

鹽基性平爐鋼塊の材質的特性

(日本鐵鋼協會 第7回講演大會講演)

小 平 勇

CHARACTERISTICS OF BASIC OPEN-HEARTH INGOTS.

By Isamu Kohira.

SYNOPSIS.— Basic open-hearth ingots are classified in two different kinds so-called rimmed steel ingot and killed steel ingot. In my opinion the variations of these ingots are principally affected to the condition of the stirring action caused by the evolution of the gas during the solidifying process. Their characteristics are briefly pointed out and some of the experiments are suggested concerning to the heterogeneity of chemical elements, crystallographic structures, segregations, blow holes, and etc.

目 次

I 概 説

II 外的性状

1. 鋼塊の化學成分、2. 鑄鋼の凝固狀況
3. 鋼塊の外形

III 內的性状

1. 化學成分上の不同、2. 組織、3. 偏析、4. 氣泡
5. 收縮管、6. 含滓の程度

IV 結 論

I. 概 説

鋼材製品の材質の品位は主として原料鋼塊の良否或は適否に依つて決定される。鋼塊の素狀特性、即ち内部の形狀及び組織的狀況を窺知することは常に實用と經濟に立脚し、用途に適應する鋼塊を選定する立場にある、製鋼作業當事者の根本的重要問題である。従つて此の方面の研究に關聯して既に幾多の論文が公表されてゐる、最近5年間の主要なるものとしては A. Stadeler u. H. J. Thiel 氏¹⁰⁾; F. Leitner 氏¹²⁾; 蒔田宗次¹³⁾; Committee of the Iron & Steel Inst²⁰⁾; P. Bardenheuer u. C. A. Müller 氏²³⁾; W. Oertel u. A. Schepers 氏²⁴⁾; A. Hult-

gren 氏²⁶⁾; A. W. Brearley and H. Brearley 氏²⁹⁾; 八幡製鐵所研究所報告 3. 4. 5 其の他(末尾參照)がある。而してこれ等の文献を見るに研究内容は大部分脱酸鋼塊の範圍に屬すべきものが多い。その理由は成品として比較的檢定規格の嚴重な爲め、勢ひこの研究が第一に着手されたことに依るものである。縁付鋼塊の研究に關しても最近漸くその氣運に向つて來てゐるが實際問題としても尙研究の餘地が充分に残つてゐる。

さて平爐鋼塊を材質的方面より分類すれば略々次の2種に大別され得る。即ち縁付鋼塊(Rimmed or effervescent steel Ingot)及び脱酸鋼塊(Deoxidized or killed steel ingot)とである。前者は建築、橋梁、船舶等に使用する一般構造物鋼材向けの軟質普通炭素鋼であり、後者は多量の脱酸劑を使用せるもの及び高炭素鋼これに屬し、製鐵所の實例として、鉄力板、黑板、高張力鋼、車軸、外輪等の高級品がこれである。

最近製鐵所に於て實驗用として解剖された平爐鋼塊は既に20數本に達してゐる。本文の内容はこれ等の鋼塊研究を根據とし主として2種類の鋼

塊に對する材質的特性を指摘したものである。試験の経過内容に就いては省略しその結果のみを綜合して述べたものである。本文中從來の推論を一層確證し或は新研究として考へらるべき諸點を擧ぐれば次の如し。

イ、縁付鋼塊と脱酸鋼塊の兩者に於ける凝固状況の相違と内部組織に及ぼす影響。

ロ、一般に鋼塊の内質は單に自由晶であると主張されてゐるに對し著者は新に肥大樹晶を附加しその分布状況を明らかにした。

ハ、内質に生ずる A-型局部的偏析の發生経路として凝固進行中に於ける收縮腔溝に依ることを主張する。

ニ、縁付鋼塊に於ける氣泡の瓦斯成分。

尙本文中に引用されたる試験鋼塊は凡て製鐵所に於て最も普通とする單重 3,000kg 程度の角型鋼塊を標準とせることを附加しておく。

II. 外的性状

この問題に就いては現場作業者の常に經驗する所で従つて此所に詳述する必要を認めないか説明の便宜上特に注意を要する 2,3 の問題を擧げる。

1. 鑄鋼の化學成分

縁付鋼塊 { C 0.30% 以下にして主として滿淹鐵に依つて部分的脱酸せるもの Si, Al を使用せず

脱酸鋼塊 { C 0.30% 以上の高炭素質及び脱酸劑の多量使用によつて完全に脱酸せるもの

縁付及脱酸の兩種類鋼塊に對する化學成分上の區別は斷定的のものでない。製鋼状況及鑄鋼條件等に依つて多少の相違がある筈である。從來の説明では縁付鋼塊を遊離珪素低炭素鋼と一般に稱され炭素の含量に就いても J. E. Carlin 氏⁸⁾ は max, 0.15%; E. C. Bitzer 氏¹¹⁾ は 0.02~0.20%; H. D. Hibbard 氏は max, 0.40%

と主張し何れも Si 及び Al が痕跡と附言してゐる。

2. 鑄鋼の凝固状況

縁付鋼塊 { 瓦斯を發生し、鑄鋼沸騰す、火花多し。湯面は縁より凝固し始め、凝固終了まで長時間を要す。
脱酸鋼塊 { 平靜にして火花少し。鑄鋼終了と同時に湯面凝固す。

縁付鋼塊の鑄鋼状況は主として炭素含量に依つて相違を生ずる。炭素含量の低い程瓦斯の發生甚しく、これがため鑄鋼は極度に攪拌され湯面が完全に凝固するまでに長時間を要する。湯面を注視するに鑄鋼は鑄型の縁りに沿ふて上昇し中心部に向つて流れ下降する、この對流的運動は鑄鋼の冷却凝固するにつれて凝固内壁面に沿ふて瓦斯の分離發生する爲めである。炭素が増加すればこの現象は次第に緩漫となり脱酸鋼塊の状況に近づいてくる。炭素自身が還元劑として作用する爲めである、即ち外觀的に炭素の低い程縁付鋼塊としての特異性を一層發揮する。湯面の全部凝固し終るまでの時間は 3t 鋼塊で炭素 0.1% のものは約 20 分; 0.2% のもので約 8 分を要する。Mn を増しても C と同様の還元的作用を與へるがその影響は炭素程甚しくない。尙縁付鋼塊の特徴として鑄鋼内の對流運動に依つて鑄鋼中に懸吊されたる微滓が湯面に浮泛して來る。即ちこの運動に依つて鋼塊内部に夾雜さるべき不純物が除去される利益がある。

3. 鋼塊の外形

縁付鋼塊 鑄肌面に酸化鐵粒を附着す。膨脹し易しい。
脱酸鋼塊 鑄肌平滑なり。不良なるものは皺襞を痕す。

一般に頭部の凝固状態及鑄肌に依つて鋼塊の良否を鑑定する。これによつて鑄鋼の性質、鑄鋼の状況がある程度まで推定し得る。鑄肌の不良なるものは常に製品表面の良好なるものを望むこと

が出来ないのみならず各種の材質的缺陷を潜在する。殊に脱酸鋼塊の實例に於て材質として全般的に良好であるが單に表面に近い數ミリが不良の爲めに全然廢棄されることが多い。

III. 內的性狀

1. 化學成分上の不同

鋼塊の種別	外 殼	内 質
縁付鋼塊	鋼塊の上下による不同なし。逆偏析を示し取鍋分析に比し C, P, S 低し。	不同甚し頭部程 C, P, S 高し。
脱酸鋼塊	不同なし。	幾分頭部に偏析あるも殆んど不同なし。下半部逆偏析し稍 C, P, S 低し。

鋼の一般分析成分中 C, P, S が偏析を生じ易しい。縁付鋼塊に於てその分布状態を見るに、外殼は鋼塊の上下の位置に依つて不同なく、且つ取鍋分析に比較して著しく低率を示してゐる。これに反し内質は不同甚しく取鍋分析より常に高率を示し、上下の位置に依つても甚しく、尾部に於て尙取鍋分析以上の分析結果を示すのが普通である。この傾向は低炭素質鋼塊に一層顯著である。第1圖は最近實驗した數種類の鋼塊の實例を示したものである。これに依つて偏差の範圍を求むるには大體次の如し。

$$C \pm 0.05\%; P + 0.02\% - 0.01\%; S + 0.02\% - 0.01\%;$$

脱酸鋼に於ては頭部の上端を除き外殼と内質或は上下の位置的相違に依る成分の不同甚だ少く、殆んど取鍋分析と差を認めない。第2圖はその分布状態を示したものである。こ

の種の研究として Committee of the Iron & Steel Institute, ²⁰⁾ P. Bardenheuer u. C. A. Müller 氏 ^{21.) 23)}; H. Meyer 氏 ²²⁾; W. Oertel u. A. Schepers 氏 ²⁴⁾; が擧げられる。

2. 組 織

鋼塊の種別	外 殼	内 質
縁付鋼塊	チル晶+柱状晶。樹晶細かし。	肥大樹晶+自由晶
脱酸鋼塊	チル晶+柱状晶	肥大樹晶+沈澱自由晶

兩種類の鋼塊の間に組織上格段の差あることは既に一般に認められてゐる。然しその分布状態及び發生経路或は凝固状態の影響等に就いて尙幾多の疑問の點あり未だ充分に究められてゐない憾みがある。本問題は直接鋼塊の材質的缺陷としての氣泡及偏析と極めて密接なる關係があるので2,3の實驗を引用して説明を試みる、第3圖は著者の

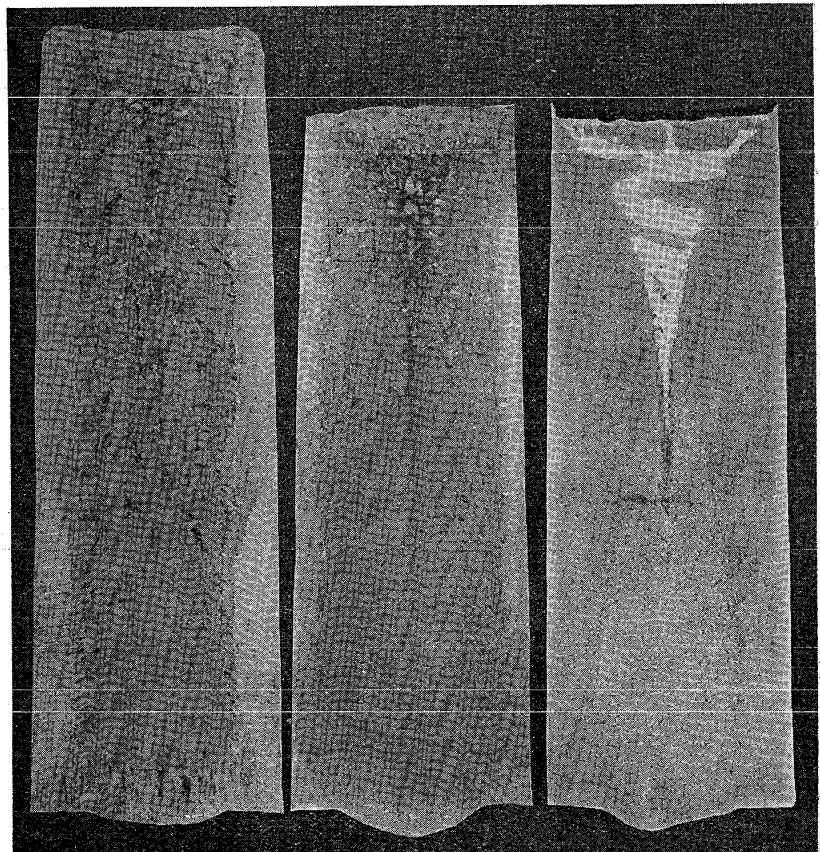
第3圖 アルミニウム脱酸に依る試験鋼塊の

サルファープリント 鋼塊單重 2,500kg

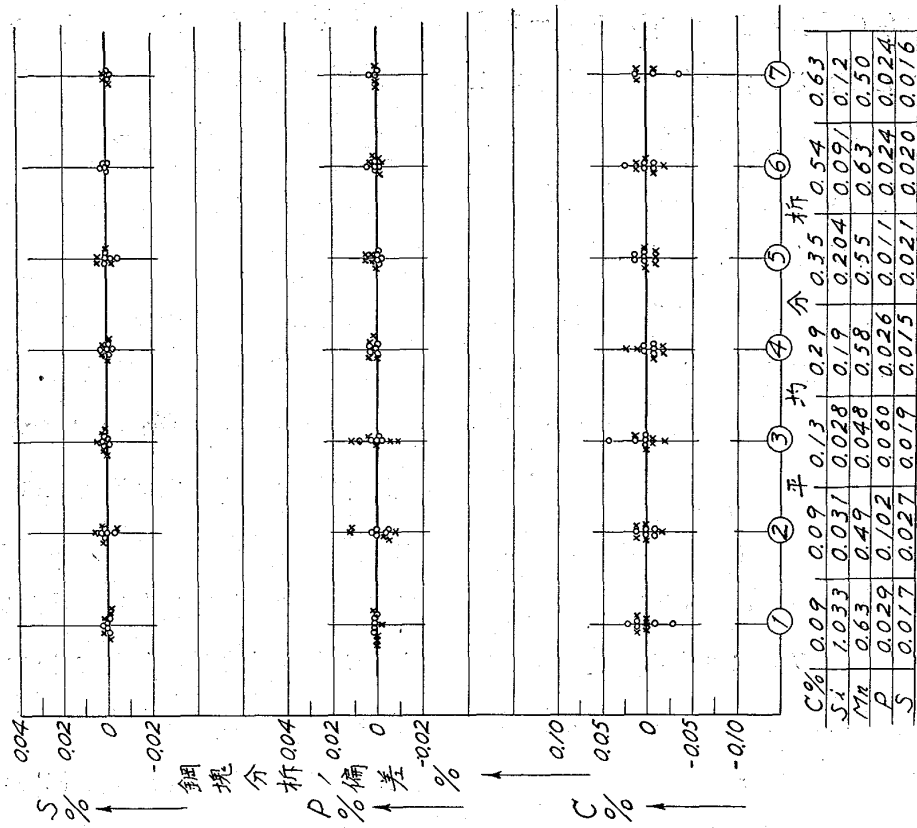
第1鋼塊 (無 Al)

第2鋼塊 (0.2kg Al)

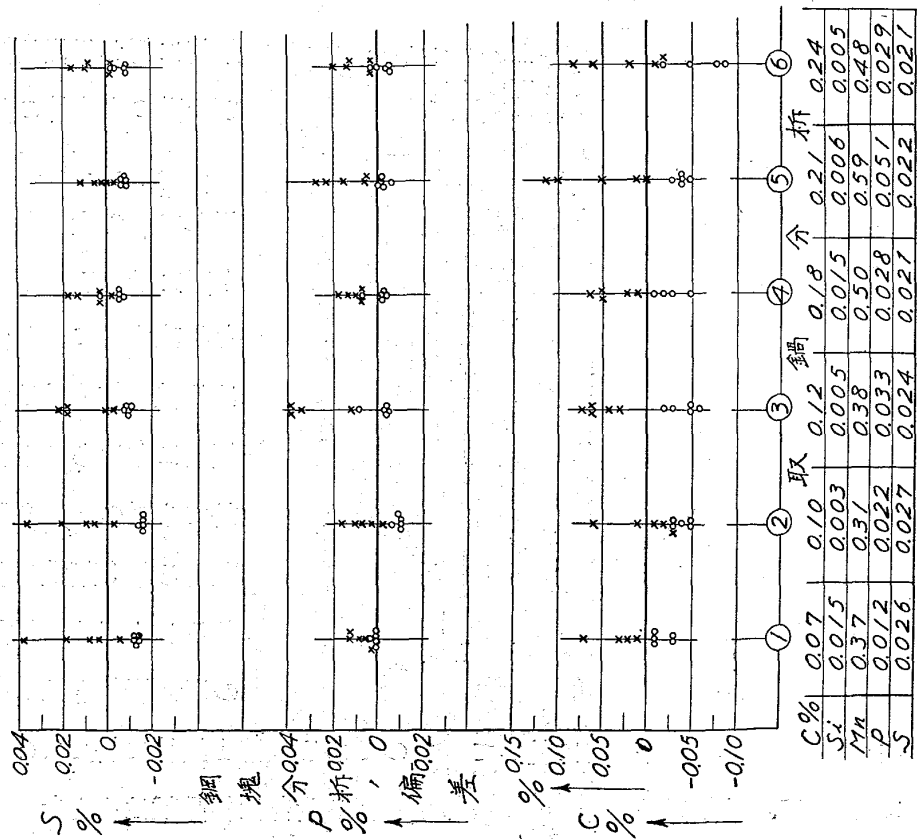
第3鋼塊 (1.0kg Al)



第 2 圖 脱酸鋼塊の C, P, S の分布圖



第 1 圖 縁付鋼塊の C, P, S の分布圖



試験せる數多の鋼塊の中で特に代表資料として提出せる3種の鋼塊の中央縦断面のサルファープリントを示せるものである、第1鋼塊は縁付、第2鋼塊は半脱酸、第3鋼塊は脱酸鋼塊で單重 2,500 kg である。その履歴の要點を述べるに該鋼塊は何れも同一チャージに屬し同一取鍋より鑄鋼され第1鋼塊ではその儘、第2鋼塊及第3鋼塊は鑄入進行中 Al を加入されたるものであつて其の他の條件を略相等しくせるものである、次の化學成分を有する。

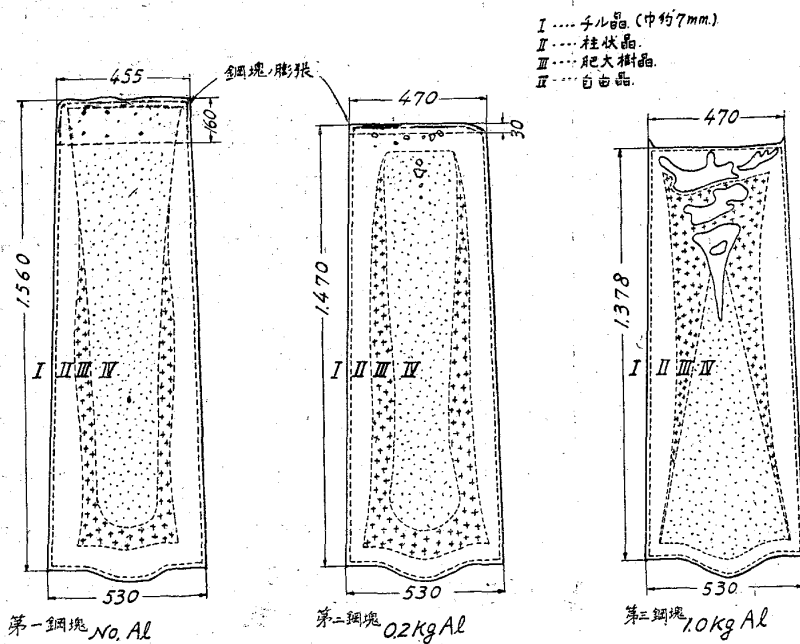
C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.24	0.015	0.60	0.029	0.027

鹽基性軟鋼質である、アルミニウムは鑄入高さの約 1/4 の下底位置に加へられ第2及第3鋼塊に對しその量は夫々珉當り 80gr 及び 400gr である。鋼塊断面のサルファープリント及びマクロ腐蝕試

認めないが、柱狀晶を形成する結晶粒の大きさ及び樹狀の發達如何に甚しい差を認むる、即ち第1鋼塊は、結晶粒は小であり樹狀の發達は極めて薄弱であり Al を加入せる第2及第3鋼塊の脱酸の程度に従つて結晶粒は大、樹狀の發達は顯著となつてゐる。

ロ、内質。從來専ら脱酸鋼塊に就いて組織的方面の研究^{12) 13) 20)}が行はれ H. Badenkeuer 氏¹⁴⁾; A. Hultgren 氏²⁵⁾; によつて稍々内質の状態が明かにされた。即ち脱酸鋼塊の下半部の特に結晶の細かき組織帯を沈澱晶 (Sedimental zone) と稱しこの組織帯は凝固進行中に殘餘體に析出浮遊せる結晶片の沈下堆積によつて生じたるものであつて上半部の自由晶と全然區別した學説が提出された。著者は數多の實驗によつて同氏等の學説に對しその事實なることを確め更らに從來漠然と

第 4 圖 アルミニウム脱酸に依る鋼塊組織晶比較圖



考へられてゐた縁付鋼塊及び半脱酸鋼塊に對し組織的分布、發生機構及び脱酸の影響等の諸關係を知ることが出來た、Al 脱酸試験の實例を引用してその大要を述べる。第3及び4圖に示せる第1鋼塊に就いて内質を吟味するに、その外周のある範圍は比較的結晶粒は大である、分布の領域に差はあるが第2及第3鋼塊に於てもこの事實を認むる、完全に脱酸せる第3鋼塊に於ては特に樹晶が著るしく肥大し鮮銳である。第4圖の肥大樹晶とはこの領域を示せるも

のである。第1鋼塊に於てこの肥大樹晶に圍繞されたる内部は結晶粒は小となり純自由晶に轉移してゐる、第3鋼塊ではその上半部全部を肥大樹晶

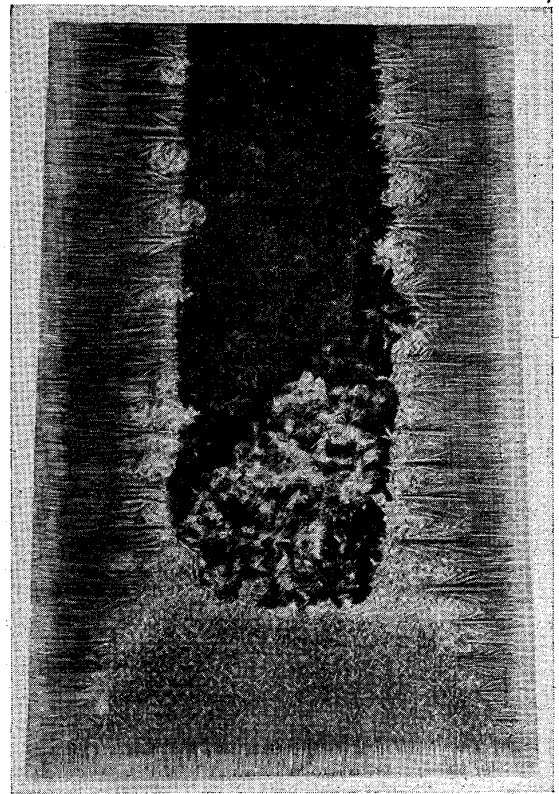
イ、外殼。外殼の占むる深さは3者とも略差を

驗によつて確められた組織的状況及分布に就いて比較特徴を述べる。(第4圖参照)

が占め下半部は底部に向つて八字形に擴がれる明瞭なる境界線によつて外側は肥大樹晶、内側は細かき自由晶を示してゐる。第2鋼塊は大體兩者の中間狀況を示してゐる。

これを要するに Al 脱酸の程度如何によつて内部組織狀況に格段なる相違を生ずることを知るべくこの關係は Si 脱酸試験に於ても亦ステアリン蠟による模型試験に依つても同様の關係にあることを確めた。その原因に對して従來は單に化學成分の影響である、即ち鎔鋼中の化學成分として Al , Si 或は P , S が増加すれば樹晶が發達し易いと考へられて來たのであるが軟鋼質の普通炭素鋼塊の場合には寧ろ鑄鋼時の凝固狀態に支配されることが重要な條件であることを主張するものである、換言すれば實地鑄鋼に際し靜かなる狀態で凝固し終れるか、或は瓦斯發生に依つて動搖を受けながら凝固せるかの機械的物理的操作の如何に依つて支配されると云ふ考へ方である。この見解によつて前述の組織的相違を生ずる理由を容易に説明し得る、この説明を進める前に先づ肥大樹晶と沈澱自由晶の發生経路を述べる。A. Hultgren 氏²⁸⁾ は特に樹晶の發達し易しい鋼質として C 1.1% の脱酸質鎔鋼を選定し數多の小鋼塊 (4"~12" 寸法のもの) の實驗的研究によつて、この沈澱晶の發生現象を推定せるが更らに著者の蠟塊の實驗に依つてもこれと全く同様なる現象の生ずることを確認し得る、第5圖は蠟塊凝固進行中の内部狀態を示したものであつて、既に柱狀晶が略完成し、内側一帯に肥大樹晶の發生せる時期を示せる一例である。寫眞で内部の空虛の部分は鎔體の残つてゐた所である。内側の壁面に附着して數多の大なる樹晶が突出してゐる、且つこ

第 5 圖



の樹晶の一部分は既に柱狀晶の中に深く喰ひ込んでゐて凝固した内側は柱狀晶の一小部分と肥大樹晶とが混在してゐる、然るに底部の凝固狀態は側面と趣きを異にし、柱狀晶は極めて淺くこれに續いて一種の微細自由結晶質より成り側面の柱狀晶或は肥大樹晶と隅角部に於て明瞭なる境界線を示してゐる、且つ底部内面には無數の小結晶片が堆積してゐる、この實驗に於て側面を硝子張りとする型を使用し一面のみ凝固しない様に工夫すれば凝固進行狀態が完全に外部より觀察し得る。以上の實驗は材料を鎔かして靜かに凝固せしめた場合であるが、若しこの場合に瓦斯を吹き込み或は機械的攪拌を與へつゝ凝固せしむれば柱狀晶までは前例と大差なく出来るがその内部は細かき自由晶のみを生ずることが知られる。ステアリン蠟に依る實驗は最初 Brearley 氏³⁰⁾ に依つて試みられたるものであるが種々注入の狀況を變へて實驗す

れば全く鋼塊と類似した興味ある事實を知ることが出来る、此所では省略するがこの種の模型實驗及び實地に製造された鋼塊との比較研究によつて組織上次ぎの事實が確められる。肥大樹晶とは凝固進行中凝固内壁面の髓所に附著發達した自由晶を主としこれに少部分の柱狀晶とを相混合せるものであり、又沈澱晶とは凝固進行中間もなく殘餘鋼内に浮遊懸吊されたる無數の小結晶片が比重の關係で下底部は沈澱堆積して生ぜるものである、従つて發生経路から考へて當然前者は樹晶として充分に肥大し得べく後者では非常に小なる微細結晶質のものを生ずる理である。而して今若し何等かの手段によつて攪拌作用を與へたとすれば樹晶の發達は大いに妨げられ、充分なる肥大性を達することが出来ない、又この場合に沈澱自由晶は出來難くなる、何となれば攪拌動搖によつて殘餘鋼内に生ずる小結晶片が常に底部に沈澱し得るとは限らず且つ殘餘鋼の溫度比較的均一状態に保持されるので餘鋼内部の小結晶片の發生時期が遅れ殘餘鋼が廣い範圍に於て短時間に凝固する機會が與へられる。従つて脱酸鋼塊では肥大樹狀晶の結晶粒は小であり領域が狭くなり又下底部にもこの組織晶を容易に發達すべく唯中央部のみが短時間に凝固するので結晶の小なる自由晶が發生するのである。又この理由によつて鑄鋼後ある特殊な方法で動搖を與へながら凝固せしむることによつて樹晶の極めて細かい鋼塊を製造し得る筈である、但し實際問題としてこの方法によれば偏析の項でも述ぶる如く一方には内質に局部的偏析群を發生助長することを豫想し得る。

鋼塊の種別		3. 偏析	内質
縁付鋼塊	地質均齊にして逆偏析を示す。		地質不均齊にして正偏析を示す。外殼との境界附近及上半部に局部的偏析甚し。
脱酸鋼塊	均質		地質概して均質に近きもΛ及V偏析發生し易し、下半部に逆偏析を示す。

偏析を大別して全面的偏析と局部的偏析に分類する、縁付鋼塊の外殼はその取鍋分析に比し C, S, P 少く所謂逆偏析を示す、これに反し内質は増加を示し甚しき正偏析を示す、この現象は、全く凝固進行中の瓦斯分離に伴ふ強猛なる攪拌作用によるもので不純物の大部分は内部殘液に排除され或は瓦斯と共に湯面に押上げられる、即ち縁付鋼塊の特性として鋼塊の外殼の極めて良質である所以である、脱酸鋼塊ではこの現象はなく、全體均質に近い、但し内質に於て沈澱晶の部分のみは逆偏析である、理由として比較的純質の結晶片の沈澱によることは既述の通りである。

次に局部的偏析であるが本問題は鋼材成品の材質の良否を支配する缺陷として重要視されてゐる關係上その原因機構を知ることは從來の鋼塊研究の主要目的とされてゐる。既に幾多の學説がこの點に就いて検討されてゐる。特に局部的偏析として考へらるべき Λ 型偏析の發生機構に就いては Brearley 氏は一般的なる偏析現象と混同し結晶粒間に生ぜる偏析として考へ Howe 氏及び Stead 氏は氣泡偏析及び樹晶説を強調し、蒔田氏¹⁾は初期結晶粒より排除されたる偏析物の累進的成長を根據とせる學説を發表し、又最近 A. Hultgren 氏²⁾は外殼部に近く起る收縮に依つて融體の運動と半融體の變形に原因すと述べてゐる、著者はこれに對し、收縮溝説を適用し脱酸鋼塊のみならず從來注意されざる縁付鋼塊に就いてもその關係を明らかにした。著者の數多の鋼塊試験によつて確認されたる主張を纏めてその要點を第3圖

鋼塊の實例を引用して述べる。發生原因として2種類に區分される、即ち第一として相違する組織晶の境界部に發生する、第2として凝固進行中の凝固體と鎔體とを混合する半鎔融晶に生ずる收縮腔溝或は龜裂である。

イ、組織晶境界部に生ずる偏析：—第1表は Al 脫酸試驗鋼塊の實例による3種類の縁付、半脫酸及脫酸鋼塊に於ける組織晶の境界狀況と偏析及び參考として示せる氣泡との關係を示せるものである、偏析の性質上主として結晶組織の成生状態に影響され特に變化の甚しいクエックの位置に濃厚に生ずることは理由を述べるまでもないことであつて結局境界部の變化の度合に依つて左右さるべきものである。この種の偏析としては第1表或は第3圖鋼塊サルフ、ープリントで知る如く、第1

第1表 組織帶の境界狀況と偏析及氣泡との分布關係

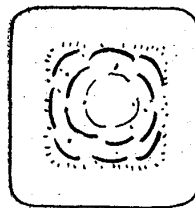
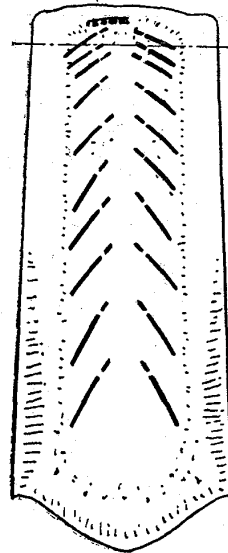
鋼塊の種別	位置	内 質			
		外 殼	柱狀晶-肥大樹晶	柱狀晶-自由晶	肥大樹晶-自由晶
縁付鋼塊	境界狀況 析泡	不明瞭 なし	明瞭 甚氣泡併列す	—	不明瞭 不定
半脫酸鋼塊	境界狀況 析泡	明瞭 屢々發生す	不明瞭 なし	明瞭 甚なし	明瞭 甚なし

鋼塊の縁付鋼塊に就いては外殼と内質との境界部に甚しく氣泡と共存することは一般周知の事項である、第3鋼塊の脫酸鋼塊、肥大樹晶或は柱狀晶と沈澱自由晶との境界部に生ずる偏析で A-型偏析の一種類がこれに屬する、第2鋼塊の半脫酸鋼塊ではこれ等兩者の痕跡を認むる程度である、尙局部的に小部分に就いて考ふるならば各結晶粒間に析出する微細偏析の大部分はこの部類に屬すべきもので前述の鋼塊の二大偏析も結局この微細偏析のある範圍に限つて集合し大規模に行はれたる

ものである。

ロ、收縮溝による偏析：—鋼塊の内質内部に點在する數多の偏析群或は偏析線はこの種類に屬する、縁付鋼塊の内質を見るに數多の偏析群を認むる、鋼塊上半部に甚しい。その配列状態は一見甚だ錯雜し不明瞭である爲從來の鋼塊研究では何等注意されてゐなかつた。然し各種の鋼塊に就いて實驗するに特に極軟質の鋼塊の例では略一定した

第6圖 内質に於けるA型偏析の配置状態



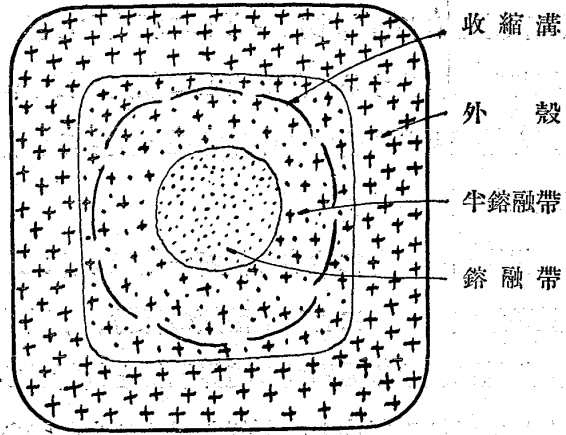
形式の下に配列されてゐる事を知るのである、鋼塊の中央縦断面に於て偏析群を辿つて見るに第6圖見取圖に示す如く内質の外側より出發し斜の體勢で上方に走り中心上部では水平となり、場合に依つては中心部で再び下方に轉ずる略平行した數多の曲線上の存在することを知る、即ち A-型偏析の輪廓を思はしむる、鋼塊の輪切り面で見れば偏析群は數多の同心圓上に並列してゐる、第3圖第1鋼塊に於ては偏析群の配置は、稍々不明瞭ながらこの

状態があらはれてゐる、第2鋼塊の半脫酸鋼塊の例では偏析群數は減少してゐるが極めて明瞭なる數條の偏析線を示し完全なる A-型偏析線を形成してゐる、第3鋼塊の脫酸鋼塊には全然發生してゐない。

次にこの種の偏析の組織的特徴を述べる、肥大樹晶或は自由晶或は外殼の表面に近くあらはれ

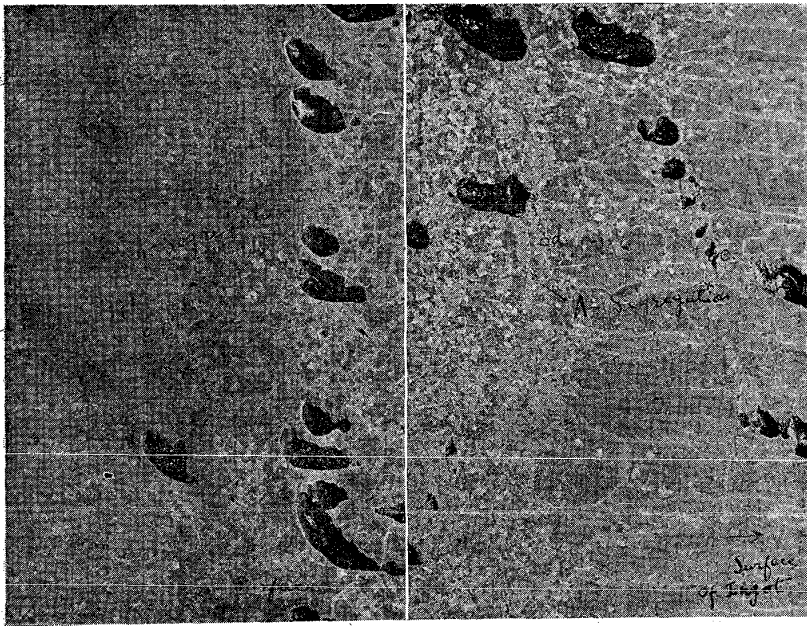
屢々柱狀晶の地質にも發生し且つ所々初期結晶粒を完全に横斷し、横斷線に沿ふて局部的の小結晶を形成してゐる、又斯くの如き偏析線は髓所に裂目狀の收縮空窩の連續を認むる、氣泡との位置的關係に就いては氣泡發生と何等無關係のものゝ如く髓所に横斷してゐる、半脫酸鋼塊に於てもその狀況全く縁付鋼塊の例と同様であつて一層この關係が明瞭にあらはれてゐる、第7圖 a, b, はそのマクロ腐蝕組織を、第8圖 c, d, e は檢鏡組

第9圖 收縮溝發生の位置



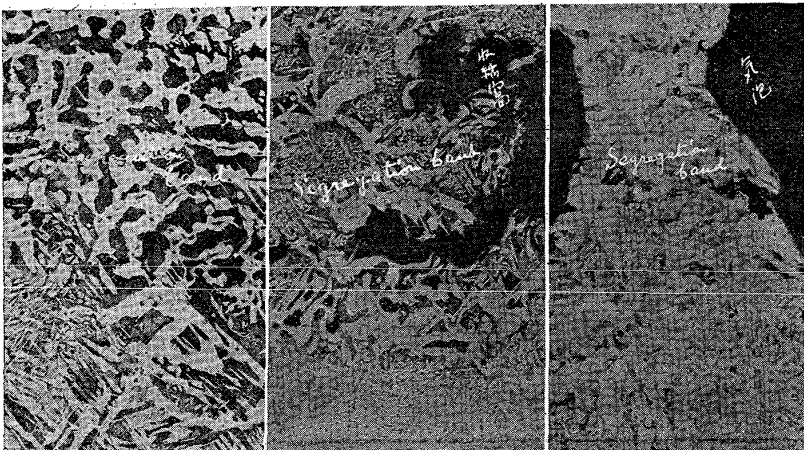
第7圖 A-型偏析部のマクロ腐蝕組織
 ×1/2、ギュー氏液腐蝕、寫眞位置は第3圖參照

a. 縁付鋼塊 b. 半脫酸鋼塊



第8圖 A-型偏析部の檢鏡組織
 ×25 ピクリン酸、寫眞位置は第7圖參照

c. 縁付鋼塊 d. 半脫酸鋼塊 e. 半脫酸鋼塊
 偏析縁部は柱狀組織 偏析線に沿ふて大なる 氣泡を横斷して偏析
 を示し收縮腔を伴う 收縮腔の存在せる部分 線の發生せる部分



織を示したものである。

これを要するに以上述べたる配置状態及組織的實驗に依つて、内質内の數多の偏析群或は偏析線は最初腔溝或は罅隙に沿ふて不純物濃厚なる殘鎔鋼の充填されたる形跡の歴然たるを思はしむると、而して斯くの如き腔溝は、全く鋼塊内部の凝固進行中のある時期に於て凝固收縮に依つて釀成されたる緊張應力に相當して略凝固完了せる地質に局部腔溝を生ぜるものと斷定する、第9圖は鋼塊輪切面の位置を示せるものである、従つてこの種 V-型偏析の發生原因は鋼塊内部の凝固状態如何と重要な關係あるを知るべく比較的內質の短時間で凝固せる縁付鋼塊では流動性の甚しく不良なる半鎔融帶の範圍が廣がり過ぎ腔溝をして一層生じ易しき機會が與へらるべく、これに反し脱酸鋼塊の如き徐々に凝固するものは生じ難い事が豫想される、中間の半脫酸鋼塊では龜裂の數に於て縁

付鋼塊より少いが特に鋭く生ずるものと解せらる
 次ぎに鋼塊中心部に生ずる V-型偏析も亦この種の腔溝に原因する偏析と考へる、屢々第2次收縮管を随伴し脱酸鋼塊に著明である、第3鋼塊に認むる、その發生経路は全く前述の A-型偏析と同様であつて、唯 A-型は内質全體として起れる場合であり V 型は中心の一小局部に限られた場合によつて見掛上の偏析形状が逆になつたものである、この事實より V-型偏析の狀況如何によつて同一鑄入條件の鋼塊の比較に對しその脱酸程度を推定することが出来る。

4. 氣 泡

鋼塊の種別	外 殻	内 質
縁付鋼塊	下半部に柱狀氣泡發生し易し。	外殻との境界附近及上半部に多し。
脱酸鋼塊	表面氣泡發生し易し。	な し

縁付鋼塊に於ては製鋼上内部に氣泡生じ易しく實際の鋼塊に於ても氣泡を生ずることは周知の事である、分布狀況は一定してゐて外殻と内質との境界部及び内質内部の上半部に發生する。瓦斯も亦一種の偏析現象と考へられるので前項の不純物偏析と略同様の徑路をとることが推定される、例へば境界部に生ずる、氣泡は全く同様の原因によるものである、内質内部の氣泡は、鎔體の比較的遅く凝固した部分に貯溜して生ぜるもので頭部湯面が既に凝固閉塞するので相當の強壓の下で壓縮された形で存在する、又前項の偏析線の原因となる龜裂線に於ても部分的には氣泡を發生する場合を豫想されるが多くの場合細隙狀の空窩と混同されてゐる。

次ぎに縁付鋼塊に於て外殻の下半部に屢々柱狀氣泡を生ずる特徴が知られてゐる、柱狀氣泡が鑄肌に接近すれば容易に鋼材の表面疵²⁵となり、又

相當深部にありても壓縮率の低い大型材に對しては末だ十分に壓着の程度に達してゐない、又この種の氣泡は甚しき不純物の偏析を伴はないが高級品向け薄板の如き酸洗或は燒鈍を要するもの或は滲炭を行ふものではブリストアの原因となり屢々表面疵としての災害を與へる、従つて柱狀氣泡を完全に防止することは、或特定の鋼材向けのものに對しては相當重大性を有する。参考文献として E. C. Bitzer 氏¹¹⁾ A. Stadeler u. H. J. Thiele 氏¹⁰⁾ 廣瀬氏⁹⁾ がある、著者の最近の實地試験の結果によつて確めた要項を追記するに次の如し。

イ、同一鑄鋼條件で種々の高さに鑄入する時に湯面よる氣泡發生部までの長さ即ち氣泡の發生せざる鋼塊上半部の長さは一定である、即ち鋼塊の高さ大なる程下半部の氣泡發生部の長さが増加する。

ロ、鑄入速度が甚しい影響を與へる、鑄入速度が緩漫である程鑄肌よりの深さを増大する、且つ湯面より氣泡發生部の長さを増加する。イ及びロによる試験の一例を第2表及び第10圖に示す。

ハ、鑄型の溫度、鎔鋼の溫度は殆んど影響なし。

ニ、適當量の脱酸劑を取鍋に加入せるものは鑄入速度を緩漫にせることゝ全く同様の効果を與へる。但し鑄込中加入せるものは多くの場合脱酸の効果不均一となり却つて湯の流動性を害し鑄肌に接近した氣泡の原因となる例へば第3圖第2鋼塊の如し。

ホ、氣泡の大きさは結晶粒の大きさに左右される、極軟鋼質は結晶粒も細かく氣泡が小である。

ヘ、氣泡内の瓦斯分析を示せば第3表の如く還元性の瓦斯であることが知られる。

第 2 表 鑄鋼速度と鋼塊内部狀況の關係表

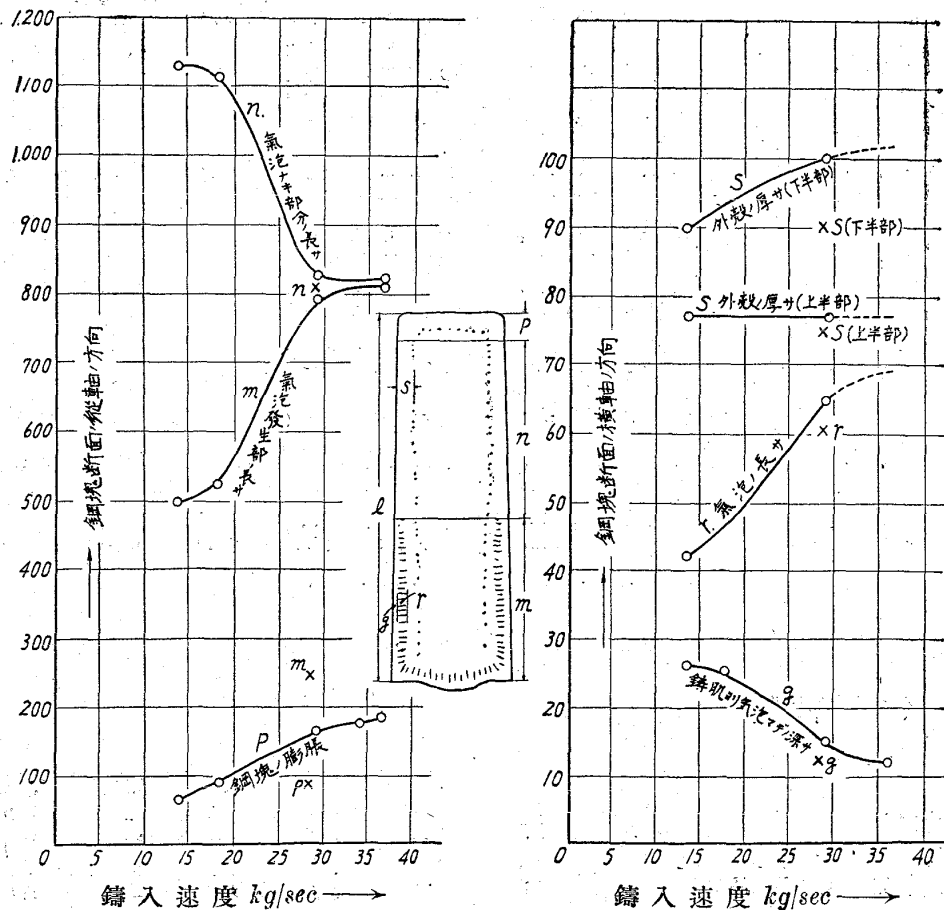
注意 M. 19846 の短尺鋼塊及び M. 19089 の鋼塊の參考附録とす

製 鋼 番 號		M. 19846						M.19089	
化 學 成 分 %		C	Si	Mn	P	S	Cu	C 0.24 Mn 0.49	
鋼 塊 番 號		3	2	5	7	6	4	3	
鑄入狀況	鑄入速度 kg/sec	36.3	34.1	29.0	17.6	13.2	28.3	7.1	
	mm/sec	20.4	19.2	16.3	9.9	7.4	17.4	4.0	
鑄入溫度 °C	鑄入溫度 °C	1,540	1,550	1,525	1,520	1,520	1,530	1,560	
	鋼塊單重 kg	2,900	2,900	2,900	2,900	2,900	1,700	2,400	
鋼塊の形狀	l 鋼塊の全長 mm	1,810	1,800	1,770	1,715	1,680	1,120	1,350	
	m+n 鑄鋼湯面の高さ mm	1,630	1,630	1,610	1,630	1,620	1,040	1,305	
	p 膨脹部の長さ mm	180	170	160	85	60	80	45	
	n 鑄鋼面より柱狀氣泡發生部までの長さ mm	820	—	820	1,110	1,125	800	925	
	m 柱狀氣泡發生部の長さ mm	—	—	790	—	495	240	370	
	q 鑄肌より柱狀氣泡發生部までの厚さ mm	(810)	—	(710)	(520)	(500)	—	—	
	r 氣泡の大きさ 徑×長さ mm	(12)	—	15	—	26	12	35	
	s 外殼の厚さ mm	上半部	—	—	5.5×65.0	—	5.5×42.0	5.5×60.0	8.0×35.0
		下半部	—	—	77	—	77	75	77
	備 考								短尺鋼塊

註 ()は外觀測定に依る。

第 10 圖 鑄鋼速度と鋼塊内部狀況との關係圖

M. 19846 ×は短尺鋼塊



ト、内面酸化せざる気泡は壓着する性質を有する。第 11 圖はその實驗の一例として硬軟 2 種類の鋼塊 (C 0.10%; Mn 0.31%; C 0.24%; Mn 0.48%) より夫々鋼塊頭部の気泡なき位置と下半部の柱状気泡の密生せる位置より試験片を切断採取し 1,100°C にて鍛延し気泡の押し潰された面に對し直角の方向に抗張試験を行つた比較成績表である。極軟質は断面壓縮率約 60%、又軟鋼質は 70% で略完全に壓着せることを知るべし、壓縮のある程度以上増加すれば延伸率の幾分減ずるのは気泡に附隨せる偏析の影響である。

さて脱酸鋼塊は通常気泡は發生しないが鹽基性平爐に於ては製鋼上完全に除去する事は困難である、この種の鋼塊で常に問題となるのは表面気泡である、組織上チル晶及びチル晶と柱状晶との境界部に發生する、その原因として脱酸の不足と鑄鋼時の湯張りに因る、實地作業に於て過剰の脱酸劑加入によりて却つて微滓成生物を増加する危険性を伴ふので自ら使用量にも制限がある、技術上尙今後の研究を要する。

5. 收 縮 管

鋼塊の種別	外殼	内 質
縁付鋼塊	なし。	なし。
脱酸鋼塊	なし。	押湯なきもの甚し。

第 3 表 氣泡内の瓦斯分析表

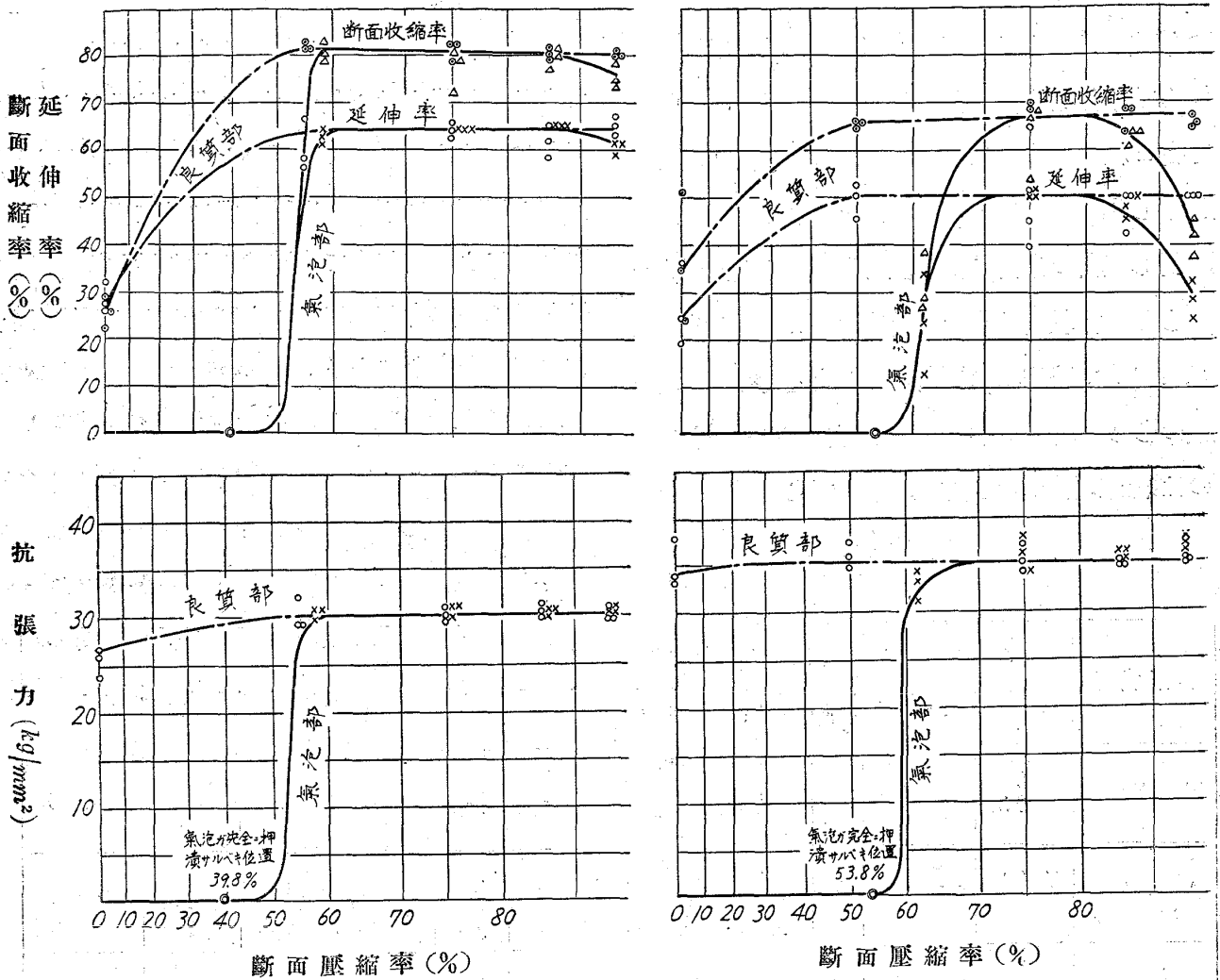
1. 柱 状 氣 泡

製鋼番號	化 學 成分 (%)	氣泡の大きさ 徑×長さ (mm)	瓦 斯 成 分 容 量 %							瓦斯採取容積 (cc)	瓦 斯 壓 力			
			瓦期採取回数	CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂		氣泡1個當り平均容積 (cc)	氣泡1個當り平均瓦斯容積 (cc)	常溫壓力 (Atm)	凝固點附近の壓力 (Atm) 1,450~1,480°C
T 24513	C 0.10 Mn 0.30	3.0×42.0	1	0.7	8.5	5.0	1.7	51.1	32.6	56.2	0.129	0.049	0.38	2.29
			2	0.0	10.1	5.6	1.7	44.9	37.7	35.6				
			3	0.0	6.7	4.4	1.8	49.8	37.3	45.0				
			平均	—	8.4	5.0	1.7	48.6	35.9	43.6				
A 6232 (タルボット)	C 0.12 Mn 0.38	3.5×50.0	1	0.4	7.9	11.1	0.0	50.7	29.9	50.6	0.126	0.047	0.37	2.37
			2	0.0	5.8	11.6	0.0	58.3	24.3	37.8				
			3	0.0	7.5	10.8	0.0	57.9	23.9	53.6				
			平均	—	6.9	11.1	0.0	55.6	26.0	47.3				
M 18565-2	C 0.24 Mn 0.60	6.0×78.0	1	0.0	4.9	10.2	0.0	44.2	40.7	53.0	1.480	0.375	0.25	1.46
			2	0.0	4.0	11.2	0.0	49.7	35.1	101.0				
			3	0.0	3.5	10.7	0.0	48.0	37.8	97.4				
			平均	0.0	4.1	10.7	0.0	47.3	37.9	83.8				
S 71500	C 0.24 Mn 0.48	6.0×60.0	1	0.0	7.5	9.5	0.0	42.0	41.0	50.6	1.037	0.380	0.37	2.16
			2	0.0	9.1	9.1	0.0	49.1	32.7	55.0				
			3	0.0	9.5	8.9	0.0	41.3	40.4	63.0				
			平均	0.0	8.7	9.2	—	44.1	38.0	56.2				
柱状気泡内瓦斯の總平均			—	7.0	9.0	—	48.9	34.5	57.7	—	—	0.34	2.07	
M 18565-4 ◎番外 (鑄鋼中 Al を加入し脱酸せるもの)	同 上	3.0×35.0	1	0.0	8.8	0.9	0.0	14.4	75.9	45.4	0.139	0.053	0.38	2.40
			2	0.0	9.5	1.6	0.0	11.8	77.0	73.4				
			3	0.0	8.7	1.6	0.0	14.4	75.4	68.2				
			平均	0.0	9.0	1.4	0.0	13.5	76.1	64.0				

2. 内 質 氣 泡

製鋼番號	化 學 成分 (%)	氣泡の大きさ 徑×長さ (mm)	瓦 斯 成 分 容 量 %							瓦斯採取容積 (cc)
			瓦 斯 採 取 回 数	CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	H ₂	N ₂	
T 24513	C 0.10 Mn 0.30	4.0×4.0	1	0.0	9.1	1.0	1.8	56.3	31.8	19.8
			2	0.0	7.4	1.0	1.8	52.6	37.2	40.2
			平均	0.0	8.3	1.0	1.8	54.5	34.5	30.0
S 71500	C 0.24 Mn 0.48	6.0×6.0	1	0.0	4.6	2.3	0.0	53.9	39.3	43.8
			2	0.0	4.7	1.8	1.9	46.1	45.6	33.8
			平均	0.0	4.7	2.1	1.0	50.0	42.5	38.8
内質気泡内瓦斯の總平均			0.0	6.5	1.5	1.4	52.3	38.5	34.4	

第 11 圖 氣泡壓着試験表 試験片 徑 5mm G.L=10mm
極 軟 質 軟 鋼 質



脱酸鋼塊の鑄入湯面を注視するに凝固後間もなく屢々その一隅に、龜裂或は氣泡を生ずる。これは鋼塊内部に收縮管の發生せることを意味するものであつて外觀的にこれを知る事が出来る、收縮管の空洞には恰も蝸牛狀の數多の襻壁の存在するを普通状態とする。平爐鋼塊では多くの場合多少の瓦斯がこの空洞に進入するので襻壁の形狀は不規則を呈する。完全に脱酸の行はれたるものは屢々襻壁の一方が下方に亡り落ちてゐる事を認むる。本文には收縮管の發生機構に就いては省略するがこの原因は收縮現象に伴ふ内部殘餘鋼の大なる負壓に依つて生ぜるものである。收縮管の内部

形狀に依りて脱酸の程度を逆に知る事が出来る。空洞の容積は大體鋼塊全容積の約2%を普通とする。實際問題として收縮管の災害は容積の大きさよりも鋼塊頭よりの深さである、鑄型の高さ大なるもの、下口の廣いものを使用すれば收縮管は深くなり第2次收縮管を發生する、收縮管を防禦するには第一に完全なる押湯法に依ること、第二の方法としては、鋼塊の用途が餘り高級を要せざるに適用し得るもので脱酸劑の使用量を減じ脱酸の程度を輕減する。この場合、鑄鋼に際し鋼塊の頭部面が微かに膨張するを限度とする。鋼塊内部には幾分の氣泡を生ずることは止むを得ない、然し

これによつて收縮管を小さくし理想通り行けば完全に防止し得る筈である。即ち半脱酸鋼塊に近い方法をとるのである。この場合には幾分地質の不均質性は免れない。

6. 含滓の程度

鋼塊の種別	外殻	内殻
縁付鋼塊	なし	多量
脱酸鋼塊	少量	少量

鋼塊内部に相當多量の微滓を含有す。鋼塊断面のマクロ腐蝕或は検鏡に依つて知る事が出来る。微滓の主成分は精鍊當時の鋼滓の混入せるもの及び脱酸成生物を主とする。脱酸鋼塊に對する分析實驗に依る分布状態に就いて P. Bardenheuer u. C. A. Müller 氏²¹⁾は O_2 ; C. H. Hertly 氏²⁸⁾は SiO_2, Al_2O_3, MnO, MnS ; J. H. S. Dickenson 氏²⁵⁾は SiO_2 を發表してゐる。これ等の研究に依れば概して局部的に差は認められない。縁付鋼塊に就いては未だその實例を見ない。但し外殻と内質との間に著るしい差が生じてゐる事は組織的實測法に依つて推定することが出来る、即ちこの種の鋼塊は特有の攪拌現象によつて外殻部に含有さるべき微滓は殆んど完全に湯面に浮遊するので含滓量は極めて少量である。當所の例を見るに凝固進行中に湯面に生ずるこの種の鋼滓は 3,000kg 鋼塊で通常 1kg 近く生ずる。鋼滓の 2, 3 の分析結果を示せば第4表の

如し。嘗て H. D. Hibbard 氏⁷⁾の分析結果が發表されてゐるが類似した結果が出てゐる。

IV. 結 論

鹽基性平爐鋼材成品の原料鋼塊は縁付及脱酸の2種類に大別される、而して兩者の間に化學成分、及び鑄鋼狀況等の外的性狀に相違を認むると共に組織、偏析及び氣泡等の鋼塊の內的性狀に於ても格段の相違を生ずる。その根本的原因是鑄鋼中に於ける瓦斯の發生に伴ふて鎔鋼に與へらるゝ攪拌作用に影響される。材質上の相違する重要點とし『縁付鋼塊は内外の地質の差が甚しい、即ち外殻は極めて良質であるが内質は概して不純物増加し偏析甚しく劣質である、これに反し脱酸鋼塊は全體として比較的均質である、但し外殻の良質の程度は縁付鋼塊に及ばぬ』即ち材質上の概評を加ふれば次の如し。

鋼塊の種別	外殻	内質
縁付鋼塊	優良	不良
脱酸鋼塊	良	稍々良

生産費の點では、縁付鋼塊は脱酸鋼塊より廉價であること、製鋼の技術的進歩に依つて、又鋼塊の用途如何に依つては從來脱酸鋼塊質とされたものが縁付鋼塊に変更して差支へないものもある筈である、現在製鐵所製の一般市場向き條鋼及び板材は大部分縁付鋼塊を原料とせるが尙脱酸鋼塊よ

第 4 表 鋼塊湯面に浮遊せる鎔滓の化學成分

試料 番號	鋼塊 製鋼 番號	化 學 成 分 (%)									合 計
		SiO_2	FeO	Fe_2O_3	Al_2O_3	MnO	CaO	MgO	P_2O_5	S	
1	S. 73785 (極軟)	9.64	28.03	5.17	8.54	48.43	1.39	0.31	0.037	0.111	101.658
2	S. 73784 (中軟)	17.16	21.00	5.44	9.83	46.31	1.49	0.29	0.032	0.218	101.770
3	S. 73786 (極軟)	12.34	25.46	6.97	13.67	41.07	1.72	0.38	0.023	0.087	101.720
4	—	14.36	24.58	8.88	14.15	37.68	1.49	0.25	0.048	0.076	101.514
5	—	17.40	23.33	5.57	10.49	42.21	1.49	0.26	0.041	0.108	100.949

り寧ろ縁付鋼塊の方が有利である實例としては、例へばスケルプ材の如きこれは材料の兩端を鍛接加工する關係上から、又双物板材の如きある一面だけ滲炭加工するもの、又薄板の如きエナメル塗工を施すもの、鍍金を要するもの等がこれである。尙研究の細目に亘つての要項を擧ぐれば次の如し、

イ、組織上内質は肥大樹晶と自由晶に細別する。

ロ、局部的偏析現象として Λ -及 V -型偏析の發生経路を收縮溝説によつて説明を試みた。

ハ、縁付鋼塊の外殻に發生する柱狀氣泡は鑄鋼上鑄入速度を低減することによつて大いに緩和し得る。

ニ、氣泡の化學成分として H_2 及 N_2 を主成分とし少量の CO 及び O_2 を含有する還元性瓦斯であることを確めた。

ホ、軟質鋼塊の氣泡は完全に壓着し得る。

『註』; 本文は、數多の實地試験の結果を綜合して主として述べた關係上數多の不明瞭なる點或は不審の點ありと考へられるが尙試験進行中のものもあり、何れ詳細なる試験の内容は機會を得て發表する積りである。

参 考 文 獻

- 1) 小平; 不良軌條鋼塊の研究、昭和2年10月、研究所内報告
- 2) 小平、吉田; 鋳力鋼塊の材質に就いて、昭和4年6月研究所内報告
- 3) 小平、森寺、前田、奥; D鋼研究、研究所報告 昭和4年12月 第9卷 第5號
- 4) 小平、前田; 高滿俺軌條鋼塊の研究 昭和5年9月研究所内報告
- 5) 小平、森寺、前田; 半軟鋼質特殊管材の材質研究 研究所報告 昭和6年5月 第9卷 2號
- 6) 小平; 縁付鋼塊の研究 未發表

- 7) H. D. Hibbard; Iron Age, June 1926 p. 1778; July p. 142; p. 214
- 8) J. E. Carlin; Trans. of the American Society for Steel Treating Aug. 1929 p. 293
- 9) 廣瀬政次; 鐵と鋼 昭和5年8月號 p. 807
- 10) A. Stadeler u. H. J. Thiele; St. u. E., 1931 s. 453
- 11) Edmund C. Bitzer; Blast F. and Steel Plant. Feb. 1931 p. 249; March p. 415
- 12) F. Leitner; St. u. E. 1926 s. 629
- 13) 蒔田宗次; 鐵と鋼 昭和2年第7月號より第12月號
- 14) F. Bardenheuer; St. u. E. 1928 s. 713
- 15) C. Parsons and H. M. Duncan; Journal of the Iron and Steel Inst., 1929 No.1 p. 255
- 16) G. d'Huart; Revue de Metallurgie Mémoires Oct 1929 p. 5232
- 17) F. Pacher; St. u. E. 1929 s. 627
- 18) A. Kriz; Journal of the Iron and Steel Inst., 1930 No. II. p. 13
- 19) A. Portevin, E. P. Ritet et H. Jolivet; Reoue de Metallurgie Mars. 1931 p. 139
- 20) Committee of the Iron and Steel Inst; Journal of the Iron and Steel Inst., Report I. 1926 No.1 p. 39; Report II. 1928 No.1 p. 401; Report III. 1929 No.1 p. 305
- 21) P. Bardenheuer u. C. A. Müller; Mit. aus dem K. W. I. Jür Eisenforschung 1927 s. 273
- 22) H. Meyer; St. u. E. 1928 s. 506
- 23) P. Bardenheuer u. C. A. Müller; Mit. aus dem K. W. I. Jür Eisenforschung 1929 s. 255
- 24) W. Oertel u. A. Schepers; St. u. E. 1931 s. 710
- 25) J. H. S. Dickenson; Journal of the Iron and Steel Inst., 1926 No.1 p. 177
- 26) A. Hultgren; Journal of the Iron and Steel Inst., 1929 No. II. p. 69
- 27) 小平; 製鐵研究 昭和6年1月號 p. 152
- 28) C. H. Hertzy; Metal Progress Oct. 1931 p. 31
- 29) P. Oberhoffer; Das technische Eisen.
- 30) A. W. Brearley and H. Brearley; Ingots and Ingot Molds.
7~11 は縁付鋼塊、12~19 は脱酸鋼塊、20~24 は前兩者、25 以下は雜録である。