

經濟なる故に普通の場合に於ては鋼滓が褐色となる程度即ち次の如き成分を有するやうに作業すれば良好である。

SiO ₂	FeO	MnO	CaO
55,00~60,00	25,00 以下	10,00 以上	3,00 以下

此實驗は只實地作業上より得たる數百種の試料を分類せしのみであつて學理的論證は甚だ薄弱であり且つ其正鵠を失せる所多からんと思はるゝ故に批判の勞を執り下さる諸賢あらば幸甚の至りである。此處に擱筆するに當り多大の御援助下されし小島豐榮及び岩橋榮治兩氏に深く感謝す。

(川崎造船所兵庫工場にて)

鋼塊に起る偏析の研究 (IV)

(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

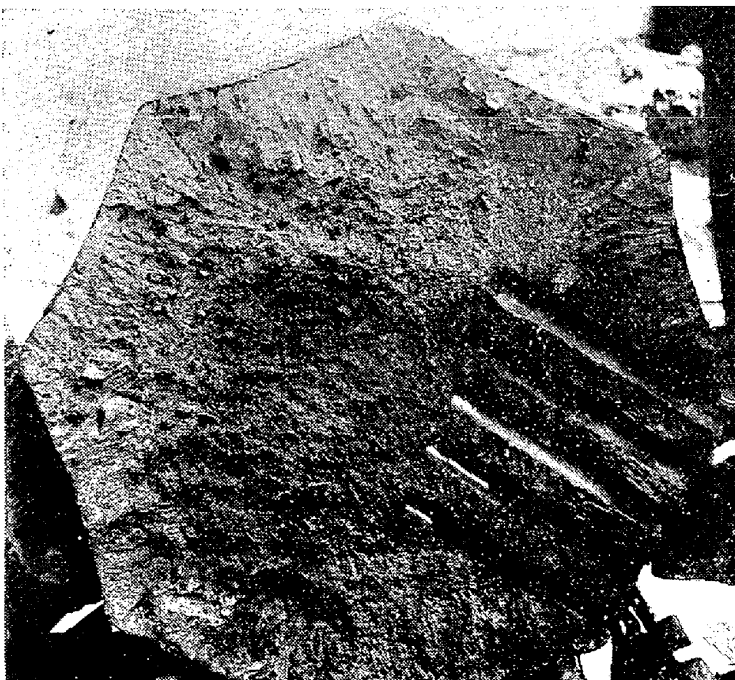
第七章 角隅幽痕の生因、挾込説

第四〇節 難 解

角隅幽痕は鋼塊の角隅に於ける偏析の現象なること、前章に記する所に依りて明なり。此の種の幽痕は未だ一噸以下の小鋼塊に存するを見ず、常に大鋼塊に發生するものなるを以て其の生因に就き實驗的に探究すること容易ならず。従來種々の臆説行はれ、或は原料に因るものとし、或は鑄解の法に

第四五圖

× 約 0.088



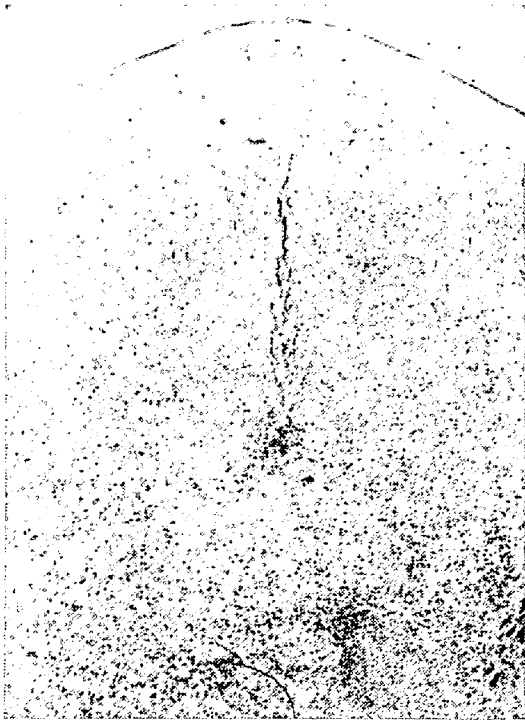
因るものとし、或は鋼の實質に因るものとし、或は鑄造の法に因るものとして其の歸する所なく、西歐諸國に於ても未だ確説の提示せられたるものなし。故に防禦の方針適確ならず、従て其の發生は製造上避くべからざる難解のものとして永く技術者をして懊惱せしめたり。茲に實驗の見地より其の生因を論證し、之に關する諸現象を解明し以て防禦方針の基礎を確定せんとす。

本章に於て先づ角隅幽痕發顯に關する主要なる事項を擧げ此等の現象は挾込説に依りて解し得るや否やを論ぜんとす。

第四一節 鋼塊の柱晶と幽線の所在

鐵鑄型にて鑄造したる鋼塊は凝固の初期即ち鋼殼を形成するとき、其の殼壁に生長する結晶は柱狀

第四六圖 ×約0.35



を成し、鑄型の内壁より内層に向ひて生長するを常とす。此の柱晶層終りて内層は粒狀層となる。第四五圖は八角塔 25 噸鋼塊ニッケルクローム鋼の中央横斷全破面の撮影にして柱晶と粒晶との配置状況を例示したるものなり。

隣接せる柱晶層の境界線は角隅を過る半徑に沿へり。角隅幽線は柱晶層の範圍に於て此の境界線上に發生するものなり。

第四六圖は鋼塊横斷面の硫貼寫に顯はれたる一角隅に於ける幽線なり。之を破面と對照することに依りて、幽線が柱晶層の衝界に横はれることを知るべし。

第四二節 柱晶の厚さ

鋼塊内の柱晶層の厚さは種々の條件によりて變化すべきものなれども、融鋼の材質、鑄込の溫度、方法、鑄型の狀況等鑄造の條件一定なるときは、柱晶層の厚さも略一定なるべし。

るべし。

此の鑄造條件略等しき下に鐵鑄型の大さを異にして鑄成產出したる數多の鋼塊につきて檢し、其の實測値を擧ぐれば第二三表の如くにして、一般に鋼塊の大なる程柱晶層も亦厚さを増す傾向あり。

此等柱晶の厚さは鋼塊を横斷爆破したる破面につきて實測したるものあり。截斷面を研磨し蝕法に依りて結晶の状態を顯はし檢したるものあり。又稍入念に硫貼寫を撮り硫化物の配列状況を觀て柱晶層と粒晶層との境界より判定したるものもあり。

第四三節 鋼塊角隅に於ける柱晶の衝會

圓塔鋼塊は割れ疵を生じ易きを以て、特別の場合の外大鋼塊の鑄造に用ゐず。大鋼塊に普通用ゐらるる形狀はヴィツカース式[※]若くは之に準じたる多角塔型なり(第四七圖)。此の型は内接圓半徑(R) 胴凹面の曲率半徑(r_2)及び角隅の曲率半徑(r_1)によりて定まる。 r_1/R を便宜、角隅の丸み比と稱すべし。大正 12 年の頃吾が工場に採用せる鋼塊の角隅の丸み比は、6 噸乃至 120 噸鋼塊に於て 0.07 乃至 0.13 なり。(第二四表)

柱晶層の厚さを K とし K/R を便宜柱晶比と稱すべし。大小各種の鋼塊につきて其の値を出せば第二三表の如くにして 6 噸乃至 120 噸鋼塊に於て柱晶は 0.07 乃至 0.33 なり。

※ Brearley: Ingot and ingot mould p. 81.

第二三表

鋼塊重量(噸)	鋼種	鋼塊横斷位置(櫃)	K 柱晶層の厚さ(櫃)	R 横斷面内接圓半徑(櫃)	K/R 柱晶比	觀測法
6	Ni-Cr-鋼	中 胴	2.1	29.3	0.07	破 面
12	C-鋼	131.0	7.0	33.2	0.18	硫 貼 寫
14	Ni-Cr-鋼	33.6	7~9	43.2	0.21	"
15	"	中 胴	8.0	40.9	0.19	腐 蝕 法
17	"	中 胴	9.0	42.6	0.21	"
25	C-鋼	15.2	19.0	57.0	0.33	硫 貼 寫
30	Ni-Cr-鋼	中 胴	11.7	55.8	0.21	破 面
60	Ni-鋼	10.8	18~20	74.5	0.27	硫 貼 寫
80	Ni-Cr-鋼	41.3	10.5	89.0	0.13	"
110	Ni-鋼	54.0	9~12	95.5	0.12	"
120	C-鋼	31.7	12.0	98.5	0.11	"

※ 鋼塊肩面よりの距離

$r_1 < K$ 或は $r_1/R < K/R$ なる場合に隣接柱晶層の相會する境界 (第四八圖 PQ) 即ち柱晶の衝會を形成すべし。

第二三表に掲げたる鋼塊は孰も角隅に於て柱晶の衝會を生ずべき傾向を有するものなり。

第四四節 挾込説

Aitchison^{※1}氏は柱晶層の會合面が弱くして、此の所は非金屬性の異物參集することを述べたり。

Carney^{※2}氏曰く角隅幽痕は鋼塊角隅の柱晶間に於て、不純物の閉ぢ込めらるゝに依りて起るものにして、之は鋼塊の角隅に適度の丸味を帶ばしむることによりて防ぎ得るならむと。

Turner^{※3}氏も同説にて單に角隅に於ける偏析なりといひ、何れも其の生成の機作を詳論することなし。1922年著者が提唱せるも此の説にして當時の論旨次の如し。

角隅幽痕は鋼塊の角隅に於ける隣接柱晶層の衝界に偏析物(Segregate)の挾込まれたるものにして、柱晶生長の速度が柱晶の前面に於ける不純母液の排除せられ其の内層に進む速度よりも大なる爲め衝會面に不純物の閉ぢ込めらるゝに依るものとなす。此の説に據れば角隅の偏析先づ發生して主要因となり、此の所に材力の弱所を形成し、從て此の部分に角隅内割れを生ずることあるものとするなり。

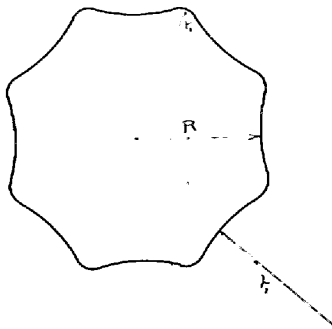
※1 Chem. & Metal. Eng. 1920 Vol. 27 p. 280

※2 American Inst. of Min. & Eng. 1922 p. 337

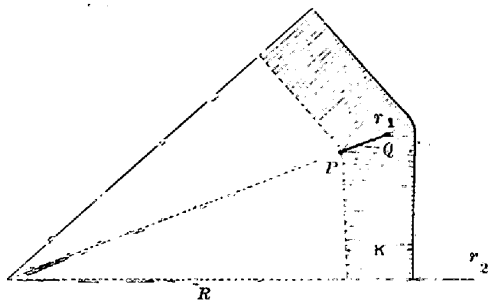
※3 Engineering. 1924 p. 662

※4 Andrew. Greenwood and Green: Iron and Steel Institute. 1919 ii p. 237

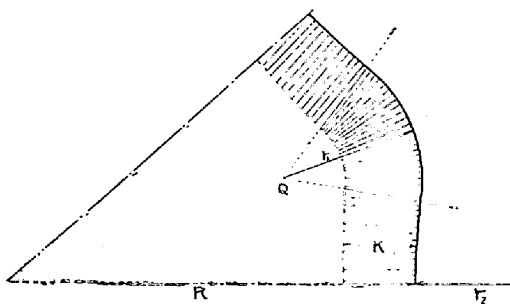
第四七圖



第四八圖



第四九圖



第二四表

八角鋼塊重量(噸)	R 頭端內接圓半徑(吋)	r ₁ 頭端角隅曲率半徑(吋)	r ₁ /R 角隅の丸ミ比
6	37.5	3.8	0.10
12	44.5	3.5	0.08
14	45.1	4.1	0.09
15	46.4	4.1	0.09
17	46.4	4.1	0.09
25	53.4	7.6	0.13
30	58.4	7.6	0.13
60	76.2	7.6	0.10
80	91.5	6.4	0.07
110	100.4	7.6	0.08
120	95.9	7.6	0.08

而して當初著者は之に應ずる實驗、解説を試みたり。本章には初期推究の過程として之を概述し、後に出づる新説と對照するに資せんとす、敢て徒爾ならざるべし。

第四五節 角隅の改變と幽痕

鋼殼の角隅に偏析して、尙流態を保てる不純成分は柱晶の衝會する境界に閉ぢ込めらるゝものと

せば、斯の如き衝會を形成せざるとき幽痕を生ぜざるべし。従て幽痕を免るゝには柱晶層を減退するか、或は角隅の形狀を改むれば可なる筈なり。而して鑄造狀況略々等しくして柱晶層の厚さは常に略第二三表の如きものなるとき、角隅形狀の改變を試みんとするは、蓋し此の推論實施の順程なりとす。乃ち角隅の丸ミ比 r_1/R が柱晶比 K/R よりも小ならぬ如き角隅の形狀を設計するを要するものとす。著者は最初此の論旨より角隅丸ミ比を 0.33 としたる新八角形 15 噸鋼塊を作り (第四九圖)、之を従來の角隅丸味比 0.09 なる 15 噸鋼塊に於ける幽痕の發生狀況とを對照したり。此の大きさの鋼塊の柱晶比は約 0.2 (第二三表) なるを以て従來の鋼塊にては第四八圖の如く PQ の衝會線を生ずるに反し、新型 (第四九圖) には衝會線を成さず。斯くて大正 12 年及び 13 年に於て製造したる兩種の鋼塊につき角隅幽痕の有無を調査せる結果第二五表の如し。

形狀を改變したる八角鋼塊に於ても其の角隅の柱晶間の範圍に依然として幽痕發生せり。其の發顯

の状況は兩種鋼塊にて大差なけれども新八角形の方は柱晶の方向に添ひ細き複條の幽痕となり、且つ其の始點比較的深層に起る傾きあり(第七〇節)。

第二五表

鑄型	八角	新八角
角隅丸ミ比	0.09	0.33
A. 鋼塊數	737	12
B. 幽痕ある鋼塊數	361	11
C. 幽痕ある角隅總數	2215	64
B/A×100	50.7	91.5
C/A	3.03	5.34
C/8B×100	76.3	72.7

柱晶の衝會を減したるに尙角隅幽痕を發生する事實を挾込説より解すれば角隅の偏析物が柱晶間數條に岐かれて介在する傾向あるものとすべきか。

第四六節 角隅幽痕の隠顯

角隅幽痕は多角塊鋼塊の角隅内方に發生すること前述の如し。然れども總ての角隅に於て常に必ず幽痕の發生するものにあらざるなり。多

角塊の同一鑄型にて鑄造したる鋼塊に在りても角隅幽痕の發生する場合と然らざる場合とあり(第二五表)。同一の鋼塊に於て各角隅に發生することあり(第二七圖甲)。若干角隅のみに發生することあり(第二七圖乙)。大正12年製八角15噸ニッケルクロム鋼塊73個につきて調査せるに角隅幽痕が八稜皆現出せるもの13個若干稜に現出せるもの30個各稜全く現出せざるもの30箇ありたり。其の角隅に於ける隠顯出沒遂に捕捉すべからず。更に又角隅の丸味を緩やかにして柱晶の衝會を避くるも幽痕の出沒は依然として不定なり(第四五節)。

此等の事實より推考するに角隅幽痕發生の原因を單に鋼塊の形狀のみに歸すべからず、尙其の背後に潜みて大なる威力をなし、起生を掌れる主要原因の存することを想定せしむ。

著者は此の主要因を熱的作用に在りとし之を實驗的に證明せんことを企てたり。

第四七節 氷塊凝固の緩急と角隅偏析

角隅幽痕發生の主要因は熱的作用に在りとせば、夫は先づ凝固の緩急の差異に着眼せざるべからず。著者は之を小鋼塊に試みんとし1匁乃至100匁の鋼塊につき其の凝固に當り鑄型の溫度を種々に變ふることに依りて、角隅幽痕の生否を検したれども未だ其の生成に會せず。

凝固の緩急に依りて角隅偏析の現減する狀況を解せむが爲に、氷塊の實驗を行ひたり。

ニグロシン0.005%の黑色水溶液を多角塊の鐵鑄型に盛り、其の外圍を冷却するに徐冷、中冷、急冷の三段に分ち、冷媒を順位攝氏零下4~5度、零下12~13度、零下23~24度となしたり。

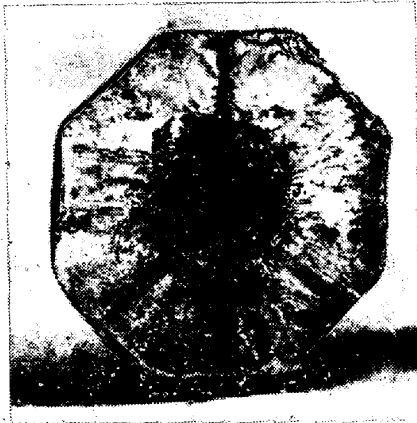
鑄型は中胴肉の厚さ1匁、内接圓の半徑約3.5匁、高さ21匁、冷媒は雪と鹽との混量を加減して其の溫度を調節したり。

第五〇圖は徐冷に依り凝固せる氷塊の横斷面にして、黑色の溶質は溶媒より析出して徐々に内層に向ひ移轉し全く中軸部に聚集したり。即ち外層は無色透明の氷晶にして、中軸は黑色の氷塊なり。

第五三圖は急冷せし氷塊の横斷面にして、黑色の溶質は溶媒より充分に析出して別の層を爲す暇なく相混じたる儘に凝結したるを以て、斷面一様に黑色質の分布せるを見る。

第五一圖甲は中冷せる氷塊の横断面にして、黑色の溶質は角隅に於ける柱狀氷晶（第五四圖）の間に残り挟まれ、茲に角隅色線を形成したり。此の色線の部分を顯微鏡下に擴大（40倍）すれば第五一圖乙の如く氷晶の堺面に黑色偏析物の介在せるを視る。是は溶液より成分の偏析するを示すものにして、恰も鑄鋼中より^{※1}鑄分の偏析するに類す。

第五〇圖 ×約0.55



第五三圖 ×約0.55



第五一圖

甲 ×約0.55



乙 ×約40



唐墨汁を盛り同様に中冷して得たる氷塊の横断面は第五二圖甲にして、是亦角隅色線を顯はしたり。此の色線の部分を擴大（40倍）して觀れば第五二圖乙の如く、氷晶の堺面に於て微細に凝結（Coagulate）せる炭素粒介在せり。是は粒濁物が粒濁液より偏析せるを示すものにして鑄鋼中に硫化^{※2}物の偏析するに似たり。

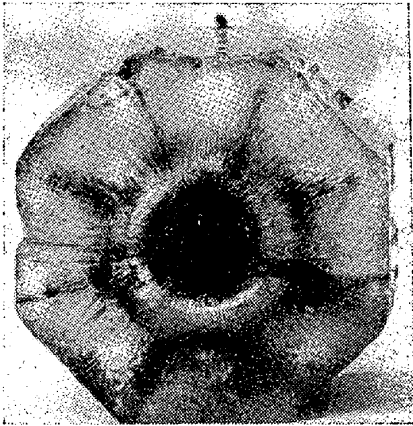
氷塊を構成せる各結晶間の堺面は能く顯微鏡にて視ることを得べく、又第五四圖の如く肉眼にても視得べきものあり。第五四圖は氷塊横断面に於ける柱晶の堺線を顯はしたるものにて其の生長の狀況

※₁ Guertler: Metallographie S. 887

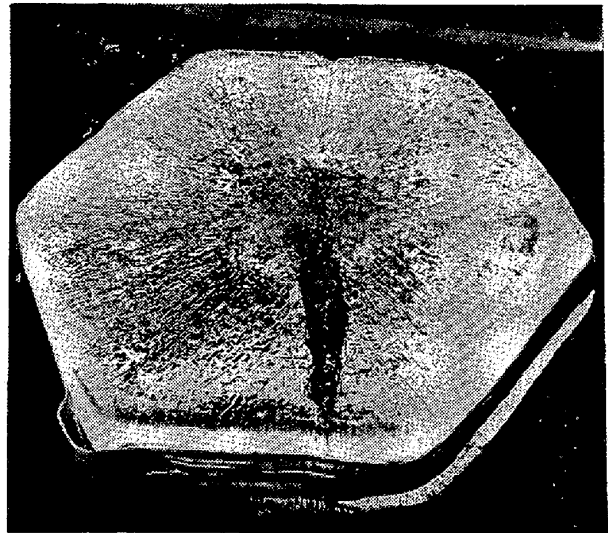
※₂ Goerens: Metallographie S. 280

を見ることを得べし。此の形象を得るには零度以下の室にて氷塊の横断面を平に削り研磨したものを、暫時零度以上の室に置き乾布にて断面を拂拭し、再び冷室に持ち來せば可なり。結晶の堺線は先づ溶解して細き溝となり、圖の如き形象を得るなり。

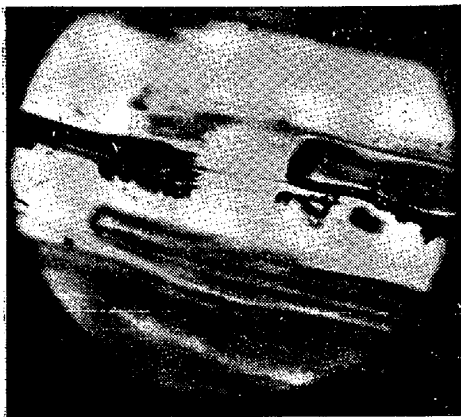
第五二圖
(甲) ×約0.51



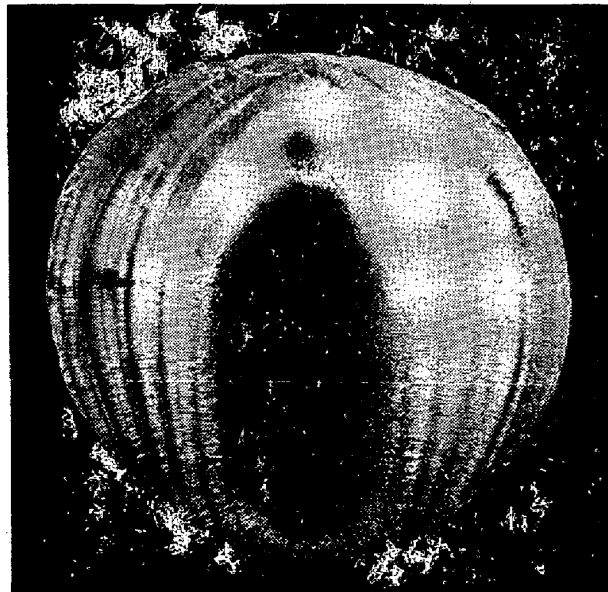
第五四圖 ×約0.51



(乙) ×約40



第六三圖 ×約0.534



斯の如く氷塊の實驗に於て、其の凝固速度を加減することに依り、角隅色線の出沒を左右し得ることを知るべし。鋼塊に於ても、之と同様に其の角隅に偏析を起生すると否とは銻鋼凝固の緩急に依りて支配せらるるにあらざるか。

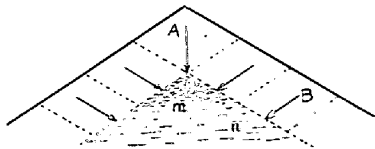
第四八節 角隅の偏析作用

鋼の主要成分なる鐵以外に炭素、磷、硫黄、珪素、マンガン^ニの如き共存成分あるとき、其の程度に於ては差等あれども孰も皆第三圖狀態圖の如き形式に依り固液混相域を有せり。而して液態が凝固を

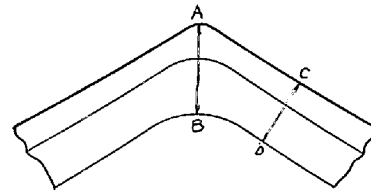
始めてより固相線に達するまでは残母液に夾雜成分の混量増加すること既に述べたり(第七節)。

茲に角塊鑄塊横断面第五五圖の角隅 A と腹壁 B とに於ける鑄塊偏析に就きて考ふるに、結晶は鋼殼より内層の方向に生長するものにして、残母液は常に先頭に接し、夾雜成分に就きては全平均濃度よりも大なり。之が母液全體に擴散する時間を與へざれば結晶層進出の前面は一時濃厚となる。腹壁の

第五五圖



第五六圖



Bなる單位面積より排除せられたる偏析 n は、線狀に配布するに對し、角隅 A なる單位面積よりの偏析 m は一點に集合するを以て、角隅に於ける偏析は腹壁に於けるよりも一層濃厚となる傾向あるものなり。而して鋼殼より結晶層の生長緩徐なる場合に偏析成分は徐々に内層に向つて擴散し移行すれども、結晶の生長適度に急速なる場合に、偏析成分は結晶間に殘され遂に挟み込まれるに至るべし。多角塊鋼塊の等凝結線は内層に向ふに従つて圓形に近づくもの(第一一八圖甲)にして第五六圖曲線は等凝結線を示す。圖にて明なるが如く鋼殼の角隅より其の軸に向へる結晶生長の速さ AB は腹壁に於ける CD よりも大なり。此の故に角隅線 AB の方向に於て柱晶層の衝會起ると否とに係らず、結晶の生長適度に急速なる場合に偏析成分は晶間に著しく介在し、遂に角隅幽痕を形成するものと解す。

斯の解説よりせば柱晶層の衝會に發生すとせしめたる挾込説(第四四節)の意義は稍擴大せられ柱晶層の衝會なき場合にまで演釋することを得べし。

第四九節 圓塊鋼塊の角隅幽痕

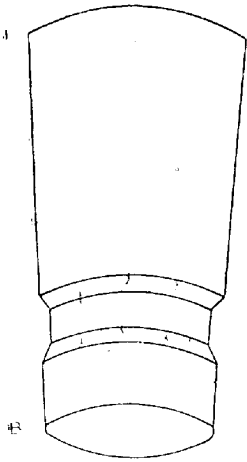
圓塊鋼塊の外層にも多角塊鋼塊に於ける角隅幽痕と同種の幽痕を發生することあり。之をも便宜角隅幽痕と稱すべし。

第一實例 圓塊鋼塊 之は鹽基性炭素鋼にして含炭素量 0.28%、重量 15 噸、鑄鐵製丸鑄型にて鑄成したるものなり。其の胴部を下底より高さ 1/3 の所にて横斷し、硫貼寫にて檢したるに鋼塊の外表より 1~2 纏の内層に起れる二條の幽痕顯はれ(第五七圖中の A) 半径の方向に並べり。其の長さ 20 耗、40 耗にして相互の距離 17 耗なり。幽痕の縦の狀況を知らんとして第五七圖の如く此の幽痕の部分を斜に截り去り、其の面を硫貼寫にて檢したるに B の如く、縦の角隅幽線顯はれたり。第五八圖は側面圖にして切斷線に依り横斷面の幽線 A と縦斷面の幽線 B との關係を示す。A 及び B の硫貼寫の寫眞は第五九圖 A、第六〇圖 B の如し。

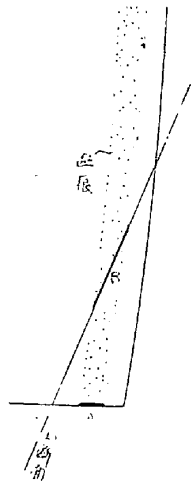
第二實例 圓塊鋼塊 之は酸性、ニッケルクロム鋼、15 噸鋼塊にして、第一實例と同一の丸鑄型にて鑄成したるものなり。此の鑄塊を全凝固後尙高温なる際、鑄型より引き抜き、所謂赤材鍛鍊を爲

し粗壓して圓壙型となしたり。底端より 70 纏の高さの下洞を深さ 75 纏に帯削りして、硫貼寫を以て幽線を檢したり。第六一圖は其の見取圖なり、帯削りの谷には 5 條の幽線あり。底端側の削斜面には 10 條の幽線あり。第六二圖は其の硫貼寫にして、外の輪形なるは底端側、削斜面に於ける幽痕なり、削谷に於ける幽線は其の内方に接して並べたり。

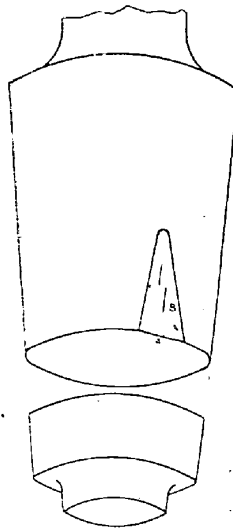
第六一圖



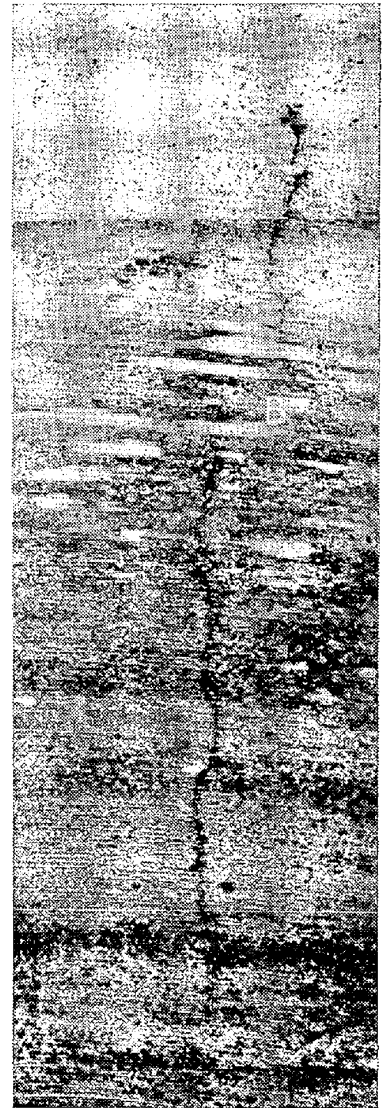
第五八圖



第五七圖

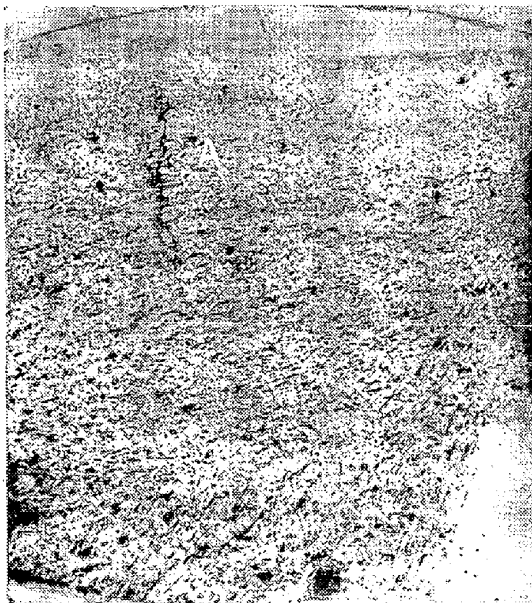


第六〇圖



x 0.2

第五九圖



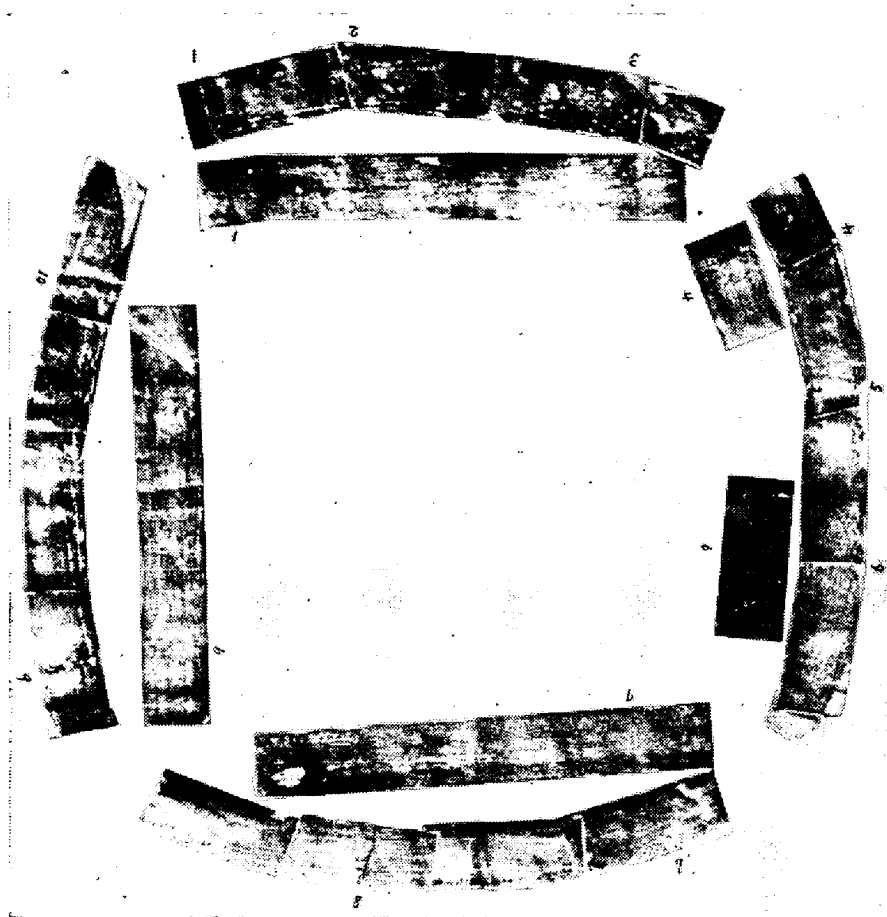
x 0.6

第五〇節 圓壙氷塊の角隅色線

圓壙鋼塊に在りては角隅なきが故に、柱晶層の衝會なかるべく、且又第五五圖に於けるが如き偏析成分の濃度の片寄りもなかるべし、挾込説に於ては尙結晶生長の速度と偏析成分の母液移行速度との均衡如何につきて考察する餘地あるべし。若し其の均衡を失し偏析成分は晶間に介まるゝものとせ

ば、圓坩銅塊には無数の角隅幽痕を發生する筈なり。然るに實際に發生せる狀況を觀るに若干條の幽痕は間隔を置いて潜在す(第四九節)。此の事實は最早挾込説を以て解し難きにあらずや。著者は尙挾込説を保護せんとして、次の氷解實驗を行ひたり。

第六二圖



x 0.13

ニグロシンの黑色水溶液を中胴直徑 10 纏、高さ 21 纏の鉄力製圓筒に盛りたり。其の外圍を縦に順位 1 乃至 4 の 4 區に分割し、圓周上の隔りを 1:3:5:2:3:5 とし、第 1 區、第 3 區は圓筒側壁及び區間の隔壁を圍らずに石棉板を以てし、其の内を乾燥粘土粉にて盈てたり。第 2 區、第 4 區内には雪と食鹽との混合寒劑を盈て、攝氏零下 12~13 度に調整し、圓筒内の黑色水溶液を凝結せしめたり。

此の氷解の横斷面の寫眞は第六三圖の如くにして、等溫線或は等凝結線は圓き容器に應ぜる同心圓を爲すことなく、著しく變形し第 1 區に面したる部分に尖端を有する橢圓狀となりたり。此の尖端に當り一條の角隅色線顯はれ、第 1 區の縦方向に沿ひ長く懸れり。

此の實驗に據れば鑄塊の形狀如何に係らず、等凝線に依りて角隅の形成せられたるとき、角隅偏析を生ずるものなることを知る。圓坩銅塊に於ても其の周邊の不均等なる冷却に基き、等凝結線の變形を招來し、茲に角隅幽痕を生成するにあらざるか。

第五節 挾込説の批判

挾込説は柱晶層の衝會線を避けんが爲め角隅の形狀を改變したる鋼塊に於ても、尙依然として發顯する事實に依りて破れんとしたり。之には角隅に於ける偏析の濃度と結晶速度とに依る説明を加へて、此の説を保ちたり。

次に圓壙形鋼塊にも角隅幽痕の發生する事實に依り、此の説は窮地に陥れりといへども、不均等冷却に基ける等凝結線の形狀に依れる説明を以て辛じて其の脈路を繋ぎたり。然れども圓壙鋼塊に發現する角隅幽痕の形象及び配列(第四九節)を觀察するに第一實例に在りては鋼殼の偏冷とも解せらるれども第二實例に在りては數條の幽痕は縦に懸れり。而して之に應すべき不均等冷却が、鑄型の影響より行はれたりと考へ難し。且つ複條幽痕(第七〇節)の如き、或は幽線が柱晶層の衝會線を外れ偏りたる位置に生ずる(第六八圖)が如きは、此の説にては解すること困難なり。乃ち挾込説は角隅幽痕に關する現象の一部を解し得るも、未だ其の全般に互りて明快なる解説を與へ得ざるなり。

此の説の要因とする事項は何れも合理なりと認めらるるに係らず、一貫の説明を得ざるは、一部の眞理存すれども假説の立脚未だ完からざるに依るものにして、尙他に適當なる理由の存することを暗示するものなるべし。次章に之を展開せんとす。

第七章の括約

(1) 挾込説は柱晶層の衝會線、角隅の偏析濃度、角隅の結晶生長速度及び等凝結線の形狀を要因として角隅幽痕の生成を解せんとするものなり。

(2) 角隅幽痕は柱晶層の衝會線に偏析物の挾込めらるるに依り生ず。此の弱所に導かれ内割れの地疵起るものとす。

(3) 柱晶層の衝會線を避け得る形狀の角隅を有する多角壙鋼塊に於ても尙角隅幽痕を發生す。之は角隅に於ける偏析の濃度及び結晶生長の速度にて解し得。

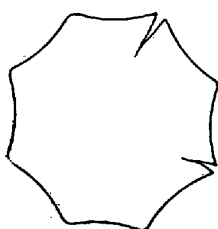
(4) 圓壙鋼塊の角隅幽痕は等凝結線の變形に依りて解せんとす。然れども其の現象に對する解明完からず。挾込説は茲に破綻を來したり。

第八章 角隅幽痕の生因、弛開説

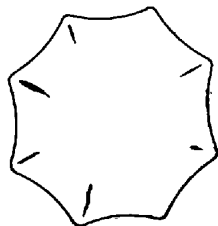
挾込説は其の本義に缺くる所ありて、圓壙鋼塊に起る角隅幽痕の現象を明に解することを得ざりき。之は未だ其の眞相に觸れざるに依る。著者は更に精細なる觀察と實驗とに依りて其の生因を探究

し本章に述ぶる所の弛開説を見出したり。

第六四圖



第六五圖



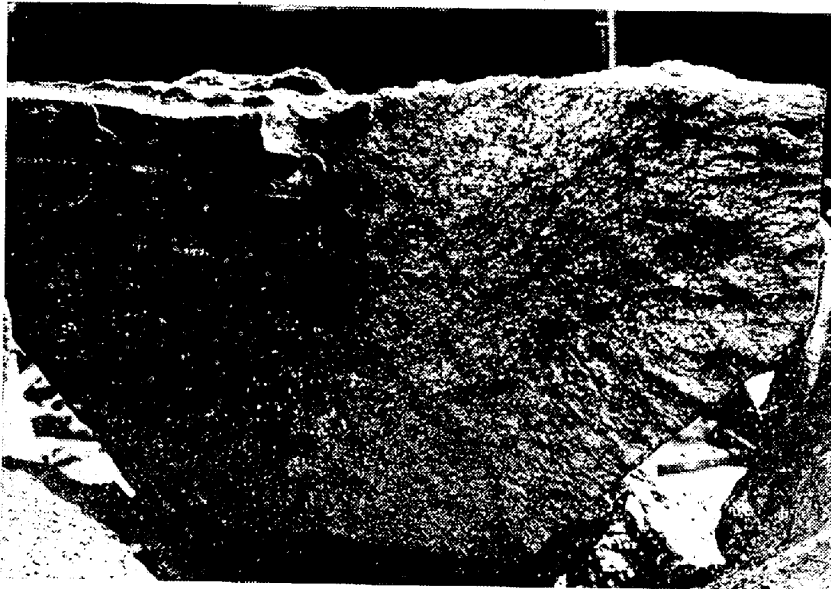
第五二節 角隅内割れと角隅幽痕

多角壙の大鋼塊は往々角稜に沿ひ外面に縦の割れ目を生じ鋼塊の内層に向ひ割れ開くこと第六四圖(横断面)の如きものあり。之を角隅の外割れと稱す(第六三節)。此の種の割れは鋼塊の外面に開口すれども、又外觀には

異状なくして角隅の内方に潜在する角隅内割れあり(第六五圖)。角隅内割れは角稜の稍内方に割れ始まり(第六三節)、鋼塊の軸に向ひ若干長さにて終ること殆ど角隅幽痕の形狀に同じく。柱晶層の範圍内に於て其の衝會に起る。第六六圖は其の實例にして八角塊 25 噸ニッケルクローム鋼の中胴横斷破面の角隅内割れを示す。

角隅内割れの部分を平に削り、硫貼寫法を施すときは多くの場合に於て、同脈線上に角隅幽線の横はれるを視るべし。第六七圖は八角塊 30 噸鋼塊ニッケル鋼の中胴横斷面にして、其の第一及び第三

第六六圖



×約 0.08

第六七圖

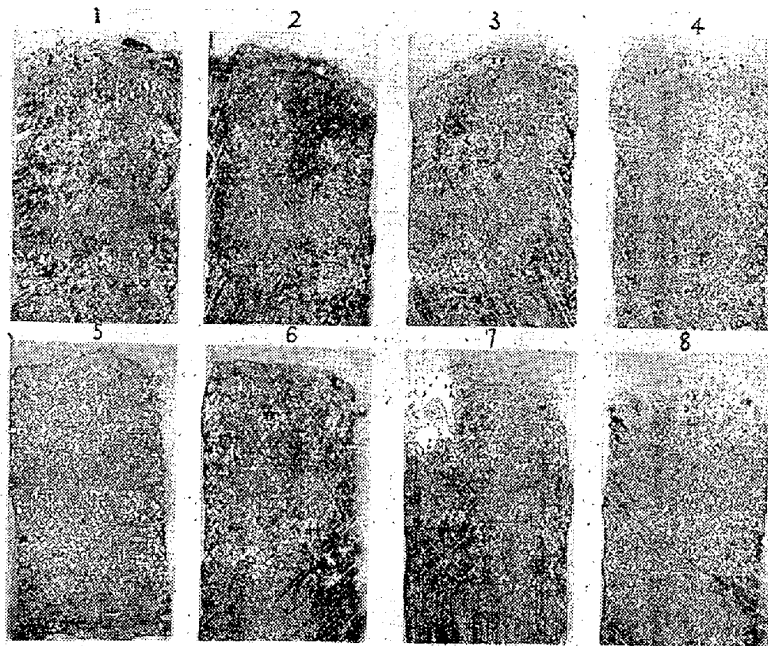


×約 0.061

角隅に角隅内割れあり。此の内割れは外觀上其の位置、形狀及び大き共に角隅幽痕に等しきのみならず。硫貼寫に依り角隅幽線上に横はり、兩者は伴生せるを知る(第六八圖1, 3)。第九圖甲、乙は之を稍大きく撮影したるものにして。黑色の幽線に沿へる地割れの部分は白色の線に顯はる。其の他の各角隅には内割れを伴はざる角隅幽線存す(第六八圖)。内割れの廣狹長短は各不同にして、稀には幽線域を延長したる方向に割れ擴がることあり。

大正 13 年前半年に於ける、15 噸鋼塊 Ni-Cr 鋼 112 箇に就き、角隅幽痕の發顯總角隅 628 箇の中肉眼的の大小角隅内割れの伴生せる角隅數 176 箇にして、全幽線數に對する角隅内

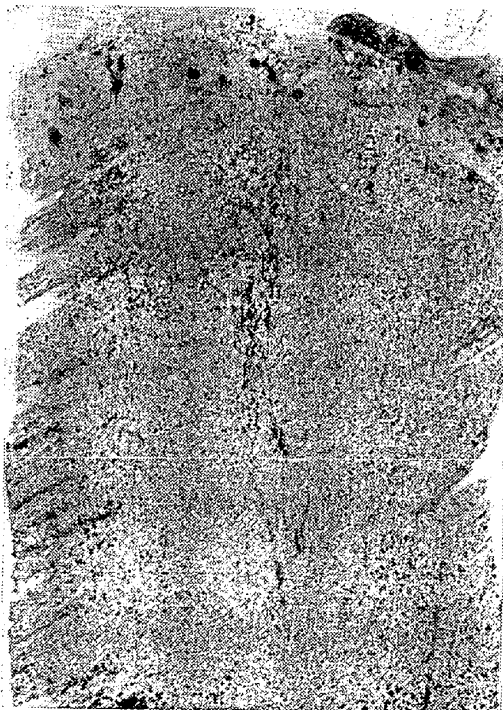
第六八圖 ×約0.175



第六九圖

甲 ×約0.55

乙 ×約0.55



割れの百分率は 28%なり。即ち角隅内割が角隅幽痕と密接の関係あるべきことを想察せしむ。

又時としては單獨なる角隅内割ありて、幽線を伴はざることあり。第七〇圖は 17 噸鋼塊上胴横断面の一角隅の内割れの部分を硫貼寫せるものにして、之には幽線を顯はさず。而して此の部分の破面を検するに此の内割れは柱晶の衝會線に在りたり。

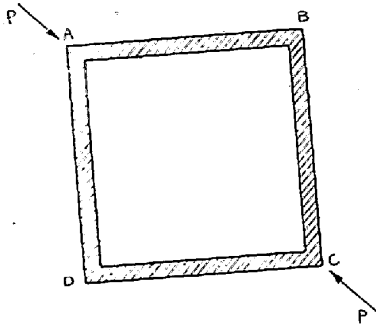
斯の如く、角隅内割と角隅幽痕とは同一の場所に伴生することあり、又各單獨に起ることあるもの

なり、次節の實驗は此等の現象に明快なる解決を與ふべし。

第五三節 角塊鋼塊の押潰實驗

凝固進行中の熱鋼塊に外力を加へて歪變形を起すときは、鋼塊の内部に如何なる變化を生ずべき

第七一圖



か。

押潰し實驗第一 角塊鋼塊

厚さ1糎の鐵板にて四角塊鋼塊を作り、上縁邊5糎、底邊3糎、高さ12糎とし、之に化學組成 C·30 Si·61 Mn·76 P·036 S·012 Ni 3·51 Cr·88%を有する電氣爐熔融鋼、約1坩を鑄込み鑄込の儘靜置せる鑄鋼の凝固進行し15秒時を経て、鋼殼成り尙内層に鑄鋼存するとき、横斷面第七一圖の如く鋼塊の側面に於て、相對する角稜 A, C より押壓力 P を加へ、鑄型の儘之を歪ませて菱形となし

たり、押壓には鐵鉗の嘴廣きものを用ひ、鋼塊洞の高さ上方 2/3 に互れる A, C 各稜の上に押當て、之を挟み兩手にて押壓力を加へたり。

第七二圖は其の鋼塊上面の寫眞にして、押壓角稜の内方 k_1, k_2 の位置に角隅内割れを生じたり。此の鋼塊の上洞 1/4 を横斷せしに (第七三圖) k_1 に對應する部分に角隅内割れありて上頭の内割れと接続せり。 k_2 に對應する部分には内割れ達せず。

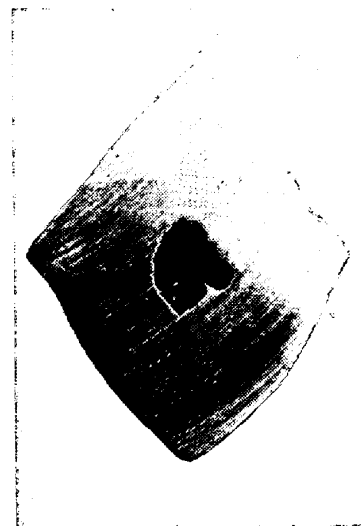
第七二圖

×約 0.96



第七三圖

×約 0.7

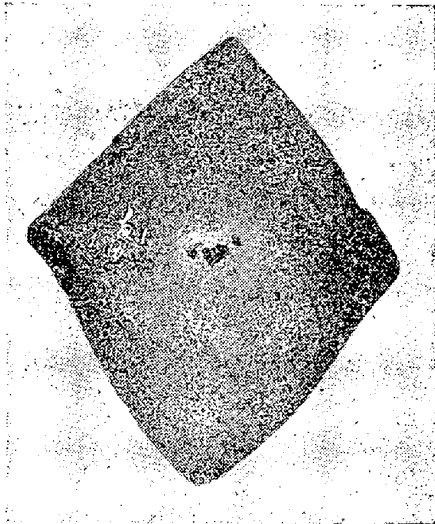


幽痕の發生 次に鋼塊の中洞横斷面を検するに肉眼にて角隅内割れを認めず。此の面を研磨したるに k_1 に對應する部分に於て、光線の映射に依り、所謂角隅幽痕の發顯せるを觀たり。之は次に記する硫貼寫にて幽痕なるを確むることを得たり。 k_2 の方には幽痕の發顯明ならず。

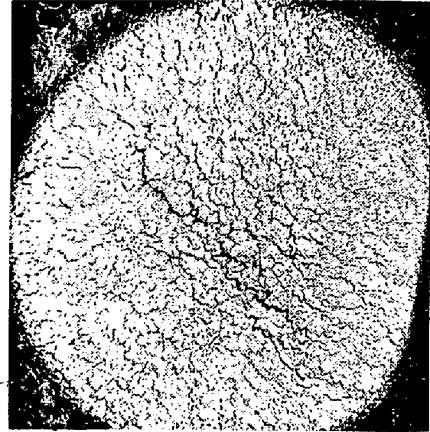
硫貼寫 此の面に硫貼寫を施したるに第七四圖 k_1 に幽線顯はれたり。之は大鋼塊に自然に發生す

る角隅幽痕と全く同種のものなることは、兩者の性狀を對照することに依りて明となるべし。此の幽線は鋼塊上頭内割れの波及せる部分なることは其の縦断面(第七九圖)にて判すべし。

第七四圖 ×約0.888

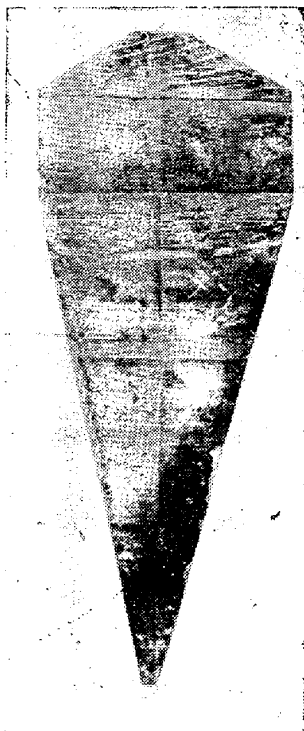


第七五圖 ×約2.7

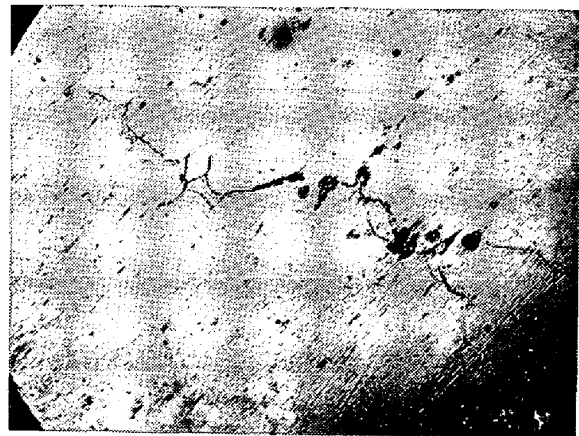


幽痕と結晶堺 硫貼寫第七四圖 k_1 にて表はしたる部分を研磨し、幽痕の一部を100倍に擴大したるものは、第七六圖にして、幽痕の廣き所は、鐵地離れ居れども、狭き所は硫化物にて填充せるを見るべく、其の脈路の曲折せる狀況は晶堺に沿ひて起れるものなることを豫察せしむ。之は次の顯晶法に依りて明となる。

第七〇圖 ×約0.274



第七六圖 ×約100



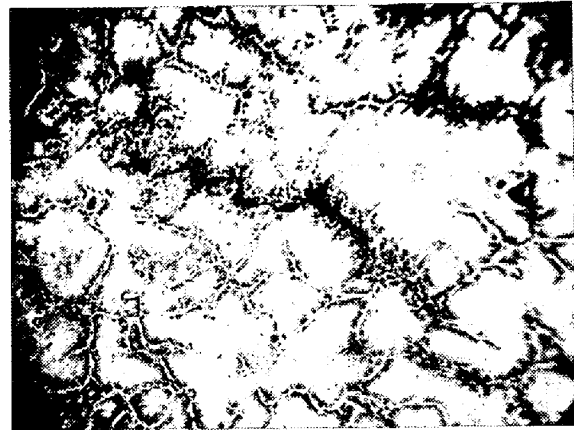
初期晶堺の硫化物 ピクリン酸蝕法を施し、幽線の部分を2.7倍に擴大したるものは第七五圖にし

て、組織弛開の全形を窺ふことを得べし。之は恰も單一なる裂開の如きも、此の部分を擴大すること
に依り、幽線は晶堺に沿ひて走れるを知る(第七七圖甲)。之はフェライト網目なれども、其の晶堺
には硫化マンガンが多量に包裹するを以て、此等の弛開せる晶堺は凝固初期に形成せられたる、オ
ステナイト晶堺の痕跡に當ることを示せり。此の部分を更に擴大したるものは第七七圖乙なり。

第七七圖 乙 ×約 100



第七七圖 甲 ×約 37.3

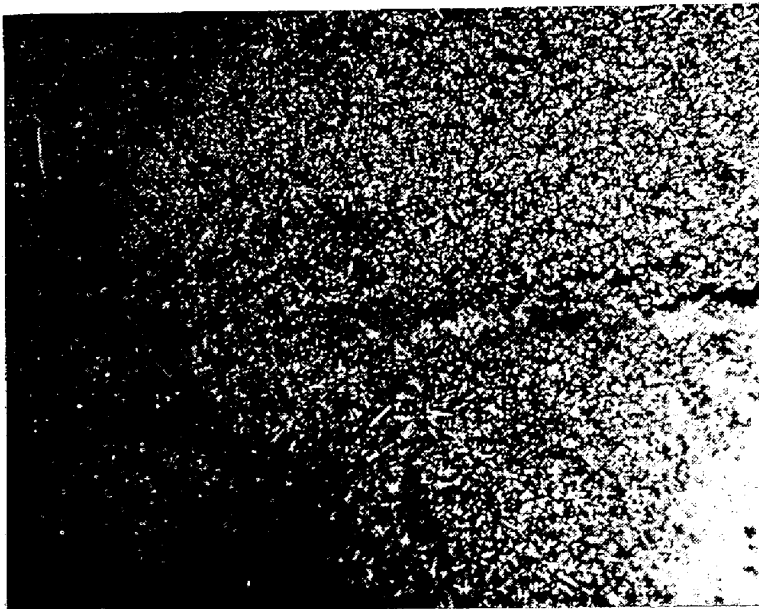


又同部の初期晶を顯はしたるものは第七八圖の甲圖乙圖にして、弛開即ち幽痕は齒朶晶の間に蟠れ
るを観るべし。

第七八圖

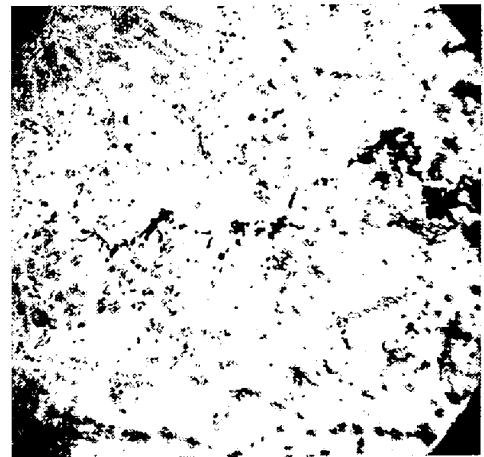
甲

×約 444



乙

×約 37

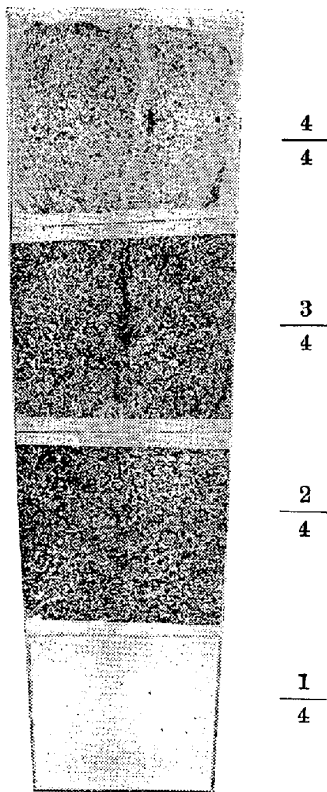


鋼塊縦断面の角隅幽痕 第七四圖幽線の中央を縦斷し、幽痕の形狀を硫貼寫にて表はしたるものは
第七九圖なり。即ち幽痕は縦の切口にても線狀をなせるを以て、角隅幽痕の全形は縦に短冊狀をなし
て懸れるものなり。鋼塊上頭部の裂開の延長線上に幽痕存在するを以て、角隅幽痕は結晶組織の裂開
程度の輕きもの、即ち弛開せるものなることを知る。

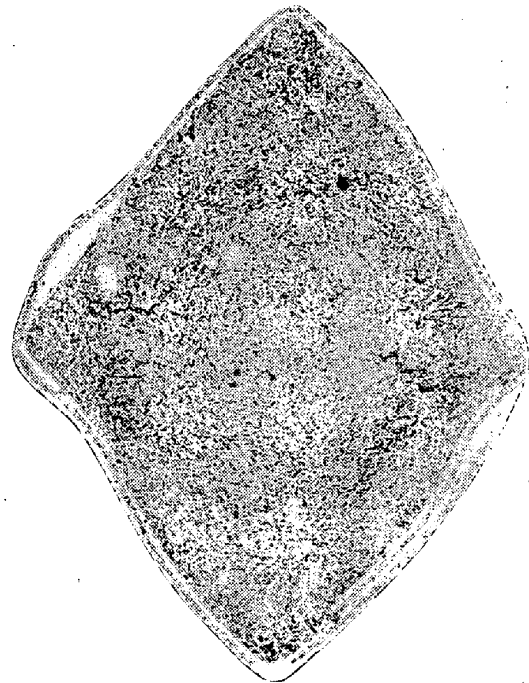
實驗の推校 挾込説に據るとき、押潰の爲に、狹めらるる角隅に於ては、偏析物を結晶の衝會に挾込み角隅幽痕を形成するに好適の狀勢に在り。然るに本實驗の結果に於て、此の現象の發顯を視ること能はざりき。

反つて打開かれたる角隅に當りて、容易に角隅幽痕を發生したり。是に由りて之を觀れば、凝固時に於ける押潰にて鋼塊内の初期晶界に弛開を生じ、茲に硫化物等の偏析物に富める母液は其の間隙に浸入し、遂に角隅幽痕を形成するものと解することを得べし。生因の新説なる弛開説（第五六節）は實に此の實驗より生み出されたるものなり。

第七九圖 × 1



第八〇圖 × 12



此の小鋼塊に生じたる實驗的角隅幽痕の性状は、大鋼塊に自然に發生するものと全く同様なるものなること第五五節の結晶組織と對照すれば明なり。

炭素鋼の小鋼塊にも同様の押潰實驗を行ひ、角隅内割及び角隅幽痕を發生せしめ得たり。第八〇圖は其中脛横斷面の硫貼寫にして押壓を加へたる相對の兩角隅に各幽痕を發生せり。此の鋼塊の化學組成は C・12 P・099 S・081%なり。斯くて角隅幽痕は柱晶層或は細長き齒朶晶間に起る特有のものにあらずして、等齊なる形の初期晶の間に於ても生ぜしむることを得たり。但工場の實地作業に於ては等齊なる初期晶の層中には角隅幽痕發生することなし。

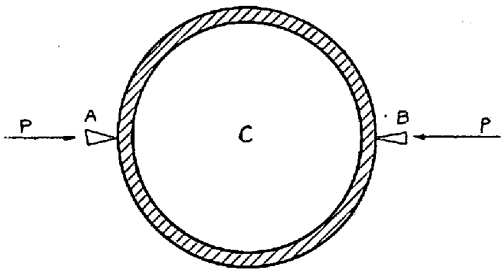
第五四節 圓塊鋼塊の押潰實驗

挾込説は圓塊鋼塊に發生する角隅幽痕の説明に至りて窮地に入りたり。前説の實驗に依り角塊鋼塊に於て啓發せられたる結晶組織弛開の新現象を圓塊鋼塊に適用せば如何。

押潰し實驗第二 圓塊鋼塊

厚さ 1.5 耗の薄鐵板製圓塊鑄型、上徑 5.6 糎、底徑 3.2 糎、高さ 11 糎なるものに、化學組成 C·29 P·141 S·087% を有する電氣爐鑄鋼 1 坩を鑄込み了へたり。其の 10 秒時を経て、凝固層成り内方に尙鑄鋼の存するとき前實驗と同様に鐵鉗を鑄型の外側に當て、鋼殼側面の相對する母線上に押壓を加へ(第八一圖) 鋼塊 (C) を歪ませて楕圓形となしたり。

第八一圖



鐵鉗の嘴の内側には鋼塊に接する稜の長さ 5 糎なる鐵製三角塊 (A, B) の中央底面を固着し、其の稜は嘴と直交し、兩角塊の相對向せる稜は鐵鉗柄の運用によりて能く噛み合ふ如くなせるものとす。斯の如き嘴を鋼塊洞の高さ上方 2/3 に互れる部分に押當て、之を挟み兩手にて押

壓 P を加へたり。

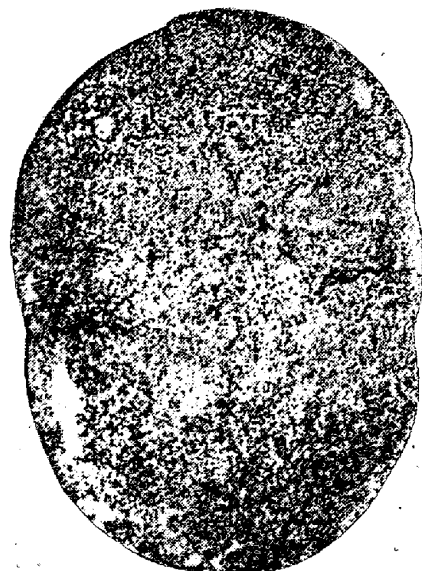
第八二圖は其の鋼塊上面の寫眞にして、押壓角稜の内方 k_1, k_2 の位置に角隅内割れを生じたり。此の鋼塊の中洞横斷の研磨面を視るに裂疵を認めざれども、此の面に硫貼寫を施すときは、鋼塊の外層に於て押壓の方向に沿ひ、角隅幽痕鮮明に顯はれたり (第八三圖)。此の幽線を過りて鋼塊を縦斷せる面の硫貼寫に依りて縦の幽線顯はる (第八四圖)。此の縦横斷面に於ける、幽線の狀況に依り、幽痕の全形は短冊を下げたる形狀なることを知るべし、

第八二圖



× 13

第八三圖

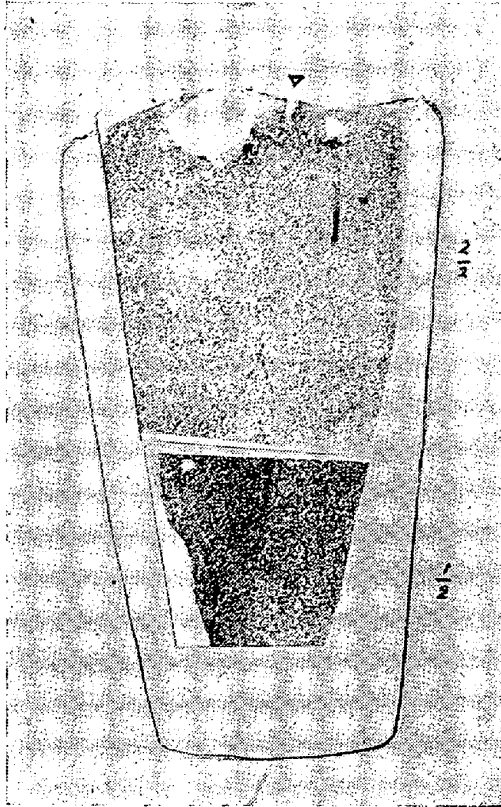


× 13

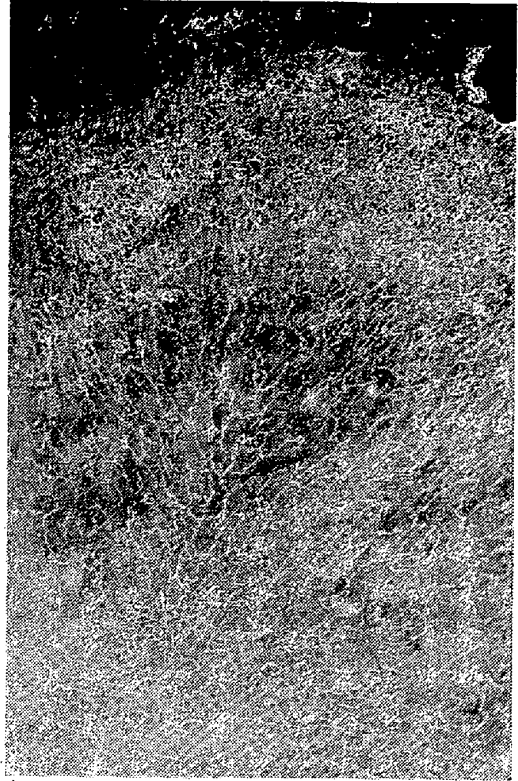
實驗の推校 本實驗に依りて生じたる角隅幽痕は、挾込説の要因とせる柱晶層の衝會角隅の偏析濃度角隅の結晶生長速度及び等凝結線の形狀の内孰れにも當らず。即ち挾込説にては解し得ざるなり。而して鋼塊の多角塊なると、圓塊なるとを問はず、結晶組織の弛開に乗じ、不純物含有母液の浸入或

は吸入せられて茲に幽線を形成すといふ事實は、最早確定的に明白なりといふべし。

第八四圖 × 0.8



第八五圖 × 0.6



第五五節 鋼塊鑄材の角隅幽痕

前節の實驗的即ち人工的角隅幽痕の性状は、之を大鋼塊鑄造の儘に於ける角隅幽痕と對比すれば、其の關係一層明となるべし。

八角 25 噸 ニッケルクロム鋼塊の横断面一角隅に現はれたる角隅幽痕は、角隅近き方に僅に裂疵を包有せり。此の部分に施したる硫貼寫は第四六圖にして、硫化物の濃褐なる線狀明瞭なり。

顯晶 ビクリン酸蝕法に依りて、結晶組織を顯出すれば、第八五圖の如く幽痕即ち弛開は柱晶層の

第八六圖 × 約 3



第八七圖 × 約 100



接界に存在することを概観し得べく、更に此の部分を擴大したるもの(第八六、八七圖)にて一層明瞭なり。弛開の縁邊を爲せるフェライト網目中には多くの硫化物粒子存在せり(第八七圖)。此の弛開の起れるフェライト網目は此の場合には凝固時に形成せられたる初期晶の晶界の痕跡に當ることを示せり。更に初期晶の形象を顯はすときは第八八圖の如くにして、弛開は其の晶界を辿りて來れることを視る。而して弛開の存する部分の初期晶界とフェライト網目との關係は第八九圖の如し。此の寫眞は斜光線の照明に依りたるものにして齒朶晶の骸軸は白く、フェライト網目及び弛開は暗色に映りたり。

此の故に鋼塊の初期晶界の弛開せる部分に、硫化物の如き不純物の集れるものは即ち角隅幽痕なることを知る。

第八八圖 × 約 3.36



第八九圖 × 1.25



第五六節 弛開説

鎔鋼の凝固初期に當り、鋼塊角隅に於ける組織の弛開が、液相線と固相線との間即ち凝固域に於て起るか、或は隣層に尙液相の残留せる時期に起るとき、此の組織の間隙が母液に全く填充せらるれば角隅幽痕を形成す。其の間隙が母液にて一部分填充せられ、或は填充部分が第二次裂開にて割れ添ひたる場合に地割れを伴ひたる角隅幽痕を形成す。

凝固進行し凝固域通過後に弛開起り、隣層の液相より填充を受けざるとき、間隙は其の儘内割れとして存し角隅幽痕を伴ふことなし。

要するに角隅の内割れ或は組織の弛開先づ起り、残留母液之を填充したるとき角隅幽痕生ずるものなり。此の弛開説に據るときは、角隅幽痕の生成明なるのみならず、其の諸性状を能く解説し得べし。其の起生を防禦する方針も亦之より誘發せらるべし。

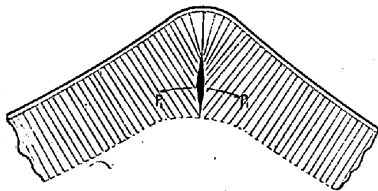
而して茲に當然起る疑問は、如何にして内割れを生ずるか、其の弛開を起す源力は何處より來るかといふことなり。

第五七節 鑄塊外層内割れの源力

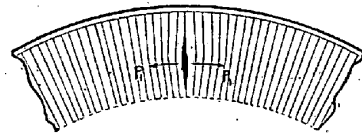
押潰し實驗（第五三、五四節）に於ける内割れ或は角隅幽痕は角隅に外壓を加へて生じたるものなり。鋼塊に自然に生ずる内割れ及び角隅幽痕は外壓の然らしむるものにあらざること明なり。然らば其の源力は何處より來るべきか、夫は鑄塊自體より發することと言ふを俟たず。

組織裂開の狀況を案するに、多角塊鋼塊にては第九〇圖、圓塊鋼塊にては第九一圖の如く柱晶層の

第九〇圖



第九一圖



衝會線又は柱晶の並べる方向に裂け開きを生ずるなり。斯の如き形状の裂け開き(A)は圖中矢の如き方向の張力作用を受けたる結果に外ならず。此の方向に於て、而も凝固進行の高温當時に於て起るべき歪みの源は、押潰し實驗の外壓に於けると同様の作用が凝固層自體に起り、歪み變形を生ずるに歸因するものとせざるべからず。次に其の探究に入らんとす。

第五八節 角塊蠟塊の實驗

結晶組織の弛開は凝固層自體より起る歪なり。而して其の内力の源は蠟塊の實驗に依りて窺ふことを得べし。茲に蠟と稱するはステアリン酸融點 $55^{\circ}\sim 58^{\circ}\text{C}$ のものにして能く針晶或は粒晶を結ぶを以て鑄塊の現象を解するに便なり。

蠟塊實驗第一 徐冷

鑄鐵製内徑6纏平方、高さ21纏、肉厚さ1.7纏の角隅鑄型の内壁面を平滑に削り仕上げたるものを執り、之を 32°C に豫熱し融けたる蠟を鑄込み氣中に放冷し、徐々に凝固せしめて蠟塊を得たり。其の蠟塊は側面平滑角隅直角にして、形状鑄型の内形に全く相似なること其の中洞横断面の寫眞（第九二圖）に依りて知ることを得。

乃ち緩徐なる凝固を爲すとき鑄塊に歪變形を起すことなし。

蠟塊實驗第二 急冷

同上鑄型の外圍を固態二酸化炭素にて -67°C に冷却し、鑄型内は豫め充分に乾燥し、型の内壁に水分の附着するを防ぎたり。之に融けたる蠟を鑄込み急激冷却にて凝固せしめ蠟塊を得たり。此の蠟

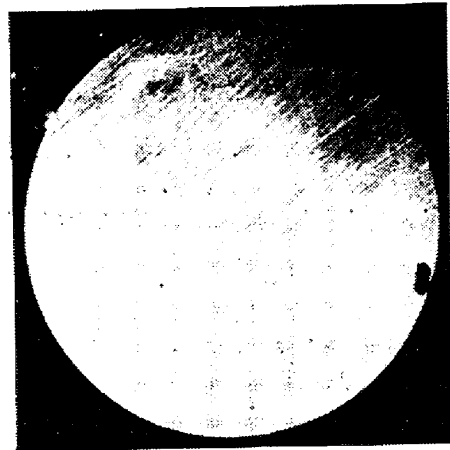
塊の外殻面は多くの皺と大なる彎曲溝を生じ、角隅は弧狀に曲りて正形を失ひ、其の形狀鑄型の内形に比し、著しく變りたるものとなりたり。

此の蠟塊の中胴横断面（第九三圖）を觀るに外殻に並列し内方に向つて生長せる針晶は、殻形の彎曲に應じて歪を生じたり。特に注目すべきは A 角隅の内方に所謂角隅内割れを生じたることなり。而して此の内割れは針晶層の接會線内に横はれり。

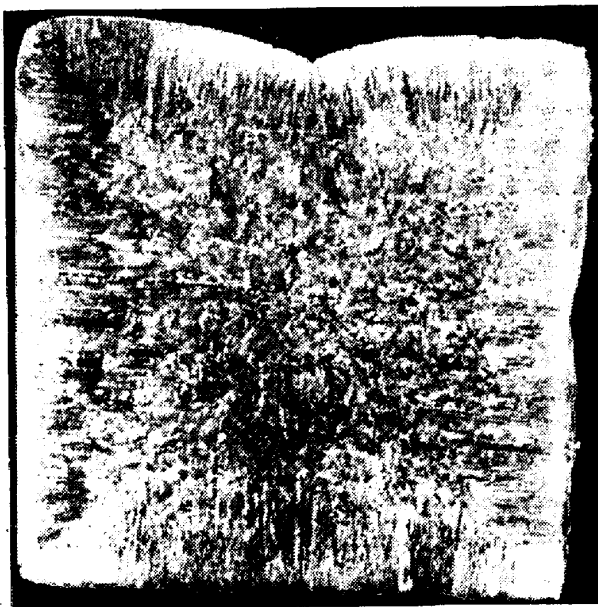
第九二圖 ×約0.57



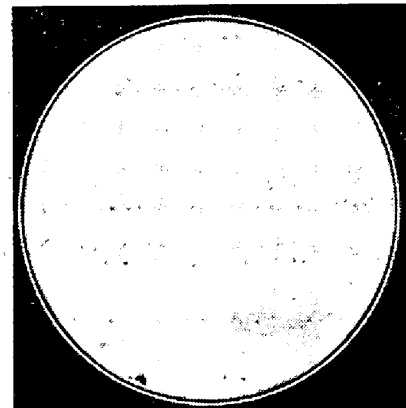
第九七圖 ×約0.667



第九三圖 ×約0.8



第九六圖 ×約0.545



此の實驗に據れば急激なる凝固を爲すとき鑄塊に歪變形を起して鋼殻は外方へ凸なる彎曲を爲し、其の角隅の針晶接界に内割れを生ずることを知りたり。

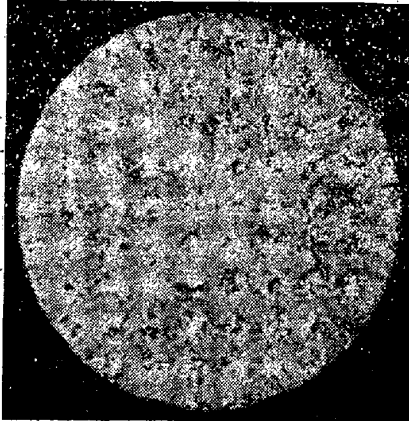
第五九節 圓壙蠟塊の實驗

圓壙鋼塊に角隅幽痕の生ずる理を解せんが爲め、圓壙蠟塊に内割れの起る狀況を觀察したり。鑄型は鍛鋼製にして旋盤にて旋削し精密に圓壙狀となし其の高さ 15 糎、上内徑 7 糎、下内徑 6 糎、肉の厚さ 6 糎に造り上げ、底には厚さ 3.5 糎の鋼板を當て、次の實驗に用ひたり。

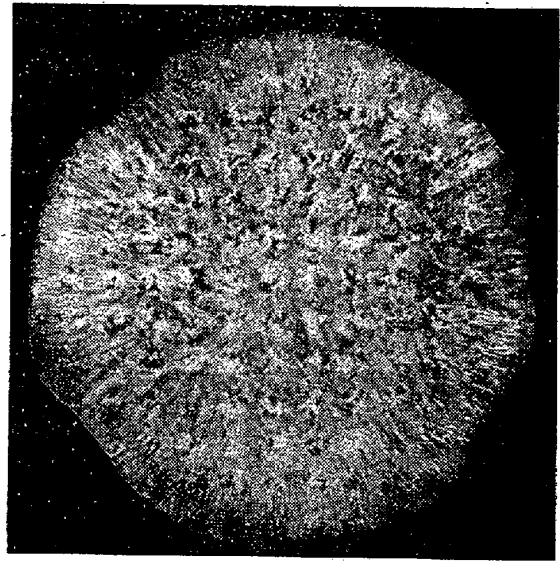
蠟塊實驗第三 徐 冷

上記の鑄型を 40 度に豫熱し、之に融けたる蠟を鑄込み大氣中に放冷したり。鑄込の當初直に薄き蠟殻を形成し、鑄型内壁に密着せるも、暫時の後極めて僅かなる隙間を生じ、冷却の進行に伴ひて鑄型内形と相似形を保ちつつ收縮し凝固を終る。全凝固後の蠟塊は鑄型に適合せる正形（第九四圖）に

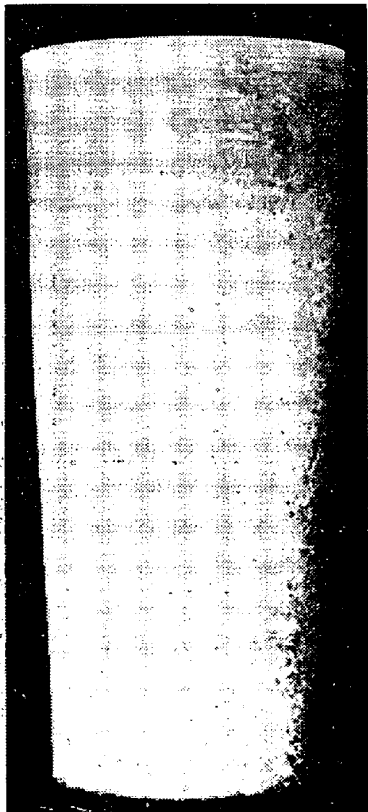
第九四圖
甲 ×約0.667



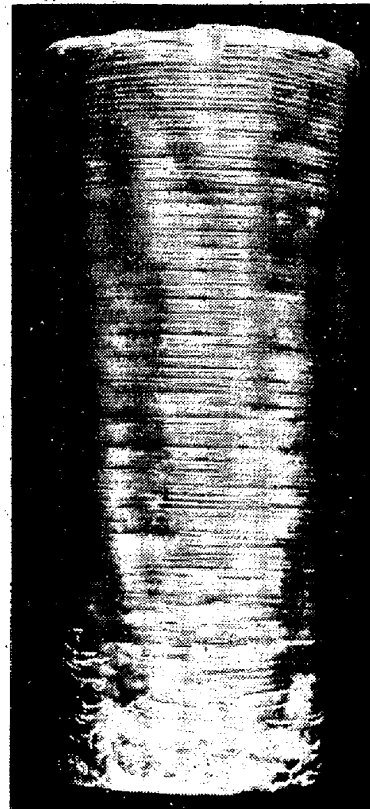
第九五圖
甲 ×約0.87



乙 ×約0.527



乙 ×約0.527



して、内径の收縮僅少なり。其の中洞横断面は正圓を成し（甲圖）鑄肌は平滑にして鍍を生ずること

なし(乙圖)。

此の實驗に依り凝固緩徐なる場合に、鑄塊は正形にして歪變形を起さざることを知る。

鑄塊實驗第四 急 冷

前實驗に用ひたる圓壩鑄型を雪と食鹽との寒劑槽中に漬け、全型を均等に冷却し -22 度に達せしめ、鑄型の内は豫め充分乾燥して、型の内壁に水分の凝結するを防ぎたり。斯くして融けたる蠟を鑄込み、其の凝固の状況を觀察したり。融蠟が型の内壁に觸るるや直に薄き蠟殻を形成すると殆んど同時に鑄型内壁を離れ、兩者の間に間隙を生じたり、此の間隙は凝固の進行に伴ひ、益々潤くなり、且つ蠟殻は所々外方凸に彎曲し、外容益々收縮し内徑甚しく短くなりたり。全凝固後の外觀は第九五圖の如く著しく變形し數條の大なる縦皺を生じたり。之は最も注目すべき要點なりとす。其中洞横断面は正圓を成さずして第九五圖甲の如く、周邊は波形となり著しく變形し、針晶の方向は蠟殻の彎曲に應ぜり。而して大なる縦皺の溝に對する針晶層に於ては、結晶組織の弛開する傾向あることを窺ひ得べし。

此の實驗に依り急激なる冷却にて凝固する場合に數條の大なる縦皺を不定位置に生じ其の内方に當り内割れの起り得べきことを解し得たり。

第六〇節 圓壩亞鉛塊の形狀と冷却速度

前節の圓壩鑄型を用ひ同様に亞鉛塊の實驗を行ひたり。圓壩鑄型上下兩端の内徑を $1/2\pi$ 毎に測定したるに、第二六表の如き一定の値を得たり。即ち此の鑄型の横断面は正圓なり。

第二六表
鑄 型 内 徑

測 定 位 置	上 端 面 (耗)	底 端 面 (耗)
1	69.30	60.00
2	69.30	60.00
3	69.30	60.00
4	69.30	60.00
平 均	69.30	60.00

亞鉛塊實驗 第一 激しき冷却にて變形す。

寒劑として固體二酸化炭素を用ひ -60 度の鑄型内に 450 度の鎔融亞鉛を鑄込みて圓壩亞鉛鑄塊を得たり。鑄塊に於けるが如き著しき縦皺を表はさずといへども鑄型の底を抜き鑄塊を密合せしめ隙間を窺へば僅なる窪みは數ヶ所に縦に通れり。中洞の横断面直徑を圓周に沿ひ 10 個所にて測定したる數値を測定順序に記したるものは第二七表の如し。最大偏差は 0.4 耗にして平均直徑の 6.28% に當れり。

第九六圖は其中洞横断面寫眞にして外輪の正圓に對比し歪變形の程度を観ることを得べし。

第二七表
急冷亜鉛塊

測定位置	直径 (耗)
1	63.90
2	63.75
3	63.90
4	63.85
5	63.85
6	63.85
7	63.95
8	63.60
9	63.75
10	64.00
平均	63.84

第二八表
徐冷亜鉛塊

測定位置	直径 (耗)
1	64.30
2	64.25
3	64.25
4	64.20
5	64.30
6	64.30
7	64.25
8	64.20
9	64.25
10	64.20
平均	64.25

亜鉛塊実験 第二 徐冷にて變形せず。

108 度に暖めたる圓壩鑄型内に 450 度の鎔融亜鉛を鑄込み圓壩亜鉛鑄塊を得たり。其の鑄肌は密にして滑なり。縦の皺なし。中胴横断面の直径を圓周に沿ひ 10 個所にて測定したる數値を測定順序に記したるものは第二八表の如し。最大の偏差は 0.15 耗にして平均直径の 2.34% に當る。

第九七圖は其の中胴横断面の寫眞なり。

此の二實驗にて亜鉛鑄塊は急冷に依りて、收縮歪變形を起し、徐冷にては歪變形殆んど無きこと、鑄塊に於けると同じくして、唯其の歪の程度を異にせるのみなることを知り得たり。

第六一節 鑄塊外殻彎曲の理

急冷凝固に依り鑄塊外殻の彎曲する理を解説せんとす。

鑄型内に鑄込みたる融體は、先づ外殻凝固して漸次内層に向ひ固化作用を進むるものなり。其の外殻形成の初期に於て内層には尙高温融體の存するとき、外方よりの冷却速度が緩徐なる場合と、急速なる場合とに依りて、外殻の形狀に差異を生ず

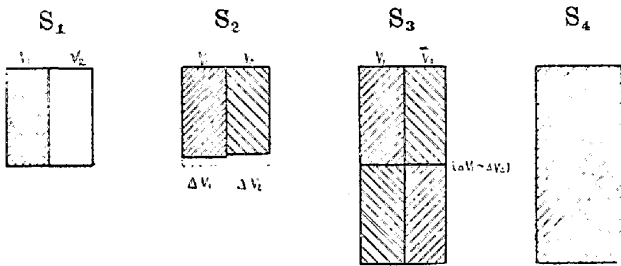
徐冷の場合

此の場合に在りては外層より内層への温度勾配甚小なり、而して凝固進行中の凝固層の一小部分につきて考ふるに、第九八圖 S_1 なる凝固状態に於て V_1 は外層の極めて薄き一部分にして、其の融點に於て今將に凝固したる瞬間に在るものとし、 V_2 は之に接する内方の極めて薄き液層にして V_1 と同温度に在りて同容積を占むるものとし、冷却徐々にして而も V_1 は僅に温度降下したる次の S_2 なる状態に於て、 V_2 は融點にて固化し、液體より固體への容積變化 ΔV_2 ありたるものとし。低炭素鋼に在りては收縮す^{*}。此の際 V_1 は S_1 に於ける状態に比し其の温度極めて僅に低下せるのみにし

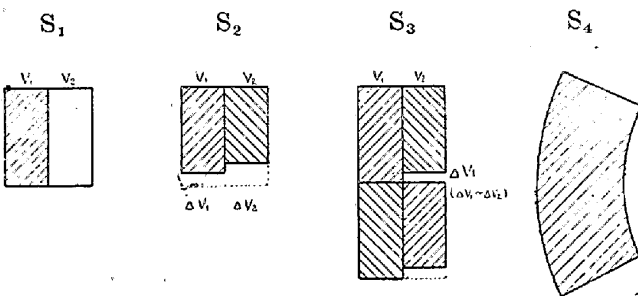
* 遠藤理學士、金屬の研究 1926 p. 183 又膨脹すとの説もあり Th. Wrightson, Beible 5. 188, 817.

て、従て其の容積の收縮 ΔV_1 も甚僅少なり。而して V_1 に対する V_2 の容積不足 ($\Delta V_2 - \Delta V_1$) は緩徐なる凝固進行中に内層母液より補給せらるることあるべく。又自體の延伸に依りて外形にも應じ得べし。故に温度更に降りたる S_3 の状態に於ては V_1 と V_2 との容積差極めて微小なり。即ち凝固層は斯の如く層又層を重ねて徐々に正形を成すを以て、外層に歪み變形を起さざること S_4 の如し。然るに

第九八圖



第九九圖



急冷の場合

に在りては外層より内層に向つての温度勾配甚大なり。第九九圖 S_1 なる凝固状態に於て、 V_2 は融點の液體なるに、 V_1 は融點固化を経て更に著しく温度低下し t 度の差あるものとし、此の融點固化後 V_1 の容積收縮を ΔV_1 とす。次に V_1 の温度は僅に降り、其の間に V_2 は融點固化を爲したる S_2 なる凝固状態に於て、容積差 ($\Delta V_2 - \Delta V_1$) を生ず。此の差は V_2 が固化の際内層母液より填充し難かるべし。且つ温度尙降下し、 V_1 と V_2 の温度相近接するに従ひ V_2 には ΔV_1 に應ずる收縮差を生ずべし。即ち凝固層は斯の如く内層側

の容積小なる層又層を列ねて形成せらるること S_3 凝固状態の如し。冷却の急激なる程其の容積 ΔV_1 も亦甚しきものとす。斯くて急冷の結果凝固層は S_4 凝固状態に示すが如く内側窪みたる變形を起すこととなる。

要するに外層は低温、之に接する内層は高温なる際其の形適合せるものが、兩層共に常温に降りたる時内層は縮みて當筈まらざることとなり、茲に歪を起すに至るべし。而して徐冷の場合には當初の温度差も少なき故、其の歪の量も少くして型に應じたる正形を得べし。急冷の場合には、當初の温度差大なる故に、歪の量も大となり著しき變形を起すに至るものとす。

第六二節 外殼彎曲を助成する條件

鑄塊の外殼は急冷に依りて、内部の歪を生じ、其の彎曲する一般の理を前節に於て解したり。而して此の彎曲作用を助成する主なる條件を擧ぐれば凝固域の廣狹、結晶の形狀、熱傳導の遲速、鑄塊の大小、鑄塊の形狀等なり。

凝固域の廣狹

液體の凝固に當り固液共存する時期、即ち凝固域を有する多相系の物質、例へば鐵と炭素とより成れる鋼に在りては、液相、固液混相、固相の順序に依りて凝固す。斯の如く固液混相の状態を經過し

て凝固する場合に、第九九圖 V_2 は結晶粒の固體と粘稠なる残留母液に依りて占有せる一區の容積を保つ時機あり。而して次に來る急激なる溫度下降に依りて起る V_2 區間の收縮は其の附近の粘稠にして流動性に乏しき残留母液を以て填補せられ難き傾向を有せり。即ち ΔV_2 の値も一層大となり従て外殼の彎曲度も亦大となる傾あるものなり。斯の如き傾勢は凝固域の廣き程著しきものとす。

結晶の形狀

凝固急激なるとき針狀又は柱狀の細長き骸晶を形成することあり。是は一晶軸の方向にのみ結晶の發達するに依るものにして、其の方向は冷却滲透の方向にして等溫線には垂直なり。

柱晶を形成し、且つ固液混相の凝固域を有する物質、例へばニッケルクロム鋼の如きものに在りては、柱晶の簇生と、其の犬牙の間に残留する粘稠なる母液とに依りて、外層の小區分を占有する時機なること前項に於けると同様なり。即ち V_2 (第九九圖) の容積は先づ柱晶の骨格の爲め其の外容を保つに依り、次に來る急激なる冷却にて起る V_2 區間の收縮は、單に液中固體核の散在せる場合に於けるよりも著しき傾向あるものとす。従て ΔV_2 の値も一層増加し外殼の彎曲度も亦増加するなり。

熱傳導の遲速

熱傳導度の小なる物質に在りては、外方よりの急激なる冷却に依りて、鑄層内外に於ける溫度勾配一層大となる。即ち ΔV_2 (第九九圖) の値を増加し従て外殼の彎曲度を増す傾向あるものとす。

鑄塊の大小

鑄塊の大なるものは、其の凝固初期に於て鑄層内外の溫度勾配を大ならしむることを得べし。即ち大鋼塊は ΔV_2 の値を増し得るを以て收縮に依る外殼の彎曲を起す傾向あるものなり。

鑄塊の形狀

壩形鑄塊を急冷凝固せしめ鑄塊外殼の歪變形を起す場合に、其の横斷面直線形なるときは、其の邊外方に彎曲し曲率中心内方に在り。而して角頂附近は中邊よりも冷却速度大なるを以て其の彎曲度も大なり。其の横斷面曲線形なるとき、其の邊の曲率中心内方に在るものは益々外方に彎曲して曲率半徑は小となる。其の邊の曲率中心外方に在るものに於いては曲率半徑益々大となる傾向あるものなり。

第六三節 外層内割れの開始

鋼塊の外殼が急冷に依りて起る歪彎曲の爲に、外層に内割れの生ずる理を解せんとす。

鑄型に鑄込まれたる鑄鋼は先づ外殼凝固して漸次内層に向ひ固化作用進む。其の初期に凝固層未だ厚からずして、彼の柱晶層を形成する際、外殼は全く鑄型と相似形を保ちつつ、靜かに收縮するとき、其の局所に歪を生ずることなかるべし。

然るに此の際冷却の速度及び内外層の溫度勾配大なるときは、前節に記したるが如く、外層に著しき歪變形起る。而して角壩形の鋼塊に在りて、角隅は側壁に於けるよりも收縮に依る歪變形大なり、従つて角隅に於ける對角線は側壁に於けるものよりも收縮度大なるを以て、恰も角隅は其の外方より押壓力 (第一〇〇圖 P) を受けて押潰さると同様の作用を受くこととなる。

且つ内層に湛へたる重き鎔銅の靜的或は動的の液壓は、鑄型の側壁より肉離して孤立せる鋼殼の内壁を外方に押し出さんとする方向に作用す。此の液壓は外殼の收縮歪力よりも一般に小なり（第七九節）。

此等の内外に於ける力の合成は、結局外層角隅の部分の内方に向つて折り曲げんとする如く働くべし。角隅に對し斯の如き壓力（第一〇〇圖 P）作用するとき、外層角隅の内方には緊張力 P_1 , P_1 なる分力となりて働き裂開を起生せんとす。角隅の内方を裂開せんとする力と此の部分に於ける結晶の抗力との均衡の状態に依りて組織の開否兩途孰れかに分る。角隅の角度形状と耐壓力との關係につきては E. Preuss 氏の研究あり。

角隅に於ける凝固層中の内方に緊張力作用すると同時に、其の外方には壓縮作用 P_2 , P_2 生ずるが故に裂開の起點は緊張、壓縮の中和界の内方に始まる。是れ角隅の内割れが一般に表面に現はれずして内方に潜在する所以なり。

斯の如き鋼塊凝固の初期即ち外層の形成期に於ける裂開を鋼塊の「初期裂開」と稱すべし。「次期裂開」は凝固更に進行の後起るものにして概ね外割れ（第五二節）を誘起す。

圓壙形の鋼塊に在りても、其の凝固初期即ち外層形成期に於て、急冷の爲め著しき歪彎曲を成す場

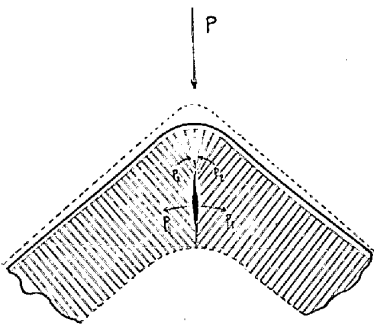
合に、周縁は曲率更に小なる數多の曲面より成立ち、其の曲面の會する所に窪み折れを生ずること第一〇一圖の如し。斯くて角隅に於けると同様に内割れを起生することとなるなり。而して其の内割れは概ね淺層より起生する傾あり。

内割れの原因は外層の歪變形に在ることを知りたり。而して内割れを助成する條件の一は母液の内壓なること既に記したり。其の他柱狀結晶、外殼の形状、及び凝固層の厚さも亦内割れ助長の條件として擧げざるべからず。

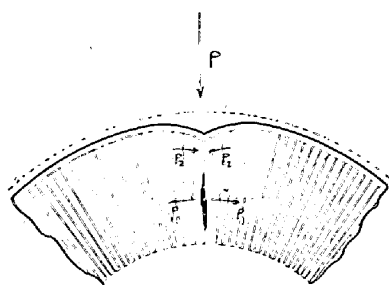
本問題鋼塊の場合に在りて、外層が柱晶層より成立つとき、角隅に於ける緊張力の集中して作用する部分（第一〇〇圖）は、柱晶層の脆弱なる接界に當れるを以て容易に内割れを開始すべし。圓壙鋼塊に在りては柱晶の長さに沿ひて裂け開くこととなる。

外殼が多角形にして角隅に收縮歪みの起る場合に、緊張力は一小局部に集中せらるるを以て概ね大なる單條の内割れを生じ、外殼圓形なる場合に、或は等凝結線の形状丸味を帯ぶるときは、緊張力の作用一點に集中することなくして、其の場面廣く各點に作用する力小なるを以て概ね小なる複條の内割れを生ずる傾あり。

第一〇〇圖



第一〇一圖



※ Stahl und Eisen. 1912 S. 1495

外層尚薄弱なる時期に収縮歪蓄積して其の均衡を失ふとき、内割れ起り且つ割れ擴がり、外層の厚さ加はり堅剛の度を増すに従ひ内割れ微弱となる。

内割れの形状は鋼塊横断面上に於て概ね紡錘状を爲す理を辨ぜんとす。内割れを誘發する變形歪は内割れを中心とせる附近の外層より來るものにして、局部的歪力の集中に外ならず。此の局部的總歪力(P)を分解すれば P_1, P_1 の方向に作用する分張力となる。而して P の影響は剛性を帯ぶる層中の内方に向ふに従ひて小となり、歪力は遂に深く到達せざるに至るべし。是れ内割れが局部に限られ、而も紡錘状を呈する所以なり。

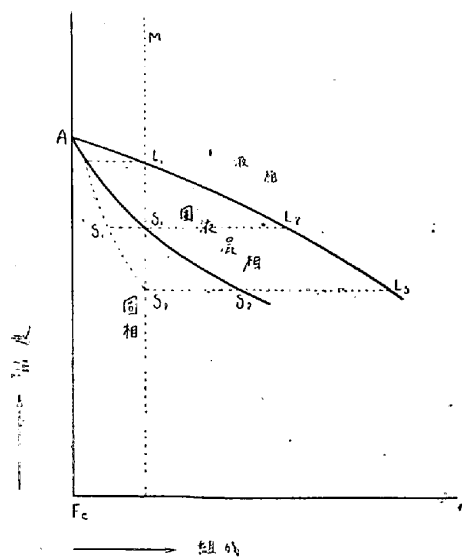
第六四節 外層内割れの終熄

鋼塊横断面の角隅内割れの開き口は、内方に向ふに従ひて漸次緩和せられ狭小となりて、内割れは若干の長さにて遂に消失するを常とし、其の全形は一般に中部に於て開き廣く、内外兩端狭くなる(第六五圖)。是は凝固層の厚さを増し且つ内層に於ける温度勾配が漸次緩くなる^{※1}を以て、引續き起る収縮偏差も亦漸次小となり、歪も小となるに依る。角隅の内割れが内方に向ひて漸次細くなり、且つ若干の長さにて終るは上記温度勾配の緩和(其の一)に依る外尚他の要因有り。其の二は凝固層が次第に厚く且つ堅剛となり歪割れ容易ならぬこととなる。其の三は結晶の形状なり。角隅の内割れは蠟塊第九三圖及び鋼塊第六六圖に見るが如く角隅に於ける柱晶層の接界内に發生し、内層の粒晶層に波及すること極めて稀なり。是れ此の位置の柱晶層が引き裂け易きに反し、粒晶層は其の質密實強靱にして、多方性を有するに依るものとす。

第六五節 鋼の凝固域

本節には角隅の内割れと幽痕との關係を論ずるに必要な鋼の凝固區域につき記述せん。此の

第一〇二圖



凝固域は合金の狀態圖に依りて、量的に解することを得べし。鐵、炭素の二成分系に在りては、第一〇二圖の如く液相線 L_1L_2 、固相線 S_1S_2 の間に固液混相の區域即ち凝固區域あり。例へば M なる化學組成を有する鑄鋼が温度下降し L_1 に達すれば、一部分の凝固を始め、之より温度の下降に伴ひて凝固の量を増すと同時に液量を減じ、 S_1 に至りて全く凝固したる。温度 L_1S_1 の間は即ち凝固域にして炭素 0.4% を含有する炭素鋼に在りては凝固始點 $1,500^{\circ}\text{C}$ にして凝固終點は $1,360^{\circ}\text{C}$ 、此の凝固域は 140°C なり^{※2}。之は平衡狀態に於ける緩徐なる冷却速度に依りたるものなるが、冷却速度急速となるときは、擴散作用普及せざるが爲

※₁ S. Saito

※₂ W. Guertler; Metallographie, S. 159

め、析出晶の平均成分は高まらずして固相線は $S_1' S_2'$ となる。従て凝固終點は S_2' にして凝固區域は $L_1 S_2'$ に延長せらる。

鋼塊角隅の冷却速かなるは、凝固區域を延長せしめ、従つて内割れの機會を多からしむることとなる。炭素鋼、ニッケルクローム鋼、ニッケル鋼にて第二九表の化學組成を有するものに就き凝固域を測定し第三〇表の結果を得たり。

第二九表

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
炭素鋼	0.32	0.16	0.63	0.035	0.025	0.65	—	0.108
ニッケル鋼	0.30	0.14	0.53	0.019	0.026	0.31	—	0.144
ニッケルクローム鋼	0.39	0.17	0.54	0.026	0.026	3.62	0.53	0.136

第三〇表

鋼種	冷却速度 温度	1500度—1300度間		1500度—1300度間	
		液相點	固相點	凝固域	凝固域
炭素鋼	1.45度/毎分	1500	1400	100	110
ニッケル鋼	1.45度/毎分	1510	1400	110	130
ニッケルクローム鋼	1.45度/毎分	1500	1380	120	160

測溫各試材は約 30 瓦にして電氣爐にて熱し冷却曲線は白金ローヂウム線の熱偶と、Woolwich photorecording Pyrometer を用ひて測定したり。冷却速かなる方は、鎔融後電氣爐の電路を斷ち坩堝を大氣中に冷却したるものにして、冷却緩徐なる方は熱源電流を斷ち坩堝を其の儘電氣爐中にて冷却したるものなり。大鋼塊角隅の初期冷却速度は未だ實測するに至らざれども、此等の數値を去ること遠からざるべく、従つて角隅幽痕の發生は鋼塊冷却經過中の如何なる溫度間に於て行はるるかを概想することを得べし。又凝固域大なる鋼種は偏析及び内割れの影響を受くることも大なるべし。

第六六節 角隅幽痕の生成

鋼塊の凝固中程に於て角隅押潰實驗(第五三節)を行ふときは、角隅の内割れと同時に角隅幽痕を生じたり。此の幽痕を細檢すれば硫化物等の不純物著しく偏析せるを見たり。特に硫化滿俺粒子の多量が此の部分に集合せるは、鋼の凝固後に於て行はれたるものと解し難し。何となれば鋼質内に包裹せる硫化滿俺の粒子は、鋼滓粒子と同様にして固相線に近き高温に熱處理を行ふも集散せしむること能はざればなり。是亦角隅幽痕が鋼塊の不根治症にして、機械的削去又は再鎔融を爲すにあらざれば除去し能はざる所以なり。

斯の故に角隅幽痕は鎔鋼が固相線に達せざる以前即ち液體より凝固完了までの間に於て起らざるべ

※ P. Goerens: Einführung in die Metallographie. S. 42

からず。而して鋼塊の地割れは實質が固態なる場合に起るべきものにして、液體にては割れ目を生ずることなし。茲に角隅裂開は鋼の固態に起れども、角隅幽痕は、固態中に起り得ざるが故に兩者が同時に生ずるものとせば、一見其の本來の性狀に矛盾あるものの如く想はる。然れども鋼には前節述べたる固液混相區間即ち凝固域なるもの存することに依りて此の現象を明瞭に解することを得べし。

液狀鋼の溫度漸次下降し液相線に達するや、固態結晶の析出を始む。是れ凝結の始めにして溫度の下降と共に結晶の量増加するに従ひ、液態の量は漸次減少し、全部凝固完了するとき液態は皆無となる。是れ凝固の終りなり。凝固域の終期に於ては生成結晶にて輪廓既に構成せられ、結晶間には僅に残留液體を以て充たさる。此の残留液體は凝固域の終に近き程夾雜物の偏析に富むことは相則の教ふる所にして、特に多角塊の角隅附近に於ては偏析濃厚なり（第四八節）。故に鋼塊形狀の多角塊なると圓塊なるとを問はず、凝固域の終近くに於て結晶間に歪割れを生ずるときは、附近に存在する残留液容易に此の裂隙に浸入填充することとなり、此所に硫化物等の偏析物固化し所謂角隅幽痕となる。

更に歪の移行を考ふるに凝固域に於て液相線の附近にては母液中に結晶粒子點在するを以て組織の弛開又は割目を起し難し。固相線附近にて箇々の結晶相連接するとき、或は細長き骸晶の簇生する場合に此等の結晶は恰も扇の骨となりて歪み、僅に結晶間に殘存せる融點低き母液は扇面の弱き紙となり、歪を受けて弛開し其の隙間に向ひ附近より母液潛來して之を填むるものとす。

角隅に於ける柱晶層の隣接界は柱晶生長の前面の衝會する所なるを以て柱晶に起りたる歪みは容易に此の弱き衝界を弛開せしめ、母液又此の隙に乗じて潛入するものとす。

熱鋼塊の凝固域に於ける押潰しの實驗結果（第五三、五四節）は此の理論を證明するものなり。而して特に柱狀結晶の場合には、其の結晶組織及び裂開の方向に對し固液混相期に於ける裂開の作用を容易に誘起する状態に在り。

凝固完了後間もなき瞬間に裂開起る場合に組織の間隙を通じて附近の残留母液之に浸入するとき、凝固完了後といへども、角隅幽痕を形成すべし。而して凝固完了後に裂開起り殘母液の填充する機會を得ざるときは、地割れのみ存し、角隅幽痕を形成することなし。單純なる地割れには硫貼寫を施すも其の反應を呈することなし（第五二節）。

之を要するに角隅の裂開には、幽痕を伴ふ場合と然らざる場合とあり。而して角隅幽痕は裂開に依りて誘成せらるるものといふべし。茲に於て弛開説（第五六節）の成立を觀る。

第八章の括約

1. 挾込説は角隅幽痕の現象に一貫の説明を與ふること得ざるに依り、眞理を他に索めたり。
2. 鋼塊の押潰實驗を行ひ、人工的角隅幽痕を發生せしめたり。此の幽痕は大鋼塊に自然に發生するものと全く同種のものなることを確めたり。
3. 大鋼塊は凝固時の急冷にて鋼塊外層に自己歪み變形を起し、其の結晶組織の弛開に乗じ、不純母液の浸入することに依り、角隅幽痕を發生するものなり。之を弛開説と稱す。

4. 角隅幽痕生成の主要因は銅塊凝固時に於ける冷却の速度にして、其の生成を助長する種々の條件ありて副因となる。例へば角隅の形状、角隅の偏析は助長の一條件に過ぎず。
5. 挾込説が完からざるは、其の副因のみを捕へたるに因るものなり。即ち挾込説の内容は弛開説内に包括せらるるものなり。
6. 弛開説は角隅幽痕の諸現象を完全に解明す。

焼戻硬化するアルミニウム合金の研究 (V)

田邊友次郎

第三章 Al-Cu-Cr 合金 (R 合金)

前章の續として Al-Cu (4—6%Cu) 合金にクロムを少量 (0.5—1%) 添加した合金を製作して試験した Al-Cr 系は Hindrichs⁷⁸⁾ によつて状態圖が定められてゐるが $AlCr_3$ は固體に於て殆んどアルミニウムにはとけない。又 Al-Cu-Cr 系は從來研究されたものはない。最近 Sisco & Whitmore⁷⁹⁾ は鑄造合金として Al-Cr (Cr=5%迄) 合金を研究し鑄造用としては Al-Cu (5%Cu) に比し何等優る處がないと報告してゐる。

I 組成と組織

著者試作の合金の組成は Table LXXVI の如し。

Table LXXVII.

No.	Cu%	Cr%
R 1	4.17	0.96
R 2	5.20	0.44
R 3	6.28	0.48
R 4	5.17	0.99

クロムは中間合金 (Cr=14.95% を含むアルミニウム合金) として添加し各合金は金型鑄物で重量 1.5kg 宛のものを作つた。これを 5mm に熱壓延の上常溫壓延で 2mm に仕上げた。これを以て以下に述ぶる諸試験を行つたのである。

鑄物の組織を見ると何れも $AlCr_3$ の結晶が見ゆるが R2, R3 は其量非常に少く R1, R4 は稍々多量に大きく見ゆる。Photo. 31 に R4 の鑄物の軟化したもの、顯微鏡組織を示した。又 Photos. 32—34 には R3 合金の壓延材を軟化、焼入及焼戻の各状態に於て示した。其差は著しくない。

II 軟化及焼入

常溫壓延板から 1cm 角の試料を切り出し 100—580°C の各溫度に 30 分宛加熱投水し直ちに常溫時効 7 日の後にブリネル硬度 (250kg, 10mm) を測定した時効効果は殆んど認められない。結果は Table LXXVIII の如くである。