

# 鐵 と 鋼 第十三年 第七號

昭和二年七月二十五日發行

## 論 說

### 鋼塊に起る偏析の研究 (I)

(大正十五年九月二十二日日本鐵鋼協會講演會講演)

蒔 田 宗 次

#### 第一編 總 論

#### 緒 言

鐵鋼は工業界に於ける重要な金屬材料にして、其の用途廣く且つ多量に産出せらるるのみならず文化の進展に伴ひて益大なる鐵鋼材を要求するに至れり。現時製造せらるる鋼塊の最大なるものは重量實に250噸に及び其の容量32立方米に達す、之に鍛鍊、熱鍊の加工を施し高級の鋼材として大砲、大輪轉軸等重要の途に用ひらる、小なる鋼塊は比較的均質なれども之のみを以ては到底大規模の優秀なる機構を組立つること能はざるなり。

由來醫家の對象物は人體なるが如く鐵冶金家の對象物は鋼體なり。鋼體には特殊の疾病即ち地疵を發生し均質の度を失ひ、其の健康を阻礙せらるることあり。其の主なる地疵をゴースト(幽痕)と稱し特有の形態と配列をなし、其の患部は概ね硬くして脆し。故に此の地疵の著しきものは嫌忌せらるるなり。さすがに高級の大鋼材といへども此の地疵の發顯することあらば、空しく廢却の悲運を免れざるなり。斯の如き疾病は之を減退するにあらざれば、實に經濟上の不利なるのみならず、適良なる鋼材の供給は文化の進展に應じ難きに至るべし。乃ち此の疾患の原因を探究し、根治の策を講じて技術の進歩を圖ることは刻下の緊要事項なりとす。

幽痕は不純物の偏り集れる部分にして、所謂 偏析(Segregation)の現象に外ならざることは夙に識られたる事柄なり。鋼塊に現はるる一般の幽痕は既に解説せられたれども、彼の特殊の形態をなして鋼

(1) 此研究は「鋼塊に生ずる幽痕の研究」と題し、大正15年9月鐵鋼協會に於て講演致したるものなり。本記述の内容は偏析現象の一般に亘れるを以て、題目を上記の如く改めたり。讀者之を諒承せられむことを乞ふ。

塊に現はるるものに至りては、其の生因に就き種々の憶説構想せられ歐米の先進諸國に於ても未だ明快なる確説の提出せられたるものなし。其の生因明ならずして治癒防禦の策を樹つるは暗中の摸索に類し、其の正鵠を得ること難かるべし。著者は此の疑問を解決し難關の通過を試みんとすること年あり。鋼塊角隅の幽痕に對しては從來行はれたる挾込説に應じ 15 噸鋼塊の形狀を改變したれども、防禦の效を奏すること能はず。然るに僅に 1 匁の小鋼塊に施したる押潰し實驗は徹底的に此の現象を解明し遂に本論に啓示する弛開説を生み出したり。偏析の現象を理解するに便を得たるは、氷塊の實驗にして氷體內の偏析状態を能く透視することを得、酷寒凛冽の時に能く顯微鏡的探究を遂ぐることを得て、鑄巢の現象、輪條偏析の生成、その他偏析に關する諸現象を解することを得たり。

斯くて文献に徴し、實地の觀察に立脚し實證の考察を總合して、幽痕の生成及び其の出沒變顯する理を究め、角隅の幽痕に對して冷却の緩和を圖ることは、防禦の一法として効果あることを證し得たり。輪條幽痕に對しては防禦法案出せらるるも、遽に實施し難きものあり。然れども工夫を盡さば大鋼塊の均質度を改良し品位を高むる域に達することを期待せらる。

本著は「鋼塊に起る偏析の研究」と題し一般の偏析現象に亘り卑見を挿みて其の條理を整へたり。而して主要の論旨たる特殊偏析の性質を詳叙し其の生因を闡明し、防禦法に論及したり。其の既知の事項につきては要領のみを掲げて、偏析現象の全系を概見するに便し、新なる事項につきては詳記したり。且つ各章末には其の括約を記したり。若し夫れ此の小著が鋼體の健康を増進し、鐵鋼界に於て些少の貢獻する所あらば本懐とする所なり。

## 第一章 偏析の定義及び用語

### 第一節 偏 析

鑄成鋼塊は其の體の内外層に亘りて全く均質なるべきことを望む。然るに或る成分は鋼塊内の部位に依りて濃淡の度を異にし不均質となる。其の程度の重きものは鋼材の疾病即ち地疵として取扱はるるなり。斯かる不均質は鋼塊凝固の際形成せらるるものにして、此の現象を偏析と稱す。偏りて析かれ出づといふ意味なり。

英語にては之を Segregation と稱す。羅典語の Segregate より來る。即ち Separate の意義なり。<sup>(1)</sup>

佛語にては之を Ségrégation と稱す。獨逸語にては Seigerüng 或は Ausscheidung と稱す。精鍊爐中にて熔析作用行はるるが如き重力にて上下層に分離することを Seigerüng と稱するに起源せるものなり。元來 Seiger は採礦者の用ふる Senkrecht といふことなれども之を合金の分離といふ意義に轉用せられたるものなり<sup>(2)</sup>といふ。

偏析の現象は常に鋼塊に起るのみならず他の金屬塊にても一般に溶體の凝固に當りて起ることあるものなり。本章には偏析の定義につきて敘述し且つ本著に掲ぐる主なる用語の解をなすべし。

(1) The Nomenclature of Metallography: Iron and Steel inst 1902 P. 90.

(2) Osann: Eisen üud Stahlgieserei. 1922 P. 199.

## 第二節 偏析の定義

先づ偏析といふ術語は如何なる事柄を指すものなるかを明にせざるべからず。

獨逸の A. Ledebur 氏及 O. Bauer 氏<sup>(1)</sup> (1919年) 曰く「偏析とは凝固の際成分の分離する現象をいふ」と。之は凝固の際の變化のみを指せるものなり。而して Bauer 氏<sup>(2)</sup> (1921年) 凝固前の液體中に於ける分離は度外視すべきことを言へり。

P. Goerens 氏<sup>(3)</sup> (1922年) 曰く「偏析とは凝固の際及び其前に於て、化學成分の分離する現象なり」と。即ち凝固中に起るものの外精錬爐中にて化學變化に依り生じたる銻滓が銻融金屬より分離することを加へたり。而して凝固後固溶態に於ける變態に起因する成分の分離は之に與からざる者とせり。

佛國の L. Guillet 氏<sup>(4)</sup> の記述に據れば凝固の後期の層は初期に於けるよりも炭素其の不純物多量となる、之を偏析といふ。而して偏析は Liquefaction に因りて起るものなりと。

Liquefaction<sup>(5)</sup> (獨 Ausssaigerung 佛 Liquefaction) とは、尙液態なる部分が其の一部凝固せる金屬或は合金より分離する現象をいふ。氏の記述は Goerens 氏と同様の意味を含めり。

英國の鐵鋼協會にては英米獨佛の諸大家合議の上 (1902年) 偏析の意義を定めて曰く「偏析とは金屬が凝固し冷却せるときに成分が本質より分離し凝固體の中央に集る」と。之に據れば凝固の結果成分分離して内外層に偏配せらるるを偏析と稱するなり。

獨逸の P. Oberhoffer 氏<sup>(6)</sup> (1920年) 鋼の次期晶のとき、即ち凝固後に於ける偏析につきて述べ、英國の C.H. Desch 氏<sup>(7)</sup> (1922年) 同様に固態合金中即ち凝固後の偏析として鐵鋼中の磷化鐵の分離或は變化することを掲げて之を説明せり。

以上述ぶるが如く「偏析」といふ術語は凝固中に起る現象なることに就き諸家の記述一致すれども、凝固の前後に起る現象をも含ましむることに就きては見解を異にせり。

用語の意義不定なるは學術及び實用上不便多きものなり。著者は偏析に關する事項を敘述せんとするに當り先づ其の意義を限定する必要に遭遇し、次の如き見解に依り之が歸納を試みたり。

元來用語の内容は廣狹變遷するものなるを以て偏析なる語も亦時機に應じ適當なる意義を附すべきなり。偏析の現象として實際取扱はるる事項を觀るに次の如し。

炭素及磷は凝固に際し鋼塊の内外層に依り其の含量を異にするを常とす。之を炭素及磷の偏析と稱することは周知の事實なり。

(1) Ledebur Bauer: Die Legierungen, 1919 S 86.

(2) Mitteilungen aus dem Staatl. Materialprüfungsamt, Berlin, 1921. Heft. 2.

(3) P. Goerens: Metallographie, 1922 S 279.

(4) Guillet: Metallography and Macrography, 1922, P 265.

(5) Iron and Steel inst. 1902, P 199.

(6) Stahl und Eisen, 1920 S 705.

(7) C. H. Desch: Metallography, 1922 P 224.

硫黄の硫化鐵滿俺粒子<sup>(1)</sup>として鎔融鋼中に存せるものは溶體をなせるにあらずして所謂「散亂系」(Dispersed system) を成せるものなり。<sup>(2)</sup>

此の状態に在る鎔鋼の凝固する際、硫化物粒子は鋼塊の局所に偏りて配在することあり。之を硫黄の偏析と稱することも能く知られたる事實なり。硫化物粒子は鋼の溶態なる時既に分離せるものにして Goerens 氏は之を偏析中に與せしめたり。

Howe 氏は齒朶晶 (Dendrite) と其の齒間との成分含量の差異あるを偏析と稱したり。之は凝固に際し初期晶間に起れるものにして Bauer 氏<sup>(3)</sup>の晶間偏析 (Inter crystal Segregation) と稱するものなり。

斯く晶間に於ける成分含量の差異を偏析と稱すとせば其の意義を適用して固溶體に於ける成分の分離偏配せらるることにも布衍し、之を偏析と稱するに至る。

Oberhoffer 氏 Desch 氏は此の意義に使用せり。但 波來土の如き結晶の混合體に對しては聚晶 (Aggregate)<sup>(4)</sup> なる稱あり。又凝固體の局部に於て特殊の原因に依り成分の偏り析出することあり。

上記したる偏析と稱せらるる事實を一括し、偏析の内容其の儘を敘述せば、「偏析とは液狀又は固狀の溶體より其の成分分離して、偏り配布せられ、又は散亂系より散亂質 (Dispersed substance)<sup>(5)</sup> が凝固體の前後層に亘り或は局部に於て、或は結晶間に於て偏り配布せられて不均質となる現象をいふ」となるべし。之は表現餘りに煩雜なり。依て偏析の定義として、「偏析とは本體より分離せる部分が偏配せられて不均質となる現象をいふ」とせば内容を一括することを得べし。

### 第三節 用語の解 (其の一)

前節に歸結したる偏析の定義は偏析と稱する事實を包括したるものにして、之に依り用語の混亂を醸すことなかるべし。茲に差別すべきは偏析、幽痕、地疵、聚晶等の用語の關係なり。

偏析と幽痕との差別は第九節に述ぶるが如くにして、偏析の程度重く、不均質の甚しきものは之を地疵として取扱ふ。其の輕き程度のもは之を地疵と稱するに至らず。即ち偏析の程度重く地疵として識別し得るものを幽痕と稱すべし。

固溶體内の變態分離に依れる聚晶は一般に偏析と稱せられざれども、其の成分が變移し偏配せらるる場合には之を偏析と稱することを得べし。例へば日本刀の沸勾の如きは聚晶の幽痕なれども地疵にあらず、一種の地模様と見做すべし。偏析、幽痕、地疵、聚晶なる語の關係は第一圖にて示さる。

(1) Osann: Eisenhüttenkunde, II 1923 S 635.

(2) H. Arnold: Metallkunde, 1921, S 122.

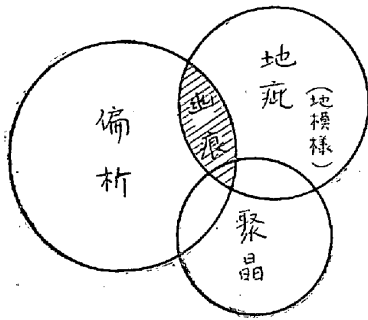
(3) Bauer und Arndt: Stahl und Eisen, 1922 S 134

(4) International Testing Association: Iron and Steel inst. 1912 P 367.

Aggregate とは Metaral に對しての稱呼なり、恰も岩石の鑛物に對する稱呼の如し。

(5) R. Zigmöndy: Kolloidchemie, 1920 S 31.

第一圖



幽痕は偏析なり。偏析の内に幽痕あり。地疵又は地模様の一に幽痕あり。聚晶は偏析することあり。従て幽痕となることあり。

第四節 用語の解 (其の二)

本著に用ひたる術語の主なるものに外國語を對照し又は略解したり。更に用語所在の節中の記事を參照せらるべし。

偏析	Segregation	縞目幽痕	縞狀に現はるる幽痕
偏析物	Segregate	V 狀幽痕	鋼塊の中軸に生ずるV 狀の幽痕
遊離式偏析	遊離成分が母體より偏析するもの	肉眼的幽痕	Macro ghost
固溶式偏析	固溶成分が母體より偏析するもの	顯微鏡的幽痕	Micro ghost
晶間偏析	Intercrystal segregation	假幽痕	Pseud ghost
鑄塊偏析	Ingot segregation	含滓	Sonims
鑄層偏析	鋼塊の内層に向ひ濃度變ずる偏析	含砂	Sand marks
夾雜偏析	夾雜物の偏析	毛狀裂疵	Hair cracks
伴生偏析	夾雜物の附近に伴生する偏析	柱晶	Columnar crystal
氣體偏析	氣體の偏析即ち氣泡	齒朶晶	Dendrite
正偏析	Normal segregation	骸晶	Skeleton crystal
逆偏析	Inverse segregation	聚晶	Aggregate
幽痕	Ghost mark	散亂系	Dispersed system
幽線	Ghost line	散亂質	Dispersed substace
幽斑	Spot ghost	粒濁液	Suspension
白幽痕	White ghost	粒濁物	Suspensoid
黑幽痕	Black ghost	偏析線	狀態圖中にて Solidus liquidus, transformation line の如き偏析に關する線
フェライト幽痕	Ferrite ghost	湯	Molten metal
黒鉛幽痕	Graphite ghost	押湯	Dead head
銻滓幽痕	Slag ghost	瀑注ぎ	Top casting
氣泡の伴生幽痕	氣泡の附近に生ずる幽痕	湧注ぎ	Bottom casting
夾雜幽痕	夾雜物が幽痕となりて現はるもの	硫貼寫	Sulphur print
角隅幽痕	Corner ghost	磷貼寫	Phosphor print
輪條幽痕	幽線が縦に輪狀に配列するもの		
緋り幽痕	短き幽線が緋り地の如く現はるもの		

第一章の括約

1, 偏析の定義を下したり。

「偏析とは本體より分離せる部分が偏配せられて不均質となる現象をいふ」

2, 偏析、幽痕、地疵、聚晶なる用語の關係を叙したり。

第二章 偏析の起生

偏析現象を理解せんとせば其の原理を辨へ起生の根源を明にするを要す。之は既知の事項なれども

解説の順程として茲に其の條理を整へ、後章の叙述と理解とを簡捷ならしめんとす。

### 第五節 偏析の原理、誘起條件

偏析の現象は共存せる若干成分が均質體を成し難くして分離作用の行はるるに因るものにして、是は同種成分が次第に其の周圍に晶出して、一體を結ばんとする傾向に結果するものなり。而して鑄融合金が本性に従ひて凝固し成分の分合變化行はるる特性を相則(Phase rule)に據り畫きたる状態圖は平衡に於ける偏析の順程を量的に示すものなり。状態圖は極めて緩徐なる冷却速度に於ける變化を表はすものにして、偏析は固相線 (Solidus) 液相線 (liquidus) 變態線 (Transformation line) の如き偏析線 (Segregation line) に沿ひて行はる。偏析は此の原理に基きて起り、誘起條件の下に諸種の偏析を生ずるなり。誘起條件<sup>(1)</sup>とは冷却の速度、結晶生長の速度、結晶の形狀、擴散の速度、比重、表面張力、及び其の他特殊の影響をいふ。

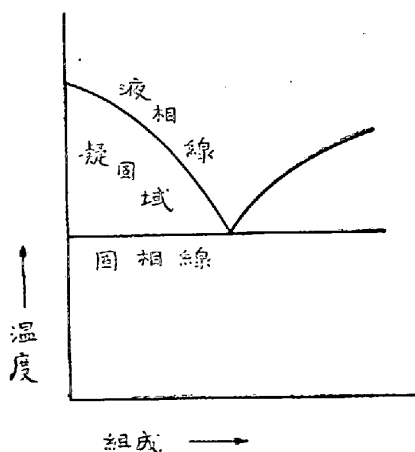
偏析の現象を解せんとするに當り、状態圖に於て單一なる遊離成分の析出する場合と固溶成分の析出する場合と氣體の偏析する場合とに分類し、更に特殊の影響に依る場合の偏析を加へ此の4つの場合に於て誘起條件に依り偏析の起生する基本の理を解すること次節の如し。

### 第六節 遊離式の偏析

單一なる遊離成分が母體より偏析する場合を便宜遊離式の偏析と稱すべし、此の式に屬するものは次の如し。

(1) 凝固中の偏析 の適例は鉛～アンチモンの合金なり<sup>(2)</sup>。其の偏析は液相線に沿ひて行はるるもの

第二圖



にして此の線は即ち偏析線なり。斯る偏析作用が各結晶間に於て行はるるときは、晶間偏析となり鑄塊凝固層の始終に依りて偏析成分の濃度異なり所謂 Liquefaction を起すときは鑄層偏析となる。此の遊離式偏析に屬する合金は金～鉛、銀～鉛、亞鉛～カドミウム、鉛～アンチモン、錫～鐵等なり。

(2) 凝固後の偏析 の適例は炭素鋼なり。A<sub>3</sub> 變態線以下に於ては、溶體なるオーステナイトよりフェライト晶出し晶粒を中心として炭化物を分離す。斯の如き結晶の析出し配列せらるる状態を聚晶 (Aggregate)<sup>(3)</sup>と稱す。而して之は初晶に基困しフェライト中に燐の含量多きときに晶間偏析著しく起り、鍛材にて縞目幽痕 (Banded structure, Schieferbruch)<sup>(4)</sup>を現はすことあり<sup>(5)</sup>。

- (1) Metallkunde, 1921 S 497 Bauer 氏は誘起條件として状態圖の特性、比重、冷却速度の三項を擧げたり。  
 (2) W. Guertler: Metallographie BI 3 793.  
 (3) Beilby: Aggregation and Flow of solids.  
 (4) J. H. Whiteley: Iron and Steel inst. 1920 I 359.  
 (5) Oberhoffer: Stahl und Eisen, 1920 S. 705.

り。低炭素鋼にては  $A_{c1}$  下の温度に於て長く熱するときパーライトの層状組織は壊はれて、炭化鐵は凝集し球状となりフェライト分離す、Desch 氏は之を固態合金中の偏析と稱したり<sup>(1)</sup>。層状炭化鐵が球状となる理由につきては、Thompson 氏<sup>(2)</sup>、本多、齋藤兩博士<sup>(3)</sup>、Portvin, Vernard 兩氏<sup>(4)</sup>、Whiteley 氏<sup>(5)</sup>、Desch 氏<sup>(6)</sup>、Mac Pherran, Harper 兩氏<sup>(7)</sup>の諸説あり。

(3) 凝固前の鑄析 に依り遊離したる成分が融體と共に散亂系をなせる場合、例へば鑄鋼中に硫化物粒子、又は鑄滓粒子が散亂質として混在せるときの如し、此の場合に偏析粒子は融體中に於て既に分離せるものなれども、散亂粒子は能く均一に散布せられ準溶液をなせり。而して此の散亂系の凝固するや他の遊離式偏析と同様の促進條件に依りて晶間偏析、鑄層偏析、又は夾雜偏析等を起すものなり。

(4) 其の他の例 著者が偏析現象の解説に用ひたる = グロシン水溶液は凝固に依り = グロシンの晶間偏析及鑄層偏析を現はしたり(第一〇六節)。氣體を溶解せる水又は鑄鋼の凝固に際し氣泡の析出するや氣泡圈の形成せらるるは、一種の鑄層偏析にして其の水溶液に在りて晶間偏析の行はるることを認めたり(第八四節)。此等の偏析は孰れも遊離式の偏析に屬するものとす。

(5) 誘起條件、冷却速度 遊離式の偏析は孰れも冷却速度緩漫なる程偏析作用充分行はるるを以て、偏析濃度大となり、冷却の速さ急速となるに従ひて、析出の暇なきを以て偏析の濃度小となり、偏析成分の分布均一に近づく<sup>(8)</sup>。

鉛～銀 此の融合金を極めて徐々に冷却せば鉛を析出し、殘母液に銀を富ましむることを得べし<sup>(9)</sup>。之は Patinson 法の銀精鍊法として夙に知らる。

亞共析の炭素鋼に在りては、變態線を通して普通の冷却を行ふときフェライトは網目を成し尙徐冷せば、網目は破れ極めて徐冷すればフェライトは益凝集し其の幅員増大するに至り<sup>(10)</sup>。偏析著しくなる。炭素鋼は  $A_{r1}$  を稍速に通過すれば層状のパーライトとなり、緩徐に通過すれば球状セメントイトに偏析す<sup>(11)</sup>。

(1) C. H. Desch: Metallography, 1922 P. 224.

(2) Thompson: Iron and Steel inst. 1919 IP. 429.

(3) Honda and Saito: The science Reports of Tohoku Imperial University, 1920 IV 311.

(4) Portvin and Vernard: Iron and Steel Inst. 1921 II 148.

(5) Whiteley: Iron and Steel Inst. 1922 I 339.

(6) Desch: Iron and Steel Inst. 1923 I 249.

(7) Mac Pherran and Harper: Tras. Amer. Soc. Steel Treat. 1924 VI P. 341.

(8) Ledebur-Bauer: Legierung, 1924. S 143.

(9) K. Friedrich Metallurgie, 1906. S 398.

(10) D. K. Bullens: Steel and its heat treatment. P. 54 Benedicks: 1908.

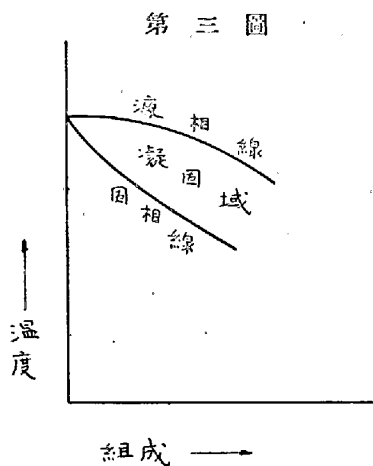
(11) Howe and Levy: Iron and Steel Inst. 1916 ii P. 2.

之は Divocing と稱し知られたる事實なり。硫化物粒子又は溶滓粒子が散亂質となりて混在する融鋼にては徐冷却鑄塊の凝固作用緩徐なる場合に晶間偏析及び鑄層偏析著しく濃厚となる。急冷せられたる部分は偏析の程度薄し<sup>(1)</sup>。故に硫化物粒子の如き不純物を擴布せしめ、良鑄塊を得んには急凝固法を可とす。故に鑄鐵製の鑄型を用ふるときは砂鑄型に於けるよりも偏析程度輕し。1916年水谷叔彦博士は大鋼塊の凝固に鑄型水冷法を實施せられたり(第一一九節)。Schukowsky 氏<sup>(2)</sup> (1914) H.H. Ashdown 氏 (1917) 等も亦之を試みたり。

(6) 誘起條件、比重 分離成分と母液との比重差異甚しきときは偏析の度も亦大となる。鉛～アンチモン合金にては兩成分の比重 (11.34: 6.62) に大差あるを以て凝固に當り輕きアンチモンは上方に浮びて偏析す。Heyn 氏<sup>(3)</sup> はアンチモン 20% の鑄融鉛アンチモン合金の凝塊に於て、アンチモン合金の下底 13%、上方 40% なるを観たり。融鋼中の鑄滓粒子、硫化物粒子は母液中に偏析し其の比重小なるにより、常に上方に浮昇せんとする傾向を有せり。鋼塊の上頭部を最後に凝固せしむる方法を執るときは自然偏析の順程と浮上性との兩作用に依り偏析粒子は鋼塊の上頭部に集まることとなる。而して輪條幽線の内上方に斜向するは此の浮力の影響に依るものなり(第一三章)。

#### 第七節 固溶式の偏析、氣體偏析

固溶態成分が母體より偏析する場合を便宜固溶式の偏析と稱すべし、之は遊離式に於ける偏析と稍其の趣を異にする所あり。



(1) 固溶式の狀態圖 其模範的狀態圖は第三圖の如き鐵～磷の二成分系<sup>(4)</sup>。液相線と固相線との挟む區域は初晶と母液との共存する凝固域にして最徐冷するとき偏析は此の兩偏析線に沿ひて行はる。初晶より續いて析出する固溶晶は次第に鐵の純度を減じ結晶間に於ける磷の含量は多量となる傾あり。而して固溶體內に於ける此等の磷の擴散充分行はる暇なくして常溫となれば茲に磷は晶間偏析をなす。又殘母液が磷につきて次第に濃厚となり遂に固化して常溫に達すれば凝固初層との間に磷の偏析起る。是即ち鑄層偏析なり。冷却の速度極めて緩漫にして擴散も亦充分に行はるとき全塊は均質となるべきものなり。然れども實際の場合に於ては成分の特性及び他の影響に依りて理想的の均質は得難きものとす。此の固溶式に屬するものは鐵～炭素鐵～

(1) Howe: Engineering and Mining. 1907 P. 1011.

Bruminghaus and Heinrich: Stahl u. Eisen. 1921 S. 497.

(2) Schukowsky: Stahl u. Eisen. 1914 S. 549.

(3) E. Heyn: Metallography in Dienste der Hüttenkunde. 1903 S. 22.

(4) Guertler: Metallography. IB II P. 884.



珪素鐵～マンガン、亞鉛～アルミニウム、金～銀等なり。而して凝固域の廣き鐵～炭素、鐵～磷は偏析を起し易く鐵～珪素、鐵～滿俺の如き凝固域の狭きものは偏析少し。

(2) 冷却速度と擴散速度との影響 固溶式偏析の急冷と徐冷とに於ける母液の濃度の變化に就きて G. H. Gulliver<sup>(1)</sup> は之を數學的に計量研究せり。

状態圖中の凝固域は冷却速度緩漫なる場合に於ける状態を示したるものなり。然るに冷却速度急にして析出せる固溶體間の擴散不充分なる場合には引き續き析出する固溶結晶の濃度は遞次異なりたる状態にて累積し、且つ凝固域は延長せらる<sup>(2)</sup> (第六五節第一〇二圖)。

磷は固溶體内に於ける擴散速度緩漫なるが故に凝固の終りに近き部分程含量多くなる。此の種の合金にて一般に擴散速度小なるものは急冷に依りて偏析の濃度を増し、擴散速度大なるものは徐冷に依りて偏析の濃度輕減せらる。是は固溶式偏析が遊離式の偏析に對し其の趣を異にする點なり。銀～金<sup>(3)</sup> (20%金)及び鐵～炭素の合金は其の適例にして或程度の急冷に依りて偏析を起す。

Arnold 氏の研究に據れば鐵中の固溶成分炭素、ニッケル、滿俺及び珪素が眞空中にて 1,000° に於ける擴散速度の比は 4:1:1:0:0 なりといふ。理學博士石原寅次郎氏の測定に據れば 1,000° に於ける炭素の擴散速度は 5.981 糎/秒 なりといふ。即ち炭素の擴散性は比較的大なり。磷は擴散度小なるを以て能く幽痕として顯はる。ニッケルは能く固溶するが故に偏析起り難く珪素、滿俺も亦同様に偏析甚だ少し。

(3) 正偏析、逆偏析 銀～金、鐵～炭素等の合金は前項に記したる順程にて偏析するものにして、炭素鋼に在りて炭素は偏析成分として凝固の終層に多量となる。斯の如きを正偏析 (Normal segregation)<sup>(6)</sup> と稱す。然るに Bauer 氏の研究に據れば銅～錫(8%錫)、合金に在りては第三圖の偏析線に依り母液に濃厚となるべき偏析成分は急冷に依り凝固の初層に濃厚となり終層には反つて稀薄となることを觀察し此の偏析を逆偏析 (Inverse segregation) と稱したり。

此の異様なる現象につき同氏は之を解説し、急冷に依り固溶の骸晶生長して殘母液は其の晶間の空際に逆行するものとせり。

(4) 冷却速度と偏析の出現 急冷に依り正偏析を起すものあり逆偏析を起すものあり。正逆何れの鑄層偏析をも起さざるものあり又急冷に依り晶間偏析と鑄層偏析とを共に起すものあり。晶間偏析を起せども、鑄層偏析を起さざるものあり、兩種偏析共に起さざるものもあり。

(1) G. H. Gulliver. Institution of metals. 1913. i P.120.

(2) P. Goerens: Metallography, 1922 P. 42 村上博士:金屬の研究 1924 P. 190.

(3) Ledebur-Bauer: Die Legierungen, 1924, P. 160.

(4) Arnold: Iron and Steel Inst. 1899 i P. 85.

(5) 金屬材料の研究 1924 P. 364

(6) Ledebur-Bauer: Metallography, 1924, P. 161.

徐冷するときには一般に晶間偏析及び鑄層偏析を起さずといへども、晶間偏析或は鑄晶偏析を起すものあり。

冷却の遲速に依り斯の如く偏析出現の狀況を異にするは偏析成分の特性と其の他の誘起條件に影響せらるるに因るものなり<sup>(1)</sup>。

(5) 氣體偏析 偏析の作用は固態成分に起るのみならず、氣體成分に於ても行はるべきものにして之を氣體偏析と稱すべし。鑄鋼中より析出せる氣泡は即ち之なり。

#### 第八節 特殊の偏析

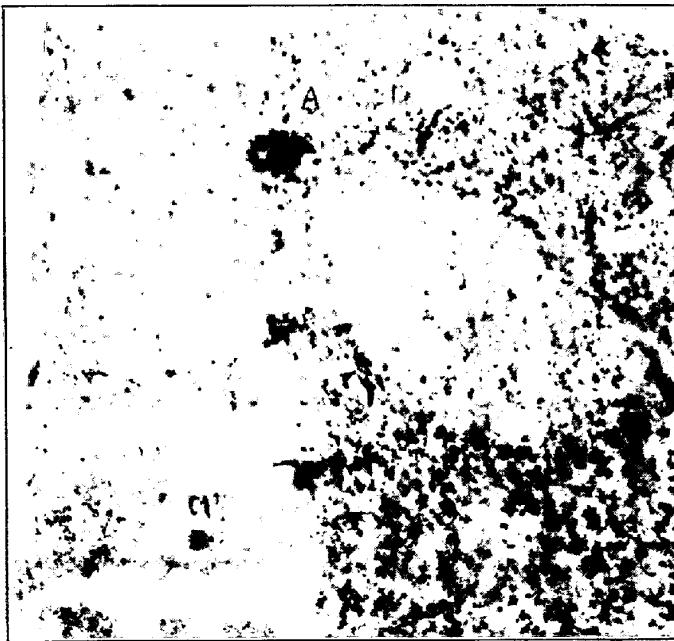
偏析の現象は前節に述べたるが如く、遊離式と固溶式との兩様あり。之にて一般偏析即ち晶間偏析及び鑄層偏析の起生を概記したり。此等の外實際に起る偏析には鑄塊中に於ける發顯の位置或は其の形狀等に特異の狀態を爲すものあり。角隅偏析、輪條偏析、V 狀偏析の如き之なり。

夾雜物なる氣泡含滓の如きものの所在附近に偏析を起す場合あり。之を伴生偏析と稱すべし。此等の偏析は何れも一般の偏析原理に従ひ而も特殊の條件に依りて起るものなり。

此等特殊の偏析中角隅幽痕及び輪條幽痕の生因の研究は本著主要の事項なり。

氣泡の伴生偏析 氣泡が鋼塊に閉ぢ籠められたる時氣泡の周邊は鋼の初晶と不純の母液との混合體

第 四 圖



にて包まる。融鋼よりの内壓が加はりたる時不純母液は氣泡腔の一部分に押し入りて固化し此の所に磷、硫黄等の偏析を起すものなり<sup>(2)</sup>。鋼塊の周層に發生せる氣泡中には之に接する内層の齒染晶間を傳ひて潜り殘母液浸入し氣泡腔を填充すと認めらるる場合あり(第一一六節)。或は此の種の氣泡腔の内端の一部填充せらるることあり。第四圖は圓坩鋼塊横斷面硫貼寫の一部分にして氣泡の内端に硫化物の偏析Aあり、第五圖は其の研磨面の寫眞にして硫化物粒子は氣泡の内端近くに聚まり之に附帶せる氣泡の内端は其腔内に 窪み込める A を觀るべ

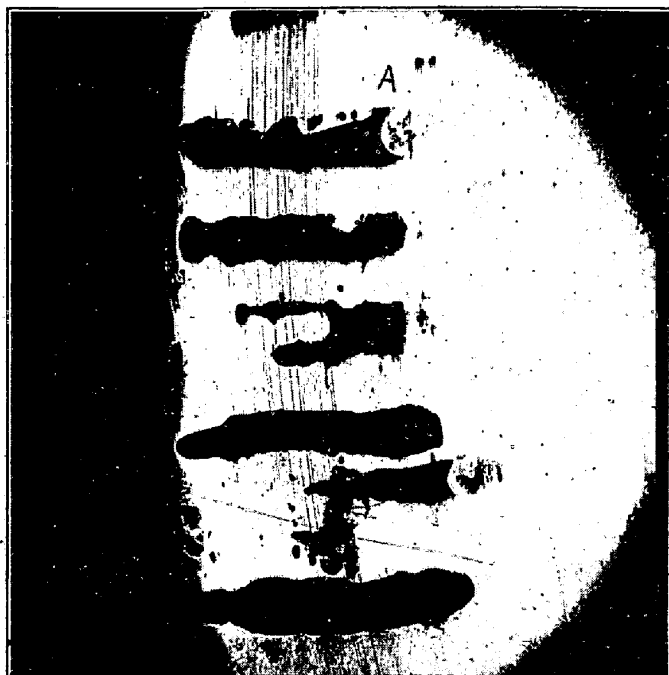
(1) Ledebur-Bauer: Metallography, 1924, P. 161.

(2) Osmond and Stead Microscopic analysis of Metals, P. 253.

兩氏は此の偏析を Blowhole segregation と稱したり。

(3) Wimmer Stahl und Eisen, 1927. S. 781.

第五圖



し。最近 Wimmer<sup>(3)</sup> 氏の研究あり。

含滓の伴生偏析 鋼中に鎔滓粒子存するときは其の影響を受けて附近の均質を失ひ炭化鐵の析出は稀薄となる、Brearley<sup>(1)</sup> 氏は鎔滓を鋼塊内に閉ぢ込め置き之を加熱し鍛錬壓を施したる後之を截斷し顯微鏡下に檢して其の附近の脱炭せるを觀察し炭素は鎔滓の爲めに酸化せらるるものとせり。酸化鐵の周邊の炭化鐵は酸化せらるるも其の他の珪酸、礬土等の周邊に炭化鐵の少きは此等の固粒がフェライト析出の核となりたるものなるべし。

### 第二章の括約

偏析現象は相則の指示する所に據り、偏析成分の特性と誘起條件に依りて發現の狀況を異にすることを編述したり。

## 第三章 偏析の種類

偏析の程度の著しきものは、即ち幽痕なるを以て(第九節)偏析の現象を分類すれば、幽痕の分類も亦自ら之に含まることとなる。本章に於ては幽痕の意義を詳説し鋼塊に生ずる偏析及び幽痕を類別せんとす。

### 第九節 幽痕の意義

Ghost marks 或は略して Ghost と稱するは鋼材地疵の一種にして現在工業上<sup>(2)</sup> 英米及び本邦に用ひらるる語なり。又 Phantom<sup>(3)</sup> 或は Shadow<sup>(4)</sup> ともいふ。著者は之を幽痕と譯したり。H. M. Howe 氏の<sup>(5)</sup> 解義に依れば大なる鍛鋼材に起るフェライト偏析のゴーストは截断面に現はれ肉眼にて見別け得べし、普通細片状をなして散在し其の一を削り去れば他のもの現はれ其の所在有無常ならざる點より、此の稱呼の起りしものとせり。實際幽痕を見るに、其の部分の特異の光澤は視線の方向に依りて、明暗の度を異にし、隱現明滅すること、恰も妖靈の如きが故に、Ghost の名稱あるものと解する方當れりとす。解義の適否は孰れとするもゴースト(幽痕)なる語は、肉眼的に外觀の性状より名づけたるものといふべく、其の本性の審かならざる時代には能く適應せる用語なるべし。其の本性は偏析の現

(1) A. W. and H. Brearley: Ingot and ingot mould. P. 152.

(2) W. H. Hadfield: Iron and Coal trade rew. 1924. P. 1055.

(3) J. E. Stead: Iron and Steel Inst. 1905. ii P 204.

(4) J. M. Gledhill: Iron and Steel Inst. 1905 ii P 301.

(5) H. M. How: Metallography. P. 551.

象に外ならざること Edward<sup>(1)</sup> 氏 Stead<sup>(2)</sup> 氏 Arnold<sup>(3)</sup> 氏 Howe<sup>(4)</sup> 氏 其の他諸氏に依りて明にせられ今や一般に確認せらるるものなるを以て Ghost なる用語は強ひて襲踏するに及ばず之を廢却し之に代ふるに偏析なる語を用ふべきなり。然れども工場に於て地疵を外観より識別する際實地に用ひて都合宜しき場合あるを以て、其の意義を諒解しつつ之を慣用するに差支なかるべし。

肉眼にて幽痕として見別け得らるる特異の光澤ある部分を檢すれば硫黄、磷等の偏析物 (Segregate)<sup>(5)</sup> 存在す。而して肉眼的幽痕の區域は偏析物の實體所在よりも廣き區域を占むるを常とす、是れ削り削りの機械的影響は偏析物以外の域に及ぶを以てなり、依て幽痕を本來の意義即ち狹義に用ふれば、「幽痕とは鋼塊截断面に現はれ特異の光澤を有する不均質なる部分にして偏析に依りて起るものなり」となる。Stead 氏は此の意義を更に擴張し顯微鏡に依らざれば檢出し難き程の微小なる偏析をも顯微鏡的幽痕 (Micro ghost)<sup>(6)</sup> と稱せり。之と對照すれば偏析が鋼塊の内外層に依りて其の濃度を異にするもの (Ingot Segregation)<sup>(7)</sup> も亦幽痕と稱せざるを得ず。

元來偏析の現象は鋼塊の體內孰れの部分にも起るものにして、極言すれば健全なる鋼塊は極めて微細なる偏析の集合體なりと見做し得べきものなるが故に、一般に凡ての偏析を指して幽痕なりと稱するは其の意義廣汎に過ぎて實用を遠ざかるに至るべし。然るに幽痕は地疵或は地模様的一種なりとの見解よりすれば夫は偏析なる現象の一部分に屬し偏析程度の極めて微細なるものを包含せず即ち偏析の現象中地疵或は地模様と認めらるる程度のもを幽痕と稱するを得べし。結局幽痕なる語を廣義に用ふれば「幽痕とは地疵或は地模様的一種にして偏析現象に依りて起るものなり」といふこととなる。

#### 第一〇節 單-幽痕の種類

單-幽痕の形狀 單-なる幽痕の線狀をなせるものを幽線 (Ghost line)<sup>(8)</sup> と稱す。班點狀をなせるものを幽班 (Spot ghost) と稱すべし。

幽痕の色彩 幽痕は鋼材の截断面上に於て通常白色に輝き明暗の度に依りて素地と區別し得べし。之を白幽痕 (White ghost)<sup>(9)</sup> と稱す微小なる固滓を含める部分は此の所にて削り屑切斷せられ黑影を生ずることあり之は黒幽痕 (Black ghost) と稱すべきものにして工場にては黒班と稱せり。

幽痕の實質 フェライト組織が幽痕となるものをフェライト幽痕 (Ferrite ghost)<sup>(10)</sup> と稱す。幽痕の

(1) Iron and Steel Inst. 1906. i P. 140.

(2) Iron and Steel Inst. 1915. i P. 165.

(3) Iron and Steel Inst. 1916. i P. 351.

(4) Howe: Metallography. P. 546.

(5) E. Edward: Iron and Steel Inst. 1906, i P. 140.

(6) J. E. Stead: Iron and Steel Inst. 1915. i P. 148.

(7) E. H. Schlz: Das Metall, 1920 S. 4.

(8) Stead: Iron and Steel Inst. 1915. i P. 148.

(9) Stead: Iron and Steel Inst. 1915. i P. 168.

(10) Howe: Metallography. P. 548.

實質が黒鉛なるものを黒鉛幽痕 (Graphiteghost<sup>(1)</sup>) と稱し、熔滓より成れるものを含滓幽痕 (Slagghost<sup>(2)</sup>) と稱す。

### 第一一節 偏析の分類 (第一表)

偏析が鋼塊凝固の初期層より最終層に向ひ、漸次其の濃度の變するものを鑄層偏析と稱せんとす。之は鋼塊の大小に關せず一般に存する偏析にして鋼の場合に在りては終層に向ひて濃厚となり正偏析す逆偏析は非鐵合金に起る現象なり。(第七節)

角隅幽痕 (Corner ghost) と稱するものは多角塊鋼塊の外層、縦角稜の内方に發生するものにして、鋼塊横斷面上半徑に沿ひて配列す(第二九節)。

圓塊鋼塊にても此の種の幽痕を出顯することあり(第四九節)。

鋼塊内層の横斷面に無数の班點狀の幽痕現はれ、同心圓上に配列するものあり。之を輪條幽痕と稱すべし(第九六節)。

鋼塊の中軸部の縦斷面には V 狀の幽線現はるることあり。之を V 狀幽痕と稱す。(第一二〇節)

固態成分と同様に氣態成分も亦鑄塊内の一定位置に偏析す、氣泡即ち是なり。此の種の偏析を氣體偏析と稱すべし(第一章)。

鑄層偏析、角隅幽痕、輪條幽痕、V 狀幽痕及び氣體偏析等は鋼塊内の一定位置に配列して生ずるものにして、此等を鑄塊偏析 (Ingot segregation) と總稱す。<sup>(3)</sup>

鑄鋼の凝固するに當り、初期晶發育し母液に於ける組成との差異ありて、不均質の儘の固화가結晶間に起りたる場合に、Bauer 氏は之を晶間偏析 (Inter crystal segregation)<sup>(4)</sup> と稱したり。Ferrite ghost. Graphite ghost 等は此の種に屬す。

鍛材に在りては、緋り狀、縞目、纖維狀又は木理狀に現はるるものなり、其の肉眼にて見別け得る程度の偏析を (Minor Segregation)<sup>(5)</sup> と稱し其の幽痕を肉眼的幽痕 (Macro ghost)<sup>(6)</sup> と稱す。微小にして顯微鏡にて見別け得る程度の小なる偏析は Micro Segregation<sup>(7)</sup> にして Stead 氏は之を顯微鏡的幽痕 (Micro ghost)<sup>(8)</sup> と名付けたり鋼塊には固態夾雜物の偏析することあり、之を夾雜偏析と稱す。含滓<sup>(9)</sup>及び黒班の如きは之に屬す。

(1) Howe: Metallography. P. 83.

(2) Howe: Metallography. P. 556.

(3) Schlz氏 (Das Metall, 1920 S 4) の Ingot segregation (鑄塊偏析) は本著の鑄層偏析に當る。

(2) O. Bauer und Arndt: Stahl und Eisen. 1922. S 1346.

(5) J. E. Stead: Iron and Steel Inst. 1905. 204.

(6) H. M. Howe: Metallography. P. 547.

(7) J. E. Stead: Iron and Steel Inst. 1905. 204.

(8) J. E. Stead: Iron and Steel Inst. 1915. 148.

(9) Hibbard 氏は之を Sonim と稱したり。

Bull. Am. Inst. Min. Eng. 1911. P. 325.

銅塊中の氣泡及び含滓等夾雜の影響に依り。其の附近に不均質なる部分を生じ幽痕となることあり<sup>(1)</sup>  
此の種の偏析を伴生偏析と稱すべし。

之等は銅材に於て班點、縞目、木理狀となりて現はる。其の氣泡に伴ひ生ずるものを氣泡の伴生偏析と稱し、含滓に伴ふものを含滓の伴生偏析と稱すべし。<sup>(2)</sup>

假幽痕 以上述べたる幽痕は皆偏析に因る現象なれども、其の外銅塊の截断面には往々假幽痕(Pseudo ghost)を起すことあり。之は地肌の光澤が視線の方向によりて特に明暗の度を異にするものにして其の外観恰も幽痕に類せり。然れども之は偏析の現象にあらずして、單に素地面の凹凸に依りて見ゆるものなり之を例示すれば次の如し。

割れ痕 鋼材面上に肉眼にて検出し難き程の細き割れ疵にても之を打ち越えて鉋削りを施す場合に削りの速さと深さとに依り疵の縁邊に生ずる特異の光澤線は恰も幽痕の如く見ゆることあり。

鋸痕 鋼塊を鋸にて截斷するに當り鋸齒の受くる抵抗の強弱に依り局所に特異の光澤を生じ恰も幽痕の如く見ゆることあり。

魔鏡<sup>(3)</sup> 本邦古來の金屬製鏡の表面が能く其の裏面の模様を其の儘映射することは嘗て不可思議なる現象として有名なるものなれども夫は單に鏡面の凹凸に起因せるものなること皆人の知る所なり。

### 第三章の括約

幽痕の意義及び種類を記し、銅塊に生ずる各種の偏析を分類したり。

(1) H. M. Howe: Metallography. P. 556. 564.

(2) 氣泡に伴ふ偏析を Blowhole. Segregation と稱す (Osmond and Stead: Micrographic analysis of metals P 253) 之は幽痕となりて現はるることあり (Brearley: Ingot and Ingot mould. P 153)。

(3) P. G. Tait: Light.

第一表

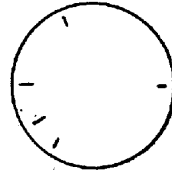
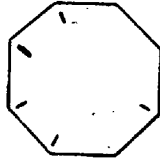
偏析

鑄塊偏析

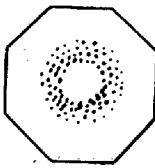
鑄層偏析



角隅幽痕



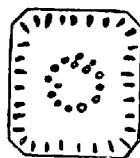
輪條幽痕



V状幽痕



氣體偏析



肉眼的晶間偏析



晶間偏析

顯微鏡的晶間偏析



夾雜偏析

含滓偏析

伴生偏析

含滓の伴生偏析  
氣泡の伴生偏析