章に於て詳述するが余は今白點に關する概論を終るに當り前述せる如く白點を論ずる場合はその製鋼法及材質等を考慮に入れて検討するに非ずんば認識を誤るを以て重ねて主張して置きたいのである 例へば Houdremont 氏は (Sonderstahlkunde) 前掲の Whiteley の瓦斯説を評し若し白點を酸化系統の原因に歸するとすれば鹽基性電弧爐の如く脱酸の充分行はるゝ製鋼法に於て何故特に白點多きやと云ふ事の説明が付かずと云てゐるが 余をして言はしむれば Whiteley は鹽基性平爐鋼即ち酸化製鍊に依れる軌條鋼に就て研究せるを以てこれを酸化系統の原因に歸したのは無理もない 然し鹽基性電弧爐は元來が還元熔解なるが故に主として過脱酸及び水素が原因となつて白點を生ずるので白點生成の原因が全然異てゐる これを比較するから説明が附かなくなるのである

又獨逸製鋼會社の販賣宣傳員 Kukla 氏は白點の原因を偏析一本に歸して居るが余は彼に平爐鋼より純粹なる電氣爐鋼には偏析は少ないと思ふが後者に白點の生じ易きは如何に説明するかと問ひしに彼は平爐鋼に於ては酸化介在物 (Sonims) は比較的粗粒で數少く鹽基性電弧爐鋼のそれは微粒で數多く點々として居る其の爲に後者に於ては偏析の擴散加熱をより長くする必要があると居る 之を要するに電氣爐鋼も長時間の加熱で白點を防止し得るといふのである 勿論非常に不安定の狀態換言すれば白點が出るか出ないかの境にある鋼材があると假定したら加熱を長時間續けると白點が出ないで済んだと云ふ場合も考へられるであらう 然し余の經驗を以てすれば擴散加熱を長く續けても一般的に白點を防止し得ると言ふ結論は出て居ない 夫で余のこれに對する意見は矢張り前述の如く Kukla 氏が製鋼法の如何に係らず白點の原因を偏析一本に置かんとする所に無理があるので鹽基性電弧爐鋼と平爐鋼との白點現出の機構を考ふれば自然にこの問題は解決出來るのである

### III. 鹽基性電弧爐製鋼法に於ける

#### 白點防止の研究

(1) 白點の檢出法 白點の現出にも種々の程度があつてよく教科書や雜誌等に標本的に寫眞が出てゐるのを見るが近來我々の工場に於ては斯くの如き典型的の白點を見る事は殆んど稀である 問題になるのは極めて微細で普通マクロエッチングにても充分檢出し得ざる程輕微なものである 即ち熱處理後 横目抗張試片の破斷面に僅に 1~3mm 徑程度のものが時折出て來るに過ぎない 然し重要製品に對しては絶対にこれを避けねばならぬので 事前試験を嚴格に行ふ事により微細なる白點をも檢出する方法を講じて居る 即ち鋼塊を荒延して頭部及び底部を折り破面検査を行ひ 次にマクロ組織を檢べる 之等は皆四倍乃至五倍の擴大鏡を用ひる 殊に重要な製品例へば砲身鋼 クランクシャフト材の如きは更に熱處理の上 中心部と外皮部と其の中間部の三層に互り横目の抗張力試験を行ひ缺點の有無を調査す 即ち三段構への検査方法を使って居る 斯くしてこの各試験に合格せる荒地は之を加熱鍛造して爾後の工事を繼續して行くのである

(2) 鹽基性電弧爐の基準的製鋼法 之は一括すれば次表の如し (但し熔鋼装入の電弧爐法に就ては今此處に述べず)

#### 冷材装入鹽基性電弧爐製鋼法

##### (1) 熔解期及酸化期

	(A) 熔解後の鑛石酸化 (Oring)	(B) 除 滓
(a) 酸化熔滓	之を行ふ場合あり 之を行はざる場合あり	行ふ
(b) 酸化抑制熔解	之を行はざるを原則とす 稀に行ふ場合あり	行ふ
(c) 無酸化熔解	之を行はず	原則的には行はず

備考 使用鑛石は鐵鑛石又は Mn 鑛石にして或は兩者を併用す而して電壓比較的高壓を用ふ (普通 120~200v)

##### (2) 脱酸期

(a) 除滓直後の脱酸 裸湯に脱酸劑 (珪素鐵 マンガン鐵 アルミニウム等) を加入し早期脱酸を行ふ場合と然らざる場合とあり

##### (b) 還元滓の作り方

(1) 石灰及螢石 炭素を爐中にて混合する場合

(2) 石灰及螢石 炭素を豫め混合して爐中に投入する場合

##### (c) 還元鋼滓の種類

(1) 白滓 (White Slag)

(2) 炭化石灰滓 (Carbide Slag)

##### (d) 脱酸劑の加入期

(1) 珪素鐵 マンガン鐵等を精鍊進行中少量宛分割して加入する場合

(2) 出鋼前上記を纏めて加入する場合

(e) 電壓 比較的低壓を用ふ (80~110v)

鹽基性電弧爐製鋼法に於て余が最も關心を持つ點は鑛石酸化法 (Oring) の可否 除滓問題 除滓直後の裸湯に脱酸劑を加入するの可否 一般脱酸劑加入時期の問題 還元鋼滓成分の問題等である

(3) 鹽基性電弧爐鋼の白點生成の眞因 余が歸納的に得たる鹽基性電弧爐鋼に於ける白點發生の主因は次の三つに歸する

- (1) 酸化期に於ける熔鋼の過酸化
- (2) 還元期に於ける熔鋼の過脱酸
- (3) 熔鋼中に攝取する水素の影響

(A) 酸化期に於ける熔鋼の過酸化及其の防止法 前述の如く最近平爐及電氣爐を通じて鑛石酸化法(Oring)の唱道さるゝ事は周知の如くで鑛石を使用して熔鋼中の炭素及び其の他の元素を早急に燃焼せしめこれ等の内部燃焼熱によりて熔鋼に心熱 (Body heat) を持たしめ他方に於て鋼

中に溶解して居る各種の瓦斯を發散驅逐する事は非常に合理的で良い事であると考へる 然し注意すべき事は鑛石法は之が適當に行はれない時は熔鋼が過酸化を起し之が白點の一原因をなす事である 熔鋼が過酸化に陥ると試料の鎮靜状態で見ることが出来るが亦鋼が赤熱脆性を起すを以て試料を鍛延する場合に延び難くなる事で明瞭に分る この時は炭素は大抵 0.15% 以下となり Mn が 0.2% 以下に降て居る されば過酸化を防ぐには第一に配合中に Mn を多くし酸化期を通じて熔鋼に相當量の Mn を残留せしむる必要がある 又この爲には酸化期に溫度を上昇せしめ炭素の燃焼を助け Mn の燃焼を抑制せねばならぬ 鹽基性電弧爐の場合に於ては酸化期に於ては炭素を 0.15% 以下に脱炭せしむるためには原則的にマンガン鑛石を使用するのが最も安全である 即ち炭素 0.15% 程度迄は熔鋼の Mn 量に應じ鐵鑛石又は鐵鑛石とマンガン鑛石とを併用しこの以下に於てはマンガン鑛石を使用する事とし熔鋼中の Mn は出来るだけ 0.25% 以上に保ち決して 0.2% 以下に低

第 1 表 熔 解 記 録

鋼の成分%		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
		0.40	0.23	0.52	0.014	0.004	2.8	0.78	0.35	0.18
装入材料		差物		還元滓配合 (kg)				備考		
品名	数量 (kg)	品名	成分		石灰	螢石	炭素	種粉	錳末	
Ni-Cr-Mo 鋼錠	4,800			A 材	30	10	35			酸化期に於ける過酸化の例
Cr-Mn-Ni 鋼錠	600			B 材	30	10	35			
Ni-Cr 鋼削屑	1,200									
マンガ ン 鐵 石	18									
灰	180									
金屬材料計	6,618									
操 工 表										
時間	記 事	爐中分析 (%)		附加熔劑 (kg)		差物 (kg)		造 塊		
P.M. 0:10	通 電 105v							鋼塊の大きさ		2t x 3
3:30	熔 解	C=0.38	Mn=0.63	螢 石	25			出 鋼 溫 度		1,587°C
		Ni=2.43	Cr=0.20	鐵 鑛 石	190			注 入 溫 度		1,560°~1,509°C
4:10		C=0.25	Mn=0.21	鐵 鑛 石	30			注 入 時 間		2'45"
				鐵 鑛 石	10			取 鍋 穴 徑		45mm 押上
26	過酸化の爲鍛鍊不能	C=0.20	Mn=0.15			マンガン鐵	9	種 穴 徑		
35		C=0.18	Mn=0.17					白 點 の 有 無		極めて微細なるものあり
45	除 滓 せ ず			A 材	75	マンガン鐵	9			
55	電 壓 95			B 材	75					
5:40		C=0.26	Mn=0.43	CaO	80	Ni	32			
50		C=0.27	Mn=0.50			Cr鐵	23			
6:00		C=0.30	Mn=0.53			珪 素 鐵	28			
10										
20	砂 型 試 験 良									
35	出 鋼									



下せしめざる事を要する 以上は鑛石法を実施する場合であるが鑛石法を採用せざる場合と雖も装入物中に Mn 含有過少なるか或は過多の鑛石或はスケールの類を配合する場合は過酸化に陥る恐があるのである 一度過酸化に陥た熔鋼は其の後の精鍊期に於て種々手當をしても再び正規の状態に回復することは甚だ困難である 余は約 15 年前平爐に於てこの問題について研究したが仲々解決がつかないので之を過酸化の遺傳と名附けたことがある 余は鹽基性電弧爐に於て其の酸化期に於て過酸化に陥れる熔鋼は他の條件を全然同様に保ちても殆んど總て粒間白點を現出せる多くの實例を有する 此等の鋼の酸素含有量は 0.0065% 程度或は夫れ以上である

白點防止のためには熔解後の鑛石酸化法(Oring)が必須條件であると云ふ説をなすものもあるが余もこの時期に於ける酸化沸騰は適當な處理であると考へるがこの期に酸化

沸騰をなさずとも白點は生じない 即ちこれは必須の條件ではないと云ふ數多の實例を持つてゐる

(B) 還元期に於ける熔鋼の過脱酸及其の防止法 酸化鋼滓を掻き出し裸湯に珪素鐵或はマンガン鐵 Al 等を加入する事は屢々行はるゝ方法で特に此の場合珪素鐵を加ふることは大抵の製鋼所で實施されて居る所であつて早期に脱酸を進せしめんとする意圖である 又其後還元滓を作り脱酸期に入りても同様の目的で脱酸劑を分割して幾度も順次加入して行く方法が行はれ 余も亦或種の鋼ではこの方法を採用してゐるが斯くの如き方法は稍々もすれば鋼を過脱酸に導く恐があるのみならず早期より鋼浴を鎮靜せしめて活性を全然止めて終ふと云ふ事は鋼浴の均一性を保つ上より考へても宜しくない 矢張りカーバイド滓で徐々に脱酸を進めて行き最後にマンガン鐵 珪素鐵等を纏めて加入する方よいと考へる 又還元滓が特にカーバイドの多量を

第 2 表 熔 解 記 録

鋼の成分 (%)		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
		0.37	0.26	0.61	0.012	0.004	1.76	0.54	—	0.21
装 入 材 料		差 物		還 元 滓 配 合 (kg)				備 考		
品 名	數 量 (kg)	品 名	成 分		石灰	螢石	炭素	珪素粉	錳素	
精製鋼	6,720			A 材	140	50	20	6		早期脱酸の爲過脱酸を招來せる一例
本溪湖銑	80			B 材	140	30	43	3		
マンガン鐵	28									
ニッケル	114									
マンガン鑛	90									
石灰	100									
金屬材料計	6,942									
操 工 表										
時 間	記 事	爐 中 分 析 (%)		附 加 熔 劑 (kg)		差 物 (kg)		造 塊		
A.M. 11:40	通 電 105v			螢石 15	鐵鑛 20			鋼塊の大きさ		6t × 1
P.M. 3:10	熔 解	C=0.26	Mn=0.46					出 鋼 溫 度	1,600°C	
				螢石 35	鐵鑛 40			注 入 溫 度	1,496°~1,505°C	
3:36		C=0.18	Mn=0.5	螢石 40	鐵鑛 50			注 入 時 間	6'52"	
				マンガン鑛 10				取 鍋 穴 徑	38mm	
4:15		C=0.13	Mn=0.37					種 穴 徑	28mm	
30	除 滓			A 材	216	マンガン鐵 3				
32	再 通 電 95v			B 材	216			白點の有無	多 し	
42										
5:22		C=0.21	Mn=0.23			珪素鐵 6				
32		C=0.24	Mn=0.28			珪素鐵 6				
						Ti 鐵 4				
44						Cr 鐵 53 Mn 鐵 10				
52		C=0.29	Mn=0.56	CaO	28	珪素鐵 6				
6:13		C=0.30	Mn=0.60							
17						珪素鐵 10				
25	砂 型 試 驗 良									
28						Al 0.3				
45	出 鋼									

含む場合は益々過脱酸の傾向を助長するのである 余は最初白點を防止する爲には徹底的に脱酸を行ふべきであると考へから前述の如く裸湯に珪素鐵 マンガン鐵等を加入し製鍊進行中に珪素鐵を分割投入する等により極力之を助長し 他方に於ては最後の脱酸劑たる  $Al$ ,  $Ti$  鐵をも増加して附加する等種々脱酸極致主義を採て見たが之と反對に白點を増加する傾向をさへ認めたとのである 夫れで過脱酸と云ふ事に着目し始めたのであるが今過脱酸に陥れる熔鋼は何故白點を生じ易きやと云ふに熔鋼が過脱酸状態に陥ると收縮性 (Shrinkage) が大となり初晶粒間の收縮龜裂を誘發する原因であると見るのである Henry D. Phillips 氏<sup>23)</sup> が電氣爐鋼中の酸素に就て論ぜる所によると鋼の含有する酸化鐵は適當に除去すべきで鋼の品質はその除去の程度に依るものである 人々は荒き鋼の原因が脱酸不十分にある事は知てゐるが流動性不良なる鋼は過度の脱酸によるもので其の原因たるや酸化鐵の缺乏にあると云ふ事を聯想するものは甚だ少い 又酸化鐵の缺乏した鋼は之を普通量含有してゐる鋼よりも熔融状態に於て又凝固状態に於て收縮大なりと考へらるゝが事實然りであつて收縮管高温龜裂等による廢却量は増加するものであると云てゐる 又 Batty 氏が 1923 年 Sheffield に於て開催されたる冶金業者の會合に於て發表せる論文の中の斯る例を引いて曰く鹽基性電氣爐製鋼に於て彼は Spoon test の際十分に流動性ある試験を得ることが出来なかつたが之れは鋼滓があまりに良好に過ぎ還元状態が餘りに完全であつたために鋼中の酸素の溶解量小で流動性が小であつた爲で夫れ故爐の兩側の扉を開け爐中に空氣を入れ鋼滓が僅かに酸化する様にしたのであるが3分経過すると流動性良好なる物を得て出鋼する事が出来たと云てゐる 余も亦過脱酸に陥れる鋼は收縮率の大なる事は現場に於て屢々經驗して居る事は前述の通りで上記に全然賛成するが故に一寸之を引用したのである 又熔鋼が過脱酸に陥れるが如き場合に於ては次章に於て述ぶるが如く水素が鋼中に侵入する最上の條件にあると云ふ事も考へられるのでこれ等の原因が兩々相俟て白點發生を助長する事は勿論である 收縮龜裂 (Shrinkage Crack) の機構に関しては A. W. H. Brearly 氏\* が彼の著書 *Ingot & Ingot Mould* 中に詳述して居るが要は熔鋼が凝固する時に生ずる收縮の爲誘發する鑄造歪 (Casting Stress) に起因する粒間龜裂であるが之は二様に考へる事が出来る其の一は熔鋼が固體に移るその瞬

間に生ずる第一次的のものと固體となりてその放冷或は加熱中に起る第二次的龜裂であるが余が今述ぶる所は主に第一次的龜裂を意味するのである 次に還元鋼滓に就て述べる必要がある 還元鋼滓は普通二種が考へられてゐる即ち白滓 (White Slag) 及びカーバイドスラッグ (Carbide Slag) であるが過脱酸を招來する恐あるは後者の場合である 文献に現はれたるカーバイドスラッグは次の様である

精鍊終期の還元鋼滓

人名\成分	$SiO_2$	$FeO$	$Al_2O_3$	$CaO$	$CaC_2$	$CaF_2$	$MgO$	FreeC
(1) Robietté	14.0	1.1	1.3	60	4.5	15	2.5	0.4
(2) R. C. Good	21.86	0.38	3.08	60.62	2.54	2.80	4.24	0.77
(3) Gow	14.17-16.21	—	—	46.7-53.0	2.1-9.77	20-22.6	1.99-3.65	0.66-1.32
(4) Sisco	15.32	0.87	3.06	57.63	1.03	12.86	—	0.22
(5) Osann	17.60	1.05	3.26	58.32	1.33	—	13.28	—
(6) Barton	7.48-24.0	0.35	2.17	55.53-68.10	2.26-5.6	—	13.78	—

Cabride の量が鋼滓の脱酸性及脱硫性を指示する最も重要な成分であるが余の實驗によれば  $CaC_2$  は 1~2% が最も適當だと考へて居る 實例を示せば次の如くである

	$SiO_2$	$FeO$	$Al_2O_3$	$CaO$	$CaC_2$	$CaF_2$	$MgO$	FreeC
1	11.9	0.99	3.00	43.46	1.79	16.2	21.02	0.79
2	14.96	1.33	3.22	40.05	1.70	14.30	23.16	0.42
3	12.28	1.25	2.70	38.14	1.33	16.70	24.44	0.43
4	6.97	1.23	2.64	42.90	1.68	21.20	21.87	0.32

カーバイドを多く含む鋼滓は鋼中に窒素の固定を多くするを以て白點の素因を作るとなすものもあるが余はこの場合寧ろ過脱酸の結果なりと信ずる 而して之等過脱酸白點を有する鋼の酸素分析の結果は  $O_2$ , 0.0009~0.0014% 程度にして白點なき健全鋼はこの量 0.0025~0.0035% 程度を示し 過酸化に起因する白點發生の鋼は 酸素含有量は 0.0065% 程度以上なる事は前述の通りである 次に異常に  $CaC_2$  を多く含む鋼滓の場合の實例は第 3 表に示す

之を要するに過脱酸に陥る事を避けこれに依て誘導さるゝ收縮白點を防止するには前述の如く裸湯に脱酸劑を加入する事及び還元期途中に珪素鐵 マンガン鐵の如き還元劑を分割加入する事を忌み之等は總て出鋼前纏めて投入する方がよい 尙此の場合に酸化期の終末に於ける殘留  $Mn$  が關係して來るのであつてこの量が 0.38% を超ゆる場合は還元期に於て既に過脱酸を惹起する恐があるので前章に述べたる過酸化の場合を併せ考へて酸化期末に於ける殘留  $Mn$  は 0.2~0.38% を限定とす可く最も理想的に云へば 0.25~0.3% がよいと考へる 又鋼滓のカーバイドの量は 1~2% 程度が最も適當と考へる 余の目標とする鋼滓は次の成分である

SiO<sub>2</sub> FeO CaO CaF<sub>2</sub> MgO CuC<sub>2</sub>  
7~18 0.6~1.5 40~60 10~15 8~20 1~2

現場に於ては爐床 天井等の熔損の多少により CaO, MgO 等の含有が非常に變て來るから實際上鋼滓の色流動性 アセチレン瓦斯發生狀態等に依て判斷するのである

(C) 熔鋼中に攝取する水素の影響及其の防止法 一般に鋼中の水素が白點成生の一素因となることに就ては前にも述べたる如く今や疑ひの餘地はないが然し余は水素は鹽基性電弧爐に關する限り正に其の第一原因であると主張するのである 即ちこの製鋼法が何故白點に對して最も感受性大なりやと云ふことに就ては余は數年來之が解決に没頭し種々の實驗をなし酸化期に於ける過酸化 還元期に於ける過脱酸等の現象に就ては大體解決を得たるも尙完全に白點を克服するに至らざりしが酸性電弧爐鋼が比較的白點に鈍感なることに着目するに及び水素を重視せざる可からざるに至る 此の兩熔解法を比較すれば次の如し

	酸性電弧爐製鋼法	鹽基性電弧爐製鋼法
(1) 鋼滓生成熔劑	珪石を主とす	石灰を主とす
(2) 熔解後の除滓	原則的に行はず	原則的に行ふ
(3) 仕上鋼滓	珪酸系	カーバイド滓

而して珪石は乾燥すれば水分を完全に除き得るも石灰は一度水分を吸収する時は之を水酸化物として含有するを以て 1,000°C 以上に加熱するに非ずんば驅逐する事が出來ないのである 然るに石灰は焼成後一時間空中に放置すれば既に 0.1~6% 位の Ca(OH)<sub>2</sub> を生ずるもので實驗の結果を例示すれば次の通りである

石灰の吸水性 (空氣中にて)

燒成後の 經過時間 Ca(OH) <sub>2</sub> の量%	燒成 1 日目 直後 (24時間)	2日目	3日目	4日目	5日目	6日目
1.15	7.04	13.90	18.00	18.00	25.00	29.0
4.15	10.04	16.90	21.00	21.80	28.58	32.45
5.79	18.38	22.29	23.44	34.25	35.53	

それ故 石灰は 燒成後は嚴格に大氣を避くるは勿論出來る丈速かに使用するに非んばその吸収せる水分を熔鋼に傳播し水素攝取の原因をなすものと認められるので實際上

第 3 表 熔 解 記 録

鋼 の 成 分 (%)		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
		0.34	0.28	0.59	0.018	0.005	1.96	0.48	—	—
装 入 材 料		差 物		還 元 滓 配 合 (kg)				備 考		
品 名	數 量 (kg)	品 名	成 分	石灰	螢石	炭素	珪素 鐵粉	鐵 屑		
精製鋼	7,200k			A 材	140	50	20	6	カーバイド多き鋼滓の例	
マンガン	30			B 材	140	30	43	3		
ニッケル	130									
電極	8									
螢石	80									
金屬材料計	7,360									
操 工 表										
時 間	記 事	爐 中 分 析 (%)		附 加 熔 劑 (kg)		差 物 (kg)		造 塊		
A.M. 3:00	通 電 105v 熔 解	C=0.15 C=0.12	Mn=0.52 Mn=0.44					鋼塊の大きさ	3t x 2	
6:25										
52								出鋼溫度	1,596°C	
7:10								注入時間	3'55" 3'45"	
21	除 滓 再 通 電 95v			A 材	216			取鋼穴徑	35mm	
32									樋 穴 徑	28mm
42				B 材	216					
8:25		C=0.20	Mn=0.52	螢石	10	珪素鐵 6	Ti 鐵 4			
36		C=0.22	Mn=0.56			珪素鐵 6				
43						Cr 鐵 53		白點の有無	相當多し	
51		C=0.29	Mn=0.58	CaO	30	珪素鐵 6				
9:00		C=0.31	Mn=0.59	CaO	40	珪素 12				
9:02	砂型試験良									
9:25				CaO	30					
32	出 鋼									
鋼 滓 の 分 析 (%)		SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaC <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	MgO	FreeC	
		6.70	0.98	3.02	53.59	7.02	11.38	15.38	0.71	

石灰は焼成後長くとも 24 時間以内に使用し盡さざる可からずとの見地から之を勵行せしに白點の數大いに減じ又大さも小さくなって來た 即ち鹽基性電弧爐の白點の最大原因は水素にある事を認むる事を得た 而して其の後この方針を以て研究を進めたいけれども之を根絶するには至らなかつた 次に酸性電弧爐に於ては原則的に除滓を行はないのであるが鹽基性電弧爐に於ても無酸化熔解の場合は最初より白滓を造り所謂白滓熔解 (White Slag Melting) を行ひその儘除滓を行はず還元期に入るのであつて坩堝爐熔解を理想として發案されたものである 然れどもこの方法は装入物中に炭素を混じ酸化を防ぐを以て高炭素鋼にのみ應用し得るに過ぎない依て余は酸化抑制熔解をなし最初の鋼滓を全然排除せず其儘還元滓に變化せしめ其の後は普通の方法によつて精鍊を續けて行た 然るに製品は何れも頗る良好の成績を示した この理由を考へて見るに從來の如

く酸化滓を排除して湯を裸とすれば裸湯の表面は大氣に接觸し種々の瓦斯を鋼中に吸収せしむる恐あるのみならず次に新に加入する還元劑に假令少量なりとも水分を含んで居たならば熔鋼が之に直接觸るゝため之を吸収し水素を含むに至る可きは明白の理である 斯くの如くにして湯を裸にする事が絶対に不可なる事を發見したが實際問題として熔解期に鋼滓を其の儘還元滓に變化する場合は装入材料の燐分は除去されずして全部製品中に残留するを以て精製鋼を原料として使用せざる可からざるの不便ありて經濟上より言ふも實行不可能なるを以て一部の酸化鋼滓を残し大部分を掻出し同一の目的を達する事を實驗したのである さて然らば酸化鋼滓の幾割を残し幾割を掻き出す可きかが實際問題となつて來るが理想的に云へば湯を裸にせざる最少限度の鋼滓を残し而も後に加入する還元劑に湯が接觸せざる程度に保つ事が必要である 依て酸化滓の約 1/4, 1/3,

第 4 表 熔 解 記 録

鋼 の 成 分 (%)		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
		0.37	0.25	0.47	0.022	0.003	2.97	0.90	0.47	—	
装 入 材 料		差 物			還 元 滓 配 合 (kg)				備 考		
品 名	數 量 (kg)	品 名	成 分		石灰	螢石	炭素	硅素 鐵素			
Ni-Cr-Mo 鋼錠	5,200			A 材	140	20	25		鋼滓 2/3 排除の例		
Mn-Cr-Ni 鋼錠	750			B 材	140	35	35				
Ni-Cr 鋼削屑	1,000										
マンガン鐵	20										
石 灰	180										
マンガン鑛石	80										
金屬材料 計	6,920										
操 工 表											
時 間	記 事	爐 中 分 析 (%)		附加熔劑 (kg)	差 物 (kg)			造 塊			
A.M. 9:50	通 電 105v 熔 解	C=0.41	Mn=0.63	鐵鑛石 100				鋼塊の大きさ 6700t	鋼温 1,591°C	注入温度 1,491°C~1,500°C	
P.M. 1:50		Ni=3.03	Cr=0.46								
3:05		C=0.33	Mn=0.37								
40	2/3 除 滓 再 通 電 95v	C=0.16	Mn=0.30	鐵鑛石 70	A 材 185			白點の有無 なし			
50		C=0.17	Mn=0.30	鐵鑛石 60							
4:05											B 材 210
4:15											CaO 24
55		C=0.21	Mn=0.43								Cr 鐵 33 Mo 鐵 44
5:15		C=0.32	Mn=0.47								珪素鐵 33 Al 0.9
16	砂 型 試 験 良 出										
26											
45											
鋼 滓 の 分 析 (%)		SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaC <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	MgO	FreeC		
		12.28	1.25	2.70	38.14	1.33	16.70	24.44	0.43		

第 5 表 熔 解 記 録

鋼 の 成 分 (%)		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
		0.32	0.29	0.60	0.019	0.005	3.06	0.8	0.36	0.08
装 入 材 料		差 物			還 元 滓 配 合 (kg)				備 考	
品 名	數 量 (kg)	品 名	成 分		石灰	螢石	炭素	珪素	鐵末	
本 溪 湖 銑	50			A 材	140	20	25			鑛滓 2/3 排除の例
精 製 鋼	4,850			B 材	140	30	35			
マ ン ガ ン 鐵	16									
ニ ッ ケ ル	158									
石 灰	80									
マ ン ガ ン 鑛	70									
金 屬 材 料 計	5,074									
操 工 表										
時 間	記 事	爐 中 分 析 (%)		附 加 熔 劑 (kg)	差 物 (kg)			造 塊		
A.M. 11:40	通 電 105r			螢石 76k				鋼 塊 の 大 小	4×1	
P.M. 2:40	熔 解	C=0.29	Mn=0.7	マ ン ガ ン 鑛 20 鐵 鑛 50 マ ン ガ ン 鑛 20 鐵 鑛 20 鐵 鑛 20				出 鋼 溫 度	1,591°C	
3:12		C=0.09	Mn=0.26	鐵 鑛 20 鐵 鑛 10				注 入 溫 度	1,505°~1,514°C	
30		C=0.06	Mn=0.25					注 入 時 間	4'10"	
38	2/3 除 滓			A 材 185				取 鍋 穴 徑	38mm	
48	再 通 電 95r			B 材 205				樋 穴 徑	30mm	
4:25		C=0.16	Mn=0.47		Cr 鐵 125			白 點 の 有 無	なし	
36		C=0.20	Mn=0.42		Mo 鐵 34					
5:06		C=0.21	Mn=0.50	B 材 5						
25		C=0.22	Mn=0.52							
30					珪 素 鐵 20					
38	砂 型 試 驗 良				銑 鐵 52					
56	出 鋼				銑 鐵 24					
鋼 滓 の 分 析 (%)		SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	CaC <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	MgO	FreeC	
		14.96	1.33	3.22	40.05	1.70	14.30	23.16	0.42	

1/2 を残して種々実験を行たが 1/2 即ち半量を残す時は酸化滓稍多き爲之を還元滓に變化するためには最後の鋼滓稍過多となるのみならず装入中に燐分多き時は之が相當程度製品中に残留する恐があり 又 1/4 残すのみにては鋼滓が過少にして還元劑投入の際其の一部が熔鋼に接觸する恐がある 斯くの如くにして多くの実験の結果 1/3 程度の酸化滓を残す事が作業上の點及び製品の成績より考へて最も適當なる事を發見した 1/3 の鋼滓を残す事は余の使用する 6 施電氣爐に於て約 20mm 程度の鋼滓の厚さを残す見當となるのである これ等の実験の結果は表中に詳細記載した (第 4, 5 表)

斯くの如くにして余は漸く白點防止に對する標準的の熔解法を確立し得たのである 然しながらこの方法と雖も前述せるが如く酸化期に過酸化に陥れる熔鋼並に還元期にカ

ーバイト強き鋼滓を作り其他熔鋼を過脱酸の状態に陥らしむ可き條件に置く場合には白點を生ずる場合があるからこれ等の點が同時に注意されなくてはならない 以上の結果により余は次の如き結論に達したのである

#### IV. 結 論

(1) 鹽基性電弧爐製鋼法に於て白點を發生せしむ可き特殊原因は次の如し

(A) 電弧爐に於ては鋼浴が加熱及び成分に於て不均一を生じ易き事

(B) 熔解期及び酸化期に於て熔鋼が過酸化に陥る恐ある事

(C) 還元期に熔鋼が過脱酸に陥る恐ある事

(D) 石灰中の水酸化物より水素が熔鋼に攝取さるゝ恐

ある事

(E) 鋼滓を搔出し裸湯を露出する爲熔鋼が爐内の瓦斯を吸収し且つ(D) 項の現象を強加す事

(2) 鹽基性電弧爐製鋼法に於て白點を防止するためには次の各項に注意するを要す

(A) 熔鋼の攪拌を充分行ふ事

(B) 熔鋼中に常に  $Mn$  0.2% 以上 0.38% 以下を含ましむる事

(C) 脱酸剤を加入する時期に注意し鋼滓のカーバイド含有量を 1~2% に留む可き事

(D) 石灰に吸水せしめざる様取扱に注意し何れの場合と雖も石灰焼成後 24 時間以上を經過せるものは絶対に使用せざるが安全である

(E) 酸化鋼滓を全部搔出し裸湯を露出してはいけないう程度程度の酸化滓を残す事

本研究は數十回に亙る實際作業に於ける研究の貴き結果にして之により鹽基性電弧爐製鋼法の關する限り白點を完全に防止し得るものと確信する

参 考 文 献

- 1) Observation on flaky and woody Steels.  
F. Giolitti; Chem. & Metallurgical Eng. 20, 1917
- 2) Hair Cracks in Steel Rails  
J. H. Whiteley; Trans. Amer. Soc. for Steel  
Treat. 12. 1927
- 3) Flakes in Alloy Steels.  
E. E. Thum; Chem. & Metallurgical Eng. Vol. 21  
No. 5. 1919
- 4) Flacky & Woody Structure in Nickel Steel Gun Forgings. C. Y. Clayton, F. B. Foley & F. B. Laney;  
Bull. Am. Inst. Min. & Met. Eng. No. 146. Feb. 1919
- 5) Die Flocken in Nickelchromstahl.  
P. Bardenheuer; Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm Institut für Eisenforschung zu Düsseldorf
- 6) Beitrag zur Frage der Flockenbildung in Baustählen.  
W. Eiländer u. H. Kiessler; V. D. I. 76, 1932
- 7) Beitrag zur Kenntnis des mechanische Eigenschaften grösster Schmiedestücke.  
F. Mauer u. H. Korschan; St. u. Eisen 50. 1933
- 8) Flakes in Ni-Cr & related Alloy Steels.  
F. Sauerwald, H. Gross. & G. G. Neuendorf;  
Metals & Alloys 4. 1933
- 9) Primärgefüge seine Wirkung auf die Stahleigenschaften.  
F. Rapatz u. H. Pollak; St. u. Eisen 54. 1934
- 10) Die Entstehungsursache der Flocken im Stahl.  
H. Bennek, H. Schenck u. H. Müller; St. u. Eisen 55. 1935
- 11) Sonderstahlkunde von Ed. Houdremont; S. 521-524
- 12) Facts, not Theories about Flakes in Gun Forgings.  
C. E. Margerum; Metal Progress 25, May 1934
- 13) Dense Steels with low Critical Point are most Susceptible to Flakes.  
W. P. Benter; Metal Progress 25. May 1934
- 14) Die Entstehungsbedingungen der Flocken im Stahl.  
Ed. Houdremont u. H. Korschan; St u. Eisen 55. 1935
- 15) Hair Line Cracks. T. M. Service; Iron & Coal Trade Review 122. 1931
- 16) Nature of Flakes in the Cr-Ni Steel.  
A. L. Baboshin; Metallurgist. No. 2 1927
- 17) Flakes or hair cracks in Cr steel, with a discussion on shattered zones and transverse fissures in Rail.  
A. Hultgren; Iron & Steel Institute 111, 1925  
No. 1
- 18) R. A. Hayward; Chem. & Met Eng. 21, 1919
- 19) F. Sauerwald; Metals & Alloys 4, 1933
- 20) Schenck; St. u. Eisen 55, 1935
- 21) Mauer u. H. Gummert; St. u. Eisen, 55
- 22) H. D. Phillips; Oxgen in acid elec. fur. Fouudry. Mar. 1933