

習ひ所謂右にならひにて今日まで進め來たものではあるまいか、先進外國に行き見學された人のうちには多くは技術的作業又は設備につきては深く研究せられたことは聞くが經濟的作業の微細なる點まで調査されたと云ふことは餘り耳にしない是等の調査も是非に切望する次第である。

三十而立にて最早一身一家を齊へて行くべき年頃になれる我製鐵に従事するものは最早創業の時代ではなく守成的に進歩發達を期すべき時である言を換へれば仕事一方の時でなく經濟的に作業を進めねばならぬ時で當局技術者は技術上の發達は勿論のこと生産の増加能率の増進と共に従業員一同協心して工風に工風を凝らし誰が見ても遺利などなき様に努めねばならぬ時と固く信するのである。

誠につまらぬことをながながとおしやべりいたし御清聽を煩はしたるは恐縮に堪へませぬしかし我製鐵業を發達せしむるには少なくとも是等のことも充分に研究考慮すべき一大必要事と存じ遠慮なく申し述べたる次第御諒恕あらんことを切望いたします。

炭素鋼塊の偏析、表面氣泡

併びに

鎮靜作用と壓延疵

On the Segregation and the Subcutaneous Blowholes of the Carbon Steel Ingot and their Effects on the Defects of the Hot Rolled Steel, and the Killing of the Steel.

大石源治

目次

第一章 序論

第一節 研究の目的及び其範圍

第二節 使用する術語の説明

第二章 偏析

第一節 偏析の種類及び其成因

第一項 偏析の種類

第二項 偏析の形に及ぶ諸影響

1. 銻鋼の鎮靜程度
2. 氣泡の位置
3. 注鋼後凝固終了迄の時間
4. 鑄型中の銻鋼の最高温度中心點
5. 不純物の多少及び其性質

第三項 偏析軽減法と實作業

第二節 偏析と含滓

第三節 偏析と熱間壓延鋼材

第一項 中央偏析

第二項 散在偏析

1. 概論

2. 散在偏析の實例

第三項 鋼材熱間加工に對する鋼の影響

第三章 表面氣泡

第一節 表面氣泡の成因

第一項 半鎮靜軟鋼の氣泡の種類

第二項 表面氣泡の豫防法

第二節 表面氣泡と鋼材の缺點

第四章 銻鋼の鎮靜と脱酸劑

第一節 自然の鎮靜

第二節 脱酸劑に就て

第五章 結論

第一章 序 論

第一節 研究の目的及び其範圍

鋼塊を加熱壓延する際に鋼材に種々の缺點の現はれる事があるが夫れが加工上の不注意に基くか或は鋼質の不良に依るかと云ふ事を判断する事は最も重要な問題である。(往々此兩者が重つて原因を成す事もある)。加工上の誤りも可成りある。例へば壓下率、ロールの締め加減、溝型 (Grooves) の切り方、ロールの削り方、ジョーナル (Journals) の冷却度、鋼材の加熱状態、加工温度、仕上温度、仕上後の冷却法、矯正用プレスの加減、焼鈍の加減等が適當でない時に思はしく製品の出来ない事も多々ある。然し本文に於ては此等を全く論外に置いて専ら鋼質の缺點に就て研究した結果を纏めて見た。鋼質の缺點の中でも最も多いのは偏析と氣泡とであるから本文では其範圍を此二問題に限り其鋼材壓延上に及ぼす缺點を研究し且つ偏析及び氣泡の形状、成因、軽減法併びに之れに關聯する鎔鋼の鎮靜作用に就て論ずる事にした。

私の研究したのは主として鹽基性平爐製炭素鋼であつて鋼塊は2~3匁位のものが多い。酸性平爐鋼や坩堝鋼をも少しは取扱つたが餘り深く研究して居らぬ。然し鋼質研究上成可く廣い範圍に亘り調査し一般に通ずる理論を考へる必要があるので此方面は出版物や實業者の意見等を参考したので、本文で論ずる鋼質の理論は廣い意味の概括である。本文は主として製鋼實作業上に起る諸現象を捉へ之れを成可く理論的に述べる様に努めたものであつて此内實業者の熟知の事柄で理論の明確を缺く部分は單に其理論を考へて置くにとどめた所もある。

偏析現象を研究するに當り氣附く事は鋼質の良否は偏析以外に色々の條件 (Factors) が影響するので一見同じ材料を注鋼するに當り學者又は技術者が立場に依つて全く反對の意見を述べて居る事である。例へば甲は注鋼温度が高ければ夾雜物を除去し得て偏析の害を軽減するが如く考へ (英國砲身鑄造者) 乙は注鋼温度を低くすれば偏析を制限し收縮管が減じ表面に疵が出ない様に述べて居る (米國砲身鑄造者⁽¹⁾)。又分析は同じであつても鎮靜 (Killing) の程度、鋼塊の大きさ等で夫々異なる結果を生ずる。此等の條件を吟味して偏析の基本原則を造る事は重要であるが中々難事である。私は本文に於て自ら考へた範圍で偏析に影響する諸現象を纏めて唯種々の條件を入れて起る結果を二三想像するに止めて置いた。

氣泡は坩堝鋼や電氣鋼其地押湯付きの平爐鋼塊等で鎮靜の良く行はれたものには大して出ないが平爐鋼や轉爐鋼で押湯を用ゐないもので後に述べる理由に依り鎮靜を或程度に止めて居る様な軟鋼では色々問題が起る。然し此種の押湯無しの鋼塊が價格の低廉なる爲めに世界で最も多く製出せられて居るので鋼質の研究には重要な問題の一つである。

第二節 使用する術語の説明

(1) Trans. Am. Inst. Min. & Met. Eng., 1922, vol. LXVII, pp. 174 & 199.

(1)

本論文中に最も多く使用する和文術語の主なるものを記せば下記の如きものがある。

1. 鋼の不純物 (Foreign Elements of Steel)
2. 鎮静及び脱酸劑 (Killing and Deoxidiser)
3. 凝固區間 (Solidification Interval)
4. 湯 (Molten Bath or Molten Steel)
5. 鋼塊鑄型 (Ingot Mould)
6. 鋼塊内の肉眼的組織 (Macrostructure)
 - (イ) 外殻 (Crust)
 - (ロ) 柱狀結晶 (Columnar Crystal)
 - (ハ) 自由結晶 (Free Crystal)
 - (ニ) 気泡 (Blowholes)
 - (ホ) 收縮管 (Pipe)
 - (ヘ) 偏析 (Segregation)
 - (ト) 樹晶 (Dendritic Crystal or Dendrite)
 - (チ) 柱狀結晶又は樹晶間隙填充物 (Intercolumnar or Interdendritic Fillings)

前記の内稍々難解の語を次ぎに説明する。

1. 鋼の不純物

鋼中に含有せられる鐵以外の諸元素及び酸化物、硫化物等の一切を總稱する。従つて炭素、滿俺等の如き求めて入れたものをも含む。

2. 鎮静及び脱酸劑

鎮静とは銻鋼が含む瓦斯及び作業溫度に於て比較的還元され易い酸化物 (FeO 等) を減少させ銻鋼凝固中に起る気泡を成可く少くする様な方法を云ふ。此目的には銻鋼の溫度を加減し或は附加劑 (Reagent) を用ゐる。此種の附加劑の主なる作用が還元し易い酸化物を變じて還元し難く且つ銻鋼に溶解度の少ない酸化物にするにあるから脱酸劑と稱する事がある。⁽²⁾

3. 凝固區間及び湯

凝固區間とは或成分の銻鋼が凝固を始めてから之れを完了する迄の區間即ち平衡圖表に於ける液相線 (Liquidus) と固相線 (Solidus) との垂直距離を云ふ。

湯とは銻鋼 (Molten Steel) と同意義に用ゐる。

4. 鋼塊鑄型

本文中に使用する鑄型の文字は鋼塊製造に用ゐるものに限るから鋼塊鑄型を略して鑄型と記す。

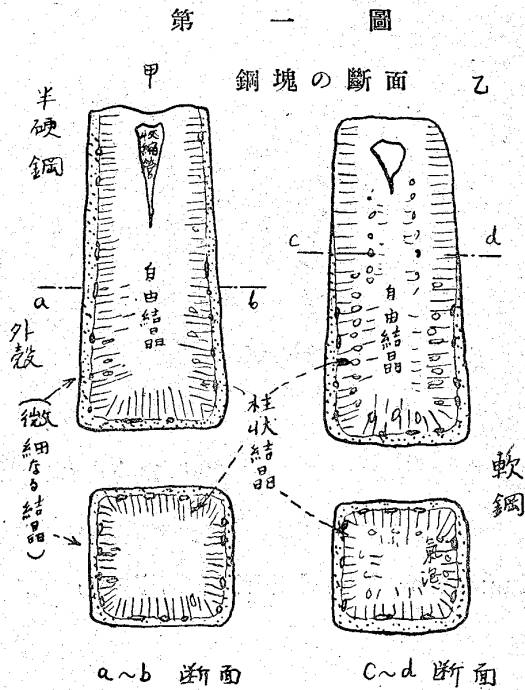
(1) 自製の術語もあるが本協會選定「製鐵用術語」を成可く用ゐた。

(2) 脱酸劑に就ては本誌大正 14 年 11 月號自著論文參照。

凡て金型である。

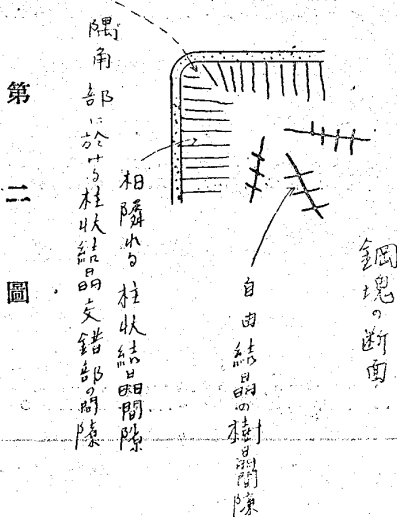
5. 鋼塊内の名稱

氣泡及び偏析に就ては後に述べる。樹晶、收縮管等は慣用語であるから説明を略し外殻、柱狀結晶自由結晶又は樹晶間隙填充物等に就て簡単に説明する。(第一圖参照)。



銻鋼を鑄型に注入する際に先づ型に内接する部分(鋼塊の側方及び底部)は非常な急冷を受け鋼塊の外側の或薄い厚さの範圍では微細な結晶が出来る。注鋼の瞬間に出来る鋼塊外部の凝固物を外殻と云ふ。夫れより内部に凝固が進むに従つて冷却面に直角の方向に樹晶が漸次内方に發達して行くが側方には等温の部分に於て相隣つて同時に成生する結晶の爲めに其發達を阻害せられ柱狀結晶が出来る。鋼塊の外周の或厚さは通常此柱狀結晶の集合がある。柱狀結晶が或深さ迄發達する頃に内部程冷却速度が次第に遅く成つて内部の殘留する銻鋼の溫度が内外で其差が甚だ少くなり此殘留銻鋼の殆ど全部が凝固溫度に達し同時に各所に結晶の

小核を生じ自由の軸をとる樹晶が發達する。此内部の軸の方向の揃はない結晶を自由結晶と云ふ。
 軟鋼にあつては凝固區間が短く且つ鐵の銻接性が強いので外殻と其内側の柱狀結晶との境界の不明瞭なものもある(第一圖乙鋼塊の上部の如く)。軟鋼でも少々大きな鋼塊では下部の急冷部には此外殻が少々明瞭に出て居るものもあるが(第一圖乙鋼塊の下部)概して硬鋼程明瞭に出ない。硬鋼で特に大きな鋼塊では此外殻が少々厚く出る(第一圖甲の如く)。外殻と其内側の柱狀結晶の境界には屢々氣泡が出て居る。



柱狀結晶又は樹晶間隙填充物とは前述の柱狀結晶の相隣れる境界或は鋼塊の隅角部に於ける柱狀結晶の交錯部又は内部の自由結晶の樹晶間隙等に偏析して居る不純物を云ふ(第二圖参照)。

第二章 偏析

第一節 偏析の種類及び其成因

第一項 偏析の種類

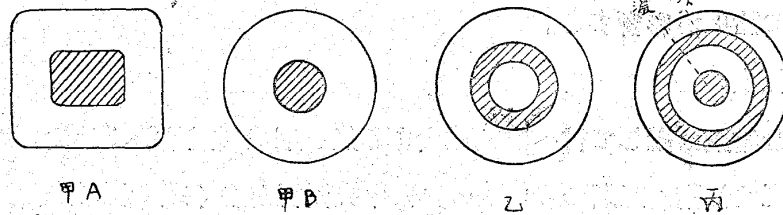
偏析とは鋼内で其不純物が局部に偏して集まる事で銻鋼の凝固區間に起る現象である。偏析には中央偏析(Central Seg-

regation) と散在偏析 (Intercolumnar or Interdendritic Segregation and Spot Segregation) との二種がある。通常偏析と云ふて居るのは中央偏析である。

例へば四角な鋼塊の断面には第3圖甲Aの如き偏析が出る事がある。之れが多角形(八角、十二角等)又は丸形の時断面が甲Bの如くなる。断面に依り此偏析の濃く狭い所もあれば薄く廣い所もあ

第三圖

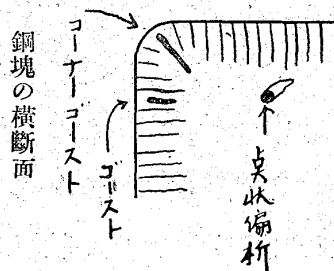
鑄陰は偏析を示す



る。又多角形或は丸形の大きな鋼塊になると其断面に甲Bの他乙、丙等の各種偏析が出る事がある。同一鋼塊でも断面に依り異なる種類の偏析が出る事がある。

散在偏析は柱状結晶又は樹晶間隙或は気泡等種々の位置に出る小偏析であつて鋼塊の外側の柱状結晶の間隙に起る線状のゴースト (Ghost) 又は丸い気泡の附近に出る點状偏析 (Spot Segregation) 等が之れに屬する。特に鋼塊の隅角部に於て柱状結晶の交錯する附近にコーナーゴースト (Corner Ghost) が出る事がある (第四圖参照)。

第四圖



偏析の成因は鑄鋼に不純物を含む事と鑄鋼が鑄型内に於て全部同温同速度で冷却せぬ事とである。

例へば第三圖甲の様な偏析生成の機構を考へるに鑄鋼を鑄型に注入すると先づ型に接觸する部分が急冷せられ或厚さの外殻が出来之れより内方に向つて冷却面に直角に柱状結晶が或深さ發達するが漸次内部の融體の温度が降つて來るに従ひ内部全面に亘り殆ど同時に凝固を始める。凝固の際には不純物の少いものが先きに結晶し不純物は残れる融體の中に濃厚になる。不純物が残れる融體中に増す程其熔融點が次第に下り愈々永く融狀を保つ事になる。斯くして不純物の濃厚になつた融體は樹晶間隙又は気泡の附近に停滯し散在偏析を生成するものもあるが最も遅れて冷却する鋼塊の中央部に多量の不純物が集まり中央偏析を生ずる。特に鋼塊の頂部には下部で析出した硫化滿俺に富む滓其他鑄鋼の夾雜する滓の様な比重の軽い物迄浮上つて此部分に集まるので一層中央偏析が濃く成る。就中最後に凝固する頂部收縮管附近は最も夫れが著しい。

次に第3圖乙の様な偏析の機構を考ふるに鑄型へ注鋼後外側の柱状結晶が中心に向つて或深さ迄發達すると鋼塊の内部は不純物が濃厚になり温度が降下し滿俺に富む硫化物其他の不純物が析出するに従ひ此等の内軽い硫化物は中心に近い湯の流れの良い所では浮上るが柱状結晶の内周部即ち固相と液相との境では已に凝固した部分の内周に懸滯して其儘凝固し第3圖乙の如く断面輪狀の偏析が出来

ると思はれる。例へば鋼塊の底部は鑄鋼の重力で底板に良く密着し冷却が急速に行はれるが鋼塊の外周は暫くすると鑄型と間隙を生じ冷却が遅れるので外周から柱狀結晶が或程度迄發達して其内側に不純物を凝集する一方に於て底部の急冷の爲め中央下部は急に凝固して不純物を上方に析出するので鋼塊の下底より少し上つた部分に第3圖乙の様な輪狀偏析を生ずる事がある。

第3圖丙は同圖乙の内側に同圖甲で説明した様な機構を考へれば良い。

第二項 偏析の形に及ぼす諸影響

偏析の形には次ぎの諸項が影響する。

1. 熔鋼の鎮靜程度

相當に不純物を含む鑄鋼は概して言へば左程大きく無い鋼塊(重量2~3噸位)では良く鎮靜したものは散在偏析多く現はれ稍々瓦斯の多いものには中央偏析が多く現はれる。其理由は鋼塊が左程大ならぬ時は比較的早く内部迄凝固が進んで來るが此際よく鎮靜した鑄鋼であると瓦斯を餘り發生せないので凝固區間に於て結晶の核が餘り動搖を受けぬので不純物は此等の核から成る格子の中に閉ぢ込められ局部的に小さく分けられ鋼塊の内部全體に散在する事になるから中央偏析を生成する傾向が少ない。

然し鎮靜した大鋼塊にあつては中央部が非常に遅く冷却するから散在偏析も中央偏析も出來其形も第3圖の如く色々のものが生成する。

2. 氣泡の位置

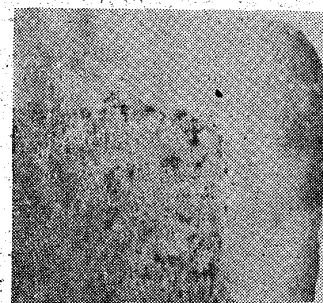
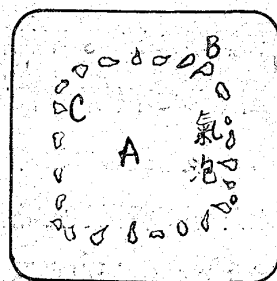
氣泡の位置が偏析に影響がある。例へば鑄鋼凝固區間に第5圖スケッチ内のCの様な氣泡が出來たとするとA部に出來た偏析は常溫に冷却する迄にC氣泡に妨げられてA部から外周B部へ不純物の

第 五 圖

鹽基性平爐鋼塊(重量2噸)

斷面450耗四角

斷面を四分せる一部分



C = 0.13%

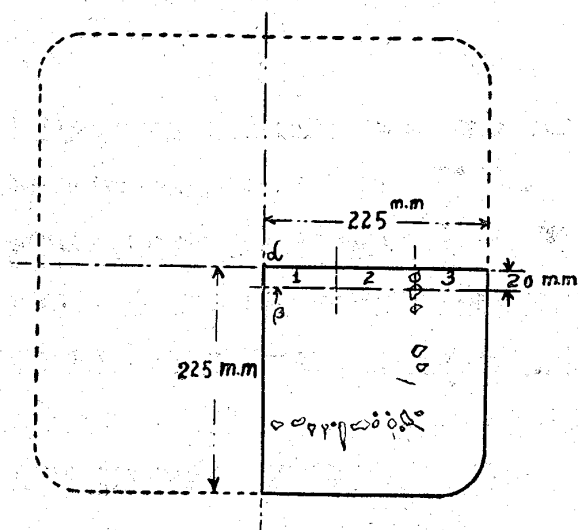
Mn = 0.43%

擴散(Diffusion)を困難にする。従つて炭素の様な擴散速度の早いものでもA部に偏析する。これは鎮靜の足りない軟鋼によく見る現象である。第5圖C氣泡は第3圖乙の如く外側の柱狀結晶と中央部との中間に偏析が出來て其部分に不純物の集合と共に多量の瓦斯を發生し其一部分が懸滯して生じたものの様に思はれる。

而して鑄鋼の冷却する迄に此中央偏析は内部には擴散し易いが外周の柱狀結晶は已に冷却されて硬くなつて居るとC氣泡に妨げられる爲め偏析が外周には充分擴散し得なかつたものと見られる。第5圖C氣泡の如きものが出來ればC部より内側は丁度魔法瓶に納まつて居る如き形で熱を容易に外部へ放散せないからC氣泡外周の柱狀結晶は一層早く冷却されて早く固くなる。此種の中央偏析は概してC氣泡の附近と中心部とに不純物

が非常に多く其中間部が比較的純物が少ない。但し柱状結晶は單にC 気泡の外側のみならず気泡を隔てて内方にも或距離に發達して居るのもあるので鑄型の外部からの急冷の影響は此気泡より内部にも及ぶ事があると想像される(第6圖2参照)。第6圖は第5圖と同一の鋼塊の横断面の一部分を切つてマクロを撮つたのである。第7圖の寫眞は第6圖3中の相隣れる柱状結晶の境界(第7圖スケッチ中のF 點附近)の組織を示す。圖の様な軟鋼に於ては此境界には初析フェライト (Pro-eutectoid ferrite) が出て居つて不純物が多く、往々小気泡の介在する事がある(第6圖3右端即ち外殻に近い所に小気泡を見る)

第 六 圖



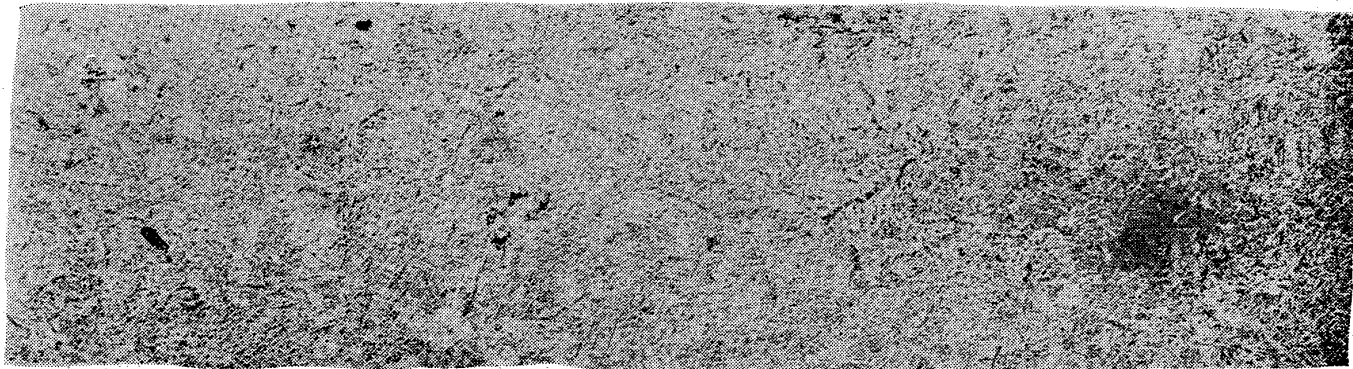
第8圖はもつと炭素の高い鹽基性平爐鋼塊(重量2,800匁; 断面450耗)横断面の外側の相隣れる柱状結晶の境界を示す。此鋼塊は押湯付きで珪素も高く気泡が殆ど無い。柱状結晶の境界に初析フェライトが出て居て其中には不純物が多量にある。柱状結晶の鋼塊の中心に近い側には第5圖Cの如き気泡が無く偏析が比較的よく散つて居た。

第8圖はもつと炭素の高い鹽基性平爐鋼塊(重量2,800匁; 断面450耗)横断面の外側の相隣れる柱状結晶の境界を示す。此鋼塊は押湯付きで珪素も高く気泡が殆ど無い。柱状結晶の境界に初析フェライトが出て居て其中には不純物が多量にある。柱状結晶の鋼塊の中心に近い側には第5圖Cの如き気泡が無く偏析が比較的よく散つて居た。

α

1

×2

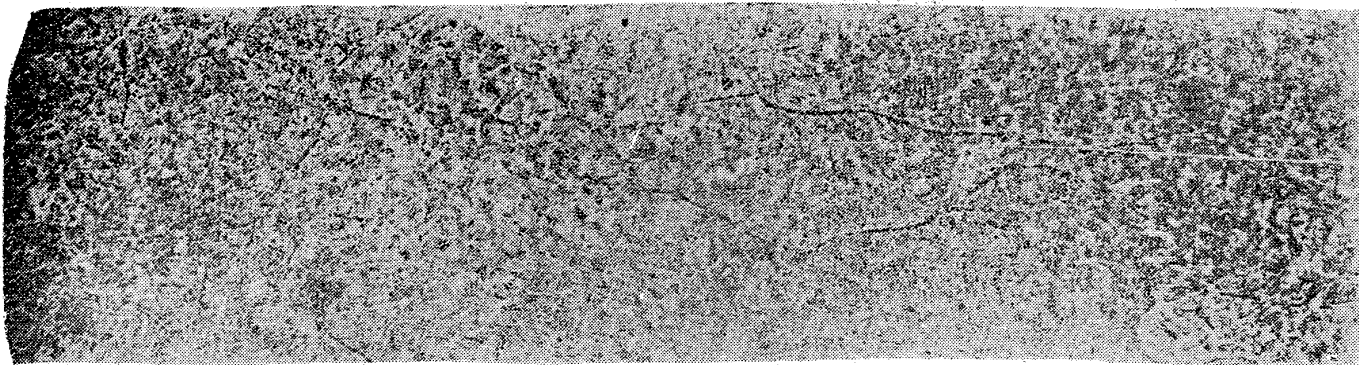


B

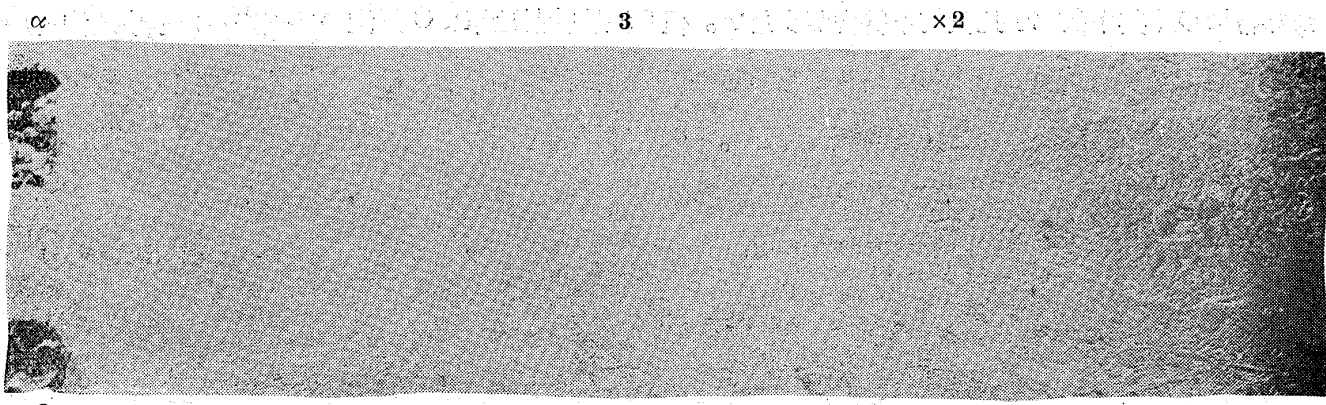
α

2

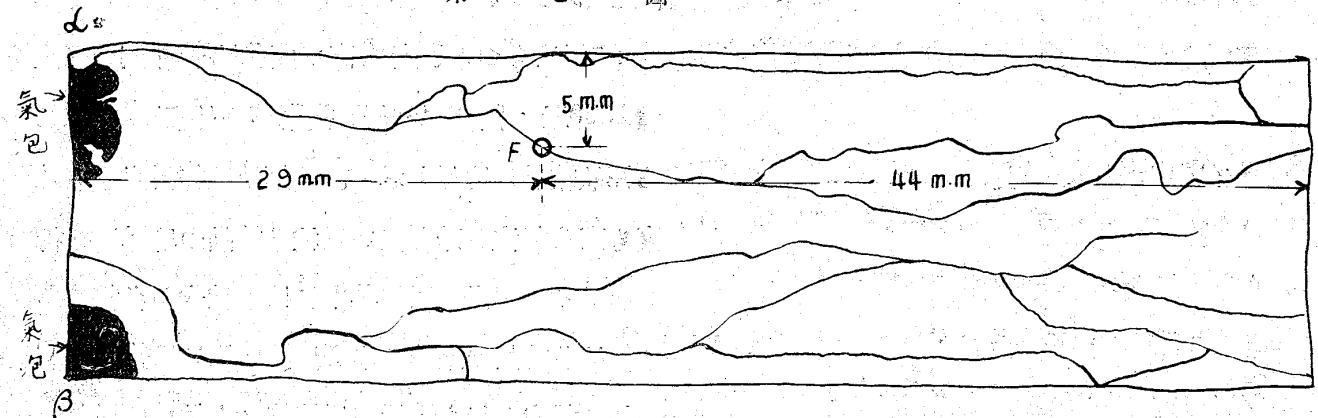
×2



B

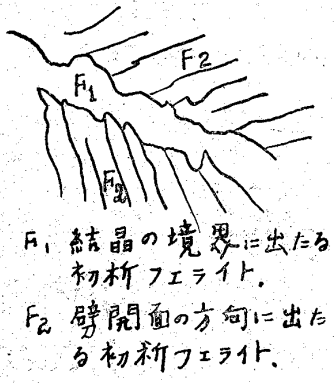


第七圖の一



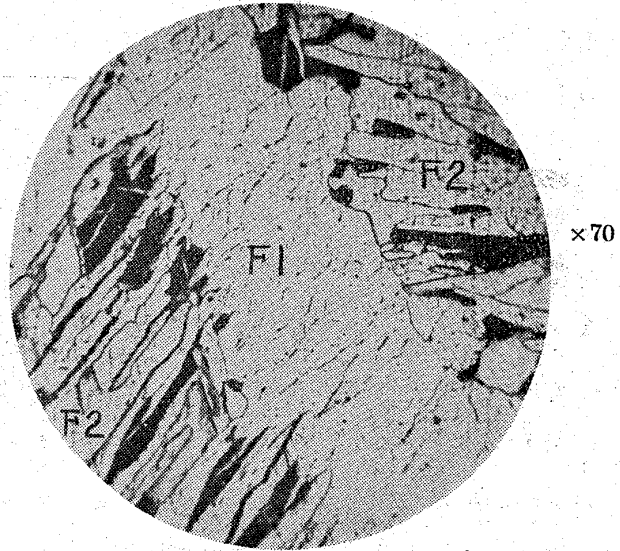
第七圖の二

第七圖の寫眞の説明

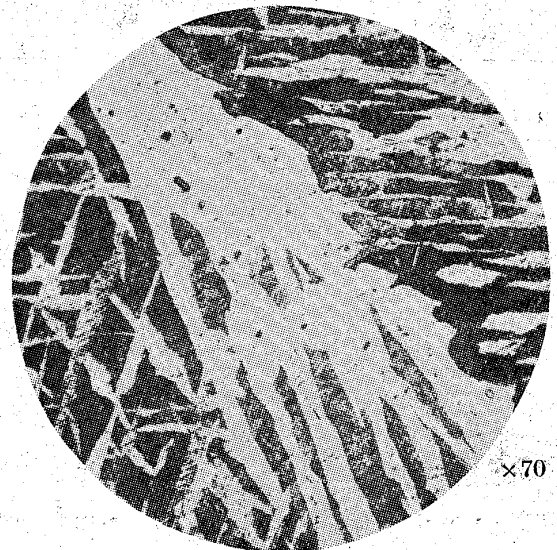


F₁ 結晶の境界に出たる初析フェライト。
 F₂ 劈開面の方向に出たる初析フェライト。

C = 0.13%
 Mn = 0.43
 Si = 0.02



第八圖



C = 0.35%
 Mn = 0.59
 Si = 0.20

2~3噸の鋼塊に於ては軟鋼であつても之れに珪素を0.2~0.25%位入れると気泡が殆ど無くなり第5圖C気泡の様な隔壁が鋼塊内部の深い所に出来ないから鑄鋼凝固中に内部の熱が外部に傳はる速度が早く鋼塊内外の熱の平均が比較的早く行はれ偏析が少ない。

3. 注鋼後凝固終了迄の時間

注鋼後内部の鑄鋼の凝固を終る迄の時間の長短に依り中央偏析が或は濃く狭く又は淡く廣く出る。此凝固終了迄の時間は次の場合程永くかかる。

- a. 外氣温度の高い時
- b. 鑄型豫熱程度の高い時
- c. 鑄型の壁の薄い時（又は鑄鋼に接觸する鑄型及び底板の金物の重量が内部の鑄鋼に比して少ない時）
- d. 鋼塊斷面積の廣い時
- e. 注鋼温度の高い時又は注鋼速度の早い時（後の場合には徐々に注ぐ時に比し注鋼中の冷却が少ないから鑄型内の鑄鋼の初温度が高い）
- f. 急冷凝固した鋼塊外部に気泡を生じ内部に鑄鋼の残る時

注鋼後鋼塊は外周から或る深さ迄は急冷するが之れから先きは型が加熱せられて來ると型と鋼塊外周との間に空隙を生ずるので内部は徐々に冷却して柱狀結晶が徐々に發達する事になる。故に瓦斯の少ない比較的小さい鋼塊で第3圖甲の様な偏析を生ずる場合には此鑄鋼凝固終了迄の時間が長い程中央偏析は濃く狭くなる。然し場合に依り急冷する方が却つて中央偏析を狭くする事もある。(1)

4. 鑄型内の鑄鋼の最高温度中心點 (Heat-centre)

鑄型に注いだ鑄鋼の温度は(a)注鋼の中心點に於て高く(b)冷却面に遠ざかる程高く又(c)冷却面より等距離としても冷却速度の弱き面（例へば薄き壁又は強く加熱せられて居る壁等）の側に近寄つて高い點が出来る。

故に概して鑄型に注鋼した湯は鋼塊の上部で頂部より稍々下つた所に鑄鋼の最高温度があつて鋼塊の中央偏析も此附近が最も濃い。此上部の偏析の濃厚部が底注ぎは上注ぎより稍々下る。即ち底注ぎの方が最高温度中心點が少し下つて居る。注鋼の不注意で鑄型の中央部から片寄つて注げば一般に偏析は其方に片寄る。

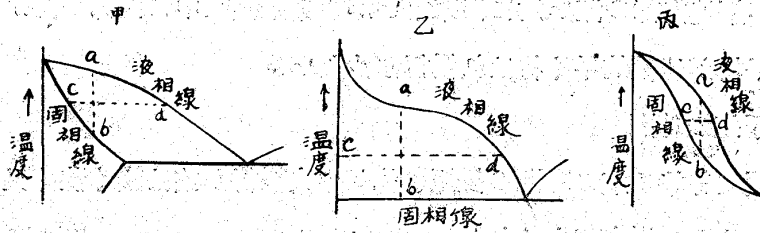
5. 不純物の多少及其性質

不純物が多ければ偏析した部分の熔融温度が益々下るから中央部の凝固が愈々遅れ中央偏析が濃くなる。

純鐵には偏析は無いが不純物を増す程偏析が著しくなる。一般に鐵に或元素が加はり第9圖の様な平衡を保つとすれば凝固區間例へば圖中 ab の距離が永く且つ a から b に至る間に平衡を保つ固相と液相との組成の差（例へば cd）が大なる程偏析が著しくなる。普通の鋼塊に含有する程度の量で鐵の

(1) 急冷すれば外周の急速凝固部（外殼及び柱狀結晶の或厚さ）が比較的厚く成つて不純物が其内方に追込まれるので此影響の著しい時は中央偏析が緩冷の時よりも却つて狭く成る事もあるが普通の鋼塊では下部の急冷部と上部の緩冷部とを比較して中央偏析が上部の方に狭く成る場合が可成りある。これは緩冷に依り

第九圖



含む普通元素と鐵との平衡状態圖を見ると炭素、磷、硫化鐵等は比較的 cd の距離廣く滿俺及び珪素は之れが狭い。事實後二者は鋼塊内で餘り偏析を起さ無い。

又擴散速度の遅い不純物（例へばクロム、磷、硫黃等）を多く含むもの程偏析が著しくなる。（炭素は擴散速度が比較的早い）。

工場に於ける造塊作業は前記の諸原因が錯綜して種々複雑な偏析現象を呈する。

第三項 偏析軽減法と實作業

銻鋼の偏析の害を減ずる理想的方法としては適度に鎮靜を行ひ凝固中に瓦斯の發生を減ずると共に成可く所要の成分以外の不純物を少なくし又凝固區間の冷却速度を早くし且つ凝固の初まる時機が鋼塊の内外に依り甚だしい遅速の無い様に努め凝固開始後成可く同時に鋼塊の全面に多數の結晶の小核を發生せしめるにある。約言すれば凝固開始點に達するや否や成可く銻鋼全面に亘る急速冷却を行はせるにある。但し全面を急速に冷却するのは小鋼塊では容易であるが大鋼塊では思ふ様に行かない。差支へ無い限り低温注鋼をする（注鋼速度を徐々にするのも同理となる）のは偏析を少なくする一方法である。

前記の諸項以外に實作業には様々の要求と副現象とが伴ふので前述の簡単な原則が直ちに應用される場合は少ない。例へば小さい鋼塊を理想としても製品の形、歩留り、所要壓下率（又は鍛鍊係數）等から制限を受ける。且つ又餘り小さいと其數が増すので注鋼溫度が初めの鋼塊と終りのものとでひどい差が出来て全部を適當の湯加減で注ぐ譯には行か無くなる。又重量を同一にする爲めに斷面を細くして長い鋼塊を造れば數を左程増さなくて早く冷却させる事も出来るが鑄型が抜取り難くなり又收縮管が深くなる恐れがある。又餘りに細長い鋼塊は上注ぎの時は湯の落差が多くなり底部附近は湯がはねる爲めに表面疵の原因を成し底注ぎの時は頂部が早くさめて底部に熱い湯が残る爲めに二次收縮管（Secondary pipe）を生成する危険を増す。又低温注鋼を望むも含滓を分離する爲め爐中で銻鋼を少々高熱に仕上げる時は取瓶で或程度迄さまし得るとしても幾分熱い湯を注ぐ事になる。斯様な譯で種々の場合を組合せて見て適當の作業が行はれるのであるから此所には唯前述の如き概括的の原則を考へるに止めた。

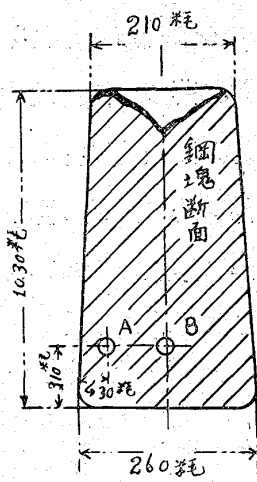
第二節 偏析と含滓 (Sonims)

鋼塊内に硫化物、酸化物（珪酸鹽を含む）等の滓を含むものは之れが散在偏析部又は中央偏析部に

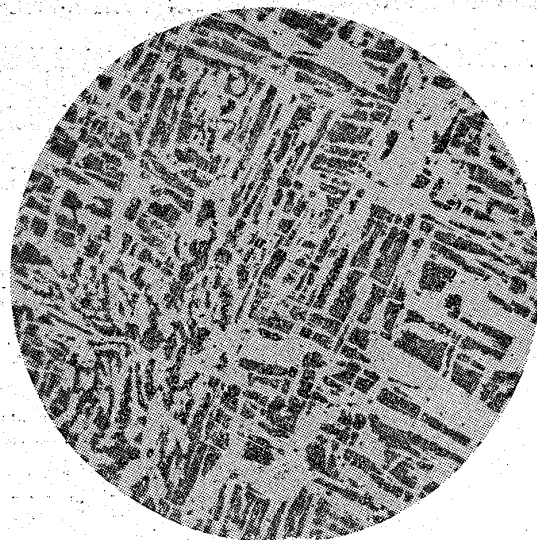
多く分布せられる事になるので滓を多く含む鋼の偏析部は一層脆弱である。亞擬共晶炭素鋼塊(Hypoeutectoid carbon steel ingot) を切斷して見るに含滓はフェライトの網目に沿うて多くあらはれて居り同一鋼塊でも場所に依り其滓の形が異なる。第10圖は研究鋼塊中から一例を示したのである。概して云へば凝固の遅れた部分には滓の形が大きくなつて居る。之れは永く熔融状態にあつた爲め滓が其部分に多く集積する事と瓦斯等が其部分を永く通過した爲め攪拌されて微滓が凝集したものと考へられる。微滓が主としてフェライトに沿うて出て居るのは凝固區間に於て樹晶間隙に微滓が偏析して後冷却するに従ひ樹晶の形は略くづれて其跡を消しても滓は原位置にとゞまり冷却する鋼が A_{3-1} 點を通過する際にフェライトの初晶が此微滓に沿うて出たものと考へられる。

鋼塊の含滓には爐中の銻鋼に在つたものと出鋼後に生じたものとがある。前者には次ぎの種類がある。

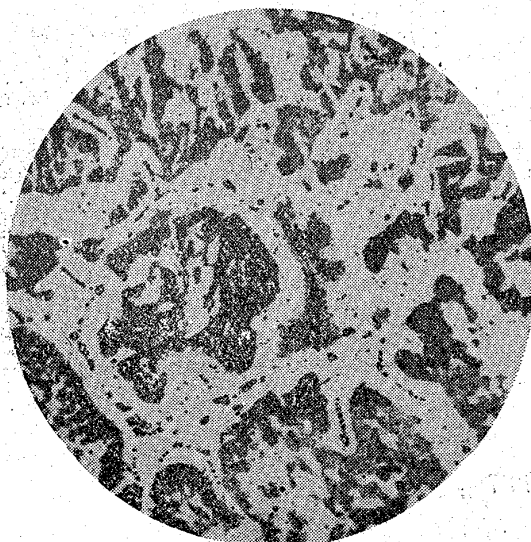
第十圖 A



(横断面は) 正方形 B



×50



×50

	A	B
比重	7.7	7.7
硬度	ブリネル	140
	シヨール	11
分析	C %	0.33
	Si	0.07
	Mn	0.55
	S	0.02
	P	0.03

1. 不純物を酸化精錬する際又は脱酸劑加入の際に生成するもので未だ銻鋼中に懸濁(Suspend)して居るもの又は已に分離して居た銻滓が機械的に混在するもの。

2. 爐材の蝕蝕。
- (出鋼後に生成するものには次ぎの種類がある。)
1. 出鋼の際に混合する銻滓。
 2. 湯口の填充物、湯樋、取瓶(壁、ストッパー、ノZZル等)、湯路、押湯の内塗り等から來たもの。
 3. 出鋼から注鋼迄外氣(又は鑄型内の鏽)から受ける酸化。
 4. 銻鋼に溶解して居た不純物が凝固する迄に析出する滓(例へば硫化鐵又は過飽和の酸化物等)。
 5. 出鋼後に脱酸劑又は與炭劑等を加へる時には脱酸生成物又は骸炭の灰等から來るもの。

前記の様に含滓の成因は多種多様であり加之此等の滓が又互に反應したり凝集したりして變形する。故に檢鏡した滓の成因を正確に捉へる事の困難な場合が多い。然し大略滓の鋼塊中に残る理由は明瞭であるので精鍊法、鎮靜法、出鋼法、注鋼法等のあらゆる點に注意深く作業すれば鋼塊中の滓を減ずる事が出来る。例へば(1)精鍊速度及び爐熱の注意に依り成可く滓が銻鋼中にとゞまらぬ様努むる事(第4章第1節参照)、(2)耐火材(爐材、湯樋、取瓶の裏附、ストッパー、ノZZル等)の品質、裏附け法及び精鍊作業を注意して化學的、機械的(又は熱的)に耐火材の消耗するのを防ぐ事、(3)湯口を開く時に成可く之れに填充して居たシャモットを取除き夫れが取瓶に銻鋼と共に落つる量を減ずる事、(4)湯樋の傾斜をのろくして取瓶を近づけ湯の落差を減じ湯樋や取瓶の耐火材が機械的に打ちこはされぬ様にする事、(5)湯口を大きく開き初めの湯を多量に取瓶に入れ取瓶の下部に於て湯熱の降下する程度を輕減し取瓶の底に湯口填充物と鋼とが凝着せぬ様にして下部の滓を速かに浮上らせる事、(6)出鋼及び注鋼中に鋼の酸化や銻滓の混合を成可く少なくする事等に注意すべきである。

第三節 偏析と熱間壓延鋼材

第一項 中央偏析

第11圖は中央偏析の一例である。之れは第5圖の如く氣泡で外側の柱狀結晶の或厚さを内部と隔離して居るので偏析は氣泡の内部に特に著しくなつて居る。

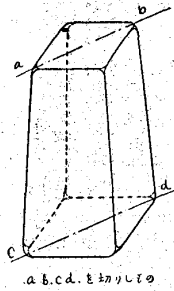
此種の鋼塊を壓延した後も偏析の位置及び濃度が変らぬ。即ち壓延後も頂部に濃く狭く底部に薄く廣く廣がつて居る。實驗した結果の一例を示せば次の如きものがある。

2 匁の鋼塊を分塊工場で第12圖Aの如く延ばし兩端を少し切捨て更に大形工場でBの如く壓延して尾部及び頭部を採つて試験した。第13圖の如く試料断面のサルファープリントを採り(圖中の數字はブリネル硬度數)偏析部の面積をプラニメーターで測定し尙頭部及び尾部に於て夫々偏析部と外部とを分析した。其結果次ぎの様であつた。

	偏析面積 / 全斷面積
頭部	$30.2 / 82.0$ 平方糎 = 0.37
尾部	$33.7 / 80.8$ " = 0.42

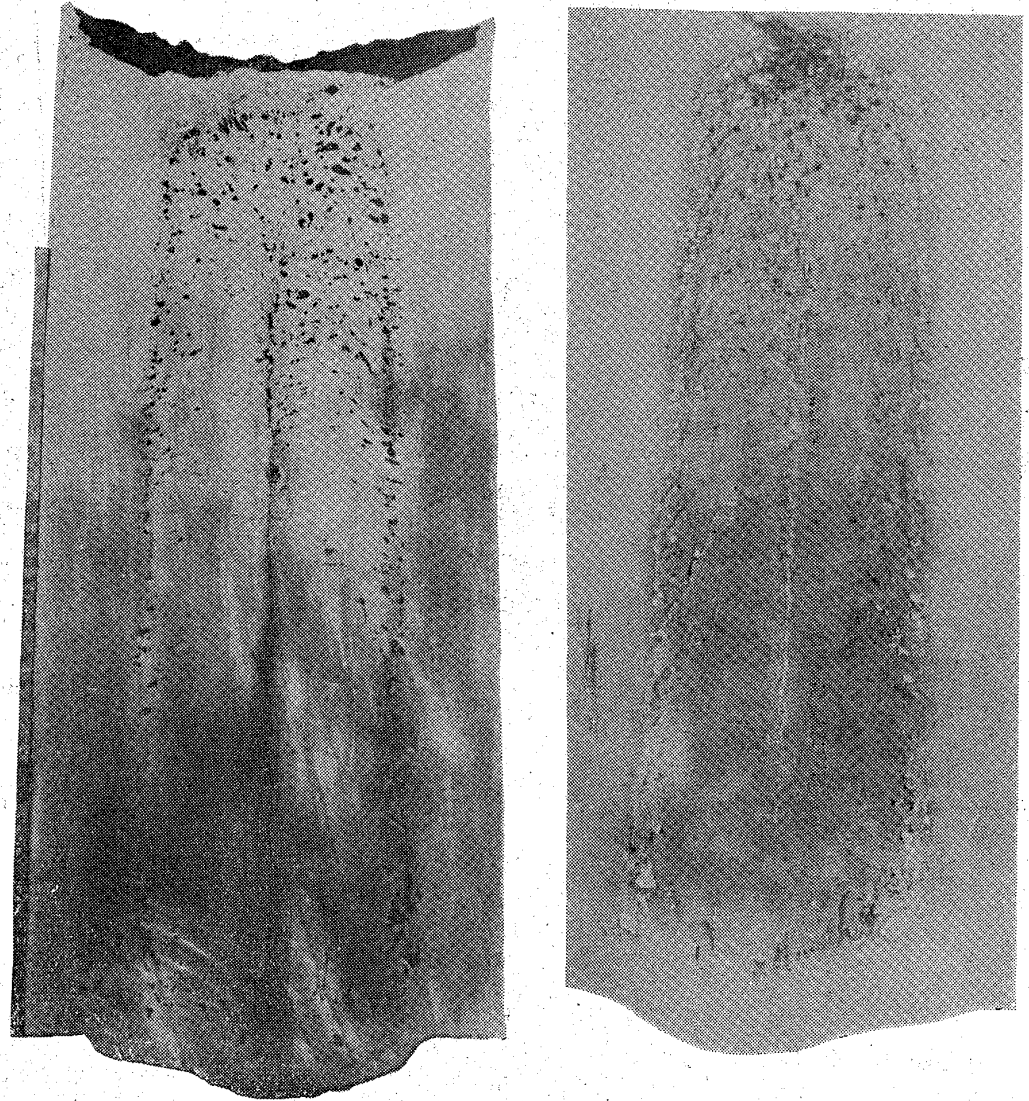
第十一圖 ×1/20

a, b, c, d の断面



鹽基性平爐鋼

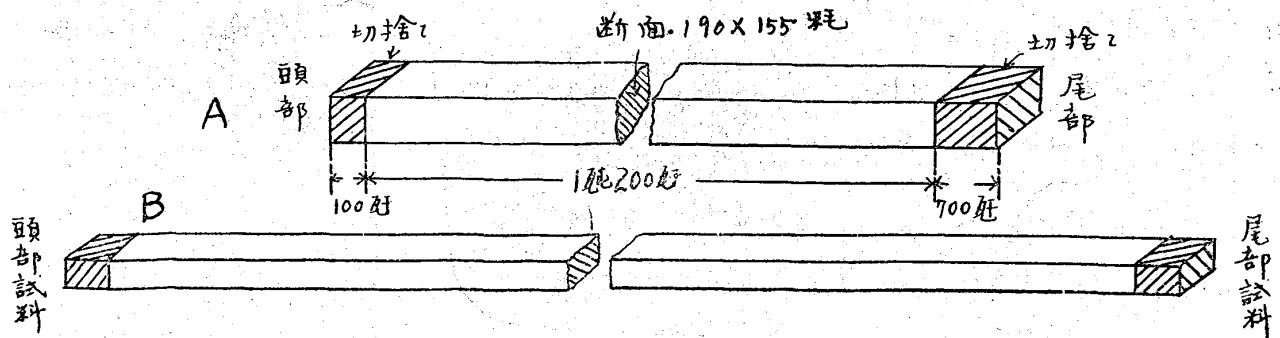
C	0.06 %
Mn	0.13
Si	0.03
P	0.03
S	0.03



断面の儘

サルファープリント

第十二圖

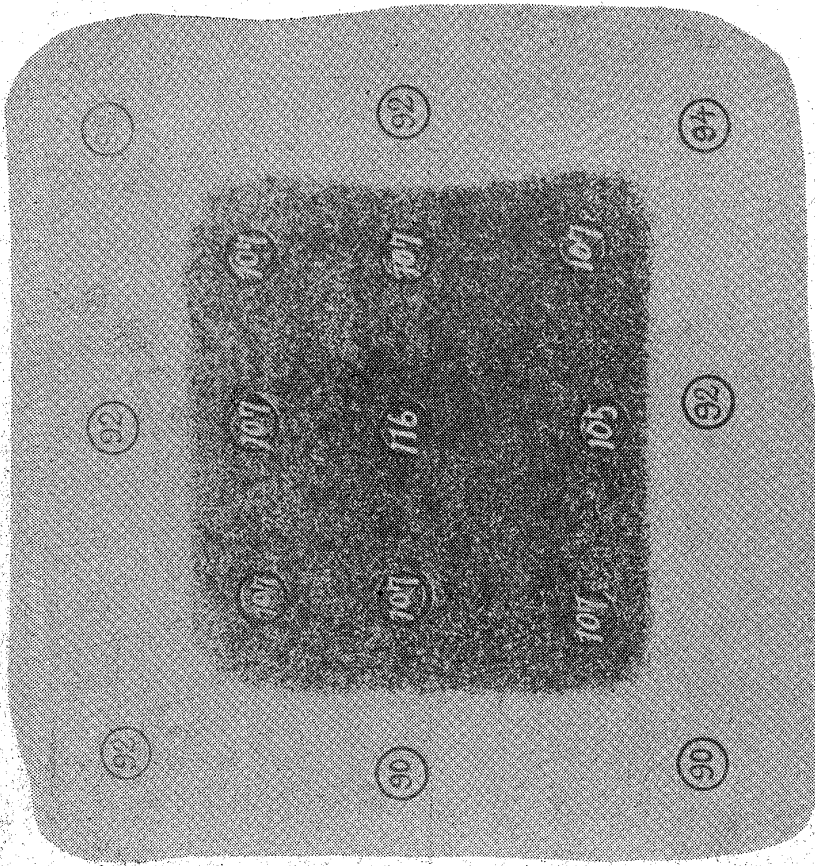


頭部試料

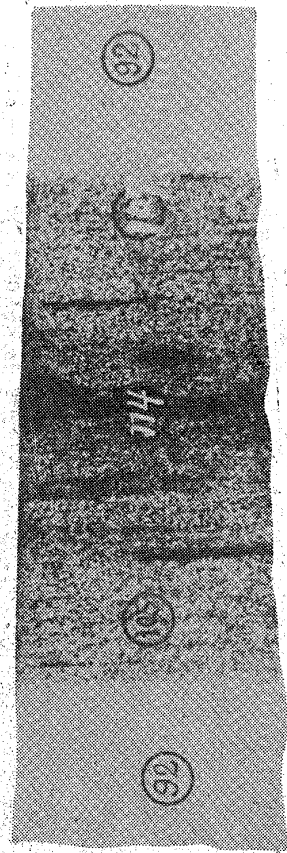
尾部試料

第十三圖 (第十二圖Bの断面)
實物大

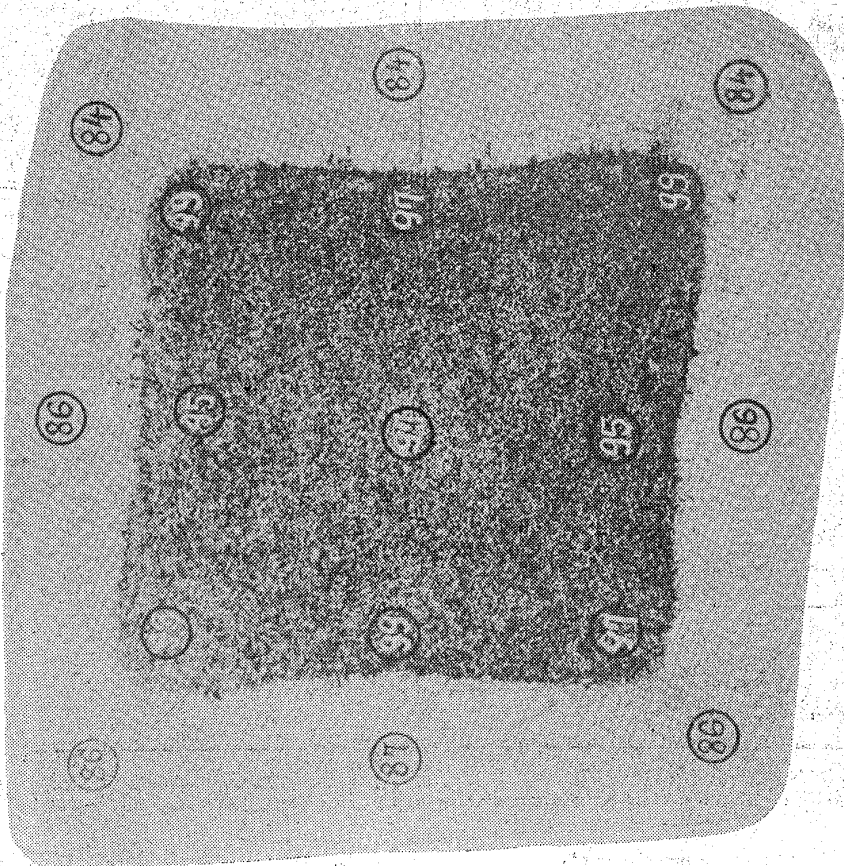
頭部
横断面



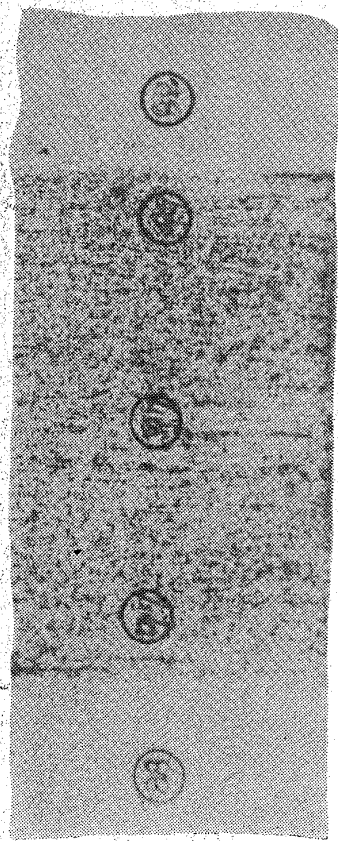
縦
断面



尾部
横断面



縦
断面



		C %	Mn %	Si %	S %	P %
頭部	偏析部	0.06	0.13	0.02	0.05	0.07
	外部	0.05	0.12	0.02	0.01	0.01
尾部	偏析部	0.05	0.12	0.02	0.02	0.04
	外部	0.04	0.11	0.02	0.01	0.02

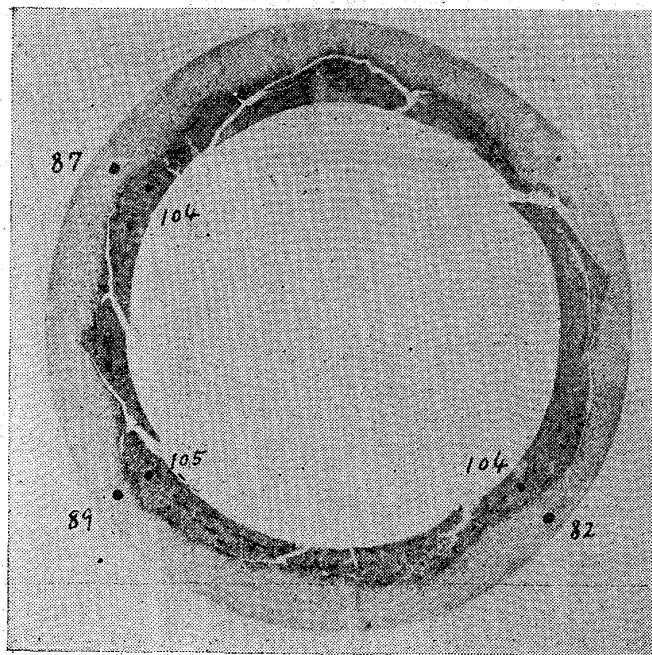
これに依つて見ると偏析部は依然として頂部に濃く狭く出で頂部の偏析は尾部のものよりも硬い。故に壓延後も頂部材料に缺點が多いのである。故に上等の品物には頭部を可成り切捨てねばならない。此種の低炭素鋼で鎮静の充分きかせてない前記の様な試料は鋼塊の時でも中央部が外部よりも硬い。(然し炭素 0.3% 位あつて気泡の少ない鋼塊では外部は急冷の影響がきいて硬く内部は緩冷せられる為め軟い)。

極軟鋼の中央偏析には磷、硫黄の多い他に含滓も多いので之れが餘り濃く狭く出ると継目無鋼管 (Seamless steel tube) 材の如く内部を加工する材料には良く無い。管材を加熱して内部をマンドリル (Mandril) で廣げる時に内部に疵の出る事がある。之れは中央偏析が濃すぎた事に起因するものが多いので、熟知の現象であるが試みに自ら試験した結果の一例を次ぎに示す。第14圖は疵の出た管材の断面であつて數字はブリネル硬度數である。

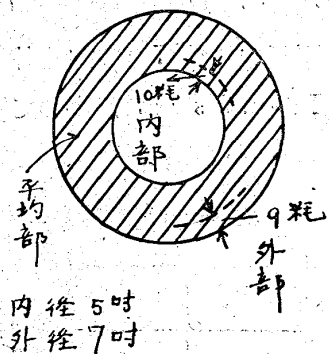
第15圖の位置で分析した結果を示せば

	C %	Si %	Mn %	P %	S %
内部	0.12	0.03	0.44	0.04	0.08
外部	0.05	0.02	0.35	0.02	0.02
平均部	0.09	0.03	0.37	0.02	0.03

第十四圖 ×1/3



第十五圖



即ち平均分析で硫黄が僅か 0.03% でも内部には其 2 倍半にも濃厚になつて居るので疵が出る。

此種の鋼材では成可く偏析を廣げる必要がある。それには気泡の位置をもつと

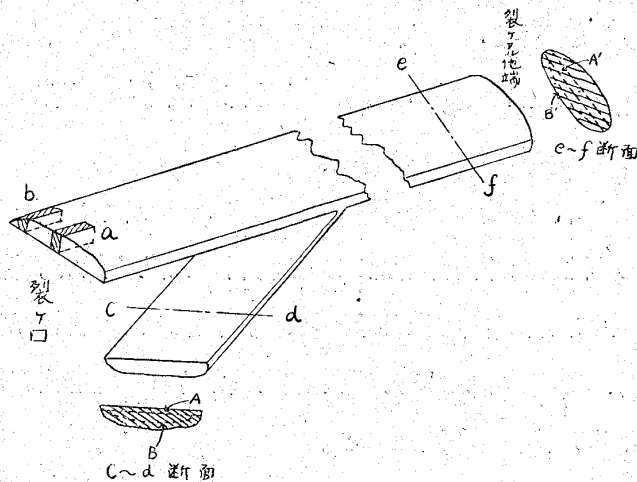
外圓に近づけねばならぬが餘り外に出すと表面疵の原因を爲す。其手加減が六ヶ敷い。軟鋼で気泡を

(1) 此種の極軟鋼塊の中央偏析は第11圖にも示す如く通常頂部の方が下部より狭い。然し同時に此種の偏析は頂部に近い方が粗鬆な事が多い。後の場合には壓延鋼材では之れが壓縮され頂部附近中央偏析の断面積は

外に出すには成可く瓦斯の少ない湯を造り之れを熱く注鋼する。

気泡を丁度よい位置に出す事が餘程の熟練を要するので多少の延びと鍛接性を犠牲にしてよいものならば珪素を 0.2~0.25% 位鋼に残る様にして気泡のない鋼塊を造つて偏析を散らせる様な方法を繼目無管材等に用ゐる事がある。尤も收縮管は増すが加工上の失敗が無いから差引して歩留りは却つて宜しいと云ふ。⁽¹⁾ 中心部を加工せない鋼材でも中央偏析の爲めに疵の出る事がある。線材を加熱加工中に壓延の途中で第16圖の如く二つに裂けた事があつた。之れを裂けた内面と外面とから試料を取り分析⁽²⁾

第十六圖



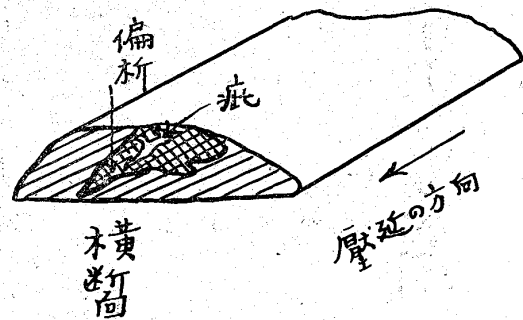
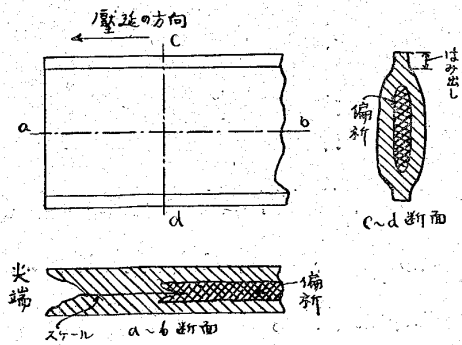
して見たら次ぎの結果を得た。

	C %	P %	S %		
裂け口	a	0.11	0.11	—	Mn = 0.22% Si = 0.03%位
	b	0.11	0.09	—	
	A	0.12	0.10	0.07	
	B	0.12	0.09	0.05	
裂けざる 他端	A'	0.13	0.12	0.08	
	B'	0.12	0.09	0.05	

之れは壓延中に第17圖の如く外部の軟らかな部分が良く延び内部の偏析部が延び遅れたので此處に内應力 (Internal stress) が掛つて裂けたのである。圖の如く線材のロールに嚙ませる尖端の中央にス

第十七圖

第十八圖



(1) Stahl und Eisen, 26 Nov., 1925, P. 1953 (Conrad Wolff)

(2) 但此程度に珪素を入れた鋼でも鎮靜作用に不注意で脱酸成生物(例へばSiO₂)其他の滓の脱離が充分で無い時は加工の際に疵を生ずる事もあるらしい。

ケールを包み偏析の部分には裂疵の出る事がよくある。これは裂ける前徴である。此種のものには圖の如くはみ出しの出るものもある。ロールの溝型を通過する時の加減で第18圖の如く表面の軟かい肉が片寄せられて来て中央偏析が外に出て表面疵を生じた例もある。

第二項 散在偏析

1. 概 論

散在偏析に鋼塊全面の結晶間隙又は気泡の附近に於て任意の位置に分布するものと鋼塊の中心から對稱の位置に於て局部的偏析をなすものがある。

鋼塊全面に亘る結晶間隙填充偏析を生ずるものは偏析の擴散し難い元素を多量に含む鋼に多い。例へばクローム鋼の如きは相隣る柱狀結晶間隙又は樹晶間隙填充物中にクロームが濃厚になつて容易に擴散せないから加熱加工後も樹晶の跡が容易にとれない。故に加熱加工の際に結晶と其間隙の不純物に富む填充物との可塑性の差又は加熱或は冷却の際に此兩者相互間に生ずる膨脹率や收縮率の差等に依つて疵を出し易い。

鋼塊の中心に對稱の位置に生ずる局部的偏析も亦擴散し難い元素を多量に含む鋼に多く出る。斷面の大きな鎮静した大鋼塊に特に之れがよく出る。コーナーゴーストの如きは之に屬する。⁽¹⁾

ゴースト其他の對稱の位置に出る散在偏析は第19圖 a, b, c, d (太い黒線) の様な所に出る。就中鋼塊の外側の柱狀結晶の隅角の交錯部 a が主なるものであつて其他小規模のゴースト(現場で「かすりゴースト」と云ふ)が b (相隣る柱狀結晶の間隙) の如き位置に出で、又 c (外側の柱狀結晶と中央偏析との境界)、d、(中央收縮管の附近)、e (外殻と柱狀結晶との境) 等にもピンホール (Pin holes) (小さい気泡の跡) 内の偏析又は其他の小偏析が現はれ是等は通常鋼塊の縦の中心線に對して對稱の位置に出る。但し注鋼の際鑄型の中心から片寄つて湯が入る様な時は此等の偏析もそれに應じて多少片寄る筈である。d は頂部收縮管附近に於ては「へ」の字形になるのが多い。

鋼塊のゴースト中で平爐製大鋼塊では隅角に出るコーナーゴーストが最も恐れられて居る。其理由は此部分に多くは疵 (Corner crack) が出るからである。鑄型横斷面の隅角部の設計 (Profile) が悪いと此部分は柱狀結晶の發達交錯する所で不純物が特に多く集積し凝固後も此交錯線上の組織は粗鬆で脆弱である。然るに大鋼塊では注鋼後鋼塊の外周が或深さ凝固生長して收縮を起し一方鑄型は加熱さ

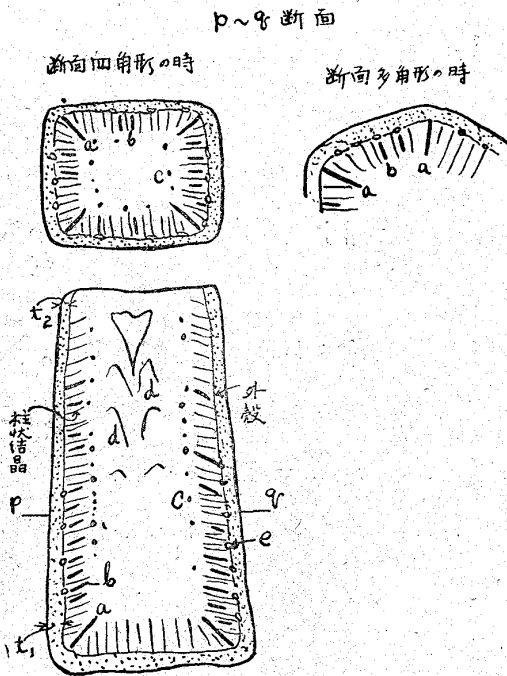
(1) Arnold 氏がニッケル・クローム鋼塊のゴーストを分析した中に次の様な例がある。

斷面八角の鋼塊で其一角に出て居たゴーストと他のゴースト無き部分とを分析したのである。

	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni
	%	%	%	%	%	%	%
ゴースト	0.27	0.57	0.22	0.12	0.08	0.74	4.24
他の部分	0.19	0.53	0.17	0.04	0.03	0.75	3.74

此鋼塊は重量57噸(押湯共)上廣りであつて八角の各隅角にゴーストが出て居た。(Jour. of the Inst. of Mechanical Engineers, Dec. 1915, p. 663)

第十九圖 (1)



れて膨脹するので外周と鑄型の内壁との間に間隙を生じ外周凝固部の内部に永く鑄鋼を包容して居る事になる。故に外周凝固部は常に内部の鑄鋼の壓力を受け外方に開かんとする傾向がある。従つて已に脆弱な組織を有する隅角部は一層歪を受ける事になる。故に加工の際に或は既に造塊當時に疵を生ずる事になる。注鋼後比較的速かに凝固する部分（外殻及注鋼後比較的早く凝固する柱状結晶の或厚さを含む）を薄くする条件即ち熱い湯を急速に注ぐが如きは此疵の生成する危険を増す。又急速凝固部が鋼塊断面の全周に於て等しい厚さで無い時は薄い方に疵が出來易い。例へば鋼塊の中央から片寄つて注鋼する時は其湯の流れに近い方が熱いので前述の凝固部が薄くなる。又鑄型に疵のある時は其附近が緩冷して凝固部が薄くなる。或は二個の鑄型を接近させて注鋼する時は熱の放射に依て相隣つ

て居る側が他の側より緩冷せられて凝固部が薄くなる

2. 散在偏析の實例

ゴースト中には磷、硫黄が濃厚である。炭素は初め濃厚であつても擴散速度の早い爲め普通鋼には割合偏析する程度が少ない。ゴースト中に磷が多ければ炭素の溶解度を減ずる。ゴーストの部分には滓を含む事が多く其量が多ければ特に脆弱である。亞擬共晶鋼の鋼塊が冷却して A_{1-3} 點を通過する時に初析フェライトは滓のある附近によく出る。

第20圖は車軸材の表面を長さの方向に少し削つた際に出たゴーストである。サルファープリントを見ると黒く出るので硫黄に富む事が知られる。顯微鏡で見ると微滓がゴーストに沿ひ散布して居り炭素は他の部分より少ない。

第21圖は 850°C . から水中健滓の際に板の面に平行に中央部から割れたニツケル・クローム鋼板のゴーストを示す。板の表面に近い所にゴーストとがあり多量の滓を含む（大きな滓には壓延された長さで4耗位のがあつた）。之れは坩堝で鑄製した鋼であるが此種のものでは製鋼温度を高くし又は相當に長時間坩堝中の鎮靜を行ひ微滓を浮上らせる事、硫黄及び錳の成可く少ない原料を選ぶ事、及び注鋼の際成可く鋼の酸化を防ぐ事等が必要である。

(1) 第19圖に於て大きな鋼塊で一本の型へ注鋼するに相當時間のかかるものでは外殻は通常下部が上部より厚い。即ち $t_1 > t_2$ 。之れは注鋼の際下部は急冷せられるが上部は鑄型が下部の湯の爲めに豫熱せられるので急冷に依つて出来る外殻の厚さが薄くなるのである。鑄型の壁が底部程厚くしてある時は一層此傾向を助長する。側方の柱状結晶は圖の様な鋼塊では中央に向つて水平より少し上方に向つて發達する。

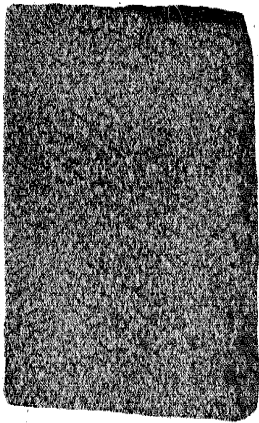
第二十七圖

$\times 2\frac{1}{2}$

A

鋼塊の心

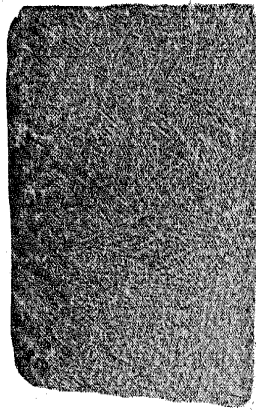
鑄造の儘



$\times 2\frac{1}{2}$

B

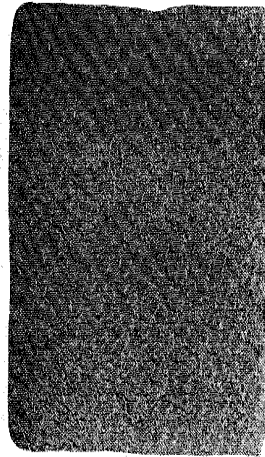
鋼塊の心



$\times 2\frac{1}{2}$

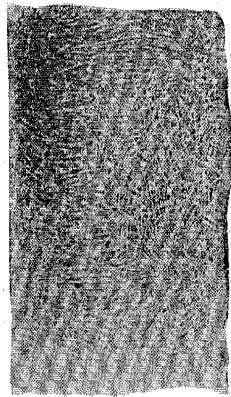
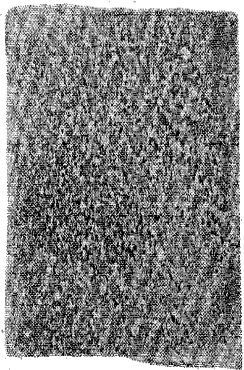
C

鋼塊の心



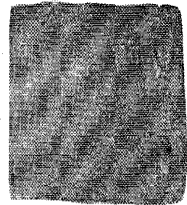
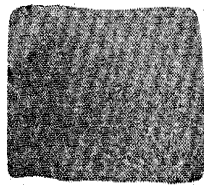
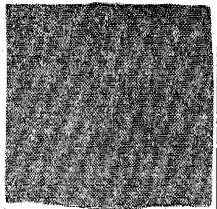
950°C

10時間



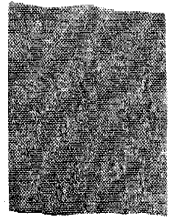
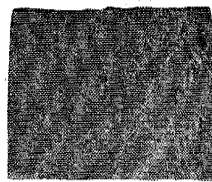
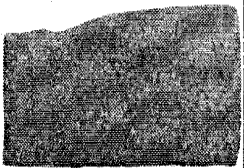
950°C

30時間



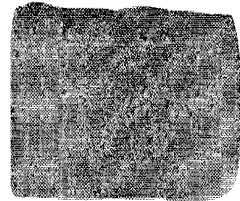
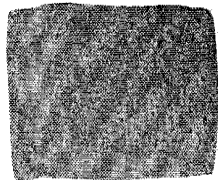
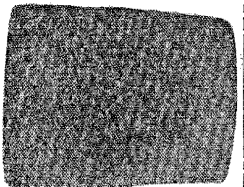
1,100°C

10時間



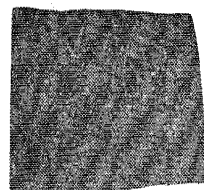
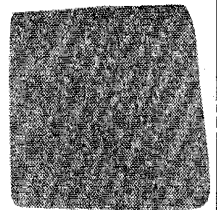
1,100°C

15時間



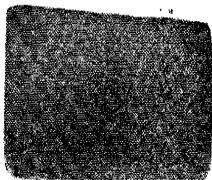
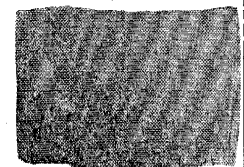
1,200°C

1時間



1,200°C

3時間



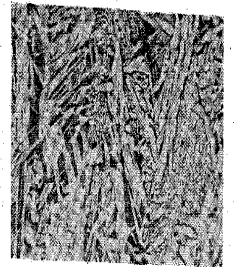
各試料中央部に於ける顕微鏡組織

$\times 70$

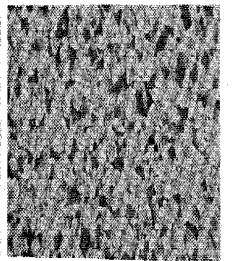
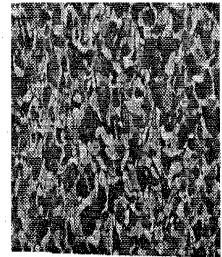
A

B

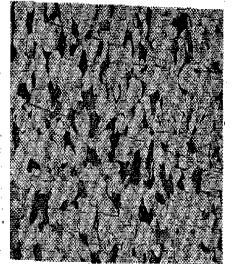
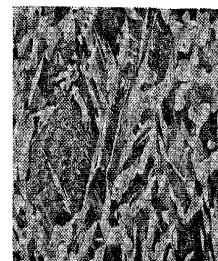
鑄造の儘



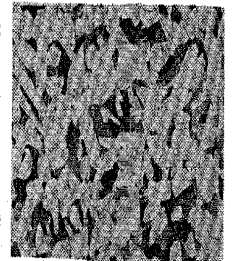
950°C 10時間



950°C 30時間

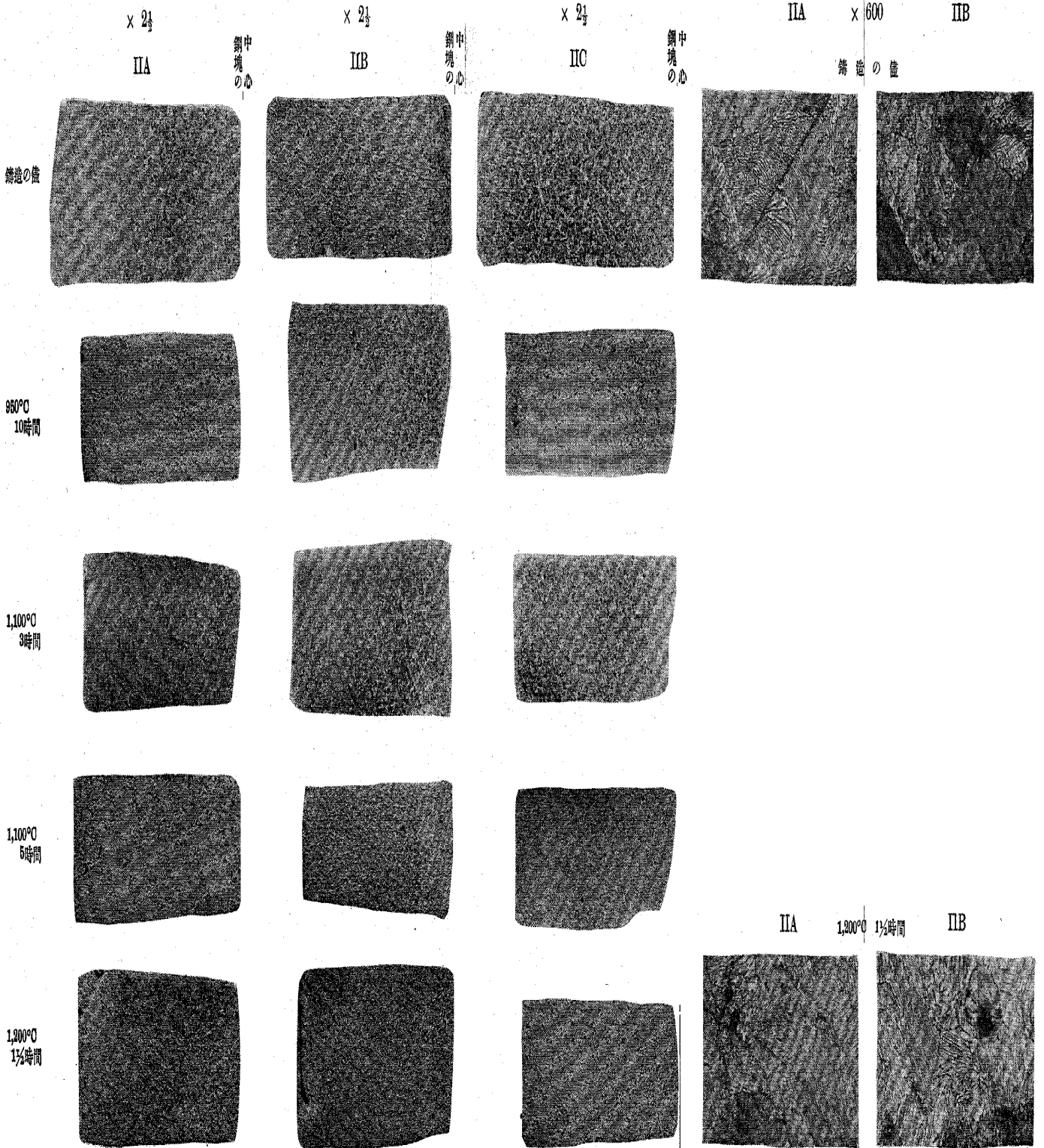


1,200°C 1時間



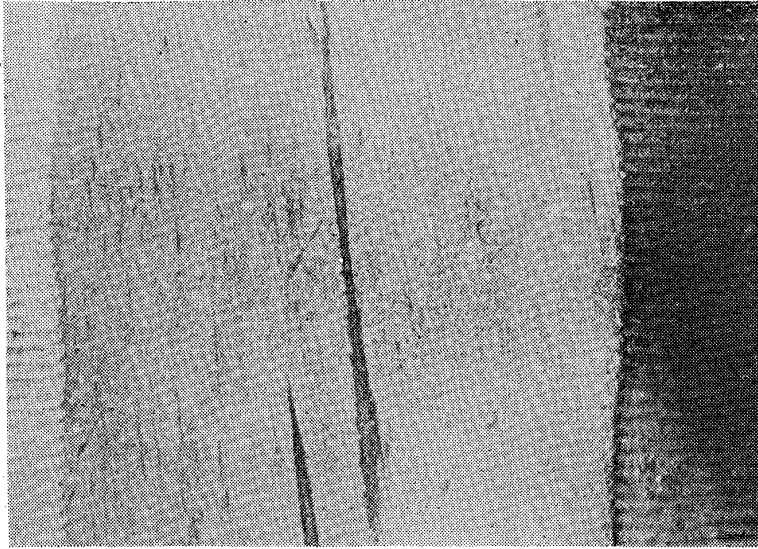
第三十圖

各試料中央部に於ける顯微鏡組織



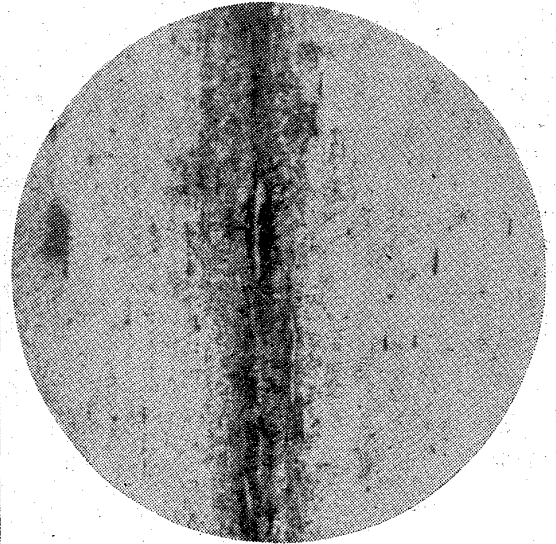
第二十圖 車軸材のゴースト

甲 × 3

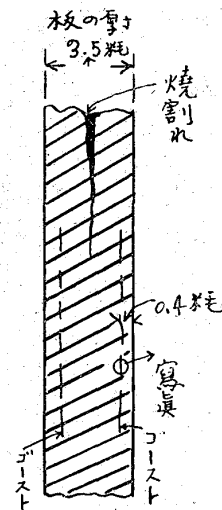
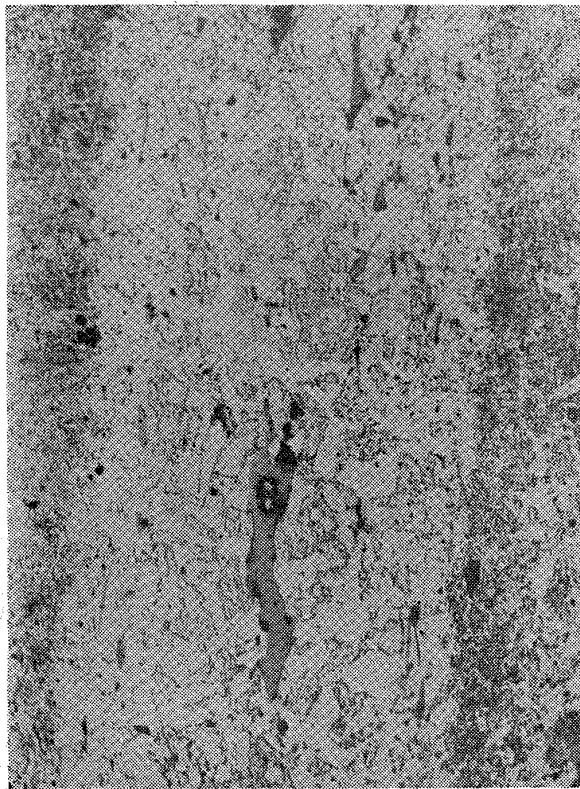


第二十一圖

× 150



乙 (甲のゴーストを拡大したるもの) × 80

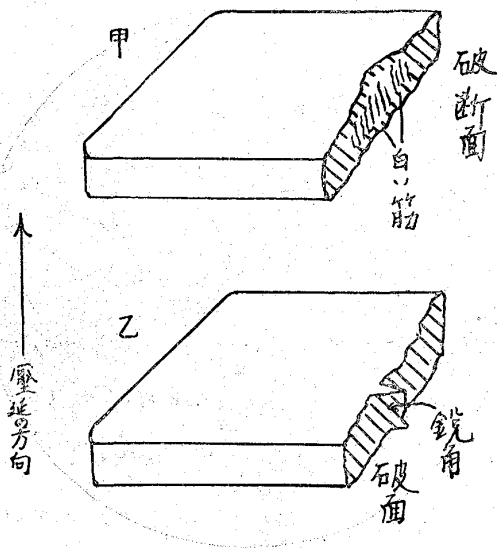


C = 0.48%
Si = 0.17
Mn = 0.43
P = 0.03
S = 0.02
Cu = 0.23
Ni = 3.15
Cr = 0.83

C Si Mn P S
0.34 0.13 0.63 0.02 0.03%

鹽基性平爐で製した炭素の高い鋼材を鍛錬の方向に直角に薄く切つて之れを 850°C. 前後から水中急冷して打折つて見ると第22圖甲の如き白い筋が出る事がある。之れの多く出る材料は延伸率や断面收縮率が小さいので不合格になる。此種の材料で白筋は左程出無いが焼入した物の破面が同一材料中で硬度が所に依り異なり第22圖乙の如く破面に鋭角の出来る事もある。私の研究した

第二十二圖

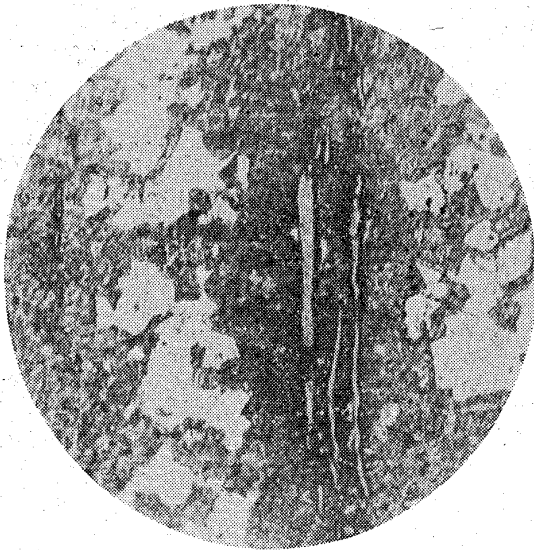


$C=0.53\%$ $Mn=0.80\%$ $Si=0.18\%$

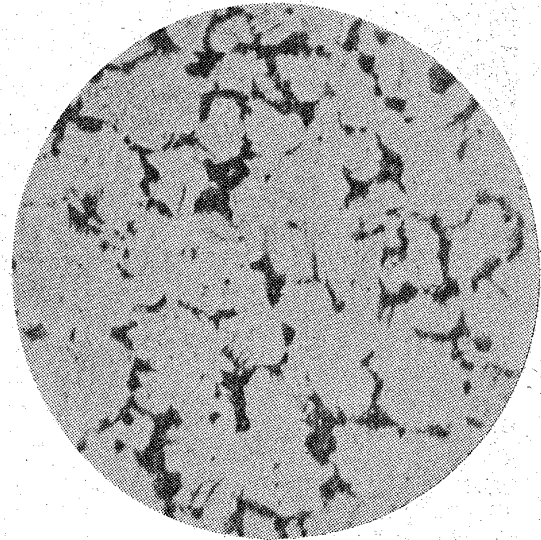
の様な成分の鹽基性平爐鋼に就て之れを檢鏡した所に依れば白筋の附近に微滓のある事が多いが必ずしもそうばかりで無い。第 23 圖甲は焼入れした試料で此白筋の附近に出て居た微滓を示す。同乙は同一試料中の滓の餘り見えない部分の焼入組織を示す。甲は小規模の散在偏析であるが滓が此様に明瞭に見えない事もある。概して銻鋼中に微滓の多い時は此缺點が甚だし。樹晶間隙に不純物が多く集積すると焼入れの際に此部分と他の部分との收縮率の差で歪を生じ疵が出る事もある。滓が多いと結晶粒相互間の凝集力を妨げ或

第二十三圖

甲
× 300



乙
× 300



は結晶粒の粒の不揃ひを生じ延伸率や断面收縮率を減じる。此缺點を除去するには製鋼に注意して精鍊の際に急激な酸化作用を避け仕上げに於て脱酸劑の加入に注意し滓が銻鋼に残る程度を少くせねばならぬ。即ち脱酸を充分に行ひ凝固中に瓦斯の發生を減じ氣泡を防ぐ事は大切であるが成可く少量の脱酸劑でそれがやれる様に湯を造り且つ脱酸生成物も注鋼迄によく浮上る様に處理し又注鋼の際にもノヅルの熔け込み其他滓の入る機會を出来る丈け減少せねばならぬ。

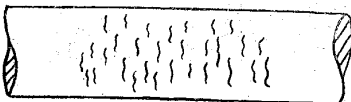
第三項 鋼材熱間加工に對する銅の影響

銅の鋼に及ぼす赤熱脆性に對する限界は人に依つて意見が區々である。例へば

研究者	赤熱脆性を現はす最小限の銅%
Lipin	1.6 (0.4% C)
"	4.7 (0.1% C)
Burges	2.0

其他の人の研究に依るも多くは 1.5% 以下の銅は鋼の赤熱脆性に影響が無いとせられて居る。⁽¹⁾ Ruer⁽²⁾ 及び Fick 兩氏の研究に依れば銅は 0.8% 迄は α 鐵に固溶し約 21% 迄は γ 鐵に固溶し得る。故に前述の如く鋼中に銅が可成り含まれて居ても赤熱脆性を呈せぬと云ふ事を必ずしも否定する譯では無いが實作業に於ては銅の含有量をもつと少ない事を望んで居る。

某所製鹽基性平爐鋼の成績から調べた結果に依ると表面に淺い龜裂の出るのも許さない程嚴選するならば已に銅 0.3% 以上は警戒を要する。即ち徑 $3\frac{3}{4}$ 吋以上、炭素 0.14% 前後の極軟管材約 3,000 噸のものに就て某氏の取調べに依ると銅の多い時に出る疵は略似たもので第 24 圖の様な状態を呈する。而して銅 0.3% 以下は合格率 100% であつたが夫れ以上のものは銅の増すに従ひ合格率が次ぎの如く漸減した。

第二十四圖	銅%	合格率%
	0.3~0.39	90
	0.4~0.49	70
	0.5~0.59	40

此含銅鋼に對する疵の出方は加工溫度にも關係がある。炭素 0.2% 内外及び炭素 0.8% 内外の鋼に就て私の研究した所に依れば 800°~900°C. 位で加工する時は疵が出ないが 1,000°~1,100°C. で出る。それ以上になると又疵が少なくなる。

試みに炭素 0.75% 前後の硬線材を熱間で牽引して切斷した試料の切斷部附近に出た表面の状態を検するに第 25 圖の如く 900°C. では餘り出ないが 1,050°C. では疵(牽引試料引伸しの方向に直角に出て居る多數の小疵)は著しく出る。然るに實際の仕上溫度が後者に近いから困る。又他の場合に含銅軟鋼を加熱屈曲試験を執行し屈曲面の疵を検した際にも略同様の結果を得た。此時 1,100°C. 以上で屈曲したものは疵の出方が減じた。

其他工場の經驗に依れば壓下を徐々に行ふ程疵の出方少なく又徑が非常に細くなる迄延せば徑の大きな製品(壓下率の少ない製品)程疵が出ない。

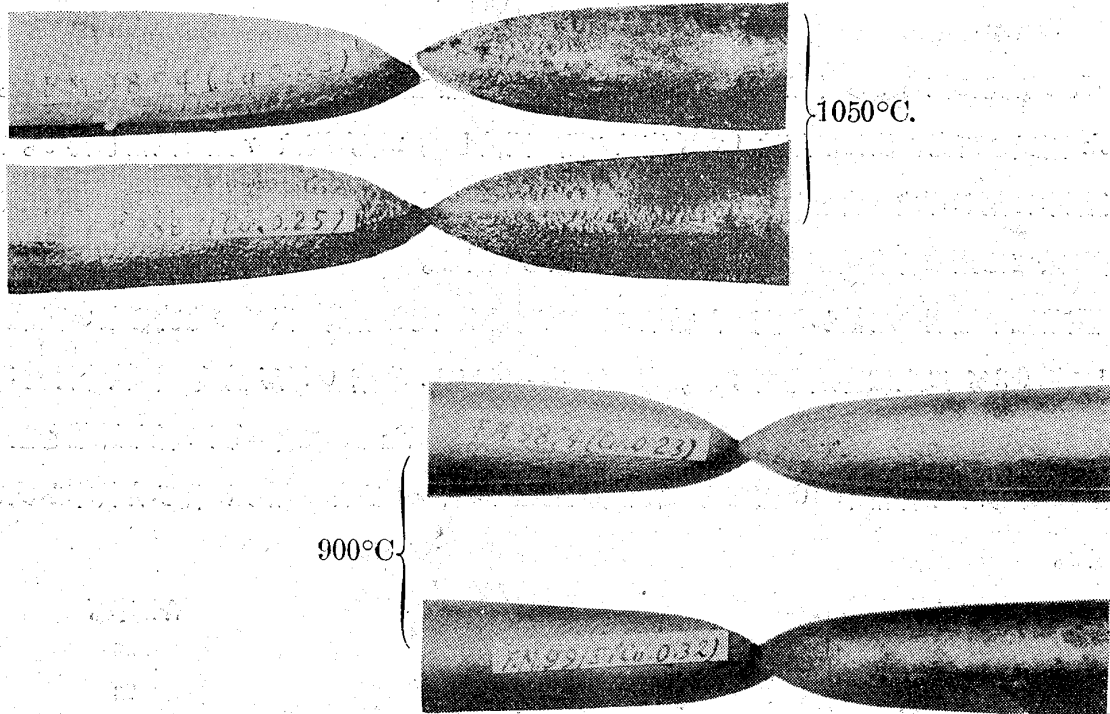
之等の結果から銅の鋼材に疵を出させる原因を推定すれば其一因として銅はクロームと等しく炭素鋼の組織の變化を遲緩ならしめるので銻鋼凝固後柱狀結晶の間隙又は樹晶間隙に銅の濃い偏析を生じたのが熱間加工中に於ても容易に擴散せぬので高熱に於て此間隙の銅の多い部分が比較的軟くなり樹晶と可塑性を異にし且つ相隣る結晶間の凝結力を弱め加工の際に疵を生ずる様な事があるらしい。

(1) Oberhoffer—Das technische Eisen, 1925, p. 214.

(2) " " " " p. 101.

(3) 其他の含有物 Mn 0.45%, Si 0.025%, S 0.025%, P 0.02% 位

第二十五圖 $\times 1\frac{1}{2}$



鋼材に酸化物、硫化物等の不純物の多い時は之等が樹晶間隙に集積し一層赤熱脆性を増すであらう。従つて同じ含銅量でも其赤熱脆性に對する影響は轉爐鋼や平爐鋼が坩堝鋼よりも甚だしいと思はれる。

1,100°C. 以上に高熱すると疵の減じるのはスケールの出來方が多くて疵の部分スケールになつて分離する事も一因であらうが又結晶が軟かく成つて其間隙の不純物の多い部分と可塑性が近づき又不純物が擴散して樹晶を消さんとする傾向を増すのではあるまいか。

又鋼材の壓下率を増すに従ひ或は壓下を徐々に行ふに従ひ疵の出方の減する理由は小疵がスケールになつて消える事及び樹晶が次第にねれる事と銅の擴散を助ける爲めとであらう。

前記の理由に依り赤熱脆性のない銅の最高限度が研究者に依り異なり或は又同じ工場で鑄製法及び含銅量其他の成分の似た鋼が時に依り其疵を出す成績に差があるのであらう。

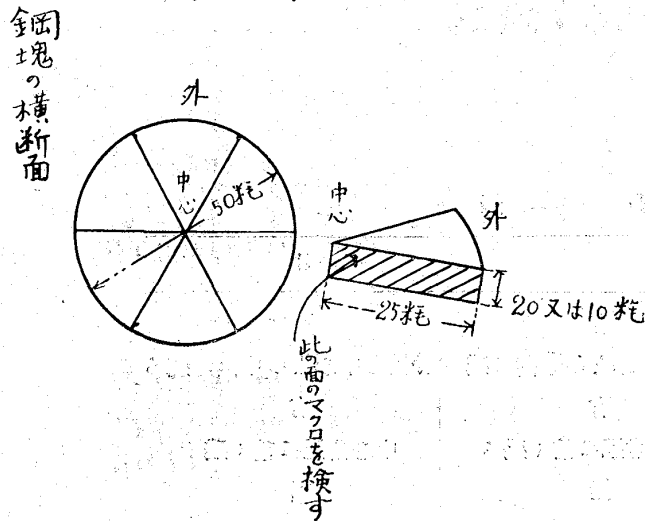
銅やクロームを含む炭素鋼が之等を含まない普通の炭素鋼に比して鑄鋼凝固後に樹晶の多く残る事及び之れを加熱し或は鍛鍊しても容易に樹晶が崩れないと云ふ事を證する爲めに下記の實驗を行つた。(1)

	C %	Cu %	Cr %	Si %	Mn %
A	0.56	—	—	0.52	0.50
B	0.46	0.48	—	0.61	0.43
C	0.42	—	0.53	0.56	0.45

(1) 東北帝國大學金屬工學科にて大正15年4月及び5月實驗

(1) 此鋼はクリプトル爐で鑄製したものであつて 1,500°C. の鑄鋼を 250°C. に加熱した金型に注入して直径 50 耗、高さ約 100 耗、重量約 $1\frac{1}{2}$ 匁の丸い鋼塊を製し圓に平行に厚さ 20 耗又は 10 耗の試料を採り各片を圓の中心を横切つて第 26 圖の如く等分して其儘のもの、焼鈍したもの及び鍛鍊したものに就きマクロを検した。焼鈍に當り酸化を防ぐ爲めに試料の表面をアルミナで厚く塗つた。焼鈍には 950°C. の時にはニクロム抵抗電氣爐を用ゐ 1,100°C. 以上は白金抵抗電氣爐を用ゐた。

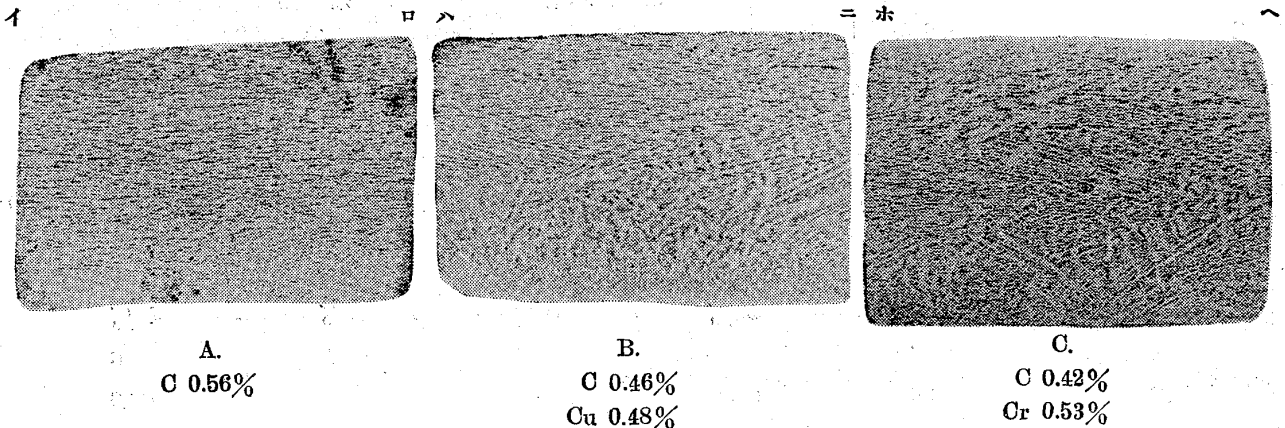
第二十六圖



(2) マクロの腐蝕はハンフレー (Humfrey) 法を用ゐた。其儘のもの及び焼鈍した試料は第 27 圖の如くなり、鍛鍊したものは第 28 圖の如くなる。鍛造試料は径 50 耗の鋼塊の中央から厚さ 30 耗の試料を圓に平行に切り之れを径 50 耗から径 25 耗の丸棒に加熱鍛造して第 29 圖の如く試料を取つて檢した。

第二十八圖 ×2½

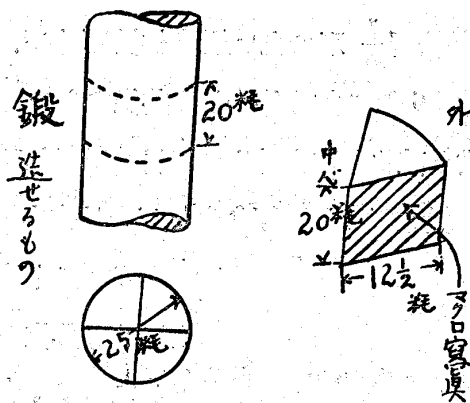
イ、ロ、ハ、ホへが鍛造した各鋼塊の中心 (第 29 圖参照) に當る。



- (1) 金型の内径 50 耗、外径 90 耗、高さ 185 耗、鑄鐵製。
- (2) 尚ほ長時間加熱するもの (例へば 950°C. で 30 時間) 及び高温度で加熱するもの (例へば 1,200°C. で 1 時間) は脱炭し易いから炭素鋼 (0.5% C) の圓筒 (外径 25 耗、外長 82 耗; 内径 17 耗、内長 45 耗) の螺旋附きの蓋のあるものを造り此中に試料を納め間隙をアルミナ粉末で填充し蓋をして圓筒の周圍を更にアルミナで塗つて爐中に入れた。
- (3) 試料を第一液に入れて後直ちに第二液に入れた。

腐蝕時間 (分)	配 合		
	第二鹽化銅 アンモニア	濃鹽酸	水
第一液 5	120 瓦	—	1,000 c.c.
第二液 20	120	60 c.c.	1,000

第三十九圖



其結果は次表の如くなる。

樹 晶 の 有 無

試料の処理法	A	B	C
鑄造の儘	微	有	有
鍛造せるもの	無	外側と中心との中間に残る	外側と中心との中間に残る
温度 950°C. 10時間	〃	有	有
〃 30	〃	中心附近に少々残る	中心附近に少々残る
〃 40	〃	無	無
1,100 3	〃	有	有
〃 7	〃	〃	〃
〃 10	〃	中心附近に有	殆 無
〃 15	〃	無	無
1,200 1	〃	中心附近に有	中心附近に有
〃 3	〃	無	無

尚ほ次ぎの成分を有する共析鋼 (Eutectoid steel) に近い鋼に就て同様の試験を行つた結果は第30圖の如くなる。

	C%	Ca%	Cr%	Si%	Mn%
IIA	0.92	—	—	0.27	0.16
IIB	0.89	0.52	—	0.26	0.16
IIC	0.94	—	0.55	0.28	0.18

鑄造の方法、試料の大きさ等は凡て第 27 圖の場合に準じて行つた。

次表は其結果を摘録したものである。

樹 晶 の 有 無

試料の処理法	IIA	IIB	IIC
鑄造の儘	殆無	有	有
温度 950°C. 10時間	無	中心附近に少々残る	無
1, 100 3	〃	少々残る	殆 無
〃 5	〃	無	〃
1, 200 1	〃	中心附近に少々残る	〃
〃 1 1/2	〃	無	〃

即ちクロームや銅を含まぬ普通の炭素鋼A（又はIIA）は鑄造の儘でも樹晶が非常に微少であるが銅を含むB鋼及びクロームを含むC鋼は樹晶が甚だしい。之れを鍛造してもB及びCは樹晶は消えない。之れを焼鈍する時は950°C.では10時間でもB、C共に樹晶が消え無いが、1,100°C.で10時間焼鈍したものはCは樹晶が殆ど消えるがBには少し残る。1,200°C.では僅か1時間でB、C共に樹晶が僅かになり3時間で消える。即ち銅又はクロームを含む鋼の樹晶は炭素鋼に比して消え難い。

炭素の之れよりも高いIIA, IIB, IIC試料でも之れに似た現象があるが前者に比して熱處理に依る樹晶の消失が早い。

炭素0.3%及び0.2%の鋼に就ても前同様の小鋼塊を鑄造したが試料切断面に樹晶が出なかつた（炭素0.2%のものには多數の気泡が出来た）。然し之れはハンフレー法で前述の程度に腐蝕した時の樹晶の有無を云ふのであつて腐蝕液又は方法を變へれば樹晶の見えなかつたものにも新たに現はれるかも知れぬが其程度迄實驗を進めて居ない。

又此實驗は坩堝で鑄製した僅か $1\frac{1}{2}$ 匁の小鋼塊に就て行つたのであつて大鋼塊で緩冷したものとか平爐鋼や轉爐鋼等に就て其儘之れがあてはまるとは云へない。

第三章 表面気泡

第一節 表面気泡の成因

第一項 半鎮静軟鋼の気泡の種類

充分鎮静の行はれて居る銻鋼を注意深く注げば気泡は餘り出来ないが收縮管が深く成るので押湯を付けなければ鋼の歩留りが非常に悪い。押湯を用ゐれば高價になつて價格の安い普通材には適せない。安價の低炭素鋼では熱間加工の際に気泡の鍛接するものは適度の気泡を残して收縮管の減少を計つて居るのがある。此種のものにあつては気泡の出る位置が肝要に成る。表面に近い気泡は後節に述べる如く加工上色々の缺點を生ずるので或程度迄之れを内部に深く納める必要がある。低炭素鋼でも鎮静を十分にすれば気泡は激減するが前述の如く收縮管を増し歩留りを減ずるのみならず用ゐる脱酸劑の種類に依つては（例へば珪素）之れを多量に加へると鋼質が脆くなり或は又鍛接性を減じて軟鋼の特長を減殺する事もある。反之鎮静が甚だしく不充分の時は鋼塊の全面に気泡が出る。故に或種の低炭素鋼では適度の鎮静に依り表面より或る深さに気泡を納め實用に差支へ無いものを造つて居る。

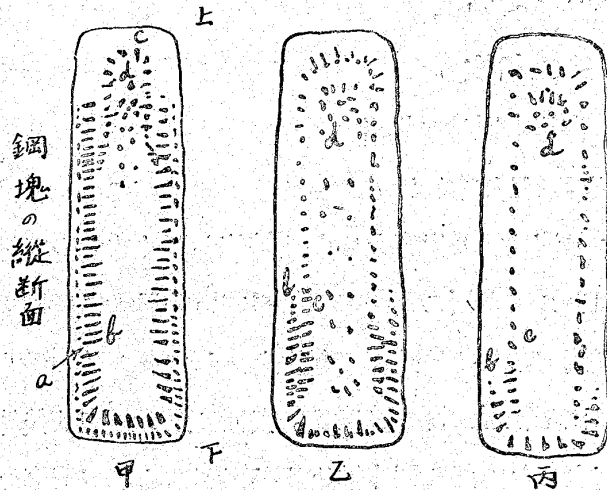
炭素の高い鋼及び多くの特種鋼では気泡は熱間加工の際に容易に鍛接せないから充分鎮静を行ひ気泡の出ない様にせねばならぬ。従つて此際は多くは押湯を用ゐて收縮管の減少をはかつて居る。以下述べる気泡は普通の半鎮静（現場で半殺しとも云ふ）した軟鋼（特に鹽基性平爐鋼）に就てのみ論ずるのである。軟鋼でも珪素等を相等に入れたものは気泡が餘り出ないから此種ものは除外する。

鋼の含む瓦斯には一酸化炭素、炭酸瓦斯、水素、窒素等がある。平爐及び轉爐では銻鋼が此等の瓦斯を多量に吸収する機會がある。又銻鋼中に還元し易い酸化物例へば第一酸化鐵の如きものが多いとそれと炭素とが反應して



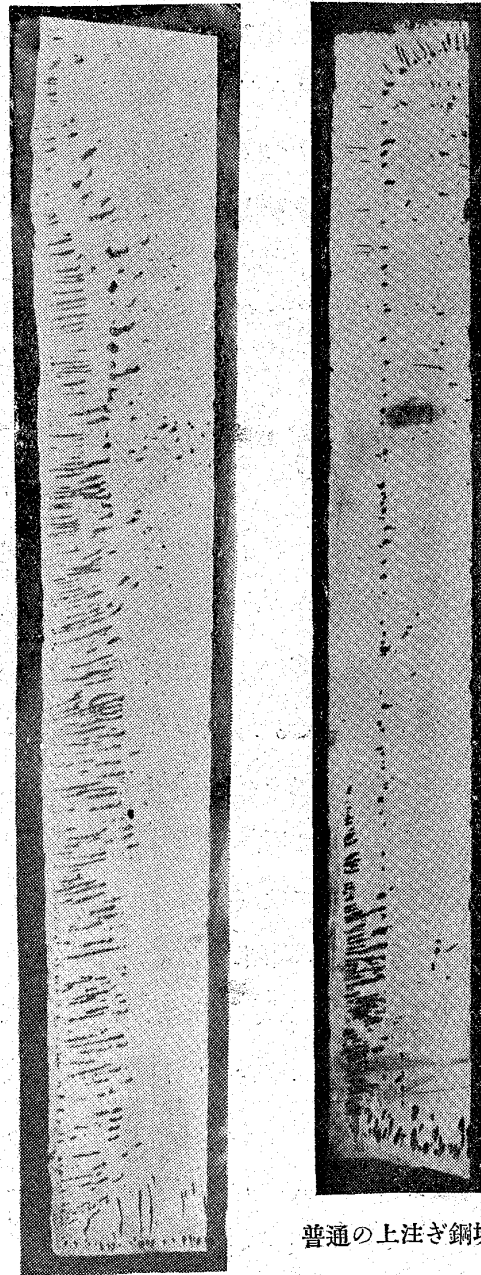
の様な作用に依り一酸化炭素を生成する。純鐵には炭素が無いから此種の反應に依る瓦斯は出来ない。鋼は熔融して居る時は多量の瓦斯を含み得るが凝固の際には其瓦斯飽和點が急に低下し尙ほ凝固後も冷却するに従ひ其飽和點が次第に減するものである。故に前述の如く 爐中で含んだ瓦斯及び出鋼後炭素の酸化に依り生成する瓦斯は銻鋼が凝固し温度が低下するに従ひ次第に過飽和の部分を放出する。銻鋼の流れがよく且つ瓦斯の逃げ路のある時は此放出する瓦斯は鋼塊外に脱出するが凝固前後に於て鋼の流れが悪くなると一部分の瓦斯は凝固部に封じ込まれて氣泡となる。凝固後も温度の下るに従ひ瓦斯の飽和點が下るので凝固當時は小氣泡であつても鋼質の未だ軟かい時は其後に出る瓦斯で廣げられる事もある。故に底注ぎの際に注鋼後鋼塊の上部に重い蓋をして氣泡の膨脹を防ぎ一方注入管から足し湯をして收縮管の補給をする様な作業もある。

第三十一圖



銻鋼の凝固は鋼塊の全断面の所に依つて異なるから注鋼後間も無く凝固する部分は過飽和の瓦斯が逃げ遅れて凝固部に閉込められる量が多いから徐々に凝固する部分とは氣泡の形を異にする。従つて氣泡の形は注鋼温度に依つても異なる。又銻鋼の含む瓦斯量に依つても氣泡の形は異なる。軟鋼程瓦斯を多く吸収する氣味があり且つ酸化鐵も多く溶解して居つて出鋼後炭素の酸化に依り生

(甲) x1/15 (乙)



各鋼塊縦断面の半面を示す(1)

押湯附上注ぎにて押湯の部分を切捨つ

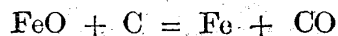
(1) 此寫眞は某氏の眞空注入試験報告書より轉載す。(甲)は眞空注入せるものにて鑄型の頂部を眞空ポンプに連結して注鋼開始後約2分間排氣せる際瓦斯爆發の爲め試験を中止す。C=0.13%, Mn=0.43%, Si=0.02%,

成する瓦斯も多く、加之鋼の凝固點が高く凝固部は高温で可塑性がよいので気泡が出来易い（尙ほ第4章第1節参照）。普通の半鎮静軟鋼には大體第31圖の様な気泡が出る。此内甲圖には次ぎの4種がある。

- (1) 外殻と柱状結晶との間に出るa気泡。
- (2) 相重なる柱状結晶の間隙に出る細長いb気泡。
- (3) b気泡の内側に當り鋼塊の稍々上部に出るc気泡。
- (4) 中央部に出て居るd気泡。

甲圖の如きは餘程急冷を受けた場合である。又半鎮静軟鋼では乙圖の如くaはbに合してb, c, dの3種の気泡が出て居るのが多い。鋼塊の下部の鎔鋼の流れが早く悪くなるもの程b気泡が多く出る様になる（急冷して温度の下る時又はクロームの様な鎔鋼の流れを悪くする元素の多い時）。c及びd気泡は其大きさが左程大ならねば板用鋼塊には差支へないが管材には其位置に注意を要する。b気泡は表面をやかましく言ふ材料には其位置に餘程注意せねばならぬ。炭素の非常に少ない（即ち凝固區間の殆ど無い）極軟鋼で非常に熱い湯を注げばb気泡の殆ど出無い事もある。第11圖は之れに屬する。

然し稍々炭素を含む軟鋼で餘り高熱の湯を注げば外殻が薄くなつてb気泡が外皮に近付くから後に加工の際に表面疵の原因をする。然し餘りぬるい湯を注げば鑄型内で瓦斯の脱出が充分に行はれないのでb気泡は横に長くなり且つ鋼塊の全高中に於て其出る範圍が増加し表面疵の危険を増す。b気泡の形には鎔鋼の含む瓦斯量と湯加減とが大いに關係する。適度の鎮静と適温の注鋼とに依りb気泡を表皮から適當の深さに納め加工の際に表面疵の出ぬ様に努めねばならぬ。軟鋼鋼塊中の外周の非常に急冷した部分には瓦斯の發散する暇の無い爲めに外皮から或深さ丈け気泡が殆ど無い所があるが外殻が或厚さに成つて其内側に多數の柱状結晶が發達するに及び瓦斯や不純物を出し其瓦斯が外部凝固部の厚さの増加と共に其大部分が内部の殘留鎔鋼の中に逃れ出でる。然るに鋼塊の下部の如きは底部からの冷却も行はれ内部の鎔鋼の温度が速かに下つて流れが悪くなり又鋼塊側面の凝固も下部に近い所では比較的急速に進行するので瓦斯の一部分は柱状結晶の間隙に残つてb気泡を生ずるのであらう。鋼塊の上部は内部の鎔鋼が永く流動性を保つて居るので柱状結晶間隙の瓦斯は内方に送り出されるので上に行くに従ひb気泡は幅が次第に狭くなり遂には無くなる。c気泡は第5圖でも説明したが柱状結晶が或深さ迄發達すると柱状結晶と中央の鎔鋼との間に不純物が濃厚な部分を生じ其熔融點が下り瓦斯を發散して居る内に中央部も凝固を始めるので瓦斯がc部に懸在した儘鐵が凝固冷却して粘性を失ひ此部分に気泡を生じたのであらう。此不純物の濃厚になる所には今迄含有して居る瓦斯を出すのみならず炭素を含む鋼では此部分に酸化鐵や炭素も集積して濃厚となるので



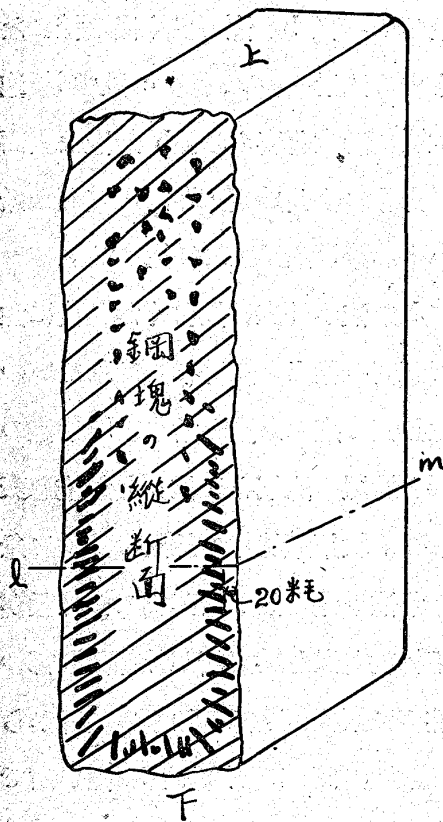
の様な反應で新たに瓦斯が出来事もあり得る。此反應が右に進むのは吸熱反應であつて熱の高い程著しく行はれる。鋼塊の下方のb気泡の多く出る附近ではc気泡は少なく上部に於てb気泡の減少する程c気泡が著しくなつて居る。鋼塊の上部が緩冷の爲めc気泡附近は下部に比し鋼が永く軟かい狀

態にあるので此氣泡が丸く良く發達するのであらう。

頂部附近ではc氣泡もd氣泡もある。之れは此附近が最も不純物が多く集積し且つ永く熔融状態にあるので頂部の凝固後も多量の瓦斯を出す爲めであらう。

第32圖は底注ぎ厚板鋼塊の横断面である。甲は稍々下部であつて柱狀結晶間隙に氣泡が出て居る。乙は別の底注ぎ厚板鋼塊の稍々上部の横断面で少しb氣泡もあるが主としてc氣泡が出て居る。第32圖甲鋼塊の縦断面は第33圖の如くなる。之れも上部にはc氣泡がある。b氣泡を鋼塊の表面よりどの位の深さに出せば表面疵を防ぎ得るかと云ふ事は後に之れを加工する程度に依る。永く鋼を焼きスケールが厚く出來るとか加熱加工の回數が多い爲め氣泡の表皮が薄く成ると云ふ様な時は此氣泡を深く納めねばならぬ。普通の3尺前後の厚板用鋼塊では此氣泡は成可く表面から20耗以上内側に納まる事を望み少なく共10耗より浅いのは困る。第32圖甲はb氣泡の外側の端が鋼塊外皮から20耗位の深さにある。

第三十三圖



第32圖甲はl-m断面に當る

元來軟鋼では左程大きく無い氣泡は壓延に依り實用上差支へ無い程度に鍛接するが顯微鏡的に全く其跡を消失するのでは無いから薄板の如きは壓延に依り表面氣泡鍛接部の表皮が薄く成るので酸洗ひの時等に表面に膨れの出來る事がある。殊に微滓の多いものには夫れが甚だしい。故に此種の材料には成可く氣泡の少ないものを用ゐねばならぬ。鋼質上或程度の氣泡が残るとしても之れを成可く表面より深くし且つ鑄製の際に鎮靜作用其他に注意して鑄鋼から充分微滓を分離させる様に努めねばならぬ。

第二項 表面氣泡の豫防法

不注意の注鋼をすれば鎮靜を充分行つた鋼でも表面氣泡が出來る。注鋼は靜かに行ひ鑄鋼が鑄型の底にあたり跳ね飛ぶ様な事を成可く少なくせねばならぬ。若し湯が跳ねると型の内周に凝固した鐵が粘り著いて酸化する。其内側に後から注がれた湯が第34圖の如く落ちると鋼塊の外周に近く酸化鐵が挿まれて表面が汚く成る(工場では通常鑄型の底板に凹みを付けて鑄鋼の跳ねる程度を輕減して居る)。尙ほ鑄型の内面に疵や凹凸のあるものや錆や酸化鐵等の著いたものを不注意に用ゐると表面氣泡の出來る事がある(工場では鑄型は使用前に内をよく掃除し内面にコーラタール、石灰水、煤等を塗つて居る)。是等の表面氣泡は前項に述べた柱狀結晶間に生ずるa及びb氣泡と必ずしも關係無しに出る。

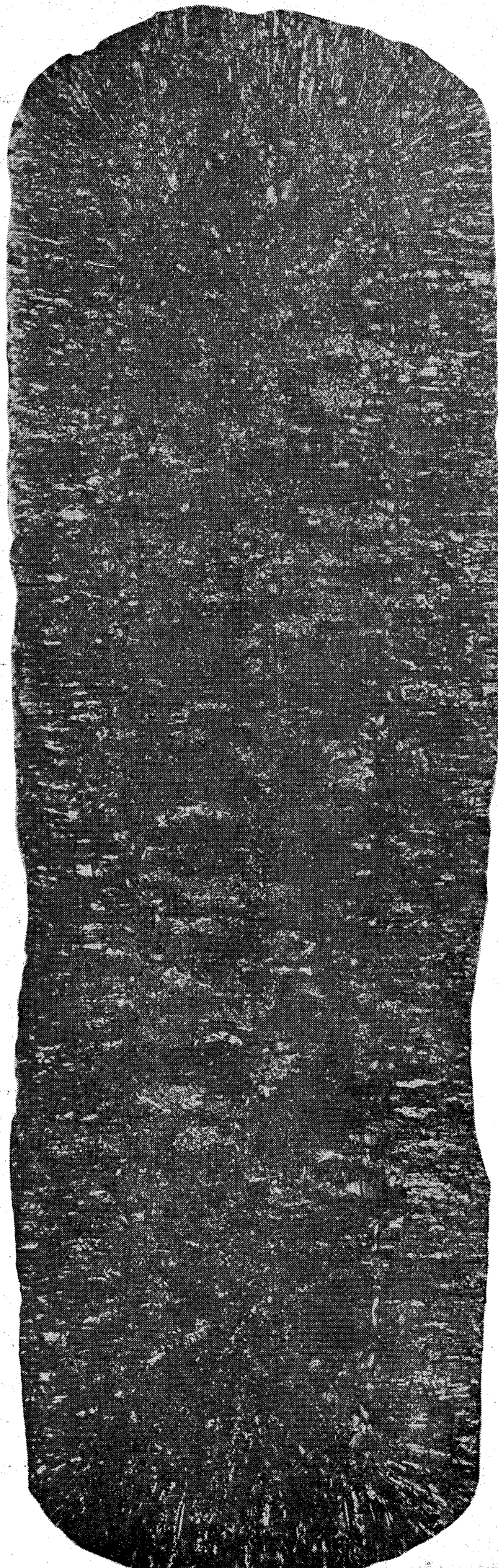
底注ぎは上注ぎに比して肌の綺麗な鋼塊が出來る。之れは上注ぎの如く高所から鑄鋼が鑄型の底板に當つて跳ね飛ぶ様な危険はない。又底から湯が上るので上注ぎに比し底部が熱いので前項第31圖に

第三十二圖 × 1/4

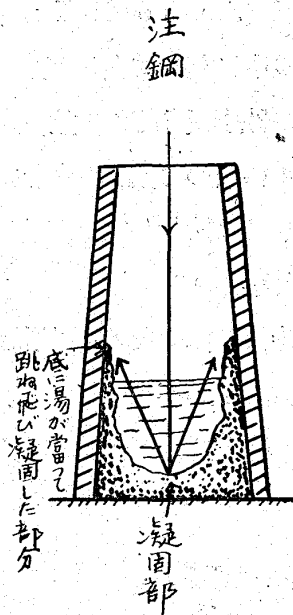
甲 (C=0.27%, Mn=0.64%, Si=0.03%)



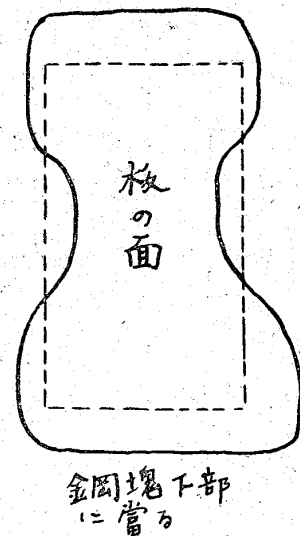
乙 (C=0.23%, Mn=0.42%, Si=0.02%)



第三十四圖



第三十五圖



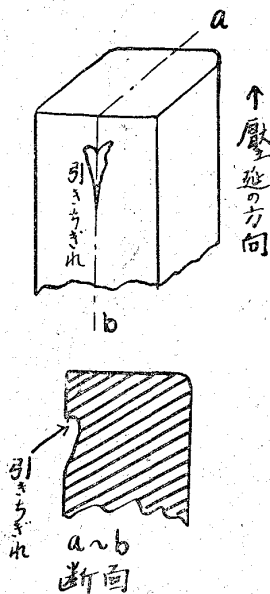
記した下方の柱狀結晶間隙に出るb氣泡の範圍(上下に亘る範圍)が狭まいから肌が破れて氣泡の出る恐れのある場所を減ずる。然し鋼塊の下部の熱いのは二次收縮管が下つて出来る危険を増し或は鋼塊の中央部の組織が粗鬆になり易い。私の研究した材料に厚板鋼塊を壓延した時に製品の厚板が第35圖の如き瓢箪形をなしたものが出来た。これには痘も多く出て居た。同じ注入管に連つて居た底注ぎ鋼塊で製した板は皆此形をして居た。所要寸法は點線の如きものであるから此板は不合格になつた。これは餘り熱い湯を注いだ爲めらしい。即ち柱狀結晶間の氣泡(前項b氣泡)が淺くなり痘を生じ且つ收縮管が下つて居たので中絞りになつたのである。

餘り大きな鋼塊になると餘程注意しても二次收縮管が出来易いから底注ぎにする鋼塊は大きさに或制限がある。底注ぎでは湯加減が六ヶ敷い。餘りぬるければ(或は鑄型が冷たければ)柱狀結晶間の氣泡即ち第31圖b氣泡の出る範圍が増し餘り熱ければb氣泡が淺く出る。故に適度の鎮靜をした湯を適度の湯加減で注がねばならぬ。底注ぎの際各鑄型に丁度よい湯加減のものが同時に上る爲めには共通の注入管を有する數個の鑄型は注入管から對稱の位置(或可く等距離)に置かねばならぬ。通常注入管に近い方の湯が熱くなる。底注ぎでは又湯路煉瓦の孔の中に煉瓦屑等の溜らぬ様に中を良く掃除し湯の中に此屑がまき込まれたり各孔道の斷面が變つたりせない様にせねばならぬ。又底注ぎの時鑄型の底を上る湯が成可く型の中心を眞上へに上る様に設計して外殼や柱狀結晶の厚さの片寄らぬ様に注意を要する。これは上注ぎで注鋼する時も同じて鑄型の中心部を湯が落ちる様に注がねばならぬ。

第二節 表面氣泡と鋼材の缺點

表面氣泡の爲めに鋼材壓延中に疵の出る事がある。炭素 0.1~0.25% 位の 2 噸餘の鋼塊を 1,150°C 前後で壓延する時に初め數回溝付ロール (Grooved roll) を通過させた頃 (鋼片にする迄には 20~40 回通す筈) 第36圖の如く表面が引裂ける事がある。これは表面氣泡が多くは其原因らしい。鋼塊の粗延 (Roughening) の際に出る疵で表面氣泡に基づくものが可成りある様である。

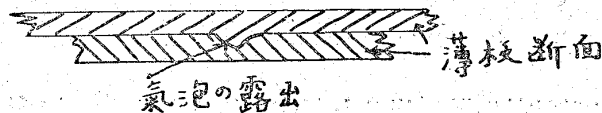
第三十六圖



又表面氣泡の爲めに壓延鋼材に筋 (Seams or Roaks) が出る事がある。不純物の多い時は之れが氣泡の中を集つて共に延びる。又熱間壓延中に或は酸洗ひ (Pickling) の際に鋼材に曇肌 (多數の膨れもの) が出來たり或は加熱の際に表皮がスケールになつて飛散し氣泡の所が現はれて酸化せられ鋼の表面に痘が出來たり又は酸化した表面氣泡のスケールが壓延した板の面に喰込んで残る様な事がある。

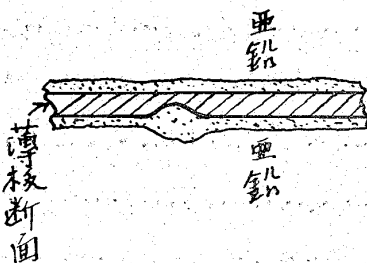
鐵力黑板にする薄板を壓延する時板が薄くなると 數枚重ねて赤熱してロールを通すが後に此重ねた板を引離す必要がある。此時氣泡が露出した板があると第37圖の如く他の板が氣泡中に喰込んで離れない事がある

第三十七圖



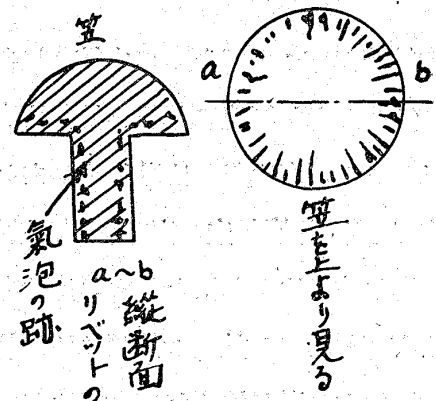
板を亜鉛鍍金する時に痘があると亜鉛が一樣の厚さに着かずに亜鉛槽中に入れた板の下方にある痘の部分に第38圖の如く鍍金が厚くつく事がある。之れは鍍金前に板を酸洗ひし尙ほ水で洗つて熔融亜鉛槽に入れるのであるから其際水が痘の部分に停滯した儘亜鉛槽に入り水蒸氣が出來て此附近に冷却が起り亜鉛が多く着くらしい。

第三十八圖



表面氣泡の多かつた材料でリベットを造ると氣泡は鍛接して居てもリベットを打つ時に笠の所に裂疵を生ずる事がある。但しリベットを餘り低温で打ち込めば氣泡の無い材料でも笠に疵の出る事がある(第39圖)。

第三十九圖



第四章 鑄鋼の鎮靜と脱酸劑

第一節 自然の鎮靜

鑄鋼が凝固冷却する迄に發生する瓦斯(一酸化炭素、炭酸瓦斯、水素、窒素等)には鑄鋼の吸収して居る瓦斯と、鑄鋼の含む還元し易い酸化物が炭素と反應して成生する瓦斯とがある。後者を無くするには炭素から還元され易い酸化物を成可く少なくせねばならぬ。炭素自らで此酸化物を還元すれば反應に依り新たに出來た酸化物は瓦斯(一酸化炭素)であるから好時機にそれが鑄鋼から脱出し且つ實際爐の他の作用を害せぬならばあとに有害な滓なども残る事が無いので最も都合が宜しい。然し若し此

(1) 即ち赤熱以下の青脆性 (Blue shortness) を起す程度の加熱状態。

の還元し易い酸化物を除去するに之れを還元し難い酸化物に滓化する作用を用ゐる時は此滓が凝固した鋼に残ると有害であるから成可く早く之れを鎔鋼から除去させねばならぬ。故に有效なる鎮靜は次ぎの三作用に俟つのである。

- a. 鎔鋼の瓦斯吸収量を減少させる事。
- b. 炭素にて還元され易い酸化物を成可く除去する事。
- c. 若し鎮靜の結果鎔鋼中に滓が出来るならば成可く早く之れを脱離させる事。

鋼塊の偏析、含滓及び氣泡は鎔鋼の鎮靜程度に依り色々影響を受ける。鎮靜には脱酸劑加入前に爐況に應じて或程度迄進行する緩漫な鎮靜と、湯を仕上げる頃に脱酸劑を入れて行ふ稍々急激な鎮靜とがある。

鎔鋼が所要の成分に成つて未だ脱酸劑を入れ無い時の湯に鎮靜程度の多少があつて之れに應じて後に入れる脱酸劑の歩留りに多少がある。脱酸劑加入前に於ても湯を高熱する事に依つて或程度の鎮靜を行ふ事が出来る (Thermo-chemical killing)。又鋼の溶解後の精鍊作用 (酸化作用) を徐々に行ふ時は仕上げた湯のあれる程度が少ない。此様な方法に依り爐況を調節して得た脱酸劑加入前の湯の鎮靜程度を假りに自然の鎮靜と命名する。自然の鎮靜と云ふのは脱酸劑を加へる急激の鎮靜に對して假りに命名した迄であつて其鎮靜の機構に於ては兩者の間に明瞭な區別は無い。例へば鎔鋼の中に初めから滿俺等が多ければ自然の鎮靜がよく行はれるが之れは脱酸劑として滿俺鐵を加へて行ふ急激の鎮靜と其機構は等しいが唯其作用が徐々に進行するので脱酸成生物 (滓等) が鎔鋼からよく分離する。優良な鋼を造るには成可く自然の鎮靜を多くし、出来る限り少量の脱酸劑を使用する様にせねばならぬ。脱酸劑は主として出鋼前後に加へるので稍々もすれば脱酸成生物が鋼塊中に残つて滓 (Sonims) を増し鋼質を害する恐れがある。坩堝鋼が電氣鋼に優り電氣鋼が平爐鋼に優り平爐鋼が轉爐鋼に優る一因は前者程自然の鎮靜が良く行はれて居る爲めである。⁽¹⁾ 此他に燐や硫黃等の關係もある。

自然の鎮靜には鎔鋼と接觸する外圍氣 (Atmosphere) の影響がある。坩堝鋼は原料を精選し外氣を遮斷し酸化作用を行はずして單に溶解作用だけで鋼を造るから瓦斯を含む量が少ない。電氣鋼は熱度の調節が自由であり且つ電熱であるから外氣の遮斷も自由に出来るので鎔鋼中に酸化物を少なくする事が出来る。平爐鋼になると瓦斯燃料と鎔鋼が直接に接觸するから前二者より酸化物及び瓦斯を多く含む。轉爐鋼は鎔鋼の底から空氣を吸い込み短時間内に酸化作用を行はせるのであるから最も多く瓦斯を含む。

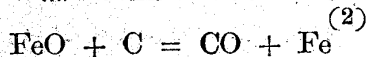
自然の鎮靜は又鋼滓の成分が大いに影響する。例へば鹽基性平爐鋼であると鋼滓中の主なる鹽基が石灰であるから夫れより鹽基性の弱い第一酸化鐵が鋼滓中に多くなれば鎔鋼中にも第一酸化鐵を増す事になり酸性に比し酸化が急激に進行する氣味があり自然の鎮靜を行はせるには非常な注意を要す

(1) 著者「鋼の良否と加工」(3) (金屬の研究第二卷第九號) 參照。

る。鹽基性で自然の鎮靜を良く行ふ一方法として鋼滓中に石灰を高めて酸化鐵を減少（此時鋼滓中の第一酸化滿俺も減じて滿俺が幾分湯に歸へる事もある）させる事があるが石灰の増す程滓の熔融點が高まるから爐熱を高めて行かねばならぬ。⁽¹⁾或程度以上爐熱を高める事は煉瓦がもたぬ事になる。尤も仕事の巧拙は此處にあつて發生爐瓦斯が充分燃えて其焰が都合よく湯の表面を甜めて之れに熱を傳へてポート（Port）に逃げる様にすれば比較的煉瓦を痛めずに有効に湯の熱を上げ得るが操業が悪いと例へば天井を焰が甜める様な事になつて燃料は多く消費し湯の熱は上らず煉瓦は溶かすと云ふ様な事になる。

酸性平爐鋼では鋼滓の主成分が珪酸であつて第一酸化鐵が之れと或比例で化合物を造つて居るものと想像せられる。故に鹽基性平爐鋼滓の場合に比し鋼滓中の酸化鐵の%が多くとも其割合に鎔鋼中に之れが溶け込んで居ないので酸化作用が比較的徐々に行はれる。又鋼滓の熔融溫度も割合低いので煉瓦の痛まぬ程度に爐熱を上げ鋼滓中の過量の酸化鐵を還元させ爐況に依つては珪酸迄も還元させ珪素を鎔鋼中に返す事も出来る。斯くすれば自然の鎮靜が良く行はれて來たのである。此種のもは坩堝鋼や電氣鋼に近い優良な鋼塊が出来る。

自然の鎮靜を良く行はせるには精鍊の終りに近づくに従ひ酸化精鍊作用を徐々に行はせ過量の酸化鐵が鎔鋼中に残る程度を成可く減少せしめねばならぬ。斯くすれば精鍊時間を永引かず事になるが裝入物が溶解する迄の時間は早くしてよい。故に溶解迄の爐熱は爐材の痛まぬ限り早く上げる事に努めるがよからう。湯の熱が或溫度迄高まると炭素が盛に燃え



の作用で一酸化炭素を盛に發生するので沸騰が顯著になる。それ迄に熱の低い内に珪素、滿俺又は鹽基性の時は隣も大部分除去されて、之れに依つて湯の熱を上げる事を助ける。成可く沸騰前に之等を必要程度迄滓化させて此滓の湯に残るものは沸騰期によく凝集除去させるように努める。酸性平爐では溶解後沸騰期迄可成り時間があるが鹽基性平爐では此間が急激に來る。

鑛石は沸騰期以前に餘り多く加へてはならぬ。此以前に多量に入れると湯の熱が或程度迄昇らねば鑛石のきゝめがわからぬから稍々もすれば之れを過量に入れる恐れがある。沸騰が始まる迄は鎔鋼の含む酸素量の豫想もつきかねるので加ふべき鑛石はどの位が適量かと云ふ見當もつきかねる。

鎔鋼の沸騰期は其中に懸濁（Suspend）する過飽和の滓を攪拌凝集させて之れを速かに鎔鋼の表面に分離する作用があるから流れの良い湯を造り活潑な沸騰期を相當時間持續させる事は鎔鋼を清淨する上に重要である。又成可く沸騰期以前に炭素以外の不純物を必要程度迄滓化する事が望ましい。然るに裝入物に此種の不純物を多量に含む時は沸騰期に至り相當に湯の中に之れが残つて居るのは止む

(1) 鑛石を加へて流れを良くする事も出来るが注意せぬと床を蝕される。

(2) 此反應は吸熱反應だから沸騰期には爐の熱が降り勝ちであつて充分注意して爐熱をもたせる様に努めねばならぬ。然し沸騰に依り爐熱をよく湯に傳へるから湯の底迄あつくなる。之れは爐底を蝕される危険はあるが精鍊が湯全體に均等に進行するので都合がよい。

を得ない。

溶解迄の時間を早くするには装入物の溶解温度は低い方がよい。又沸騰期を相當に持續するには湯に適量の炭素がなくてはならぬ。故に装入物中に適量の銑鐵を配合するのは望む處である。然し之れが過量になると精鍊時間も永引き、滓も増し、爐材の熔蝕も増し、且つ沸騰期に餘り急激に爐熱が下るのでよく無い。用ゐる銑鐵は溶解温度の低いものがよい。従つて木炭銑鐵は骸炭銑鐵よりよい。又銑鐵中の炭素は磷や硫黄の多くならない限り黒鉛の小さいもの又は化合炭素の多いものが大きな黒鉛の出で居るものよりも早く熔けるので好ましい。

爐熱を上げるには瓦斯だけではのろいから装入物中には適量の滿俺や珪素のあるのは必要であるが此等が過度に多いと炭素の酸化が遅緩し沸騰期が遅れる事になる（然し餘り少なければ又熱の上りの遅い爲め沸騰期が遅れる）。溶解後餘りに沸騰期が遅れると沸騰迄に多少の脱炭が繼續するので沸騰期に入り炭素量が少なくなつて沸騰する時期も短い。故に脱滓上よくない。（爐床の熔融を甚だしくする様な激しい沸騰は好ましからぬが適度の沸騰期を望む）。故に装入物中に鋼屑 (Scrap) の割合が非常に多い時に溶解に手間取るので熱を上げる爲めに酸性法等で滿俺鐵や珪素鐵を溶解前多量に加へる事が間々あるが之れは炭素の少ない上に滓が多く出来るから沸騰期に離滓が充分行はれぬ爲め後にゴースト等の危険が増すのではあるまいか。従つて鋼屑のみの製鋼は良鋼製造上可成り困難が伴ふであらう。

精鍊を非常に徐々に行ふ覺悟で酸化鐵も殆ど用ゐず時間を惜まず湯を長時間爐中に相當高熱に保持するならば脱滓は充分出来るのであるから滿俺の多い程鋼滓中の酸化鐵は減じ湯のあれるのを防ぎ得て良鋼を得る譯けであるが酸性平爐では爐が甚だしく蝕され且工賃及び滿俺の費用も加はるので非常に高價の材料にしか應用出来無い。但此際でも鋼を爐中に置く時間に應じて装入當時の炭素量は適度にある方が湯の流れも良く離滓上好都合であり且又炭素も一種の脱酸劑であるので滿俺の經濟にも成る。（爐中に永く置く程装入物中の炭素を多くしてよい）。

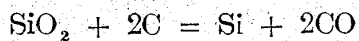
普通の作業の様に短時間で製鋼を行ふ場合でも銑鋼中に滿俺のある事は湯の中に過量の酸化鐵の残るのを防ぐ（此他脱硫を助ける）ので此點から見れば望ましい。約言すれば滿俺が初めに過量にあれば沸騰期をのろくして脱滓上有害であるが一方に於ては仕上頃に湯のあれるのを防ぐ效力がある。此滿俺の兩作用は或範圍に於て同一機構(1)に基くものである。珪素も亦之れに似た作用がある。故に製鋼技術者は是等の點を巧みに調節せねばならぬ。故に平爐で良鋼を造るには沸騰後鹽基性では滓に適度の酸化滿俺を含ませ、精鍊を成可く徐々に行ひ酸化鐵が湯に餘り残らぬ様に努め、仕上げ頃迄に爐熱を上げ且つ銑滓の石灰を高め滓の鐵及び滿俺が幾分湯に返へる位にして湯中に最後迄残留する微滓を還元するのが理想であらう。或は湯が相當に脱炭した後に滓を一度除去して或装入物に依り新たに滿

(1) 滿俺が滓化して有害であると云ふ事と滿俺が第一酸化鐵の様な炭素に還元され易いものを酸化除去する爲め鎮静に有效であると云ふ事とは同一作用である。

(1) 俺に富む滓を造り、湯の満俺もそれに應じて増加する様にして良鋼を製する例もある。又酸性では鋼滓の關係から鹽基性に比し精鍊は徐々に進行するが初め珪素を湯から落して精鍊の終りに近づく程鑛石加入量を注意して減少して行き最後の鑛石投入後成可く遅く湯出しをする様に調子を取り鋼滓中の酸化鐵を成可く減少させ仕上げに近付き爐熱を上げ珪素が湯に返へる様にし湯の中の酸化鐵を成可く多く還元させるのが理想であらう。

何れにしても最後に満俺又は珪素の湯に歸へる事は湯の含む酸化物も還元されて減少した事を示すもので湯の含滓の減少を立證する。

銻鋼仕上期に於て爐熱を上げるのは自然の鎮靜を行ふ一方法である。例へば酸性平爐に於ては鋼滓が中性に成つた頃に湯の熱を上げれば珪素が湯に歸へる。此時に



等の作用があつてCOが出るので多少の沸騰も起る。故に銻鋼中に懸濁する滓を還元し又は機械的に之れを攪拌浮遊させて湯を淨化する。仕上期に爐熱を上げて此鎮靜作用を起させる所要溫度は高炭素鋼程低くてよい。但し銻鋼の溫度を上げると瓦斯の吸収量を増すと云ふ現場員もある。此點に就ては鋼の熔融點が餘り高いので未だ科學的に研究せられて居ないが銑鐵に就て岩瀨氏が次ぎの様な實驗の結果を發表して居る。(2)

(1) 伊太利の或工場の記録に依るとニツケル・クロム鋼を鹽基性平爐で銻製する時に湯中の炭素0.06%、満俺0.09%位に成つた時に滓を大部分出して新たに軟満俺鐵及び骸炭と珪素鐵との混合物を加へて1時間計りの後に湯中の満俺が0.31%位に上り其後半時間位經て出鋼し非常に良い鋼が出来たと云ふ。
(Giolitti, Jour. of Iron and Steel Inst., 1923 II, p. 40)

(2) 本誌XII, No. 1 (大正15年1月), pp. 35~61.

表中の數字は氏が實驗の結果を曲線に示したのから概數を出したものである。尙ほ氏は銻鋼に就いては溫度が高いので實驗して居無いが銻銑よりも瓦斯の飽和量が多いものと想像して居る。氏の實驗した固相の純鐵は固相の銑鐵に比し同溫度に於て瓦斯の飽和量が多い。尙ほ純鐵を加熱するとAc₃點(900°C.)でα鐵がγ鐵に變化する時瓦斯の飽和量が急に増加する。即ち次表の如く成つて居る。

固相の純鐵の瓦斯飽和量 (試料100瓦の吸収量)

溫度 °C.	水素 c.c.	窒素 c.c.	酸化炭素(CO+CO ₂) (CO=80%) c.c.
300	4	—	—
600	9	1	—
900	13	2	—
925	—	—	27
950	21	3	—
1000	26	4.5	25
1070	—	—	22
1100	37	—	—

銑鐵中の瓦斯飽和量 (試料100瓦の吸収量)

温 度 °C	水素 c.c.		窒素 c.c.		酸化炭素(CO+CO ₂)c.c.	
	4.3%C	3.5%C	4.3%C	3.5%C	4.3%C (CO=98%)	3.5%C (CO=85%)
固相 {	1050	11	—	—	—	—
	1100	6	—	—	—	—
液相 {	1150	22	18	21	160	205
	1200	26	20	30	135	190
	1250	32	22	36	115	170
		21				

之れに依れば凝固前に比し凝固後の銑鐵の水素瓦斯飽和量は急激に減少する。そして固相に於ては水素瓦斯の飽和量は温度の上る程多くなる。液相に於ては水素及び窒素瓦斯の飽和量は温度の上る程多くなるが酸化炭素(CO+CO₂)は此反對で温度の上る程瓦斯飽和量が減じて居る。而して酸化炭素の銑鉄に對する飽和量は1,150~1,250°C. に於て水素や窒素の12~5倍に當つて居る。又銑鉄の瓦斯の飽和量は炭素の少ない程多い。氏は之れより類推して瓦斯の飽和吸収量は、純鐵が最大で、鋼は其炭素の増加に伴つて減少し、銑鐵はそれより餘程減少するものと考へて居る。然し實作業に於ては銑鋼が多少の酸化鐵を含むので前にも述べた様に(第3章第1節第1項) $FeO + C = CO + Fe$ の様な反應でCO瓦斯を生成するから軟鋼は凝固の際に純鐵又は高炭素鋼よりも瓦斯を多く出す様である。又氏の實驗に依れば銑鉄が瓦斯を飽和するには1~5時間位かゝつて居る(窒素は最も早い)。銑鋼に於ても瓦斯を飽和するには或時間を要する事と思はれる。以上の點より次ぎの事が推論される。

1. 銑鋼に於ても銑鉄の場合の様に、高温に上げる程窒素や水素の吸収量を増し、酸化炭素の吸収量を減じ、酸化炭素の吸収率は窒素や水素の數倍であると假定すれば、若し銑鋼が前記の諸瓦斯を飽和して居るとすれば温度を上げる事に依り瓦斯吸収量は減少するのではあるまいか。

2. 加熱に使用する燃焼瓦斯が酸素を多く含む時は銑鋼に酸化作用を及ぼす。若し斯くして酸素を供給すれば前記の高熱に依る鎮静作用を無効にする。此意味に於て平爐で鎮静する事と密閉した坩堝で高熱鎮静を行ふのとは多少意味が異なる。

3. 若し銑鋼に瓦斯が飽和して居ないならば瓦斯のある所で永く加熱すれば瓦斯の吸収量を増す。

故に現場員の或者が高熱すると瓦斯の吸収量を増すと云うて居るのは各方面から吟味して見ねばならぬ事である。此結果から考へると平爐で湯を仕上げる時は、金屬酸化物の成可く少ない適度の流動性のある鋼滓を造り、燃料瓦斯を充分通して燃焼瓦斯中の酸素を少なくし銑鋼の酸化を成可く防ぎ、爐熱を充分上げ滓を浮かせ酸化鐵を減じて出鋼するのが理想であらう(但し注鋼温度との關係は別問題である)。

(1) 本誌同前 p. 41.

(2) 同 pp. 41, 46, 52.

第二節 脱酸劑に就て

銻鋼は自然の鎮靜だけでは完全で無いので出鋼前後に脱酸劑を使用する。(1)

脱酸劑に依る鎮靜と自然の鎮靜とは其機構は等しいが前者の作用が急激であると云ふ事は前節に述べた。即ち脱酸劑の働きは銻鋼中の炭素で還元され易い酸化物を減じ又は銻鋼凝固中の瓦斯の發生量を減ずるにある。作業上では脱酸劑の効果は其加入に依り鋼塊の氣泡を除く程度で想像する。

(2) Brinell氏が嘗て工場で多數の鋼塊の氣泡を調べた結果を綜合し鋼塊の分析から $Mn + 5.2 \times Si = T\%$ の様な關係を見出し氣泡の出ない健全な鋼塊 (Ingots of a perfect density) を造るには $T = 1.66\%$ を要し、珪素は滿俺の 5.2 倍の効果があつて例へば珪素の無い時は滿俺 1.66%、滿俺の無い時は珪素 0.32% を要し、尙ほ滿俺又は珪素と同じ効果をアルミニウムで得んとすれば之を 0.0184% 加へたらよいと述べて居る。即アルミニウムは滿俺の 90 倍、珪素の 17.3 倍の効果がある事になる。

氣泡を除去するには單に炭素に依つて還元され易い酸化物を少なくするのみならず銻鋼の瓦斯の吸收量を減ずる事も一條件であるが脱酸劑に果して後者の作用があるか否か今の所不明である。瓦斯量の減少は無くとも脱酸劑加入に依り瓦斯が鋼中で化合物生成等に依り氣泡を減ずるかも知れぬが其機構も未だ明かでない。

脱酸劑が還元され易い酸化物を還元され難い酸化物に變ずる能力は銻鋼中の種々の酸化物の解離壓 (Dissociation pressure) と關係がある。他の條件が等しいとすれば一般に定温定壓に於て解離壓の低い酸化物を生成する様な元素は解離壓の高い酸化物を生成する様な元素よりも酸素當量で比較して脱酸能力が大きい。Styri氏が Nernst 氏の式を用ゐて FeO, MnO 及び SiO₂ の 1500~1700°C. での解離壓を計算して次ぎの値を出して居る。(3)

	1500°C.	1600°C.	1700°C.
FeO	10 ^{-8.6} 氣壓	10 ^{-7.6} 氣壓	10 ^{-6.6} 氣壓
MnO	10 ^{-14.7}	10 ^{-13.6}	10 ^{-12.4}
SiO ₂	10 ^{-15.9}	10 ^{-14.6}	10 ^{-13.4}

尙ほ Nernst 氏の式を用ゐて Al₂O₃ の解離壓を計算すれば次の如くなる。(4)

(1) 脱酸劑に關しては著者「製鋼作業に於ける脱酸及び脱硫に就て」(本誌, 大正14年11月)参照。

(2) Jour. of Iron and Steel Inst., I, (1902), p. 350.

(3) Jour. " " II, (1923), pp. 204, 207, 208.

(4) Nernst の式

$$\log p_{O_2} = \frac{Q_0}{4.571 T} - \Sigma g \cdot 1.75 \cdot \log T - \frac{(\Sigma nb + \Sigma g\beta)}{4.571} T - \Sigma gC$$

$$\Sigma nb + \Sigma g\beta = \frac{\Sigma nS + \Sigma gG - \Sigma g3.5}{2 T}$$

p_{O_2} = 酸素瓦斯の分壓 (Partial pressure of the oxygen gas)

Q_0 = 絶對零度の反應熱 (Heat of reaction at the absolute zero degree)

T = 絶對溫度 (Absolute temperature)

Σg = 瓦斯分子の代數的和 (Sum of gas molecules)

C = 化學恒數 (Chemical constant) (次頁脚註に續く)

脱酸劑を加へた後其脱酸生成物の或量は分離して後尙ほ湯の中に懸濁し或は湯の溫度の降下と共に溶解して居たのが次第に滓化するのもある様であるが之等が鋼の凝固後に其中に残ると鋼質を害する。故に自然の鎮靜を多くし精鍊中に生じた滓の銻鋼中に懸濁するものを成可くよく浮遊させ後に加へる脱酸劑の量を減すると共に之れを成可く有効に使用せねばならぬ。自然の鎮靜には前節に述べた様に鋼滓の成分、湯の熱、其他操業法の注意を要する。脱酸生成物を除去するには脱酸劑の使用を成可く出鋼前に済せるがよいが鹽基性法では復燐等の事があつて理想通りに行かぬ事もある。脱酸生成物を浮上らせるには湯を熱くして其流れをよくすると効果がある。⁽¹⁾此際銻鋼中に残る酸化鐵が更に炭素と反應して一酸化炭素を出し化學的に脱酸を助けるのみならず湯を軽く攪拌して機械的に脱酸生成物を凝集浮遊させる作用をする事は前に述べた。多量に用ゐる脱酸劑は成可く暖めるか熔かして入れるのが有効である。かくすれば脱酸劑が早くきくから其加入量を幾分節約し得る特點があり尙ほ脱酸生成物の浮遊時間を長くする利益がある。

第五章 結 論

1. 鋼質（主として鹽基性平爐鋼）の加工上に及ぼす缺點中某作業工場で自ら出會した實例に就て其原因を研究したもののの中から鋼塊の偏析又は表面氣泡に起因するものを集め其理由を明かにした。
2. 含銅鋼の壓延疵に就て實驗室の研究の結果及び作業工場の成績から樹晶が其一因ではあるまいかと想像した。
3. 偏析、半鎮靜鋼の氣泡、銻鋼の鎮靜に關して現場で知られて居る事實を理論的に考究し、脱酸劑加入前の鎮靜の意味を論じ優良なる鋼塊の製法に及んだ。

（附記）

鋼材の選擇及び銻鋼溫度に就て

- a. 一般に鋼質を論ずるに當つては其鋼の用途を考へねばならぬ。例へば押湯を附け充分脱酸を行ひ高價に仕上げる鋼材と押湯無しの安價の物とがある。前者は氣泡を成可く避けて居るが後者は軟鋼で加工後鍛接する様な氣泡ならば唯其現れる位置が問題になるが或程度迄は之れを許してよい（珪素を入れて氣泡を去る事も出来るが鍛接性を多少害する）。例へば造船用軟鋼材の如きは其需用量が多いのに船の壽命には限りがあるので表面が奇麗であつて一壽命中に故障の無い限り安價のものを望むので鋼塊の表面氣泡は避けるが内部氣泡は或程度迄差支へ無い。然るに砲身材は炭素が少々高く且つ特殊元素もあるので氣泡の鍛接が少々困難である。加之加工の際に中を剥抜き使用の際燒蝕（Erosion）や高壓にも抵抗するを要するので高價でも充分鎮靜を行ひ押湯付きの鋼塊を造らねばならぬ。
- b. 炭素鋼は炭素の増す程銻融點が下るから其成分に應じて適當の湯加減を爲す可きは勿論であるが同一成分の鋼を造るにも鋼塊の大小、鎮靜の程度等に依り偏析又は氣泡の形が異なるので其用途に應じ注鋼溫度を變へねばならぬ。又注鋼溫度と爐中の仕上溫度とは區別せねばならぬ。既に述べた様に（第4章第1節）爐中の仕上溫度を上げる事は或程度迄脱酸劑を用ゐない鎮靜作用をする。夫れで偏析を輕減する爲め注鋼溫度を或程度迄下げる事（第2章第1節第3項）と爐中の仕上溫度を高くする事との間に適當の調節を要する。（終）

(1) 鑄鋼の際は成可く湯の溫度の低い方が收縮管も減じ偏析も少なくなる。坩堝鋼の如きは精鍊作用をやらぬから滓の生成も少なく且つ坩堝の中で外氣の影響を避け長く銻鋼を保持するから銻鋼中に懸濁する滓も比較的良く浮游分離する。故に原料を精選した坩堝鋼は湯の流れの悪くならない限り低溫で銻製して良鋼が出来る。