

- (2) R. P. Neville & J. R. Cain: Scientific Papers, Bureau of Standards No. 453(1922) No. 464(1923)  
 (3) J. O. Arnold: Journ. Iron & Steel Inst. 1894 i p. 107.  
 (4) 註 (3) 参照  
 (5) F. W. Harbord: The metallurgy of Steel 1916. p. 346~351.  
 (6) T. Baker: Journ. Iron & Steel Inst. 1903 ii p. 312.  
 (7) Turner: 註 (5). p. 366.  
 (8) Campbell: The Manufacture & Property of Iron & Steel p. 391.  
 (9) Darby: Engineering April 6, 1917 p. 2320.  
 (10) 俵: 鐵と鋼 p. 300(初版・1909). 1000 箇の鹽基性平爐鋼の平均。  
 (11) 城: 製鐵所研究報告 No. IV. (3). (1924) 平爐鋼の成績中 ABCD 4 種の數値で夫々 28°, 12°, 31°, 29° (C) に於ける値。

## 鋼塊に於る偏析の研究 (VI)

(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

### 第一三章 輪狀幽痕の生因

鋼塊の外層なる柱晶層盡き續いて其の内方の粒晶層は輪條幽痕圈となる、現今の鑄成法にては避くべからざる幽痕なり。

此の種の幽痕は大鋼塊の内方に潜在するを以て鋼成材の形狀及用途に依りては、全體の材力に及ぼす影響輕微なるべしといへども、其の濃淡消長は鋼材の品位に關すること大なるものとす。

然るに其の生因につきては、未だ確認せられたる學說なし、著者は本問題に遭遇し之に向つて爲したる諸種の觀察を綜合して其の生因に解釋を試みたり。

#### 第一〇四節 生因諸說

茲に輪條幽痕と稱するは 1907 年 J. E. Stead 氏が The rings of independent spots<sup>※1</sup> と稱せるものに當る。氏は其の生成につきて假說<sup>※1</sup>を立てたり、即鋼殼の内壁に於ける純晶と不純液との間に生じたる氣泡は其の瓦斯壓力に依り附近の不純液を搾出す作用をなす。而して氣泡の遁れ去るや其の跡に不純偏析物填充するに依りて生ずるものとせり。之は氣泡跡填充說にして、此の說は輪條幽痕の斑點が鋼塊の横断面にて輪狀に配列することを説明し得れども、此の幽痕が縦に線條をなすことにつきての詳細なる説明に言及することなし。且つ氣泡跡を填充することに依りて生じたる幽痕は本題の輪條幽痕と其の形象を異にせり(第一一六節)。

A. W. & H. Brearley 氏等は其の著書中に此の種の幽痕の生因を説明して曰く、鋼殼の内面に接

※1 Iron and Steel Inst. 1907, iii. P. 456.

※2 A. W. & H. Brearley: Ingot and Ingot mould. 1918. P. 165.

し生じたる不純物の液層は其の成分を内方に擴散せんとする傾向を有す、之と同位置に鋼晶の細片發生し、之が鋼塊凝固層の内壁面に附着するとき、之に接近せる偏析物の自由運動を妨ぐることになり、偏析物の鋼晶間に閉ぢ込められたるものは其の位置にて固化する。斯くして此の所より内方に幽痕を生ず。故に鋼塊縦断面に於て縦稜に平行なる直線を書くときは多數の幽線の上端を同時に切ることとなるべし。此の種の幽痕は大鋼塊に著しきものなりと。之は局部偏析説にして幽痕が局部の偏析に依り晶間に挟まるものなりといふ大體の論旨に賛同し得れども、其の形成の機作につきては尙詳論する必要あり。H. M. Howe 氏は其の著書<sup>※1</sup>中に氣泡偏析とデンドライト偏析との形狀を説いて曰く、デンドライト晶間の不純物填充物が尙流動性を有し、之が壓力を受くるときは其の附近の氣泡中に浸入す。鑄成鋼塊に在りてデンドライト晶間の不純物填充は氣泡に填充せられたるものよりも其の形狀長きに依りて識別することを得べしと。此の一般見解を演繹すれば輪條幽痕の生成は氣泡にあらず、デンドライト晶間の偏析に屬するものゝ如し。然れども之のみにては輪條幽痕形成の作用を説明し得ず。

大正8年の頃製鋼家某氏輪條幽痕生成の假説を語つて曰く、之は鑄鋼より放出せられて液中を浮昇する氣泡の痕跡に不純物偏析物の押し入りたるものにして、其の長き條線をなせるは氣泡の通路を示すものにあらざるかと。蓋し其の形狀恰も氣泡の浮上せる通路に似たればなり(第一二五圖)。されど熔液中の氣泡通路は孰れも悉く痕跡を留むるに限らざるべし。而して如何なる場合に其の痕跡を留むべきかにつき説明を加ふることなし。

1926年英國鐵鋼協會調查委員の報文中<sup>※2</sup>に其の生因を概想したる簡單なる解説あり。曰く偏析物の濃厚となり凝集したるものにして、或物は生長中の結晶間又は尖端に絡まり、或物は比重の小なるに依り上昇すべし。而して其の上昇する偏析物が生長中の結晶の爲に妨げらるゝときは延びて紐狀の幽線となるべしと。是は要所に觸れたりといへども、未だ適確なる論證の詳述なし。

以上の諸説を通覽するに氣泡説と局所偏析説との二種あり。著者は實驗的に其の生成の理を探究したり。本章に於て其の解説を試みんとす。

#### 第一〇五節 輪條幽痕の形象と氣泡線

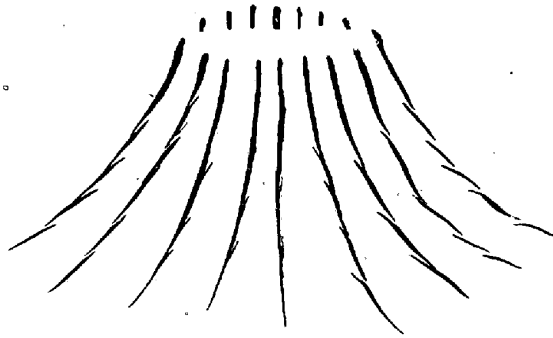
輪條幽痕の發顯及び性狀につきては、前章に記したれども、更に其の形象の概要を記し、推論に便せんとす。

輪條幽痕は鋼塊の横断面に於ては斑點として顯はれ輪狀に配列す(第一二八圖)(第一三八圖乙)(第一六一圖)。縦断面に於ては中層に線條として顯はれ、各線條は孰れも鋼髓に集中するが如き方向を執れり(第一二五圖、第一三八圖甲)。即一輪層に配列せる幽痕の線條群を假想して圖示せば第一三三圖の如き形象となるべし。斯かる一群の幽痕は上下に相重疊して大鋼塊の中層に蟠まり、其の全景

※1 Howe: Metallography. 1916. P. 564.

※2 Committee: Iron and Steel Inst. 1926 I P. 109.

第一三三圖



は總房狀を成せり。而して各線條には、長きあり短きあり、太きものあり細きものあり、其の間隔も亦不同なり。又各幽線の外下端は細くして内層に向ひ太きを常とす。此等の形象は鋼塊断面の硫貼寫に依りて之を明にすることを得べし。即横断面に於ける幽痕は、外輪に細かくして疎らに、内輪には太くして密なり。又各幽線は放射狀に走れども、相互交叉

することなきが如きは縦断面の硫貼寫にて認めらるべし。

輪條幽痕の形象を大觀するに氣泡線(第一一〇圖)と甚類似する所あり。之は大に注目すべき點にして著者は此の見地に出て實驗と觀察とに依り先づ輪條幽痕の生因を攻究せんとなす。

#### 第一〇六節 氷塊の輪條色線と氣泡線の方向

鋼塊の輪條幽痕は鋼中に於ける硫黄、燐等の偏析より成れるものにして、氷塊の中層に於ける色素の偏析現象と相類似せり。而して氷塊の輪條色線は氣泡線(第一章)とは其の生成の理、相等しきが故に此等の現象を相對照せば輪條幽痕の攻究に好資料となるべし。

但し偏析物の母體に對する比重を異にせり。

本節には氷塊實驗の結果を記すべし。

氷塊實驗一、色線及氣泡線は共に等凝結線に垂直なり。

Nigrosin の水溶液を角壺容器に盛り、寒劑を用ひて適當の溫度に容器の側面及び底部より一樣に冷却し1時間毎に1分間づゝ攪拌し4時40分間にて全部凝結せしめたり。其氷塊は第一三四圖の如し。

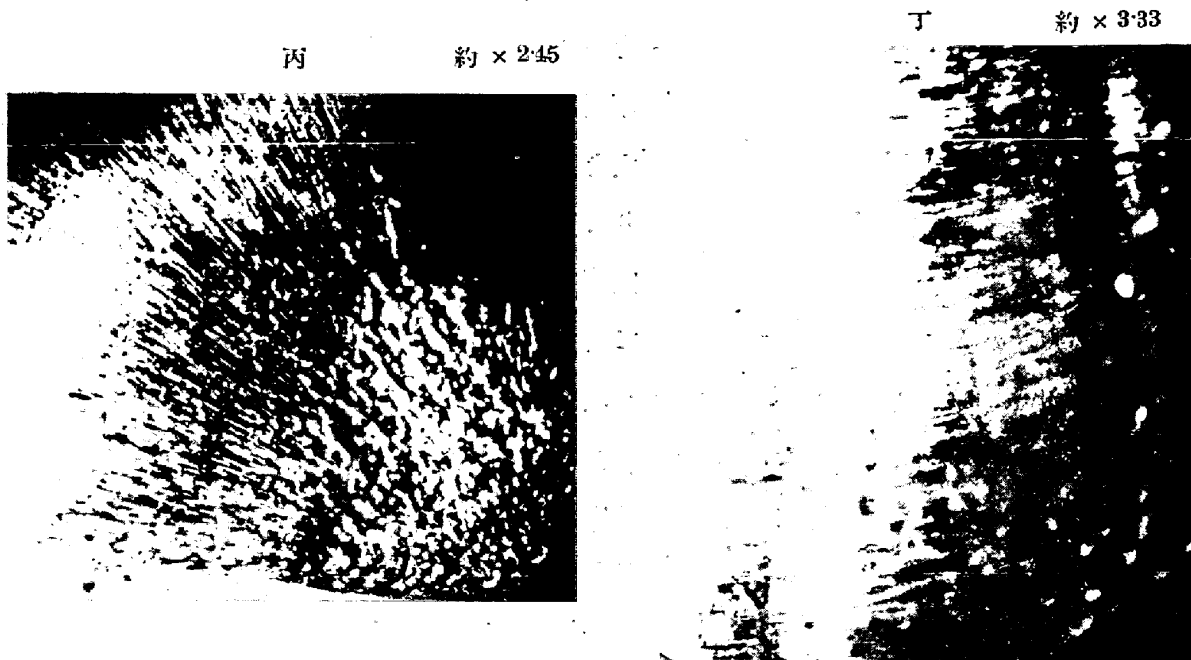
甲圖は其の中洞横断面なり。内層に輪條色線圈あり。此の断面には凝結進行中1時間毎に造られたる等凝結線3輪現はる。其の他冷却槽恆溫ならずして溫度に多少の高低を免れざるが爲、多くの薄き等凝結線を生じたり。乙圖は氷塊の縦断面にして色線は氣泡線と相並び、氷髓に向ひて走るを見るべし。此の實驗に依り氣泡線も色線も共に等凝結線に垂直なることを知る。

氷塊實驗二、等凝結線の形を變ずるも、色線及氣泡線は依然として等凝結線に垂直なり。

第一實驗と同様に氷塊を造り唯異なるは容器の側面に比し底面よりの冷却速度を大ならしめたることなり。即ち水溶液を盛りたる容器の外側のみを石綿板にて覆ひ熱の傳導を遅緩ならしめたり。而して容器の高さを6等分し、最初の1時間は、底部の1區域を冷槽に浸漬し、1時間毎に1區域づゝ冷槽中に押し沈め、毎時間の終りには30秒づゝ液を攪拌し等凝結線を造りたり。斯くして得たる氷塊の中洞横断面は第一三五圖甲にして角隅の色線終つて、輪條色線圈生じ、中軸に氷髓あり。色線圈の一部分を擴大したるものは丙圖にして色素の偏析は略々斑點狀を爲せり。

乙圖は此の氷塊の縦断面にして中層に於ける色線及氣泡は相並びて内方斜上に走り、實驗第一に於

## 第一三五圖



けるよりも其傾斜度大なり。其一部を擴大したるものは丁圖にして色素の偏析は略と線條を爲せり。

斯の如き冷却線は鐵鑄型を大なる鐵臺の上に据え鑄鋼を注入したるとき、鑄鋼は側面に比し底部よりの冷却を受くること大なる場合に當るものなり。而して鋼塊の輪條幽痕は、内方斜上に走ること(第一二五圖)此の氷塊に於ける色線と其の趣を一にするを觀るべし。底部の冷却速度を一層大ならしむるとき氷塊の色線及氣泡線は益と斜上するに至ること次の實驗にて示さる。

氷塊實驗三、更に等凝結線の形を變じたるに、色線及氣泡線は依然として之に垂直なり。

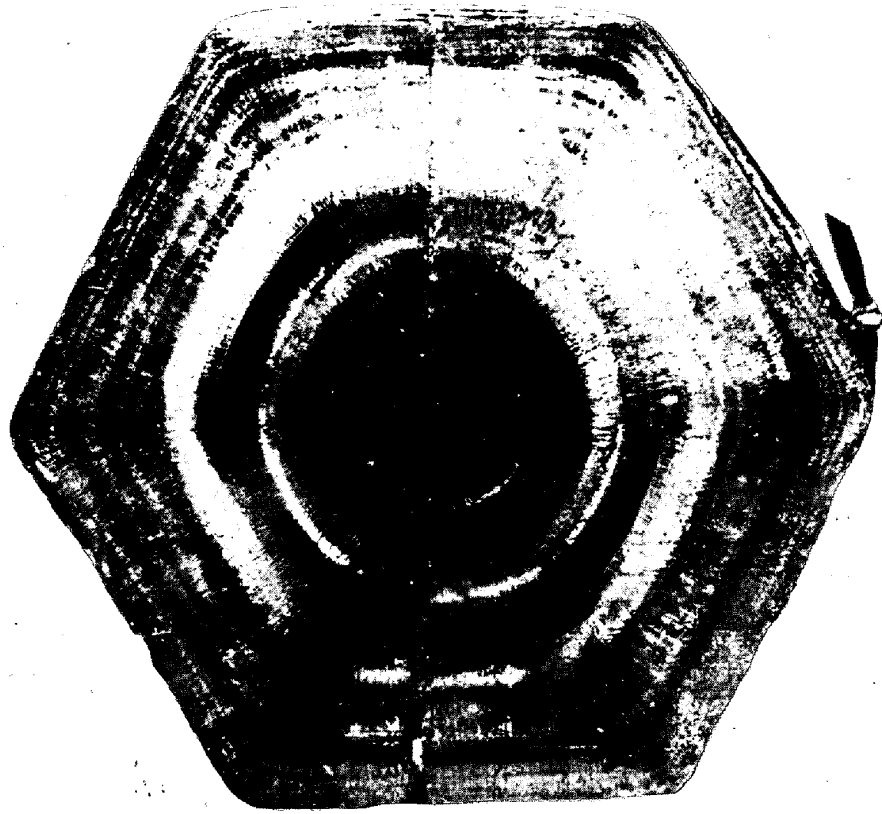
木製四角埴の底部に銅板を張りて容器とし、之を厚き鐵臺に据え、此の鐵臺のみを冷槽に投入し、容器内の黑色水を凝結せしめたり。第一三六圖乙は其の氷塊の縦斷面なり。凝結進行中1時間毎に攪拌することに依りて造られたる等凝結線に對し、色線及氣泡線は垂直の方向を執れることを明に認むべし。甲は其の横斷面にして輪條の色斑輪列せり。

本節實驗する所に依れば氷塊の輪條色線及氣泡線の走向は等凝結線に垂直なり。又氣泡線につきては浮泛力の影響を受け其の方向を變ずる傾ある場合あり(第九三節)。

## 第一〇七節 氷塊の色線の所在

第一三六圖乙の色線の部分を顯微鏡下に見たるものは丙圖なり。aは氷晶の境にして、氷晶生長の方向に黒く長く横はれるは色素の偏析なり。bは之を横ぎる方向に於ける氷晶境に存する色素の偏析なり。cは氣泡膜の上に色素偏析の懸れるものなり。即ち色線は氣泡線と全く離れて氷晶の間に偏析し、氷晶の生長と同方向に伸び行くものあり。又氣泡線の上に懸りて氣泡の生長と其の走向を共にす

※ { Osmond: Microscopic Analysis of Metals. P. 253.  
 之は鋼塊に於て Osmond 氏の Blowhole Segregation に當る。



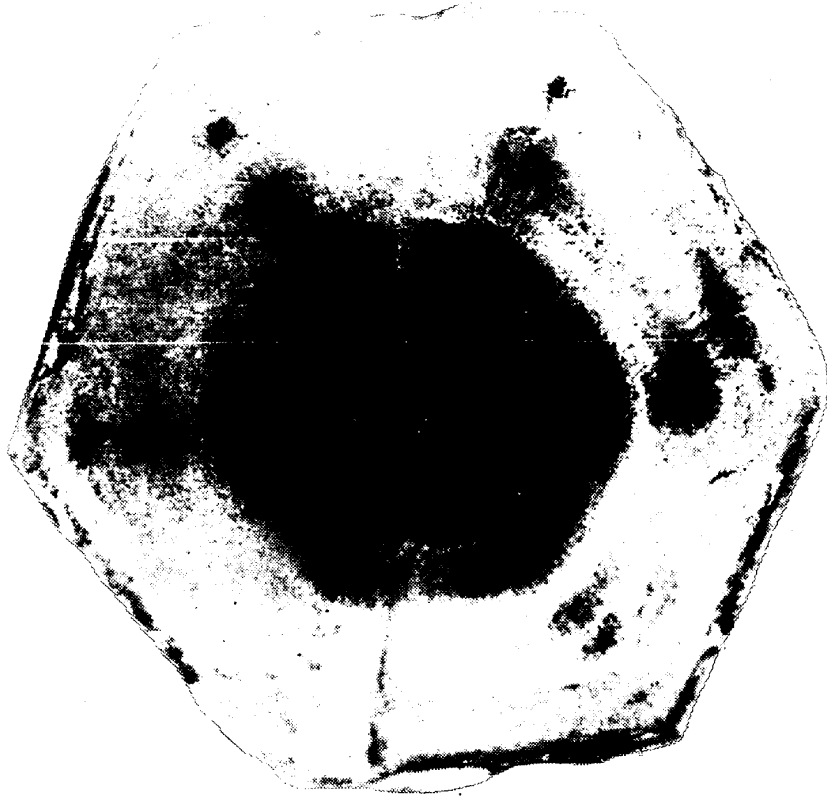
甲

× 0.8



乙

× 0.6



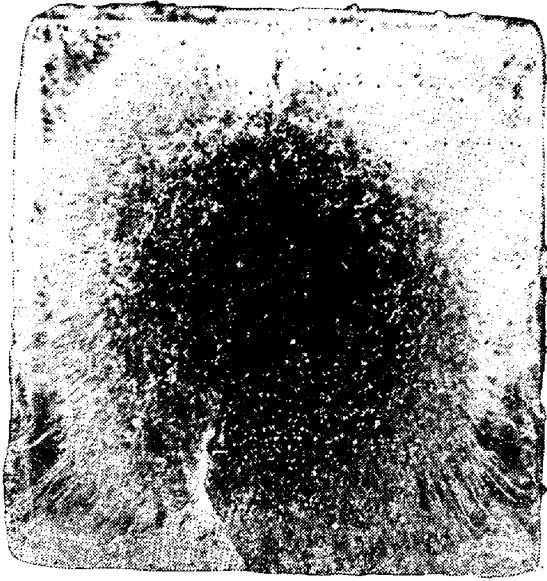
甲

× 0.8

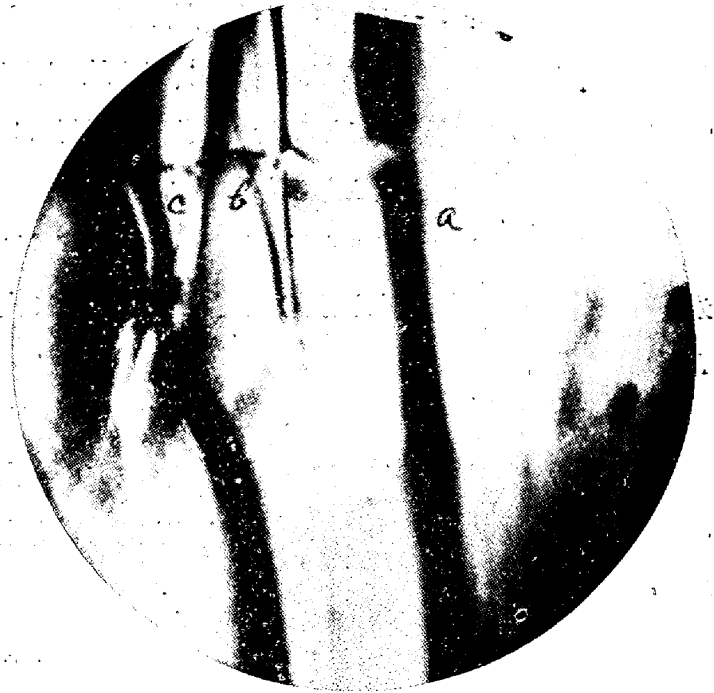


乙

第一三六圖



甲 × 10



丙 × 60



乙 × 0.8



丁 × 60

るものあり。

第一三六圖甲の輪條色圈の一部を顯微鏡下に見たるものは丁圖なり。丸きは氣泡線の横斷口にして此の氣泡の一側面に色線懸れり。實地には對物鏡の距離を調節することに依りて明視し得れども、畫面には茫然たる形象を印するのみなり。色素の偏析は2個の氷晶塊に於て細く偏析し多くの、氷晶の集合界面には濃く太き偏析となるを常とす。

斯の如く縦横斷面に於ける色線の檢鏡に依れば、色線は氣泡膜のみを辿りて成長するものにあらず。氷晶間に在りて、全く獨立し氷晶の生長に伴れて長く走成す。又氣泡膜に絡りて存するものもあることを知るべし。

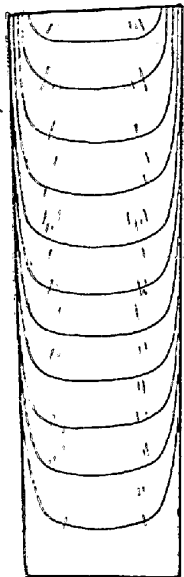
### 第一〇八節 輪條幽痕の本幹と等凝結線との關係

氷塊に在りては色線及氣泡線は等凝結線に垂直の方向なることを知りたり。鋼塊に於ても輪條幽痕の走向は等凝結線に垂直なるべきことを豫想するを考索の順路とす。先づ此の前提の下に等凝結線を描き凝固の事實に適合するや否やを概観せんとす。

鋼塊の輪條幽痕の主なる方向に蟠れる部分を其の本幹と稱すべし。

#### 鋼塊實例一、鐵鑄型にて鑄成したる等凝結線

第一三七圖



八角鑄型にて鑄成したる15噸ニッケルクローム鋼塊の縦斷面の硫貼寫(第一二五圖)に於て幽痕本幹の方向を基準とし、之と垂直なる方向に等凝結線を假想して描寫すれば第一三七圖の如き形となる。

此の鋼塊鑄造の際は押湯上面の液を熱し絶えず棒にて啄き動かしたるものなり。鋼塊の下胴につきて觀るに鋼殼形成の初期より、全塊の凝固終了に至る間底部は型臺の上に密着するを以て、凝固進行の速度比較的大にして等凝結線の幅廣し。鋼塊の側面は鋼殼形成の初期に鑄型よりの冷却影響あれど間もなく内壁より離れ、其の間隙は氣體を以て充たさるゝを以て、凝固進行の速度比較的小にして等凝結線の幅狭し。此等は前節氷塊實驗に於ける等凝結線の形成と略々一致せり。鋼塊の上胴中軸部にては收縮窩の影響を受け等凝結線は此の部分に於てV字形に陥没せり。此の所に生じたるV狀幽痕は別種の幽痕に屬するものとす(第一四章)。

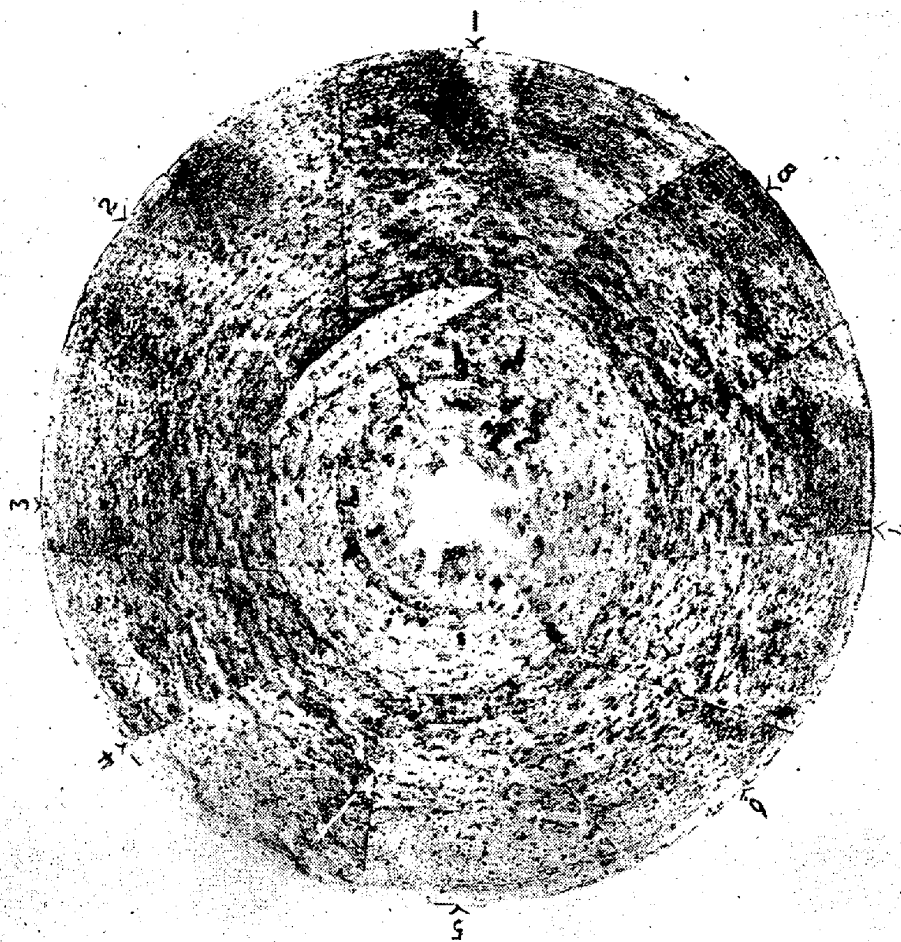
#### 鋼塊實例二、砂鑄型にて鑄成したる等凝結線

鋼殼が側面に比し底部に於ける冷却速度即ち凝結進行の速度大なる場合に輪條幽痕は一層内方斜上の度を高むべきなり。之を實例に徴せんとす。

圓坩砂鑄型の底部を厚き鐵臺の上に据え、鑄成したるニッケルクローム17噸鋼塊の斷面の硫貼寫は第一三八圖の如し。其の縦斷面甲圖を觀るに輪條幽痕圈は著しく大となれり。此の鋼塊の下胴に於ける幽線は外層にのみ存し、著しく内斜上に走り内下層には幽線發育せず。鋼塊の上胴に於ける幽線は外層よ

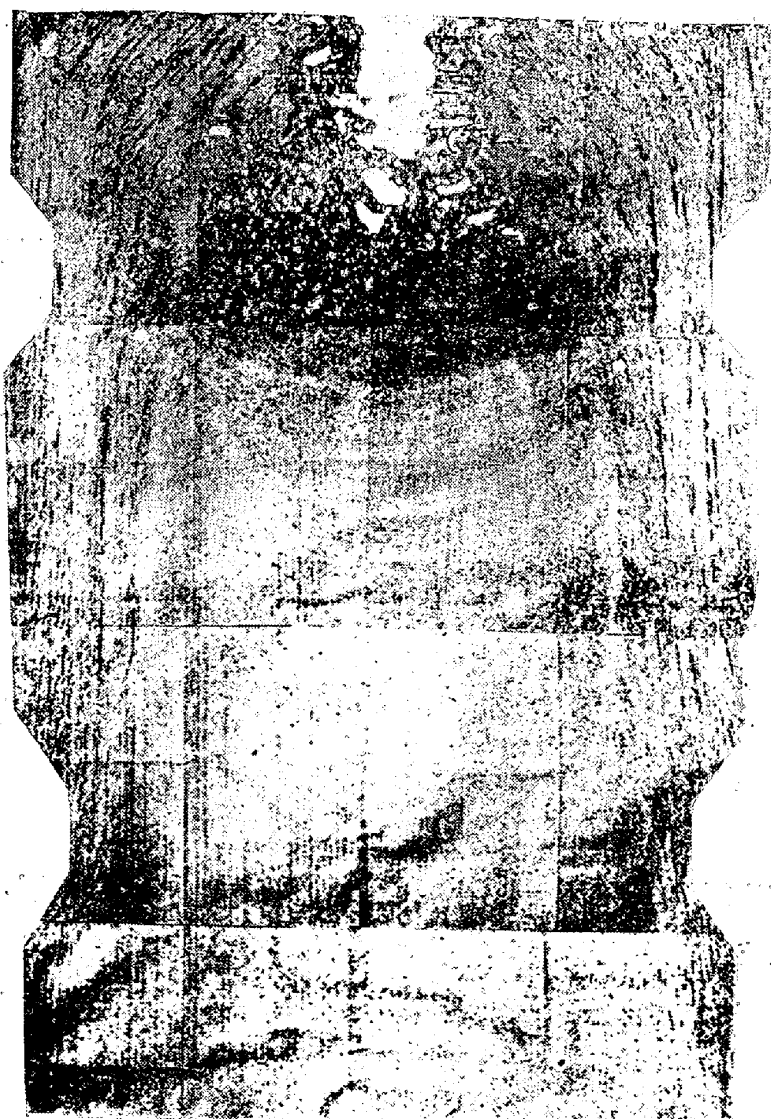


1007



甲

× 0.08

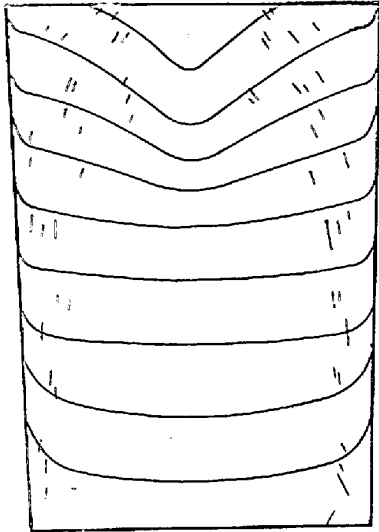


乙

× 0.07

り起り、深く内層に向ひ収縮窩の附近に達せり。之は頭部横断面の硫貼寫乙圖の幽斑分布の狀況と對照すべし。此の幽斑本幹の方向を見るに氣泡が單に鎔鋼中を浮上せるもの(第一〇四節)と解し難し。

第一三九圖



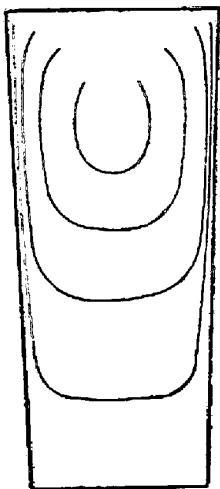
豫想に従ひ輪條幽痕に垂直なる方向を辿り等凝結線を描けば第一三九圖の如し。此の等凝結線の幅が底部に於て廣きは、底部よりの凝結進行の速度の比較的大にして側面に於ける凝結線の幅狭きは其の凝結進行の遅緩なるを示すものなり。

上に描きたる第一三七圖及第一三九圖の等凝結線は大體て於て鋼殼の凝結進行の事實を略示せり。然れども此等假想の等凝結線を概観するに、縦方向の等凝結線の幅は狭きに過ぐるにあらざるか。即ち側面よりの凝結進行速度は底面よりの速度に比し餘りに遅きことを示すものゝ如し。之は不審とすべき點にして、輪條幽痕と鋼晶の組織とにつきて更に詳細なる觀察を要する所なり。

#### 第一〇九節 凝結進行の方向と鋼晶の組織

鑄成鋼塊の結晶組織を觀て、直に凝結進行の方向を判斷することは困難なることなれども、特別の場合に於ては一般の晶結現象より演釋して、兩者の關係を推知することを得べし。之を他の凝結體につきて觀るに、氷塊柱晶の生長が等凝結線に垂直の方向に起ることは氷塊内に等凝結線の作成、晶界の方向の檢鏡等に依りて既に實證(第一章)したる所なり。第一三四圖は氷塊の斷面にして等凝結線明瞭なり。

第一四〇圖



數箇の等しき鑄型内に同一の鎔融亞鉛を分注し、鑄塊殼の厚さの漸次増しつあるとき1箇づゝ順次に若干時を隔てゝ、内層の母液を傾斜し去ることに依りて、實際の等凝結線を得べし。而して其の全塊を凝結せしめたるものを縦斷し、柳葉晶の長軸に垂直なる線を連結し得たる曲線は第一四〇圖の如くにして、此の曲線は他の鑄塊より得たる實際の等凝結線と全く一致するを觀たり。

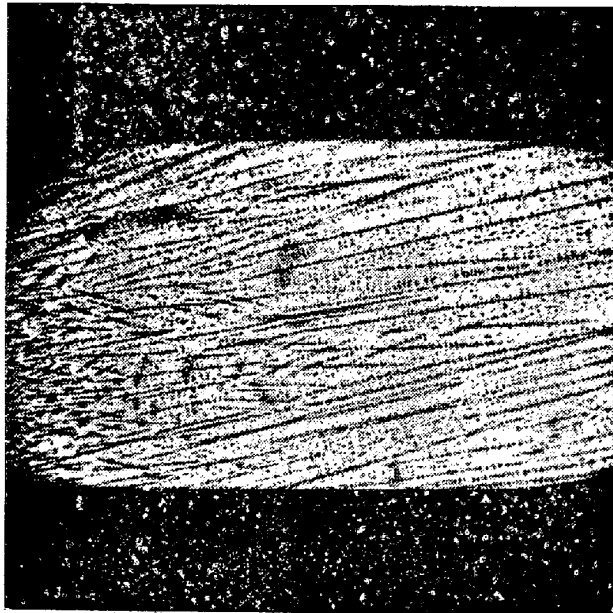
即ち柳葉晶の長軸は結晶生長の方向を示すものなることを諒解すべきなり。但凝結に際し異狀の膨縮又は其の他の事情に依りて、此の常規を脱することあるべし(第一一七節)。

鋼塊の鑄成の儘のものに在りては、初期結晶なる齒朶晶の長軸が、平行して列べるとき其の平均方向は結晶生長の方向を指示するものと推定することを得

べし。

鑄成の儘の3噸鋼塊(C 0.35%, Ni 3.5%)の中胴横断面外層の一部分を研磨し、蝕法に依り初期晶を顯はしたるものは第一四一圖なり。同一部分の次期晶を顯はしたるものは第一四二圖なり。凝固當時に生成せる初期晶即ち齒朶晶の長軸は鋼塊の内層に向ひて駢馳せり。之は結晶生長の方向即ち凝固

第一四一圖



× 5

炭素鋼 25 噸鑄成の儘の鋼塊の上側横断面、輪條幽痕圈の一部分を切り採り、先づ其の硫貼寫（第一四三圖）を撮りたり。圖中硫化物粒子の黒點の密集より成れる數多の斑紋は此の幽線の横断面に當る。其の研磨面に蝕法を施し結晶の組織を顯せば第一四四圖の如し。

甲圖は初期晶、乙圖は次期晶を顯はしたるものなり。幽痕は初期晶の間に生育し、フェライトの網目の形状は此の部分にて變調せり。

第一四四圖の一部分を更に擴大したるものは第一四五圖にして甲圖は初期晶、同一部分の次期晶は乙圖なり。鋼晶と幽痕との境域を一層明に觀ることを得べし。

此の幽痕は環境の初期晶より吐き出されたる不純物が集積して、此の大きさをなせるものなること明にして其の縦断面を觀れば長く線狀に生長せるを常とす。

斯の如く一條の輪條幽痕は初期晶の形成せらるゝに當り、凝結進行の方向に對し側面に吐き出されたる偏析物が擴散の暇なき間に晶胞間に閉ぢ込められ固化したるものにして、此の幽痕は晶間偏析が連続して行はれ、鑄層偏析が局部的に脈狀に起りたるものに外ならず。數多の晶胞より吐き出されたる偏析物が一所に集積するときは大なる幽痕となり、結晶の形成速度比較的大にして偏析物の擴散に暇なき場合には幽痕の濃度大となる。結晶の形成速度比較的小にして偏析物擴散の暇充分なるとき、偏析物は内層母液内に押し遣られ輪條幽痕を此所に形成せず。而して偏析物擴散の暇其の中程なる場合或は局部の集積不十分なる場合には偏析物幾分か擴散し幽痕の濃度も小となるべし。

次に同鋼塊の縦断面輪條幽痕圈の一部を切り採り硫貼寫を撮りたるものは第一四六圖にして幽線は縦に斜に走れり。其の鋼晶の組織を顯せば第一四七圖の如し。甲圖は初期晶にして、乙圖は次期晶なり。

幽痕は恰も初期晶の間を潜りて生長せるものゝ如し。フェライトの網目は此の部分にて亂されたり。

進行の方向を指すものと推定することを得べし。

鋼塊凝固後に結ぶ次期晶のフェライト網目は其の形成當時の冷却法によりて形状の可變性を有すれども、鑄成儘の鋼塊に於て細長き網目の駢列するとき、其の長軸の平均方向は凝固進行の方向を判する参考となるべし。

斯くて結晶の形象を辿り、其の生長の方向に垂直線を連ぬれば等凝結線を描き得べきなり。

#### 第一一〇節 輪條幽痕の方向と鋼晶の組織

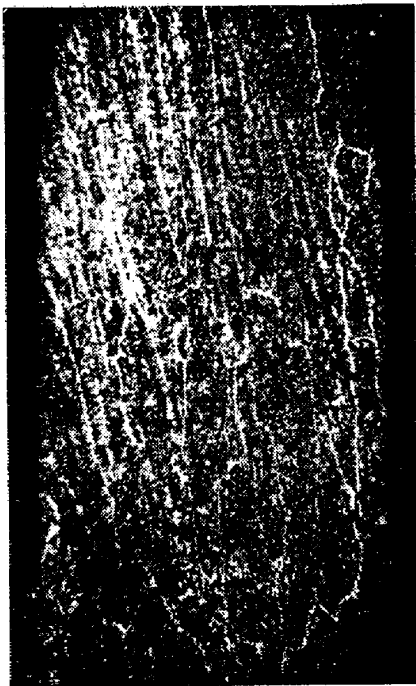
輪條幽線の走向と凝結進行の方向とが一致せるものなりや否やにつきては幽線の方向と、鋼晶の組織との關係を知ることによりて明となるべし。

第一四三圖



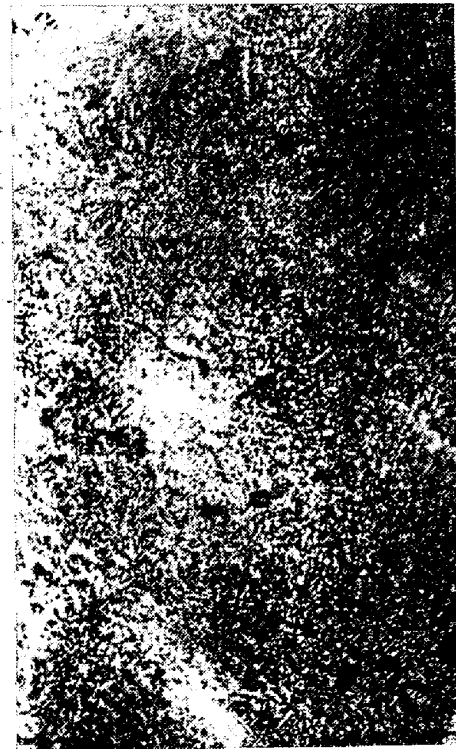
約 × 0.9

第一四二圖



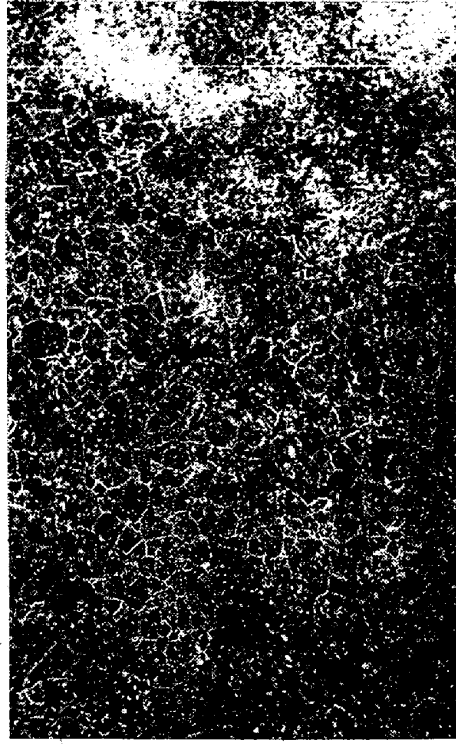
約 × 5

第一四四圖



約 × 0.6

乙

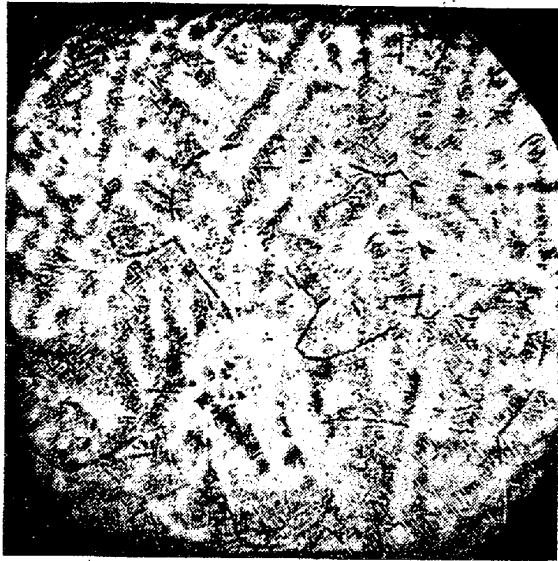


約 × 0.6

甲

第一四五圖

甲



約 × 47

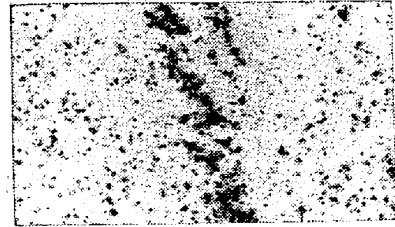
第一四五圖

乙



約 × 99.5

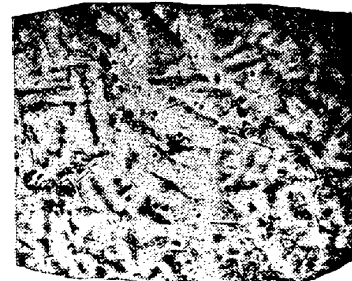
第一四六圖



約 × 23

第一四七圖

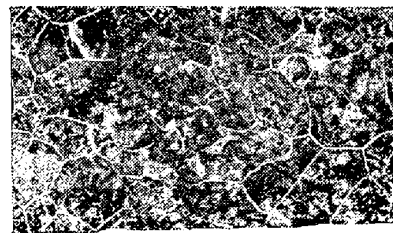
甲



約 × 284

第一四七圖

乙



約 × 23

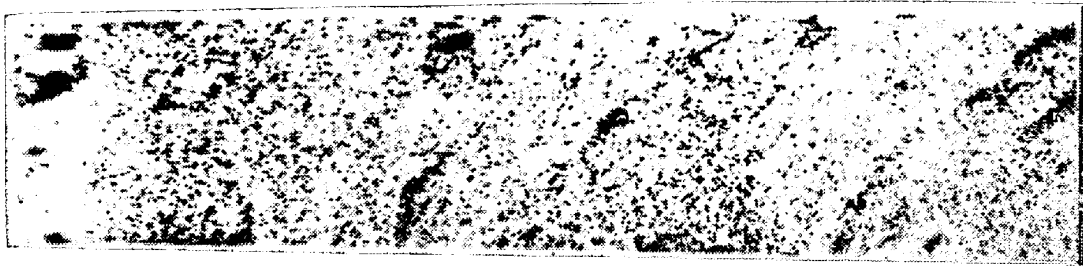
此の初期晶の形象にては凝固進行の方向を判別するに稍と不明なれども、次の例は方向を判定するに好適のものなり。

15 噸ニッケルクロム鋼鑄放し鋼塊の上胴中軸を過る縦断面の一部分の硫貼寫は、第一四八圖甲にして輪條幽痕の位置を概知し得べし。此の部分の初期晶を顯はしたるものは乙圖にして長軸の齒朶晶は略と相駢びて走れり。この走向は第一〇九節に述べたる見解より結晶生長の方向即ち凝結進行の方向なりと認むることを得べし。

鋼塊縦断面の輪條幽痕を仔細に觀察するに、幽痕は一條の紐の如く長く延びたるものあり（第一五二圖 a）、之を輪條幽痕の單一なる本幹と稱すべし。又本幹が笹葉狀の細片より成立つこと（第一五二

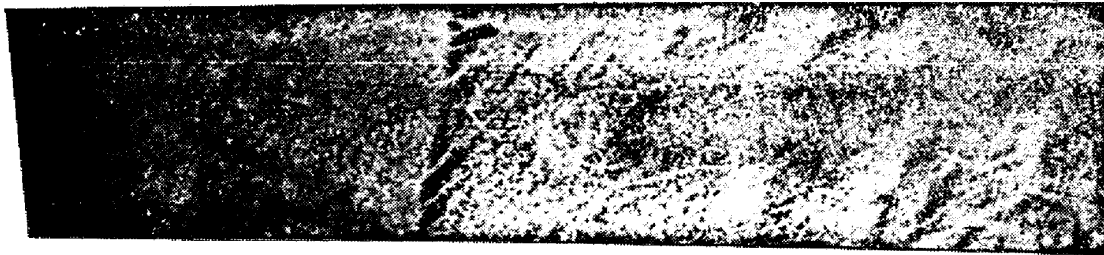
圖 b) あり。此の笹葉狀の細片を支脈と稱すべし、支脈の方向は鋼塊の内層に向へり。此等の支脈は相並びて輪條幽痕の本幹を形造り、硫貼寫にて通常輪條幽痕の方向として知らる。各支脈の間隙に沿ひて齒朶晶の長軸横はり、硫貼寫には白き緋り狀をなせる部分あり。本幹の方向は第一四八圖に觀るが如く齒朶晶生長の方向外れ、鋼塊の縦軸に平行ならんとする傾向を存して樹てり。支脈の各硫黃線、又は其の間に於ける白緋りの方向は凝結進行の方向を示し、此等は等凝結線に垂直なるものと推斷せらる。之は後節に於て逐次解明せらるべし。

第一四八圖 甲



x 08

乙

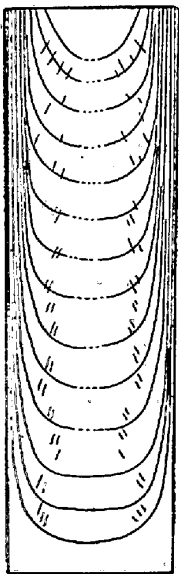


x 05

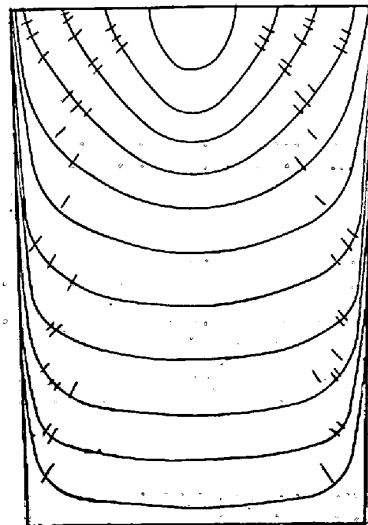
第一一節 輪條幽痕支脈を基標とせる等凝結線

前節の所論に於て輪條幽痕の本幹の方向は凝結進行の方向を外れ、其の本幹を構成せる支脈の硫黃

第一四九圖



第一五〇圖



線又は其の間に在る白緋り線が、凝結進行の方向を示すものなることを述べたり。

此の關係を 15 噸鋼塊の縦断面、第一二五圖、第一三八圖に適用し等凝結線を描けば、順次第一四九圖及第一五〇圖の如くなる。斯くして得たる線は等溫線の自然の形態として認容し得べきものとなれり。又之に據りて幽痕に關する諸現象を能く解明し得べし。此の等凝結線が鋼塊凝固當時の状態を示すものとせば輪條幽痕の本幹は何故に凝結進行と其の方向を異にせるものなるか。此の疑問に答ふべき考究を要すべし。茲に於て輪條幽痕

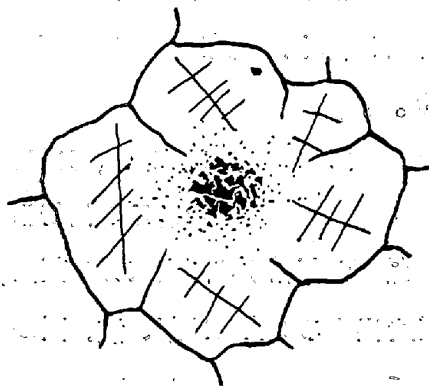
形成の機作につき解説を立つること次節の如し。

第一一節 輪條幽痕形成の機作

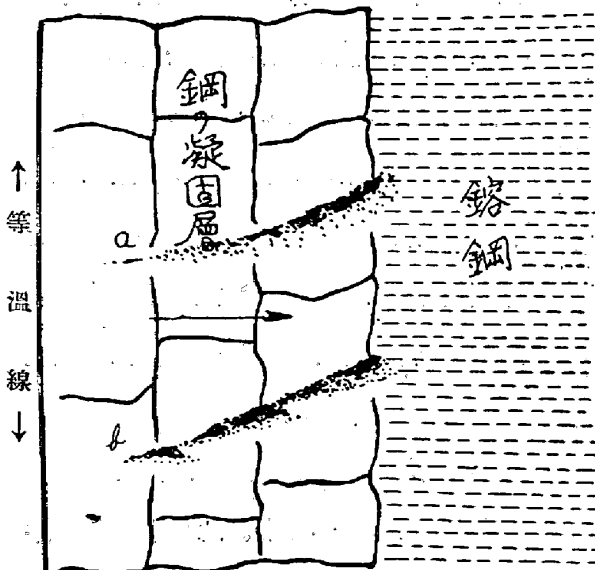
輪條幽痕を構成せる各支脈は鋼晶生長の方向を指せることを識りたり。然るに此等の集列より成れる本幹は鋼晶生長の方向を外るゝ理由如何。之を説明するに諸種の現象より歸納し改新し、茲に偏析物這昇説を立て其の形成の機作を記述すべし。

若干個の環列鋼晶よりの各偏析物が凝結進行側面の共通の一所に吐き寄せられ、此の所に集積せる偏析物は、尙流動性を有し恰も鋼晶の筒内に液を盛れるが如し(第一四五圖、第一五一圖甲)。而して此の偏析物は主成分よりも比重小(第一一四節)なるを以て上方に浮泛せんとする傾向を有せり。鋼殼の側面より發育せる鋼晶の筒口は水平又は斜上に開口して、鎔鋼の層に面するを以て、内容の流動偏析物は其の輕さに依り上方に溢れ出でんとすること恰も煙突より黒煙の立ち昇らんとする狀勢に似たり

第一五一圖  
甲



乙



(第一五一圖乙 a)。此の狀勢に在る偏析物は側面より生長し進み來れる鋼晶に會し其の先頭即ち鋼塊の内壁面に沿ひて直上又は斜上に這ひ昇らんとす。其の上昇の途次側面鋼晶より吐き出されたる偏析物を加へて偏析濃度を増すことゝなるべし。

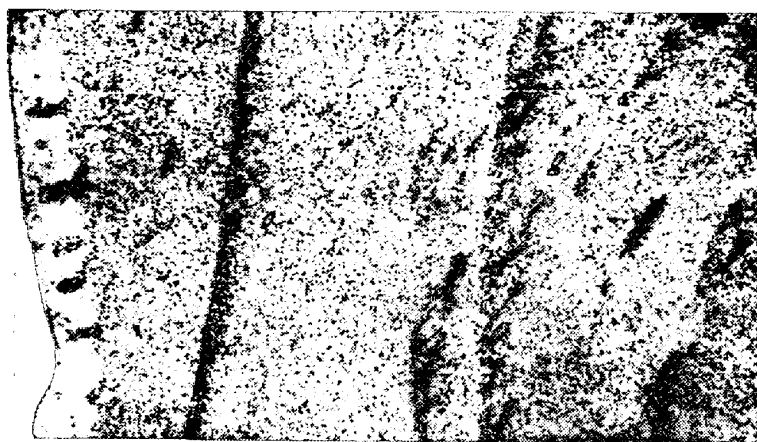
流態偏析物中には後節に述ぶる如く氣體をも包括することゝすべし。放出氣體が鋼晶の凝固域と母液の間を浮上通過するや其の泡跡を填充するには融點低くして流動性に富める偏析物を以てするは當然なり。例へば濕潤せる泥砂中に衝き立てたる杭を、上方に引き抜くとき杭跡には主として水分浸出し來ると相似たり。即凝固層内壁面を這ひ昇る氣泡の跡には偏析物の濃度を一層増すことゝなるべし。

斯の如き作用が連続して行はれたる場合に、輪條幽痕の本幹は形成せらるゝなり。

第一五二圖は 15 噸ニッケルクローム鋼塊縦断面の一部にして a は本幹が濃厚に發育したる例なり。甲圖は流貼寫、乙圖は初期晶の顯出、丙圖は次期晶を顯出したるものなり。

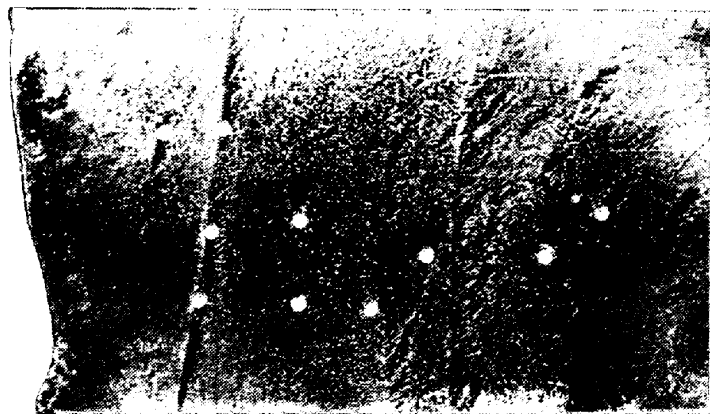
斯の如き本幹の充分發育したる幽線は支脈の發育顯著ならざるを常とす。

※ 乙圖中の數箇の小圓は他の試験に供したる壓痕なり。

第一五三圖  
甲

約 × 0.522

乙



約 × 0.522

丙



約 × 0.522

鋼晶の筒より溢れ昇る偏析物稀薄なる場合には、本幹の濃度も亦小にして、側面より進出する鋼晶の多くは骸晶に依りて突破せられ或は偏析稀薄なる部分の鋼晶發育し(第一四八圖乙)、幽痕の本幹は之が爲に切斷せらるゝと同時に骸晶間に偏析物を吐き寄せらるゝことゝなるべし。是即笹葉狀の支脈にして支脈が凝結進行の方向を示す所以なりとす。第一五一圖乙 b は其の説明圖なり。第一四八圖、第一五二圖 b、第一五三圖 b は孰れも鋼塊縦断面の硫貼寫及蝕法顯晶にして本幹は薄く、支脈は濃厚に發育せる例なり。

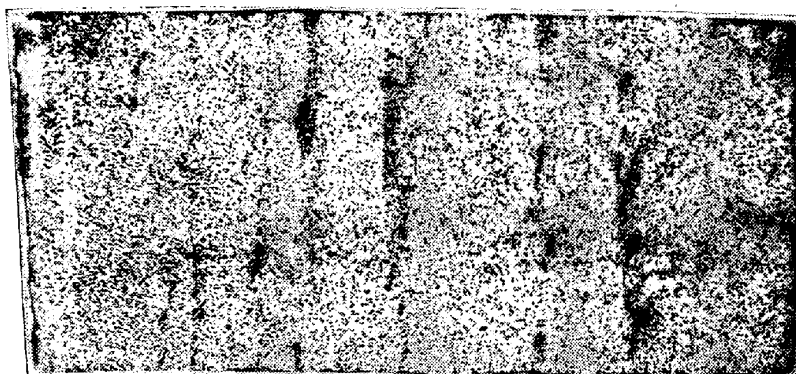
## 第一一三節 輪條幽痕形成時

## に於ける偏析物

鎔鋼が凝結する際主成分の凝固體より吐き出さるゝ物には氣、液、固の三態あり。氣體は氣泡となり、固體の粒子及液體は漸次偏析の度を増し、孰れも殘母液中に吐き出さる。氣體は比重極めて小なるを以て殘母液中を浮上し去るか、或は鋼晶中に閉ぢ込めらるゝかにして其の成分は一酸化炭素、二酸化炭素、窒素及水素等の混合氣より成れり但氣泡小なるとき液の粘性に依り浮上速度減ぜられ或は液中に懸り留る場合もあるべし。輪條幽痕中には往々氣泡の閉ぢ込められたるものを見る(第一五七圖)。氣體は偏析の當時若干の放出あるべきも、比重小なると浮

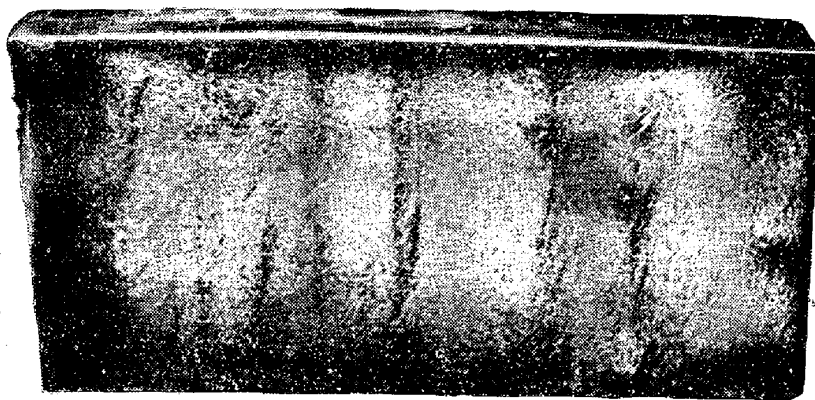
※ Goerens: Stahl und Eisen: 1915. S 1135. 其他 Müller 氏 Ruhfuss 氏等多くの實例あり。



第一五三圖  
甲

約 × 0.4

乙



約 × 0.4

泛の妨げられざるとに依りて浮上し去るべく、或は閉ぢ込めらるゝものもあるべし。鋼中の磷は液溶態として偏析し、其の濃度増すときは磷化鐵 ( $\text{Fe}_3\text{P}$ ) 及其の共融體の析出するに至る鐵中磷の偏析するとき、磷量 1.7% に至るまでは凝固區域次第に増して 400 °C の間に互り、融點は次第に下降し、磷量 10.2% なる共融點に於ては 980 °C となる。鋳鋼中の磷含有量は平均 0.035% 内外の微量なるものは溶體として存すれども、輪條幽痕の偏析現象著しきものは、局部に偏析せる磷の濃度可なり濃厚となり、共融及び磷化鐵の偏析を見るに至ることあり。此の故に

鋼の初期晶の形成せらるゝ際、磷は其の偏析と融點降下とに依り液狀を保ちつゝ、局所に吐き寄せられ他成分の偏析物も同液相或は異相となりて之に加はり、茲に輪條幽痕の源體となる。異相として混在するものは硫化物及び鎔滓なり。硫化物の組成及融點につきて著者は諸種の現象を参照し Rühl 氏の研究に據らむとす。

元來硫化マンガン  $\text{MnS}$  は濃厚なる鳩色をなす、融點は 1,620 °C にして鐵よりも遙に高きものなり。之に硫化鐵加はるときは溶體となり。其の量を増すに従ひ固有鳩色は薄くなり融點は次第に降下し。硫化マンガンの含量 40% に達するとき  $\text{Mn}_2\text{Fe}_3\text{S}_5$  なる複化合物となる。此の化合物の融點は 1,365 °C なり。鋼中に存するのは此の成分なりといふ。

鋼地及び幽痕中に無數に點在する硫化物の粒子は、即ち硫化鐵マンガンにして純硫化マンガンに比し鳩色薄し。而して其の融點は 1,400 °C 附近なるべし。此の硫化物は大洲田結晶の間に挟まり形も亦

※1 Wüst: Metallurgie. 1908. S 73. Geerens u. Dobbstein: Metallurgie. 1908. S 561.

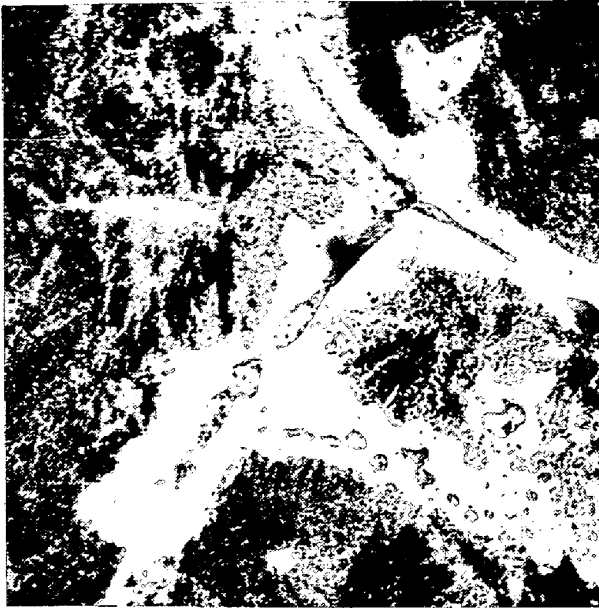
※2 Stead: Iron and Steel Inst. 1900. ii 60.

※3 Carn. Sch. Mem. 1912. S 28.

※4 Levy: Iron & Coal Trade review. 1910. S 433.

※5 Carn. Sch. Mem. 1912. S 28.

第一五四圖



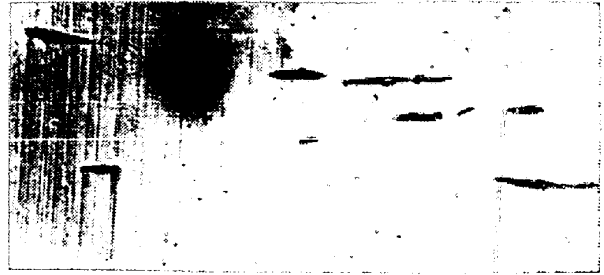
x 150

第一五六圖



x 450

第一五五圖



x 55

第一五七圖



x 5

之に應じ蠕蟲狀をなして蟠まれるものあり(第一五四圖)。之は大洲田の形成當時尙流動性を帯びたるに依る。鋼塊の鍛錬によりて壓延せられ、細長き形状となれるものあり(第一五五圖)。鍛錬温度に於て柔軟となるものなることを知るべし。

輪條幽痕中の硫化物粒子に其の内部に周邊に於けると同組成の濃厚なる鐵燐溶體を包含することあり第一五六圖の G は即是なり。之は偏析作用充分進行したるとき流動性を帯ぶる硫化物粒子の體內に其の周邊の溶體の拵入せしものなることを知るべし。

鋼塊の凝固域に於ける裂開即角隅幽痕には裂開の形状に沿ひて細長く横はれる硫化物あるが如き何れも初期品よりも融點の低きことを示すものなり。

液態の硫化鐵マンガンは鎔鋼に對して異相なるを以て別層に分離するものなり。著者は嘗て硫化マンガンを鋼中に融入せんとして不能なる實驗を行ひたり。

然るに其の粒子が鎔鋼或は鋼塊の全體に散布せるは、粒子の小なると鎔鋼の粘性大なるとに依り粒濁物 (suspensoid) として鎔鋼中に混在するものとせらる。

炭素の偏析も亦著しけれども<sup>※1</sup>固溶體中に於ける擴散性可なり速かにして之は<sup>※2</sup>磷の偏析せる部分を選ける傾あり。<sup>※3</sup>珪素、<sup>※4</sup>マンガン、<sup>※4</sup>ニッケル、<sup>※5</sup>クローム及び銅は偏析程度甚輕微なり。固態粒子としては珪酸、礬土の類も輪條幽痕中に混入を免れざるべし。

此生成の當初には氣體の放出も亦之に伴ふべし (第一三六圖丁、第一五七圖)。

本章に於て幽痕形成の當時に於ける偏析物とは液體、固體の外便宜氣體をも併せて稱す。

#### 第一一四節 液態幽痕の比重

輪條幽痕の部分が高温にして尙流動性を帯ぶるとき、其の偏析物の一團の比重と母液の比重との比較は未だ計測せられざれども、鎔鋼及び其の成分の比重より推考することを得べし。第五〇表の諸比重を通覽するに、常溫固態に於ける磷化物及硫化物の比重は、何れも純鐵及び鋼より小にして、尙且つ液態鎔鐵よりも小なり。故に其の溶體又は混合體なる輪條幽痕の高温に於ける流動性原體は、母液なる鎔鋼よりも比重小なるものと概測せらる。

第五〇表

物 質	組 成	比 重	觀 測 者
純 鐵	Fe	7.87	Landolt and Bernstein. P. 163
鎔 鐵	液 態	6.88	Roberts, Wrightson. 1881
鑄 鋼	液 態	6.50	Firma Senssenbrenner
炭 素 鋼	C 0.35%	7.848	J. S. W. 1917
ニッケル 鋼	C 0.34 Ni 3.4	7.849	"
ニッケル 鋼 クローム 鋼	C 0.31 Ni 3.5 Cr 0.43	7.834	"
硫化マンガン	MnS	3.99	Mourlot
硫化鐵	FeS	4.84	E. W. Clarke
磷化鐵	Fe <sub>3</sub> P	6.74	Le Chatelier, Wologdine
"	Fe <sub>2</sub> P	6.56	"
空 氣		0.0012931	"

※1 Gubillo: Stahl und Eisen. 1912. S 1195.

※2 Howe: Metallographie. P. 564. 理學博士石原寅次郎; 金屬の研究 1924 P. 363.

※3 Stead: Iron and steel Inst 1915 i P. 168.

※4 Gubillo: Stahl und Eisen. 1912. S 1195.

※5 Zdanowis: Stahl und Eisen. 1901 S 754.

※6 著者實測。

又鋼塊の幽痕存する部分と、其の附近の素地との比重を比較することに依りて、具體的に其の差異を啓示せらるべし。120 噸鋼塊炭素鋼及び 15 噸鋼塊ニッケルクロム鋼の上鋼に於ける輪條幽痕の一部と、其の附近の素地とに就きて、實測せる結果は第五一表の如し。

第五一表

試料 炭素鋼 (C·35%)

記号	區分	熱鍊	記事	比重	比重ノ比較
A	鑄塊素地	燒鈍		7.874	A:A 1.0000
B	鑄塊中ノ幽痕	・	空窩ヲ存セザルニ	7.850	B:A 0.9970
C	鑄塊中ノ幽痕	・	空窩ヲ存スルニ	7.809	C:A 0.9917
A <sub>1</sub>	Aヲ鍛鍊セルニ	・		7.875	A <sub>1</sub> :A <sub>1</sub> 1.0000
B <sub>1</sub>	Bヲ鍛鍊セルニ	・		7.852	B <sub>1</sub> :A <sub>1</sub> 0.9970
C <sub>1</sub>	Cヲ鍛鍊セルニ	・		7.854	C <sub>1</sub> :A <sub>1</sub> 0.9972

試料 合金鋼 (C·36 Ni 3.5 Cr·6%)

記号	區分	熱鍊	記事	比重	比重ノ比較
D	鑄塊素地	燒鈍		7.875	D:D 1.0000
E	鑄塊中ノ幽痕	・	空窩ヲ存スルニ	7.821	E:D 0.9931
D <sub>1</sub>	Dヲ鍛鍊シタルニ	・		7.873	D <sub>1</sub> :D <sub>1</sub> 1.0000
E <sub>1</sub>	Eヲ鍛鍊シタルニ	・		7.847	E <sub>1</sub> :D <sub>1</sub> 0.9965

供試鑄材は孰も燒鈍を施し比重を測定したり。其の炭素鋼に在りては、供試素地の附近に在る幽痕地 2 箇所を選び、其の 1 は幽痕地に空窩無しと認めらるゝ部分、其の 2 は空窩を存すと認めらるゝ部分を截取したり。此の空窩の存否は該幽痕を通じて其の成立及び測定部分の前後を検鏡することに依りて推測したるものなり。

鑄材の比重に就きて觀るに幽痕地は何れも素地に比し比重小なり。就中空窩を伴へりと認めらるる幽痕地の比重は一層小なり。

空窩の存否及び其の比重値に對する關係を知らんが爲、上記測定鑄材を真空中に於て 900°C に熱し、之を鍛鍊係にて鍛鍊し、更に

真空電氣爐にて燒鈍を行ひたる後、其の表面を研磨して再び比重を測定したり。

其の結果幽痕地は素地よりも比重依然として小なり。空窩を伴はざる幽痕地及び素地は、鑄材と鍛材とに於て比重に殆ど差異なけれども、空窩を伴へる幽痕地の比重は鍛鍊前の方鍛鍊後のものよりも小なり。是れ空窩は鍛壓せられ比重に對する影響取除かれたるに因るものとす。

即ち鑄成の状態に於ける幽痕地は、空窩の存否に係らず、素地よりも比重小なることを知る。

液態幽痕は此等の凝固幽痕よりも比重一層小なるべし。何となれば其の形成當時幽痕には炭素、燐等の比重小なる偏析物集積すれども凝固後の熱影響にて擴散し去る傾向あればなり。

斯くして液態幽痕の比重は素地よりも小なることを確認せらるべし。

第一一五節 輪條幽痕の諸形象の解明

幽痕本幹の外層側

鋼塊縱斷面に於ける輪條幽痕の硫貼寫第一五二圖甲、第一五三圖甲を觀るに本幹の鋼塊外層側の堺

は、素地との區劃明瞭にして、直線又は曲線状を爲し、此の側は幽痕特に濃厚なり。是れ外側素地は幽痕形成の當時既に偏析物を析出し終りて凝固し凝固層の新内壁面を成せる部分にして、比重小なる液状の集積偏析物は此の面を嘗め昇らんとする傾向を有し、就中輕き硫化物粒子は液態幽痕中を浮昇し、鋼晶の上蓋に支へらる。斯くして幽線の上外側の硫化物は益々濃密となる。

#### 幽痕本幹と氣泡線との差異

氣泡線の形成せらるゝ際、氣泡と母液との間には判然たる境界あり。鋼晶は氣泡の所在に沿ひて結ばる。故に氣泡線と鋼晶とは其の生長方向略々一致するを常とす。

幽痕偏析物は一旦偏析せるものといへども、母液との境界鮮明に永存し難き場合あり。即ち凝固進行側には、偏析濃厚となり、高温液状の側には擴散作用行はれ、其の比重小（第一一四節）なることは、浮上作用を助けて、新鋼晶の進路を遮ぎらんとする傾向あり。是れ輪條幽痕本幹と鋼晶とは、其の生長進路一致せざる場合を生ずる所以なり。

#### 幽痕の支脈

鋼塊外層の内壁面を基底として、新鋼晶は幽痕本幹を横切り、内層に向ひて生長するものあり（第一四八圖甲）。是は笹葉状の支脈となるものにして、凝固進行の方向を示すものなり。

#### 幽痕本幹の内層側

幽痕本幹の鋼塊内層側の堺は素地との區劃薄く暈けて明瞭ならず。是れ液態幽痕の中の輕き硫化物粒子は浮上の傾向を有し、鋼晶の上蓋に向ひ浮昇し去り、下方は硫化物粒子の數量稀薄となるに因る。又液態幽痕の内層側は鋼母液に接するを以て、幾分か此の方に擴散する傾向を有し、且つ外層側より液態幽痕中を突進する鋼晶の爲に散紊せらるゝ場合あり。之は笹葉支脈の先端の方に當る。然れども凝固の狀況に依りては、内側の區劃線鮮明なるものあり。

#### 幽痕中の鱗線

輪條幽痕の縦断面を見るに第一五二圖丙に於て、幽痕中の笹葉支脈の白色に緋れる部分は鱗の濃密なる部分にして、鱗化鐵及び鱗鐵共融をも含めり。之を甲圖の硫貼寫と對照するに、此の所に硫化物も亦濃密なり。而して其の外層に沿ひては、黒く境界附き明に素地と區別し得べし。

此の黒線に見ゆる部分は鱗鐵の固溶體（第一〇〇節）にして鱗含量は局部的に比較的此の部分に多し。然るに此の黒線の部分を硫貼寫と對照するに硫化物粒子の分布最稀薄なるは、一般偏析に於て、鱗と硫黃と相伴へる現象と趣を異にするは何故なりや。是れ此の黒線の部分は幽痕尙液状の當時其の外層側に新生せる鋼晶壁にして、此の鋼晶より液状幽痕を充分に偏析したる爲め、此の部分には硫化物粒子甚稀薄となり。一旦液状幽痕圈に掃き込められたる鱗は幽痕凝固後徐冷する間に再び逆方向に擴散し來り、炭化物を外方に排除し、茲に黒線の部分を生じたるものとす。此の部分を檢鏡すれば、炭化物比較的薄し。

#### 幽痕中の空窩

幽痕中には空窩の存することあり。第一五七圖は幽痕断面の一部分にして空窩は幽痕中の鋼塊外側即ち硫黄、燐の偏析量濃厚なる部分に挟まり、幽痕本幹と素地との堺線に沿へり。或は幽痕支脈の濃厚なる部分にも介在することあり。是等の内には脆き固滓の缺け陥ちたる跡と認め難きものあり。窩内の何れにも異物の殘骸を見出さざればなり。收縮窩にもあらず。偏析の濃さ同程度と認めらるゝ部分に此の種の空窩無ければなり。然らば之を氣泡とせざるべからず。乃ち當初の液狀幽痕中に析出せる氣體が、凝固層の新内壁面に沿ひて上昇せんとするとき、此の所に於て捕へられたるものにして、氣泡が圓形をなさざるは、鋼晶の自由生長に依り氣泡中に突出し來り不正形となりたるものなるべし。故に液狀幽痕は氣泡と相伴ふことあり<sup>\*</sup>(第一三六圖丁)。此の氣泡に促されて液態偏析物は鋼晶の管を出で、管め騰る勢力を増すことあるべし。

### 幽痕中の太さ、濃さ

單一輪條幽痕の外端即ち鋼塊の外層に位する部分は細くして薄し。夫より内層上方に向ふに従ひて、漸次太さと濃さを増す。是れ凝固の外層より漸次内層に向ひて、偏析増し、液狀幽痕の分量も亦多くなるに依る。上端の太き部分には空窩の介在すること多し。

### 第一一六節 氣泡跡填充の幽痕

Stead 氏の説(第一〇四節)に據れば輪條幽痕は氣泡の空腔中に液態幽痕の浸潤したるものなりといへり。斯の如き作用にて形成したる幽痕は特殊の形象を有することにつき實例を擧げて解説すべし。

第一五二圖乙左側は鋼塊の最外層にして、此の部分の鋼晶は稍々柱狀に發育せるを見るべし。之は鑄型よりの冷却影響を受け、其の隣接の内層よりも比較的速なる冷却勾配なりしに因る。此の層には硫化物の散在少けれども、局所に濃厚なる硫化物の偏析せる橢圓狀の部分あり。

此の局部偏析は一般の輪條幽痕と趣を異にせる形象なり。其の外半は濃厚にして橢圓形を爲し、周縁の境界明瞭にして、柱晶の長軸に沿ひ恰も鋼塊外層の氣泡と其の形狀、位置、方向共に一致せると第一二二圖Cの氣泡を参照すべし。之は120噸鋼塊縱断面の寫眞にして、其の上層外層の柱晶層中に若干の細長き氣泡の介在するを見るべし。

又第一五二圖Cの局所偏析の内半は斜上方に折れ上方に向ふに従ひて偏析の濃度と太さを減じ、遂に消失すること一條の煙の上騰するに似たり。

輪條幽痕は第一一九節に述ぶるが如く、柱晶層終りて、其の内層に發生するものなるを以て此の局部偏析は一般の輪條幽痕と其の位置異り。其の形象より形成の狀況を推定するに、此の橢圓なる部分は鋼殼形成の初期の氣泡を宿したる所なるべし。

柱晶層の形成止み冷却温度の勾配減じたる時、氣泡の逃げ出づるや否や、其の跡に凝固域に於ける偏析母液浸入し、其の空腔を填充す。氣泡は其の腔外に近き初晶の間を潜りて、其の経路にも偏析作用を促しつゝ母液中を上昇し去る。

\* Osmond: Microscopic analysis of metals. P. 153.

氣泡の内端は銻鋼母液に接し、填充後は其の比重小なるを以て舊氣腔の内端より氣泡浮上の経路を追ひ浮昇する傾向を有し、時に其の上蓋に當り等温線に支配せられつゝ生長し來れる鋼晶に會し、之よりは幽痕形成の機作(第一一二節)の要領にて幽痕を形成するものとす。此の例の場合には立煙の如き貌となれり。此の煙狀幽痕の方向は、其の附近内層に於ける輪條幽痕の外下端と形勢相類似せり。是れ共に等温線の影響を受けたるに因るべし。

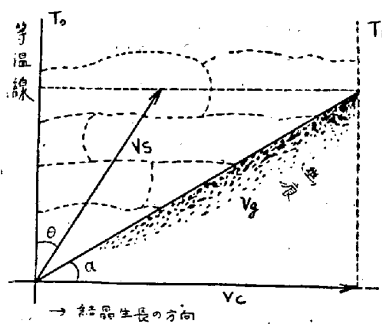
而して此の煙狀幽痕の外側は凝固層の晶壁なると、幽痕輕粒子の浮昇せるものが停滯する傾向を有すると依りて、其境界濃厚なるに反し、内側は輕粒子の浮昇し去りて、其の量を減じたる跡なると、銻鋼に觸れ擴散作用行はるゝに依り、漠然として暈け去れるを觀るべし。

斯く觀ずれば、此の種の幽痕は Stead 氏の氣泡跡填充(第一一四節)の現象にして、先づ氣泡線成立し、固凝域に於て内容氣體と、液體幽痕との置換行はれて幽痕を形成するものなり。而して之は其の位置形狀に依りて輪條幽痕と區別することを得べし。

第一一七節 輪條幽痕本幹の方向

輪條幽痕本幹の方向は凝固の際、局所偏析物即ち流體幽痕が凝固層の内壁面を管め昇らんとする傾向の爲め鋼晶生長の方向よりも、上方に變位するものなることを識りたり。

第一五八圖



$T_1$  線 =  $T_0$  線に對し單位時間後の等温線  
 $\theta$  = 鋼塊の縦軸の方向  $V_s$  と等温線とをなす角  
 $V_g$  = 單位時間に幽痕本幹の生長寸長す  
 $\alpha$  = 幽痕本幹が鋼晶生長の方向に對し偏りの角。

然らば幽痕本幹の方向は、鋼晶生長の速度  $V_c$  と、偏析物浮上の速度  $V_s$  とに依りて定まるものなり。第一五八圖に於て縦軸を等温線方向とし、横軸を鋼晶生長の方向とす。

偏析物浮上速度  $V_s$  は鋼晶生長方向に平行なるものと、垂直なるものとの二分力に分解す。其の平行分力は鋼晶の生長方向に對し無關係なり。垂直分力は鋼晶生長の前面を遮るものにして、此の分力と鋼晶生長の速度  $V_c$  との合力は、幽痕生長速度  $V_g$  となる。斯くて

$$V_c / V_s = \text{Cot} \alpha \text{ Cos} \theta \dots \dots \dots (1)$$

$$V_g = V_s \text{ Cos} \theta / \text{sin} \alpha \dots \dots \dots (2)$$

なる關係式成立つ。

此の關係(1)式を觀るに鋼晶生長の速さ  $V_c$  が流體幽痕の浮上速度  $V_s$  に對する比は、鋼塊縦軸と等温線と爲す角  $\theta$  と幽痕本幹が鋼晶生長の方向よりの偏角  $\alpha$  とに依りて計出することを得。

然れども鋼塊生長の速度は、冷却の速度、鋼塊内の位置、銻鋼の純度等に依りて變じ流體幽痕浮上の速度も温度、鋼塊内の位置、化學組成、濃度、氣泡の混否等に依りて變じ、兩者共に種々の狀況にて異なるを以て  $V_c$  又は  $V_s$  の絶對値を計出することは困難なり。

鋼髓に近き部分及び鋼塊の上層に於ける幽痕は「湯引け」の影響を受けて形成當時の位置を變ずる

を以て、硫貼寫の形象に對し、斯る部分に此の關係式を適用せば等温線の形狀も崩れたるものを得べきなり。

此の關係式の正しきことを概測せんが爲め、試に凝固速度異なる二鋼塊の略と等しき位置にて  $V_c$  :  $V_s$  なる値を求めたり。

第一二五圖硫貼寫の中胴部に於ける輪條幽痕を鋼塊表皮よりの深さ 2.5 糎乃至 16 糎に至る間に於て測定したる數値は、第五二表  $G_1$  乃至  $G_5$  なり。此の 15 噸鋼塊は鐵鑄型にて鑄成し、約 3 時間にて全塊凝固したるものなるを以て、凝固速度比較的速なるものなり。假に流態幽痕の浮上速度  $V_s$  が略と一定なるものとせば、此の  $V_c/V_s$  なる値は結晶生長の比速度を表はすものにして此の場合には 1.5 乃至 1.1 なり。

第一三八圖甲硫貼寫の中胴部に於ける、輪條幽痕に就きても同様の計測を爲したり。其の數値は第五二表  $G_6$  乃至  $G_{10}$  なり。此の 17 噸鋼塊は砂鑄型にて鑄成し、10 時間以上にて全塊の凝固したるものなるを以て、凝固速度比較的緩徐なるものなり。

$V_s$  が略と一定なるものと見做せば  $V_c/V_s$  なる結晶生長の比速度は甚遅くして 1.2 乃至 1.0 なり。此の比速度に對し、鐵鑄型にて鑄成したる前鋼塊の結晶生長比速度は大なることを示せり。

第五二表

鋼塊	幽痕測定記号	鋼塊側壁より深さ(糎)種	$\phi$	$\alpha$	$V_c/V_s$
鐵鑄型中胴 十五噸鋼塊	$G_1$	2.5	60	18	1.54
	$G_2$	9.0	68	16	1.31
	$G_3$	13.5	41	28	1.42
	$G_4$	14.0	47	30	1.18
	$G_5$	16.0	51	24	1.14
砂鑄型中胴 十七噸鋼塊	$G_6$	3.0	65	20	1.16
	$G_7$	5.0	67	14	1.13
	$G_8$	7.5	60	25	1.11
	$G_9$	8.0	64	17	1.17
	$G_{10}$	12.0	64.5	22	1.14

(2) 式に據れば本幹の方向は  $\alpha, \theta$  及び  $V_s$  に依りて定まるものなるを以て、本幹が鋼晶生長の方向に近く傾くものは鋼晶生長の大なるに依るか、流態幽痕浮上速度の小なるか、又は等温線と鋼塊縦軸と爲す角が大となるかの孰れかに屬す。

第五二表  $G_1$  乃至  $G_{10}$  は孰れも本幹の方向が鋼塊縦軸に對し若干の角度を有せるものなり。

幽痕の本幹が鋼塊の縦軸と平行せるものは  $\alpha + \theta = \pi/2$  なるが故に、之を (2) 式に代入せ

ば  $V_s = V_g$  となり、本幹の長さは浮上の速度を表はすこととなる。第一五三圖甲の硫貼寫の幽線中には此の種に屬するものあり。

幽痕の浮上作用甚小なる時、例へば  $V_s = 0$  なる場合には (1) 式にて  $\alpha = 0$  となり鋼晶生長の方向は即ち幽痕本幹の方向と一致す。第一〇六節に述べたる氷塊の色線は此の場合に屬するものとす。

鋼晶生長の速度比較的速かなる場合には流態幽痕浮上作用の影響を受くること甚少くして  $\alpha$  は甚小となり、幽痕本幹は鋼晶生長の方向と略と一致すべし。

鋼晶生長の速なる場合には、局所偏析の作用充分に行はるゝ暇なきを以て、斯かる場合には、偏析物の擴布すること急冷を受けたる凝固層なる柱晶層に觀る所なり(第一一九節)。



鐵鑄型と砂鑄型との境に位する部分の如きは凝固の速度に差異あるを以て幽痕の方向も亦異常となる(第一〇九節)。

#### 第一一八節 凝結進行の方向と幽痕の成否

輪條幽痕は鋼塊の外層に始源點を有し、内層上方に向ひて發育すれども、鋼殼の底面上に立つ圓錐狀の部分には發育することなし(第一二五圖、第一三八圖甲)。此の現象は能く本章の所説にて解することを得べし。

底面より生長する鋼晶も其の直上及び各晶の側面即ち結晶間に偏析物の集積せんとする本性あること鋼殼側面に於けると同じ。然るに第一一四節に述べたるが如く掃き集められたる流態偏析物は比重小なるを以て浮上せんとする勢に充てり。

新成鋼晶の直上に於ける偏析物は浮上力と擴散性とに依りて浮上し去り、上向鋼晶の側面局所に集りたる偏析物も上向鋼晶筒より自由に上騰し去るべし。是れ底部に輪條幽痕の形成せられざる所以なり。

但し各齒朶晶の齒間の偏析物は遁逸の自由を得ずして閉ぢ込められ、一般鋼地に於ける顯微鏡的晶間偏析物として、保留せらるゝのみにして、長き輪條幽痕を形成すること無し。

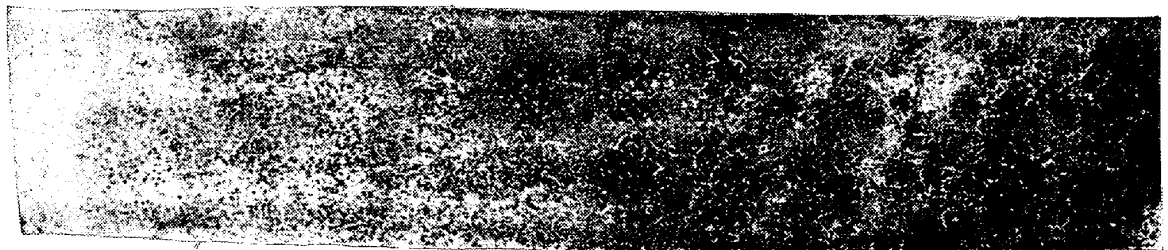
鋼殼の側面より生長する鋼晶は第一五一圖に示したるが如く横向の鋼晶筒内に輕き流態幽痕を盛るに似たるを以て、筒口の横上に進出する新品の筒縁にて幾分か浮上の自由を妨げらるゝことゝなる。輪條幽痕は此の鋼晶筒内に閉ぢ込められたる偏析に外ならず。

輪條幽痕本幹の内端は鋼塊髓に達すれば消失す。此の部分に於ては凝固急齊に行はるゝ(第一二二節)を以て此の種の幽痕を形成し難きに因る。而して此の部分には更に別種なる V 狀幽痕を生ず(第一四章)。

#### 第一一九節 輪條幽痕と柱晶層との位置

鋼塊外層に柱晶層形成せられ、此の形成終りて輪條幽痕起生すること第一五九圖にて明なり。是は 8 角 25 噸鋼塊炭素鋼の上胴横断面にして粒狀晶の層内に點在せる黒斑は輪條幽痕の横口なり。

第一五九圖 鋼塊の結晶組織(横断面圖)



× 0.2

此の種の柱晶層は其の生成當時、溫度勾配大なる部分にして、内層の粒晶層は比較的溫度勾配小なる部分なるを以て、輪條幽痕の形成には溫度勾配の影響あるを知るべし。鋼晶の簇生急激なる場合に

は、局部に濃厚なる偏析物集積する暇なければなり。此の故に鋼殼に急冷を施すときは輪條幽痕圈縮小せらる。

大正6年水谷博士の實驗せられたる鋼塊冷却法の結果は之を證するものなり(第二四節)。

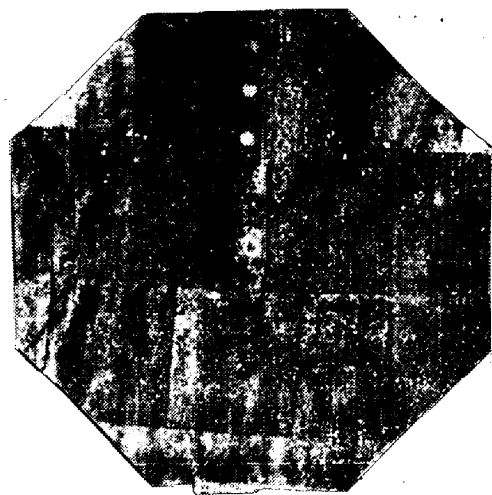
同一取鍋の銻鋼を2箇の8角14噸鐵鑄型に分注し炭素鋼鋼塊2箇を鑄成したり。其の上胴同高の横断面の硫貼寫は第一六〇圖第一六一圖の如し。

第一六〇圖



x 0.05

第一六一圖



x 0.05

後者は鑄込後放冷したるもの、前者は鑄込後鑄型を水冷したるものにして、其の急冷の結果輪條顯著しく縮小せるを觀るべし。

### 第一三章の括約

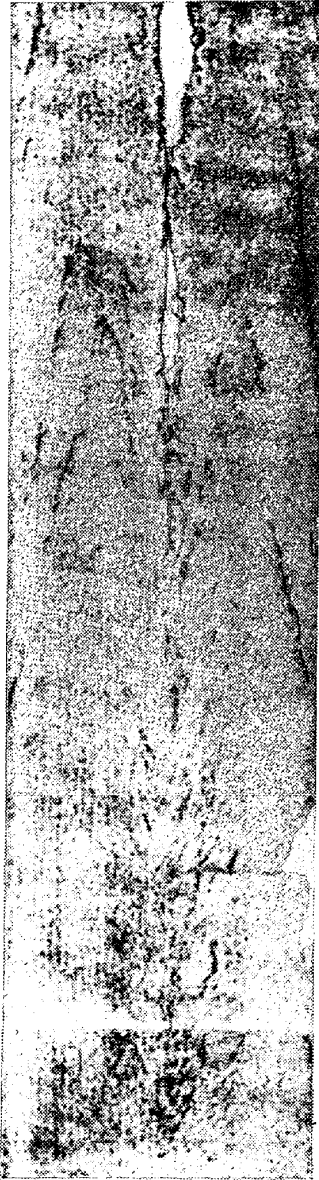
- 1) 氷塊の輪條色線及び氣泡線は等凝結線に垂直の方向に生長す。鋼塊の輪條幽痕も亦等凝結線に垂直なる筈なり。
- 2) 然るに1條の幽痕を結晶生長の方向と見做して等凝結線を描けば其の形狀甚不自然なり。
- 3) 輪條幽痕生長の方向を其の本幹とす。本幹は小なる笹葉狀の支脈より成立つものあり。
- 4) 本幹は結晶生長の方向より偏り、鋼塊の縦軸に平行せんとする方向を執る。支脈は結晶生長の方向を指す。
- 5) 支脈に垂直の方向を辿るときは合理的の等凝結線を描くことを得。
- 6) 輪條幽痕生成の機作は次の如し。  
 初期晶より排除せられたる偏析物は晶間に於て濃厚なる流態幽痕を形造る。環境の初期晶は此の部分を避けて生長すると、同時に此の所に偏析物を累送す。斯くして生長する流態幽痕の本幹の方向は自體の輕き爲め、初期晶生長の方向を外づれ上方に向ふものとす。  
 笹葉の支脈は幽痕の濃度の小なる部分に發生したる、初期晶の間に起れる偏析なり。
- 7) 此の説に依り輪條幽痕に關する諸現象を解明することを得。

## 第一四章 V 状幽痕の生因

## 第一二〇節 V 状幽痕

鑄成鋼塊縦断面の中軸部に V 字状の幽痕存することあり (第一六二圖)。之は鋼塊の截断面にては

第一六二圖



素地と大差なけれども、硫貼寫にて其の形象を顯はすことを得。V 状線に沿ひて時として小なる空窩を伴ふことあり<sup>※1</sup>。此の幽痕の部分は其の質粗にして、鋼塊の上胴に位する部分には偏析の量多し。此の種の幽痕は鍛錬に際し、中胴内の横割れを導くことあり。其の粗糲なるは鍛錬の必要なる所以にして鍛錬の方法及び鍛錬係数は重要視すべきものなり。本章に於ては其の生因を論述せんとす。

## 第一二一節 生因諸説

Brealey 氏は其の生因を記して曰く、凝結初期の結晶は下方に沈降し、下降結晶の隙間に炭素及び其の他の偏析物は液態として充さる。

此の液状の不純金属は漸次下方に潜入し、最後に凝固する部分の収縮窩を充す。此の現象は鋼塊の中軸に著しく、鋼塊縦断面の硫貼寫には V 字状の線として表はると。然れども V 状幽痕附近が斯かる沈降結晶より成立つものなりや、或は凝固近くの粘稠なる層中を初期晶が沈降し得るや否やも疑問なり。

Aitchison<sup>※2</sup> 氏は中軸収縮窩の V 状に起ることを説明して曰く、自由晶 (Free crystals) は水平に若干層に生じ、假屋根を形造る。此の層は直に固化するものにあらずして、固液混合せり。冷却につれて固体を増し全容積は収縮する爲め、此の假屋根は下方に低下し、椀状 (Cup) となる。液態の不純異物は上騰することを得ずして、此の椀状屋根の下に閉込められ共に降下す。此の液態の最後の固化収縮に依りて、遂に此の部分は倒立圓錐形となる。此の圓錐中に不純異物の多量なるは、圓錐中の不純物層中の結晶

x 0.2

が弛く結合せるに因ると。此の説は能く其の機作を語れども、不純異物は自由晶間に單に閉籠めらるゝものとせり。

英國鐵鋼協會委員會の報<sup>※3</sup>する所に依れば、鋼塊凝固の際終りの狭き部分の残留銻鋼は冷却に従ひ容積の収縮に應じて下降し、V 状の引けを起し、茲に共存せる偏析物を偏析して、遂に凝固すとせり。

※1 Brealey: Ingot and Ingot mould, P. 163.

※2 Aitchison: Engineering Steels, P. 25.

※3 Committee Report: Iron & Steel Inst. 1927 i P. 112.

是は要を得たる單解なり。

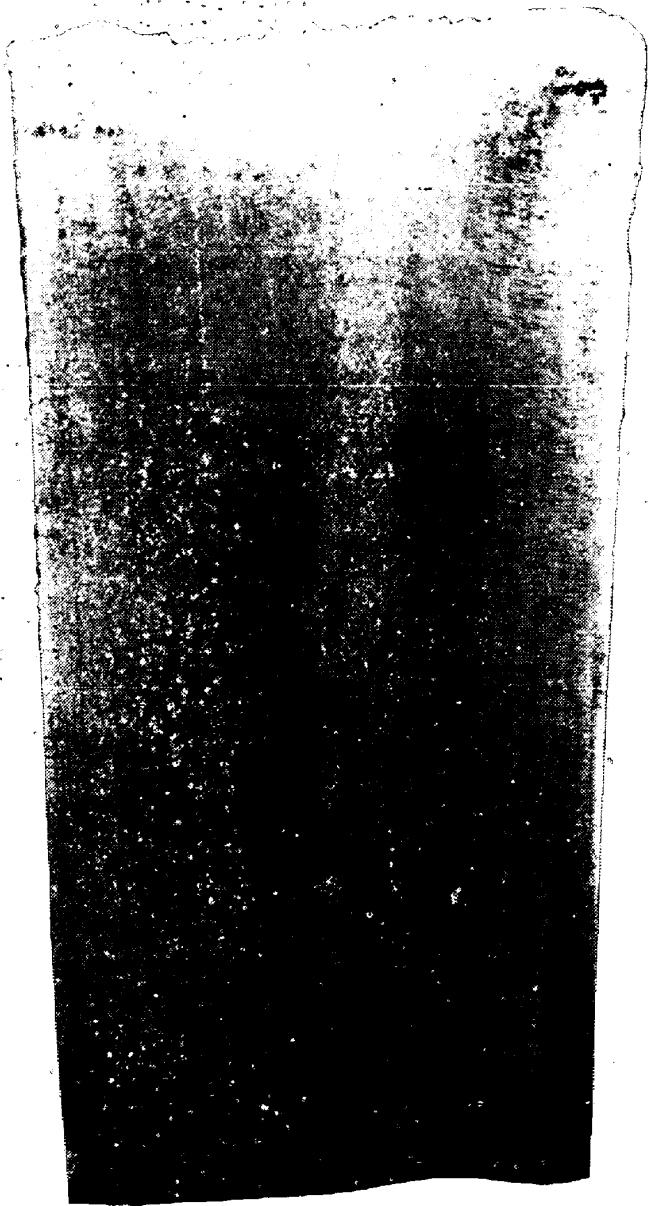
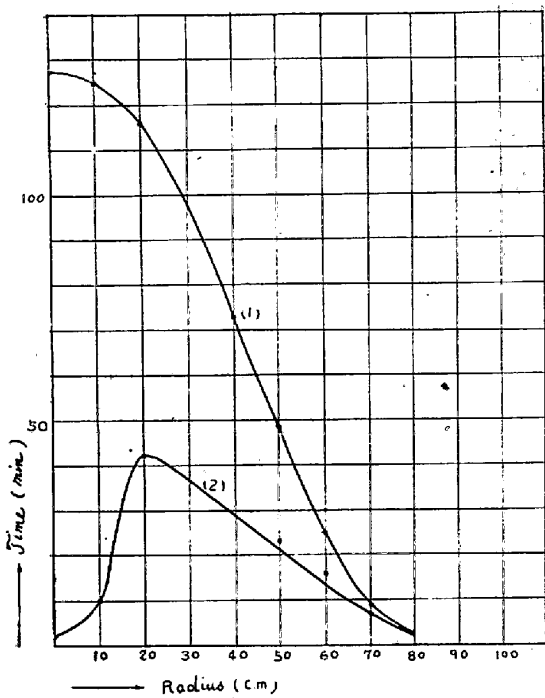
著者は上記の説に弛開説を加味して、其の生成を解明せんとす。

第一二二節 鋼塊中軸の凝結、隨

鑄込大鋼塊の冷却線につき齋藤博士計出の圖を案するに、鋼塊の中軸部にては冷却の溫度勾配甚緩かにして、冷却の滲透度甚急なり。冷却の滲透度とは鋼塊の外層より漸次内層に向ひ同溫の移行或は滲透する速度をいふ。該圖を参照し鋼塊横斷面にて 1,400°C なる溫度が内方に移行する狀況は第一六三圖の如し。横座標は鋼塊の中軸より測り半径の長さを表はし、縦座標は時間を表はす。曲線(1)は鋼

第一六四圖

第一六三圖



× 64

塊の外層より 1,400°C が漸次内方に移行する累計時間を示し、(2) は 1,400°C が半径に沿ひ内方に毎 10 纏移行するに要する時間なり。即 60 噸鋼塊に在りては中軸より 20 纏の所より内方に向ひ、1,400°C

※ 機械學會誌 Vol XXI, 51,

の移行するに急轉直下の勢となれるを見るべし。即ち中軸半徑20 厘の範圍に於て半徑の方向には溫度勾配甚緩く凝結域比較的廣くして殆ど齊時に近き程度にて凝結せる部分の連絡より成る。

斯の如き鑄鋼塊の中軸部の急齊凝結は此の部分の結晶組織に著しき變異あるべきことを豫期せらる。

試に氷塊の斷面を觀るに第一六四圖に於て中軸部の氷晶は半透白色の粗糙なる雪片組織より成り、一見して急成結晶なることを知る。之を顯微鏡にて檢するに微細なる氣泡と白雲狀の氷とより成れり

第一六五圖



× 0.57

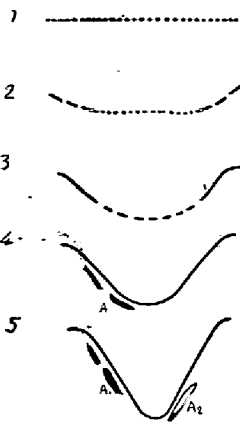
(第九四節)。此の部分は氷塊の髓と稱すべきなり。此の髓全部が瞬間齊時に凝結するものにあらざること第一六三圖の曲線にて示さる。氷塊が内層に向ひ順位に凝結作用の進行するものなることは、髓部の縦斷面(第一六四圖)、横斷面(第一六五圖)の等凝線を觀れば明なり。斯の如き凝結状態を便宜急齊なる凝結と稱すべし。之と殆ど類似の現象は大鋼塊に於て常に目撃せらる(第一二六圖)輪條幽痕圈終りて其の内輪即ち中軸部は硫黃の分布殆ど一様にして、鮮明なる一區劃を爲し、其の中に不定形の幽痕僅に散在せり。前段の推理に依り、此の區域は急齊なる凝結を

なせるものなり。之はV 狀幽痕の宿る所にして、茲に散在せる幽痕は其の斷面なり。此の層を鋼塊の髓と稱せんとす。

### 第一二三節 V 狀幽痕の生成

鋼塊の髓に於ての急齊なる凝結は、順次軸心に向ひて進行す。鋼の凝固するには、固液混相の區域、即凝固域を通過せざるべからざるが故に凝結の初期に於て先づ初期晶は液體中に點綴して概略凝固の範圍定まる。溫度降り凝固域を進行中其の部分の容積次第に減じ凝固の上面即 Aitchison 氏の所謂假屋根は低下す。第一六六圖は其の順程を示すものにして、圖中 1. は髓中の一液面 2. は髓の内壁に初期晶を結び、内層は尙液態を保つ。3. は外輪の凝固進行し上面低下し、尙若干の液相を混有す。中心に凝固初期移る。4. は髓中の外層は凝固域を通過し上面は更に低下し、内層に尙僅かなる液相殘存す。

第一六六圖



斯くして當初水平なりし、等凝結線 1. は容積の收縮に應じ、次第に彎曲低下して、V字狀となる 4. 其の髓内に於ける全景は椀狀をなすものにして、銅塊上頭の湯引けの形狀に應ずるものなり。

4. に於て容積の收縮尙止まずして、而も上方より銅地の順移之に應ぜざるときは、V線に沿ひて組織の弛開を起す。此の時晶間に殘存せる不純偏折物に富める母液は、其の間隙に浸入し遂に幽痕(4のA<sub>1</sub>)を形成す。即V狀幽痕なり。V狀幽痕は斯の如くして形成し、鋼髓中に於て重疊層を爲し、上下に互るものとす。

此の幽痕は銅塊の横斷面にてV字狀を爲せども(第一六二圖)、横斷面にては、不定形をなして散在す(第六圖、第一二六圖)。

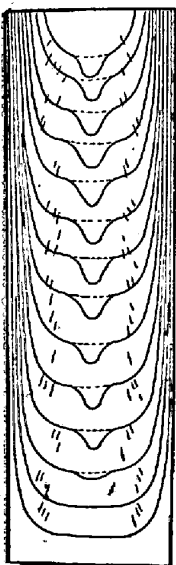
4. にて母液の填充不足又は不能なる場合には、弛開の儘空隙として存す(5. のA<sub>2</sub>)。之はV狀部に往々空隙を伴ふ所以なり。

V狀幽痕と角隅幽痕との生因の異同を擧げんに凝固時に於て、結晶組織の弛開起り、偏折の浸入するといふことは兩者相同じ。然れども其の弛開を起す原因に稍と趣を異にせり。乃ち角隅幽痕は幽痕附近外殻の境域稍と廣き部分に互れる收縮歪變形に因るものなれどもV狀幽痕に在りてはV狀部容積の自己收縮に因れり。

第一二四節 V狀幽痕と等凝結線

前節の見地より銅塊の等凝結線を描かんとす。第一六七圖は八角15噸ニッケルクロム鋼塊の縦斷面にして、一般の等凝結線は、輪條幽痕を基標(第一一一節)として、描きたるものにして、髓部にはV狀幽痕の形象を當籤めて鋼體全部の等凝結線を完成したるものなり。

第一六七圖



湯引けの著しき銅塊に在りてはV狀益と鋭角となる。柱晶層に於ける等凝結線は其の長軸に垂直なる線より組立て得ること言ふを俟たず。

第一四章の括約

1) 鋼の髓は凝固域に於ける急齊なる容積收縮に依り、椀狀に窪み、縦斷面に於てはV狀を呈す。之は當初の水平線狀の等凝結線の變形なり。

2) 凝固域進行中全凝固に近きとき、V狀收縮に沿ひ、結晶組織の弛開生ずる場合に、殘存せる液態偏折物は、此の間隙に浸入して、V狀幽痕を形成す。弛開の填充せられざるものは空隙として存するものとす。

3) 銅塊全體の等凝結線は柱晶層、輪條幽痕及びV狀幽痕を基標として其の概要を畫くことを得べし。

本研究は日本製鋼所に於て成したり。資料の蒐集、實驗及び報文の完成に關して同所研究室諸士の

盡力と工場關係諸賢の援助を得たり。特に本多博士の懇篤なる御教示を仰ぎ、俵博士の周到なる御校閲を忝うせり。日本製鋼所は此の研究を學界に報ずることを容認せられたり。茲に上記各位の好意に對し深厚なる感謝の意を表す。

○會長(鹽田泰介君) 唯今の御講演に對して御質問若くは御講評がありますならばどうぞ……

○蔣田宗次君 どうも北海道からゴーストなどいふ題目で持出して來ますと云ふと、時世後れのやうで、誠にどうも題目が既に時代後れのやうであります、ゴーストと云ふ名を使ふのがもう既に時代後れだと思ひます、併ながら濃いセクリゲーションだとか何とか外の言葉を使ひますよりも、ゴーストと言ふと、あれだと直ぐ分りますから、さう云ふやうに言つて居るのでありまして、言葉は最早さう云ふ風に言ふ必要はありませんまいけれども、便利の爲にさう云ふ風に言つて居るのでございます、申上げました名前の中には不都合なものがありませうが、さう云ふ譯で……

○會長(鹽田泰介君) どなたもございませぬですか……どなたも御質問がございませぬが、私、大變古い話を申上げまして相済みませぬが、丁度此ゴーストであつたか何か知れませぬが、私が造船に従事して居る間に二つ大きなことが出来まして、大分難儀をしたことがございましたが、それを申上げて見たいと思ひます、それは明治 36 年に日光丸を造る時分に、日本では其時分出来ぬものですから、英國からシャフトを取つた、何でも 20 吋位あつたと思ひます、それがいつも仕上げて居つては途中で損じがあるものですから、ラフ、ターニングの形狀で取つて日本で仕上げる、さうすると 8 本ばかりの内に 3 本ばかり白い筋が丁度出て居つた、我々の船は外國で造る時分に製造所に於てロイドの規格で検査をして居る筈でありますから、無論それまでに白い筋は見えたに相違ありませぬが、日本に出張して居るロイドの検査官は、是はスチールに斯う云ふ不純物があつてはいけないと云ふので、斷然廢却した、此結果と云ふものは聽て進水しやうと云ふ船……其時分に 130 萬圓ばかりの船……今日では 130 萬圓位の金は何でもありませぬが、其船に大變な關係を持つて、其船の進水が延滞すると云ふことで、大分困つたのであります、それ程又大事なものであるならば、それ程危険のあるものであるならば、あれだけの船でシングルスクリューになつて居るのであります……どう云ふ譯であるか、郵船會社では其前の船もシングルスクリューであつた、日光丸も同じやうにシングルスクリューであつたから、勿論航海中に破損等のことがあつては大變でありますから、當然のことではありますが、ロイドの検査官が航海する前に廢却したので、實に斷然たる處置に敬服したのであります、其時分にゴーストと云ふ言葉はあつたかも知れませぬが、私は聞かなかつたのであります、次に起つたのは日本製鋼所の製品で我巡洋戰艦霧島のシャフト、是は何本であつたか忘れましたが、何でも 1/3 ばかりの數であつたと思ひますが、矢張り室蘭からはラフ、ターニングで來て、長崎で仕上げをする場合に矢張りゴースト……其時はゴーストだらうと云ふやうなことであつた、私は無論其技術方面に直接關係いたしませぬ者ですから、行つて見ますと、どれも丁度ラフ、ターニングだとすると、或ものは削つて取れる程度、或ものは少し残る、能く見ると多分八角のインゴットからフォージせられたであらうと思ふ角々に出て居る、私はゴーストと云ふことは其時分に初めて言葉を知つたのでありまして、何でも氣泡の中に物が詰まつたか何か、それが伸びたから……ゴーストと云ふやうな……怪しいものではない、専門の事柄は知らぬものですから、そんな怪しいものではない、どうも大きな—— 20 吋位ありましたが、シャフトの其表面に、少し削れば取れると云ふ程度にあるものがある、そんなに怪しいものではないが、あのものがあると云ふのは、どうも此前の日光丸の場合よりは危険の少いものではないかと云ふやうな感じがして、如何にも其時は惜しかつたのであります、遂に技術長の審判が決定しまして、取替へると云ふことになりまして、現に其シャフ

トを取付けて佐世保の船渠へ持つて行つてそれを取替へると云ふので、製造所はそれを無償で補給し、造船所はそれを取替へると云ふ、非常な手数を掛けたので、随分難儀をした話でございました。今日はゴーストの御研究が非常に進みまして、今もゴーストと云ふ名が可笑しいのだと云ふこととてございまして、私至極同感であります、御研究は御研究として伺ふのでございますが、是が製品として現れると云ふ、而も其工場内でゴーストがゴーストである、廢却すると云ふことならば稍々事が、らくであります、外國から日本に持つて來た場合、又室蘭から長崎へ持つて行つて、其品物がそこにいけなくなると云ふ場合は實に難儀な事でございます。斯う云ふことに付て豫て私は製鋼の十分なる學識體驗を持つて居られる御方から伺つても、どうも使用者側で知識が足りなくて困ると云ふこととて、私も其方に稍々共鳴して居る方でありまして、今日の蒔田君の御講演の如きは之が製造者の御方のみならず、使用者側の人も十分斯う云ふことの知識を得て、餘り化物扱ひにしないやうになることを望む次第でございます、蒔田君は有益なる御研究を遙々こちらへ御出でになつて我々の前に御講演下さることは誠に有難うございました、本會として深く御禮を申し上げます、尙ほ日本製鋼所が此御講演を御許しになつたことに對しても御禮を申し上げます次第でございます、唯今伺ふ所に依りますと、此ゴーストが出るのを避ける方法があるのを御発表にならぬと云ふことは如何にも残念であります、是はまあ今日不足を申上げることが出来まいと思ひます、どうぞ是は遠からず皆の製造者が知るやうになる時代の來ることを望む次第であります。

○蒔田宗次君 もう一つ言殘しましたが、ゴーストが斯う云ふ性質であると云ふことがすつかり分りましたから、そこでどう云ふ風にしたら出ると云ふことも分りますから、製品には出ることはあつても、それは削り取つてしまふとか何とか云ふやうなことで、餘程以前とは進歩いたして居りますから、若し御使用になることがありましたら安心して使つて戴きたい、それから又物によりましては此セグリゲーションと云ふものは致し方ないのでありますから、それがあつても使用の用途に依つては差支の無い場合がいくらもございまして。コーナーはコーナーですが、外に少々位ゴーストがあつても差支ないと云ふやうなものもあると云ふことは鐵を使ふ時に純粹な鐵として使ふ必要がなく砂糖を管める時に純粹な砂糖を管める必要が無いと云ふのと同じこととて、鋼の使用の用途に依つては少々位ゴーストがあつても差支ない、斯う云ふのが私の考の骨子でございますから、御了解を願ひたいと思ひます。

○會長(望田泰介君) 唯今の御話は至極に御同感でございます、先刻の或學識經驗のある御方の御話もそれであらうと思ふ、私も分らぬながら、さう云ふ感じがして居りましたが、今日それを證據立てられたやうな氣持がして甚だ愉快に存じます、尙今日此幻燈機械は大學のを借用する積りでございましたが、工台の好いのを借用が出来ぬと云ふこととて、カールザイス商會から拜借を致しました、同會に對して御禮を申し上げます、本夕の有益なる御講演に對して諸君と共に拍手して御禮を申し上げます。

(一同拍手)

午後9時30分閉會



## 附 録

## 鋼塊に起る偏析の研究

## 偏析に関する文献

偏析現象に関する文献を集めたり。著者名の索引はアルファベット順に記し、文献は著者名、題目、及び刊行を年代順に列べたり。\* 終りには単行書籍を載せたり。

\* 茲に掲げたるもの、外 1903~1925 年間に於ける文献には Lloyd 氏の集録 (Iron and Steel inst. 1926 I p. 113) 中に参照すべきものあり。

## INDEX

Authors.	No.	Author.	No.	Author.	No.
Aitchison, L.	145.	Colby, A.L.	20.	Harmet, H.	26.
Akesson, N.	158.	Comstock, G.F.	91, 98, 111.	Harnecker, K. & Rassow, E.	122.
Allcott, E.A. Miller, E.	225		160, 193.	Hatfield, W.H.	101.
Andrew, T.	25	Custer, E.A.	109.	Hatfield, W.H. etc.	202.
Andrew, J.H. etc.	135.	Demole.	79.	Herzog, E.	162.
(Anonymity)	113.	Descolas, J. Pretet, F.	179.	Heyn, E.	38, 230.
Arnold, J.O.	45, 47, 93.	Dickenson, J.H.S.	204.	Heyn, E. & Bauer, O.	66.
Arnold, O. & Bolsover, G.R.	89, 97.	Dormus, A.R.	16.	Hibbard, H.D.	64, 129, 203, 206.
Arnold, H. & Sander, W.	161.	Dornus, A.V.	65.	Hogg, T.W.	10.
Auchy, G.	59.	Drawn, T.M. etc.	12.	Howe, H.M.	41, 42, 49, 68, 94,
Bauer, O.	166.	Dudley, P.H.	52, 53.		108, 213.
Bauer, O. Arndt, H.	163, 170	Eccles, H.	8.	Howe, H.M. Dudley, P.H.	43.
Benedicks, C.	199.	Edward, C.A.	37, 215.	Howe, H.M. & Groesbeck, E.	136.
Berglund, T.	177.	Fay, H.	22, 48.	Howorth, H.G.	33.
Bolton, J.W.	186.	Fitzgerald, A.J.	100.	Hunt, R.W.	95.
Bondolfi, F.	104.	Fletcher, J.E.	118.	Huston, C.L.	35.
Booth, W.L.	121.	Gallander, O.	75.	Kenney, E.F.	99.
Boylston, H.M.	106.	Geiger, C.	220.	Kilby, J.N.	117.
Brearley, H.	146, 178.	Gillett, H.W.	183.	Killing, E.	150.
Brearley, A.W. & H.	107, 216.	Guillet, L. Portevin, A.	222.	Kipgen, A. Wark, N.	62.
Brearley, H. Goebel, J.	156.	Giolitti, F.	126, 143, 184.	Knight, S.S.	54, 58.
Breuil, p.	40.	Giolitti, F. Zublena, S,	92.	Kothny, E.	149.
Bruninghaus, Heinrich, Fr.	157.	Goerens, P.	69, 224.	Kunel.	171.
Buchner, G.	226.	Gredt, G.	180.	Lake, E.F.	84.
Canaris, C.	72, 87.	Guertler, W.	210.	Law, E.F.	44.
Cheever, B.W.	4,	Hadfield, R.A.	57, 73.	Le Chatelier, H. & Bogitch,	
Charpy, G. & Bonnerot, S.	112	Hamfrey, C.W.	125.	B.	123, 132,
Clayton, C.Y. Foley, F.B.		Hansen, H.	124.	Le Chatelier, H. & Dupuy,	
Laney, F.B.	127.	Harbord, F.W. Hall, J.W.	217.	E.L.	120.
Cohade, J.J.	133.	Harper, J.F.	195.		

Le Chatelier, H. Lemoine, J.	102.	Pourcel, A.	11.	Styri, H.	130.
Ledebur, A.	5, 18, 21, 227.	Priestley, W.J.	174, 188.	Talbot, B.	31, 81, 114.
Ledebur, Bauer,	228.	Rapatz, F.	200.	Thum, E.H.	131.
Loisy, E. Portevin, A.	187.	Rawdon, H.S.	128, 165.	Troubine, K.G.	191.
Mahin, E.G.	137.	Reader, R.C.	181.	Tschernoff, D.K.	103.
Mahin, E.G. Batts, H.W.	168.	Reuss, H.	9.	Turner, T.H.	167.
Mahin, E.G. & Brewer, G.E.	154.	Rhead, G.L.	67, 70.	Vivanti.	190.
Mahin, E.G. & Hartwig, E.H.	153.	Ridsdale C.H.	29.	von Keil, O. & Wimmer, A.	197.
Mahin, E.G. & Wilson, G.B.	185.	Robert, E.G.L. & Wraight, E.A.	34.	Wahlberg, A.	24, 27.
Maitland, E.	7.	Rohl, G.	74.	Waterhouse, G.B.	55.
Martens, A.	14, 209.	Rosenhain, W.	218.	Weiller, P.	77.
Masing, G.	172.	Ruhfuss, A.	19.	West, T.D.	17.
Masing, G. & Hase, C.	198.	Sauveur, A.	196, 214.	Weston, B.F.	30.
Matwieff, M.	152.	Sauveur, A. & Krivobox, V.N.	189.	White, A.B.	176.
McCance, A.	110, 115.	Schenck, R.	219.	Whiteley, J.H.	147, 182, 207.
McConway.	175.	Schlz, E.H.	144.	Wickhorst, M.H.	63, 83, 85, 86, 90.
Murpy, J.A.	51.	Schlz, E.H. Goebel, J.	141, 155.	Williamson, S.W.	148.
Neu, K.	76.	Schottsky, H.	192.	Wimmer, A.	208.
Newell, H.D.	139.	Schukwsky, S.	88.	Woodvine, G.R. & Roberts, A.L.	201.
Niemkof, G.	151.	Seldon, H.W.	159.	Woodward, R.C.	105, 164.
Oberhoffer, P.	61, 229, 142.	Smith, M.C.	138.	Wüst, F.P. Fester, H.L.	56.
Osann, B.	46, 60, 71, 140, 194, 221, 223.	Smith, S.W.	205.	Zdanowicz, A.W.	23.
Osmond, F. Stead, J.E.	211.	Smithells, C.J.	169.	Zetzsche.	6.
Parrey, J.	3.	Snelus, G.J.	2, 15.	Ziegler, K.	173.
Petinot, N.	78.	Springer, J.E.	50.		
Portevin, A.M.	134.	Stead, J.E.	28, 32, 36, 39, 80, 82, 96, 116.		
Portevin, A.M. & Bernard, V.	119.	Steavanson, A.A. Kent, R.	13.		
		Stoughton, B.	212.		
		Stubbs.	1.		

No.	Autohr	Subjects	Pubrication.
1.	Stubbs	Discuss on the paper of Parry.	Iron & Steel Inst. 1881, i 119.
2.	Snelus, G. J.	On the Distribution of Elements in Steel Ingots.	Iron & Steel Inst. 1881, ii p. 379.
3.	Parrey, J.	Hydrogen and Carbonic Oxide in Iron and Steel.	Iron & Steel Inst. 1881, i p. 193.
4.	Cheever, B. W.	Segregation of Impurities in Bessemer Steel Ingot on Cooling.	Transaction of the Am. Inst. of Mining Engineer, Vol. 8, p. 167.
5.	Ledebur, A.	Über Einiege Seigerungserecheinungen.	S. u. E. 1844, s. 637, 705.
6.	Zetzsche.	Seigerung.	S. u. E. 1884, s. 138.
7.	Maitland, E.	He shows Carbon varies on the top and bottom of Steel Ingot.	The Inst. of Civil Engineer, 1887.
8.	Eccoles, H.	An Imperfection in mild steel plates considered chemically.	Iron & Steel Inst. 1888, ip. 70.
9.	Reuss, H.	Über das Saigern von Bessemer Stahl.	S. u. E. 1891, s 643.

No.	Author.	Subjects.	Publication.
10.	Hogg, T. W.	Segregation in steel.	Jour. of the Soc. of Chem. Industry. Vol. 12, p. 236.
11.	Pourcel, A.	Segregation and its Consequences in ingot of steels and iron.	Trans. of the Am. Inst. of Mining Eng. Vol. 12. p. 105,
12.	Drawn, T.M. etc.	The Physic of Steel (A discussion on A. Pourcel's paper on "Segregation" and others).	Trans. of the American Inst. of Mining Eng. Vol. 23, p. 608.
13.	Steavanson, A.A. Kent, R.	On the Segregation in Ingot.	American Inst. of Min. Engineers, 1893.
14.	Martens, A.	Segregation in Eisen und Stahlgüssen.	S.u.E. 1894, s 797.
15.	Snelus, G.J.	In the Discussion on Roberts' Austen's paper.	Iron & Steel Inst. 1896. i.p. 139.
16.	Dormus, A.R.	Über die Ungleich-massigkeits Erscheinungen der Stahlschienen.	S.u.E. 1896. s 909.
17.	West, T.D.	Segregation and means to lessen its effects.	The Iron Age, Vol. 56, p. 1210.
18.	Ledebur, A.	Über Saigerungerscheinung bei geharten Stahl.	S.u.E. 1896, s 116.
19.	Ruhfuss, A.	Über Seigerungen im Flusseisen.	S.u.E. 1897, s 41.
20.	Colby, A.L.	Copper in steel.	Proc. of the Eng. Club of Philadelphia. Vol. 8, p. 312.
21.	Ledebur, A.	Mikroskopisch und Betrieb.	S.u.E. 1897, s 307.
22.	Fay, H.	Segregation of D. in a piece of cold rolled shafting.	Metallographist, Vol. 4. p. 115.
23.	Zdanowicz, A.W.	Zur metallurgie des Nickelstahl.	S.u.E. 1901, s 754.
24.	Wahlberg, A.	Variation of C & P in steel billets.	Jour. of Iron & Steel Inst. 1901, ii. p. 29.
25.	Andrew, T.	Effect of Segregation on Strength of Steel Rails.	Trans. of the Soc. of Eng. 1902, p. 209.
26.	Harmet, H.	The compression of steel by wiredrawing Solidification in the ingot mould.	Iron and Steel Inst. 1902, ii. 197.
27.	Wahlberg, A.	The influence of chemical composition on soundness of steel ingot.	Iron & Steel Inst. 1902, i 333.
28.	Stead, J.E.	The Segregation & Migratory Habit of Solids in alloys and in Steel below the critical points.	Our. of Soc. of Chem. Industry, Vol. 22, p. 340.
29.	Fiesdale, C.H.	Segregation in Rails.	Engineering, Vol. 74, p. 684.
30.	Weston, B.F.	Segregation and diffusion in steel.	Iron Age, 1904, May, p. 28.
31.	Talbot, B.	Segregation in steel ingots.	I. & S. Inst. 1905, ii. p. 204.
32.	Stead, J.E.	Crystallisation and Segregation of Steel Ingots.	Proc. of the Cleavland inst. of Eng. 1905-1906, p. 163.
33.	Howorth, H.G.	The presence of greenish coloured Markings in the Fractural surface of test piece.	Iron & Steel Inst. 1905, ii p. 301.
34.	Robert, E.G.L. & Wraight, E.A.	The preparation of Carbon-free Ferro-Manganese.	Iron & Steel Inst. 1906, ii p. 248.
35.	Huston, C.L.	Experiments on the Segregation of Steel Ingots in its Relation to plate Specification.	Proc. of the American Soc. for Test. Materials, Vol. 4. p. 182.
36.	Stead, J.E.	Segregation in Steel Ingots.	Engineering, Vol. 82. p. 405.
37.	Edward.	Brittleness and Bristers in thin Steel Sheets.	Iron & Steel Inst. 1906, i p. 140.
38.	Heyn, F.	Einiges aus der metallographischen Praxis.	S.u.E. 1906, s 8.
39.	Stead, J.E.	Segregation in steel.	Inst. of Civil Eng. Engineering Congress, 1907 Section iv p. 94.
40.	Breuil, P.	Cu-Steels Sec. 3. Segregation in steels.	Iron & Steel Inst., 1907, ii p. 1.

No.	Author.	Subjects.	Publication.
41.	Howe, H.M.	Segregation in steel ingots.	Schools of mines Quarterly, Vol. 29, p. 233.
42.	Howe, H.M.	A Further study of Segregation in ingots.	Eng. & Mining Journal Vol. 84, p. 1011.
43.	Howe, H.M.	Piping & Segregation in steel ingots.	Trans. of the American Inst. of Mining Eng. Vol. 38, p. 3.
	Dudley, P.H.	Discussion of Howe's paper.	Vol. 39, p. 818.
44.	Law, E.F.	The non-metallic impurities in steel.	Iron & Steel Inst. 1907 ii p. 94.
45.	Arnold, J.O.	Improvement of Quality of steel Masses.	Engineering, Vol. 85, p. 565, 598.
46.	Osann, B.	Das Harmetverfahren im Maritinbetriebe.	S.u.E. 1908, s 1613.
47.	Arnold, J.O.	Factors of safety in marine engineering.	Trans. of Inst. of Naval Architects, 1908 v p. 260.
48.	Fay, H.	A microscopic investigation of broken steel Rails.	Proc. of Am. Soc. for Testing Materials, 1908, viii p. 74.
49.	Howe, H.M.	Influence of ingot size on the degree of segregation in steel ingots.	Trans. of the American Inst. of Mining Engineers, Vol. 40, p. 644.
50.	Springer, J.E.	Discussion of piping in steel ingots.	Cassier's Magazine, Vol. 35, p. 426, Iron Age, Vol. 83, p. 2002.
51.	Murpy, J.A.	Scrap addition in Cupola practice.	Castings, Foundry trade journal, Vol. 11. p. 556.
52.	Dudley, P.H.	Piping and segregation in steel ingots.	American Inst. of Mining Engineers, 1909 s 119.
53.	Dudley, P.H.	Dark Carbon streaks in segregated metal in split heads of Rails.	Proc. of Am. Soc. for Testing Materials, 1909 ix p. 98.
54.	Knight, S.S.	Observations on seg. phenomena as applied to cast steels.	Paper presented at the Meeting of the Philadelphia Foundrymen's Association, March 2, 1910.
55.	Waterhouse, G.B.	The influence of Ti. on Seg. in Bessemer Rail steel.	Proc. of the Am. Soc. for Test. Mat. Vol. 10, 1910, p. 201.
56.	Wüst, F.P. Fester. H.L.	Der Einfluss der Seigerungen auf die Festigkeit des Flusseisen.	Internationaler Kongress für Bergbau, Hutten Wesen Angewandte Mechanik u. Praktische Geologie Düsseldorf, 1910.
57.	Hadfield, R.A.	Experiences sur la Segregation dans les Ingots d'Acier.	Revue de Metallurgie, Memoires Vol. 7, p. 1133.
58.	Knight, S.S.	Further observation on the segregation of the various Metalloid in steel.	Iron Trade Review, Vol. 46, 1910, p. 475 p. 926.
59.	Auchy, G.	Free steel from segregation.	Iron Age, 1910, Vol. 85, p. 108.
60.	Osann, B.	Über Seigerungskugel.	S.u.E. 1910, s. 903.
61.	Oberhoffer, P.	Die Bedeutung der Metallographie für die Eisenindustrie.	S.u.E. 1910, s 239.
62.	Kipgen, A. Wark, N.	Zur Frage der Seigerung-erscheinungen der Gasblasen-und lunkerbildung in Stahlbrocken.	S.u.E. 1911. s 1151.
63.	Wickhorst. M.H.	Segregation in Steel Rails.	Am. Soc. for Test. Mat. Vol. 10, p. 212.
64.	Hibbard, H.D.	The solid non-metallic impurities in steels (Sonims).	Trans. Am. Inst. of Mining Engineers, 1910 XLI p. 803.
65.	Dormus, A.V.	Der Einfluss der seigerungen auf die Festigkeit des Flusseisen.	S.u.E. 1911, s 398.
66.	Heyn, E. & Bauer, O.	Beitrag zur Frage der Seigerungen in Flusseisen.	S.u.E. 1912, p. 402.
67.	Rhead, G.L.	Segregation in Castings.	Iron monger, Vol. 138, p. 314.

No.	Authors	Subjects	Pubrication.
68.	Howe, H.M.	Segregation of Graphite of Cast Iron.	Metallurgical and Chemical Engineering, Vol. 10, p. 359.
69.	Goerens.	Seg. of Graphite of Cast Iron.	Metallurgie, Vol. 4, p. 137.
70.	Rhead, G.L.	Segregation in castings.	Iron monger, Vol. 138, p. 314.
71.	Osann, B.	Seigerungscheinungen in Gussstucken.	S. u. E. 1911, s 673. 1912, s 143, s 346.
72.	Canaris, C.	Seigerung.	S.u.E. 1912, s 1264.
73.	Hadfield, R.	On a new method of revealing segregation in steel ingots.	Iron & Steel Inst. 1912, p. 40.
74.	Rohl, G.	The constitution of Sulphide Enclosures in Iron & Steel, and desulphurization process.	Iron & Steel Inst. Carnegie Scholarship Memoires. 1912, iv p. 28.
75.	Gallander, O.	On determination of depth of segregation in conducting Metals.	Iron & Steel Inst., 1912, ii p. 382.
76.	Neu, K.	Uber interessante Erscheinungen wahrand des Auswalzens.	S.u.E. 1912, s 397.
77.	Weiller, P.	Segregation in Rails.	Chemiker Zeitung, 1913, Vol. 37, p. 724.
78.	Petinot, N.	Segregation in steel ingots.	Metallurgical & Chemical Eng. 1913, Vol. 11. p. 231.
79.	Demole.	Segregation in steel ingots.	Comptes Rendus de la Societe, de l'industrie Minerals, 1913, p. 329,
80.	Stead, J.E.	Segregation in steel.	Cleveland Inst. of Engineer, 1912-1913, p. 33.
81.	Talbot, B.	The production of sound steel by lateral compression of the ingot whilst its centre is liquid.	Iron & Steel Inst. 1913, i p. 30.
82.	Stead, J.E.	When steel freezes.	Proc. of the Cleveland Inst. of Engs, 1912-13. p. 33.
83.	Wickhorst, M.H.	Influence of Titanium on Bessemer steel.	Iron Trade Review, 1916, LII p. 801.
84.	Lake, E.F.	Titanium as used in steel making.	Metallurgical & Chem. Eng. 1913, xi p. 144.
85.	Wickhorst, M.H.	Influence of Silicon on Open-Hearth ingots.	Iron Trade Review, 1913, LII p. 804.
86.	Wickhorst, M.H.	Rail failures and their causes.	Proc. Am. Soc. for Test. Materials. 1913 xiii p. 582.
87.	Canaris, C.	Uber neuere Verfahren zur Erzielung dichter Flusseisen blocke.	S.u.E. 1913, s 1890.
88.	Schukwsky, S.	Influence of segregation on Rails.	Genie Civil, 1914, Vol. 64. p. 472.
89.	Arnold, O. & Bolsover, G.R.	The forms in which Sulphides may exist in steel ingots.	Iron & Steel Inst. 1914, i p. 396.
90.	Wickhorst, M.H.	Aluminium in Rail steel.	Iron Age, 1914, XCIII p. 1073.
91.	Comstock, G.F.	Titanium Nitride in steel.	Metallurgical & Chem. Eng. 1914, XII. p. 577.
92.	Giolitti, F. Zurlena, S.	Behaviour of Slag inclusions in Acid steel.	International Jour. for Metallography, 1914, vii p. 35.
93.	Arnold, J.O.	Ghost lines in large steel ingots and forgings.	Inst. of Mechanical Engineers, 1915, p. 653.
94.	Howe, H.M.	Control of piping and segregation in ingots.	Iron Age, 1915, Vol. 96, p. 995.
95.	Hunt, R.W.	Segregation in ladle Test ingots.	American Railway Engineering Association, 1915, Vol. 17, p. 165.
96.	Stead, J.E.	On the Synthetic production of Ghost lines & the influence of Ghost lines on the strength of steel.	Iron & Steel Inst., 1915, p. 165.

No.	Author	Subjects	Pubrication.
97.	Arnold, J. O. & Bolsover, G.R.	Supplementary notes on the forms in which Sulphides may exist in steel ingots.	Iron & Steel Inst., 1915, i p. 271.
98.	Comstock, G.F.	Titanium & its effect on steel.	Jour. of the Soc. of Chem. Industry, 1915, xxxiv, p. 55.
99.	Kennéy, F.F.	General principles of the control of piping and Segregation of Steel ingots.	American Iron & Steel Inst., 1915, p. 464.
100.	Fitzgerald, A.J.	Has Titanium any influence on the properties of steel?	Metallurgical & Chem. Engin. 1915, xiii p. 28.
101.	Hatfield, W.H.	Phosphorus in iron and steel.	Iron and Steel Inst. 1915, ii p. 122.
102.	Le Chatelier, H. Lemoine, J.	Heterogeneity of Steel; Utility of the cupric Chloride reagent.	Revue de Metallurgie, 1915, XII, p. 649.
103.	Tschernoff, D.K.	Works of Tschernoff.	Russian technical soc. 1915.
104.	Bondolf, F.	Various Chemical & Physical phenomena in steel.	Metallurgia Italiana, March 1916, Vol. 8, p. 165.
105.	Woodward, R.C.	The manufacture of large forging ingots.	Iron Age, 1916, XCVII p. 1138.
106.	Boylston, H.M.	Relative merits of various agents for the deoxidation of steel.	Iron & Steel Inst. Carnegie schl. Mem. 1916, vii p. 102.
107.	Brearley, A. W. & H.	Some properties of ingots.	Iron & Steel Inst. 1916, ii p. 137.
108.	Howe, H.M.	On the formation of columnar and of free crystals during solidification.	Metallurgical & Chem. Eng. 1916, xv p. 623.
109.	Custer, E.A.	Prevention of segregation in cast iron.	Iron Trade Review, 1917. p. 925.
110.	McCance, A.	Non-metallic segregation in steel.	Jour. of West Scotland I. & S. inst. 1916:17 xxiv p. 55.
111.	Comstock, G.F.	A method for distinguishing Sulphides from Oxides in the metallography of steel.	Am. Inst. of Min. Engineers, 1916-1917, lvi. p. 553.
112.	Charpy, G. & Bonnerot, S.	Heterogeneity of steels.	Comptes Rendus, 1917, clx p. 536.
113.	(Anonymity)	Improvements in ingot moulds.	Iron Trades Review, 1917, xcv. p. 198.
114.	Talbot, B.	Production of sound steel by lateral compression of the top portion of the ingot.	Iron & Steel Inst. 1918, i p. 221.
115.	McCance, A.	Non metallic inclusions.	Iron & Steel Inst. 1918, i p. 239.
116.	Stead, E.J.	Notes on inclusion and ferrite lines.	Iron & Steel Inst. 1918, p. 287.
117.	Kilby, J.N.	Defects in steel ingots.	Iron & Steel Inst. 1918, i p. 365.
118.	Fletcher, J.E.	The cooling of steel in ingot and other forms.	Iron & Steel Inst. 1918, ii p. 231.
119.	Portevin, A. M. & Bernard, V.	The macrostructure of steel.	Revue de Metallurgie, 1918, xv p. 273.
120.	Le Chatelier H. & Dupuy, E.L.	On the Heterogeneity of steel.	Revue de Metallurgie, 1918, xv p. 127.
121.	Booth, W.L.	Making sand-cast Forging ingot.	Iron Age, 1918, cii p. 1139.
122.	Harnecker, K. & Rassow, E.	Ueber der Anwendung des Oberhoffer'schen Aetzmittels zur Kenntlichmachung von phosphoranreicherung von phosphoranreicherungen in Stahl und Eisen.	Stahl und Eisen, 1918, s 1079.
123.	Le Chatelier, H. & Bogitch, B.	Heterogeneity in steel.	Comptes Rendus, 1918, clxvii p. 472.
124.	Hansen, H.	Verunreinigungen und Seigerungen in Stahl und deren Einfluss auf die materialspannungen.	Tek. U. 1919, 9 Mai, s 238.
125.	Hamfrey, C.W.	Macro-Etching and Macro-Printing.	Iron & Coal Trade Rev. 1919, p. 607.
126.	Giolitti, F.	Observation on flaky and woody steel.	Chem. & Met. Engineers, 1919, xx p. 271.

No.	Author	Subjects	Pubrication.
127.	Clayton, C.Y. Foley, F.B. Laney, F.B.	Flaky & woody fractures in Nickel Steel, Gun forgings.	American Inst. Mining Engineers, 1918-19 lxii p. 211.
128.	Rawdon, H.S.	Microstructures features of flaky steel.	Am. Inst. of Mining Engineers, 1918-19, lxii, p. 246.
129.	Hibbard, H.D.	Present knowledge concerning non-metallic impurities of steels (sonims).	American Iron & Steel Inst., 1919, p. 93.
130.	Styri, H.	Observation on so-called "Flakes" in steel.	Chem. & Met. Engineering, 1919, xx P. 342.
131.	Thum, E.E.	Flakes in alloy steels.	Chem. & Met. Engineering, 1919, xxi p. 145.
132.	Le Chatelier, H. & Bogitch, B.	Macrography of steels.	Revue de Metallurgie, 1919, xvi p. 129.
133.	Cohade, J.J.	The woody structure of fracture of trans- verse test pieces taken from certain special steels.	Iron & Steel inst. 1919, ii p. 187.
134.	Portevin A.M.	Defective fractures in tensile test pieces during the inspection of gun parts.	Iron & Steel Inst., 1919, ii p. 203.
135.	Andrew, J.H. etc.	Nickel-Chrome forgings.	I. & S. Inst., 1919 ii p. 231.
136.	Howe, H.M. & Groesbeck, E.	Prevention of columner crystallisation by rotation during solidification.	American Inst. of Mining & Metal- lurgical Engineers, 1918-19 LXII p. 341.
137.	Mahin, E.G.	Effect of non-metallic inclusions upon the properties of iron and steel.	Industrial & Engineering chemis- try, 1919. xi p. 739.
138.	Smith, M.C.	Segregation of Sulphur in steel.	Iron Age, 1920, p. 1426.
139.	Newell, H.D.	Seg. in bars for steel turbing.	Chem. & Met. Eng. 1920, Vol. 23, p. 745.
140.	Osann, B.	Über Druckseigerung und druch sie veran- lasste harte Stellen in Guss stücken.	S. u. E. 1920, s. 145.
141.	Schlz, E.H. Gosbel, J.	Über den Holzfaserbruch in Stahl.	S. u. E. 1920, s 1482.
142.	Oberhoffer, P.	Schieferbruch und Seigerungserscheinungen.	S. u. E. 1920, s 705, 872.
143.	Giolitti, F.	Risse in Gussblocken.	Chem. & Met. Eng. 1920, s 149.
144.	Schlz, E.H.	Blockseigerung und Kristal Seigerung.	Das Metal, 1920, s 4.
145.	Aitchison, L.	Zone of weakness in solidified ingots.	Chem & Met. Engineering. 1920. p. 280.
146.	Brearley, H.	Steel billets for drop forgers.	Scotland I. & S Inst. 1920, p. 63.
147.	Whiteley, J.H.	The distribution of phosphorus in steel be- tween the points $A_{C1}$ & $A_C$	Iron & Steel Inst. 1920. i p. 359.
148.	Williamson, S. W.	Casting of steel ingots.	West of Scotland I. & S. Inst. 1919-20 xxviii p. 94.
149.	Kothny, E.	Einfluss des Deöxydation und der Erstar- rungsdauer auf die Güte von Elektro- Chrom Nickcl Stahl.	S. u. E. 1920, s 41.
150.	Killing E.	Beiträge zur Frage der Manganausnutzung im basichen Martinofen.	S. u. E. 1920, s 1545.
151.	Niemkof, G.	Reduction of the pipe in Bottom-poured ingote.	Revue de Metallurgie, 1920. xvii p. 842.
152.	Matwieff, M.	Metallographic methods for studying the nature of non-metallic inclusions in iron and steel.	Revue de Metallurgie, 1920, xvII
153.	Mahin, E.G. & Hartwig, E.H.	Inclusion and Ferrite crystallisations in iron and steel.	Industrial & Engineering chemis- try, 1920 xii p. 1090.
154.	Mahin, E.G. & Brewer, G.E.	An Electrometric method for detecting segregation of dissolved impurities in steel.	Industrial & Engineering chemistry, 1920, xii p. 1095.

No.	Authors	Subjects	Pubrication
155.	Schulz, F.H. & Goebel, J.	Ueber den Halzfaserbruch im Stahl.	S. u. E. 1920, s 1479.
156.	Brearley, H. Goebel, J.	The welding of steel in relation to the occurrence of pipe, blowholes and segregation in ingots.	Iron & Steel Inst. 1921, p. 27.
157.	Bruninghaus, Heinrich, Fr.	Über Lunker bildung to Seigerungerscheinungen in Silizierten Stahl blooken.	S. u. E. 1921, s 497.
158.	Akesson, N.	The Autwardindications of piping and segregation in steel.	Jernkontrers Annalea, 1921, No. 4, p. 188.
159.	Seldon, H.W	The causes of segregation in Basic open-hearth steel.	Blast furnøce & Steel plant, 1921, Vol. 9. p. 521.
160.	Comstock, G.F.	Beziehung zwischen Seigerung und Schienenbrucken.	Che. & Met. Eng. 1921, s 148.
161.	Arnold, H. & Sander, W.	Zur Frage des Dispersitatsgrades bei Seigerungen.	Z. f. Metallk. 1921 s 122.
162.	Herzog, E.	Das Giessen von Schienenstahl mit Warmgehaltenen Blockkopfen.	S. u. E. 1921, s 635.
163.	Bauer, O. Arndt. H.	Seigerungerecheinungen.	Mitt, Materialprüf. 1921, H. 2 Z. Metallkunde, 1921, s 1217, 1250.
164.	Woodward, R.C.	A Proposed new ingot mould for steel.	Iron Age, 1921, cvii p. 262.
165.	Rawdon H.S.	Macroscopic examination of metals.	Chem. & Met. Engineering, 1921, ii p. 385.
166.	Bauer, O.	Phosphorseigerungen in Flusseisen.	Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt, 1922, Vol. 40 s 71.
167.	Turner, T.H.	Ingot-corner segregation in a Ni-Cr Steel.	Iron & Coal Trade Review, 1922, p. 774.
168.	Mahin, E.G. Batts, H.W.	Non metallic inclusions & ferrite segregation in steel.	Chem. & Met. Eng. 1922, p. 986.
169.	Smithells, C.J.	Der Einfluss von Verunreinigungen auf die Rekristallisation und das Kornwachstum.	Eng. 1922, p. 305, 340.
170.	Bauer, C. Arndt, H.	Umgekehrten Blockseigerung.	Mitt. Materialprüf, 1922, s 315.
171.	Künel,	Umgekehrten Seigerung.	Z. Metallkunde, 1922, s 462.
172.	Masing, G.	Erklärung der umgekehrten Blockseigerung.	Z. Metallkunde, 1922, s 204.
173.	Ziegler, K.	Diffusion von verunreinigungen im festen Eisen bei hohen Temperaturen.	Rev. de Met. 1922, s 385.
174.	Priestley, W.J.	Effect of Sulphides and Oxides in ordnance steel.	Am. Inst. of Mining & Met. Eng. 1922, LXXVII p. 317.
175.	McConway.	Centrifugally cast steel.	Iron & Coal Trade Rev. 1922 cv p. 355.
176.	White, A.B.	Carbide segregation in high speed steel.	The Am. Soc. for Steel Treat., 1923, Vol. 3. p. 386.
177.	Berglund, T.	Studies of the segregation phenomena in a 0.2 % C Acid open hearth ingot.	Jernkontreres Annaler, 1923, Vol. 78, p. 149.
178.	Brearley, H.	Errors & limitation of steel making.	Lecture to the associated technical societies in Johannesburg, south Africa, 1923, p. 16.
179.	Descolas, J. Pretet, F.	Macrographic Investigation of the cooling of steel ingots.	Revue de Metallurgie, 1923, p, 597.
180.	Gredt, G.	Über die Materialversiebung beim Walzen.	S. u. E. 1923, s 1446.
181.	Reader, R.C.	Einfluss der Abkühlungsgeschwindigkeit auf die dichte und Zusammensetzung der Metale und Legierungen.	Metal. Ind. 1923, s 241.
182.	Whiteley, J.H.	The dephosphorisation of iron in the Basic Furnace.	Proc. of Cleveland Inst. of Eng. 1922-23, ii p. 36.



No.	Authors	Subjects	Pubrication.
183.	Gillett, H.W.	Application of colloid chemistry to production of clean steel.	Am. Inst. of Minig & Met. Engg. 1923, LXIX. p. 763.
184.	Giolliti, F.	The complex action of manganese and other so-called deoxidizing agents used in the manufacture of steel.	Iron & Steel Inst., 1923, ii p. 35.
185.	Mahin, E.G. & Wilson, G.B.	Non-metallic inclusions in hypereutectoid steel.	Industrial & Engineering Chemistry, 1923 xv p. 829.
186.	Bolton, J.W.	Structural Segregation in grey iron.	Iron Age, 1924, Vol. 144, p. 685.
187.	Loisy, E. Portevin, A.	The Metallurgical work of poucel.	Revue de Metallurgie, 1924, Vol. 21, p. 197.
188.	Priestley, W.J.	Effect of steel of variations in rate of cooling in ingots moulds.	American Inst. of Mining & Metallurgical Engineers, 1924, LXX
189.	Sauveur, A. & Krivobox, V.N.	Use of Sodium picrate in revealing dendritic segregation in iron alloys.	American Inst. of Minig & Metallurgical Engineers, 1924, LXX p. 239.
190.	Vivanti.	Use of Titanium in the manufacture of steel.	Metallurgia Italiana, 1924, xvi p. 5.
191.	Troubine, K. G.	A hypothesis relative to the origin of surface blow-holes in steel ingots.	Revue de Metallurgie, 1924, xxi p. 288.
192.	Schottsky, H.	Detection of Sulphur and Phosphorus by metallographic methods.	Kruppsche monatshefte, 1924, v s 93.
193.	Comstock, G.F.	Aluminium & Titanium as deoxidisers.	Iron Age, 1924, cxiv p. 1477.
194.	Osann, B.	Seigerung beim Roheisen.	Giess. 1924, LII s 857.
195.	Harper, J.F.	Some common defecte in large forgings.	The Blast furnace & Steel plant, 1925, p. 278.
196.	Sauveur, A.	Dendritic segregation in iron Carbon alloys.	Iron & Coal Trade Review, 1925 p. 413.
197.	von Keil, O. & Kimmer, A.	Beitrag zur Kenntnis der Gussblock-und Casblasenseigerung.	S. u. E. 1925, s 835.
198.	Masing, G. & Hase, C.	Zur Frage der Umgekehrten Blockseigerung.	Wiss. Veroff. a. d. Siemens-Konzern, 1925, i s 113.
199.	Benedicks, C.	Seigerung in flüssigen Metallen.	S. u. E. 1925, s 1576.
200.	Rapatz, F.	Umgekehrte Seigerung in Stahlblöcken und ihr Verhalten bei der Verarbeitung.	S. u. E. 1925, s 1587.
201.	Woodvine, G.R. & Roberts, A. L.	The influence of Segregation on corrosion of Boiler Tubes and Sulphur heaters.	Iron & Steel Inst., 1926. i p. 219.
202.	Hatfield, W.H. etc.	Reports on the heterogeneity of steel ingots.	Iron & Steel Inst., 1926 i p. 39.
203.	Hibbard, H.D.	Controlling segregation in steel.	Iron Age, 1926, p. 1546.
204.	Dickenson, J.H. S.	Distribution on Silicates in steel ingots,	Iron & Steel Inst. 1926 i p. 177.
205.	Smith, S.W.	Liquation in molten alloys.	Inst. Min. Met. Feb. 1926, Adv Copy, p. 48.
206.	Hibbard, H.D.	Rimmed steel and how it is made,	Iron Age, 1926, p. 142, 214.
207.	Whiteley, J.H.	Ghost line and the Banded structure of rolled and forged mild steels.	Iron & Steel Inst. 1926. i p. 213.
208.	Wimmer, A.	Die Makro-und Microstructure von Gasblasenseigerungen.	S. u. E., 1927, s 781.
209.	Martens, A.	Seigerungen.	Materialkunde, 1912, edit. s. 120.
210.	Guertler, W.	Seigerung.	Metallographic, 1912, auf. s 169.
211.	Osmond, F. Stead. J.E.	Segregation.	Microscopic analysis of metals, 1913, edit. p. 243.

No.	Authors	Subjects	Pubrication.
212.	Stoughton, B.	Segregation.	Metallurgy of Iron & Steel 1913, edit. p. 158, 330, 414.
213.	Howe, H.M.	Ghost and the other elements of fiber	Metallography of Steel and Cast iron, 1916 edited p. 546.
214.	Sauveur, A.	Impurites in Steels.	Metallography & heat treatment of Iron & Steel, 1916, edit. p. 143.
215.	Edward, C.A.	Segregation.	Physico chemical properties of Steel, 1916, edit. p. 84.
216.	Brearley, H. & W.	Segregation.	Ingot and ingot mould, 1918, edit. p. 157.
217.	Harbord, F.W. & Hall, J.W.	Segregation.	Metallography of steel 1918, edit. p. 378.
218.	Rosenhain, W.	Segregation in ingot.	Physical Metallurgy, 1919, edit. p. 297.
219.	Schenck, R.	Segregation in alloys.	Physical chemistry of the metals, 1919, edit. p. 52.
220.	Geiger, C.	Seigerungerscheinungen.	Eisen und Stahlgießerei 1920, auf. s 211.
221.	Osann, B.	Seigerung.	Eisenhüttenkunde, 1921, auf. s 755.
222.	Guillet, L. & Portevin, A.	Macrography.	Metallography & Macrography. 1922, edit. p. 257.
223.	Osann, B.	Seigerungerscheinungen.	Eisen und Stahlgießerei. 1922, auf. s 199, 667.
224.	Goerens, P.	Seigerung.	Metallographie, 1922, auf. s 99.
225.	Allocit, F.A. & Miller, E.	Seigerung.	Metals & their Application, 1921, auf. s 755.
226.	Buchner, G.	Seigerung.	Hilfsbuch für Metalltechniker, 1923, s 9, 128.
227.	Ledebur, A.	Seigerung.	Eisenhüttenkunde, 1923. I, s 339.
228.	Ledebur, Bauer,	Seigerung.	Die Legierungen, 1924, auf. s 141, 161.
229.	Oberhoffer, P.	Seigerung in grosseren Gussstücken.	Das technische Esien, 1925, s 331.
230.	Heyn, E.	Segregation.	Physical Metallography, 1925, p. 78.